

Il monitoraggio delle spiagge nel periodo 2002-2005

Mentino Preti¹, Nunzio De Nigris¹, Maurizio Morelli¹

¹ARPA Direzione Tecnica - Bologna

Riassunto

Nel periodo 2003-2005 l'Area Mare-Costa di ARPA ha realizzato 3 campagne di monitoraggio in corrispondenza di 8 spiagge emiliano-romagnole (totale 9 km) oggetto di ripascimento con sabbia prelevata da accumuli sottomarini nel 2002.

Il presente articolo riporta i risultati delle analisi sugli spostamenti della sabbia dentro e fuori le aree di intervento e considerazioni sull'efficacia del ripascimento in relazione anche all'articolato sistema di opere di difesa presente. L'intervento ha interessato infatti tratti protetti da scogliere parallele emerse, da scogliere semisommerse, da pennelli in massi, da barriere sommerse in sacchi e spiagge prive di difese.

Per poter evidenziare gli effetti di bordo, compresi quelli di eventuali opere presenti sottoflutto, l'area di monitoraggio è stata estesa 500 m a sud e a nord in ogni zona di intervento.

Dal confronto tra i rilievi delle singole campagne e dal calcolo dei volumi accumulati ed erosi sono emersi effetti di tipo generale ed altri più specifici.

A 3 anni dalla fine dei lavori risultava che nelle spiagge in esame era ancora presente circa il 45% della sabbia apportata e che il restante materiale era andato in prevalenza ad alimentare le spiagge sottoflutto garantendo l'equilibrio di altri 16 km di costa.

La gran parte delle perdite si è verificata nel corso degli inverni 2002-2003 e 2004-2005, particolarmente burrascosi.

Relativamente al comportamento delle opere, le maggiori perdite sono state rilevate nei primi 500 m delle spiagge sottoflutto alle scogliere (45-63 m³/m all'anno a Riccione e Milano Marittima), nella spiaggia di Misano difesa da pennelli in massi (30 m³/m all'anno a Misano). Perdite più ridotte sono state rilevate nelle spiagge protette da scogliere parallele (11-17 m³/m all'anno a Igea Marina, S. Mauro e Gatteo a Mare). Paradossalmente le perdite minori si sono verificate nelle spiagge libere da opere (9-10 m³/m all'anno a Zadina e Lido di Classe) evidentemente dopo l'intensa erosione del primo inverno hanno entrambe beneficiato di apporti di materiale per via naturale dai litorali a sud.

Parole chiave Monitoraggio, spiagge, erosione, ripascimento, opere di difesa rigide.

Abstract

In the 2003-2005 period the Marine Coastal Unit of ARPA Emilia-Romagna Region performed 3 monitoring campaigns in correspondence of 8 beaches along the Emilia Romagna littoral (for an overall coastline length of 9 km). Beaches surveyed were nourished in 2002 with offshore dredged sand.

This paper describes the results of the analyses of sand displacements inside and outside the areas of intervention. Nourishment performance is discussed taking into account the complex system of structures that partially defend these areas, such as emerged detached barriers, semi-submerged barriers, submerged barriers made of sand bags and groynes.

In order to highlight the boundary effects, including the downdrift presence of structures, the monitoring area was enlarged for circa 500 m to the North and to the South in each area of intervention.

The comparison among each survey and the computation of eroded and deposited volumes allowed determining general and specific effects.

The results of beach monitoring 3 years after the intervention showed that 45% circa of the nourishment material was still present on the examined beaches whereas the remaining material fed the beaches downdrift, granting the equilibrium of another 16 km of coastline.

Most of the beach losses occurred during the particularly stormy winters 2002-2003 and 2004-2005.

With regard to performance of hard defence structures, the greatest sand losses occurred at the beaches located downdrift the barriers within a 500 m distance from the shoreline (45-63 m³/m/year in Riccione and Milano Marittima) and along the beach defended by rocky groynes in Misano (30 m³/m/year).

Lower losses were recorded at the beaches protected by emerged barriers (11-17 m³/m/year in Igea Marina, S. Mauro and Gatteo a Mare). The lowest sand losses were unexpectedly found in correspondence of the non-protected beaches (9-10 m³/m/year in Zadina and Lido di Classe) that after the severe erosion induced by the first winter period may have benefited from natural sediment supply from the coast located southwards.

Keywords: *Monitoring, beach, erosion, nourishment, hard defence structure.*

Introduzione

Il litorale emiliano-romagnolo è interamente costituito da spiagge basse e sabbiose, soggette a continue modificazioni dovute sia all'azione dei fattori influenti naturali che all'intervento antropico.

L'alimentazione di questo paraggio è costituita dai materiali portati a mare dai numerosi fiumi e torrenti che vi sfociano ad una distanza di 10-15 km l'uno dall'altro. Questo litorale può inoltre beneficiare degli apporti di sabbia esterni, provenienti dall'erosione della falesia di Gabicce, a sud, e dai rami meridionali del delta del Po, a nord. La direzione prevalente del trasporto solido litoraneo è da sud verso nord, tuttavia sono presenti punti di divergenza di fronte alle foci del Reno, dei Fiumi Uniti e del Savio.

Conseguentemente esistono punti di "zero" del trasporto solido all'altezza della Sacca di Goro, di Porto Corsini, di Foce Bevano e di Pinarella di Cervia.

Si riporta di seguito la mappa del trasporto solido sottocosta (Fig. 1), determinato con un modello numerico che utilizza, come input, il clima del moto ondoso caratteristico del tratto di mare antistante la costa regionale.

Tale clima è stato ricavato dall'elaborazione dei dati meteo-marini rilevati, tra il 1971 e il 1983, con osservazione diretta dalla piattaforma PCB dell'AGIP, posta circa 20 km al largo di Ravenna su un fondale di 25 m.

I dati PCB sono stati utilizzati come base di riferimento per l'elaborazione del Piano Costa 1981 (Idroser, 1981) e del Piano Costa 1996 (Idroser, 1996). Nel corso degli anni si sono dimostrati infatti altamente rappresentativi del clima del moto ondoso davanti alle coste della Regione Emilia-Romagna.

A partire dai primi decenni del '900 questo litorale è stato interessato dal fenomeno dell'erosione delle spiagge ad opera del mare. Per contrastare questo processo, lo Stato ha realizzato tra il 1932 e il 2007 più di 65 km di difese rigide, tra cui circa 40 km di scogliere parallele emerse. Per ridurre gli impatti ambientali legati a questo tipo di opere di difesa, nel 1983 la Regione ha dato il via ai primi interventi di ripascimento. Per circa 20 anni sono state utilizzate prevalentemente sabbie di cave a terra, poi, nel 2002, la Regione Emilia-Romagna ha realizzato il primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine, portando 800.000 m³ di materiale su otto spiagge distinte (Preti, 2002).

Al fine di riscontrare il trend evolutivo di ciascun tratto, la stessa Regione ha incaricato ARPA di effettuare il monitoraggio dei tratti interessati dal ripascimento.

L'Area Mare e Costa di ARPA Ingegneria Ambientale, avvalendosi dell'esperienza trentennale maturata nel campo della difesa del litorale, ha messo a punto un progetto di monitoraggio delle otto spiagge oggetto di intervento articolandolo in quattro campagne di rilievi da realizzare nel periodo 2002-2005.

Nel 2005, al termine della terza campagna, per far fronte alla necessità di finanziamenti di interventi urgenti di difesa del litorale, la Regione Emilia-Romagna ha deciso di interrompere il programma di monitoraggio e di non realizzare la quarta campagna.

Gli obiettivi principali del monitoraggio erano i seguenti:

- controllare l'evoluzione del profilo della spiaggia emersa e sommersa;
- rilevare le variazioni della linea di riva;
- definire entità e modalità di fuoriuscita della sabbia dalle aree di intervento;

- dare un giudizio sulla validità dell'intervento di ripascimento rispetto ad altre tipologie di opere di difesa.
- Il progetto di monitoraggio prevedeva quindi l'esecuzione delle seguenti indagini:
- rilievi topo-batimetrici;
 - rilievi aerofotogrammetrici;
 - prelievo di campioni di sedimento e analisi granulometriche;
 - definizione delle condizioni meteomarine del periodo.

Di seguito vengono riportati i metodi adottati nei rilievi di campo e nella ricostruzione delle mareggiate del periodo 2002-2005, e a seguire, in 8 monografie, i risultati delle analisi evolutive riferite ai singoli tratti oggetto di ripascimento.



Figura 1 - Mappa del litorale emiliano-romagnolo. Le frecce indicano la direzione del trasporto solido lungo la costa.

Metodi

Rilievi topo-batimetrici

Il confronto tra i rilievi topo-batimetrici di campagne diverse permette di riscontrare sia le modificazioni morfologiche della spiaggia che i volumi sedimentati ed erosi.

Oltre ad analizzare i dati ottenuti con le 3 campagne di monitoraggio sono stati presi in considerazione anche i rilievi topo-batimetrici effettuati subito prima e subito dopo il ripascimento dall'impresa appaltatrice, sotto il controllo della Direzione Lavori. Questi rilievi vengono di seguito chiamati rispettivamente di prima pianta e di seconda pianta o di fine lavori.

I rilievi topo-batimetrici di prima pianta sono stati eseguiti nei primi mesi del 2002, mentre quelli di fine lavori nella primavera dello stesso anno.

La prima campagna di monitoraggio è stata realizzata nel Febbraio 2003, quindi circa 10 mesi dopo i rilievi di seconda pianta. A distanza di circa 1 anno, nell'inverno a cavallo del 2003 e del 2004, è stata realizzata la seconda campagna; la terza è stata effettuata nel Giugno 2005.

Il monitoraggio topo-batimetrico è stato basato sul rilievo del profilo della spiaggia lungo sezioni disposte perpendicolarmente alla costa, a partire dal piede della duna o dal primo manufatto, fino alla batimetrica dei 5 m. Al fine di avere una visione più ampia delle dinamiche di spostamento dei depositi di sedimento è stata monitorata un'area più estesa rispetto a quella oggetto di ripascimento. Infatti sono stati rilevati anche i primi 500 m a nord e a sud dell'area d'intervento.

La distanza tra una sezione e l'altra all'interno dell'area d'intervento è stata fissata a circa 100 m, mentre nelle zone esterne a 200-300 m.

Le sezioni sono state sovrapposte, dove presenti, a quelle della rete di monitoraggio della costa della Regione Emilia-Romagna, rilevate da ARPA Ingegneria-Ambientale nel 2000, distanti fra di loro circa 500 m.

A partire dalla seconda campagna di monitoraggio, nei siti protetti con scogliere parallele emerse, caratterizzati da morfologie complesse quali tomboli e buche difficilmente definibili con i soli profili perpendicolari, sono state acquisite sezioni ad andamento parallelo alla costa, in posizione interna ed esterna alle opere di difesa e lungo la battigia.

I rilievi di prima e seconda pianta, realizzati al solo scopo di calcolare i volumi di sabbia apportati, sono stati limitati ad un'area poco più ampia della porzione di spiaggia interessata dal ripascimento. Questo ha limitato la possibilità di confronto fra i rilievi di fine lavori e quelli della prima campagna di monitoraggio.

I rilievi topo-batimetrici sono stati inquadrati secondo i seguenti sistemi:

- rete di riferimento planimetrica - caposaldi GPS IGM95 e capisaldi ARPA 2000 riferiti al sistema WGS84 proiezione U.T.M. fuso 33;
- rete di riferimento altimetrica - caposaldi della rete di livellazione della Regione Emilia-Romagna aggiornati all'anno 2000, con quota riferita al mareografo di Genova 1943 .

Per il posizionamento planimetrico e altimetrico è stato utilizzato il sistema satellitare DGPS (*Differential Global Position System*). Al fine di ottenere la massima accuratezza si è operato in modo che la distanza tra la stazione base (*Reference Station*) e la stazione mobile (*Reference Rover*) non superasse i 10 km. La procedura di rilievo è stata del tipo cinematica in tempo reale RTK (*Real Time Kinematic*) con inizializzazione automatica in movimento OTF (*on the fly*).

Questo sistema permette di misurare direttamente la quota batimetrica assoluta rispetto al geoide di riferimento, quindi non è necessario effettuare l'operazione di post-processing del dato per eliminare l'errore dovuto all'escursione di marea del periodo di rilievo.

Il sistema DGPS-RTK-OTF sopradescritto è in grado di garantire un'accuratezza planimetrica di ± 10 cm e altimetrica di ± 5 cm.

In funzione della modalità e della strumentazione impiegata per il rilievo, l'area monitorata è stata suddivisa in 3 zone:

- zona A - spiaggia emersa e sommersa fino alla batimetrica dei 70 cm;
- zona B - spiaggia sommersa compresa tra le batimetriche dei 70 cm e 1,5 m;
- zona C - spiaggia sommersa compresa tra le batimetriche degli 1,5 m e 5 m.

Il rilievo della zona A è stato effettuato con il sistema GPS sorretto dall'operatore o montato su mezzo fuoristrada, durante le fasi di bassa marea.

Nella zona B, che è sicuramente quella che presenta le maggiori difficoltà di rilevamento, è stato utilizzato il GPS

accoppiato con un sistema idroacustico *Singlebeam* (ecoscandaglio). La strumentazione è stata alloggiata su un mezzo nautico pneumatico (gommone) con pescaggio massimo a pieno carico di 40 cm. La velocità massima di indagine è stata di 2 nodi.

Infine, la zona C è stata rilevata tramite l'uso di GPS accoppiato con un sistema idroacustico *Multibeam*. Questo sistema permette di rilevare, lungo la rotta del natante, una maglia di punti equidistanti 20 cm, larga 3,4 volte il battente d'acqua. La navigazione è stata effettuata con un mezzo nautico cabinato, avente pescaggio di 50 cm, alla velocità massima di 2 nodi.

Sui natanti sono stati approntati, oltre alla strumentazione suddetta, anche un sistema video analitico di navigazione per mantenere le rotte predefinite, un software di acquisizione, controllo e memorizzazione dei dati acquisiti, una sonda multiparametrica CTD per la misura della velocità del suono in acqua e un sistema integrato in grado di rilevare in tempo reale la conformazione del moto ondoso, il rollio e il beccheggio dell'imbarcazione. Durante l'acquisizione dei dati, tramite il software PDS 2000, è stato effettuato un controllo in tempo reale sulla qualità dei dati acquisiti. Col medesimo software è stato effettuato in fase di *post-processing* un controllo di qualità plano-batimetrica in grado di isolare ed eliminare i punti anomali.

Ultimata la fase di controllo di qualità del dato si è ottenuto il *data set* utilizzato per effettuare tutte le elaborazioni matematiche e gli elaborati grafici utili per l'analisi dell'evoluzione della spiaggia emersa e sommersa e dell'andamento dell'intervento di ripascimento.

La prima elaborazione effettuata è stata la generazione dei *grid* (piano quotato a maglia regolare) delle aree monitorate, tramite un modello digitale del terreno (DTM). È stato utilizzato il metodo di interpolazione lineare triangolare impiegato dal software *Surfer 8*.

Dal DTM così ottenuto sono state elaborate le carte topo-batimetriche di ogni singola area, inoltre sono state estratte le singole linee di riva per l'elaborazione delle mappe rappresentanti le variazioni avvenute nel periodo 2002-2005.

Una seconda elaborazione, effettuata sempre con *Surfer 8*, è stato il confronto fra due piani quotati della stessa area rilevati in tempi diversi. Questo ha permesso di ottenere il grid e la successiva rappresentazione grafica (mappe di accumulo/perdita) delle zone dove, nel tempo intercorso fra i due rilievi, si è avuto accumulo, perdita di sedimento o equilibrio.

Inoltre, utilizzando questi *grid* è stato calcolato il volume di sabbia accumulata o erosa nella zona di interesse. Nelle mappe di accumulo/perdita, le zone che hanno subito una variazione di ± 10 cm in quota vengono considerate in equilibrio. Questo per tener conto dell'incertezza della misura del sistema di rilevamento topo-batimetrico impiegato sopradescritto.

Con la funzione *slide*, del software *Surfer 8*, sono stati estratti, dai piani quotati dei 5 rilievi effettuati per ogni singola area di monitoraggio, i profili della spiaggia emersa e sommersa lungo predefinite sezioni. Questi sono stati sovrapposti e plottati con *Grapher 5*.

Simile rappresentazione grafica permette di vedere il profilo iniziale della spiaggia, il profilo secondo cui è stata riportata la sabbia durante la fase di ripascimento e le variazioni morfologiche avvenute nel tempo intercorso fra i vari rilievi di monitoraggio.

Rilievi aerofotogrammetrici

Sono stati eseguiti 3 voli aerofotogrammetrici, nel Gennaio e nell'Ottobre 2003 e nel Giugno 2005 dalla Compagnia Generale di Riprese aeree di Parma.

Il rilievo aerofotogrammetrico delle 8 spiagge oggetto di ripascimento è stato esteso ai tratti a sud e a nord delle stesse, per ottenere riscontri utili alla ricostruzione dei movimenti della sabbia.

I tratti interessati dal rilievo aerofotogrammetrico sono stati i seguenti:

- Foce fiume Conca – Fogliano Marina (circa 7,0 km);
- Torre Pedrera – Foce Uso (circa 4,5 km);
- San Mauro a mare – Valverde di Cesenatico (circa 4,0 km);
- Portocanale di Cesenatico – Pinarella di Cervia (circa 6,0 km);
- Milano Marittima – Lido di Savio (circa 4,0 km);
- Lido di Classe – Foce Bevano (circa 4,5 km).

Lo scopo è stato quello di acquisire elementi di supporto all'analisi degli effetti indotti da opere di recente costruzione o in corso di realizzazione (scogliera a Cesenatico Ponente e salpamento dei pennelli a Porto Verde).

Per la ripresa aerea è stata utilizzata la camera *Wild 15/4*, con distanza focale di 153,28 mm, collocata in una finestra ricavata nella pancia dell'aereo, in modo tale da avere una ripresa verticale; la quota di volo delle riprese aerofotogrammetriche è stata di circa 700 m.

Sono stati realizzati fotogrammi a colori in scala 1: 5.000 restituiti sia su supporto cartaceo, sia su supporto informatico con risoluzione di 1200 dpi.

I rilievi sono stati eseguiti in condizioni di cielo limpido e mare calmo da almeno 2 giorni. L'ottima qualità delle immagini ha permesso di evidenziare la morfologia della spiaggia emersa (dune naturali, dune di difesa invernale, battigia), di quella sommersa (barre di frangenza), e le opere di difesa sia emerse che sommerse.

Assemblando le foto aeree eseguite nel 2003 è stata ottenuta la base cartografica di riferimento, sulla quale sono state rappresentate le tracce delle sezioni rilevate, le isolinee risultate dalle misurazioni topo-batimetriche e la variazione della linea di riva.

Le mappe così ottenute hanno permesso di effettuare delle analisi di ingegneria costiera e di fruizione turistica.

Prelievo e analisi di campioni di sedimento

Come riportato precedentemente, il progetto di monitoraggio prevedeva l'esecuzione di 4 campagne di rilievi che, per decisione della Regione nel 2004, sono state ridotte a tre. Visto che il prelievo di campioni da sottoporre ad analisi granulometriche era stato previsto dallo stesso progetto per la prima e la quarta campagna, la mancata esecuzione della quarta ha compromesso la possibilità di effettuare un'analisi sedimentologica approfondita.

Alcune considerazioni di carattere sedimentologico sono state effettuate solo a Misano, in quanto diversi riscontri rendevano evidente lo spostamento di una grande quantità di materiale sabbioso dalla spiaggia emersa a quella sommersa in un periodo di tempo molto breve.

Per ogni singola area di intervento sono stati prelevati campioni di sedimento lungo il profilo di spiaggia ed inviati in laboratorio per effettuare l'analisi granulometrica.

Il prelievo dei campioni è stato effettuato nel periodo Febbraio-Marzo 2003.

I campioni di sedimento sono stati prelevati in corrispondenza di alcune sezioni topo-batimetriche alle quote +1,00 m; 0,00 m (linea di riva); -1,00 m; -2,50 m e -4,00 m. Per le sezioni in corrispondenza delle scogliere parallele, dove il profilo non presenta la quota della -1,00 m e della -2,50 m è stato prelevato un campione a 20 m dalla scogliera lato terra ed uno, sempre a 20 m dalla scogliera, lato mare.

Per ogni località oggetto di intervento è stato effettuato il prelievo lungo la sezione topo-batimetrica posta in mezz'ora dell'area di ripascimento, affinché i campioni siano il più rappresentativi possibile dell'intera area. Inoltre sono stati prelevati dei campioni lungo una sezione a nord dell'area di intervento di Riccione, una sezione a sud di quella di Zadina e una sezione all'estremo nord dell'area di intervento di Milano Marittima, in quanto per queste sezioni sono disponibili i risultati delle analisi granulometriche effettuate durante la redazione del Piano Costa 1996.

In totale sono stati prelevati 60 campioni in corrispondenza di 12 sezioni topo-batimetriche (5 campioni per sezione).

L'analisi granulometrica è stata eseguita dal laboratorio Analisi Chimico-Agrarie della Sezione Provinciale di Ravenna dell'ARPA.

Successione delle mareggiate nel periodo Gennaio 2002 – Giugno 2005

Per determinare la serie degli eventi di mareggiata che hanno influito sull'evoluzione degli 8 tratti di costa interessati dall'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine, si è fatto riferimento ai dati registrati dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) di Ancona. Pur essendo 50-100 km più a sud dell'area di interesse, la boa di Ancona è risultata infatti l'unica fonte di dati affidabili e continuativi disponibili per il periodo considerato. Occorre precisare che per la distanza suddetta e per l'ubicazione (30 km al largo di Ancona) non sempre c'è piena corrispondenza tra il regime del moto ondoso misurato dalla Boa e quello che si verifica davanti al litorale emiliano-romagnolo.

Per quanto riguarda i criteri adottati per definire una mareggiata, si è fatto riferimento a quanto riportato sull'Atlante delle Onde (APAT, 2004), secondo cui si devono considerare almeno 12 ore di persistenza dell'onda superiore a 1 m di altezza e gli eventuali periodi di attenuazione del moto ondoso al di sotto del metro ma di durata inferiore alle 6 ore.

Tra tutti gli eventi così individuati sono stati presi in esame solo quelli che provengono dalla I e II Quadrante,

in quanto, in ragione dell'orientamento SE-NW del litorale emiliano-romagnolo, i mari del III e IV Quadrante hanno una limitata influenza sulla dinamica costiera.

Sulla base di questi criteri, durante il periodo in esame sono state registrate 95 mareggiate, per un totale di 155 giorni di mare mosso. In particolare il II Quadrante risulta quello con il maggior numero di eventi (65) e di giorni interessati da mareggiate (112).

Nella Tabella 1 si riportano, sinteticamente, i dati delle mareggiate registrate dalla boa di Ancona tra il Gennaio 2002 e il Giugno 2005.

Tabella 1 - Boa ondometrica di Ancona – Distribuzione e principali caratteristiche delle mareggiate provenienti dal I e II Quadrante, nel periodo Gennaio 2002 - Giugno 2005.

Anno	Quadrante	Settore (°N)	Eventi n°	Durata complessiva (giorni)	Hmax (m)
2002	I	≤0 °N <30	-	-	-
		≤30 °N <60	1	1	1,67
		≤60 °N <90	3	2	2,44
	II	≤90 °N <120	2	4	2,29
		≤120 °N <150	12	24	3,40
		≤150 °N <180	14	22	5,20
Totale anno			32	52	
2003	I	≤0 °N <30	-	-	-
		≤30 °N <60	3	5	2,87
		≤60 °N <90	1	1	3,63
	II	≤90 °N <120	1	1	1,28
		≤120 °N <150	5	5	2,35
		≤150 °N <180	16	31	3,12
Totale anno			26	43	
2004	I	≤0 °N <30	4	5	5,45
		≤30 °N <60	8	11	3,18
		≤60 °N <90	3	3	2,34
	II	≤90 °N <120	3	6	2,54
		≤120 °N <150	8	14	3,81
		≤150 °N <180	1	3	3,21
Totale anno			27	42	
2005 (Giugno)	I	≤0 °N <30	1	1	1,44
		≤30 °N <60	6	12	3,71
		≤60 °N <90	-	-	-
	II	≤90 °N <120	2	2	2,09
		≤120 °N <150	1	2	3,35
		≤150 °N <180	-	-	-
Totale semestre			10	17	
2002 - 2005	I	≤0 °N <30	5	6	5,45
		≤30 °N <60	18	29	3,71
		≤60 °N <90	7	7	3,63
	II	≤90 °N <120	8	12	2,54
		≤120 °N <150	26	44	3,81
		≤150 °N <180	31	56	5,20
Totale periodo			95	154	

Per quanto riguarda gli eventi estremi, in Figura 2 si riporta l'andamento temporale delle altezze d'onda registrate durante l'evento del Settembre 2004. Questa mareggiata proveniente dal settore di bora, è stata caratterizzata dal valore più alto dell'altezza d'onda, 5,45 m, tra quelle verificatesi nel periodo di osservazione.

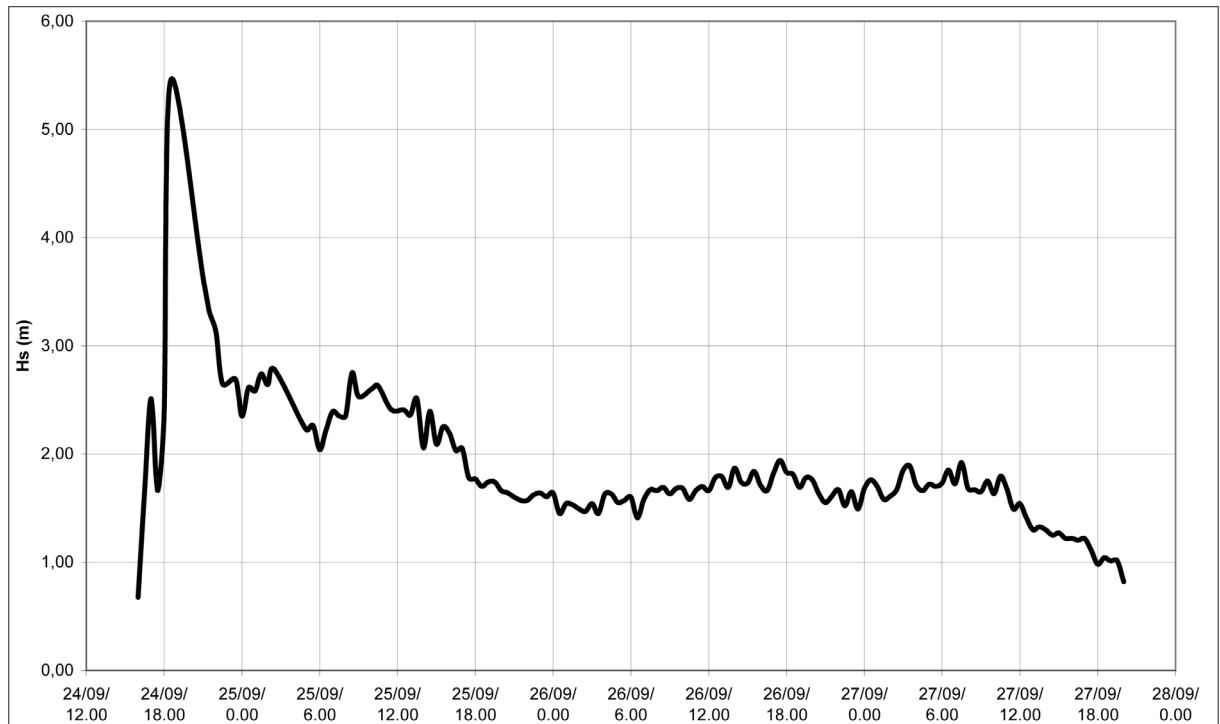


Figura 2 - Boa di Ancona - Altezza d’onda durante la mareggiata del 24-27/09/2004.

Le informazioni sulle mareggiate registrate dalla boa di Ancona sono state messe a confronto con i risultati dell’analisi sui fenomeni intensi in Adriatico, condotta dalla struttura ARPA SIMC nell’ambito del progetto europeo CADSEALAND (2004-2006).

Nel progetto è stata condotta, con l’ausilio di modelli matematici meteorologici e di generazione del moto ondoso (WAM e SWAN) e per il periodo 2000-2004, la ricostruzione dello stato del mare Adriatico e delle relative mareggiate in corrispondenza di 3 punti al largo della costa regionale, che sono risultati rappresentativi delle spiagge su cui è stato effettuato il ripascimento con sabbie sottomarine nella primavera del 2002.

Tabella 2 - Confronto tra il regime delle mareggiate ricostruite con la modellistica matematica e quello ricavato dalle misure della boa ondometrica di Ancona nel periodo Gennaio 2002 – Dicembre 2004.

Stagione	Anno	Emilia – Romagna Ricostruzione		Boa di Ancona Osservazioni	
		Mareggiate n°	Direzione media	Mareggiate n°	Direzione media
Inverno	2001/2002	3	NE	3	SE
Primavera	2002	3	NE	3	SE - N- S
Estate	2002				
Autunno	2002	3	E	4	NE - SW
Inverno	2002/2003	6	NE	6	NE - SW
Primavera	2003	1	NE	1	NE - SW
Estate	2003				
Autunno	2003	4	E	4	NE - SW
Inverno	2003/2004	8	NE	5	NE - SW
Primavera	2004	1	NE	4	NE - SW
Estate	2004				
Autunno	2004			4	N
Inverno	2004			2	SE - NE
Totale		29		36	

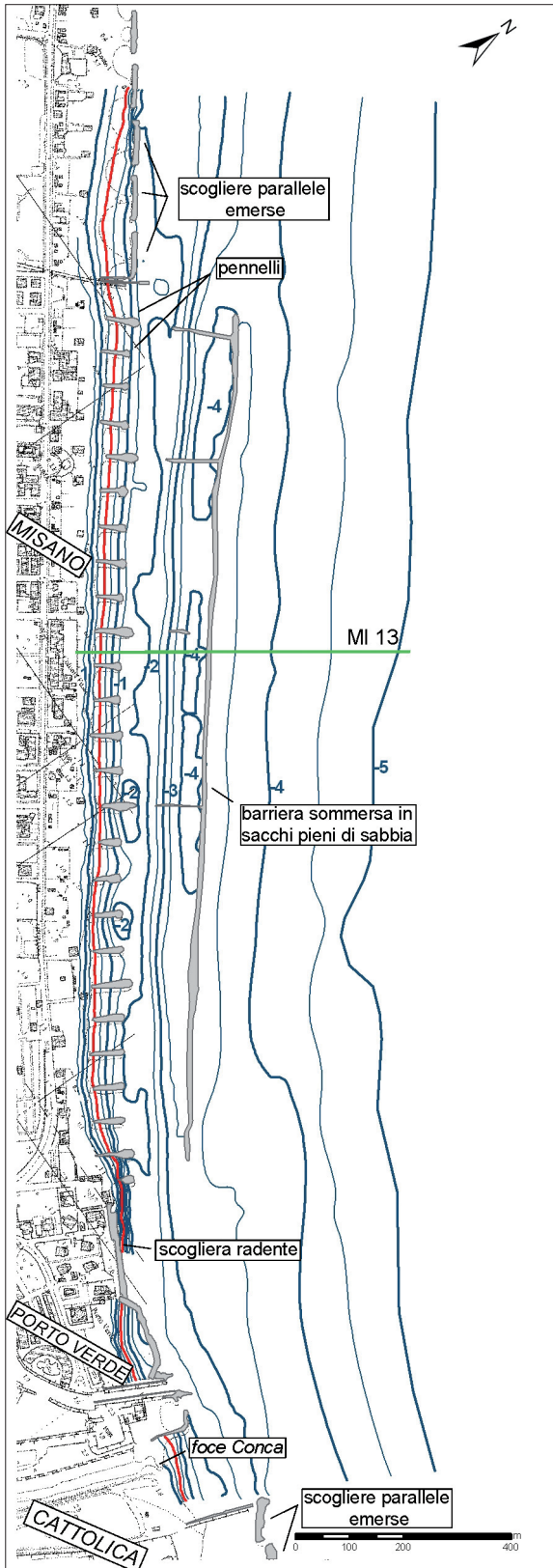


Figura 3 - Misano: carta batimetrica Febbraio 2003.

Il criterio per selezionare un evento di mareggiata è stato la persistenza dell'altezza d'onda oltre il valore di 1,5 m per almeno 6 ore consecutive. In tale maniera tra tutti gli eventi individuati quelli che si sono succeduti dal 2002 fino al 2004 (limite delle elaborazioni) sono stati 29, caratterizzati da direzioni di provenienza di bora (nord-est) e levante (est).

I risultati del confronto suddetto, limitatamente al periodo di interesse 2002-2004, sono riportati in Tabella 2. Si evidenzia una certa differenza tra i due regimi di mareggiata, soprattutto per quanto riguarda la direzione di provenienza del mare, dovuta alla diversa esposizione agli eventi della boa ondometrica, rispetto ai 3 punti al largo in cui è stata effettuata la ricostruzione dello stato del mare tramite modelli.

Dati di monitoraggio e interpretazioni

Misano Adriatico

Il litorale del Comune di Misano si colloca nella parte più a sud della costa emiliano-romagnola, precisamente 2,5 km a nord del confine con la Regione Marche (Fig. 1). In questa zona, i fondali sono piuttosto acclivi, il trasporto solido litoraneo è diretto da sud a nord e ha valori tra i più elevati della costa regionale. Il fronte a mare del comune di Misano ha una lunghezza di 3,2 km ed è interamente protetto da opere rigide realizzate nel corso degli anni '70 (Fig. 3). Partendo da sud, a Porto Verde è presente una spiaggia lunga 150 m protetta da 2 pennelli e da una scogliera sommersa, seguono una scogliera radente lunga circa 200 m, un tratto protetto da 26 pennelli lunghi 60 m e distanziati 60 m l'uno dall'altro e più a nord 7 scogliere parallele prossime alla riva. L'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine ha riguardato i 1.600 m di costa protetti dai pennelli. Occorre sottolineare che, non riuscendo il campo di pennelli a garantire il mantenimento della linea di riva, nel 1983, in occasione del primo intervento di ripascimento con sabbie di cava, è stata realizzata a circa 200 m dalla riva una barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia.

La spiaggia, attualmente costituita da sabbia, in origine era formata da sabbia e ghiaie. Questi sedimenti venivano trasportati a mare dal fiume Conca che sfocia in corrispondenza del confine meridionale del Comune di Misano. A metà degli anni '70 questo corso d'acqua è stato però sbarrato a 3 km dalla foce con una diga che di fatto ha bloccato il trasporto di sedimenti grossolani al mare.

Con l'intervento di ripascimento sono stati apportati 165.300 m³ di materiale sabbioso (Tab. 3). La maggior parte della sabbia è stata sversata nei 600 m

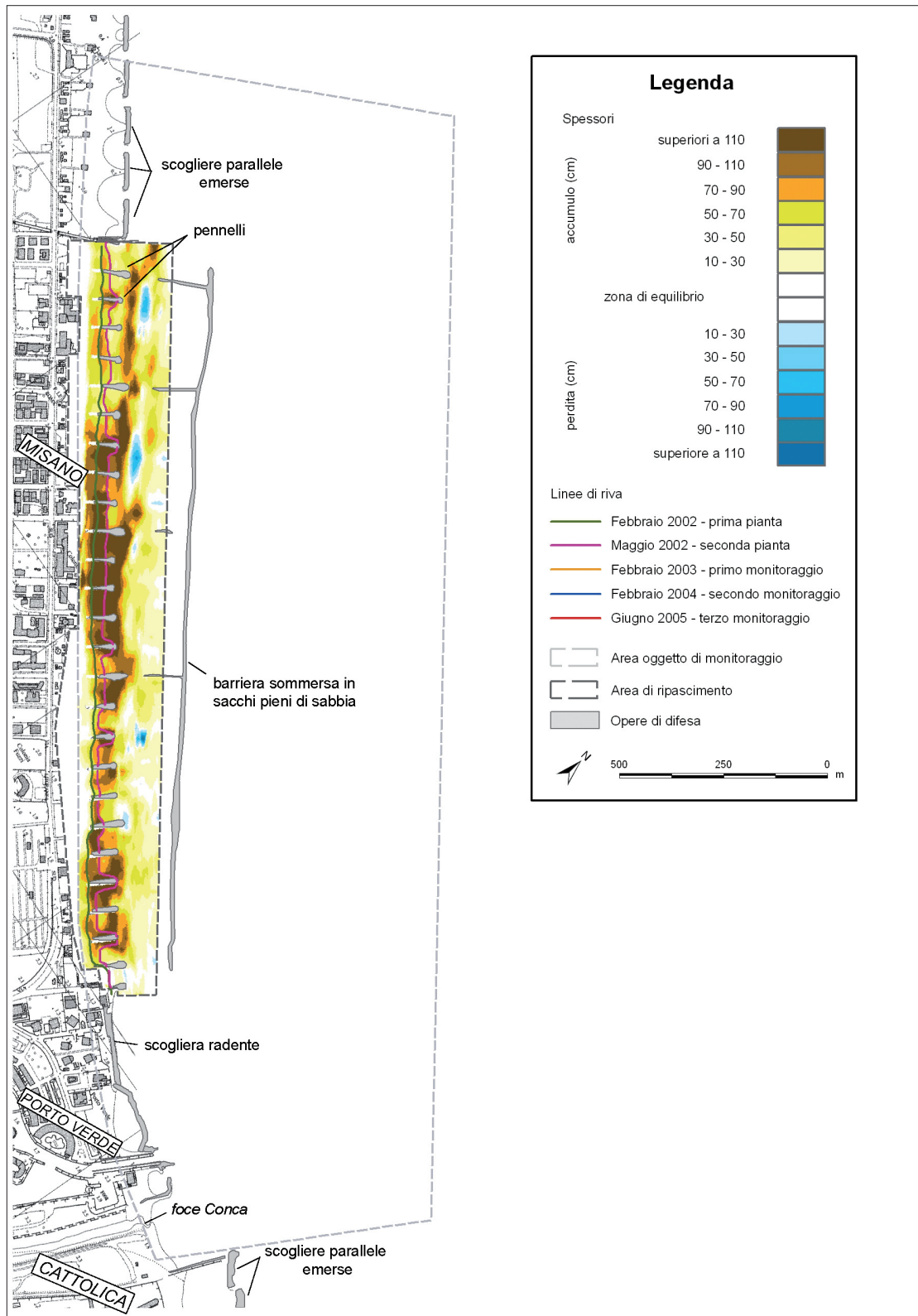


Figura 4 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

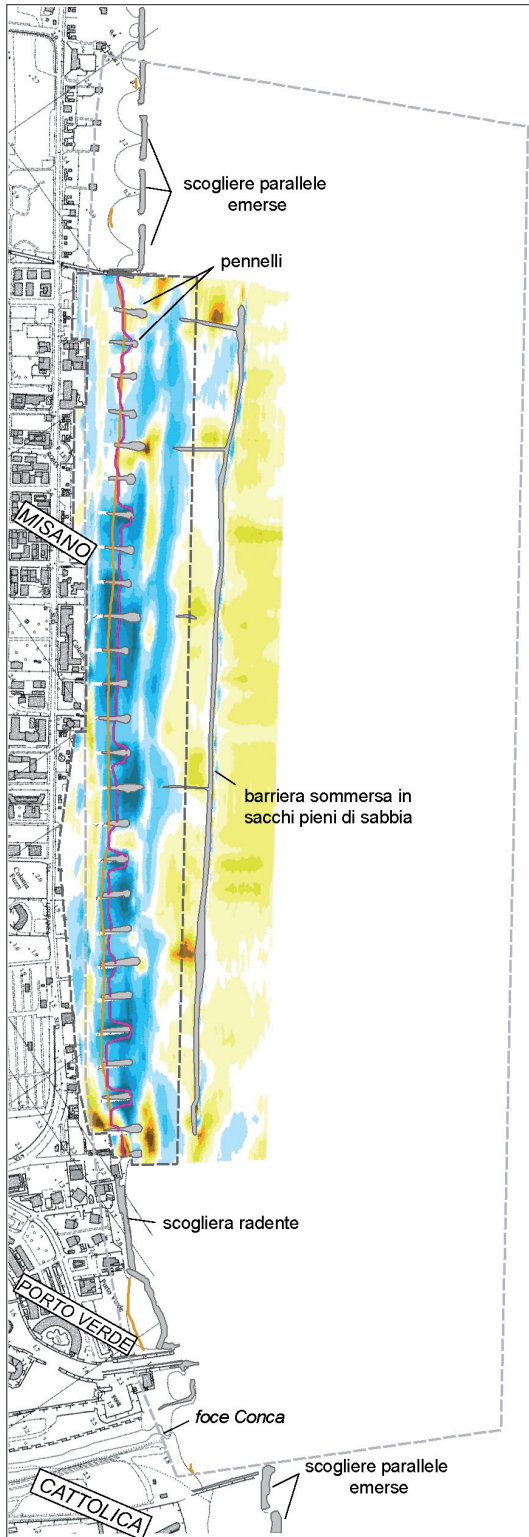


Figura 5 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

centrali, producendo un avanzamento della linea di riva di 30 m in questo settore, rispetto ai 20 m dei tratti di spiaggia laterali (Fig. 4).

Dal confronto tra i rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e quelli relativi al primo monitoraggio (Febbraio 2003) emerge una accentuata migrazione delle sabbie dalla spiaggia emersa a quella sommersa (Fig. 5). Il computo dei volumi di sabbia erosi e/o accumulati, registra una perdita di materiale pari a 70.600 m^3 (43 % della sabbia apportata - Tab. 3), se il limite del calcolo verso mare è la batimetrica dei 3 m. Diversamente, estendendo il calcolo alla profondità di 4 m, le perdite totali risultano di soli 8.600 m^3 (5% del materiale sversato). Risulta quindi che gran parte della sabbia è migrata verso la fascia compresa tra i -3 e i -4 m, precisamente oltre la barriera in sacchi. Questo processo è ben rappresentato dalla Figura 6, che mostra la distribuzione granulometrica lungo il profilo a 1 anno dalla fine dell'intervento. Il grafico evidenzia che sulla spiaggia emersa sono presenti sabbie a granulometria superiore (diametro medio 0,255 mm) rispetto a quelle apportate con il ripascimento del 2002 (diametro medio 0,18 mm), e che queste ultime, sulla base anche dei dati del Piano Costa 1996, sono in equilibrio a profondità prossime ai 2,5 m. La linea di riva presenta un arretramento generalizzato a eccezione degli ultimi 400 m più a nord, dove non ha subito variazioni (Fig. 5).

Occorre sottolineare che il forte spostamento di materiale avvenuto in pochi mesi è stato causato anche dalla successione di mareggiate di forte intensità, verificatesi nel periodo Novembre-Dicembre 2002 (Tab. 1)

Tra Maggio 2003 e Gennaio 2004, per compensare le perdite subite, è stato effettuato un ripascimento integrativo con sabbie prelevate da cave a terra, aventi una granulometria certamente inferiore a quella originaria della battigia di questa zona ($D_{50} = 0,26 \text{ mm}$), sia nel settore già oggetto di intervento che nella spiaggia di Porto Verde. Sul tratto di spiaggia protetto dai pennelli, sono stati apportati 42.300 m^3 di materiale (Tab. 3), mentre a Porto Verde ne sono stati sversati 22.000 m^3 .

Il calcolo dei volumi accumulati o erosi, effettuato confrontando tra loro i piani quotati ottenuti con i rilievi della prima (Febbraio 2003) e della seconda (Febbraio 2004) campagna di monitoraggio, evidenzia anche in questo caso risultati differenti a seconda del limite lato mare considerato. Chiudendo la cella di calcolo alla batimetrica dei 3 m, la perdita è pari a 18.400 m^3 , diversamente estendendo il calcolo alla batimetrica dei 4 m, la perdita si riduce a 900 m^3 . Inserendo in questo bilancio anche il volume delle sabbie portate con l'ultimo ripascimento (42.300 m^3), si nota come questi apporti abbiano a malapena compensato la perdita del 2002 (Tab. 3). An-

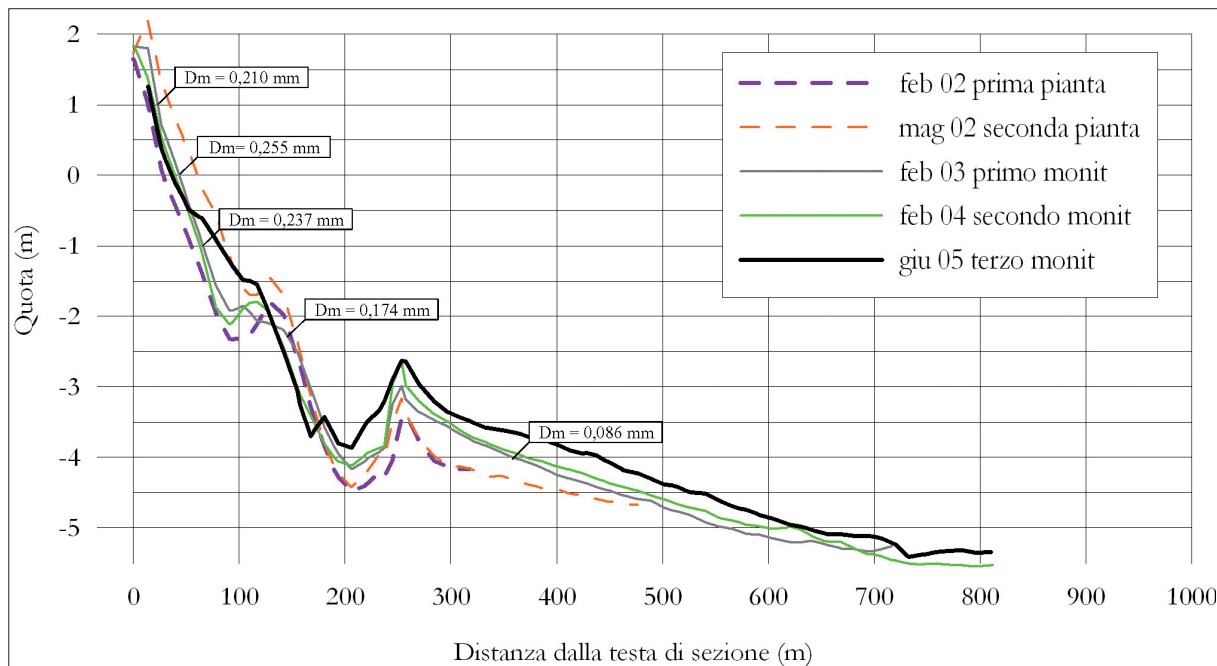


Figura 6 - Variazioni granulometriche lungo il profilo MI13.

che in questo caso, la maggior parte delle sabbie sembra essersi spostata nella fascia di fondale compresa tra i -3 m e i -4 m, mentre una parte è fuoriuscita dalla cella verso nord. La mappa di Figura 7 infatti evidenzia una notevole erosione nel settore centro-settentrionale dell'intervento e un buon recupero nella parte meridionale, dovuto in buona misura all'arrivo di sabbia proveniente dal ripascimento della spiaggia di Porto Verde. Nonostante tutti questi spostamenti di materiale, la linea di riva risulta pressoché invariata. L'unica variazione riscontrata è un arretramento di pochi metri nel settore centrale e in quello settentrionale.

Nel periodo compreso tra Marzo 2004 e Giugno 2005 sono stati eseguiti ulteriori ripascimenti per complessivi 50.000 m³ di sabbia (Tab. 3).

Questi interventi rendono complesso il calcolo dei volumi dei sedimenti erosi o accumulati ottenuto dal confronto tra i rilievi del terzo monitoraggio (Giugno 2005) e quelli del secondo (Febbraio 2004). La differenza tra i piani quotati evidenzia infatti accumuli apparenti per un ammontare di 11.300 m³, limitando il calcolo alla batimetrica dei 3 m, e 69.300 m³ estendendolo ai 4 m (Fig. 8).

In realtà, inserendo in bilancio l'intervento supplementare di 50.000 m³ effettuato nei mesi antecedenti i rilievi, anche la terza campagna conferma la tendenza generale della spiaggia di Misano all'erosione, con perdite che tendono a ridursi notevolmente se il limite della cella di calcolo viene spostato sulla batimetrica dei 4 m, anziché su quella dei 3 m.

Dal punto di vista morfologico questo si traduce in un innalzamento generale del fondale verso il largo, mentre non si riscontrano variazioni significative della linea di riva, tranne un arretramento di 5-10 m nei 250 m più a nord nella zona di intervento.

In sintesi nella zona dei pennelli di Misano la Regione ha apportato 165.300 m³ di sabbie sottomarine nel Febbraio 2002 ed altri 92.300 m³ di materiale molto fine, provenienti da cave a terra e dalla pulizia delle spiagge, con vari apporti distribuiti negli anni 2003-2004-2005 (Tab. 3).

Rispetto all'apporto totale di 257.300 m³, a distanza di 3 anni e mezzo è risultato che le perdite sono state pari al 66% se il limite della cella lato mare corrisponde alla batimetrica dei 3 m e del 13%, se lo stesso limite è costituito dalla batimetrica dei 4 m (Figg. 9 e 6).

E' quindi evidente come la scarsa efficacia a riva dei ripascimenti sia dovuta in primo luogo alla granulometria inadeguata dei sedimenti apportati.

D'altro canto occorre sottolineare che sabbie grossolane, costituenti originali della spiaggia di Misano,



Figura 7 – Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

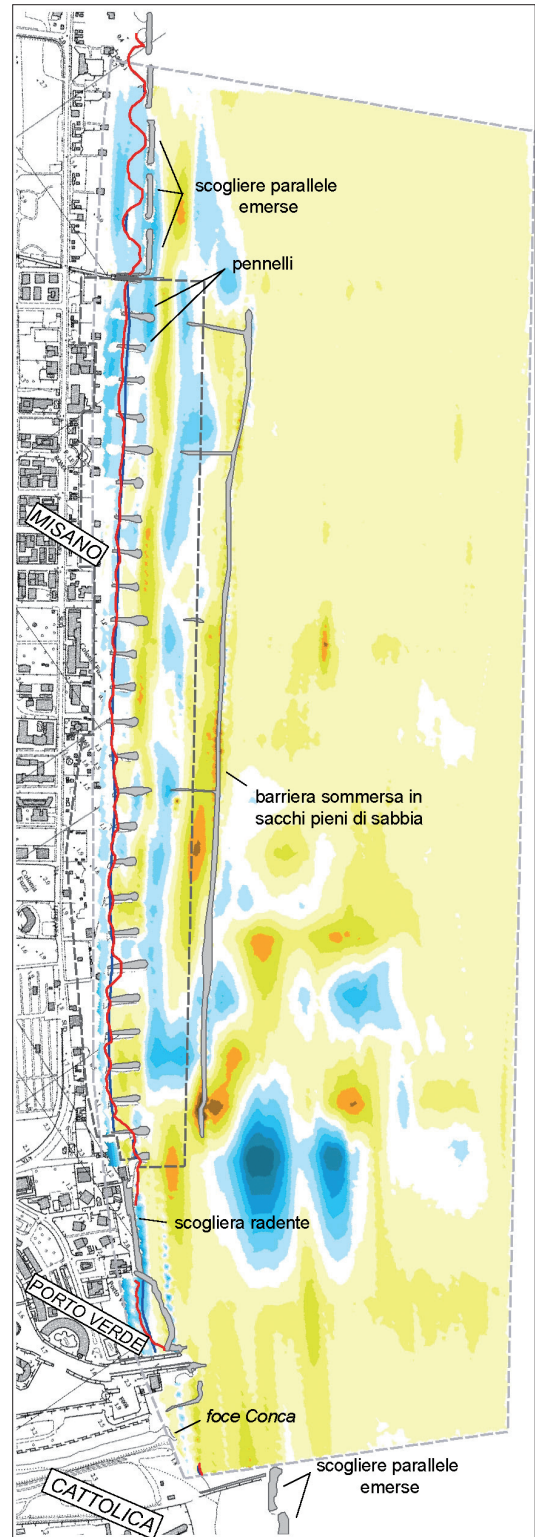


Figura 8 – Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

non sono reperibili né negli accumuli sottomarini e neppure nelle cave a terra. Va aggiunto che, da verifiche effettuate direttamente con gli amministratori del Comune di Misano e con gli operatori di spiaggia, il ripascimento con ghiaia non è gradito. Tutto ciò rende evidentemente complicata la risoluzione del problema dell'erosione di questo litorale.

Altri elementi che contribuiscono al dissesto del litorale misanese sono il mancato arrivo di materiale da sud, dalle Marche, dove il disfacimento della falesia tra Pesaro e Gabicce è stato bloccato negli ultimi decenni con opere rigide. Le poche sabbie in circolazione vengono così catturate subito a sud di Misano dalle scogliere di Cattolica e Gabicce.

L'unica fonte di alimentazione naturale sarebbe quindi il fiume Conca ma, come si è già detto, questo fiume è stato sbarrato a metà degli anni '70 con una diga che sottende un vaso lungo circa 1.500 m e da altre 5 traverse realizzate più a monte.

Va aggiunto infine che la selva di pennelli e scogliere esistenti sul litorale milanese determinano forti effetti riflettenti sul moto ondoso.

Come si vede le campagne di monitoraggio, realizzate su profili distanti circa 100 m, hanno fornito indicazioni molto utili per la gestione futura di questo tratto di costa il cui equilibrio è ormai strettamente legato ai ripascimenti artificiali. Per concludere occorre precisare che la maggior parte del materiale che viene qui apportato non va disperso, ma va ad alimentare il "nastro trasportatore litoraneo", avente direzione sud - nord, che garantisce l'equilibrio dei 15 km di costa comprendenti, oltre quello di Misano, anche i litorali di Riccione e Rimini Sud. In pratica il tratto costiero più importante sotto il profilo turistico della Regione Emilia-Romagna.

Riccione

Il Comune di Riccione ha un fronte mare di 6,2 km interamente privo di opere di difesa rigide, che è entrato in erosione nel tratto più a sud sul finire degli anni '70, quando è stata completata la difesa con opere rigide dei litorali di Gabicce, Cattolica e Misano (Fig. 1).

Nella consapevolezza che l'avanzamento verso nord delle difese rigide avrebbe modificato radicalmente i caratteri paesaggistico-ambientali della propria spiaggia, l'amministrazione comunale di Riccione ha cercato di opporsi nel 1978 alla realizzazione delle scogliere di Misano, poste a ridosso del proprio confine, poi ha scelto di non costruire opere rigide sul proprio arenile. Per questo, a partire dal 1983, l'equilibrio di questa spiaggia è stato garantito con interventi di ripascimento periodici da sud verso nord. Per ridurre le perdite di sedimento, questi interventi sono stati accompagnati dalla costruzione di una barriera longitudi-

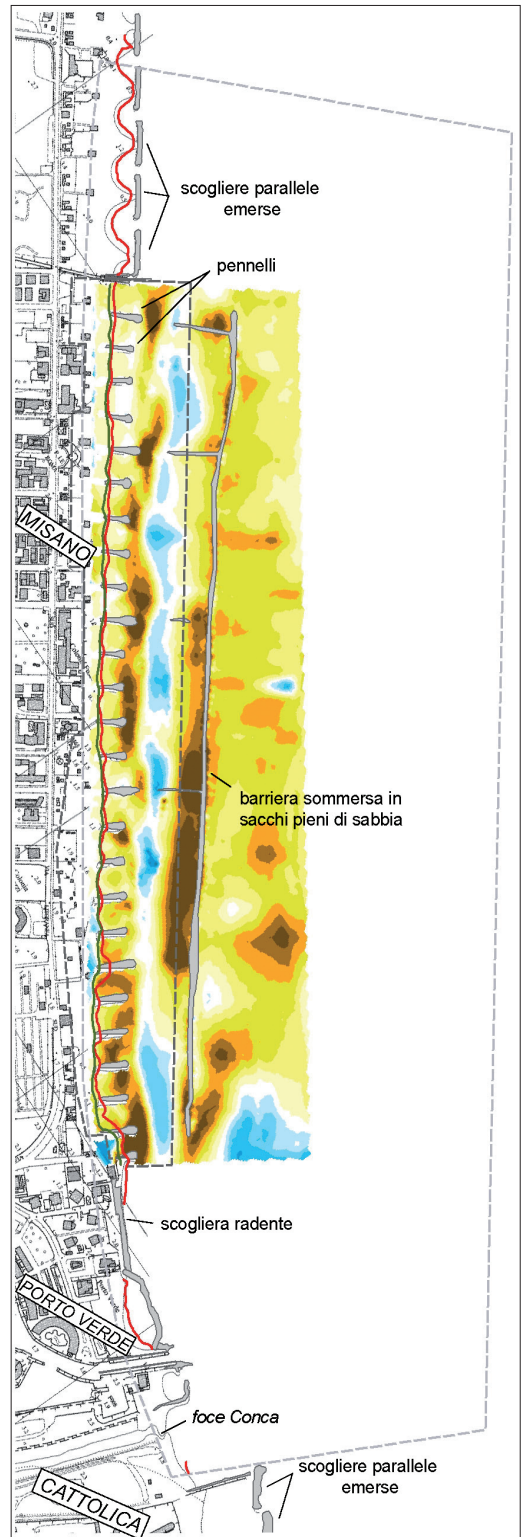


Figura 9 – Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e terzo monitoraggio (Giugno 2005).

nale di sacchi pieni di sabbia, lunga 3 km, posta a una distanza di 150-180 m dalla battigia (Liberatore et al., 1993; Preti et al., 1997), realizzata in varie fasi tra il 1983 e il 1998 (Fig. 10).

L'intervento di ripascimento del 2002 ha interessato il tratto più a sud del litorale comunale per una lunghezza di 2.100 m, dove sono stati sversati 253.700 m³ di sabbie provenienti da accumuli sottomarini. L'apporto più consistente è avvenuto nel primo chilometro a sud, dove è stato prodotto un avanzamento della linea di riva di circa 50 m; diversamente nel settore settentrionale la spiaggia ha subito un allargamento di 20-30 m (Fig. 11).

Nei 10 mesi intercorsi tra la fine dei lavori di ripascimento (Aprile 2002) e la prima campagna di monitoraggio (Febbraio 2003), si stima una fuoriuscita di materiale pari al 40% (102.400 m³) di quello apportato e si osserva un arretramento della linea di riva di 20-25 m nel tratto meridionale (Fig. 12). Si ha invece uno stato di sostanziale equilibrio nel settore settentrionale. La figura mostra inoltre che una parte della sabbia asportata dalla spiaggia emersa è andata a rinforzare la barra, mentre un'altra parte significativa si è spostata verso nord, rialzando così i fondali davanti a Riccione centro. Totalmente differente è la situazione al momento del secondo monitoraggio (Febbraio 2004). Nell'area in esame viene infatti valutato un accumulo di sedimenti pari a 78.700 m³, in minima parte (12.100 m³) derivanti da apporti artificiali effettuati tra Maggio 2003 e Gennaio 2004, quindi successivamente alla prima campagna. La linea di riva si presenta generalmente in equilibrio e in stato di avanzamento nel tratto settentrionale, mentre limitati arretramenti si osservano nel settore meridionale, a 500 m dalle ultime scogliere di Misano Adriatico (Fig. 13).

Malgrado nel periodo intercorso tra Maggio e Dicembre 2004 siano stati apportati ulteriori 29.600 m³ di sabbia proveniente da cave a terra (Tab. 3), il bilancio tra i rilievi della seconda campagna (Febbraio 2004) e della terza (Giugno 2005) risulta negativo. La perdita netta di materiale è infatti di circa 70.000 m³, valore questo ottenuto sommando al risultato del calcolo dei volumi tra i due piani quotati 2004 e 2005 (-39.600 m³), il volume di materiale portato a ripascimento nel periodo compreso tra i due monitoraggi (29.600 m³ - Tab. 3).

Per quanto attiene alla distribuzione areale delle perdite e degli accumuli, risulta che le perdite sono abbastanza diffuse, omogenee e con poche zone in forte approfondimento posizionate sulla spiaggia emersa, sulla prima parte di quella sommersa e a ridosso della barriera in sacchi (Fig. 14).

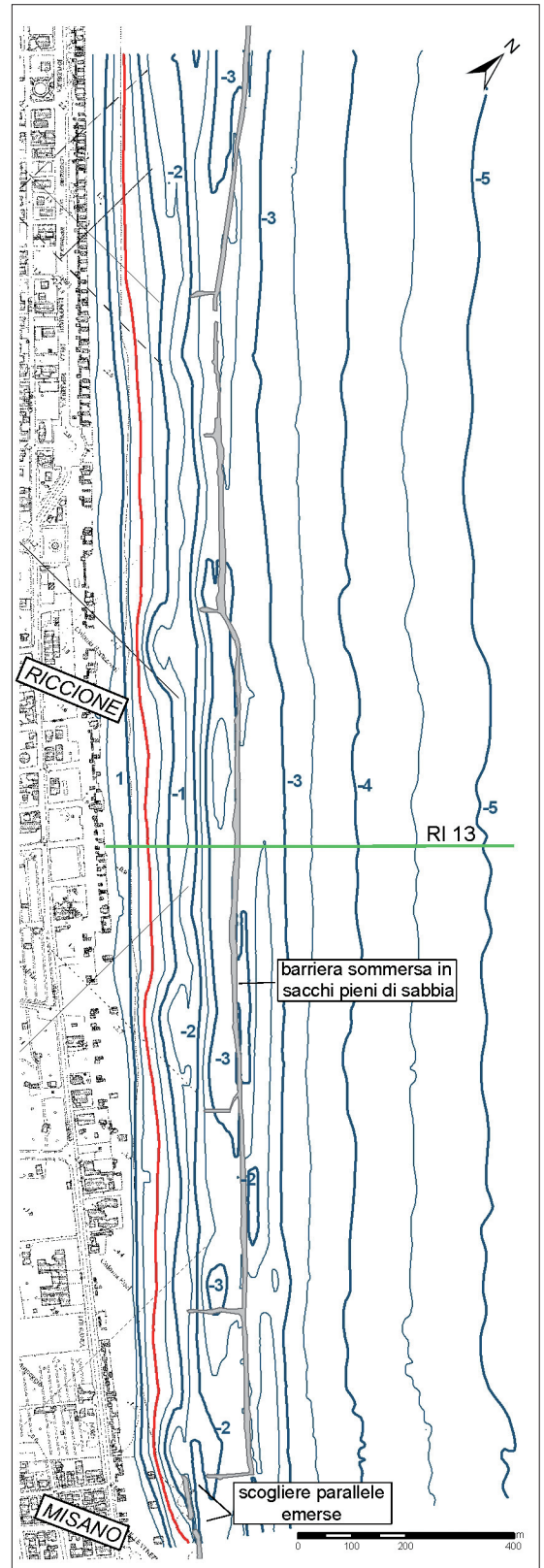


Figura 10 - Riccione: carta batimetrica Febbraio 2003.

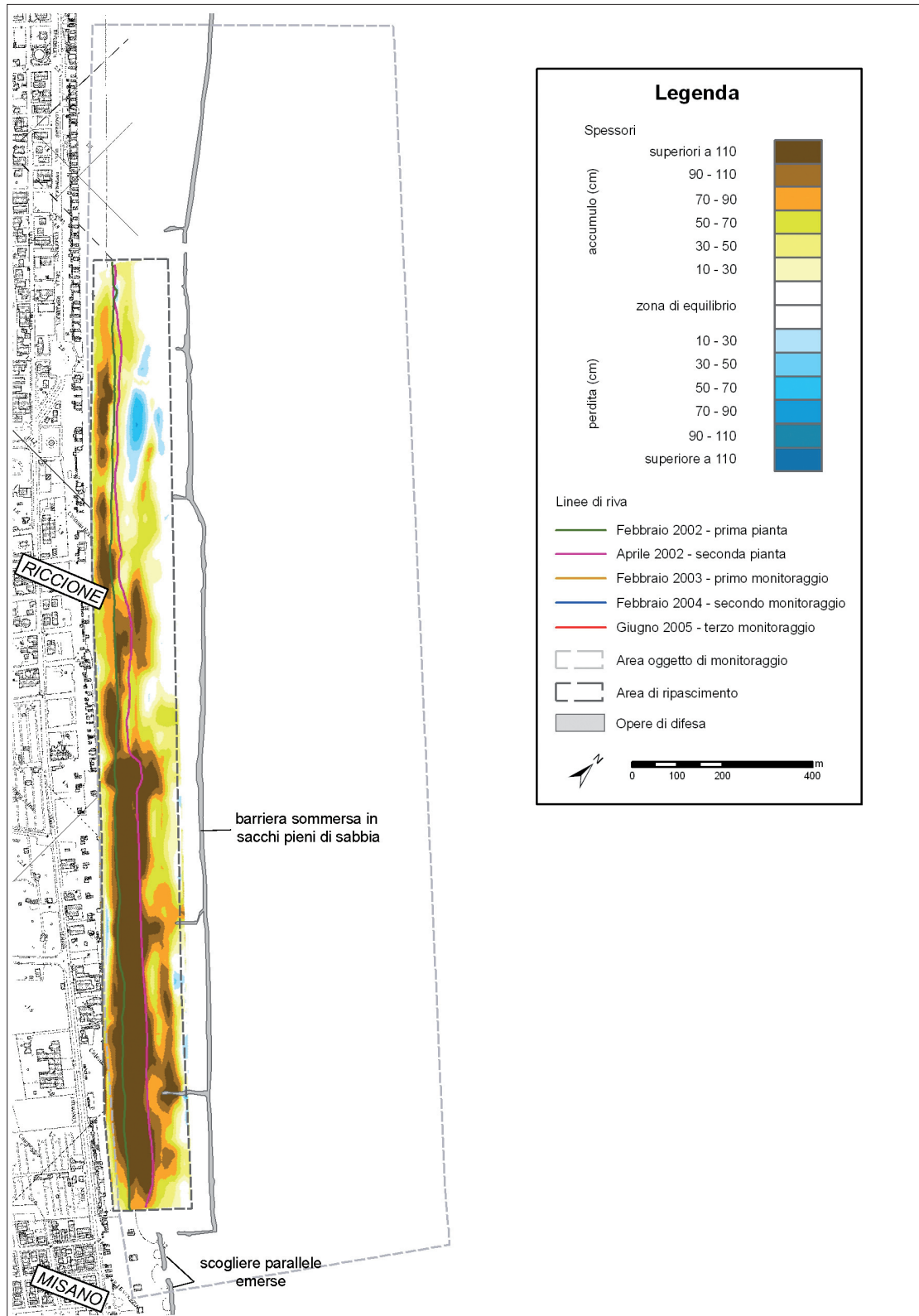


Figura 11 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

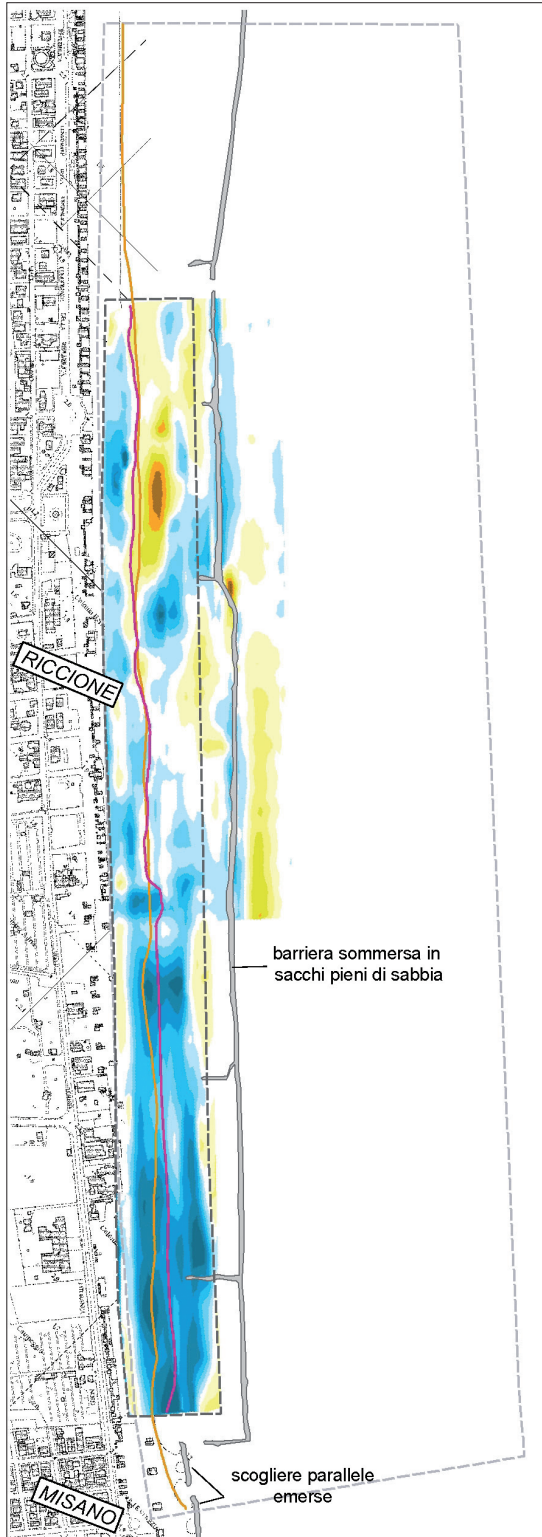


Figura 12 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

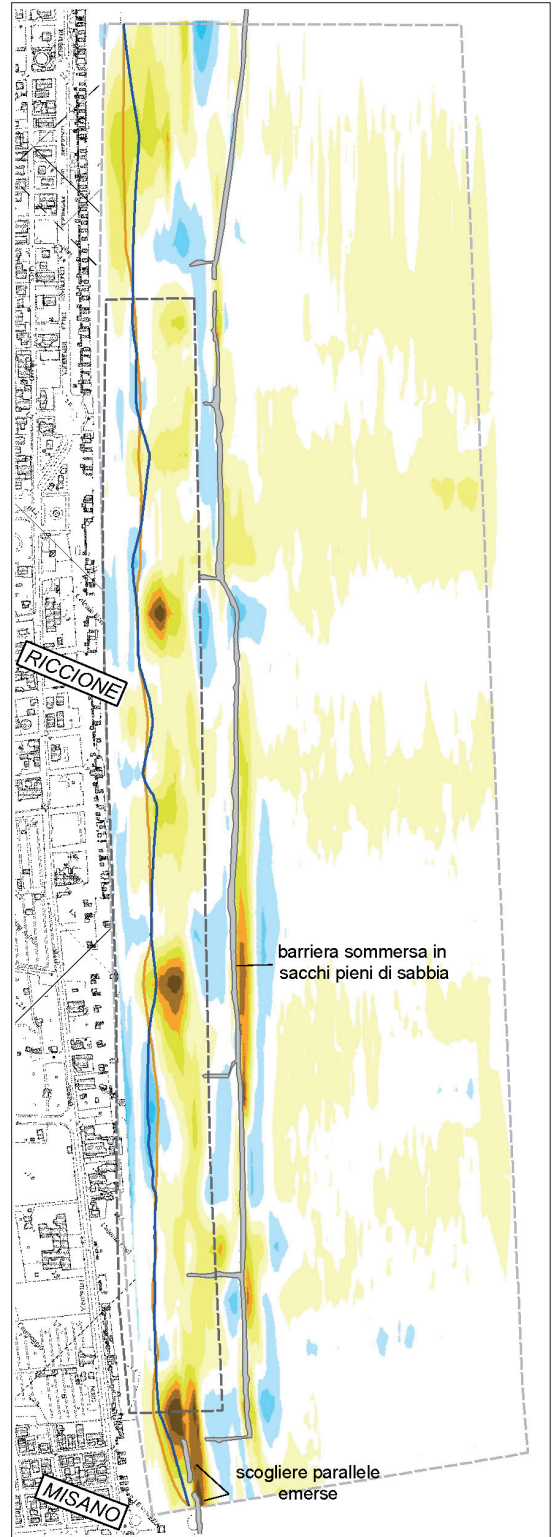


Figura 13 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

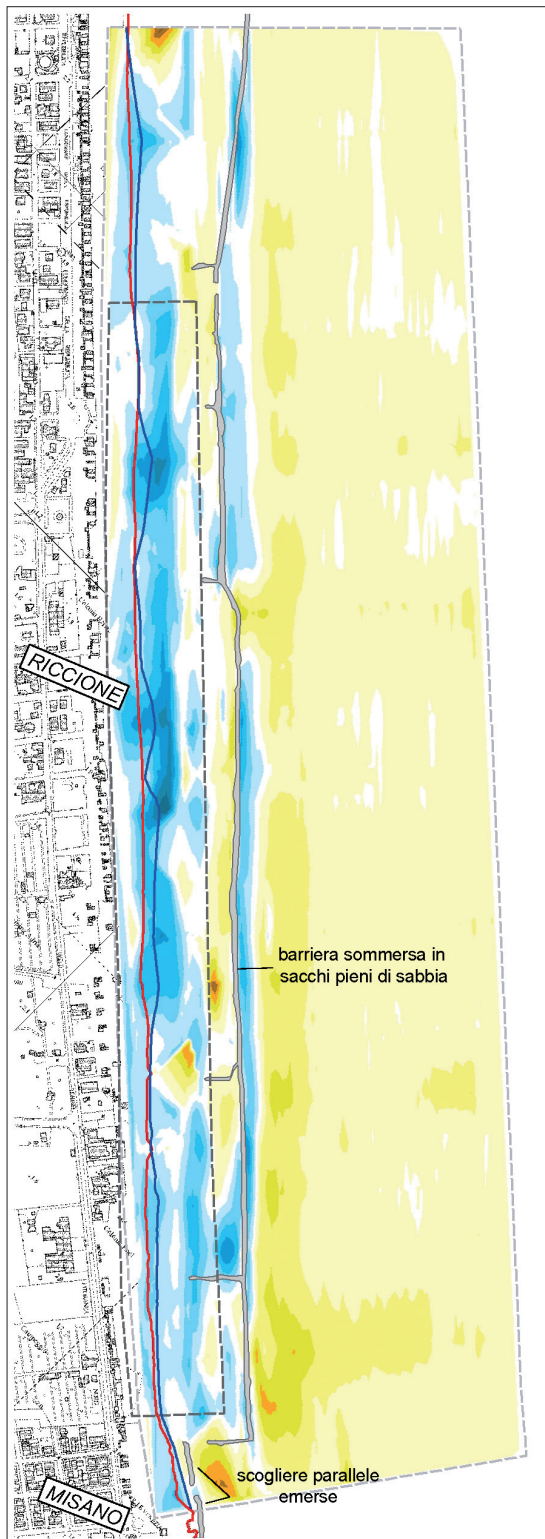


Figura 14 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

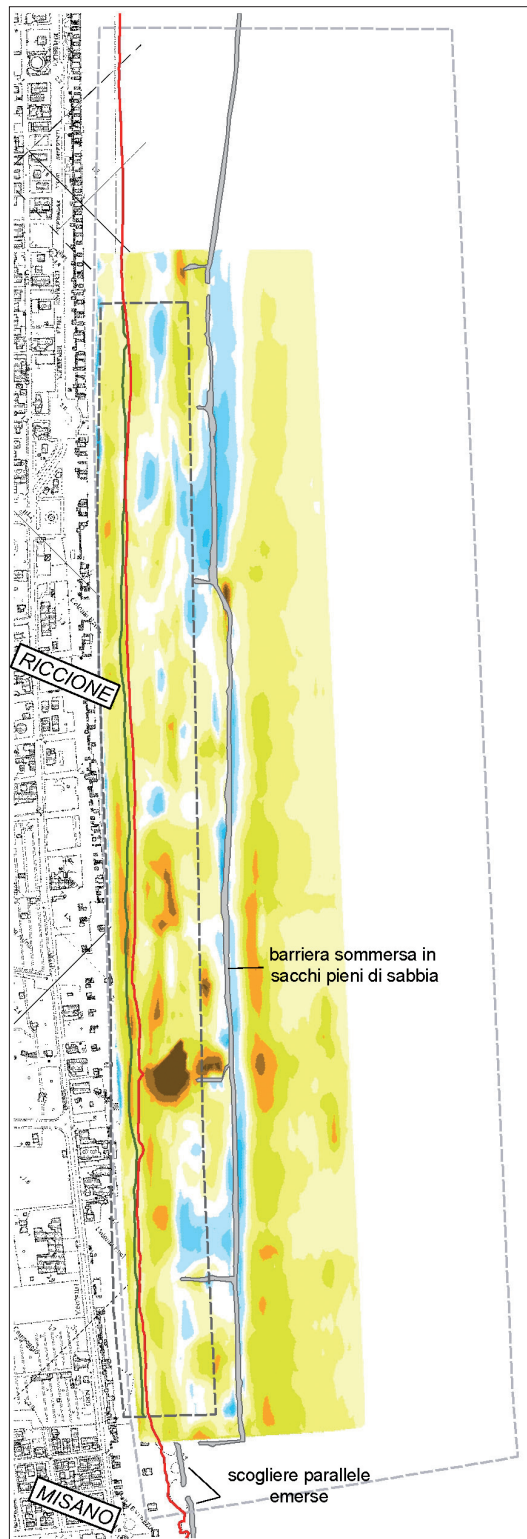


Figura 15 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

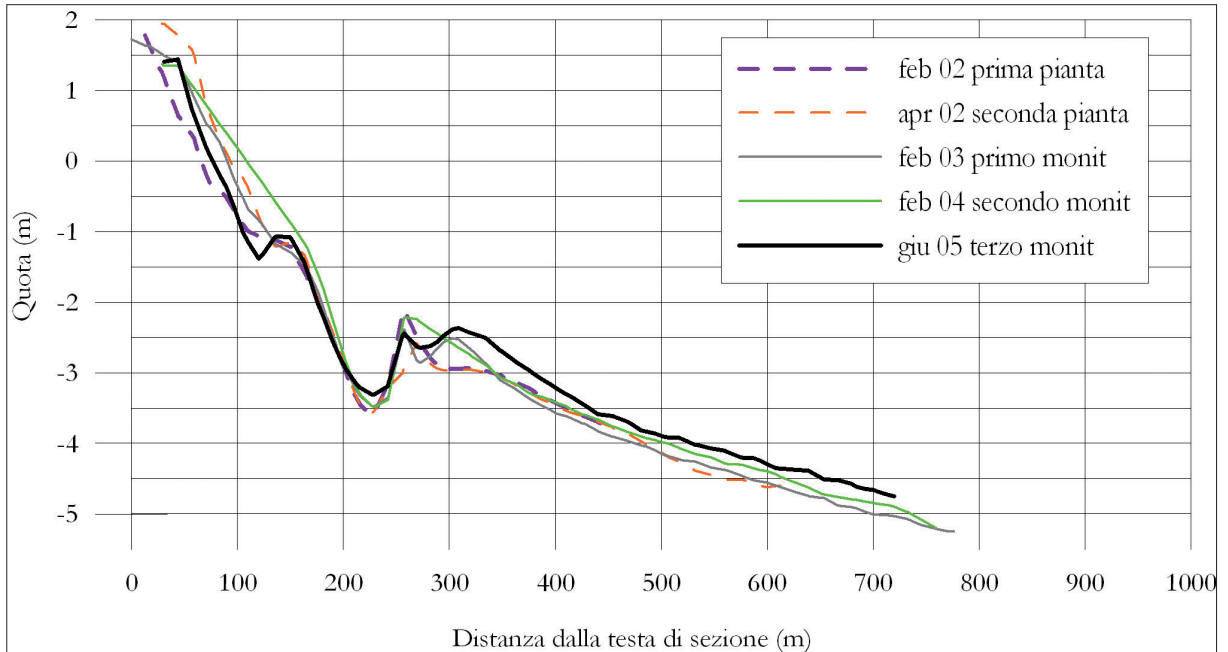


Figura 16 - Profilo RI13.

Gli accumuli sono invece presenti nella zona interna alla barriera e sui fondali esterni ad essa, dove si riscontrano innalzamenti di 30-40 cm. È interessante sottolineare al proposito la novità costituita dall'innalzamento di alcuni decimetri di tutta la vasta area di fondale compresa tra le batimetriche dei 3 e dei 5 m (Fig. 15).

Si suppone che la causa principale dell'andamento altalenante delle perdite di sedimento subite dall'area di intervento nei tre anni successivi al ripascimento, risieda nella variabilità delle condizioni meteo-marine all'epoca dei tre monitoraggi. La fuoriuscita di materiale pari al 40% di quello apportato con il ripascimento del 2002 registrata in occasione della prima campagna (Febbraio 2003) è del tutto analoga a quella verificatasi nello stesso periodo nella spiaggia di Misano Adriatico e pare imputabile all'eccezionalità del clima che ha caratterizzato gli ultimi mesi del 2002 e i primi del 2003. In questo periodo pochi sono stati i giorni di mare calmo, mentre numerose sono state le mareggiate con acqua alta superiore al metro (Tab. 1). La spiaggia di Riccione sud risente tra l'altro in maniera marcata degli effetti causati dalle scogliere di Misano e della mancanza di alimentazione naturale da sud.

Le buone condizioni meteorologiche nel 2003 (Tab. 2) e l'arrivo di sedimenti erosi dalla spiaggia di Misano sono le cause principali alla base del bilancio positivo riscontrato in occasione della seconda campagna di monitoraggio (Febbraio 2004). A 2 anni di distanza dal ripascimento del 2002, la spiaggia di Riccione sud si trova quindi in una situazione di quasi equilibrio. La forte deriva da sud verso nord dei sedimenti lungo costa fa sì che la porzione meridionale della costa di Riccione risulti la più sollecitata dall'erosione e quella settentrionale la più stabile.

All'epoca della terza campagna (Giugno 2005) la linea di riva dell'intero tratto di costa ha subito un arretramento medio di circa 15 m rispetto a quella rilevata nella seconda campagna di monitoraggio (Febbraio 2004). La causa del dissesto è imputabile a un nuovo inverno burrascoso (Tab. 2) e al persistere della sottoalimentazione di sedimento da sud.

In sintesi, sulla Spiaggia di Riccione la Regione ha apportato 253.700 m³ di sabbie sottomarine nel Febbraio 2002 ed altri 41.700 m³ di sabbia più fine, proveniente prevalentemente da cave a terra, con vari apporti distribuiti negli anni 2003-2004 (Tab. 3).

Rispetto all'apporto totale di 295.400 m³, a distanza di 3 anni e mezzo, le perdite sono risultate pari al 35% (Figg. 15 e 16).

Dai conteggi effettuati è emerso che il tasso di perdita più alto si ha nei primi 500 m sottoflutto alle

scogliere di Misano ($45 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{anno}$), le perdite si riducono notevolmente nei secondi 500 m ($14 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{anno}$), mentre a 1 km dalle scogliere si raggiunge l'equilibrio di bilancio.

In realtà, la maggior parte del materiale fuoriuscito si è spostato verso nord, garantendo l'equilibrio dei 10 km di arenile che vanno da Riccione al porto di Rimini, una delle spiagge di fatto più importanti d'Europa.

Igea Marina

Il litorale del Comune di Bellaria-Igea Marina ha una lunghezza di 6,7 km ed è interamente protetto da scogliere parallele emerse costruite circa 40 anni fa. Anche in questo tratto la corrente litoranea proviene da sud ed è diretta verso nord (Figg. 1 e 17).

A partire dagli anni '80, a causa della subsidenza e del mancato arrivo di sedimenti per via naturale da sud, anche questi litorali protetti da una fitta serie di scogliere sono entrati in erosione. Visto che un tratto di oltre 700 m del litorale di Igea era ormai privo di spiaggia, per cui durante le mareggiate il mare raggiungeva diverse colonie costruite negli anni '30, si è deciso di inserirlo nei tratti da sottoporre a ripascimento con sabbie sottomarine.

Con l'intervento di ripascimento del 2002 sono stati apportati 65.200 m^3 di sabbie sottomarine su un tratto di spiaggia lungo 1.125 m ($58 \text{ m}^3/\text{m}$), compreso tra la zona Colonie e il Rio Pircio ed è stato prodotto un avanzamento della linea di riva di 30-35 m (Fig. 18).

Nel 2002, al momento del suddetto intervento era però già avviato lo studio per la realizzazione in zona di un intervento sperimentale finalizzato alla riduzione degli impatti determinati dalle scogliere sul fondale e sulla qualità delle acque di balneazione.

Questo studio si è tradotto nel corso del 2003 nella trasformazione di 6 scogliere parallele emerse in un'unica scogliera con cresta a livello del medio mare e nella realizzazione di due pennelli in roccia, in parte emersi e in parte sommersi, a chiusura della cella dell'intervento sperimentale avente una lunghezza di 800 m.

Nell'autunno 2003 l'area oggetto di ripascimento è stata suddivisa in due dal pennello nord dell'intervento sperimentale, per cui i 400 m più a sud del tratto di spiaggia oggetto di ripascimento sono diventati la parte nord dell'intervento sperimentale, mentre i restanti 700 m sono rimasti dietro le scogliere parallele emerse più a nord. In questo modo l'area di ripascimento è stata caratterizzata da processi evolutivi diversi in quanto differenti erano le tipologie di opere di

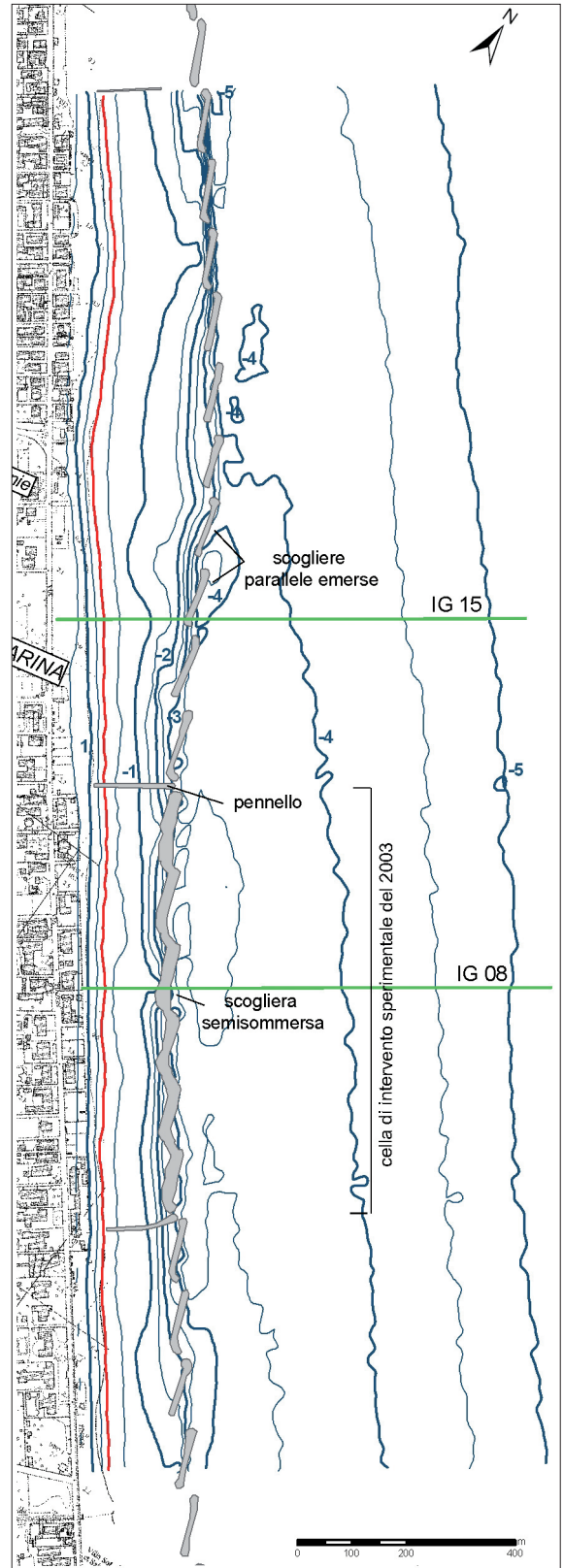


Figura 17 - Igea Marina: carta batimetrica Febbraio 2003.

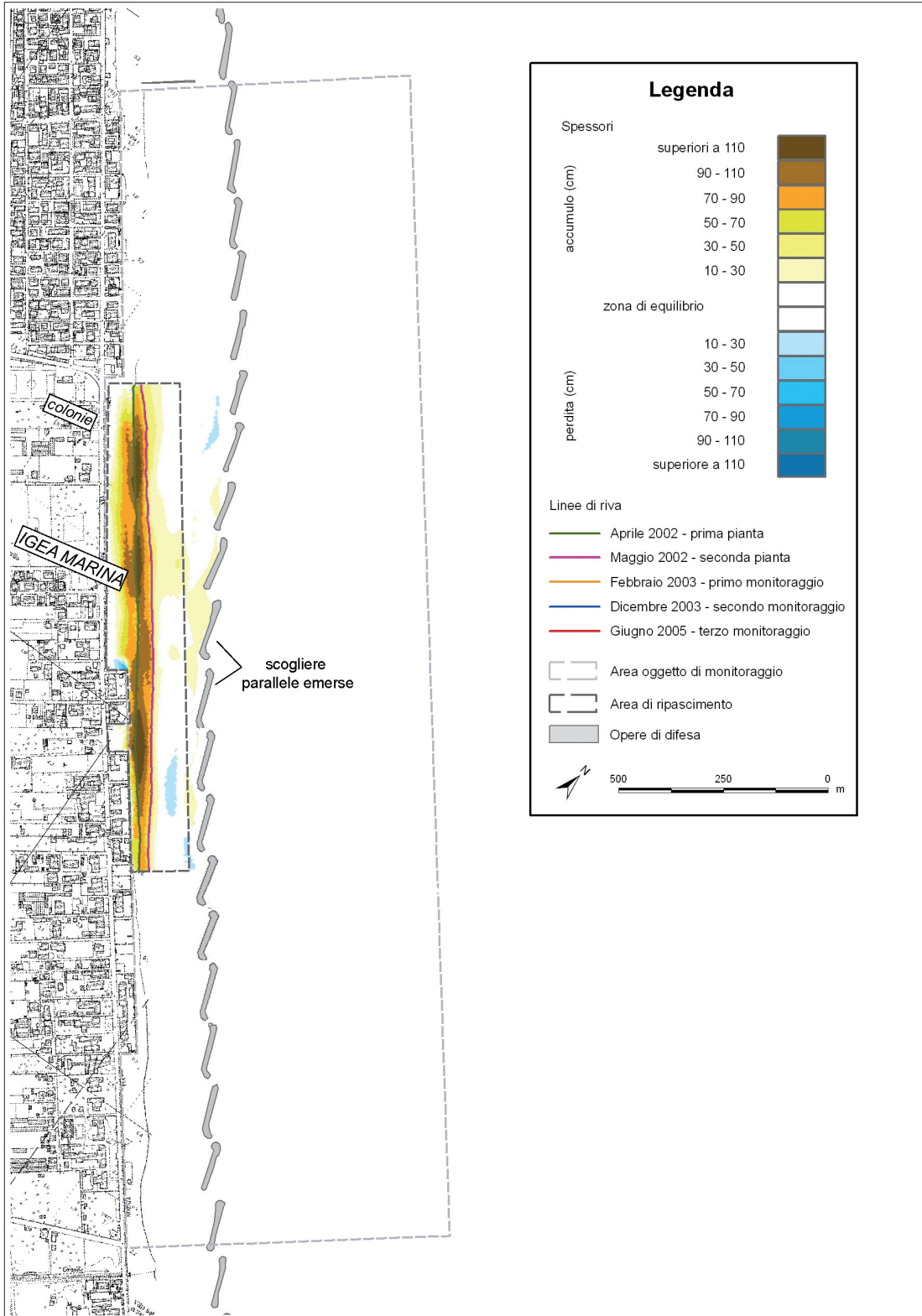


Figura 18 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Aprile 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

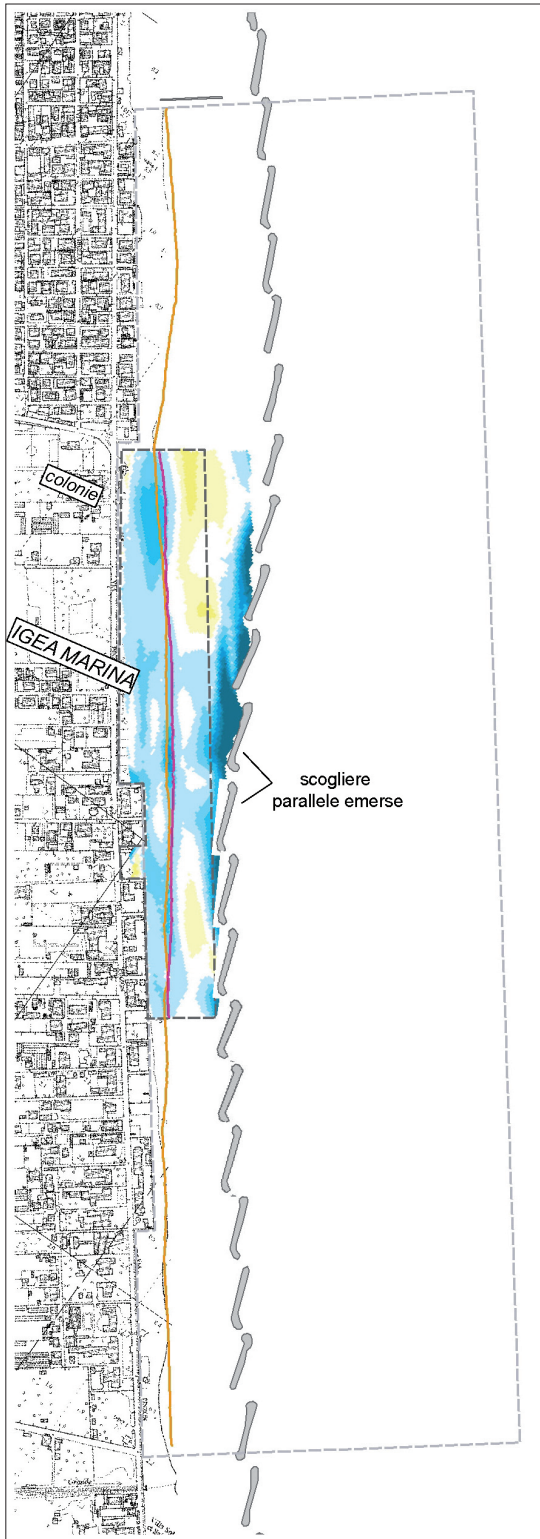


Figura 19 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

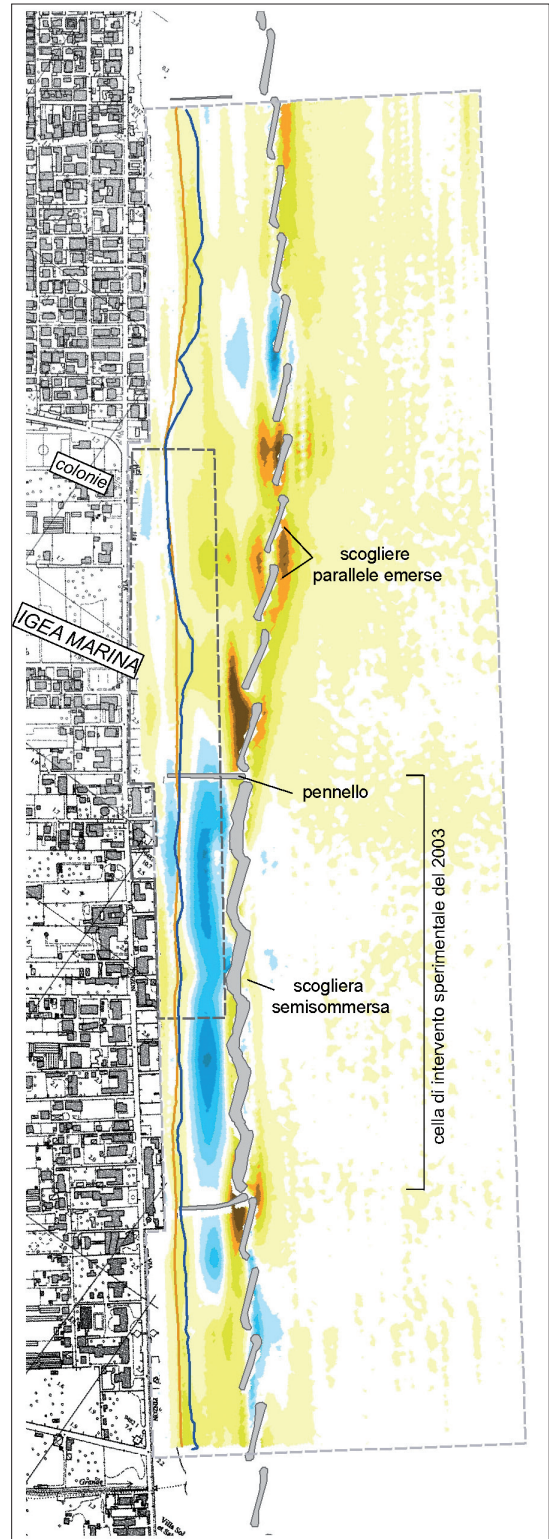


Figura 20 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

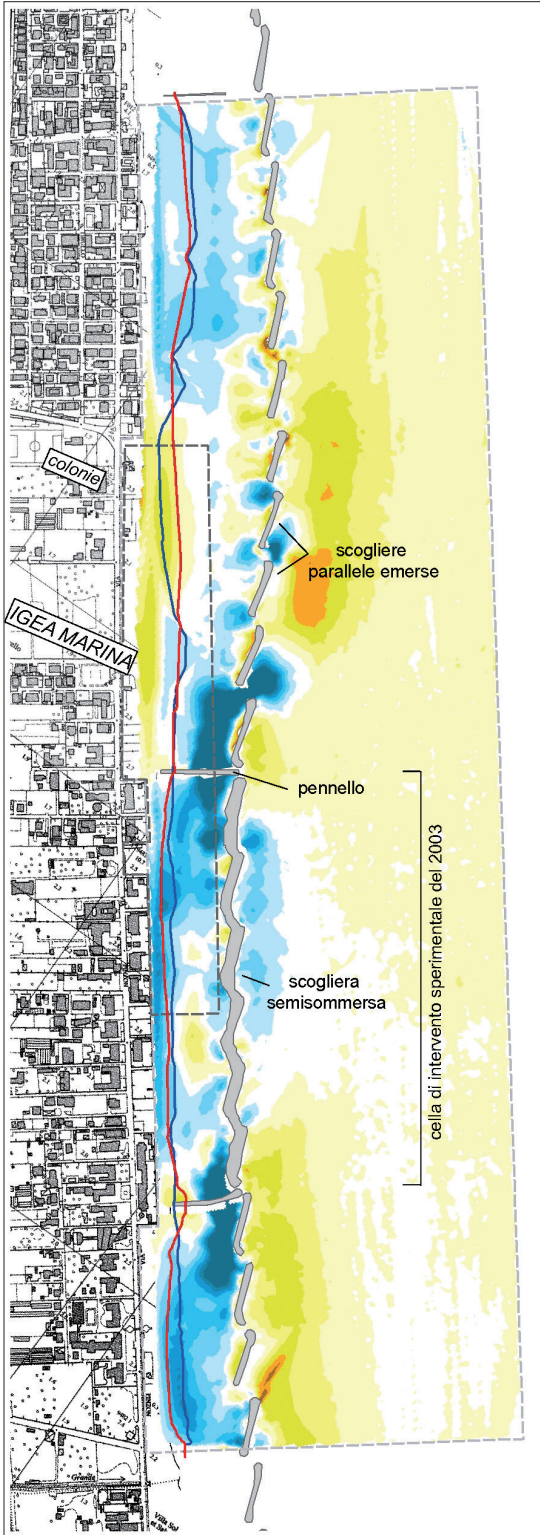


Figura 21 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

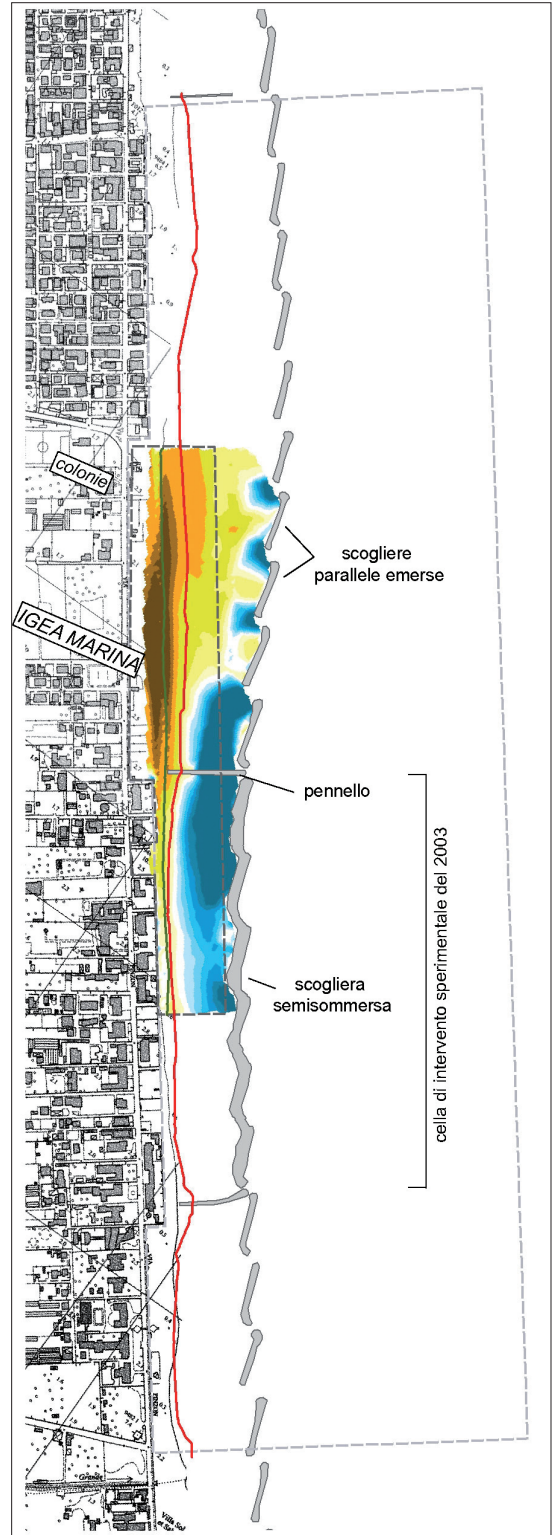


Figura 22 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Aprile 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

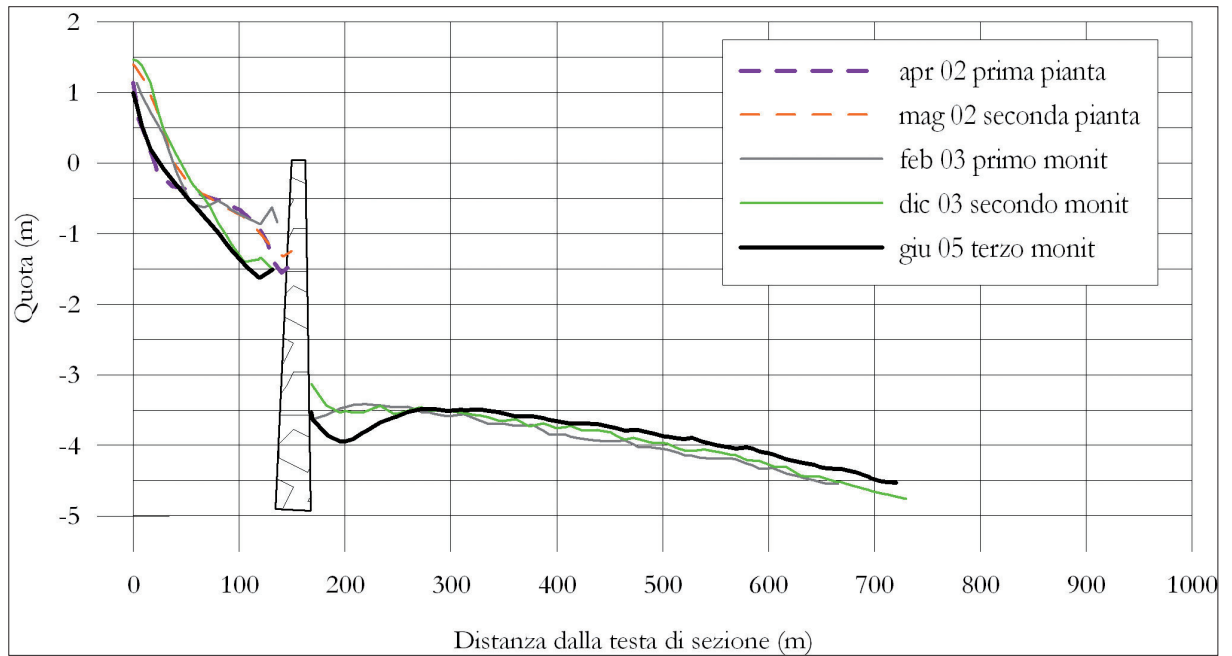


Figura 23 - Profilo IG08.

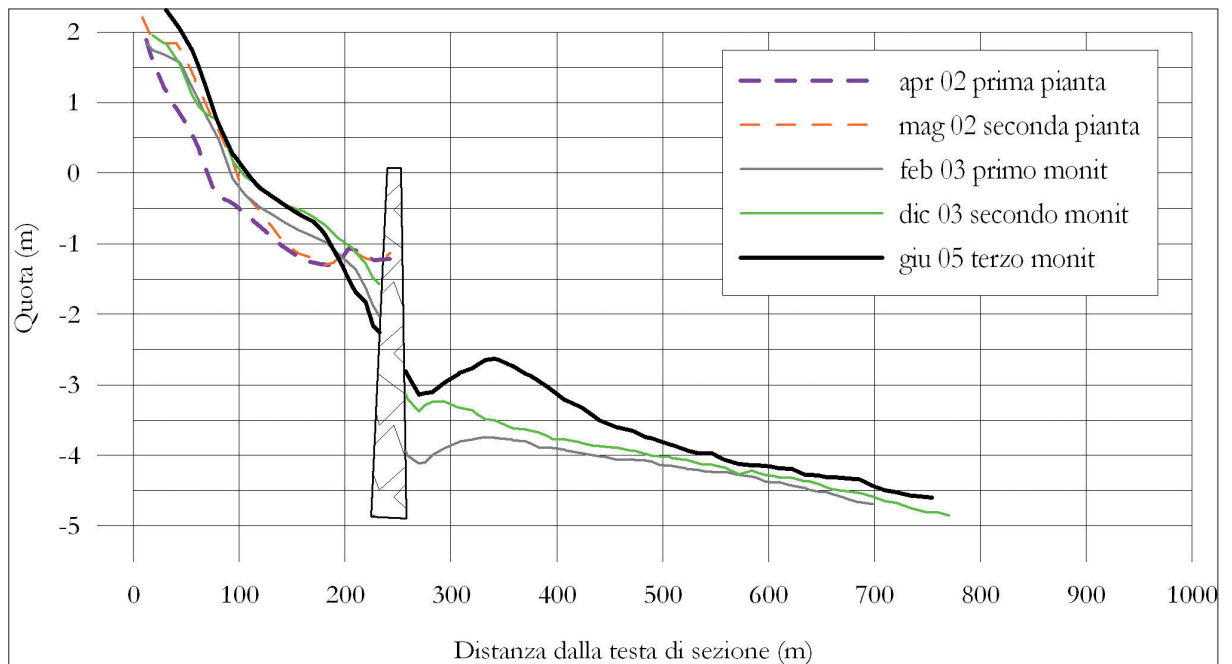


Figura 24 - Profilo IG15.

difesa rigide antistanti.

All'epoca del primo monitoraggio (Febbraio 2003), prima dell'esecuzione dei lavori di modifica delle scogliere e di costruzione dei pennelli, le perdite registrate all'interno della cella di ripascimento lunga 1.125 m, comprendente spiaggia emersa e sommersa fino alle scogliere, ammontavano a circa 55.500 m³.

Osservando la Figura 19 risulta evidente però che buona parte del materiale fuoriuscito proveniva dai tomboli presenti al retro delle scogliere e da un approfondimento dei varchi. Se si limita la cella lato mare alla batimetrica di 1 m, la perdita risulta infatti pari a circa 26.000 m³, quindi la metà. In ogni caso, pur con qualche margine di errore dovuto al fatto che alcuni profili del rilievo di 2a pianta non si spingono fino alle scogliere, il dato è di grande importanza perché evidenzia come anche le spiagge protette da scogliere parallele emerse possono subire rilevanti perdite di materiale a seguito di una serie di mareggiate di forte intensità come quelle del Novembre-Dicembre 2002. Nel caso in esame le perdite sono da imputare in buona misura alla significativa differenza di quota del fondale tra la zona protetta e quella lato mare alle opere. Internamente alle scogliere, grazie alla sedimentazione di sabbie molto fini e limi, la profondità è di circa 1 m, esternamente circa 4 m. In occasione di mareggiate molto intense i materiali più fini vengono messi in sospensione e portati dalle correnti di ritorno all'esterno della zona protetta attraverso i varchi. Altre tendenze significative che emergono dalla Figura 19 sono un leggero abbassamento della spiaggia emersa e il rialzo di un tratto di fondale sul lato nord. Ciò sta a dimostrare che all'interno delle scogliere c'è un leggero trasporto solido e che la sua direzione è sud-nord. Per quanto riguarda la linea di riva, tra il rilievo di fine lavori (Aprile 2002) e il primo monitoraggio (Febbraio 2003), su tutto il tratto oggetto di ripascimento si osserva un arretramento medio di 5-10 m (Fig. 19).

Tra Marzo e Aprile 2003, nei 400 m più a sud, nell'area delle 6 scogliere ribassate, sono stati portati a ripascimento 5.000 m³ di sabbia supplementari per contrastare le perdite subite nell'inverno.

Al momento dell'esecuzione della seconda campagna di monitoraggio (Dicembre 2003) gli effetti dei pennelli sulla dinamica costiera non si erano ancora manifestati perché completati solo 2 mesi prima, ma quelli del ribassamento delle 6 scogliere sì, perché il lavoro era stato fatto in primavera. Infatti la Figura 20 evidenzia erosione nel tratto meridionale, quello al retro della scogliera semisommersa e un innalzamento del fondale nel settore settentrionale, all'interno e all'esterno delle scogliere parallele emerse. Il calcolo dei volumi riferito alla cella lunga 1.125 m dell'intervento di ripascimento risulta comunque positivo, sia considerando come limite lato mare la batimetrica di 1 m, sia facendo riferimento al lato interno delle scogliere. Nel primo caso si ha un accumulo di 4.700 m³, nel secondo di circa 33.150 m³. La linea di riva risulta stabile in corrispondenza della cella di sperimentazione, mentre nel tratto settentrionale, dietro le scogliere parallele emerse, è avanzata notevolmente.

Tra Gennaio 2004 e Aprile 2005 nel tratto più a sud della spiaggia inclusa nella cella chiusa dai due pennelli sono stati apportati 5.000 m³ di sabbie fini.

Per una migliore comprensione delle dinamiche che hanno caratterizzato il tratto di litorale di Igea Marina, oggetto tra il 2002 e il 2003 di due distinti interventi, il primo di ripascimento e il secondo di riduzione di quota di 6 scogliere, sovrapposti per un tratto di 400 m, occorre sottolineare che nel Dicembre 2003 la prima mareggiata verificatasi subito dopo il completamento dei pennelli ne ha dissestato la parte sommersa, quella più prossima alla linea delle scogliere. A seguito di ciò si sono formati nel fondale avvallamenti profondi 5-6 m che per circa 2 anni hanno profondamente influenzato i processi di accumulo e di erosione dei sedimenti in un tratto di costa superiore agli 800 m dell'intervento sperimentale. Gli effetti derivanti dalla realizzazione dei due pennelli e dal loro dissesto sono ben evidenziati dalla Figura 21 ottenuta mettendo a confronto le situazioni riscontrate con la seconda (Dicembre 2003) e la terza campagna di monitoraggio (Giugno 2005). I danni ai pennelli, la formazione di profondi canali erosivi e le perdite subite dalla cella, contrastano notevolmente con la situazione nel settore settentrionale, dove viene calcolata una fuoriuscita di materiale decisamente inferiore e si osserva un accentuato avanzamento della linea di riva. E' ragionevole supporre che i sedimenti depositati in questo settore provengano dalla cella di sperimentazione, passando attraverso il varco prodotto sul pennello nord dalle mareggiate del Dicembre 2003. Riassumendo, il processo evolutivo dell'intervento di ripascimento del 2002 a Igea Marina è stato fortemente influenzato dalla realizzazione di un intervento sperimentale sulle scogliere e dalle sue vicissitudini per cui al termine dei 3 anni di monitoraggio si possono riportare i seguenti risultati:

- nel settore settentrionale, difeso con scogliere parallele emerse e lungo 700 m, si registra un leggero bilancio negativo dei volumi di sedimento (5.450 m³);
- nel settore meridionale, difeso con la barriera semisommersa per 400 m, le perdite di sabbia sono state notevoli sia sulla spiaggia emersa che su quella sommersa (57.600 m³).

Nell'arco dei 3 anni di monitoraggio, il computo volumetrico finale delle perdite, riferito alla cella avente

per limite lato mare la linea delle scogliere, ammonta a 52.150 m³ di sabbia su un totale di 65.200 m³ di materiale apportato. A questo andrebbe aggiunta una quota parte dei circa 10.000 m³ portati a ripascimento nella porzione meridionale della cella sperimentale. L'analisi evolutiva evidenzia una forte perdita di materiale sul fondale tra scogliera semisommersa e battigia e, al contrario, un forte accumulo su spiaggia emersa e fondale nella zona al retro delle scogliere emerse (Fig. 22, 23 e 24).

Anche in questa zona però si sono avute forti perdite dietro la scogliera più a sud dovuto al forte flusso in uscita dal varco formatosi nel pennello a seguito del dissesto e in corrispondenza degli altri 3 varchi tra le scogliere.

La linea di riva del Giugno 2005 risulta in leggero avanzamento nei 400 m dell'intervento sperimentale e in forte avanzamento (30-40 m) dietro le scogliere emerse.

La parziale sovrapposizione dell'intervento di ripascimento con quello sperimentale e il danneggiamento dei pennelli, cui ha fatto seguito la formazione di canali erosivi profondi fino a 5 m causati dalle forte correnti di ritorno dovute al differente *piling-up* che si instaura durante le mareggiate tra la zona protetta dalla scogliera parallela a cresta ribassata e quelle laterali con scogliere emerse e quelle esterne (Fig. 23), hanno indubbiamente reso più complessa l'operazione di analisi e interpretazione dei dati. D'altro canto questa si è rivelata come una ottima opportunità per confrontare il diverso comportamento delle opere e gli spostamenti della sabbia.

San Mauro e Savignano

I primi 900 m di spiaggia sulla destra della foce del fiume Rubicone ricadono nei territori dei comuni di Savignano (200 m) e di San Mauro (700 m).

Questo tratto costiero, come quello di Igea Marina, rientra nel paraggio lungo 20 km interamente protetto da scogliere parallele emerse che va dai moli di Rimini e quelli del porto di Cesenatico (Fig. 1).

In corrispondenza del litorale di Savignano e San Mauro le scogliere sono state realizzate nei primi anni '70, ma, a causa della subsidenza e della riduzione del trasporto di sabbia a mare da parte del Rubicone, la spiaggia è in arretramento da diversi anni.

Occorre rilevare che questo tratto di costa non è afflitto solo da erosione, ma, a causa della configurazione delle opere presenti in zona, anche da problemi di degrado della qualità di acque e fondali.

Per favorire il ricambio delle acque nella zona confinata tra il pennello in roccia presente in destra foce (Fig. 25) e le opere di difesa, nel 2001 la prima scogliera a ridosso della foce è stata ribassata al livello medio mare.

L'intervento di ripascimento del 2002 ha riguardato solamente i primi 450 m di litorale in destra Rubicone.

Con l'intervento sono stati apportati 21.000 m³ di sabbia sottomarina (46 m³/m) ed è stato prodotto un allargamento della spiaggia di 50 m a Savignano e di 25 m a San Mauro (Fig. 26 e Tab. 3).

I rilievi del primo monitoraggio (Febbraio 2003) mostrano una situazione del tutto singolare: dal calcolo dei volumi risulta un accumulo di 25.500 m³ di materiale, pari quindi al 120 % degli apporti artificiali. Tutta l'area compresa tra le scogliere e la spiaggia evi-

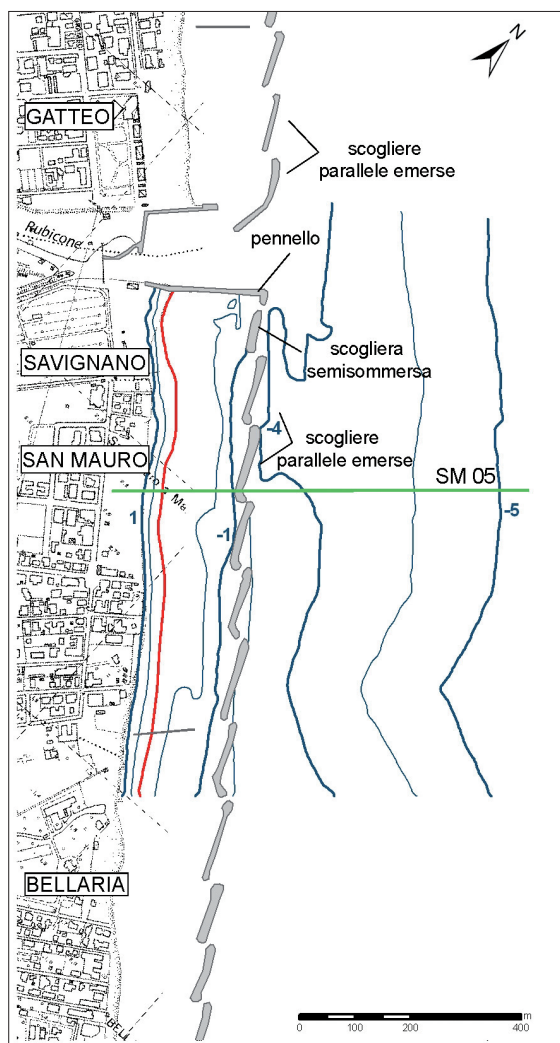


Figura 25- San Mauro e Savignano: carta batimetrica Febbraio 2003.

denza un rialzo di quota. L'accumulo maggiore si ha a ridosso della prima scogliera, quella ribassata (Fig. 27). La linea di riva è stabile o in notevole avanzamento a S. Mauro. Diversamente a Savignano, al retro della scogliera ribassata, si è avuto un arretramento di 20 m.

Ai fini del monitoraggio è interessante sottolineare come l'intervento sia stato effettuato al retro di una scogliera semisommersa e di 3 parallele emerse. Tenuto conto della presenza del pennello di foce, che chiude la cella d'intervento sul lato nord, si tratta di una situazione di notevole interesse.

Contrariamente a quanto appena osservato, i calcoli volumetrici effettuati sui rilievi del secondo monitoraggio (Novembre 2003) evidenziano un bilancio negativo: le perdite ammontano a 31.100 m^3 , alle quali va sommato un apporto artificiale di 1.500 m^3 di sabbia effettuato poco prima dei rilievi, nell'Ottobre 2003. Si evidenzia una situazione di forte erosione generale sia del fondale che della spiaggia emersa. La linea di riva presenta un arretramento di 20 m su tutto il fronte. Si riscontrano accumuli di limitata estensione soltanto a ridosso delle barriere emerse (Fig. 28).

Un bilancio deficitario, ma di minor entità rispetto al precedente, viene rilevato anche in occasione della terza campagna (Giugno 2005) (Fig. 29). Le perdite ammontano a 15.300 m^3 , alle quali vanno sommati 2.600 m^3 di sabbia portati a ripascimento nell'Ottobre 2004. In questo breve tratto di litorale a sud della

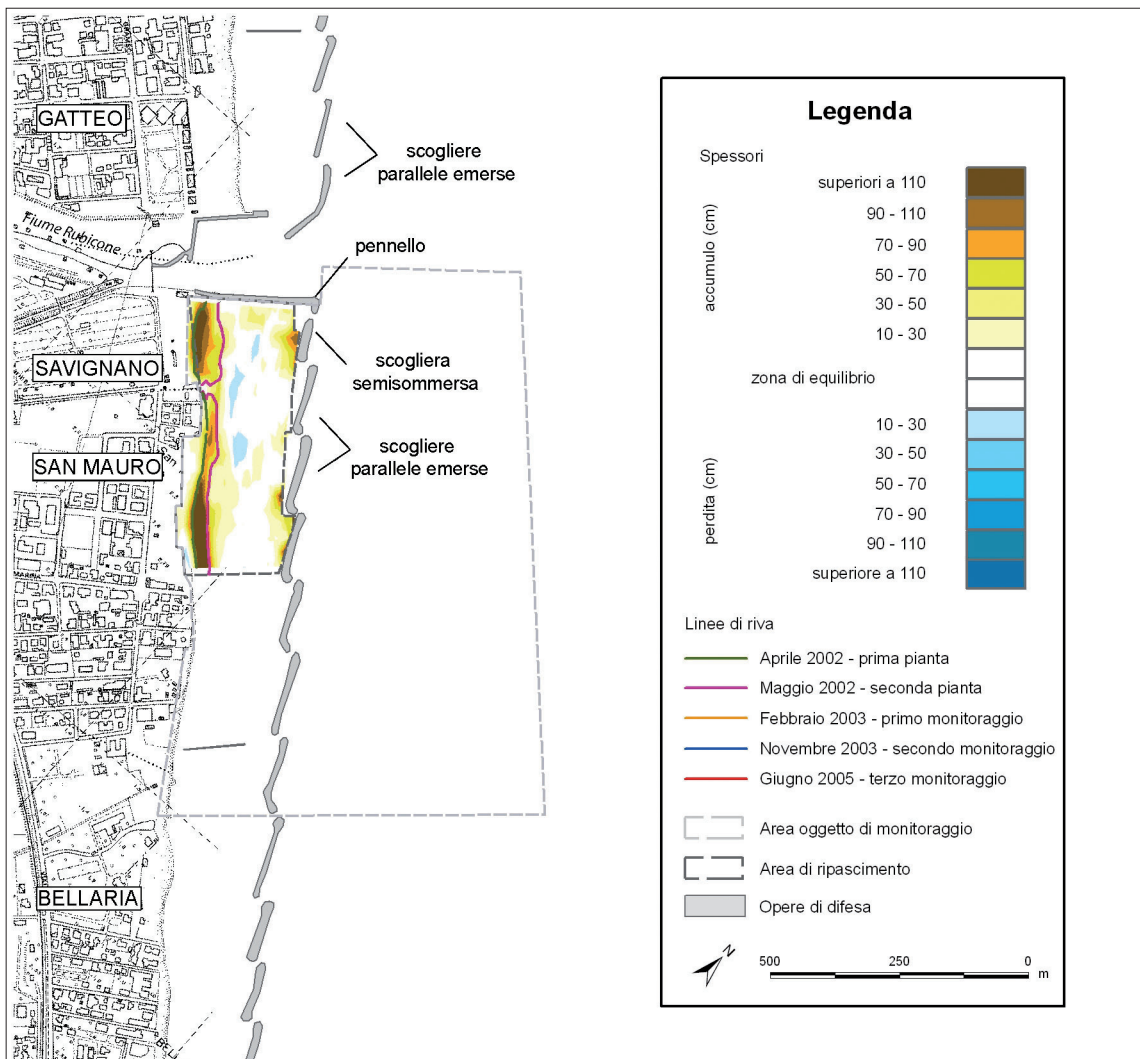


Figura 26 – San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Aprile 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

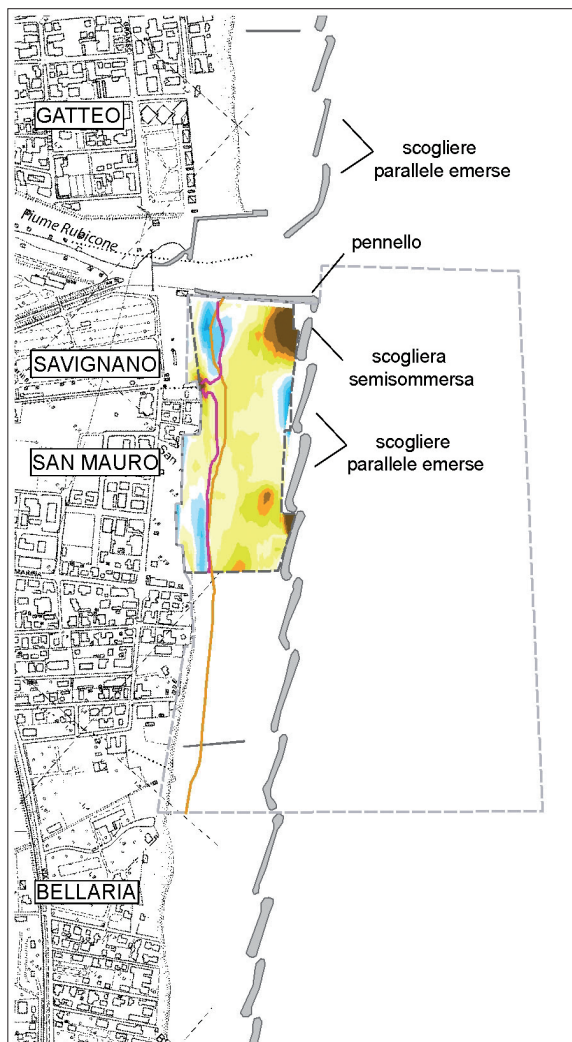


Figura 27 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

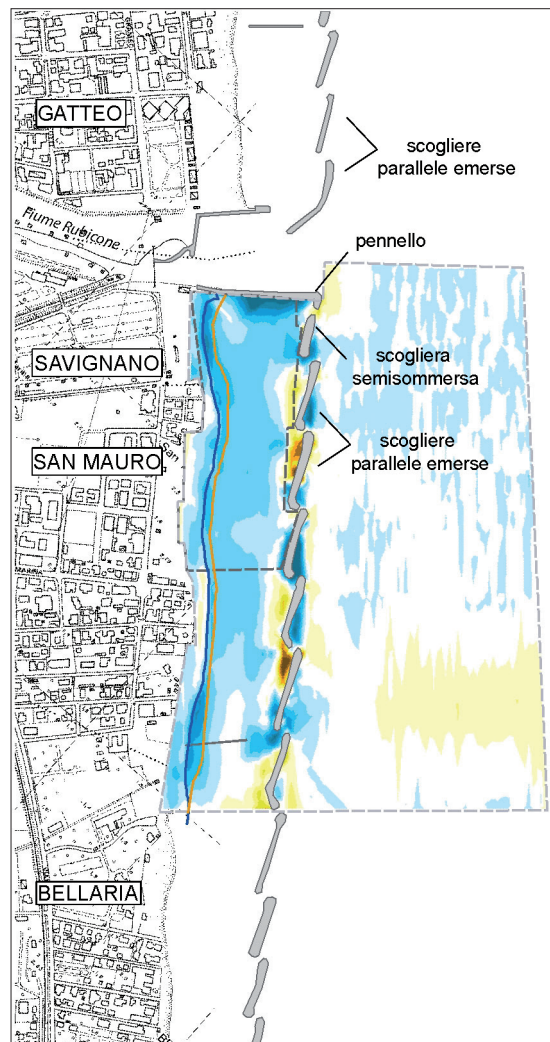


Figura 28 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

foce del Rubicone, le principali modificazioni su spiaggia e fondali, avvenute nei 18 mesi che separano la seconda e dalla terza campagna di monitoraggio, sono state:

- arretramento e abbassamento della spiaggia emersa nei 200 m più prossimi al Rubicone;
- abbassamento del fondale di circa 1 m al retro della prima scogliera a sud della foce del Rubicone;
- approfondimento del fondale di 30 – 40 cm fin quasi alla battigia al retro della terza e quarta scogliera;
- leggero rialzo della spiaggia nei 200 m più a sud di S. Mauro, dovuto probabilmente al ripascimento;
- rialzo di 30-50 cm del fondale su tutta l'area esterna alle scogliere fino al limite dei rilievi.

Per quanto attiene la linea di riva, viene osservato un arretramento di circa 10 m a Savignano e nei 100 m più a nord di San Mauro; in pratica quindi nel tratto dove si ha una maggiore esposizione al moto ondoso e dove sono più forti le correnti di ritorno derivate dalla presenza della scogliera a cresta ribassata.

In sintesi, su questo breve tratto di costa il monitoraggio ha riscontrato una serie di modificazioni rilevanti e di grande interesse in quanto determinate dai vari fattori che qui interagiscono.

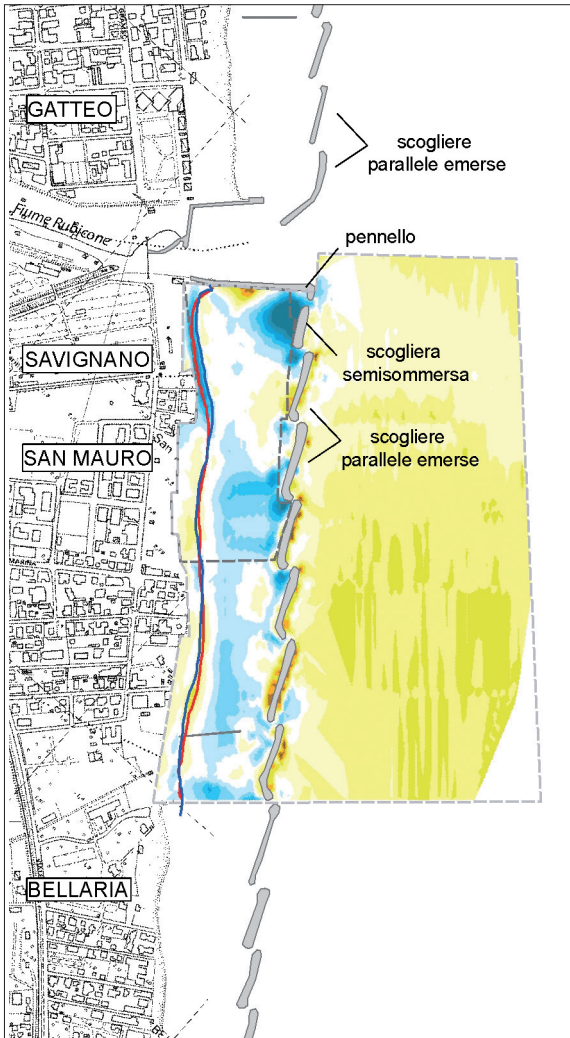


Figura 29 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

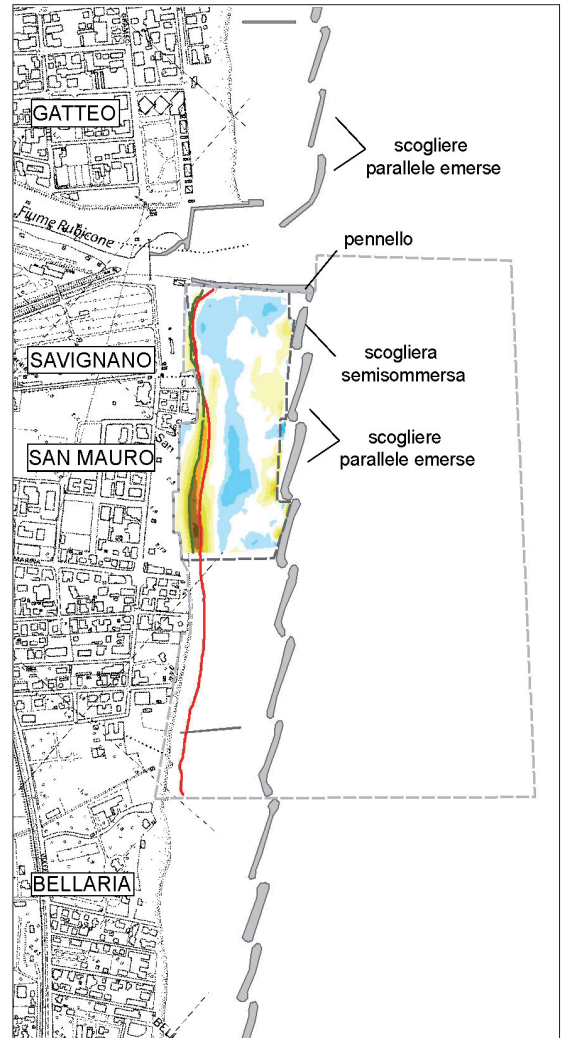


Figura 30 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Aprile 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

Ad esempio, il forte accumulo riscontrato con il primo monitoraggio del Febbraio 2003 va ricondotto, con tutta probabilità, all'azione del fiume. L'entità dei volumi in gioco, la vicinanza della foce fluviale e la presenza delle scogliere, fan sì che la spiegazione più logica vada ricercata negli effetti di una o più piene fluviali. Nel 2002 infatti il fiume Uso, che sfocia in mare 3 km più a sud, ha "intasato" con una piena il porto di Bellaria, per cui il Rubicone, che ha il bacino subito più a nord, avrà avuto un episodio di piena analogo.

Appaiono invece contrastanti i risultati dei rilievi ottenuti in occasione del secondo monitoraggio (Novembre 2003) che mettono in luce una perdita di materiale molto elevata (31.100 m^3) per un tratto di spiaggia lungo soltanto 450 m. La causa più probabile potrebbero essere in questo caso le mareggiate di scirocco abbattutesi sulla costa nel 2003, che hanno asportato dalla cella di intervento i materiali finì precedentemente portati dalle piene fluviali.

Al termine dei tre anni di monitoraggio la situazione che emerge dal confronto dei rilievi di prima pianta con quelli della terza campagna (Fig. 30) mostra un miglioramento dello stato della spiaggia emersa davanti a San Mauro, con un avanzamento medio della linea di riva di 15 m, la spiaggia sommersa evidenzia

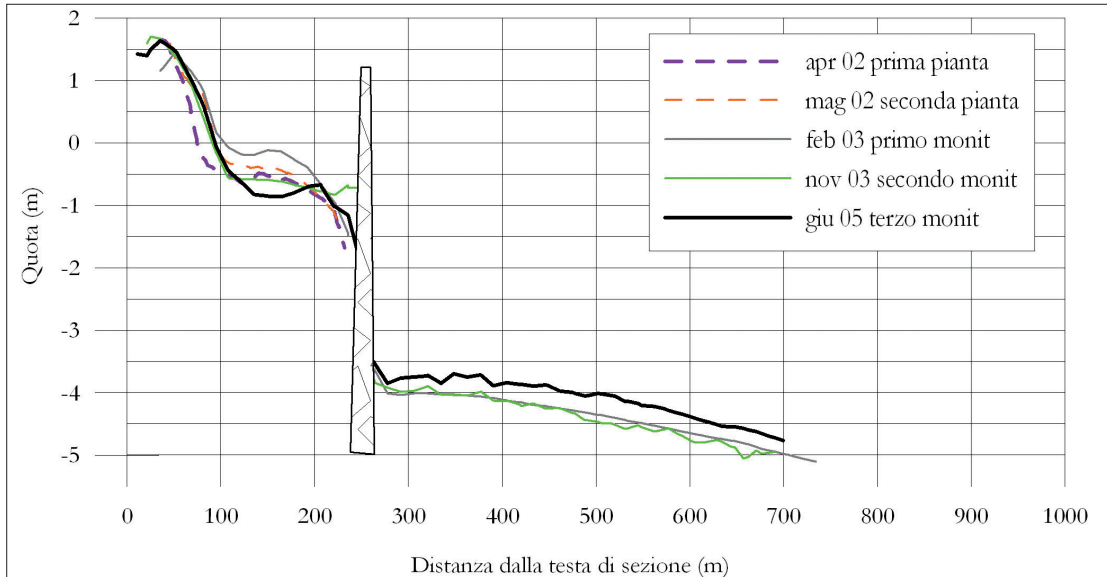


Figura 31 - Profilo SM05.

invece la formazione di un canale erosivo tra battigia e scogliera.

Diversamente, nei primi 150 m a sud del Rubicone, quindi in corrispondenza del litorale di Savignano, la spiaggia emersa è ritornata nella posizione di pre-intervento, mentre quella sommersa si è ulteriormente approfondita.

Un altro aspetto di notevole interesse che si riscontra anche in questa zona, dopo Riccione, Misano e Igea marina, è l'innalzamento di 30-50 cm del fondale su tutta l'area esterna alle scogliere fino al limite del rilievo (batimetria dei 5 m) (Fig. 31).

Da sottolineare infine che, in analogia con quanto avvenuto a Igea Marina nel tratto al retro delle scogliere semisommerse, anche la spiaggia di Savignano, posta al retro di una scogliera ribassata nel 2001, è stata erosa in maniera notevole. Ne deriva che le scogliere semisommerse favoriscono certamente la circolazione dell'acqua, ma in presenza di mareggiate associate al fenomeno dell'acqua alta perdono efficacia nei confronti del moto ondoso, ma soprattutto perdono molto materiale al retro a causa delle forti correnti di ritorno.

Gatteo

Il litorale del comune di Gatteo si colloca subito a nord dalla foce del Rubicone ed ha uno sviluppo di 800 m (Fig. 1). La spiaggia, bassa e sabbiosa, è protetta da un sistema di scogliere parallele emerse e da un

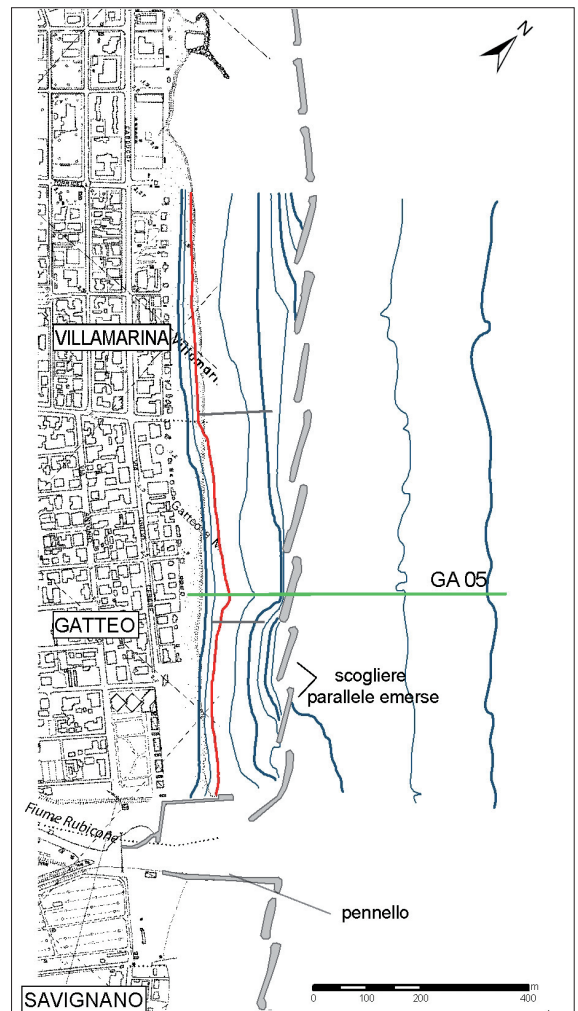


Figura 32 - Gatteo: carta batimetrica Febbraio 2003.

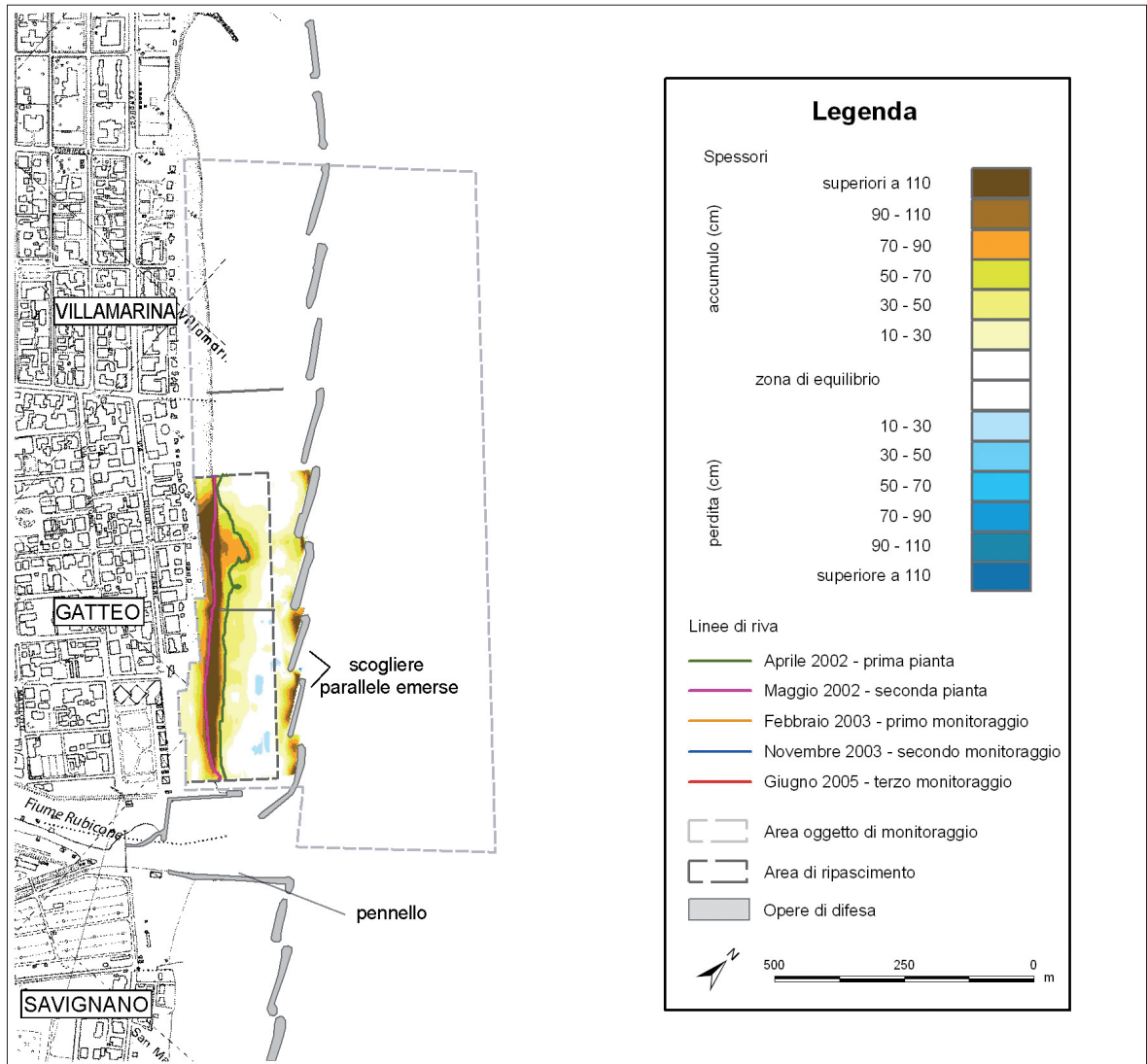


Figura 33 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Aprile 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

pennello collocato a sinistra dello sbocco del fiume (Fig. 32).

Nonostante la presenza di opere di difesa, la spiaggia è in notevole erosione da diversi anni. Le cause che hanno portato a questo stato di criticità sono le stesse che hanno mandato in crisi le spiagge di Savignano e San Mauro, a sud della foce del Rubicone, e cioè la subsidenza e il mancato apporto di sabbia al mare da parte del fiume.

In questo contesto l'unica soluzione in grado di rimettere in sicurezza il tratto costiero in esame non poteva che essere l'apporto di sabbia dall'esterno.

Il ripascimento con sabbie sottomarine del 2002 ha interessato però solamente il settore meridionale della spiaggia di Gatteo, per un fronte di 550 m su cui sono stati apportati 28.100 m³ di sabbia (Tab. 3). La distribuzione del materiale è stata effettuata in modo omogeneo producendo un avanzamento della linea di riva di 25-30 m (Fig. 33).

Con la prima campagna di monitoraggio (Febbraio 2003) il calcolo dei volumi, limitato a una cella estesa verso mare fino alle scogliere, evidenzia un bilancio positivo pari a 1.300 m³. Dato questo molto interessante soprattutto se riferito a quanto asportato dalle mareggiate di fine 2002 su tutte le altre spiagge, ad

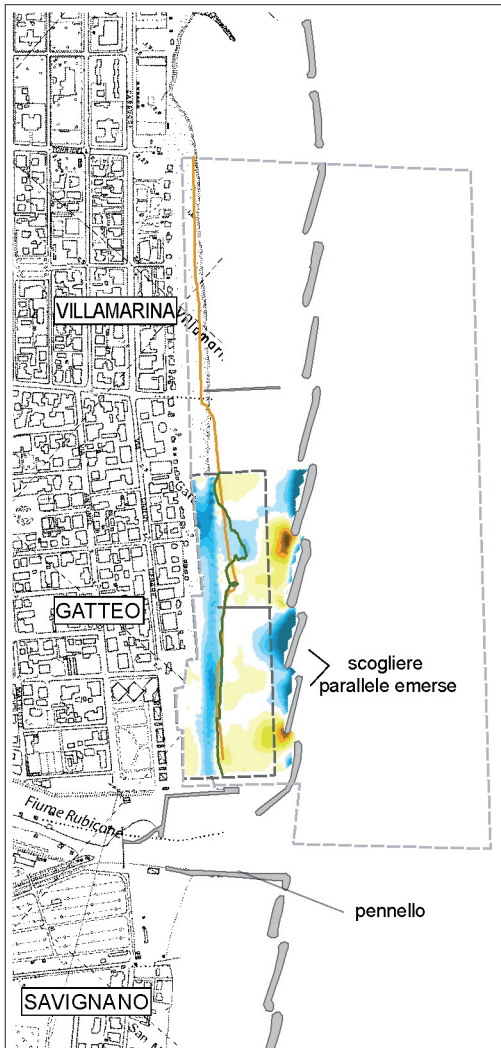


Figura 34 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

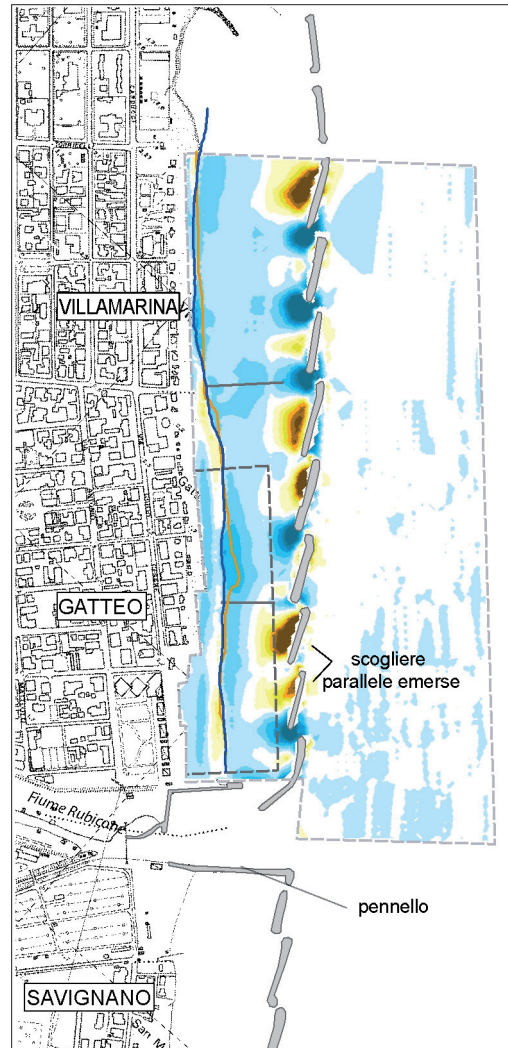


Figura 35 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

esclusione di Savignano-San Mauro sull'altra sponda del Rubicone. Come evidenziato dalla Figura 34, a 10 mesi dalla fine dell'intervento si riscontra una perdita di materiale da parte della spiaggia emersa a favore in parte del fondale tra scogliera e battigia che in alcune zone si è rialzata. Visto che la linea di riva è rimasta pressoché nella stessa posizione di fine intervento, la perdita di volume descritta sopra va ricondotta ad una riduzione di quota della spiaggia. Per sopperire alle perdite subite, nell'Ottobre del 2003, sono stati apportati sulla spiaggia di Gatteo 1.500 m³ di sabbia.

Al termine della seconda campagna il bilancio dei sedimenti all'interno della cella compresa entro le scogliere evidenzia, tra il Febbraio e il Novembre 2003, una perdita netta di circa 12.000 m³. Osservando la Figura 35, si nota che vi è stato un abbassamento diffuso del fondale in prossimità della battigia e un accumulo al retro di alcune scogliere. Questo andamento, che si mantiene anche a nord della cella, fa pensare ad una perdita di materiale fine, portato a mare dalle piene del Rubicone prima del Febbraio 2003. Esternamente, tra le scogliere e la batimetrica dei 5 m, come si può riscontrare dalla Figura 35, la situazione è di sostanziale equilibrio.

La linea di riva è rimasta pressoché stabile nei primi 300 m a nord del Rubicone, ha subito un signifi-

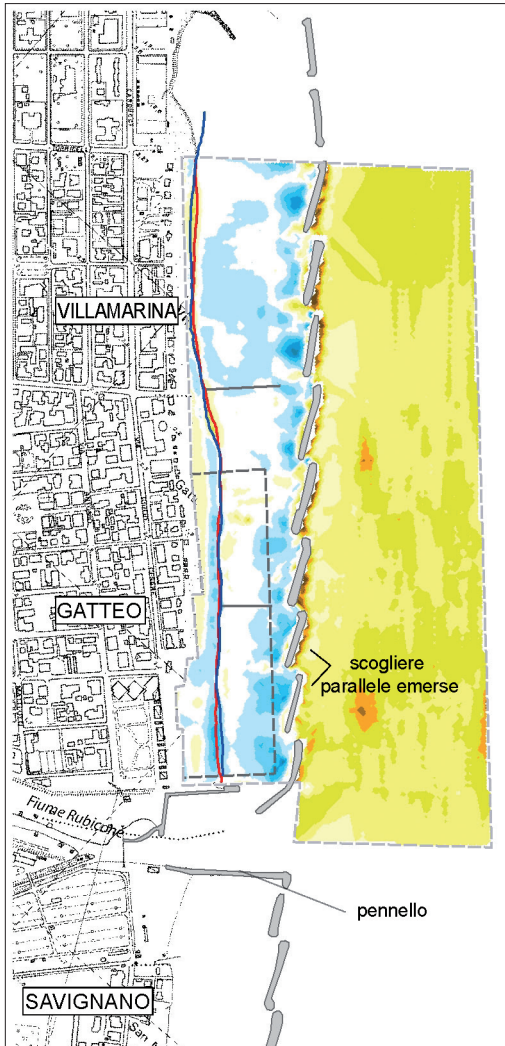


Figura 36 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

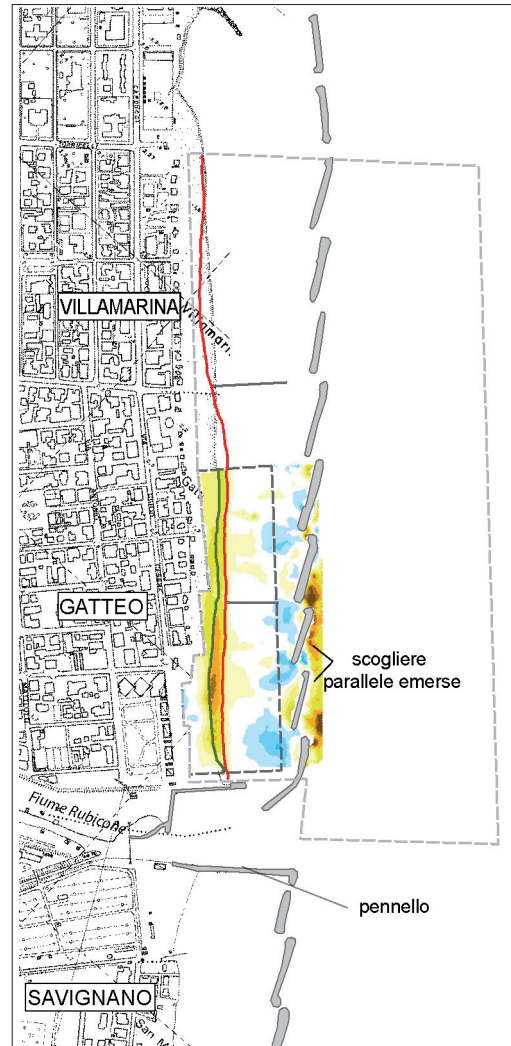


Figura 37 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Aprile 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

cattivo arretramento in corrispondenza della quarta scogliera, dove prima vi era un notevole accumulo, mentre più a nord è nel complesso stabile. Nel corso del 2003 si è avuto quindi una rettifica che ha portato ad un assetto lineare della spiaggia.

Nell'Ottobre del 2004 è stato effettuato un apporto supplementare di 1.900 m^3 di sabbia, ma a Giugno del 2005 la terza campagna di monitoraggio ha rilevato una fuoriuscita di materiale pari a 9.500 m^3 . Le perdite si sono avute principalmente sulla spiaggia emersa e nei fondali prossimi alle scogliere (Fig. 36). Un aspetto di grande interesse, segnalato anche nelle altre aree fin qui descritte, è il rialzo generalizzato del fondale fuori dalle scogliere. E' interessante notare come la perdita di materiale avvenuta nei 18 mesi che separano la seconda e terza campagna non si sia tradotta in un altrettanto significativo arretramento della linea di riva. Questa infatti arretra di 6 - 7 m nei primi 120 m a nord del Rubicone e rimane stabile più a nord, non solo a Gatteo, ma anche a Villamarina di Cesenatico. Rispetto alla situazione del 2002, prima del ripascimento, la linea di riva risulta più avanzata di circa 20 m.

In sintesi, sulla spiaggia di Gatteo la Regione ha apportato 28.100 m^3 di sabbie sottomarine nell'Aprile 2002 ed altri 3.400 m^3 di materiale piuttosto fine, proveniente prevalentemente da cave a terra, con due

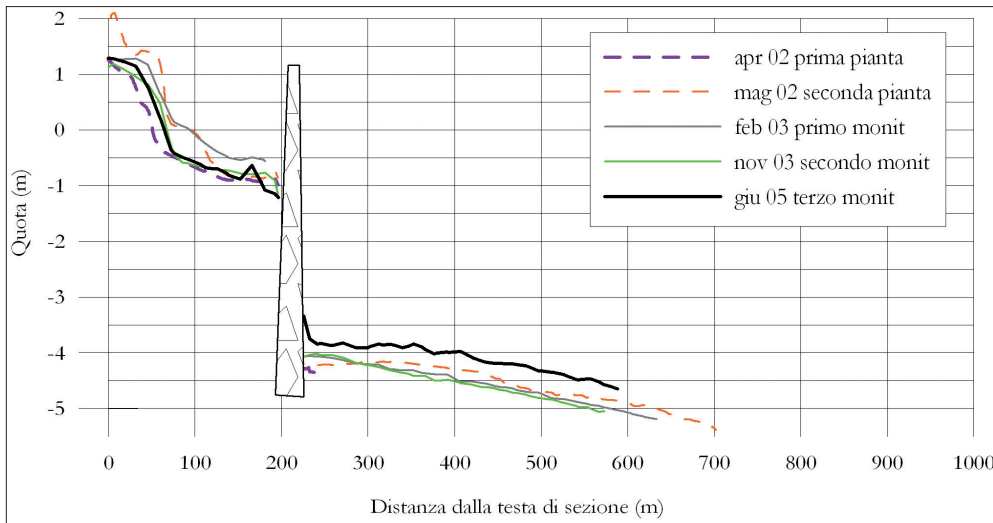


Figura 38 - Profilo GA05.

apporti avvenuti negli anni 2003-2004 (Tab. 3).

Rispetto all’apporto totale di 31.500 m³, a distanza di 3 anni e mezzo è risultato che, nella cella di intervento lunga 550 m e avente per limite lato mare la linea delle scogliere, le perdite sono state pari al 73 % (Fig. 37).

Questo dato dimostra ancora una volta che in assenza di alimentazione naturale risultano instabili anche le spiagge protette da scogliere parallele emerse.

In questo caso un contributo all’erosione viene anche dalla subsidenza, il cui valore in zona è circa 8 mm/anno. La causa principale però è che dopo 30-40 anni dalla costruzione delle scogliere, sul lato mare il fondale (Fig. 38) ha una profondità di 3,5-4 m, mentre all’interno la quota è inferiore al metro.

Considerato che in zona il trasporto solido litoraneo ha direzione sud-nord, questo litorale dovrebbe essere il primo a beneficiare dell’alimentazione naturale ad opera del fiume Rubicone, ma i suoi apporti di sabbia sono ben poca cosa rispetto al passato e al fabbisogno.

La linea di riva del 2005 risulta in posizione più avanzata rispetto a quella di prima pianta di circa 20 m (Fig. 38).

Per quel che riguarda il rialzo generalizzato del fondale fuori dalle scogliere, quello che colpisce è la sua entità, pari a 50-70 cm. Il calcolo dei volumi nell’area esterna alle scogliere evidenzia infatti un accumulo di 85.000 m³ su una superficie di 165.000 m². Un fenomeno che necessita di indagini specifiche per comprenderne l’origine e le cause. L’ipotesi più probabile è che si tratti di materiale prevalentemente fine spinto sottocosta in gran parte dalla mareggiata eccezionale da Bora del 24 Settembre 2004 (Fig. 2).

Zadina

La spiaggia di Zadina si trova in comune di Cesenatico al confine con il comune di Cervia (Fig. 39). L’intervento però ha riguardato anche

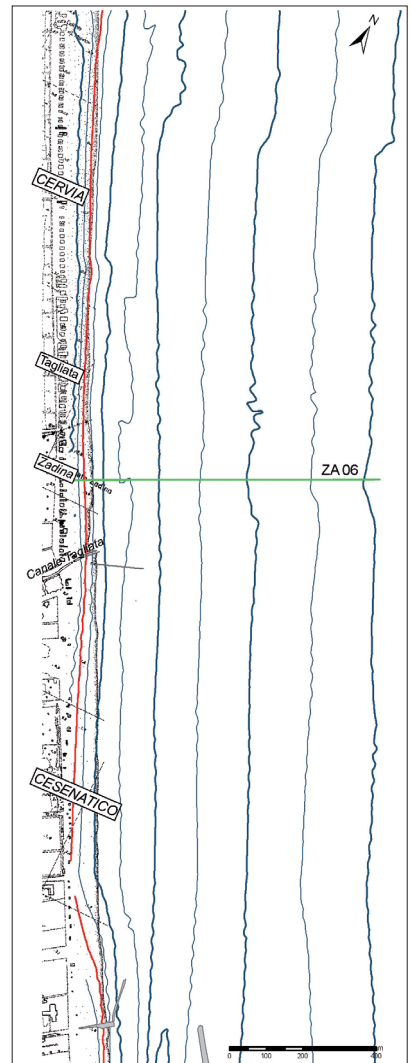


Figura 39 - Zadina: carta batimetrica Febbraio 2003.

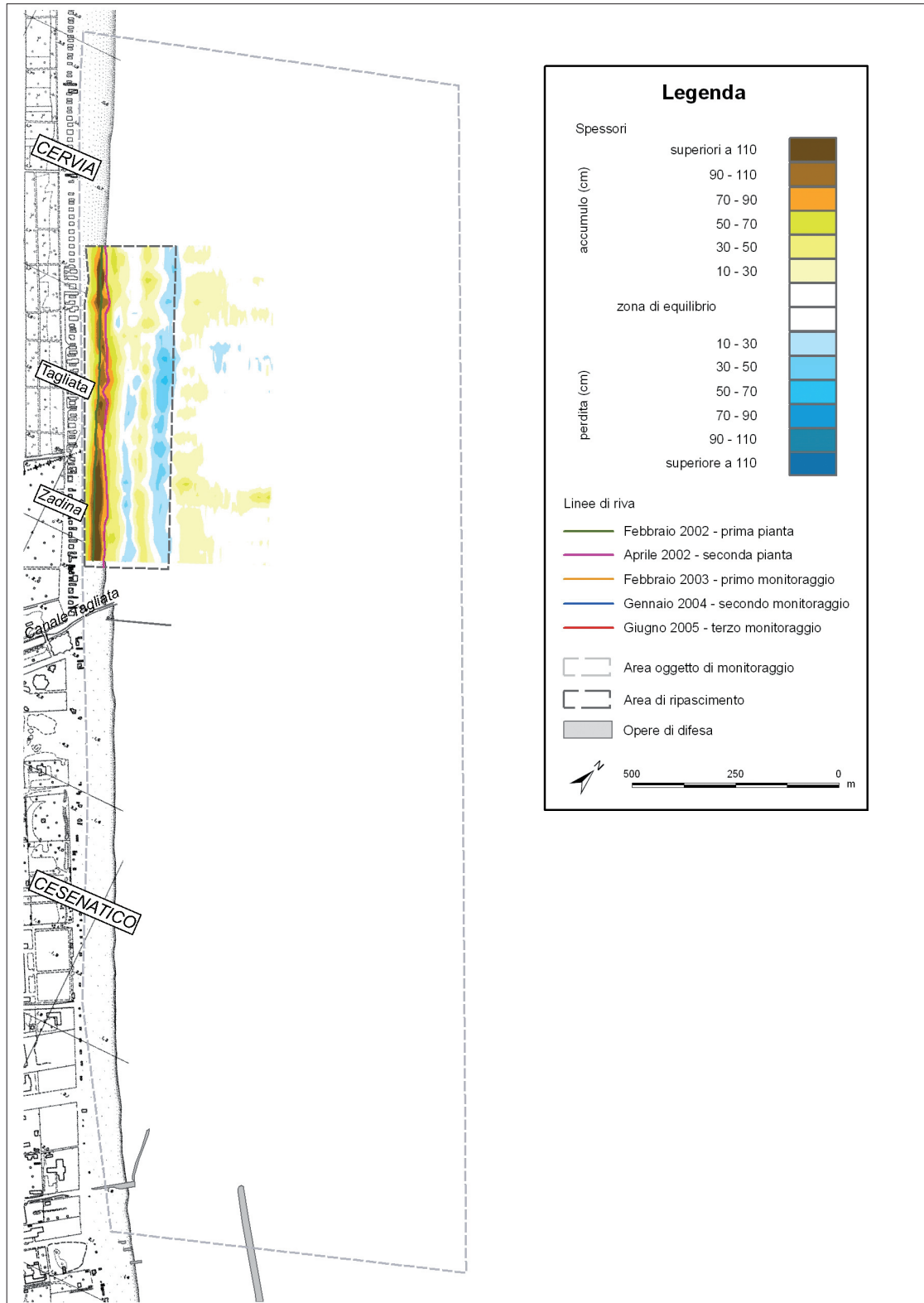


Figura 40 – Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

un tratto della contigua spiaggia di Tagliata, in comune di Cervia. In entrambi i casi si tratta di spiaggia bassa e sabbiosa priva di opere di protezione. Questo litorale è a soli 5 km dalla zona con trasporto solido nullo, situata più a nord tra Pinarella e il porto di Cervia (Fig. 1), per questo motivo in questo tratto di costa la corrente litoranea sud-nord è molto debole.

Nel corso degli anni '80 e '90 tutto il litorale di Cesenatico è stato afflitto da valori di subsidenza pari a 2-4 cm/anno. Ciò ha indubbiamente avuto un grande peso nel rendere instabile i litorali di Zadina e Tagliata. Alla base dell'erosione dei litorali a nord dei moli di Cesenatico vi è comunque il mancato arrivo di sedimenti da sud, a causa della progressiva costruzione della serie lunga 20 km di scogliere parallele emerse, iniziata nel 1947 a nord dei moli di Rimini e ultimata con la chiusura sul molo di Cesenatico nel 1997.

Le scogliere e i moli, bloccando l'alimentazione naturale, hanno reso il litorale più a nord del porto canale di Cesenatico totalmente dipendente dal ripascimento artificiale. Ma mentre i primi 800 m a nord del porto sono stati oggetto di ripetuti interventi di varia tipologia, realizzati a partire dalla fine degli anni '70 da Stato e Regione, più a nord, verso Zadina, la situazione ha raggiunto livelli di criticità tali da rendere sempre più frequenti le ingressioni marine durante le mareggiate.

Nel 2002, per ridurre questo stato di criticità, 43.500 m³ di sabbia sottomarina sono stati distribuiti su 700 m di costa (62 m³/m), determinando un allargamento della spiaggia di 20-30 m (Tab. 3 e Fig. 40).

Se ci si limita all'analisi volumetrica, i risultati del confronto con i rilievi di fine lavori (Aprile 2002) e della prima campagna di monitoraggio (Febbraio 2003), non sono certo positivi. Considerando come limite della cella di calcolo verso mare la batimetrica dei 2,5 m, dall'area di intervento risultano fuoriusciti infatti circa 74.300 m³ di sabbia, vale a dire il 170 % del materiale apportato.

Le Figure 41 e 42 mostrano una perdita netta di materiale da parte della spiaggia emersa e un rialzo significativo della barra.

Un aspetto particolare, che testimonia la forte intensità delle mareggiate che hanno colpito la zona nei mesi di Novembre e Dicembre 2002, è costituito dallo spianamento della barra tra Aprile 2002 e Febbraio 2003 (Tab. 2 e Fig. 41).

Se ci si attiene esclusivamente all'analisi della variazione della linea di riva avvenute nello stesso intervallo, si ha un arretramento generalizzato di circa 20 m su tutto il fronte dell'intervento. In realtà nel corso di un sopralluogo effettuato nel Marzo del 2003 si è visto che una parte della sabbia era ancora accumulata nell'ar-

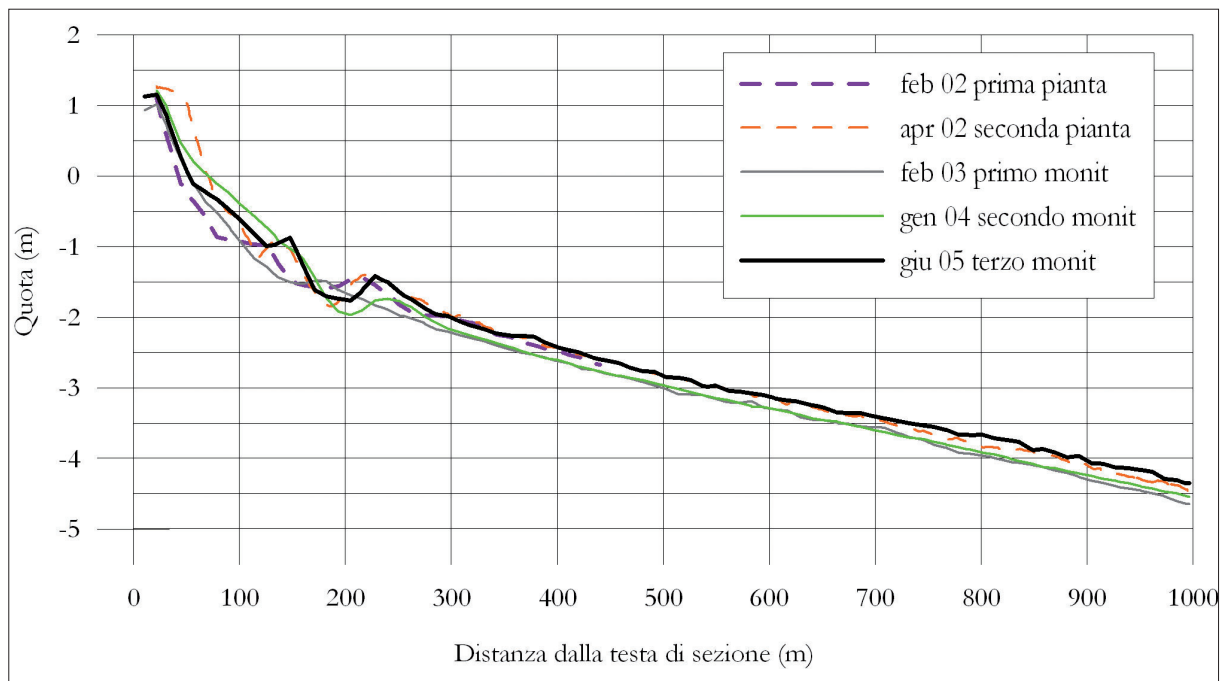


Figura 41 - Profilo ZA06.

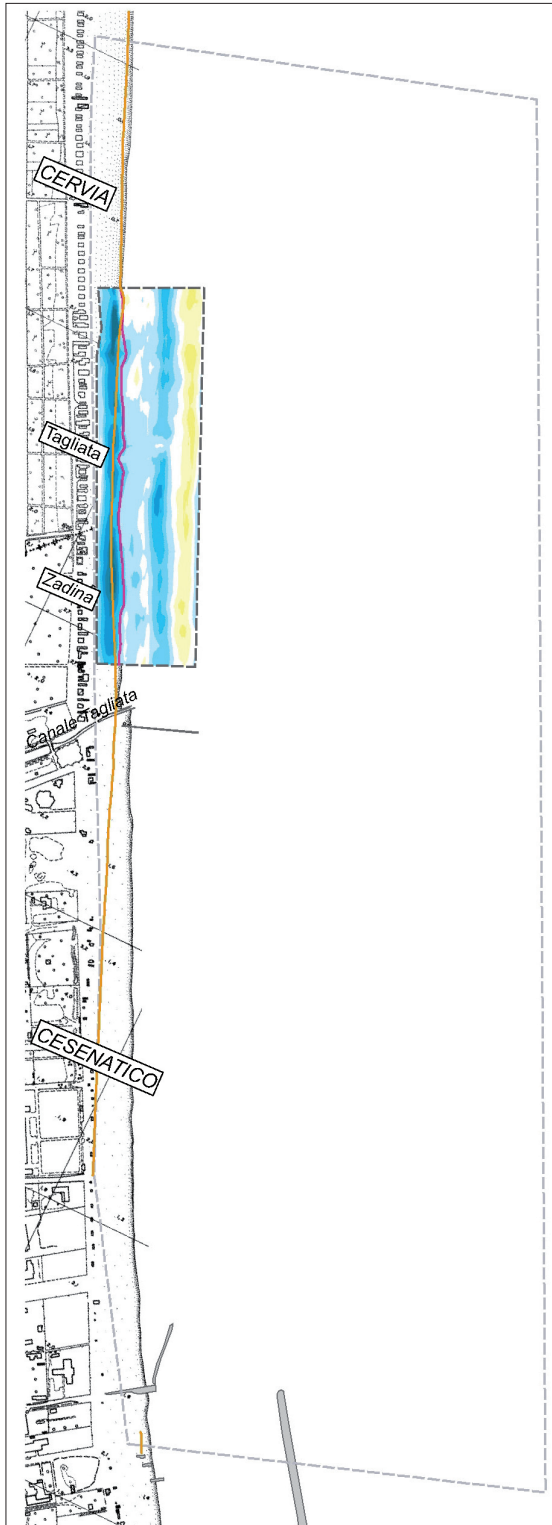


Figura 42 - Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).



Figura 43 - Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

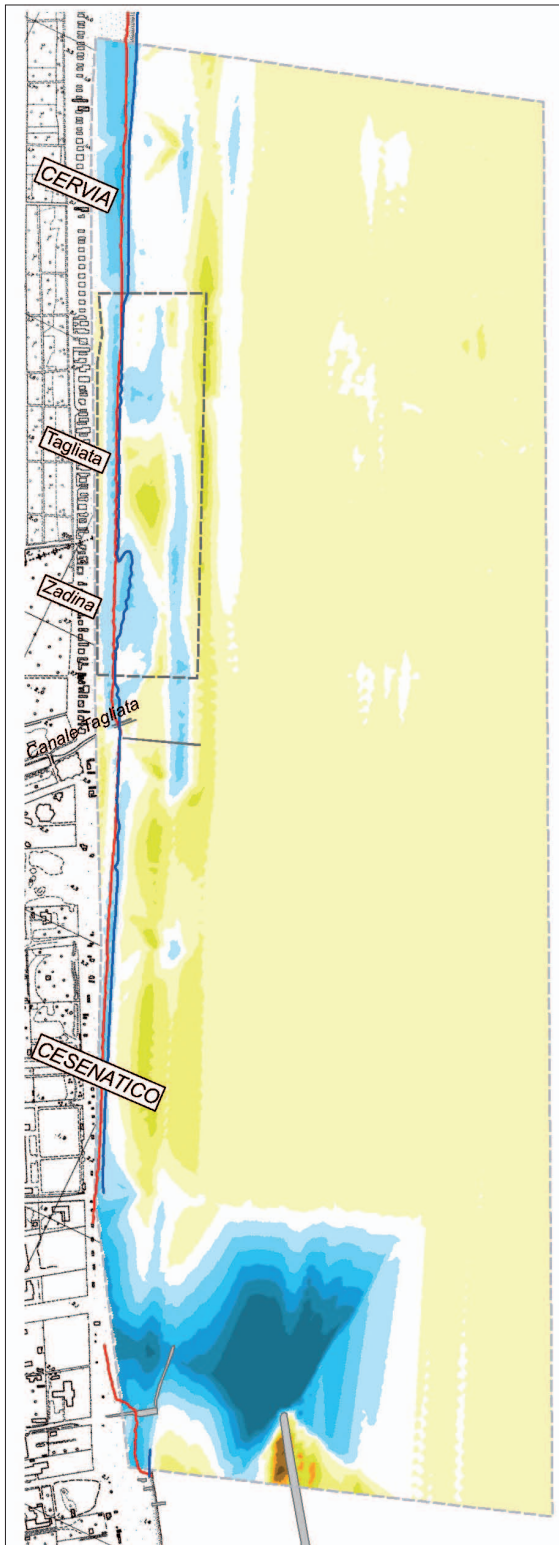


Figura 44 - Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).



Figura 45 - Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

gine di protezione che ogni inverno viene realizzato davanti agli stabilimenti balneari. Da un successivo sopralluogo si è potuto riscontrare che, una volta terminata la stesa di questa duna artificiale, la linea di riva è poi ritornata in posizione prossima a quella di fine intervento.

Per stabilizzare in parte la situazione dopo le forti mareggiate dei mesi di Novembre e Dicembre 2002, sono stati portati a ripascimento 1.500 m^3 di sabbia, tra Ottobre e Novembre 2003.

La situazione riscontrata in occasione della seconda campagna (Gennaio 2004) è esattamente opposta rispetto a quella rilevata con la prima nel Febbraio 2003 (Fig. 43). Mantenendo il limite a mare della cella di calcolo dei volumi alla batimetrica dei 2,5 m, è stato registrato un accumulo di circa 24.000 m^3 . Estendendo la cella di calcolo verso mare alla profondità di 5 m, il bilancio risulta pari a 25.600 m^3 , quindi tra le batimetriche dei 2,5 m e dei 5 m il fondale è rimasto inalterato. Il che trova conferma anche nelle condizioni particolarmente tranquille del clima meteo-marino del 2003 (Tab. 2).

Un andamento quindi del tutto simile a quello riscontrato a Riccione dove dopo un 2002 caratterizzato da un forte passivo, il bilancio nel 2003 è tornato attivo. L'individuazione delle cause alla base di questi fenomeni non è facile. La risposta più plausibile al significativo accumulo di materiale riscontrato a Zadina, tra il Febbraio 2003 e il Gennaio 2004, è che si tratti in buona parte di materiale proveniente da Cesenatico, precisamente dal primo tratto a nord dei moli, dove nell'inverno 2002–2003 il Genio Civile OO.MM. di Ravenna ha apportato circa 170.000 m^3 di materiale sabbioso.

Per quanto attiene alla linea di riva, a Gennaio 2004 si rileva un avanzamento rispetto al Febbraio 2003 nella parte meridionale e centrale della cella e una situazione di stabilità nel tratto nord

Nell'Ottobre del 2004 sono stati apportati sulla spiaggia di Zadina 1.600 m^3 di sabbia.

La terza campagna di monitoraggio, eseguita nel Giugno 2005, conferma un andamento analogo a quello della seconda campagna (Gennaio 2004). Il volume di materiale accumulato in 17 mesi, limitando il calcolo alla profondità di 2,5 m, risulta pari a 31.200 m^3 , mentre, estendendo l'area di calcolo alla batimetrica dei 5 m, è circa 100.000 m^3 . Risulta quindi che nella stessa zona di fondale in cui nel 2003 non vi è stata alcuna variazione, nel periodo che comprende il 2004 e i primi 5 mesi del 2005 vi è stato un accumulo di circa 70.000 m^3 .

Questo andamento, come ben evidenziato dalla Figura 44, ha interessato anche i fondali ai lati della cella di ripascimento ed è in perfetta analogia con quanto rilevato e descritto nelle monografie precedenti. È quindi da ascrivere alle mareggiate verificatesi nel periodo tra il secondo e il terzo monitoraggio (Tab. 1) e in particolare all'evento eccezionale del 24 Settembre 2004 (Fig. 2).

Relativamente alla distribuzione dei punti di accumulo e di erosione, risulta che la spiaggia emersa ha perso sensibilmente quota su tutto il tratto, così come sui fondali sottocosta alle due estremità. Vi è stato deposito invece sul fondale al centro, sulla barra e sulla fossa interna alla barra, in parte colmata, e nella fascia esterna fino al limite dei rilievi (batimetrica dei 5 m).

Con riferimento alla Figura 44, risulta che alle perdite avvenute sulla spiaggia non corrisponde un arretramento altrettanto significativo della linea di riva, variata pochissimo nei 3 anni di osservazioni.

In sintesi a Zadina e Tagliata, nell'Aprile del 2002 sono stati apportati circa 43.500 m^3 di sabbia sottomarina, nei due autunni del 2003 e 2004 sono stati aggiunti 3.100 m^3 . Al totale degli apporti, pari a 46.600 m^3 , al termine della terza campagna corrisponde una perdita di circa 22.200 m^3 di materiale.

Nella cella di intervento, limitando il calcolo alla batimetrica dei 2,5 m, a poco più di tre anni dalla fine dell'intervento iniziale, era quindi presente il 49% dei sedimenti apportati (Fig. 45).

L'aspetto più interessante che si è potuto cogliere con il monitoraggio di questa spiaggia, del tutto priva di opere di difesa, è la forte variabilità del bilancio annuale. A prescindere da questo aspetto e vista l'assenza di foci fluviali risulta evidente che il suo equilibrio dipende in primo luogo dal ripascimento artificiale, e le forti variazioni di volume osservati sono dovute sia al movimento *on-shore* e *off-shore* dei sedimenti, sia all'arrivo di sabbia portato a ripascimento nelle spiagge più a sud.

Milano Marittima

La cuspidi di foce del fiume Savio era in arretramento da decenni, quando nel corso degli anni '60 ai lati della stessa sono stati costruiti Lido di Savio (a sud) e Lido di Classe (a nord) (Fig. 1).

Essendo la cuspidi protesa in mare e conseguentemente il trasporto solido litoraneo divergente, visto anche l'assoluta modestia degli apporti a mare del Savio, i processi erosivi si sono intensificati su ambedue i lidi, per cui si

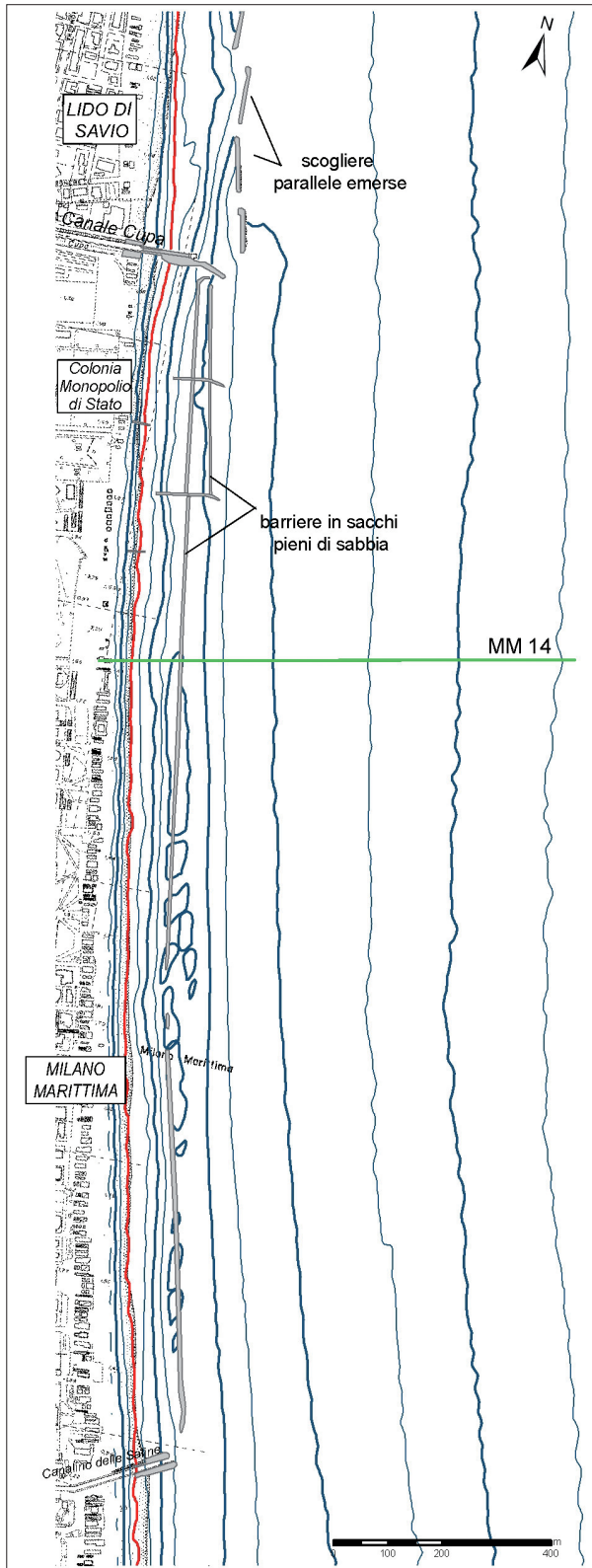


Figura 46 - Milano Marittima: carta batimetrica Febbraio 2003.

è resa necessaria la loro protezione, attuata dallo Stato nel corso degli anni '70 con scogliere parallele emerse. A seguito di ciò i processi erosivi si sono spostati sulle spiagge ai lati non protette.

A sud di Lido di Savio, una volta completata la serie delle scogliere, il litorale confinante di Milano Marittima nord, in comune di Cervia, è entrato in breve tempo in forte erosione.

Il Comune di Cervia si è però opposto alla costruzione di scogliere lungo i 9 km del suo litorale, pertanto nel 1983 la Regione ha inserito il litorale di Milano Marittima Nord tra quelli oggetto del primo significativo intervento di ripascimento realizzato lungo la costa emiliano-romagnola.

L'intervento si è articolato nella costruzione di una barriera sommersa in sacchi a 100 m dalla battigia su un tratto lungo 2.200 m e nell'apporto di 260.000 m³ di sabbia da cava a terra.

Nel giro di qualche anno però, in virtù della direzione nord-sud del trasporto solido litoraneo, il primo tratto di 500 m a sud delle scogliere di Lido di Savio è entrato di nuovo in sofferenza. Dall'osservazione di foto aeree recenti la barriera risulta ancora ben strutturata.

In questa zona negli anni a seguire sono stati effettuati vari interventi di ripascimento, la costruzione di una seconda barriera longitudinale in sacchi lunga 500 m e un breve prolungamento del pennello in massi a ridosso della foce del canale di via Cupa (Fig. 46) che di fatto costituisce il punto di separazione tra Lido di Savio e Milano Marittima.

In pratica, a causa dei modestissimi apporti di sabbia al mare da parte del Savio, della subsidenza, ma soprattutto delle scogliere di Lido Savio, la spiaggia di Milano Marittima è ormai totalmente dipendente dagli apporti di sabbia dall'esterno.

Per questa ragione nel 2002, sul tratto di spiaggia lungo 1.700 m che si estende a partire dal Canale Via di Cupa verso sud, sono stati apportati 176.100 m³ di sabbia sottomarina (Fig. 47 e Tab. 3), che ha prodotto un allargamento della spiaggia di 30-40 m, nel primo chilometro a nord, e di 20 m nel restante tratto.

Il confronto tra i rilievi effettuati a fine lavori (Marzo 2002) e quelli relativi alla prima campagna (Febbraio 2003) evidenzia una fuoriuscita di sedimenti pari a 59.400 m³, vale a dire il 34 % del materiale apportato. La perdita più consistente si è avuta in corrispondenza della spiaggia emersa, ma anche il tratto centrale a ridosso della barriera in sacchi, sul lato interno, ha subito un abbassamento.

Significativo, al contrario, l'innalzamento del fon-

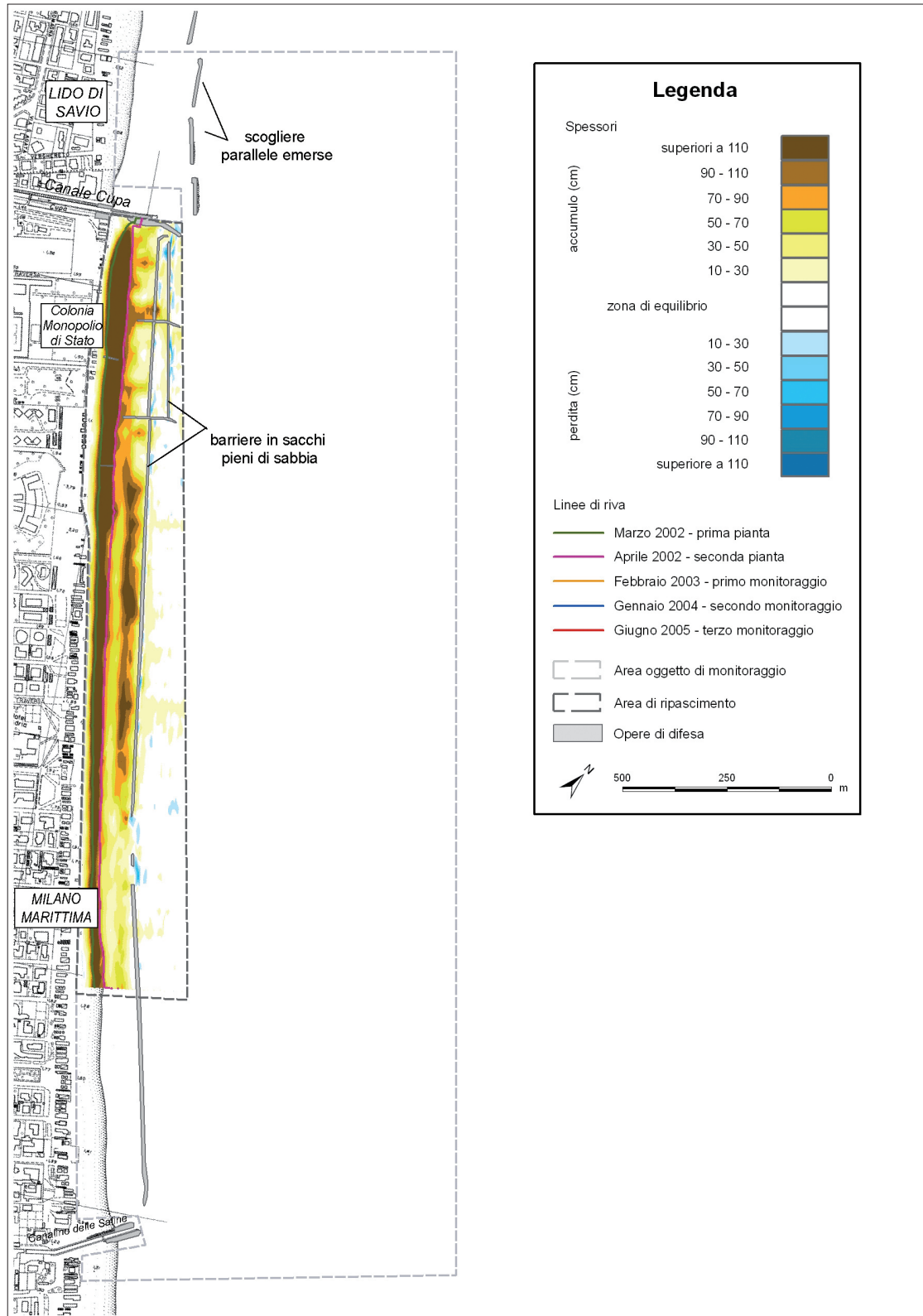


Figura 47 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Marzo 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

dale sul lato esterno della barriera, dove si è rinforzata la barra (Figg. 48 e 49).

Relativamente alla direzione del materiale in uscita, risulta confermato quanto riportato nei due piani costa del 1981 e 1996, cioè lo spostamento da nord verso sud della maggior parte della sabbia.

La direzione prevalente nord-sud del trasporto solido litoraneo trova conferma anche nella variazione della linea di riva, che nel Febbraio 2003 evidenzia un arretramento di 20 m sul lato nord e risulta pressoché invariata sul lato sud dell'intervento.

I dati raccolti con la seconda campagna (Gennaio 2004) confrontati con quelli del monitoraggio eseguito nel Febbraio 2003, confermano la tendenza di questa spiaggia alla perdita del materiale. Nell'area di intervento si è avuta una perdita complessiva pari a 19.800 m³: un terzo della perdita avvenuta nel 2002 (Fig. 50 e Tab. 3). Nel dettaglio è interessante notare come nei primi 150 m di costa a ridosso del canale di Via Cupa, vi sia una zona di accumulo, dovuta, con tutta probabilità, sia agli apporti da scirocco che all'effetto ombra esercitato dal pennello in massi ricostruito nel 2003 con un profilo leggermente arcuato sul lato sud del tratto terminale del canale di Via Cupa.

Proseguendo verso sud, a questa prima zona in accumulo ne succede un'altra poco più lunga caratterizzata unicamente da erosione. Osservando la Figura 50 si nota come questa zona blu si apre in due con un breve canale erosivo sotto riva e un altro lunghissimo esterno alla barra.

La barra, presente in corrispondenza della barriera in sacchi, avente un profilo notevolmente accentuato nel Febbraio 2003, un anno dopo, risulta più piatta ed estesa verso terra. La barra nel corso del 2003 si è quindi estesa verso riva, ma ai suoi lati il fondale è entrata in erosione.

Osservando la Figura 50 è interessante notare come la maggior parte dei movimenti di materiale avvenga entro la batimetrica dei 2,5 m; mentre esternamente il fondale risulta in equilibrio.

La linea di riva è in equilibrio o leggermente arretrata nel primo chilometro di costa a sud del canale di Via Cupa, mentre procedendo verso sud avanza di circa 15 m.

La spiaggia avanza anche nella zona sud dell'area di intervento. Ciò è confermato non solo dai rilievi, ma anche dai frequenti sopralluoghi effettuati.

Nella primavera del 2004 e in quella del 2005, nei 600 m più a nord di Milano Marittima, sono stati apportati 60.500 m³ di materiale fine.

Se ci si limita a considerare il solo dato derivante dal calcolo dei volumi accumulati o erosi nei 17 mesi che separano la seconda e la terza campagna (-7.700 m³) non si riesce a cogliere la portata delle modificazioni

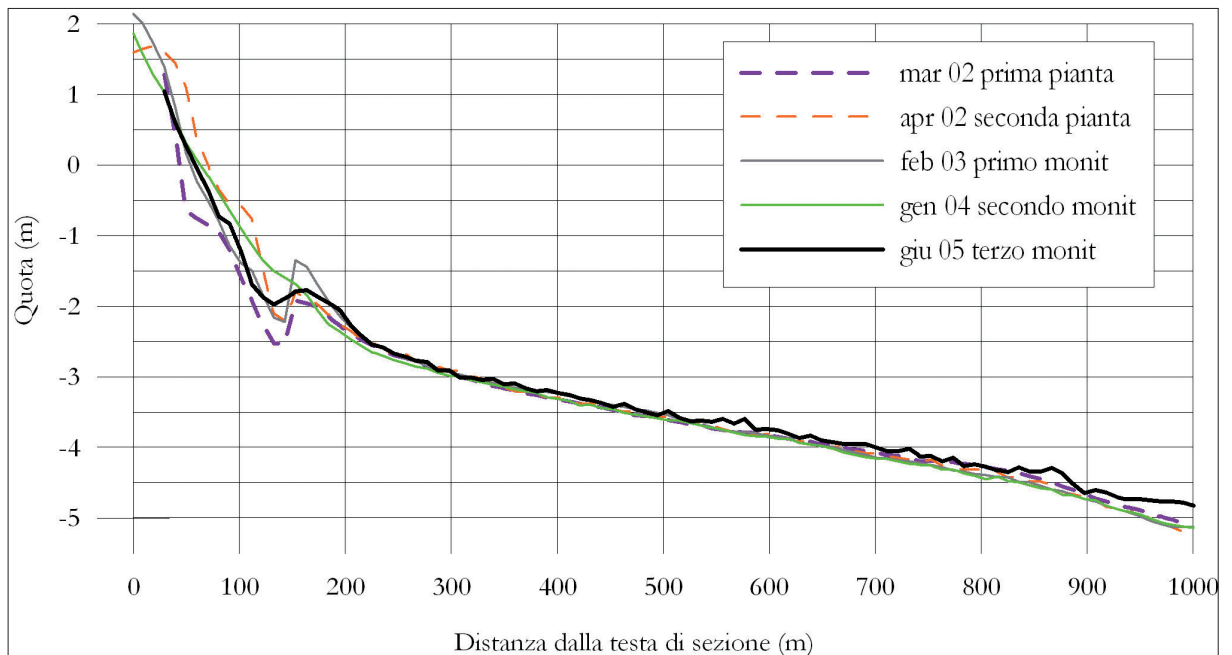


Figura 48 - Profilo MM14.

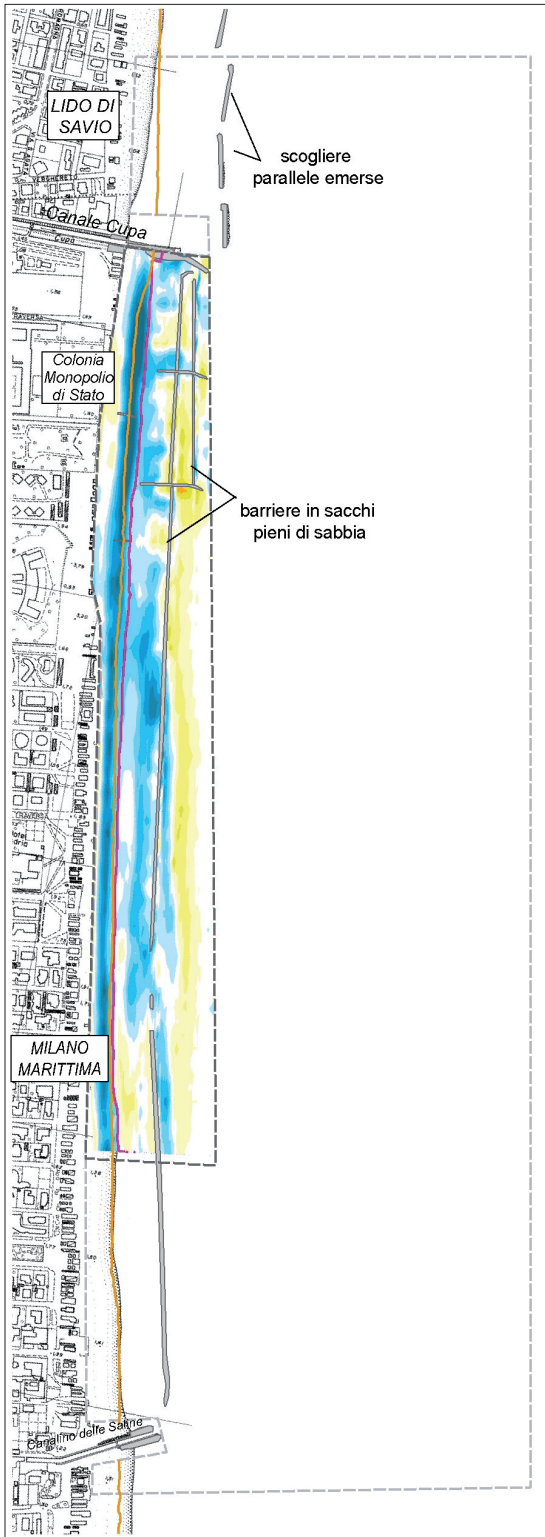


Figura 49 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

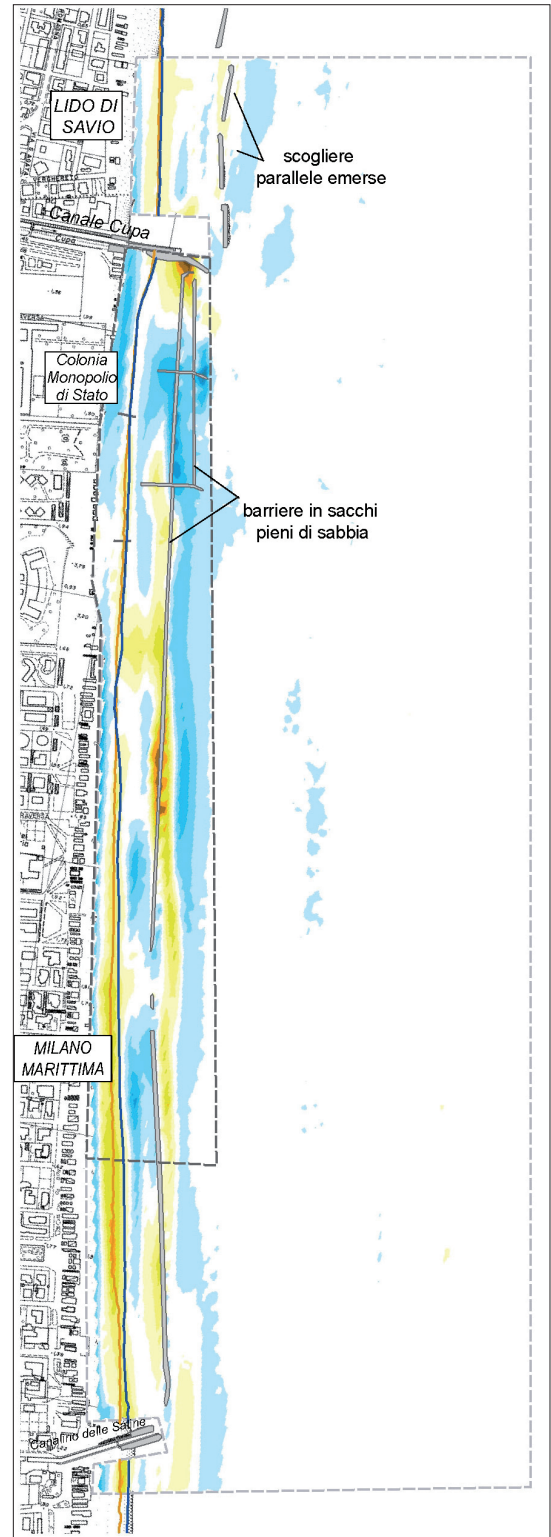


Figura 50 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

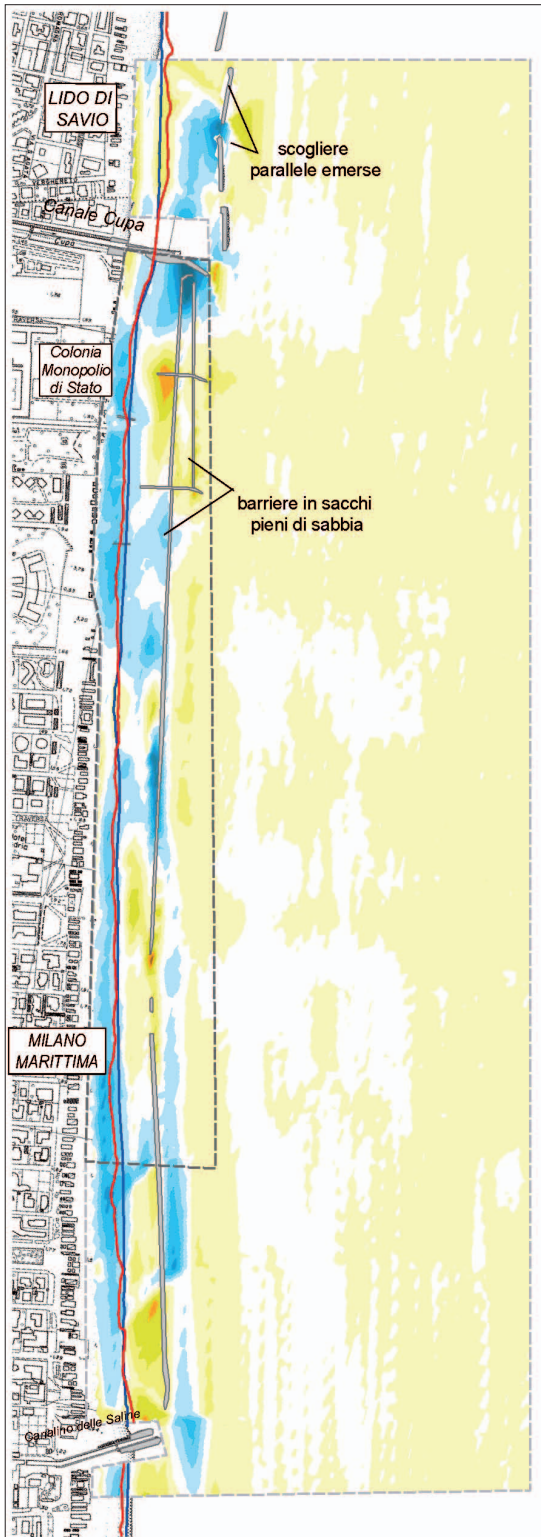


Figura 51 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

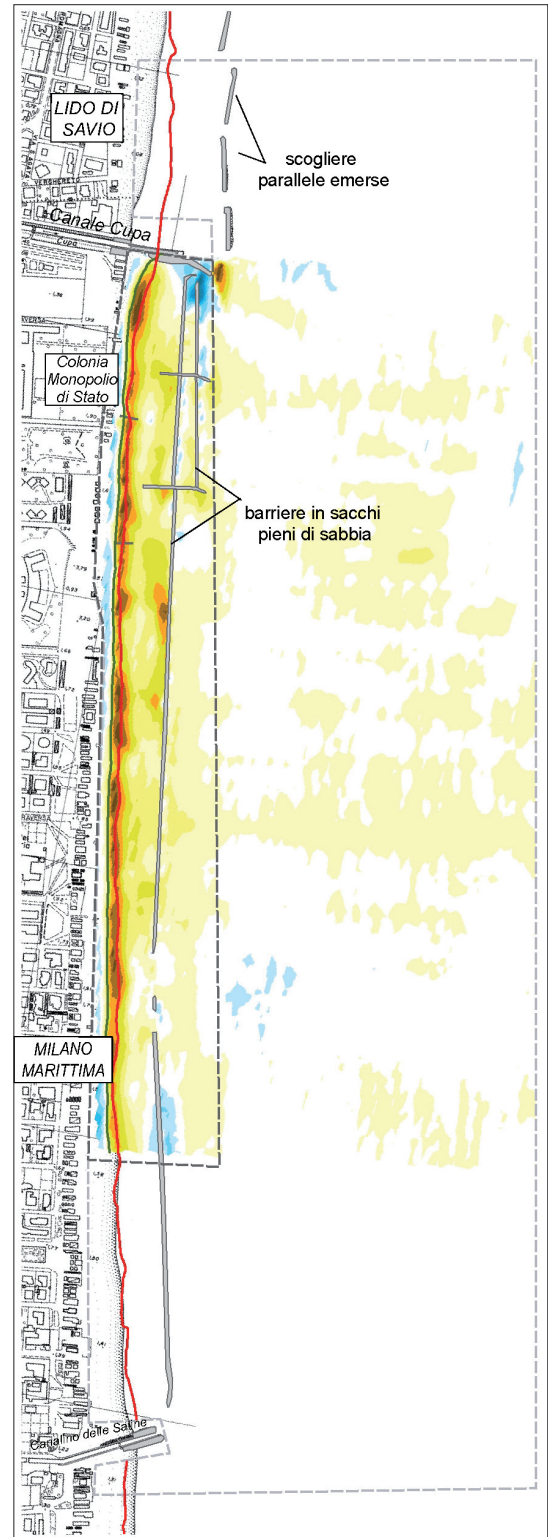


Figura 52 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Marzo 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

realmente avvenute sulla spiaggia.

Le forti perdite sulla spiaggia emersa (circa 30.000-40.000 m³), vengono infatti bilanciate dall'accrescimento della barra (Fig. 51). Ma sulla barra si depositano e scorrono materiali molto più fini di quelli presenti sulla spiaggia, ragion per cui la forte perdita avvenuta su quest'ultima è da imputare non solo alle elevate energie del mare nel paraggio e alla mancanza di alimentazione da parte dal Savio, ma anche alla granulometria degli apporti effettuati nel 2004, realizzati con materiale più fine di quello proprio di questa spiaggia (D50 = 0,26 mm in battigia). Occorre sottolineare infatti che dei 60.500 m³ di materiali portati a nord di Milano Marittima, la metà proveniva dal dragaggio del porto di Cervia ed è stata portata via mare da un pontone sui fondali prossimi alla costa, mentre l'altra metà, proveniente da cave, risultava molto più fine di quella presente sulla spiaggia.

In pratica i materiali più fini di quelli propri della spiaggia si accumulano in massima parte sulla barra e da qui, sotto la spinta delle mareggiate di bora, scorrono con notevole rapidità verso sud andando poi ad insabbiare l'imboccatura del porto di Cervia. Solo qualche mareggiata da levante riporta per breve tempo la frazione migliore di questa sabbia sulla spiaggia.

Anche per Milano Marittima si riscontra la novità del rialzo dei fondali esterni, già segnalata per tutte le altre spiagge esaminate più a sud.

In sintesi, nei 3 anni che hanno fatto seguito all'intervento, la spiaggia di Milano Marittima Nord ha perso circa 60.000 m³/anno di materiale nel 2002 e nel 2004-2005, molto di meno nel 2003, quando la perdita è stata di circa 20.000 m³ (Fig. 52).

Vi è stata quindi una perdita continua anche se quantitativamente variabile. Ciò è del tutto naturale in quanto questa spiaggia si trova sottoflutto rispetto alle scogliere di Lido di Savio che catturano tutto il materiale portato a mare dal Savio. Pertanto i primi 500 m più a nord sono di fatto la principale fonte di alimentazione del nastro trasportatore litoraneo diretto verso sud. È interessante notare che, come a Riccione, le maggiori perdite di sabbia si hanno nei primi 500 m di spiaggia sottoflutto alle scogliere (63 m³/m*anno), tra i 500 m e i 1000 m si riducono a 27 m³/m*anno, oltre i 1000 m di distanza dalle scogliere si raggiunge l'equilibrio sedimentario.

Non bisogna assolutamente dimenticare che questa situazione garantisce tra l'altro l'equilibrio dei 3 km di spiaggia fino al porto di Cervia.

Coerentemente con quanto sopra esposto, la linea di riva ha subito moderate modificazioni nei 17 mesi che separano la seconda e la terza campagna. Il tratto dove si ha l'arretramento maggiore è, come in passato, la zona davanti alla colonia dei Monopoli di Stato.

I rilievi ARPA mostrano quanto l'equilibrio della spiaggia di Milano Marittima sia dipendente dall'intensità e dalla direzione delle mareggiate.

Le mareggiate dell'autunno-inverno 2002 hanno infatti prodotto una forte perdita di sabbia sulla spiaggia emersa e lungo tutto il litorale in esame.

Diversamente, nel 2003 la spiaggia è notevolmente aumentata di quota e di larghezza, sia al centro che al sud; le perdite si sono avute solo nei primi 400 m a nord. Da ultimo, le forti mareggiate dell'autunno inverno 2004-2005 hanno portato di nuovo ad una forte perdita di materiale.

Lido di Classe nord

Come per la spiaggia di Milano Marittima, anche i litorali sul lato nord della foce del fiume Savio erano già in erosione quando, negli anni '60, iniziò la costruzione di Lido di Classe su un fronte a mare di 1.200 m. Anche qui, una volta avviata l'urbanizzazione, si è creata ben presto l'esigenza della difesa dell'abitato dal mare per cui sono state costruite negli anni '70, dal Genio Civile Opere Marittime di Ravenna, 10 scogliere parallele emerse. Terminata la protezione dell'abitato di Lido di Classe l'erosione si è ovviamente spostata nella direzione del trasporto solido litoraneo e cioè verso nord (Figg. 1 e 53).

A subirne le spese in questo caso è stato il tratto di costa meglio conservato sotto il profilo paesaggistico ambientale di tutto il litorale emiliano-romagnolo: quello che va da Lido di Classe a Lido di Dante.

Si tratta infatti di 5 km di spiaggia con al retro vari cordoni dunali ben preservati, alti 3-4 m, al centro la foce del Torrente Bevano, e ancora più all'interno un'ampia pineta.

Per contenere i fenomeni erosivi a ridosso delle scogliere è stato così realizzato, nel 1989, un intervento di ripascimento con 35.000 m³ di sabbia di cava, distribuiti su una lunghezza di 600 m. L'intervento, finanziato

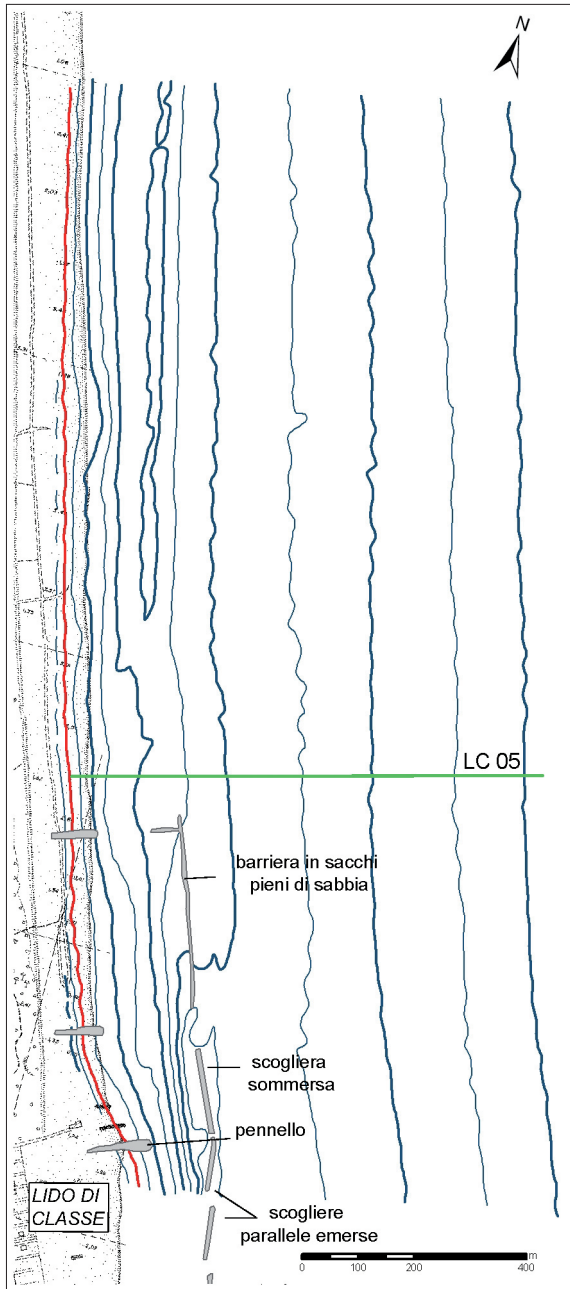


Figura 53 - Lido di Classe: carta batimetrica Febbraio 2003.

In 8 mesi quindi tutta la sabbia apportata è fuoriuscita dalla zona di ripascimento.

Come a Zadina, lungo il profilo LC05 si nota un forte rialzo (50 cm) del fondale a 140 m dalla battigia e un consistente spostamento di materiale verso nord. La perdita di materiale avvenuta sulla spiaggia è espressa da un arretramento della linea di riva di 15 m nella zona sud; procedendo verso nord questa tendenza si riduce fino a diventare un avanzamento rispetto alla situazione pre-intervento nell'ultimo tratto dell'area di ripascimento.

Nei 12 mesi trascorsi tra la prima (Febbraio 2003) e la seconda campagna di monitoraggio (Gennaio 2004), il bilancio dei sedimenti all'interno della cella di intervento di Lido di Classe nord evidenzia un accumulo di 4.600 m³, se il limite lato mare è la batimetrica dei 2,5 m, e di 6.400 m³, se il limite è la batimetrica dei 5 m

con i fondi della Legge n. 845 del 1980 per la "difesa del territorio ravennate dalla subsidenza", è stato accompagnato dalla realizzazione di un breve tratto (200 m) di scogliera sommersa che funge da opera di congiunzione tra le scogliere emerse di Lido di Classe e una barriera longitudinale in sacchi lunga 400 m. Quest'ultima, costruita appositamente per formare il piede lato mare del ripascimento stesso, è stata collegata con due setti trasversali in sacchi a due pennelli in massi ancorati alla spiaggia.

Nel corso degli anni '90, la cella compresa tra i due pennelli in roccia si è in buona misura stabilizzata, ma i processi erosivi si sono spostati sui primi 500 m immediatamente più a nord.

In questo tratto, nel 2000, la spiaggia era ormai ridotta a pochi metri, mentre i cordoni dunali erano stati in gran parte smantellati, al punto da permettere l'ingresso del mare nella pineta retrostante durante mareggiate di notevole intensità.

Per preservare un bene ambientale così importante, la zona è stata inserita tra quelle da proteggere con l'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato nel 2002.

Su un fronte a mare lungo 650 m, a partire dall'ultimo pennello verso nord, sono stati così apportati 41.000 m³ di sabbia (63 m³/m). L'apporto è stato più consistente nei 400 m più a sud dell'area d'intervento. È stato prodotto un rialzo della spiaggia emersa e del cordone dunale di oltre 1 m, mentre la spiaggia è stata portata a 30 m di larghezza sul lato sud e a 20 m sul lato nord (Fig. 54).

Analogamente a quanto riscontrato a Zadina, l'altra spiaggia oggetto di ripascimento e priva di opere di difesa, anche in questo caso le mareggiate dell'autunno-inverno 2002 hanno prodotto significative fuoriuscite di sabbia dall'area d'intervento.

Dal confronto con i rilievi di fine lavori (Maggio 2002) e quelli della prima campagna di monitoraggio (Febbraio 2003) risulta infatti che dalla cella di intervento lunga 650 m sono fuoriusciti 39.300 m³ di sabbia, se il limite di calcolo lato mare è la batimetrica dei 2,5 m, e 68.000 m³ se lo stesso limite è la batimetrica dei 5 m (Fig. 55).

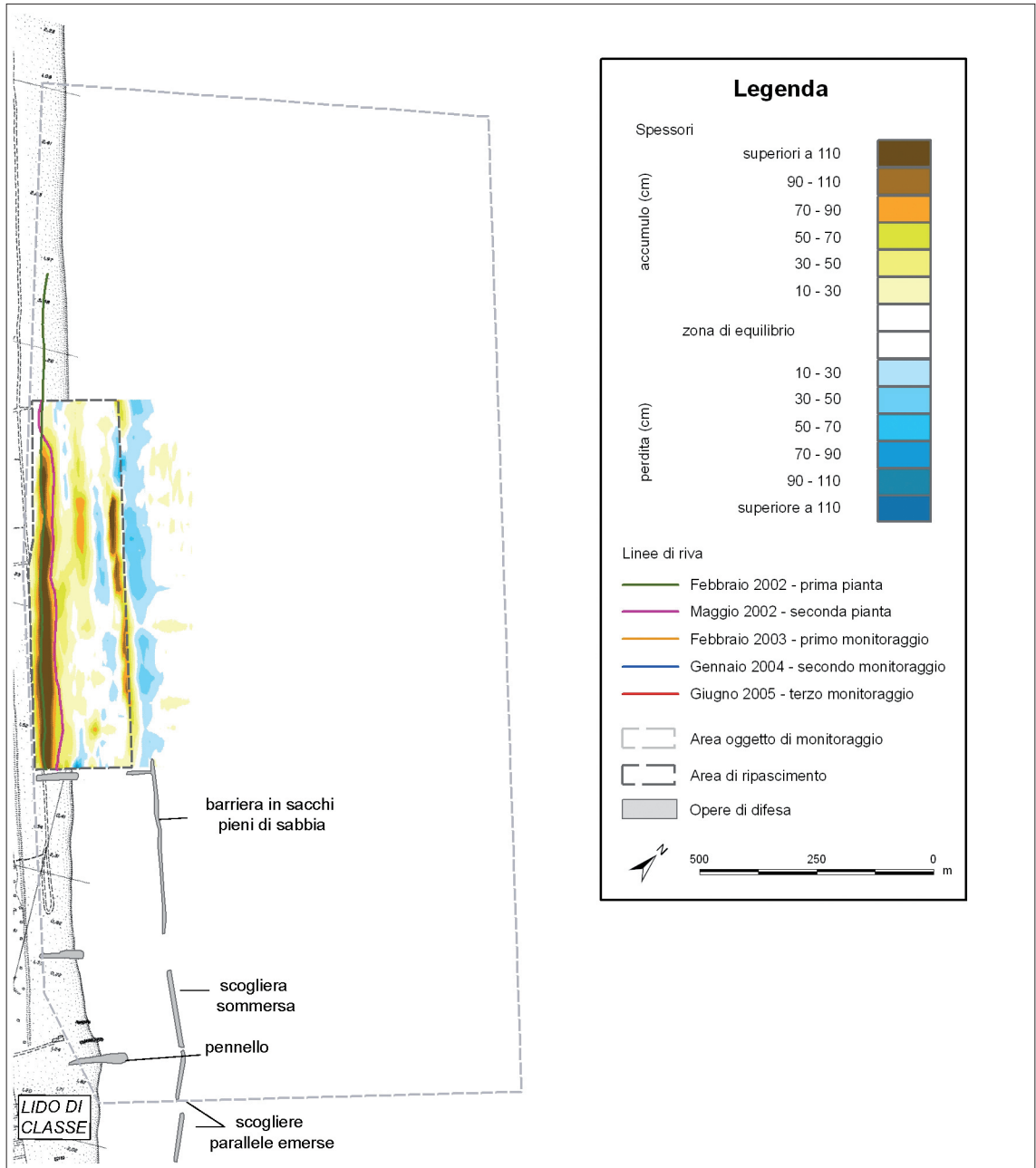


Figura 54 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

(Tab. 3).

Dalla Figura 56 si nota un sostanziale miglioramento della prima fascia di fondale sottocosta, la formazione di una barra a circa 180 m dalla battigia e l'approfondimento della fascia intermedia.

In pratica, l'eccezionale fase di maltempo dell'autunno-inverno 2002-2003 ha prodotto l'erosione della spiaggia e lo spianamento di barre e truogoli. Con il ristabilirsi di un clima meteomarinario normale, il profilo ha ripreso le forme tipiche di ogni spiaggia libera, anche se, nel caso in esame, l'alimentazione naturale è molto scarsa per la presenza a sud di tre pennelli e di 10 scogliere davanti a Lido di Classe.

Per quanto riguarda la linea di riva, si osserva un arretramento nei 100 m più a sud, a ridosso quindi del

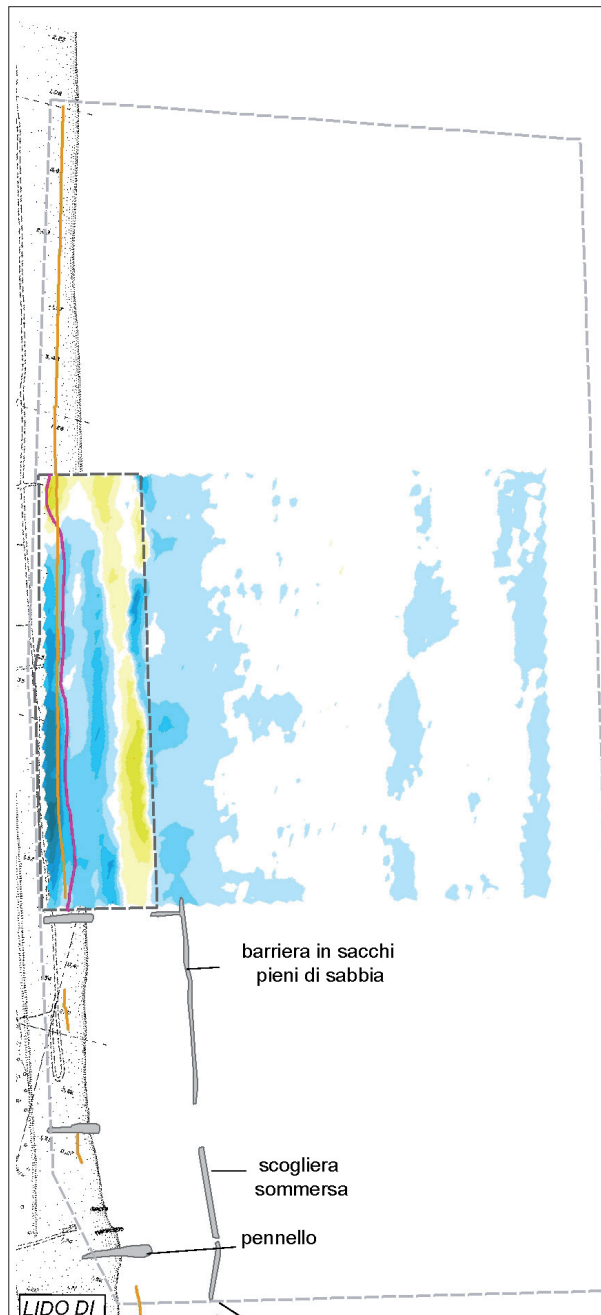


Figura 55 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo di monitoraggio (Febbraio 2003).

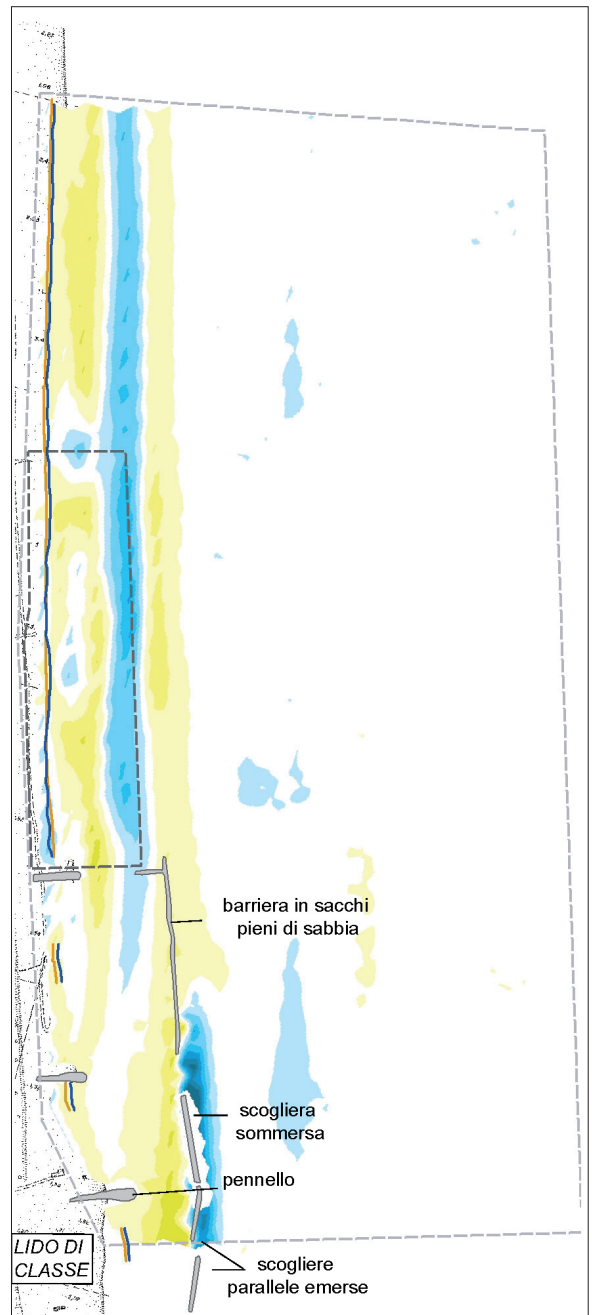


Figura 56 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Gennaio 2004).

pennello in roccia che delimita la cella d'intervento, sostanziale stabilità nel restante tratto, con tendenza all'avanzamento proseguendo verso nord.

Nei 18 mesi che separano la seconda (Gennaio 2004) dalla terza campagna di rilievi (Giugno 2005), nella cella d'intervento il bilancio è fortemente positivo, sia se si sceglie come limite lato mare la batimetrica dei 2,5 m, sia se si sceglie quello dei 5 m. Nel primo caso infatti l'accumulo è di 16.600 m³, nel secondo di circa 71.000 m³.

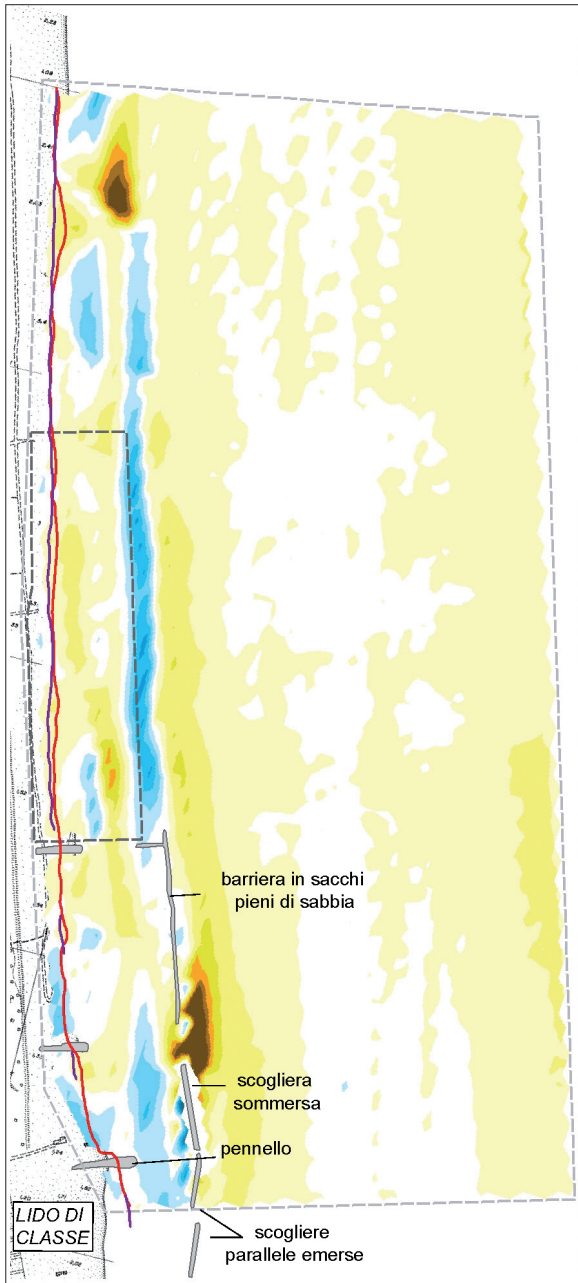


Figura 57 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Gennaio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

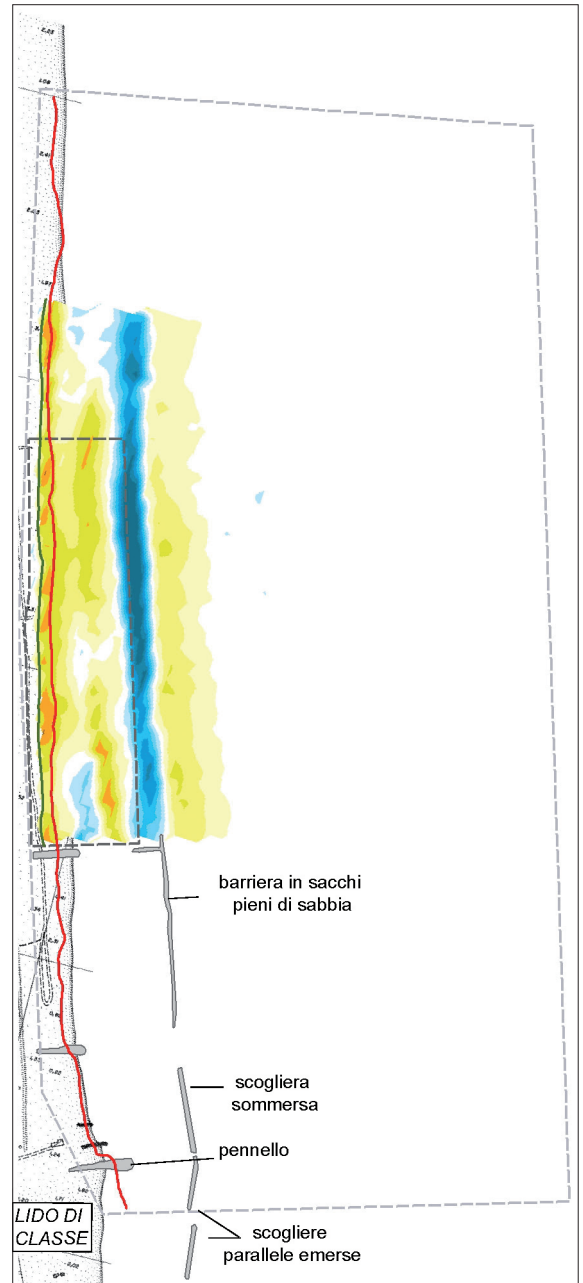


Figura 58 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

Nella Figura 57 si nota un miglioramento dello stato della spiaggia e della prima fascia di fondale e un rialzo della barra esterna.

Difficile stabilire l'origine di questo consistente apporto di materiale, anche se la direzione sud-nord del trasporto solido litoraneo e la presenza di un forte accumulo sul lato nord delle scogliere di Lido di Savio fanno supporre che si tratti di apporti provenienti da sud, dalla foce del Savio.

Da sottolineare anche in quest'area il significativo innalzamento del fondale oltre i 3 m, già descritto in tutti i siti oggetto di monitoraggio, riscontrato nell'intervallo di tempo che separa la seconda dalla terza

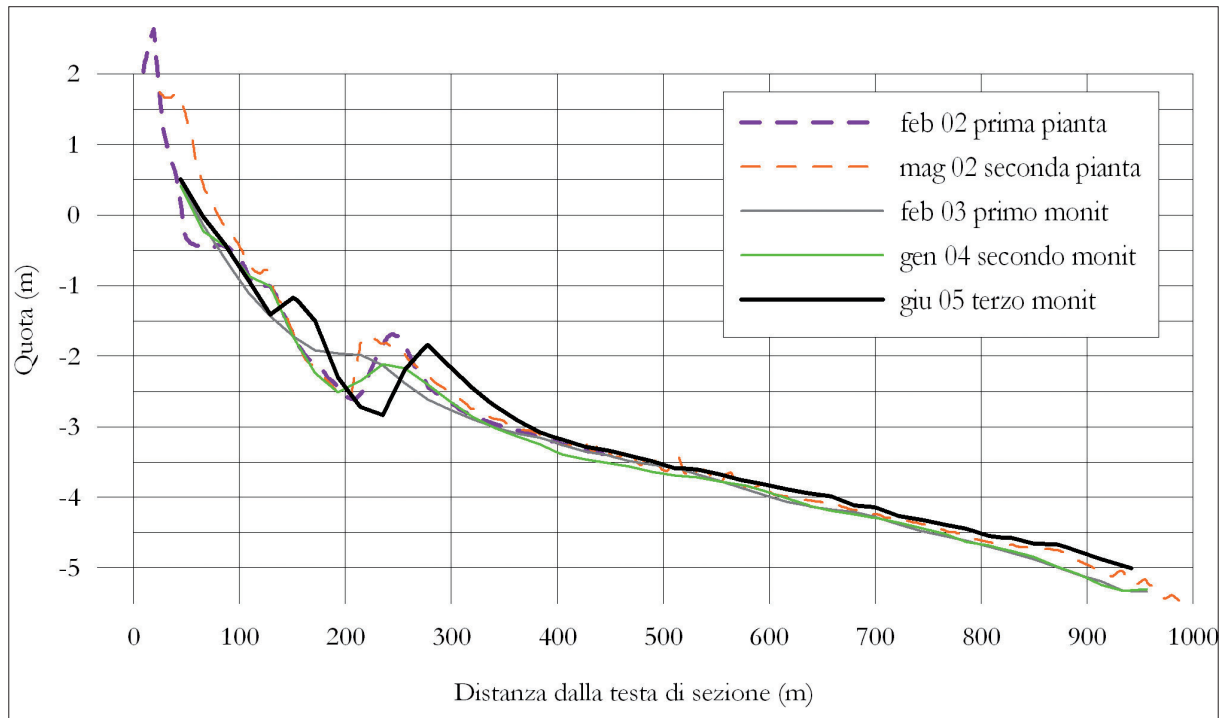


Figura 59 - Profilo LC05.

campagna di monitoraggio.

In sintesi, al termine dei 3 anni di monitoraggio post opera e in assenza di ripascimenti intermedi, nella fascia più dinamica di questa spiaggia e cioè entro la batimetrica dei 2,5 m, risulta una perdita del 44% del materiale apportato. Il bilancio evidenzia però, come del resto si era visto a Zadina, variazioni annuali molto forti strettamente dipendenti dal clima meteomarinario.

In analogia con quanto sopra descritto, la linea di riva è avanzata nell'ultimo periodo su tutto il tratto ad esclusione dei 200 m a nord del pennello che chiude la cella di calcolo sul lato sud.

E' importante sottolineare che, nonostante le forti perdite dell'inverno 2002, la linea di riva del Giugno 2005 è più avanzata rispetto a quella precedente l'intervento (Fig. 58).

Conclusioni

Il primo intervento di ripascimento effettuato dalla Regione Emilia-Romagna utilizzando sabbia prelevata da accumuli sottomarini è stato realizzato nei primi mesi del 2002; sono stati apportati circa 800.000 m³ di sabbia ed ha interessato 8 tratti di spiaggia distinti, per una lunghezza complessiva di circa 9 km, distribuiti su un arco costiero di 55 km.

Sempre nel 2002 la stessa Regione Emilia-Romagna ha incaricato ARPA di eseguire un programma di monitoraggio degli 8 siti interessati.

Nel periodo 2003-2005, ARPA ha così realizzato 3 campagne di monitoraggio in corrispondenza di ogni spiaggia. Il rilievo topo-batimetrico è stato esteso 500 m a sud e a nord di ogni tratto oggetto di ripascimento e, verso mare, fino alla batimetrica dei 5 m.

In sede di analisi sono stati inoltre presi in considerazione anche i rilievi di prima pianta e di fine lavori effettuati dall'impresa esecutrice per conto della Direzione Lavori per il calcolo dei volumi di sabbia apportati, anche se questi hanno riguardato un'area inferiore a quella considerata da ARPA.

Il quadro conoscitivo ottenuto a partire dal confronto dei dati di ciascuna campagna è risultato di grande interesse, perché ha permesso di effettuare analisi e considerazioni sugli spostamenti della sabbia dentro e fuori l'area di intervento e di acquisire informazioni più generali sulle dinamiche del trasporto solido litoraneo, oltre che sul comportamento delle diverse opere di difesa.

È stato così possibile evidenziare, accanto ad aspetti già descritti nel Piano Costa 1996, ma ora meglio precisati e quantificati, anche fenomeni del tutto nuovi di seguito descritti.

Nel periodo che separa la seconda (Novembre 2003-Febbraio 2004) e la terza campagna (Giugno 2005) vi è stato un rialzo del fondale, variabile tra i 10 e i 70 cm, su tutta la fascia esterna alle scogliere o alle batimetriche dei 2-3 m per le spiagge libere, fino al limite dei profili rilevati (batimetrica dei 5 m).

Il processo non riguarda solo i tratti oggetto di intervento, ma anche le aree ai lati, ragion per cui è logico supporre che il fenomeno interessi tutti i 55 km di fascia costiera al cui interno ricadono le 8 spiagge.

Rialzi del fondale in alcune zone del litorale regionale erano stati riscontrati anche in passato, ma mai su un'area così vasta.

Visto che nei 18 mesi in esame non vi sono state piene significative dei fiumi, la causa più plausibile alla base di questo fenomeno potrebbe essere la mareggiata eccezionale di fine Settembre 2004, durante la quale si sono avute onde di 5 m, in grado di spostare grandi volumi di materiali fini dal largo verso costa. È da escludere ogni relazione con i materiali portati a ripascimento perché i volumi accumulatisi sui fondali risultano enormemente superiori.

Viene confermata la relazione molto stretta tra il numero e l'intensità delle mareggiate e le variazioni volumetriche lungo costa. È risultato infatti che le maggiori perdite di materiale si sono verificate nel corso degli inverni 2002-2003 e 2004-2005, durante i quali si sono avute numerose e intense mareggiate. Le perdite sono state inferiori nell'inverno 2003-2004, decisamente migliore sotto il profilo meteomarinario.

A 3 anni dalla fine dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine, la perdita di materiale è stata particolarmente elevata su tutto il litorale di Misano, e sui tratti di spiaggia libera sottoflutto ad opere rigide quali quelli di Riccione, Milano Marittima e Lido di Classe Nord.

Per garantire il mantenimento della linea di riva in questi tratti, la Regione ha apportato 64.000 m³ di materiale nel 2003 e 150.000 m³ nel 2004. Complessivamente quindi, tra il Febbraio 2002 e il Giugno 2005, negli 8 tratti considerati sono stati apportati più di un milione di metri cubi di sabbia.

Pur essendo la sabbia degli interventi di manutenzione di granulometria inferiore a quella delle sabbie sottomarine, quindi più facilmente asportabile dal mare, a Giugno 2005 erano ancora in posto circa 455.000 m³ del totale della sabbia apportata a partire dal Febbraio 2002. Dalle 8 celle sono fuoriusciti quindi, verso le spiagge limitrofe e verso il largo, 553.000 m³ di materiale (Tab. 3).

A conferma di quanto riportato in letteratura e nelle ipotesi del progetto esecutivo dell'intervento di ripascimento, le perdite più elevate (circa il 40%) si sono verificate nel primo inverno (Tab. 3).

Nei 2 anni successivi si sono avute perdite inferiori, e alcuni casi di bilanci positivi.

L'intervento di ripascimento dell'Emilia-Romagna ha interessato due spiagge del tutto naturali (Zadina e Lido di Classe), due protette da barriere sommerse in sacchi (Riccione e Milano Marittima), tre protette da scogliere parallele emerse (Igea Marina, San Mauro-Savignano e Gatteo), al cui interno ci sono anche due tratti in cui la cresta di alcune scogliere è stata ribassata e si è passati da scogliere emerse a semisommerse (Igea Marina e Savignano), e una difesa da un fitto pettine di pennelli in roccia, oltreché da una barriera in sacchi (Misano).

Tabella 3a - Quadro di sintesi dei ripascimenti e delle attività di monitoraggio relative al primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine effettuato in Emilia-Romagna per la difesa delle spiagge in erosione.

Spiaggia	Lunghezza intervento (m)	Ripascim. 2002 (m ³)	Ripascim. 2002 (m ³ /m)	Limite lato mare batimetrica
Misano	1.600	165.300	103	3 m 4 m
Riccione	2.100	253.700	120	3 m
Igea Marina	1.125	65.200	58	scogliere
San Mauro e Savignano	450	21.000	46	scogliere
Gatteo	550	28.100	51	scogliere
Zadina	700	43.500	62	2,5 m 5 m
Milano Marittima	1.700	176.100	103	2,5 m

Lido di Classe	650	41.000	63	2,5 m 5 m
Totale	8.875	793.900		

Tabella 3b - Quadro di sintesi dei ripascimenti e delle attività di monitoraggio relative al primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine effettuato in Emilia-Romagna per la difesa delle spiagge in erosione.

Spiaggia	ΔV (FL-1 ^a) (m ³)	Ripascim. (1 ^a -2 ^a) (m ³)	ΔV (1 ^a -2 ^a) (m ³)	Ripascim. (2 ^a -3 ^a) (m ³)	ΔV (2 ^a -3 ^a) (m ³)	Perdite (FL-3 ^a) (m ³)	Perdite (FL-3 ^a) (m ³ /m*anno)
Misano	-70.600 -8.600	42.300	-18.400 -900	50.000	+11.300 +69.300	170.000 33.450	33 (3 m)
Riccione	-102.400	12.100	+78.700	29.600	-39.600	105.000	17
Igea Marina	-55.500	0	+33.100	0	-29.800	52.100	14
San Mauro e Savignano	+25.500	1.500	-31.100	2.600	-15.300	25.000	18
Gatteo	+1.300	1.500	-12.400	1.900	-9.500	24.000	14
Zadina	-74.300 (2,5 m)	1.500	+24.000 +25.600	1.600	+31.200 +102.300	22.200 (2,5)	10 (2,5 m)
Milano Marittima	-59.400	0	-19.800	60.500	-7.700	147.400	27
Lido di Classe	-39.300 -68.000	0	+4.600 +6.400	0	+16.600 +71.000	18.100 (2,5 m)	9 (2,5 m)
Totale		58.900		146.200		-563.900	

Ripascim. 2002: volume di sabbia sottomarina portata a ripascimento nella primavera 2002.

Limite lato mare batimetrica: profondità di chiusura a mare della cella considerata per il calcolo dei volumi accumulati o erosi.

V (FL-1a): variazione di volume riscontrata confrontando i rilievi di fine lavori (Aprile-Maggio 2002) e quelli della prima campagna di monitoraggio (Febbraio 2003).

V (1a- 2a): variazione di volume riscontrata confrontando i rilievi della prima (Febbraio 2003) e della seconda campagna di monitoraggio (Febbraio 2004).

V (2a-3a): variazione di volume riscontrata confrontando i rilievi della seconda (Febbraio 2004) e della terza campagna di monitoraggio (Giugno 2005).

Ripascim. (1a- 2a): Ripascimenti effettuati fra i rilievi della prima (Febbraio 2003) e della seconda campagna di monitoraggio (Febbraio 2004).

Ripascim. (2a-3a): Ripascimenti effettuati fra i rilievi della seconda (Febbraio 2004) e della terza campagna di monitoraggio (Giugno 2005).

Perdite (FL- 3a): Perdite di sabbia riscontrate confrontando i rilievi di fine lavori (Aprile-Maggio 2002) con quelli della terza campagna di monitoraggio (Giugno 2005).

Un campionario molto articolato quindi, da cui è stato possibile trarre alcune indicazioni significative sul comportamento e l'efficacia delle diverse tipologie di opere di difesa, pur essendo i 3 anni di osservazione un periodo limitato.

Sono state riscontrate le seguenti situazioni:

- le spiagge difese con scogliere parallele emerse trattengono di più la sabbia, non hanno un forte set-up nella zona protetta, ma in presenza di mareggiate molto intense perdono comunque materiale attraverso i varchi. Le perdite unitarie variano infatti tra 14 e 17,5 m³/m all'anno;
- nei due tratti dove le scogliere sono state ribassate fino al medio mare, rispettivamente per 400 m a Igea Marina e per 150 m a Savignano, le perdite unitarie risultano rispettivamente di 45 e 30 m³/m all'anno;
- a Riccione e Milano Marittima, nei primi 500 m sottoflutto a una serie di scogliere parallele emerse, le perdite sono molto elevate: rispettivamente pari a 45 e 63 m³/m all'anno. Va detto però che questi dati sono stati ricavati da due tratti di spiaggia molto brevi e che risentono notevolmente delle condizioni al contorno. Le perdite decrescono rapidamente allontanandosi dalle opere rigide. Infatti nel tratto tra 500 m e i 1000 m dalle scogliere sono 14 m³/m all'anno a Riccione e 27 m³/m all'anno a Milano Marittima; oltre i 1000 m di distanza si ha l'equilibrio di bilancio in entrambe le località;
- a Misano, difesa da un fitto campo di pennelli in massi e da una barriera sommersa in sacchi, le perdite sono tra le più elevate: superano infatti 30 m³/m all'anno su tutto il tratto. Il monitoraggio ha evidenziato però in maniera netta che queste perdite sono dovute in primo luogo alla insufficiente dimensione granulometrica delle sabbie apportate;
- le due spiagge, senza protezione, di Zadina e Lido di Classe, pur essendo breve il tratto dove è stato

effettuato il ripascimento (circa 600 m), evidenziano le minori perdite: 9-10 m³/m all'anno. Dopo le fortissime perdite del primo anno, hanno quindi recuperato in buona misura, per via naturale, i volumi fuoriusciti.

Da quanto descritto in precedenza il giudizio che si può esprimere sull'efficacia del primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato dalla Regione Emilia-Romagna è altamente positivo.

A 3 anni dalla fine dei lavori risulta infatti che nei 9 km di spiaggia oggetto di intervento è ancora presente circa il 45% del materiale apportato.

La parte asportata dal mare è andata in prevalenza ad alimentare le spiagge sottoflutto, garantendo così l'equilibrio di altri 16 km di costa.

Nel complesso l'intervento ha prodotto l'allargamento della spiaggia e il rinforzo della barra su circa 25 km di litorale, riducendo in questo modo al minimo i danni causati dalle mareggiate.

Ne consegue che il ripascimento con sabbia prelevata sui fondali marini al largo della costa ha prodotto notevoli benefici, con un impatto ambientale e paesaggistico ridotto e costi inferiori rispetto al ripascimento con sabbie di cave a terra.

A 70 anni dal loro primo impiego in Emilia-Romagna, le opere di difesa rigida hanno evidenziato limiti e impatti significativi a cui è difficile porre rimedio. Non a caso l'intervento di ripascimento con sabbia sottomarina ha interessato per il 40% litorali difesi da opere rigide.

Per quanto riguarda il colore della sabbia proveniente dai giacimenti sottomarini, più grigia rispetto a quella originale delle spiagge, occorre sottolineare che non ha creato impatti significativi in quanto la diversità è stata attenuata in parte da un leggero processo di ossidazione e in parte dal continuo rimescolamento con la sabbia già in posto, attuato sia in fase di intervento che dalle attività ordinarie dagli operatori di spiaggia. L'esteso e articolato programma di monitoraggio realizzato da ARPA per conto della Regione ha quindi permesso, in primo luogo, di verificare la validità di questa tipologia d'intervento e, in secondo luogo, di acquisire conoscenze tecniche e scientifiche approfondite sulle dinamiche e sui processi che interessano il litorale regionale che risulteranno estremamente utili per la progettazione dei futuri interventi nelle altre zone critiche della costa.

Bibliografia

APAT (2004) - *Atlante delle onde dei mari italiani*.

Idroser (1981) - *Piano progettuale per la difesa della costa adriatica emiliano-romagnola*. Bologna.

Idroser (1996) - *Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna*. Bologna.

Liberatore G., Gaggio M. e Preti M. (1993) - *Field experience of protected beach nourishment in Italy*. E. Özhan, Proc. of the First International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 93, MEDCOAST Secretariat, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, v: 2, pp: 989-1002.

Preti M., Lamberti A. e Martinelli L. (1997) - *Analysis of sand sac submerged barrier: case of a beach in Riccione*. E. Özhan, Proc. of the Third International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 97, MEDCOAST Secretariat, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, v: 2, pp: 1059-1072.

Preti M. (2002) - *Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna*. Studi Costieri, 5: 107-134. 22.200 (2,5).

Ricevuto il 21/01/2010, accettato il 15/07/2010.