

Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

N. 19
2011

**Ripascimento delle spiagge con sabbie sottomarine
in Emilia-Romagna: monitoraggio 2001-2009**

A cura di
Mentino Preti



Studi costieri

Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Collana diretta da:

Enzo Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra
Borgo Albizi, 28 - 50122 Firenze
Tel. 055 2479241 - Fax 055 2001618

Redazione: **Serena Ferri**

E-mail: serena.ferri@unifi.it

Impaginazione: **Chiara Loi**

E-mail: chiara.loi@unifi.it

Comitato scientifico

Segreteria: **Pierluigi Aminti**

Dipartimento di Ingegneria civile
Via S. Marta, 3 - 50139 Firenze
Tel. 055 4796224 - Fax 055 495333
E-mail: aminti@dicea.unifi.it

Carlo Bartolini - Firenze
Edoardo Benassai - Napoli
Antonio Brambati - Trieste
Leonardo D'Alessandro - Chieti
Giuliano Fierro - Genova
Leopoldo Franco - Roma
Giovanni Battista La Monica - Roma
Alberto Lamberti - Bologna
Gianfranco Liberatore - Udine

Elvidio Lupia Palmieri - Roma
Piero Ruol - Padova
Alberto Noli - Roma
Mario Calabrese - Napoli
Giulio Scarsi - Genova
Umberto Simeoni - Ferrara
Sandro Stura - Genova
Giuseppe Roberto Tomasicchio - Bari
Marcello Zunica - Padova

Stampato presso
Nuova Grafica Fiorentina
Via Traversari, 76
50126 Firenze

Studi costieri

Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Numero 19

Indice

Prefazione	p.	3
Paola Gazzolo		
Le attività di Arpa Emilia-Romagna in ambito marino-costiero	p.	4
Vito Belladonna		
Presentazione	p.	5-6
Mentino Preti		
I due interventi di ripascimento con sabbie sottomarine realizzati in Emilia-Romagna nel 2002 e nel 2007	p.	7-9
Mentino Preti		
Caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico Settentrionale utilizzabili per il ripascimento costiero	p.	11-31
Annamaria Correggiari, Margherita Aguzzi, Alessandro Remia e Mentino Preti		
Monitoraggio dell'intervento di ripascimento del 2002		
Il monitoraggio delle spiagge nel periodo 2002-2005	p.	35-87
Mentino Preti, Nunzio De Nigris e Maurizio Morelli		
Caratteristiche dei sedimenti e struttura dei popolamenti bentonici in aree costiere interessate da un intervento di ripascimento con sabbie relitte	p.	89-100
Marco Abbiati, Francesco Colosio, Claudia Romagnoli e Laura Airoidi		
Ricolonizzazione e recupero delle comunità macrozoobentoniche in seguito all'estrazione di sabbie relitte	p.	101-108
Roberto Simonini, Valentina Grandi, Mirko Iotti, Gloria Massamba N'Siala e Daniela Prevedelli		
Osservazioni sulla fauna demersale in un'area di dragaggio (Alto Adriatico) per ripascimento: risultati dei campionamenti pre- e post-escavo	p.	109-122
Gianluca Franceschini, Emanuela Fanelli, Monica Panfilì e Otello Giovanardi		
Monitoraggio dell'intervento di ripascimento del 2007		
Monitoraggio degli effetti dell'estrazione di sabbie sulle comunità macrozoobentoniche di fondali pelitici (area A, Adriatico settentrionale) tramite un disegno beyond-BACI	p.	125-135
Roberto Simonini, Silvia Della Casa, Gloria Massamba N'Siala, Maria Pia Martino e Daniela Prevedelli		
Monitoraggio delle spiagge nel periodo 2007-2009	p.	137-198
Mentino Preti, Margherita Aguzzi, Rosalia Costantino, Nunzio De Nigris e Maurizio Morelli		
Monitoraggio morfologico di aree al largo della costa emiliano-romagnola da cui è stata prelevata la sabbia utilizzata per il ripascimento del litorale regionale	p.	199-213
Margherita Aguzzi, Nunzio De Nigris, Gianna Fabi, Sarine Manoukian, Mentino Preti e Renato Tedeschi		
Norme per gli Autori	p.	215-216

Gruppo Nazionale per la
Ricerca sull'Ambiente Costiero

ISSN 1129-8588

Ringraziamenti

Al termine di questo articolato e complesso lavoro, che si è sviluppato nell'arco di 9 anni (2001-2009) in attività di campo, a terra e in mare, e che ha visto impegnati nella fase di analisi e di laboratorio diversi centri di ricerca universitari e del CNR, mi preme ringraziare tutti coloro che hanno collaborato per la sua ottimale riuscita.

Oltre agli autori, ringrazio in particolare Giuseppe Montanari di ARPA Daphne, che ha diretto tutte le operazioni di campionamento in mare, l'equipaggio del battello oceanografico Daphne e i tecnici dei laboratori delle sezioni provinciali dell' ARPA di Ravenna, Rimini e Ferrara, che hanno svolto le analisi dei campioni.

Un ringraziamento significativo va all'Assessore alla Difesa del Suolo e della Costa Marioluigi Bruschini, in carica fino a Maggio 2010, che ha approvato tutte le attività alla base del presente volume, e all'attuale Assessore Paola Gazzolo.

Ringrazio, inoltre, i responsabili del Servizio del Suolo, della Costa e Bonifica che hanno fornito un costante supporto alla buona riuscita del lavoro e che si sono succeduti nel periodo: Enrico Carboni, Vinicio Ruggeri e Piermario Bonotto e i funzionari Roberto Montanari, Carlo Albertazzi e Ambra Bonazzi.

Prefazione

Per chi ha la responsabilità di destinare i sempre più scarsi finanziamenti a disposizione per la difesa di un sistema ambientale complesso e allo stesso tempo di rilevante importanza economica, com'è appunto il litorale emiliano-romagnolo, risulta di fondamentale importanza disporre di un'approfondita conoscenza delle dinamiche che lo caratterizzano, dei processi di degrado in atto e dell'efficacia dei rimedi fin'ora messi in campo per contrastarli. Un'esigenza che è apparsa fondamentale già a partire dal 1979 quando la Regione ha approvato la prima Legge sulla protezione della costa, iniziando ad occuparsi della sua difesa, della salvaguardia delle peculiarità paesaggistico-ambientali che la connotano e della valorizzazione delle attività imprenditoriali su di essa insediate.

Le applicazioni sul campo delle conoscenze tecnico scientifiche acquisite e la costante verifica della loro efficacia hanno permesso di dar vita, nell'arco di oltre quarant'anni, ad una politica d'intervento del tutto innovativa, basata sulla rimozione delle cause di degrado e sulla riduzione degli impatti ambientali causati dalle diverse tipologie di opere di difesa in massi: un orientamento che è sfociato nella direzione di una gestione integrata della fascia litoranea, affermatasi definitivamente con l'approvazione, nel 2005, delle Linee Guida per la Gestione Integrata della zona costiera. Il concetto di base è il riconoscimento a pieno titolo della costa come sistema unitario, all'interno del quale si sviluppano una serie di complesse interazioni tra le specificità territoriali e gli interessi economici e sociali.

È appunto seguendo quest'approccio che devono essere affrontati i problemi ancora aperti, dall'erosione delle spiagge alla pressione antropica, dalla subsidenza al rischio di innalzamento del livello del mare.

Nel corso degli anni '80 e per buona parte degli anni '90 si è discusso se la protezione delle spiagge potesse essere attuata al meglio mediante la realizzazione di barriere, ad esempio scogliere, oppure invece attraverso tecniche di ripascimento. La risposta a questo interrogativo è emersa con chiarezza dal secondo studio generale della costa, il Piano Costa 1996, che ha evidenziato come il ripascimento sia la tipologia d'intervento più indicata per la difesa del litorale emiliano-romagnolo.

A partire da questa indicazione, la Regione ha deciso nel 2000 di compiere un ulteriore passo in avanti lungo la strada dell'innovazione, realizzando nel 2002 e nel 2007 due grandi opere di ripascimento basate sull'impiego di sabbie provenienti da giacimenti sottomarini al largo della costa regionale. Per entrambi gli interventi, si è messo in campo un articolato programma di studi di caratterizzazione e di monitoraggi per riscontrarne l'efficacia e gli impatti ambientali. Il lavoro è stato svolto tra il 2001 ed il 2009 dall'Unità specialistica Mare-Costa di Arpa, in collaborazione con Università e Istituti di ricerca specializzati in discipline diverse. I risultati sono altamente positivi in quanto dimostrano che la tecnica del ripascimento con sabbie sottomarine è altamente efficace e conveniente: permette infatti di ricostruire le spiagge in tempi ridotti, con impatti ambientali modestissimi e costi unitari della sabbia inferiori a quelli delle cave a terra.

Il presente volume, che riporta in otto articoli i risultati delle analisi scientifiche condotte nel corso di ben 9 anni, costituisce un punto di riferimento molto importante per la definizione delle politiche di difesa e gestione del litorale emiliano-romagnolo da adottare nei prossimi decenni.

Paola Gazzolo
Assessore alla Sicurezza Territoriale
Difesa del Suolo e della Costa
Protezione Civile
Regione Emilia-Romagna

Le attività di Arpa Emilia-Romagna in ambito marino-costiero

Soddisfazione e responsabilità. Sono le due parole che vengono in mente quando viene pubblicato un articolo, uno studio, un volume. Soddisfazione perchè un lavoro, un'idea, un'attività trovano compimento nella pubblicazione e soprattutto, come accade in questo caso, a valle di una positiva valutazione in sede di referaggio, attestandone l'importanza, il valore tecnico-scientifico e l'interesse della comunità, rispetto ai contenuti che vengono sottomessi. Questo vale per il caso in esame in quanto il lavoro illustrato dai colleghi di Arpa e di altre importanti istituzioni di ricerca operanti nella nostra realtà regionale, viene pubblicato su una collana specialistica dedicata proprio agli Studi costieri a seguito di un importante e qualificato lavoro di referaggio. Responsabilità perchè le cose, le idee, le conclusioni scritte e pubblicate attribuiscono agli estensori una responsabilità precisa di quanto sostenuto. Nel caso specifico del volume coordinato da Preti e pubblicato in "Studi costieri" di posizioni se ne sostengono di precise e puntuali (difendere i tratti critici del litorale non più con opere rigide ma con il ripascimento artificiale, ad esempio, così come viene sostenuto dagli autori sin dal Piano costa del 1981) con grande articolazione di argomentazioni, con forte convinzione ed altrettanto forte passione assertiva. Oggi è possibile illustrare queste teorie e queste pratiche proprio perchè alle spalle c'è un lavoro lungo, un bagaglio di dati ed esperienze importante e ricco, e le posizioni sono corroborate dall'aver dovuto superare difficoltà non piccole come sempre accade quando si introduce una visione diversa ed innovativa in un ambito che ha sempre proceduto con i suoi schemi.

La costa ed il mare costituiscono per l'Agenzia ambientale - di cui mi onoro di essere l'attuale Direttore Tecnico - il terreno in cui si dispiega una parte importante della nostra attività: dal controllo della balneazione, in linea con le normative più recenti, al monitoraggio delle acque marine e di transizione, dalla progettazione della difesa costiera al monitoraggio fisico della costa, dalla modellistica idrodinamica e di qualità delle acque marino-costiere sulla base di input meteomarini misurati e simulati, alla rilevazione diretta delle caratteristiche del moto ondoso attraverso la nostra boa ondometrica, fino al progetto GIZC (Gestione Integrata della Zona Costiera) che per precisa intenzione della Regione ha rappresentato e rappresenta un contenitore che integra e mette a sistema tutte le conoscenze tecniche in campo ambientale contaminandole in una visione integrata con quelle economiche, della pianificazione, della programmazione, dell'urbanistica, dei trasporti in un approccio sistemico tanto complesso quanto affascinante.

Questo volume si focalizza, come è naturale che sia, solo su alcuni aspetti, trattandoli in profondità e mettendo a disposizione dati ed informazioni consistenti; sono gli aspetti più attinenti alla collana "Studi costieri" e che costituiscono la dimensione più "ingegneristica" della attività di Arpa.

Nel futuro dovremo essere capaci di tenere assieme la profondità di lavoro su uno specifico aspetto, come quella che si evince dagli studi qui presentati, con una visione della costa come "sistema complesso" come già indicato dal citato GIZC. Siamo certi che la Regione non ci farà mancare il suo supporto di indirizzo e guida così come siamo altrettanto certi che il capitale di conoscenza e capacità elaborativa che Arpa ha acquisito, e che si deduce bene dalla lettura di questa pagine e da altri lavori sul tema, potrà essere anche in futuro valorizzato nella logica di mettere a patrimonio comune tutte le energie disponibili per la difesa e lo sviluppo sostenibile e duraturo dell'ecosistema mare-costa che tanta importanza riveste nel contesto economico-territoriale di questa regione e - non appaia eccessivamente ambizioso - anche dello stesso sistema-Italia.

Ing. Vito Belladonna
Direttore Tecnico Arpa Emilia-Romagna

Presentazione

Nel presente volume vengono riportati i risultati degli studi, delle analisi e dei monitoraggi che nel corso di 9 anni hanno fatto da cornice ai due interventi di ripascimento con sabbie sottomarine effettuati dalla Regione Emilia-Romagna nel 2002 e nel 2007.

Tutti gli studi e i monitoraggi sono stati finanziati dalla Regione allo scopo di ottenere risposte concrete in merito all'efficacia e agli impatti di questa nuova tecnica di intervento e conseguentemente riscontri in grado di supportare la definizione delle politiche da attuare in futuro per la difesa della propria area costiera.

Per capire le ragioni per cui i due interventi suddetti, soprattutto il primo, rivestivano un'importanza strategica, occorre ripercorrere brevemente la storia della difesa dal mare in questa regione in quanto, dopo secoli di avanzamento delle terre rispetto al mare, nei primi decenni del novecento, il litorale emiliano-romagnolo è stato interessato in più parti dal fenomeno opposto: l'erosione della costa ad opera del mare.

Nel corso del '900, soprattutto nella seconda metà, i processi erosivi si sono diffusi fino ad interessare 105 km di litorale, su un totale di 130 km.

Per contenere l'erosione, a partire dal 1931, lo Stato ha protetto circa 65 km di costa, in pratica la metà dell'intero litorale, con opere realizzate con massi rocciosi.

Queste opere hanno fermato l'avanzata del mare, ma con un impatto paesaggistico-ambientale tale da mettere a rischio lo sviluppo dell'industria turistico-balneare, che nel frattempo aveva raggiunto un'importanza europea.

Nel 1979 la Regione ha così deciso di occuparsi del problema e, pur essendo le competenze in materia dello Stato, si è dotata di una legge apposita ed ha affidato alla Società regionale Idroser l'incarico di effettuare uno studio generale di tutta la costa allo scopo di "intervenire a ragion veduta".

In pratica si voleva uscire dal circolo vizioso degli interventi urgenti o tampone, a danni avvenuti.

Lo studio Idroser, meglio noto come Piano Costa 1981, è risultato chiave di volta rispetto alle modalità fino allora attuate; ha proposto infatti di sviluppare una strategia articolata in due direttrici: 1) operare per rimuovere le cause alla base dei processi erosivi; 2) difendere i tratti critici non più con opere rigide, ma con il ripascimento artificiale.

Nel 1983, la Regione ha così realizzato il primo significativo intervento di ripascimento in Italia con un apporto di 538.000 m³ di sabbia su 5,6 km di spiagge appartenenti a 4 comuni diversi.

Negli anni successivi la Regione, ma anche lo Stato che aveva accolto favorevolmente le indicazioni innovative del Piano Costa, hanno realizzato numerosi interventi di ripascimento con sabbia di cave a terra a difesa di circa 16 km di costa.

A metà degli anni '90 però, a causa della mancata garanzia e continuità dei finanziamenti necessari per eseguire la manutenzione degli interventi e soprattutto del riscontro che la sabbia depositata sulle spiagge nel giro di alcuni anni veniva portata via dal mare, il ripascimento è stato visto da molti operatori di spiaggia con sempre maggior scetticismo. La conseguenza è stata che in alcuni comuni le associazioni di categoria dei balneari hanno iniziato a premere sulle rispettive amministrazioni per ottenere la realizzazione di "interventi definitivi", in pratica nuove scogliere.

A partire dal 1995 queste richieste hanno trovato pratica attuazione nei comuni di Ravenna e Cesenatico, dove sono stati effettuati 3 interventi, con scogliere aventi la cresta a quota medio mare, a protezione di 4,3 km di costa.

Per contrastare efficacemente le spinte verso un ritorno al passato non bastava certo aver dimostrato, sulla base di dati e riscontri nel secondo studio generale del litorale, il Piano Costa 1996, che il ripascimento è la

tecnica più indicata per la difesa delle spiagge del litorale emiliano-romagnolo, ma occorre fare un salto di qualità e cioè effettuare un consistente intervento con la sabbia dei giacimenti scoperti sul fondo del mare Adriatico 55 km al largo di Ravenna con le ricerche da noi condotte a partire dal 1984.

Nel 2000, nonostante le perplessità di molti amministratori e tecnici, la Giunta della Regione ha deciso di stanziare 22 miliardi di lire per la realizzazione del primo intervento di questo tipo e ne ha affidato la progettazione ad ARPA dove, nel 1996, era confluito il gruppo tecnico di Idroser che aveva realizzato i Piani Costa 1981 e 1996 e molti altri studi, progetti e ricerche riguardanti la difesa del litorale.

L'intervento è stato realizzato nel 2002 ottenendo consensi pressoché unanimi; solo le associazioni dei pescatori si sono dichiarate contrarie in quanto, a loro dire, l'area di prelievo corrispondeva a una zona di riproduzione di specie ittiche pregiate.

Per verificare la veridicità o meno delle argomentazioni addotte dai pescatori circa gli impatti derivanti dal prelievo della sabbia nelle zone al largo della costa e l'efficacia della nuova tecnica di ripascimento sulle 8 spiagge oggetto di intervento, nel 2002, la Regione ha affidato ad ARPA l'incarico di effettuare nei 3 anni successivi un articolato programma di monitoraggio su tutte le aree interessate.

Nel 2005, visti i positivi risultati del monitoraggio, la Regione ha avviato le procedure per realizzare il secondo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine, realizzato nel 2007. Anche in questo caso ARPA è stata incaricata di monitorare fino al 2009 aree di prelievo e spiagge.

In questo modo, considerando le campagne di caratterizzazione e quelle di monitoraggio, è stato possibile studiare dettagliatamente e per un periodo di 9 anni, 3 aree di fondali sottomarini aventi caratteristiche diverse e 11 spiagge protette da diverse tipologie di opere rigide o del tutto prive di difese. Ciò ha permesso di ricavare una vasta mole di dati e informazioni sui processi fisici, biologici e ambientali che hanno fatto seguito alle operazioni di dragaggio e ripascimento.

Ad esempio, con il monitoraggio 2007-2009 è stato possibile seguire contemporaneamente il comportamento dei 4 interventi con scogliere semisommerse presenti lungo il litorale regionale e, in sede di analisi, metterlo a confronto con quello delle altre spiagge protette con altre tipologie di opere, o prive di difese, oggetto di rilievo nello stesso periodo.

I risultati di questo confronto sono descritti nel penultimo articolo del presente volume e confermano ancora una volta che il ripascimento è la tecnica più indicata per la protezione delle spiagge del litorale emiliano-romagnolo, tanto più se realizzato con sabbie sottomarine.

Il principale supporto a questa affermazione resta comunque il dato di fatto che, a partire dalla metà degli anni '80, a causa della subsidenza e della fortissima riduzione degli apporti di sabbia al mare da parte dei fiumi, quasi tutte le spiagge difese con scogliere sono entrate in erosione per cui è stato necessario portare sabbia periodicamente non solo su di esse, ma anche sulle spiagge libere ai lati in quanto queste opere creano sempre una falcata erosiva sottoflutto.

Pertanto il vagheggiato "intervento definitivo" non esiste!

Infatti, come dimostra l'esperienza acquisita a partire dal 1981, solo una corretta gestione potrà garantire l'equilibrio delle spiagge in erosione e conseguentemente il futuro del turismo balneare.

Per quel che riguarda le aree di prelievo al largo si è potuto dimostrare che non sono aree di riproduzione di specie ittiche pregiate e che comunque nel giro di 2-3 anni vengono completamente ripopolate dalle specie zoobentoniche presenti nell'area prima dell'intervento.

A partire da questi riscontri e tenuto conto della grande quantità di dati raccolti nell'ambito di discipline diverse, quali la geologia marina, la biologia marina e l'ingegneria costiera, si è ritenuto che l'approccio scientifico multidisciplinare e i risultati conseguiti, oltre ad essere di grande utilità per la definizione delle politiche di gestione del litorale emiliano-romagnolo, possano essere di interesse anche per un pubblico più vasto di ricercatori e amministratori.

Da qui la decisione di fare un ulteriore sforzo e pubblicare il presente volume.

Mentino Preti

I due interventi di ripascimento con sabbie sottomarine realizzati in Emilia-Romagna nel 2002 e nel 2007

Nel periodo che va dal 13 Febbraio al 6 Maggio 2002, una draga della capacità di 6.000 m³ ha portato circa 800.000 m³ di sabbia, prelevati da un corpo sabbioso sottomarino situato 55 km al largo della costa, su 8 tratti di spiaggia distinti, appartenenti alle province di Rimini, Forlì-Cesena e Ravenna.

Scopo dell'intervento era quello di attuare un significativo potenziamento del sistema spiaggia, basato su un innalzamento della quota e un allargamento verso mare dell'arenile, in modo da garantire la sicurezza di quanto sta al retro per un periodo di 3-5 anni.

La scelta delle spiagge da proteggere è stata effettuata seguendo le indicazioni del Piano Costa 1996 e la scala di priorità in esso riportata. Nello specifico 3 di esse corrispondono a quelle che la Regione ha tradizionalmente protetto con continuità a partire dal 1983, e cioè Misano, Riccione sud, Milano Marittima (Cervia). Occorre sottolineare che, essendo l'intervento finanziato prevalentemente dalla Protezione Civile Nazionale per la "messa in sicurezza dei tratti critici del litorale regionale", la scelta delle spiagge da difendere non ha riguardato solo le zone turistiche, ma anche tratti ad elevata valenza ambientale.

Un altro criterio di selezione preliminare è stato quello di escludere dalle aree di intervento quasi tutto il litorale ravennate, in quanto protetto tradizionalmente dal Comune con finanziamenti derivanti dalla legge speciale per Ravenna (Legge n. 845/80), e il litorale della Provincia di Ferrara, in quanto dispone di zone con abbondanti accumuli di sabbia litoranea.

La Figura 1 evidenzia i siti di intervento e l'area di prelievo della sabbia, mentre in Tabella 1 sono riportate le caratteristiche principali delle spiagge interessate dall'intervento.

Tabella 1 - Caratteristiche delle 8 spiagge oggetto di ripascimento nel 2002 e volumi di sabbia apportati.

Località	Lunghezza tratto (m)	Opere di difesa	Ripascimento (m ³)	Ripascimento (m ³ /m)
Misano Adriatico	1.600	Pennelli e barriera sommersa in sacchi	165.288,75	103
Riccione Sud	2.250	Barriera sommersa in sacchi	253.727,00	113
Igea Marina	1.125	Scogliere emerse	65.212,75	58
San Mauro e Savignano	450	Scogliere emerse	20.946,43	46
Gatteo a Mare	550	Scogliere emerse	28.090,41	51
Zadina (Cesenatico)	700		43.543,68	62
Milano Marittima (Cervia)	1.700	Barriera sommersa in sacchi	176.111,00	103
Lido di Classe - Foce Bevano (Ravenna)	650		41.013,04	63
Totale	9025		793.393,0*	

*In realtà il volume totale di sabbia sottomarina portata a ripascimento è pari a 803.390 m³. In tabella non sono riportati 10.000 m³ di sabbia sversati a Gatteo a Mare e in seguito ripresi e portati a Valverde di Cesenatico via terra.

Tra le diverse specificità dell'intervento la più importante è senza dubbio l'elevato numero di tratti costieri interessati e cioè 8.

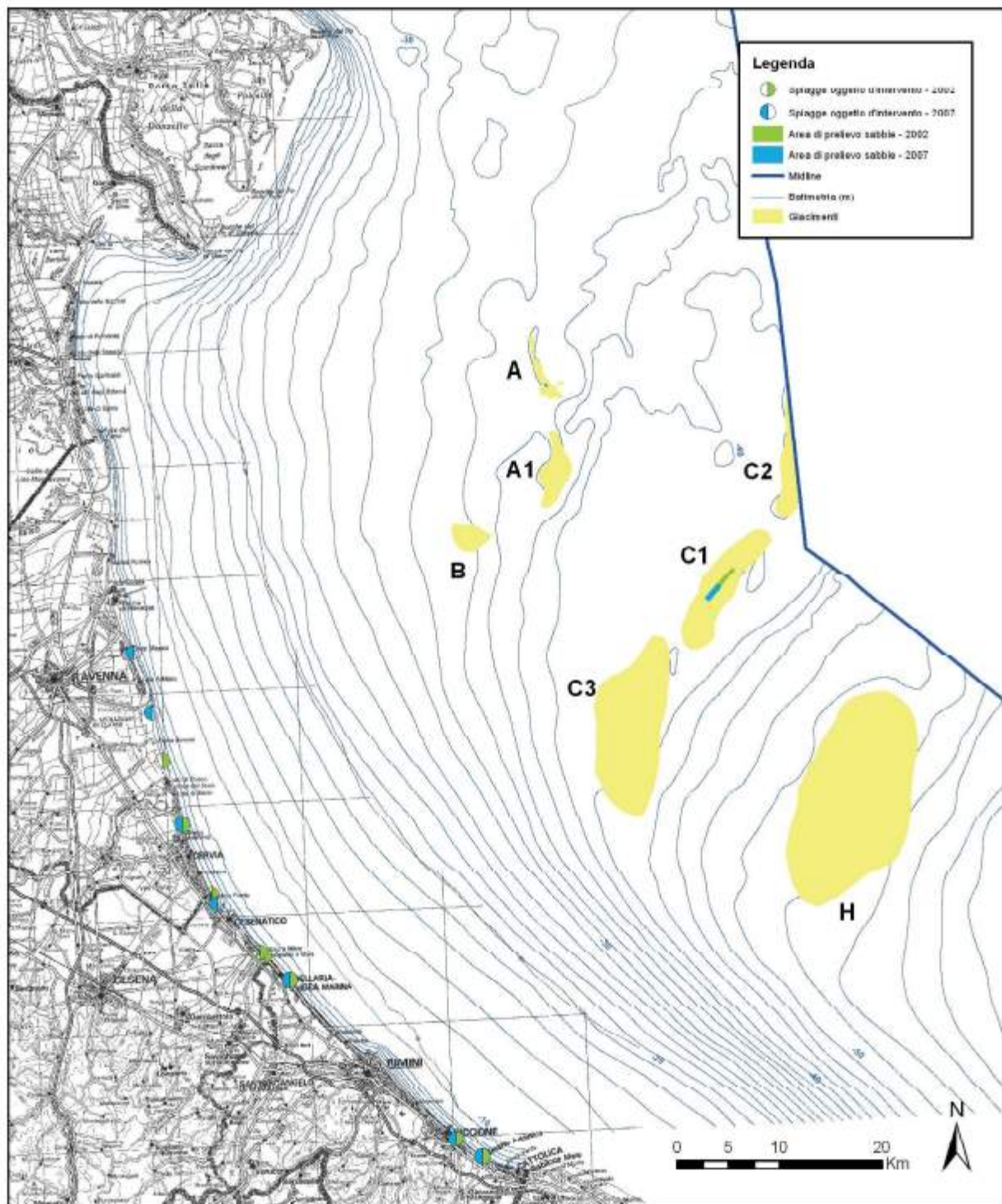


Figura 1 - Mappa del litorale emiliano-romagnolo con indicazione delle spiagge oggetto di intervento nel 2002 e nel 2007 e aree al largo di prelievo delle sabbie.

Come evidenziato in Tabella 1, un'altra specificità di grande rilevanza ai fini dell'analisi evolutiva dei singoli tratti riguarda la presenza di opere di difesa di differente tipologia. Per la descrizione dettagliata dell'intervento del 2002 si rimanda all'articolo di Preti intitolato: "Ripascimen-

to di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna", pubblicato nel 2002 sulla Rivista Studi costieri. In considerazione dei buoni risultati forniti dal monitoraggio dell'intervento del 2002 e dell'elevato gradimento manifestato dagli operatori di spiaggia e dagli amministratori dei comuni costieri, la Regione ha deciso, nel 2005, di finanziare un secondo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine.

L'intervento è stato realizzato nella primavera del 2007 e, ha riguardato 7 spiagge sulle quali sono stati sversati poco più di 800.000 m³ di sabbia (Tab. 2, Fig. 1).

Come nel 2002, anche questo secondo intervento ha interessato spiagge protette da diverse tipologie di opere rigide oltre a una del tutto priva di difese.

Anche la modalità, le tecniche d'intervento e la capacità della draga (6.000 m³) sono risultate pressoché identiche in ambedue gli interventi.

Le principali novità dell'intervento del 2007 sono state l'inserimento di 2 spiagge del comune di Ravenna, poste più a nord rispetto a quelle del 2002, e il prelievo della sabbia da 2 giacimenti sottomarini, anziché da 1 solo.

Con il secondo intervento infatti si è voluto verificare l'entità degli impatti derivanti dalla coltivazione di un giacimento coperto da alcuni decimetri di pelite.

L'inserimento di due nuove spiagge appartenenti al comune di Ravenna, che ha un fronte a mare pari a circa 1/3 (37 km) dell'intero litorale regionale, ha avuto una notevole importanza ai fini dell'affermazione del ripascimento con sabbie sottomarine. Gli operatori di spiaggia ravennati e gli amministratori di questo comune, caratterizzato da lunghi tratti di costa in forte erosione, hanno potuto riscontrare infatti come con questa tecnica si possano ricostruire, in poche settimane, spiagge ormai ridotte a pochi metri di larghezza con disagi e impatti ambientali pressoché nulli.

Tabella 2 - Caratteristiche delle 7 spiagge oggetto di ripascimento del 2007 e volumi di sabbia apportati.

Località	Lunghezza tratto (m)	Opere di difesa	Ripascimento (m ³)	Ripascimento (m ³ /m)
Misano Adriatico	1.600	Pennelli e barriera sommersa in sacchi	149.000	93
Riccione Sud	1.200	Barriera sommersa in sacchi	105.000	88
Igea Marina*	1.300	Scogliera semisommersa e pennelli	80.800	68
Cesenatico Zona Colonie	600		68.400	114
Milano Marittima (Cervia)	950	Barriera sommersa in sacchi	90.100	95
Lido di Dante (Ravenna)	1.100	Scogliera semisommersa e pennelli	107.100	97
Punta Marina (Ravenna)	1.660	Scogliera semisommersa e pennelli	189.900	114
Totale	8.410		790.300	

*In realtà il volume totale di sabbia sottomarina portata a ripascimento è pari a **815.300** m³. In tabella non sono riportati i 25.000 m³ di sabbia sversati a Igea Marina e trasportati via terra nelle località di Torre Pedrera (Comune di Rimini), Valverde e Villamarina (Comune di Cesenatico).

Mentino Preti

Caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico Settentrionale utilizzabili per il ripascimento costiero

Annamaria Correggiari¹, Margherita Aguzzi², Alessandro Remia¹ e Mentino Preti²

¹ Istituto di Scienze Marine Consiglio Nazionale delle Ricerche ISMAR - CNR Sede di Bologna
via P. Gobetti, 101 - 40129 Bologna

² ARPA Direzione Tecnica - Via Largo Caduti del Lavoro, 6 - 40121 Bologna
E mail: anna.correggiari@bo.ismar.cnr.it, maguzzi@arpa.emr.it, mpreti@arpa.emr.it

Riassunto

Il presente lavoro riporta i risultati ottenuti da ARPA in collaborazione con ISMAR-CNR di Bologna nell'ambito di campagne geognostiche e geofisiche condotte nel 2000 al largo della costa emiliano-romagnola. Le indagini hanno avuto lo scopo di individuare un'area idonea al prelievo di sabbia e di stimare i volumi di sabbia presenti da destinare al ripascimento delle spiagge in erosione per conto della Regione Emilia-Romagna nell'ambito di due progetti di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale regionale eseguiti nel 2002 e nel 2007.

Lo studio ha interessato quattro accumuli sabbiosi (A, B, C1 e C2) individuati in occasione di precedenti campagne di ricerca condotte in Adriatico settentrionale ad una distanza dalla costa compresa tra 45 e 55 km. I corpi sabbiosi in esame sono stati caratterizzati dal punto di vista sedimentologico (40 vibrocarotaggi) e stratigrafico sulla base di 360 km di profili sismici (Sub Bottom Profiler tipo Chirp Sonar).

Dal punto di vista morfologico, nelle aree A, C1 e C2 sono presenti tre rilievi allungati, mentre nell'area B si osserva solo un allargamento delle isobate. Nelle aree C1 e C2 le sabbie affiorano all'interfaccia acqua-sedimento, mentre nelle aree A e B, più vicine alla costa, è presente una copertura pelitica.

I quattro accumuli sabbiosi sono attribuibili a "relitti d'erosione" di cordoni litorali trasgressivi originariamente più sviluppati, hanno forma geometrica lenticolare e sono costituiti prevalentemente da sabbie fini ben classate, sormontate da sabbie bioclastiche di *ravinement* a base erosiva.

In totale è stata stimata la presenza di 78 milioni di m³ di sabbia. Sono state scelte come aree di prelievo i dossi C1 e A. Il dosso C1 è stato sfruttato sia per l'intervento del 2002 che per quello del 2007, mentre il dosso A soltanto per quello del 2007.

Parole chiave: Ripascimento costiero, erosione costiera, depositi trasgressivi, cave sottomarine, Mare Adriatico settentrionale.

Abstract

Results of geophysical and sampling surveys carried on by ARPA RER and ISMAR CNR-Bologna offshore the Emilia-Romagna coast in 2000 are described in order to identify the potential borrow sites on the shelf and calculate the total available sand volume. Some consistent sand deposits were used in 2002 and 2007 to renourish Emilia-Romagna beaches naturally prone to intense erosion. This research focused on four sand deposits (named A, B, C1 e C2), previously identified in the Northern Adriatic shelf between 45 and 55 km offshore. Stratigraphy and sedimentology of the sand bodies identified were characterised with 40 vibrocores and 360 km of Chirp

Sonar Sub Bottom Profiler. Elongated transgressive sand ridges are evident in areas A, C1 and C2 while in area B sand deposit is capped by recent mud with little evidences in bathymetry. The four sand remnant deposits left from erosion of large transgressive coastal sand ridges, are characterised by sorted fine sand overlaid with a coarser ravinement unit with erosional base. The total amount of sand was estimated in 78 million of cubic metres. C1 area was chosen as borrow site for renourishment activities in 2002 and 2007, while area A was selected only for the 2007 dredge operation.

Keywords: Beach nourishment, Beach erosion, transgressive deposits, offshore borrow sites, North Adriatic Sea.

Introduzione

Lo sfruttamento di depositi sabbiosi sottomarini, per scopi edili o per il ripascimento delle spiagge in erosione, è ormai una pratica comune in diversi paesi europei come Gran Bretagna, Spagna, Olanda, Danimarca, Belgio e, più recentemente, Italia.

Al largo della costa della Regione Emilia-Romagna, accumuli sabbiosi sono stati individuati nel corso degli anni 80 e 90 con ricerche a grande scala (Colantoni et al., 1979; 1990; IDROSER SpA, 1985; 1990) condotte da ARPA Ingegneria Ambientale (ex Idroser) e ISMAR-CNR di Bologna (ex IGM-CNR).

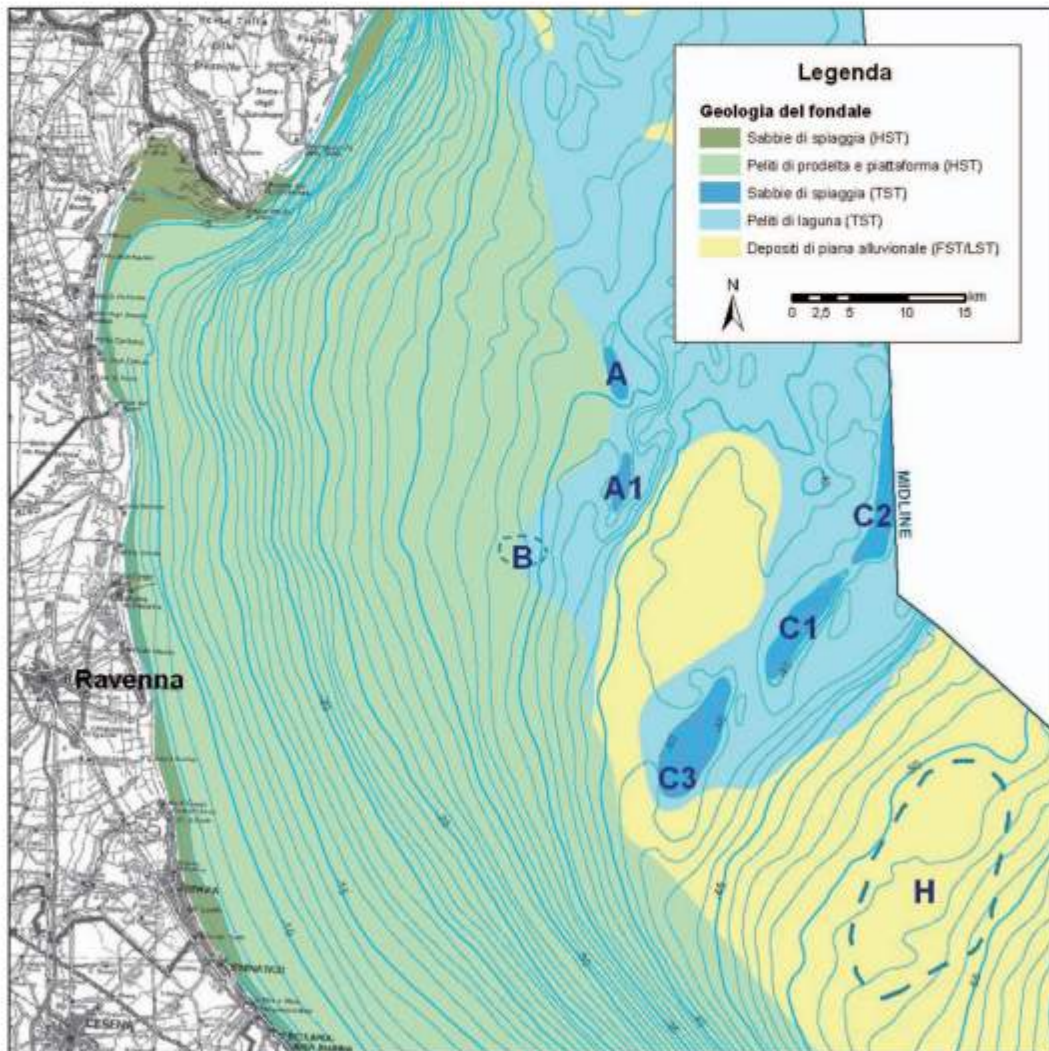


Figura 1 - Ubicazione delle aree A, A1, B, C1, C2, C3 e H sulla carta geologica della piattaforma nord adriatica (Foglio NL 33-10 RAVENNA a cura di Fabbri et al., 2001 modificato).

Nel 2000, quando la Regione Emilia-Romagna ha deciso di eseguire il primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (Preti, 2002), gli accumuli sabbiosi individuati in precedenza sono stati sottoposti a rilievi di dettaglio al fine di individuare l'area più indicata per il prelievo della sabbia. A tal fine la Regione ha incaricato ARPA di eseguire apposite campagne di ricerca geofisica e geognostica.

Questo lavoro riporta i risultati ottenuti nell'ambito di queste campagne indirizzate su 4 aree collocate a una distanza dalla costa compresa tra 45 e 55 km, denominate convenzionalmente A, B, C1, C2 (Fig. 1). Successivamente, tra il 2007 e il 2008, nell'ambito delle attività previste dal progetto Europeo Beachmed-e e dal secondo intervento di ripascimento realizzato dalla Regione, sono state condotte ulteriori campagne di ricerca che hanno riguardato altre tre zone: il dosso A1, il dosso C3 e una nuova area, denominata H, individuata all'inizio del 2007 a partire da alcuni profili sismici tratti dall'archivio di ISMAR-CNR di Bologna. I dati relativi a questi ultimi studi sono in parte riportati nei rapporti tecnici prodotti per il Beachmed-e (2006) e in parte ancora in fase di elaborazione.

Nel presente elaborato è riportata la caratterizzazione di dettaglio degli accumuli sabbiosi presenti nelle aree indagate nel 2000 (A, B, C1 e C2), la stima, i volumi di materiale estraibili e la definizione delle aree di prelievo delle sabbie destinate agli interventi di ripascimento del litorale regionale del 2002 e del 2007.

Inquadramento geologico e stratigrafico

Lo studio ha interessato la porzione settentrionale del bacino adriatico compresa tra la costa emiliano-romagnola e la linea di delimitazione della piattaforma continentale tra Italia e Croazia.

Il Mare Adriatico è caratterizzato da un regime microtidale con un'escursione di marea inferiore al metro e da una circolazione ciclonica di origine termalina, che confina le acque a bassa salinità di origine fluviale sul lato occidentale del bacino (Malanotte-Rizzoli e Bergamasco, 1983). I venti dominanti in Adriatico sono la Bora da NE e lo Scirocco da SE.

Dal punto di vista geologico-strutturale, il bacino epicontinentale adriatico nel suo complesso rappresenta l'avanfossa plio-quadernaria della catena appenninica (Ori et al., 1986). Esso consiste in una piattaforma continentale molto ampia, con gradiente costante fino alla latitudine estesa di Ancona e di Zara, per poi evolvere in un bacino di scarpata "Depressione Meso-adriatica" al largo di Pescara (Fig. 2). Le massime profondità (>1000 m) si raggiungono a sud in corrispondenza della Fossa Adriatica, al largo della Puglia. Il fondale dell'Alto Adriatico è costituito da depositi di età tardo-quadernaria ed è caratterizzato da un gradiente notevolmente basso. I principali studi condotti su tali depositi sono quelli di Trincardi et al. (1994) e Correggiari et al. (1996 a,b; 2001; 2005 a, b; Cattaneo e Steel 2003) e quelli legati alla realizzazione della Carta Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000 (Fabbri et al., 2001). A questi lavori si deve, in particolare, la definizione dell'architettura deposizionale olocenica basata su dati di recente acquisizione e su lavori precedenti (Brambati et al., 1967; 1973; Colantoni et al., 1979; 1990; Idroser 1985; 1990) in cui vengono descritti i depositi trasgressivi costituiti da antichi cordoni litorali sommersi sui quali si focalizza questo studio (Fig. 1).

L'evoluzione della successione stratigrafica presente nella zona è strettamente legata alle fluttuazioni eustatiche tardo-quadernarie che, come dimostrato da calibrizioni in aree del Mediterraneo centrale (Fairbridge 1961; Antonioli et al., 2004; Lambeck et al., 2004; Fairbanks, 1990; Correggiari et al., 1996; Asioli et al., 2001), presentano un andamento piuttosto complesso.

Si distinguono tre fasi principali: i) un lungo periodo caratterizzato da un graduale e lento abbassamento del livello del mare e stazionamento basso (da 125.000-18.000 anni fa), ii) una rapida risalita del livello di base (da 18.000-5.500 anni fa) e iii) un finale stazionamento alto (5.500 anni fa-Attuale; Fairbanks, 1989; Catalano et al., 1995; Trincardi et al., 1996; Correggiari et al., 2001; Cattaneo et al., 2003; 2004; 2007).

Durante l'ultimo acme glaciale, 18.000 anni fa, quando il livello del mare si trovava 120 m al di sotto della quota attuale (Rizzini, 1974; Trincardi et al., 1994), l'Adriatico settentrionale era una pianura alluvionale e la linea di riva si trovava notevolmente più a sud rispetto alla posizione attuale. Il Po percorreva questa pianura raccogliendo le acque provenienti dal sistema fluviale carsico dei massicci orientali ed dai fiumi appenninici provenienti da ovest, per sfociare infine in mare all'altezza di Pescara.

Il sistema deposizionale deltizio e costiero connesso al fiume Po si sviluppava, così, sul bordo della Depressione Meso-adriatica, costituendo, assieme alle correlate successioni alluvionali prossimali, le unità di caduta (FST) e di stazionamento basso del livello del mare (LST; Fig. 1).

Superato l'acme glaciale, una rapida fase di risalita eustatica (TST) legata all'instaurarsi di condizioni climatiche temperate, ha portato alla migrazione verso terra di sistemi costieri di barriera-laguna. I depositi trasgressivi sono costituiti da una unità tabulare a base erosiva comprendente sabbie bioclastiche argillose poggianti su una complessa successione di depositi paralici aggradanti e prevalentemente argillosi (Colantoni et al., 1979; Trincardi et al., 1994; Correggiari et al., 1996 a, b; Amorosi et al., 1999; Cattaneo e Trincardi, 1999). Ricostruzioni stratigrafiche di sottosuolo eseguite in Pianura Padana, estese per alcune decine di chilometri verso terra, dimostrano che al culmine della trasgressione (6.000-5.500 anni fa) la posizione della linea di costa era decisamente più interna rispetto a quella attuale (Amorosi et al., 1999; Preti, 1999; Amorosi et al., 2003; 2005; Stefani, 2005; Bondesan et al., 1995).

La successiva fase di stazionamento alto (HST, Fig. 1) del livello del mare ha portato alla deposizione di unità progradanti prevalentemente fangose estese verso il largo per 35-40 km (Correggiari et al., 2001; 2005 a, b).

I cordoni litorali sommersi, argomento di questo studio, vengono definiti "relitti", perché rappresentano spiagge antiche (8-11.000 anni fa) depositate durante la migrazione verso terra della linea di riva ed in seguito annegate (Fischer, 1961; Penland et al., 1988; Swift, 1975; Sanders e Kumar, 1975). Generalmente, la conservazione di questi corpi sedimentari dipende strettamente dalla dinamica costiera, dal basso gradiente della piattaforma, dalle geometrie iniziali dei corpi sedimentari coinvolti e dalle modalità di risalita del livello del mare (Belknap e Kraft, 1981).

L'annegamento di questi sistemi riconosciuti al largo della costa regionale è avvenuto nell'ambito di un regime marino dominato dalle onde, in un periodo di risalita del livello del mare caratterizzato da un tasso di crescita di circa 10 mm/a. Questo tasso, anche se elevato rispetto ai valori attuali, non è abbastanza alto da poter essere considerato come il fattore di controllo principale che ha permesso la conservazione di questi depositi. La teoria più accreditata sostiene che il fattore che più ha favorito la preservazione di questi cordoni sabbiosi sia la topografia antecedente, caratterizzata da una piattaforma a gradiente molto basso (Correggiari et al. 2002; Storm et al., 2008).

Dal punto di vista morfologico la presenza di questi corpi sedimentari viene percepita come rilievi allungati del fondale marino. In corrispondenza di questi dossi, al di sotto dell'unità tabulare a base erosiva costituita da sabbie bioclastiche, precedentemente menzionata, giacciono sabbie ben cernite di spiaggia sommersa inferiore. La superficie erosiva che separa l'unità sabbiosa superficiale dalle sabbie relitte sottostanti è stratigraficamente definibile come superficie erosiva di rimaneggiamento marino (superficie di *ravinement*). Essa è una superficie diacrona che segna la migrazione della spiaggia verso terra e si forma nel momento in cui zone di spiaggia o di retrospiaggia vengono a trovarsi nell'ambito d'azione del moto ondoso in seguito all'innalzamento del livello marino. Essa si presenta generalmente come una superficie erosiva associata a un lag conchigliare posto alla base di sabbie a loro volta ricche in bioclasti (Walker, 1992; Cattaneo e Steel, 2003; Nummendal et al., 1987).

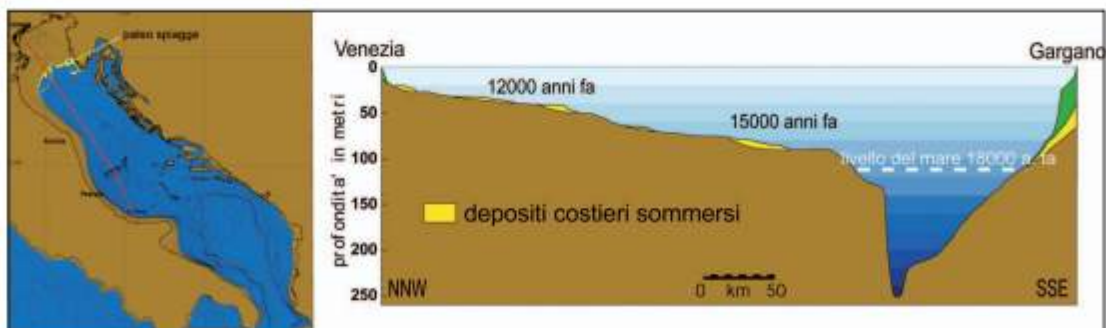


Figura 2 - Sezione morfologica della piattaforma adriatica tra Venezia e il Gargano. Nella mappa sono evidenziati in rosso la traccia di sezione ed in giallo i relitti di depositi sabbiosi riconducibili alle paleo spiagge sommerse di origine trasgressiva (età 12.000 anni B.P.) Nella sezione sono riportati in verde i depositi tardo olocenici di stazionamento alto HST ed in giallo quelli trasgressivi sabbiosi con le relative età radiometriche calibrate.

Materiali e metodi

Campagna geofisica

Nell'Aprile 2000, con l'utilizzo della Nave Oceanografica Urania del CNR (Resp. A. Correggiari), sono stati acquisiti profili sismoacustici nelle aree A e B (Fig. 1). È stato utilizzato un Sub Bottom Profiler tipo Chirp Sonar con 16 trasduttori a bassa frequenza (2-7 kHz) montati in chiglia e un'unità di registrazione digitale che ha reso possibile l'acquisizione di profili sismoacustici di alta qualità. La tecnologia Chirp utilizza la trasmissione di un segnale a banda limitata, di durata temporale finita con "Modulazione di Frequenza Lineare", per cui gli impulsi incrementano il range dinamico del sistema di 20+30 dB rispetto ai Sub-Bottom tradizionali. A differenza di questi ultimi, in cui la risoluzione è inversamente proporzionale alla lunghezza dell'impulso, la risoluzione di un Chirp è proporzionale alla larghezza di banda dell'impulso trasmesso. Pertanto la capacità del Chirp di trasmettere impulsi di lunga durata con una larghezza di banda ampia, si traduce in un'immagine sonar a più alta risoluzione (fino a 4 volte superiore a quella dei sistemi operanti nella stessa gamma di frequenze) e, a causa del significativo aumento di energia trasmessa, in un maggiore range dinamico del sonar.

Nell'area A sono stati effettuati 360 km di profili su una superficie di 50 km² (Tab. 1). Il grigliato di acquisizione è costituito da profili orientati est-ovest distanti l'uno dall'altro 150 m e da profili orientati nord-sud distanti 300 m.

Nell'area B sono stati eseguiti 160 km di profili geofisici a maglia quadrata con lato di 300 m, su una superficie di 25 km².

Nelle aree C1, C2, oggetto di una successiva campagna geofisica commissionata da ARPA alla G.A.S. s.a.s. di Bologna, sono stati acquisiti profili sismoacustici Chirp Sonar, utilizzando uno strumento al traino con un minor numero di trasduttori. Sono stati raccolti profili per un totale di 110 km su una superficie di 131 km². Il grigliato di acquisizione si presenta meno denso che nelle altre due aree ed è servito per inquadrare in modo preliminare i siti di carotaggio. Dal momento che le pessime condizioni meteorologiche hanno impedito l'acquisizione di profili di buona qualità, per la definizione di questa area sono stati utilizzati profili sismici di proprietà di ISMAR.

Campagna geognostica

A partire dai risultati della campagna geofisica, è stata impostata la campagna geognostica con l'obiettivo di prelevare complessivamente 40 carote nelle quattro aree A, B, C1 e C2, distribuite come riportato nella Tabella 2.

La campagna geognostica è stata condotta direttamente da ARPA (Resp. M. Preti) che ha noleggiato il mezzo navale ed il carotiere e si è avvalsa di personale specializzato esterno e si è svolta in due fasi: la prima ha interessato le aree A e B, mentre la seconda le aree C1 e C2 e una piccola parte dell'area A dove occorreva completare il quadro d'indagine della prima fase.

Al fine di ricavare elementi indicativi sulla natura dei sedimenti superficiali dei dossi dell'area C1 si è deciso di effettuare, prima della campagna geognostica, il prelievo di 12 campioni con una benna. Per eseguire il lavoro è stata utilizzata la motonave oceanografica Daphne II dell'ARPA (resp. G. Montanari).

Nell'ambito delle operazioni a mare della campagna geognostica (AR2000), il posizionamento delle stazioni di campionatura è stato realizzato utilizzando un ricevitore GPS differenziale. Questo ricevitore GPS inter-

Tabella 1 - Lunghezza dei profili sismoacustici acquisiti e superficie delle aree indagate durante la campagna geofisica eseguita nel 2000.

Area	Superficie indagata (km ²)	Lunghezza dei profili sismoacustici (km)
A	50	360
B	25	160
C1 - C2	131	110
Totale	206	630

Tabella 2 - Vibrocarotaggi eseguiti durante la campagna geognostica effettuata nel 2000.

Periodo	Area	vibrocarotaggi
Agosto-Settembre 2000	A	17
Agosto-Settembre 2000	B	9
Novembre 2000	A	2
Novembre 2000	C1-C2	12
	Tot.	40

facciato al sistema di navigazione NAVPRO ha permesso di raggiungere con precisione i siti di campionatura, individuati in precedenza tramite i profili geofisici acquisiti dall'Istituto di Geologia Marina.

Per le operazioni di carotaggio è stato utilizzato un vibrocarotiere AIMERS-MC LEAN con asta da 6 metri.

Elaborazione dati e attività di laboratorio

Le attività di apertura delle carote, descrizione sedimentologica di dettaglio e di campionamento per le analisi granulometriche sono state effettuate presso il laboratorio di ISMAR- CNR di Bologna, mentre le analisi granulometriche sono state eseguite nel Laboratorio di Analisi Chimico - Agrarie ARPA di Faenza.

Le caratteristiche granulometriche sono state determinate seguendo le indicazioni riportate nel Decreto Ministeriale del 13 Settembre 1999 "Approvazione dei metodi ufficiali per l'analisi chimica del suolo" (Gazzetta Ufficiale serie generale n. 185 del 21 Ottobre 1999), con setacciatura ad umido per la frazione grossolana e tramite sedimentazione per la frazione fine (metodo della pipetta). È stata applicata la suddivisione ad 1 phi.

Tabella 3 - Confronto tra le classi granulometriche della Scala Udden-Wentworth e quelle utilizzate da ARPA Ravenna. La zona grigia evidenzia la classe nella quale rientrano la maggioranza dei campioni prelevati nelle aree C1 e C2.

ARPA Faenza	mm	Phi ϕ	Udden-Wentworth size class				
Ghiaia	256 64 4	-8 -6 -2	Boulder	Ghiaia			
			Cobble				
			Pebble				
			Granule				
	2.00	-1.0					
Sabbia molto grossa	1.68 1.41 1.19	-0.75 -0.5 -0.25	Very coarse sand	Sabbia grossolana			
			Sabbia grossa		1.00 0.84 0.71 0.59	0 0.25 0.5 0.75	Coarse sand
Sabbia media	0.42 0.35 0.30	1.25 1.5 1.75	Medium sand	Sabbia media			
			Sabbia fine		0.25 0.210	2.00 2.25	Fine sand
Sabbia molto fine	0.125 0.105 0.085 0.074	3.00 3.25 3.5 3.75	Very fine sand	Sabbia molto fine			
			Limo grosso		0.0625 0.05 0.044 0.037	4.00 4.25 4.5 4.75	Coarse silt
							Limo fine
			Fine silt				
Very fine silt							
Argilla	0.0020 0.00098 0.00049 0.00024 0.00012 0.00006	9.00 10.00 11.00 12.00 13.00 14.00	Clay	Argilla			

Tutte le analisi sono state effettuate dopo aver separato la componente organogena > 2 mm.

Le classi granulometriche utilizzate dal laboratorio ARPA di Faenza non sono quelle comunemente usate in sedimentologia, per questa ragione nella Tabella 3 vengono confrontate queste classi, solitamente usate per i suoli, con quelle impiegate per i sedimenti in generale (Scala di Udden-Wentworth). Si può notare come i tagli delle classi presentino delle differenze solo per il limite inferiore della sabbia molto fine ed il limite che separa il limo (silt) dall'argilla. Infatti la sabbia molto fine nella classificazione usata per i suoli contiene una frazione di silt grossolano se confrontata con la scala Udden-Wentworth.

I parametri che caratterizzano la distribuzione granulometrica ottenuti dalle curve di frequenza cumulativa, il granulo medio, il coefficiente di cernita e di asimmetria, risultano invece indipendenti dai tagli delle scale granulometriche usate.

Una fase di elaborazione fondamentale è stata quella di taratura dei dati geofisici con i dati geognostici. I carotaggi sono stati posizionati sui profili sismici e, tenendo conto del grado di compressione che i sedimenti subiscono normalmente in fase di campionatura, è stato possibile verificare la natura dei sedimenti e dare un'interpretazione stratigrafica ai riflettori osservati nei profili. Questa operazione ha permesso di ricostruire la geometria dei corpi sedimentari, di comprenderne i reciproci rapporti stratigrafici e di ottenere infine la mappa degli spessori degli accumuli sabbiosi.

Il calcolo dei volumi, effettuato con il *software Surfer 8* (prodotto da Golden Software), è stato approssimato utilizzando la griglia di dati estrapolati dalla mappa degli spessori che in un secondo tempo sono stati verificati con gli strumenti accessibili nel pacchetto ArcGIS di ESRI.

Dati e interpretazioni

Area A

Dati

L'area A è situata ad una distanza di 50 km circa dal porto di Ravenna (Figg. 1 e 3), in corrispondenza di un rilievo morfologico orientato N-S caratterizzato da dislivelli dell'ordine di 4 m.

La risoluzione che si ottiene con i profili Chirp Sonar consente di riconoscere nella porzione superiore dei profili corpi piano-convessi, generalmente simmetrici e canalizzati, di dimensioni variabili, in cui la facies sismica si presenta come semi-trasparente con un forte mascheramento del segnale, omogenea al suo interno, ma con una base mal definita (Fig. 4).

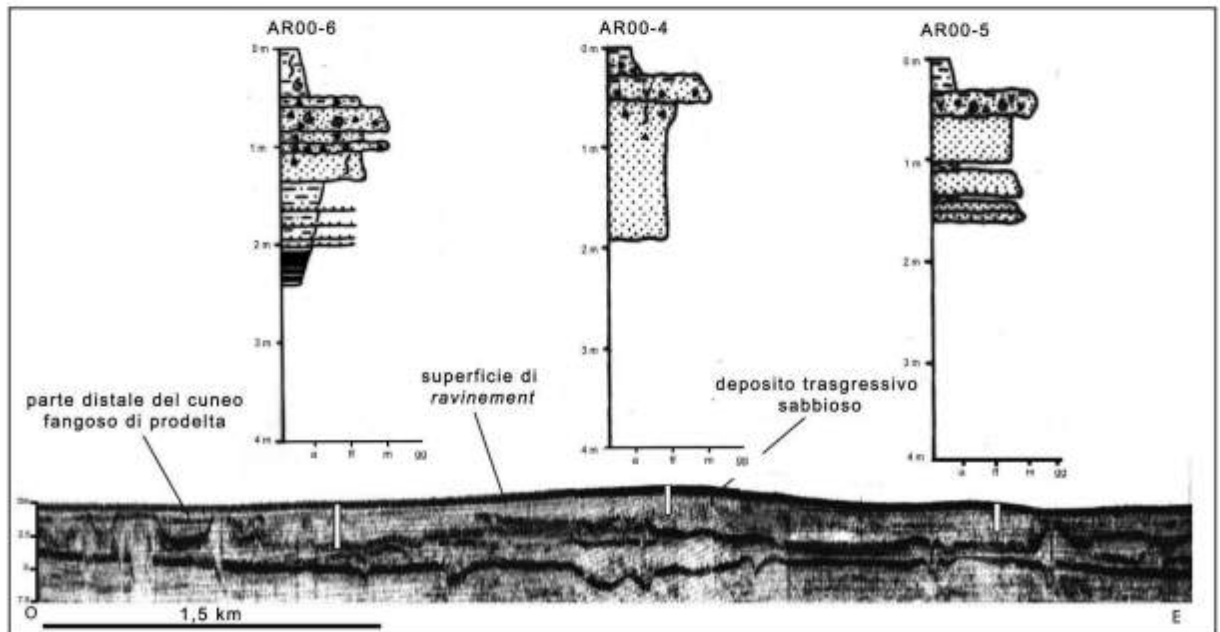
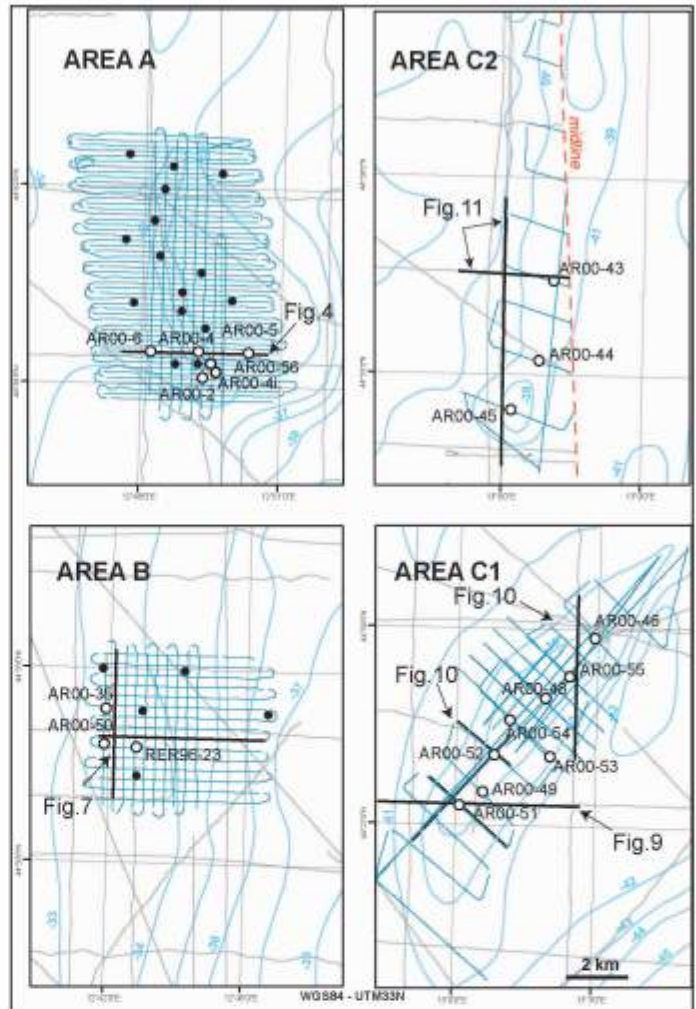
Nella porzione inferiore dei profili si osserva invece un'alternanza di facies sismiche trasparenti e riflettori molto evidenti.

I vibrocarotaggi hanno recuperato sezioni di sedimento di lunghezza compresa tra 1,5 e 4 m; nelle Figure 4 e 5 sono riportate le colonne stratigrafiche delle carote ritenute più rappresentative dell'area rilevata.

La carota AR00-2 (Fig. 5) è lunga circa 4 m e presenta, a partire dalla base, una iniziale tendenza *coarsening-upward* che evolve in *fining-upward* al tetto. La porzione inferiore è composta da argille basali che passano verso l'alto a sabbie fini contenenti tratti argilla. Al tetto di queste sabbie, una superficie ero-

Figura 3 - Ubicazione delle tracce dei profili sismici e dei carotaggi nelle quattro aree oggetto di studio. Sono evidenziati in nero i profili e con cerchi bianchi i carotaggi descritti nelle relative figure.

Figura 4 - Esempio di profilo Chirp Sonar (ARP32) nell'area A. Sono riportate le colonne stratigrafiche dei carotaggi ubicati sul profilo stesso.



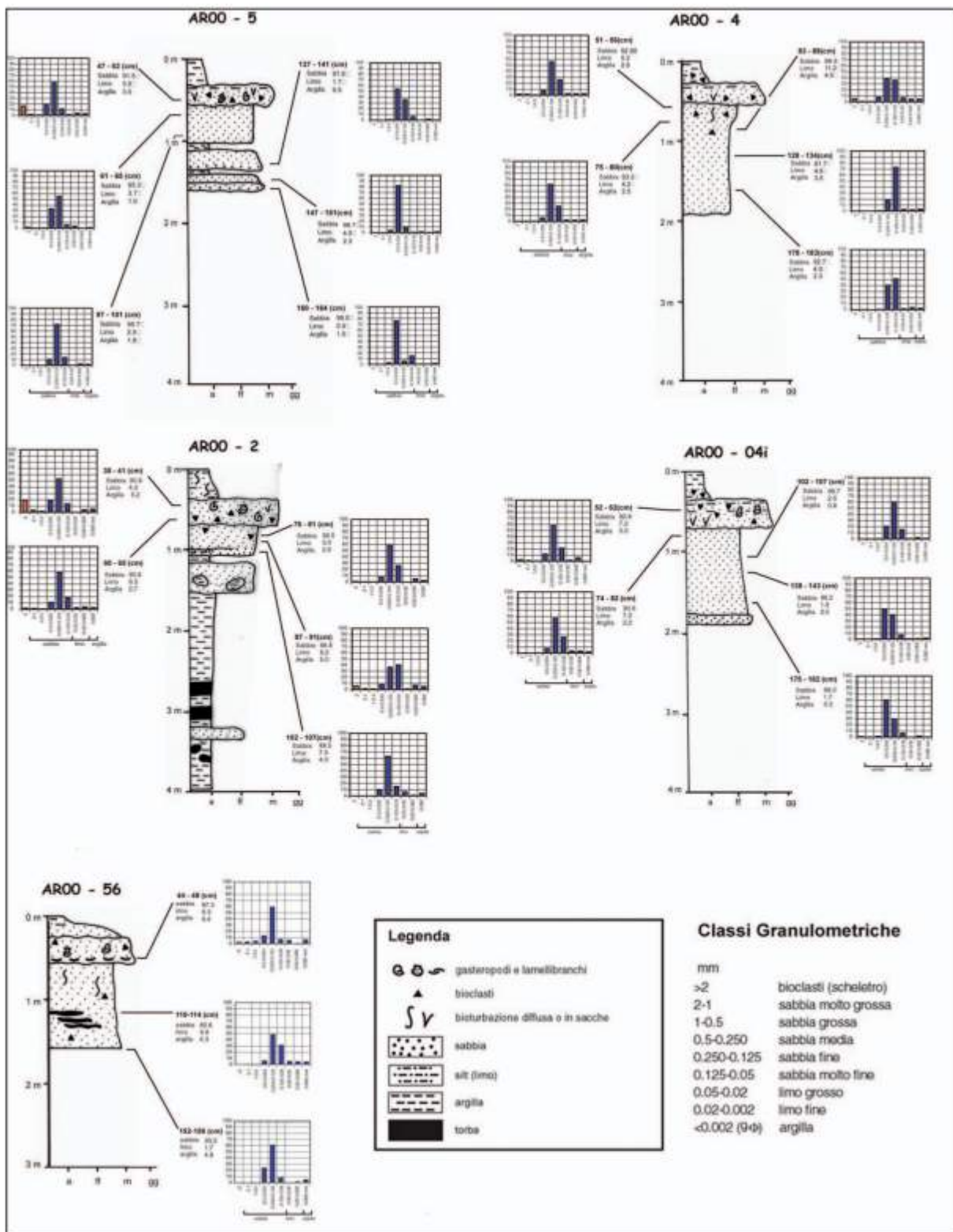


Figura 5 - Colonne stratigrafiche di alcuni carotaggi eseguiti nell'area A e istogrammi di frequenza relativi ai risultati delle analisi granulometriche eseguite su alcuni campioni prelevati dalle carote. Per ogni campione sono riportati i valori percentuali sul peso secco di sabbia, limo e argilla.

siva conchigliare rappresenta la base di sabbie medie bioclastiche. La successione è chiusa al tetto da argille siltose e sabbiose dello spessore di circa 30 cm.

Le carote AR00-4, AR00-4i, AR00-5, AR00-56 (Fig. 5) sono prevalentemente formate da sabbia e il recupero di sedimento è di 1,5 m e 2 m. La porzione inferiore della successione è costituita prevalentemente da sabbie fini che, in alcuni casi (AR00-05), si alternano a livelli argillosi. La porzione superiore delle carote è costituita da sabbie medie bioclastiche, con base erosiva conchigliare, chiuse al tetto da argille con spessore variabile tra 20 e 40 cm.

L'analisi granulometrica è stata condotta prevalentemente sulle sabbie collocate al di sotto della superficie erosiva posta alla base delle sabbie bioclastiche presenti nella porzione superiore delle carote.

Il sedimento è classificato tra le sabbie molto fini e le sabbie fini; solo in due siti sono state prelevate sabbie medie con diametro medio (Mz) tra 0,25-0,35 mm (carotaggi AR004i e AR005). Per quanto riguarda i valori della cernita, la maggior parte dei campioni di sabbia si può definire da discretamente a mediocrementemente classata secondo Folk e Ward (1957). L'asimmetria è quasi sempre positiva, ovvero le sabbie presentano costantemente una coda di sedimento fine (Fig. 6).

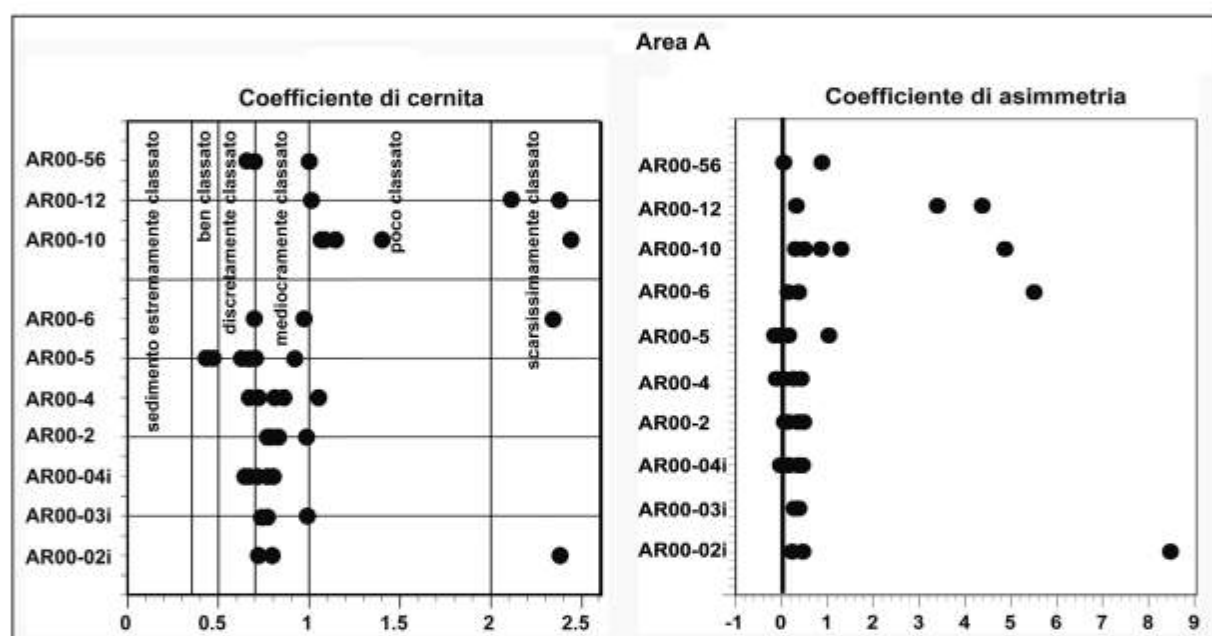


Figura 6 - Grafici dei valori di cernita e asimmetria dei campioni di sabbia prelevati dalle carote nell'area A.

Interpretazione

La facies sismica semi-trasparente e con una base mal definita è attribuibile a sedimenti prevalentemente sabbiosi. L'alternanza di facies sismiche trasparenti e riflettori molto evidenti sono invece ascrivibili a depositi fini e a livelli torbosi. Nei profili Chirp Sonar si riconoscono quindi corpi piano-convessi, generalmente simmetrici e canalizzati, di dimensioni variabili, riconducibili a barre di foce e/o a canali distributori formati da sabbie che vanno a costituire apparati complessi in aree lagunari.

Nell'area A è stata riconosciuta una successione sedimentaria con tendenza trasgressiva costituita da argille lagunari basali e sabbie di spiaggia chiuse al tetto da argille siltose e sabbiose.

Le sabbie osservate nei vari sondaggi risultano del tutto simili tra loro nella struttura e nella tendenza generale. Le carote raccolte sono caratterizzate al tetto dalla presenza di un'unità a base erosiva e trend *fining-upward* costituita da sabbie bioclastiche. La base erosiva in questione rappresenta la superficie diacrona di *ravinement*, ovvero la superficie che accompagna la migrazione verso terra della barriera trasgressiva durante la risalita del livello del mare. Le sabbie o, piuttosto, i corpi sabbiosi che si trovano al di sotto della *ravinement* sono da considerarsi "relitti d'erosione" di apparati antichi di spiaggia originariamente più sviluppati in senso verticale.

I sedimenti fini che chiudono al tetto la successione e costituiscono un corpo sedimentario tabulare che ricopre rilievi e depressioni, rappresentano la parte più distale del cuneo fangoso di prodelta del Po.

Area B

Dati

L'area B, situata ad una distanza di circa 30 km dalla costa e a 34 m di profondità (Figg. 1 e 3), non presenta una morfologia positiva evidente come le altre zone, ma le isobate si allargano a formare una morfologia piatta. Quest'area è stata scelta come zona di indagine sulla base di dati derivanti da studi stratigrafici condotti per la cartografia geologica marina, nell'ambito dei quali alcuni carotaggi avevano presentato intervalli sabbiosi di granulometria da media a fine (vedi carota RER96-23 Figg. 3 e 7).

Nei profili geofisici si osserva la presenza di un drappeggio trasparente dello spessore di circa un metro con base netta al di sopra di un corpo lenticolare caratterizzato da una facies sismica semi-trasparente piuttosto omogenea (Fig. 7). Nel profilo AR0024, orientato E-W, all'interno del corpo lenticolare alcuni riflettori

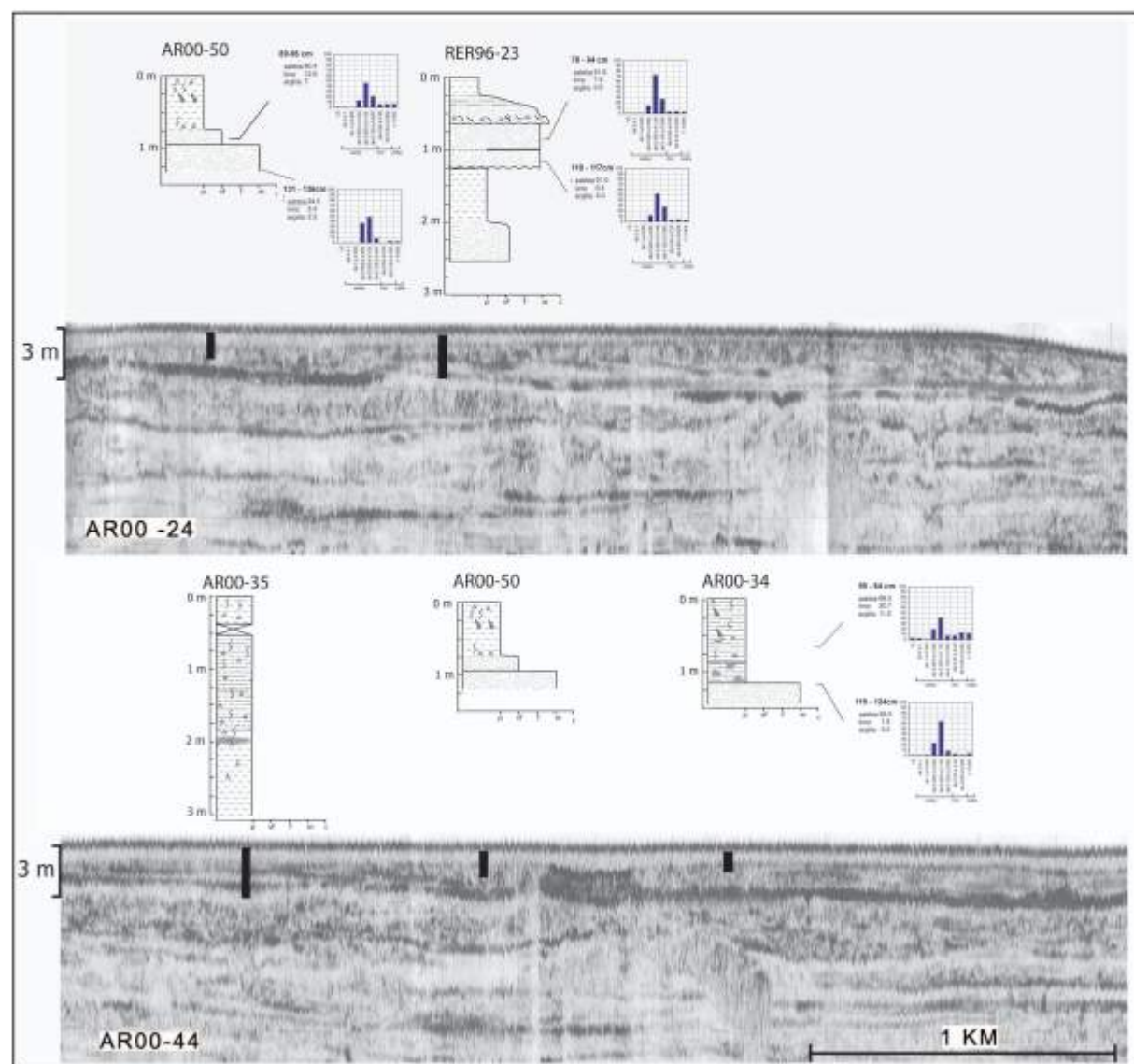


Figura 7 - Profili Chirp sonar (AR0024 e AR0044) nell'area B e carotaggi RER96-23, AR0034, AR00-35, AR00-50 posizionati sul profilo.

sismici descrivono una geometria clinostratificata ben visibile soprattutto alla base del corpo in questione al contatto con i depositi sottostanti di diversa natura.

Nel profilo AR0044, orientato N-S, il corpo lenticolare a facies semi-trasparente presenta un'estensione decisamente più limitata.

Nella porzione inferiore dei profili si osserva un'alternanza di facies sismiche trasparenti e riflettori molto evidenti.

I carotaggi eseguiti nel 2000 hanno recuperato sezioni di sedimento di lunghezza compresa tra 1,3 e 3,6 m, e solo due carote presentano sedimenti sabbiosi: AR00-34 e AR00-50 (Fig. 7).

La carota AR00-34, lunga circa 1,5 m, ha tendenza *fining-upward* e una successione composta da sabbie basali dello spessore di circa 25 cm sormontate da argille siltose, a tratti sabbiose con bioturbazioni, inclusioni di sostanza organica e conchiglie, continue fino al tetto.

Analogamente alla precedente, anche la carota AR00-50 ha tendenza *fining-upward*. La successione è composta da sabbie medie basali, passanti verso l'alto a peliti; il recupero del carotaggio è di circa 1,4 m. La porzione sabbiosa della carota consiste in 40 cm di sabbie da medie a fini contenenti rari bioclasti, separate, attraverso una superficie erosiva, da sovrastanti 30 cm di sabbie fini a tratti siltose, chiuse al tetto da un livello sabbioso molto ricco in tritume conchigliare. La porzione pelitica, che chiude la successione, è formata da silt e argilla fortemente bioturbati e ricchi in conchiglie; lo spessore è di 60 cm circa.

La carota AR00-35 (Fig. 7) è interamente formata da argille e da argille siltose. Il sondaggio recupera una sezione di sedimento lunga 3,4 m, costituita da una porzione basale argillosa, sovraconsolidata e diffusamente ossidata, contenente frustoli vegetali e sostanza organica in aumento verso l'alto; lo spessore è di 140 cm. Una superficie erosiva separa queste argille da sovrastanti alternanze di silt e argille, bioturbate, all'interno delle quali si osserva un aumento di bioclasti verso l'alto. Queste alternanze hanno uno spessore di circa 90 cm e sono sormontate da un intervallo siltoso, a base netta, spesso circa 50 cm, ricchissimo in bioturbazioni e resti conchigliari. La successione è chiusa al tetto da 60 cm di argilla lievemente siltosa contenente frammenti conchigliari e bioturbazioni concentrate nella parte superficiale.

L'analisi granulometrica eseguita sui livelli sabbiosi dei carotaggi AR00-34, AR00-50 e RER96-23 evidenzia la presenza di sabbie da fini a molto fini (Fig. 7). Il diametro medio è di 0,180 mm.

Le sabbie sono da discretamente a poco classate; il coefficiente di asimmetria, nella maggioranza dei casi positivo, evidenzia la presenza nella distribuzione di una coda di materiale fine (Fig. 8).

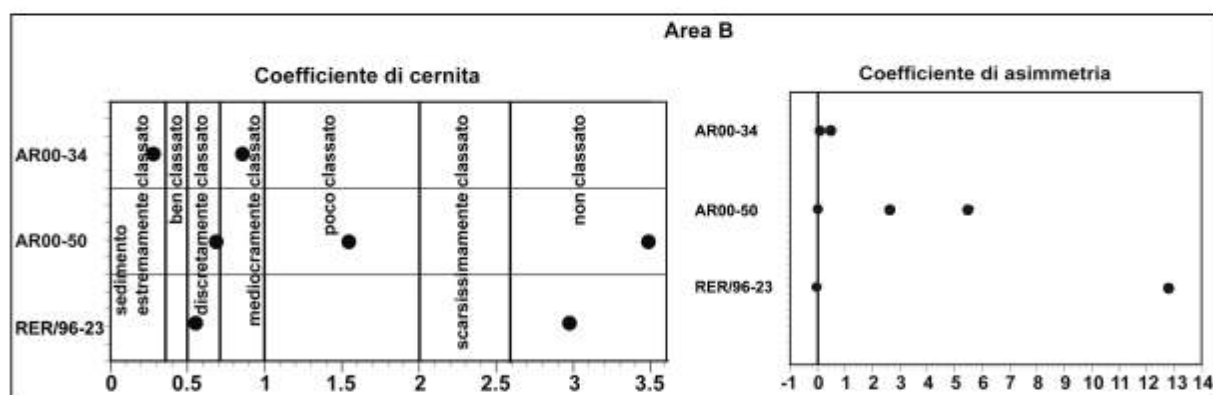


Figura 8 - Grafici dei valori di cernita e asimmetria dei campioni di sabbia prelevati nell'area B.

Interpretazione

Il corpo lenticolare individuato a circa un metro di profondità dall'interfaccia acqua-sedimento presenta una facies sismica semi-trasparente tipica dei sedimenti sabbiosi (Fig. 7). La clinostratificazione immergente verso E, osservabile nel profilo AR0024, testimonia la progradazione del corpo sedimentario verso il largo. Nella sezione AR0044 la clinostratificazione non è visibile perché il profilo, orientato N-S, è perpendicolare all'immersione degli strati. Nella porzione inferiore la facies sismica, caratterizzata da riflettori molto evidenti, è attribuibile a sedimenti fini.

Le indagini geognostiche (Fig. 7) rilevano la presenza di uno strato di sedimenti fini superficiali: tutte le carote presentano al tetto argille e limi che nella parte più occidentale dell'area B raggiungono anche i 70 cm di spessore.

Anche nell'area B la successione sedimentaria ricostruita sulla base dei carotaggi presenta tendenza trasgressiva.

Le carote AR00-34 e AR00-50 raggiungono i soli 1,5 m di lunghezza e presentano sabbie di spiaggia basali sormontate da argille di prodelta.

La carota AR00-35 di maggiore spessore rispetto alle precedenti (oltre i 3 m), presenta alla base argille sovraconsolidate attribuibili a facies di piana alluvionale. Queste argille compatte sono sormontate da un intervallo di argille siltose di ambiente lagunare, all'interno del quale si osserva in entrambe le carote un aumento verso l'alto della percentuale siltosa e dei bioclasti.

Aree C1 e C2

Dati

Le aree C1 e C2 sono collocate su fondali compresi tra 41 e 38 m, circa 60 km al largo della costa emiliano-romagnola (Figg. 1 e 3), il dosso C2 si trova in corrispondenza della linea di delimitazione tra Italia e Croazia della piattaforma continentale, quindi in parte si estende su fondali di pertinenza non italiana.

In Figura 9 il profilo sismoacustico (subbottom 3.5 kHz) CM92-15 mette in evidenza la morfologia a dosso dell'area C1 ed al suo interno, a tre metri di profondità, è visibile un riflettore che delinea la base di una facies sismica semi-trasparente, con un forte mascheramento del segnale, omogenea al suo interno. La continuità laterale del riflettore di base e la natura omogenea e semi-trasparente di questo deposito definiscono un litosoma senza grande variabilità laterale. L'assetto interno appare estremamente omogeneo anche nei profili Chirp Sonar, dove è possibile osservare con chiarezza la chiusura della facies trasparente nel lato a mare dei due rilievi (Figg. 9 e 10). Una situazione del tutto analoga è stata riscontrata anche nell'area C2 (Fig. 11).

Nella zona C1 nessun carotaggio ha raggiunto la base del litosoma con facies sismica trasparente posta a 3 metri di profondità; i recuperi si aggirano sui 1,5 e 2 m e soltanto una carota (AR00-53) supera i 2 m di

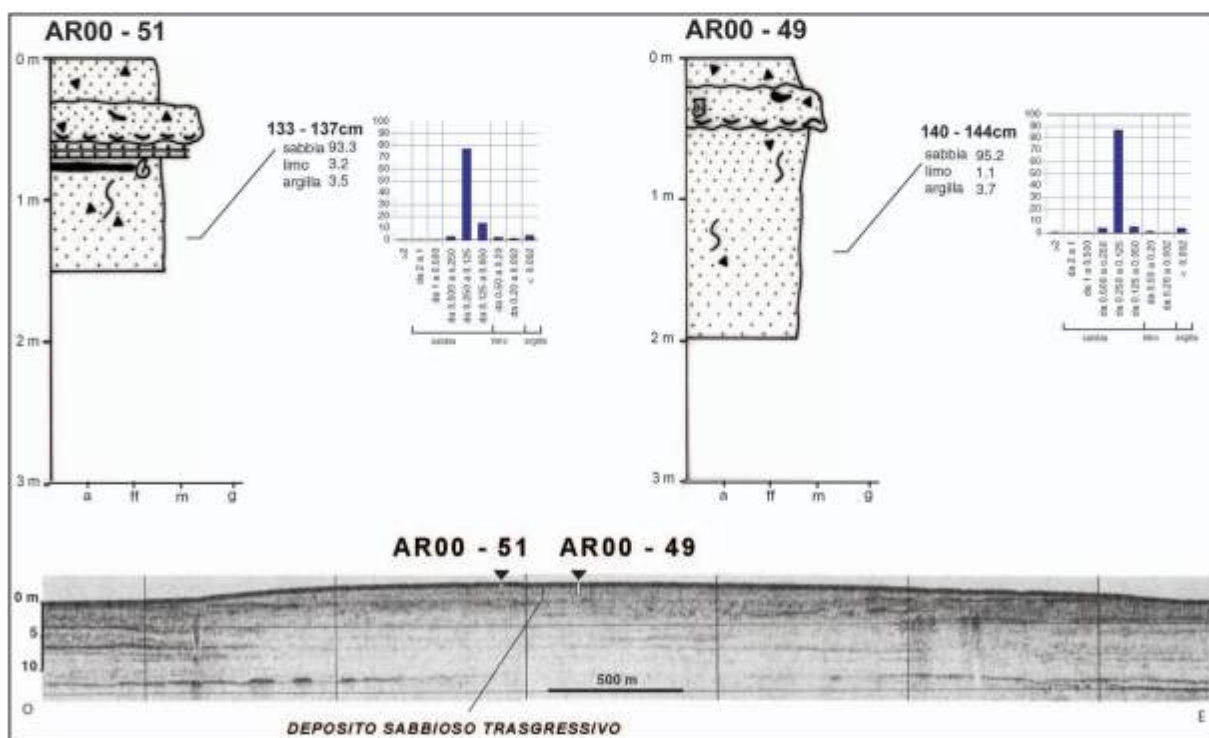


Figura 9 - Profilo Chirp sonar (CM92-15) acquisito nell'area C1.

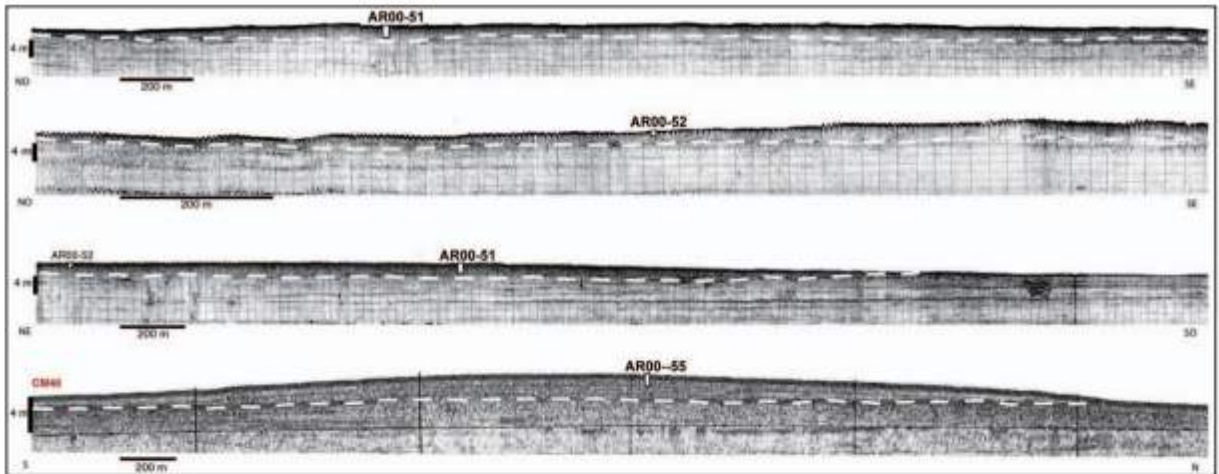


Figura 10 - Profili Chirp Sonar e Subbottom 3,5 kHz acquisiti nell'area C1. Il tratteggio delinea la base del corpo sabbioso.

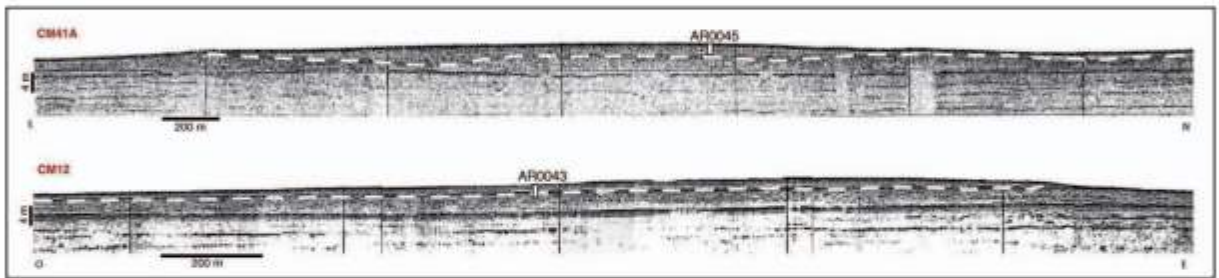


Figura 11 - Profili Chirp Sonar e Subbottom 3,5 kHz acquisiti nell'area C2. Il tratteggio delinea la base del corpo sabbioso.

lunghezza. Le carote AR00-46, AR00-55, AR00-48, AR00-54, AR00-52, AR00-49, AR00-51, (Fig. 12) sono interamente formate da sabbie. In generale, la porzione inferiore della successione portata alla luce è costituita da sabbie fini ben cernite, debolmente bioclastiche. Alla base della carota più lunga, la AR00-53, è presente un'alternanza di livelli argillosi e sabbie fini. La porzione superiore di tutte le carote è costituita da sabbie fini bioclastiche, con base erosiva conchigliare.

Nella Figura 12, le carote correlate nella sezione CC' evidenziano come il dosso C1 sia composto da sabbie omogenee, mentre nella sezione DD', perpendicolare alla sezione CC', il sondaggio AR00-53 permette di osservare come alla base del corpo sabbioso siano presenti alternanze di sabbie e sedimenti fini.

Nella zona C2 alcuni carotaggi si sono spinti al di sotto della base del litosoma sabbioso, recuperando anche 3 m di sedimento (Fig. 13).

Il sondaggio AR0045 è costituito da argille basali a *Cerastoderma* con intercalazioni torbose, sormontate da sabbie fini debolmente bioclastiche, chiuse al tetto da sabbie fini, ricche in bioclasti, con base erosiva conchigliare. Nelle argille basali è stato datato un livello torboso con il metodo del radiocarbonio (AMS) presso il Laboratorio di Livermore in California (Center for Accelerator Mass Spectrometer - Lawrence Livermore National Lab). L'analisi al ^{14}C ha rilevato un'età di 9280 ± 40 anni BP che, corretti in anni calendario (usando Radiocarbon Calibration Program rev. 4.3 Stuiver and Reimer, 1993) corrispondono ad un range 10488, 10440, 10429 anni BP.

La calibrazione è necessaria perchè la produzione di isotopo radiattivo del carbonio non è rimasto costante nel passato e ricavare un'età apparente dai valori del suo decadimento, senza confrontarlo con una cronologia indipendente (ad esempio la dendrocronologia), ci porterebbe ad ottenere dei risultati molto diversi dalla realtà.

Le carote AR0043 e AR0044 si spingono al di sotto della base del litosoma sabbioso raggiungendo i 3 m di profondità. Entrambi i sondaggi presentano sabbie, basali che passano verso l'alto ad argille con piccole

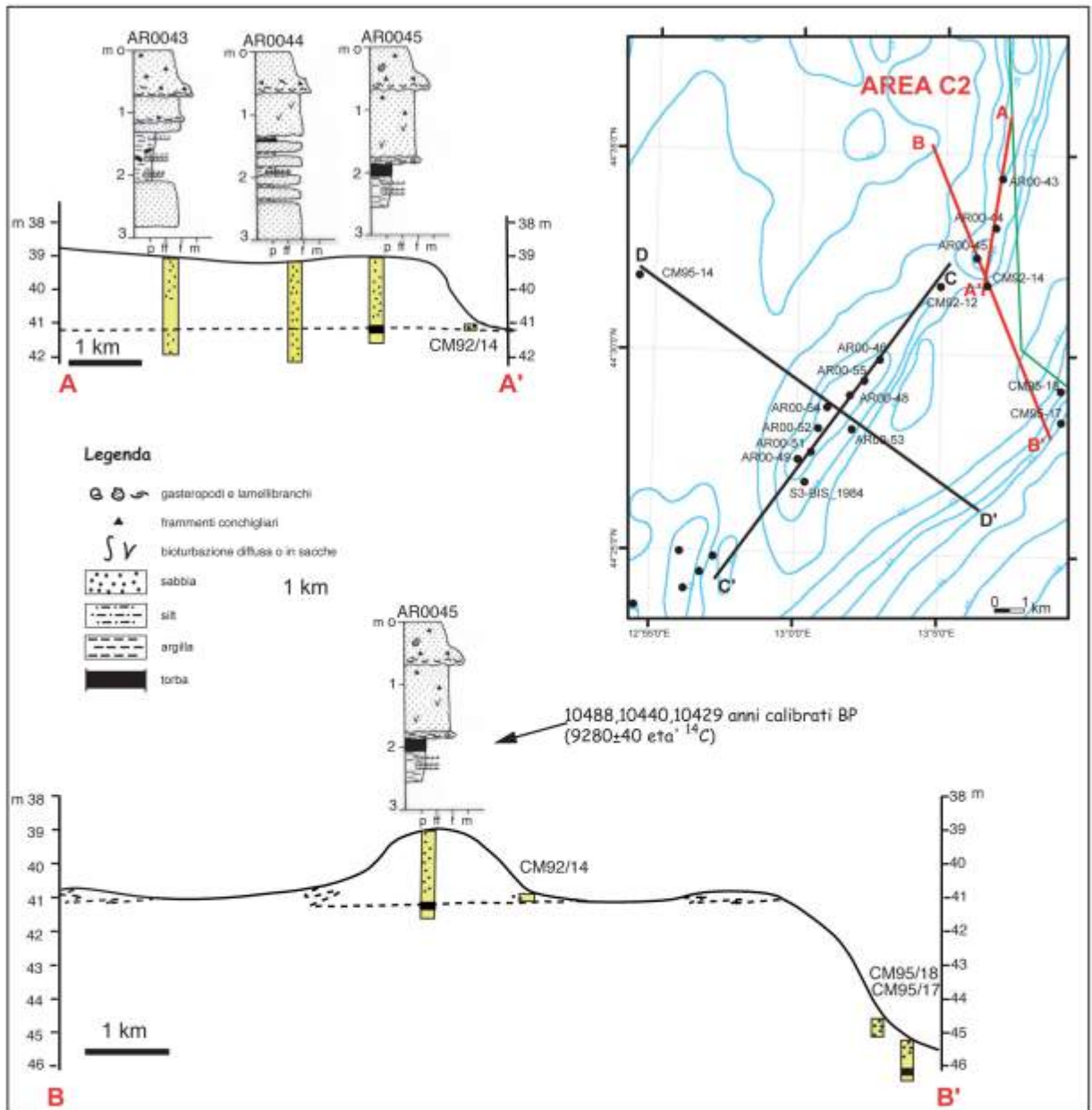


Figura 13 - Colonne stratigrafiche di alcuni carotaggi eseguiti nell'area C2. Datazione di un campione prelevato all'interno di un livello torboso nella carota AR0045. AA' e BB': sezioni stratigrafiche ricostruite sulla base dei carotaggi. Nella mappa sono riportate le tracce delle due sezioni e l'ubicazione dei carotaggi.

Interpretazione

Con i profili sismoacustici acquisiti nelle aree C1 e C2 è stato possibile riconoscere preliminarmente la presenza di due accumuli sabbiosi e definirne la forma geometrica. Analogamente a quanto riscontrato nell'area A, in entrambe le aree la geofisica evidenzia la presenza di corpi piano-convessi, caratterizzati da una facies sismica semi-trasparente di natura sabbiosa, come confermato successivamente dalla geognostica, delimitata alla base (a tre metri di profondità) da un riflettore con continuità laterale. A differenza di quanto osservato nell'area A, la base ben definita e la litologia omogenea definiscono due litosomi senza grande variabilità laterale.

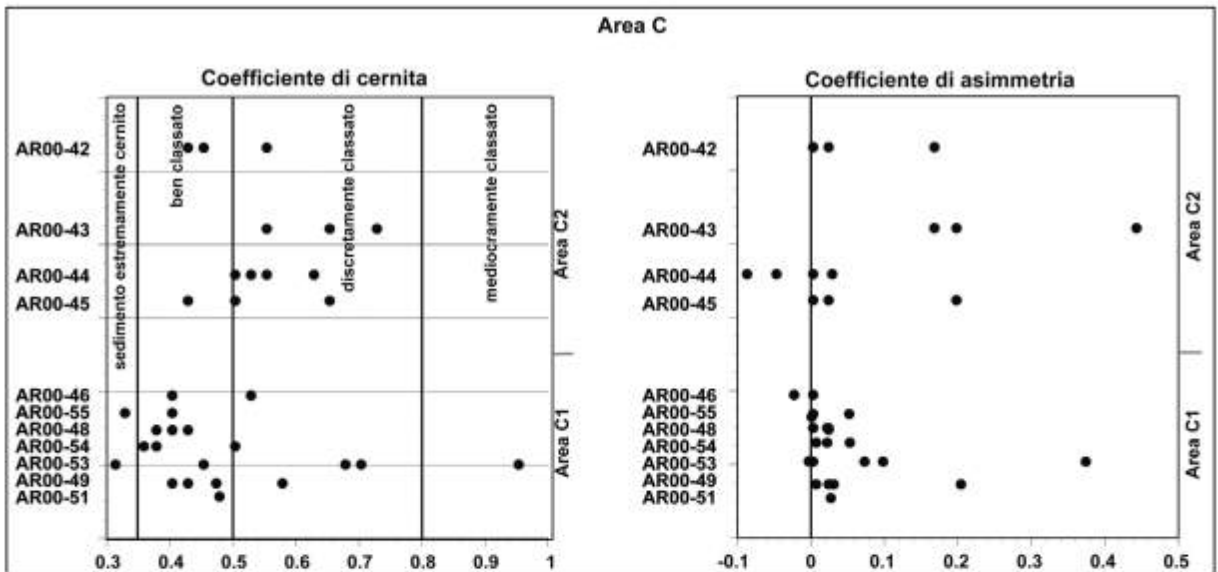


Figura 14 - Grafici dei valori di cernita e asimmetria presentati dei campioni prelevati nelle aree C1 e C2.

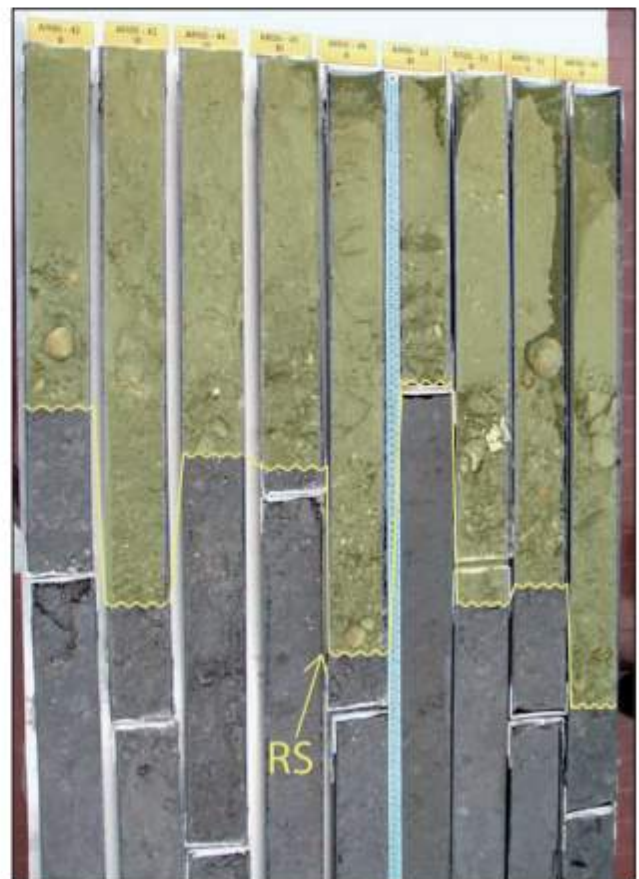
Attraverso le indagini geonostiche, nelle aree C1 e C2 è stata ricostruita una successione sedimentaria con tendenza trasgressiva costituita da argille lagunari basali, contenenti faune a *Cerastoderma* ed intercalazioni torbose, e sabbie fini e ben classate di spiaggia sommersa, chiuse al tetto da un'unità a base erosiva formata da sabbie bioclastiche.

Nell'area C2, le due carote (AR0043 e AR0044) spinte a maggiori profondità rispetto alle altre presentano alla base sabbie di ambiente continentale attribuibili a facies di riempimento di canale fluviale.

La superficie erosiva che separa le sabbie bioclastiche superficiali dalle sabbie fini sottostanti è del tutto analoga a quella osservata nell'area A ed è attribuibile alla superficie di *ravinement* (Fig. 15). Anche in questo caso, le sabbie che si trovano al di sotto della *ravinement* sono da considerarsi appartenenti a "relitti d'erosione" di apparati antichi di spiaggia, originariamente più sviluppati in senso verticale.

A causa della considerevole distanza che separa le aree C1 e C2 dal prodelta fangoso del Po, i sedimenti fini tardo-olocenici di stazionamento alto non ricoprono questi rilievi e, per questo motivo, le sabbie bioclastiche trasgressive affiorano all'interfaccia acqua-sedimento.

Figura 15 - Esempio di come appare la superficie di *ravinement* (la linea gialla) in alcune carote eseguite nelle aree C1 e C2. Con il colore giallo è evidenziata l'unità sabbiosa superficiale ricca in bioclasti. Al di sotto della superficie di *ravinement* si osservano le sabbie "relitte".



Conclusioni

I dati raccolti a partire dagli anni 80 da Idroser davanti alla costa della Regione Emilia-Romagna e quelli derivanti dalle ricerche effettuate da ISMAR-CNR, Sede di Bologna, hanno portato all'individuazione di una serie di giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico settentrionale. Nel 2000 le ricerche di dettaglio condotte per l'individuazione dell'area di prelievo delle sabbie destinate al primo intervento di ripascimento regionale, si sono concentrate in particolare su 4 aree denominate convenzionalmente A, B, C1 e C2 (Fig. 1).

Sulla base dei profili sismoacustici e dei carotaggi è stata ricostruita la mappa degli spessori dei depositi sabbiosi riportata in Figura 16.

Nell'area A, a 34 m di profondità, la ricerca ha interessato un dosso sabbioso ricoperto da una coltre pelitica dello spessore di poche decine di centimetri. La mappa degli spessori (Fig. 16) evidenzia un depocentro nella parte meridionale dell'area A con una piccola appendice isolata ad est e, nella parte centrale, una stretta dorsale allungata. In direzione est-ovest il deposito sabbioso, con spessore superiore al metro, si restringe fino a 200 m in larghezza. Gli spessori in tutta l'area A, posta su fondali di 34 m, non superano mai i 2,5 m e in totale è stata stimata la presenza di un volume di sabbia pari a circa 4 milioni di m³, distribuito su una superficie di circa 5,5 km² (Fig. 16; Tab. 4).

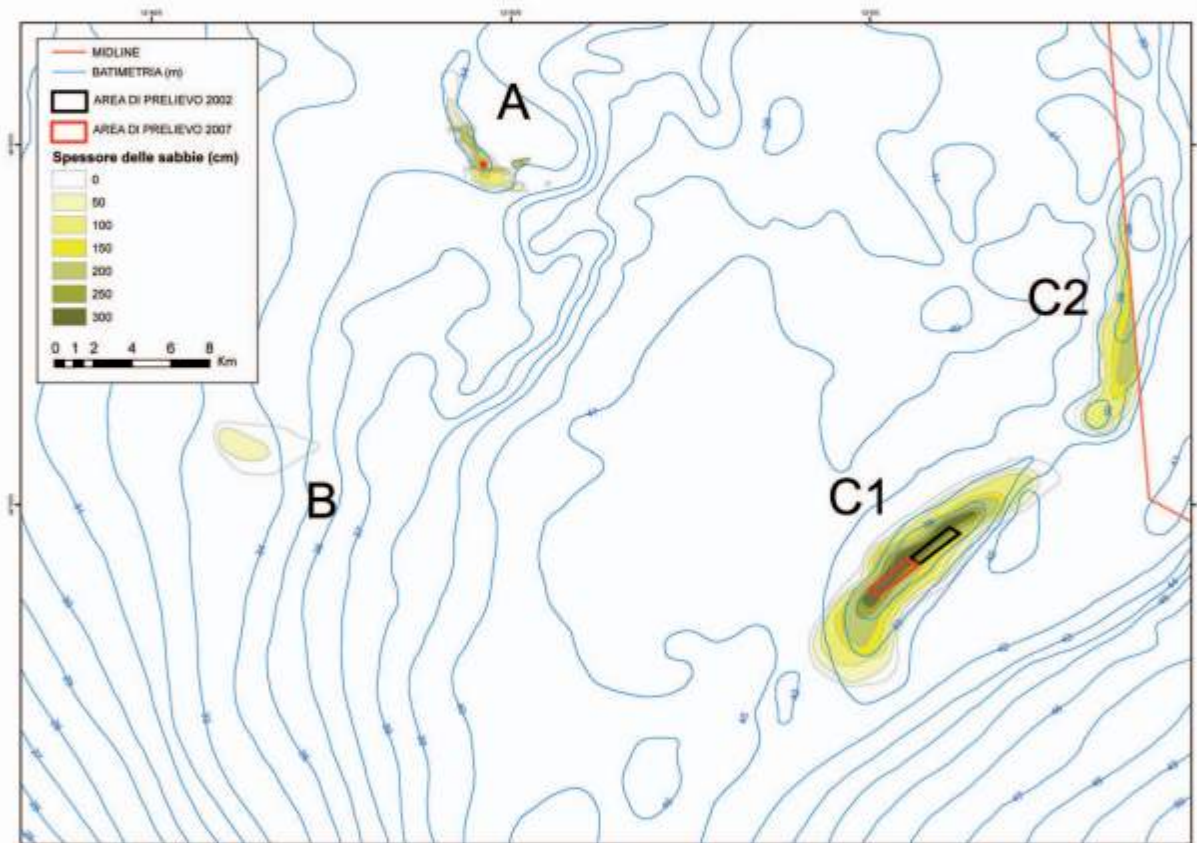


Figura 16 - Mappa degli spessori degli accumuli sabbiosi nelle aree A, B, C1 e C2.

Nell'area B, posta a 34 m di profondità, è stato individuato un livello di circa 1 m di sabbia fine, ricoperto da argille di prodelta che raggiungono lo spessore di 70 cm. Nell'area è stata stimata la presenza di 2,8 milioni di m³ di sabbia su una superficie di circa 7 km² (Fig. 16; Tab. 4)

I dossi C1 e C2 sono collocati a profondità comprese tra 38 e 41 m. Nell'area C1 si rilevano spessori maggiori (>3 m) che nell'area C2; quest'ultimo, inoltre, è posizionato in corrispondenza della linea di delimitazione della piattaforma continentale tra Italia e Croazia.

Nell'area C1 è stata stimata la presenza di 55 milioni di m³ di sabbia distribuita su circa 39 km² di superficie. La porzione del dosso C2 che ricade nei fondali di pertinenza italiana è estesa circa 16 km² e in essa sono presenti circa 14 milioni di m³ di sabbia (Fig. 16; Tab. 4).

Tabella 4 - Granulometria e volumi di sabbia presente ed estraibile. Estensione e distanza dalla costa dei giacimenti A, B, C1 e C2.

Area	Mz (mm)	Classe granulometrica	Volume di sabbia presente (Mm ³)	Volume di sabbia estraibile (Mm ³)	Superficie del giacimento (km ²)	Distanza dalla costa (km)
A	0,177	Sabbia fine	3,97	2,32	5,44	46
B	0,180	Sabbia fine	2,82	1,80	7,18	33
C1	0,171	Sabbia fine	55,18	39,53	39,09	57
C2	0,175	Sabbia fine	16,21	10,56	14,35	70
		Totale	78,18	54,21	-	-

L'analisi delle caratteristiche sedimentologiche e tessiturali (Fig. 17) delle sabbie presenti nei depositi trasgressivi rinvenuti nelle aree appena descritte ha portato a privilegiare le aree C1 e A, ed in particolare la porzione centrale dei due dossi, come aree migliori per il prelievo di sabbia da destinare ai ripascimenti poi effettuati nel 2002 e nel 2007 (Fig. 16).

Le caratteristiche che hanno portato a privilegiare l'area C1 rispetto alle altre sono:

- il diametro medio (Mz) ha valori più omogenei rispetto a quello delle aree A e B ed è compreso fra 0,125 mm a 0,215 mm (Fig. 17);

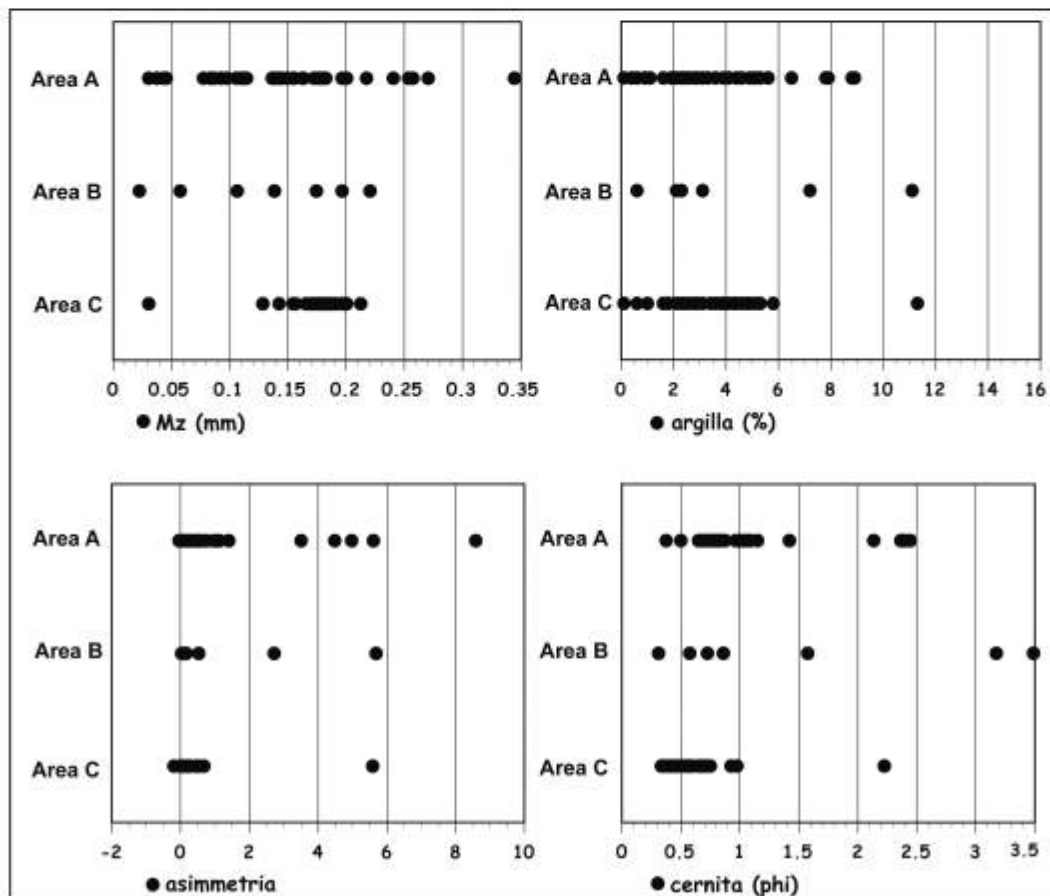


Figura 17 - Confronto dei parametri granulometrici e delle percentuali di argilla nelle aree considerate nell'indagine.

- il contenuto in argilla non supera il 6% , ad esclusione di un campione, mentre nelle altre aree arriva anche all'11,5%;
- il coefficiente di asimmetria si mantiene su valori prossimi allo zero; il che significa la quasi assenza di code fini nella distribuzione granulometrica;
- il coefficiente di cernita presenta valori bassi e con scarsa variabilità.

Anche se la densità di dati nell'area C1 non è ottimale, dall'analisi delle caratteristiche granulometriche e delle geometrie del deposito si può evincere che:

- l'area C1 è quella che presenta un deposito sabbioso che si estende omogeneamente per una vasta area e non è drappeggiato da depositi argillosi di prodelta;
- le sabbie anche se fini sono ben classate e relativamente povere in matrice argillosa;
- lo spessore del deposito sabbioso raggiunge i 3 m.

Il corpo sabbioso dell'area A è stato scelto come area idonea al prelievo per i seguenti motivi:

- presenta una buona densità di dati;
- la cresta del dosso è alla profondità di soli 34 m;
- il dosso è relativamente prossimo alla costa regionale: 46 km;
- la granulometria delle sabbie ha valori superiori rispetto alle altre aree indagate: 0,18-0,22 mm;
- lo spessore del deposito sabbioso raggiunge i 2,5 m.

I valori del diametro medio (Mz) delle sabbie individuate come cava di prestito a mare sono compatibili con i valori dei sedimenti di battigia e della spiaggia sommersa nei tratti tra Lido di Volano e Cesenatico e tra Cesenatico e Cattolica. Nel tratto della costa regionale più settentrionale sono riportati, per l'anno 1993, valori di Mz = 0.20 mm alla battigia e Mz = 0.17 mm a -1 m; per il tratto più meridionale si riportano valori di Mz = 0.17 mm sia alla battigia che ad un metro di profondità (AA. VV. IDROSER Spa, 1996).

In base alle considerazioni sopraesposte e considerando il volume di sabbia da prelevare previsto dai progetti d'intervento del 2002 e del 2007, sono state scelte due aree adiacenti di forma rettangolare collocate al centro del dosso C1, rispettivamente delle dimensioni di 2000 m per 500 m e di 1900 m per 500 m, e un'area posizionata sul dosso A, lunga 500 m e larga 380 m (Fig. 16).

Dall'area C1 sono stati estratti, circa 1.500.000 m³ di sabbia che sono stati utilizzati per entrambi gli interventi di ripascimento, mentre dall'area A sono stati prelevati circa 200.000 m³ di materiale nell'ambito del ripascimento del 2007 delle spiagge di Lido di Dante e Punta Marina.

Contributo ISMAR-CNR n. 1650

Bibliografia

- Amorosi A., Severi P., Roveri M., Correggiari A., Preti M., Tomassetti C., Tarocco P., Colalongo M.L., Pasini G., Vaiani S.C., Fusco F., Marchesini L., Spadafora E., Cibin U., Zuffa G.G., Dinelli E. (1999) - *Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000*: Foglio 223 Ravenna, pp. 144.
- Amorosi A., Centineo M.C., Colalongo M.L., Pasini G., Sarti G., Vaiani S.C. (2003) - *Facies architecture and La test Pleistocene-Holocene Depositional History of the Po Delta (Comacchio Area), Italy*. The Journal of Geology, 111: 39-56.
- Amorosi A., Centineo M.C., Colalongo M.L., Fiorini F. (2005) - *Millennial-scale depositional cycles from Holocene of the Po plain, Italy*. Marine Geology, 222-223: 7-18.
- Antonoli F., Lambeck K., Amorosi A., Belluomini G., Correggiari A., Devoti S., Demuro S., Monaco C., Marocco R., Pagliarulo R., Orrù P., Silenzi S. (2004) - *CLIMEX Maps of Italy*. In: F. Antonoli, C. Margottini, G.B. Vai Eds, Litho-palaeoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes 1:1,000,000. Lac, Firenze, 23/14-15: 1567-1598.
- Asioli A., Trincardi F., Lowe J.J., Ariztegui D., Langone L., Oldfield F. (2001) - *Sub-millennial climatic oscillations in the Central Adriatic during the last deglaciation: paleoceanographic implications*. Quaternary Science Reviews, 20/11: 33-53.
- ARPA-Regione Emilia-Romagna (2001) - *Relazione Specialistica. Progetto esecutivo. Ricerca e individuazione dell'area di prelievo in mare. Intervento di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine*, pp. 43.
- ARPA-Regione Emilia-Romagna (2006) - *Relazione specialistica. Progetto esecutivo. Individuazione dell'area di*

- prelievo in mare. interventi di messa in sicurezza di taluni tratti critici del litorale emiliano-romagnolo, interessati da erosione e subsidenza, mediante ripascimento con sabbie sottomarine.* pp. 32.
- Belknap D.F. e Kraft (1981) - *Preservation potential of transgressive coastal lithosomes on the U.S. Atlantic shelf.* Mar. Geol., 42: 429-442.
- Brambati A. e Venzo G.A. (1967) - *Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste.* Studi Trentini Scienze Naturali, 44: 202-274.
- Brambati A., Bregant D., Lenardon G., Stolfa D. (1973) - *Transport and sedimentation in the Adriatic Sea.* Museo Friulano St. Nat., 20:1-160.
- Bondesan M., Favero V, Vinals M.J. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene.* quaternary international., 29-30: 105-110.
- BEACHMED-e (2006) - *Operazione Quadro Regionale, La gestione strategica della difesa dei litorali per uno sviluppo sostenibile delle zone costiere del Mediterraneo.* Sito internet: <http://www.beachmed.it>
- Catalano, R., Di Stefano, E., Infuso, S., Sulli, A., Vitale, F.P. and Vail, P.R. (1998) - *Sequence and systems tracts calibrated by high-resolution bio-chronostratigraphy: the central Mediterranean Plio-Pleistocene record.* In: Mesozoic-Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins, SEPM Spec. Publ., 60: 157-179.
- Cattaneo A. e Trincardi F. (1999) - *The late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning.* In: Bergman, K.M., Snedden, J.W. (Eds.), *Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic Analysis and sedimentologic Interpretation.* SEPM Special Publication, 64: 127-146.
- Cattaneo A e Steel R.J. (2003) - *Transgressive deposits: a review of their variability.* Earth Science Reviews 62: 187-228.
- Cattaneo A., Coreggiari A., Langone L., Trincardi F. (2003) - *The Late-Holocene Gargano subaqueous delta, Adriatic shelf: sediment pathways and supply fluctuations.* Marine Geology, 193: 161-191.
- Cattaneo A., Trincardi F., Langone L. Asioli A. e Puig P. (2004) - *Clinoform generation on Mediterranean margins,* Oceanography, 17 4:104-117.
- Cattaneo A, Trincardi F, Asioli A, Correggiari A. (2007) - *The western adriatic shelf clinoform: Energy-limited bottomset.* Continental Shelf Research, 27 (3-4): 506-25.
- Colantoni P., Gallignani P., Lenaz R. (1979) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic continental shelf.* Marine Geology, 33: 41-50.
- Colantoni P., Preti M., Villani B. (1990) - *Sistema deposizionale e linea di riva olocenica sommersi in Adriatico e al largo di Ravenna.* Giornale di Geologia, 52: 1-18.
- Correggiari, A., Field M. E., Trincardi F. (1996a) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf.* In: De Batist, M., Jacobs, P. (Eds.), *Geology of Siliciclastic Shelf Seas.* Geological society special publication, 117: 155-169.
- Correggiari A. Roveri M. Trincardi F. (1996b) - *Late-Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea.* In: *Late-Glacial and early Holocene climatic and environmental changes in Italy.* Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 9: 697-704.
- Correggiari A., Trincardi F., Langone L., Roveri M. (2001) - *Styles of failure in heavily-sedimented highstand prodelta wedges on the Adriatic shelf.* Journal of Sedimentary Research, 71: 218-236.
- Correggiari A., Cattaneo A., Carra D., Penitenti D., Preti M. e Trincardi F. (2002) - *Offshore sand for beach restoration: North Adriatic shelf examples.* In *Erosion littorale en Méditerranée occidentale :dynamique, diagnostic et remèdes.* CIESM www.ciesm.org/publications/Tanger02.pdf. Workshop n. 18: 79-82.
- Correggiari A., Cattaneo A., Trincardi F. (2005a) - *Depositional patterns in the Late-Holocene Po delta system.* In: Bhattacharya J.P., Giosan L. (Eds.), *Concepts, Models and Examples,* SEPM Special Publication, 83: 365-392.
- Correggiari A., Cattaneo A., Trincardi F. (2005b) - *Depositional The modern Po Delta system: Lobe switching and asymmetric prodelta growth.* Marine Geology, 222-223: 49-74.
- Fischer, A. G. (1961) - *Stratigraphic record of transgressive seas in the light of sedimentation on Atlantic coast of New Jersey:* Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., 45: 1656-1666.
- Fabbi A., Argnani A., Bortoluzzi G., Correggiari A., Gamberi F., Ligi M., Penitenti D., Roveri M., e Trincardi F. (2001) - *Note Illustrative della Cartografia Geologica dei mari italiani scala 1:250.000: Foglio NL*

33-10 Ravenna.

- Fairbanks R.G. (1989) - *A 17,000-year glacio-eustatic sea level record-influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-sea circulation*. *Nature*, 342: 637-642.
- Fairbanks R.G. (1990) - *The age and origin of the Younger Dryas climate event in Greenland ice core*. *Paleoceanography*, 5: 937-948.
- Fairbridge R.W. (1961) *Eustatic changes in sea level*. In: *Physics and chemistry of the earth*, 4: 99-185 Fischer A.G. (1961) - *Stratigraphic record of transgressing seas in light of sedimentation on Atlantic coast of New Jersey*. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 45: 1656-1666.
- IDROSER Spa (1985) - *Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del Mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione*. A cura di Preti M., Villani B. e Colantoni P. Bologna, Ottobre 1985.
- IDROSER Spa (1990) - *Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del Mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione*. 2° Campagna di ricerca. A cura di Preti M., Villani B. e Colantoni P. Bologna, Ottobre 1990.
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A. e Silenzi S. (2004) *Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs*. *Quat.Sc. Rev.*, 23: 1567-1598.
- Malanotte Rizzoli P. e Bergamasco A. (1983) - *The dynamics of the coastal region of the northern Adriatic Sea*. *Journal of Physical Oceanography*, 13: 1105-1130.
- Nummendal D. e Swift D.J.P. (1987) - *Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous example*. In Nummendal D., Pilkey O.H., Howard S.D., (Eds.), *Sea level fluctuation and Coastal Evolution*. SEPM Special Publication, 41: 241-260.
- Ori, G.G., Roveri, M., Vannoni F. (1986) - *Plio-Pleistocene sedimentation in the Apenninic-Adriatic foredeep (Central Adriatic sea, Italy)*. In: Allen, P.A., Homewood, P., (Eds.), *Foreland Basins*. IAS Special Publication, 8: 183-198.
- Penland S., Boyd R., Suter J. R. (1988) - *Transgressive depositional systems of the Mississippi delta plain: a model for barrier shoreline shelf sand evolution*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58 (6): 932-949.
- Preti M. (1999) - *The Holocene transgression and the land-sea interaction south of the Po delta*. *Giorn. Geol.*, 61.
- Preti M. (2002) - *Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna*. *Studi costieri*, 5: 107-134.
- Rizzini A. (1974) - *Holocene sedimentary cycle and heavy mineral distribution, Romagna-Marche coastal plain, Italy*. *Sedimentary Geology*, 11: 17-37.
- Sanders J.E. e Kumar N. (1975) - *Evidence of shoreface retreat and in-place "drowning" during Holocene submergence of barriers, shelf off Fire Island, New York*. *Geol. Soc. Am. Bull.* 86: 65-76.
- Stefani M. e Vincenzi S. (2005) - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. *Marine Geology*, 222-223: 19-48.
- Storms J.E.A., Weltje G.J., Terra G.J., Cattaneo A., Trincardi F. (2008) - *Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to Early Holocene evolution of barrier-lagoon systems on the northern Adriatic shelf (Italy)*. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1107-1123.
- Swift D.J.P. (1975) - *Barrier-island genesis: evidence from the central Atlantic shelf: Eastern U.S.A.*, *Sedimentary Geology*, 14: 1-43.
- Trincardi F., Correggiari A., Roveri M. (1994) - *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: The Adriatic Semienclosed Basin*. *Geo-Marine Letters*, 14: 41-51.
- Trincardi F., Cattaneo A., Asioli A., Correggiari A., Langone L. (1996) - *Stratigraphy of the late-Quaternary deposits in the central Adriatic basin and the record of short-term climatic events*. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 55: 39 - 70.
- Walker R.G. (1992) - *Facies models and modern stratigraphic concepts*. In: Walker R.G., Jans N.P. (Eds.), *Facies Models-Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada Publications: 1-14.

Ricevuto il 25/11/2009, accettato il 02/08/2010.

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 (Prete, 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.

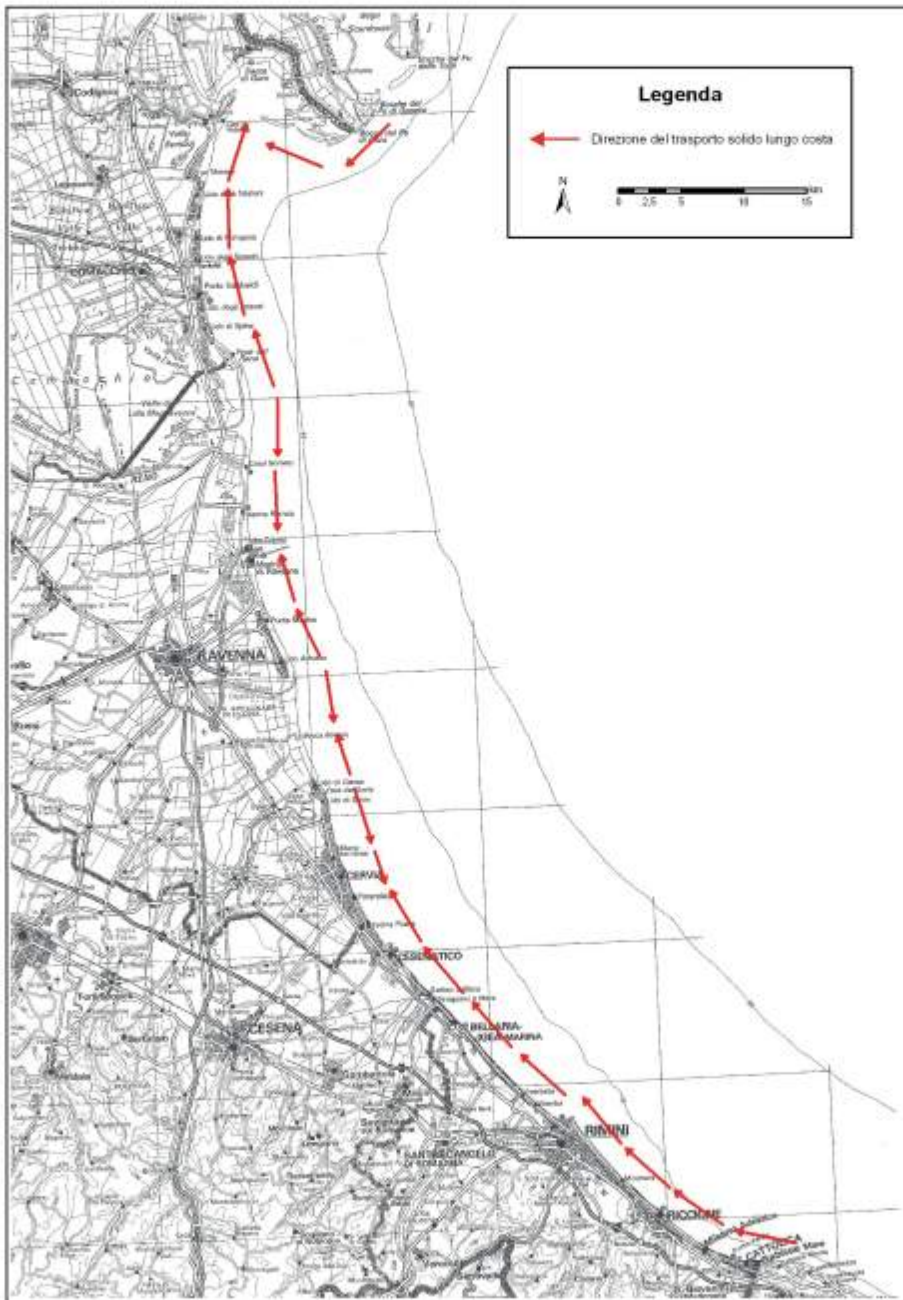


Figura 1 - Mappa del litorale emiliano-romagnolo. Le frecce indicano la direzione del trasporto solido lungo la costa.

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.

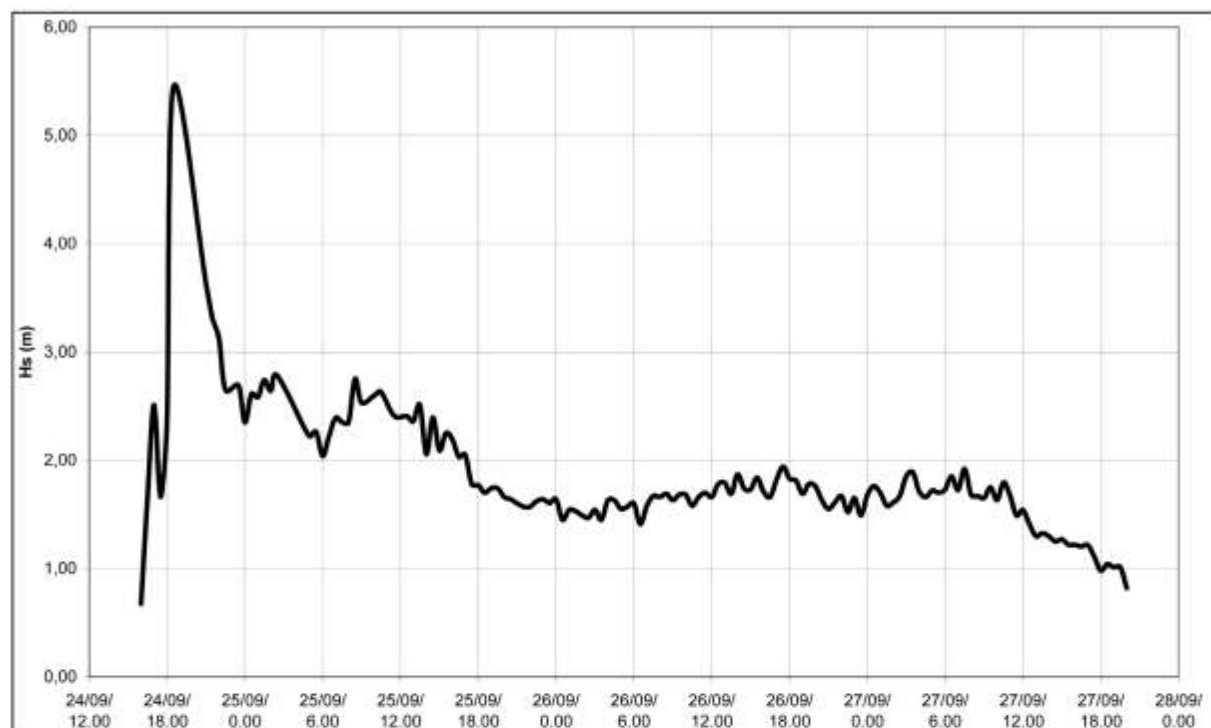


Figura 2 - Boa di Ancona - Altezza d'onda durante la mareggiata del 24-27/09/2004.

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	

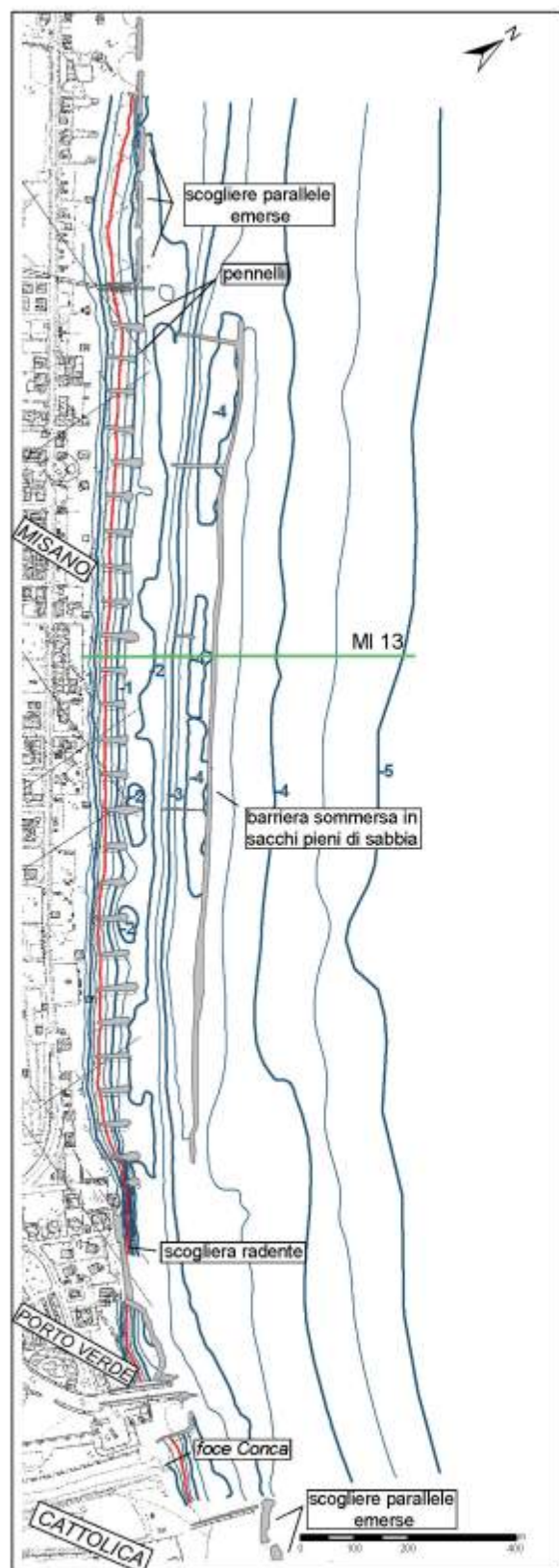


Figura 3 - Misano: carta batimetrica Febbraio 2003.

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

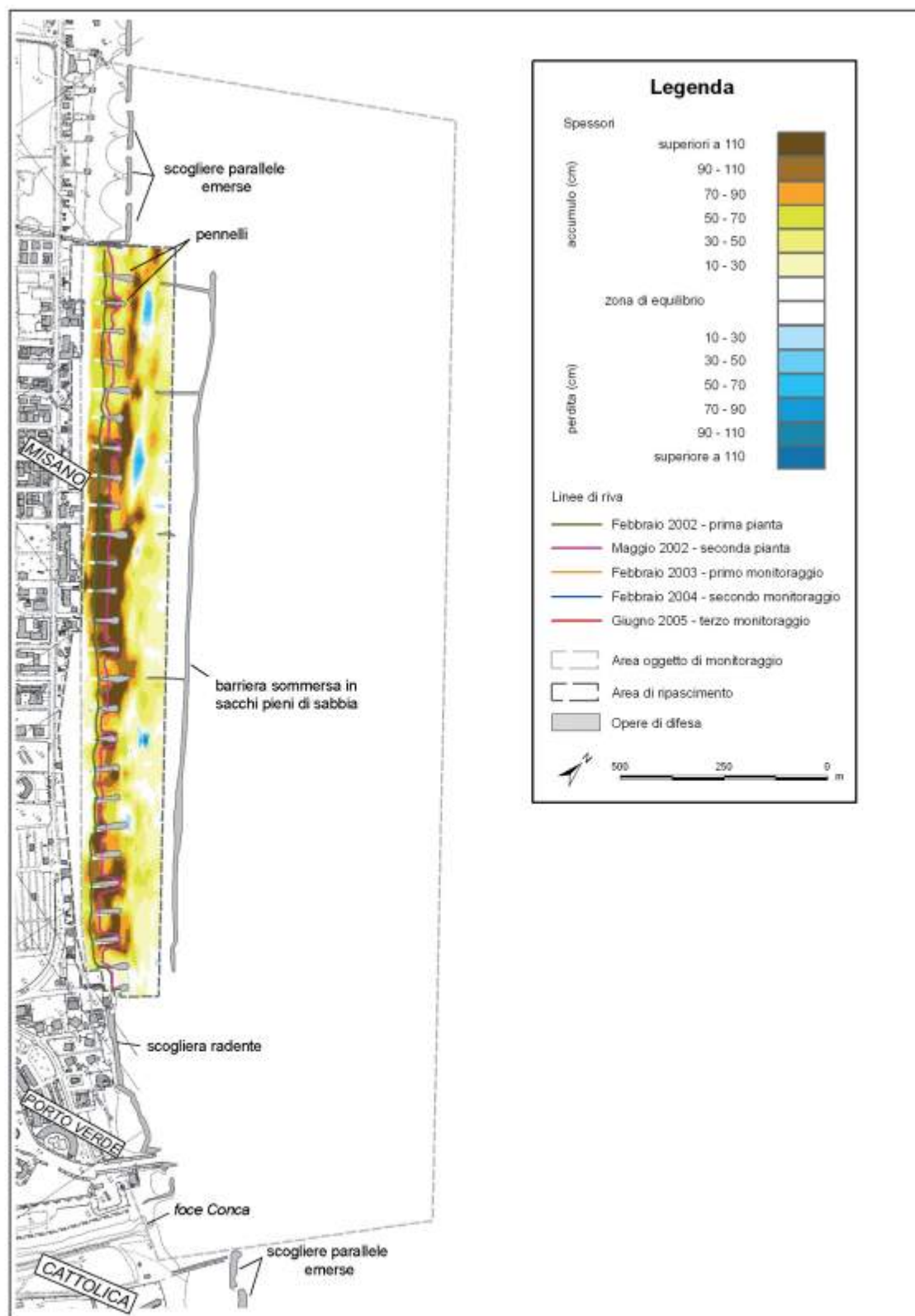


Figura 4 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

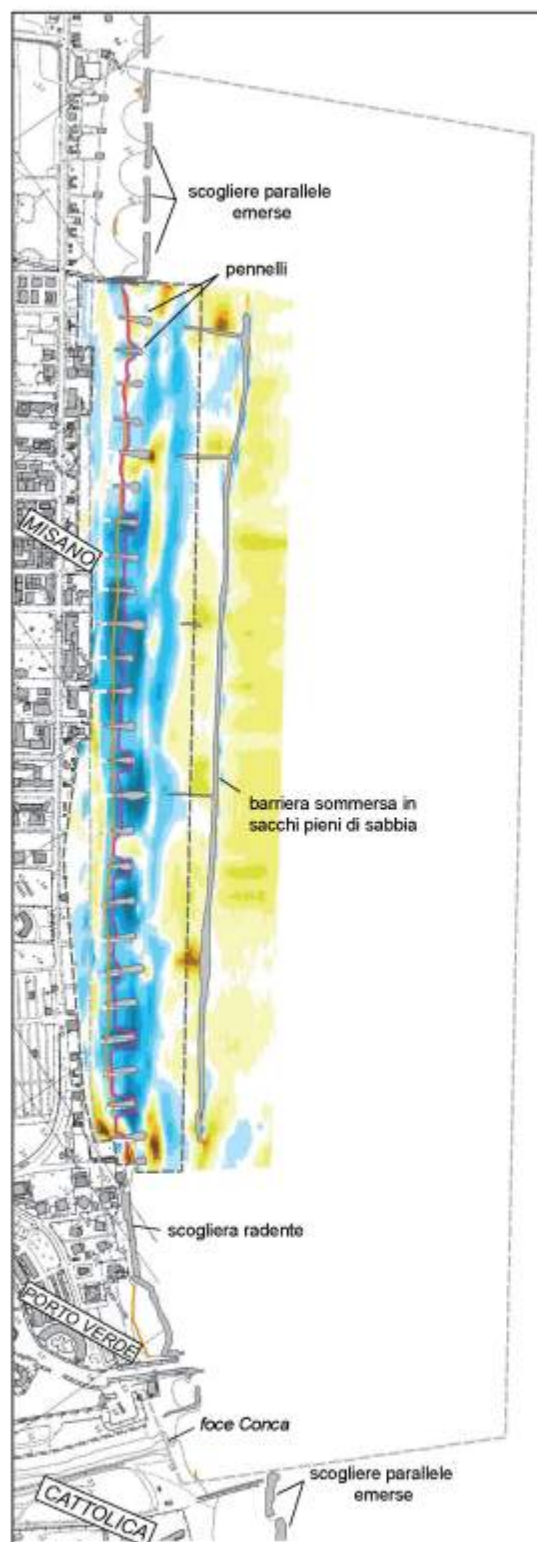


Figura 5 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

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-

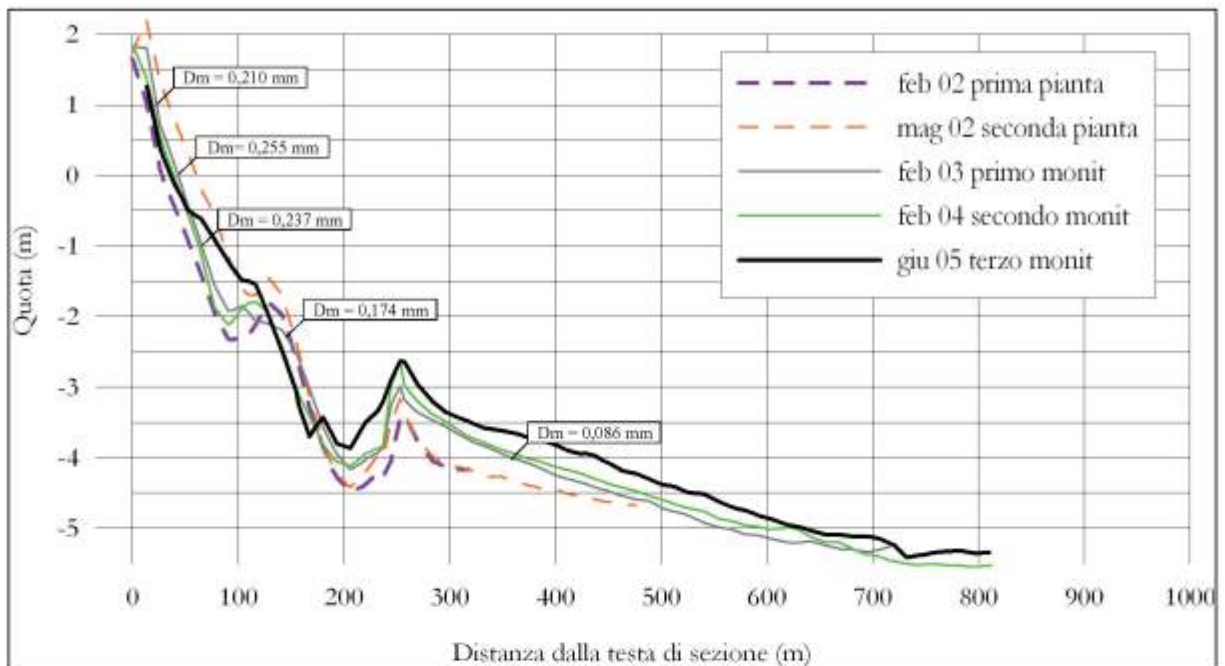


Figura 6 - Variazioni granulometriche lungo il profilo MI13.

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,

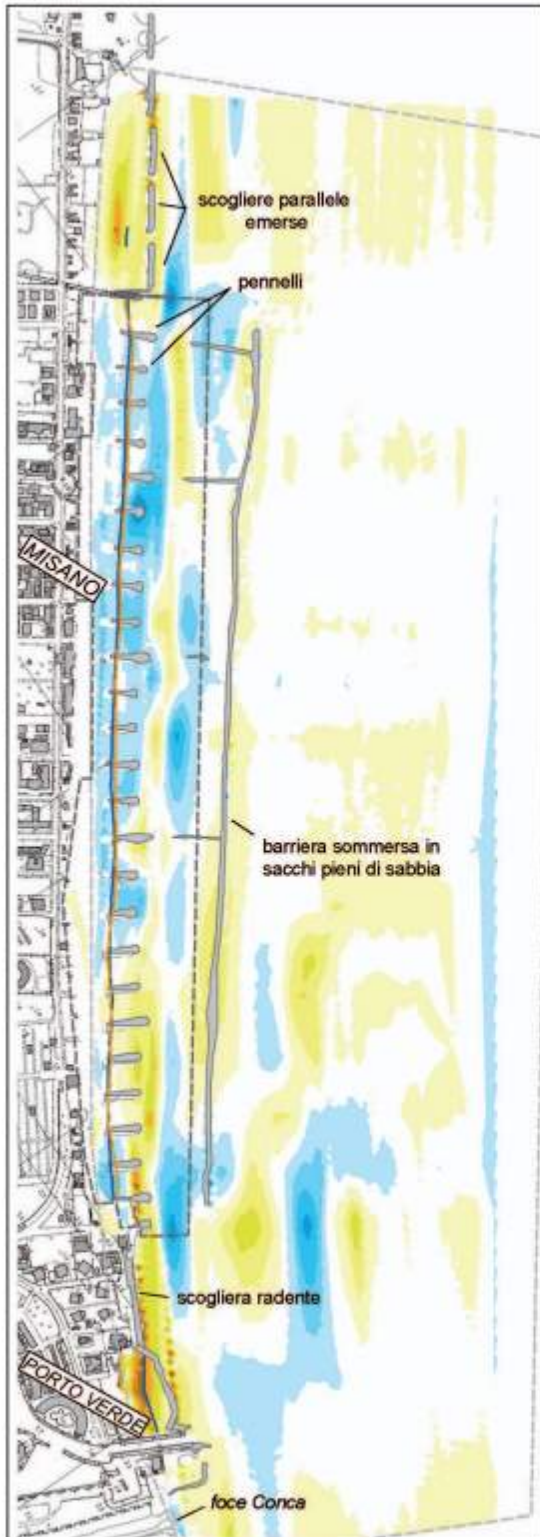


Figura 7 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

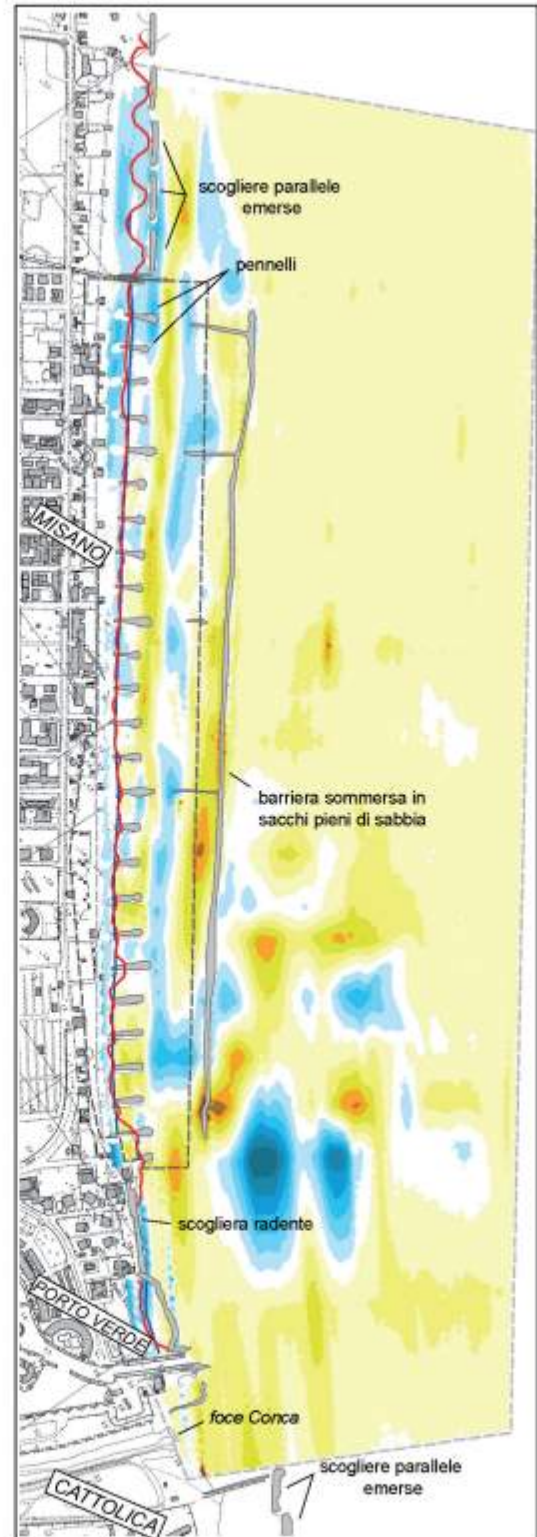


Figura 8 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

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 invaso 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-

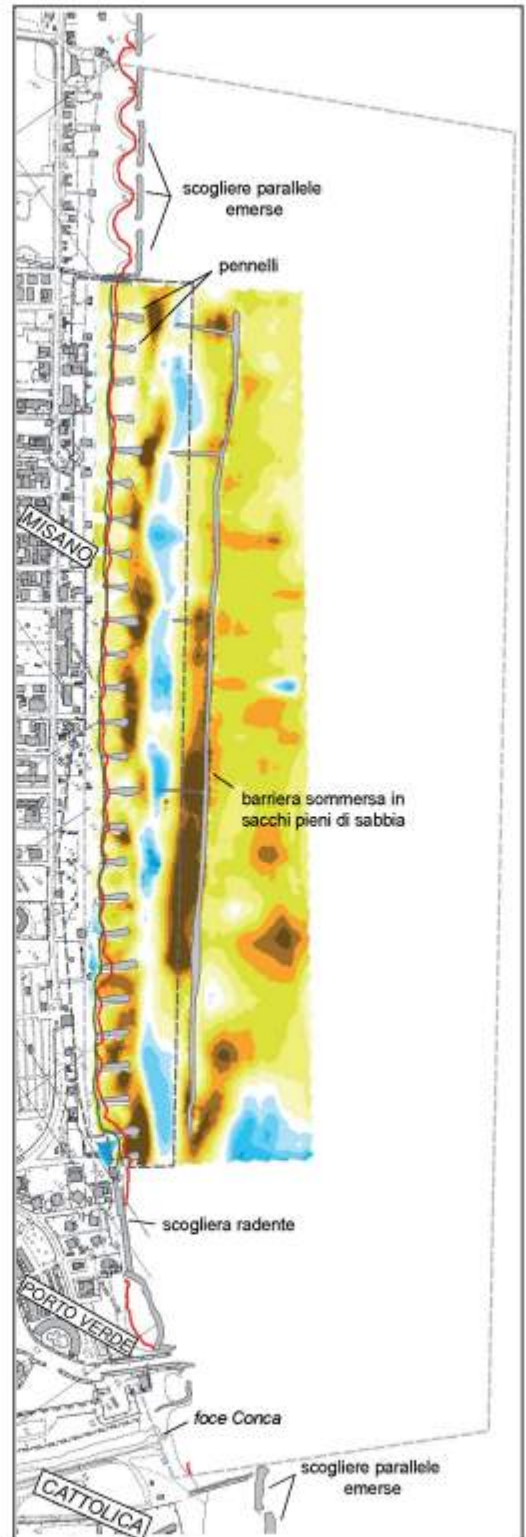


Figura 9 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e terzo monitoraggio (Giugno 2005).

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 barriera, 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).

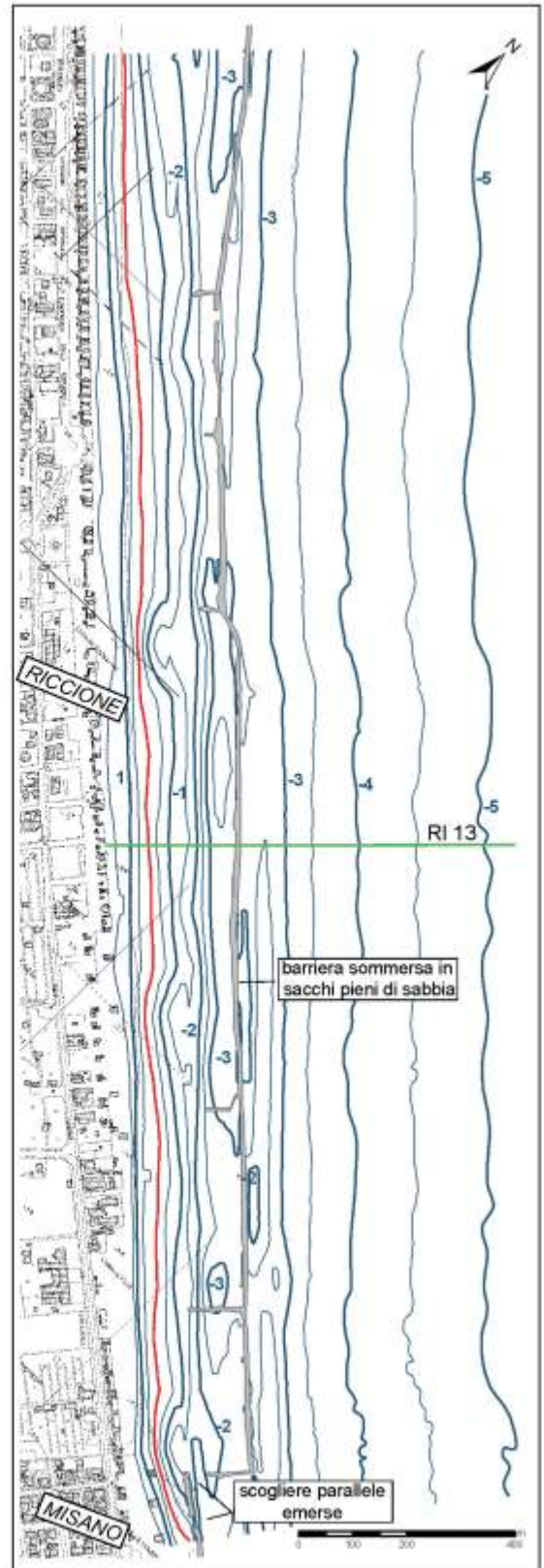


Figura 10 - Riccione: carta batimetrica Febbraio 2003.

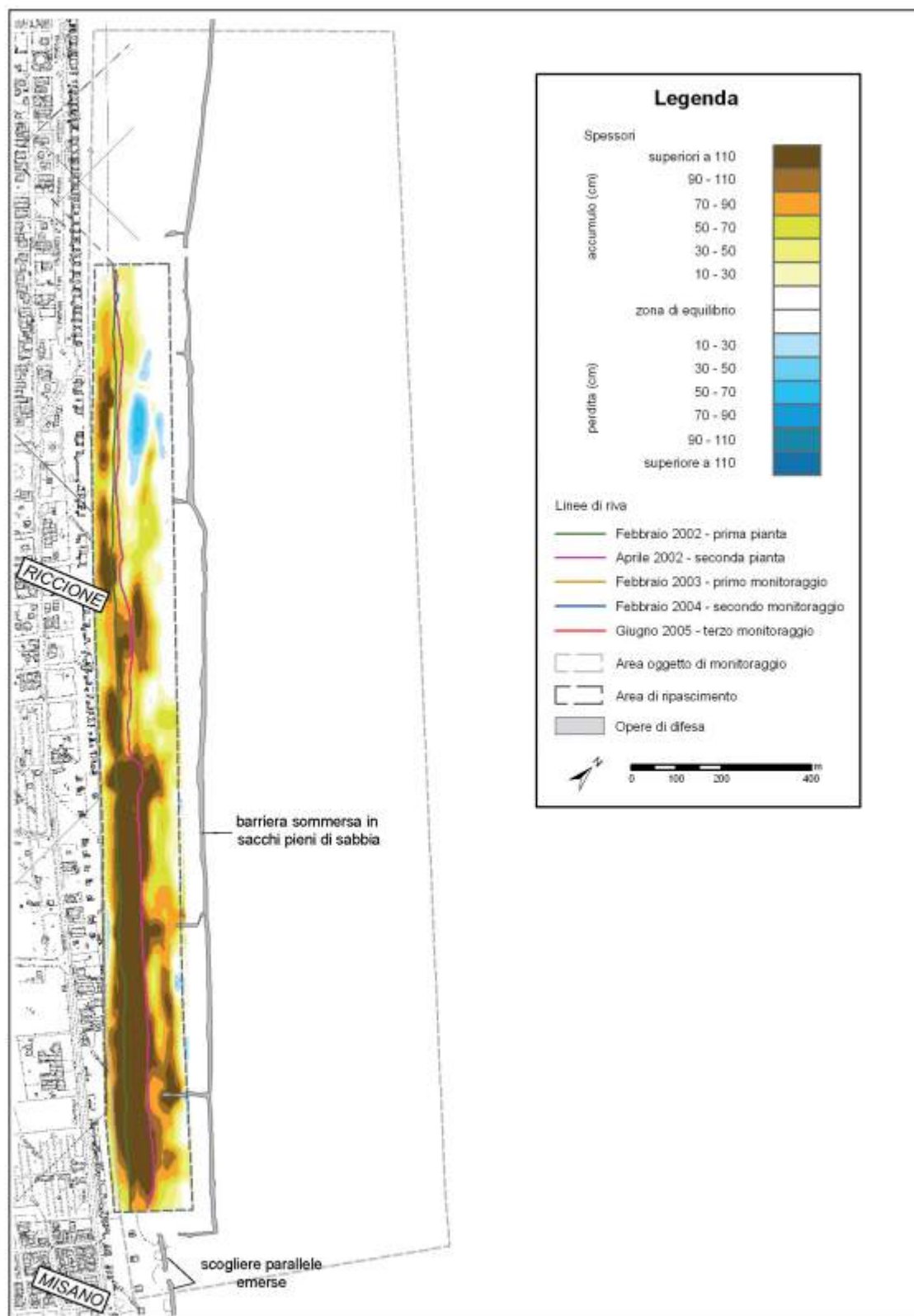


Figura 11 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

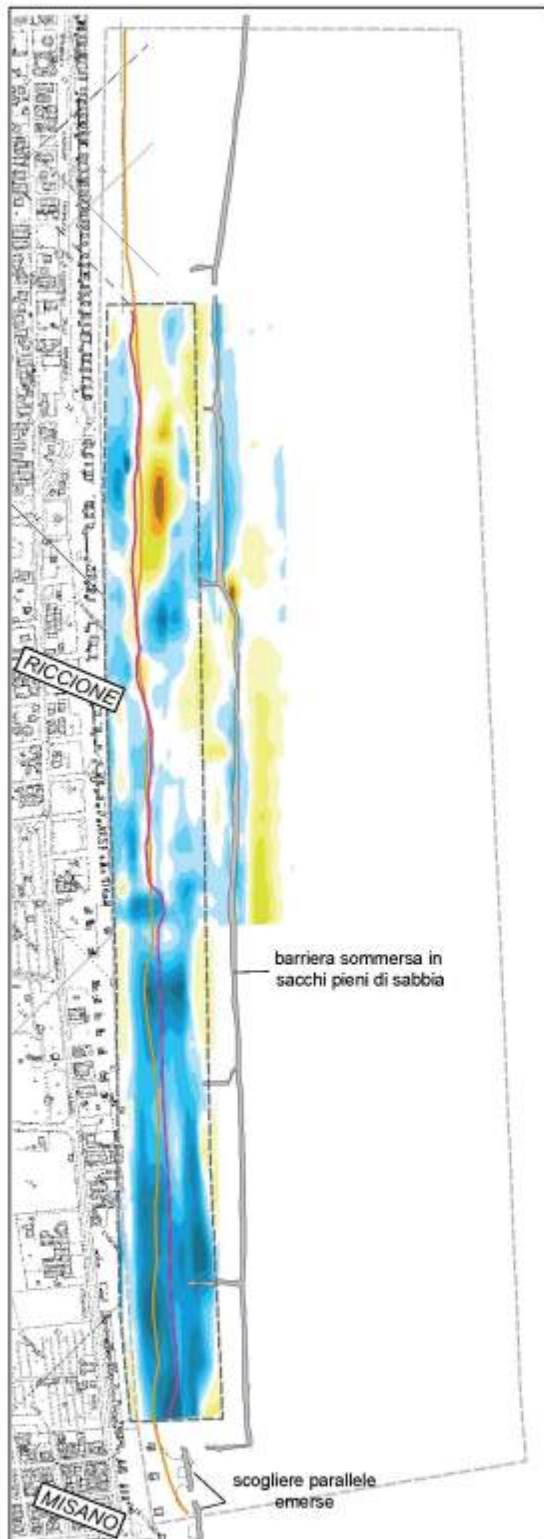


Figura 12 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

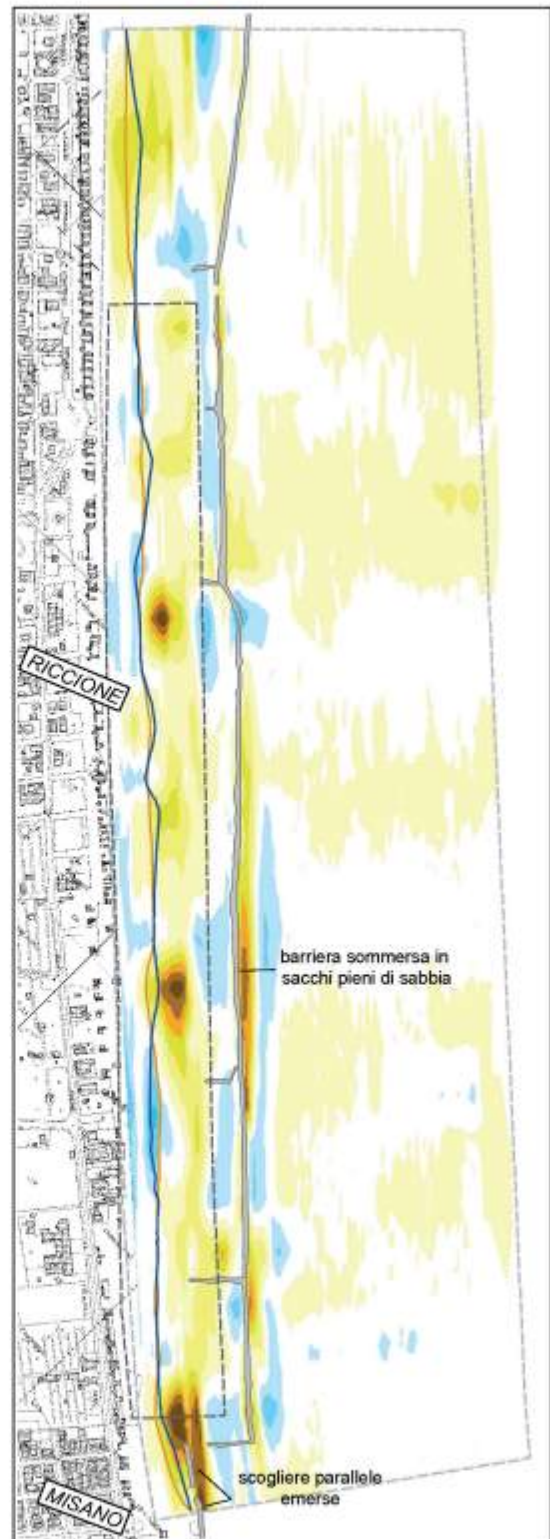


Figura 13 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

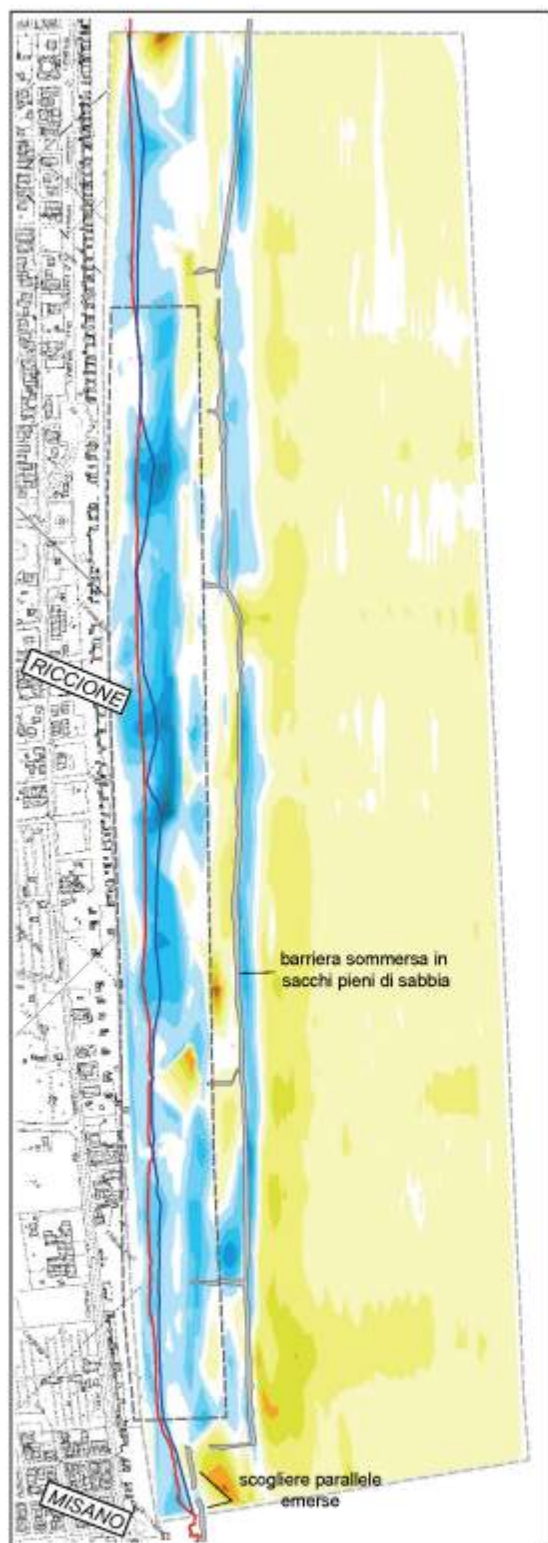


Figura 14 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

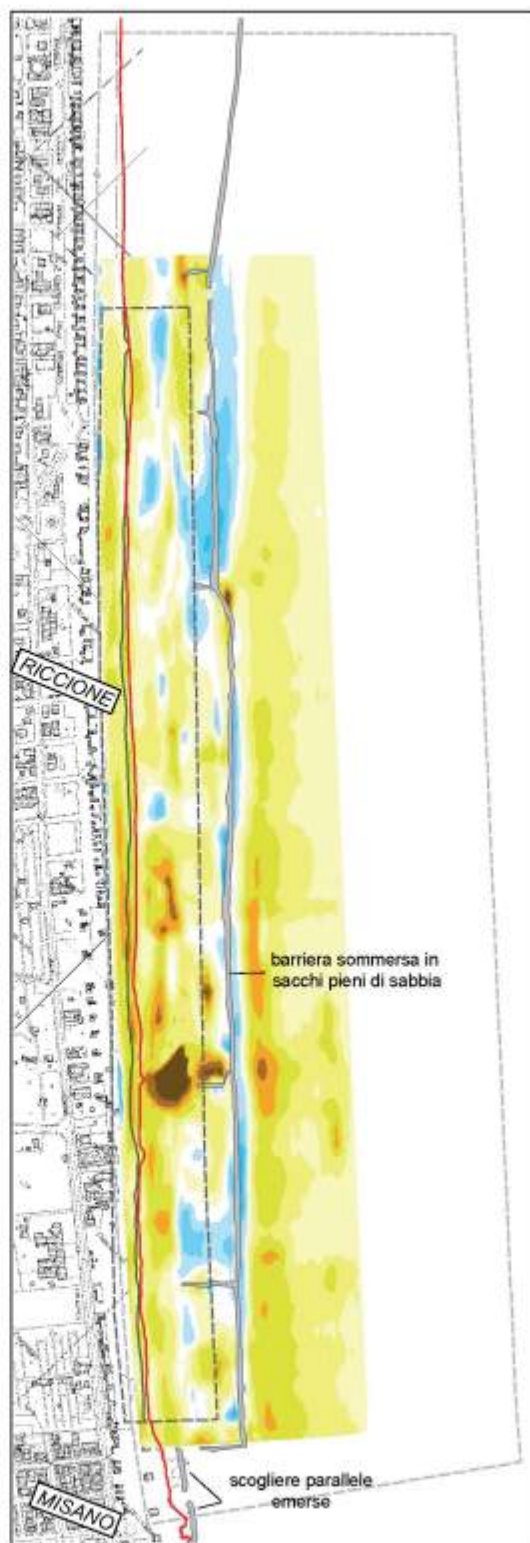


Figura 15 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

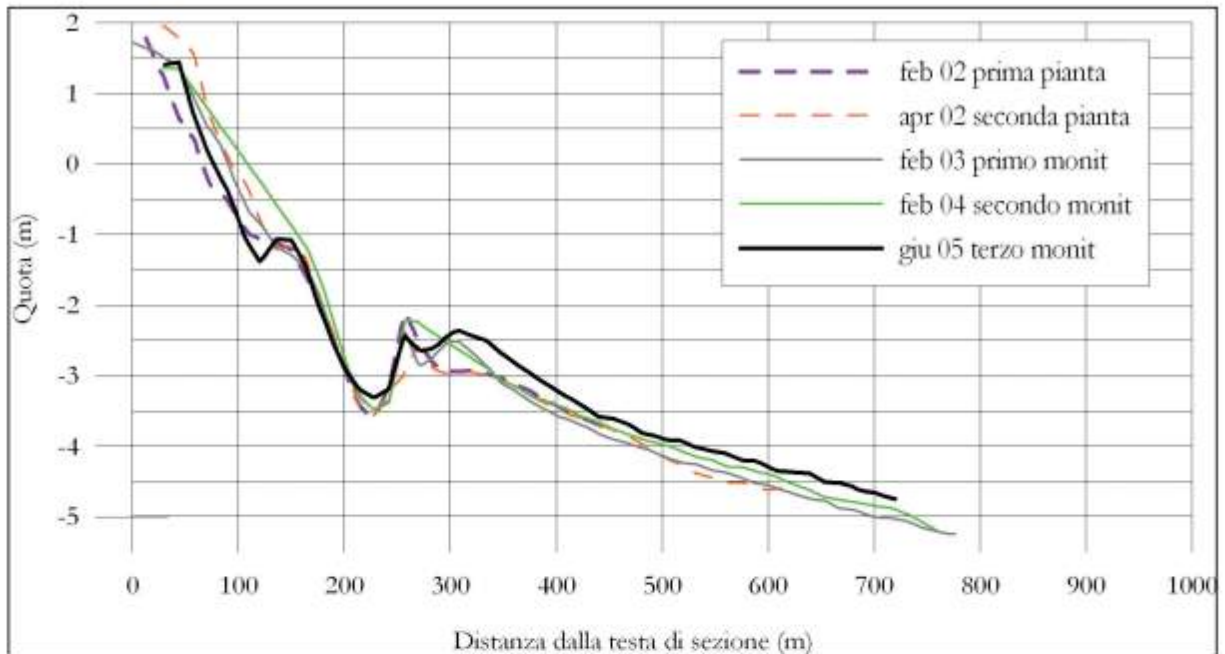


Figura 16 - Profilo RI13.

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

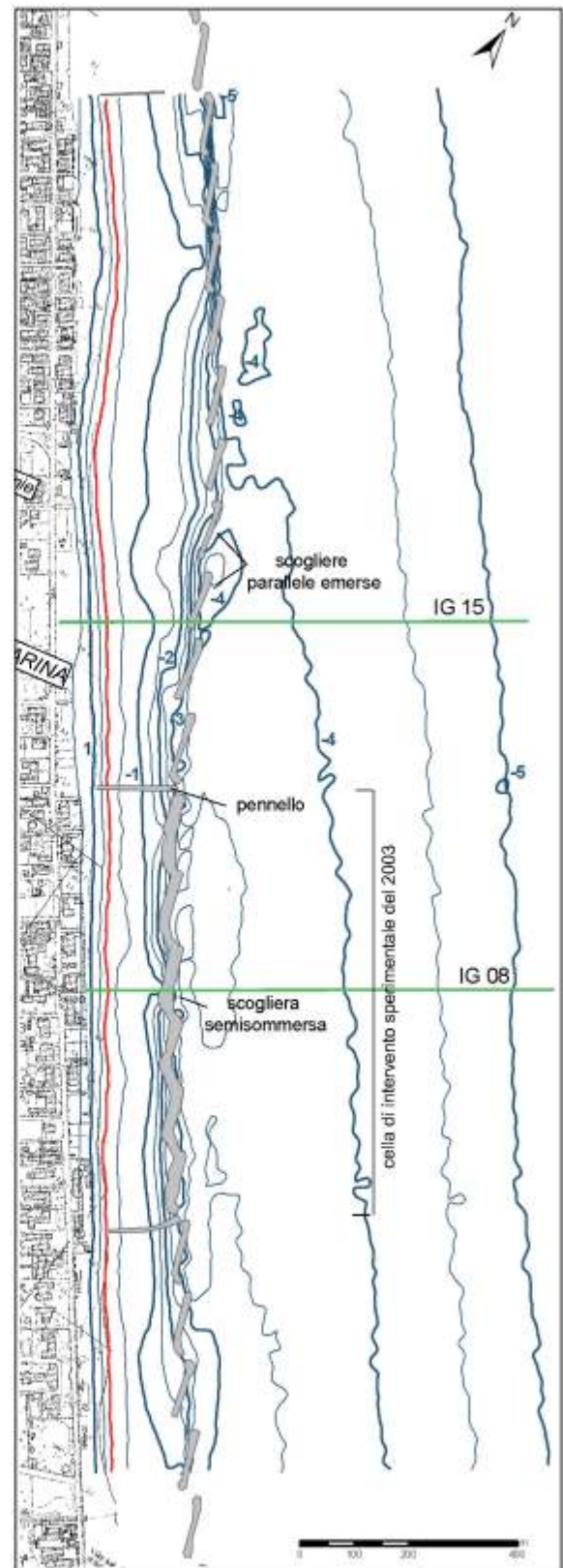


Figura 17 - Igea Marina: carta batimetrica Febbraio 2003.

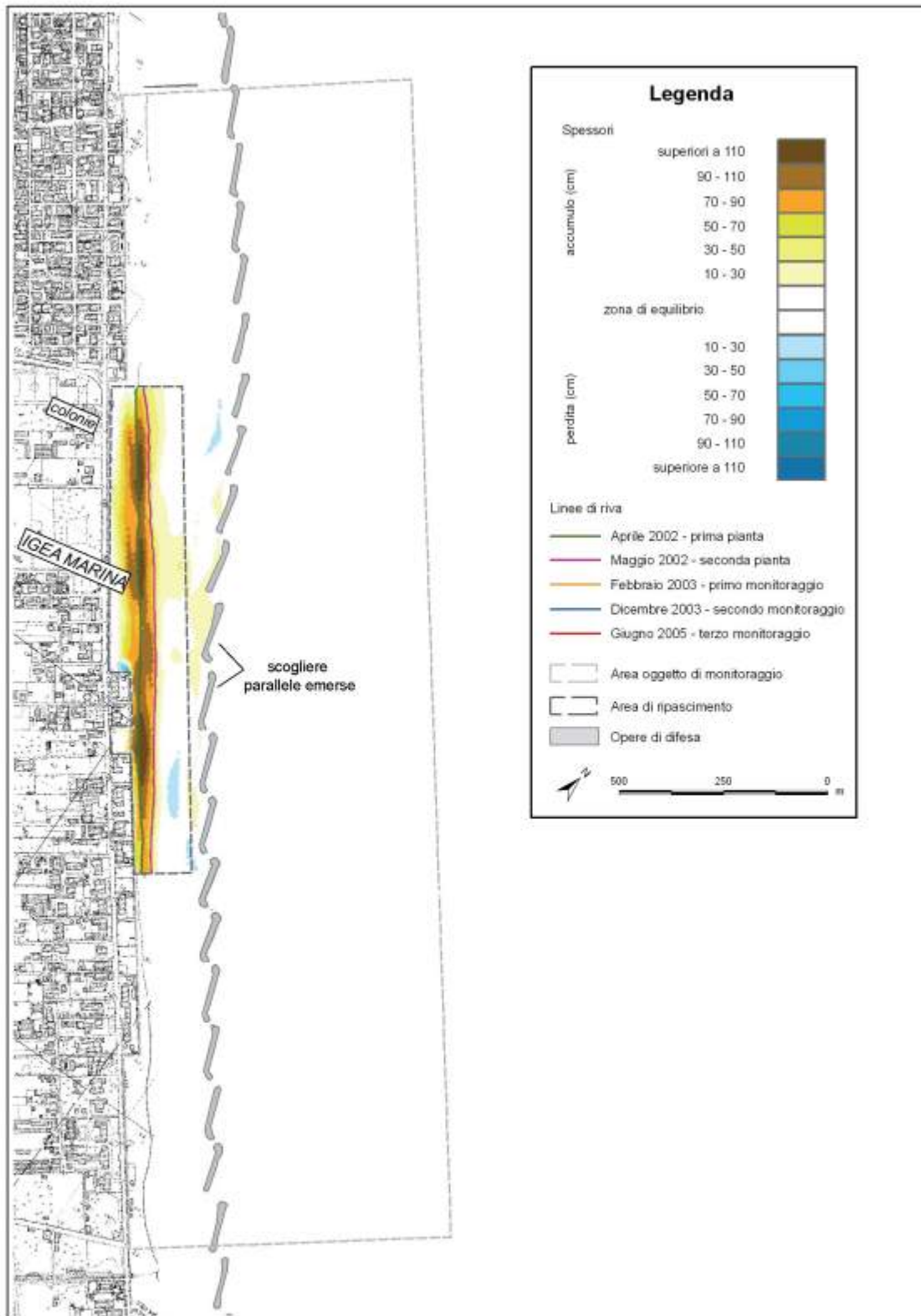


Figura 18 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Aprile 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

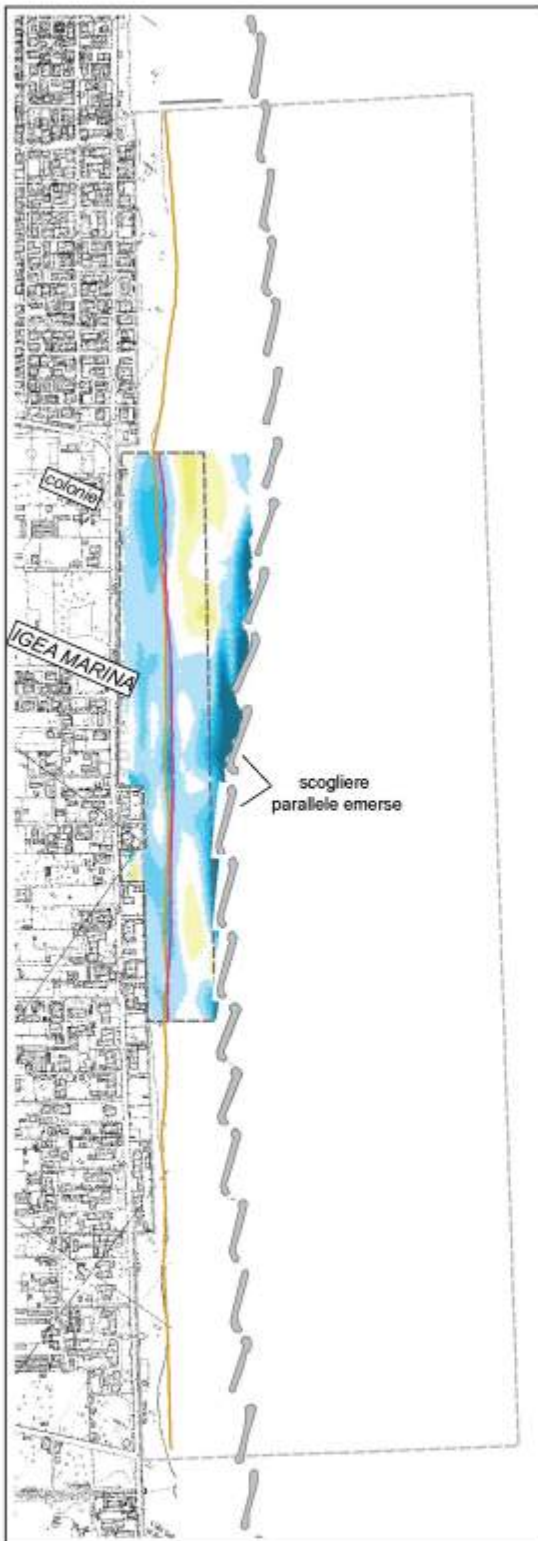


Figura 19 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

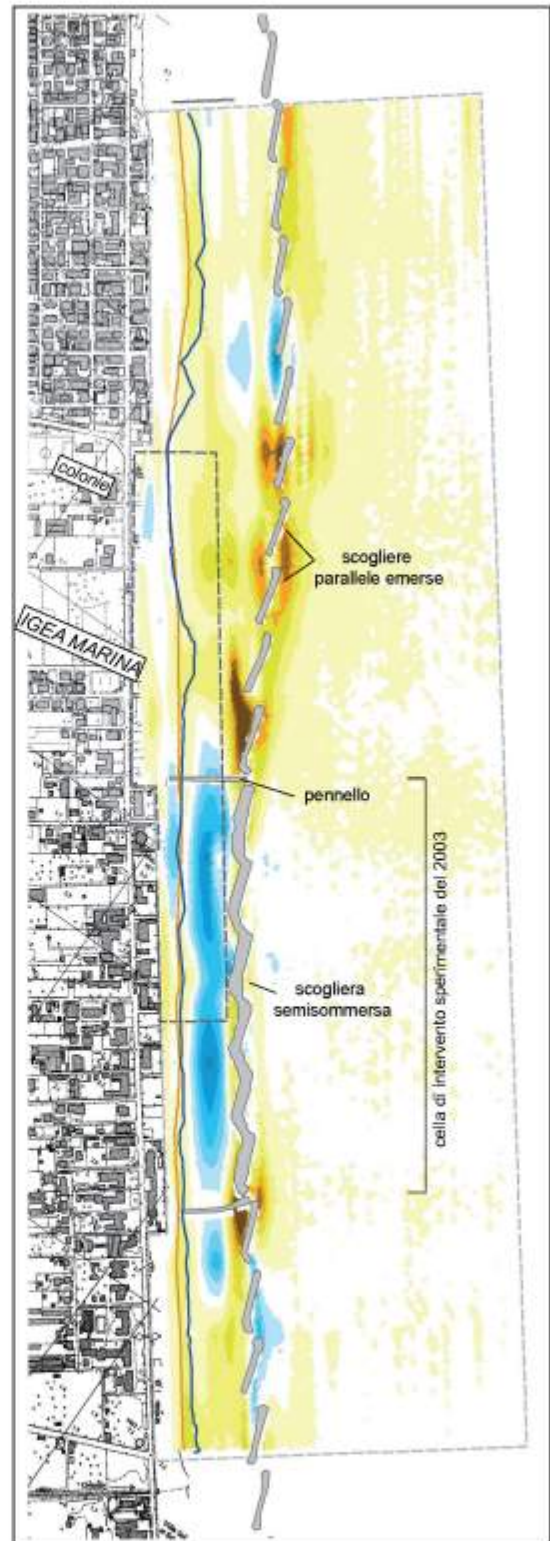


Figura 20 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

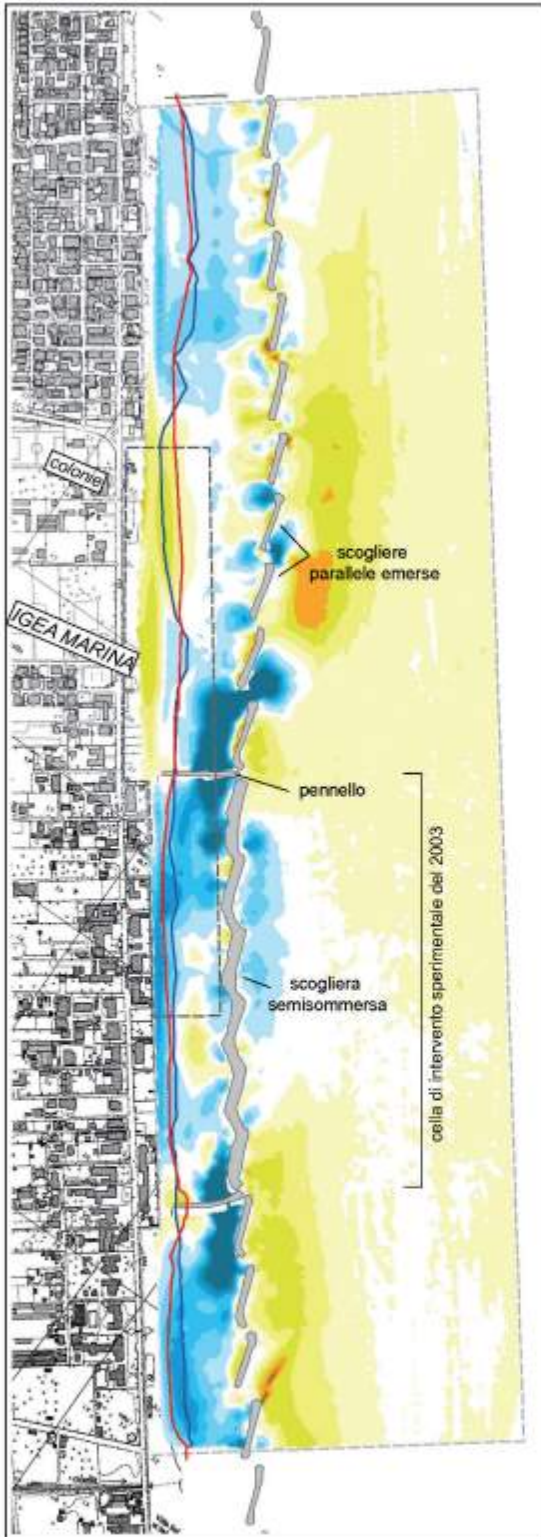


Figura 21 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

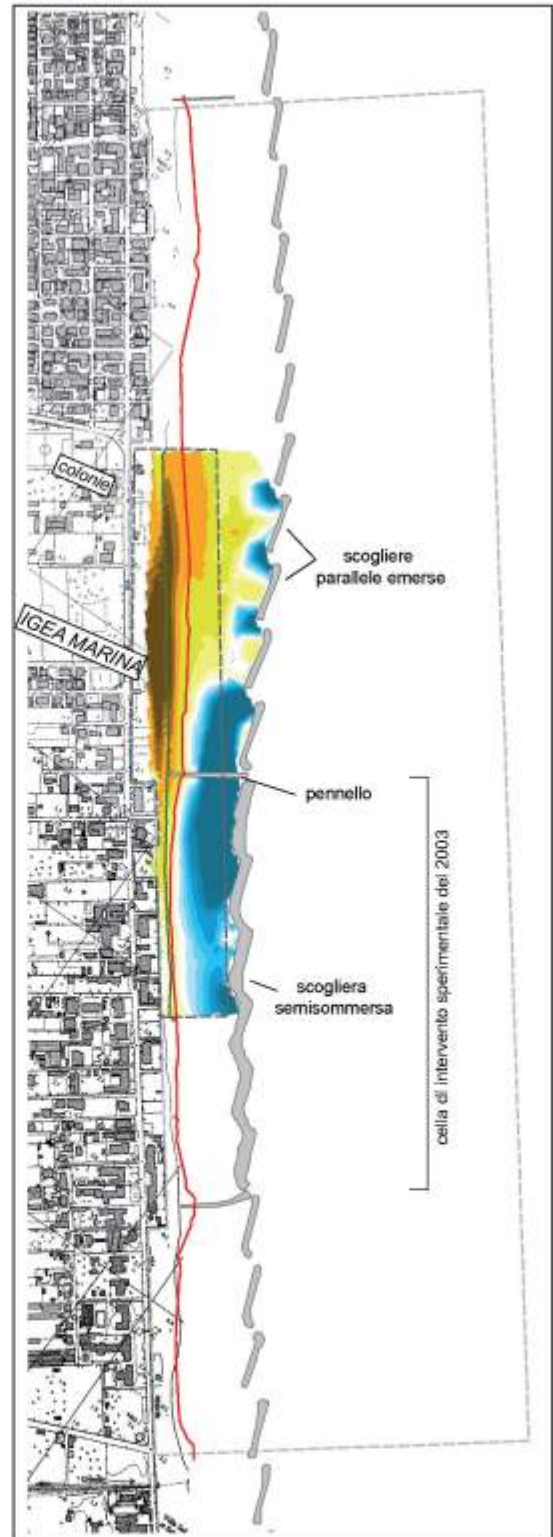


Figura 22 - Igea Marina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Aprile 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

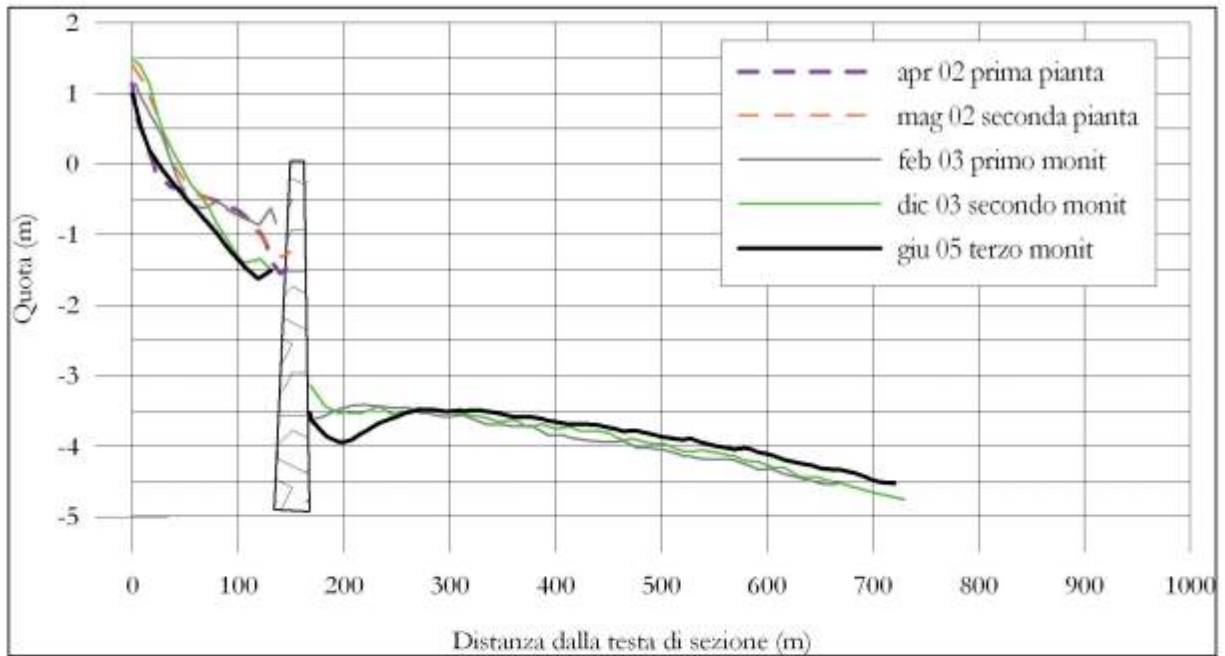


Figura 23 - Profilo IG08.

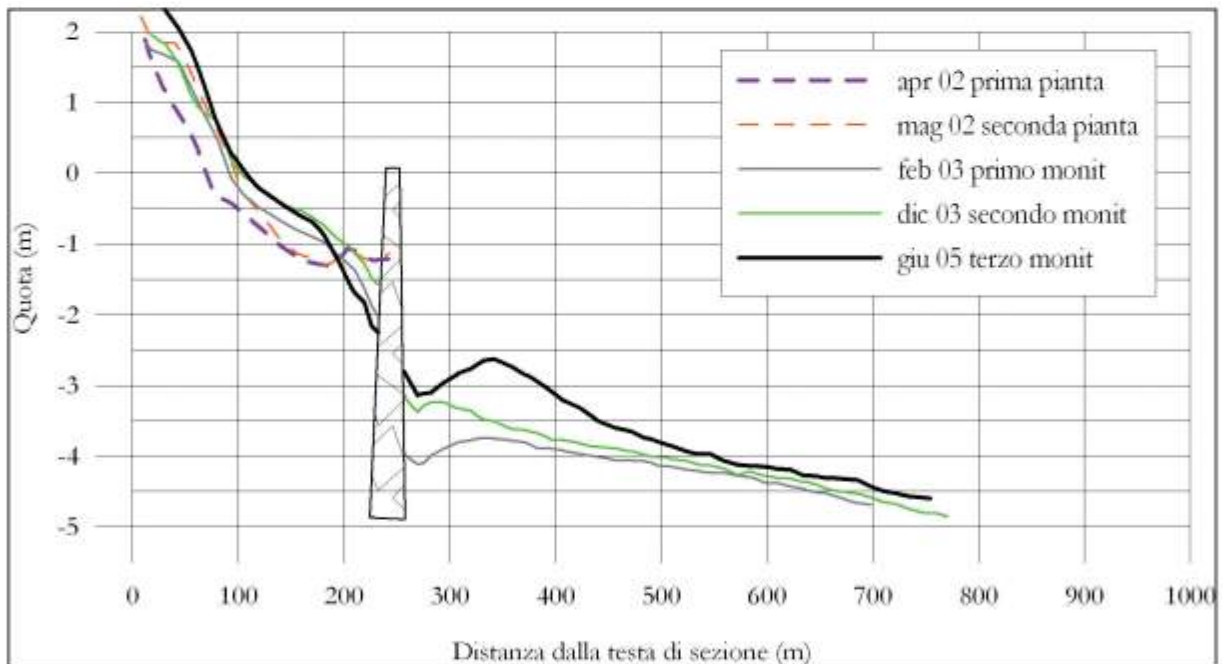


Figura 24 - Profilo IG15.

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. È 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 m^3 di sabbia su un totale di 65.200 m^3 di materiale apportato. A questo andrebbe aggiunta una quota parte dei circa 10.000 m^3 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 (Figg. 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 m^3 di sabbia sottomarina ($46 \text{ m}^3/\text{m}$) 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 m^3 di materiale, pari quindi al 120 % degli apporti artificiali. Tutta l'area compresa tra le scogliere e la spiaggia evi-

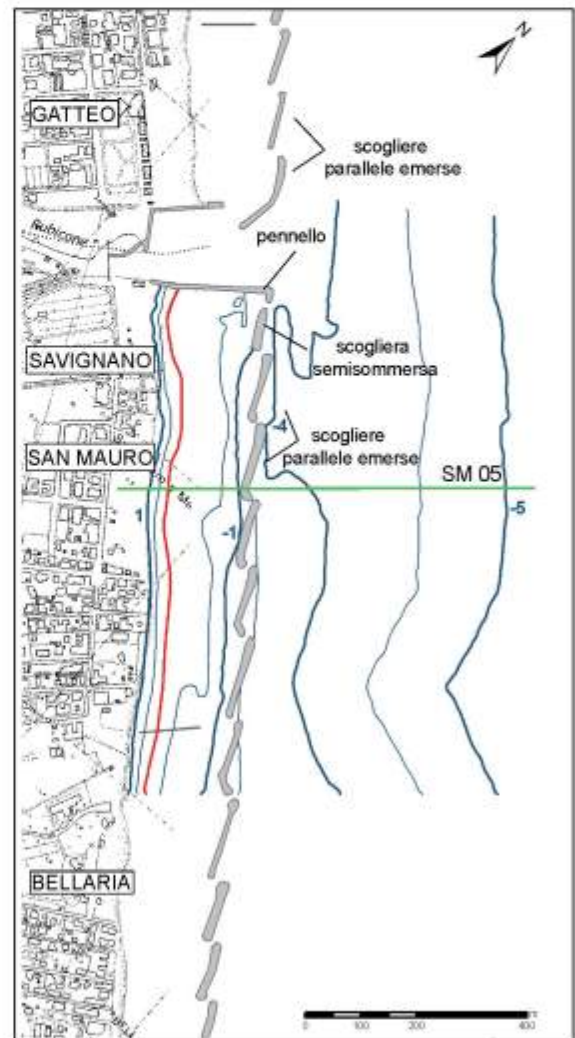


Figura 25- San Mauro e Savignano: carta batimetrica Febbraio 2003.

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

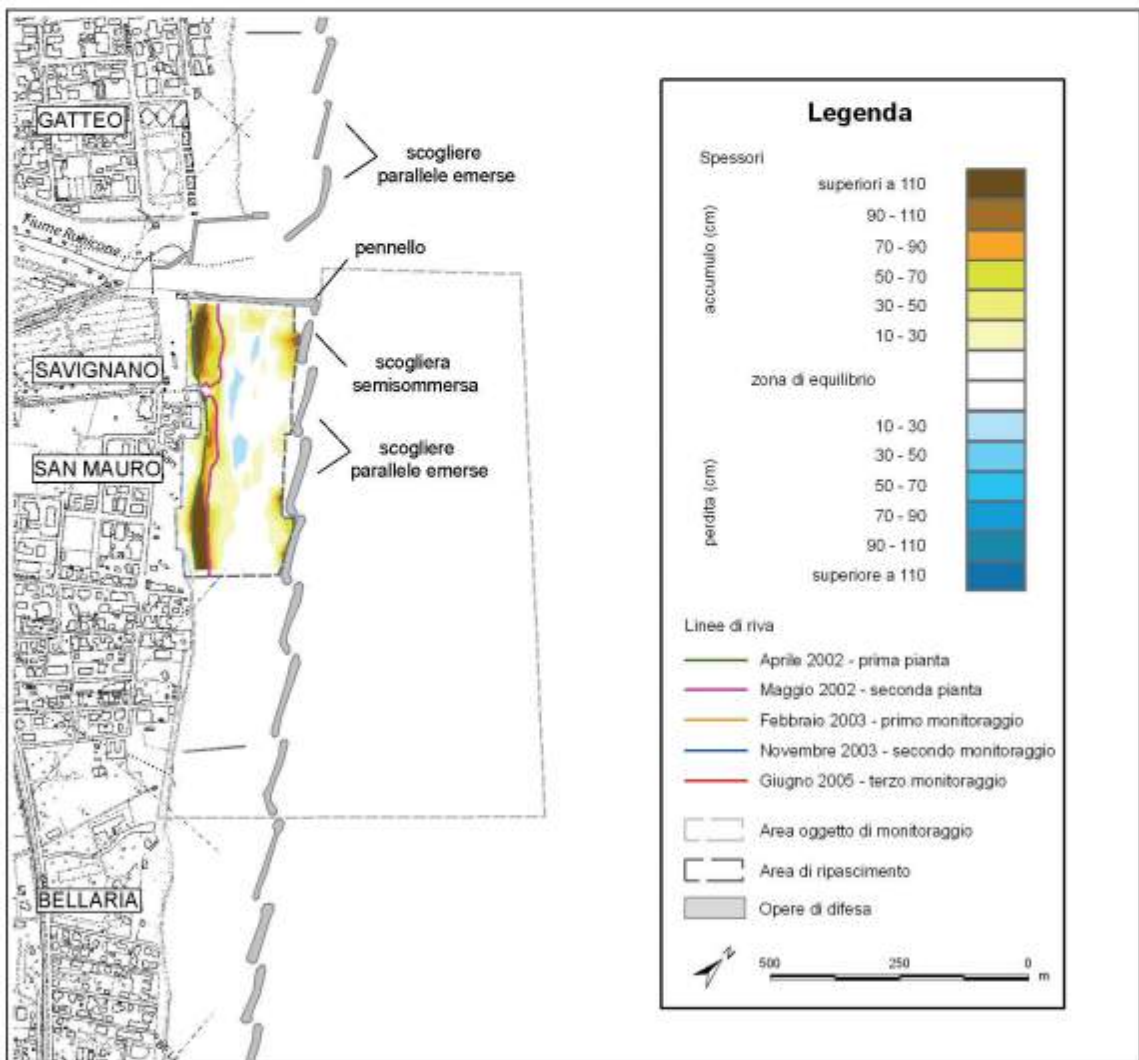


Figura 26 – San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Aprile 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

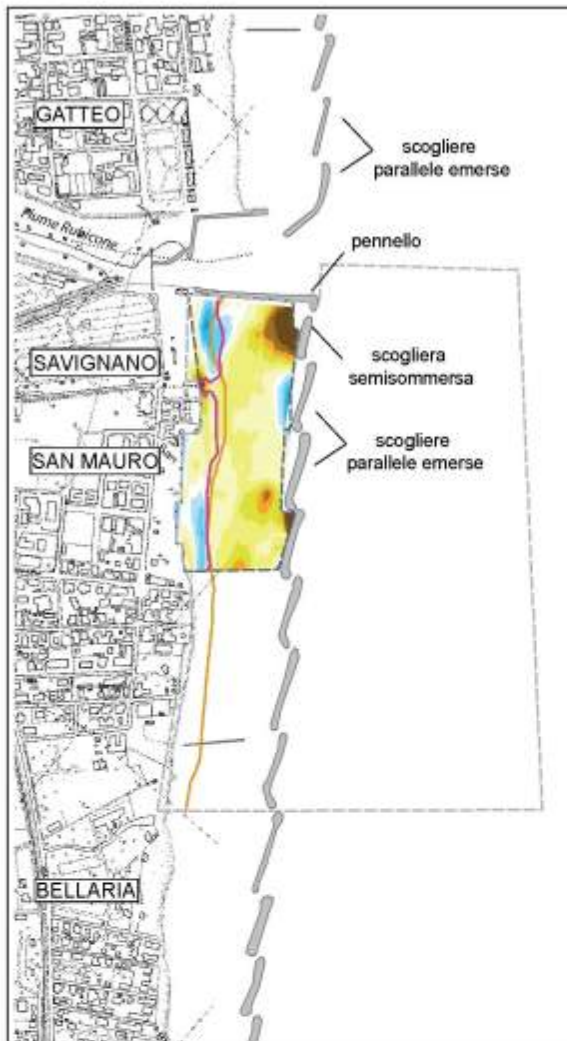


Figura 27 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

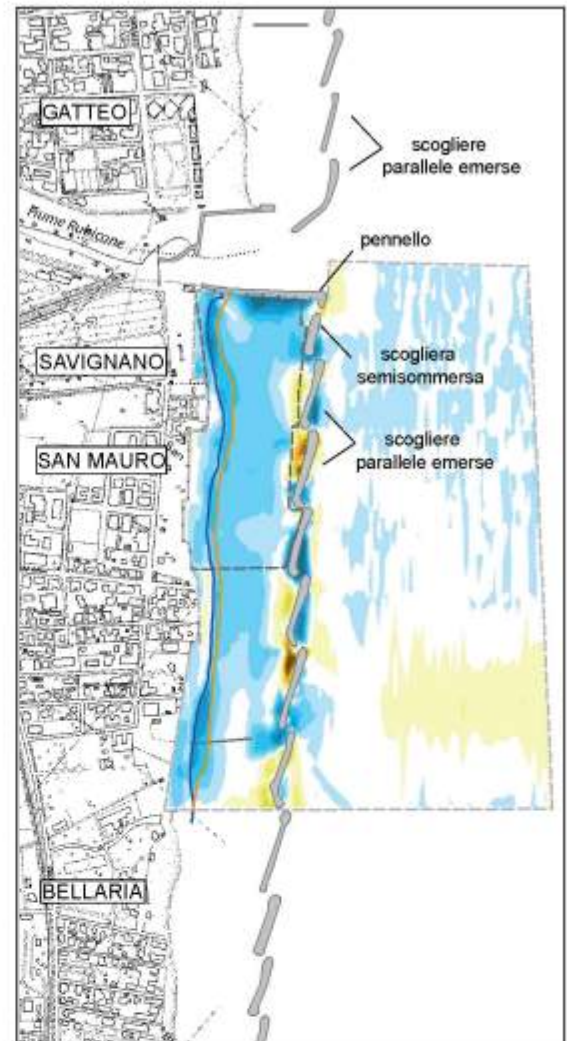


Figura 28 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

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.

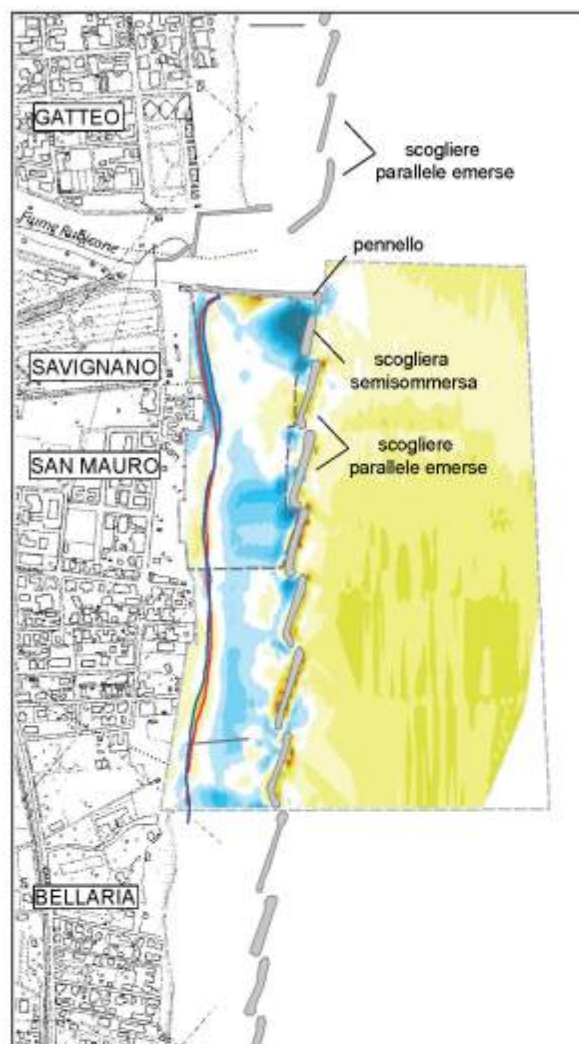


Figura 29 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

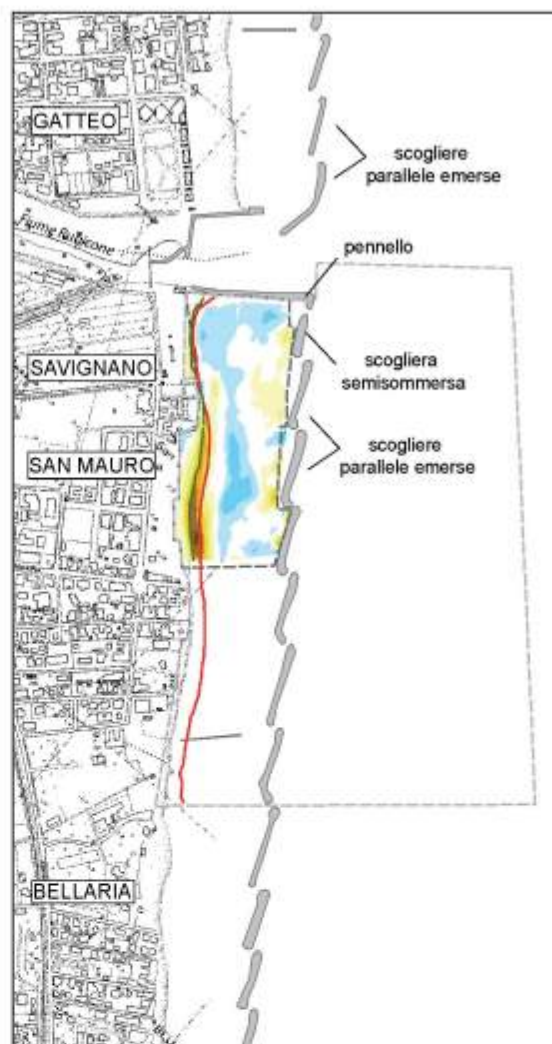


Figura 30 - San Mauro e Savignano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Aprile 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

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

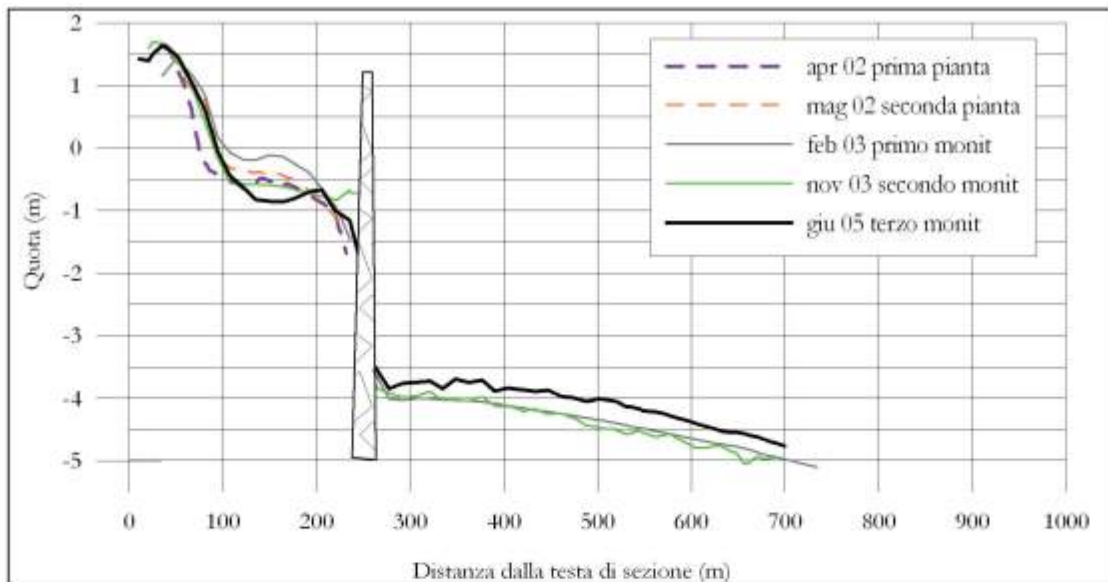


Figura 31 - Profilo SM05.

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

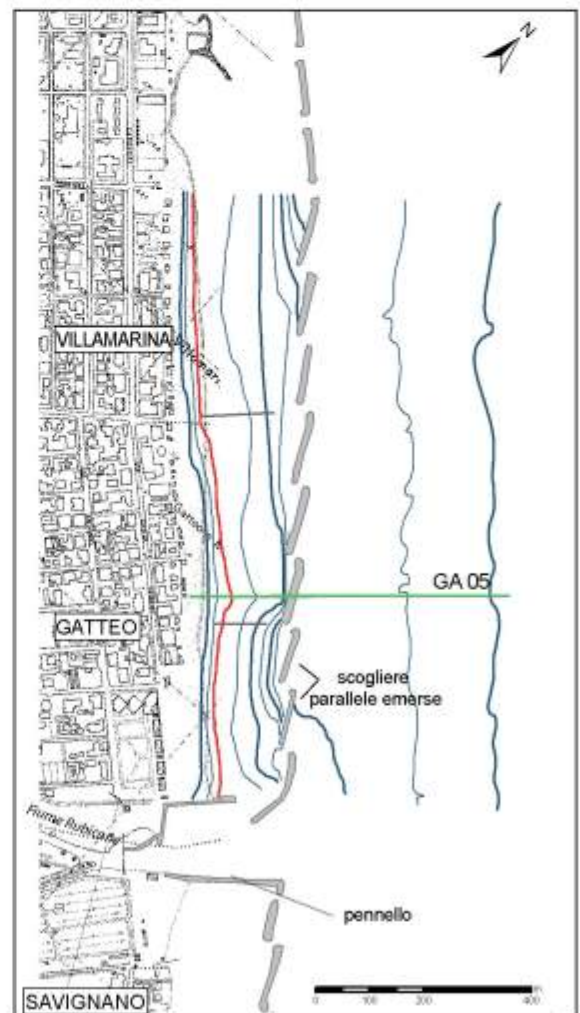


Figura 32 - Gatteo: carta batimetrica Febbraio 2003.

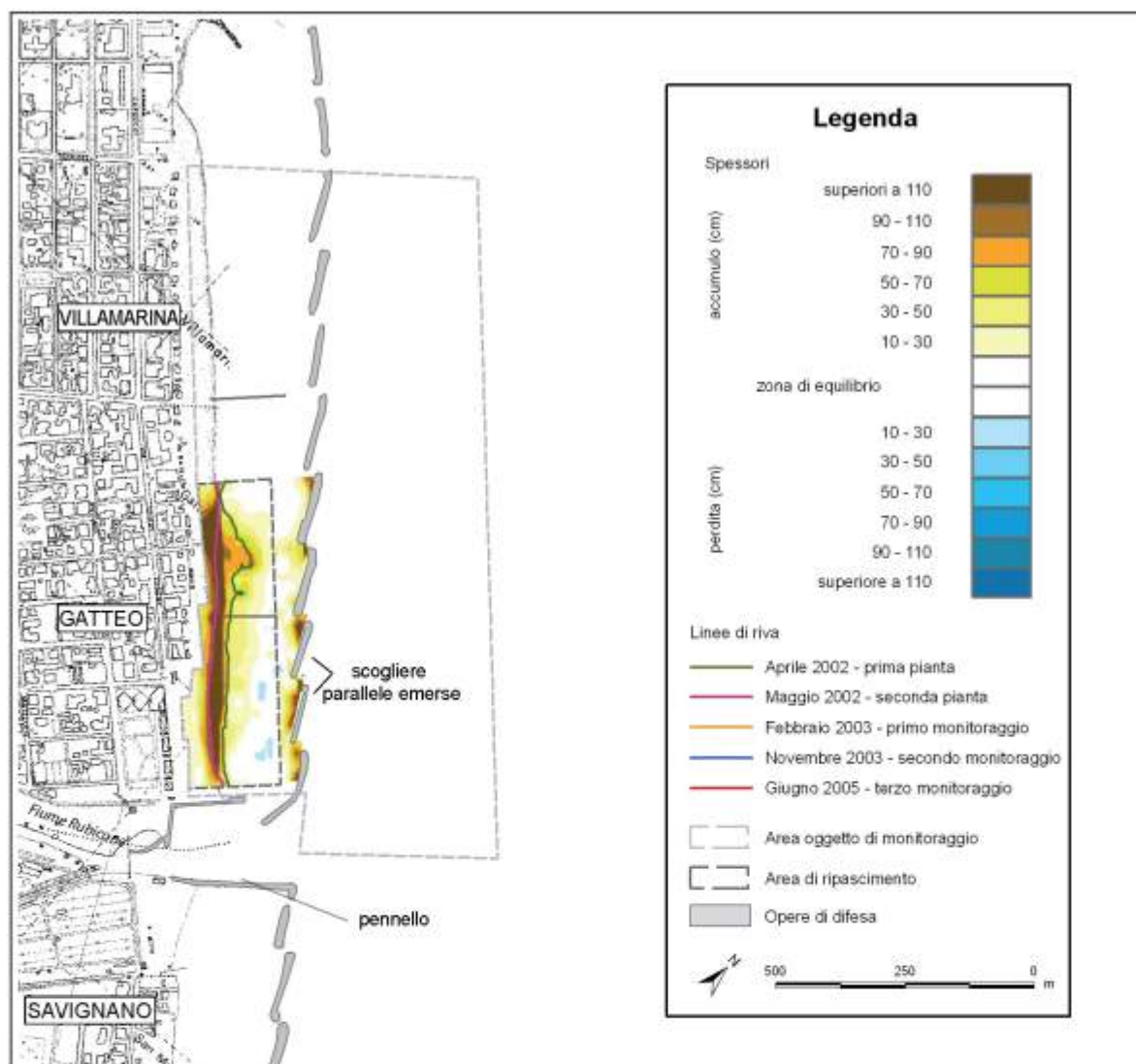


Figura 33 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Aprile 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

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

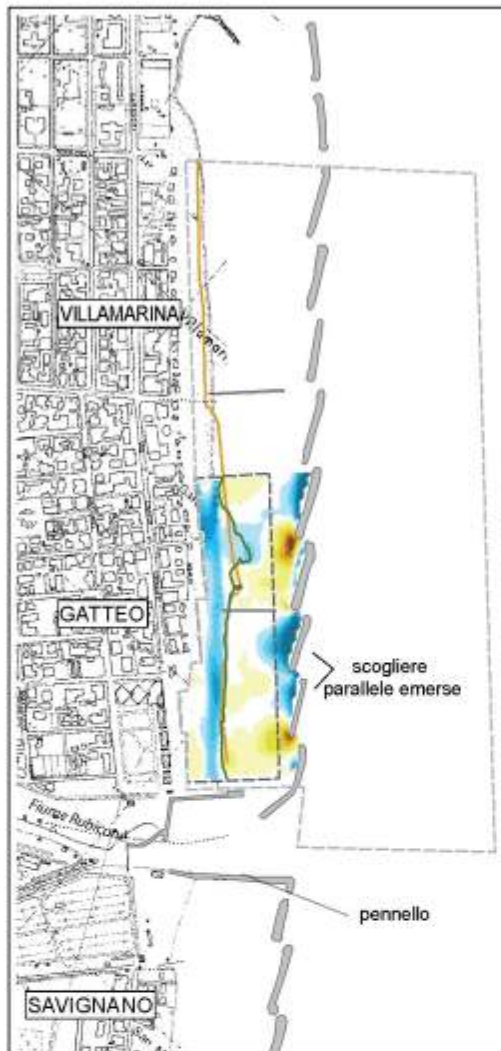


Figura 34 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

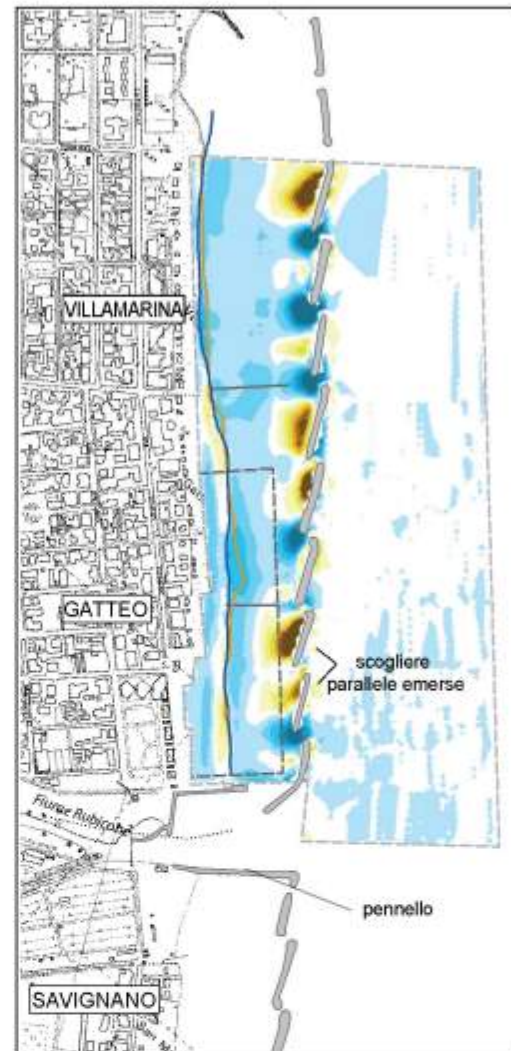


Figura 35 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

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 m^3 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 m^3 . 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-

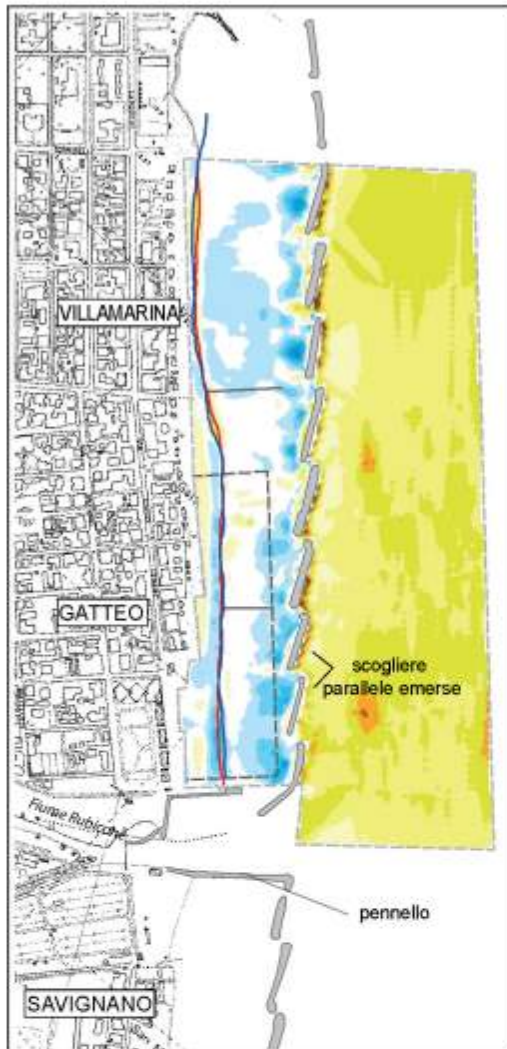


Figura 36 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

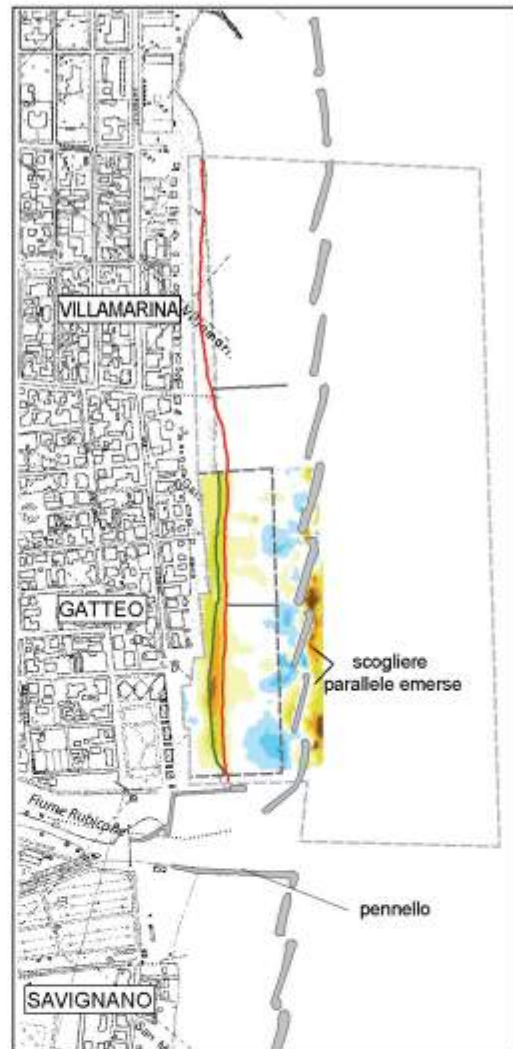


Figura 37 - Gatteo: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Aprile 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

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

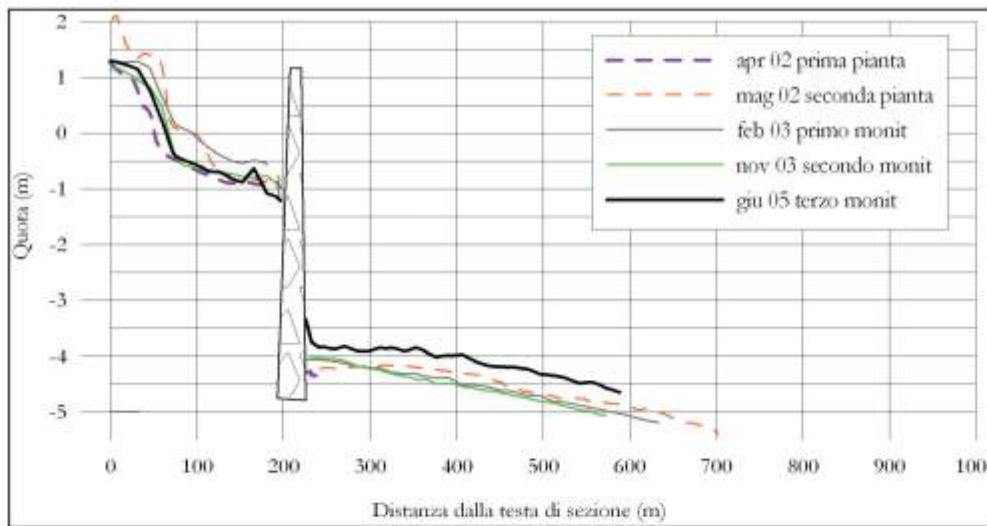


Figura 38 - Profilo GA05.

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

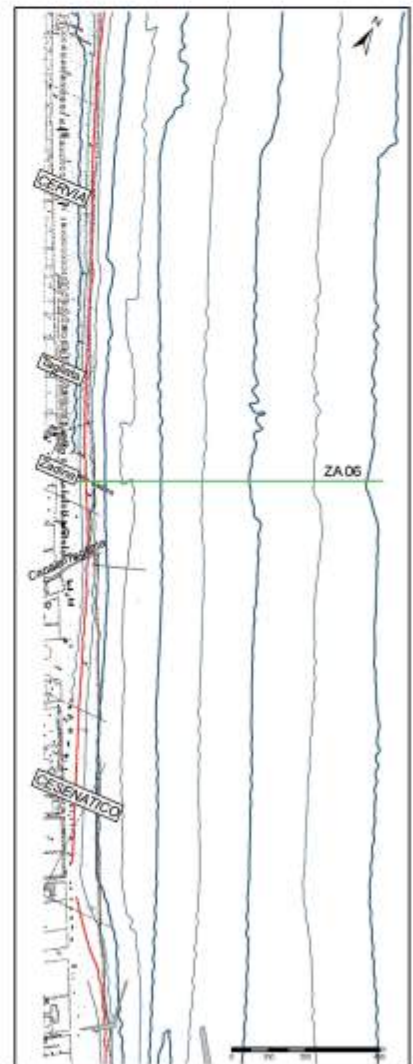


Figura 39 - Zadina: carta batimetrica Febbraio 2003.

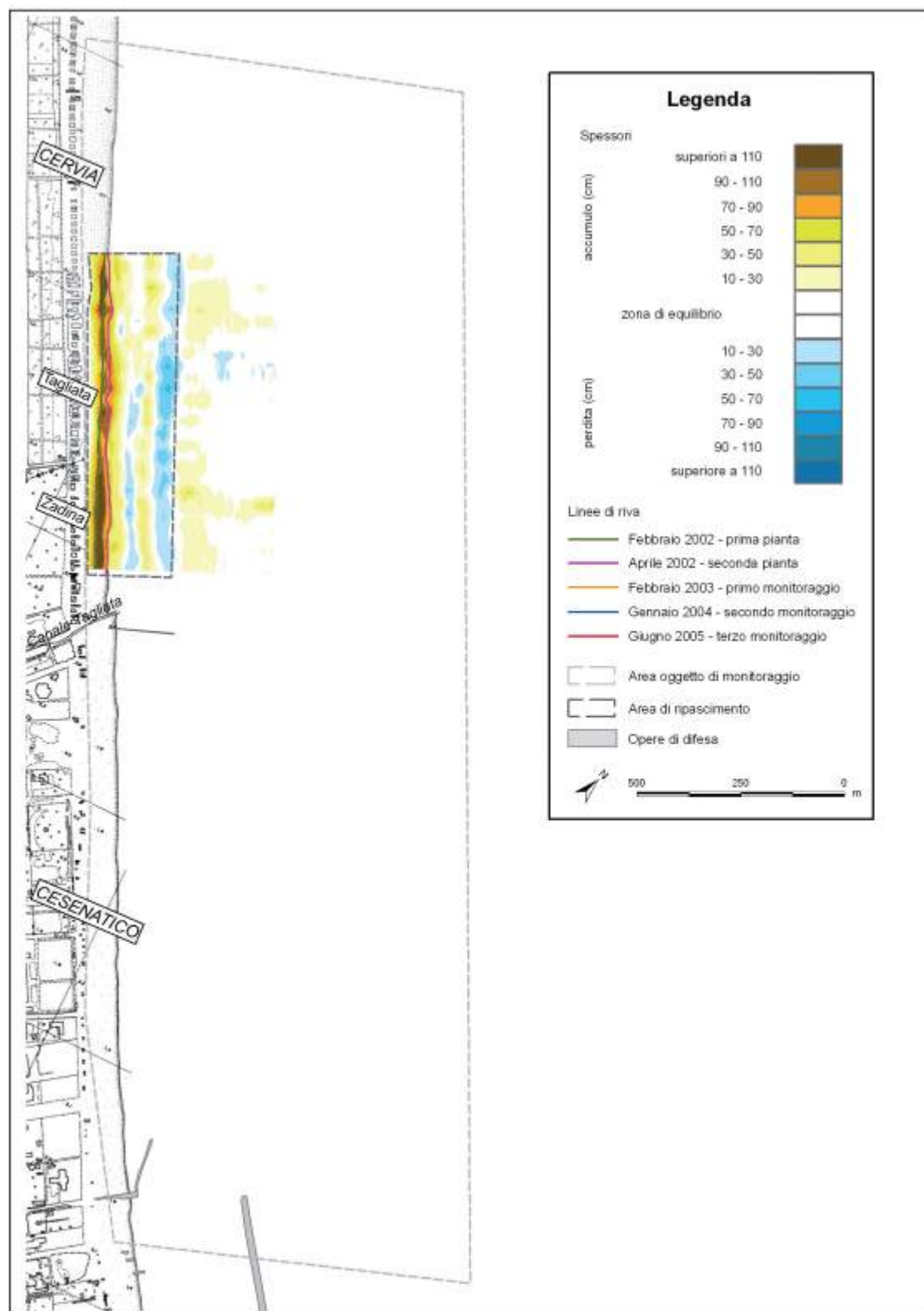


Figura 40 – Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

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-

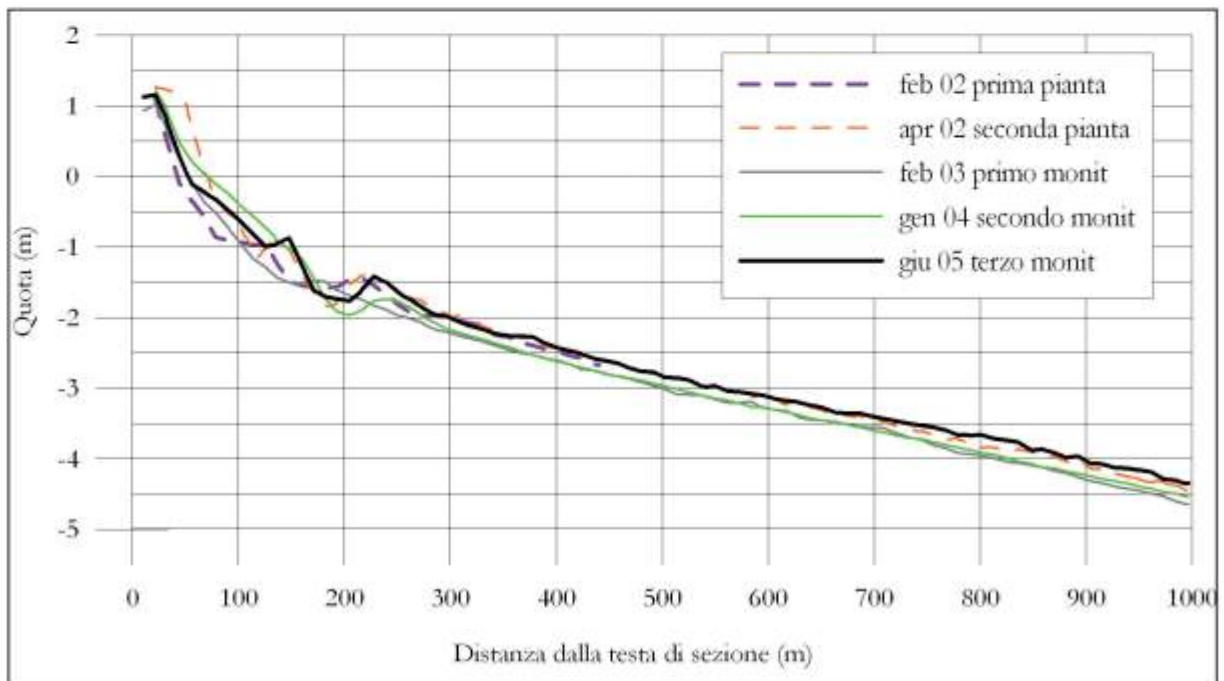


Figura 41 - Profilo ZA06.

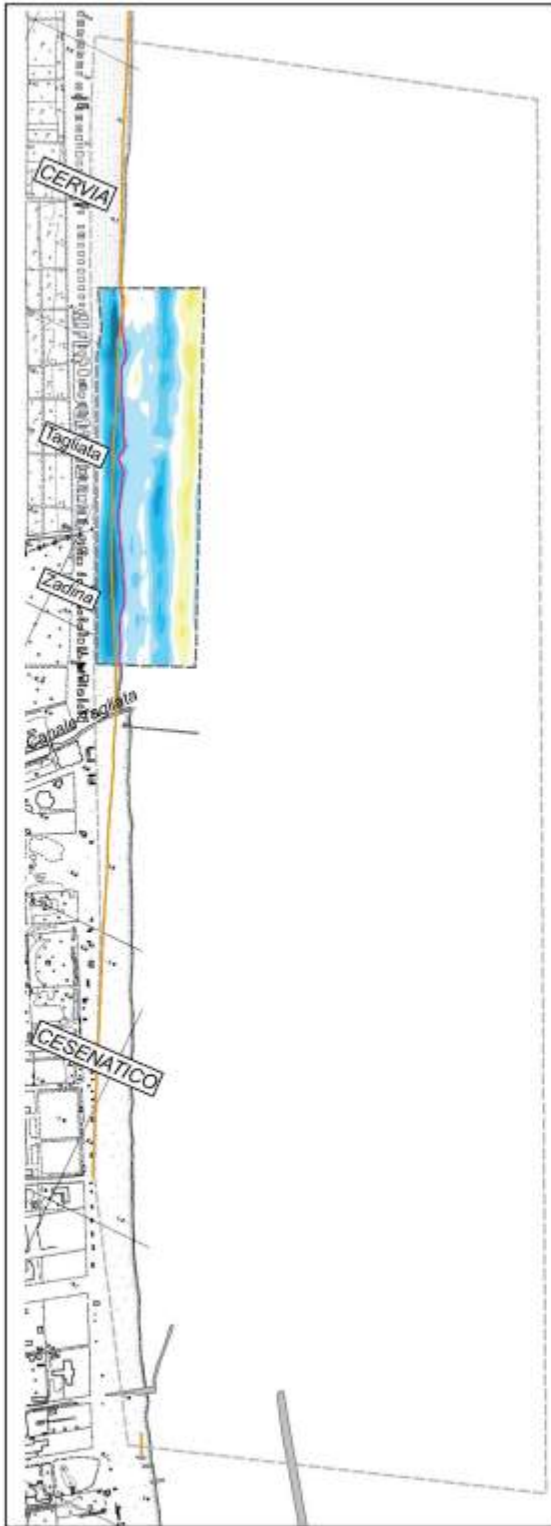


Figura 42 - Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).



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).

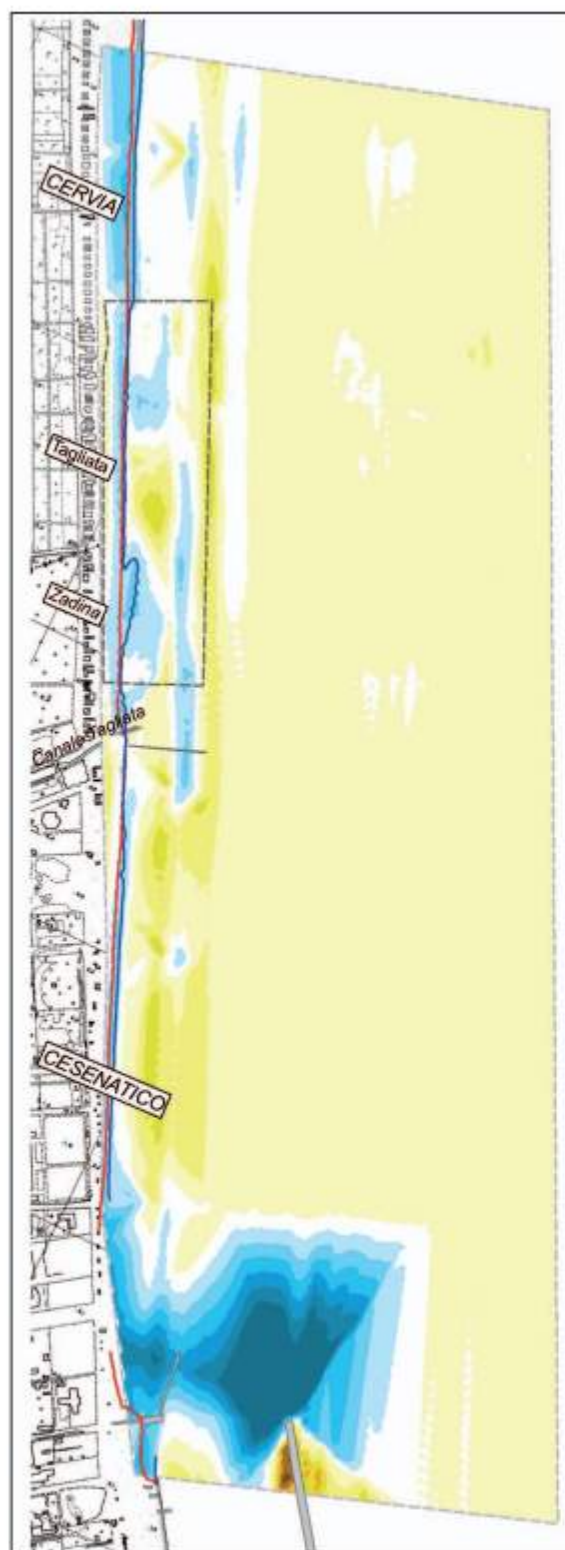


Figura 44 - Zadina: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).



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

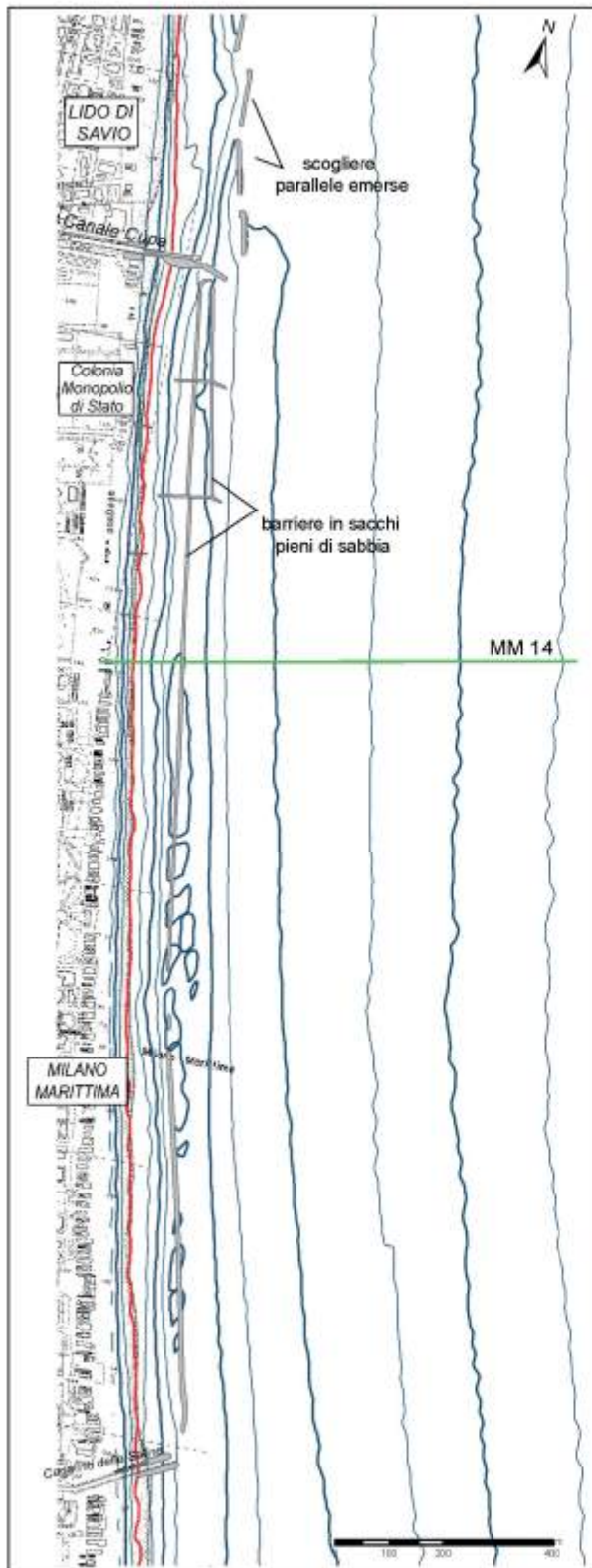


Figura 46 - Milano Marittima: carta batimetrica Febbraio 2003.

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-

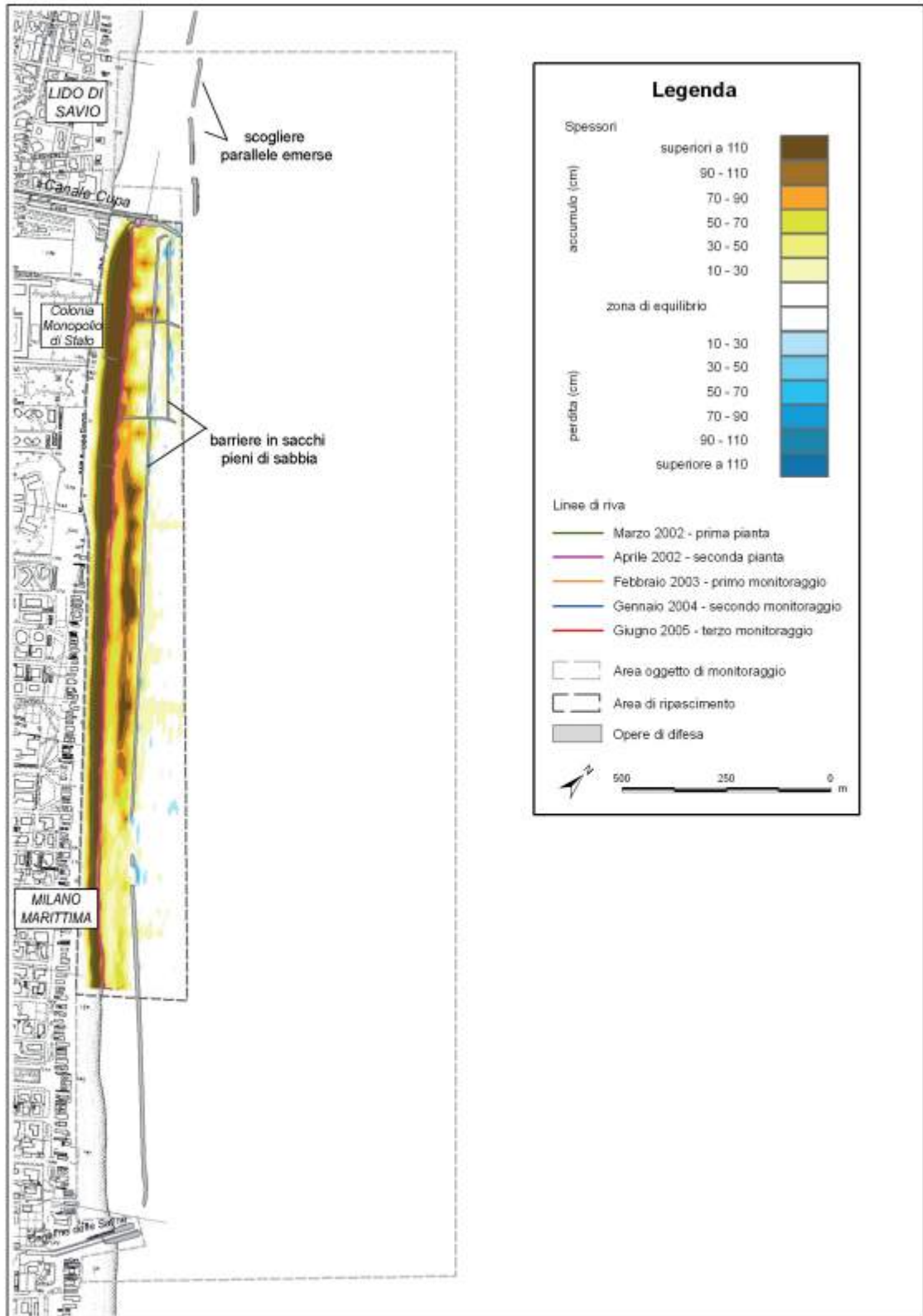


Figura 47 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Marzo 2002) e seconda pianta (Aprile 2002).

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

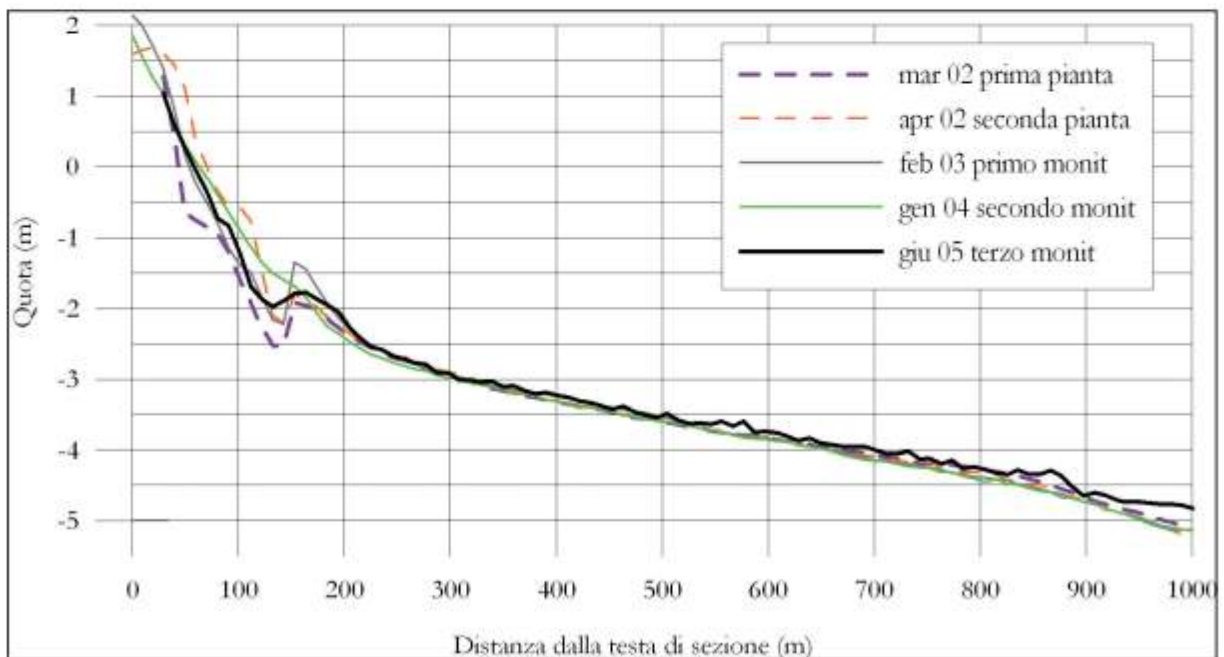


Figura 48 - Profilo MM14.

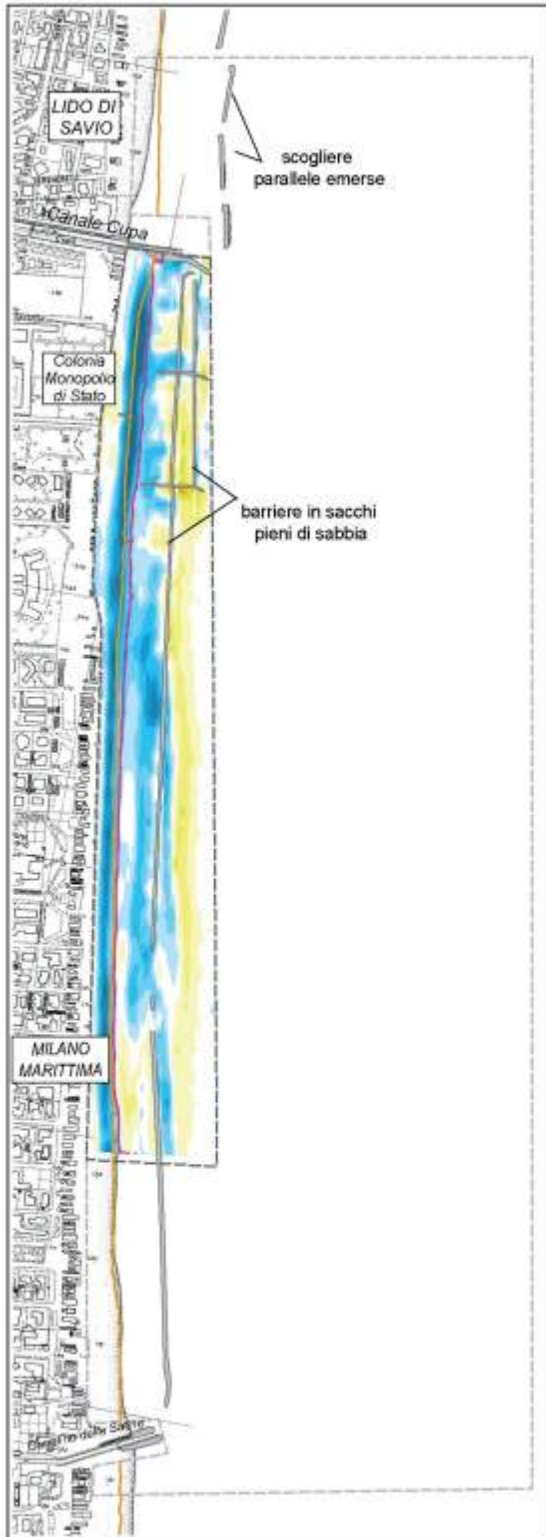


Figura 49 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003).

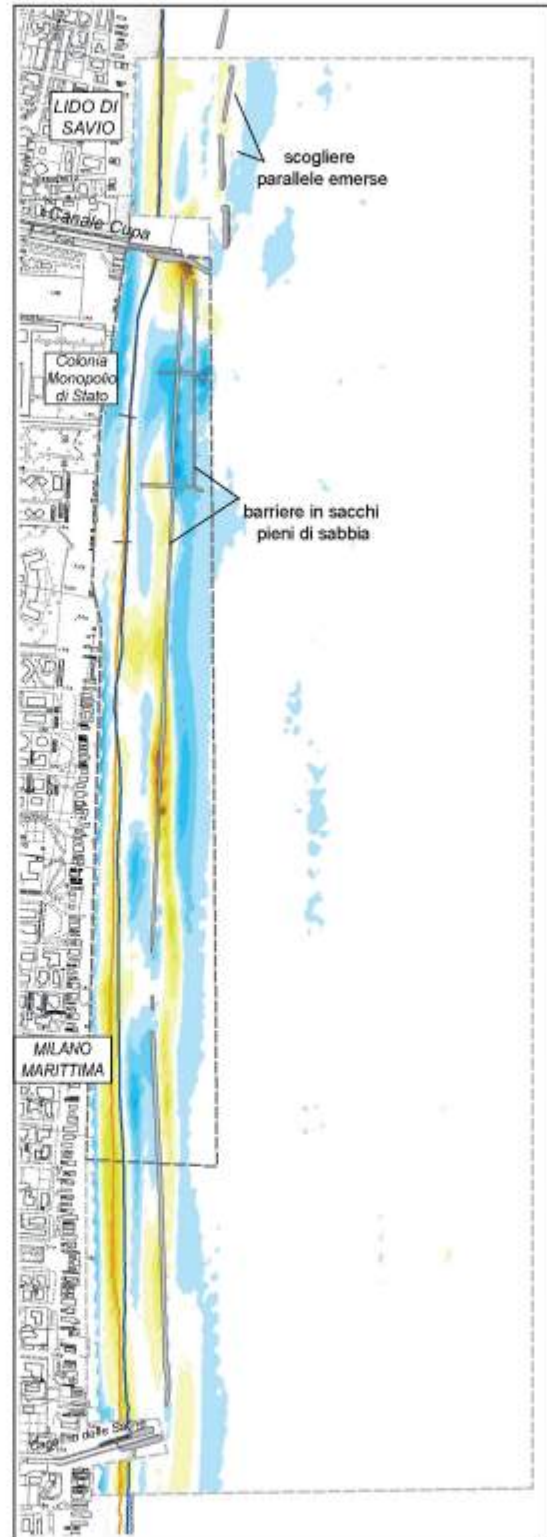


Figura 50 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

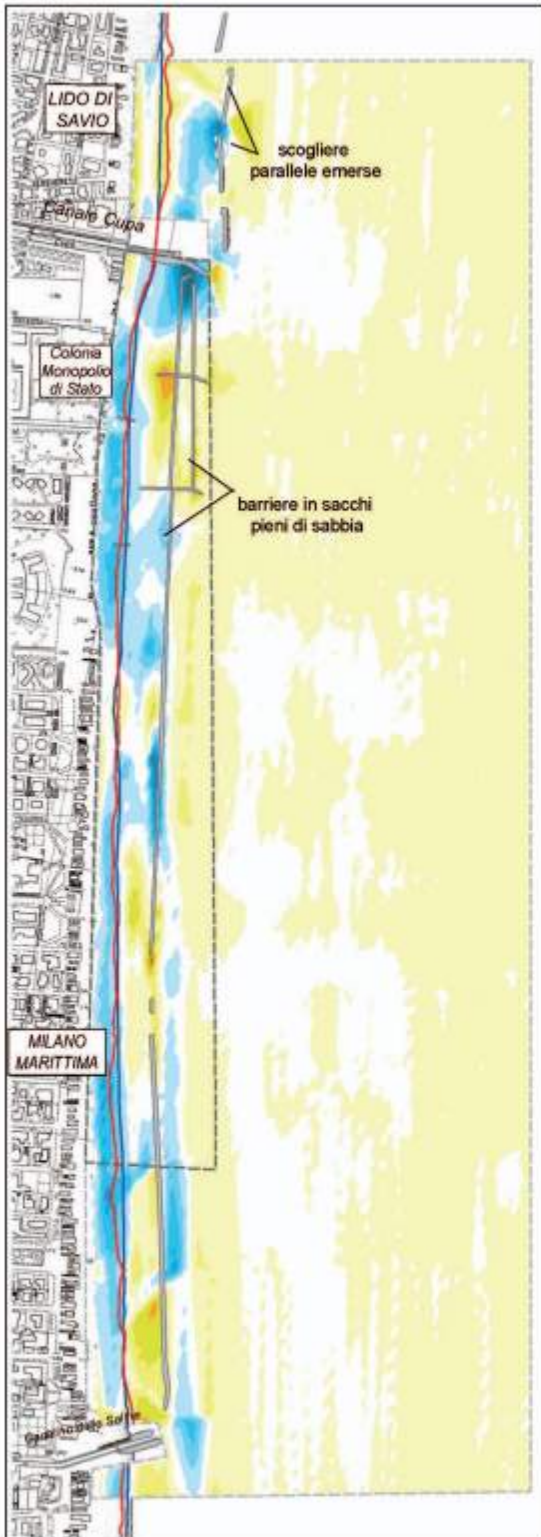


Figura 51 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

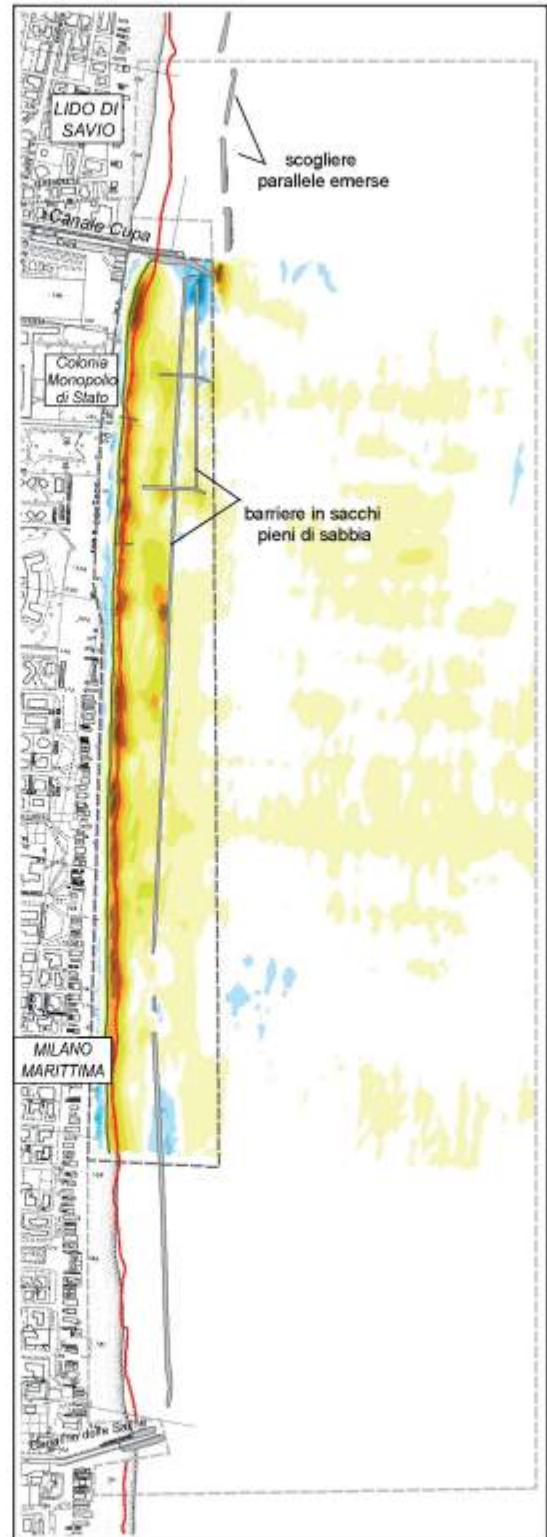


Figura 52 - Milano Marittima: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Marzo 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

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

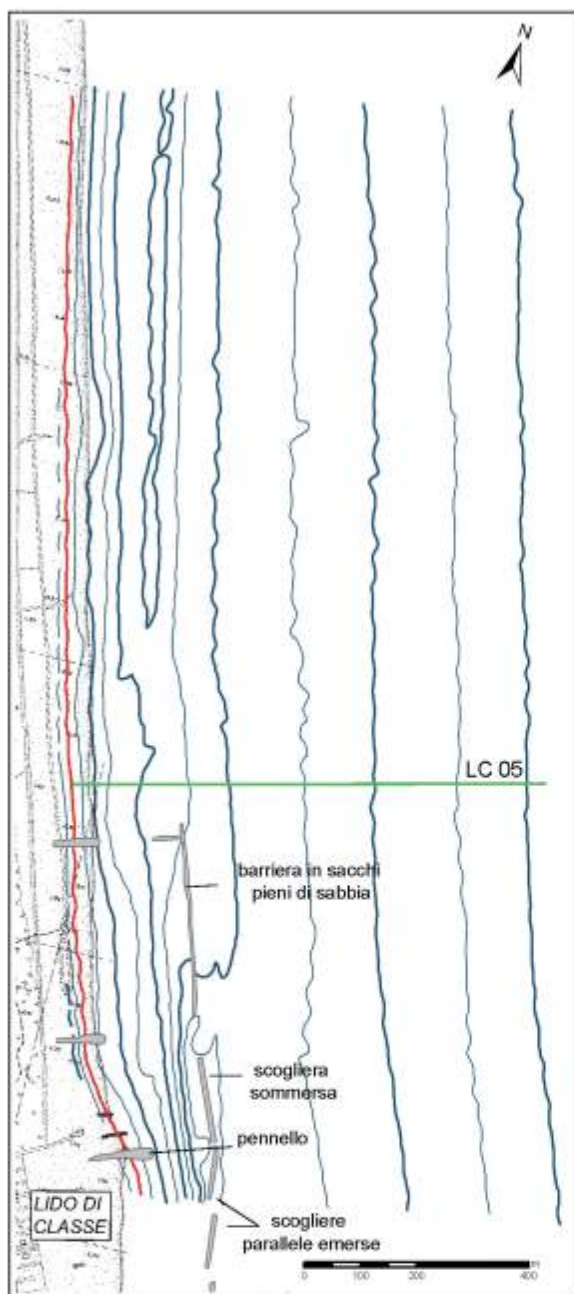


Figura 53 - Lido di Classe: carta batimetrica Febbraio 2003.

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 m^3 , se il limite lato mare è la batimetrica dei 2,5 m, e di 6.400 m^3 , 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 m^3 di sabbia ($63 \text{ m}^3/\text{m}$). 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 m^3 di sabbia, se il limite di calcolo lato mare è la batimetrica dei 2,5 m, e 68.000 m^3 se lo stesso limite è la batimetrica dei 5 m (Fig. 55).

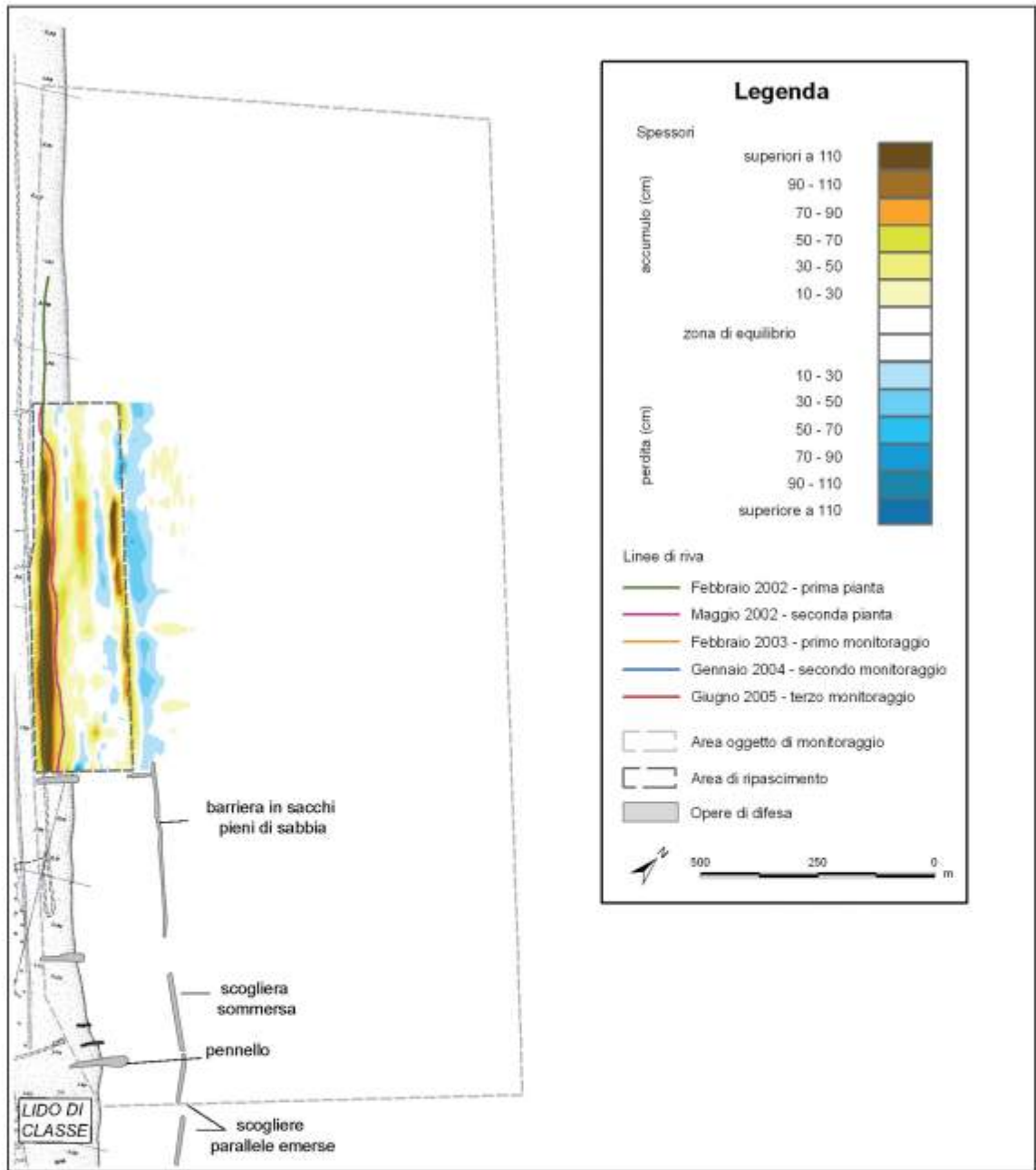


Figura 54 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Maggio 2002).

(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

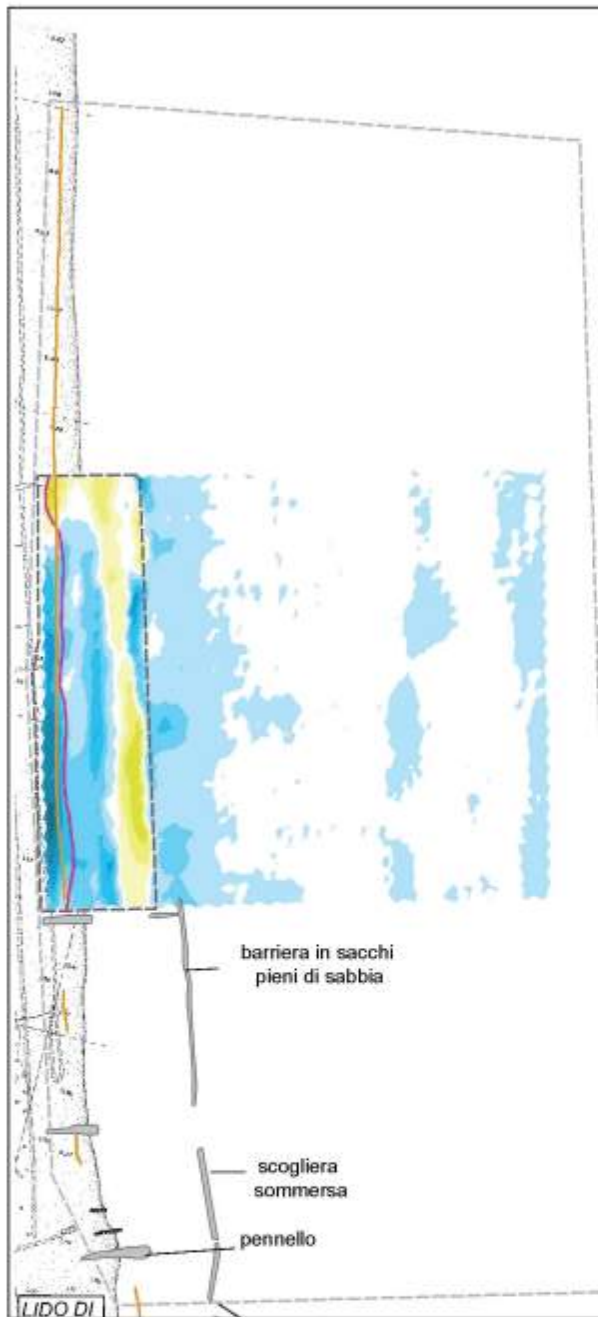


Figura 55 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e del primo di monitoraggio (Febbraio 2003).

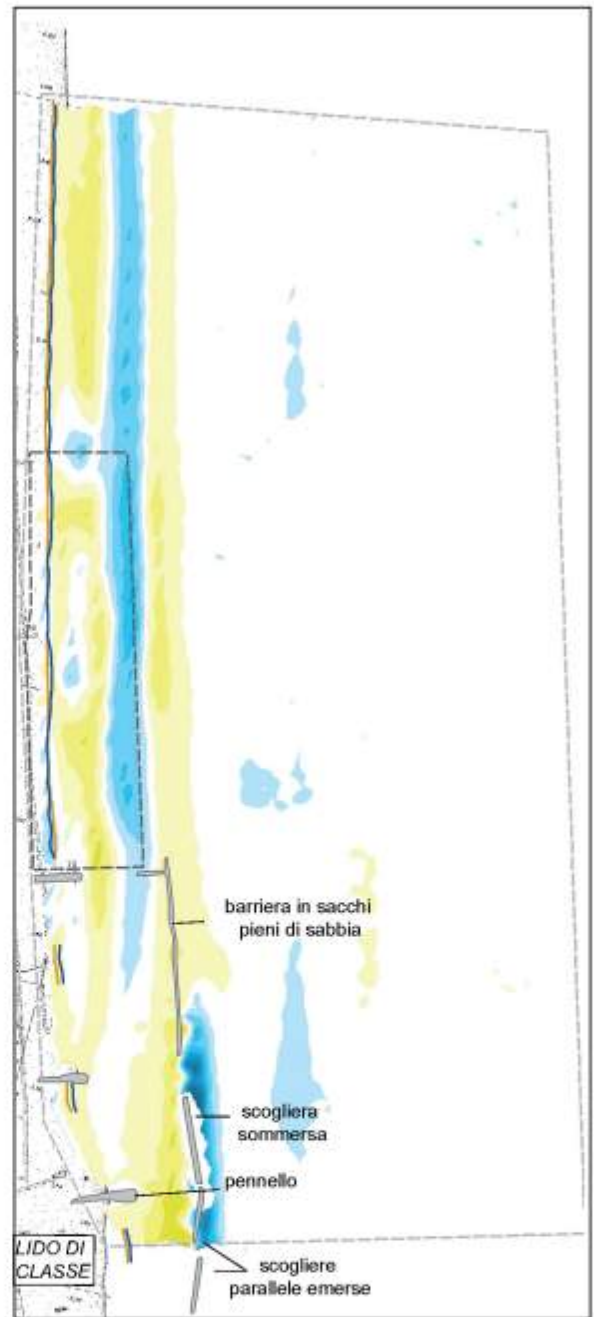


Figura 56 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Gennaio 2004).

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.

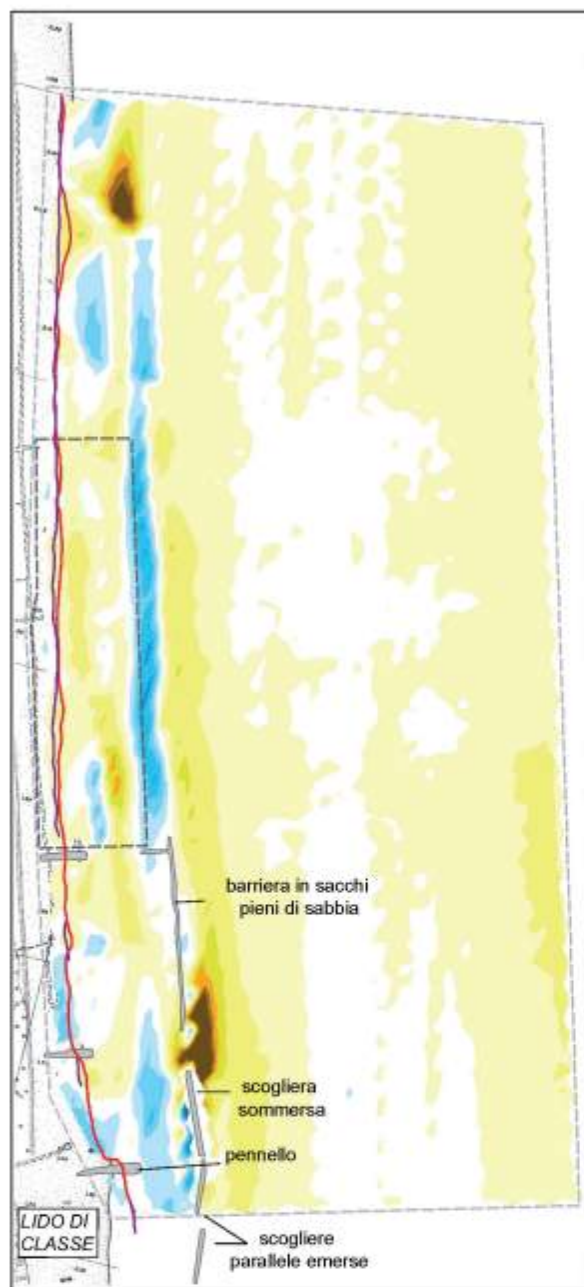


Figura 57 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Gennaio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

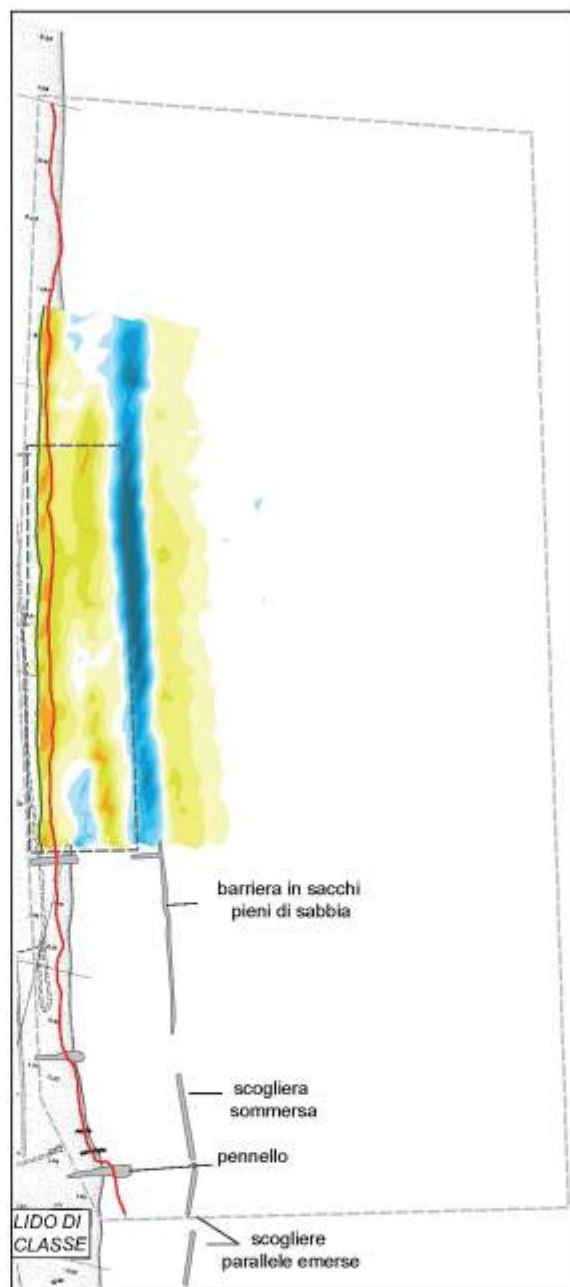


Figura 58 - Lido di Classe: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

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

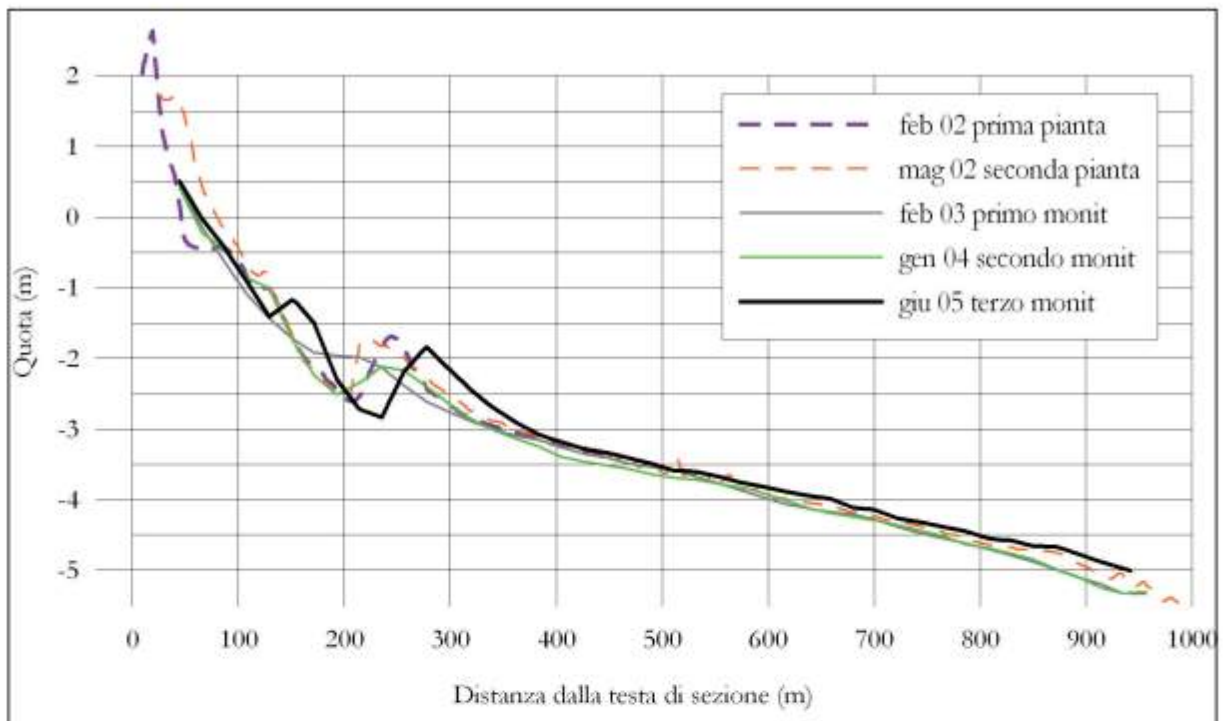


Figura 59 - Profilo LC05.

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*) (m ³)	Ripascim. (1* -2*) (m ³)	ΔV (1* -2*) (m ³)	Ripascim. (2* -3*) (m ³)	ΔV (2* -3*) (m ³)	Perdite (FL-3*) (m ³)	Perdite (FL-3*) (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.

Caratteristiche dei sedimenti e struttura dei popolamenti bentonici in aree costiere interessate da un intervento di ripascimento con sabbie relitte

Marco Abbiati^{1,2}, Francesco Colosio¹, Claudia Romagnoli^{1,3}, Laura Airoidi^{1,2}

¹ Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali di Ravenna
Università di Bologna, Italia

² Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale, Università di Bologna, Italia

³ Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna, Italia

Riassunto

Il ripascimento delle coste viene utilizzato sempre più frequentemente per contrastare i fenomeni erosivi del litorale. Questo studio utilizza i descrittori delle caratteristiche dei sedimenti (parametri granulometrici e contenuto in sostanza organica) e della struttura dei popolamenti bentonici (composizione specifica ed abbondanza) per valutare la qualità ambientale in tratti di costa soggetti a 3 diverse tipologie di interventi di difesa: 1) ripascimento (R); 2) ripascimento in combinazione con preesistenti barriere rigide di difesa costiera (RB); 3) nessun tipo di intervento di difesa (ND). Lo studio è stato condotto lungo circa 50 km di coste della regione Emilia Romagna (Nord Adriatico) dove sono stati individuati nove tratti di costa: tre per ogni tipologia di intervento. Dall'analisi sono emerse marcate differenze fra i tratti di costa in relazione al tipo di intervento di difesa costiera attuato. Due dei tre tratti di costa del tipo R presentavano popolamenti fortemente depauperati, mentre il terzo presentava caratteristiche simili alle coste ND. Sono state rilevate marcate differenze anche fra le coste R e RB, in queste ultime, infatti, si sono osservati elevati valori di abbondanza di individui e la presenza di specie che, nel Nord Adriatico, vengono comunemente rinvenute in ambienti poco esposti al moto ondoso (lagune e bacini costieri). Oltre il 50% delle differenze osservate nella struttura ed abbondanza dei popolamenti bentonici fra le tre tipologie di difesa indagate è spiegato dalle variazioni nella granulometria dei sedimenti. I risultati di questo studio evidenziano come il ripascimento delle spiagge può portare a modifiche dell'ambiente sedimentario e della fauna bentonica associata, tuttavia le alterazioni indotte da tale tipo di interventi dipendono fortemente dalle caratteristiche ambientali "sito specifiche", che influenzano le modalità e la velocità con cui le sabbie riportate vengono ridistribuite lungo la costa.

Parole chiave: impatto ambientale, ripascimento, erosione costiera, popolamenti bentonici, sedimenti, Nord Adriatico.

Abstract

Beach nourishment is often used to counteract coastal erosion. We tested whether sediment descriptors (grain size and organic content) and macrobenthic assemblages (species composition and abundance) differed among replicated shores along 50 km-long coastal tract of the Emilia Romagna region (North Adriatic Sea, Italy) exposed to nourishment only (R), nourishment combined to pre-existing hard structures (RB) or under no nourishment (ND). Major variations in the environmental quality of the tracts investigated were observed according to the type of coastal defence applied.

Sediments consisted mainly of fine, well or moderately well sorted, coarse skewed and very platycurtic, and had average contents of organic matter lower than 2%. Percent contents of organic matter and mud were significantly greater at RB than at both ND and R shores. Mean and median grain sizes at RB and R shores were also lower and higher, respectively, than at ND shores, but these differences were not detected as significant due to a large variability among shores. Overall, variability in sediment descriptors was particularly pronounced among N shores; RB shores were characterised by the highest percentage of mud and very fine sands (less than 90 μm), ND and one R shores by the largest quantity? Highest percentage? greatest amounts of fine sands (125 μm), while the other two R shores showed prevalence of fine-medium sands (180-350 μm). Two out of three R shores were nearly defaunated, while species composition and abundances of the third R shore was comparable to ND shores. Large differences have also been observed between R and RB shores, the latter showing higher abundances of organisms and the presence of species that in this region usually occur in sheltered nearshore habitats (lagoons and ponds). Despite the variability among shores, there were significant differences in the structure of benthic assemblages in relation to nourishment. Similarly to the trends observed for the sediments, assemblages at RB and ND shores were clearly separated, while assemblages at R shores showed variable responses: two distinctively grouped being virtually defaunated while one overlapped with ND and RB shores. Overall, assemblages at RB shores were correlated with the finest sediments (less than 90 μm) and the greatest contents of organic matter, assemblages at ND shores and one of R shores were correlated with fine sands (125 μm), while assemblages at the remaining R shores were correlated with the coarsest sediments (180 - 350 μm). More than 50% of the variability in the benthic assemblages among investigated shores was explained by variations in the grain-size structure of sediments. Results of the present study suggest that beach nourishments could have more serious effects on native habitats and assemblages than generally considered, potentially leading to protracted modifications of sedimentary environments and inhabiting fauna over large spatial scale. Yet, predicting the effects of beach nourishment may be difficult, because they appear to be related to local conditions. If nourishment is applied in combination to breakwaters it may have limited effects on nearshore habitats and assemblages because the sediment is relatively stable: however, the minor direct effect of nourishment is largely cancelled out by the direct impact of the breakwaters. If nourishment is applied alone, the magnitude and duration of the effects may vary depending on several local factors, including movement and redistribution of sediments in relation to bottom morphology and hydrodynamics.

Keywords: *environmental impact, beach nourishment, coastal erosion, benthic assemblages, sediments, North Adriatic Sea.*

Introduzione

L'erosione rientra fra i processi di dinamica costiera, essendo la manifestazione del deficit sedimentario di un tratto costiero. Il bilancio sedimentario alla costa è direttamente influenzato dall'intenso sfruttamento del territorio da parte dell'uomo; la crescente urbanizzazione delle aree costiere ed il controllo dei bacini fluviali nell'entroterra hanno trasformato l'erosione costiera in uno dei problemi antropogenici di maggiore rilevanza (French, 1997; Charlier, 2003). Inoltre, in relazione ai modelli climatici che prevedono un innalzamento del livello del mare, l'erosione costiera sta diventando un elemento di rischio ambientale a scala globale (Zhang et al., 2004). In Europa, attualmente l'erosione rappresenta una delle maggiori minacce alle risorse naturali ed economiche delle aree costiere (Airolti e Beck, 2007) ed ha portato una crescente necessità di misure di protezione efficaci e sostenibili.

In passato gli interventi per contrastare i fenomeni di erosione costiera si basavano sul tentativo di stabilizzare la linea di riva mediante la costruzione di strutture rigide, come barriere frangiflutti, pennelli, muri costieri, ecc. Queste strutture alterano profondamente le dinamiche costiere e la composizione dei popolamenti (Davis et al., 1982; Barros et al., 2001; Airolti et al., 2005a; Martin et al., 2005). Inoltre, in molti casi aggravano o traslano il problema a tratti costieri adiacenti piuttosto che risolverlo (French, 1997).

In anni recenti, la maggiore sensibilità verso la gestione delle coste e la necessità di attuare piani di sviluppo meno invasivi e con un minore impatto ambientale hanno stimolato lo sviluppo di un approccio "soft" alla difesa costiera (Charlier, 2003), la cui più comune tipologia di intervento consiste nell'alimentazione artificiale (ripascimento), spesso realizzato in combinazione con strutture rigide di difesa per favorire la stabilizzazione dei sedimenti sversati.

La realizzazione di ripascimenti periodici viene attualmente considerata una tecnica meno invasiva verso

l'ambiente ed idonea per affrontare sia le emergenze a breve termine sia la protezione a lungo termine della costa (Jones e Mangun, 2001; Hamm et al., 2002). Bisogna, tuttavia, ricordare che l'incremento nell'apporto di sedimenti dovuto alle attività antropiche rientra fra le maggiori minacce ambientali per le aree costiere (GESAMP, 1994), in quanto può provocare alterazioni dei popolamenti bentonici (di fondo roccioso e sedimentario) e della colonna d'acqua (Ellis et al., 2000; Airoidi, 2003; Thrush et al., 2003; Connell, 2005; Gonzalez-Correa et al., 2009). Per contrastare l'erosione e stabilizzare le coste vengono movimentati ingenti quantitativi di sedimento (10^5 - 10^6 m³), immessi a tassi che superano enormemente la naturale variabilità nell'apporto di sedimenti degli ambienti costieri (Miller et al., 2002) e possono essere considerati come eventi di disturbo estremi. Tali interventi alterano l'ambiente sedimentario ed i popolamenti bentonici modificandone la composizione, l'abbondanza e la dinamica, spesso con effetti prolungati e/o persistenti nel tempo e nello spazio (Norkko et al., 2002; Thrush et al., 2003; Lohrer et al., 2006). Gli interventi di ripascimento possono pertanto essere visti come esperimenti su grande scala e, se adeguatamente studiati (situazione verificatasi solo in rari casi, vedi Nelson, 1993; Rakocinski et al., 1996; Peterson et al., 2000; Guidetti, 2001; Nordstrom, 2005; Peterson e Bishop, 2005), possono permettere un'analisi quantitativa delle alterazioni indotte sui sistemi costieri, utile al fine di predire gli effetti del ripascimento sull'ambiente e sui popolamenti nativi in relazione alle scale spazio-temporali rilevanti dal punto di vista ecologico. Nella primavera del 2002 la Regione Emilia Romagna ha realizzato un intervento di ripascimento con sabbie relitte lungo diversi tratti di costa compresi in una fascia di circa 50 Km del litorale regionale (Preti, 2002; 2009). Con questo studio abbiamo voluto analizzare, ad un anno di distanza dall'intervento di ripascimento, i sedimenti di spiaggia e i popolamenti bentonici ad essi associati al fine di saggiare l'ipotesi che gli effetti indotti su tali variabili differissero in funzione delle tre condizioni di protezione costiera considerate: solo ripascimento (R), ripascimento con barriere frangiflutti preesistenti (RB) e tratti di costa senza interventi di difesa costiera (ND).

Materiali e metodi

Il ripascimento condotto nella primavera del 2002 ha visto lo sversamento totale di 800.000 m³ di sabbie sottomarine in 8 tratti di coste dell'Emilia Romagna. Il sedimento, prelevato da giacimenti di sabbia relitta ubicati a circa 40 m di profondità in un'area offshore antistante la costa in oggetto (Simonini et al., 2005), presentava una distribuzione granulometrica unimodale (con classe modale fra i 125 ed i 250 μ m, corrispondente all'intervallo delle sabbie fini), un basso contenuto di sedimenti fini (argilla e limo <6%) e di sostanza organica (0,3 - 9,7%). La sabbia è stata distribuita sopra il livello di marea ed il progetto prevedeva una sua persistenza sulla costa per 5-10 anni. L'entità del ripascimento in ognuno degli 8 siti è stata di circa 100 m³ di sabbia per metro lineare di costa (Preti, 2002; 2009).

Tutti i tratti di costa soggetti al ripascimento erano interessati da forti fenomeni erosivi e negli anni precedenti erano stati oggetto di piccoli interventi di ripascimento. Al momento del ripascimento del 2002, 3 tratti di costa non erano protetti da nessun tipo di struttura rigida, 2 tratti erano protetti da pennelli e 3 tratti erano protetti da barriere frangiflutti emerse preesistenti, poste a circa 100-150 metri dalla linea di costa.

Lo studio è stato realizzato nel Maggio 2003, circa un anno dopo l'intervento di ripascimento. Sono stati individuati 9 tratti di costa (d'ora in poi definiti Coste) aventi ognuno un'estensione di circa 800 m (Fig. 1). Dei 9 tratti di costa 3 sono stati soggetti a solo ripascimento (R: Milano Marittima, Zadina, Riccione), 3 a ripascimento abbinato a barriere frangiflutti preesistenti (RB: Gatteo a Mare, San Mauro Pascoli e Igea Marina) e 3 erano caratterizzati dall'assenza di interventi di difesa costiera (ND: Cervia, Rimini, Rivazzurra). Le possibilità di interspersione delle Coste appartenenti alle tre tipologie di Protezione erano limitate dalla localizzazione dell'intervento di ripascimento.

In ogni Costa i campioni sono stati prelevati nella zona subtidale superficiale (a circa -1 metro rispetto al livello medio di marea), al margine progettuale verso mare dell'area interessata da ripascimento. Per ogni Costa, in 5 punti selezionati a random, sono stati raccolti 15 campioni organizzati in triplette, uno per la descrizione della granulometria del sedimento, uno per la quantificazione del contenuto di materia organica e uno per la descrizione della struttura dei popolamenti macro-bentonici.

I sedimenti per l'analisi granulometrica sono stati raccolti con carote di 10 cm di diametro nei primi 10 cm di profondità. Dopo essere stati lavati con acqua deionizzata ed asciugati in stufa ad 80°C per 24 h, i

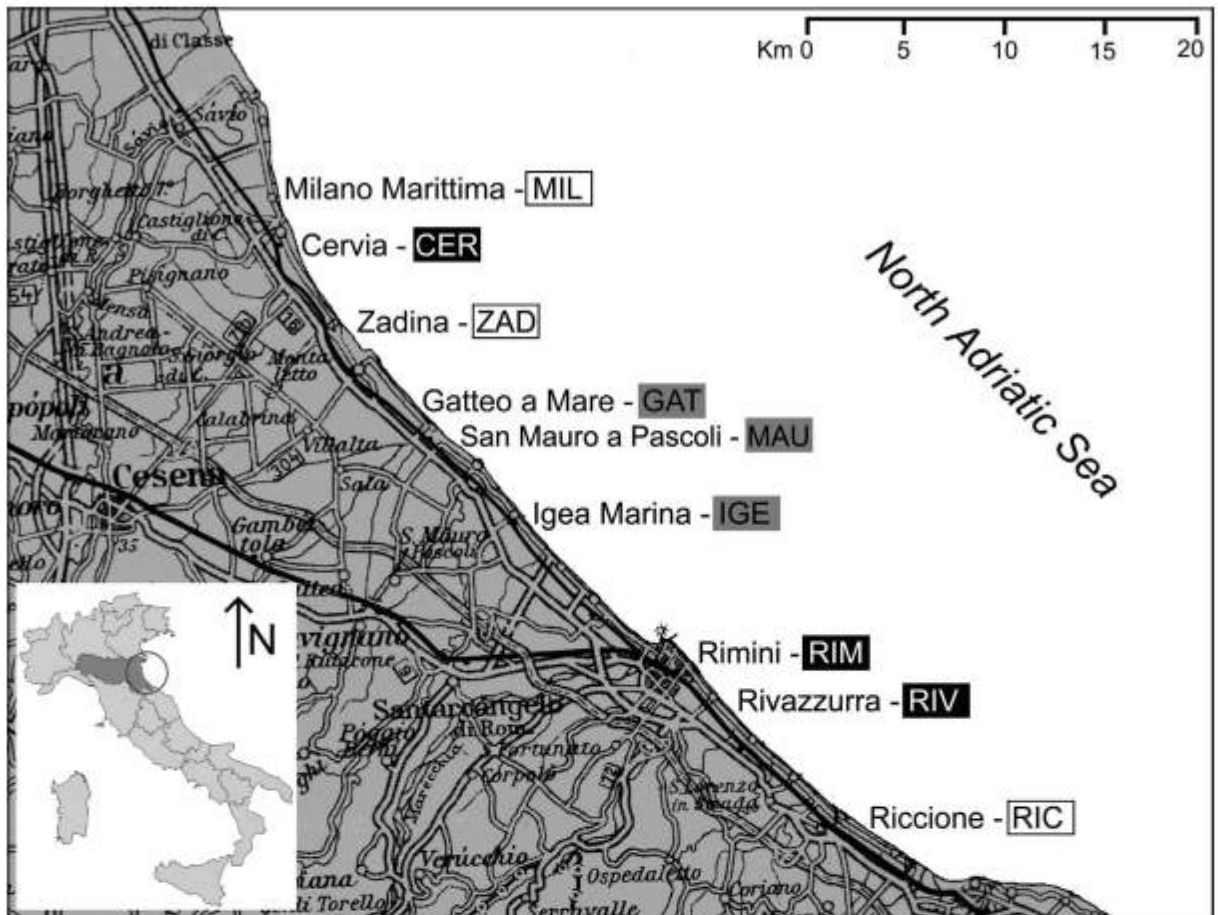


Figura 1 - Mappa dell'area di studio in cui sono evidenziate le 9 Coste oggetto di questo studio. I colori indicano le diverse tipologie di Protezione delle Coste: bianco = solo ripascimento (R), grigio = ripascimento e barriere frangiflutti (RB) e nero = assenza di interventi di difesa costiera (ND).

campioni sono stati sottoposti a setacciatura a secco con vibrazione, usando una risoluzione della maglia dei setacci di 0.5 phi. Per ogni campione si sono così ottenuti i pesi percentuale di ghiaia, sabbia e pelite (limo+argilla) ed i parametri statistici delle distribuzioni granulometriche (Tab. 1), utilizzando il metodo dei momenti e il metodo grafico (McManus, 1988).

I campioni per l'analisi del contenuto di materia organica sono stati raccolti utilizzando una carota di 3 cm di diametro sino ad una profondità di 5 cm, conservati in ghiaccio sul campo e congelati a -20°C in laboratorio. Il contenuto percentuale di materia organica (Tab. 1) è stato calcolato come perdita per incenerimento in muffola (a 500°C per 6h) dei campioni essiccati in stufa (80°C per 24 h).

La macrofauna è stata campionata con una benna Van Veen (area 0.06 m²). Ciascun campione è stato setacciato in campo con un setaccio di maglia 500 µm. Il materiale trattenuto è stato conservato in formalina al 10 % in volume e portato in laboratorio per l'analisi. Tutti gli organismi sono stati identificati al più basso livello tassonomico possibile (Tab. 4).

I dati raccolti per ogni Costa relativi ai descrittori sedimentari (Tab. 1), ed ai popolamenti (numero di specie e di individui, Tab. 4) sono stati analizzati mediante analisi della varianza a due vie (ANOVA) usando il seguente modello generale: Protezione (fattore fisso con 3 livelli: R, RB, ND) e Costa (fattore random con 3 livelli), *nested* in Protezione, per ogni Costa sono state prelevate 5 repliche. Lo stesso modello è stato utilizzato nelle analisi multivariate per saggiare le differenze nella granulometria del sedimento e nella composizione e abbondanza delle specie bentoniche in relazione alla tipologia di Protezione ed alle Coste.

Risultati

Sedimenti

In tutte le Coste i sedimenti sono costituiti da circa il 95 % di sabbia fine (su una percentuale totale di sabbia variabile tra il 96 ed il 99% circa), con un contenuto medio di sostanza organica inferiore al 2% (Tab. 1). All'interno del gruppo di Coste R, inoltre, la variabilità dei descrittori del sedimento appare più marcata. I campioni Mil e Ric (nei quali già visivamente era possibile constatare la presenza delle sabbie relitte per la ricchezza di detrito conchigliare e per il colore grigio del sedimento) mostrano una prevalenza di sabbia medio-fine (180-350 μm) e, quindi, valori di media e mediana più elevati (Tab. 1). Tali caratteristiche non sono state rilevate nella Costa Zad, i cui sedimenti sono paragonabili a quelli delle Coste ND (in particolare a Cer), anche sulla base dei parametri granulometrici (prevalenza di sabbia fine >125 μm , valori di media e mediana simili, coefficiente di cernita indice di elevata classazione, asimmetria praticamente assente, Tab. 1).

Tabella 1 - Descrittori dei sedimenti (% di ghiaia, sabbia e pelite; classe media; classe mediana; coefficienti di cernita; asimmetria e appuntimento; % di Sostanza Organica) per ogni Costa e per ogni tipologia di Protezione (abbreviazioni come in Fig. 1). I dati riportati sono le medie con errore standard (n = 15 per ogni tipologia di Protezione, n = 5 per ogni Costa).

	% Ghiaia	% Sabbia	% Pelite	Media (μm)	Mediana (μm)	Cernita	Asimmetria	Appuntim.	% SO
R	1.50 (0.48)	98.24 (0.46)	0.26 (0.09)	174.43 (0.06)	171.88 (0.05)	0.49 (0.07)	-1.36 (0.77)	0.48 (0.12)	1.08 (0.07)
<i>Mil</i>	2.10 (0.83)	97.78 (0.82)	0.12 (0.03)	195.33 (0.08)	186.98 (0.05)	0.61 (0.12)	-1.75 (1.07)	0.70 (0.23)	0.86 (0.05)
<i>Zad</i>	0.50 (0.13)	98.90 (0.28)	0.60 (0.19)	146.17 (0.02)	147.04 (0.01)	0.29 (0.02)	0.02 (0.04)	0.16 (0.02)	1.38 (0.10)
<i>Ric</i>	1.90 (1.15)	98.03 (1.16)	0.07 (0.01)	185.89 (0.03)	184.69 (0.02)	0.56 (0.13)	-2.34 (2.08)	0.58 (0.23)	0.99 (0.06)
RB	0.96 (0.26)	96.90 (0.57)	2.15 (0.54)	138.08 (0.04)	141.39 (0.03)	0.44 (0.04)	-0.25 (0.30)	0.34 (0.05)	1.89 (0.05)
<i>Gat</i>	1.00 (0.66)	95.90 (1.00)	3.10 (1.19)	130.77 (0.06)	136.18 (0.05)	0.51 (0.07)	-0.50 (0.91)	0.41 (0.07)	1.88 (0.06)
<i>Mau</i>	0.62 (0.22)	97.80 (0.40)	1.58 (0.39)	143.75 (0.08)	146.13 (0.06)	0.43 (0.02)	-0.03 (0.19)	0.32 (0.03)	1.99 (0.13)
<i>Ige</i>	1.25 (0.39)	96.99 (1.33)	1.76 (1.08)	140.05 (0.05)	142.05 (0.04)	0.38 (0.09)	-0.23 (0.28)	0.30 (0.15)	1.81 (0.05)
ND	0.49 (0.11)	99.23 (0.13)	0.28 (0.04)	158.18 (0.02)	154.85 (0.02)	0.30 (0.02)	-0.17 (0.07)	0.17 (0.02)	1.25 (0.01)
<i>Cer</i>	0.35 (0.09)	99.28 (0.05)	0.37 (0.08)	147.53 (0.01)	147.53 (0.01)	0.24 (0.01)	0.03 (0.04)	0.11 (0.01)	1.27 (0.01)
<i>Rim</i>	0.35 (0.16)	99.49 (0.15)	0.15 (0.03)	162.49 (0.03)	158.27 (0.03)	0.31 (0.02)	-0.22 (0.05)	0.18 (0.04)	1.22 (0.02)
<i>Riv</i>	0.77 (0.26)	98.92 (0.34)	0.31 (0.09)	165.09 (0.02)	159.01 (0.01)	0.36 (0.03)	-0.33 (0.18)	0.23 (0.05)	1.26 (0.02)

La presenza delle sabbie relitte non era evidente nei campioni delle spiagge RB caratterizzate dal punto di vista granulometrico, oltre che dalla già citata maggior abbondanza di pelite, dalla presenza di sabbia molto fine (<90 μm). Dall'analisi della varianza risulta evidente la forte variabilità dei valori di media e mediana dei sedimenti fra le Coste (Tab. 2). Inoltre, i contenuti percentuali di sostanza organica e di pelite risultano significativamente maggiori nelle Coste RB rispetto alle Coste ND e R (Tab. 2).

Tabella 2 - Risultati dell'ANOVA per: (a) descrittori del sedimento (parametri granulometrici, % pelite e % di Sostanza Organica) e (b) numero totale di specie e di individui. I fattori sono: Protezione (fisso, R vs RB vs ND), and Costa (random, 3 livelli, nested in Protezione). I valori significativi di p (<0.05) sono evidenziati in grassetto.

		Protezione		Costa		Cochran	SNK per Protezione
		F _{2,6}	P	F _{3,6}	P		
a	Media	4.11	0.0750	9.01	0.0000	ns	
	Mediana	4.03	0.0778	11.60	0.0000	ns	
	Cernita	2.26	0.1857	2.46	0.0428	*	
	Asimmetria	2.46	0.1662	0.75	0.6160	**	
	Appuntimento	2.49	0.1634	1.91	0.1053	*	
	% Pelite	13.36	0.0062	0.85	0.5402	**	R = ND < RB
	% SO	16.73	0.0035	7.61	0.0000	ns	R = ND < RB
b	N° Specie	9.80	0.0129	5.33	0.0005	ns	R = ND < RB
	N° individui	11.58	0.0087	4.41	0.0019	ns	R = ND < RB

Figura 2 - Plot dei primi due assi delle coordinate principali (PCO, metric multi-dimensional scaling) che evidenzia l'ordinamento dei campioni di sedimento per ogni Costa in relazione al tipo di Protezione (abbreviazioni come in Fig. 1). Le analisi sono basate sulle distanze Euclidee dei dati non trasformati relativi al contenuto in % delle 13 classi granulometriche individuate. I vettori indicano le classi in μm (con un contenuto superiore al 5% in più di 5 campioni) che meglio si correlano con l'ordinamento dei campioni di sedimento (correlazione con gli assi dell'ordinamento $r > |0.5|$). La direzione dei vettori indica la correlazione con i diversi gruppi di punti campione e la lunghezza è proporzionale al valore della correlazione.

Con la sola eccezione di Zadina, l'analisi multivariata mette in evidenza come le Coste soggette a diverse tipologie di Protezione si distinguano nettamente in base all'insieme dei parametri granulometrici considerati (Fig. 2).

Si nota, inoltre, una maggiore variabilità fra le Coste RB e ND rispetto alle Coste R (siti Mil e Ric). I risultati della PERMANOVA ci dicono che i parametri granulometrici differiscono in modo significativo fra le 9 Coste analizzate (Tab. 3) mentre non si osservavano differenze significative in relazione al tipo di Protezione.

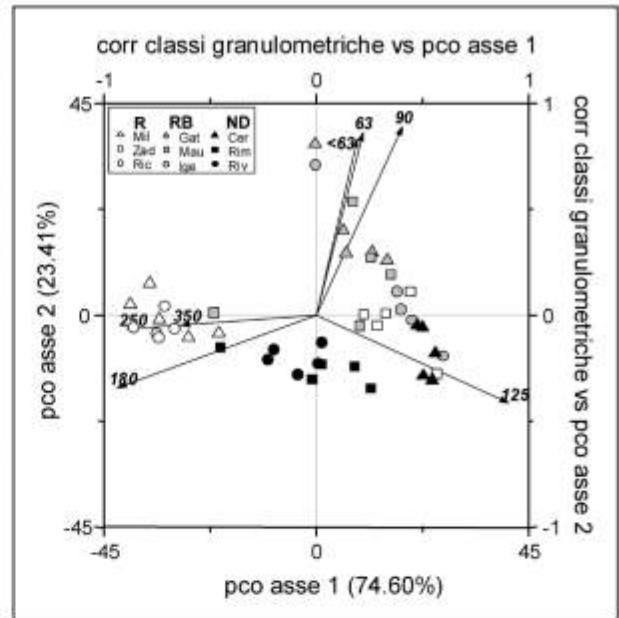


Tabella 3 - (a) Risultati della PERMANOVA per la granulometria dei sedimenti (Distanze Euclidee con dati non trasformati) e dei popolamenti macrobentonici (dissimilarità di Bray-Curtis con trasformazione dei dati in doppia radice quadrata). Sono indicati i risultati del confronto a coppie a posteriori tramite permutazioni e le dissimilarità medie all'interno dei gruppi relative all'effetto della Protezione sulla macrofauna. I valori significativi di P (<0.05) sono evidenziati in grassetto (gl - gradi di libertà, MS - mean square, F - valore del rapporto F).

	Sedimenti				Macrofauna			Confronto a coppie per l'effetto della protezione sulla macrofauna				
	gl	MS	F	P	MS	F	P		t	P	Dissim. Media	
Protezione = Nr	2	4515	2.42	0.12	11406	3.19	< 0.01	R vs RB	1.81	0.07	R	57.96
Costa (Nr)	6	1865	12.72	< 0.01	3576	4.20	< 0.01	R vs ND	1.25	0.24	RB	17.20
Residuo	36	147			851			RB vs ND	3.14	< 0.01	ND	24.76

Popolamenti bentonici

Nel complesso sono stati identificati 31 taxa, di cui 2 gasteropodi, 9 bivalvi, 15 policheti e 5 crostacei (Tab. 4). L'analisi della varianza evidenzia come il numero medio di specie e di individui sia significativamente maggiore nelle Coste RB rispetto alle Coste ND e R (Fig. 3, Tab. 2). Tra le Coste R, Mil e Ric presentano dei popolamenti estremamente poveri e solamente Zad presenta una ricchezza e abbondanza in specie paragonabile alle spiagge ND (Fig. 3).

Nonostante la variabilità intrinseca tra le Coste, la PERMANOVA evidenzia differenze significative nella struttura del popolamento in funzione del tipo di protezione (Tab. 3). Analogamente a quanto osservato per i sedimenti, l'analisi multivariata evidenzia che i popolamenti delle Coste RB differiscono significativamente da quelli delle Coste ND (Tab. 4), mentre le risposte nell'ambito delle Coste R sono differenziate: Mil e Ric costituiscono un gruppo distinto, essendo estremamente depauperate, mentre Zad si sovrappone alle spiagge ND e RB (Fig. 4). L'analisi multivariata mette in evidenza anche che, nel suo complesso, il popolamento nelle Coste RB, benchè più ricco in specie sia meno eterogeneo rispetto a quello delle Coste ND e R (Tab. 4). Le Coste RB sono caratterizzate dall'abbondanza di pochi taxa tipici del sedimento fine con alto carico di sostanza organica, come *Ampelisca diadema* e *Capitomastus minimus*,

Tabella 4 - Elenco delle specie rinvenute nei campioni di macrobenthos con indicazioni delle abbreviazioni utilizzate nel testo e nelle figure.

Taxon	Specie	Abbreviazione
Gasteropodi	<i>Cyclope neritea</i>	C.ner
	<i>Nassarius nitidus</i>	
Bivalvi	<i>Scapharca inaequivalvis</i>	
	<i>Cerastoderma glaucum</i>	
	<i>Macra stultorum</i>	
	<i>Tellina tenuis</i>	T.ten
	<i>Donax semistriatus</i>	D.sem
	<i>Chamelea gallina</i>	C.gal
	<i>Tapes philippinarum</i>	
	<i>Solen marginatus</i>	
Crostei	<i>Lentidium mediterraneum</i>	L.med
	<i>Ampelisca diadema</i>	A.dia
	<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>	B.gui
Policheti	<i>Microprotopus maculatus</i>	
	Iphinoe sp. 1	
	Iphinoe sp. 2	
	Orbinidae sp.1	O.sp 1
	Orbinidae sp.2	
	<i>Capitella capitata</i>	
	<i>Capitomastus minimus</i>	C.min
	<i>Heteromastus filiformis</i>	
	<i>Glycera tridactyla</i>	G.tri
	<i>Glycera rouxii</i>	
	<i>Nephtys</i> sp.1	
	<i>Onuphis eremita</i>	
	<i>Scolecopsis squamata</i>	
	<i>Spio decoratus</i>	S.dec
	<i>Prionospio caspersi</i>	
	<i>Owenia fusiformis</i>	
	<i>Sigalion mathildae</i>	
	Polycheata sp.1	

specie osservate quasi esclusivamente nelle Coste RB, e dalla presenza di *Spio decoratus* e *Prionospio caspersi*, occasionalmente osservato nelle Coste ND e R (Fig. 6). *Lentidium mediterraneum*, *Tellina tenuis*, e *Chamelea gallina*, sono bivalvi comuni nella zona superficiale di questo tratto di costa ed il gasteropode *Cyclope neritea* è più abbondante nelle Coste RB che in quelle ND (Fig. 6). Al contrario, *Glycera tridactyla* e *Bathyporeia guilliamsoniana* caratterizzano le Coste ND, e sono meno abbondanti nelle Coste RB e R (Fig. 6).

La granulometria del sedimento e il contenuto di materia organica spiegano insieme il 56.01% della variabilità del popolamento bentonico (Tab. 5b). Analizzando individualmente i due set di variabili (Tab. 5a), si osserva come la granulometria del sedimento spiega il 53.54% della variabilità dei popolamenti, mentre il contenuto di sostanza organica spiega il 23,34% della variabilità totale. Analizzando sequenzialmente i due set (Tab. 5b), una volta considerata la granulometria del sedimento, il contenuto in sostanza organica non spiega alcuna variabilità aggiuntiva relativa alla struttura dei popolamenti, suggerendo che la presenza di sostanza organica sia fortemente correlata con la granulometria del sedimento (relativa abbondanza di frazioni fini, <63 μm).

Complessivamente (Fig. 5) il popolamento presente nelle Coste RB è correlato con i sedimenti più fini (inferiori a 90 μm) e con un maggiore contenuto di sostanza organica, i

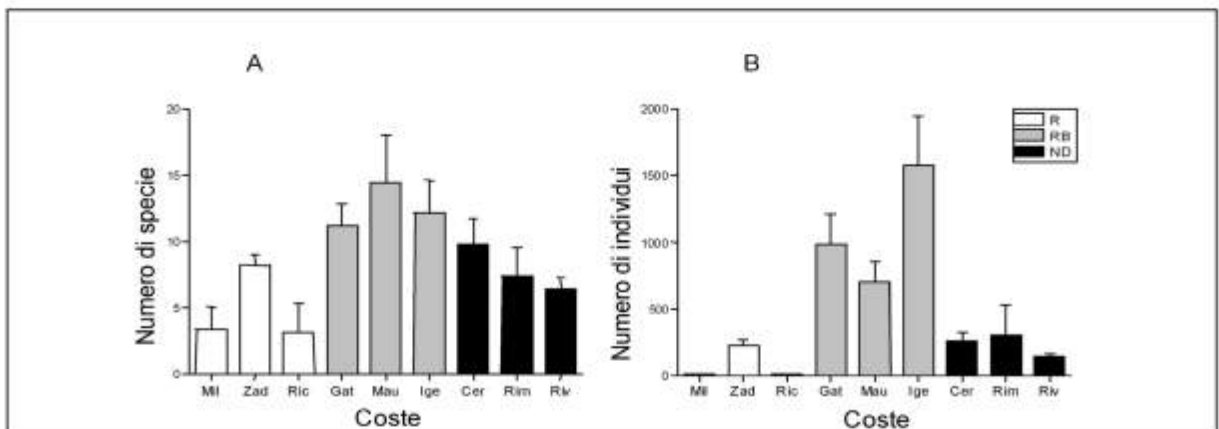


Figura 3 - Numero di specie (A) ed individui (B) per campione (0.06 m²) per ogni Costa in relazione al tipo di Protezione (abbreviazioni come in Fig.1). I dati sono le medie (+ 1 ES) sulle 5 repliche.

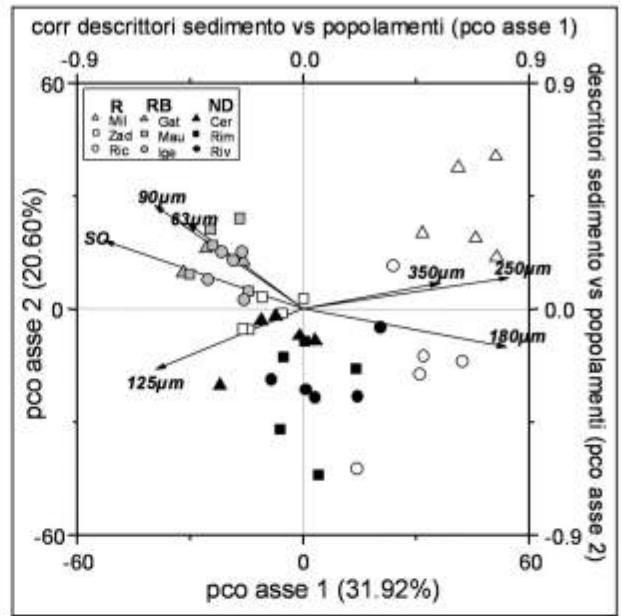
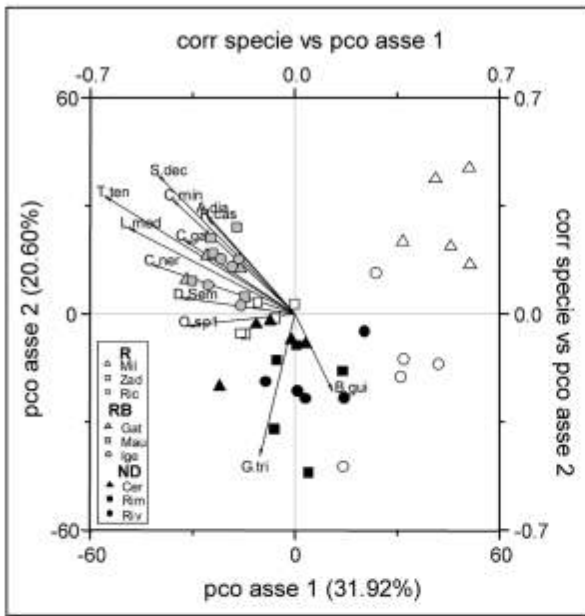


Figura 4 - Plot dei primi due assi delle coordinate principali (PCO, metric multi-dimensional scaling) che mostrano l'ordinamento dei popolamenti bentonici per ogni Costa in relazione al tipo di Protezione (abbreviazioni come in Fig. 1). Le analisi sono basate sull'indice di dissimilarità di Bray-Curtis dopo trasformazione con doppia radice quadrata dei valori di abbondanza dei 31 taxa (elencati in Tabella 4). I vettori indicano i taxa (presenti in almeno 10 campioni) che meglio si correlano con l'ordinamento dei popolamenti (correlazione con gli assi dell'ordinamento $r > |0.25|$). La direzione dei vettori indica la correlazione con i diversi gruppi di punti campione e la loro lunghezza è proporzionale al valore della correlazione.

Figura 5 - Proiezione biplot delle variabili dei sedimenti (classi granulometriche e contenuto in sostanza organica) sul PCO dei popolamenti macrobentonici (abbreviazioni come in Fig. 1). I vettori indicano le variabili che meglio si correlano con l'ordinamento dei campioni di macrobenthos (correlazione con gli assi dell'ordinamento $r > |0.5|$). La direzione dei vettori indica la correlazione con i diversi gruppi di punti campione e la lunghezza è proporzionale al valore della correlazione.

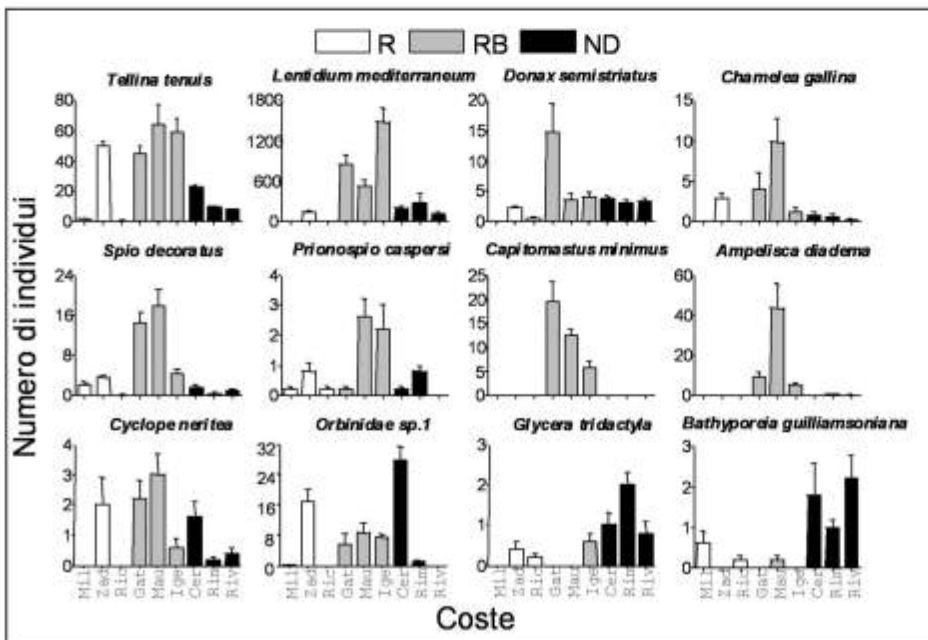


Figura 6 - Numero di individui per campione (0.06 m2) dei taxa che meglio sono correlati con l'ordinamento dei popolamenti macrobentonici per ogni Costa in relazione al tipo di Protezione (abbreviazioni come in Fig.1). I dati sono le medie (+ 1 ES) sulle 5 repliche.

Tabella 5 - Risultati della regressione multipla dei due set di variabili ambientali (granulometria e % di sostanza organica) sul data set multivariato delle specie: in (a) ogni set di variabili è testato individualmente (ignorando gli altri set) mentre in (b) le variabili sono state testate in sequenza (la variabilità spiegata da ogni variabile successiva è condizionata alle variabili già testate nel modello). %Var = percentuale di varianza del data set dei popolamenti spiegata dalla variabile abiotica considerata. % Cum = percentuale cumulativa di varianza spiegata dalle variabili abiotiche.

Set di variabili	(a) Testate individualmente			(b) Testate sequenzialmente			
	% Var	F	P	% Var	% Cum	F	P
Granulometria	53.54	2.4699	0.0001	53.54	53.54	2.4699	0.0001
% sostanza organica	22.34	12.3712	0.0001	2.47	56.01	1.6314	0.1284

popolamenti nelle Coste ND e Zad (R) sono correlati con la maggior presenza di sabbia fine (dimensioni medie 125 μm), mentre i popolamenti nelle coste Mil e Ric (R) sono correlati con la presenza di sedimenti più grossolani (frazioni 180 - 350 μm).

Discussione

Abbondanti e improvvise deposizioni di sedimento, siano esse di origine antropica o naturale, possono cambiare drasticamente l'ambiente di fondo ricoprendo ed uccidendo gran parte della fauna bentonica (Ellis et al., 2000; Smith e Rule, 2001; Norkko et al., 2002; Thrush et al., 2003). Il recupero dei popolamenti bentonici può avvenire in tempi rapidi (da alcuni mesi a meno di 1 anno), in caso di rapida dispersione del sedimento e/o per la tolleranza del popolamento nei confronti di questo tipo di disturbo (Gorzelay e Nelson, 1987; Nelson, 1993; Rakocinski et al., 1996; Smith e Rule, 2001; Cruz-Motta e Collins, 2004; Bertasi et al., 2009). Più spesso gli effetti della deposizione massiva di sedimento sono di lunga durata, soprattutto quando alterano le caratteristiche dell'ambiente sedimentario nativo, o quando hanno un elevato carico organico e/o contengono sostanze inquinanti (Nelson, 1993; Norkko et al., 2002). A più di un anno dall'intervento l'effetto del ripascimento effettuato dalla Regione Emilia Romagna con sabbie relitte era chiaramente rilevabile in 2 delle Coste R analizzate (Mil e Ric), entrambe caratterizzate da forte depauperamento dei popolamenti, mentre nella terza Costa R (Zad) si osserva una composizione in specie e un'abbondanza paragonabile alle spiagge non interessate da interventi di difesa (ND), somiglianza che riguarda anche le caratteristiche granulometriche. Dato che le sabbie relitte utilizzate per il ripascimento non contenevano inquinanti e presentavano un basso contenuto di sostanza organica (Simonini et al., 2005), le alterazioni sono attribuibili principalmente all'effetto fisico del sedimento sui popolamenti. Infatti, le caratteristiche del sedimento in termini di granulometria spiegano più del 50% della variabilità rilevata nei popolamenti bentonici. La povertà del popolamento di Mil e Ric (R) è correlata con una maggiore presenza di sabbia grossolana, mentre il popolamento di Zad (R) è associato a sabbia fine, tipica delle Coste ND. Inoltre, la presenza di sabbie relitte è chiaramente riconoscibile visivamente nei campioni provenienti da Mil e Ric (R) mentre non è evidente nei campioni di Zad (R). Queste osservazioni suggeriscono che a Mil e Ric (R) le sabbie relitte si sono spostate dalla spiaggia emersa alla fascia subtidale superiore, a circa -1 metri dal livello medio mare dove è stato fatto il campionamento, e lì si sono stabilizzate. A Zad (R) la sabbia da ripascimento si è distribuita in modo diverso e potrebbe essere stata trasportata più al largo o non essere stata rimossa dalla zona originaria di deposizione. Il monitoraggio lungo sezioni topografico-batimetriche e l'analisi dei dati sulla dinamica dei sedimenti nelle zone interessate dal ripascimento potrà aiutare a capire le differenze osservate tra le Coste R.

La scarsità di macrofauna a Mil e Ric (R) potrebbe essere una conseguenza diretta del disturbo fisico sugli organismi, dovuto al sedimento depositato, o indiretta, connessa alle alterazioni persistenti della tipologia del sedimento, che ne modificano la porosità, la stabilità, i flussi biogeochimici, la qualità del cibo e i movimenti degli animali (Gray, 1974; Snelgrove e Butman, 1994). Particelle di dimensioni maggiori, come osservato a Mil e Ric (R), potrebbero anche modificare lo stato morfodinamico della spiaggia verso una condizione più riflettente (Mclachlan, 1996; Rakocinski et al., 1996). Questi tipi di cambiamento sono spesso correlati con un decremento di ricchezza e abbondanza specifica. I bivalvi sembrano essere particolarmente sensibili a queste alterazioni (Mclachlan, 1996), il che concorda con la scarsa abbondanza o assenza a Mil e Ric (R) dei comuni bivalvi *Tellina tenuis*, *Lentidium mediterraneum*, *Donax semistriatus* e *Chamelea gallina*. Esiste anche la possibilità che le differenze tra le Coste interessate dal ripascimento e non, siano intrinseche

alle loro caratteristiche; infatti, la localizzazione dei siti di ripascimento non è casuale, ma è indice della presenza di intensi processi erosivi e di una forte dinamica, mentre le spiagge relativamente stabili non sono state interessate dall'intervento. Non avendo a disposizione dati precedenti al ripascimento, non è possibile valutare eventuali dinamiche spazio-temporali che permettano una inequivocabile caratterizzazione dell'impatto con un'analisi tipo BACI (Before vs After; Control vs Impact; Underwood, 1994). Ciononostante, la bassa ricchezza in specie ed individui osservate in Ric e Mil (R) sono inusuali per i popolamenti subtidali in questa zona, anche in spiagge soggette ad erosione (Bertasi et al., 2007; 2009), suggerendo una stretta relazione fra il ripascimento e la semplificazione dei popolamenti osservata in queste Coste.

Le differenze osservate tra Coste dove è il ripascimento era associato a strutture artificiali preesistenti (RB), e non (R), sono molto marcate. Le Coste RB sono caratterizzate (verosimilmente ormai da alcuni decenni) da sedimenti più fini e con un maggior contenuto di sostanza organica rispetto alle spiagge R e ND. Inoltre, si è osservata un'abbondanza di individui e di specie che normalmente non occupano questi habitat costieri, come il polichete capitellide *Capitomastus minimus*, che è tipico di zone lagunari e salmastre, l'anfipode *Ampelisca diadema*, comune nei fondale fangosi. Queste specie sono caratteristiche di ambienti poco profondi e riparati, come quelli protetti dalle strutture artificiali (Martin et al., 2005; Bertasi et al., unpubl. data), ed è più probabile che la loro presenza sia da attribuire all'effetto delle barriere che non al ripascimento. Le barriere, infatti, creano condizioni artificiali di ridosso che permettono il deposito di sedimento molto fine e permettono l'insediamento di popolamenti che normalmente non sarebbero presenti (Airoldi et al., 2005a; Martin et al., 2005). Pertanto il ripascimento non sembra aver influenzato in modo evidente i popolamenti delle Coste RB. Anche le dinamiche di trasporto dei sedimenti differiscono marcatamente, in relazione alla presenza/assenza delle barriere: mentre nelle Coste R il sedimento viene ridistribuito verso il largo dal moto ondoso, nelle Coste protette da barriere (RB) il ridotto idrodinamismo fa sì che i sedimenti siano più facilmente stabilizzati nella zona emersa.

L'erosione è un processo naturale che rientra nelle dinamiche costiere. Molti problemi connessi a fenomeni di erosione costiera accentuata sono da attribuire alle attività dell'uomo, condotte sia nelle aree costiere che nell'entroterra, fonte principale degli apporti di sedimento al mare e quindi dell'alimentazione alle spiagge. Negli ultimi anni è cresciuta la consapevolezza della tendenza ad un aumento di frequenza degli eventi estremi e ai rischi di innalzamento del livello del mare dovuti ai cambiamenti climatici. Le decisioni sul se ed, eventualmente, sul come intervenire in difesa delle coste soggette ad erosione richiedono considerazioni che vanno oltre gli interessi locali e che prendano in considerazione gli impatti ambientali a scale regionali e di bacino (Airoldi et al., 2005a). I risultati di questo studio suggeriscono che il ripascimento può causare importanti cambiamenti dell'ambiente costiero preesistente, con modificazioni nel regime sedimentario che si riflettono nell'alterazione della struttura dei popolamenti nativi. Rispetto a quanto generalmente considerato, possono portare ad alterazioni anche su larga scala, tuttavia tali alterazioni possono essere mitigate utilizzando sabbie con caratteristiche il più possibile simili a quelle native, in modo da favorire anche i processi di ricolonizzazione e di recupero dei popolamenti alterati. Gli effetti del ripascimento sono in stretta relazione con le caratteristiche dell'area in cui viene svolto e pertanto risulta difficile predirli in modo generalizzato. Se il ripascimento viene effettuato in presenza di barriere frangiflutti rigide che tendono a stabilizzarlo, gli effetti potrebbero essere limitati all'area direttamente interessata dall'intervento. Tuttavia, in questi casi l'effetto diretto del ripascimento sui popolamenti bentonici può essere mascherato dalle alterazioni indirette indotte dalle barriere. Se il ripascimento viene effettuato senza barriere, l'estensione e la durata dell'effetto può variare in relazione a diversi fattori locali, come il movimento e la redistribuzione dei sedimenti, la morfologia del fondale, l'idrodinamismo ed alle caratteristiche di resistenza e resilienza dei popolamenti che ne controllano le traiettorie di recupero. Studi futuri dovrebbero considerare questa variabilità nella risposta e analizzare con attenzione la dinamica temporale del ripristino dei popolamenti al fine di valutare la persistenza dell'alterazione in contrasto con la cronicità degli impatti associati alla presenza di strutture rigide di difesa (Airoldi et al., 2005a; Martin et al., 2005). Questo richiederebbe la realizzazione di monitoraggi a lungo termine che includano indagini prima della realizzazione del ripascimento, focalizzati sull'identificazione degli effetti di impatto temporale del ripascimento sul fondale sabbioso e sui popolamenti in diverse condizioni ambientali.

Ringraziamenti

Questo studio è stato finanziato dalla Regione Emilia Romagna. La ricerca ha beneficiato del progetto EU THESEUS (EU - FP7 - ENV2009-1, grant 244104). Siamo grati al Gruppo di Lavoro del Laboratorio di Ecologia Sperimentale di Ravenna per le stimolanti discussioni nelle diverse fasi della ricerca.

Bibliografia

- Airoldi L. (2003) - *The effects of sedimentation on rocky coast assemblages*. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 41: 161-236.
- Airoldi L., Abbiati M., Beck M.W., Hawkins S.J., Jonsson P.R., Martin D., Moschella P.S., Sundelof A., Thompson R.C. e Åberg P. (2005a) - *An ecological perspective on the deployment and design of low-crested and other hard coastal defence structures*. *Coastal Engineering*, 52: 1073-1087.
- Airoldi L., Bacchiocchi F., Cagliola C., Bulleri F. e Abbiati M. (2005b) - *Impact of recreational harvesting on assemblages in artificial rocky habitats*. *Marine Ecology Progress Series*, 299: 55-66.
- Airoldi L. e Beck M.W. (2007) - *Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe*. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 45: 347-407.
- Barros F. Underwood A.J. e Lindegarth M. (2001) - *The influence of rocky reefs on structure of benthic macrofauna in nearby soft-sediments*. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52: 191-199.
- Bertasi E., Colangelo M.A., Abbiati M. e Ceccherelli V.U. (2007) - *Effects of an artificial protection structure on the sandy shore macrofaunal community: the special case of Lido di Dante (Northern Adriatic Sea)*. *Hydrobiologia*, 586: 277-290.
- Bertasi E., Colangelo M.A., Colosio F., Gregorio G., Abbiati M. e Ceccherelli V.U. (2009) - *Comparing efficacy of different taxonomic resolutions and surrogates in detecting changes in soft bottom assemblages due to coastal defence structures*. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 686-694.
- Charlier R.H. (2003) - *Hold the sea back-is it sustainable? Retrospective and projection*. *Journal of Coastal Research*, 19: 875-883.
- Clarke K.R. (1993) - *Nonparametric multivariate analyses of changes in community structure*. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117-143.
- Connell S.D. (2005) - *Assembly and maintenance of subtidal habitat heterogeneity: synergistic effects of light penetration and sedimentation*. *Marine Ecology Progress Series*, 289: 53-61.
- Cruz-Motta J.J. e Collins J. (2004) - *Impacts of dredged material disposal on a tropical soft-bottom benthic assemblage*. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 270-280.
- Davis N., VanBlaricom G.R. e Dayton P.K. (1982) - *Man-made structures on marine sediments: effects on adjacent benthic communities*. *Marine Biology*, 70: 295-303.
- Ellis J.I., Norkko A. e Thrush S.F. (2000) - *Broad-scale disturbance of intertidal and shallow sublittoral soft-sediment habitats; effects on the benthic macrofauna*. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7: 57-74.
- French P.W. (1997) - *Coastal and estuarine management*. Routledge London.
- GESAMP (1994) - *Anthropogenic influences on sediment discharge to the coastal zone and environmental consequences*. UNESCO-TOC, Paris.
- Gonzalez-Correa J.M., Fernandez-Torquemada Y. e Sanchez-Lizaso J.L. (2009) - *Short-term effect of beach replenishment on a shallow Posidonia oceanica meadow*. *Marine Environmental Research*, 68: 143-150.
- Gorzelany J.F. e Nelson W.G. (1987) - *The effects of beach replenishment on the benthos of a sub-tropical Florida beach*. *Marine Environmental Research*, 21: 75-94.
- Gray J.S. (1974) - *Animal-sediment relationships*. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 12: 223-261.
- Guidetti P. (2001) - *Detecting environmental impacts on the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica L. Delile: the use of reconstructive methods in combination with 'beyond baci' designs*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 260: 27-39.
- Hamm L., Capobianco M., Dette H.H., Lechuga A., Spanhoff R. e Stive M.J.F. (2002) - *A summary of european experience with shore nourishment*. *Coastal Engineering*, 47: 237-264.
- Jones S.R. e Mangun W.R. (2001) - *Beach nourishment and public policy after Hurricane Floyd: where do we go from here?* *Ocean e Coastal Management*, 44: 207-220

- Lohrer A.M., Thrush S.F., Lundquist C.J., Vopel K., Hewitt J.E. e Nicholls P.E. (2006) - *Deposition of terrigenous sediment on subtidal marine macrobenthos: response of two contrasting community types*. Marine Ecology Progress Series, 307: 115-125.
- Martin D., Bertasi F., Colangelo M.A., De Vries M., Frost M., Hawkins S.J., Macpherson E., Moschella P.S., Satta M.P., Thompson R.C. e Ceccherelli V.U. (2005) - *Ecological impact of coastal defence structures on sediment and mobile fauna: evaluating and forecasting consequences of unavoidable modifications of native habitats*. Coastal Engineering, 52: 1027-1051.
- McLachlan A. (1996) - *Physical factors in benthic ecology: effects of changing sand particle size on beach fauna*. Marine Ecology Progress Series, 131: 205-217.
- McManus J. (1988) - *Grain size determination and interpretation*. In: Tucker M ed. *Techniques in sedimentology*. Blackwell, Oxford, p 63-85.
- Miller D.C., Muir C.L. e Hauser O.A. (2002) - *Detrimental effects of sedimentation on marine benthos: what can be learned from natural processes and rates?* Ecological Engineering, 19: 211-232.
- Nelson W.G. (1993) - *Beach restoration in the South-eastern United States: environmental effects and biological monitoring*. Ocean and Coastal Management, 19: 157-182.
- Nordstrom K.F. (2005) - *Beach nourishment and coastal habitats: research needs to improve compatibility*. Restoration Ecology, 13: 215-222.
- Norkko A., Thrush S.F., Hewitt J.E., Cummings V.J., Norkko J., Ellis J.I., Funnell G.A., Schultz D. e Macdonald I. (2002) - *Smothering of estuarine sandflats by terrigenous clay: the role of wind-wave disturbance and bioturbation in site-dependent macrofaunal recovery*. Marine Ecology Progress Series, 234: 23-41.
- Peterson C.H. e Bishop M.J. (2005) - *Assessing the environmental impacts of beach nourishment*. Bioscience, 55: 887-896.
- Peterson C.H., Hickerson D.H.M. e Johnson G.G. (2000) - *Short-term consequences of nourishment and bulldozing on the dominant large invertebrates of a sandy beach*. Journal of Coastal Research, 16: 368-378.
- Preti M. (2002) - *Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia Romagna*. Studi costieri, 5: 107-134.
- Preti M (2009) *Stato del litorale Emiliano-Romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione*. ARPA Emilia-Romagna, pagine 1-270.
- Rakocinski C.F., Heard R.W., Lecroy S.E., McLelland J.A. e Simons T. (1996) - *Responses by macrobenthic assemblages to extensive beach restoration at Perdido Key, Florida, Usa*. Journal of Coastal Research, 12: 326-353.
- Simonini R., Ansaloni I., Bonvicini Pagliai A.M., Cavallini F., Iotti M., Mauri M., Montanari G., Preti M., Rinaldi A. e Prevedelli D. (2005) - *The effects of sand extraction on the macrobenthos of a relict sands area northern Adriatic Sea: results 12 months post-extraction*. Marine Pollution Bulletin, 50: 768-777.
- Smith S.D.A. e Rule M.J. (2001) - *The effects of dredge-spoil dumping on a shallow water soft-sediment community in the Solitary Islands Marine Park, NSW, Australia*. Marine Pollution Bulletin, 4:2 1040-1048.
- Snelgrove P.V.R. e Butman C.A. (1994) - *Animal sediment relationships revisited - cause versus effect*. Oceanography and Marine Biology: an Annual Review, 32: 111-177.
- Thrush S.F., Hewitt J.E., Norkko A., Cummings V.J. e Funnell G.A. (2003) - *Macrobenthic recovery processes following catastrophic sedimentation on estuarine sandflats*. Ecological Applications, 13: 1433-1455.
- Underwood A.J. (1994) - *On beyond BACI - sampling designs that might reliably detect environmental disturbances*. Ecological Applications, 4: 3-15.
- Zhang K.Q., Douglas B.C. e Leatherman S.P. (2004) - *Global warming and coastal erosion*. Climate Change, 64: 41-58.

Ricevuto il 24/01/2008, accettato il 01/12/2009.

Ricolonizzazione e recupero delle comunità macrozoobentoniche in seguito all'estrazione di sabbie relitte

Roberto Simonini, Valentina Grandi, Mirko Iotti, Gloria Massamba N'Siala, Daniela Prevedelli

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia,
Via Campi, 213/D - 41125 Modena, Italia.

Riassunto

Gli effetti a medio - lungo termine dell'estrazione di sabbie marine sulle comunità macrozoobentoniche sono stati analizzati in un'area off-shore dell'Adriatico settentrionale con fondali caratterizzati da sabbie relitte. Le campagne di monitoraggio sono state eseguite prima, durante e dopo 1, 6, 12, 18, 24 e 30 mesi dopo il dragaggio, esaminando tre stazioni impattate e sette di controllo. Le attività di estrazione hanno determinato la quasi completa defaunazione delle zone soggette al dragaggio. Successivamente, le analisi multivariate ed univariate hanno evidenziato che le risposte delle comunità macrozoobentoniche al dragaggio sono state 1) una rapida fase di ricolonizzazione da parte delle specie dominanti presenti prima dell'intervento, che si è manifestata dopo 6-12 mesi dopo l'estrazione delle sabbie; 2) una fase più lenta di recupero, che si è completata dopo circa 30 mesi dal dragaggio, quando la composizione e la struttura delle comunità delle stazioni impattate sono tornate ad essere simili a quelle osservate nelle stazioni di controllo e prima del dragaggio. Questa modalità di ricolonizzazione/recupero è riconducibile al limitato impatto delle operazioni di estrazione sulle caratteristiche fisiche del sedimento ed alle caratteristiche idrologiche dell'area, che hanno permesso il completo recupero della comunità macrozoobentonica della zona impattata.

Parole chiave: Impatto ambientale, dragaggio, sabbie relitte, benthos; diversità, Adriatico settentrionale.

Abstract

*Sand extraction operations may influence biological characteristics of the impacted seafloor both directly (through removal, smothering and damage caused by the dredge head) and indirectly (surface and bottom plumes, changes in plankton bloom seasons, release of nutrients and chemicals, as well as sound) can affect both the seabottom and the water column in the area immediately adjacent to the dredging site. In this paper, we analyse the long-term effects of sand extraction on macrozoobenthic communities in an offshore area in the Northern Adriatic Sea, characterised by relict sands formed during the last Adriatic post-glacial transgression. Surveys were carried out before, during and 1, 6, 12, 18, 24 and 30 months after extraction at three impacted and seven reference stations. The operations did not influence the physical characteristics of the sediment, but they caused an almost complete defaunation at dredged sites. In particular, the effects of sand extraction on the macrozoobenthic communities were particularly intense, especially during and immediately after the extraction, at stations 3 and 4, and were mainly due to the removal of fauna from the seabed. Recolonisation at the impacted station began early by larval settlement (most polychaetes, molluscs, echinoderms and other sedentary organisms) and adult migration (vagile taxa, such as the dominant crustaceans *Apeudes latreillii* and *Ampelisca diadema*). Then, starting from 24 months after dredging, the composition and structure of the macrozoobenthic assemblages become quite similar to that observed prior to sand extraction. The scant difference in the community found before and after 30 months after dredging*

at impacted stations were due to (1) some rare species exclusive to the first or the last survey; (2) differences in the abundances of common species, characteristic of the relict sands biocoenosis, that can be related to the natural temporal variability of the communities. The species in common between the two surveys constituted about 90% of the whole abundances at both B-Ex. and the A-Ex. 30 impacted stations. Therefore, it could be assumed that the communities of the dredged area returned to the original condition 30 months after sand extraction. This pattern of recolonisation-recovery fits well with the usual scenario where substratum remains merely unchanged after marine aggregate extraction.

Keywords: environmental impact, dredging, relict sands, benthos, diversity, Northern Adriatic Sea.

Introduzione

L'estrazione di sabbie sottomarine ha spesso notevoli ripercussioni sulle caratteristiche biotiche ed abiotiche dei fondali interessati, quindi la fattibilità dell'intervento dipende non solo dalla disponibilità di depositi sabbiosi ma anche dall'analisi dei rischi potenziali per l'ecosistema bentonico. Di norma l'estrazione causa la quasi completa defaunazione dei fondali ed il danno per le comunità bentoniche è direttamente proporzionale alla superficie dell'area dragata (Newell et al., 1998; Van Dalftsen et al., 2000). L'estrazione può anche interferire con il bilancio sedimentario ed influenzare le condizioni ecologiche dei fondali come p.e. l'habitat per la flora e la fauna bentonica (Boyd et al., 2005; Newell et al., 1998; Van Dalftsen et al., 2000). Altri aspetti non trascurabili riguardano la perdita di importanti risorse bentoniche e le relative conseguenze sulle catene trofiche marine e la pesca. In particolare occorre tutelare le zone di nursery e gli ecosistemi costieri particolarmente sensibili, oltre a prevenire la tendenza all'infangamento delle aree dragate e di quelle immediatamente adiacenti, che favorirebbe l'insediamento di una comunità diversa da quella iniziale (Sardà et al., 2000). E' quindi indispensabile eseguire valutazioni di impatto ambientale e monitoraggi a medio - lungo termine per prevedere, valutare e modellizzare gli effetti dell'estrazione sugli ecosistemi dei fondali interessati.

Lo studio delle comunità macrozoobentoniche marine costituisce una parte fondamentale delle procedure di valutazione dell'impatto antropico negli ambienti marini costieri. Rispetto alle comunità pelagiche, infatti, le comunità bentoniche presentano maggiore strutturazione e relativa stabilità spazio-temporale, per cui sono in grado di registrare le alterazioni ambientali più efficacemente. Inoltre la composizione dei popolamenti bentonici, sia dal punto di vista strutturale che funzionale, è direttamente dipendente dalle condizioni dell'ambiente pelagico, dal quale viene reclutata, ciclicamente, una larga componente delle forme bentoniche a sviluppo indiretto. Nella fascia costiera romagnola, oltre il 60% delle specie che compongono il macrobenthos presenta modalità di sviluppo con larve pelagiche, per cui anche le perturbazioni che interessano la colonna d'acqua si ripercuotono in maniera sensibile sul reclutamento del benthos.

Lo sfruttamento di depositi sabbiosi sottomarini è ormai una pratica comune in diversi paesi europei come Spagna, Regno Unito, Olanda, Danimarca e, più recentemente, Italia (Van Dalftsen et al., 2000; Boyd et al., 2003; Boyd et al., 2005; Simonini et al., 2005, 2007). Tra Aprile e Maggio 2002, circa 800.000 m³ di sabbie destinate al ripascimento di diverse spiagge lungo il litorale emiliano - romagnolo sono state dragate da un'area di circa 100 ettari (1 km²) al largo del porto di Ravenna. Oltre che per la localizzazione geografica, questo intervento si differenzia nettamente da quelli effettuati fino ad ora anche per altri aspetti: i fondali dell'area interessata non presentano sedimentazione attiva (Matteucci e Frascari, 1997; Wang e Pinardi, 2003) e sono costituiti prevalentemente da sabbie relitte; inoltre l'area di prelievo si trova a maggiore profondità (40-42 m) e distanza dalla costa (55 km) rispetto agli altri interventi effettuati fino ad ora in Europa (Preti, 2000, 2002). Il "Programma pluriennale di monitoraggio dell'area a mare da cui sono state prelevate le sabbie per il ripascimento delle spiagge emiliano - romagnole", finanziato dalla Regione Emilia-Romagna e realizzato da Ingegneria Ambientale dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente dell'Emilia-Romagna (ARPA), ha offerto l'opportunità di studiare l'effetto dell'estrazione delle sabbie ed il processo di recupero delle comunità macrozoobentoniche nell'area oggetto di scavo.

Questo lavoro riporta i risultati del monitoraggio e dell'analisi degli effetti del prelievo delle sabbie sulle comunità bentoniche, con l'obiettivo di valutare il complessivo grado di recupero delle comunità bentoniche e costruire un modello di riferimento per la valutazione dell'impatto a medio termine basato sull'analisi dei pattern di ricolonizzazione e di ripristino dei popolamenti macrozoobentonici.

Materiali e metodi

L'intero studio ha previsto otto campagne di prelievo: Marzo 2001 (prima dell'estrazione [B-Ex]), Aprile 2002 (durante l'estrazione [Ex]), Giugno 2002 (1 mese dopo l'intervento [A-Ex 1]), Dicembre 2002 (dopo 6 mesi dall'estrazione [A-Ex 6]), Giugno 2003 (dopo 12 mesi [A-Ex 12]), Dicembre 2003 (dopo 18 mesi [A-Ex 18]), Giugno 2004 (dopo 24 mesi [A-Ex 24]), Dicembre 2004 (dopo 30 mesi [A-Ex 30]). Il piano di caratterizzazione dell'area ha previsto campionamenti in 3 stazioni all'interno della zona di prelievo delle sabbie (impattate) ed in 7 stazioni di controllo esterne all'area. Le stazioni erano disposte su due transetti ortogonali fra loro, che si intersecano al centro dell'area oggetto di studio (Fig. 1).

Il prelievo dei campioni è stato effettuato mediante benna di Van Veen con superficie di presa pari a 1250 cm². Per ogni stazione sono state prelevate 3 repliche. Sul campo, i campioni sono stati vagliati attraverso un setaccio con maglie di 0.5 mm e fissati in formalina tamponata al 4% in acqua di mare. Per ogni stazione ARPA Emilia-Romagna ha effettuato anche le analisi granulometriche e della %TOC del sedimento (ICRAM, 2001). La presenza e la profondità di solchi e buchi sul fondo dovuti alla draga è stata valutata tramite Side Scan Sonar e immagini di video camera subacquea. Le analisi di ARPA non hanno evidenziato alterazioni significative nella granulometria e nella % di TOC del sedimento nei fondali impattati e di controllo.

Il materiale ottenuto dalla setacciatura dei campioni è stato smistato in laboratorio. Di norma gli organismi sono stati classificati a livello di specie. I dati relativi ad ogni stazione sono stati ottenuti sommando i rispettivi replicati. I dati ottenuti dalle diverse campagne sono stati raggruppati ottenendo una matrice totale delle abbondanze che è stata utilizzata per analisi univariate e multivariate.

Le analisi multivariate (ANOSIM, n-MDS, SIMPER) sono state effettuate sulla matrice di similarità di Bray-Curtis dei singoli campioni, ottenuta dalla matrice delle abbondanze utilizzando sia i dati originali (non trasformati) sia i dati trasformati con radice quarta, in modo da analizzare i pattern di variazione delle comunità macrozoobentoniche sia per quanto riguarda i taxa numericamente dominanti sia per la composizione in specie. Gli effetti del dragaggio e le differenze tra campagne di campionamento sono state analizzate tramite il test ANOSIM per due fattori ortogonali (estrazione x campagna). Le differenze tra 1) stazioni di controllo e impattate di ogni campagna e 2) stazioni di controllo di diverse campagne sono state valutate *a posteriori* tramite test ANOSIM per un fattore (estrazione o campagna). Le specie caratterizzanti le singole campagne o che contribuiscono maggiormente alle differenze tra siti di controllo ed impattati e tra le diverse campagne di prelievo sono state identificate tramite l'analisi SIMPER, che scorre la similarità/dissimilarità di Bray-Curtis tra due gruppi di campioni nei contributi delle singole specie. Le analisi multivariate sono state effettuate utilizzando il software PRIMER V5 (Clarke e Warwick, 2001).

Risultati

L'analisi tassonomica dei campioni raccolti nelle otto campagne ha portato all'identificazione di più di 42000 individui, distribuiti tra 185 taxa. Gli anellidi policheti costituivano il gruppo maggiormente rappresentato (43% dei taxa, 59% degli individui), seguiti da molluschi bivalvi, crostacei ed echinodermi. Più del 70% delle specie rinvenute nel complesso dell'indagine sono state riscontrate in tutte le campagne mentre non è stato osservato l'insediamento di specie opportuniste o tipiche di fondali disturbati nelle aree dragate.

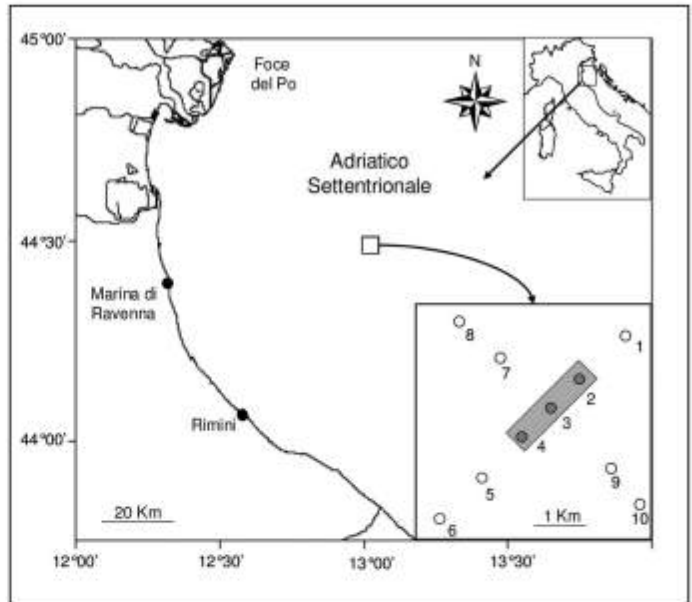


Figura 1 - Localizzazione dell'area e delle stazioni di campionamento.

Le analisi multivariate effettuate sulla matrice delle abbondanze originale e trasformando i dati tramite radice quarta, hanno evidenziato che l'estrazione delle sabbie ha influenzato notevolmente il macrozoobenthos delle stazioni impattate durante e dopo 1, 6 e 12 mesi dall'intervento, sia in termini di composizione che di struttura delle comunità.

Gli ordinamenti tramite MDS, con dati trasformati e non trasformati, mostrano le stazioni 3 e 4 delle campagne operative (Ex) e ad 1 mese dopo l'intervento (A.-Ex.1) nettamente separate ad un lato, mentre le stazioni di controllo e impattate delle ultime tre campagne si raggruppano sul lato opposto, molto vicine tra loro. Tra questi due estremi si trovano i punti relativi alle stazioni 2-4 delle campagne effettuate a 6 e 12 mesi dall'intervento (A.-Ex.6 e A.-Ex.12) (Fig. 2a, b).

Nelle campagne Ex e A.-Ex. 1 la dissimilarità media tra stazioni impattate e di controllo è estremamente elevata (80-90% senza trasformazione, 70-75% con dati trasformati). In seguito all'estrazione delle sabbie, le stazioni 3 e 4 delle campagne Ex e A.-Ex.1 avevano subito una quasi completa defaunazione, evidenziata dalla drastica riduzione nel numero di taxa, delle densità e dell'indice di diversità di Shannon rispetto alle stazioni di controllo (Tab. 1). La stazione 2, localizzata nella parte settentrionale dell'area dragata, ha subito un minore impatto e mostra una minore riduzione nel numero di taxa e nelle abbondanze rispetto alle stazioni 3 e 4 (Tab. 1).

La posizione intermedia occupata dalle stazioni 2-4 delle campagne A.-Ex.6 and A.-Ex.12 nell'MDS di Figura 2a-b suggerisce che il processo di ricolonizzazione sia partito pochi mesi dopo l'intervento. Infatti, la dissimilarità media tra stazioni impattate e di controllo era 63-83% per i dati non trasformati, e 45-66% per i dati trasformati. Le densità nelle stazioni dragate era minore del 30-40% rispetto al controllo, mentre durante la campagna A.-Ex. 1 la differenza media si attestava intorno al 90%. Infine, il numero di taxa nelle aree di estrazione era pari al 60-70% di quello osservato nelle stazioni di controllo, mentre nelle campagne effettuate durante ed un mese dopo il dragaggio questa percentuale era solamente del 26% (Tab. 1).

Negli ordinamenti di Figura 2a-b, le stazioni di controllo della campagna effettuata dopo 12 mesi dall'inter-

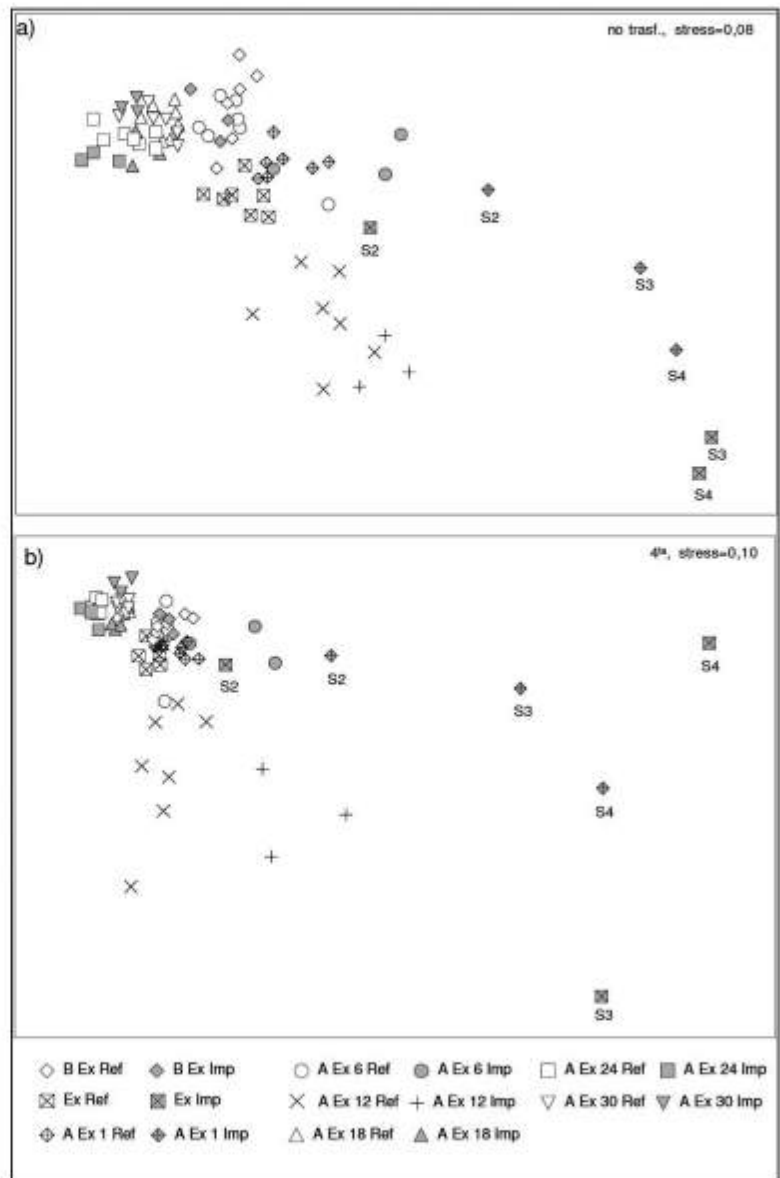


Figura 2 - Ordinatiamenti tramite MDS delle comunità esaminate nell'ambito del monitoraggio con dati non trasformati (a) e dopo trasformazione con radice quarta (4^a). E' evidenziata la posizione delle stazioni all'interno dell'area impattata (S2, S3, S4) relativamente alle campagne operative (Ex), dopo 1 (A Ex1) e sei mesi (A Ex 6) dall'intervento.

vento (A-Ex 12) segregano a parte e sono più disperse rispetto alle altre a causa del minore numero di taxa e di individui rinvenuti (Tab. 1).

Tabella 1 - Numero di taxa, densità e indice di diversità Shannon calcolati per le diverse stazioni delle singole campagne. In grassetto sono evidenziati i valori degli indici calcolati nelle stazioni impattate nelle campagne Ex ed A-Ex 1.

		Numero di taxa							
Campagna		B-Ex	Ex	A-Ex 1	A-Ex 6	A-Ex 12	A-Ex 18	A-Ex 24	A-Ex 30
Estrazione	Stazione								
impatto	2	62	42	28	60	31	72	91	73
	3	65	5	10	42	22	75	80	60
	4	71	6	14	31	17	73	100	78
controllo	1	68	81	60	70	54	77	90	77
	5	69	54	68	59	45	83	95	75
	6	72	64	73	60	31	82	103	72
	7	54	69	55	52	32	76	97	78
	8	58	72	56	60	48	68	91	79
	9	72	64	62	63	22	79	92	75
	10	66	67	65	70	35	80	90	75
		Densità [ind m ⁻²]							
Campagna		B-Ex	Ex	A-Ex 1	A-Ex 6	A-Ex 12	A-Ex 18	A-Ex 24	A-Ex 30
Estrazione	Stazione								
impatto	2	1506	358	189	858	233	1878	2450	2481
	3	1561	14	42	483	219	1856	2911	2492
	4	2406	19	67	408	175	2236	2897	2308
controllo	11	1492	1389	881	1864	533	1944	3508	1903
	5	1442	767	942	1369	550	2533	2858	2919
	6	1811	861	939	1492	214	2083	2800	1906
	7	2058	1156	661	550	286	2053	2392	1797
	8	1556	1161	703	1497	403	2333	2408	2678
	9	1817	1250	986	1600	258	2617	2581	2036
	10	1768	869	1092	1786	342	2106	2664	1856
		Diversità di Shannon H'							
Campagna		B-Ex	Ex	A-Ex 1	A-Ex 6	A-Ex 12	A-Ex 18	A-Ex 24	A-Ex 30
Estrazione	Stazione								
impatto	2	3,35	3,31	2,95	3,45	2,76	3,64	3,64	3,36
	3	3,25	1,61	2,15	3,19	2,35	2,48	2,48	3,15
	4	3,19	1,75	2,40	3,11	2,16	2,87	2,87	3,25
controllo	1	3,32	3,75	3,42	3,44	3,28	2,99	2,99	3,61
	5	3,41	3,56	3,69	3,44	2,81	3,17	3,17	3,35
	6	3,22	3,71	3,81	3,30	2,99	3,36	3,36	3,41
	7	3,11	3,78	3,53	3,46	3,00	3,62	3,69	3,65
	8	3,35	3,66	3,57	3,28	3,43	3,39	3,63	3,47
	9	3,38	3,54	3,65	3,42	2,54	3,46	3,74	3,57
	10	3,28	3,65	3,55	3,62	3,04	3,55	3,60	3,56

Ad eccezione della campagna A-Ex 12, le dissimilarità tra campagne sono minori di quelle riconducibili all'impatto dell'estrazione delle sabbie, variando dal 25 al 42% (dati trasformati) e dal 33 al 62% (dati non trasformati). La maggior parte delle differenze tra le diverse campagne è dovuta a variazioni nell'abbondanza di alcune delle specie più abbondanti e caratteristiche ed alla presenza di specie con bassa densità che com-

paiono sporadicamente in una o poche campagne. Infatti, solamente il 50%-60% delle specie rinvenute nel corso dell'indagine è comune a tutte le stazioni di controllo in tutte le campagne ma queste specie rappresentano il 90-95% del popolamento totale.

Discussione e conclusioni

Gli effetti dell'estrazione delle sabbie sulle comunità macrozoobentoniche sono stati particolarmente intensi, soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'estrazione, e sono riconducibili principalmente alla rimozione della fauna dai fondali: le operazioni di prelievo delle sabbie hanno previsto, infatti, l'asportazione degli strati più superficiali del sedimento (fino a 50-150 cm di profondità), determinando una quasi completa defaunazione. La ricolonizzazione delle aree dragate è stata rapida: le analisi effettuate sui campioni prelevati dopo poco più di 12 mesi dal termine delle operazioni di prelievo delle sabbie indicavano che la comunità macrozoobentonica delle zone direttamente impattate era in fase di ricolonizzazione avanzata. L'analisi dei dati relativi alla 5° campagna post-operazionale di Giugno 2004 ha evidenziato che, a 24 mesi dal prelievo delle sabbie, la ricolonizzazione del macrozoobenthos delle aree impattate è pressoché completa, anche se le stazioni impattate differiscono ancora da quelle di controllo per quanto riguarda la struttura delle comunità. Infatti, anche se la composizione specifica, il numero di specie e le abbondanze totali nelle stazioni di controllo ed impattate erano molto simili, le comunità di queste ultime risultavano maggiormente dominate: un esempio, la stazione S4 nella quale più del 50% delle abbondanze è rappresentato da un'unica specie, il crostaceo *Apseudes latreillii*. A 30 mesi dall'intervento il recupero del macrozoobenthos nell'area di estrazione può considerarsi terminato in quanto non sono state evidenziate differenze significative tra zone impattate e di controllo.

Anche in altri studi è stato osservato che la ricolonizzazione dei fondali dragati è rapida, soprattutto considerando le abbondanze, mentre il recupero della composizione e della struttura della comunità può richiedere tempi più lunghi (Kenny e Rees, 1994, 1996; Newell et al., 1998; Van Dalfsen et al., 2000). Infatti, dopo la defaunazione, la ricolonizzazione dipende dall'insediamento delle larve e dalla migrazione di specie mobili da aree adiacenti. Spesso questo processo offre alle specie opportuniste la possibilità di costituire dense popolazioni negli spazi lasciati liberi (Kenny e Rees, 1994, 1996; Newell et al., 1998; Sardà et al., 2000; Van Dalfsen et al., 2000). A differenza di quanto osservato in altri lavori sugli effetti dell'estrazione di sabbie marine, la ricolonizzazione dell'area impattata è avvenuta soprattutto tramite l'insediamento di specie tipiche delle sabbie relitte, presenti anche prima dell'intervento, mentre il contributo delle specie "opportuniste" è stato trascurabile. Il mancato insediamento di specie opportuniste è probabilmente dovuto al limitato impatto dell'intervento sulle caratteristiche fisiche del sedimento ed a caratteristiche idrologiche e sedimentologiche proprie dell'area dragata. Infatti, nonostante la profondità dello scavo ed il notevole volume di sabbie rimosse, le analisi granulometriche non hanno evidenziato variazioni significative tra le zone impattate e di controllo e tra le diverse campagne. Anche le profonde depressioni create dalla draga si stanno gradualmente livellando. Inoltre, il regime sedimentologico prevalentemente erosivo dei fondali non ha permesso l'accumulo di apprezzabili quantità di materiali fini nelle depressioni, ostacolando l'insediamento di specie opportuniste prettamente limicole. Anche la quota di scavo, scelta in modo da non raggiungere il limite tra le sabbie ed i depositi sottostanti, ha permesso di mantenere sostanzialmente inalterata la natura sabbiosa dei fondali.

La valutazione della sostenibilità delle operazioni di estrazione delle sabbie sottomarine deve tenere conto non solo dell'analisi dei rischi potenziali per l'ecosistema bentonico ma deve considerare anche le eventuali conseguenze per la pesca ed altre attività economiche che insistono nelle aree impattate. I dati presenti in letteratura ed i risultati di una campagna di pesca effettuata da ICRAM prima dell'inizio delle operazioni di dragaggio hanno permesso di escludere che l'area analizzata sia sottoposta ad una costante pressione di pesca e che possa rappresentare una nursery per specie economicamente importanti (ICRAM, 2001). Diversi studi effettuati in altre aree hanno però evidenziato che le attività di dragaggio delle sabbie possono alterare profondamente i popolamenti bentonici non solo per quanto riguarda la composizione delle comunità ma anche per la struttura delle popolazioni delle specie di interesse commerciale. Galvan et al (2006) nell'ambito degli interventi di dragaggio di sabbie in un tratto di mare a 8-10 miglia al largo di Caorle (Ve), ai fini di un loro impiego per il ripascimento dei litorali di Cortellazzo ed Eraclea, hanno effettuato un monitoraggio dei popolamenti bentonici, con particolare riferimento ai fasolari (il mollusco bivalve *Callista chione*), importante risorsa per le marinerie locali. Prima del dragaggio delle sabbie, la biomassa media di fasolari stimata nell'area interessata dai lavori di prelievo del sedimento era di 119 g/mq, con valore massimo di 244 g/mq. Il prelievo delle sabbie

ha determinato un abbattimento della risorsa, con valori di biomassa medi di 21 g/mq e, in alcune stazioni addirittura nulli. L'azione combinata del dragaggio e della pesca commerciale nell'area avrebbero determinato una riduzione della biomassa istantanea del 75%, con grave danno per l'attività di pesca. L'impatto antropico dovuto ad attività quali il dragaggio delle sabbie e la pesca intensiva può anche determinare un'intensa selezione verso le specie con individui di grandi dimensioni e con crescita lenta, promuovendo l'insediamento di specie opportuniste di piccola taglia che raramente hanno un elevato valore commerciale (Sardà et al., 2000). La valutazione degli effetti delle attività antropiche sugli ecosistemi marini è spesso ostacolata dalla difficoltà di separare gli effetti antropici dalla variabilità naturale. Infatti, la composizione e la struttura delle comunità macrozoobentoniche dell'area investigata varia non solo in funzione del prelievo delle sabbie, ma anche in ciascuna delle campagne effettuate. Le differenze tra le campagne sono dovute soprattutto a variazioni delle abbondanze di alcune delle specie maggiormente rappresentate. Le variazioni della composizione e della struttura delle comunità macrozoobentoniche dell'area investigata sono determinate dai cicli biologici delle diverse specie bentoniche e dall'elevata variabilità stagionale ed interannuale dell'Adriatico settentrionale, e che questi fattori possano influenzare significativamente il processo di ripopolamento delle aree impattate: per esempio la riduzione in termine di abbondanze e di numero di taxa osservato nella campagna di Giugno 2003 (dopo 12 mesi dall'intervento [A Ex 12]) può essere ricondotta all'anomalo abbassamento delle temperature osservato nell'Adriatico Settentrionale nell'inverno 2003 (4°C di temperatura al fondo) che ha causato elevate mortalità di diverse specie bentoniche (Gismondi e Rinaldi, 2002).

Confrontando diversi interventi di estrazione di sabbie marine ed i loro effetti sui fondali e sui popolamenti macrozoobentonici, è stata evidenziata una relazione tra l'entità e la durata dell'impatto fisico sui fondali (in termini di tessitura del sedimento e morfologia) per il recupero delle comunità. Nelle aree in cui la sedimentazione di materiali fini è scarsa, l'elevato idrodinamismo ostacola la deposizione di sedimenti fini o la profondità dello scavo è limitata, le variazioni nella struttura del sedimento delle zone dragate sono limitate nel tempo ed il completo recupero delle comunità dai 2 ai 4 anni (Boyd et al., 2003; Kenny e Rees, 1994, 1996; Robinson et al., 2005; Van Daltsen e Essink, 1997). Van der Veer (1985) ha osservato che negli avallamenti creati dall'estrazione nelle sabbie dei fondali tidali a bassa dinamica nel mare di Wadden riempiti di fango, il recupero delle caratteristiche e della struttura delle comunità macrozoobentoniche può avvenire in tempi molto lunghi, e richiedere anche 15 anni. I risultati di questo studio supportano l'ipotesi di Van Daltsen et al (2000): il limitato impatto dell'intervento sulle caratteristiche fisiche del sedimento e le caratteristiche idrologiche e sedimentologiche nell'area delle sabbie relitte hanno probabilmente favorito un rapido recupero ed il ripristino in tempi brevi delle comunità caratteristiche dell'area delle sabbie relitte dell'Adriatico settentrionale.

Lo studio ha permesso di ottenere informazioni non solo per la valutazione delle conseguenze dell'estrazione delle sabbie relitte sull'ecosistema bentonico, ma anche per progettazione delle attività di monitoraggio di interventi analoghi. Innanzitutto, per separare gli effetti della variabilità naturale intra- ed interannuale da quelli dell'impatto, le campagne di monitoraggio devono essere ripetute più volte, sia prima che dopo l'estrazione delle sabbie il dragaggio (Underwood, 1994). Inoltre, per valutare nella completezza il processo di ricolonizzazione/recupero, le campagne di monitoraggio post-impatto devono essere eseguite fino a due 2-3 anni di distanza dall'intervento.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare Giuseppe Montanari, Dino Pagan e Marco Paperini (Struttura Oceanografica Daphne, ARPA Emilia-Romagna). Lo studio è stato finanziato dalla Regione Emilia-Romagna (Convenzione tra Ingegneria Ambientale- ARPA Emilia-Romagna e Dipartimento di Biologia Animale, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia).

Bibliografia

- Boyd S.E., Limpenny D.S., Rees H.L., Cooper K.M. e Campbell S. (2003) - *Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the re-colonization of dredged sediments off the south-east coast of England (Area 222)*. Estuarine e Coastal Shelf Science, 57: 209-223.
- Boyd S.E., Limpenny D.S., Rees H.L. e Cooper K.M. (2005) - *The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging)*. ICES Journal of Marine

- Science, 62: 145-162.
- Boyd S.E., e Rees H.L. (2003) - *An examination of the spatial scale of impact on the marine benthos arising from marine aggregate extraction in the central English Channel*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 57: 1-16.
- Clarke K.R. e Warwick R.M. (2001) - *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd edition, Primer-E, Plymouth, UK.
- Galvan T., Vendramini A., Lazzarini R., Penzo P. e Pellizzato M. (2006) - *Impatto delle attività di dragaggio di sabbie costiere per fini di ripascimento sulla risorsa Callista chione L. e sulla comunità macrobentonica*. Biologia Marina Mediterranea, 12: 324-329.
- Gismondi M. e Rinaldi A. (2002) - *Minimi termici nell'alto Adriatico ed effetti sulla fauna ittica*. Arpa Rivista 2/02
- ICRAM (2001) - *Intervento di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine: caratterizzazione dell'area di prelievo in mare*. Relazione preliminare. ICRAM, Roma.
- Kenny A.J. e Rees H.L. (1994) - *The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos; early post-dredging recolonisation*. Marine Pollution Bulletin, 28(7): 442-447.
- Kenny A.J. e Rees H.L. (1996) - *The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos. Results 2 years post-dredging*. Marine Pollution Bulletin, 32: 615-622.
- Matteucci M. e Frascari F. (1997) - *Fluxes of suspended materials in the north Adriatic sea (po prodelta area)*. Water, Air and Soil Pollution, 99: 557-572.
- Newell R.C., Seiderer, L.J. e Hitchcock D.R. (1998) - *The impact of dredging work in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed*. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 36: 127-178.
- Preti M. (2002) - *Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna*. Studi costieri, 5: 107-134.
- Preti M. (2002) - *Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2000*. Quaderni di Arpa, Arpa Linea Editoriale, Bologna, Italy.
- Robinson J.E., Newell R.C., Seiderer L.J. e Simpson N.M. (2005) - *Impacts of aggregate dredging on sediment composition and associated benthic fauna at an offshore dredge site in the southern North Sea*. Marine Environmental Research, 60: 51-68.
- Sardà R., Pinedo S., Gremare A., e Taboada S. (2000) - *Changes in the dynamics of shallow sandy bottoms assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea*. ICES Journal of Marine Science, 57: 1446-1453.
- Simonini R., Ansaloni I., Bonvicini Pagliai A.M., Cavallini F., Iotti M., Mauri M., Montanari G., Preti M., Rinaldi A. e Prevedelli D. (2005) - *The effects of sand extraction on the macrobenthos of a relict sands area (northern Adriatic Sea): results 12 months post-extraction*. Marine Pollution Bulletin, 50: 768-777.
- Simonini R., Ansaloni I., Bonini P., Grandi V., Graziosi F., Iotti M., Massamba-N'Siala G., Mauri M., Montanari G., Preti M., De Nigris N. e Prevedelli D. (2007) - *Recolonization and recovery dynamics of the macrozoobenthos after sand extraction in relict sand bottoms of the Northern Adriatic Sea*. Marine Environmental Research, 64: 574-589
- Underwood A.J. (1994) - *On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances*. Ecological Application, 4: 3-15.
- Van der Veer H.W., Bergman M.J.N. e Beukema J.J. (1985) - *Dredging activities in the Dutch Wadden Sea: effects on macrobenthic infauna*. Netherlands Journal of Sea Research, 19: 183-190.
- Van Dalen J.A., Essink K., Toxvig Madsen H., Birklund J., Romero J., e Manzanera M. (2000). *Differential responses of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean*. ICES Journal of Marine Science, 57: 1439-1445.
- Van Dalen J.A. e Essink K. (1997) - *Risk analysis of coastal nourishment techniques in the Netherlands (RI-ACON)*. National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ.
- Whang X.H. e Pinardi N. (2003) - *Modelling the dynamics of sediment transport and resuspension in the northern Adriatic Sea*. Journal of Geophysical Research, 107: 1-23.

Ricevuto il 24/01/2008, accettato il 01/12/2009.

Osservazioni sulla fauna demersale in un'area di dragaggio (Alto Adriatico) per ripascimento: risultati dei campionamenti pre- e post-escavo.

Gianluca Franceschini¹, Emanuela Fanelli², Monica Panfili³, Otello Giovanardi¹

¹Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, ex-ICRAM) - STS Chioggia, Loc. Brondolo, 30015 Chioggia (VE)

²IAMC-CNR Laboratorio di Ecologia Marina - Via G. da Verrazzano 17, 91014 Castellammare del Golfo (TP)

³ISMAR - Largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona

Riassunto

Sabbia relitta situata al largo della costa ravennate è stata utilizzata per operazioni di ripascimento spiagge emiliano-romagnole nel 2001. L'area destinata al prelievo è stata campionata con attrezzi da pesca a strascico e tremaglio in periodi corrispondenti alla fase di pre- e post-dragaggio. I campionamenti sono stati condotti a bordo di motopescherecci commerciali. Ogni uscita ha previsto due cale da effettuare dentro l'area interessata dal dragaggio e altre due fuori. Complessivamente le due tipologie di campionamento non hanno evidenziato sostanziali differenze nella composizione specifica o nell'abbondanza del pescato prima e dopo il dragaggio. Il popolamento ittico demersale, quindi, sembra aver risentito solo marginalmente del prelievo di sabbia. La variabilità delle catture riscontrata nelle diverse campagne di pesca riflette sia quella tipica stagionale che quella dovuta alle operazioni di dragaggio. Le difficoltà pratiche incontrate nello svolgimento dei campionamenti stessi (in particolare l'accidentalità del fondale all'interno dell'area dragata) hanno reso difficile distinguere l'effetto determinato dai singoli fattori. E' comunque evidente che ci sono delle indicazioni positive circa un recupero, almeno della frazione commerciale, rispetto alla situazione pre-dragaggio. Nella valutazione complessiva dei risultati fin qui ottenuti, tale elemento va comunque inquadrato in un contesto nel quale le condizioni ambientali di partenza (limitata estensione della superficie interessata dai lavori, assenza di *nurseries* all'interno dell'area interessata dal dragaggio, specie commerciali soprattutto demersali o nectoniche) erano tali da minimizzare l'impatto dell'operazione di ripascimento sulla pesca commerciale. L'area oggetto di studio, infine, è una zona in cui la pressione di pesca è relativamente ridotta a causa della lontananza dalla costa (circa 30 miglia) e dell'assenza di un popolamento ittico di rilevante valore commerciale.

Parole chiave: pesca, strascico, tremaglio, dragaggio, sabbia, fauna ittica.

Abstract

In 2001 relict sand in a site offshore Ravenna (Italy) was extracted in the framework of a beach renourishment programme. The site was sampled using otter-trawl before and after extraction, aboard commercial fishing boats. Each sampling occasion was represented by two hauls inside the impacted site and two in the surrounding area. No significant differences were detected in the commercial catch composition, either in space or time, before dredging. Due to the extraction methodology, the otter-trawl hauls inside the impacted area were highly hampered after sand was removed, so trammel nets were deployed inside and outside the site in order to add and integrate data on commercial fish fauna during the post-operam phase.

No substantial differences were detected by the two sampling gears in catch composition and abundance that could be directly linked to the dredging operations or that differed from normal seasonal changes. It should be underlined, however, that local environmental conditions could have minimised the impact from the beginning: the relatively small surface affected by dredging, the apparent absence of nursery areas and of demersal or nektonic fish populations of commercial interest.

Keywords: fishery, trawling, trammel-net, dredging, sand, fish fauna.

Introduzione

Il litorale dell'Emilia Romagna ha uno sviluppo costiero di 130 Km ed è suddiviso in 4 province (Rimini, Forlì, Ravenna e Ferrara) e 14 comuni. Dal punto di vista morfologico questo tratto costiero è interamente costituito da costa bassa e sabbiosa ed è interrotto ogni 10-15 Km circa dalle foci di torrenti e fiumi, che hanno sempre garantito, con il loro apporto solido, l'alimentazione delle spiagge.

Lo sviluppo turistico in Adriatico e più in generale nel bacino Mediterraneo è altamente dipendente dalla gestione delle spiagge. Le spiagge subiscono naturalmente dei fenomeni di lenta erosione e di accumulo di sedimenti. Negli ultimi anni esse sono divenute un'attrattiva per diversi propositi ricreativi: lo sviluppo di città e paesi sulla costa ha creato un forte disturbo al naturale equilibrio del loro profilo di erosione ed accrescimento e sempre più crescente è la necessità di azioni correttive in questi ambienti (Sardà et al., 2000). I normali fenomeni di erosione sono stati inoltre alterati dalle modificazioni avvenute a carico del regime di molti fiumi e torrenti proprio a causa della massiccia realizzazione di opere di costruzione in prossimità di essi: ciò ha determinato un ridotto dilavamento delle terre con conseguente diminuzione degli apporti di sedimenti in mare. In diverse situazioni il ripascimento delle spiagge è il mezzo preferibilmente utilizzato per la loro protezione rispetto ad altri metodi strutturali, che si sono rilevati fallimentari nel tempo (Clark, 1983). Tra il 1983 e il 1999 in Emilia Romagna sono stati realizzati diversi interventi di ripascimento utilizzando circa tre milioni di m³ di sabbia, proveniente da cave a terra, da accumuli litoranei e dal dragaggio di porti (dati ARPA, 2001). La scarsità di risorsa, gli alti costi, l'impatto ambientale dovuto all'apertura di nuove cave e il trasporto via terra, unitamente agli alti livelli di contaminazione che spesso si rilevano nei sedimenti portuali hanno portato in quest'area adriatica, come in altre parti del bacino mediterraneo (Mar Catalano, Mar Tirreno Centrale) o del mondo (Hong Kong, Cina; Miami, USA), a ricercare aree al largo ove fossero presenti depositi di sabbie relitte.

In base a quanto detto, la Regione Emilia Romagna ha approntato uno studio per l'individuazione di un'area off-shore dove effettuare il prelievo di sabbie ai fini del ripascimento.

L'area scelta per il prelievo delle sabbie relitte è sita al largo di Ravenna; tali sabbie sono state utilizzate nell'ambito del progetto di ripascimento di 9 tratti del litorale emiliano-romagnolo, da Lido di Classe (Ravenna) a Misano (Rimini), per un prelievo complessivo di circa 1.000.000 di m³ di sabbie.

Gli studi effettuati nel progetto sono stati tesi a valutare le condizioni al contorno prima e dopo l'inizio dei lavori. La caratterizzazione del fondale è stata effettuata sovrapponendo informazioni relative ai parametri fisico-chimici della matrice acqua (trasmissanza, pH, salinità, temperatura, ossigeno disciolto, clorofilla "a" e nutrienti) e dei sedimenti (descrizione macroscopica dei materiali, granulometria, contenuto di elementi in tracce, IPA, PCB, sostanze organoclorurate, sostanza organica), biologici (campionamenti della fauna macrobentonica e campagna di pesca a strascico, per la definizione delle specie demersali), e microbiologici nei sedimenti (analisi batteriologiche e virologiche).

In questo lavoro vengono riportati i risultati delle analisi relative a campagne di pesca eseguite prima e dopo i dragaggi, negli anni 2001-2004.

Materiali e metodi

L'area destinata al prelievo è stata campionata in diversi periodi, corrispondenti alla fase di pre- e post-dragaggio. I campionamenti sono stati condotti a bordo di motopescherecci commerciali, ed il personale coinvolto (pescatori professionisti), le procedure usate e i materiali impiegati hanno reso queste cale del tutto comparabili con quelle normalmente svolte durante l'attività di pesca professionale.

Le caratteristiche tecniche dei pescherecci utilizzati - e delle loro reti - sono riportate nella Tab. 1. L'impiego di barche da pesca diverse è da attribuirsi ad imprevisti tecnici; ciò ha limitato la comparabilità delle osservazioni.

Tabella 1 - Dati tecnici dei motopescherecci e delle reti a strascico impiegate per la pesca.

		Pipeta	Ulisse	Palma II
	Porto	Fano	Marina di Ravenna	Chioggia
	Matricola	1PS447	RA 3774	CI 3227
	Anno di costruz.	1967	1977	1980
	LFT/TSL	26 / 75	17 / 21,2	21 / 43,5
	HP/giri max	300 / 400	270 / 2000	300 / 1900
Divergenti	Tipo	Rettangolari piatti	Rettangolari piatti	Rettangolari piatti
	Materiale	Legno	Legno	Legno
	Dimensioni (cm)	1750x900	190x65	210x135
	Peso (Kg)	170	210	150
Calamenti	Materiale	Cavo misto	Cavo misto	Cavo misto
	Diametro (mm)	22	20	26
	Lunghezza (m)	250	50	180
Cavo da traino	Materiale	Acciaio inox	Acciaio inox	Acciaio inox
	Diametro (mm)	12	10	12
Galleggianti	Diametro (mm)	120	200	200
	Numero	50	12	15
Lima da sugheri	Lunghezza (m)	32	32	50
Lima da piombi	Lunghezza (m)	41	38	50
Catena	Lunghezza (m)	5	assente	45
Piombi/Catene	Peso (Kg)	40	70	300

In ogni caso durante il campionamento si è impiegato un tipo di rete italiana a strascico, chiamato "coccia" e diffuso presso alcune marinerie dell'Alto Adriatico.

Il piano di campionamento ha previsto due cale da effettuare dentro l'area interessata dal dragaggio e altre due fuori, una sul lato nord ed una sul lato sud.

Ad ogni cala è stato assegnato un codice, composto da una lettera (D per dentro ed F per fuori l'area dragata) seguita dall'indicazione temporale: t0 rappresenta i campionamenti eseguiti prima del dragaggio (Aprile 2001 - Tab. 2), t1 e t2 quelli realizzati ad Agosto e Dicembre 2002, t3 e t4, rispettivamente, quelli di Giugno e Dicembre 2003 (Fig. 1).

Tabella 2 - Dettaglio delle cale pre-dragaggio (t0) effettuate ad Aprile 2001.

Cala	Codice*	Inizio		Fine		Inizio		Fine	
		Lat	Long	Lat	Long	Ora	Prof.	Ora	Prof.
1	D_t01	44° 27' ,361	12° 58' ,927	44° 28' ,269	13° 01' ,247	6:56	49,4	7:28	45,8
2	D_t02	44° 28' ,524	13° 01' ,613	44° 26' ,946	13° 59' ,259	8:03	45,8	8:32	45,8
3	F_t0 S	44° 26' ,503	13° 01' ,818	44° 27' ,968	13° 03' ,190	9:12	48,5	9:41	48,5
4	F_t0 N	44° 27' ,900	12° 58' ,056	44° 29' ,457	12° 59' ,274	10:32	48,5	11:01	48,5

*D: cale interne all'area dragata (cala 1 e 2); F: cale esterne all'area dragata (a Nord e a Sud).

Una volta salpata la rete, il contenuto del "cod-end" (sacco della rete) di ogni cala è stato suddiviso in due categorie: commerciale (tutte le specie di interesse commerciale e di taglia commercializzabile) e scarto (catture accessorie di specie non commerciali o commerciali sottotaglia). Il commerciale è stato immediatamente processato a bordo: si è proceduto all'identificazione fino al più basso livello tassonomico possibile, al conteggio del numero di individui, alla determinazione del peso complessivo (approssimato ai 100 g inferiori con una stadera) e della lunghezza totale (TL) di alcune specie. Lo scarto totale è stato subcampionato e posto in formalina al 4% tamponata per essere analizzato successivamente.

In laboratorio si è poi proceduto all'identificazione dei campioni dello scarto al livello tassonomico più basso

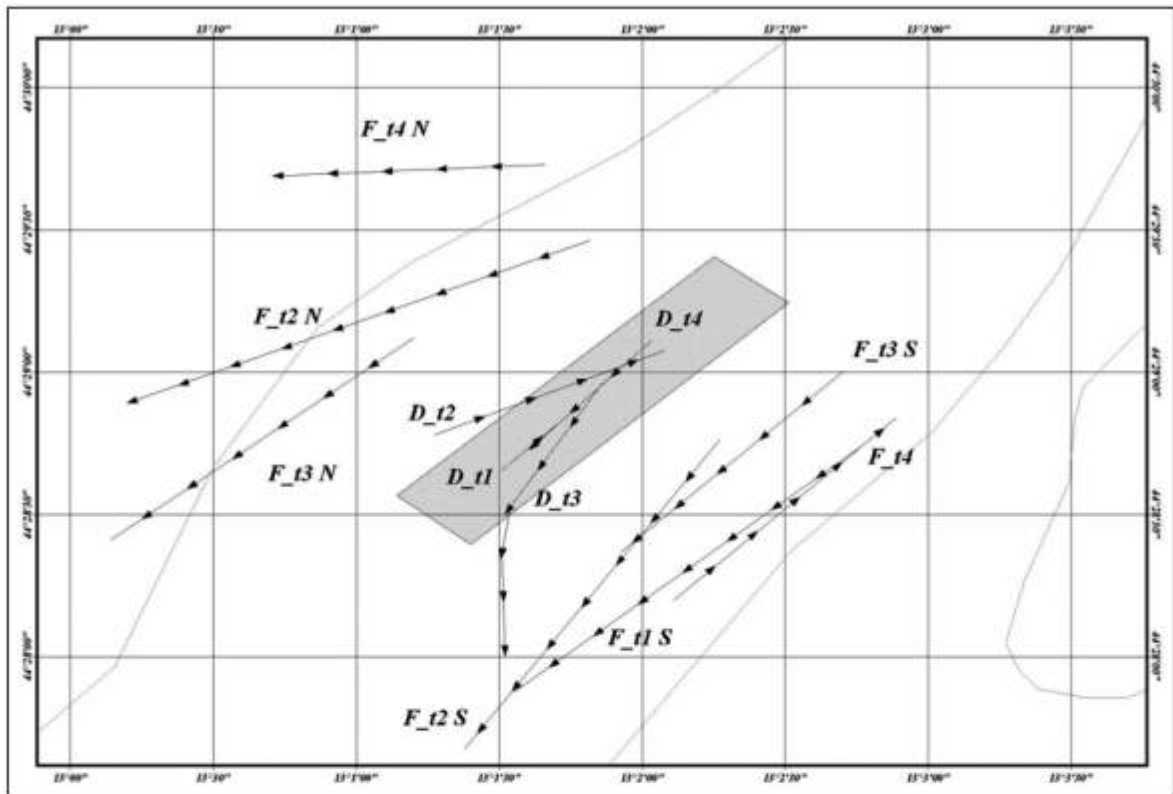


Figura 1 - Mappa dei campionamenti a strascico post-dragaggio effettuati dentro (D) e fuori (F) l'area interessata dai lavori di escavo (in grigio).

possibile, determinandone al contempo l'abbondanza ed il peso complessivo (allo 0,1 g inferiore) per specie. Per rendere comparabili tra loro l'abbondanza ed il peso delle catture effettuate, le cale sono state standardizzate ad un'ora di durata e all'area strascicata (in Km²) calcolata in base alla lunghezza della cala e ad una stima della distanza tra i divergenti durante la pesca.

All'interno dell'area dragata le operazioni di movimentazione hanno causato la formazione di numerosi avvallamenti, rendendo difficoltoso, se non impossibile, il campionamento della fauna con rete a strascico. Non si è potuto quindi replicare il campionamento, viste le enormi difficoltà nell'effettuare la prima cala. All'esterno, invece, si sono avuti problemi tecnici relativi ad afferrature (t1 e t2) ed alla grande quantità di scarto raccolta, che ha determinato uno strappo della rete e la rottura di un calamento in t2 (Tab. 3).

In conseguenza di ciò, i dati raccolti con rete a strascico sono stati integrati con quelli ottenuti mediante

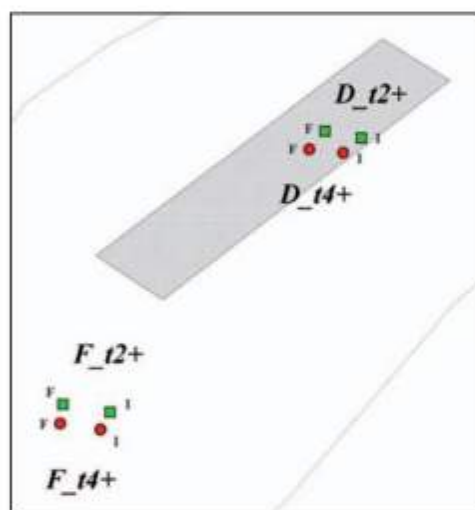
Tabella 3 - Dettaglio della validità delle cale pre- e post-dragaggio con i relativi problemi riscontrati sul campo.

Codice	Tipo	Motivo	Codice	Tipo	Motivo
D_t0 1	Valida		F_t0 N	Valida	
D_t0 2	Valida		F_t0 S	Valida	
D_t1 1	Non Valida	Afferratura	F_t1 S	Non Valida	Afferratura
D_t1 2		Non effettuata	F_t1 N		Non effettuata
D_t2 1	Non Valida	Afferratura	F_t2 N	Non Valida	Afferratura
D_t2 2		Non effettuata	F_t2 S	Non Valida	Rottura calamenti
D_t3 1	Valida		F_t3 N	Valida	
D_t3 2		Non effettuata	F_t3 S	Valida	
D_t4 1	Non Valida	Afferratura	F_t4 N	Valida	
D_t4 2		Non effettuata	F_t4 S	Valida	

attrezzo fisso (tremaglio) nei mesi di Aprile 2003 e 2004. I campionamenti con tremaglio sono stati effettuati sia dentro la zona dragata che fuori, con una rete avente le seguenti caratteristiche: lunghezza totale 800 m; altezza 3 m; pannello interno in monofilamento di poliammide con maglie di 72 mm di apertura; pannelli esterni in monofilamento di poliammide con maglie di 400 mm di apertura. I dettagli tecnici delle cale effettuate con questo tipo di attrezzo sono riportati nella Tab. 4. Per distinguere tali campionamenti da quelli con lo strascico, il codice abbinato è contraddistinto da un "+" (Fig. 2).

Tabella 4 - Pesca con tremaglio: dettagli tecnici delle cale.

	Cala	Area	Codice	Inizio		Fine	
				Lat.	Long.	Lat.	Long.
Aprile 2003	1	dentro	D_t1+	44° 28.957	13° 02.143	44° 29.036	13° 02.020
	2	fuori	F_t1+	44° 27.920	13° 01.180	44° 28.000	13° 00.840
Aprile 2004	1	dentro	D_t2+	44° 28.970	13° 02.017	44° 28.999	13° 01.787
	2	fuori	F_t2+	44° 27.879	13° 01.165	44° 27.872	13° 00.948



A causa delle difficoltà descritte in precedenza (vedi Tab. 3), l'analisi dei dati è stata prevalentemente di tipo qualitativo, cercando di confrontare i risultati ottenuti con quelli disponibili in letteratura.

Un MDS non parametrico è stato effettuato sulla matrice di presenza-assenza (distanza di Bray-Curtis) dell'intero popolamento (commerciale e scarto) per comparare le differenze fuori e dentro il sito di prelievo, prima e dopo il dragaggio. Alcuni indici strutturali (diversità specifica, evenness e dominanza) sono stati calcolati. Il test non parametrico del χ^2 (correzione di Yates) è stato applicato alle frequenze percentuali delle diverse specie/taxa per stimare dove le differenze dentro-fuori e pre-post fossero significative. Le analisi sono state effettuate con i software PRIMER 6.0 (Clarke e Warwick, 1994) e STATISTICA 6.

Figura 2 - Mappa dei campionamenti effettuati con tremaglio dentro e fuori l'area dragata. Con "I" ed "F" sono indicati rispettivamente i punti del posizionamento delle boe di inizio e fine rete.

Risultati

L'analisi del popolamento ittico delle campagne di pesca ha permesso di identificare in tutto 66 taxa, dei quali 40 nella frazione commerciale e 26 nello scarto (Tabb. 5 e 6).

Da un punto di vista qualitativo il popolamento presente (commerciale e scarto) dentro e fuori non differisce prima del dragaggio (Fig. 3), mentre si osserva una netta separazione tra le comunità nella fase post. Il numero totale di specie nell'area dragata è inferiore a quello osservato nel sito prima dell'escavo ($N_{it0}=45$; $N_{itpost}=36$), mentre la diversità specifica (calcolata con l'indice di Shannon e Wiener) non è significativamente differente ($H'_{it0}=3.81$; $H'_{itpost}=3.58$). Ciò indica che le differenze sono più qualitative che quantitative, dovute ad una sostituzione di specie nell'area di prelievo prima e dopo il dragaggio.

Le differenze pre-post maggiori in numero di specie si riscontrano nella frazione commerciale pescata dentro l'area (26 contro 17; $H'_{it0}=3.26$; $H'_{itpost}=2.83$), attribuibili all'assenza quasi totale di Molluschi e Pesci cartilaginei dopo i lavori. Non sono invece state evidenziate differenze di rilievo nei Pesci ossei e nella frazione dello scarto prima e dopo l'escavo. In particolare il numero di specie nello scarto è rimasto invariato ($N=19$). L'analisi dei rendimenti orari (kg/h) delle catture è stata effettuata distinguendo le categorie del commerciale e dello scarto e riportando per confronto anche i dati (mediati) ottenuti in fase di pre-escavo (Tab. 7); le differenze tra i rendimenti orari (in termini percentuali) della frazione commerciale pescata dentro l'area prima e dopo il prelievo delle sabbie sono significative ($\chi^2=7.22$; $p<0.05$); non ci sono variazioni significative nello

scarto. Un trend opposto, con differenze significative nello scarto ($\chi^2=4.50$; $p<0.05$) e non nel commerciale, si osserva invece per le due frazioni al di fuori dell'area dragata.

Tabella 5 - Lista faunistica delle specie commerciali catturate con rete a strascico dentro e fuori l'area dragata, al tempo t0 e nelle fasi di post-dragaggio.

Phylum	Specie	Dentro	Dentro	Fuori	Fuori
		pre	post	pre	post
MOLLUSCHI	<i>Aequipecten opercularis</i>	*		*	*
	<i>Pecten jacobaeus</i>	*			*
	<i>Allothautis media</i>	*		*	*
	<i>Eledone moschata</i>	*		*	*
	<i>Illex coindetii</i>			*	
	<i>Loligo vulgaris</i>	*		*	*
	<i>Octopus vulgaris</i>	*		*	*
	<i>Sepia elegans</i>	*	*	*	*
	tot		7	1	7
VERTEBRATI	<i>Galeorhinus galeus</i>	*			
	<i>Raja asterias</i>				*
	<i>Raja clavata</i>	*			*
	<i>Scyliorhinus canicula</i>	*		*	*
	<i>Squalus acanthias</i>				*
	<i>Squalus blainvillei</i>				*
tot		3	0	1	5
Pesci ossei	<i>Boops boops</i>		*	*	*
	<i>Cepola macrophthalmia</i>	*		*	
	<i>Citharus linguatula</i>				*
	<i>Engraulis encrasicolus</i>		*		*
	<i>Eutrigla gurnardus</i>				*
	<i>Gobius niger</i>	*	*	*	*
	<i>Lophius piscatorius</i>	*		*	
	<i>Merlangius merlangus</i>	*		*	
	<i>Merluccius merluccius</i>	*	*	*	*
	<i>Microchirus variegatus</i>	*	*	*	*
	<i>Micromesistius poutasou</i>		*		*
	<i>Mullus barbatus</i>		*	*	*
	<i>Mullus surmuletus</i>		*		*
	<i>Pagellus erythrinus</i>	*	*	*	*
	<i>Phrynorhombus regius</i>			*	
	<i>Sardina pilchardus</i>	*	*	*	*
	<i>Scomber scombrus</i>	*		*	*
	<i>Scorpaena notata</i>	*	*	*	*
	<i>Scorpaena porcus</i>	*		*	
	<i>Solea kleini</i>		*	*	*
	<i>Trachinus draco</i>	*		*	*
	<i>Trachurus trachurus</i>		*	*	*
	<i>Trigla lucerna</i>	*	*	*	*
	<i>Trigloporus lastoviza</i>	*	*	*	*
	<i>Trisopterus minutus capelanus</i>	*	*	*	
	<i>Zeus faber</i>	*		*	*
	tot		16	16	21
TOTALE		26	17	29	32

Tabella 6 - Lista faunistica delle specie dello scarto catturate con rete a strascico dentro e fuori l'area dragata, al tempo t0 e nelle fasi di post-dragaggio.

Phylum	Specie	Dentro	Dentro	Fuori	Fuori
		pre	post	pre	post
PORIFERI	Poriferi spp.	*		*	*
CNIDARI	<i>Alcyonum palmatum</i>	*			*
MOLLUSCHI	<i>Atrina fragilis</i>	*	*		*
	Opisthobranchia spp.			*	
	<i>Scaphander lignarius</i>	*			
ANELLIDI	<i>Aphrodita aculeata</i>	*	*	*	
ARTROPODI	<i>Liocarcinus depurator</i>	*	*	*	*
ECHINODERMI	<i>Anseropoda placenta</i>	*	*	*	*
	<i>Astropecten irregularis</i>		*	*	*
	<i>Echinaster sepositus</i>			*	*
	<i>Echinus acutus</i>	*	*	*	*
	<i>Holothuria forskali</i>	*	*	*	*
	<i>Holothuria tubulosa</i>	*	*	*	*
	<i>Marthasterias glacialis</i>	*	*	*	*
	<i>Ocnus planci</i>	*		*	*
	<i>Psammechinus microtuberculatus</i>	*	*	*	*
TUNICATI	<i>Botryllus</i> sp.				*
	<i>Phallusia mamillata</i>		*	*	*
VERTEBRATI	<i>Arnoglossus laterna</i>		*	*	*
	<i>Arnoglossus thori</i>	*		*	
	<i>Blennius ocellaris</i>		*		*
	<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>	*	*		*
	<i>Lepidotrigla cavillone</i>	*	*	*	*
	<i>Serranus hepatus</i>	*	*	*	*
	<i>Spicara flexuosa</i>	*	*	*	*
	<i>Spicara smaris</i>	*	*		*
TOTALE		19	18	19	22

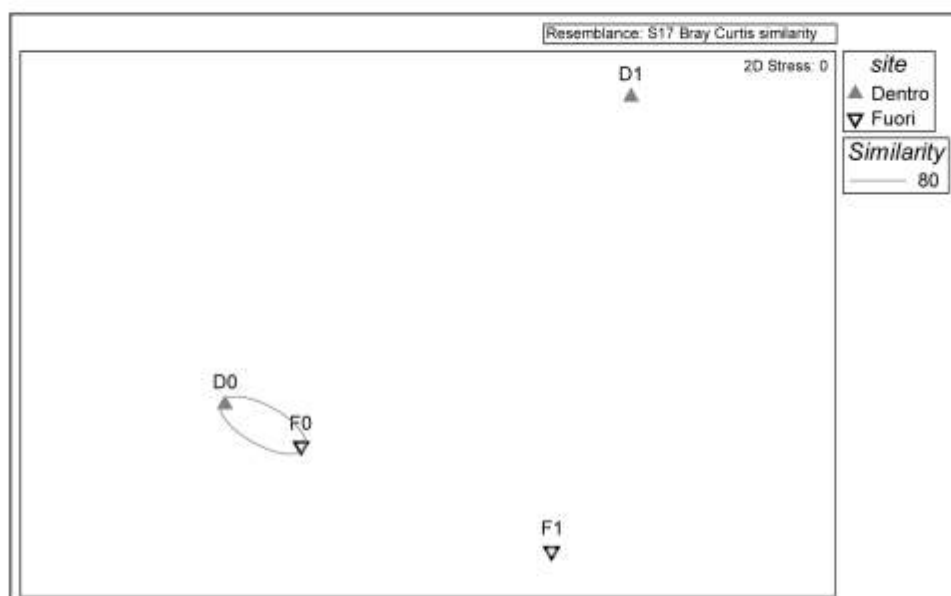


Figura 3 - nMDS (Distanza di Bray-Curtis, presenza-assenza) del popolamento (commerciale e scarto) dentro e fuori l'area di dragaggio (D e F), prima (0) e dopo (1) il prelievo delle sabbie. L'ellisse raggruppa i popolamenti dentro e fuori l'area dragata al tempo 0, all'80% di similarità (overlay cluster).

Tabella 7 - Rendimenti orari (kg/h) delle catture commerciali e dello scarto nei campionamenti 2003 effettuati dentro e fuori l'area dragata, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0). cnv = cala non valida.

	D_t0	D_t3	D_t4	F_t0	F_t3	F_t4
commerciale	40,74	45,44	cnv	32,95	24,92	21,45
scarto	262,28	238,32	cnv	134,64	95,75	335,07

Rispetto alla situazione pre-dragaggio (t0) il rendimento delle catture commerciali è diminuito, sia fuori che dentro, anche se, confrontando la percentuale relativa delle due frazioni, si può notare una sostanziale uniformità del loro rapporto nel tempo, ad eccezione dei valori di F_t4 (Fig. 4).

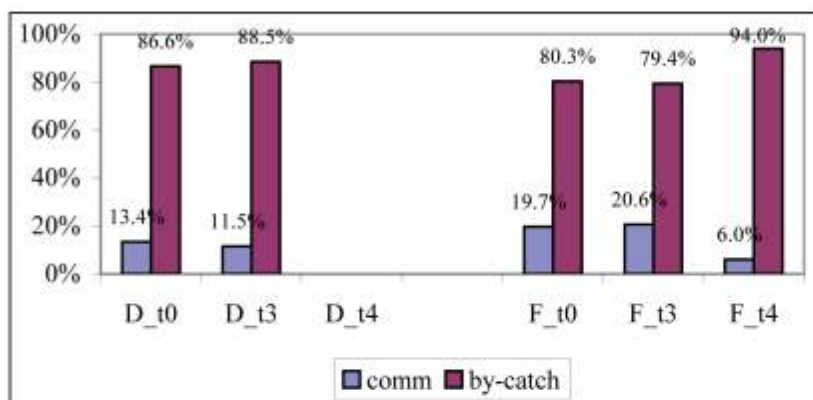


Figura 4 - Composizione % delle catture commerciali e dello scarto nei campionamenti del 2003 effettuati dentro e fuori l'area dragata, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0), sulla base dei rendimenti orari.

Tabella 8 - Medie dei rendimenti orari (kg/h) delle catture commerciali e dello scarto nei campionamenti 2003 dentro e fuori l'area dragata, a confronto con la situazione pre-dragaggio.

	D_t0	D_t3	F_t0	F_med
commerciale	40,74	45,44	32,94	24,03
scarto	262,28	238,32	134,64	299,13
tot	303,02	283,76	167,58	323,16

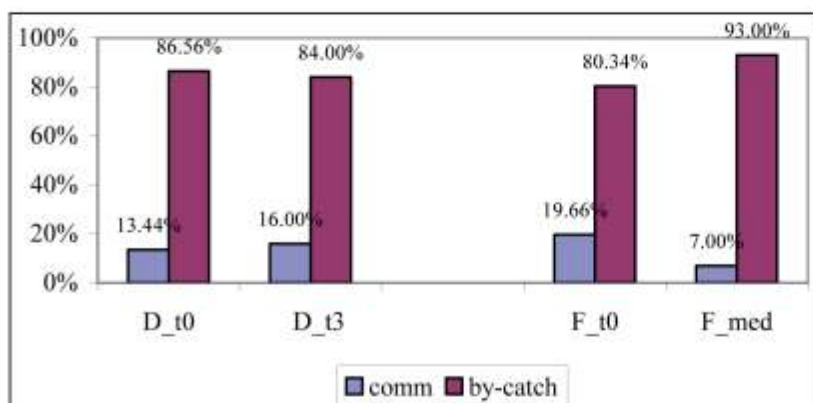


Figura 5 - Composizione % delle catture commerciali e dello scarto dentro e fuori dall'area del prelievo, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0), sulla base dei rendimenti orari medi.

Date le difficoltà evidenziate nella sezione precedente, i rendimenti ottenuti nelle diverse fasi di campionamento (cale valide) sono stati mediati in modo da avere un unico termine di confronto con la situazione pre-dragaggio. All'interno dell'area dragata la media è stata fatta solo sul t0 (2 cale), dato che nella fase post la sola cala t3 è risultata valida.

Come si può notare, il rendimento delle catture commerciali all'interno dell'area (D_t3) è superiore alla situazione pre-dragaggio (D_t0), mentre lo scarto è diminuito. All'esterno (F_med) si osserva una diminuzione del commerciale ed un aumento dello scarto (Tab. 8); tali differenze non sono però significative, evidenziando un trend di normalizzazione (possibile ritorno alle condizioni pre-escavo) dopo due anni.

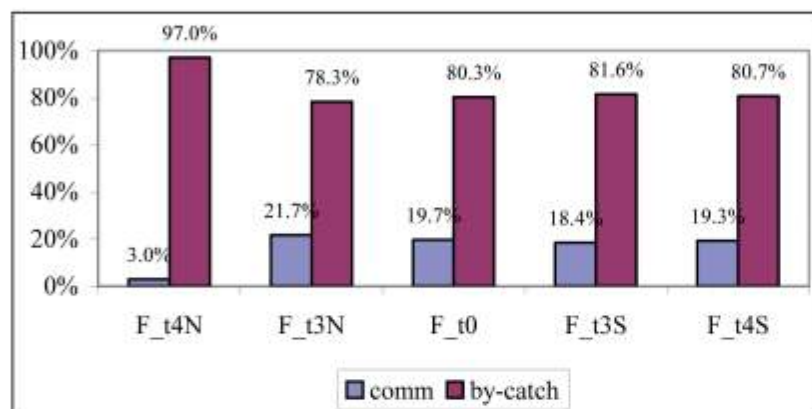
In termini percentuali, tuttavia, all'interno dell'area il rendimento delle catture al tempo t0 rispetto al rendimento in t3 sembra relativamente immutato, mentre all'esterno i valori appaiono molto diversi, con un netto aumento dello scarto rispetto al commerciale (Fig. 5).

Mettendo a confronto i dati a sud e a nord dell'area di dragaggio, si può notare come i rendimenti nelle due zone non mostrano un trend comune in relazione al tempo e allo spazio (Tab. 9).

Tabella 9 - Rendimenti orari (kg/h) delle catture commerciali e dello scarto nell'area circostante a sud (S) e a nord (N) di quella del prelievo, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0).

	F_t3 N	F_t4 N	F_t0	F_t3 S	F_t4 S
commerciale	17,11	35,76	32,95	14,07	25,78
scarto	562,50	129,18	134,64	62,31	107,63

La composizione percentuale delle catture per quanto riguarda le due frazioni del pescato rimane pressochè costante nella zona sud in entrambe le campagne del 2003, mentre a nord la frazione commerciale dopo un aumento in Giugno, mostra un forte decremento in Dicembre (Fig. 6).



La frazione commerciale dopo un aumento in Giugno, mostra un forte decremento in Dicembre (Fig. 6).

Figura 6 - Composizione % delle catture commerciali e dello scarto fuori dall'area del prelievo, a nord (sinistra) e a sud (destra), a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0) sulla base dei rendimenti orari.

Frazione commerciale

La frazione commerciale risulta composta da Molluschi e Vertebrati, sia dentro che fuori (Tab. 10). Confrontando i rendimenti orari medi prima e dopo il dragaggio, si osserva una diminuzione generale dei Molluschi in entrambe le aree (più marcata fuori), mentre si assiste ad un andamento opposto per i Vertebrati, che aumentano all'interno e diminuiscono all'esterno.

Tabella 10 - Medie dei rendimenti orari (kg/h) delle catture commerciali divise per Phylum dentro e fuori l'area dragata, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0).

Phylum	D_t0	D_t3	F_t0	F_med
Molluschi	11,71	11,34	8,86	4,87
Vertebrati	29,03	34,10	24,09	19,16

Tabella 11 - Medie dei rendimenti orari (kg/h) delle catture commerciali divise per Classi dentro e fuori l'area dragata, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0).

Classe	D_t0	D_t3	F_t0	F_med
Bivalvi	0,62	0,00	5,10	0,11
Cefalopodi	11,09	11,34	3,76	4,77
Condroitti	11,61	3,00	0,93	2,44
Osteitti	17,42	31,10	23,16	16,72

invertita rispetto all'area interessata dal dragaggio, con un aumento dei rendimenti dei pesci cartilaginei ed una diminuzione di quelli dei pesci ossei.

I dati relativi alla composizione percentuale dei rendimenti del commerciale (Fig. 7) mostrano come gli incrementi dei Cefalopodi non compensino le perdite dei Bivalvi con conseguente riduzione generale dei Molluschi sia dentro che fuori, mentre nel caso dei Vertebrati la loro quota complessiva aumenta in virtù di un opposto bilancio tra perdite dei pesci cartilaginei e aumenti dei pesci ossei. Eccezion fatta per i Bivalvi, si nota comunque una differenza dentro l'area (D_t0) nella distribuzione di tutte le altre Classi prima del dra-

Analizzando le catture a livello di Classe (Tab. 11), a seguito della movimentazione del fondale dentro l'area dragata si nota l'assenza dei Molluschi Bivalvi, un lieve incremento dei Cefalopodi, una netta riduzione nei Condroitti (pesci cartilaginei) e quasi un raddoppio dei rendimenti per gli Osteitti (pesci ossei).

Anche all'esterno dell'area i Molluschi mostrano un andamento simile, caratterizzato dalla netta diminuzione dei Bivalvi e da un aumento più marcato dei Cefalopodi. Per quanto riguarda i Vertebrati si osserva una situazione

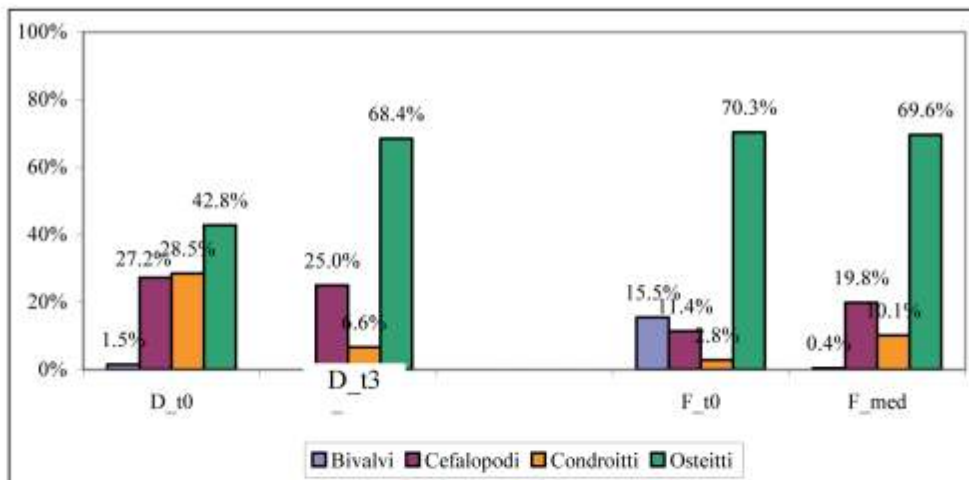


Figura 7 - Composizione % delle catture commerciali per Classi dentro e fuori dall'area di prelievo a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0), sulla base dei rendimenti orari medi.

Tabella 12 - Confronto tra valori medi di biomassa (kg/km²) di alcune specie commerciali pescate dentro e fuori l'area con quanto noto in letteratura.

Specie (nome comune)	Relini et al., 1999 (area di riferimento)	Dentro	Fuori
<i>Eledone moschata</i> (moscardino muschiato)	87,3 (Adriatico Sett.)	82,87	30,53
<i>Loligo vulgaris</i> (calamaro)	0,07-4,48 (mari italiani)	66,30	27,80
<i>Pagellus erythrinus</i> (fragolino)	12,5 (Adriatico Sett.)	29,87	59,15
<i>Trigla lucerna</i> (gallinella, pesce cocchio)	0,7-1 (mari italiani)	26,53	24,24
<i>Trigloporus lastoviza</i> (capone ubriaco)	< 3 (mari italiani)	14,82	6,78
<i>Trisopterus minutus</i> (merluzzetto)	56,57 (Adriatico Sett.)	31,04	2,15

erythrinus. E' da sottolineare che nelle singole cale sono stati registrati valori molto alti di biomassa per alcune specie, come per il moscardino (165,7 kg/km²) ed il calamaro (132,6 kg/km²) (D_t0), e per il fragolino (335,2 kg/km²) in F_t4 (a sud).

Scarto

Otto sono i Phyla rappresentati nello scarto, ma solamente gli Echinodermi sono presenti con più di una Classe (Tab. 13).

All'interno dell'area dragata Anellidi, Artropodi, Cnidari e Tunicati, a distanza di un anno e mezzo dall'attività di prelievo

Tabella 13 - Medie dei rendimenti orari (kg/h) del dello scarto divise per Phylum dentro e fuori l'area dragata, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0).

Phylum	D_t0	D_t3	F_t0	F_med
Anellidi	0,58	0,79	0,77	0,00
Artropodi	1,42	10,67	3,23	1,58
Cnidari	0,65	1,13	0,00	1,58
Echinodermi	217,32	212,67	104,22	266,50
Molluschi	3,87	0,00	0,21	0,00
Poriferi	28,47	0,00	9,54	7,50
Tunicati	0,00	4,23	2,23	4,50
Vertebrati	9,97	8,82	14,44	10,65

del sedimento, mostrano un incremento positivo nei valori osservati, mentre Echinodermi, Molluschi, Poriferi e Vertebrati diminuiscono. Particolarmente evidente è l'aumento degli Artropodi (rappresentati quasi esclusivamente da *Liocarcinus depurator*), che riportano un incremento di quasi un ordine di grandezza, e la comparsa dei Tunicati nelle catture, assenti nei campionamenti del t0. Al contrario Molluschi e, soprattutto, Poriferi, non sono stati rinvenuti nei campionamenti post dragaggio.

In conseguenza di ciò, il contributo in termini di rendimento percentuale dei vari Phyla alle catture, prima e dopo il dragaggio, appare abbastanza differente (Fig. 8) e tralasciando le componenti minori, solo i Vertebrati e gli Echinodermi si mantengono su percentuali relativamente stabili.

Per quanto riguarda quest'ultimo Phylum, l'analisi delle Classi (Tab. 14) mostra invece delle notevoli variazioni relativamente alla componente degli Echinoidei (in negativo) e degli Oloturioidei (in positivo) ed una fluttuazione positiva ma ridotta degli Asteroidei. Ciò determina una distribuzione percentuale nettamente diversa tra il prima ed il dopo dragaggio (Fig. 9).

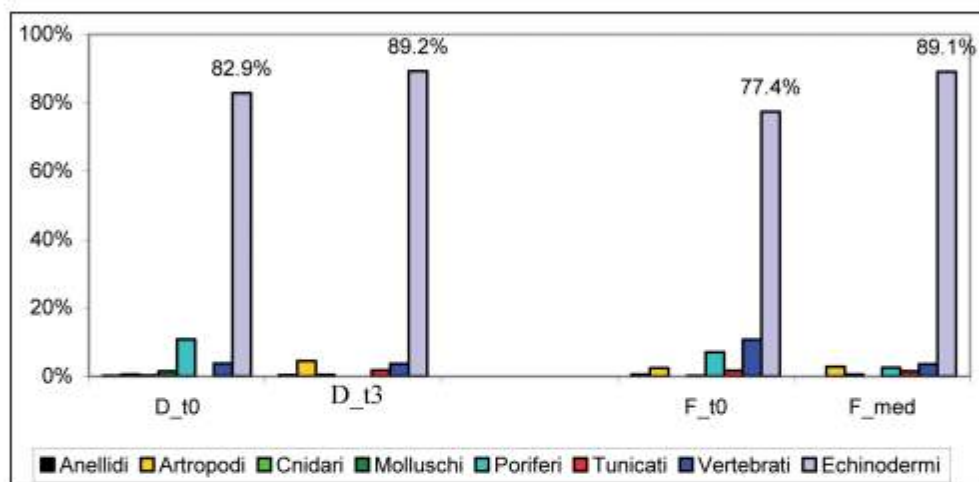


Figura 8 - Composizione % dello scarto per Phyla dentro e fuori l'area del prelievo a confronto con la situazione pre-dragaggio, sulla base dei rendimenti orari medi.

Tabella 14 - Medie dei rendimenti orari (kg/h) dello scarto divise per Classi (solo Echinodermi) dentro e fuori l'area dragata, a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0).

Classe	D_t0	D_t3	F_t0	F_med
Asteroidei	28,10	31,78	25,02	23,47
Echinoidei	97,36	21,68	13,24	9,72
Oloturioidei	91,86	159,21	65,96	233,31

All'esterno dell'area dragata i rendimenti di Artropodi, Cnidari, Echinodermi e Tunicati aumentano nel tempo, mentre quelli di Anellidi, Molluschi, Poriferi e Vertebrati diminuiscono e, a parte Anellidi ed Echinodermi, la situazione che si verifica è del tutto simile a quella che si osserva all'interno (Tab. 13).

L'incremento maggiore è stato registrato per gli Echinodermi, seguito da Artropodi e Tunicati. Tuttavia, considerando l'incremento relativo, gli Artropodi aumentano di 2,6 volte rispetto al t0, gli Echinodermi di 2,5 ed i Tunicati di poco più del doppio.

Al contrario, nel periodo successivo al dragaggio, Poriferi e Vertebrati mostrano un netto calo, Anellidi e Molluschi non vengono più rinvenuti (Fig. 8; Tab. 13).

Per quanto riguarda gli Echinodermi (Fig. 9) possiamo notare anche qui una riduzione della Classe degli Echinoidei (minore, come entità, rispetto all'area dragata), un aumento degli Oloturioidei (di proporzioni maggiori) ed una fluttuazione contenuta, stavolta negativa, degli Asteroidei.

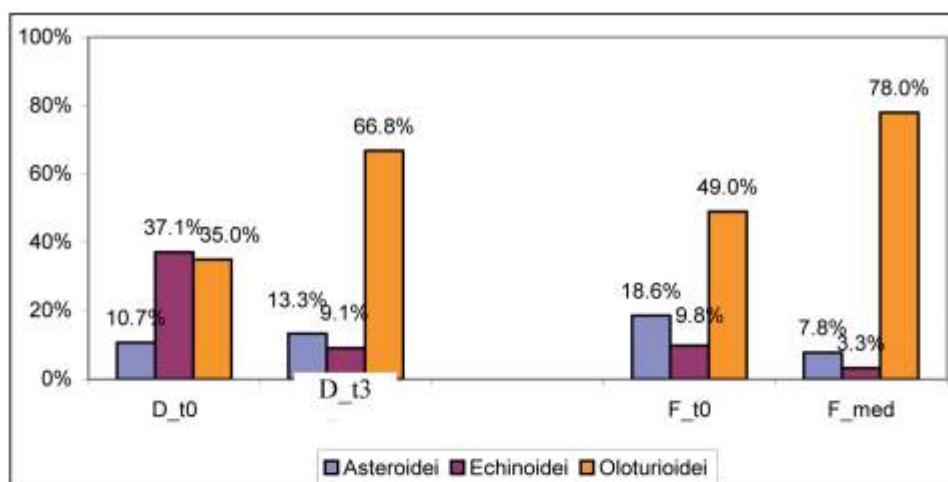


Figura 9 - Composizione % totale e per Classe degli Echinodermi dentro e fuori l'area del prelievo a confronto con la situazione pre-dragaggio (t0), sulla base dei rendimenti orari medi.

Pesca con tremaglio

L'analisi del pescato ottenuto con le reti tremaglio ha permesso di completare la definizione del popolamento ittico dell'area dragata e quella esterna. Complessivamente sono state catturate 14 specie di cui 4 all'esterno e 13 all'interno. Solo 3 specie sono state pescate in entrambe le zone. La Tab. 15 riporta le quantità di pescato ottenute dentro e fuori, espresse come kg/km di rete (in corsivo sono evidenziate le specie rinvenute nelle due cale e il totale parziale).

Questa situazione è abbastanza diversa rispetto a quella rilevata nel 2003 sia come numero di specie catturate (in totale 10 specie di cui 4 dentro e 10 fuori) sia come numero di individui e biomassa (Tab. 16). All'interno le specie appaiono decisamente più numerose nell'Aprile 2004.

A livello qualitativo, è evidente una marcata differenza nella composizione specifica delle catture che appaiono maggiormente diversificate all'interno dell'area di dragaggio, al contrario di quanto rilevato nel campionamento precedente.

Tabella 15 - Catture delle specie pescate con tremaglio dentro e fuori l'area dragata nell'Aprile 2004.

Specie	Dentro n/km	Fuori n/km	Dentro kg/km	Fuori kg/km
<i>Solea vulgaris</i>	18	4	2,40	0,60
<i>Trigla lucerna</i>	14	2	6,50	0,20
<i>Pagellus erythrinus</i>	2	2	0,20	0,60
Totale parziale	34	8	9,10	1,4
<i>Aequipecten opercularis</i>	8	0	0,10	0,00
<i>Eledone moschata</i>	2	0	0,70	0,00
<i>Sepia officinalis</i>	0	2	0,00	0,30
<i>Solea kleini</i>	2	0	0,30	0,00
<i>Mustelus mustelus</i>	4	0	7,40	0,00
<i>Merluccius merluccius</i>	2	0	0,90	0,00
<i>Aspitrigla sp.</i>	2	0	0,10	0,00
<i>Trisopterus minutus</i>	4	0	0,60	0,00
<i>Merlangius merlangus</i>	2	0	0,60	0,00
<i>Scomber japonicus</i>	2	0	0,50	0,00
<i>Myliobatis aquila</i>	2	0	20,00	0,00
Totale	64	10	40,3	1,7

Tabella 16 - Abbondanza e biomassa complessiva delle pescate con tremaglio effettuate nel 2003 e nel 2004 dentro e fuori l'area dragata.

	Apr-03	Apr-04	Apr-03	Apr-04
	D_t2+	D_t4+	F_t2+	F_t4+
n/km	46	64	47	10
kg/km	8,8	40,3	18,5	1,7
n. specie/km	4	13	10	4

Atkinson e Froggia, 2000) viene dai dati dello strascico. Tale specie, prelevata con tremaglio solo nel 2003, non è mai stata catturata con la rete a strascico (né dentro né fuori), le cui cale sono state effettuate sempre durante il mattino.

Discussione e conclusioni

L'analisi delle liste faunistiche ha mostrato una differenza nel numero di specie pescate prima e dopo le operazioni di escavo solo dentro l'area dragata ma, considerate le difficoltà di ottenere cale rappresentative ed il fatto che molte delle specie "mancanti" dopo il dragaggio non fossero presenti in grande quantità neanche prima dei lavori (Molluschi e Pesci cartilaginei), le due situazioni temporali si sono mantenute su livelli paragonabili. A riprova, osserviamo che nello scarto tale differenza è praticamente inesistente.

De Juan et al. (2007) hanno osservato un aumento del brachiuro *L. depunator* in aree sottoposte ad una forte pressione di pesca a strascico rispetto ad aree dove tale pesca è assente. Questa specie, nota come scavenger (si ciba cioè di animali morti) e caratterizzata da elevata mobilità, viene attratta nelle zone ove lo strascico (o il dragaggio, in questo caso), determinando un aumento degli animali morti altera la locale comunità bentonica (Ramsay et al., 1998). In maniera analoga le oloturie, caratterizzate in prevalenza da animali detritivori, beneficiano dell'aumento di sostanza organica determinata dalla movimentazione del fondale (Duplisea et al., 2002). Al contrario i filtratori (come i Bivalvi) diminuiscono drasticamente o scompaiono dall'area di dragaggio, poiché la risospensione del sedimento porta ad un incremento della richiesta biologica di ossigeno (Reimann e Holman, 1991) e può occludere gli organi respiratori.

I rendimenti orari della frazione commerciale risultano inferiori rispetto a quella di scarto, soprattutto a causa della massiccia presenza nelle catture degli Echinodermi (*Holothuria tubulosa* e *H. forskali*).

Durante il 2003 all'interno dell'area dragata i rendimenti relativi alle specie commerciali si sono ristabiliti ai livelli del periodo pre-dragaggio, mentre i valori dello scarto appaiono ancora inferiori rispetto a quanto rilevato nella fase di caratterizzazione, anche se in netta ripresa. Questo corrisponde a quanto atteso in una situazione nella quale è stata rimossa dal fondo marino la componente bentonica (predominante nello scarto) lasciando più o meno inalterata quella commerciale, rappresentata soprattutto da specie demersali mobili.

E' da sottolineare, inoltre, che sebbene il numero di specie sia simile, la frazione di scarto mostra una composizione differente da quella iniziale, probabilmente legata anche alla diversa mobilità delle varie specie ma soprattutto alla diversa capacità di ricolonizzazione (ad es., scomparsa di spugne e di *A. palmatum*, netta riduzione di ricci, forte aumento di granchi).

Nell'area esterna si osserva una diminuzione complessiva dei rendimenti relativi sia alla frazione commerciale che allo scarto rispetto al periodo antecedente al dragaggio, con una certa disomogeneità tra le catture effettuate a nord e quelle a sud dell'area interessata dal prelievo di sabbie. Non è chiaro se questo sia legato ad un'eterogeneità spaziale e/o stagionale o dipenda strettamente dalla movimentazione del fondale.

Le stime di biomassa commerciale risultano del tutto paragonabili con quelle riscontrate in letteratura per il mare Adriatico (Relini et al., 1999) e, analogamente a quanto rilevato per i rendimenti orari, mettono in evidenza valori maggiori per le specie commerciali all'interno dell'area dragata rispetto a fuori, ad eccezione del fragolino (*Pagellus erythrinus*).

Complessivamente le due tipologie di campionamento (pesca con strascico e con tramaglio) non hanno evidenziato sostanziali differenze nella composizione specifica o nell'abbondanza del pescato prima e dopo il dragaggio. I rendimenti più elevati sono sempre stati ottenuti all'interno dell'area dragata rispetto all'esterno. Il popolamento ittico demersale, quindi, sembra aver risentito solo marginalmente delle attività di dragaggio; la composizione faunistica è rimasta pressoché invariata nell'intervallo di tempo intercorso tra il cam-

Questo potrebbe essere un riflesso del fatto che nell'Aprile 2004, per condizioni meteomarine sfavorevoli, le reti sono state calate a notte inoltrata, invece che al tramonto. Una conferma indiretta, almeno per quanto riguarda *Squilla mantis* (specie che emerge dalla tana di notte;

pionamento pre- e il post dragaggio. La variabilità delle catture riscontrata nelle diverse campagne di pesca riflette sia quella tipica stagionale che quella dovuta alle operazioni di dragaggio. Le difficoltà pratiche incontrate nello svolgimento dei campionamenti stessi quali l'utilizzo di diverse imbarcazioni e l'accidentalità del fondale all'interno dell'area dragata hanno reso difficile distinguere l'effetto determinato dai singoli fattori. E' comunque evidente che ci sono delle indicazioni positive circa un recupero, almeno della frazione commerciale, rispetto alla situazione pre-dragaggio.

Nella valutazione complessiva dei risultati fin qui ottenuti, tale elemento va comunque inquadrato in un contesto nel quale le condizioni ambientali di partenza (limitata estensione della superficie interessata dai lavori, assenza di *nursery* all'interno dell'area interessata dal dragaggio, specie commerciali soprattutto demersali o nectoniche) erano tali da minimizzare l'impatto dell'operazione di ripascimento sulla pesca commerciale. L'area oggetto di studio, infine, è una zona in cui la pressione di pesca è relativamente ridotta a causa della lontananza dalla costa (circa 30 miglia) e dell'assenza di un popolamento ittico di rilevante valore commerciale.

Bibliografia

- Atkinson R.A.J., Frogia C. (2000) - *Burrow structures and eco-ethology of burrowing fauna in the Adriatic Sea*. Atti del workshop "Impact of trawl fishing on benthic communities", Quaderni ICRAM: 79-94.
- Clark J.R. (1983) - *Coastal Ecosystem Management*. R. E. Krieger Publ. Co. Inc., Malabar Florida: 928
- Clarke K.R., Warwick R.M. (1995) - *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, UK, 144 pp.
- De Juan S., Thrush F. e Demestre M. (2007) - *Functional changes as indicators of trawling disturbance on a benthic community located in a fishing ground (NW Mediterranean Sea)*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 334: 117-129.
- Duplisea D.E., Jennings S., Malcolm S.J., Parker R. e Sivyer D. (2002) - *Modelling the potential impacts of bottom trawl fisheries on soft sediment biochemistry in the North Sea*. Geochemical Transactions 14: 1-6.
- Ramsay K., Kaiser M. e Hughes R. (1998) - *Responses of benthic scavengers to fishing disturbance by towed gears in different habitats*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 224: 73-89.
- Reimann B., Hoffman E. (1991) - *Ecological consequences of dredging and bottom trawling in the Limfjord, Denmark*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 69: 171-178.
- Relini G., Bertrand J. e Zamboni A. (eds.) (1999) - *Sintesi delle conoscenze sulle risorse da pesca dei fondi del Mediterraneo centrale (Italia e Corsica)*. Biol. Mar. Medit., 6 (suppl. 1).
- Sardà R., Pinedo S., Gremare A. e Taboada S. (2000) - *Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea*. J. Mar. Science, 57: 1446-1453.

Ricevuto il 24/01/2008, accettato il 01/12/2009.

Monitoraggio degli effetti dell'estrazione di sabbie sulle comunità macrozoobentoniche di fondali pelitici (area A, Adriatico settentrionale) tramite un disegno beyond-BACI

Roberto Simonini, Silvia Della Casa, Gloria Massamba N'Siala, Maria Pia Martino, Daniela Prevedelli

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia,
Via Campi, 213/D - 41125 Modena, Italia.

Riassunto

Nel Maggio-Giugno 2007, circa 200.000 m³ di sabbia sono stati estratti dall'area A (Nord Adriatico) in cui il giacimento di sabbie relitte è coperto da uno strato sottile di sedimenti più fini. Sulla base delle esperienze pregresse (monitoraggio 2001-2004), gli effetti dell'intervento sul macrozoobenthos sono stati valutati tramite un disegno di monitoraggio di tipo beyond-BACI. Lo studio ha previsto una fase di caratterizzazione pre-opera ed una fase di monitoraggio post-opera, ciascuna comprendente tre campagne di campionamento. In ogni campagna sono state analizzate sette stazioni, di cui una situata all'interno dell'area di scavo. La ricolonizzazione delle comunità nelle aree dragate è stata rapida: le analisi effettuate sui campioni prelevati dopo circa un anno dal termine delle operazioni di prelievo delle sabbie indicavano che le comunità macrozoobentoniche delle zone direttamente impattate erano in fase di recupero avanzato. Il recupero può essere considerato concluso dopo due anni dall'intervento. Il disegno adottato ha permesso di distinguere la quota di variabilità "naturale" del macrozoobenthos da quella indotta dall'intervento in esame, garantendo risultati più affidabili di quelli ottenuti nel monitoraggio 2001-2004.

Parole chiave: impatto ambientale, dragaggio, sabbie relitte, benthos, diversità, Adriatico settentrionale.

Abstract

In spring 2007, about 200,000 m³ of sand were dredged from the area A (Northern Adriatic Sea), in which relict sands are covered by a thin layer of fine sediment. Considering the findings of a previous monitoring plan (2001-2004), the effects of sand extraction on macrozoobenthos were evaluated by means of a beyond-BACI design. The study included three sampling surveys before and three after dredging. At each survey, seven locations were analysed, one of which was placed within the dredging area. Data highlighted that the recolonization process at the dredged area started quickly and the complete recovery of the communities required about two years. The design adopted in the present study permitted to distinguish the "natural" from the "sand dredging induced" variability of the benthic communities, giving more robust results respect to those obtained from the 2001-2004 monitoring.

Keywords: environmental impact, dredging, relict sands, benthos, diversity, Northern Adriatic Sea.

Introduzione

Il dragaggio di sabbie sottomarine può causare significative alterazioni dell'ambiente bentonico. In generale, le alterazioni a livello fisico comprendono variazioni della morfometria dei fondali e delle caratteristiche del sedimento, oltre ad un aumento temporaneo della torbidità della colonna d'acqua dovuta alla ri-sospen-

sione dei sedimenti fini durante lo scavo (Boyd et al., 2003, 2005). Per quanto riguarda gli organismi che vivono nei fondali, e in particolare il macrozoobenthos, gli effetti dell'estrazione delle sabbie possono essere indiretti o diretti. La prima tipologia di rischio è associata al seppellimento degli organismi che vivono nelle zone adiacenti allo scavo, dovuto alla sedimentazione del materiale sospeso; la seconda, molto più rilevante, è invece associata alla rimozione del sedimento e degli organismi dall'area di scavo, che subisce di norma una quasi completa defaunazione (Kenny e Rees, 1994, 1996; Newell et al., 1998; Van Dalfts et al., 2000; Sardà et al., 2000; Simonini et al., 2005, 2007, 2011).

Sebbene non manchi letteratura relativa a progetti di monitoraggio effettuati in diversi paesi dell'Europa occidentale, la valutazione dell'impatto ambientale della movimentazione di fondali e, in particolare, del dragaggio di sabbie, non è semplice. Numerose variabili - come p.e. variazioni climatiche stagionali ed inter-annuali, idrodinamismo, caratteristiche del sedimento in termini di granulometria e contenuto in sostanza organica - giocano un ruolo importante nel determinare la struttura e la composizione delle comunità macrozoobentoniche, rendendo difficile derivare modelli generali (Newell et al., 1998; Van Dalfts et al., 2000; Sardà et al., 2000; Simonini et al., 2005, 2007). Inoltre, per l'area mediterranea, le pubblicazioni su riviste internazionali relative agli effetti dell'estrazione di sabbie sottomarine sono ancora piuttosto scarse (La Porta et al., 2009 e letteratura citata). Pertanto, le valutazioni di impatto devono essere pianificate caso per caso, prestando notevole attenzione alla costruzione di disegni di monitoraggio che permettano di distinguere i cambiamenti naturali del macrozoobenthos da quella indotta dall'intervento in esame.

Tra il 2001 ed il 2004 erano stati analizzati gli effetti a medio termine dell'estrazione di 800.000 m³ di sabbie sul macrozoobenthos dell'area C (Simonini et al., 2007; Simonini et al., 2011, Fig. 1).

I fondali dell'area C sono costituiti essenzialmente di sabbie, con una scarsa quantità di materiali più fini in superficie, sono localizzati in una zona a prevalente regime erosivo e ospitano comunità con elevata biodiversità, nelle quali coesistono specie tipiche di fondali sabbiosi e fangosi. Nel 2002, l'estrazione di 800.000 m³ di sabbie causò la quasi completa defaunazione dei fondali all'interno dell'area dragata. A causa dello scarso contenuto in fanghi ed argille del sedimento, nelle stazioni situate in prossimità dell'area di dragaggio non furono osservati fenomeni di seppellimento degli organismi dovuti alla sedimentazione del materiale fine posto in sospensione dalle attività della draga. L'impatto dell'estrazione delle sabbie relitte fu essenzialmente di tipo diretto, legato alla rimozione degli organismi dai fondali, ed interessò unicamente l'area dragata, senza provocare sostanziali variazioni delle caratteristiche granulometriche dei fondali. Questo ultimo aspet-

to facilitò il processo di ricolonizzazione/recupero. La ricolonizzazione richiede circa 12 mesi ed avvenne per opera delle specie caratteristiche dell'area, mentre il recupero strutturale delle comunità macrozoobentoniche richiede 24-30 mesi, al termine dei quali i popolamenti delle zone impattate tornarono ad uno stato paragonabile a quello osservato prima dell'intervento. Il programma di monitoraggio 2001-2004 evidenziò anche l'elevata variabilità temporale delle comunità macrozoobentoniche sia in termini di abbondanze che di numero di specie, suggerendo la necessità di predisporre di un maggior numero di campagne prima e dopo l'impatto, al fine di separare correttamente l'effetto dell'estrazione delle sabbie da quello dovuto all'eterogeneità temporale (Simonini et al., 2005, 2007; Simonini et al., 2011.).

Le informazioni raccolte sui pattern di ricolonizzazione e di recupero dei popo-

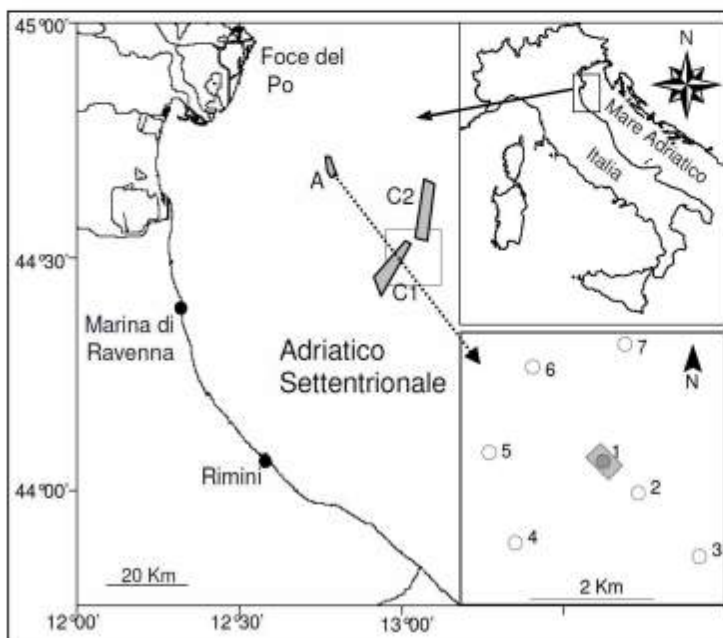


Figura 1 - Localizzazione delle aree e delle stazioni di campionamento.

lamenti macrozoobentonici sono servite da riferimento per prevedere sugli effetti ambientali di un successivo intervento di dragaggio avvenuto nel 2007, che ha interessato sia l'area C che l'area A, localizzata più in prossimità della foce del Po (Fig. 1). Carotaggi effettuati da ARPA - Emilia Romagna hanno evidenziato che nell'area A gli accumuli di sabbie relitte sono ricoperti da uno strato di fango dello spessore di 30-50 cm (Martinelli et al., 2007). Queste caratteristiche assumono un ruolo importante nel determinare non solo le biocenosi, che dipendono strettamente dalla granulometria del sedimento superficiale (Simonini et al., 2004), ma anche il tipo, l'entità e la durata dell'impatto del prelievo delle sabbie sugli ecosistemi bentonici delle aree interessate allo scavo e delle zone immediatamente adiacenti (Newell et al., 1998; Van Dalfsen et al., 2000; Simonini et al., 2007).

Tenendo conto delle caratteristiche sedimentologiche e idrologiche della zona, si riteneva che le comunità macrozoobentoniche presenti nei fondali dell'area A fossero costituite soprattutto da specie limicole e tipiche della biocenosi dei fanghi terrigeni costieri (VTC); specie sabulicole potevano essere presenti dove la percentuale di sabbia nel sedimento superficiale era maggiore. In letteratura non esistevano casi di studio relativi a dragaggi di sabbie in condizioni analoghe (il lavoro di La Porta et al. [2009] sugli effetti dello sfruttamento di giacimenti sabbiosi ricoperti da sedimenti più fini nel Tirreno è posteriore all'intervento in esame). In base alle informazioni raccolte nell'ambito del monitoraggio 2001-2004 e dalla letteratura, ci si aspettava che l'estrazione di 200.000 m³ di sabbie nell'area A potesse provocare, nel breve termine, un impatto diretto, dovuto alla rimozione della macrofauna dai fondali dragati. Nel caso i fondali della zona di estrazione restassero fangosi, l'impatto diretto sui fondali dragati sarebbe stato transitorio e le comunità avrebbero recuperato in due anni; al contrario, se lo scavo avesse lasciato in superficie dei sedimenti costituiti soprattutto da sabbie e scheletro, il ritorno delle comunità allo stato originario avrebbe richiesto molto più tempo. È stata ipotizzata anche la possibilità di un impatto indiretto, legato alla sedimentazione del materiale fine risospeso dalle attività di dragaggio, che avrebbe potuto provocare il seppellimento degli organismi nelle zone immediatamente adiacenti all'area di scavo. In base ai risultati degli studi di monitoraggio sugli effetti dello sversamento di fanghi sulle comunità bentoniche sui fondali a 10-20 km dalle coste emiliano - romagnole, questo impatto indiretto sarebbe dovuto essere trascurabile o di lieve entità (Simonini et al., 2005b).

In questo lavoro vengono illustrate e discusse le diverse fasi della valutazione degli effetti dell'estrazione di sabbie sulle comunità bentoniche dell'area A (Nord Adriatico), dalla quale sono stati prelevati circa 100.000 m³ di sabbia nel Maggio-Giugno 2007. In particolare, vengono trattati: 1) i principali aspetti metodologici considerati nella stesura del disegno di monitoraggio del macrozoobenthos, basato su un disegno sperimentale di tipo beyond-BACI (Before-After Control-Impact) evoluto asimmetrico (Underwood, 1992; 1994); 2) i risultati del monitoraggio, che copre un periodo che si estende da Agosto 2006 (8-9 mesi prima del dragaggio) a Maggio 2009 (dopo circa due anni dall'intervento).

Materiali e metodi

Considerando le diverse tipologie di impatto previste e l'elevata variabilità temporale delle comunità macrozoobentoniche dell'Adriatico Settentrionale (Massamba N'Siala et al., 2008), per la valutazione dell'impatto dell'estrazione delle sabbie dell'area A è stato predisposto un piano di monitoraggio basato su un disegno sperimentale di tipo beyond-BACI (Before-After Control-Impact) evoluto asimmetrico (Underwood, 1992, 1994).

Lo studio ha previsto due fasi successive di caratterizzazione e di monitoraggio vero e proprio. La durata della fase di caratterizzazione pre-opera è stata condizionata dal fatto che il monitoraggio è stato commissionato con meno di un anno in anticipo rispetto all'inizio del dragaggio: sono state quindi eseguite 3 campagne di campionamento nel periodo estate-autunno 2006/inverno 2007, separate da circa 2-3 mesi tra loro (Agosto 2006, Novembre 2006, Febbraio 2007). In questo modo è stato caratterizzato le comunità macrozoobentoniche dell'area prima dell'intervento e valutare la loro naturale variabilità temporale. La successiva fase di monitoraggio post-opera ha previsto 3 campagne di campionamento, che sono state effettuate subito dopo l'estrazione delle sabbie nel 2007 (Giugno 2007), nell'estate 2008 (Luglio 2008) e nella primavera 2009 (Maggio 2009): in questo modo sono state ottenute informazioni sull'entità dell'impatto nel breve termine e dopo circa uno e due anni dal dragaggio, due periodi di riferimento spesso utilizzati per descrivere i pattern di recupero del macrobenthos dopo il dragaggio (Van Dalfsen et al., 2000; Boyd

et al., 2003, Simonini et al., 2007). A differenza del monitoraggio 2001-2004, non è stata effettuata una campagna di monitoraggio in opera: quest'ultima deve essere effettuata durante il periodo in cui la draga sta operando e può essere utile se i campioni raccolti vengono elaborati in breve tempo, per evidenziare eventuali anomalie nell'esecuzione dei lavori, mentre l'esame dei campioni di macrozoobenthos richiede diversi mesi.

Nell'area A sono state individuate 7 stazioni di campionamento (Fig. 1): la stazione 1, interna all'area di scavo e soggetta all'impatto diretto; la stazione 2, 500 m a SE dell'area di scavo, lungo la direzione delle correnti principali, che avrebbe potuto risentire dell'effetto della sedimentazione del materiale fine risospeso dalle attività di dragaggio; le stazioni 3, 4, 5, 6 e 7, a circa 2 km dall'area di scavo, che rappresentano le stazioni di controllo (Fig. 1). Si è scelto di adottare una sola stazione impattata perchè l'area di scavo era piccola in base all'esperienza precedente (Simonini et al., 2005, 2007, 2011) si prevedeva che l'impatto fosse omogeneo in tutta l'area di dragaggio (Underwood, 1992). Per ogni stazioni sono state previste tre repliche. Il numero di siti di controllo e di campagne di campionamento è stato definito sulla base di un'analisi costi/benefici (Underwood, 1997). Assumendo che la variabilità temporale e quella associata all'errore di campionamento fossero simili a quelle osservate nell'intervento del 2002, l'individuazione di 5 stazioni di controllo e di 3 campagne prima e dopo l'intervento avrebbe dovuto permettere di riconoscere come significative variazioni del 50% degli indici di diversità del macrozoobenthos.

Le modalità di prelievo/trattamento dei campioni e di separazione/identificazione del macrozoobenthos sono rimaste le stesse utilizzate nel monitoraggio 2001-2004 (Simonini et al 2007, 2011). I principali indici ecologici [numero di specie (S), abbondanza (N), diversità di Shannon (H')] sono stati calcolati per tutti i replicati.

La significatività delle differenze negli indici ecologici è stata analizzata tramite ANOVA (Underwood, 1992, 1994; Tab. 1).

Tabella 1 - Sorgenti di variazione (descritte nel testo), gradi di libertà (gdl), denominatori dei test F (MS den F) e valori di F critico (Fcrit) utilizzati per l'analisi del macrozoobenthos dell'area A.

Sorgenti di variazione	gdl	MS den F	Fcrit
Prima vs Dopo = B	1		
Tra Campagne = T(B)	4		
T(prima)			
T(dopo)			
Tra Stazioni = L	6		
Impatto vs Controlli= I	1		
Tra Controlli= C	5		
BXL	6		
BxI	1		
BxC	5		
T(B)XL	24	Res	1,65
T(prima)xL	12		
T(prima)xI	2	Res	3,11
T(prima)xC	10	Res	1,95
T(dopo)xL	12		
T(dopo)xI	2	Res	3,11
T(dopo)xC	10	Res	1,95
Residuo	84		
Totale	125		
F-ratio a 2-code			
T(dopo)xI vs T(prima)xI		T(prima)xI	19
T(dopo)xC vs T(prima)xC		T(prima)xC	2,98

I fattori considerati sono: prima e dopo l'impatto (Prima vs Dopo = B, fisso); campagne di campionamento (T, random, gerarchizzato in B, 3 livelli); stazioni di campionamento (L, random, 7 livelli, ortogonale a B e T). La variabilità tra campagne è stata ripartita in due componenti: prima e dopo l'intervento. Anche la variabilità tra stazioni di campionamento è stata suddivisa nelle componenti relative a 1) stazioni di controllo (tra controlli = C), 2) stazione direttamente impattata dall'estrazione (Impatto [stazione 1] vs Controlli = I) e 3) stazione esposta alla risospensione (Risospensione [stazione 2] vs Controlli = R). Analisi preliminari hanno evidenziato che la stazione 2 dell'area A, localizzata in maniera tale da risentire della rideposizione di materiali fini, non è variata prima e dopo l'intervento; non essendo stato evidenziato un impatto indiretto, la stazione 2 è stata considerata insieme ai controlli nelle analisi successive.

La valutazione dell'impatto ha richiesto l'esame della significatività delle interazioni BxL e T(B)xL, con le relative ripartizioni della variabilità. Lo scenario di impatto delineato in precedenza (defaunazione e successiva ricolonizzazione dei fondali, senza alterazioni significative dei controlli), che rientra nel tipo "pulse" (Underwood 1992, 1994), viene supportato se:

- il test T(B)xL è significativo;
- il test T(dopo)xC non è significativo;
- il test T(dopo)xI è significativo;
- il test T(dopo)xI / T(prima)xI è significativo (Tab. 1).

Test SNK sono stati effettuati *a posteriori* per valutare l'esistenza di differenze significative ($p < 0.01$) negli indici calcolati a) nella stazione 1 nelle diverse campagne e b) tra siti nella stessa campagna. Le analisi sono state effettuate tramite i software PRIMER v6 e Microsoft Excel.

Risultati

Nell'ambito dell'intera indagine sono stati determinati 32.414 individui appartenenti a 100 specie (Allegato 1). Gli anellidi policheti costituivano il gruppo maggiormente rappresentato (56 specie), i molluschi e gli artropodi erano presenti con 14 e 18 specie, rispettivamente, e gli echinodermi con 6. Erano presenti anche altri phyla (Nemertini, Priapulidi, Cnidari, Echiuridi, Foronidei e Sipunculidi, raggruppati come "altri") con poche specie. Gli anellidi policheti, con 23.963 individui, costituivano la frazione dominante del popolamento (74%), seguiti da artropodi (soprattutto crostacei, 5.467 individui, 17%) e molluschi (1.496 individui, 5%). Gli echinodermi erano relativamente scarsi (295 individui, 1%), anche se rappresentavano una frazione importante del popolamento in termini di biomassa. Gli altri phyla erano presenti complessivamente con 1.193 individui (4%).

In Tabella 2 sono riportati i risultati dell'ANOVA relativa alle variazioni degli indici univariati del macrozoobenthos nell'area A, i cui valori sono riportati in Tabella 3. Per tutti gli indici considerati le differenze tra stazioni sono variate in funzione delle date considerate [T(B)xL, $p < 0,001$], ma la maggior parte della variabilità è stata osservata nella zona impattata fra le tre date del post-impatto [T(dopo)xI, $p < 0,01$]. La variabilità della stazione impattata nelle tre campagne post-impatto era significativamente maggiore rispetto a quella osservata nelle campagne pre-operazionali [T(dopo)xI vs T(prima)xI, $p < 0,05$ per densità, $p < 0,001$ per gli altri indici]. Il differenziamento tra le stazioni di controllo nelle diverse date pre- e post-impatto non è variata in modo significativo. La significatività dei test T(B)xL, T(dopo)xI e T(dopo)xI/T(prima)xI ha supportato l'esistenza di un effetto di tipo "pulse" dell'estrazione delle sabbie sul macrozoobenthos, evidenziabile anche dall'analisi delle variazioni degli indici nelle singole stazioni osservate nelle sei campagne (Tab. 3).

Il trend di variazione della densità è stato più eterogeneo rispetto a quello degli altri indici (Tab. 3). Nel periodo precedente l'intervento, la densità è variata soprattutto a livello di campagne. In generale, le densità più elevate sono state osservate a Novembre 2006 (circa 2.900 ind.m⁻² nella stazione 1, 2.300-4.700 ind.m⁻² nelle altre stazioni), quelle più basse a Febbraio 2007 (900-1.600 ind.m⁻²). L'estrazione delle sabbie ha determinato la quasi defaunazione della stazione 1: a Giugno 2007, un mese dopo l'intervento, sono stati rinvenuti 85 ind.m⁻², che rappresentano solamente il 4-7% di quelli presenti nella stessa stazione nelle campagne pre-operazionali e nelle altre stazioni di controllo della campagna di Giugno 2007. Queste ultime hanno mostrato una variabilità tra stazioni paragonabile a quella osservata nelle campagne di caratterizzazione, con densità di 1.300-2.000 ind.m⁻². Dopo poco più di un anno dall'intervento, la densità del macrozoobenthos nella stazione impattata è aumentata di quasi 25 volte, raggiungendo quasi 1.600

ind.m⁻². Tuttavia, esisteva ancora uno scarto del 25-40% tra le densità osservate nella stazione 1 e nelle altre stazioni (2.100-2.700 ind.m⁻²). Dopo due anni dal dragaggio, la stazione 1 ha mostrato densità di circa 2.500 ind.m⁻², tra le più elevate di quelle registrate nell'ultima campagna (1.250-3.000 ind.m⁻²).

Durante le campagne pre-operazionali, il numero medio di specie è variato sensibilmente tra le diverse campagne e, soprattutto, tra le stazioni (Tab. 3). Nella stazione 1 il numero di specie è diminuito da Agosto 2006 a Febbraio 2007 passando da 53 a 44. Nelle altre stazioni di controllo il numero di specie è stato generalmente più basso, variando da un minimo di 31 ad un massimo di 49. A Giugno 2006, nella prima campagna dopo l'estrazione delle sabbie, il numero di specie nelle stazioni di controllo rientra nel range di variazione naturale osservato nelle tre campagne post-operazionali. Al contrario, nella stazione 1, direttamente impattata, sono state rinvenute unicamente 6 specie, con una riduzione dell'85% rispetto alle stazioni di controllo ed alla stazione 1 nelle campagne precedenti. Dopo un anno dall'estrazione delle sabbie, la stazione 1 ospitava ancora una comunità con un numero di specie (38) inferiore a quello riscontrato nelle stazioni 2 e 3 (48 e 49, rispettivamente), ma paragonabile a quello riscontrato nelle altre stazioni di controllo (37-39). Nella campagna di Maggio 2009, dopo due anni dal dragaggio, la stazione 1 era nuovamente caratterizzata da un numero di specie elevato (55), simile a quello osservato nelle stazioni 2 e 3 e maggiore rispetto alle altre stazioni.

Per quanto riguarda la diversità di Shannon, prima dell'intervento, la variabilità tra campagne e stazioni era scarsa e i valori più elevati sono sempre stati riscontrati nella stazione 1 (Tab. 3). Successivamente, un mese dopo l'estrazione delle sabbie, si è osservata una riduzione del 50% della diversità nella stazione 1. Non sono stati evidenziati effetti significativi sulla diversità nella stazione 2, che si è mantenuta su livelli elevati durante tutto il periodo. Nella campagna di Luglio 2008, per quanto riguarda l'indice di Shannon, le differenze tra stazione 1 e stazioni di controllo non erano significative. Nell'ultima campagna, la diversità della stazione 1 era tornata su valori simili a quelli pre-impatto e maggiori rispetto ai siti di controllo (Tab. 3).

Tabella 2 - Risultati dell'ANOVA per la valutazione degli effetti del dragaggio di sabbie nell'area A su numero di specie, densità e diversità di Shannon. $p < 0,05 = *$; $p < 0,01 = **$; $p < 0,001 = ***$.

Sorgenti di variazione	gdl	Densità (log10)		Specie		Diversità		M-AMBI EQR	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
B	1	1.72		1.79		0.33		0.0003	
T(B)	4	3.63		293		0.23		0.0134	
L	6								
I	1	3.49		10.48		0.09		0.0009	
C	5	0.24		496		0.23		0.0194	
BxL	6								
BxI	1	4.82		1273		1.38		0.0727	
BxC	5	0.09		21.04		0.01		0.0004	
T(B)xL	24	0.84	8.70***	142	6.76***	0.19	7.38***	0.0082	6.58***
T(Prima)xL	12								
T(Prima)xI	2	0.10	1.03	9.37	0.44	0.02	0.70	0.0003	0.20
T(Prima)xC	10	0.18	1.84	40.51	1.92	0.06	2.20*	0.0031	2.46
T(Dopo)xL	12								
T(Dopo)xI	2	8.61	88.67***	1438	68.20***	2.00	75.92***	0.0788	62.80***
T(Dopo)xC	10	0.11	1.10	12.11	0.57	0.01	0.19	0.0009	0.72
Residuo	84	0.10		21.10		0.03		0.0013	
Totale	125								
F-ratio a due code									
T(Dopo)xI vs. D(Prima)xI			85.92*		153.6**		109.2**		312.1**
T(Dopo)xC vs. D(Prima)xC			0.60		0.30		0.09		0.29

Tabella 3 - Principali indici strutturali del macrozoobenthos (media \pm dev.st. tra replicati) delle stazioni campionate nell'area A nelle sei campagne. La stazione 1 è quella direttamente interessata dal dragaggio. La sigla nella colonna Campagna_stazione identifica la data di campionamento e la stazione considerata. Le lettere accanto ai valori delle variabili si riferiscono ai gruppi statisticamente differenti ($p < 0,01$) identificati tramite test SNK (confronto stazione 1 tra diverse date con lettere minuscole; confronto tra siti nelle stessa data con lettere maiuscole).

Campagna Stazione	Densità [ind. m ⁻²]				Numero di specie				Diversità di Shannon			
	valori		SNK	valori		SNK	valori		SNK			
0806_1	2467	\pm	466	b,A	53	\pm	10	c,B	3,20	\pm	0,06	bB
0806_2	2192	\pm	393	A	49	\pm	2	AB	3,14	\pm	0,10	A
0806_3	2299	\pm	354	A	43	\pm	6	A	2,98	\pm	0,24	A
0806_4	2016	\pm	160	A	37	\pm	3	A	2,87	\pm	0,14	A
0806_5	1293	\pm	466	A	33	\pm	6	A	2,96	\pm	0,11	A
0806_6	1923	\pm	344	A	38	\pm	5	A	2,91	\pm	0,22	A
0806_7	2008	\pm	681	A	45	\pm	7	AB	3,18	\pm	0,25	A
1106_1	2885	\pm	481	b,A	48	\pm	3	bc,B	3,25	\pm	0,20	bB
1106_2	3115	\pm	199	A	46	\pm	3	B	3,17	\pm	0,14	B
1106_3	3651	\pm	68	A	48	\pm	3	B	3,23	\pm	0,10	B
1106_4	4667	\pm	426	B	39	\pm	2	A	2,86	\pm	0,08	A
1106_5	3352	\pm	568	A	31	\pm	1	A	2,60	\pm	0,07	A
1106_6	2997	\pm	289	A	38	\pm	2	A	2,89	\pm	0,18	A
1106_7	2325	\pm	485	A	32	\pm	2	A	2,84	\pm	0,15	A
0207_1	1496	\pm	576	b,A	44	\pm	7	bc,A	3,30	\pm	0,15	bA
0207_2	1187	\pm	290	A	40	\pm	9	A	3,29	\pm	0,23	A
0207_3	1411	\pm	267	A	39	\pm	5	A	3,22	\pm	0,06	A
0207_4	907	\pm	238	A	33	\pm	5	A	3,07	\pm	0,15	A
0207_5	1515	\pm	356	A	32	\pm	2	A	3,05	\pm	0,07	A
0207_6	1589	\pm	170	A	38	\pm	4	A	3,24	\pm	0,14	A
0207_7	1152	\pm	159	A	31	\pm	5	A	2,96	\pm	0,15	A
0607_1	85	\pm	738	b,A	6	\pm	9	a,A	1,68	\pm	0,27	aA
0607_2	1997	\pm	260	B	48	\pm	3	C	3,18	\pm	0,15	B
0607_3	1712	\pm	184	B	46	\pm	4	C	3,18	\pm	0,15	B
0607_4	1339	\pm	800	B	34	\pm	3	B	2,95	\pm	0,06	B
0607_5	2032	\pm	778	B	36	\pm	6	B	2,95	\pm	0,20	B
0607_6	1971	\pm	245	B	41	\pm	4	B	3,02	\pm	0,15	B
0607_7	1267	\pm	491	B	37	\pm	1	B	3,08	\pm	0,25	B
0708_1	1587	\pm	1254	b,A	38	\pm	4	b,A	2,91	\pm	0,12	bA
0708_2	2392	\pm	1421	B	48	\pm	2	B	3,02	\pm	0,09	A
0708_3	2680	\pm	1147	B	49	\pm	1	B	3,13	\pm	0,10	A
0708_4	2128	\pm	1399	B	37	\pm	2	A	2,81	\pm	0,07	A
0708_5	2653	\pm	1329	B	39	\pm	3	A	2,84	\pm	0,08	A
0708_6	2584	\pm	1348	B	39	\pm	4	A	2,89	\pm	0,14	A
0708_7	2435	\pm	473	B	37	\pm	5	A	2,85	\pm	0,25	A
0509_1	2483	\pm	149	b,A	55	\pm	3	c,B	3,31	\pm	0,09	bB
0509_2	2069	\pm	771	AB	48	\pm	4	B	3,07	\pm	0,25	A
0509_3	2973	\pm	265	B	53	\pm	4	B	3,22	\pm	0,12	A
0509_4	1253	\pm	49	A	37	\pm	5	A	2,99	\pm	0,14	A
0509_5	1560	\pm	368	AB	36	\pm	8	A	2,92	\pm	0,18	A
0509_6	1315	\pm	220	A	39	\pm	5	A	3,01	\pm	0,15	A
0509_7	1477	\pm	52	A	41	\pm	2	A	3,07	\pm	0,26	A

Discussione e conclusioni

Le caratteristiche sedimentologiche e idrologiche dei fondali giocano un ruolo importante nel determinare la composizione e la struttura delle comunità macrozoobentoniche marine (Simonini et al., 2004). Le comunità macrozoobentoniche dell'area C, interessata dal dragaggio nel 2002, presentavano un gran numero di specie tipiche di fondali sabbiosi e misti, erano caratterizzate da una notevole ricchezza specifica ed elevata diversità e mostravano una struttura trofica abbastanza equilibrata. I detritivori superficiali ed i carnivori onnivori hanno costituito la maggior parte del popolamento sia in termini di specie che di abbondanze, ma anche i filtratori e gli scavatori erano ben rappresentati. Comunità di questo tipo sono relativamente poco comuni nell'Adriatico Nord-Occidentale (Simonini et al., 2005, 2007, 2011). D'altra parte, le comunità rinvenute nell'area A considerate in questo studio (All. 1) sono tipiche di fondali fangosi al largo delle coste emiliano-romagnole (Simonini et al., 2004; Massamba N'Siala et al., 2008). Rispetto alle comunità dell'area C, le biocenosi dell'area A sono caratterizzate da popolamenti più uniformi e sono dominate da un limitato numero di specie appartenenti alla categoria dei detritivori superficiali, che possono raggiungere densità anche molto elevate. Gli organismi appartenenti agli altri gruppi trofici sono scarsamente rappresentati soprattutto in termini di abbondanze, ad eccezione degli scavatori, che invece costituiscono una quota significativa del popolamento. La presenza di diverse specie in grado di scavare gallerie nel sedimento, in alcuni casi anche di grandi dimensioni, suggerisce che i fondali dell'area A siano relativamente stabili e non siano soggetti a frequenti perturbazioni di tipo meccanico, a differenza delle comunità di fondi fangosi situate a minore distanza dalla costa (Simonini et al., 2004; Massamba N'Siala et al., 2008). Le caratteristiche delle biocenosi, relativamente comuni al largo delle coste romagnole, suggeriscono che lo sfruttamento di giacimenti sabbiosi ricoperti da un sottile strato di pelite, come l'area A, sia più sostenibile rispetto al dragaggio di zone con sabbie esposte come l'area C.

L'estrazione di sabbie sottomarine ha spesso notevoli ripercussioni sulle caratteristiche biotiche ed abiotiche dei fondali interessati (Kenny e Rees, 1994, 1996; Newell et al., 1998; Van Dal'sen et al., 2000; Sardà et al., 2000). Anche nell'area A l'impatto a breve termine dell'estrazione delle sabbie si è manifestato attraverso una drastica riduzione del numero di specie, delle densità e della diversità nella stazione 1 interna all'area di dragaggio. Le operazioni di prelievo delle sabbie hanno previsto infatti l'asportazione degli strati più superficiali del sedimento determinando una quasi completa defaunazione. In accordo con le previsioni e con le osservazioni delle precedenti campagne del progetto di monitoraggio 2001-2004 (Simonini et al., 2005, 2007, 2011) non sono stati osservati effetti indiretti sulla stazione 2. Ciò è coerente con i risultati del monitoraggio della torbidità della colonna d'acqua durante i lavori, secondo cui le aree immediatamente adiacenti allo scavo non avrebbero subito significativi fenomeni di ri-sedimentazione (Martinelli et al., 2007). La ricolonizzazione dell'area dragata è stata rapida: le analisi effettuate sui campioni prelevati dopo poco più di 12 mesi dal termine delle operazioni di prelievo delle sabbie indicavano che la comunità macrozoobentonica delle zone direttamente impattate erano in fase di recupero avanzato. Il recupero può considerarsi concluso dopo due anni dall'intervento, quando tutti gli indici calcolati nel sito di controllo diventano simili a quelli osservati nelle tre campagne pre-operazionali e si ricostituisce il trend di differenziamento tra siti presente prima del dragaggio. La variabilità naturale spaziale e temporale rappresenta spesso un ostacolo per la valutazione degli effetti delle attività antropiche sugli ecosistemi marini (Underwood, 1992, 1994, 1997). Anche nell'area investigata, la composizione e la struttura delle comunità macrozoobentoniche variano non solo in funzione del prelievo delle sabbie, ma anche nello spazio (tra stazioni di controllo) e nel tempo (tra campagne di campionamento). Le differenze tra le campagne sono dovute soprattutto a variazioni delle abbondanze di alcune delle specie maggiormente rappresentate. Diversi studi (p.e. Occhipinti-Ambrogi et al., 2005; Massamba N'Siala et al., 2008) hanno evidenziato che la composizione e la densità del popolamento delle comunità di fondi molli dell'Adriatico settentrionale possono mostrare una notevole variabilità stagionale ed interannuale. Anche i risultati relativi al presente studio suggeriscono che le differenze tra le campagne siano dovute soprattutto a variazioni delle abbondanze di alcune delle specie maggiormente rappresentate, riconducibili ai cicli biologici delle diverse specie ed all'elevata variabilità stagionale ed inter-annuale dell'Adriatico settentrionale. Le differenze tra stazioni sono dovute all'eterogeneità ambientale su una scala spaziale di qualche chilometro: per esempio, l'elevato numero di specie osservate nella stazione 1 dell'area A è riconducibile alla presenza di una frazione sabbiosa più cospicua rispetto alle altre stazioni.

L'adozione di disegni sperimentali in grado di separare gli effetti antropici dalla variabilità naturale è fondamentale per garantire la buona riuscita dell'intero monitoraggio (Underwood, 1992, 1994). Il disegno di mo-

nitroaggio adottato nel presente studio ha permesso di raggiungere questo obiettivo e di valutare il processo di impatto, ricolonizzazione e recupero in maniera più efficace rispetto all'esperienza del 2001-2004 (Simonini et al., 2005, 2007, 2011), e può quindi servire da riferimento per monitoraggi futuri. Occorre però ricordare che questo approccio richiede l'esecuzione di diverse campagne pre-operazionali, per cui i programmi di monitoraggio devono iniziare almeno un anno prima dell'inizio dell'estrazione delle sabbie.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare Giuseppe Montanari, Dino Pagan e Marco Paperini (Struttura Oceanografica Daphne, ARPA Emilia-Romagna) e i due revisori anonimi del manoscritto originale. Lo studio è stato finanziato dalla Regione Emilia-Romagna (Convenzione tra Ingegneria Ambientale- ARPA Emilia-Romagna e Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia).

Bibliografia

- Boyd S.E., Limpenny D.S., Rees H.L., Cooper K.M. e Campbell S. (2003) - *Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the re-colonization of dredged sediments off the south-east coast of England (Area 222)*. Estuarine e Coastal Shelf Science, 57: 209-223.
- Boyd S.E., Limpenny D.S., Rees H.L. e Cooper K.M. (2005) - *The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging)*. ICES Journal of Marine Science, 62: 145-162.
- Kenny A.J. e Rees H.L. (1994) - *The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos; early post-dredging recolonisation*. Marine Pollution Bulletin, 28(7): 442-447.
- Kenny A.J. e Rees H.L. (1996) - *The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos. Results 2 years post-dredging*. Marine Pollution Bulletin, 32: 615-622.
- La Porta B., Targusi M., Lattanzi L., La Valle P., Paganelli D. e Nicoletti L. (2009) - *Relict sand dredging for beach nourishment in the central Tyrrhenian Sea (Italy): effects on benthic assemblages*. Marine Ecology, 30 (Suppl. 1): 97-104.
- Martinelli L., Preti M. e Guerrero M. (2007) - *Effect of off-shore sand dredging on turbidity*. The Eighth International Conference On The Mediterranean Coastal Environment. Medcoast. Alexandria, Egypt. 13-17 November 2007 pp. 829 - 840.
- Massamba N'Siala G., Grandi V., Iotti M., Montanari G., Prevedelli D. e Simonini R. (2008) - *Responses of a Northern Adriatic Ampelisca-Corbula community to seasonality and short-term hydrological changes in the Po river*. Marine Environmental Research, 66: 466-476.
- Newell R.C., Seiderer L.J. e Hitchcock, D.R. (1998) - *The impact of dredging work in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed*, Oceanography and Marine Biology Annual Review, 36: 127-178.
- Occhipinti-Ambrogi A., Savini D., Forni G. (2005) - *Macrobenthos community structural changes off Cesenatico coast (Emilia Romagna, Northern Adriatic), a six-year monitoring programme*. The Science of the Total Environment, 353: 317-328.
- Sardà R., Pinedo S., Gremare A., e Taboada S. (2000) - *Changes in the dynamics of shallow sandy bottoms assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea*. ICES Journal of Marine Science, 57: 1446-1453.
- Simonini R., Ansaloni I., Bonvicini Pagliai A.M. e Prevedelli D. (2004) - *Organic enrichment and structure of the macrozoobenthic community in the northern Adriatic Sea in an area facing Po and Adige mouth*. ICES Journal of Marine Science 61(6): 871-881.
- Simonini R., Ansaloni I., Bonvicini Pagliai A.M., Cavallini F., Iotti M., Mauri M., Montanari G., Preti M., Rinaldi A. e Prevedelli D. (2005a) - *The effects of sand extraction on the macrobenthos of a relict sands area (northern Adriatic Sea): results 12 months post-extraction*. Marine Pollution Bulletin, 50: 768-777.
- Simonini R., Ansaloni I., Cavallini F., Graziosi F., Iotti M., Massamba N'Siala G., Mauri M., Montanari G., Preti M. e Prevedelli D. (2005b) - *Effects of long-term dumping of harbor-dredged material on macrozoobenthos at disposal sites along the Emilia-Romagna coast (Northern Adriatic Sea, Italy)*. Marine Pollution Bulletin, 50: 1595-1605.
- Simonini R., Ansaloni I., Bonini P., Grandi V., Graziosi F., Iotti M., Massamba-N'Siala G., Mauri M., Mon-

- tanari G., Preti M., De Nigris N. e Prevedelli D. (2007) - *Recolonization and recovery dynamics of the macrozoobenthos after sand extraction in relict sand bottoms of the Northern Adriatic Sea*. Marine Environmental Research, 64: 574–589.
- Simonini R., Grandi V., Iotti M., Massamba N'Siala G., Prevedelli D. - *Ricolonizzazione e recupero delle comunità macrozoobentoniche in seguito all'estrazione di sabbie relitte*. Studi costieri (2011)
- Underwood A.J. (1992) – *Beyond BACI: the detection of environmental impact on populations in the real, but variable, world*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 161: 145-178.
- Underwood A.J. (1994) - *On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances*. Ecological Applications, 4: 3–15.
- Underwood A.J. (1997) - *Experiments in Ecology Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance*. Cambridge University Press, Cambridge UK
- Van Dalssen J.A., Essink K., Toxvig Madsen H., Birklund J., Romero J., e Manzanera M. (2000). *Differential responses of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean*. ICES Journal of Marine Science, 57: 1439-1445.

Ricevuto il 27/08/2010, accettato il 18/04/2011.

Monitoraggio delle spiagge nel periodo 2007-2009

Mentino Preti¹, Margherita Aguzzi¹, Rosalia Costantino¹, Nunzio De Nigris¹, Maurizio Morelli¹

¹ARPA Direzione Tecnica – Bologna

Riassunto

Il presente articolo riporta i risultati del monitoraggio, effettuato da ARPA nel periodo 2008-2009, del secondo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato dalla Regione Emilia-Romagna nel 2007.

L'intervento, basato su un apporto di 790.000 m³ di sabbia, ha riguardato sette spiagge distinte lunghe 8,4 km distribuite su un arco di 70 km di costa.

Lo studio si è basato sull'analisi integrata del clima meteomarinico, della morfologia della spiaggia, del calcolo dei volumi di materiale accumulato o eroso, delle caratteristiche sedimentologiche dei depositi.

L'aspetto più interessante emerso dall'analisi dei dati è la notevole diversità del clima meteomarinico verificatosi nei due periodi compresi tra la fine dei lavori di ripascimento (Maggio 2007) e il primo monitoraggio (Ottobre 2008), e tra quest'ultimo e il secondo monitoraggio (Luglio 2009).

Infatti, pur provenendo tutte le mareggiate tranne una dallo stesso settore (45°-90° N), nel primo periodo solo 2 su 24 hanno un angolo di provenienza superiore agli 80°N, mentre nel secondo periodo sono ben 6 su 17. Ciò ha determinato comportamenti molto diversi dei singoli interventi di ripascimento in relazione alla direzione media del trasporto solido litoraneo e dei sistemi di difesa presenti. La diversità del trend evolutivo dei due periodi è stata descritta dettagliatamente nelle sette monografie del presente articolo, ma è stata utilizzata anche per effettuare considerazioni sul comportamento delle diverse tipologie di opere di difesa e più in generale sulle politiche di gestione più indicate per la difesa del litorale emiliano-romagnolo. Nelle considerazioni conclusive sono stati infatti effettuati approfondimenti analitici relativamente alle quattro spiagge interessate dai due interventi di ripascimento con sabbie sottomarine effettuati nel 2002 e nel 2007, monitorate per 8 anni consecutivi, e ai quattro interventi con scogliere semisommerse realizzati a partire dal 1995 lungo il litorale emiliano-romagnolo.

E' risultato che, pur inserite in contesti diversi, le spiagge protette da scogliere semisommerse e collegate a riva da setti trasversali, perdono meno materiale rispetto a quelle difese con pennelli, barriere sommerse in sacchi o prive di opere. La minor perdita si è tradotta però in tutti e quattro i casi nella formazione di una falcata erosiva sui litorali adiacenti e quindi nella necessità di intervento su tratti di spiaggia precedentemente in equilibrio.

Diversamente le altre spiagge perdono molta sabbia, soprattutto con le mareggiate aventi direzione analoga a quella del trasporto solido litoraneo netto, ma la maggior parte di questa sabbia va ad alimentare le spiagge sottoflutto garantendo in questo modo l'equilibrio di altri 20 km di litorale.

Parole chiave: monitoraggio, spiaggia, erosione, ripascimento, opere di difesa rigide.

Abstract

This paper reports the results of the monitoring campaign carried out by ARPA during 2008-2009, after the second nourishment carried with offshore dredged sand in Emilia-Romagna, in 2007.

This nourishment operation used circa 790,000 cubic metres of sand and involved seven beaches, for a total length of 8.4 km, distributed along 70 km of coastline.

The study is based on an integrated analysis of wave climate, beach morphology, calculation of accumulated or eroded material volumes and sedimentological characteristics of deposits.

The most interesting aspect arising from data analysis is the significant difference of wave climate in the two periods between the end of beach nourishment works (May 2007) and the first monitoring campaign (October 2008), and between the latter and the second monitoring campaign (July 2009). As a matter of fact, almost all sea storms came from the same sector (45°-90°) in both periods, but in the first period only 2 out of 24 storms came from an angle greater than 80° N, while in the second period 6 out of 17 were recorded.

This led to a very different performance by each nourishment operation, depending on the mean direction of coastal sediment transport and existing coastal defence systems. The difference in evolution trend between the two periods is described in detail in the seven monographic chapters of this article. Based on these trends considerations on the performance of different types of coastal defence strategies and on the most suitable management policies for coastal defence in Emilia-Romagna are made. In the concluding remarks, we present an in-depth analysis of the four beaches affected by the two nourishments carried with offshore dredged sand (2002 and 2007), monitored for 8 consecutive years, as well as of four low-crested breakwaters built along the Emilia-Romagna coast since 1995.

This showed that, although placed in different contexts, the beaches protected by low-crested breakwaters connected to the shore with submerged groins lost less material than those defended by either groins or by submerged barriers using geosynthetic bags, or even those not protected by any defence structures. The more limited loss, however, led to erosion along the adjacent coast in all four cases, requiring action on previously balanced stretches of beach. The other beaches lost a large quantity of sand, especially after storms coming from a direction similar to net littoral sediment transport direction, but most of this sand moved to downdrift beaches, thus ensuring balance along a further 20 km-long stretch of coastline.

Keywords: monitoring campaign, beach, erosion, nourishment, hard defenses.

Introduzione

In considerazione dei buoni risultati prodotti dal primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato nel 2002 e visto il perdurare dello stato di criticità in diversi tratti di costa, la Regione Emilia-Romagna ha deciso di realizzare un secondo intervento di questo tipo nel 2007.

Con questo intervento, comunemente denominato "Progettone 2", sono stati portati 815.000 m³ di sabbia: di cui 790.000 m³ sono stati distribuiti su 7 spiagge, comprese nei 70 km di litorale che vanno da Cattolica ai moli del porto di Ravenna, in seguito oggetto di monitoraggio, mentre 25.000 m³ di materiale sono stati portati su altri tratti del litorale regionale (ARPA, 2009).

La novità principale è stata il coinvolgimento nell'operazione del Comune di Ravenna, che, oltre a inserire due spiagge nell'elenco dei siti da ripascere, ha contribuito direttamente al finanziamento del progetto.

Va sottolineato che la costa ravennate, pur avendo sul piano turistico un peso inferiore rispetto a quello di Rimini, ha uno sviluppo pari a circa un terzo del litorale regionale, per cui il gradimento di questa tipologia di intervento da parte dell'amministrazione e di tutti gli operatori turistici di questo Comune ha una grande importanza ai fini della definizione delle politiche di intervento e di gestione del litorale regionale per i prossimi anni. Pertanto, come per il "Progettone 1", anche per questo secondo intervento la Regione ha deciso di sottoporlo ad un articolato programma di monitoraggio e ne ha affidato l'incarico all'Unità Specialistica Mare Costa di ARPA: lo stesso gruppo tecnico che aveva eseguito progettazione e monitoraggio del primo intervento.

Diversamente dal monitoraggio dell'intervento del 2002, il cui programma iniziale prevedeva quattro campagne annuali poi ridotte a 3 durante la fase operativa, per l'intervento del 2007 la Regione ha previsto solamente 2 campagne da eseguire nel 2008 e nel 2009.

Gli obiettivi assegnati al nuovo progetto di monitoraggio sono gli stessi del primo intervento, così come le indagini e, in larga misura, i metodi, per cui per la loro descrizione si rimanda all'articolo pubblicato nel presente volume riguardante il monitoraggio delle 8 spiagge oggetto del Progetto 1.

Di seguito vengono riportati in 7 monografie i risultati delle analisi evolutive riferite alle singole spiagge

oggetto di intervento e alcune considerazioni sulla tessitura dei sedimenti presenti e sui cambiamenti subiti dai depositi nell'arco del periodo monitorato (Ottobre 2008 – Maggio 2009)

Metodi

Rilievi topo-batimetrici

Il rilievo topografico e batimetrico della spiaggia emersa e sommersa, ripetuto nel tempo, permette di analizzare e valutare l'andamento di un intervento di ripascimento. Il confronto dei rilievi topo-batimetrici permette, infatti, di osservare le variazioni morfologiche della spiaggia e computare il volume di sabbia portato a ripascimento e quello eroso dal mare negli anni successivi.

Tra l'Aprile e il Maggio 2007 è stato effettuato il rilievo di prima pianta, mentre tra l'Aprile e il Giugno dello stesso anno è stato effettuato quello di seconda pianta (fine lavori). Questi rilievi sono stati eseguiti dalla ditta esecutrice i lavori, verificati dalla Direzione Lavori, e avevano come scopo principale quello di computare i volumi di sabbia ai fini della contabilità.

Nell'Ottobre 2008 e nel Luglio 2009, ARPA Direzione Tecnica ha eseguito due rilievi topo-batimetrici delle 7 spiagge oggetto di intervento, in quanto incaricata dalla Regione Emilia-Romagna di verificare la performance di questo intervento. Come per l'intervento di ripascimento del 2002 (vedi Preti et al., presente volume), questi due rilievi di monitoraggio hanno interessato un'area più ampia di quella di sversamento. Il rilievo è stato esteso ai primi 500 m di spiaggia a nord e a sud dell'area di ripascimento e verso mare fino alla batimetrica dei 5 m. Lo scopo di questo monitoraggio era infatti, da un lato, quello di quantificare il tasso di perdita di sabbia dalla zona di ripascimento, dall'altro, capire la modalità di deriva della sabbia e i rispettivi quantitativi.

I metodi e gli strumenti usati per il rilevamento e per l'analisi dei dati topo-batimetrici sono gli stessi impiegati per il monitoraggio dell'intervento del 2002, a cui si rimanda per una descrizione dettagliata (vedi Preti et al., presente volume).

Rilievi aerofotogrammetrici

Prima dell'inizio dei lavori di ripascimento e dopo la loro conclusione, sono stati eseguiti due rilievi aerofotogrammetrici, rispettivamente il 15 Marzo e il 21 Giugno 2007. I due rilievi hanno interessato buona parte di tutto l'arco costiero della Regione Emilia-Romagna, che va da Cattolica ai moli foranei del Porto di Ravenna, in cui sono collocati i 7 tratti di spiaggia oggetto di intervento di ripascimento, nella primavera del 2007, con sabbie prelevate dai depositi sottomarini.

I due voli aerofotogrammetrici sono stati eseguiti, su incarico di ARPA Direzione Tecnica, dalla Compagnia Generale Riprese aeree S.p.A., entrata a far parte del gruppo norvegese Blom ASA dall'Ottobre 2005. Le riprese aeree sono state eseguite a una quota di volo di circa 1500 m, utilizzando una camera Wild 15/4, con distanza focale di 153.28 mm.

I fotogrammi a colori, in scala 1:10.000, sono stati restituiti su supporto cartaceo e informatico con risoluzione di 1200 dpi.

L'immagine aerea è un ottimo strumento per osservare in modo semplice e immediato l'effetto di allargamento di una spiaggia in seguito ad un intervento di ripascimento. In più, permette di avere il quadro d'insieme di tutte le opere di difesa dal mare presenti, quali scogliere, pennelli, barriere in sacchi, etc...

ARPA ha, inoltre, acquistato la licenza delle ortofoto a colori AGEA 2008. La scala nominale delle ortofoto è 1:10.000. Il rilievo aerofotogrammetrico del litorale regionale è stato eseguito nel periodo 19-21 Giugno 2008.

Questo rilievo, essendo georeferenziato, è stato impiegato come base cartografica delle mappe elaborate a corredo del presente volume.

Analisi sedimentologica

Nell'ambito del progetto di monitoraggio dell'intervento di ripascimento del 2007, in ognuno dei sette tratti di litorale in esame sono state effettuate analisi granulometriche su campioni prelevati a varie quote lungo il profilo di spiaggia.

Il campionamento è stato effettuato durante la prima e la seconda campagna di monitoraggio, rispettivamente nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009, lungo una serie di sezioni riportate in Tabella 1.

Durante il primo monitoraggio, Ottobre 2008, il prelievo è stato effettuato in concomitanza dei rilievi topo-batimetrici alle quote di +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 della spiaggia è alterato dalla presenza dell'opera, è stato prelevato un campione a 20 m dalla scogliera lato terra ed uno, sempre a 20 m dalla scogliera, lato mare.

Il secondo prelievo è stato eseguito in occasione della seconda campagna di rilievi topo-batimetrici nel Maggio 2009, in corrispondenza degli stessi punti campionati durante la prima campagna.

L'analisi granulometrica dei campioni è stata eseguita presso il laboratorio Analisi Chimico-Agrarie della Sezione Provinciale di Ravenna dell'ARPA, mentre l'elaborazione ai fini dell'analisi sedimentologica dei dati è stata effettuata utilizzando il programma di calcolo Gradistat (Blott e Pye, 2001).

Nell'ambito di questo lavoro è stata utilizzata come scala granulometrica di riferimento quella proposta da Gradistat, identica a quella di Udden e Wentworth a eccezione del limite tra silt e argilla che, invece di essere a 4 μm , è posto in corrispondenza dei 2 μm (Fig. 1).

Sono stati ricostruiti per ogni campione gli istogrammi di frequenza e le curve cumulative in base alle percentuali relative delle varie frazioni granulometriche ed infine sono stati calcolati i principali parametri di Folk e Ward (1957): diametro medio, coefficiente di cernita e coefficiente di asimmetria.

Per ogni spiaggia è stata descritta la situazione dei sedimenti al 2008 e, al fine di evidenziare cambiamenti intercorsi tra il primo e il secondo monitoraggio, quindi rispettivamente a 17 e a 26 mesi dall'intervento di ripascimento, sono stati effettuati confronti tra i dati tessiturati relativi ai due campionamenti.

Le considerazioni sedimentologiche sono state integrate con le analisi dei cambiamenti batimetrici di spiaggia emersa e sommersa allo scopo di trovare una relazione tra la tessitura dei depositi e i processi di erosione e accumulo.

Meteorario

Nella primavera del 2007, mentre era in corso di realizzazione il 2° intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (Progettone 2), ARPA ha varato, per conto della Regione Emilia-Romagna, una boa ondometrica davanti a Cesenatico.

Con questa installazione si è chiuso il periodo iniziato nel 1983, durante il quale non si sono più avute

Tabella 1 - Profili lungo i quali sono stati prelevati i campioni nelle diverse spiagge.

Misano	MI05	MI18	
Riccione	25L5	21L5	
Igea Marina	IG02	IG09	139L1
Cesenatico Ponente	110L1	109L1	
Milano Marittima	15L28	MM20	
Lido di Dante	RA16	RA17	
Punta Marina	RA26	RA28	RA29

phi	micron	Udden and Wentworth	Gradistat
-1	2000	Granuli	Ghiaia molto fine
		Sabbia molto grossolana	Sabbia molto grossolana
0	1000	Sabbia grossolana	Sabbia grossolana
1	500	Sabbia media	Sabbia media
2	250	Sabbia fine	Sabbia fine
3	125	Sabbia molto fine	Sabbia molto fine
4	63	Silt	Silt
8	4	Argilla	
9	2		Argilla

Figura 1 - Confronto tra la scala granulometrica di Udden-Wentworth e quella del programma di calcolo Gradistat.

misure dirette dello stato del mare davanti alla costa emiliano-romagnola. Infatti l'ultima serie storica disponibile ed affidabile era quella dei dati misurati tra il 1971 e il 1983 sulla piattaforma PCB dell'AGIP, al largo di Ravenna.

Dopo il 1999, si è fatto riferimento alle misure della boa di Ancona, appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale, i cui dati sono disponibili dal 1999 al 2006.

Nonostante la distanza di questa boa, e quindi la non completa rappresentatività del litorale emiliano-romagnolo, i suoi dati sono stati utilizzati per determinare gli eventi meteo-marini più intensi che si sono succeduti durante i 3 anni di monitoraggio delle 8 spiagge del "Progettone 1".

La boa di Cesenatico si trova a 8 km al largo su un fondale di circa 10 m, in un'area adiacente a un campo di allevamento di mitili, interdetta alla navigazione e soggetta a guardiania continua.

La boa ondametrica direzionale installata è una "Datawell Directional waverider MkIII 70" in grado di rilevare oscillazioni pari a ± 20 m con periodi da 1,6 a 30 secondi, e con una risoluzione di $1,5^\circ$ nell'angolo di provenienza dell'onda.

La boa di Cesenatico porta il nome di Nausicaa, in quanto i costi di acquisto e installazione sono stati in parte coperti con i fondi del sottoprogetto Nausicaa del progetto europeo Beachmed-e.

I dati vengono acquisiti ogni 30' ed archiviati nel database meteo-marino del Servizio IdroMeteorologico di ARPA visibile in Internet.

Grazie ai dati raccolti fin dai primi giorni successivi alla sua installazione (23 Maggio 2007), si sono potute determinare le condizioni meteo-marine che si sono avute nei 26 mesi che vanno dalla fine dei lavori del "Progettone 2" alla 2a campagna di monitoraggio delle 7 spiagge interessate.

Per facilitare l'analisi del comportamento delle spiagge, i dati raccolti nei 26 mesi che vanno dal Maggio 2007 (fine lavori) al Luglio 2009 (2a campagna) sono stati divisi in due parti utilizzando come mese di separazione quello dalla prima campagna di monitoraggio (Ottobre 2008).

In pratica gli intervalli presi in considerazione sono stati Maggio 2007 - Settembre 2008 e Ottobre 2008 - Giugno 2009; in quest'ultimo caso non si è considerato il mese di Luglio, mese in cui si è sviluppato il monitoraggio delle 7 spiagge.

Dati disponibili

La disponibilità dei dati misurati dalla boa Nausicaa a partire dal Maggio 2007, data della sua installazione che è praticamente coincidente con il termine dei lavori del "Progettone 2", fino al Giugno 2009 è mostrata nella Figura 2 e Figura 3, nelle quali si osserva la successione temporale delle varie altezze d'onda misurate e, soprattutto, la consistenza dei periodi in cui, per vari motivi di ordine tecnico, non è stato possibile avere continuità nelle misure.

Più nello specifico, tra Maggio 2007 e Settembre 2008, a fronte di 23.838 dati teoricamente rilevabili, si sono rese disponibili 21.325 misure, con una copertura pari a poco meno del 90%.

Il secondo intervallo temporale considerato e cioè da Ottobre 2008 a Giugno 2009 è caratterizzato da 13.104 misure effettuabili, mentre ne sono disponibili 8.586, pari a circa il 65%.

Mareggiate nel periodo Maggio 2007 - Settembre 2008

Nella Tabella 2 si riportano sinteticamente i dati delle mareggiate registrate dalla boa Nausicaa tra Maggio 2007 e Settembre 2008.

Dall'insieme dei dati del primo periodo sono stati ricavati gli eventi classificabili come mareggiate, ovvero successione di stati ondosi in cui l'altezza d'onda è stata maggiore a 1 m ed eventuali periodi di attenuazione dell'onda al di sotto di questa soglia, non sono stati più lunghi più di 6 ore.

Stante la collocazione della boa molto prossima alla costa, non si sono registrati eventi di mareggiata provenienti dal III e IV Quadrante, ma solamente dal I e, molto più raramente, dal II Quadrante.

Sulla base di questi criteri, durante il periodo di 17 mesi in esame si sono registrate 24 mareggiate, che hanno comportato circa 35 giorni di mare mosso. In particolare la totalità delle mareggiate, tranne una, proviene dal settore 45° - 90° N.

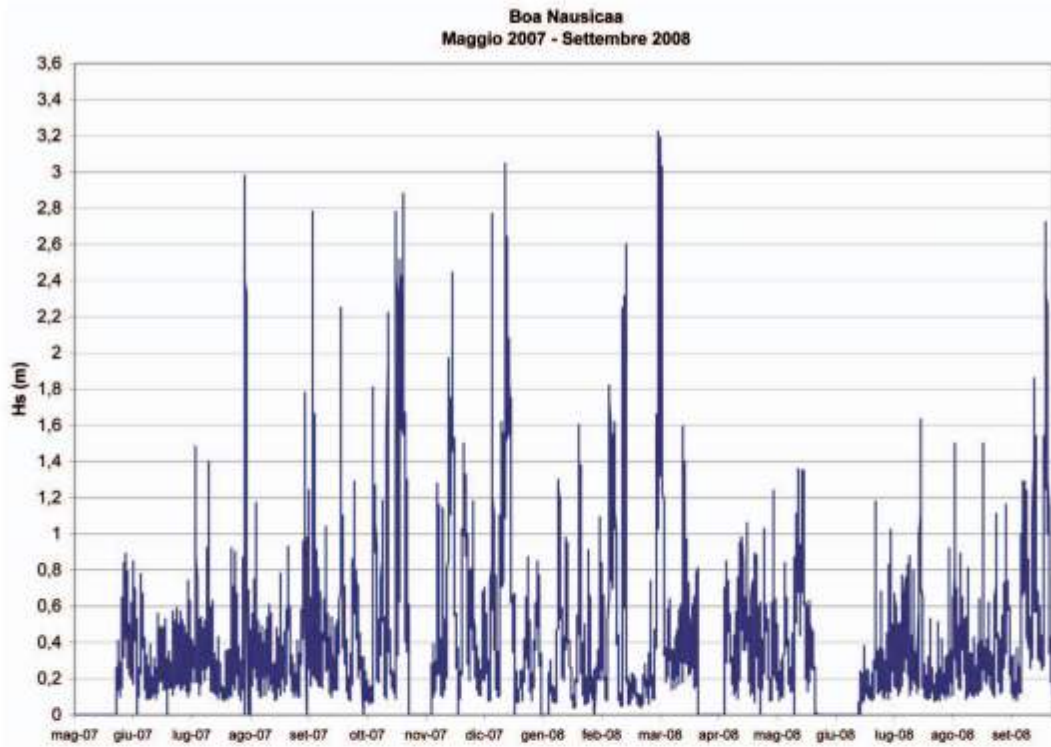


Figura 2 - Successione temporale delle altezze d'onda misurate dalla boa Nausicaa, al largo di Cesenatico nel periodo Maggio 2007 – Settembre 2008.

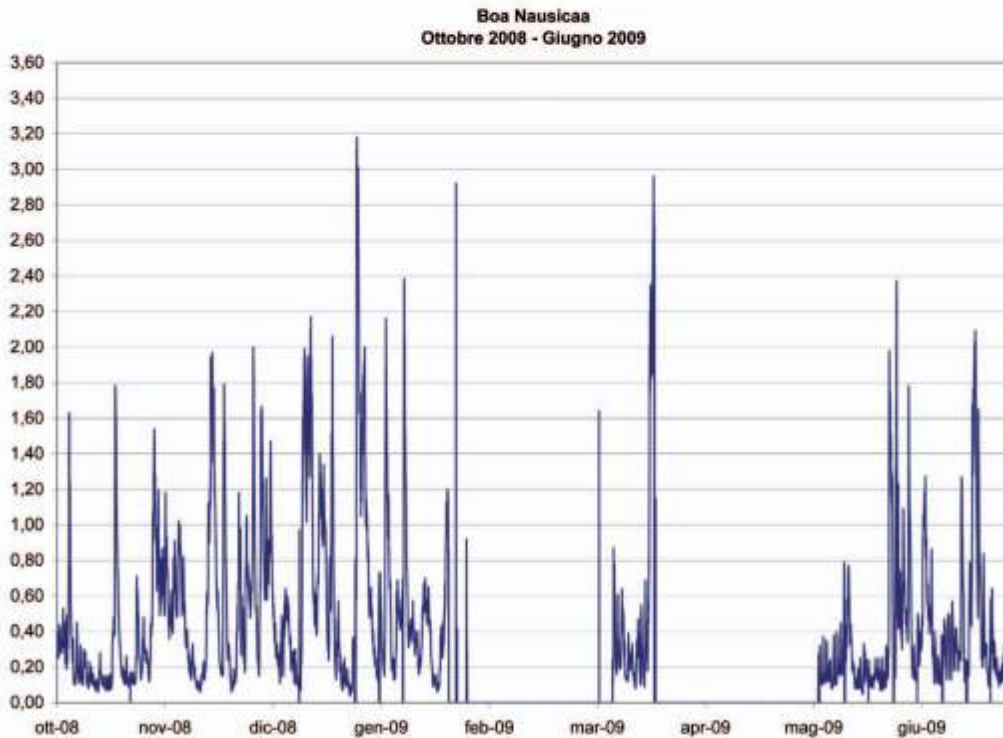


Figura 3 - Successione temporale delle altezze d'onda misurate dalla boa Nausicaa, al largo di Cesenatico nel periodo Ottobre 2008 – Giugno 2009.

Tabella 2 - Boa ondametria Nausicaa al largo di Cesenatico - Principali caratteristiche delle mareggiate registrate nel periodo Maggio 2007 - Settembre 2008.

n°	Data Inizio	Data Fine	Durata (ore)	Direzione Media (°N)	Hs Media (m)	Hs Max (m)
1	30/7/2007	31/7/2007	22,5	59	1,84	2,98
2	4/9/2007	5/9/2007	16,5	47	1,68	2,78
3	19/9/2007	20/9/2007	27,5	62	1,43	2,25
4	26/9/2007	26/9/2007	13	97	1,06	1,29
5	6/10/2007	8/10/2007	32,5	60	1,08	1,81
6	13/10/2007	14/10/2007	15	69	1,55	2,22
7	19/10/2007	23/10/2007	84,5	48	1,85	2,88
8	15/11/2007	18/11/2007	85	53	1,48	2,44
9	22/11/2007	25/11/2007	49	89	1,19	1,50
10	8/12/2007	9/12/2007	17,5	49	1,82	2,77
11	12/12/2007	13/12/2007	21,5	64	1,29	1,62
12	14/12/2007	18/12/2007	109	62	1,71	3,04
13	23/1/2008	24/1/2008	23	64	1,33	1,60
14	8/2/2008	9/2/2008	32,5	69	1,40	1,82
15	10/2/2008	12/2/2008	29	63	1,28	1,62
16	15/2/2008	16/2/2008	20	69	1,75	2,31
17	4/3/2008	8/3/2008	79	60	2,03	3,22
18	18/3/2008	19/3/2008	13,5	62	1,27	1,59
19	20/5/2008	20/5/2008	17	58	1,14	1,35
20	22/7/2008	22/7/2008	16	57	1,30	1,63
21	14/9/2008	15/9/2008	18,5	50	1,12	1,29
22	19/9/2008	20/9/2008	16	71	1,48	1,86
23	20/9/2008	21/9/2008	15	75	1,11	1,54
24	25/9/2008	28/9/2008	64,5	56	1,61	2,72

Mareggiate nel periodo Ottobre 2008 - Giugno 2009

Analogamente al caso precedente, è stata eseguita l'analisi dei dati ondametrici disponibili nell'intervallo di tempo tra la prima e la seconda campagna di monitoraggio, cioè tra Ottobre 2008 e Giugno 2009 compresi, allo scopo di determinare e caratterizzare le mareggiate che si sono succedute in questo periodo.

Tabella 3 - Boa ondametria Nausicaa al largo di Cesenatico - Principali caratteristiche delle mareggiate registrate nel periodo Ottobre 2008 - Giugno 2009.

n°	Data Inizio	Data Fine	Durata (ore)	Direzione Media (°N)	Hs Media (m)	Hs Max (m)
1	17/10/2008	18/10/2008	12,5	63	1,46	1,78
2	28/10/2008	29/10/2008	20,5	86	1,20	1,54
3	13/11/2008	15/11/2008	49,5	73,	1,40	1,97
4	17/11/2008	18/11/2008	15	66	1,40	1,79
5	26/11/2008	26/11/2008	14,5	63	1,42	2,00
6	28/11/2008	29/11/2008	20	89	1,31	1,66
7	10/12/2008	13/12/2008	72	84	1,57	2,17
8	15/12/2008	16/12/2008	42,5	89	1,13	1,40
9	18/12/2008	19/12/2008	13	55	1,46	2,06
10	25/12/2008	29/12/2008	76	59	1,74	3,18
11	3/1/2009	4/1/2009	24	58	1,39	2,16
12	8/1/2009	9/1/2009	17,5	62	1,62	2,38
13	20/1/2009	21/1/2009	13	90	1,08	1,20
14	19/3/2009	21/3/2009	36	54	2,09	2,96
15	27/5/2009	28/5/2009	23,5	56	1,45	1,98
16	6/6/2009	7/6/2009	16	86	1,08	1,27
17	20/6/2009	21/6/2009	32,5	51	1,64	2,09

Nella Tabella 3 si riportano le caratteristiche delle mareggiate registrate dalla boa Nausicaa tra Ottobre 2008 e Giugno 2009.

I due periodi analizzati differiscono essenzialmente per la durata: 17 mesi il primo, praticamente la metà il secondo. Si può osservare però che nello stesso intervallo di mesi comune, cioè da Ottobre a Giugno successivo, il numero delle mareggiate non cambia sostanzialmente da un periodo all'altro, così come non sono praticamente differenti il

numero di giorni complessivi in cui il mare è risultato mosso: 15 mareggiate e 26 giorni di mare mosso tra Ottobre 2007 e Giugno 2008, contro le 17 mareggiate e 21 giorni di durata delle condizioni di mare mosso tra Ottobre 2008 e Giugno 2009.

Dati di monitoraggio e interpretazioni

Misano

Il tratto di costa del Comune di Misano lungo 1600 m, difeso da un fitto campo di pennelli in roccia, è in forte erosione da diversi decenni ed è per questo che è stato inserito tra i litorali oggetto del primo e del secondo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (Fig. 4).

Per l'inquadramento generale dell'area si rimanda alla relazione monografica relativa al primo intervento riportata nel presente volume. Questo tratto di spiaggia è uno dei 4 del litorale emiliano-romagnolo difesi dalla Regione con continuità fin dal 1983. Gli altri 3 sono Riccione Sud, Cesenatico Ponente e Milano Marittima.

Quella che nel tempo si è venuta a configurare come una vera e propria politica di gestione, si è basata fondamentalmente sulla realizzazione di periodici interventi di ripascimento e sulla costruzione di una barriera sommersa in sacchi, alta circa 1,5 m, parallela alla costa e posta su un fondale di circa 3 m. Anche la barriera è stata nel corso degli anni oggetto di migliorie e periodiche ricariche.

È importante sottolineare che per garantire l'equilibrio di questo tratto di spiaggia, tra il 1983 e il 2001, sono stati portati a ripascimento circa 360.000 m³ di materiale sabbioso.

Le cause di questa continua perdita di sedimenti sono riconducibili alla insufficiente alimentazione naturale e alla palese contraddizione derivante dal voler mantenere un litorale solo di sabbia laddove originariamente era presente anche molta ghiaia, va aggiunta l'azione riflettente dei pennelli lunghi 60 m e distanziati solamente 60 m l'uno dall'altro.

L'alto tasso di erosione del litorale in esame viene confermato dai continui apporti di materiale resisi necessari per garantirne l'equilibrio nei 5 anni che separano i due Progettioni. Tra il 2002 e il 2007, infatti, il Servizio Tecnico di Bacino Conca-Marecchia della Regione vi ha portato ben 172.400 m³ di materiale sabbioso proveniente in massima parte da fonti litoranee.

Nella primavera 2007, con il "Progettione 2", nella zona dei pennelli di Misano sono stati portati a ripascimento 149.000 m³ di sabbia (Fig. 5). Il materiale è stato distribuito in maniera abbastanza omogenea su tutto il tratto determinando un avanzamento della linea di riva di 30-40 m (Fig. 6A).

Per completare il quadro dei dati sui ripascimenti occorre aggiungere che tra la fine del 2007 e la primavera del 2008 sono stati portati su questo tratto di costa altri 27.300 m³ di materiale (Tab. 4).

A Ottobre 2008, quando ARPA ha realizzato la prima campagna di monitoraggio, è risultato che, nei 17 mesi trascorsi tra il rilievo di seconda pianta e il primo monitoraggio, la perdita nell'area di ripascimento è stata di 79.900 m³.

Una grande quantità di materiale è migrata, come in passato, dalla spiaggia emersa, e più in generale dalla zona attorno ai pennelli, verso il fondale, sul lato interno della barriera in sacchi (Fig. 6B). Infatti, dai calcoli effettuati risulta che dalla zona dei pennelli, spiaggia emersa compresa, dei 176.300 m³ di sabbia apportati, ne sono fuoriusciti circa 110.000 m³; di questi circa 30.000 m³ si sono depositati nella fascia di fondale antistante, all'interno della barriera.

Nella vasta area di fondale esterna alla barriera si ha un'alternanza di zone in accumulo e in erosione nel tratto a sud e sostanziale equilibrio in quello a nord.

La linea di riva, nei 17 mesi successivi alla fine dei lavori, è arretrata notevolmente (circa 30 m) nelle zone laterali dell'area di ripascimento e in misura inferiore nel tratto centrale (circa 10 m).

Nel Luglio 2009, ARPA ha eseguito la seconda campagna di monitoraggio. Confrontando i rilievi della prima con quelli della seconda campagna di monitoraggio (Fig. 7A) risulta nell'area di ripascimento una perdita di 16.800 m³.

Nei 9 mesi che separano le due campagne di monitoraggio, il processo erosivo della spiaggia emersa e di quella sommersa, fino alla testata dei pennelli, è continuato; infatti in questa zona la perdita è stata di circa 22.800 m³ a cui vanno sommati i 18.300 m³ di materiale sabbioso portati a ripascimento per la manutenzione annuale (Tab. 4). Come nelle annate precedenti, una parte di questa sabbia si è spostata dalla spiaggia al fondale davanti alla barriera in sacchi, dove risulta infatti un deposito di circa 24.300 m³.

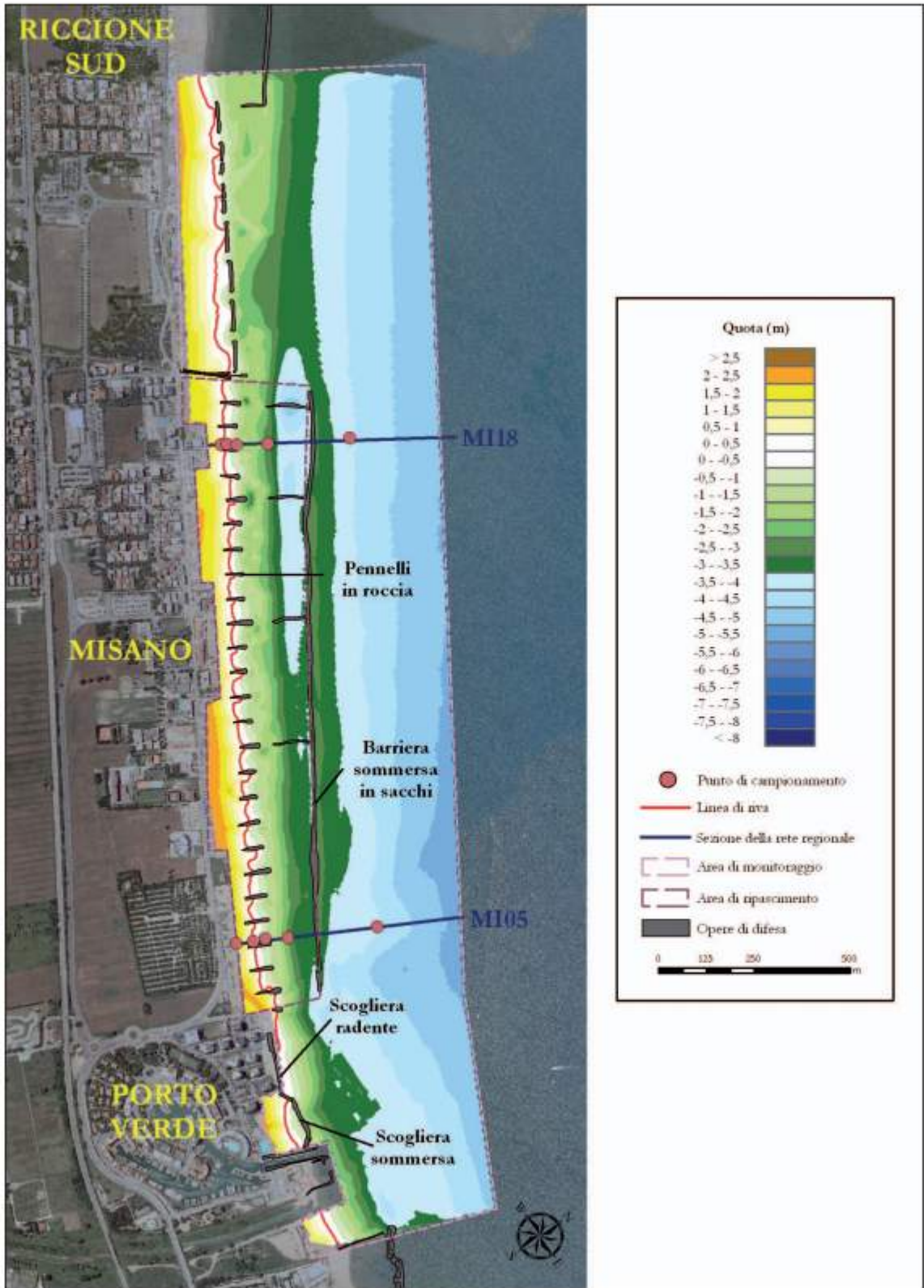


Figura 4 - Misano: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.



Figura 5 - Spiaggia di Misano vista dall'alto.

Esternamente alla barriera si riscontra un innalzamento generalizzato di tutta la fascia di fondale interessata dai rilievi. Dai conteggi effettuati risulta che il volume di materiale qui accumulato supera i 90.000 m³.

I campioni di sedimento prelevati nell'Ottobre 2008 lungo i profili MI18 e MI5 (Fig. 6B) presentano un diametro medio delle dimensioni della sabbia fine (Fig. 8). Il granulo medio maggiore è stato rilevato alla battigia (0,228 mm), il minore a 4 m di profondità (0,154 mm), si osserva quindi una lieve diminuzione della granulometria con l'aumentare della profondità (Tab. 5).

I sedimenti prelevati sulla spiaggia emersa risultano da poco a discretamente classati probabilmente a causa dei ripetuti apporti artificiali di sabbia. Il campione poco selezionato raccolto sul profilo MI5 alla quota di 1 m, presenta una coda di sedimento fine, mentre il campione moderatamente classato raccolto su MI18 sulla battigia ha un coda di sedimento grossolano.

I campioni prelevati sulla spiaggia sommersa sono più assortiti rispetto ai precedenti: essi risultano in prevalenza discretamente classati con coefficiente di asimmetria verso fine. Un campione prelevato alla profondità di 1 m ricade addirittura nel campo dei sedimenti ben classati (Fig. 8). Tale situazione di assortimento suggerisce che l'azione selettiva operata dalle onde in questa fascia di fondale è piuttosto efficiente.

I campioni prelevati nel Maggio 2009, rispetto a quelli del 2008, presentano solo lievi cambiamenti contenuti nella classe della sabbia fine (Figg. 7A e 8).

Trattando a parte il campione esterno alla barriera in sacchi, si notano i seguenti elementi.

Lungo il profilo MI18, si osserva un peggioramento del grado di selezionamento a tutte le quote (Fig. 8). Sulla spiaggia emersa la maggior parte dei campioni tende ad avere una coda di materiale grossolano, mentre i campioni appartenenti alla spiaggia sommersa presentano una coda di materiale fine.

Lungo la sezione MI5, non si rilevano significativi cambiamenti nel grado di selezione: i campioni sulla spiaggia emersa restano da poco a discretamente selezionati e discretamente selezionati quelli sulla spiaggia sommersa. Varia, invece, il coefficiente di asimmetria: sulla battigia il campione che nel 2008 aveva una coda

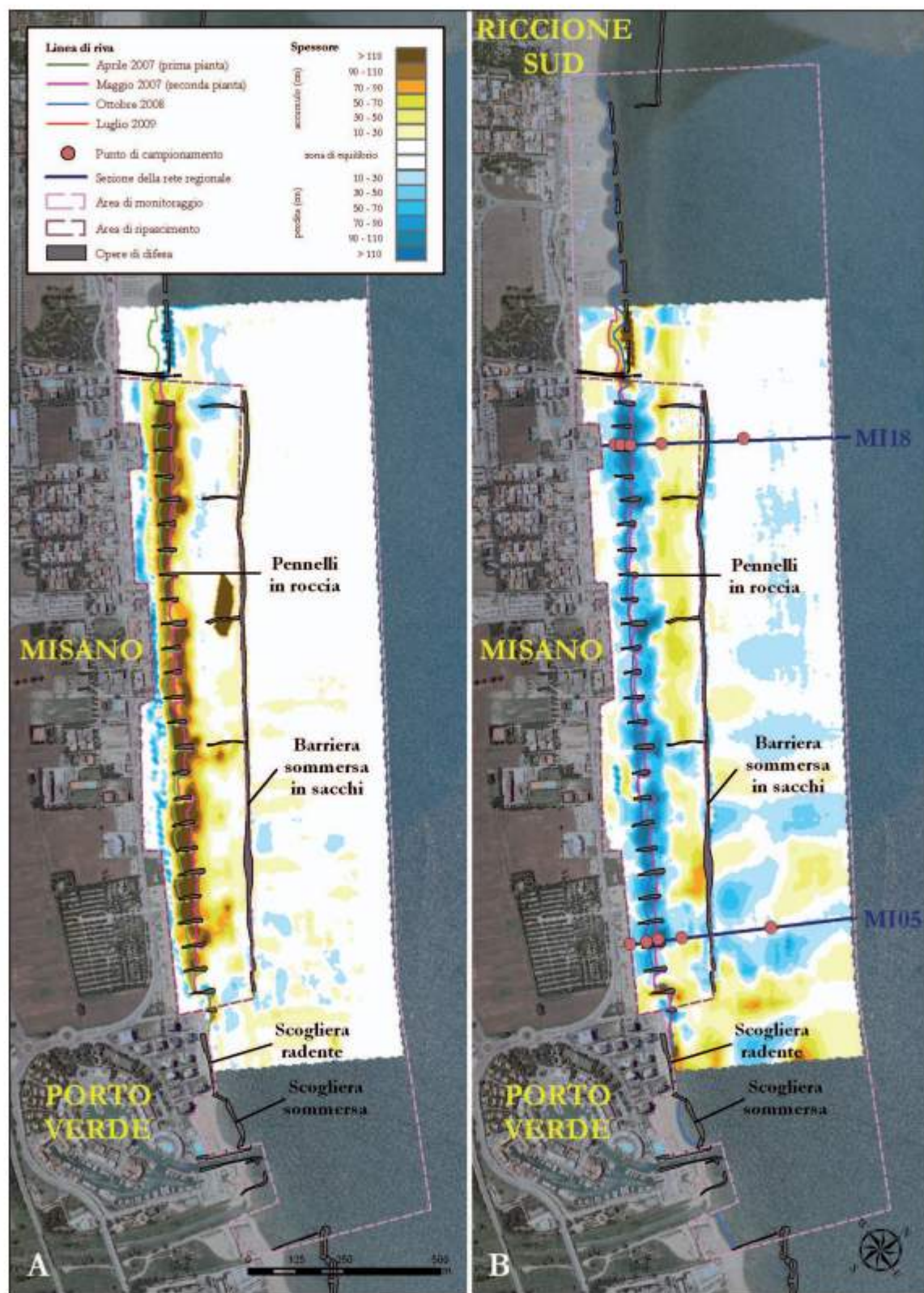


Figura 6 - Misano: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

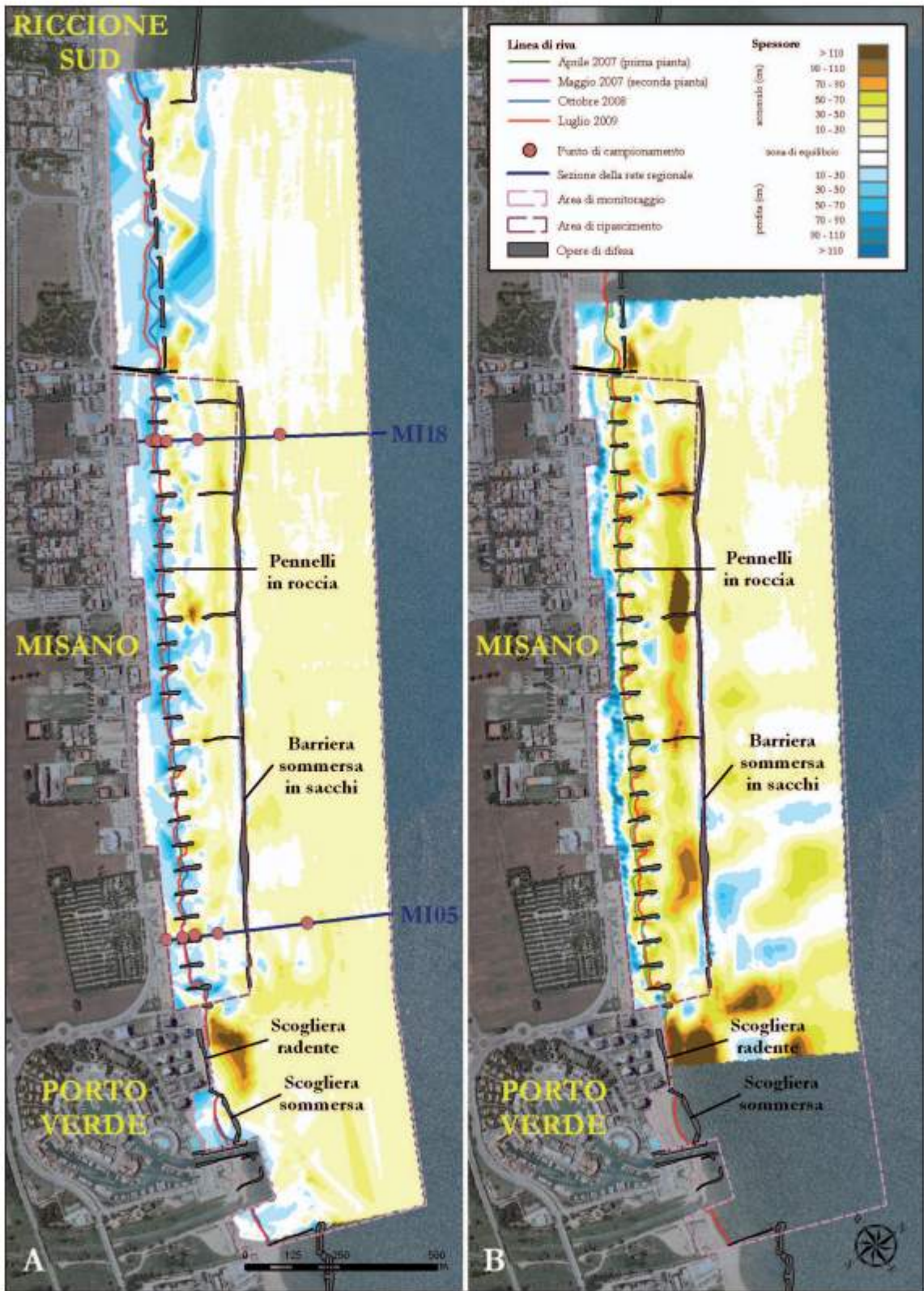


Figura 7 - Misano: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

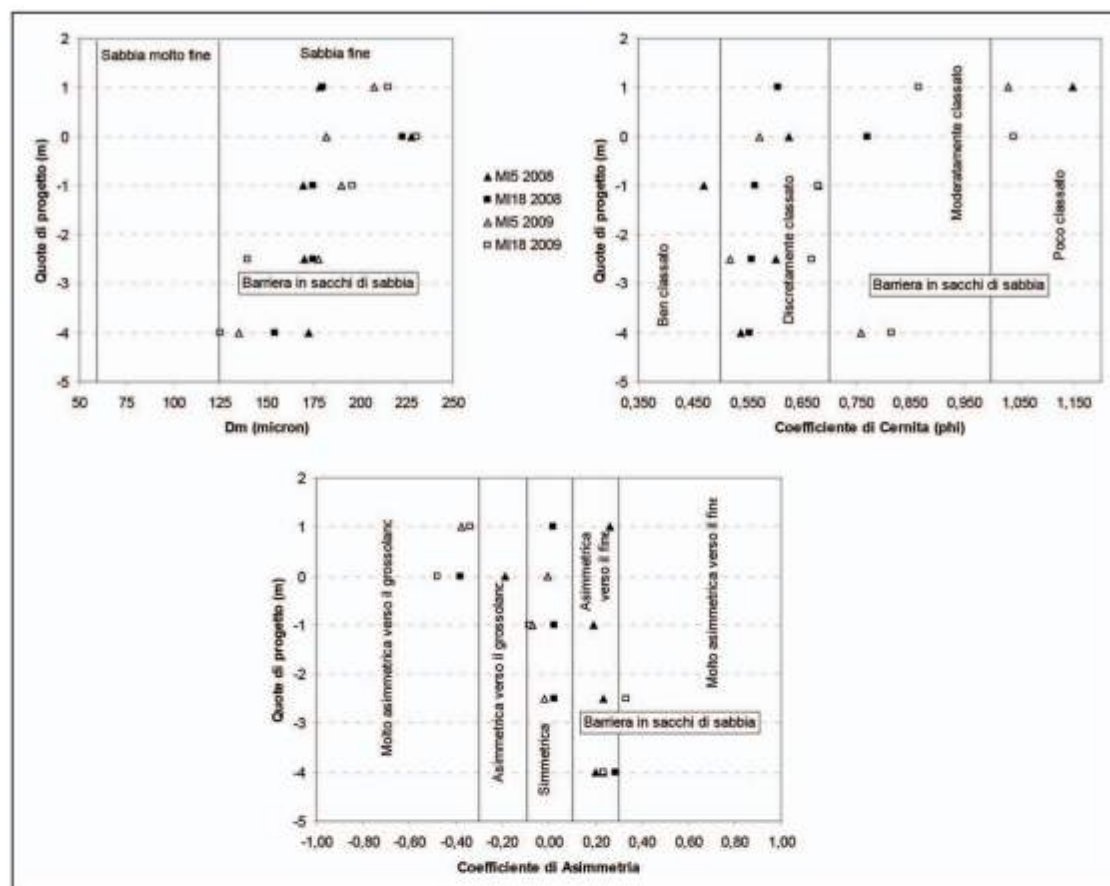


Figura 8 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e asimmetria (in basso) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Misano, lungo i profili MI5 e MI18 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Nel grafico è riportata la posizione indicativa della barriera in sacchi pieni di sabbia rispetto ai campioni prelevati, secondo le quote di progetto, a -2,5 m e a -4 m s.l.m..

di materiale grossolano diventa simmetrico, mentre quello che lo stesso anno aveva una coda di materiale fine, nel 2009, assume una curva asimmetrica verso il grossolano.

Risulta particolarmente interessante quanto riscontrato analizzando i sedimenti esterni alla barriera su entrambi i profili, dove si rileva una lieve diminuzione del diametro medio e un netto peggioramento della classazione. Tale situazione tessiturale, associata al fatto che in questa fascia di fondale esterno alla barriera si sono accumulati ben 90.000 m³, cifra decisamente superiore alle perdite subite dalla spiaggia emersa e dai fondali circostanti, porterebbe ad ipotizzare il trasferimento in questa zona di sedimenti più fini provenienti dai fondali al largo in seguito ad eventi di mareggiata.

Nel periodo tra le due campagne di rilievi si sono registrate dalla boa Nausicaa, posta poco al largo di Cesenatico in corrispondenza della batimetrica dei 10 m, 13 mareggiate tra le quali quella del 25-27 Dicembre 2008 e quella del 19-21 Marzo 2009 caratterizzate da altezze medie dell'onda significativa di 2,35 m e 2,11 m rispettivamente, che rappresentano i valori più alti degli eventi del periodo.

Queste due mareggiate hanno inoltre presentato i valori più alti dell'altezza d'onda massima (3,18 e 2,96 m rispettivamente) indicativi della gravosità dell'evento.

L'accumulo temporaneo di materiale fine nella fascia esterna alla barriera non è una novità in quanto, già nel corso del monitoraggio del "Progettone 1", è risultato che i fondali oltre la linea delle scogliere o comunque della batimetrica dei 2,5 m, si erano alzati, tra il 2004 e il 2005, di diversi decimetri su tutto il litorale di 55 km coperto dal monitoraggio, anche se a tratti.

Diversamente dal monitoraggio del "Progettone 1", dove non era stato possibile trovare conferme dall'analisi

sedimentologica a questa ipotesi, in quanto era disponibile il solo dato relativo ai campioni prelevati nella prima campagna di monitoraggio del 2003, le 2 campagne di monitoraggio sedimentologiche del "Progettone 2" hanno permesso di constatare l'arrivo di materiale più fine.

In sintesi, la spiaggia di Misano, nella zona dei pennelli lunga 1.600 m, nel periodo 2007-2009 è stata alimentata con i ripascimenti del "Progettone 2" (149.000 m³) e di manutenzione annuale (45.600 m³). Complessivamente l'apporto è stato di 194.600 m³. Di questi, al Luglio 2009, erano rimasti nell'area di ripascimento 98.000 m³, quindi il 50%.

Considerare perso il 50% di materiale fuoriuscito sarebbe un grave errore perché in parte si è accumulato all'esterno della barriera in sacchi, innalzando il fondale, e in parte è stato trasportato verso nord dalla corrente litoranea, andando ad alimentare la spiaggia in erosione di Riccione Sud.

Osservando la Figura 7B, si nota che, rispetto alla situazione rilevata nel 2007, prima del Progettone 2, lo stato dei fondali nel Luglio 2009 è nettamente migliorato. Al contrario, si è leggermente abbassata la quota della spiaggia emersa.

Visto che la dinamica dei sedimenti è sempre la stessa e che il tasso di perdita è sempre stato molto elevato si pone l'esigenza di intervenire in tempi brevi sulle cause di erosione per rendere sostenibili i costi di gestione. Considerando che l'amministrazione comunale si è detta contraria al ripristino di una spiaggia ciottolosa, come era quella originaria, occorre attuare un intervento che modifichi radicalmente l'assetto dei pennelli per ridurne la riflettenza. Allo stesso tempo sarebbe opportuno effettuare ripascimenti con sabbia di granulometria maggiore di quella fin ora portata.

La prima indicazione resta comunque quella già evidenziata nel Piano Coste 1996 e cioè attuare interventi in grado di aumentare l'apporto di sabbia e ghiaia al mare da parte del fiume Conca, che sfocia sul confine sud del litorale di Misano. Questo fiume è stato infatti sbarrato da una diga a 3 km dalla foce negli anni '70 e più a monte da 5 briglie oramai piene di ghiaia.

Nonostante ciò, negli ultimi anni, si è formata una piccola spiaggia di ciottoli a ridosso della scogliera radente, posta a difesa dei palazzi in riva al mare di Porto Verde, 300 m a nord della foce. Questo, sembra un primo segnale di ripresa degli apporti a mare del fiume.

È del tutto evidente che la situazione della spiaggia di Misano sarebbe ben diversa se le acque del Conca fossero messe in condizione di scorrere liberamente fino a mare come un tempo.

Riccione sud

La spiaggia di Riccione, nei primi chilometri a nord del confine con Misano, è in forte erosione da alcuni decenni ed è stata difesa con continuità dalla Regione e dal Comune a partire dal 1983 (Fig. 9).

Come a Misano, la gestione si è basata sulla realizzazione di molti interventi di ripascimento e nella costruzione, tra il 1983 e il 1998, di una barriera sommersa in sacchi pieni di materiale sabbioso lunga 3 km. La funzione assegnata alla barriera, sulla base degli studi e delle prove in canaletta effettuate in Olanda al Delft Hydraulics dalla società regionale Idroser, era quella di contenere la sabbia portata a ripascimento.

In pratica le cose sono andate diversamente, non solo a Riccione, ma in tutte le spiagge emiliano-romagnole dove è stata utilizzata questa tipologia di difesa. La sabbia infatti non si è accumulata lato terra rispetto alla barriera, ma in notevole misura si deposita sul suo lato mare. In questo modo la barriera sommersa si trasforma nel nucleo fisso di una larga barra che favorisce il frangimento delle onde.

Questo positivo comportamento è stato più volte riconosciuto pubblicamente dagli operatori di spiaggia di Riccione, per cui, sulla base delle loro sollecitazioni, il primo chilometro di barriera, realizzato negli anni '80 sottoflutto alle scogliere di Misano, è stato prolungato verso nord di altri 2 km negli anni '90.

Per quanto riguarda i ripascimenti occorre ribadire che la spiaggia di Riccione sud è il primo tratto di arenile sottoflutto ad una lunga serie di opere di difesa in massi poste a protezione dei litorali di Gabicce, Cattolica e Misano.

La presenza di queste opere, la forte deriva da sud verso nord dei sedimenti litoranei, l'assenza in zona di fonti di alimentazione naturale e l'altissima fruizione turistica fanno sì che la spiaggia di Riccione debba necessariamente essere alimentata artificialmente, soprattutto in corrispondenza del primo chilometro a ridosso delle scogliere di Misano. Per queste ragioni la spiaggia di Riccione Sud è stata inserita tra quelle da ripascere sia con il "Progettone 1" che con il "Progettone 2".

Le dinamiche di questa spiaggia dopo il primo dei suddetti interventi sono descritte nel presente volume

nell'articolo riguardante il "Progettone 1", di seguito viene riportato quanto accaduto dopo il Progettone 2. Il Comune di Riccione è stato tra i primi in Emilia-Romagna a finanziare interventi di difesa della propria costa e il primo ad approvare una delibera che impegna tutti i costruttori a portare le sabbie provenienti da scavi edili a ripascimento delle spiagge in erosione.

Nell'Aprile 2007, quando con il "Progettone 2", è stato effettuato l'apporto di 105.000 m³ di sabbia sottomarina, sulla spiaggia di Riccione Sud erano già accumulati 53.000 m³ di sabbia provenienti dallo scavo di un parcheggio sotterraneo.

Il materiale proveniente dai dossi sottomarini è stato steso in maniera uniforme su un tratto lungo 1200 m, a partire dalle scogliere di Misano, determinando un avanzamento della linea di riva di circa 30-40 m (Fig. 10A).

Terminato il rilievo di seconda pianta, indispensabile per il calcolo dei volumi apportati dalla draga, sono stati stesi i 53.000 m³ accumulati in precedenza. Nella primavera 2008, inoltre, il Comune ha apportato altri 26.700 m³ di sabbia sui 600-700 m di litorale più a sud (Tab. 4).

In totale, nei 17 mesi che separano il rilievo di seconda pianta dalla prima campagna di monitoraggio, realizzata da ARPA nell'Ottobre 2008, nella spiaggia in esame sono stati versati circa 79.700 m³ di sabbia.

La Figura 10B ottenuta confrontando i rilievi suddetti, mostra da un lato un forte processo di migrazione della sabbia dalla spiaggia emersa a quella sommersa, dall'altro una netta deriva sud-nord dei sedimenti.

In pratica, la sabbia asportata dal moto ondoso dalla spiaggia si è spostata verso la barriera sommersa superandola a partire dai 750 m a nord dell'ultima scogliera di Misano determinando, da questo punto verso nord-ovest, un rialzo del fondale esterno alla barriera.

Un andamento analogo si nota anche nei primi 400 m di barriera più a sud, in questo caso la sabbia è con tutta probabilità quella proveniente dai ripascimenti effettuati nella zona dei pennelli di Misano.

Il calcolo dei volumi ottenuto dal confronto di questi due rilievi, limitatamente all'area di ripascimento lunga 1200 m e comprendente la spiaggia emersa e quella sommersa fino alla barriera in sacchi, evidenzia, nei 17 mesi considerati, una perdita pari a 103.100 m³ di materiale. In pratica, nell'Ottobre 2008, dei 184.700 m³ di sabbia portati con il "Progettone 2" e con gli altri interventi, all'interno dell'area di ripascimento ne erano rimasti circa 79.800 m³, pari al 43% del totale.

Occorre ribadire che il materiale depositato sul lato esterno alla barriera (40.000 m³) non va considerato perso in quanto, come illustrato all'inizio, svolge un importante ruolo favorendo il frangimento delle onde più alte all'esterno della barriera.

Nel periodo considerato, la linea di riva è arretrata di 20 m a sud e di circa 30 m nella zona centrale dell'area di ripascimento. Può sembrare una contraddizione, visto che la zona prossima alle scogliere è certamente quella dove i processi erosivi sono più intensi, ma non lo è in quanto questa è la zona dove è stata scaricata la maggior parte della sabbia degli interventi di manutenzione.

La seconda campagna di monitoraggio è stata realizzata nel Luglio 2009. Nei 9 mesi che separano le due campagne di monitoraggio, Comune e Regione hanno portato sulla spiaggia di Riccione Sud 53.100 m³ di materiale sabbioso (Tab. 4).

La Figura 11A ottenuta confrontando i due rilievi, mostra una ulteriore perdita non solo sulla spiaggia emersa, ma anche in quella sommersa.

In prossimità della barriera la situazione è migliorata sul lato terra nei primi 400 m e subito all'esterno nel restante tratto più a nord.

Dai calcoli effettuati risulta che l'area di ripascimento ha perso in 9 mesi 104.900 m³ di materiale e cioè 87 m³/m, una quantità certamente rilevante.

Essendo l'area coperta dai rilievi ARPA molto più estesa di quella rilevata da impresa e Direzione Lavori durante i rilievi di prima e seconda pianta, è possibile riscontrare in Figura 11A che anche la spiaggia a nord dell'area di ripascimento è stata interessata da ingenti perdite sia nella parte emersa che in quella sommersa. Questo andamento va quindi ricondotto alle condizioni meteomarine del periodo, caratterizzato da frequenti mareggiate da sud-est che hanno sicuramente instaurato forti correnti lungo costa con direzione sud-nord. Un simile andamento non poteva non avere ripercussioni anche sulla linea di riva che è infatti arretrata nel periodo di circa 20 m, nel tratto a sud, mentre a nord l'arretramento si riduce a pochi metri.

Ai fini dell'analisi sedimentologica, in questo paraggio sono stati selezionati per il prelievo di sedimento due sezioni: una in corrispondenza della cella oggetto di intervento (25L5) e una esterna (21L5) (Fig. 10B).

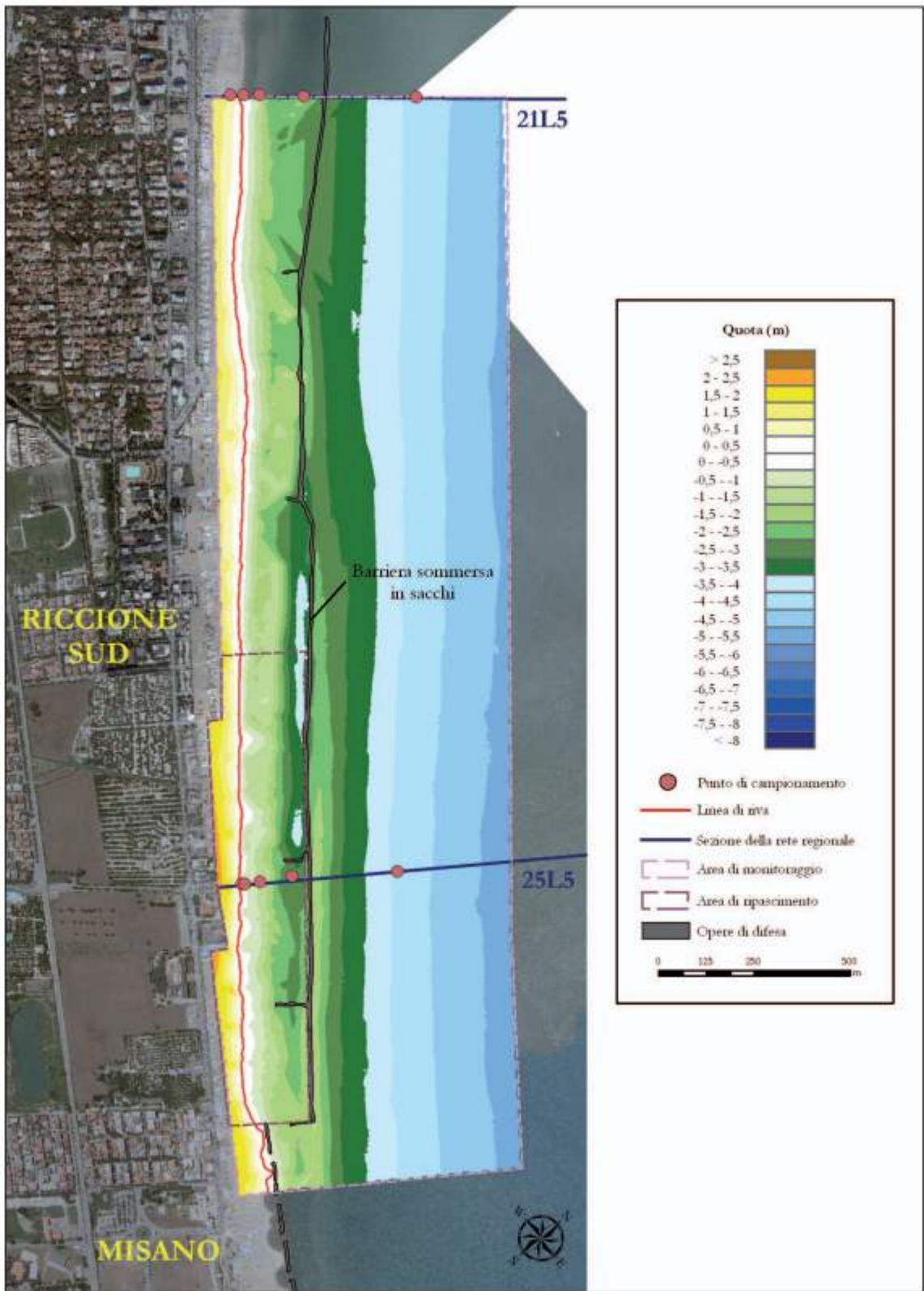


Figura 9 - Riccione Sud: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

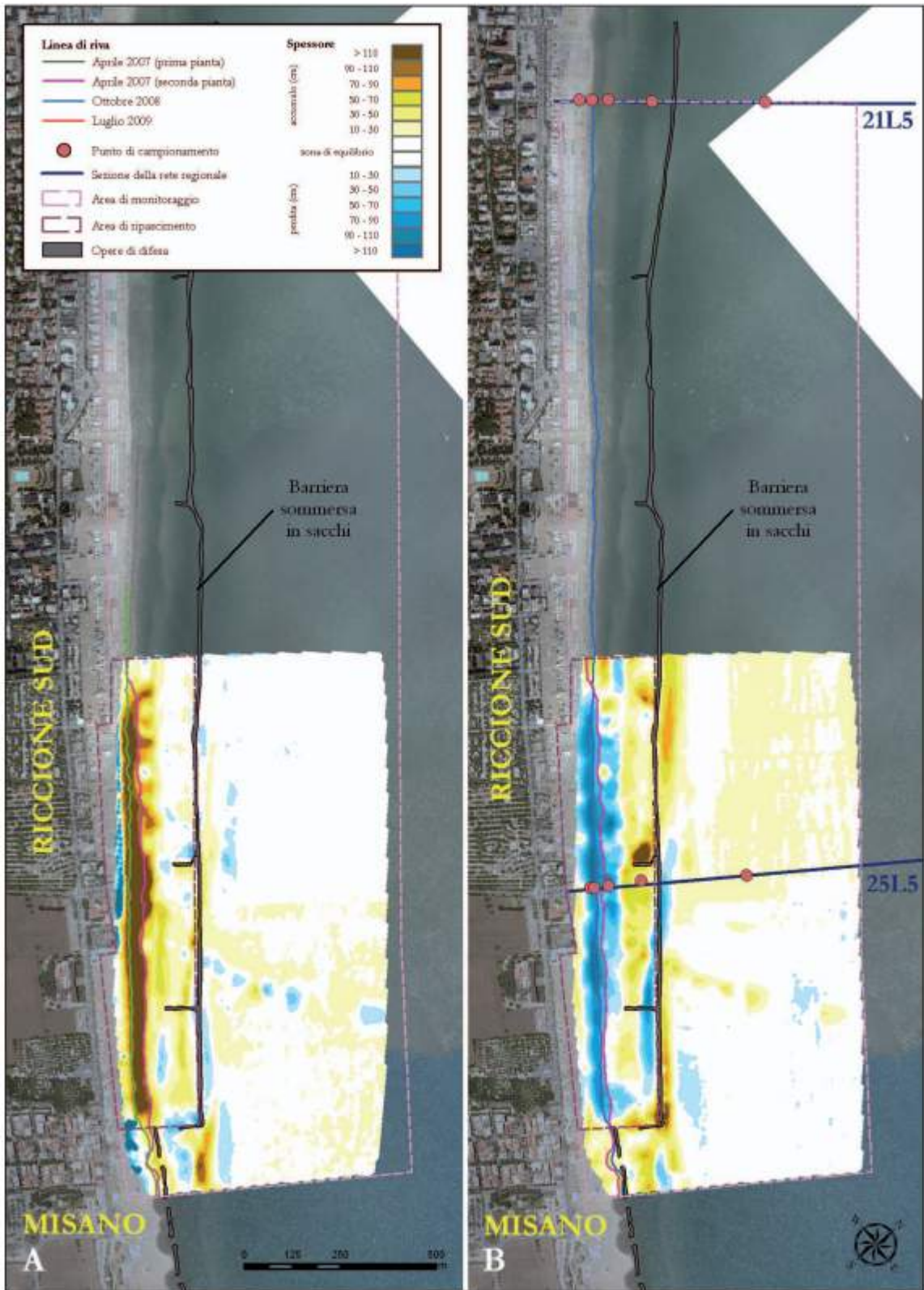


Figura 10 - Riccione Sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

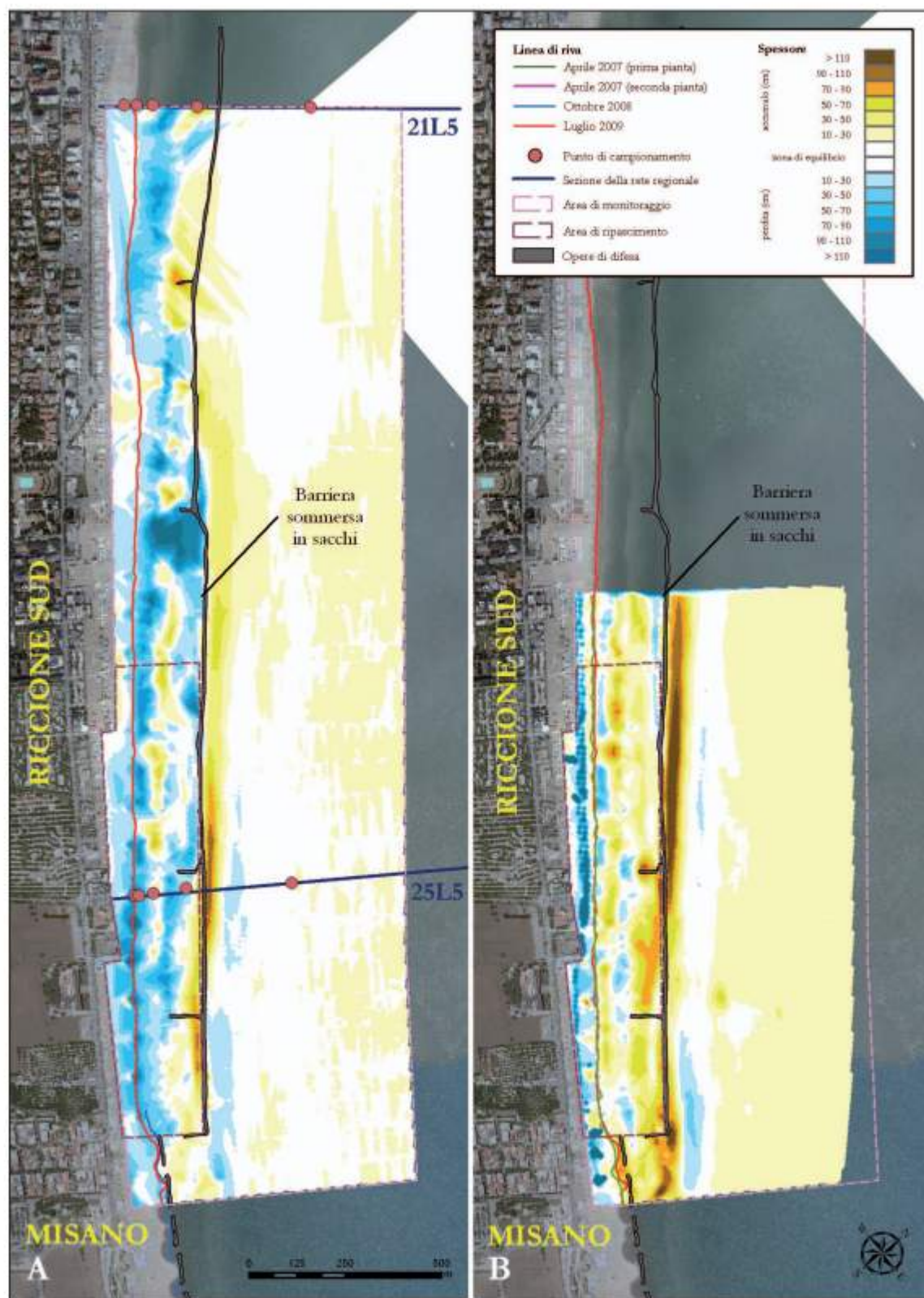


Figura 11 - Riccione Sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

Nel 2008, la spiaggia di Riccione sud risulta costituita da depositi con diametro medio appartenente alla classe della sabbia fine. La dimensione del granulo medio diminuisce leggermente con l'aumentare della profondità, le dimensioni maggiori si riscontrano sulla spiaggia emersa e le minori alla profondità di 4 m (Fig 12; Tab. 5)

I campioni risultano da discretamente a ben classificati, in particolare, la maggior parte dei campioni prelevati lungo la sezione 21L5, collocata infatti al di fuori della cella di intervento, è ben classificata. I livelli di selezione più bassi, e comunque dell'ordine del sedimento moderatamente classificato, si rilevano nei campioni esterni alla barriera in sacchi, su entrambe le sezioni.

I campioni prelevati sulla spiaggia emersa e alla profondità di 1 m lungo il profilo 25L5, collocato nella zona di intervento, sono meno classificati rispetto a quelli analoghi della sezione 21L5, distante 1 km dalla cella, presumibilmente a causa dei continui apporti artificiali di sabbia.

I sedimenti prelevati sulla spiaggia emersa sono in parte asimmetrici verso il grossolano e in parte simmetrici, mentre quelli appartenenti alla spiaggia sommersa sono costituiti da una coda di materiale fine.

Nel 2009 rispetto al 2008, non si osservano variazioni granulometriche significative.

Anche la cernita lungo il profilo 21L5 non evidenzia variazioni (Figg. 11A e 12).

Leggermente diversa è invece la situazione della classazione per alcuni campioni prelevati lungo il profilo 25L5, quello collocato in corrispondenza della cella di intervento, dove si osserva un miglioramento della selezione sulla spiaggia emersa e in corrispondenza del campione esterno alle barriere.

Il coefficiente di asimmetria resta pressoché invariato su entrambi i profili.

In sintesi, nel periodo 2007-2009, a Riccione Sud sono stati portati a ripascimento della spiaggia 105.000 m³ di sabbia con il "Progettone 2" e 132.800 m³ con altri interventi, per un totale di 237.800 m³. Di questi, nel Luglio 2009, nell'area di ripascimento, che comprende i 1.200 m più a sud del litorale di Riccione e si

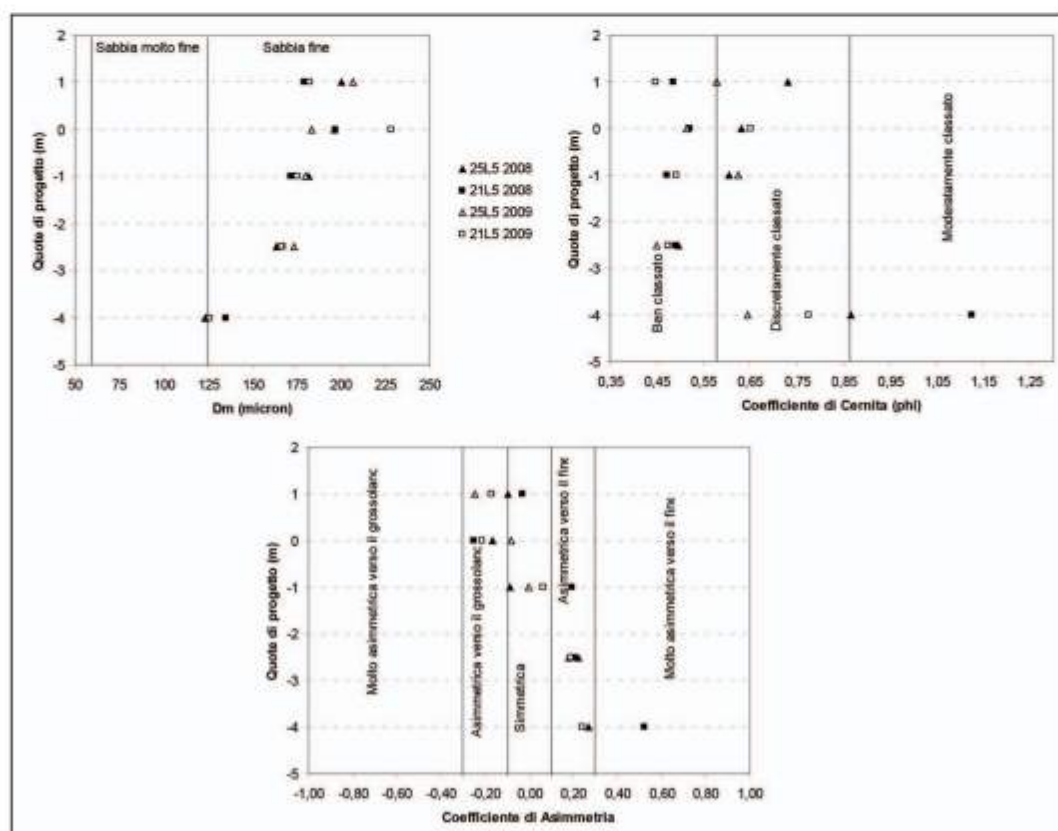


Figura 12 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e di asimmetria (in basso) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Riccione sud, lungo i profili 25L5 e 21L5 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Nei grafici è riportata la posizione indicativa della barriera in sacchi rispetto ai campionamenti.

estende fino alla barriera in sacchi, ne erano rimasti solo 29.800 m³. In pratica, tra l'Aprile 2007 e il Luglio 2009, sono fuoriusciti da questa area circa 208.000 m³ di materiale sabbioso.

Ancor più che per Misano, considerare perso questo materiale sarebbe un grave errore; come in passato questo materiale è andato ad alimentare le spiagge più a nord.

Nelle foto aeree effettuate prima e dopo la realizzazione delle barriere in sacchi, si vede che al confine tra Misano e Riccione, hanno origine delle barre sommerse che si spingono verso nord per 14 km, fino al molo sud del porto di Rimini.

Tenuto conto che in questo tratto non vi sono foci fluviali, il materiale portato a ripascimento a Misano e Riccione è l'unica fonte di alimentazione di questa costa, gravata tra l'altro, nel tratto di Rimini, da circa 1 cm/anno di subsidenza che sulla fascia costiera di 500 m equivale a una perdita annua di 5.000 m³/km.

Igea Marina

Come Misano e Riccione, anche il tratto di litorale di Igea Marina, dove nel 2003 con un intervento sperimentale 6 scogliere parallele emerse sono state trasformate in un'unica barriera semisommersa, è stato interessato dai ripascimenti del "Progettone 1" e "Progettone 2" (Fig. 13).

Per l'inquadramento generale e la descrizione di quanto avvenuto tra il 2002 e il 2005 si rimanda alla monografia riportata nell'articolo del presente volume in cui vengono descritti i processi evolutivi delle 8 spiagge oggetto del "Progettone 1".

Con l'intervento di ripascimento del Progettone 2, a Igea Marina sono stati refluiti 105.800 m³ di sabbia sottomarina su un tratto di 1300 m, comprendente gli 800 m dell'intervento sperimentale e i primi 500 a sud. Quest'ultimo tratto è stato, da un lato, utilizzato come zona di deposito temporaneo di 25.000 m³ di sabbia trasportati in seguito con i camion su 2 tratti di spiaggia di Rimini e Cesenatico, dall'altro, perché in corrispondenza di questi 500 m di spiaggia si era formata una falcata erosiva dovuta, con tutta probabilità, al particolare assetto dato al tratto terminale del pennello sud dell'intervento sperimentale e all'orientamento a scirocco delle scogliere. Il congiungimento con la linea delle scogliere è stato effettuato, infatti, in corrispondenza dell'ultimo varco sommerso, anziché con la scogliera emersa.

La situazione venutasi a creare a seguito dell'apporto dei 105.800 m³ è ben evidenziata in Figura 14A ottenuta confrontando i rilievi di prima e seconda pianta eseguiti dall'Impresa, in accordo con la Direzione Lavori, rispettivamente a Aprile e Maggio 2007.

In pratica, escludendo i 25.000 m³ portati via con i camion, risulta che 43.800 m³ di sabbia sono stati distribuiti all'interno della zona sperimentale e 37.000 m³ nel tratto a sud.

Nella cella d'intervento sperimentale la linea di riva è avanzata di 30 m, mentre il fondale è stato interessato da un accumulo generalizzato su tutto la parte rilevata. Occorre precisare che i rilievi effettuati dall'Impresa e Direzione Lavori avevano lo scopo di stabilire quanto materiale era stato portato su ogni spiaggia per fini contabili, per cui, in molti casi, l'area coperta interessa la spiaggia emersa e una parte di quella sommersa. Nel caso in esame il rilievo non ha raggiunto neanche la linea delle scogliere.

Nell'Ottobre 2008, ARPA ha effettuato la prima campagna di monitoraggio rilevando una zona ben più estesa dell'area di ripascimento. Il rilievo ha interessato, oltre l'area di intervento, anche i primi 800 m a sud e primi 600 m a nord, ed è stato esteso fino alla batimetrica dei 5 m (Fig. 14B).

Al momento del confronto con i rilievi di seconda pianta, questo vasto quadro non lo si è potuto però valorizzare al meglio a causa della limitata copertura del rilievo del Maggio 2007. La Figura 14B permette quindi di riscontrare le zone di accumulo e erosione presenti all'interno della piccola area rilevata nel 2007. In ogni caso gli aspetti salienti che vi si possono cogliere sono: una riduzione di quota della spiaggia emersa di alcuni decimetri su tutto il tratto della cella sperimentale protetta dalla barriera semisommersa, ad esclusione degli ultimi 100 m dove al contrario si è avuto un leggero rialzo della spiaggia e dei fondali.

La variazione di volume calcolata nei 500 m a sud della cella sperimentale è pari a 25.400 m³, poco più dei 25.000 m³ trasportati con i camion. Quindi quest'area nel periodo tra il Maggio 2007 (seconda pianta) e l'Ottobre 2008 (primo monitoraggio) è rimasta stabile.

Tra il Maggio 2007 e l'Ottobre 2008 la linea di riva non ha subito variazioni significative.

La situazione di quasi stabilità all'interno della cella sperimentale è confermata anche dal calcolo dei volumi che evidenzia un accumulo di 4.300 m³ in 17 mesi.

La Figura 15A ottenuta confrontando le due campagne di monitoraggio eseguite da ARPA, Ottobre 2008 e

Luglio 2009, permette di prender visione di quanto avvenuto in un'area molto vasta, con al centro la zona di ripascimento.

Prima di esaminare gli aspetti salienti evidenziati dalla Figura 15A occorre dire che nell'intervallo di 9 mesi che separa le 2 campagne sono stati portati all'interno della cella sperimentale, da parte del Servizio Tecnico Regionale di Rimini, 4.500 m³ di materiale sabbioso (Tab. 4).

Nonostante ciò tutta l'area della cella sperimentale ha perso materiale, sia sulla spiaggia emersa sia su quella sommersa, dentro e fuori la scogliera semisommersa. Si tratta di un aspetto molto interessante perché in contrasto con la situazione di stabilità dei 17 mesi precedenti e con quanto accaduto nei 500 m a sud della cella dove risulta un accumulo di 2.400 m³.

In termini volumetrici risulta infatti una perdita, nei 9 mesi, di circa 19.200 m³ di materiale, a cui vanno aggiunti i 4.500 m³ portati a ripascimento, quindi una perdita pari a 30 m³/m contro una sostanziale stabilità dei 17 mesi precedenti.

Un simile cambiamento va con tutta probabilità ricondotto alle diverse condizioni meteomarine che hanno contraddistinto i 2 periodi.

Infatti, partendo dal dato che a Igea Marina la normale alla costa è disposta a circa 50° N, dall'analisi delle caratteristiche delle mareggiate registrate dalla boa ondometrica Nausicaa (vedi: Condizioni meteomarine), risulta che, pur avendo tutte le mareggiate dei 2 periodi una direzione di provenienza compresa tra i 45° e i 90° N, il secondo periodo è caratterizzato da un maggior numero di eventi compresi tra gli 80° e i 90° N.

Grazie anche all'apporto di 4.500 m³ di sabbia di cui si è detto, la linea di riva risulta invece stabile su tutto il tratto.

Sulla spiaggia di Igea Marina, nell'Ottobre del 2008 sono stati prelevati campioni di sedimento su tre profili (Fig. 14B):

- lungo il 139L1, collocato 700 m a nord della cella sperimentale e al di fuori della cella interessata dall'intervento di ripascimento,
- lungo IG09, in corrispondenza della cella sperimentale e all'interno della cella di intervento,
- lungo IG02, ubicato alla distanza di circa 200 m dal pennello che limita la cella sperimentale a sud e in corrispondenza dell'area oggetto di ripascimento.

Le sabbie prelevate sulla spiaggia emersa presentano, su tutti e tre i profili, un diametro medio appartenente alla sabbia fine (Fig. 16).

I campioni prelevati sulla spiaggia sommersa nella fascia interna alle strutture di protezione presentano diametro medio differente da profilo a profilo (Tab. 5). I sedimenti campionati sui profili IG02 e 139L1 sono più grossolani (sabbia fine) del campione prelevato all'interno della cella sperimentale lungo la sezione IG09 (sabbia molto fine). Si ritiene che tali differenze siano legate ai diversi contesti in cui i sedimenti sono stati campionati che rendono poco confrontabili tra loro i campioni nonostante tutti e tre siano collocati all'interno delle opere di protezione. Il campione relativo al profilo 139L1 è collocato alla profondità di 1,7 m in prossimità di un varco tra scogliere, in una zona di alta energia e, infatti, è anche il più grossolano tra i tre. Il sedimento prelevato sul profilo IG02, con diametro medio lievemente inferiore rispetto al precedente, è collocato al 1 m di profondità in prossimità dalla battigia. In fine, il campione più fine relativo alla sezione IG09, è stato prelevato alla profondità di 1 m all'interno delle scogliere modificate con l'intervento sperimentale.

Esternamente alle scogliere i sedimenti presentano un diametro medio prevalente delle dimensioni della sabbia molto fine.

La cernita e l'asimmetria dei depositi sulla spiaggia emersa e sommersa presentano tendenze tipiche di questi due ambienti deposizionali (Fig. 16). Le sabbie campionate sulla spiaggia emersa risultano prevalentemente bene e discretamente classate e presentano curve simmetriche o prossime alla simmetria. I depositi appartenenti alla spiaggia sommersa ricadono quasi tutti nel campo dei sedimenti poco classati e presentano una curva molto asimmetrica verso il fine.

I sedimenti prelevati sulla spiaggia emersa nel 2009 non presentano significativi cambiamenti rispetto al 2008: il diametro medio di tutti i campioni rimane compreso nella classe della sabbia fine (Fig. 16).

Sulla spiaggia sommersa, internamente ed esternamente alle opere di difesa, non si osserva una tendenza generale, ma cambiamenti di lieve entità variabili da profilo a profilo. Si segnala la diminuzione del granulo medio, da sabbia fine a molto fine, nel campione interno alla scogliera prelevato lungo la sezione più settentrionale (139L1).

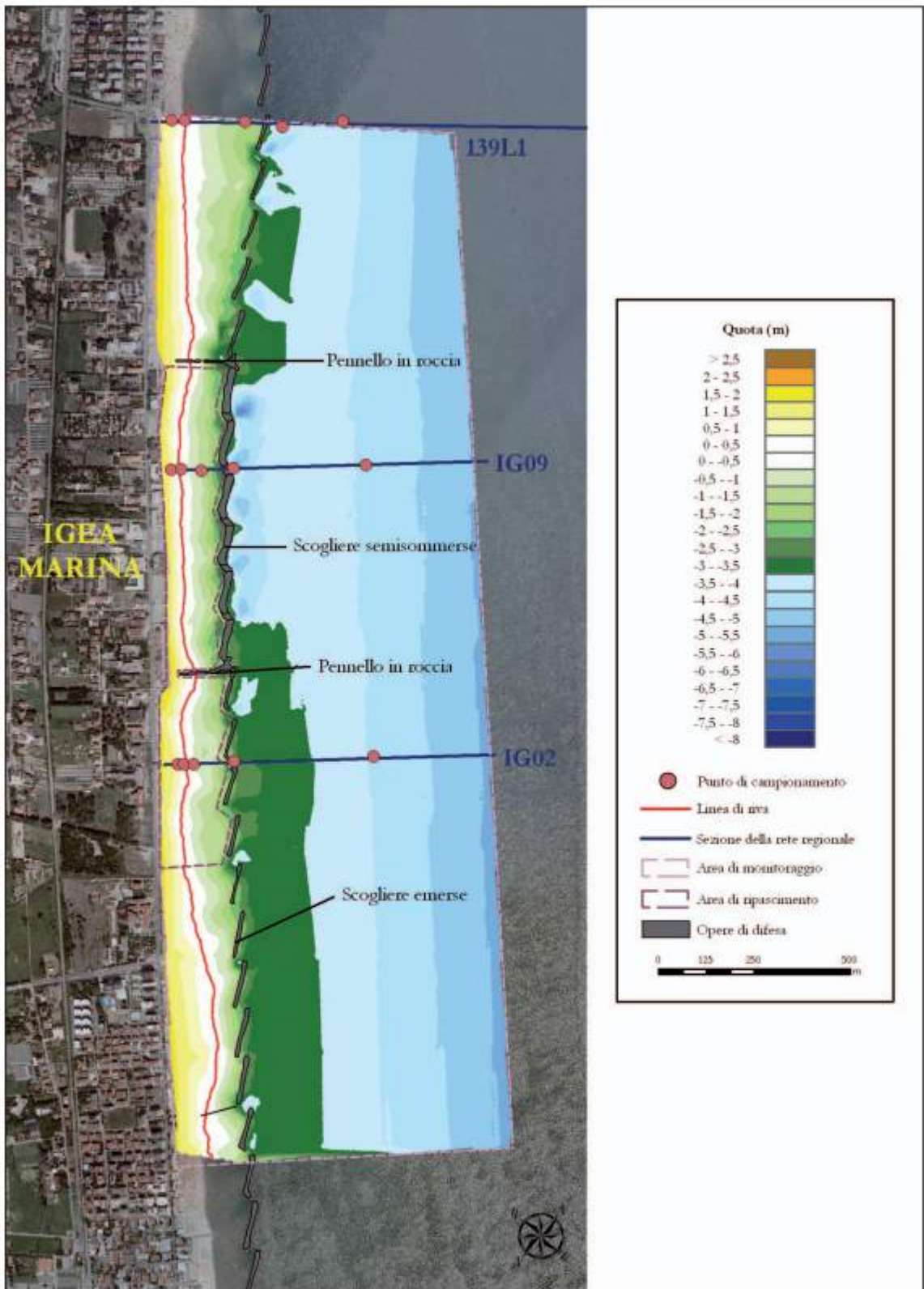


Figura 13 - Igea Marina: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

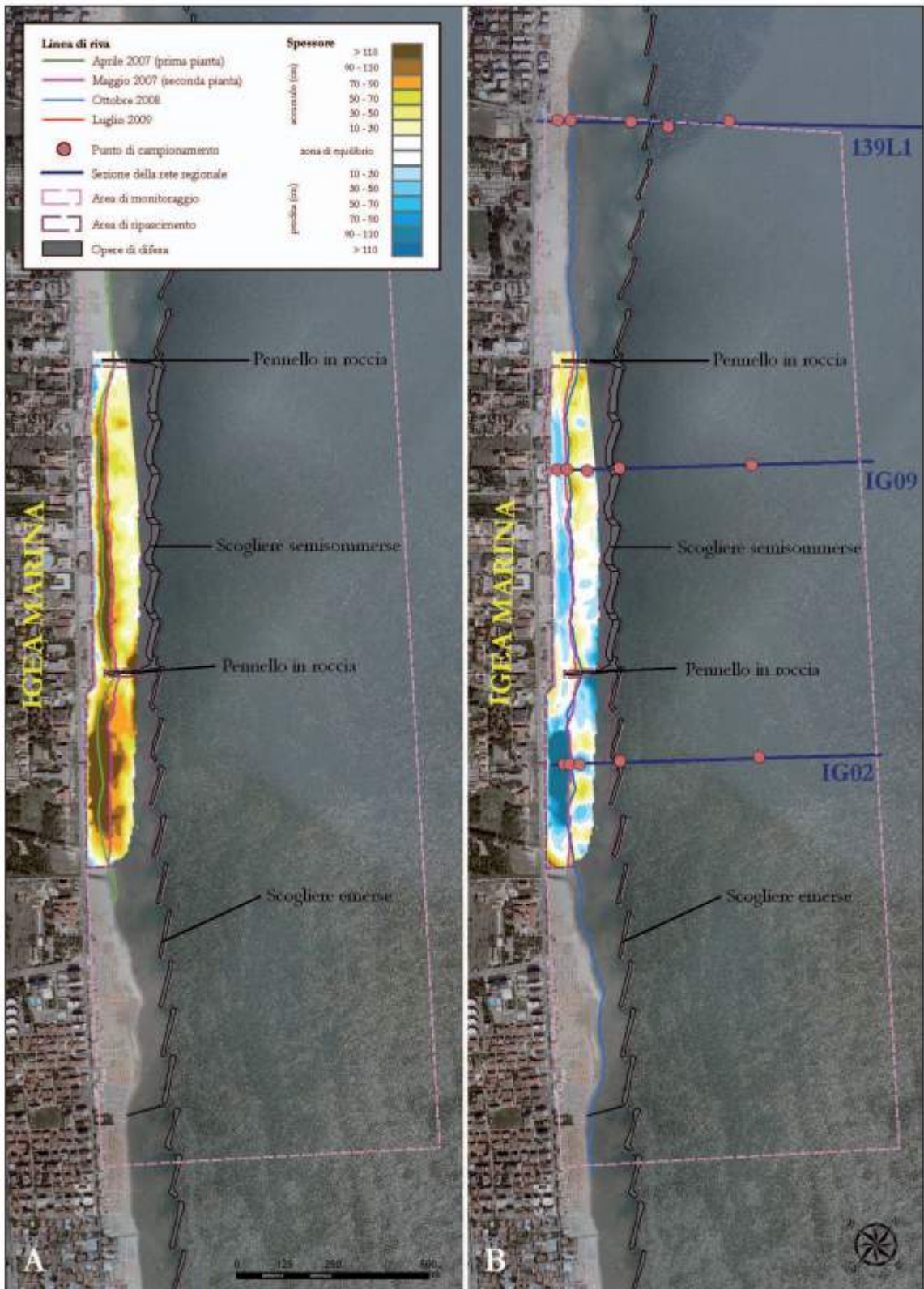


Figura 14 - Igea Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

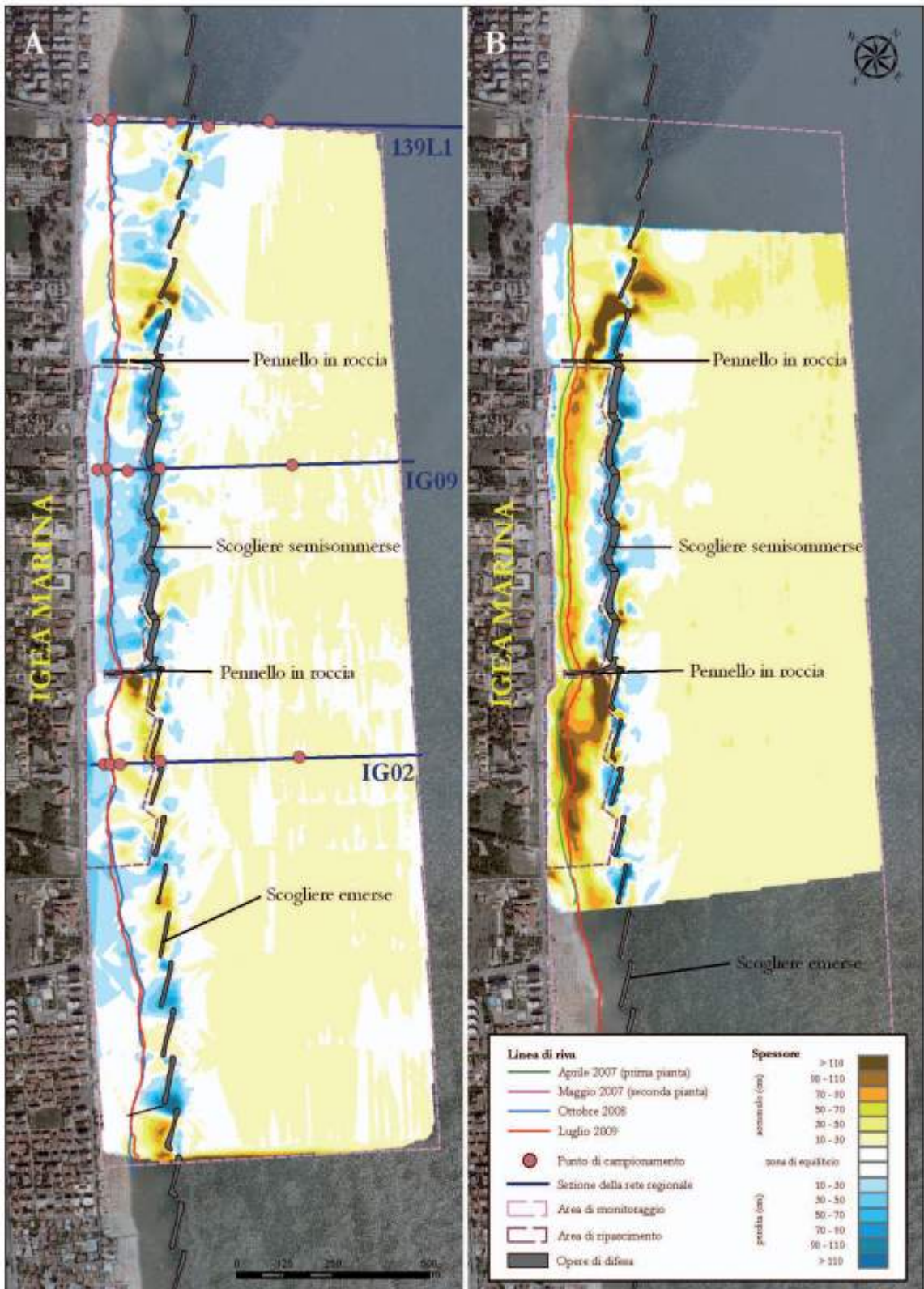


Figura 15 - Igea Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

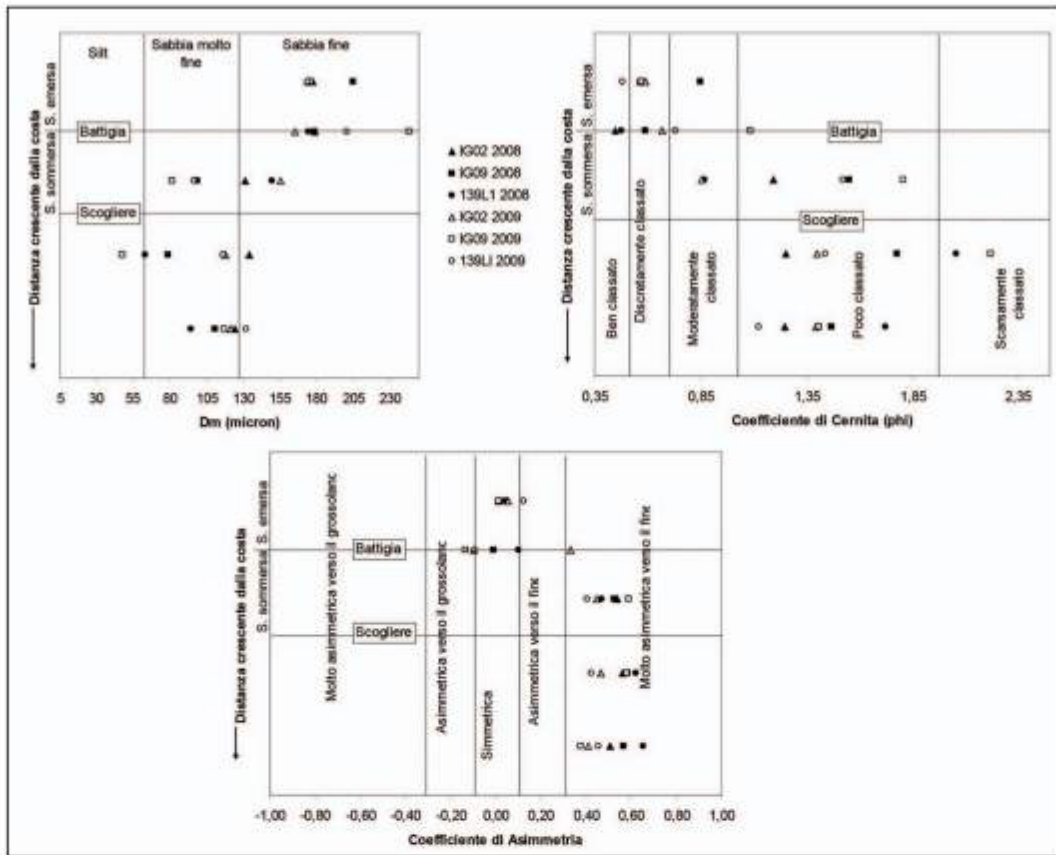


Figura 16 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e di asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Igea Marina, lungo i profili IG02, IG09 e 139L1 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Vengono riportate le posizioni indicative della battigia e delle scogliere rispetto ai punti di prelievo dei campioni di sedimento.

Rimangono invariate le dimensioni del diametro medio dei campioni al largo.

Lungo la sezione IG02 (Fig. 15A), la più meridionale, l'unica variazione significativa nel grado di classazione è quella osservata nel campione prelevato all'interno delle scogliere dove il grado di selezione migliora passando da poco a moderatamente classato, presumibilmente a causa dell'azione, anche dietro le scogliere parallele emerse, di correnti in grado di selezionare il sedimento.

Si osservano invece peggioramenti nel grado di selezione lungo il profilo IG09, posto in corrispondenza dell'intervento sperimentale, soprattutto a livello di battigia dove i sedimenti, che nel 2008 risultavano discretamente selezionati, passano nel 2009 al campo dei depositi poco classati. La causa di questo peggioramento è attribuibile a un ripascimento effettuato nel periodo intercorso tra i due prelievi di campioni, consistente nell'apporto di sedimenti prelevati da un accumulo formatosi a ridosso delle scogliere emerse del vicino tratto di spiaggia posto a nord (Tab.4).

Peggiora anche la classazione del campione prelevato all'interno delle scogliere lungo il profilo 139L1. Il campione si trova in prossimità di un varco tra le scogliere e quindi, si suppone, visto che purtroppo la sezione si trova al margine dei rilievi batimetrici, che in questo punto le correnti tendano a scavare e a far affiorare depositi più fini.

Non si osservano significative modificazioni nel coefficiente di asimmetria; si segnala solo la comparsa di una coda di materiale fine alla battigia in corrispondenza del profilo più meridionale (IG02).

In sintesi, nel periodo 2007-2009, a Igea Marina sono stati apportati 80.800 m^3 di sabbia con il "Progettone 2" e 4.500 m^3 con un intervento di manutenzione effettuato nella primavera del 2009. Al termine del periodo di monitoraggio nell'area di intervento risultavano ancora presenti 42.700 m^3 di materiale, quindi

il 50% di quello apportato. Le perdite sono avvenute principalmente all'interno della cella sperimentale tra l'Ottobre 2008 e il Luglio 2009, dove sono state pari a 30 m³/m. Da segnalare la disposizione ad arco della spiaggia a sud della cella sperimentale, pur in una situazione di prevalente accumulo.

Occorre sottolineare che il tratto di litorale con al centro l'intervento sperimentale di Igea Marina può essere considerato, ancor più di Misano e Riccione, un modello fisico in scala reale. Nel corso di 9 anni (2001-2009) quest'area è stata, infatti, sottoposta ad un dettagliato e articolato monitoraggio da parte di ARPA, integrato, tra il 2005 e il 2007, da altri studi e rilievi effettuati dal DISTART (ora DICAM) dell'Università di Bologna.

Complessivamente le attività svolte dalle 2 strutture suddette, per conto della Regione Emilia-Romagna, sono state le seguenti:

- 11 campagne di rilievi topo-batimetrici;
- 5 campagne di analisi sedimentologiche;
- 7 voli aerei;
- 4 analisi di campioni di acqua e sedimento;
- installazione di una stazione di video-monitoraggio con analisi dei risultati nel biennio Febbraio 2006-Febbraio 2008 (Archetti, 2008; Archetti e Zanuttigh, 2010);
- rilievo di onde e correnti nei due mesi di Dicembre 2007 e Gennaio 2008 con ADCP(DISTART);
- analisi idro-morfodinamica attraverso l'utilizzo del modello MIKE 21 nel 2007 (DISTART).

I risultati delle analisi condotte a partire da questi dati, tenendo conto delle vicende che hanno interessato le opere di difesa, sono stati oggetto di un articolo presentato alla 32a Conferenza Internazionale di Ingegneria Costiera svoltasi a Shanghai nel 2010. Le attività di monitoraggio hanno evidenziato che l'intervento sperimentale ha raggiunto gli obiettivi previsti: il miglioramento della qualità dell'acqua e del fondale, l'allargamento della spiaggia emersa e l'aumento della presenza turistica. Gli unici aspetti negativi sono stati il collasso dei pennelli nel Dicembre 2003, in seguito ad un evento di mareggiata, e la determinazione di una falcata erosiva nei primi 200 m di spiaggia a sud del pennello sud (Prete et al., 2010).

Cesenatico Ponente (Zona colonie)

Il litorale di Cesenatico ha uno sviluppo di circa 7 km ed è diviso in due dai moli del portocanale. Il tratto meridionale, lungo 4,5 km, è interamente protetto da scogliere parallele emerse. Il tratto a nord, detto anche di Ponente, lungo 2,5 km, è protetto nei primi 800 m da una scogliera semisommersa (cresta con quota a medio mare), realizzata nel 2001 (Fig. 17).

Il trasporto solido litoraneo è diretto da sud verso nord e a causa della presenza dei moli e delle scogliere a sud il tratto di Ponente è del tutto privo di alimentazione naturale, ragion per cui deve essere alimentato artificialmente.

A partire dal 1983 e per tutti gli anni '90, la Regione ha effettuato periodici ripascimenti in corrispondenza dei primi 800 m a nord del molo, garantendone l'equilibrio, anche se in modo precario. Come era logico aspettarsi, dopo la costruzione della scogliera semisommersa il processo erosivo si è spostato immediatamente a nord del lungo pennello in massi che delimita fisicamente la cella dei primi 800 m.

In corrispondenza dei primi 600 m a nord di questo pennello, si è venuto così a formare una notevole arcata erosiva. La zona retrostante è occupata solamente da colonie, mentre sull'arenile non vi sono stabilimenti balneari. L'assenza di "pressioni" da parte di albergatori e bagnini ha fatto sì che per 6-7 anni la richiesta di intervento sia stata meno forte rispetto a quella degli anni '90 per la zona subito a nord del porto.

Con il "Progettone 1" il litorale di Cesenatico Nord era stato incluso nell'elenco dei siti da difendere, ma solamente per il tratto di Zadina, al confine con Cervia, in quanto la zona delle colonie era inserita in un progetto di intervento del Genio Civile Opere Marittime di Ravenna. Con il "Progettone 2", invece, l'intervento è stato previsto e realizzato con un apporto di 68.400 m³ proprio nei 600 m della zona colonie (Tab. 4).

La sabbia è stata distribuita in modo uniforme determinando un avanzamento della spiaggia di circa 50 m (Fig. 18A).

Nell'Ottobre 2008, quando sono stati realizzati i rilievi della prima campagna di monitoraggio, la situazione risultava notevolmente peggiorata, non tanto nella variazione della linea di riva, arretrata mediamente di 10-20 m, quanto nei bilanci dei sedimenti (Fig. 18B). Nei 17 mesi, che hanno fatto seguito all'intervento,

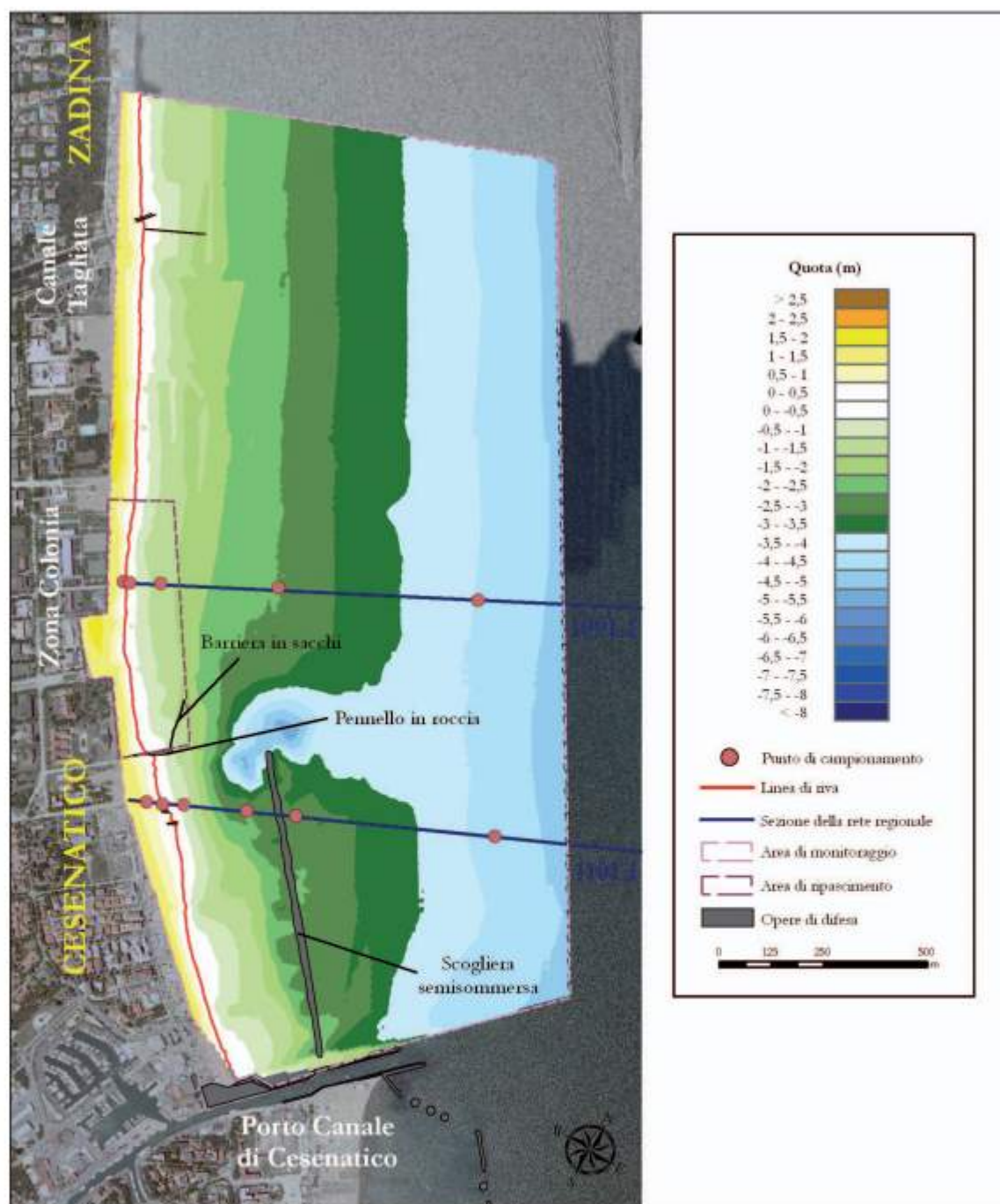


Figura 17 - Cesenatico Ponente: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

21.400 m³ di sabbia (33 m³/m) sono fuoriusciti dall'area di ripascimento, lunga 600 m e avente per chiusura lato mare la batimetrica di 1,5 m. Osservando la Figura 18B si può vedere che la perdita maggiore si è avuta sulla spiaggia emersa, in particolare nella zona centrale, ma anche sul fondale la perdita è diffusa. Il tratto che ha beneficiato maggiormente degli arrivi di sabbia dalla zona di intervento è quello subito a nord.

Nel Luglio 2009, quando ARPA ha realizzato la seconda campagna di monitoraggio, lo stato di questo tratto di costa risulta ulteriormente peggiorato. La Figura 19A ottenuta confrontando i DTM dei rilievi dell'Ot-

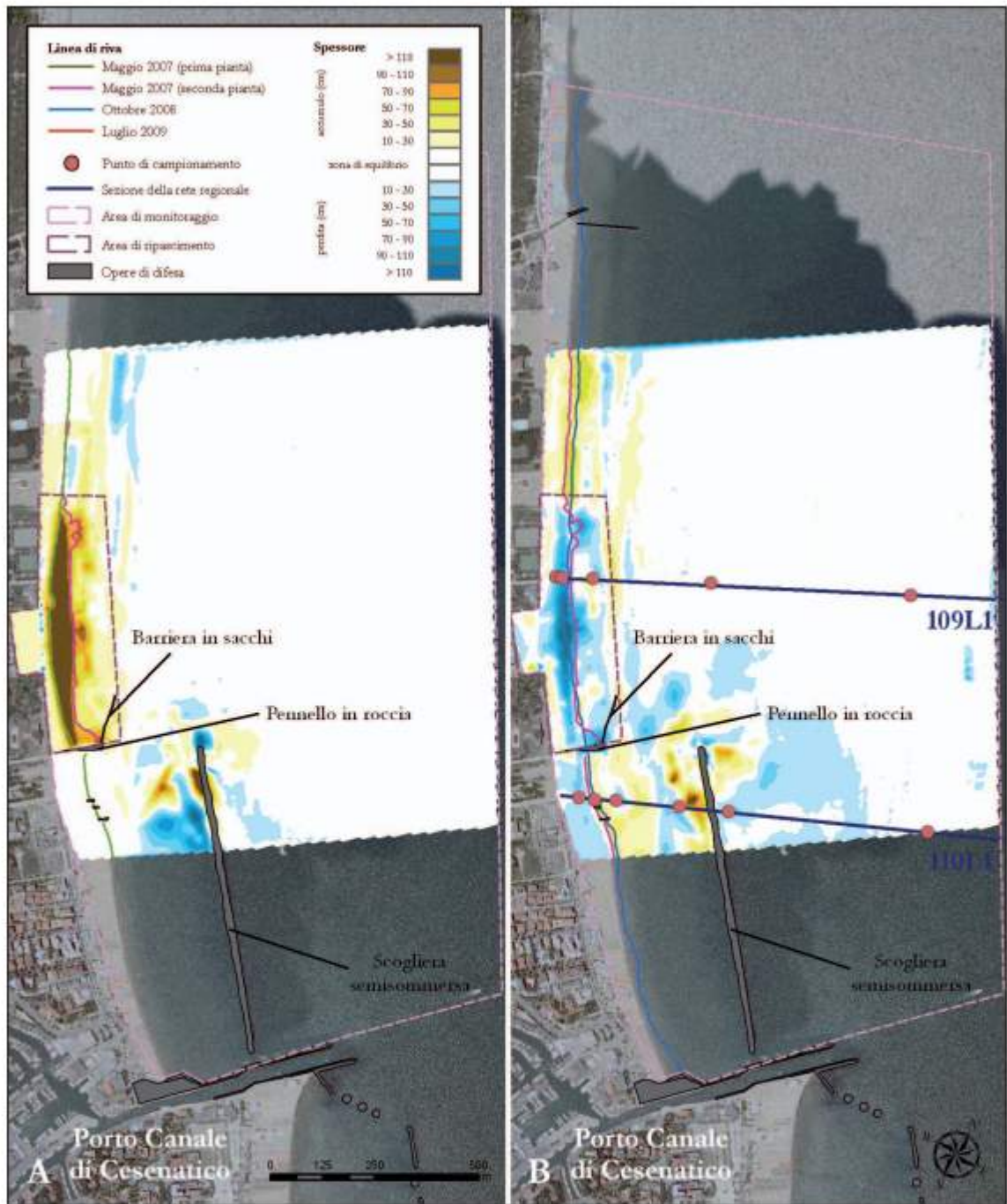


Figura 18 - Cesenatico Ponente: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

tobre 2008 e di Luglio 2009, evidenzia, nell'area d'intervento, un netto prevalere delle zone in perdita di materiale rispetto a quelle in accumulo. Il processo erosivo ha interessato tutta la spiaggia emersa e gran parte di quella sommersa.

Complessivamente quest'area ha perso altri 22.200 m³ di sabbia (37 m³/m) e, in assenza di ripascimenti compensativi, anche la linea di riva è arretrata di 20-30 m.

L'esame della Figura 19A evidenzia un andamento dei fenomeni del tutto simile a quello osservato nelle 2

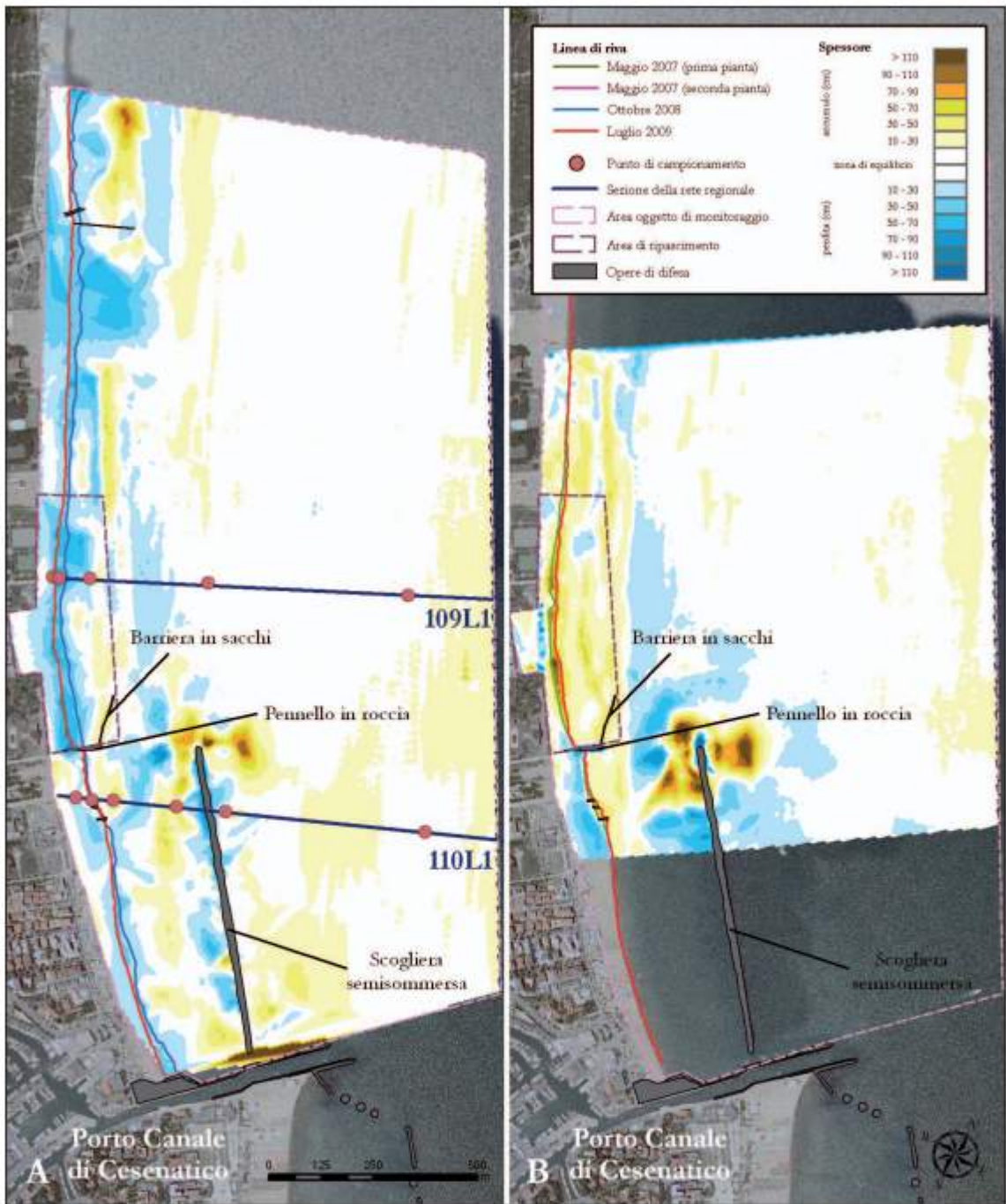


Figura 19 - Cesenatico Ponente: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

monografie precedenti e cioè che le perdite del primo periodo di soli 9 mesi, tra l'Ottobre 2008 e il Luglio 2009, sono analoghe a quelle verificatesi nel secondo di ben 17 mesi, tra Maggio 2007 e Ottobre 2008. La conferma che le mareggiate del secondo periodo hanno determinato dei processi erosivi di maggior intensità è fornita dall'ampiezza delle zone in perdita di materiale in corrispondenza dei litorali a nord della cella di ripascimento.

Nel 2008, il diametro medio dei sedimenti presenti sulla spiaggia emersa ricade nel campo della sabbia fine,

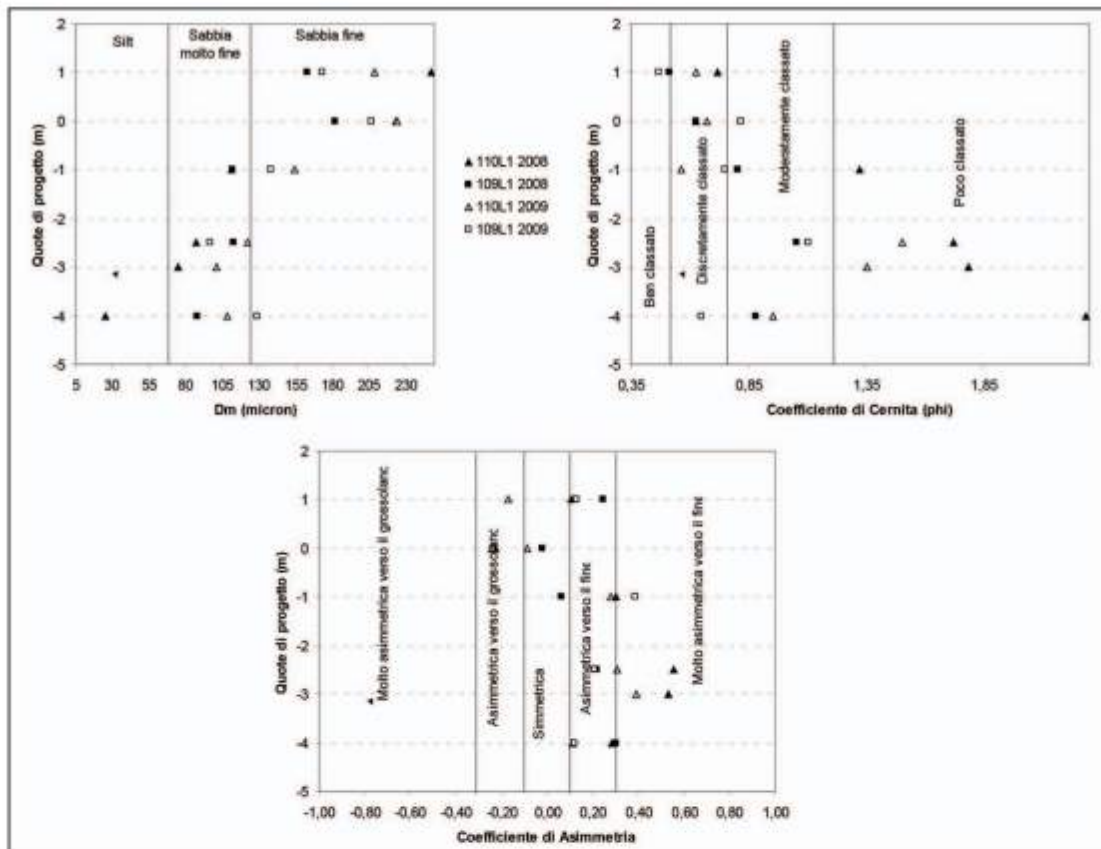


Figura 20 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti dei cernita (a destra) e asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Cesenatico ponente, lungo i profili 110L1 e 109L1 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009.

mentre quelli della spiaggia sommersa nel campo della sabbia molto fine (Figg. 18B e 20). Solo il campione prelevato al largo, sul profilo più meridionale (110L1), presenta un granulo medio dell'ordine del silt. La granulometria tende a diminuire con l'aumentare della profondità.

In entrambi i profili, i sedimenti sulla spiaggia emersa risultano da bene a discretamente classati; due campioni ben classati risultano simmetrici, mentre gli altri due meno selezionati presentano una coda di materiale fine, in un caso, e una coda di materiale grossolano, nell'altro.

Per quanto riguarda la spiaggia sommersa, i due profili presentano una cernita differente: i sedimenti campionati lungo il profilo 109L1, collocato nel tratto non protetto da opere, sono più classati (moderatamente classati) rispetto a quelli relativi alla sezione 110L1, posizionata a sud in corrispondenza della scogliera, che risultano prevalentemente poco classati.

Il sedimento prelevato alla profondità di 1 m sul profilo 109L1 risulta simmetrico, gli altri sono tutti da asimmetrici a molto asimmetrici verso il fine.

Nel 2009, sulla spiaggia emersa non si rilevano sostanziali cambiamenti nelle dimensioni medie dei granuli rispetto al 2008 (Figg. 19A e 20).

Sulla spiaggia sommersa, invece, si osserva un leggero aumento di granulometria a tutte le profondità lungo entrambi i profili, più accentuato lungo la sezione 110L1. Tale aumento potrebbe essere causato dalla migrazione verso la spiaggia sommersa della sabbia di maggiori granulometria sversata sulla spiaggia emersa.

Nel 2009, il coefficiente di cernita risulta sostanzialmente invariato sulla spiaggia emersa, su tutti i profili, e sulla spiaggia sommersa, lungo il 109L1. Dal punto di vista del coefficiente di asimmetria, si nota una tendenza generale dei campioni sulla spiaggia emersa a migrare verso il campo dei sedimenti simmetrici o

con asimmetria verso il grossolano, mentre rimangono pressoché invariati i sedimenti della spiaggia sommersa lungo la sezione 109L1.

Lungo il profilo 110L1, collocato al di fuori e sottoflutto alla cella oggetto di ripascimento, migliora la classazione e contestualmente diminuisce la coda di materiale fine a tutte le profondità.

In sintesi, il litorale di Cesenatico, zona Colonie, del tutto privo di opere di difesa dal mare, ma ubicato a nord di un tratto difeso da una scogliera semisommersa e da un pennello in massi, è stato interessato da un significativo ripascimento di 68.400 m³ (114 m³/m), nella primavera del 2007. Nei 2 anni successivi sono fuoriusciti dalla cella 43.600 m³ di sabbia (72 m³/m).

Osservando la Figura 19B, ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Maggio 2007) con quelli della seconda campagna di monitoraggio (Luglio 2009), si vede che la situazione è leggermente migliore di quella che ha preceduto l'intervento. Il trend è tale da far pensare che nel 2010 probabilmente si sarà ritornati allo status quo ante.

D'altro canto, per quanto descritto all'inizio, è del tutto evidente che ciò accade perché siamo in presenza di un litorale privo di difese e di alimentazione naturale di sabbia, posto sottoflutto a una scogliera parallela semisommersa e a un pennello in roccia.

Il suo equilibrio e quello dei litorali più a nord, fino al porto di Cervia, potrà essere garantito in futuro solamente con il ripascimento artificiale. Questo anche per compensare il materiale sottratto al bilancio sedimentario dalla subsidenza che, in passato, proprio a Cesenatico aveva raggiunto valori altissimi (4+5 cm/anno), per fortuna ridottasi a meno di 1 cm/anno nel periodo 2000-2006. Occorre sottolineare infatti che un abbassamento di 5 cm in questo periodo può essere considerato equivalente ad una perdita di 25.000 m³/km, valutati per una fascia di 500 m di larghezza di spiaggia emersa e sommersa.

Milano Marittima

Il litorale di Milano Marittima compreso tra i piccoli moli di foce del Canalino delle Saline, a sud, e quelli del canale di Via Cupa, a nord, lungo 2.200 m, è una delle 4 spiagge in erosione la cui gestione è a carico della Regione Emilia-Romagna fin dal 1983. Per questo è stato inserito sia nell'elenco delle 8 spiagge oggetto di ripascimento del "Progettone 1", che in quello delle 7 del Progettone 2.

Per l'inquadramento generale dell'area si rimanda pertanto alla monografia riportata nel presente volume in cui vengono descritti i risultati del monitoraggio effettuato da Arpa nel periodo 2003-2005.

Con il "Progettone 2" sono stati portati a Milano Marittima Nord 90.100 m³ di sabbia proveniente da mare.

Ai fini dell'analisi evolutiva, la descrizione dell'intervento risulta abbastanza complessa, perché il progetto iniziale che prevedeva lo sversamento della sabbia nei primi 950 m a nord, a partire dal canale di Via Cupa, è stato modificato in corso d'opera dalla Direzione Lavori (Fig. 21).

A causa dello slittamento di alcuni mesi dei tempi di realizzazione di un altro intervento di ripascimento, che prevedeva il deposito di circa 60.000 m³ di sabbia molto fine, proveniente dal dragaggio del porto di Cervia, nei 500 m più a nord, i due cantieri si sono trovati ad operare contemporaneamente.

La Direzione Lavori ha così deciso di separare le 2 zone di scarico, assegnando i primi 500 m a nord allo scarico delle sabbie del porto e i successivi 700 m allo scarico di quelle sottomarine.

Durante l'esecuzione dei lavori, i pochi bagnini che operano nei primi 500 a nord, dove l'erosione è maggiore, visto che davanti alle loro concessioni veniva refluita sabbia molto fine e piuttosto scura, mentre più a sud veniva portata una grande quantità di sabbia pulita, hanno protestato vivacemente, per cui alcune migliaia di metri cubi di sabbia sottomarina sono state spostate nel tratto di 250 m compreso tra i 2 pennelli di pali in legno, realizzati dal Comune di Cervia nel 2005.

Questo stato di cose è ben evidenziato dalla Figura 22A ottenuta confrontando i rilievi di prima pianta (Aprile 2007) con quelli di fine lavori (Maggio 2007).

Il rilievo di prima pianta copriva l'intera area dalle scogliere di Lido di Savio fino ai primi 1200 m a sud del canale di via Cupa, quello di fine lavori è stato invece limitato al solo tratto oggetto di ripascimento con sabbie sottomarine. Dalla Figura 22A è ben evidente che la maggior parte della sabbia è stata portata nei primi 500-600 m a sud del secondo pennello in pali, determinando un avanzamento della linea di riva fino a 50 m, mentre nella zona tra i 2 pennelli la linea di riva è avanzata solamente di circa 10 m.

Nell'Ottobre 2008, quando è stata realizzata la prima campagna di monitoraggio da parte di ARPA, la

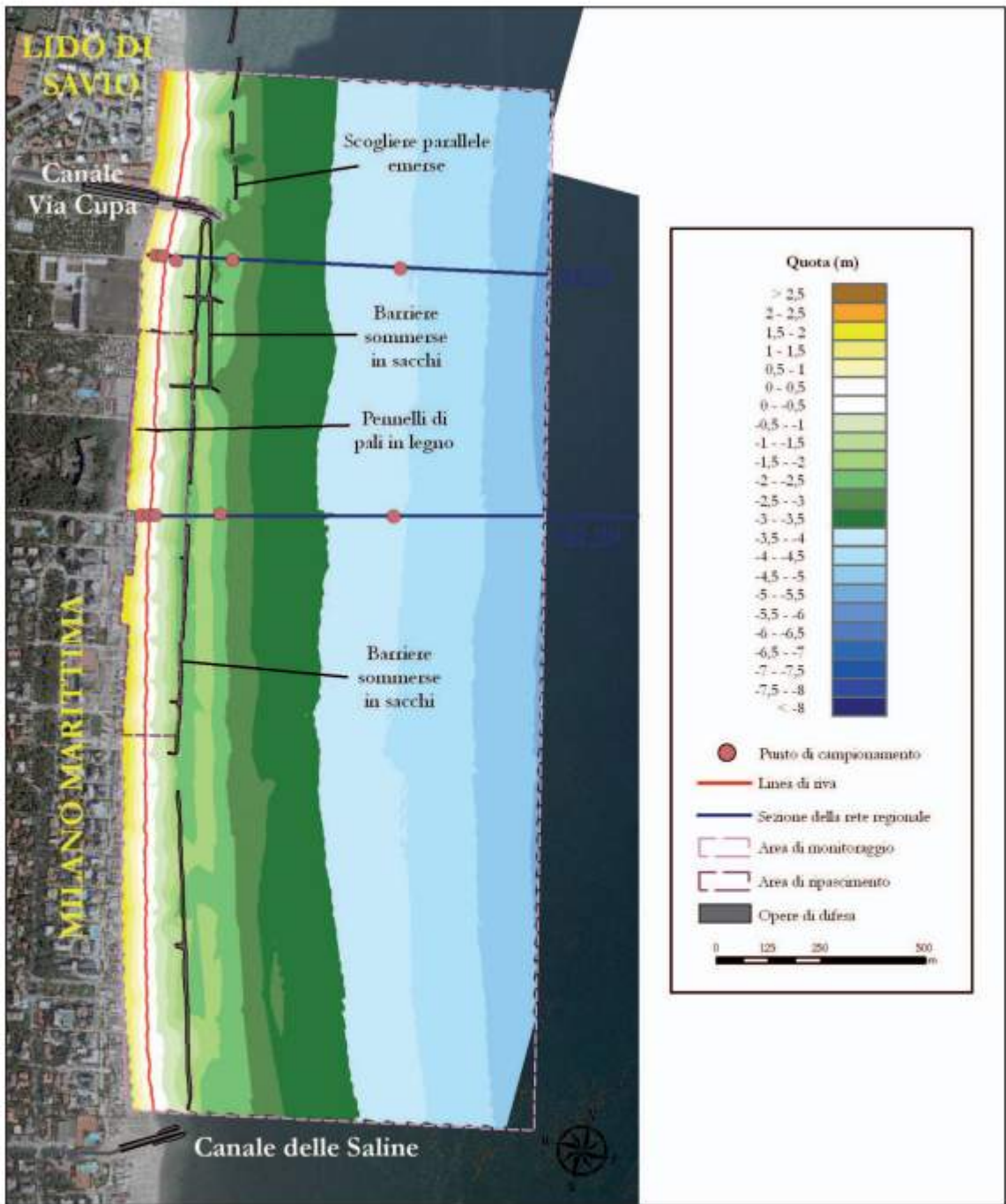


Figura 21 - Milano Marittima Nord: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

situazione risultava notevolmente modificata. La Figura 22B ottenuta confrontando il rilievo di fine lavori (Maggio 2007) con quello di primo monitoraggio (Ottobre 2008) mostra che una grande quantità di sabbia (43.100 m³) è fuoriuscita dall'area di ripascimento, lunga 1000 m e estesa fino alla barriera sommersa in sacchi distante circa 100 m dalla battigia.

Dalla stessa figura si può notare che una parte di questo materiale è andato ad innalzare il fondale, lato mare, a ridosso della barriera in sacchi.

Il quadro generale è risultato molto più chiaro nel Luglio 2009, quando è stata effettuata la seconda cam-

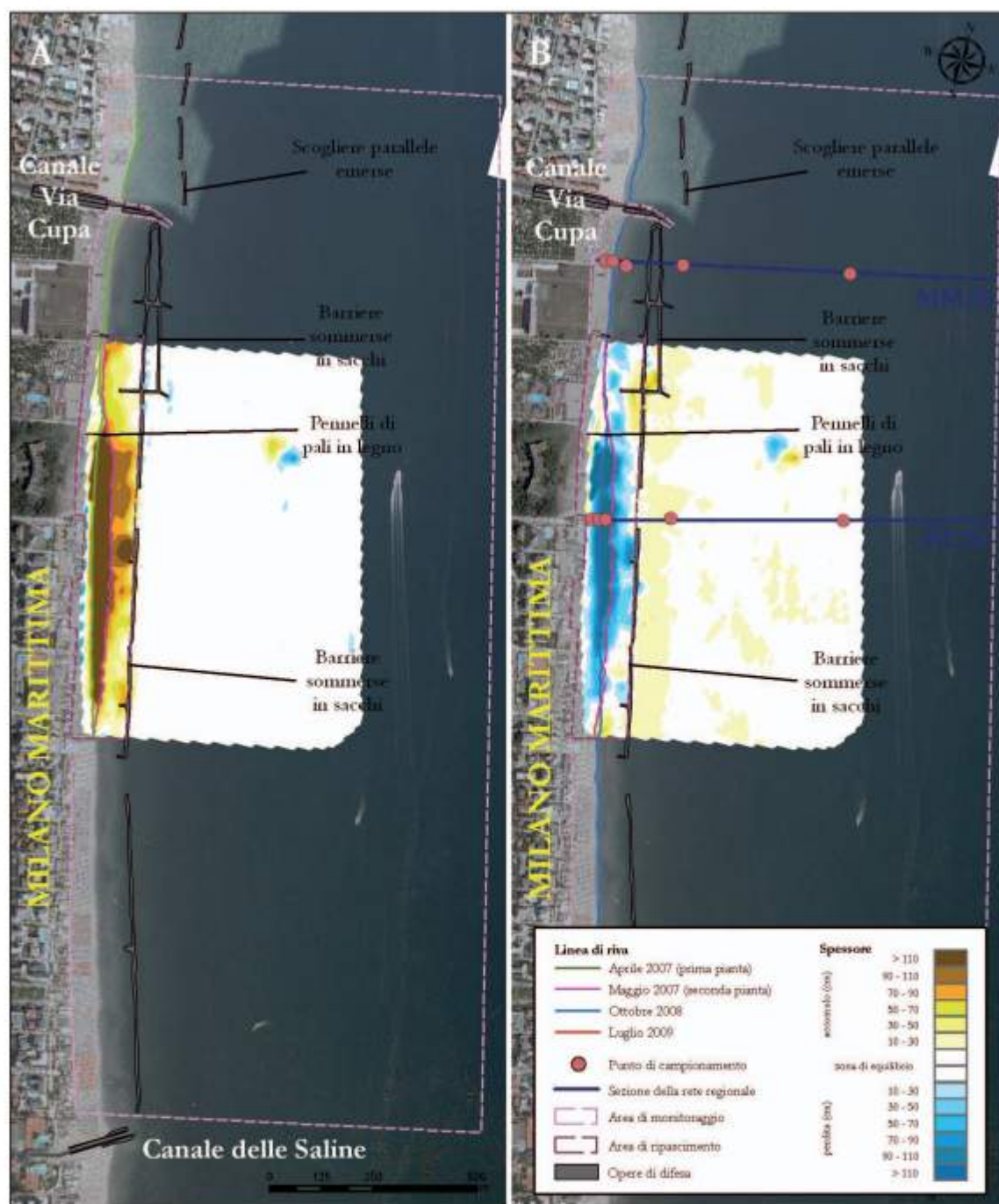


Figura 22 - Milano Marittima Nord: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

pagna di monitoraggio. La Figura 23A ottenuta confrontando i rilievi delle due campagne di monitoraggio, mostra infatti i cambiamenti avvenuti in 9 mesi su un tratto di oltre 2.500 m, comprendente l'area di ripascimento.

Come riportato nella monografie precedenti, nei 9 mesi che vanno dall'Ottobre 2008 al Luglio 2009, sono state frequenti le mareggiate da levante e sud-est; questo dato lo si può cogliere molto bene su questa spiaggia caratterizzata da un trasporto litoraneo con forti flussi in ambedue le direzioni, ma con una risul-

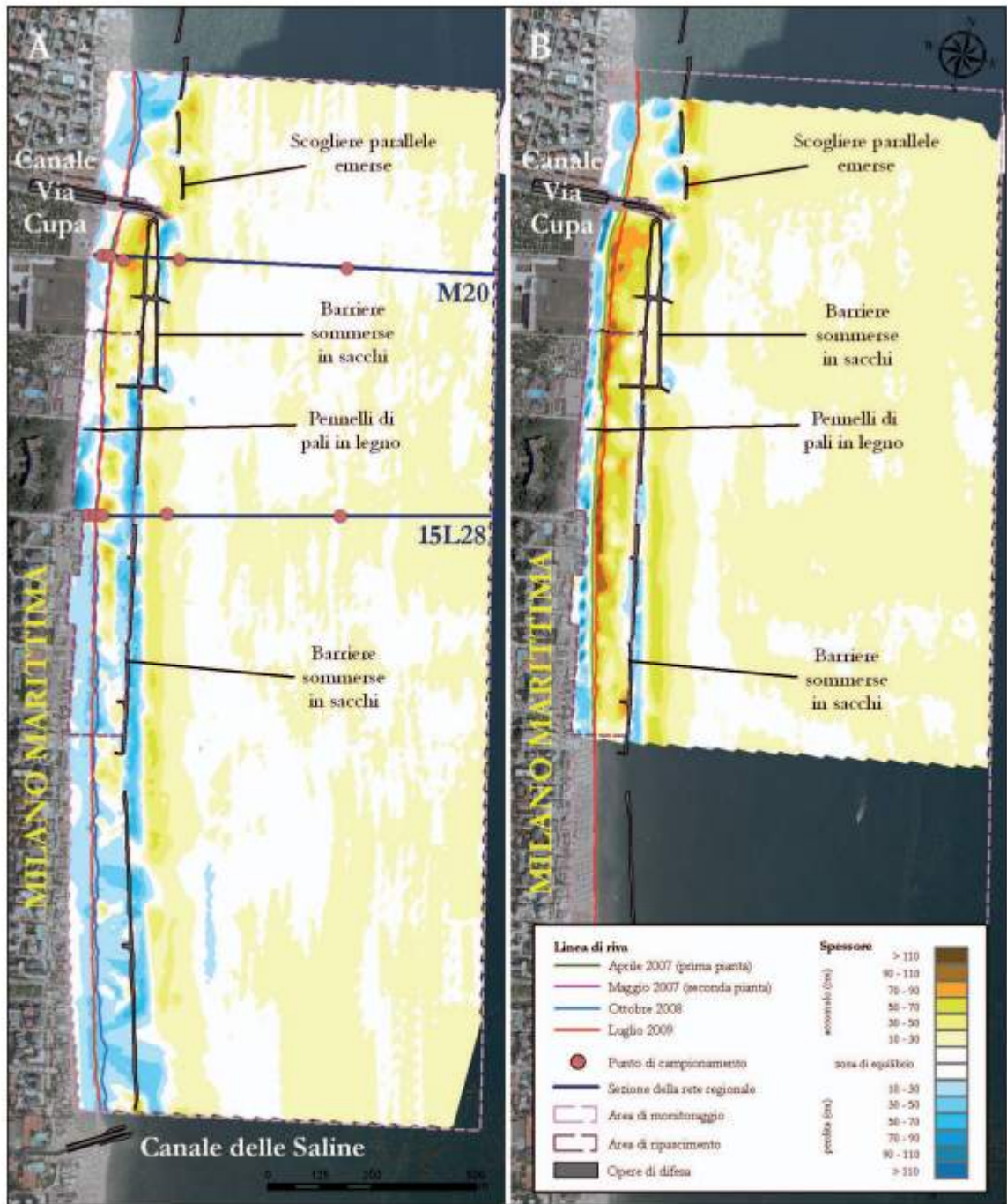


Figura 23 - Milano Marittima Nord: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

tante diretta da nord verso sud. Osservando la Figura 23A si nota infatti che la spiaggia emersa e quella sommersa, dentro e fuori la barriera in sacchi, hanno subito forti perdite di materiale, ad esclusione degli ultimi 500 m a nord, dove vi è stato accumulo, che si è propagato anche oltre la foce armata del canale di via Cupa.

Una grande quantità della sabbia erosa si è accumulata esternamente alla barriera in sacchi formando una barra molto consistente ben evidente nella Figura 24.

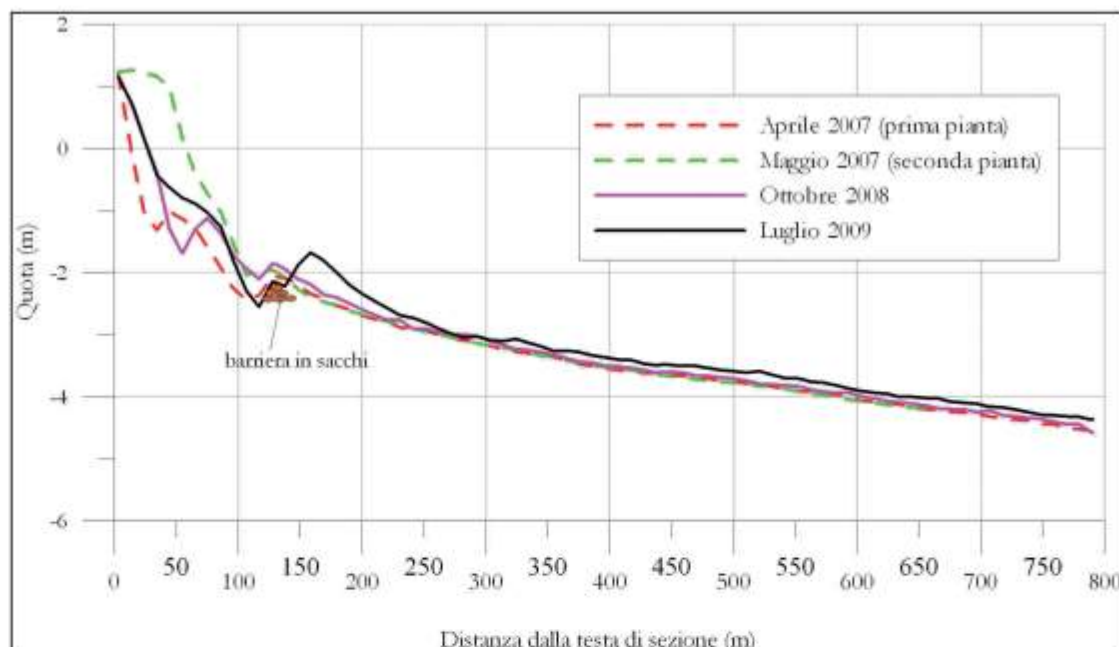


Figura 24 - Milano Marittima Nord: Profilo topo-batimetrico 15L28.

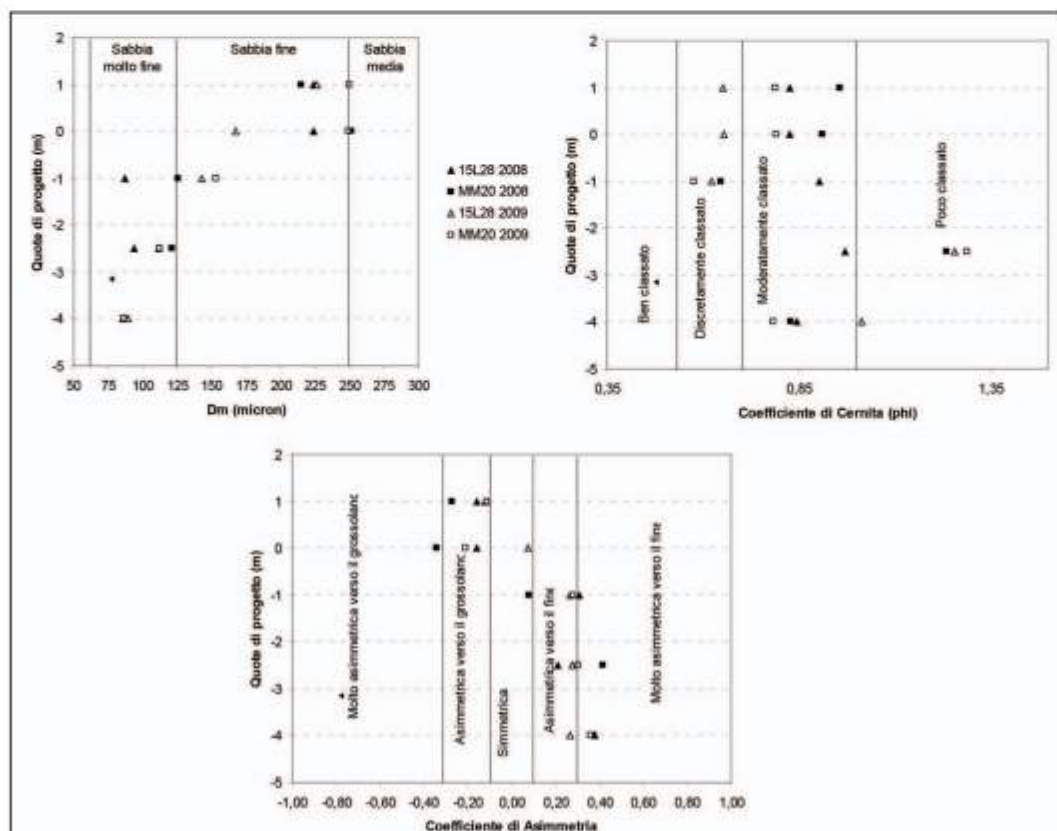


Figura 25 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Milano Marittima, lungo i profili 15L28 e MM20 nell'ottobre 2008 e nel maggio 2009.

L'analisi granulometrica è stata effettuata su campioni prelevati lungo una sezione posta a metà del tratto oggetto di ripascimento (15L28) e lungo un profilo MM20 collocato 200 m a nord dello stesso.

Nel 2008, i sedimenti presenti sulla spiaggia emersa hanno un diametro medio della classe della sabbia fine e media, mentre sulla spiaggia sommersa sono presenti depositi con granulo medio delle dimensioni della sabbia molto fine (Figg. 22B e 25; Tab. 5).

Lungo entrambi i profili analizzati si rileva una tendenza alla diminuzione della granulometria con l'aumentare della profondità.

La maggior parte dei campioni è moderatamente classata. Tra questi si distinguono 2 campioni prelevati sul profilo MM20: quello a 1 m di profondità all'interno della barriera in sacchi e quello esterno a - 2,5 m che risultano rispettivamente discretamente e poco classati.

Prevale l'asimmetria verso il grossolano sulla spiaggia emersa e l'asimmetria verso il fine sulla sommersa. Solo il campione discretamente classato prelevato all'interno della barriera sulla sezione MM20 è simmetrico.

Nel 2009 le uniche variazioni granulometriche si rilevano alla profondità di 1 m dove il granulo medio varia da sabbia molto fine a sabbia fine (0,90-0,14 mm) (Fig. 25). Si suppone che tale aumento sia stato prodotto dalla migrazione in questa fascia di fondale, dove infatti si rileva un accumulo di sedimento rispetto al 2008 (Fig. 23A) di parte delle sabbie fini sversate sulla spiaggia emersa.

Complessivamente, il grado di selezione migliora sulla spiaggia emersa e fino alla profondità di 1 m.

Sulla spiaggia emersa i depositi continuano a mostrare, prevalentemente, una curva asimmetrica verso il grossolano, ma i valori risultano più prossimi alla simmetria rispetto a quelli del 2008.

Sui fondali lungo il profilo MM20, esterno alla cella di ripascimento, la classazione rimane invariata, mentre peggiora lungo il profilo 15L28, collocato in corrispondenza della cella.

Il coefficiente di asimmetria dei sedimenti appartenenti alla spiaggia sommersa non presenta significative variazioni su entrambe le sezioni in esame.

In sintesi, nel periodo 2007-2009 a Milano Marittima Nord sono stati portati 90.100 m³ di sabbia sottomarina su un tratto di spiaggia di 950 m. Tra la fine lavori e la prima campagna di monitoraggio sono fuoriusciti dall'area di ripascimento 43.100 m³ di materiale; una discreta quantità di questo materiale è andata a rialzare la barra esternamente, un'altra parte è stata spinta dal mare verso sud.

Tra l'Ottobre 2008 e il Luglio 2009, si ha una netta inversione del flusso dei sedimenti a dimostrazione di un prevalere dei mari da sud-est. L'area di ripascimento perde infatti 9.000 m³, poco più quindi degli 8.000 m³ che si sono accumulati nei 300 m più a nord.

La linea di riva, a fine intervento, era avanzata di circa 40 m; due anni dopo risulta in avanzamento di soli 20 m. Al Luglio 2009, la situazione di Milano Marittima Nord risulta quindi notevolmente migliore di quella iniziale (Aprile 2007).

Lido di Dante

Lido di Dante è una piccola località balneare in Comune di Ravenna, ubicata 500 m a sud della foce dei Fiumi Uniti (Fig. 26). Agli inizi del '900, la foce dei Fiumi Uniti era alcune centinaia di metri più avanzata rispetto alla posizione attuale e deviata verso nord da una lingua sottile di sabbia che la portava ad assumere una conformazione a "becco d'anatra" lungo circa 250 m (Carta Nautica, IIM 1931).

Tutta l'area della cuspidè è stata interessata negli ultimi 80 anni da un forte processo erosivo, tuttora molto attivo.

Le cause sono la forte riduzione del trasporto di sabbia al mare da parte del fiume e una subsidenza molto elevata, che nel periodo 2000-2005 è stata di 19 mm/anno.

Per contrastare l'avanzata del mare in corrispondenza di Lido di Dante, lo Stato ha realizzato, a partire dal 1980, diverse opere di difesa in massi naturali e diversi interventi di ripascimento.

L'opera più importante è sicuramente la scogliera semisommersa, lunga poco meno di 800 m, realizzata nel 1995 (prima opera di questo tipo in Emilia-Romagna) in corrispondenza dell'abitato e dei campeggi.

A terra, ad una distanza di 300 m l'uno dall'altro vi sono 3 pennelli in roccia realizzati prima della barriera longitudinale; i due esterni sono collegati ad essa con prolungamenti semisommersi in massi in modo tale da formare una "cella" chiusa lunga 600 m e larga circa 200 m.

Lo scambio idrico tra la cella e il mare aperto viene garantito in massima parte dal sormonto delle opere da

parte del moto ondoso e in misura modesta del piccolo varco presente al centro della scogliera.

La direzione prevalente del trasporto solido litoraneo davanti a Lido di Dante è alquanto complessa: a partire dal 1980, quando fu realizzato il pennello nord dal Genio Civile OO.MM. di Ravenna, si è riscontrato un netto avanzamento della spiaggia a sud, a dimostrazione che la direzione del trasporto della sabbia in battigia è prevalentemente da sud verso nord. Diversamente, il clima meteomarinico, definito con i modelli matematici, evidenzia una componente netta del flusso di energia diretto verso sud. Una conferma di ciò è data dalla formazione, subito dopo la costruzione della scogliera semisommersa, di un'arcata erosiva nei primi 400 m di spiaggia libera a sud della cella.

Il mantenimento della spiaggia è stato garantito negli ultimi decenni dal Comune di Ravenna mediante periodici apporti di sabbia proveniente da cave a terra ed è stata oggetto di numerosi studi su modello numerico e di campo tale da farne una delle strutture più studiate in Italia (Archetti et al., 2003, 2009, 2011; Drei et al., 2001; Lamberti et al., 2002; Lamberti et al., 2004).

Nel corso degli ultimi anni, nonostante il sistema di opere rigide di difesa, il fabbisogno di sabbia è aumentato, per cui Lido di Dante è stato inserito tra le località da ripascere con le sabbie sottomarine del "Progettone 2".

Nella tarda primavera 2007, sono stati così refluiti, su un tratto di circa 1100 m, comprendenti la cella chiusa sopradescritta e i primi 500 m a sud, 107.000 m³ di sabbia: metà nella cella e metà a sud.

La Figura 27A, ottenuta confrontando i rilievi di prima e seconda pianta, evidenzia le zone di maggior deposito della sabbia e le modificazioni avvenute su spiaggia e fondale. Si può notare inoltre che la linea di riva è avanzata di circa 30 m su quasi tutto il tratto.

Nell'Ottobre 2008, quando ARPA ha realizzato la prima campagna di monitoraggio, la situazione risultava notevolmente peggiorata, come si può osservare dal confronto del rilievo di seconda pianta con quello della prima campagna di monitoraggio (Fig. 27B).

Nella zona a sud della cella la spiaggia e il fondale hanno subito perdite rilevanti. Se si considera come limite lato mare la linea di prosecuzione verso sud della scogliera longitudinale, nei primi 500 m sono infatti fuoriusciti da quest'area 43.200 m³ di sabbia, più dell'80% di quella portata 16 mesi prima.

All'interno della cella protetta dalle opere rigide, le perdite sono state molto inferiori, circa 5.800 m³, il 10% del materiale apportato.

Questa situazione trova corrispondenza anche nel confronto delle linee di riva: arretrata di 30-40 m nella zona a sud e di qualche metro nella zona cella protetta.

Nel Luglio 2009, al momento del secondo monitoraggio, la situazione risultava notevolmente migliorata, soprattutto nel tratto privo di opere di difesa. Le Figure 28A e 29 mostrano infatti che in questo tratto, per una lunghezza di 500 m, nei 9 mesi che separano le 2 campagne, si è formata una barra molto consistente a 80-100 m dalla battigia. Il fondale tra barra e battigia è in buon equilibrio nei primi 300 m e in forte perdita tra i 300 m e i 900 m a sud del pennello in roccia.

Dentro la cella protetta il fondale è in accumulo, a parte l'angolo nord-est a ridosso della scogliera longitudinale.

Il miglioramento della situazione è confermato dai calcoli, che mostrano un accumulo di 9.400 m³ dentro la cella protetta e di 35.900 m³ nella zona libera a sud. Occorre precisare però che nei 9 mesi che separano le 2 campagne nell'area di intervento il Comune di Ravenna ha effettuato un ripascimento di sabbia di 5.800 m³. La linea di riva è rimasta pressoché stabile su gran parte del tratto, con un avanzamento di 10 m circa tra i 50 m e i 250 m a sud della zona protetta.

In base ai rilievi del 2008, la spiaggia emersa di Lido di Dante è costituita da sedimenti con diametro medio delle dimensioni della sabbia media e fine (Figg. 27B e 30).

Il diametro medio rappresentativo della spiaggia sommersa, lungo la sezione più meridionale RA16, esterna alla cella chiusa dalle opere, è dell'ordine della sabbia molto fine, mentre lungo il profilo RA17, collocato in corrispondenza della cella chiusa dalle opere, ricade nel campo del silt. Di conseguenza, l'intervallo di variabilità del granulo medio nella zona in esame è molto ampio: va da 0,007 mm, a 4 m di profondità, a 0,356 mm, sulla battigia (Tab. 5).

Per quel che riguarda la cernita, i sedimenti prelevati sulla spiaggia emersa risultano discretamente selezionati e da poco a scarsamente classati quelli della fascia sommersa.

I campioni prelevati alla quota di 1 m s.l.m. presentano una coda di sedimento fine, mentre quelli alla bat-

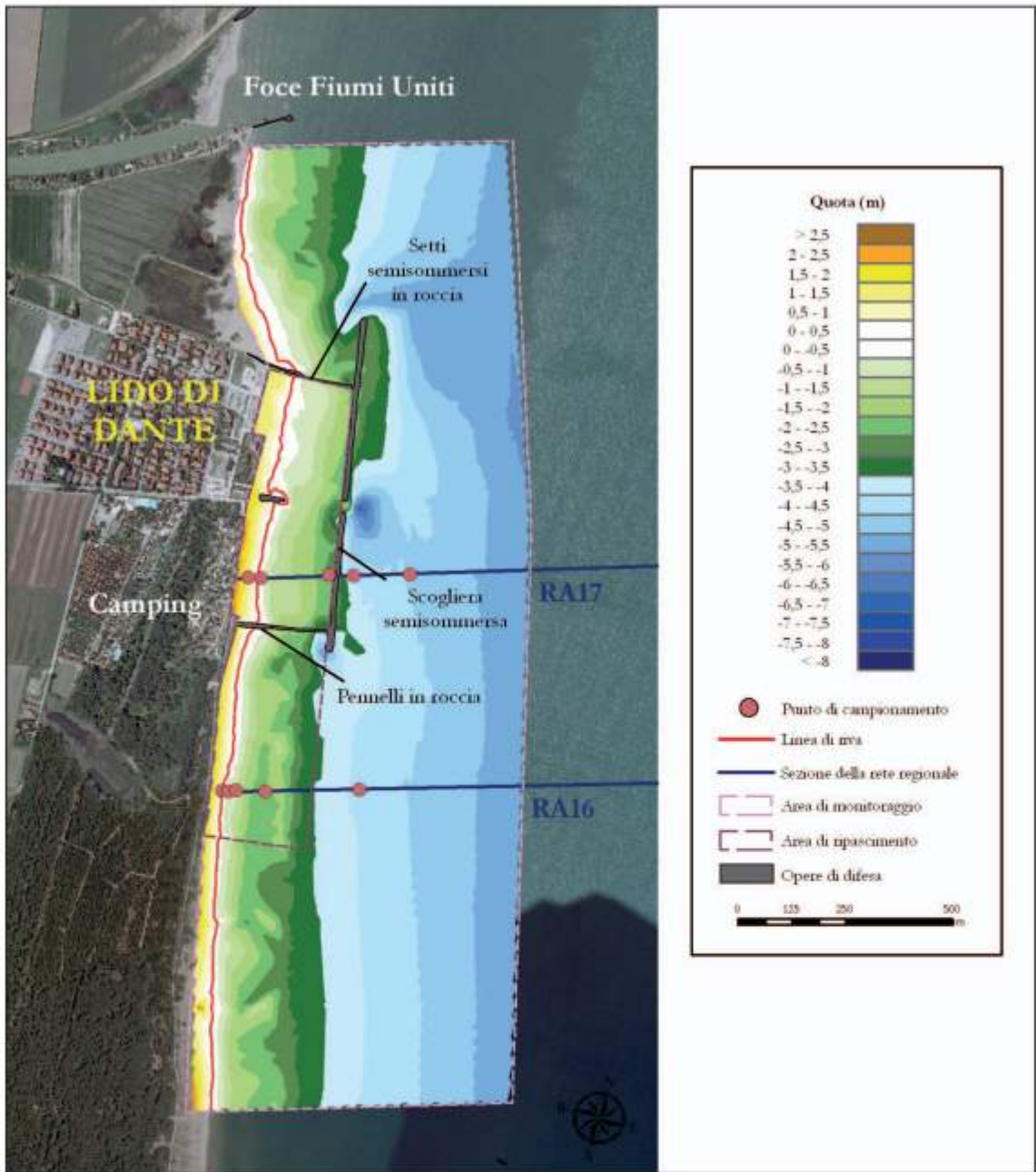


Figura 26 - Lido di Dante: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

tigia sono simmetrici. Sulla spiaggia sommersa i campioni risultano prevalentemente asimmetrici verso il fine. Si distingue il campione più fine, prelevato al largo, alla profondità di circa 4 m, sul profilo RA17, con una curva molto asimmetrica verso il grossolano dovuta al prevalere della porzione siltosa su quella argillosa (28% argilla, 70% silt, 2% sabbia).

Nel 2009 la granulometria diminuisce leggermente sulla spiaggia emersa, dove comunque il diametro medio rimane compreso nelle classi della sabbia media e fine (Figg. 28A e 30).

Aumenta invece considerevolmente la dimensione media dei sedimenti sui fondali lungo entrambi i profili. Lungo il profilo più meridionale RA 16, dove si rilevano gli accumuli più consistenti di sedimento (Fig. 28A), si passa da sabbia molto fine a sabbia media.

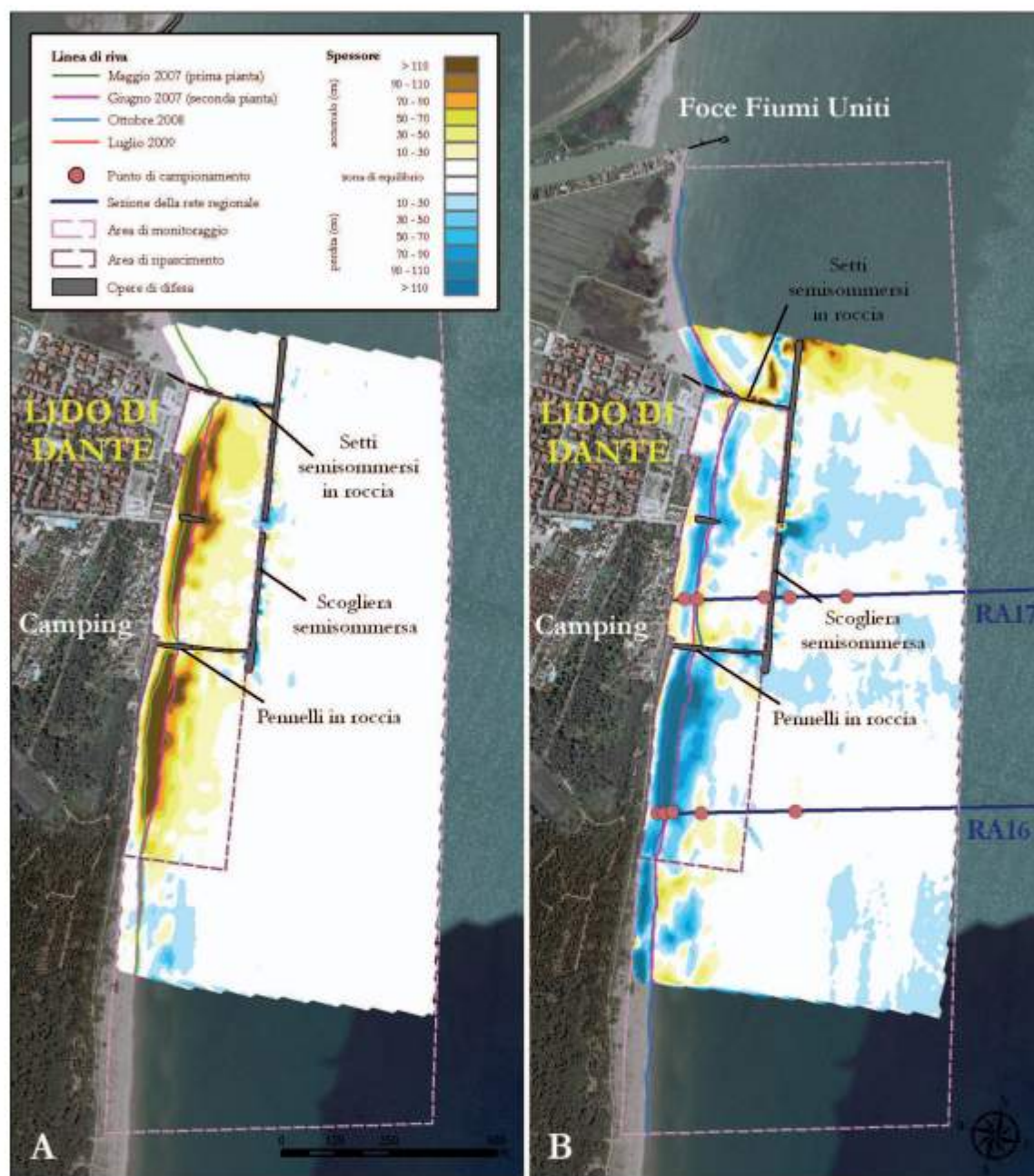


Figura 27 - Lido di Dante: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

Nella sezione RA17, collocata in corrispondenza della cella chiusa tra le opere, da silt si passa a sabbia molto fine e solo il campione collocato all'interno della scogliera resta siltoso.

Si suppone che il generalizzato aumento di granulometria sia legato all'arrivo di sabbie provenienti dalla zona in forte erosione posta a sud (Fig. 28A).

L'unica diminuzione di granulometria, consistente nel passaggio da sabbia molto fine a silt, si rileva al largo del profilo più meridionale RA16, dove il fondale è sostanzialmente in equilibrio (Fig. 28A) e non è interessato dall'arrivo delle sabbie provenienti dalla vicina spiaggia in erosione.

Per quanto riguarda la cernita, rispetto al 2008, sulla spiaggia emersa non si osservano significative variazioni.

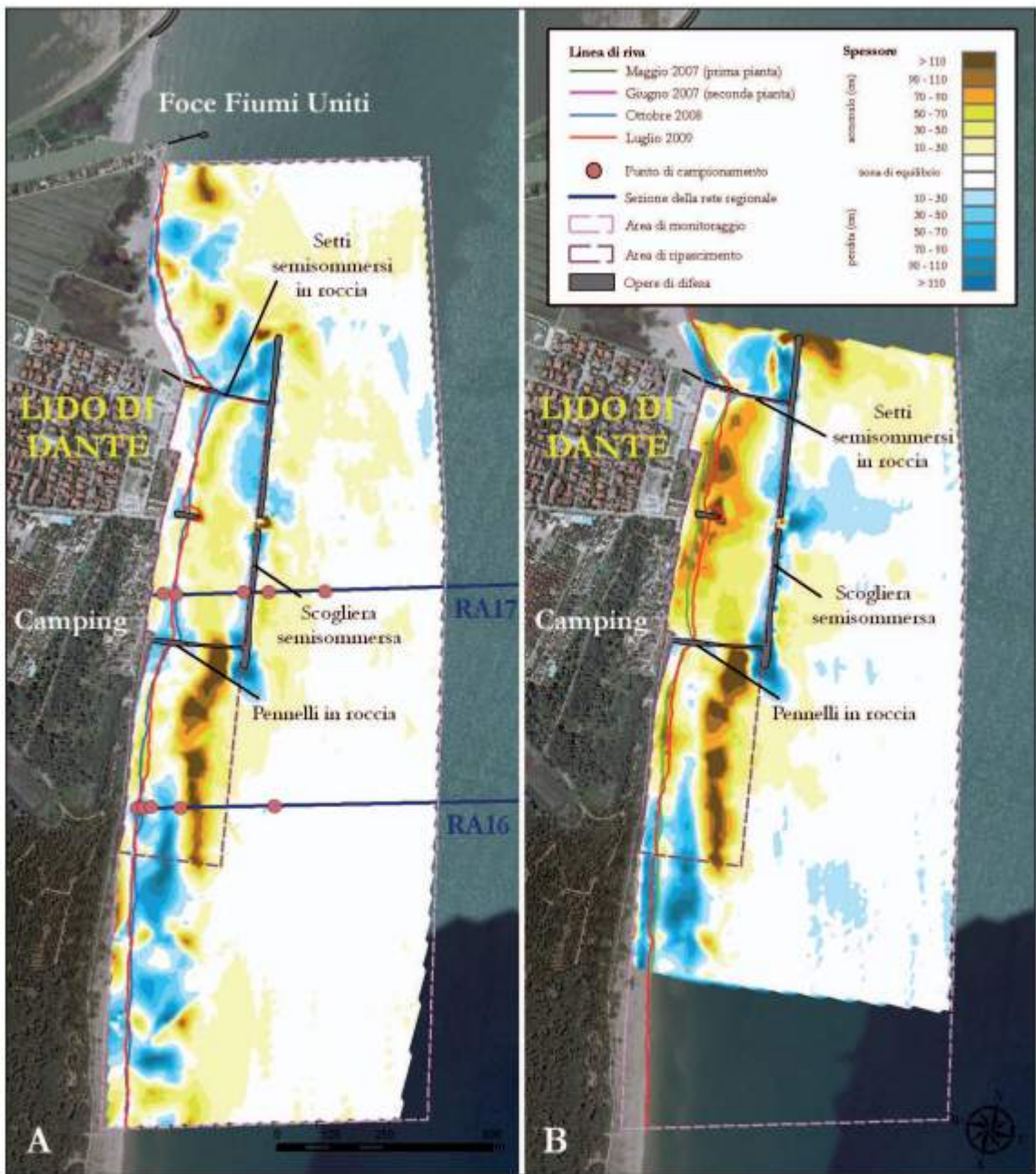


Figura 28 - Lido di Dante: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

In corrispondenza della spiaggia sommersa, invece, si rileva un miglioramento del grado di selezione nella maggior parte dei sedimenti lungo il profilo RA 16, posto in corrispondenza del tratto non protetto, e cambiamenti di cernita variabili lungo profilo RA17, collocato in corrispondenza del tratto difeso.

Lungo quest'ultima sezione, il campione più vicino alla battigia, mostra un netto miglioramento del grado di selezione, peggiora il campione prelevato a ridosso e internamente alla scogliera, mentre rimane invariato il campione più al largo.

Relativamente al coefficiente di asimmetria, sulla spiaggia emersa le variazioni non sono significative. Sulla spiaggia sommersa continua a prevalere la coda di materiale fine. Varia invece considerevolmente il valore

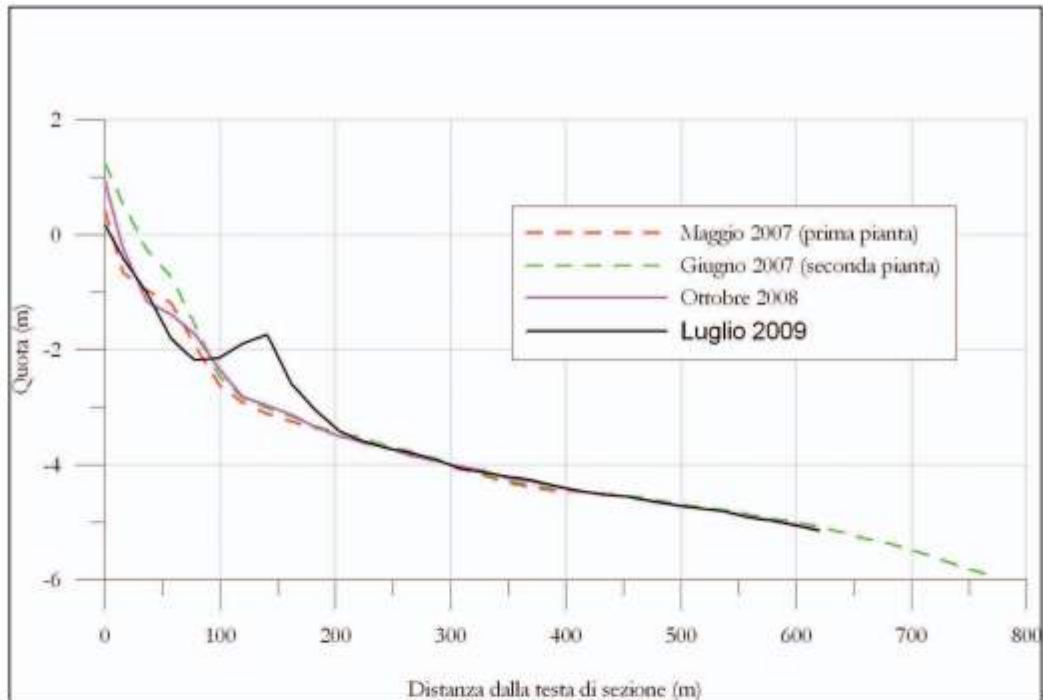


Figura 29 Lido di Dante: Profilo topo-batimetrico RA16.

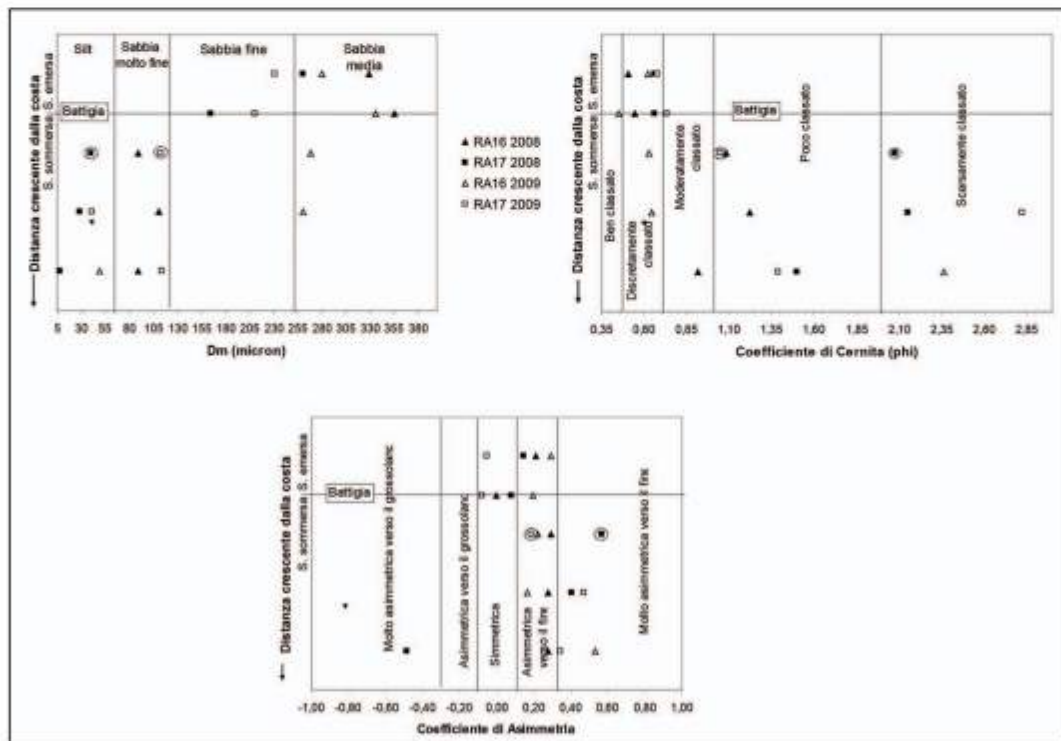


Figura 30 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e di asimmetria (in basso) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Lido di Dante, lungo i profili RA16 e RA17 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Viene riportata, indicativamente, la posizione della battigia rispetto al punto di campionamento dei sedimenti. Il campione evidenziato dal cerchietto tratteggiato è quello prelevato lungo la sezione RA17 a ridosso e internamente alla scogliera costruita davanti all'abitato.

di asimmetria del campione prelevato al largo sulla sezione RA17 che nel 2008 risultava molto asimmetrico verso il grossolano e che nel 2009 presenta un curva molto asimmetrica verso il fine.

In sintesi, a Lido di Dante, nei 2 anni successivi al ripascimento del Progettone 2, il monitoraggio topobatimetrico di dettaglio ha evidenziato due andamenti nettamente contrastanti, che possono comunque essere d'aiuto per migliorare la comprensione delle dinamiche di un tratto di costa che, come si è detto all'inizio, è caratterizzato da un trasporto da sud verso nord in battaglia e da nord verso sud 200 m al largo. Ad un primo periodo caratterizzato da forti perdite di materiale ne è seguito infatti un secondo contrassegnato da forti recuperi.

Approfondendo l'analisi risulta che la cella chiusa ha perso poco nel primo periodo e guadagnato poco nel secondo, mentre l'area più a sud ha perso moltissimo materiale nel primo periodo e ha recuperato molto nel secondo.

È del tutto evidente che la causa all'origine della diversa situazione riscontrata va ricercata nell'andamento delle condizioni meteomarine dei due periodi. Analizzando la successione delle mareggiate si è riscontrato infatti che, tra il 1° Giugno 2007 e il 30 Settembre 2008, solamente 2 avevano un angolo superiore agli 82° N (la normale alla spiaggia), mentre ben 22 avevano un angolo compreso tra i 50 e gli 81°. Si è trattato quindi di un periodo nettamente dominato dagli eventi di Bora (Tab. 2).

Nel periodo tra il primo Ottobre e il 30 Giugno 2009 il rapporto suddetto cambia, infatti si contano ben 6 mareggiate su 17 aventi direzione superiore agli 82° N. Queste hanno ragionevolmente determinato il trasporto di materiale da sud verso nord (Tab. 3).

Occorre aggiungere che mentre nel primo periodo le 2 mareggiate con una direzione superiore agli 82° si sono verificate nel 2007, quindi agli inizi dell'intervallo di tempo in esame, nel secondo se ne trova una anche nel Giugno 2009, quindi poco prima del monitoraggio topo-batimetrico.

In pratica risulta che le mareggiate da Bora mandano in erosione i primi 400-500 m di spiaggia libera a sud della cella protetta, sia perché le opere riducono lo spostamento verso sud della sabbia, sia per l'interferenza che determinano sulla circolazione delle correnti.

La dinamica osservata nel secondo periodo lascia intuire che, al contrario, quando prevalgono i mari da levante e sud-est, la sabbia asportata dal litorale più a sud va a formare una barra a 80-100 m dalla riva. La sabbia di questa barra viene poi sospinta oltre l'ostacolo costituito dal pennello meridionale andando ad alimentare la cella chiusa e la fascia di fondale esterna alla scogliera longitudinale.

L'unico tratto in approfondimento in entrambi i periodi è il fondale attorno all'estremità sud della scogliera semisommersa.

Per quanto attiene al comportamento delle opere trasversali e longitudinali che delimitano la cella lunga 600 m, va detto che si sono dimostrate efficaci nel ridurre le perdite, ma anche un ostacolo all'alimentazione per via naturale. Ne consegue che l'equilibrio della cella dipende quasi esclusivamente dagli apporti di sabbia dall'esterno.

Punta Marina

Punta Marina è una località balneare in Comune di Ravenna, situata 5 km a sud del molo foraneo di Marina di Ravenna e 6 km a nord della foce dei Fiumi Uniti (Fig. 31).

Il litorale a nord della foce dei Fiumi Uniti è in forte erosione da oltre mezzo secolo a causa della forte riduzione dell'apporto di sabbia al mare da parte del fiume e della forte subsidenza, che nell'area costiera ravennate ha determinato abbassamenti di 80-100 cm negli ultimi 50 anni.

Le condizioni meteomarine, definite nel Piano Costa 1996 (IDROSER, 1996), evidenziano una componente netta della corrente sottocosta, in corrispondenza della spiaggia di Lido Adriano e Punta Marina, diretta da sud verso nord.

In questo contesto, negli anni '60, è iniziata la costruzione di Lido Adriano, circa 2,5 km a nord della foce dei Fiumi Uniti. Purtroppo le prime costruzioni sono state realizzate a ridosso della spiaggia, in corrispondenza dei cordoni dunali, in un momento in cui il processo erosivo era già attivo.

Di conseguenza, a metà degli anni '70, si sono dovute costruire le prime scogliere a difesa dell'abitato. La costruzione delle opere è proseguita nel decennio successivo, determinando lo spostamento della falcata erosiva sempre più a nord, verso Punta Marina.

Per contenere il diffondersi dei processi erosivi è stato realizzato, a partire dal 1989, con i fondi della Legge

Speciale n. 845/80 per Ravenna, il primo intervento di difesa della spiaggia di Punta Marina. L'intervento consisteva nella costruzione di una barriera in sacchi lunga 4500 m, a partire dalle scogliere di Lido Adriano e da 12 setti trasversali posti 350 m l'uno dall'altro. I primi 10 setti a sud erano attestati alla spiaggia da pennelli in massi rocciosi, mentre gli ultimi 2 a nord erano solamente in sacchi. Nel 1990, all'interno di queste celle lunghe ciascuna 350 m, nei primi 3.000 m a sud, sono stati portati 900.000 m³ di sabbia proveniente da cave a terra.

Nella seconda metà degli anni '90, accertata la perdita di efficacia della barriera, a causa della rottura di un numero molto elevato di sacchi, dovuta all'azione dei pescatori di mitili e alla perdita di quota della barriera in vari tratti per sprofondamento, si è proceduto alla progettazione di una nuova struttura di difesa. Prendendo spunto da quanto realizzato nel 1995 a Lido di Dante, è stata costruita una barriera longitudinale semisommersa in massi, posta a circa 300 m dalla battigia, e immorsata sui preesistenti pennelli a riva per mezzo di trasversali soffolti, anch'essi in massi rocciosi.

Inizialmente la barriera si estendeva per circa 3 km fino all'altezza della piazza centrale dell'abitato di Punta Marina (ex Bagno Roma). In seguito, con interventi diversi di cui il più importante è del 2004, la barriera è stata prolungata verso nord di altri 700 m, fino a raggiungere la lunghezza di circa 3.700 m.

Inoltre, nel periodo 2004-2005 il primo tratto di 3 km è stato oggetto di ricalibratura della sezione, in quanto l'opera era collassata in più punti.

Nonostante le opere eseguite ed i costanti interventi di ripascimento effettuati dal Comune di Ravenna, il litorale di Punta Marina, nel 2006, era in forte erosione, soprattutto nel tratto meridionale, per cui è stato inserito tra le spiagge da ripascere con il Progettone 2.

Nel Maggio 2007, sono stati portati, su un tratto di 1.660 m, 190.000 m³ di sabbia sottomarina (114 m³/m). Il ripascimento ha interessato 5 celle dell'intervento del 1990: quella dove è ubicata la foce armata del canale del Molino, le 2 a nord e le 2 a sud. Osservando la Figura 32A ottenuta confrontando i rilievi topo-batimetrici di prima e di seconda pianta dell'intervento, si nota che lo sversamento è avvenuto in maniera uniforme, determinando un avanzamento della linea di riva di circa 40 m.

Nel mese di Ottobre 2008, quando è stata realizzata la prima campagna di monitoraggio topo-batimetrica, la situazione complessiva mostrava significative modifiche in diversi punti.

Dal calcolo dei volumi risulta infatti che nell'area di ripascimento si sono accumulati, su tutto il tratto di 1.660 m, 12.300 m³ di materiale.

Questo dato però è il risultato della differenza tra il valore degli accumuli, pari a 66.300 m³, e quello delle perdite, pari a 54.000 m³; due valori molto alti. La ragione di questo notevole spostamento la si può cogliere osservando la Figura 32B, che mostra come una notevole quantità di materiale, nei 16 mesi dopo il ripascimento, si sia spostata dalla spiaggia emersa e dai primi metri di quella sommersa verso la barriera. Le perdite maggiori si sono avute nella prima cella a sud delle 5 oggetto di intervento, mentre nella cella centrale, quella dove c'è la foce armata del canale del Molino, la perdita ha interessato anche il fondale prossimo alla barriera. In questo tratto la barriera presenta un varco utilizzato per il passaggio dei natanti del circolo velico presente sulla spiaggia.

Nella suddetta figura sono evidenziati anche gli accumuli avvenuti nelle 2 celle a sud dell'intervento.

La linea di riva, nei 16 mesi successivi al ripascimento, è rimasta stabile tranne che nella prima cella a sud e nella quarta, quelle con le più alte perdite sulla spiaggia emersa, dove è arretrata di 10-15 m.

La Figura 33A ottenuta confrontando il DTM della seconda campagna di monitoraggio, eseguita nel Luglio 2009, con quello della prima, eseguita nell'Ottobre 2008, permette di avere una visione più generale dell'area in quanto i rilievi ARPA sono stati estesi anche ai fondali esterni alla barriera.

Le modificazioni più evidenti avvenute nei 9 mesi che separano le due campagne sono state:

- un'ulteriore significativa perdita di sabbia nella spiaggia emersa, più accentuata nella prima e quarta cella, come del resto era avvenuto nel primo periodo;
- una perdita diffusa di materiale a ridosso della barriera sia sul lato esterno che su quello interno;
- un leggero accumulo su tutta la fascia di fondale compresa tra la battigia e la barriera.

Complessivamente nell'area di ripascimento, dal bilancio dei sedimenti, risulta un accumulo di 22.400 m³, dato dalla differenza tra un deposito di 71.100 m³ e una perdita di 48.700 m³.

Sulla spiaggia di Punta Marina sono stati campionati sedimenti lungo tre profili: due collocati in corrispondenza della cella oggetto di ripascimento (RA26 e RA28) e uno (RA29) posto 500 m a nord di tale cella (Fig. 32B).

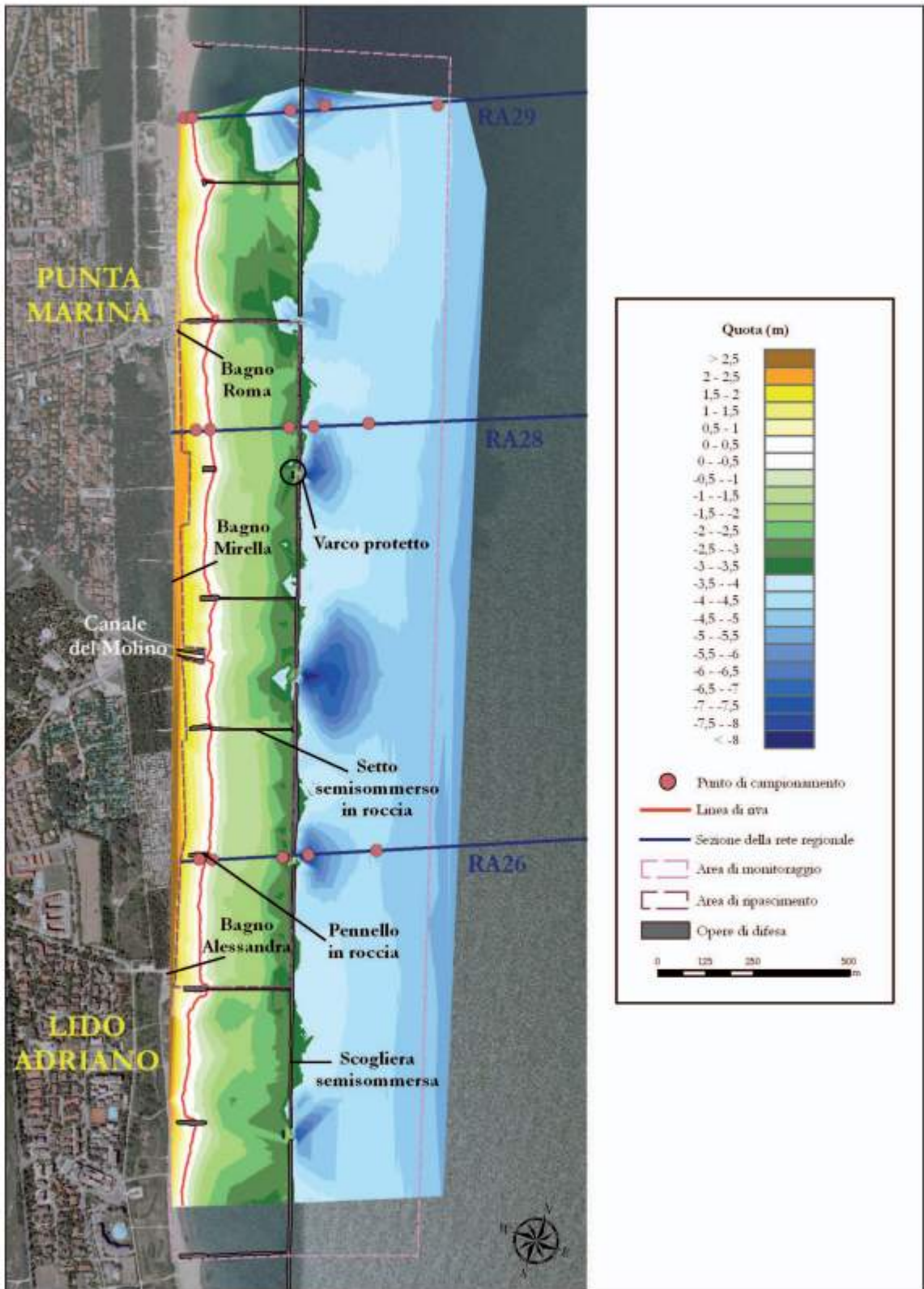


Figura 31 - Punta Marina: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

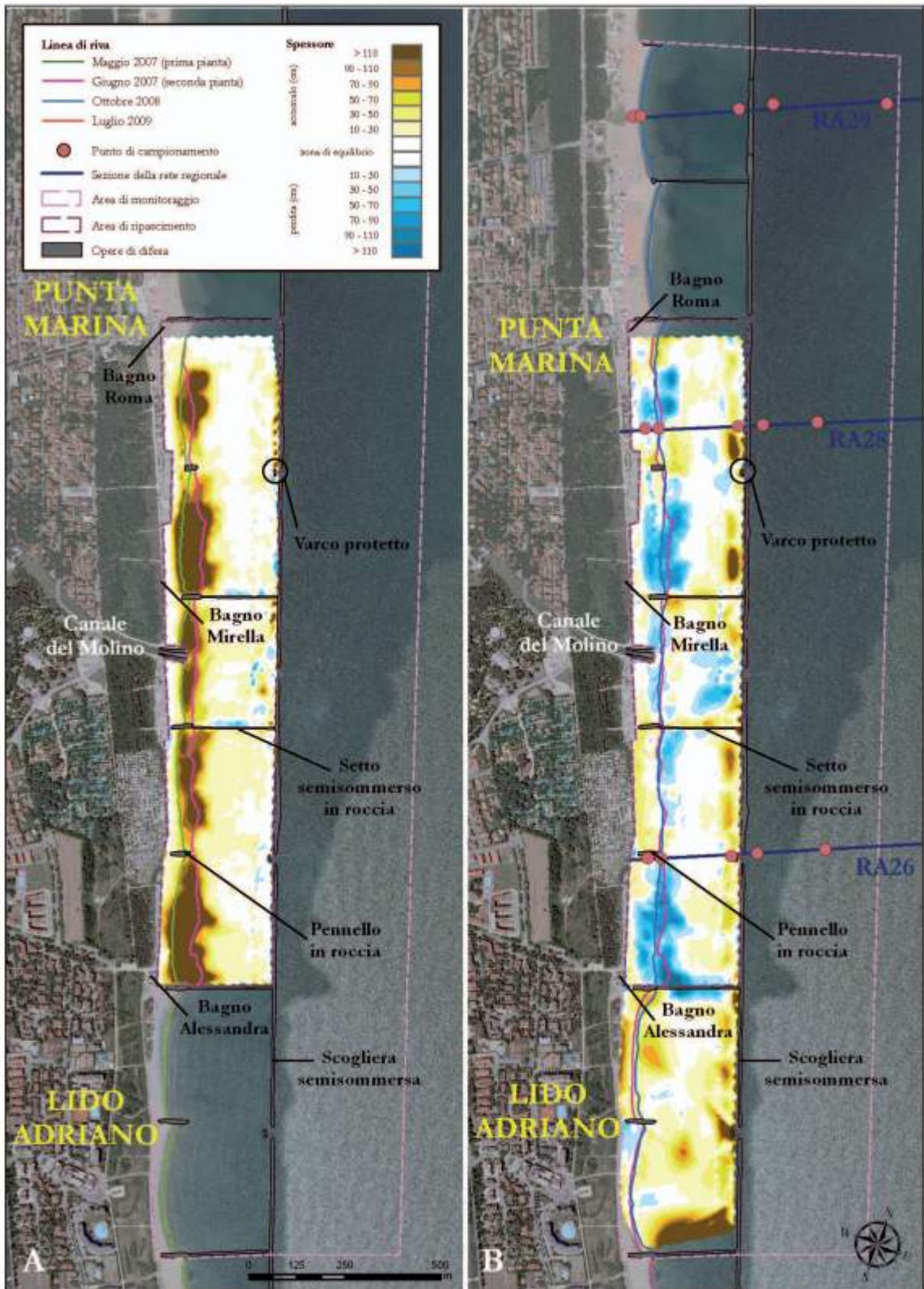


Figura 32 - Punta Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

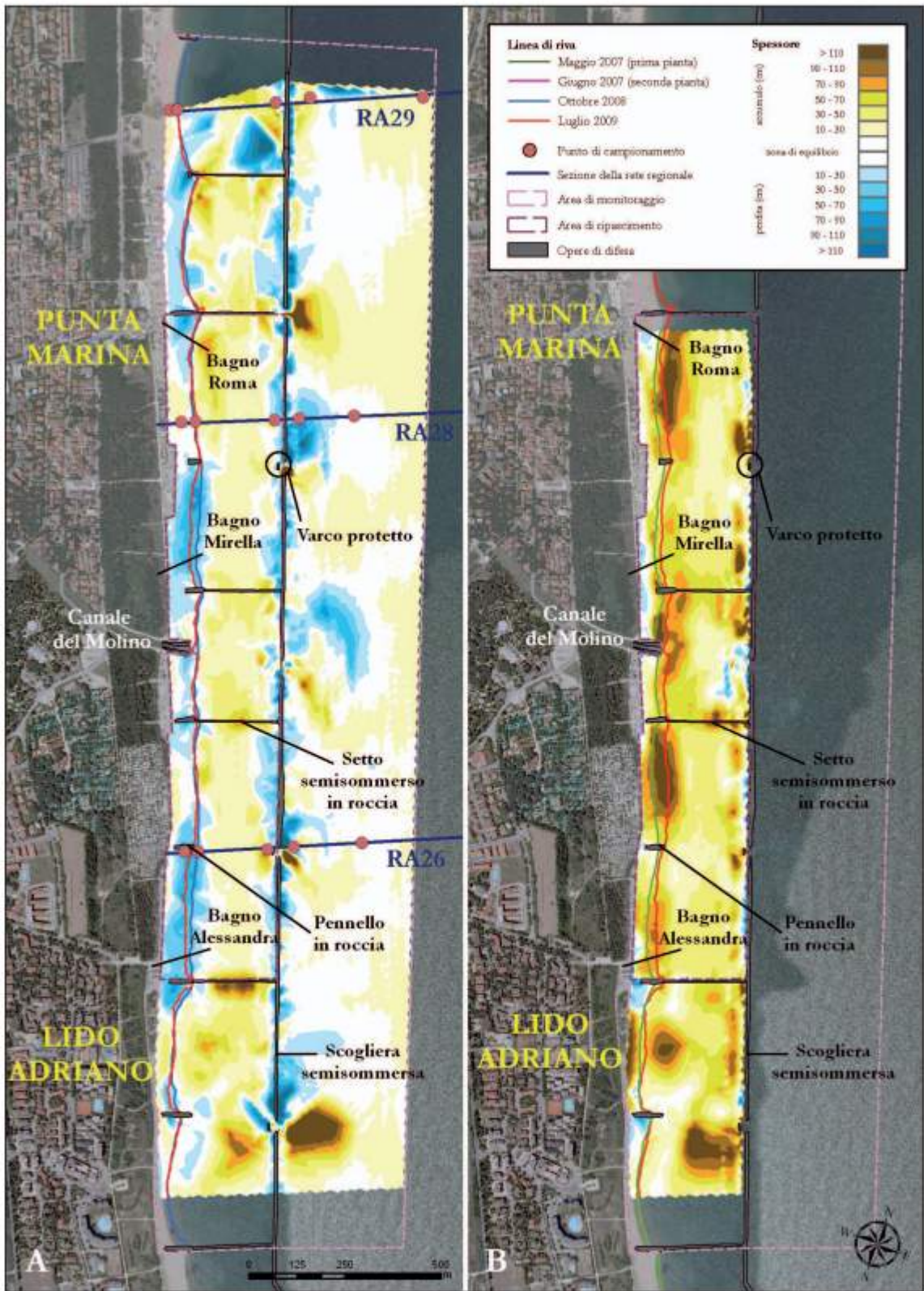


Figura 33 - Punta Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

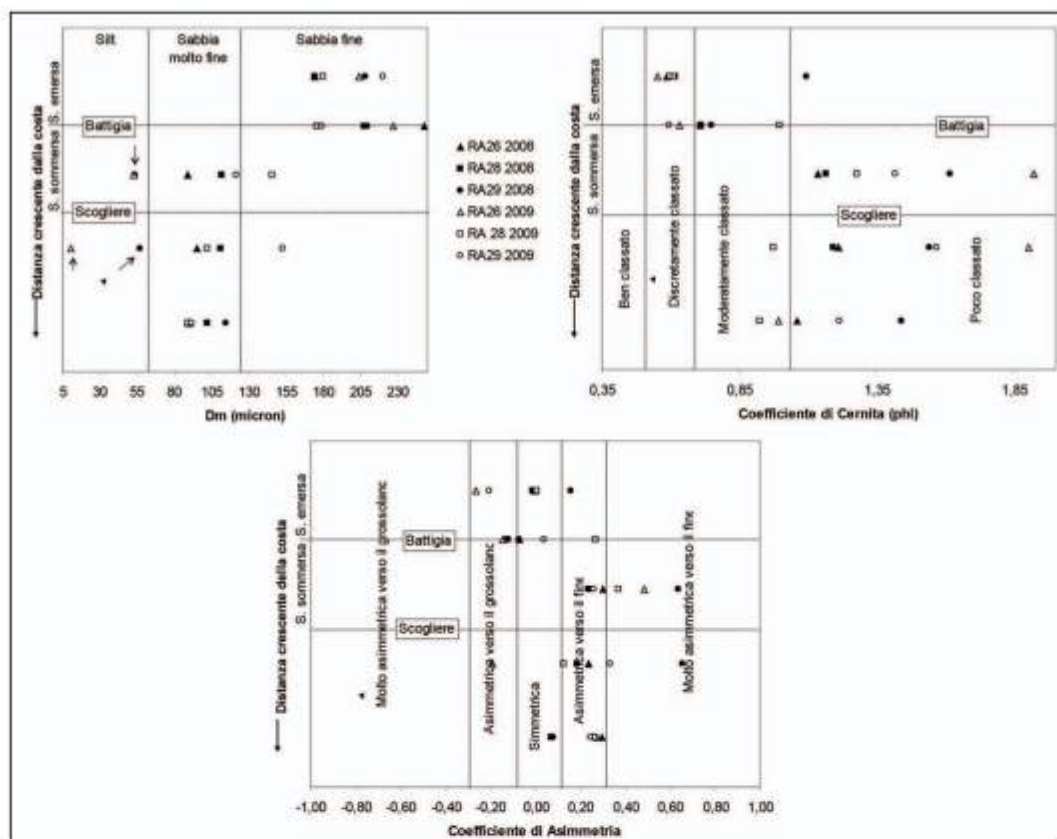


Figura 34 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Punta Marina, lungo i profili RA26, RA 28 e RA29 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Vengono riportate le posizioni indicative della battigia e della barriera semisommersa in massi rispetto ai punti di prelievo dei campioni di sedimento. Nel grafico relativo al diametro medio, con le frecce sono indicati i campioni siltsi raccolti all'interno e all'esterno della barriera lungo i profili RA26 (in corrispondenza di un varco) e RA29 (in corrispondenza di un ex varco).

Nel 2008, il diametro medio rilevato sulla spiaggia emersa è dell'ordine della sabbia fine, mentre quello dei campioni prelevati sulla spiaggia sommersa ricade prevalentemente nella classe della sabbia molto fine (Fig. 34; Tab. 5).

Lungo il profilo più a nord RA29, esterno alla cella di intervento e collocato in corrispondenza di un punto in cui era la barriera era interrotta da un varco che nel 2006 è stato chiuso, i due campioni prelevati all'interno e all'esterno dell'opera rispettivamente a 6,5 m e 5,8 m di profondità (indicati in Figura 34 con le frecce), sono rappresentati da un diametro medio della classe del silt.

I sedimenti appartenenti alla spiaggia emersa presentano cernite variabili, risultando da discretamente classati a poco classati, e coefficienti di asimmetria prossimi o coincidenti con la simmetria. Sulla spiaggia sommersa prevalgono nettamente i sedimenti poco classati e con code di materiali fini.

Rispetto al 2008, nel 2009 le dimensioni del granulo medio sulla spiaggia emersa risultano pressoché invariate (Fig. 34).

Per quanto riguarda la spiaggia sommersa la situazione varia da profilo a profilo.

Lungo la sezione più meridionale (RA26) si osserva una riduzione delle dimensioni granulometriche da sabbia molto fine a silt nei campioni raccolti in corrispondenza della buca formatasi al varco tra le barriere (Fig. 33A).

I campioni lungo il profilo RA28 non mostrano particolari cambiamenti, a eccezione di quello raccolto in un punto posto all'interno e in prossimità della barriera che, secondo i calcoli volumetrici, risulta in accumulo (Fig. 33A), dove si ha un aumento di granulometria da sabbia molto fine a sabbia fine.

Ulteriori aumenti di granulometria si rilevano lungo la sezione più settentrionale RA29, in due campioni posti internamente ed esternamente alla barriera, in una buca in fase di riempimento posta in corrispondenza del varco chiuso precedentemente citato, che nel 2008 erano siltosi mentre nel 2009 presentano un diametro medio della sabbia molto fine e fine (Fig. 33A).

La cernita sulla spiaggia emersa subisce limitate variazioni. Si osserva un miglioramento nelle maggior parte dei casi: in particolare il campione prelevato a 1 m di quota sul profilo settentrionale RA29 passa dal campo dei sedimenti poco classati a quelli discretamente classati.

Si osserva una tendenza dei campioni presenti alla quota di 1 m ad assumere una curva asimmetrica verso il grossolano e di quelli raccolti sulla battigia ad acquisire una coda di materiale fine.

Sulla spiaggia sommersa la cernita varia da zona a zona rimanendo però, nella maggior parte dei casi, nel campo dei sedimenti poco classati, come riscontrato anche nel 2008.

Dal punto di vista del coefficiente di asimmetria, nella spiaggia sommersa continuano a prevalere code di materiale fine. Si distingue, sul profilo RA26, il campione esterno alla barriera in massi collocato vicino al varco tra le opere che passa dal campo dei sedimenti asimmetrici verso il fine a quello dei depositi asimmetrici verso il grossolano.

Nei 25 mesi successivi al Progettone 2, il bilancio è leggermente positivo per circa 4.100 m³.

Occorre precisare che, sia nella primavera del 2008 che in quella del 2009, il Comune di Ravenna ha effettuato a Punta Marina ripascimenti rispettivamente per 20.000 m³ e 18.000 m³.

Pertanto, con riferimento alla Figura 33B, nella zona di intervento di Punta Marina sono stati portati, tra il 2007 e il 2009, 220.500 m³ di sabbia e al momento della seconda campagna ne risultavano presenti 224.600. In pratica non vi è stata perdita di materiale.

Nell'ipotesi che i 2 ripascimenti del Comune abbiano interessato per l'80% l'area di ripascimento, lunga 1660 m, del Progettone 2, ne consegue che nelle 5 celle d'intervento il bilancio effettivo è negativo per 3.700 m³ nel primo periodo ed è positivo per 7.800 m³ nel secondo. Questo accumulo, pur modesto, dimostra l'efficacia dell'intervento e del sistema di opere rigide, che formano delle celle chiuse.

Questo risultato è reso evidente dalla Figura 33B ottenuta confrontando i DTM del rilievo di prima pianta (Maggio 2007) con quello della seconda campagna di monitoraggio (Luglio 2009), da cui risulta un rialzo pressoché generalizzato di spiaggia e fondali e un avanzamento della linea di riva di 20-30 m.

È importante evidenziare però che un simile sistema di opere in roccia ha un notevole impatto ambientale e che interferisce pesantemente sulla circolazione dei natanti e in generale sulla sicurezza.

Inoltre, in corrispondenza dei 5-6 varchi, presenti lungo la barriera longitudinale per permettere il passaggio di piccole imbarcazioni tra le celle e il mare aperto, le correnti di ritorno hanno formato buche profonde più di 7 m, che si estendono a forma di goccia per 100-200 m verso il largo. La maggiore è quella di fronte alla foce armata del canale del Molino (Fig. 31).

Restano indefinite le cause delle erosioni localizzate delle spiagge a nord dei bagni Alessandro e Mirella (Fig. 33A) che risultavano già in condizioni critiche prima della costruzione del sistema di opere in massi.

Tabella 4a - Quadro di sintesi dei ripascimenti e delle attività di monitoraggio relative al secondo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine effettuato in Emilia-Romagna, nel 2007.

Spiaggia	Lunghezza intervento (m)	Ripasc. 2007 (m ³)	Ripasc. 2007 (m ³ /m)	Limite di calcolo	ΔV (FL-1 ^a) (m ³)	Ripasc. (FL-1 ^a) (m ³)	ΔV -Ripasc. (FL-1 ^a) (m ³) (m ³ /m/anno)
Misano	1.600	149.000	93	Barriera in sacchi	-52.600	27.300	-79.900 (-35)
Riccione	1.200	105.000	88	Barriera in sacchi	-23.400	79.700	-103.100 (-60)
Igea Marina	1.300	80.800	68	Scogliera sommersa	3.900	0	3.900 (+2)
Cesenatico Ponente	600	68.400	114	Batimetrica 1,5 m	-21.400	0	-21.400 (-25)

Milano Marittima	950	90.100	95	Barriera in sacchi	-43.100	0	-43.100 (-32)
Lido di Dante	1.100	107.100	97	Scogliera sommersa	-49.000	0	-49.000 (-31)
Punta Marina	1.660	189.900	114	Scogliera sommersa	12.300	16.000	-3.700 (-2)
Totale	8.410	790.300	95,6		-173.300	123.000	-296.300

Tabella 4b - Quadro di sintesi dei ripascimenti e delle attività di monitoraggio relative al secondo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine effettuato in Emilia-Romagna, nel 2007.

Spiegia	ΔV (1° -2°) (m³)	Ripasc. (1° -2°) (m³)	ΔV -Ripasc. (1° -2°) (m³) (m³/m/anno)	ΔV (PP-2°) (m³)	Ripasc. (PP -2°) (m³)	ΔV -Ripasc. (PP -2°) (m³) (m³/m/anno)
Misano	1.500	18.300	-16.800 (-14)	97.900	194.600	-96.700 (-28)
Riccione	-51.800	53.100	-104.900 (-116)	29.800	237.800	-208.000 (-80)
Igea Marina	-16.800	4.500	-21.300 (-22)	67.900	85.300	-17.400 (-6)
Cesenatico Ponente	-22.200	0	-22.200 (-49)	24.800	68.400	-43.600 (-34)
Milano Marittima	-9.000	0	-9.000 (-13)	38.000	90.100	-52.100 (-25)
Lido di Dante	45.300	5.800	39.500 (+48)	103.400	112.900	-9.500 (-4)
Punta Marina	22.400	14.600	7.800 (+6)	224.600	220.500	4.100 (+1)
Totale	-30.600	96.300	-126.900	586.400	1.009.600	-423.200

Ripasc. 2007: volume di sabbia sottomarina portato a ripascimento con il Progettone 2.

Limite di calcolo: limite a mare dell'area di calcolo dei volumi accumulati o erosi.

ΔV (FL-1°): variazione di volume tra i rilievi di fine lavori (Aprile-Giugno 2007), effettuati dopo il ripascimento 2007, e quelli della prima campagna di monitoraggio (Ottobre 2008).

Ripasc. (FL- 1°): ripascimenti effettuati fra i rilievi di fine lavori (Aprile-Giugno 2007) e quelli della prima campagna di monitoraggio (Ottobre 2008).

ΔV -Ripasc. (FL-1°): volume di materiale perso (-) o accumulato (+) tra fine lavori e la prima campagna di monitoraggio, calcolato considerando anche i ripascimenti effettuati nel periodo intercorso tra i due rilievi.

ΔV (1° - 2°): variazione di volume tra i rilievi della prima (Ottobre 2008) e della seconda campagna di monitoraggio (Luglio 2009).

Ripasc. (1°-2°): ripascimenti effettuati fra i rilievi della prima (Ottobre 2008) e della seconda campagna di monitoraggio (Luglio 2009).

ΔV -Ripasc. (1°-2°): volume di materiale perso (-) o accumulato (+) tra la prima e la seconda campagna di monitoraggio, calcolato considerando anche i ripascimenti effettuati nel periodo intercorso tra i due rilievi.

ΔV (PP-2°): variazione di volume tra i rilievi di prima pianta (Aprile-Maggio 2007), effettuati prima del ripascimento 2007, e della seconda campagna di monitoraggio.

Ripasc. (PP-2°): ripascimenti effettuati fra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

ΔV -Ripasc. (PP-2°): volume di materiale perso (-) o accumulato (+) tra la prima e la seconda campagna di monitoraggio, calcolato considerando anche i ripascimenti effettuati nel periodo intercorso tra i due rilievi.

Tabella 5 - Diametro medio, coefficienti di cernita e di asimmetria ottenuti sulla base delle analisi granulometriche dei sedimenti campionati nel 2008 e nel 2009 sulle sette spiagge emiliano-romagnole oggetto dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine effettuato nel 2007 (Progettone 2).

Località	Campione	Quota di progetto (m)	Quota rilevata 2008 (m)	2008			2009		
				Dm (micron)	Cernita (phi)	Asimmetria	Dm (micron)	Cernita (phi)	Asimmetria
MISANO ADRIATICO	MI5 T	1,00	1,00	178,8	1,148	0,262	207,8	1,029	-0,377
	MI5 0	0,00	0,00	228,0	0,627	-0,186	181,9	0,573	-0,006
	MI5 1	-1,00	-1,00	169,8	0,471	0,190	190,1	0,681	-0,069
	MI5 2	-2,50	-2,50	170,5	0,603	0,234	177,9	0,518	-0,017
	MI5 4	-4,00	-4,00	173,0	0,539	0,202	135,5	0,758	0,234
	MI18 T	1,00	1,00	180,5	0,607	0,019	215,3	0,865	-0,336
	MI18 0	0,00	0,00	223,3	0,771	-0,382	230,5	1,040	-0,481
	MI18 1	-1,00	-1,00	175,0	0,564	0,025	196,0	0,681	-0,083
	MI18 2	-2,50	-2,50	175,3	0,559	0,022	140,0	0,669	0,334
	MI18 4	-4,00	-4,00	154,5	0,555	0,287	125,6	0,814	0,237
RICCIONE	25L5 T	1,00	1,00	200,6	0,732	-0,094	207,0	0,579	-0,244
	25L5 0	0,00	0,00	196,6	0,631	-0,168	183,5	0,515	-0,084
	25L5 1	-1,00	-1,00	181,7	0,604	-0,088	180,1	0,624	0,000
	25L5 2	-2,50	-2,50	163,6	0,495	0,224	173,4	0,449	0,182
	25L5 4	-4,00	-4,00	123,7	0,866	0,270	121,0	0,644	-0,026
	21L5 T	1,00	1,00	179,4	0,484	-0,032	182,1	0,448	-0,171
	21L5 0	0,00	0,00	197,0	0,520	-0,249	228,4	0,652	-0,214
	21L5 1	-1,00	-1,00	171,8	0,472	0,193	175,5	0,491	0,066
	21L5 2	-2,50	-2,50	167,5	0,489	0,204	166,5	0,475	0,191
	21L5 4	-4,00	-4,00	134,9	1,125	0,525	125,9	0,775	0,240
BELLARIA IGEA MARINA	IG02 T	1,00	1,00	177,7	0,567	0,013	174,1	0,589	0,055
	IG02 0	0,00	0,00	179,2	0,447	-0,095	165,2	0,667	0,331
	IG02 1	-1,00	-1,00	131,5	1,194	0,539	155,6	0,856	0,445
	IG02 2	-2,50	-2,50	134,0	1,255	0,562	118,0	1,398	0,463
	IG02 4	-4,00	-4,00	124,3	1,249	0,507	121,2	1,397	0,410
	IG09 T	1,00	1,00	205,1	0,850	0,047	176,2	0,568	0,014
	IG09 0	0,00	0,00	179,0	0,590	-0,010	243,3	1,086	-0,135
	IG09 1	-1,00	-1,00	98,93	1,555	0,527	81,38	1,808	0,588
	IG09 2	-2,50	-2,50	79,19	1,780	0,584	47,35	2,220	0,579
	IG09 4	-4,00	-4,00	110,9	1,467	0,565	117,2	1,413	0,376
	139LI T	1,00	1,00	176,9	0,567	0,021	174,0	0,481	0,122
	139LI 0	0,00	0,00	174,6	0,475	0,100	200,7	0,732	-0,092
	139LI 1	20 m LT	-1,70	149,7	0,869	0,472	96,41	1,521	0,405
	139LI 2	20 m LM	-3,90	63,35	2,056	0,623	116,2	1,442	0,423
139LI 4	-4,00	-4,00	94,41	1,723	0,656	132,2	1,124	0,458	
CESENATICO	110L1 T	1,00	1,00	247,6	0,720	0,105	209,0	0,626	-0,173
	110L1 0	0,00	0,00	223,6	0,627	-0,225	224,6	0,671	-0,085
	110L1 1	-1,00	-1,00	111,2	1,322	0,303	154,6	0,562	0,281
	110L1 2	-2,50	-2,50	87,64	1,725	0,555	122,4	1,503	0,307
	110L1 4	20 m LM	-2,80	25,69	2,285	0,285	101,2	1,353	0,391
	110L1 3	-4,00	-4,00	75,07	1,787	0,530	108,7	0,957	0,111
	109L1 T	1,00	1,00	163,2	0,516	0,244	173,5	0,469	0,128
	109L1 0	0,00	0,00	182,5	0,628	-0,022	207,2	0,819	-0,237
	109L1 1	-1,00	-1,00	112,4	0,803	0,063	138,7	0,749	0,388
	109L1 2	-2,50	-2,50	112,8	1,055	0,217	96,88	1,107	0,210
109L1 4	-4,00	-4,00	87,78	0,882	0,302	128,9	0,649	0,119	

Località	Campione	2008					2009		
		Quota di progetto (m)	Quota rilevata 2008 (m)	Dm (micron)	Cernita (phi)	Asimmetria	Dm (micron)	Cernita (phi)	Asimmetria
MILANO MARITTIMA	15L28 T	1,00	1,00	224,1	0,826	-0,158	226,0	0,653	-0,120
	15L28 0	0,00	0,00	224,1	0,826	-0,158	167,8	0,656	0,076
	15L28 1	-1,00	-1,00	87,17	0,904	0,309	142,8	0,623	0,266
	15L28 2	-2,50	-2,50	93,77	0,970	0,211	111,4	1,258	0,278
	15L28 4	-4,00	-4,00	85,68	0,845	0,377	89,56	1,013	0,267
	MM20 T	1,00	1,00	214,9	0,958	-0,272	249,8	0,789	-0,110
	MM20 0	0,00	0,00	252,0	0,911	-0,343	249,4	0,790	-0,211
	MM20 1	-1,00	-1,00	125,6	0,647	0,079	153,1	0,579	0,282
	MM20 2	-2,50	-2,50	121,4	1,236	0,418	112,7	1,289	0,304
	MM20 4	-4,00	-4,00	86,33	0,830	0,373	86,78	0,783	0,358
LIDO DI DANTE	RA16 T	1,00	1,00	329,1	0,504	0,211	280,7	0,622	0,295
	RA16 0	0,00	0,00	356,3	0,543	-0,005	336,1	0,452	0,194
	RA16 1	-1,00	-1,00	89,00	1,084	0,291	268,9	0,628	0,219
	RA16 2	-2,50	-2,50	110,9	1,221	0,276	261,2	0,644	0,167
	RA16 4	-4,00	-4,00	88,93	0,914	0,278	49,10	2,360	0,533
	RA17 T	1,00	1,00	261,3	0,659	0,143	231,9	0,680	-0,051
	RA17 0	0,00	0,00	164,9	0,658	0,077	210,6	0,730	-0,080
	RA17 1	20 m LT	-2,50	40,71	2,072	0,567	113,0	1,047	0,188
	RA17 2	20 m LM	-4,60	28,44	2,152	0,403	41,57	2,825	0,469
	RA17 4	-4,00	-4,00	7,933	1,495	-0,486	113,8	1,387	0,346
PUNTA MARINA	RA26 T	1,00	1,00	174,5	0,585	-0,004	204,4	0,553	-0,264
	RA26 0	0,00	0,00	247,8	0,709	-0,071	226,8	0,632	-0,146
	RA26 1	20 m LT	-3,20	88,87	1,136	0,299	52,79	1,922	0,485
	RA26 2	20 m LM	-7,10	95,09	1,211	0,238	10,29	1,903	-0,190
	RA26 4	-4,00	-4,00	89,95	1,062	0,294	90,39	0,994	0,275
	RA28 T	1,00	1,00	174,6	0,616	-0,010	180,0	0,599	0,007
	RA28 0	0,00	0,00	207,7	0,710	-0,121	175,6	0,997	0,271
	RA28 1	20 m LT	-2,80	112,2	1,164	0,238	145,6	1,278	0,368
	RA28 2	20 m LM	-4,10	110,9	1,193	0,184	102,3	0,972	0,124
	RA28 4	-4,00	-4,00	101,9	0,925	0,069	89,29	0,923	0,267
	RA29 T	1,00	1,00	208,3	1,095	0,158	220,1	0,612	-0,203
	RA29 0	0,00	0,00	209,9	0,750	-0,070	179,2	0,596	0,041
	RA29 1	20 m LT	-6,50	53,77	1,618	0,635	121,3	1,416	0,261
	RA29 2	20 m LM	-5,80	57,19	1,542	0,656	152,6	1,568	0,335
RA29 4	-4,00	-4,00	114,6	1,439	0,079	91,68	1,215	0,246	

(Dm): diametro medio.

20 m LT: campione prelevato alla distanza di 20 m dalla scogliera, verso terra.

20 m LM: campione prelevato alla distanza di 20 m dalla scogliera, verso il largo.

Conclusioni

Dopo quello del 2002, nella primavera del 2007 la Regione Emilia-Romagna ha realizzato il secondo intervento di ripascimento con sabbie prelevate da dossi sottomarini posti al largo della costa. Sono stati apportati 790.000 m³ di sabbia su sette spiagge ad elevata fruizione turistica, lunghe complessivamente di 8,4 km.

Delle sette spiagge una è priva di opere di difesa (Cesenatico Ponente), tre sono protette da scogliere semisommerse (Igea Marina, Lido di Dante e Punta Marina), due da barriere sommerse in sacchi (Riccione e Milano Marittima), mentre Misano è protetta sia da una barriera sommersa in sacchi che da un fitto campo di pennelli in massi.

Anche se 2 anni di monitoraggio post intervento sono pochi per fornire una risposta sufficientemente esauritiva sull'evoluzione di ogni spiaggia e sull'efficacia delle diverse tipologie di opere di difesa, è stato comunque possibile acquisire una serie di informazioni di notevole importanza.

Inoltre, diversamente da quanto accaduto con il monitoraggio del "Progettone 1", in cui era stato effettuato un solo campionamento di sedimenti, con il "Progettone 2" sono stati effettuati campionamenti sia in occasione della prima campagna (Ottobre 2008) che della seconda (Maggio 2009), in base ai quali è stato possibile formulare alcune considerazioni riguardanti l'evoluzione sedimentologica delle spiagge (Tab. 5).

Come era già avvenuto per il monitoraggio dell'intervento del 2002, sono stati acquisiti anche per il periodo 2007-2009 tutti i dati relativi ai volumi di sabbia portati su ogni singola spiaggia con gli interventi di manutenzione (Tab. 4)

La disponibilità di un numero rilevante di dati e il fatto che ben 4 spiagge siano state oggetto di entrambi i ripascimenti con sabbie sottomarine ha portato ad articolare le presenti conclusioni in tre parti. La prima descrive il trend evolutivo delle sette spiagge interessate dal Progettone 2, la seconda analizza il trend delle quattro spiagge oggetto di entrambi i Progettone, la terza valuta il comportamento delle scogliere parallele semisommerse presenti lungo il litorale emiliano-romagnolo, in quanto ben 3 spiagge su 4 difese con questa tipologia di opere, sono state oggetto di ripascimento con sabbie sottomarine nel 2007.

Risultati del monitoraggio del Progettone 2 (2007-2009)

Nei due periodi che vanno dalla fine dei lavori (Maggio 2007) al primo monitoraggio (Ottobre 2008) e dal primo monitoraggio al secondo monitoraggio (Luglio 2009) si è avuto una notevole diversità del clima meteorologico.

Nel primo periodo (17 mesi) tutte le mareggiate (24) tranne due hanno avuto direzione inferiore ai 75° N, mentre nel secondo (9 mesi) ben 6 mareggiate su 17 hanno avuto direzione superiore a 75° N (Tabb. 2 e 3). Si tratta dei dati rilevati dalla boa ondamentrica Nausicaa di Cesenatico, collocata a 8 km dalla costa e su un fondale di circa 10 m.

Questa diversità di clima ondoso ha determinato effetti molto diversi sulle singole spiagge in funzione del tipo di opere di difesa presenti e della direzione prevalente del trasporto solido litoraneo.

Gli studi condotti nell'ambito del Piano Costa 1981 e di quello del 1996 hanno dimostrato che a Misano, Riccione, Igea Marina, Cesenatico Ponente e Punta Marina è nettamente prevalente il trasporto da sud verso nord, a Milano Marittima da nord verso sud, mentre a Lido di Dante la componente sud-nord è prevalente sottocosta, ma non 200 m al largo.

Occorre aggiungere che ad esclusione di Lido di Dante, lo stato di criticità delle altre 6 spiagge è dovuto al fatto che sono tutte sottoposte a lunghe serie di opere rigide.

Con riferimento alla Tabella 4 risulta che a Riccione, Igea Marina e Cesenatico Ponente (zona colonie), pur con situazioni del tutto diverse sotto il profilo delle opere di difesa, il tasso di erosione incrementa con l'aumentare dell'angolo di provenienza delle mareggiate. Si tratta infatti di spiagge caratterizzate da un trasporto litoraneo diretto verso nord.

A Riccione e Cesenatico, infatti, le perdite sono praticamente uguali nel primo e nel secondo periodo, ma il secondo periodo ha una durata che è quasi la metà del primo e pur avendo un numero inferiore di mareggiate si registra un forte aumento di quelle da levante e da sud-est, quelle che spesso sono associate al fenomeno dell'acqua alta che le rende molto erosive. Questo andamento è confermato a Igea Marina, dove la zona d'intervento nel suo complesso evidenzia un accumulo nel primo periodo (3.900 m³) e una perdita nel secondo (21.300 m³).

A Misano invece, dove il trasporto medio annuo è sempre comunque diretto da sud verso nord, le perdite

sono altissime nel primo periodo (79.900 m³) e ridotte nel secondo (16.800 m³). Difficile spiegare questa apparente contraddizione; una ipotesi è che questa spiaggia abbia risentito nel secondo periodo dell'effetto ombra esercitato dal promontorio di Gabicce, che si trova 5 km più a sud.

La relazione che vede un aumento delle perdite quando la direzione delle mareggiate è analoga a quella del trasporto litoraneo è del tutto rispondente anche a Milano Marittima dove, in ragione del trasporto prevalente nord-sud, le perdite sono molto elevate (43.100 m³) nel primo periodo e ridotte nel secondo (9.000 m³). La cella chiusa di Lido di Dante, che ha spiagge non protette ai lati, perde molto con i mari di bora, ma si comporta come un *cul de sac* in cui entrano le sabbie della spiaggia a sud con i mari di levante e scirocco. Nelle cinque celle oggetto di ripascimento di Punta Marina pur essendosi verificati forti spostamenti di materiale dalla spiaggia emersa a quella sommersa, il bilancio sedimentario risulta sostanzialmente stabile nei due periodi.

Nei due anni considerati, Riccione è la spiaggia che ha perso di più: 77 m³/m/anno.

Esternamente alle sette zone d'intervento, tra le batimetriche dei 3 e 5 m, si sono verificati anche nel periodo 2007-2009 innalzamenti del fondale, ma in misura minore rispetto a quanto è stato riscontrato nel periodo 2002-2007 e descritto nell'articolo riguardante il monitoraggio delle spiagge del "Progettone 1".

Nel 2008, a 17 mesi dall'intervento di ripascimento, la maggior parte delle sabbie campionate sulle 7 spiagge è rappresentata da un diametro medio ricadente nei campi della sabbia fine e della sabbia molto fine (Tab. 5). Depositi con diametro medio maggiore, dell'ordine della sabbia media, sono stati campionati sulla spiaggia emersa di Milano Marittima, Punta Marina e di Lido di Dante, mentre i sedimenti più fini, con granulo medio della classe del silt, sono stati individuati sulla spiaggia sommersa di Lido di Dante e Punta Marina. I campioni di Riccione sono i più selezionati: essi risultano da bene a moderatamente classati. Seguono le spiagge di Misano, Milano Marittima e Cesenatico con sedimenti da discretamente a moderatamente classati e, infine, Igea Marina, Lido di Dante e Punta Marina, con campioni prevalentemente poco classati.

Pressoché ovunque sulla spiaggia emersa prevalgono sedimenti con curve simmetriche o con code di materiale grossolano, mentre sulla spiaggia sommersa i campioni presentano curve asimmetriche verso il fine.

In corrispondenza delle spiagge di Misano, Riccione, Milano Marittima (protette con barriere in sacchi) e Cesenatico zona colonie (priva di opere), si osserva una lieve diminuzione della granulometria all'aumentare della profondità. Tale tendenza, tipica delle spiagge sabbiose, non si osserva nei tratti di Igea Marina, Lido di Dante e Punta Marina dove le scogliere parallele in roccia (emerse e semisommerse) oltre ad alterare significativamente la morfologia dei fondali, producono effetti anche sulla tessitura dei sedimenti.

Nel 2009, a 25 mesi dall'intervento, il granulo medio dei sedimenti raccolti sulla spiaggia emersa risulta pressoché invariato rispetto a quanto riscontrato nel 2008 in tutti i tratti costieri esaminati.

Per quel che riguarda il coefficiente di cernita, si rilevano alcuni cambiamenti di limitata entità: si osserva un miglioramento della selezione a Riccione, Igea Marina e Cesenatico, soprattutto alla quota di 1 m s.l.m. e un peggioramento, a Misano e Punta Marina, che riguarda prevalentemente i depositi di battigia. Complessivamente, comunque, continuano a prevalere i depositi discretamente e moderatamente classati, molto probabilmente a causa dei ripetuti ripascimenti di manutenzione effettuati nel periodo in esame.

Per quanto riguarda l'asimmetria prevale una tendenza dei sedimenti ad assumere curve simmetriche oppure, ma con minore frequenza, curve asimmetriche verso il grossolano.

I sedimenti della spiaggia sommersa nel 2009 presentano variazioni tessiturali più marcate rispetto a quanto riscontrato sulla spiaggia emersa.

Il diametro medio varia maggiormente nelle spiagge protette con opere rigide rispetto ai tratti difesi dalle barriere sommerse in sacchi o privi di opere.

In generale, nelle zone interessate da accumulo di materiale prevalgono aumenti di granulometria. Tale fenomeno è stato osservato nella fascia di fondale sottocosta interessato dall'arrivo di sabbia a maggiore granulometria proveniente dalla spiaggia emersa a Cesenatico, Milano Marittima, Lido di Dante e Punta Marina. Gli aumenti di granulometria più evidenti sono stati rilevati a Lido di Dante nei punti in cui, sotto la spinta dei mari da levante del secondo periodo, sono andate a depositarsi le sabbie a maggiore granulometria asportate dal mare dalla spiaggia posta a sud dell'intervento.

A Punta Marina, l'incremento del granulo medio è stato osservato anche vicino alla barriera in roccia, alla profondità di oltre 5 m, in una buca formatasi in corrispondenza di un varco, chiuso nel 2006, dove è in atto un processo di riempimento.

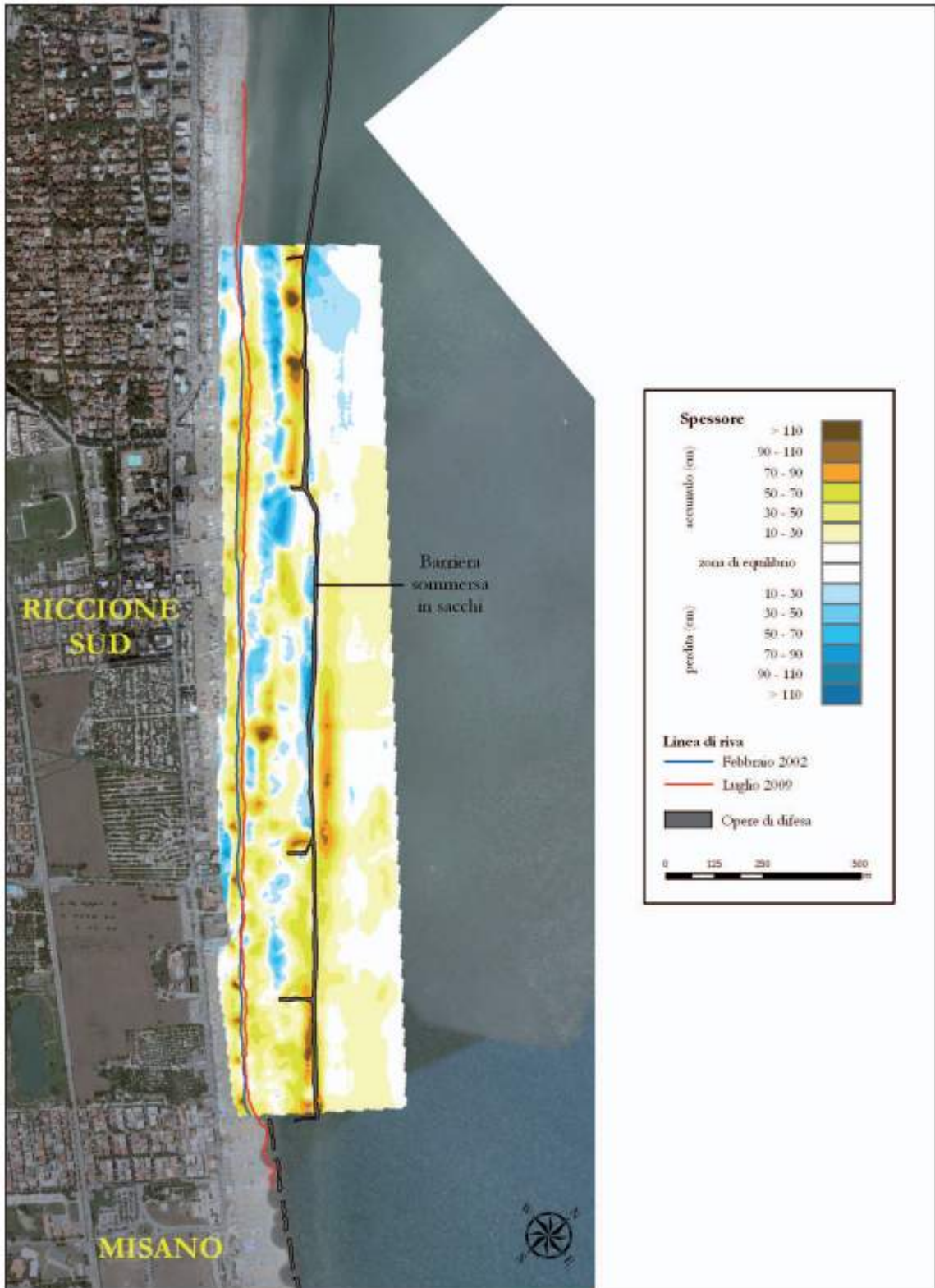


Figura 36 - Riccione sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. Confronto tra i rilievi effettuati prima dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine del 2002 (Progettone 1) e quelli effettuati nel 2009, in occasione dell'ultima campagna di monitoraggio del secondo intervento realizzato sul litorale regionale nel 2007 (Progettone 2).

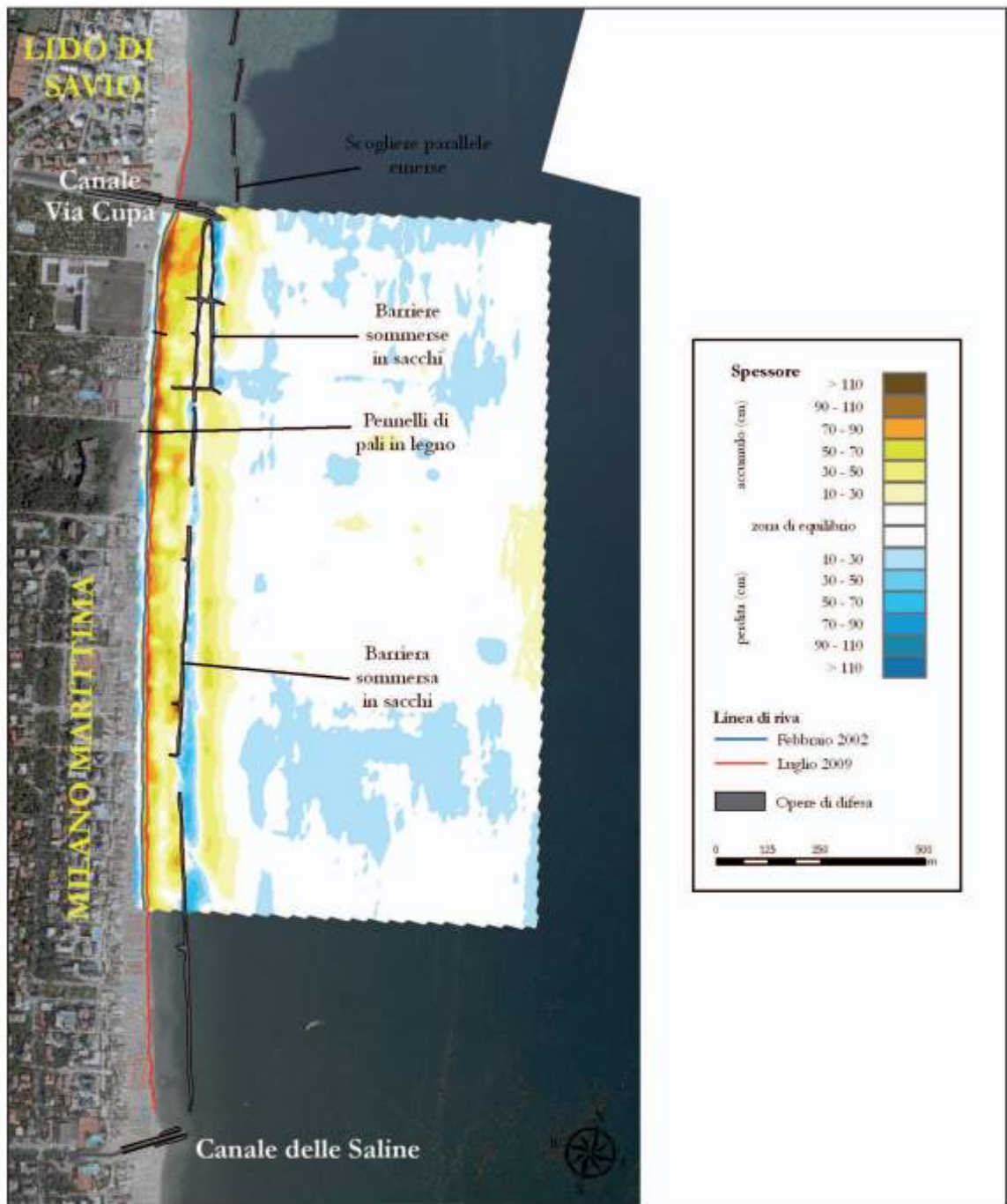


Figura 37 - Milano Marittima: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. Confronto tra i rilievi effettuati prima dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine del 2002 (Progettone 1) e quelli effettuati nel 2009, in occasione dell'ultima campagna di monitoraggio del secondo intervento realizzato sul litorale regionale nel 2007 (Progettone 2).

(Fig. 38). Questo risultato è il prodotto delle politiche di intervento e di gestione adottate dalla Regione e dai Comuni sulla base delle indicazioni del Piano Costa 1981 e di quello del 1996.

Occorre sottolineare che in assenza di adeguati e periodici ripascimenti di sabbia la situazione ritornerebbe a precipitare ed entrerebbero in crisi non solo le zone di ricarica qui descritte, ma anche molti chilometri di litorale sottoflutto aventi una enorme valenza turistica.



Figura 38 - In alto la spiaggia di Igea Marina nel 2001 prima dell'intervento sperimentale; in basso la stessa spiaggia nel 2007 dopo il ripascimento con sabbie sottomarine. (Foto scattata con fotocamera digitale fissa installata nell'ambito del sottoprogetto OPTIMAL, progetto BEACHMED-e, gentilmente concessa da Renata Archetti).

In un numero limitato di casi caratterizzati da condizioni al contorno differenti, è stata osservata una diminuzione delle dimensioni del granulo medio:

- a Misano, nei fondali esterni alle barriere sommerse in sacchi dove si è avuto tra il 2008 e il 2009 un accumulo di materiale più fine, presumibilmente proveniente dal largo;
- a Lido di Dante, in una zona in equilibrio a circa 4 m di profondità, collocata al largo rispetto alla barra che si è formata nel tratto meridionale della cella di intervento in seguito all'arrivo di sabbie di maggiore granulometria provenienti da sud per effetto delle mareggiate che si sono verificate nel secondo periodo e che, evidentemente, non hanno trasportano sedimento in questa fascia;
- a Punta Marina nei campioni raccolti in una buca in approfondimento formatasi in corrispondenza di un varco della barriera.

Per quanto riguarda il coefficiente di cernita, come riscontrato nel 2008, anche nel 2009 i campioni di Misano e Riccione sono i più selezionati: essi risultano da bene a moderatamente classati.

Seguono le spiagge di Milano Marittima e Cesenatico (sezione più settentrionale 109L1), con sedimenti da discretamente a moderatamente classati e, infine, Igea Marina, Lido di Dante e Punta Marina con campioni prevalentemente poco classati.

Analogamente al 2008, nei 7 tratti di spiaggia sommersa indagati prevale l'asimmetria verso il fine.

Risultati del monitoraggio 2002-2009 delle quattro spiagge oggetto del Progettone 1 e del Progettone 2

Le spiagge di Misano (zona pennelli), Riccione Sud, Milano Marittima Nord, e Igea Marina sono state oggetto di monitoraggio topo-batimetrico sia nell'ambito del "Progettone 1" che del Progettone 2.

I dati così raccolti, insieme a quelli dei ripascimenti effettuati, hanno permesso di "fotografare", negli 8 anni che vanno dal 2002 al 2009, il processo evolutivo di queste spiagge e di ottenere, ancor più di una simulazione modellistica, risultati concreti sulla efficacia delle strategie gestionali fin ad ora adottate e sulle modifiche che occorrerebbe introdurre al sistema delle opere di difesa.

Misano e Riccione Sud, ad esempio, vanno considerate ai fini delle soluzioni da adottare con visione unitaria. Si tratta di due spiagge separate da un tratto di litorale lungo 700 m, protetto da 7 scogliere parallele emerse, realizzate a 100 m dalla battigia, da anni collegate alla spiaggia da ampi tomboli.

A Misano nei 27 anni che vanno dal 1983 al 2009, sono stati portati circa 900.000 m³ di sabbia di cui ben 532.000 m³ negli 8 anni tra il 2002 il 2009; tolto ciò che è rimasto nell'area di intervento rispetto al 2002 (192.000 m³), sono fuoriusciti, in gran parte verso nord, 42.500 m³/anno di materiale (Fig. 35).

A Riccione Sud, dal 1983 al 2009, sono stati portati a ripascimento 1.521.000 m³ di sabbia, di cui 721.000 m³ nel periodo 2002-2009. Con riferimento a questo ultimo periodo, tolti i quantitativi ancora presenti (170.000 m³), sono fuoriusciti dall'area di intervento circa 69.000 m³/anno di materiale (Fig. 36).

Per quanto attiene gli interventi da attuare va detto che a Misano si può e si deve intervenire per modificare l'attuale assetto delle difese, in quanto molto riflettenti e quindi poco efficaci nel trattenere la sabbia, mentre a Riccione Sud il ripascimento è insostituibile in quanto è una zona di ricarica artificiale del "nastro trasportare litoraneo" che spostando la sabbia fino al molo di Rimini garantisce l'equilibrio di 12 km di spiagge.

Quanto detto per Riccione vale anche per Milano Marittima nord, dove sono stati portati tra il 1983 e il 2009, 1.100.000 m³ di sabbia, di cui circa 400.000 nel periodo 2002-2009.

Portare sabbia a Milano Marittima Nord significa garantire l'equilibrio dei 3.600 m di spiaggia compresa tra le scogliere di Lido di Savio, a nord, e il porto di Cervia, a sud. Il fabbisogno annuo, in questo caso riferito ai 27 anni tra il 1983 e il 2009, è stato pari a 40.000 m³/anno, di cui la metà circa è servito per compensare la subsidenza (Fig. 37).

A Igea Marina, diversamente dai tre siti appena descritti, la sabbia che fuoriesce dalla cella difesa con la barriera semisommersa in parte va ad alimentare la spiaggia a nord, e in parte si deposita sul fondale esterno alle scogliere, la cui profondità è di 3,5-4 m. In questo caso difficilmente la sabbia supera l'ostacolo costituito dalle scogliere, per ritornare alla spiaggia. Sulla spiaggia a nord arriva, quindi, solamente la quota parte che il mare riesce a spostare al di là del pennello, in parte emerso e in parte sommerso, che chiude la cella sperimentale.

Come ben evidenziato dai dati relativi ai volumi ancora presenti nelle zone di intervento sopra riportati, ma anche dalle mappe, lo stato dei quattro tratti di spiaggia è nel 2009 nettamente migliore rispetto al 2002

Considerazioni sul comportamento delle scogliere semisommerse in Emilia-Romagna in relazione al ripascimento

Lungo il litorale emiliano-romagnolo i tratti protetti con scogliere a cresta bassa sono quattro: Igea Marina, Cesenatico Ponente, Lido di Dante e Punta Marina. I primi tre hanno una lunghezza di circa 800 m ciascuno, mentre il quarto ha uno sviluppo di 3.700 m.

Diversamente da altri interventi, tra cui quello più noto di Pellestrina nella laguna di Venezia, dove la scogliera ha la cresta circa 1 m sotto il livello del mare, quindi sommersa, le quattro scogliere in questione sono state progettate con la cresta a quota medio mare, per questa ragione si è deciso di chiamarle "semisommerse" (Fig. 39).

Una prima valutazione riguardante il comportamento dei quattro interventi in esame è riportata in Preti et alii. (2008) e si basa sui dati precedenti il 2006. Il monitoraggio del "Progettone 2" ha permesso da una lato di aggiornare la base dei dati al 2009, dall'altro di monitorare contemporaneamente e nel dettaglio tre dei quattro interventi suddetti. Del quarto, Cesenatico Ponente, l'Unità Specialistica Mare Costa di ARPA dispone comunque di rilievi di dettaglio eseguiti per altri lavori nel periodo 2007-2009 e anche dei risultati delle simulazioni modellistiche matematiche bidimensionali (*Mike 21*) effettuate nel 2008.

Un aspetto rilevante che contribuisce ad arricchire l'analisi è che i quattro interventi si collocano all'interno di contesti morfologici e di opere di difesa diversi: di questi, tre sono descritti all'interno delle monografie del presente articolo, mentre del quarto, Cesenatico Ponente, va detto che si trova subito a nord del molo del porto, per cui è del tutto chiuso sul lato sud, mentre l'estremità opposta è praticamente aperta; è presente infatti solamente un pennello in massi, radicato alla spiaggia, lungo circa 70 m, per cui tra la sua testata e la barriera vi è un'apertura di 200 m (Fig. 40).

Questa configurazione ha prodotto alla testata nord della barriera una buca di notevoli estensioni, che raggiunge i 6 m di profondità (Fig. 41) facilmente spiegabile considerando le correnti indotte dal sovrizzo d'onda (*piling-up*) a tergo di una scogliera con cresta a pelo d'acqua (Damiani et al., 2006; Aminti et al., 2006).

L'intervento di Cesenatico ha evidenziato una situazione di sostanziale stabilità tra il 2005 e il 2008 e perdite discrete sulla spiaggia emersa tra il 2008 e il 2009.

Un analogo comportamento si è avuto a Igea Marina, nella zona dell'intervento sperimentale, che risulta pressoché stabile, con tendenza all'accumulo, nel periodo 2005-2008 ed è in forte perdita ($30 \text{ m}^3/\text{m}$) nei 9 mesi che vanno dall'Ottobre 2008 al Luglio 2009. Per la prima volta dal 2003, quando è stato realizzato l'intervento sperimentale di Igea Marina, si è potuto osservare che se prevalgono i mari da bora la zona protetta è in equilibrio, diversamente se prevalgono quelli da levante o da sud est la stessa zona perde molto materiale.

Tenendo conto che in zona il trasporto solido litoraneo ha direzione sud-nord, risulta al contrario difficile da spiegare l'erosione della spiaggia a sud dell'intervento sperimentale anziché quella a nord. Le motivazioni più logiche potrebbero essere una non idonea configurazione del collegamento tra il pennello di delimitazione sud con la scogliera semisommersa e l'orientamento a scirocco delle scogliere emerse ai lati che espone la spiaggia ai mari da nord e la protegge da quelli da sud-est.

Pure a Lido di Dante è stata evidenziato una netta diversità della dinamica dei sedimenti sottocosta in relazione alla direzione prevalente delle mareggiate; infatti nel periodo Maggio 2007-Ottobre 2008 si è avuta una perdita di $10 \text{ m}^3/\text{m}$, mentre tra l'Ottobre 2008 e il Luglio 2009 è prevalsa la tendenza all'accumulo ($6 \text{ m}^3/\text{m}$).

Anche qui prima del 2007 era in forte erosione il primo tratto di costa a sud della zona protetta con opere rigide, tanto che vi sono stati portati 50.000 m^3 di sabbia con il "Progettone 2".

Questa tendenza si è mantenuta fino all'Ottobre 2008, poi nei 9 mesi successivi si è avuta una netta inversione del flusso dei sedimenti dovuta a un forte arrivo di materiale dalle spiagge più a sud.

A Punta Marina, diversamente dai tre siti sopra descritti, non sono stati osservati andamenti molto diversi nei due periodi considerati. Ciò che colpisce è che, così come avveniva prima della realizzazione della barriera in roccia e della successiva chiusura di diverse celle con setti trasversali, i tratti di spiaggia in erosione sono sempre gli stessi.

Si è in presenza quindi di fenomeni locali di non facile interpretazione. Comunque la sabbia fuoriuscita dai tratti in erosione si è accumulata sul fondale interno alla barriera.



Figura 39 - Cesenatico Ponente: scogliera semisommersa. Lungo il litorale emiliano-romagnolo queste opere hanno la cresta alla quota del medio mare.



Figura 40 - Cesenatico Ponente: in primo piano, la scogliera semisommersa radicata al molo, il pennello di chiusura dei primi 800 m e la falcata erosiva più a nord; sullo sfondo, la spiaggia e il porto di Cervia.

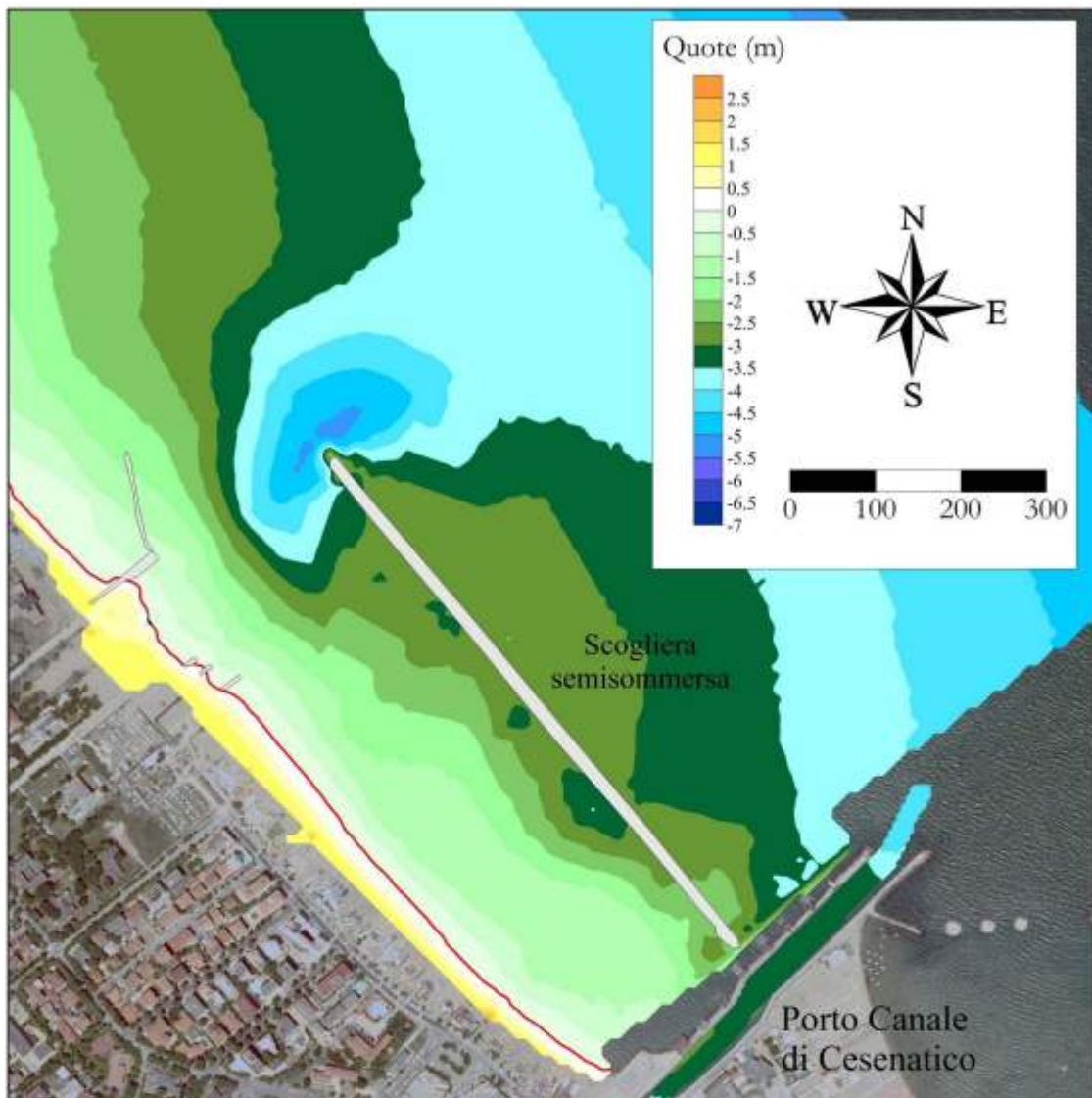


Figura 41 - Cesenatico Ponente: in evidenza la buca presente sul fondale alla testata della scogliera semisommersa. Carta batimetrica del Luglio 2009.

La zona di intervento, costituita da cinque celle di 350 m di lunghezza, è prossima all'equilibrio di bilancio sia nel primo che nel secondo periodo, pur in presenza di rilevanti spostamenti di materiale all'interno.

Le carte batimetriche evidenziano esternamente alla scogliera un fondale di 3,5÷4 m e buche profonde 6÷7 m, che si estendono verso il largo a forma di goccia, in corrispondenza dei varchi in essa presenti.

Il fondale non evidenzia discontinuità significative tra il lato esterno ed interno alla barriera se si è distanti dai varchi, mentre se ci si avvicina la differenza di quota aumenta.

Nel complesso, quindi, i quattro interventi hanno dimostrato una buona efficacia nel trattenere la sabbia dei ripascimenti; se si esclude Cesenatico, però, la realizzazione dei setti trasversali in roccia di collegamento tra la spiaggia e la scogliera longitudinale ha portato alla formazione di vere e proprie vasche chiuse che determinano un forte peggioramento della qualità paesaggistico-ambientale del paraggio e delle condizioni di sicurezza per natanti e bagnanti (Fig. 42).

Per quel che riguarda gli effetti sulle spiagge limitrofe, è risultato che tutti e quattro gli interventi hanno prodotto una falcata erosiva su un lato: a Cesenatico Ponente e Punta Marina sulle spiagge a nord, mentre a Lido di Dante e a Igea Marina nel tratto a sud.



Figura 42 - Lido di Dante: setto trasversale di collegamento tra la scogliera semisommersa longitudinale e il pennello di ancoraggio alla spiaggia.

In sintesi, lo studio ha evidenziato che le spiagge protette con scogliere semisommerse perdono meno sabbia rispetto a quelle protette con pennelli, barriere sommerse in sacchi o prive di opere di difesa.

Ai fini gestionali, però, questa tipologia di opere richiede comunque interventi di ripascimento sulla spiaggia protetta e interventi di ripascimento più consistenti sulle spiagge in erosione ai lati.

Diversamente, le spiagge di Misano, Riccione, Cesenatico Colonie e Milano Marittima, aventi una lunghezza complessiva di 4,4 km, hanno avuto perdite di sabbia molto più elevate, ma la maggior parte di questa sabbia è andata ad alimentare le spiagge sottoflutto garantendo in questo modo l'equilibrio di altri 20 km di litorale.

Anche se è difficile assegnare un valore economico adeguato agli impatti paesaggistico-ambientali e ai problemi legati alla sicurezza, risulta evidente che per la protezione delle spiagge ancora prive di difesa del litorale emiliano-romagnolo, è certamente preferibile e conveniente la gestione mediante ripascimento rispetto alla difesa con scogliere di vario tipo. Il problema è che per effettuare una corretta gestione occorre, oltre alla sabbia, una copertura finanziaria garantita nel tempo. Cosa che fino ad ora non si è verificata, ed è questo il motivo che da forza a chi, come gli operatori balneari, chiede dopo ogni forte mareggiata una "soluzione definitiva", che non esiste e che tuttalpiù si traduce nella realizzazione di nuove scogliere.

Bibliografia

Aminti P., Zanuttigh B., Martinelli L., Lorenzoni C. e Clementi E. (2005) – *Esperimenti di laboratorio ed osservazioni di campo sulle modifiche indotte al fondo da opere trascinabili*. Studi Costieri, N. 9, pp.159-190.

Archetti R., Drei E. e Lamberti A. (2000) – *Monitoring Low Crested Structures: Hydrodynamics Aspects*. Proc. AGU Meeting Fall 2000, Vol. I, pp.683.

Archetti R., Tirindelli M., Gamberini G. e Lamberti A. (2003) – *Analysis of Currents Around a Low Crested*

- Barrier: Comparison Between Field and Numerical Results*. Proc. MEDCOAST International Conference, 7-10 October 2003, Ravenna, Italy, pp- 1731-1740.
- Archetti R. (2008) - *Study of beach evolution due to storms and nourishments by video monitoring*. In Beach Erosion Monitoring. Edited by Enzo Pranzini & Lilian Wetzel Nuova Grafica Fiorentina, pp. 111-118.
- Archetti R. (2009) - *Study of the evolution of a beach protected by low crested structures using video monitoring*. Journal of Coastal Research . Vol 25(4). Pp 884-899. Issue 1551-5036.
- Archetti R. e Zanuttigh B. (2010) - *Integrated monitoring of the hydro-morphodynamics of a beach protected by low crested detached breakwaters*. Coastal Engineering 57, Issue 10, October 2010, pp. 879-891.
- Archetti R. e Romagnoli C. (2011) - *Analysis of the effects of different storm events on shoreline dynamics of an artificially embayed beach*. Earth Surface Processes and Landforms, doi: 10.1002/esp. 2162.
- ARPA (2009) - *Interventi di messa in sicurezza di taluni tratti critici del litorale emiliano-romagnolo, interessati da erosione e subsidenza, mediante ripascimento con sabbie sottomarine - Monitoraggio 2007-2009 delle spiagge oggetto di intervento*. Relazione.
- Blott S.J. e K.PYE (2001) - *Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments* - Earth Surf. Process. Landforms 26, 1237-1248.
- Damiani L., Martinelli L., Cappietti L., Pratola L., Lorenzoni C. (2005) - *Esperimenti di laboratorio sulla circolazione indotta da strutture tracimabili e confronto con i modelli*. Studi Costieri, N. 9, pp.97-118.
- Drei E., Turchetto A., Archetti R. e Lamberti A. (2001) - *Wave and Current Field Measurements Around Low Crested Structure*. Proc. Ocean Waves Measurements and Analysis, ASCE, Vol.1, pp. 115-124.
- IDROSER Spa (1996) - *Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna*, Relazione generale, pp. 365.
- Lamberti A., Gabbianelli G., Airolidi L., Archetti R., Bacchiocchi F. e Soldati M. (2002) - *Monitoraggio triennale e studio del comportamento delle opere di difesa del ripascimento protetto del lido di Dante - Ravenna*. Rapporto Finale AGIP, pp. 180.
- Lamberti A., Archetti R., Tirindelli M. (2004) - *Description of the site: Lido di Dante*. Final Report Delos Project. Deliverable D58. Electronic publication at <http://www.delos.unibo.it>.
- Preti M., Zanuttigh B., De Nigris N., Martinelli L., Aguzzi M., Archetti R e Lamberti A. (2010) - *Integrated beach management at Igea Marina, Italy: results of ten-years monitoring*, 32nd International Conference on Coastal Engineering, June 30 - July 5, 2010, Shanghai, China.

Ricevuto il 19/01/2011, accettato il 16/03/2011.

Monitoraggio morfologico di aree al largo della costa emiliano-romagnola da cui è stata prelevata la sabbia utilizzata per il ripascimento del litorale regionale

Margherita Aguzzi¹, Nunzio De Nigris¹, Gianna Fabi², Sarine Manoukian²,
Mentino Preti¹, Renato Tedeschi³

¹Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente (ARPA), Largo Caduti del Lavoro, 6
40127 Bologna, Italy - maguzzi@arpa.emr.it

¹Istituto di Scienze Marine (ISMAR) - CNR - 60125 Ancona, Italia - s.manoukian@ismar.cnr.it

²Geomarine S.a.s. - Via Guidi 3/4, 60019 Senigallia (AN), Italia - info@geomarine.it

Riassunto

Scopo del lavoro è lo studio dell'impatto determinato sul fondale del mare Adriatico settentrionale dal prelievo di 800.000 m³ di sabbia nel 2002 e 815.000 m³ nel 2007 da 3 aree appartenenti a 2 dossi (A e C1) distanti circa 46 e 57 km dalla costa, giacenti rispettivamente alle profondità di circa 34 e 39 m.

Entrambi i dossi sono attribuibili a cordoni litoranei relitti e la sabbia è stata utilizzata per il ripascimento delle spiagge in erosione del litorale emiliano-romagnolo.

Le 3 aree sono state oggetto di diverse campagne di monitoraggio geofisico mediante ecoscandaglio (singlebeam e multibeam) e side scan sonar nel periodo 2001-2009, prima, durante e dopo le operazioni di dragaggio. I rilievi hanno permesso di riscontrare, da un lato, il rispetto dell'area di prelievo prevista dal progetto da parte della draga e, dall'altro, le modificazioni apportate al fondale.

Nel 2002 la sabbia è stata prelevata da una sola area del dosso C1 (C1P02), mentre nel 2007 da 2 aree distinte appartenenti al dosso C1 e al dosso A (C1P07 e AP07).

I rilievi hanno evidenziato che la draga ha operato seguendo rotte circolari e che gli approfondimenti del fondale hanno raggiunto punte di 2 m nel dosso C1 e di 3 m nel dosso A.

Nelle 3 aree, il monitoraggio non ha evidenziato significative attenuazioni nel tempo dei solchi prodotti dal dragaggio.

Confrontando i DTM delle aree oggetto di prelievo ottenuti con i rilievi eseguiti prima e dopo il dragaggio, è stata riscontrata una buona corrispondenza con i volumi realmente dragati nelle 2 aree di prelievo del 2007 e un leggero scostamento in quella del 2002. La differenza di risultato può essere attribuita ai diversi strumenti utilizzati per i rilievi di prima pianta e fine lavori nell'area C1P02.

Parole chiave: Multibeam, Side Scan Sonar, dragaggio, sabbie relitte, ripascimento, Adriatico settentrionale.

Abstract

The aim of this study is to assess the impact of environmental dredging activities on the seabed in the North Adriatic Sea. The operations involved the removal of 800,000 m³ of sand in 2002 and 815,000 m³ in 2007 from three areas belonging to two rises, A and C1, located at 46 km and 57 km offshore and at a mean depth of 34 m and 39 m respectively.

Both rises are part of relict sandbars and the sand was used for eroded beach nourishment along the Emilia-Romagna coast.

Geophysical surveys using singlebeam and multibeam echosounders and side-scan sonar were carried out in all the three areas between 2001 and 2009, before, during, and after dredging activities.

The acoustic investigations were an effective tool to verify the observance of the extraction area by the dredging company, in accordance to the project, and to identify any changes on the seafloor.

In 2002 sand was removed only from one area of C1 (C1P02), while in 2007 two different areas belonging to C1 and A (C1P07 and AP07) were involved in the extraction activities.

The surveys showed that the dredge worked following circular tracks and that the maximum deepening picks reached 2 m and 3 m in C1 and A respectively.

No significant attenuation of the dredging tracks was recorded over time in the three areas.

A comparison of the different DTM obtained before and after the dredging activities pointed out a good matching of the actual volume removed in both 2007 extraction areas and a slight shifting in the 2002 area. The observed variance for C1P02 can be due to the different acoustic equipments used during the first field surveys and at the end of the dredging operations.

Keywords: Multibeam, Side Scan Sonar, dredging, relict sand, nourishment, northern Adriatic.

Introduzione

Nell'ambito di due progetti di messa in sicurezza di tratti critici del litorale emiliano-romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine effettuati dalla Regione Emilia-Romagna nel 2002 e nel 2007, denominati di seguito rispettivamente Progettone 1 e 2, l'Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente (ARPA) ha

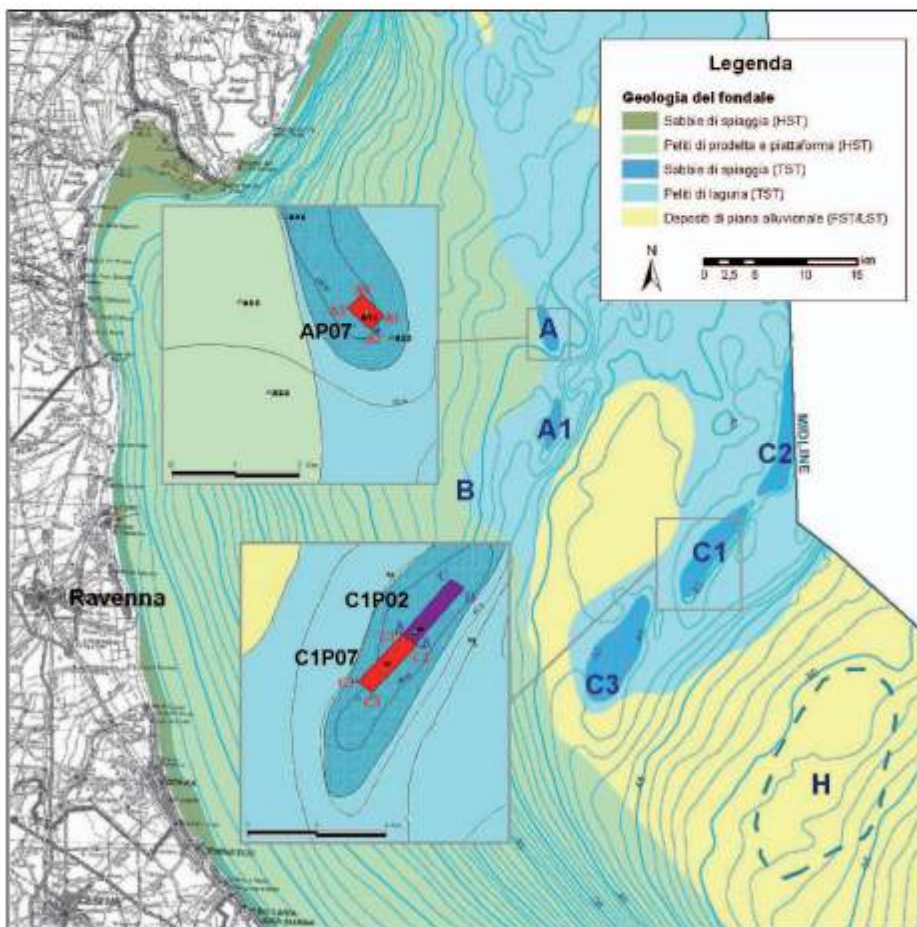


Figura 1 - Ubicazione delle aree oggetto di prelievo nel 2002 e 2007 (C1P02, C1P07, AP07) sulla carta geologica della piattaforma nord adriatica (modificata da Fabbri et al., 2001). A, A1, B, C1, C2, C3 e H: accumuli sabbiosi sottomarini.

ricevuto l'incarico di individuare le aree di prelievo in mare Adriatico delle sabbie e di eseguirne il monitoraggio fisico e ambientale successivi allo sfruttamento.

Nel 2002 sono stati prelevati 800.000 m³ di sabbia da un'area (di seguito C1P02) collocata sul dosso C1, mentre nel 2007 815.000 m³ da due aree appartenenti al dosso C1 e al dosso A, denominate C1P07 e AP07.

Queste tre aree di prelievo sono state scelte sulla base di dati acquisiti nell'ambito di una serie di campagne di ricerca in mare condotte nel 2000 da ARPA in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Bologna (Fig. 1; Correggiari et al., presente volume).

Per il monitoraggio fisico, volto allo studio dell'impatto indotto sul fondale dalle operazioni di prelievo, ARPA si è avvalsa del supporto del Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Ancona che ha svolto una serie di campagne di rilevamento geofisico nel periodo 2002-2004 e nel periodo 2006-2009.

Nel presente articolo si riportano i risultati ottenuti a partire dai rilievi Multibeam (MBES) e Side Scan Sonar (SSS) effettuati sulle tre aree oggetto di dragaggio.

I due sistemi impiegati forniscono informazioni dettagliate sulla batimetria e il backscatter del fondale marino utili per la definizione della zona circoscritta alle operazioni di dragaggio, verificare l'impatto fisico e ottenere informazioni sugli attributi morfologici del fondale.

Inquadramento geologico e stratigrafico.

Le aree in esame si collocano nella porzione settentrionale del bacino Adriatico a 46 e 57 km circa dalla costa emiliano-romagnola.

Il fondale dell'Alto Adriatico è costituito da depositi di età tardo-quadernaria ed è caratterizzato da un gradiente notevolmente basso.

L'evoluzione della successione stratigrafica presente nella zona è strettamente legata alle fluttuazioni eustatiche tardo-quadernarie che, come dimostrato da calibrizioni in aree del Mediterraneo centrale, presentano un andamento piuttosto complesso (Fairbridge, 1961; Antonioli et al., 2004; Lambeck et al., 2004; Fairbanks, 1990; Correggiari et al., 1996; Asioli et al., 2001).

Tali depositi sono oggetto di studio da oltre 40 anni (Brambati et al., 1967; 1973; Colantoni et al., 1979; 1990; Idroser, 1985; 1990; Trincardi et al., 1994, Correggiari et al., 1996 a,b; 2001; 2005 a, b; Fabbri et al., 2001; Cattaneo e Steel, 2003).

Nell'ambito dei sopraccitati Progettone 1 e Progettone 2, ARPA Emilia-Romagna, in collaborazione con ISMAR CNR di Bologna, ha condotto ulteriori studi volti alla caratterizzazione sedimentologica e stratigrafica di dettaglio di una serie di accumuli sabbiosi trasgressivi presenti al largo della costa regionale (Correggiari et al., presente volume; ARPA, 2009), al fine di individuare le aree più idonee al prelievo della sabbia.

Le aree in esame nel presente studio sono collocate sulla sommità di due di questi accumuli sabbiosi (dossi A e C1 Fig. 1) ascrivibili a cordoni litorali sommersi. Tali corpi sedimentari rappresentano "relitti" di spiagge antiche (8-11.000 anni fa) depositate durante la migrazione verso terra della linea di riva ed in seguito annegate (Penland et al., 1988; Swift, 1975).

La deposizione e l'annegamento di questi sistemi sono avvenuti nell'ambito di una fase trasgressiva (18.000-5.500 anni fa) legata all'instaurarsi in condizioni climatiche temperate, successiva a una fase climatica glaciale di caduta e stazionamento basso del livello del mare (125.000-18.000 anni fa FST/LST, Fig. 1, Fairbanks, 1989; Trincardi et al., 1996; Correggiari et al., 2001; Cattaneo et al., 2003; 2004; 2007).

Queste unità trasgressive affioranti al largo della costa regionale, si estendono nel sottosuolo della Pianura Padana (TST, Fig. 1; Colantoni et al., 1979; Belknap e Kraft, 1981; Trincardi et al., 1994; Cattaneo e Trincardi, 1999; Amorosi et al., 1999; 2003; 2005; Preti, 1999; 2003; Bondesan et al., 1995; Correggiari et al., 1996 a, b; 2002; Stefani, 2005; Storm et al., 2008) e giacciono al di sotto di depositi progradanti di stazionamento alto del livello del mare (5.500 anni fa-Attuale HST, Fig. 1) composti prevalentemente da unità fangose di prodelta, estese verso il largo per 35-40 km (Correggiari et al., 2001; 2005 a, b).

Il dosso C1, oggetto di dragaggio sia nel 2002 che nel 2007, è collocato alla profondità di circa 39 m e alla distanza di 57 km dalla costa. I carotaggi eseguiti sul dosso hanno portato alla luce una successione sedimentaria con tendenza trasgressiva costituita da argille lagunari basali, con intercalazioni torbose, e sabbie

fini pulite e ben classate di spiaggia sommersa chiuse al tetto da una unità a base erosiva formata da sabbie bioclastiche di ravinement affioranti all'interfaccia acqua/sedimento. Le sabbie raggiungono uno spessore massimo maggiore di 3 m e il diametro medio è di 0,171 mm (Correggiari et al., presente volume).

Il dosso A è stato oggetto di prelievo nel 2007. Esso si trova 46 km al largo della costa regionale, a 34 m di profondità ed è caratterizzato da una successione sedimentaria con tendenza trasgressiva del tutto simile a quella riscontrata nell'area C1. Le sabbie giacciono al di sotto di una coltre pelitica dello spessore di poche decine di centimetri che rappresenta la parte più distale del cuneo fangoso di prodelta del Po, presentano un diametro medio lievemente superiore a quelle del dosso C1 (0,177 mm) (Correggiari et al., presente volume).

Materiali e metodi

I rilievi batimetrici del fondale sono stati effettuati tramite il sistema MBES in dotazione alla M/R "Tecno-pesca II" di proprietà del CNR-ISMAR di Ancona.

L'area oggetto di dragaggio nel 2002, collocata sul dosso C1 (C1P02), è stata rilevata anche con metodologia SSS C-Max CM 800 102/325 kHz.

Nell'ambito del Progetto 1, i rilievi acustici dell'area C1P02 sono stati effettuati durante le operazioni di dragaggio (Aprile 2002; Fabi et al., 2002) e a distanza di 7 (Dicembre 2002; Fabi et al., 2003), 18 (Novembre 2003; Fabi et al., 2004) e 31 mesi (Dicembre 2004; Fabi et al., 2005). Nel Giugno 2009, a 7 anni dalla fine dei lavori, ARPA ha deciso di ripetere il rilievo di quest'area per verificare eventuali modificazioni del fondale (Tab. 1).

Da progetto il sito di prelievo delle sabbie, di forma rettangolare (area C1P02; Fig. 1), ha un'estensione di 1 km², con i lati di 500 m x 2000 m e presenta le seguenti coordinate geografiche WGS84:

- A Lat 44°28'33,96"; Long 13°01'08,76"
- B Lat 44°28'23,52"; Long 13°01'23,08"
- C Lat 44°29'24,36"; Long 13°02'15,00"
- D Lat 44°29'14,64"; Long 13°02'30,84"

Ad eccezione del primo rilievo, effettuato in concomitanza con le operazioni di dragaggio, l'area effettivamente monitorata è stata estesa alle dimensioni di 3200 m x 1580 m, per garantire una visione del fondale circostante i lavori.

Nel 2007, nell'ambito del Progetto 2, sono stati prelevati 815.000 mc di sabbia da 2 aree distinte: una, denominata C1P07, collocata sul dosso C1 a sud di quella sfruttata nel 2002 e una collocata sul dosso A (AP07, Fig. 1). Particolare attenzione è stata rivolta al monitoraggio degli impatti indotti dal dragaggio su quest'ultimo dosso, dove le sabbie, a differenza del C1, non sono affioranti all'interfaccia acqua sedimento, ma giacciono al di sotto di una coltre pelitica spessa alcuni decimetri.

Le due aree (AP07, C1P07) sono state oggetto di una campagna di caratterizzazione nel 2006, prima dell'intervento e di un secondo rilievo nel Luglio 2007, a 1 mese di distanza dal dragaggio (Tab. 1).

Nel Giugno 2009, è stato eseguito un ulteriore rilievo batimetrico sull'area AP07, a 2 anni dal dragaggio del 2007 (Tab. 1).

L'area C1P07, utilizzata nell'ambito del Progetto 2, presenta forma rettangolare con lati di 1.900 x 550 m, e ha le seguenti coordinate geografiche WGS84:

- C1 Lat 44°28'33,96"; Long 13°01'08,76"
- C2 Lat 44°28'36,00"; Long 13°01'26,40"
- C3 Lat 44°27'39,60"; Long 13°00'25,20"
- C4 Lat 44°27'50,40"; Long 13°00'07,20"

L'area di dragaggio del 2007 AP07, ha dimensioni decisamente inferiori rispetto alla precedente (500 x 300 m) ed è definita dalle seguenti coordinate geografiche WGS84:

- A1 Lat 44°39'28,80"; Long 12°48'57,60"
- A2 Lat 44°39'36,00"; Long 12°49'12,00"
- A3 Lat 44°39'21,60"; Long 12°49'22,80"
- A4 Lat 44°39'14,40"; Long 12°49'12,00"

In entrambi i casi sono state monitorate aree con estensioni maggiori di quelle previste dal progetto di dragaggio (per la AP07= 1050 x 750 m; per la C1P07= 2550 x 950 m). Inoltre, sia per l'area AP07 che

per l'area C1P07, il rilievo è stato concluso eseguendo un transetto perpendicolare a quelli precedenti per un'ulteriore verifica della correttezza dei dati acustici.

Infine, ARPA ha utilizzato i dati batimetrici di prima pianta (precedenti al dragaggio) e seconda pianta (successivi al dragaggio) per produrre i DTM delle tre aree interessate dal prelievo di sabbia allo scopo di calcolare la quantità di sedimento asportato da ciascuna zona.

Per quel che riguarda l'area C1P02, è stata utilizzata come prima pianta un rilievo singlebeam effettuato da ISMAR CNR di Bologna nel Maggio 2001, perché il rilievo multibeam effettuato nello stesso periodo, commissionato da ARPA a una impresa privata nell'ambito di questo progetto di monitoraggio, è risultato non idoneo per il calcolo dei volumi in quanto acquisito in condizioni di mare agitato.

Tabella 1 - Cronologia dei rilievi multibeam (quello del Maggio 2001 è un single-beam) realizzati nelle 3 aree di prelievo della sabbia.

Area di dragaggio	Data rilievo ecoscandaglio	Fase operativa
C1P02	Maggio 2001	caratterizzazione
C1P02	Aprile 2002	in corso d'opera
C1P02	Dicembre 2002	post opera
C1P02	Novembre 2003	post opera
C1P02	Dicembre 2004	post opera
C1P02	Giugno 2009	post opera
C1P07	Novembre 2006	caratterizzazione
C1P07	Luglio 2007	post opera
AP07	Novembre 2006	caratterizzazione
AP07	Luglio 2007	post opera
AP07	Giugno 2009	post opera

Metodologia di rilievo MBES

L'MBES è un ecoscandaglio multifascio ad alta risoluzione che lavora ad una frequenza di 300 kHz (può operare in acque basse da meno di 1 m sino a oltre 150 m di profondità) garantendo una copertura del fondo pari al 100%. Tale sistema, che risponde a tutti gli standard suggeriti dall'*International Hydrographic Organization* (IHO, 1998; 2008), consta di tre parti (Fig. 2):

- una stazione di controllo;
- una o due teste sonar (trasduttori) montate sulla chiglia della M/N da ricerca Tecnopesca II (Figg. 2b, 2c) e dotate di due differenti array, uno per la trasmissione e uno per la ricezione dei dati;
- un'unità di elaborazione centrale: pilota i due array della testa sonar per la formazione dei fasci in trasmissione e in ricezione, riconosce il fondale e gestisce l'interfaccia con il sistema di posizionamento DGPS, la girobussola e l'unità MRU (Motion Reference Unit) per la correzione di beccheggio e rollio.

Durante i monitoraggi tra il 2002 e il 2004, è stato utilizzato il modello Kongsberg EM3000 a singola testa sonar. Per ogni ciclo di misura il sistema genera in trasmissione un fascio acustico (ping) ampio 130°, mentre in ricezione vengono formati 127 fasci (beam) di 1,5°, a ciascuno dei quali corrispondono altrettanti punti di misure batimetriche. Questo sistema consente di coprire sezioni ampie sino a quattro volte la profondità, con una cadenza di 25 scansioni al secondo.

Nel 2007 il sistema è stato sostituito col nuovo e più avanzato modello Kongsberg EM3002 a singola testa. A differenza del precedente, l'EM3002 è in grado di utilizzare 254 beam. Infine, nel monitoraggio del 2009 il sistema è stato integrato con una seconda testa sonar raddoppiando il numero del beam (508) e incrementando il fascio acustico da 130° a 200°, arrivando a coprire sezioni ampie sino a dieci volte la profondità.

L'MBES è connesso a un sistema di posizionamento satellitare differenziale DGPS collegato a un satellite geostazionario, a una girobussola e a una sonda per misure della velocità del suono lungo l'intera colonna d'acqua che viene calata in mare prima dei rilevamenti ed è indispensabile per ottenere la corretta distanza

tra l'oggetto battuto (fondale, banchine, ecc.) e la testa sonar. Questa misurazione viene eseguita più volte durante il giorno a causa della variabilità della densità dell'acqua con la temperatura. Durante l'acquisizione dei dati acustici l'imbarcazione ha mantenuto una velocità media di 3,5 nodi compiendo dei transetti paralleli tra di loro previamente stabiliti.

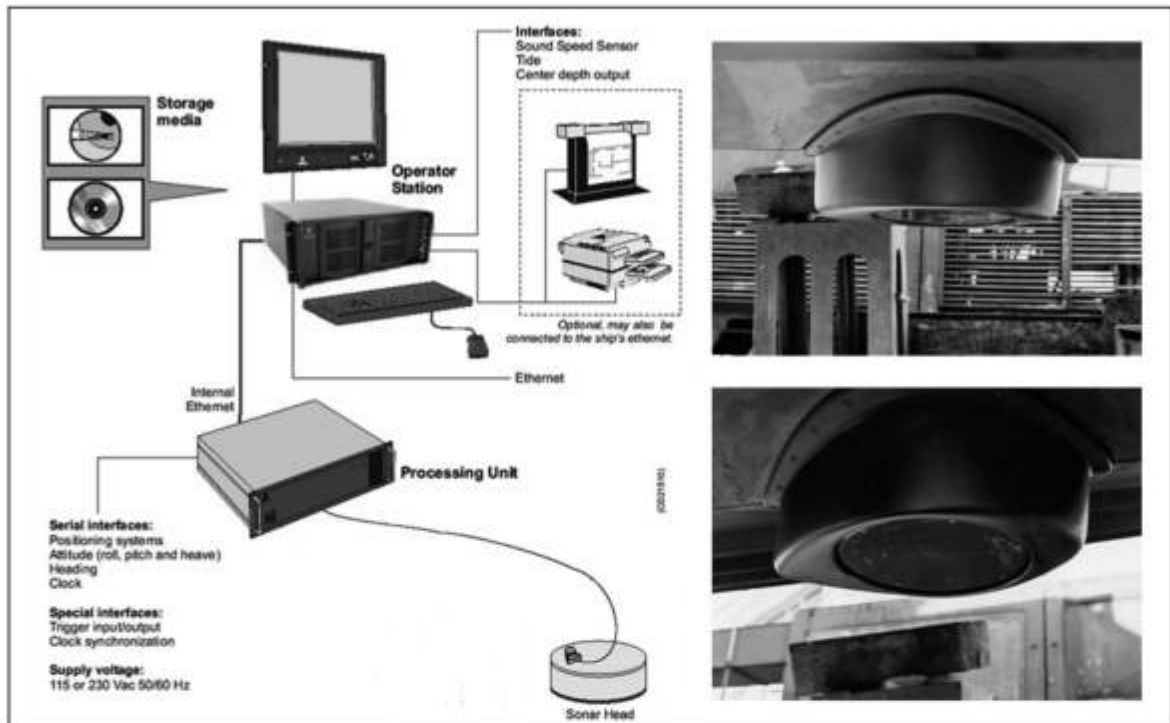


Figura 2 - Schema del sistema MBES EM3000, da "Multibeam echo sounder – The new generation high performance shallow water multibeam" Kongsberg Maritime AS, in dotazione alla M/N da ricerca "Tecnopesca II" (a) e testa sonar (trasduttore) montata sulla chiglia della motonave (b, c).

Seguendo tale schema di navigazione e impostando il cono di acquisizione del trasduttore a 90°, la sovrapposizione del dato di acquisizione è risultata del 5-10%, garantendo la totale copertura dell'area richiesta. Il post-processing dei dati registrati è stato condotto utilizzando i software Neptune (Simrad) e CARIS HIPS&SIPS che hanno permesso di correggere i posizionamenti palesemente errati, apportare la correzione dei dati di marea forniti dall'APAT – Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici di Roma e applicare filtri statistici alle misure batimetriche. Per la realizzazione grafica è stato utilizzato il software C-Floor (Roxar) che ha consentito di effettuare un'ulteriore elaborazione dei dati concernente, ad esempio, la scala di grandezza e l'intervallo batimetrico da applicare alla cartografia. Inoltre, utilizzando il medesimo software si sono realizzate alcune sezioni di computo sia perpendicolari che longitudinali ai transetti di navigazione confrontando i profili ottenuti dai diversi monitoraggi.

Metodologia di rilievo SSS

L' SSS è un sistema di rilevamento che permette di identificare le diverse litologie presenti sul fondale marino (sabbie, ghiaia, roccia, fango, Posidonia, Cymodocea, ecc.) sulla base della diversa risposta acustica che danno questi litotipi (Fig. 3). Il sistema sonar si avvale della tecnologia 'digitale' avanzata per produrre immagini SSS ad alta risoluzione e viene utilizzato anche per la ricerca di oggetti dispersi sul fondale (es. relitti).

Il SSS si avvale di due componenti principali (Fig. 4):

- unità di acquisizione a bordo;
- tow-fish in mare.

Il sistema di acquisizione a bordo si compone di:

- sistema di registrazione digitale workstation integrata;
- drive magneto-ottico;
- stampante laser per immagini SSS (Alden 9315CTP);
- drive di backup formato exabyte.

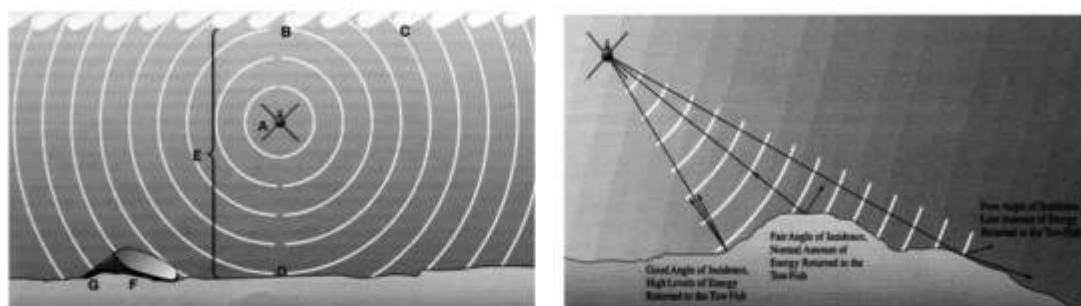


Figura 3 - Tecnologia SSS, da "Sound Underwater Images – A guide to the generation and interpretation of Side Scan Sonar data" J. P. Fish e H. A. Carr.

Il sistema a mare tow-fish consiste invece di 2 trasduttori a doppia frequenza LF-HF 105-325 KHz (bassa ed alta risoluzione).

Durante l'acquisizione SSS sono stati utilizzati una bassa frequenza (105 KHz) e un range laterale di 100 m per ciascun canale. La scelta è ricaduta su questi parametri sia per ottenere le migliori immagini, sia per uniformità di acquisizione con il rilievo MBES. I dati acquisiti sono stati successivamente processati ed elaborati presso gli uffici della Geomarine S.a.s. utilizzando il software OCTOPUS 461.

Il sistema di posizionamento dell'SSS ha lavorato con una unità di ricezione SkyFix a 12 canali operante a bordo del mezzo navale a cui sono state collegate due antenne, una per il GPS e l'altra per le correzioni differenziali. La posizione di bordo è stata determinata mediante la ricezione dei segnali GPS, trasformate in coordinate geografiche, alle quali sono state successivamente applicate le correzioni differenziali ricevute tramite il satellite Inmarsat. La posizione di bordo così corretta è stata inviata al computer di navigazione attraverso una porta seriale. L'accuratezza della posizione dipende da diversi fattori (atmosferici, militari) e varia da 0,5 a 3,0 m.

Il sistema di navigazione del SSS soddisfa solitamente le richieste di comunicazione sia con i sensori di fix sia con le periferiche del computer e l'interfaccia modulare è adattabile a qualsiasi combinazione di input dai sensori esterni per permettere un'elaborazione in tempo reale. Il software di navigazione permette di eseguire rilievi su linee di indagine con fix predefiniti, il cui numero può essere incrementato o diminuito di qualsiasi valore e può gestire due sistemi di posizionamento, inclusi GPS, DGPS, sistemi range/range e range/bearing.

Per un accurato posizionamento satellitare il software di navigazione opera usando il DGPS, mentre una trasformazione a 7 parametri permette la traslazione del posizionamento al datum locale. Le opzioni del

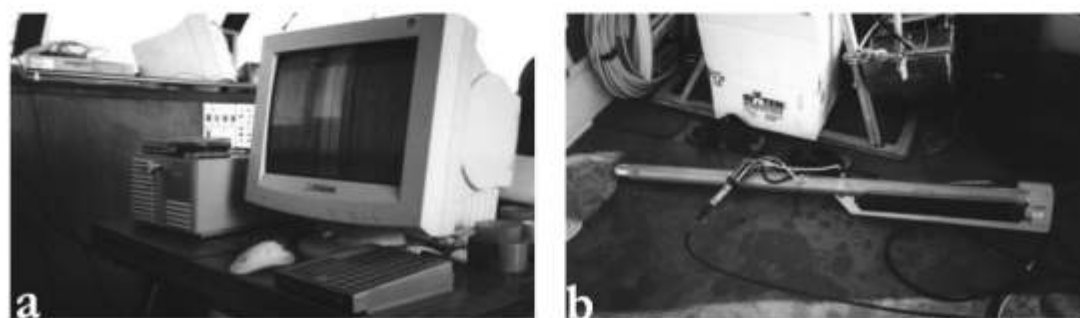


Figura 4 - Componenti principali del sistema SSS: unità di acquisizione a bordo (a) e tow-fish (b).

software facilitano la registrazione dei dati DGPS bruti per una successiva elaborazione, ottenendo una posizione finale estremamente accurata e nel contempo permettendo di configurare le informazioni sullo schermo del navigatore e del pilota. È stato infatti possibile definire l'immagine grafica della nave e creare file archivio delle linee di rilievo, delle linee di costa e altri parametri relativi alla navigazione. Per il controllo di qualità, alla fine di ogni linea è anche possibile stampare istogrammi di deviazione dalla rotta, di distanze tra i fix, di intervallo tra i fix o di qualità dei dati di navigazione.

I file di registrazione possono successivamente essere trasferiti in linguaggio SEG-P1/P2, UKOOA o ASCII definiti dall'utente.

Metodologia di analisi ed elaborazione dati

I dati dei rilievi MBES effettuati tra il 2001 e il 2009 sulle tre aree sono stati sottoposti ad analisi per eliminare le eventuali anomalie, quindi si è proceduto alla loro elaborazione per ricavare i DTM di ciascuna area. In totale sono stati ottenuti 6 DTM dell'area C1P02, 2 dell'area CP07 e 3 dell'area AP07. A partire da questi sono state ottenute carte batimetriche, carte delle differenze di quota e sezioni longitudinali e trasversali. Allo scopo di verificare se il fondale di ciascuna area abbia subito delle variazioni nei periodi successivi alle operazioni di dragaggio, è stato effettuato un confronto preliminare qualitativo tra le carte batimetriche e tra le sezioni e una successiva analisi quantitativa consistente nel calcolo delle differenze di quota sulla base dei DTM.

Nei casi in cui sono state riscontrate significative variazioni di quota, è stata effettuata l'analisi statistica delle stesse (media e deviazione standard) che ha fornito elementi aggiuntivi utili a individuare le cause dei cambiamenti di quota (processi naturali, metodo di rilievo, ecc.).

Infine, per calcolare il volume di sabbia prelevata dalla draga nell'ambito dei due interventi, è stata effettuata la differenza dei DTM delle tre aree ottenuti dai rilievi precedenti e subito successivi al dragaggio.

Per l'area C1P02, come già accennato, sono stati utilizzati il rilievo antecedente i lavori effettuato con singlebeam (con maglie rettangolari di 300x500 m) da ISMAR-CNR di Bologna e il rilievo multibeam (con maglie di 1x1 m) acquisito da ISMAR-CNR di Ancona dopo il prelievo. Mentre, per le aree AP07 e C1P07, sono stati impiegati due rilievi multibeam a maglia di 1x1 m eseguiti da ISMAR CNR di Ancona.

Risultati dei rilievi eseguiti nel periodo 2001-2009 sull'area C1P02

Nel Maggio 2002 una draga della capacità di 6.000 m³ ha prelevato 800.000 m³ di sabbia dall'area C1P02, collocata sul dosso C1.

Tra le tre aree dragate questa zona è stata la più studiata. Nell'arco di 8 anni (2001-2009) sono state effettuate 6 campagne di rilievo batimetrico.

L'area è situata su un fondale compreso tra 38,75 m e 39,25 m di profondità. Le operazioni di dragaggio, rappresentate da linee circolari (Fig. 5), sono state effettuate prevalentemente all'interno della zona assegnata. Le quote registrate con la prima campagna di monitoraggio variavano generalmente da 39,50 a 40,50 m, raggiungendo solo in alcuni punti della parte centrale dell'area i 41,00 - 41,25 m. Mediamente è stata quindi rispettata la quota di approfondimento prevista dal progetto.

L'analisi qualitativa delle carte batimetriche e dei profili ottenuti dai rilievi di monitoraggio eseguiti tra il 2002 e il 2009 ha evidenziato una serie di variazioni di quota che in un primo momento sono state ricondotte a una leggera attenuazione delle asperità del fondale.

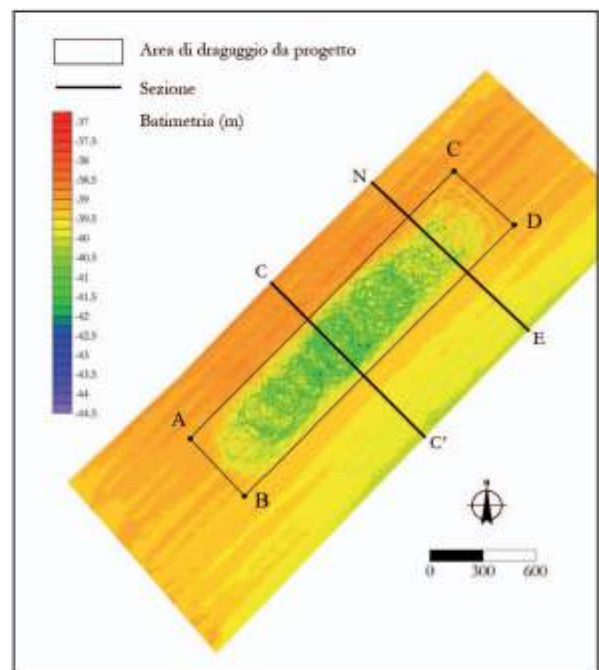


Figura 5 - Area C1P02: carta batimetrica del Dicembre 2002.

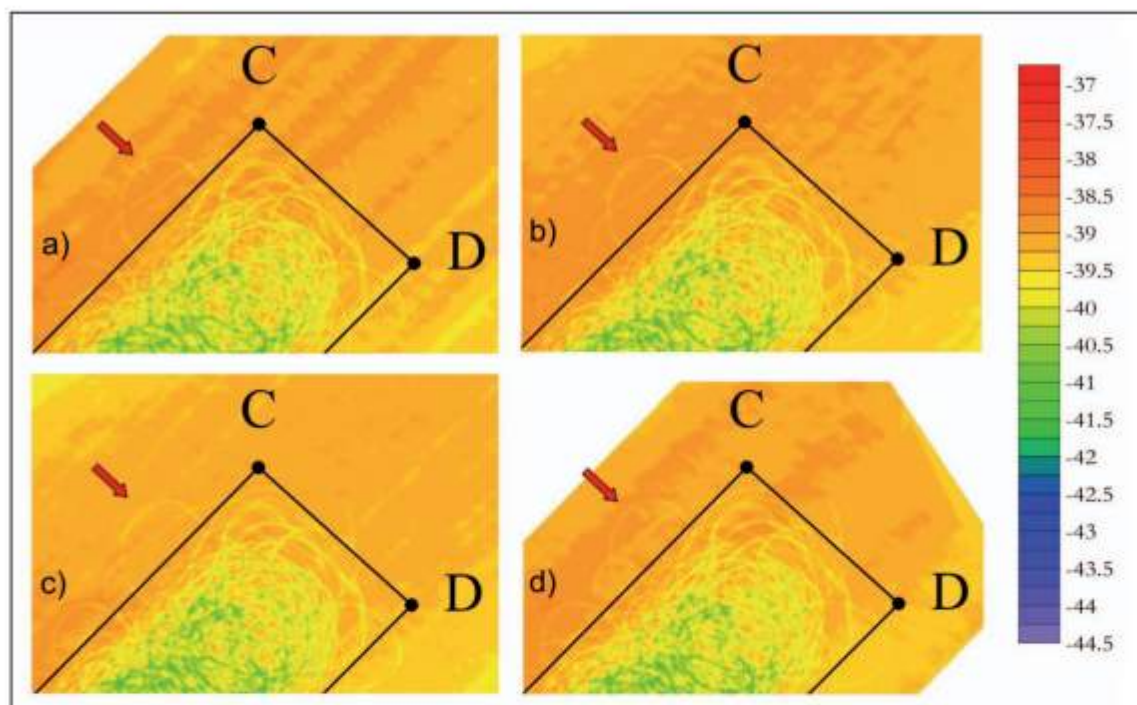


Figura 6 - Area C1P02: particolari delle carte batimetriche a) Dicembre 2002, b) Novembre 2003, c) Dicembre 2004, d) Giugno 2009 nell'intorno del vertice C. Il confronto dettagliato delle 4 carte non evidenzia attenuazioni dei solchi di dragaggio nel periodo 2002-2009 (scala batimetrica in metri).

Questa prima interpretazione è stata però smentita da vari elementi di seguito esposti.

Dal confronto dettagliato delle 4 carte batimetriche ottenute dai rilievi effettuati dopo la fine del dragaggio (Fig. 6) risulta che le tracce lasciate dalla draga non diminuiscono nel tempo, ma risultano di volta in volta più o meno marcate.

In corrispondenza dei fondali esterni all'area dragata, quindi rimasti invariati negli anni di indagine, le carte delle differenze di quota evidenziano delle variazioni paragonabili a quelle rilevate nella zona di dragaggio. Sui fondali esterni tali variazioni appaiono come linee colorate che si sviluppano lungo la direzione del rilievo (Fig. 7)

Inoltre, i profili rilevati nei diversi periodi risultano in molti tratti paralleli tra loro e/o leggermente traslati lateralmente (Fig. 8). In particolare, si osservano anomali incrementi di quota in corrispondenza degli alti morfologici.

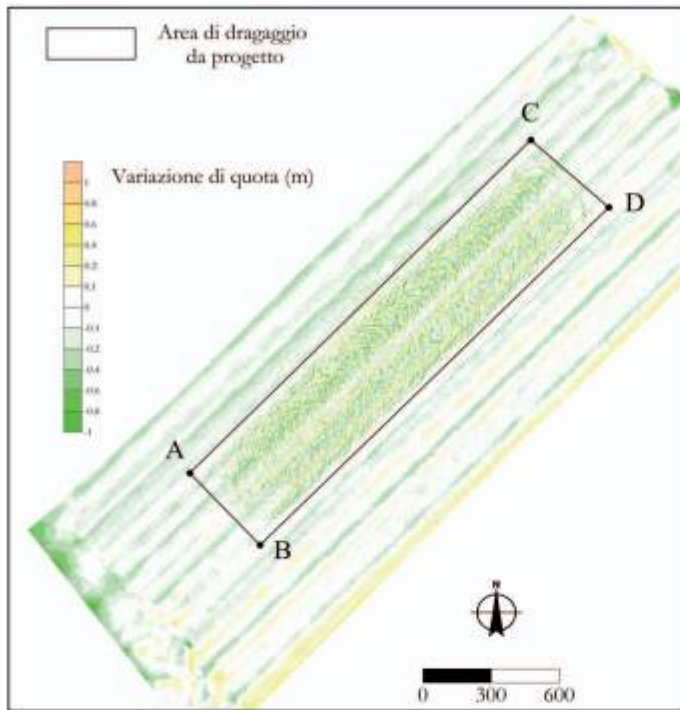
L'insieme di queste valutazioni porterebbero quindi a concludere che negli anni successivi al prelievo il fondo non abbia subito variazioni significative.

Per avvalorare ulteriormente questa considerazione si è deciso di effettuare l'analisi statistica della variazione di quota calcolata tramite la differenza dei diversi DTM.

La media e la deviazione standard della variazioni di quota sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2 - Media e deviazione standard delle variazioni di quota misurate tramite confronto tra i DTM ottenuti a partire dai rilievi multibeam effettuati sull'area C1P02 dopo il dragaggio.

Rilievi a confronto	Media delle variazioni di quota (cm)	Deviazione standard (cm)
2002-2003	- 1,3	± 18
2003-2004	- 6,3	± 16
2004-2009	+6	± 18
2002-2009	- 1	± 21



La media delle variazioni di quota è poco superiore al centimetro tra il 2002 e il 2003 e di circa 6 cm tra il 2003-2004 e 2004-2009; la relativa deviazione standard si mantiene su valori compresi tra ± 16 e ± 19 . La media delle variazioni di quota è di un solo centimetro se si confronta il rilievo 2002 con quello del 2009, mentre la deviazione standard è di ± 21 cm.

In sintesi, quindi, sia l'analisi qualitativa che quantitativa inducono a concludere che il fondale dragato nel 2002 non ha subito significative variazioni nell'arco dei successivi 7 anni di monitoraggio e che le variazioni di quota riscontrate sono attribuibili all'errore insito nella metodologia di rilievo impiegata. L'analisi dettagliata delle immagini SSS, ottenute con i rilievi effet-

Figura 7 - Area C1P02: carta delle differenze di quota tra il rilievo del Dicembre 2002 e quello del Dicembre 2004.



Figura 8 – Area C1P02: confronto tra i profili del fondale in corrispondenza delle sezioni CC (in alto) e NE(in basso). L'ubicazione delle tracce di sezione è riportata in Figura 5.

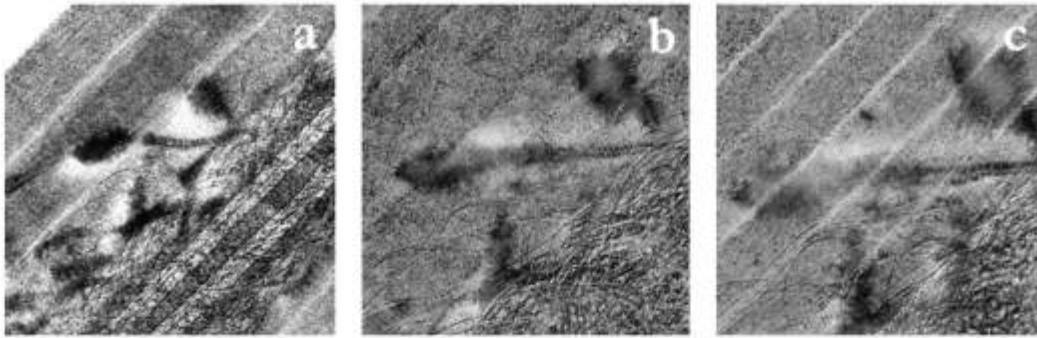


Figura 9 - Riflessione acustica di accumuli rilevati dal SSS. Viene riportata la medesima porzione di rilievo effettuata nell'inverno 2002 (a), nell'inverno 2003 (b) e nell'inverno 2004 (c).

tuati nell'ambito del Progettone 1, e l'interpretazione comparativa degli elaborati cartografici creati nelle diverse fasi di monitoraggio integrati con i risultati ottenuti con il sistema MBES consentono di individuare anche piccoli accumuli di materiale nella zona esterna all'area di dragaggio (Fig. 9).

Infine, allo scopo di calcolare il volume di sabbia dragato dall'area C1P02, è stata effettuata la differenza tra i DTM relativi ai rilievi effettuati prima e dopo le operazioni di dragaggio. Come già accennato, per questa elaborazione sono stati utilizzati: il rilievo antecedente i lavori effettuato con singlebeam da ISMAR-CNR di Bologna e il rilievo multibeam acquisito da ISMAR-CNR di Ancona dopo il prelievo. A un primo confronto, è stato riscontrato uno sfalsamento generalizzato nelle quote dei due rilievi dell'ordine di 60 cm. Per eliminare tale sfalsamento, presumibilmente legato alla marea, è stata effettuata una correzione dei DTM facendo combaciare le quote in corrispondenza dei fondali esterni all'area dragata.

Dal calcolo è risultato che dall'area C1P02 nel 2002 sarebbero stati estratti 926.000 m³ di sabbia, quindi circa 126.000 m³ in più di quanto misurato (800.000 m³) dalla Direzione Lavori sulle spiagge oggetto di ripascimento, ai fini del pagamento dell'impresa che ha eseguito i lavori.

È ipotizzabile che tale differenza, pari al 16%, tra i due risultati sia dovuto al fatto che per le due campagne di monitoraggio presi in esame siano stati adottati strumenti e metodologie di rilievo differenti.

Risultati dei rilievi eseguiti sull'area AP07 (2006-2009) e sull'area C1P07 (2006-2007)

Nell'ambito del Progettone 2 (2007), sono stati prelevati in totale 815.000 m³ di sabbia dall'area AP07, collocata sul dosso A tra 34,15 e 34,80 m di profondità (Fig. 10), e dall'area C1P07, situata sul dosso C1 su un fondale compreso tra 39,20 e 40,75 m di profondità (Fig. 11).

Durante la campagna di monitoraggio eseguita a 1 mese dal dragaggio, quelle che prima erano due aree con un fondale uniforme e regolare presentano ora una marcata irregolarità.

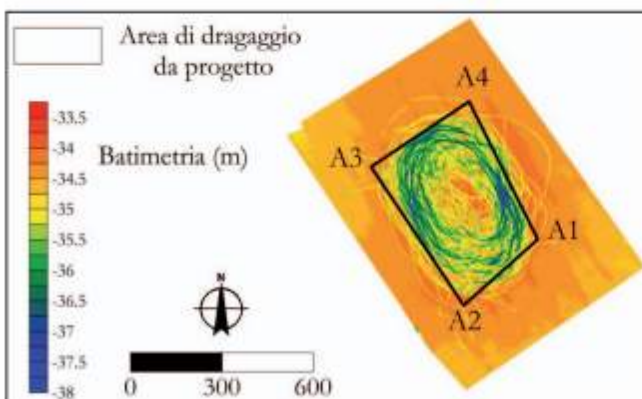


Figura 10 - Area AP07: carta batimetrica del Luglio 2007.

Sebbene la maggior parte delle operazioni sia avvenuta all'interno delle zone designate A1A2A3A4 e C1C2C3C4, stabilite come limite di prelievo delle sabbie, sono state registrate diverse fuoriuscite lungo tutto il perimetro delle due aree (Figg. 10 e 11). Queste risultano particolarmente marcate sui versanti NW-NE dell'area AP07, dove raggiungono distanze anche superiori a 110 m dal limite della zona assegnata. Ciò va ragionevolmente messo in relazione con la modesta superficie dell'area (500 x 300 m). Le fuoriuscite osservate per l'area C1P07 sono più contenute rispetto a quelle rilevate attorno all'area AP07 ad eccezione del lato a NE, ubicato proprio a ridosso dell'area utilizzata per il

prelievo di sabbie nel 2002. Qui le linee circolari che rappresentavano le tracce del dragaggio effettuato nel 2002 appaiono fuse con quelle del 2007.

Le quote di approfondimento variano generalmente da 35 m a 37 m per l'area AP07 con picchi massimi intorno ai 37,50 m, mentre per l'area C1P07 da 40,50 m a 41,25 m, con picchi massimi intorno ai 41,75 m. I solchi lasciati dalla draga nell'area AP07 raggiungono quindi profondità maggiori (3 m) che nell'area C1P07 (2 m).

A differenza dell'area C1P07, che è stata monitorata soltanto prima e dopo il prelievo, l'area AP07 è stata oggetto di una ulteriore campagna di monitoraggio nel 2009.

Dall'analisi delle carte batimetriche e dei profili ricostruiti sull'area AP07 non sono state riscontrate significative modificazioni del fondale nei 2 anni successivi alle operazioni di prelievo. Questa ipotesi è confermata anche dalle differenze di quota tra i rilievi di prima e dopo le operazioni di dragaggio, i quali non mostrano significative variazioni di profondità del fondale. Infine, la differenza dei DTM delle aree AP07 e C1P07 ottenuti dai rilievi multibeam acquisiti prima e dopo e il dragaggio ha permesso di calcolare il volume di materiale prelevato dalla draga.

I rilievi effettuati prima e dopo il dragaggio delle aree AP07 e C1P07 risultavano altimetricamente allineati, quindi non è stato necessario effettuare le correzioni di quota come per l'area C1P02 per procedere al calcolo dei volumi prelevati dalle due aree. Infatti, le zone esterne all'area di prelievo presentano delle variazioni di quota trascurabili.

Secondo il calcolo dei volumi, dall'area C1P07 sono stati dragati 614.800 m^3 di sabbia, dall'area AP07 201.400 m^3 , per un prelievo totale di 816.200 m^3 di materiale. In questo caso il valore calcolato con questa metodologia è molto prossimo al quello misurato dalla Direzione Lavori sulle spiagge oggetto di ripascimento, pari a 815.346 m^3 (differenza 0,1%).

La corrispondenza dei risultati suggerirebbe che rilievi MBES accurati e dettagliati possono essere utilizzati come base di verifica dei volumi di sabbia dragati.

Conclusioni

Nell'ambito dei monitoraggi successivi a due interventi di ripascimento con sabbie sottomarine che hanno comportato il prelievo, nel 2002 e nel 2007, di $1.615.000 \text{ m}^3$ di sabbie da 3 aree (C1P02, AP07, C1P07) collocate sul fondale del mare Adriatico settentrionale, i rilievi batimetrici con multibeam hanno messo in evidenza come il dragaggio abbia prodotto una marcata irregolarità del fondo marino nelle aree interessate dal prelievo.

L'azione del dragaggio è rappresentata da solchi circolari che evidenziano come la maggior parte delle operazioni sia avvenuta all'interno delle zone indicate dai due progetti esecutivi, alcune fuoriuscite sono state riscontrate lungo il perimetro delle due aree sfruttate nell'ambito dell'intervento del 2007 (AP07 e C1P07). Mentre il sistema MBES ha evidenziato in dettaglio le alterazioni batimetriche del fondale, l'SSS è stato in grado di porre in risalto alcuni piccoli accumuli di materiale fuori dell'area di prelievo indicandone la diversa litologia in comparazione con il sedimento superficiale circostante.

Il monitoraggio post-intervento è stato condotto solo sulle aree C1P02, che è stata indagata per una durata

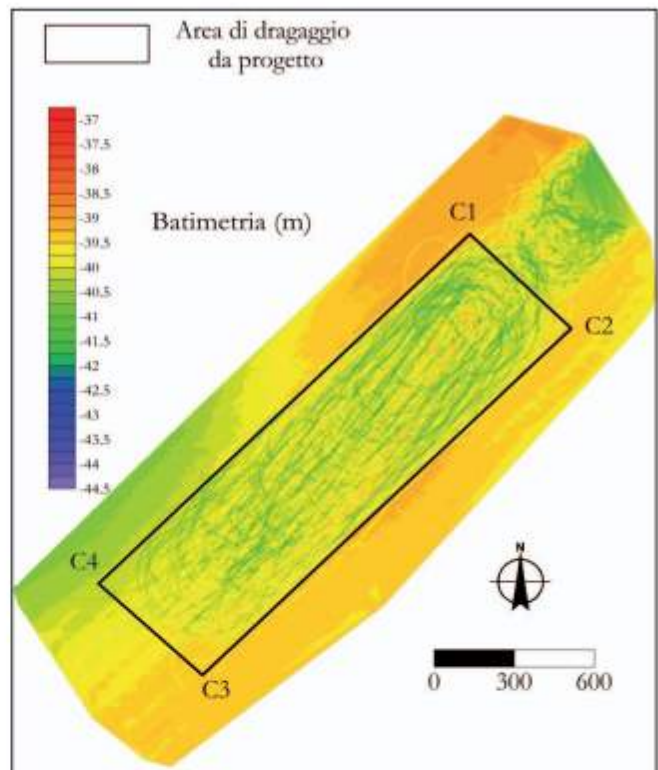


Figura 11 - Area C1P07: carta batimetrica del Luglio 2007.

di 8 anni, e sull'area AP07, che è stata studiata per 2 anni. Sull'area C1P07 sono stati effettuati solo i rilievi prima e dopo il dragaggio.

Nell'area C1P02, dragata nel 2002, i rilievi di monitoraggio post-intervento hanno evidenziato inizialmente delle variazioni di quota che dopo una approfondita analisi qualitativa e quantitativa sono state definite non significative e presumibilmente imputabili al metodo di rilievo in mare. In sintesi, nell'area C1P02 a 7 anni di distanza dal dragaggio il fondale non ha subito sostanziali modificazioni.

Anche nell'area AP07, a due anni dal prelievo, i rilievi non mostrano particolari attenuazioni dei solchi di dragaggio.

Tra le varie elaborazioni, ARPA ha calcolato anche la quantità di sedimento prelevato da ciascuna area sulla base dei rilievi in mare e conseguentemente lo scostamento dai volumi di dragaggio quantificati con i rilievi effettuati sulle spiagge dalla Direzione Lavori, in accordo con l'impresa che ha eseguito il lavoro di dragaggio, trasporto e scarico delle sabbie sulla spiaggia.

Per quanto riguarda l'area C1P02, il volume ottenuto dal confronto dei rilievi eseguiti sull'area dragata è superiore del 16% a quello della sabbia portato a ripascimento fornito dalla Direzione lavori.

Per le aree AP07 e C1P07, invece, si è riscontrato una sostanziale coincidenza tra i due risultati (differenza 0,1%).

Va detto però che la differenza di volume calcolata nell'area C1P02 potrebbe essere stata determinata dalla differente modalità e strumentazione utilizzata per i due rilievi messi a confronto (singlebeam il primo, multibeam il secondo).

Nel complesso, i risultati ottenuti rendono concreta la possibilità di poter considerare tale approccio un utile sistema di verifica dei volumi di ripascimento, normalmente misurati a terra o sulla draga per quantificare l'importo dovuto all'impresa esecutrice.

In sintesi, i rilievi effettuati nell'arco di 8 anni da ARPA sulle aree di prelievo della sabbia in Mare Adriatico, e le successive analisi ed elaborazioni dei dati hanno permesso di fornire risposte ai seguenti aspetti:

- rispetto dell'area di prelievo indicata nel progetto esecutivo da parte della draga;
- forma ed entità delle modificazioni determinate dalle operazioni di dragaggio sul fondale;
- riduzione nel tempo delle asperità lasciate dalla draga sul fondale;
- verifica di eventuali processi di sedimentazione;
- calcolo dei volumi prelevati.

L'entità pratica e scientifica dei risultati ottenuti dimostra quindi la validità del monitoraggio e dei metodi e degli strumenti impiegati.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione i Sigg.ri Giampaolo Gaetani e Antonio Marziali imbarcati sulla M/R "Tecnopescia II" di proprietà del C.N.R.-I.S.MAR. di Ancona impiegata per lo svolgimento delle indagini. Si ringrazia inoltre ISMAR CNR di Bologna per aver fornito il rilievo single-beam del Maggio 2001 relativo all'area C1P02.

Bibliografia

- ARPA Emilia-Romagna (2009) - *Ricerca di depositi sabbiosi in adriatico settentrionale e stima dei volumi disponibili. 7° Campagna, Interventi di messa in sicurezza di taluni tratti critici del litorale emiliano-romagnolo, interessati da erosione e subsidenza, mediante ripascimento con sabbie sottomarine*. Regione Emilia-Romagna
- Fabi G. e Marini M. (2002) - *Monitoraggio dell'area destinata al prelievo di sabbie al largo di Ravenna*. ARPA Emilia Romagna, II Rapporto. 26 pp.
- Fabi G., Manoukian S. e Tedeschi R. (2003) - *Monitoraggio dell'area destinata al prelievo di sabbie al largo di Ravenna*. ARPA Emilia Romagna, III Rapporto. 10 pp.
- Fabi G., Manoukian S. e Tedeschi R. (2004) - *Monitoraggio dell'area destinata al prelievo di sabbie al largo di Ravenna*. ARPA Emilia Romagna, IV Rapporto. 17 pp.
- Fabi G., Manoukian S. e Tedeschi R. (2005) - *Monitoraggio dell'area destinata al prelievo di sabbie al largo di Ravenna*. ARPA Emilia Romagna, V Rapporto. 25 pp.
- IHO (1998) - *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Special Publ., 44. 25 pp.
- Amorosi A., Severi P., Roveri M., Correggiari A., Preti M., Tomassetti C., Tarocco P., Colalongo M.L., Pasini

- G., Vaiani S.C., Fusco F., Marchesini L., Spadafora E., Cibin U., Zuffa G.G., Dinelli E. (1999) - *Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000*: Foglio 223 Ravenna. pp. 144.
- Antonioli F., Lambeck K., Amorosi A., Belluomini G., Correggiari A., Devoti S., Demuro S., Monaco C., Marocco R., Pagliarulo R., Orrù P., Silenzi S. (2004) - *CLIMEX Maps of Italy*. In: F. Antonioli, C. Margottini, G.B. Vai (Eds.), *Litho-palaeoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes 1:1,000,000*. Lac, Firenze, 23/14-15: 1567-1598.
- Asioli A., Trincardi F., Lowe J.J., Ariztegui D., Langone L., Oldfield F. (2001) - *Sub-millennial climatic oscillations in the Central Adriatic during the last deglaciation: paleoceanographic implications*. *Quaternary Science Reviews*, 20/11: 33-53.
- ARPA-Regione Emilia-Romagna (2001) - *Relazione specialistica. Progetto esecutivo. Ricerca e individuazione dell'area di prelievo in mare. Intervento di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine*, pp. 43.
- ARPA-Regione Emilia-Romagna (2006) - *Relazione specialistica. Progetto esecutivo. Individuazione dell'area di prelievo in mare. Interventi di messa in sicurezza di taluni tratti critici del litorale emiliano-romagnolo, interessati da erosione e subsidenza, mediante ripascimento con sabbie sottomarine*. pp. 32.
- Belknap D.F. e Kraft (1981) - *Preservation potential of transgressive coastal lithosomes on the U.S. Atlantic shelf*. *Mar. Geol.*, 42: 429-442.
- Brambati A. e Venzo G.A. (1967) - *Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste*. *Studi Trentini Scienze Naturali*, 44: 202-274.
- Bondesan M., Favero V, Vinals M.J. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene*. *quaternary international*, 29-30: 105-110.
- Brambati A., Bregant D., Lenardon G., Stolfa D. (1973) - *Transport and sedimentation in the Adriatic Sea*. *Museo Friulano St. Nat.*, 20: 1-160.
- BEACHMED-e (2006) - *Operazione Quadro Regionale, La gestione strategica della difesa dei litorali per uno sviluppo sostenibile delle zone costiere del Mediterraneo*. Sito internet: <http://www.beachmed.it>
- Cattaneo A. e Trincardi, F. (1999) - *The late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning*. In: Bergman, K.M., Snedden, J.W. (Eds.), *Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic Analysis and sedimentologic Interpretation*. SEPM Special Publication, 64: 127-146.
- Cattaneo A., e Steel R.J. (2003) - *Transgressive deposits: a review of their variability*. *Earth Science. Reviews* 62: 187-228.
- Cattaneo A., Correggiari A., Langone L., Trincardi F. (2003) - *The Late-Holocene Gargano subaqueous delta, Adriatic shelf: sediment pathways and supplyfluctuations*. *Marine Geology* , 193: 161-191.
- Cattaneo A., Trincardi F., Langone L. Asioli A. e Puig P. (2004) - *Cliniform generation on Mediterranean margins*, *Oceanography*, 174: 104-117.
- Cattaneo A., Trincardi F., Asioli A., Correggiari A. (2007) - *The western adriatic shelf cliniform: Energy-limited bottomset*. *Continental Shelf Research*; 27 (3-4):506-25.
- Colantoni P., Gallignani P., Lenaz R. (1979) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic continental shelf*. *Marine Geology*, 33: 41-50.
- Colantoni P., Preti M., Villani B. (1990) - *Sistema deposizionale e linea di riva olocenica sommersi in Adriatico e al largo di Ravenna*. *Giornale di Geologia*, 52: 1-18.
- Correggiari, A., Field M. E., Trincardi F. (1996a) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: De Batist M., Jacobs P. (Eds.), *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Geological society special publication, 117: 155-169.
- Correggiari A. Roveri M. Trincardi F. (1996b) - *Late-Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. In: *Late-Glacial and early Holocene climatic and environmental changes in Italy*. *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9: 697-704.
- Correggiari A., Trincardi F., Langone L., ROVERI M. (2001) - *Styles of failure in heavily-sedimented high-stand prodelta wedges on the Adriatic shelf*. *Journal of Sedimentary Research*, 71: 218-236.
- Correggiari A., Cattaneo A., Trincardi F. (2005a) - *Depositional patterns in the Late-Holocene Po delta system*. In: Bhattacharya J.P., Giosan L. (Eds.), *Concepts, Models and Examples*, SEPM Special Publication, 83: 365-392.

- Correggiari A., Cattaneo A., Trincardi F. (2005b) - *Depositional The modern Po Delta system: Lobe switching and asymmetric prodelta growth*. Marine Geology, 222-223: 49-74.
- Correggiari A., Cattaneo A., Carrà D., Penitenti D., Preti M., Trincardi F. (2002) - *Offshore sand for beach restoration: North Adriatic shelf examples*. In: Erosion litorale en Mditerrane occidentale: dynamique, diagnostic et remdes. Tangeri, Marocco, 18-21 Settembre 2002, CIESM Workshop n. 18: 79-82.
- Fabbri A., Argnani A., Bortoluzzi G., Correggiari A., Gamberi F., Ligi M., Penitenti D., Roveri M. e Trincardi F. (2001) - *Note Illustrative della Cartografia Geologica dei mari italiani scala 1:250.000: Foglio NL 33-10 Ravenna*.
- Fairbanks R.G. (1989) - *A 17,000-year glacio-eustatic sea level record—influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-sea circulation*. Nature, 342: 637-642.
- Fairbanks R.G. (1990) *The age and origin of the Younger Dryas climate event in Greenland ice core*. Paleoceanography, 5: 937-948.
- Fairbridge R.W. (1961) *Eustatic changes in sea level*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. , 45: 1656-1666.
- IDROSER Spa (1985) - *Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del Mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione*.
- IDROSER Spa (1990) - *Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del Mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione. 2° Campagna di ricerca*.
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A. e Silenzi S. (2004) *Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs*. Quat.Sc. Rev., 23: 1567-1598.
- Malanotte Rizzoli P. e Bergamasco A. (1983) - *The dynamics of the coastal region of the northern Adriatic Sea*. Journal of Physical Oceanography, 13: 1105-1130.
- Nummendal D. e Swift D.J.P. (1987) - *Transgressive stratigraphy at sequenze-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous example*. In: Nummendal D., Pilkey O.H., Howard S.D., (Eds.), Sea level fluctuation and Coastal Evolution. SEPM Special Publication, 41: 241-260.
- Ori, G.G., Roveri, M., Vannoni F. (1986) - *Plio-Pleistocene sedimentation in the Apenninic-Adriatic fore-deep (Central Adriatic sea, Italy)*. In: Allen, P.A., Homewood, P. (Eds.), Foreland Basins. IAS Special Publication, 8: 183-198.
- PENLAND S., BOYD R., SUTER J. R. (1988) - *Transgressive depositional systems of the mississippi delta plain: a model for barrier shoreline shelf sand evolution*. Journal of Sedimentary Petrology, 58 (6): 932-949.
- Preti M. (2002) - *Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna*. Studi costieri, 5: 107-134.
- Rizzini A. (1974) - *Holocene sedimentary cycle and heavy mineral distribution, Romagna-Marche coastal plain, Italy*. Sedimentary Geology, 11: 17-37.
- Swift D.J.P. (1975) - *Barrier-island genesis: evidence from the central Atlantic shelf: Eastern U.S.A.*. Sedimentary Geology, 14: 1-43.
- Stefani M. e Vincenzi S. (2005) - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. Marine Geology, 222-223: 19-48.
- Storms J.E.A., Weltje G.J., Terra G.J., Cattaneo A., Trincardi F. (2008) - *Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to Early Holocene evolution of barrier-lagoon systems on the northern Adriatic shelf (Italy)*. Quaternary Science Reviews, 27: 1107-1123.
- Trincardi F., Correggiari A., Roveri M. (1994) - *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: The Adriatic Semienclosed Basin*. Geo-Marine Letters, 14: 41-51.
- Walker R.G. (1992) - *Facies, facies models and modern stratigraphic concepts*. In: Walker R.G., Jams N.P. (Eds.), Facies Models-Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada Publications: 1-14.

Ricevuto il 19/07/2007, accettato il 02/08/2010.

Norme per gli Autori

Studi costieri pubblica articoli scientifici originali in lingua italiana su argomenti relativi alla dinamica e difesa dei litorali ed alla gestione integrata della fascia costiera. Gli articoli scientifici sono sottoposti a revisione da parte di due esperti indicati dal Comitato scientifico.

Studi costieri pubblica anche Note tecniche e Riassunti di tesi di Laurea e di Dottorato di ricerca inerenti gli stessi temi. **Studi costieri** ospita inoltre rapporti sull'attività svolta da Amministrazioni pubbliche in materia di gestione integrata della fascia costiera. Questi ultimi due tipi di contributi sono soggetti solo ad una revisione di tipo redazionale.

Gli Autori degli articoli sono pregati di rispettare le seguenti norme. Gli articoli non redatti in piena conformità con esse non potranno essere presi in considerazione per la pubblicazione.

I manoscritti devono essere inviati in triplice copia con allegate figure e tabelle. Dopo l'accettazione deve essere inviata la copia definitiva su CD o per posta elettronica secondo le istruzioni riportate in seguito.

Titolo - Massimo 150 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

Titolo corrente - Massimo 80 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

Autore/i - Nome e Cognome per esteso, seguito da un numero in apice per indicare l'eventuale Istituto di appartenenza ed il relativo indirizzo.

Riassunto - Non più di 2.000 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

Parole chiave - Inserire 5+8 parole chiave, possibilmente non già comprese nel titolo.

Abstract - Riassunto, anche esteso, in lingua inglese di non più di 5.000 caratteri.

Keywords - In questo caso le parole chiave possono anche essere la traduzione di termini compresi nel titolo.

Stile - Adeguarsi allo stile dei lavori pubblicati su questo numero. Tutti i testi, compreso il titolo generale e quello dei paragrafi, devono essere scritti in Maiuscolo e minuscolo, carattere Garamond. Non inserire caratteri strani, di formato diverso o sottolineati. Il neretto è utilizzato solo per il titolo dei paragrafi.

Eventuali sottoparagrafi possono portare un titolo in corsivo neretto. Non inserire righe bianche nel testo se non alla fine dei paragrafi e dei sottoparagrafi.

Evitare il più possibile i rientri e, comunque, farne di un solo ordine. Gli elenchi puntati sono identificati da -, 1) oppure a); ogni elemento dell'elenco è chiuso con ; salvo l'ultimo che chiude con un punto.

Formule - Se possibile utilizzare il formato testo; in alternativa l'editore di formule di Word impostando il carattere Garamond corpo 11 chiaro (corpo 9 nero se le formule sono incluse in una didascalia di figure o di tabella). Utilizzare caratteri in neretto e corsivo solo se imposto dalla nomenclatura internazionale.

Tabelle - I caratteri alfabetici/numerici per le tabelle sono in stile Garamond corpo 10. Le Tabelle sono identificate con Tabella n, oppure (Tab. n) se fra parentesi. Devono essere precedute da una didascalia. Non inserire tabelle in forma di immagini.

Figure (fotografie, schemi, diagrammi) - Salvo accordi specifici con la Redazione, vengono pubblicate solo figure in bianco e nero. Le Figure sono identificate con Figura n, oppure (Fig. n) se fra parentesi. Tutte le figure devono avere una didascalia. La larghezza massima a stampa delle figure è 15 cm. Ad eccezione

delle figure stampate a giustezza piena, tutte le altre non potranno avere una base superiore a 10 cm. La Redazione è a disposizione per discutere aspetti tecnici relativi a questo punto.

Note a piè di pagina - Sono da evitare il più possibile e, se lunghe o numerose, verranno riportate in corpo minore in fondo all'ultima pagina dell'articolo con richiami numerici nel testo. Indicazioni di Progetti e Finanziamenti verranno inserite prima della Bibliografia con gli eventuali Ringraziamenti.

Riferimenti bibliografici - Nell'articolo le citazioni sono racchiuse fra () con il seguente formato: (Verdi, 1990) o (Rossi e Verdi, 1989); (Verdi et al., 1987) qualora il numero degli Autori sia maggiore di due. Se citato nell'ambito di una frase il nome di un Autore (1995) è seguito dall'anno della pubblicazione a cui si fa riferimento.

Bibliografia - Tutti e solo i lavori citati nel testo devono comparire in Bibliografia. La Bibliografia deve essere in ordine alfabetico per cognome; es.:

Bianchi A., Rossi V. e Verdi T. (1999) - Nuovi metodi di difesa dei litorali. Studi costieri, 19: 153-157. (19 è il numero del fascicolo, 153-157 le pagine).

Neri A. e Rossi C. (1978) - Elementi di geomorfologia costiera. Nessuno Ed., Roma. pp.324.

Violi K. (1998) - Il ripascimento dei litorali in Italia. Atti XXI Congr. Soc. Ital. Geomorfologia. Bari. pp. 34-76.

Evitare di usare AA.VV., anche se il numero degli Autori è elevato.

Versione definitiva - Il file contenente la versione definitiva dell'articolo, in Word per Windows, deve essere inviato dopo la comunicazione di accettazione del manoscritto. Il testo non deve essere giustificato e, fatta eccezione per le formule scritte con l'editore specifico, può essere scritto con qualsiasi carattere.

Le didascalie delle figure (grafici e foto) dovranno essere inserite nel testo nel punto più opportuno.

Le figure dovranno essere inviate in file separati (.tif o .jpg a 300 DPI alla dimensione di stampa) e salvate con il nome del primo Autore seguito da Fig n (es. Rossi Fig 1.tif). Figure costituite da più parti devono essere montate dagli Autori in un file unico.

Per evitare errori di importazione, è preferibile ricevere le formule, singolarmente e numerate, in formato immagine .tif o .jpg a 300 DPI.

Altre informazioni - Nella preparazione degli articoli si tenga conto del fatto che una buona impaginazione necessita di un elevato rapporto testo/figure. Anche se gli Autori non devono procedere all'impaginazione dell'articolo, è bene che operino in modo tale da facilitare l'inserimento di ciascuna Figura dopo il rispettivo richiamo. Analogo discorso vale per le Tabelle.

Diritti d'autore - Nella lettera di accompagnamento del manoscritto gli autori, o anche uno solo di essi, devono dichiarare che quanto contenuto nell'articolo è di loro proprietà e che autorizzano l'Editore a pubblicare tutto il materiale da loro inviato. Nel caso di utilizzazione di figure tratte da altra pubblicazione gli Autori dovranno inviare l'autorizzazione alla stampa dell'Editore proprietario dei diritti. Analogamente deve essere fatto per riprese aeree e per la cartografia.

Il Direttore della collana si ritiene autorizzato ad utilizzare gli articoli per eventuali ristampe o per l'edizione di volumi tematici. Di ciò verrà comunque data notizia agli Autori.

Estratti - È prevista la stampa di 100 estratti per ciascun articolo. Agli Autori è richiesto un contributo di € 26 +IVA per pagina pubblicata in bianco e nero sulla Rivista. Gli Autori sono pregati di inviare, insieme alle bozze corrette, le indicazioni necessarie per l'intestazione della nota di debito.

I manoscritti devono essere inviati alla **Redazione di Studi costieri**
c/o Dipartimento di Scienze della Terra
Borgo Albizi, 28 - 50122 Firenze
Tel. 055 2479241 - Fax 055 2001618
E-mail: serena.ferri@unifi.it