

## Monitoraggio delle spiagge nel periodo 2007-2009

Mentino Preti<sup>1</sup>, Margherita Aguzzi<sup>1</sup>, Rosalia Costantino<sup>1</sup>, Nunzio De Nigris<sup>1</sup>, Maurizio Morelli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ARPA 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 m<sup>3</sup> 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.

È 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 m<sup>3</sup> di sabbia: di cui 790.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 tessiturali 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.

**Meteoromario**

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       |
|     |        | Sabbia media            | Sabbia media            |
| 1   | 500    | Sabbia media            | Sabbia media            |
|     |        | Sabbia fine             | Sabbia fine             |
| 2   | 250    | Sabbia fine             | Sabbia fine             |
|     |        | Sabbia molto fine       | Sabbia molto fine       |
| 3   | 125    | Sabbia molto fine       | Sabbia molto fine       |
|     |        | Silt                    | Silt                    |
| 4   | 63     | Silt                    |                         |
|     |        | Argilla                 | Argilla                 |
| 8   | 4      |                         |                         |
| 9   | 2      |                         |                         |

**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, interdotta 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  $\pm 20$  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  $45^\circ$ - $90^\circ$ N.

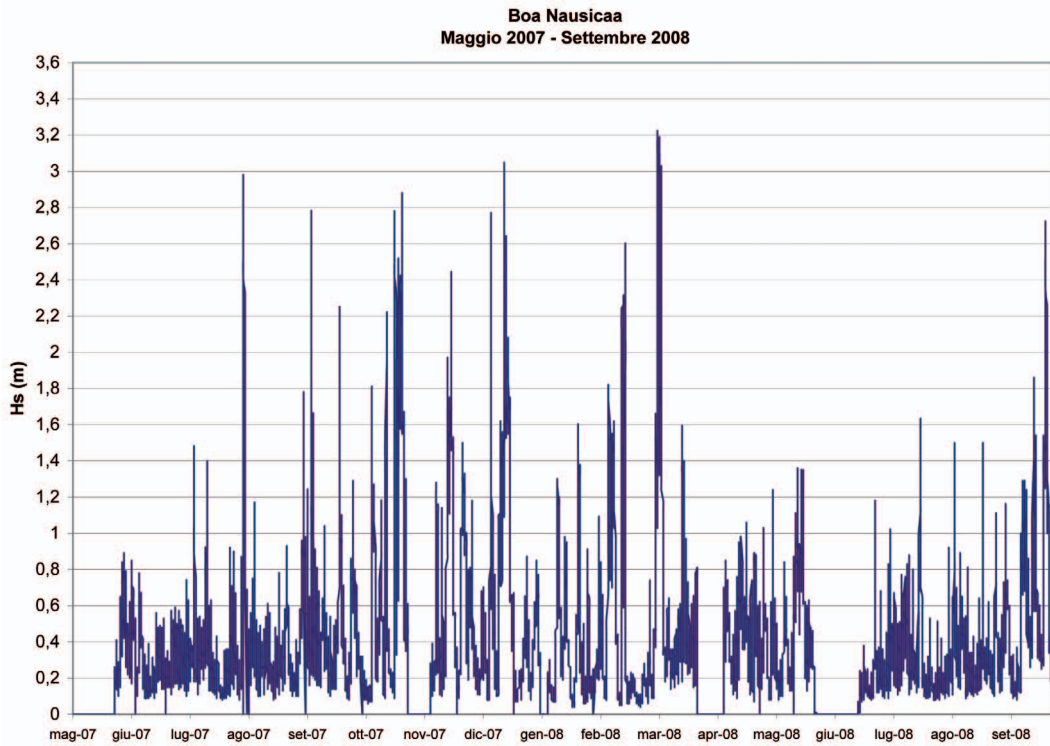


Figura 2 - Successione temporale delle altezze d'onda misurate dalla boa Nausicaa, al largo di Cesenatico nel periodo Maggio 2007 – Settembre 2008.

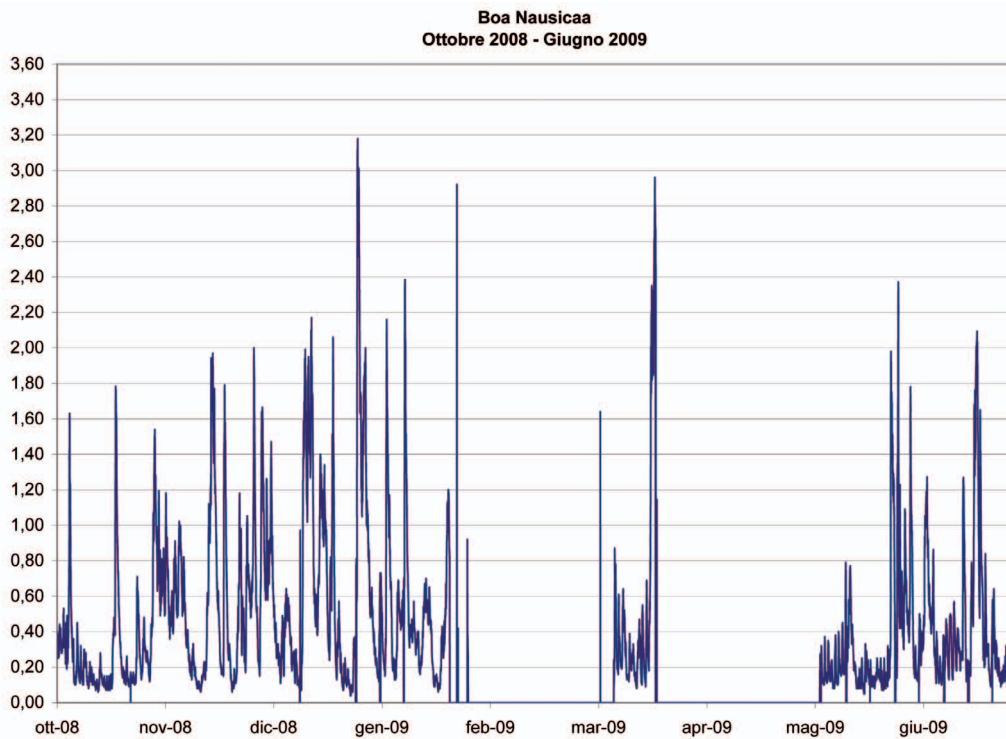


Figura 3 - Successione temporale delle altezze d'onda misurate dalla boa Nausicaa, al largo di Cesenatico nel periodo Ottobre 2008 – Giugno 2009.

**Tabella 2 - Boa ondamettrica 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 ondamettrici disponibili nell'intervallo di tempo tra la prima e la seconda campagna di monitoraggio, cioè tra

**Tabella 3 - Boa ondamettrica 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       |

Ottobre 2008 e Giugno 2009 compresi, allo scopo di determinare e caratterizzare le mareggiate che si sono succedute in questo periodo.

Nei 9 mesi considerati si sono avute 17 mareggiate, che hanno comportato una condizione di mare mosso per complessivi 21 giorni circa.

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 m<sup>3</sup> 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 Progettoni. Tra il 2002 e il 2007, infatti, il Servizio Tecnico di Bacino Conca-Marecchia della Regione vi ha portato ben 172.400 m<sup>3</sup> di materiale sabbioso proveniente in massima parte da fonti litoranee.

Nella primavera 2007, con il "Progettone 2", nella zona dei pennelli di Misano sono stati portati a ripascimento 149.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup> di sabbia apportati, ne sono fuoriusciti circa 110.000 m<sup>3</sup>; di questi circa 30.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup> a cui vanno sommati i 18.300 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>.



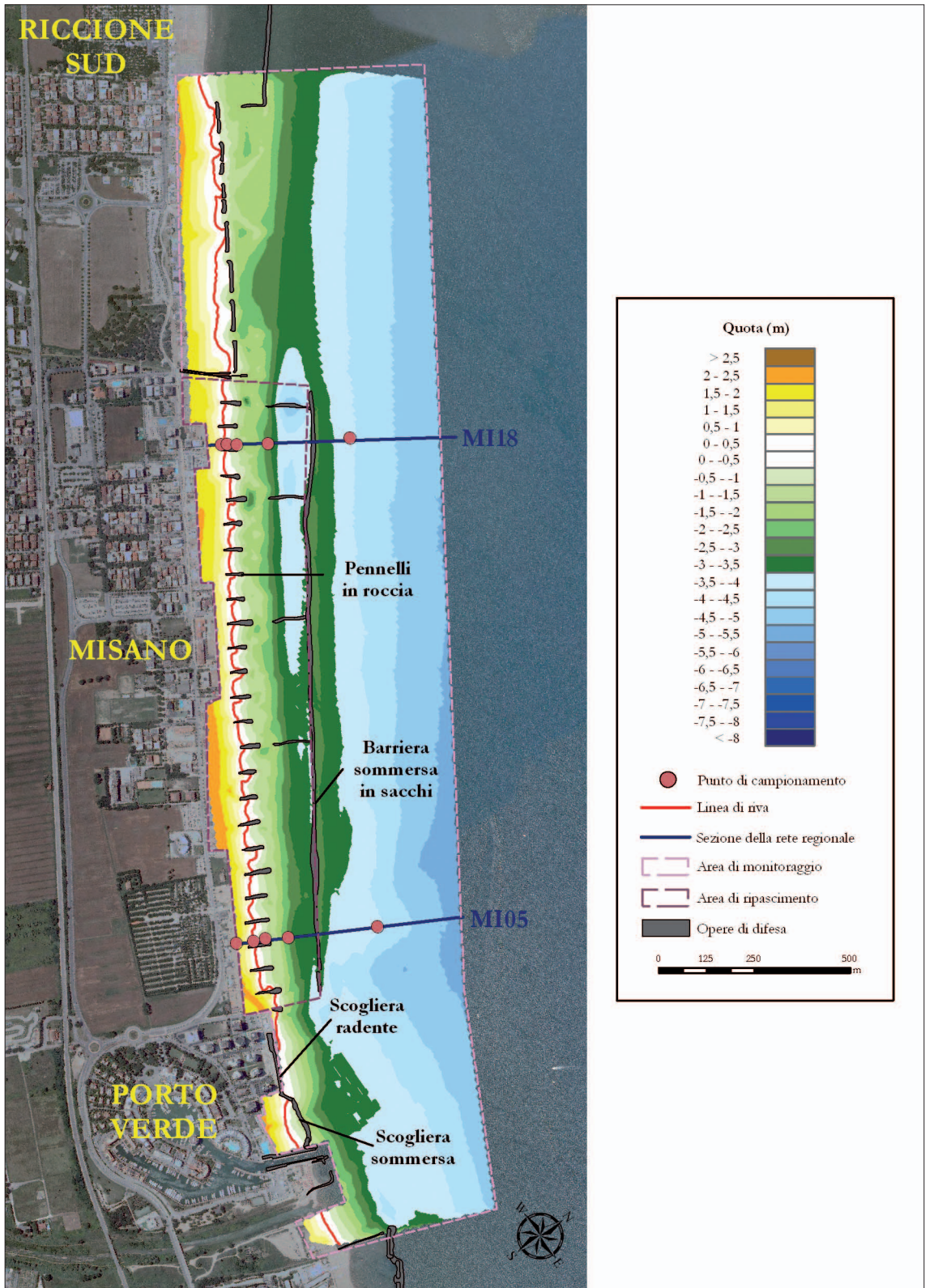


Figura 4 - Misano: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.



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 m<sup>3</sup>.

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

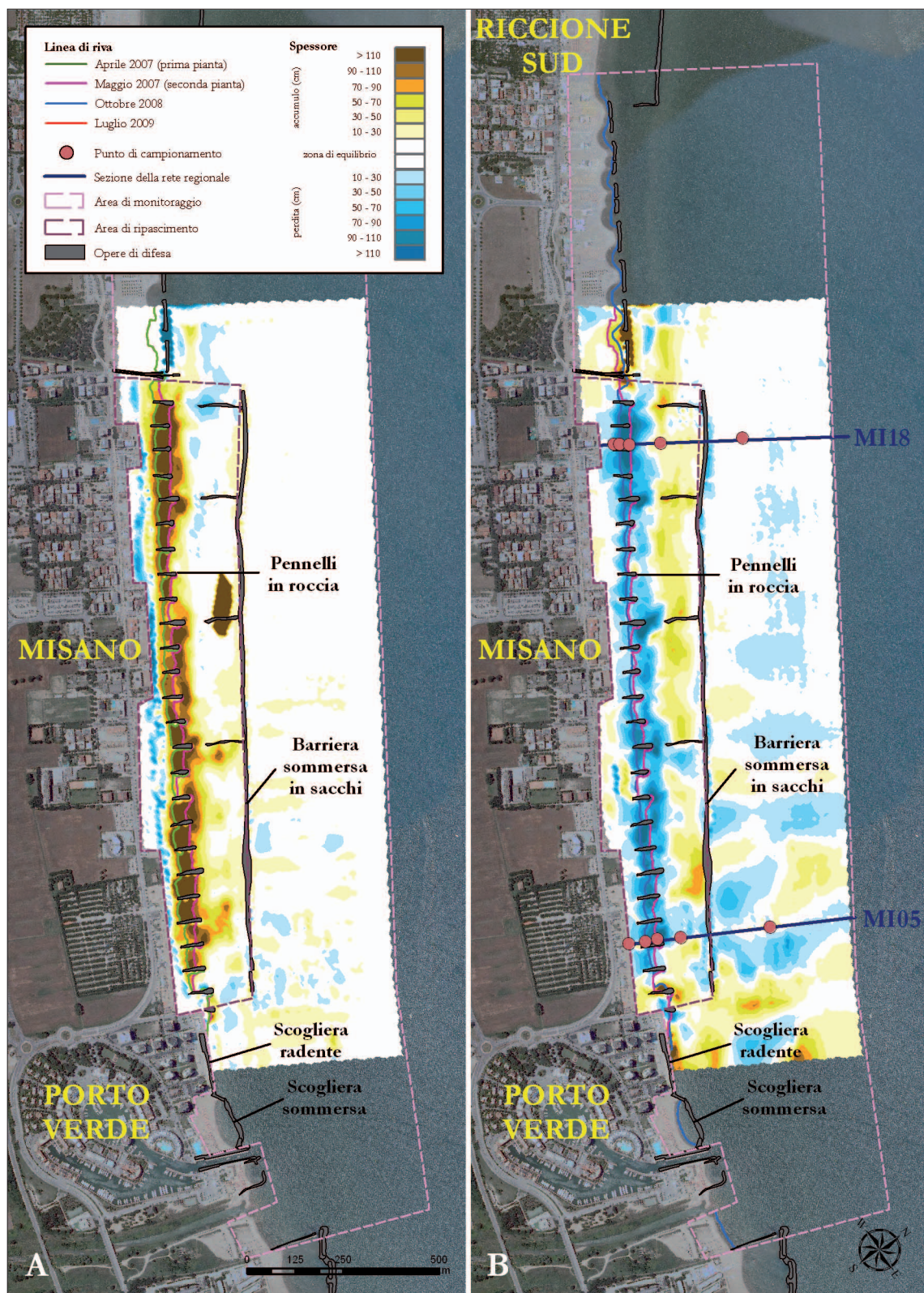


Figura 6 - Misano: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

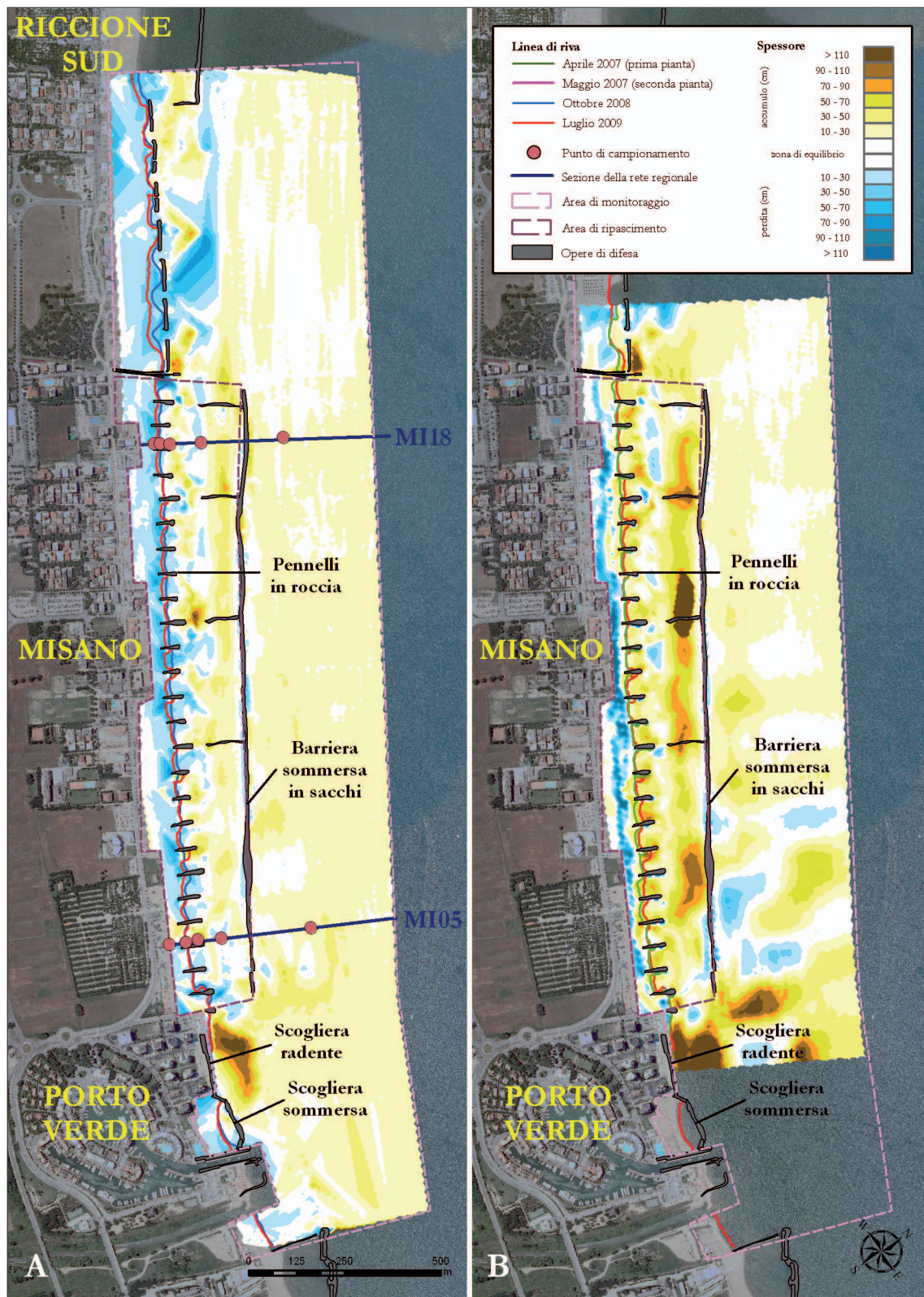


Figura 7 - Misano: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

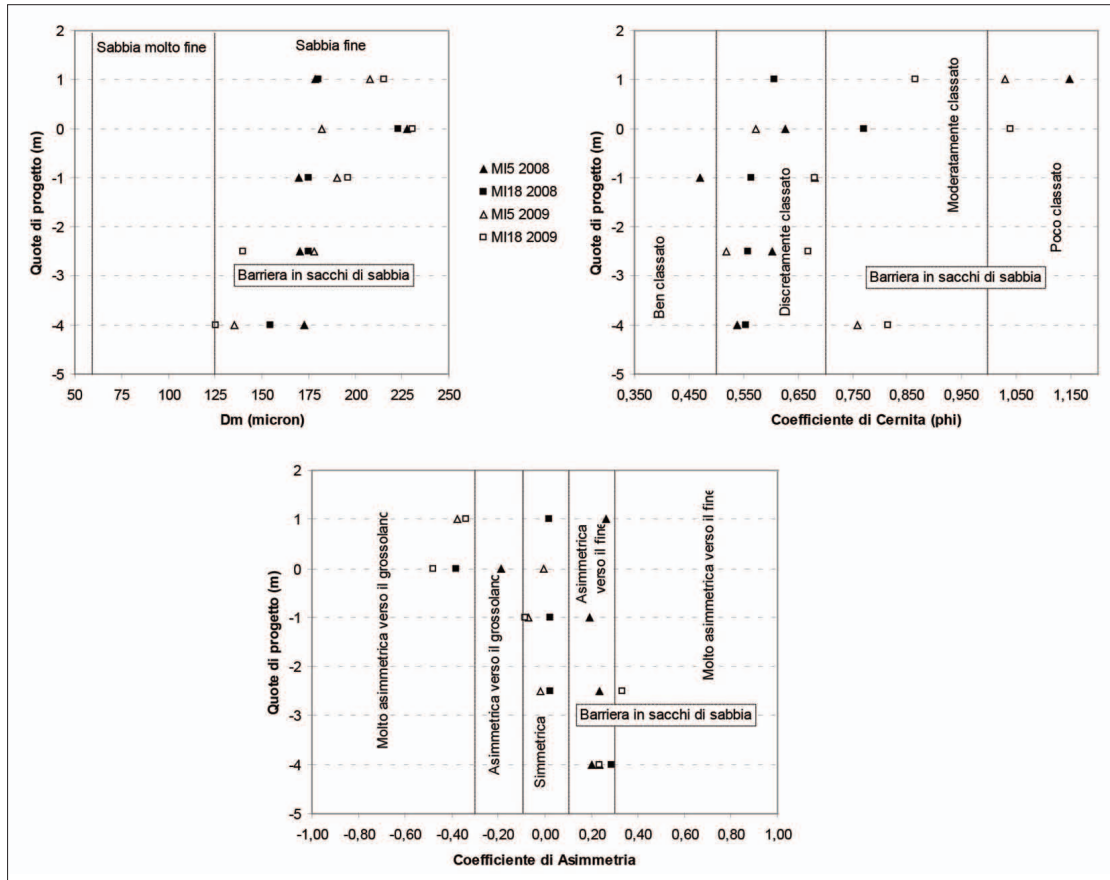


Figura 8 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e asimmetria (in basso) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Misano, lungo i profili MI5 e MI18 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Nel grafico è riportata la posizione indicativa 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 m<sup>3</sup>, 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 m<sup>3</sup>) e di manutenzione annuale (45.600 m<sup>3</sup>). Complessivamente l’apporto è stato di 194.600 m<sup>3</sup>. Di questi, al Luglio 2009, erano rimasti nell’area di ripascimento 98.000 m<sup>3</sup>, 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 m<sup>3</sup> di sabbia sottomarina, sulla spiaggia di Riccione Sud erano già accumulati 53.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> accumulati in precedenza. Nella primavera 2008, inoltre, il Comune ha apportato altri 26.700 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> di materiale. In pratica, nell'Ottobre 2008, dei 184.700 m<sup>3</sup> di sabbia portati con il "Progettone 2" e con gli altri interventi, all'interno dell'area di ripascimento ne erano rimasti circa 79.800 m<sup>3</sup>, pari al 43% del totale.

Occorre ribadire che il materiale depositato sul lato esterno alla barriera (40.000 m<sup>3</sup>) 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> di materiale e cioè 87 m<sup>3</sup>/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).

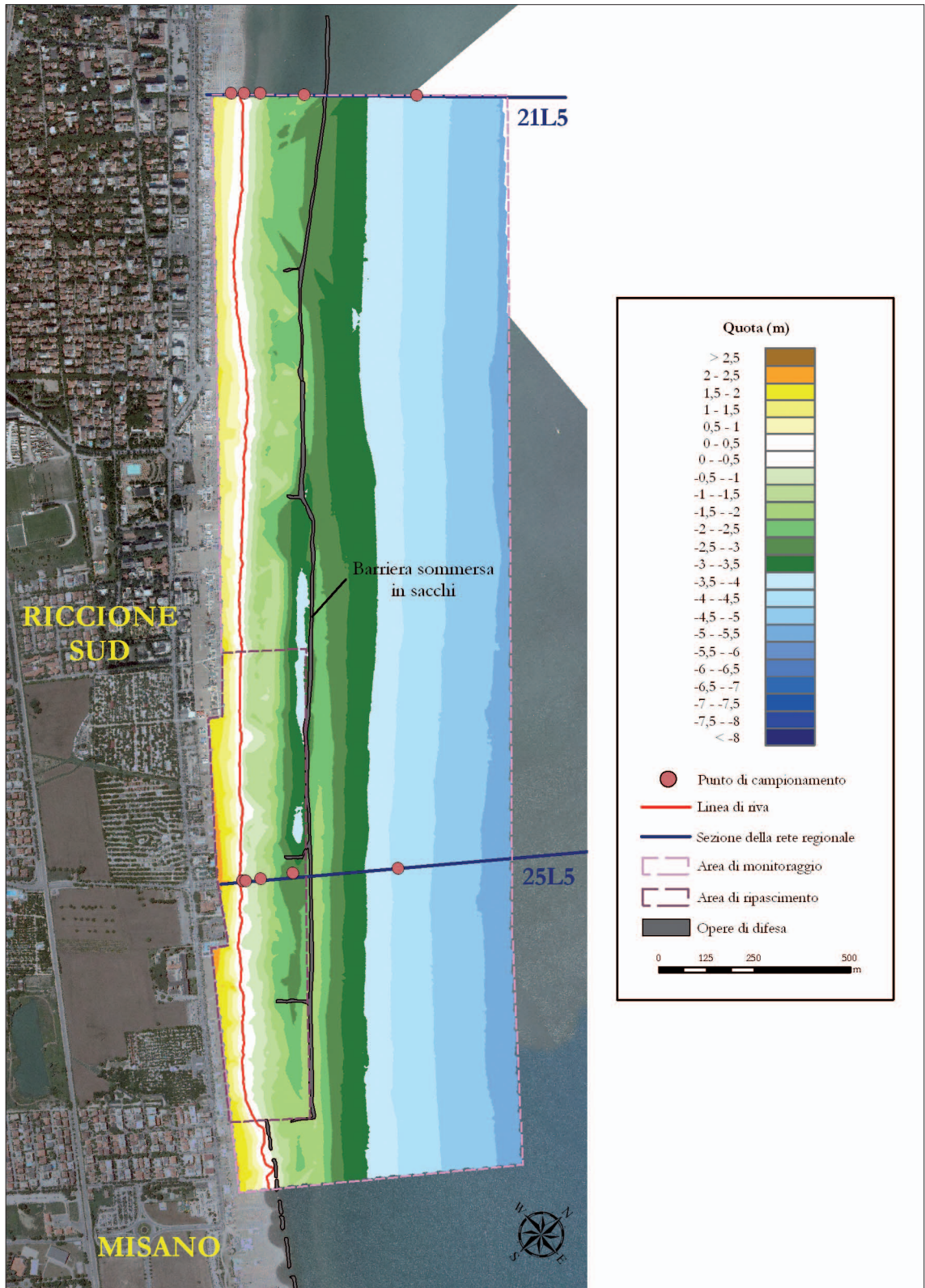


Figura 9 - Riccione Sud: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.



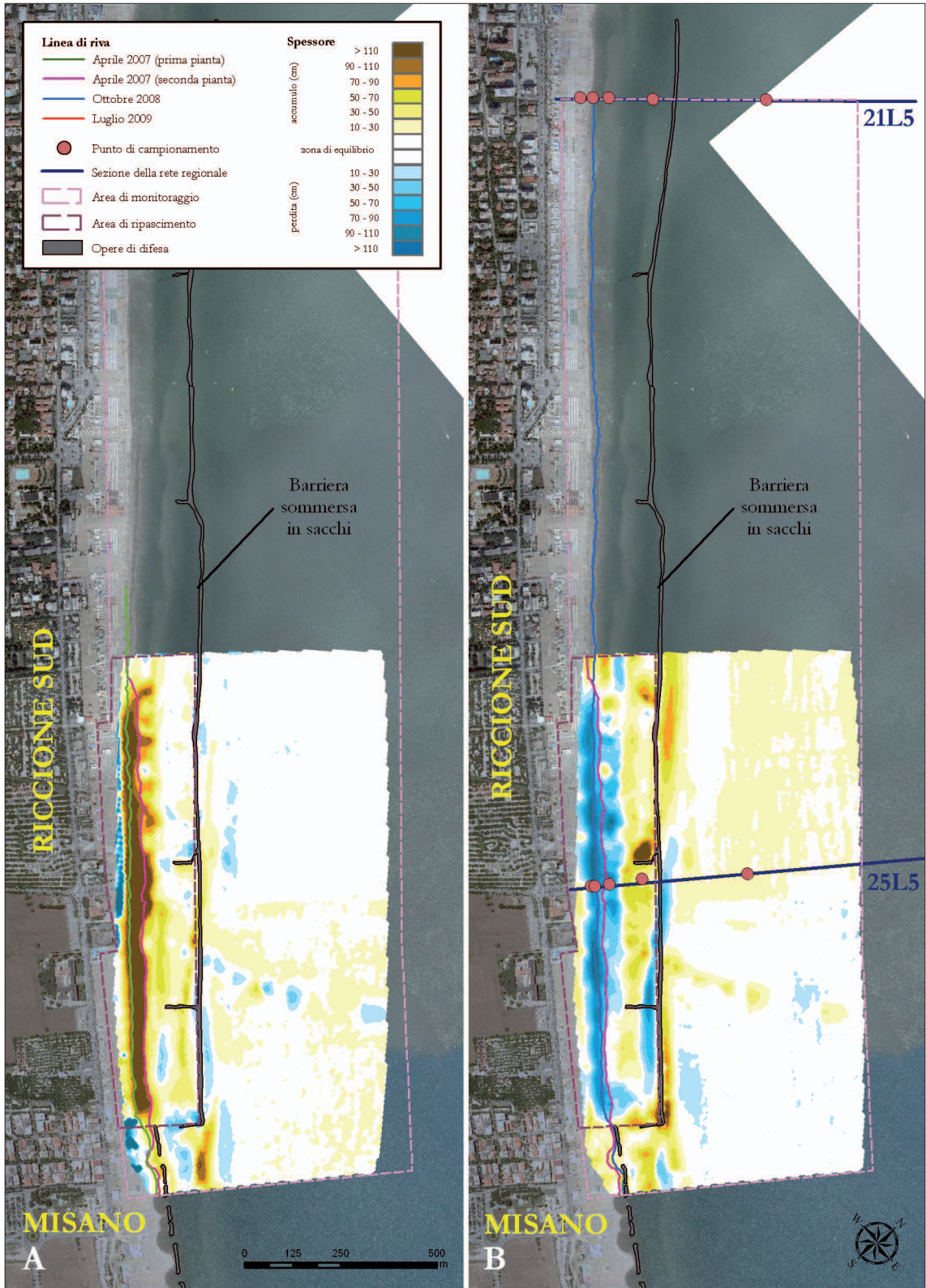


Figura 10 - Riccione Sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

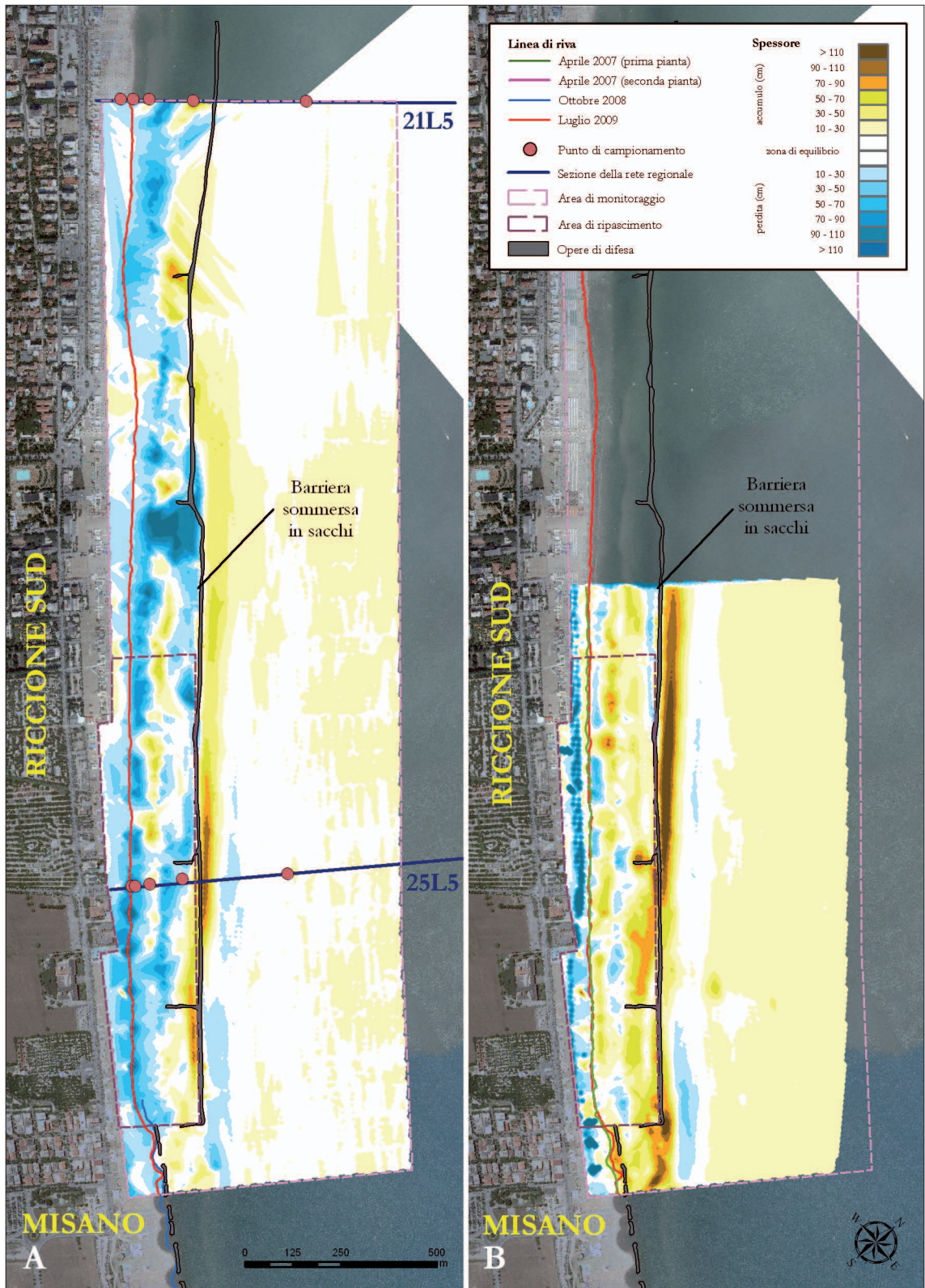


Figura 11 - Riccione Sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

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 classato, 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 classati 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 m<sup>3</sup> di sabbia con il "Progettone 2" e 132.800 m<sup>3</sup> con altri interventi, per un totale di 237.800 m<sup>3</sup>. Di questi, nel Luglio 2009, nell'area di ripascimento, che comprende i 1.200 m più a sud del litorale di Riccione e si

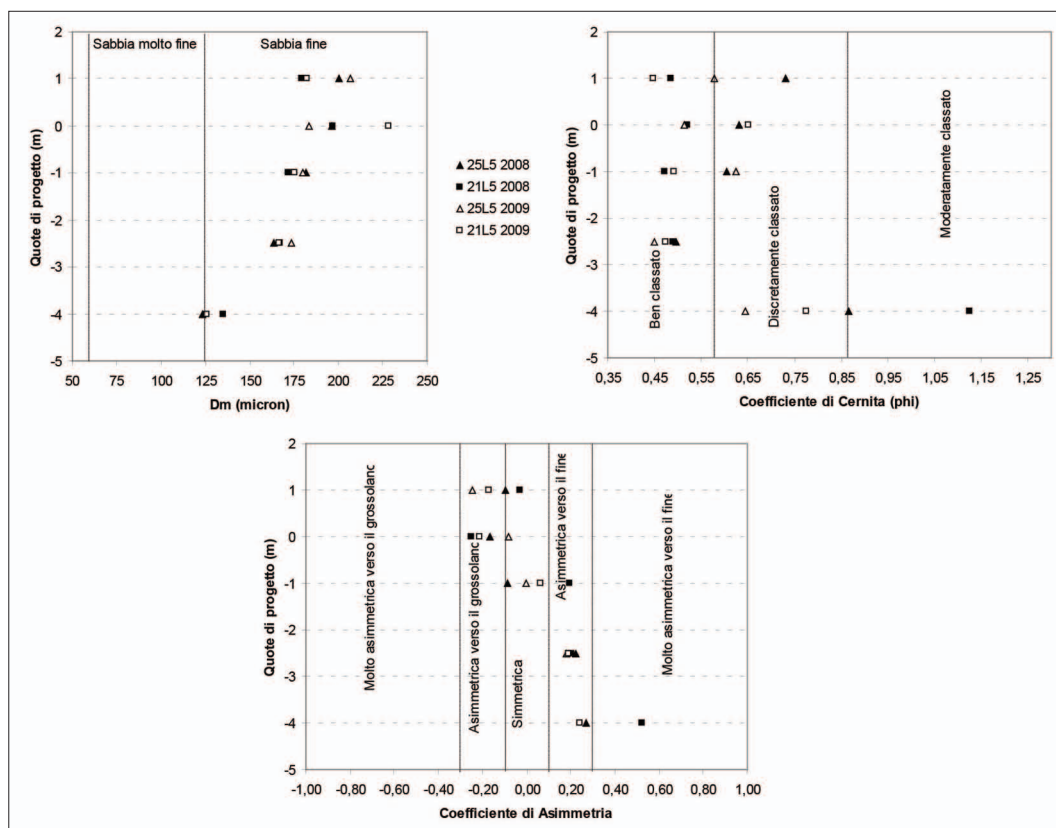


Figura 12 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e di asimmetria (in basso) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Riccione sud, lungo i profili 25L5 e 21L5 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Nei grafici è riportata la posizione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

estende fino alla barriera in sacchi, ne erano rimasti solo 29.800 m<sup>3</sup>. In pratica, tra l'Aprile 2007 e il Luglio 2009, sono fuoriusciti da questa area circa 208.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> portati via con i camion, risulta che 43.800 m<sup>3</sup> di sabbia sono stati distribuiti all'interno della zona sperimentale e 37.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>, poco più dei 25.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>.

In termini volumetrici risulta infatti una perdita, nei 9 mesi, di circa 19.200 m<sup>3</sup> di materiale, a cui vanno aggiunti i 4.500 m<sup>3</sup> portati a ripascimento, quindi una perdita pari a 30 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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).

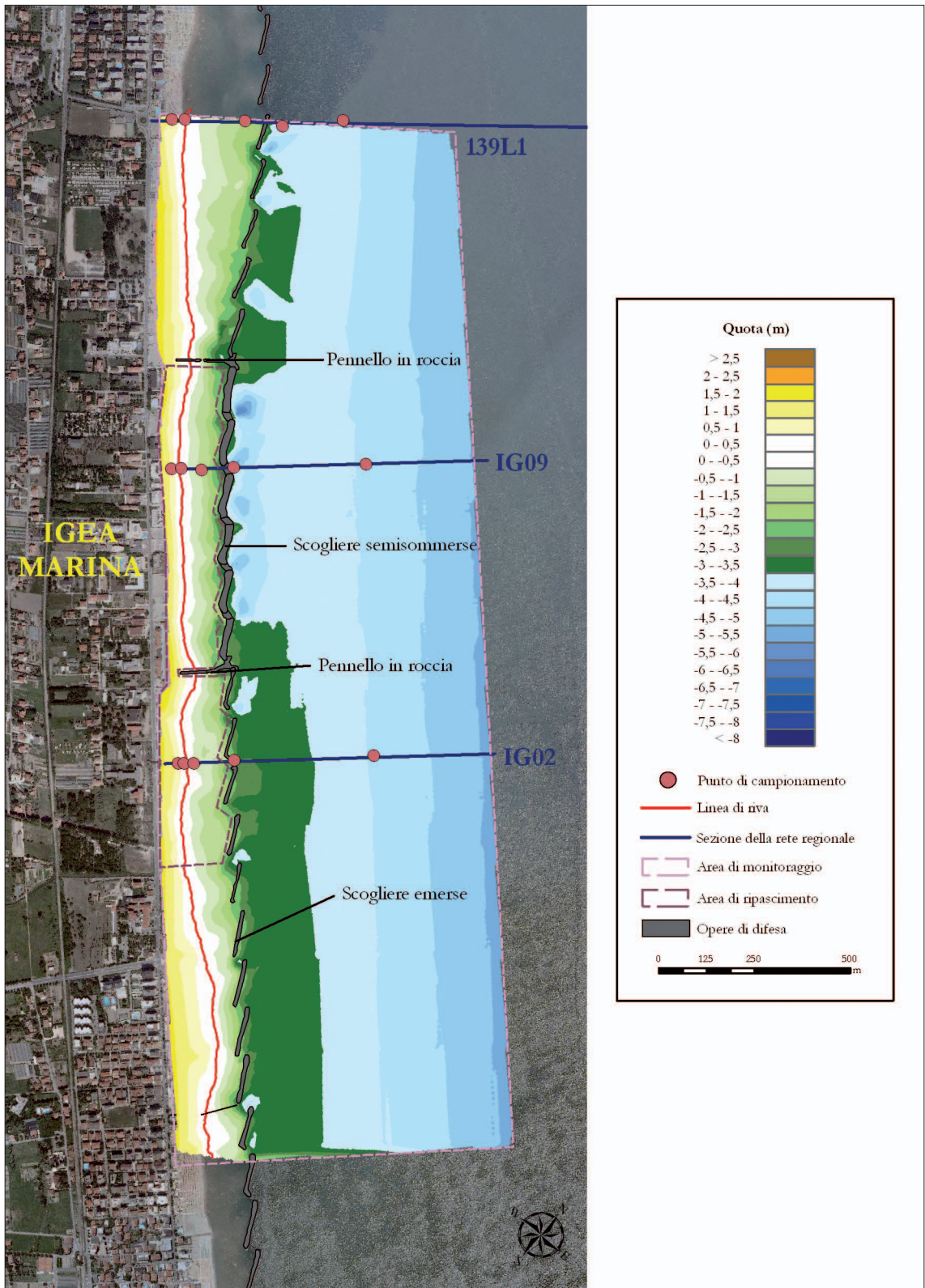


Figura 13 - Igea Marina: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

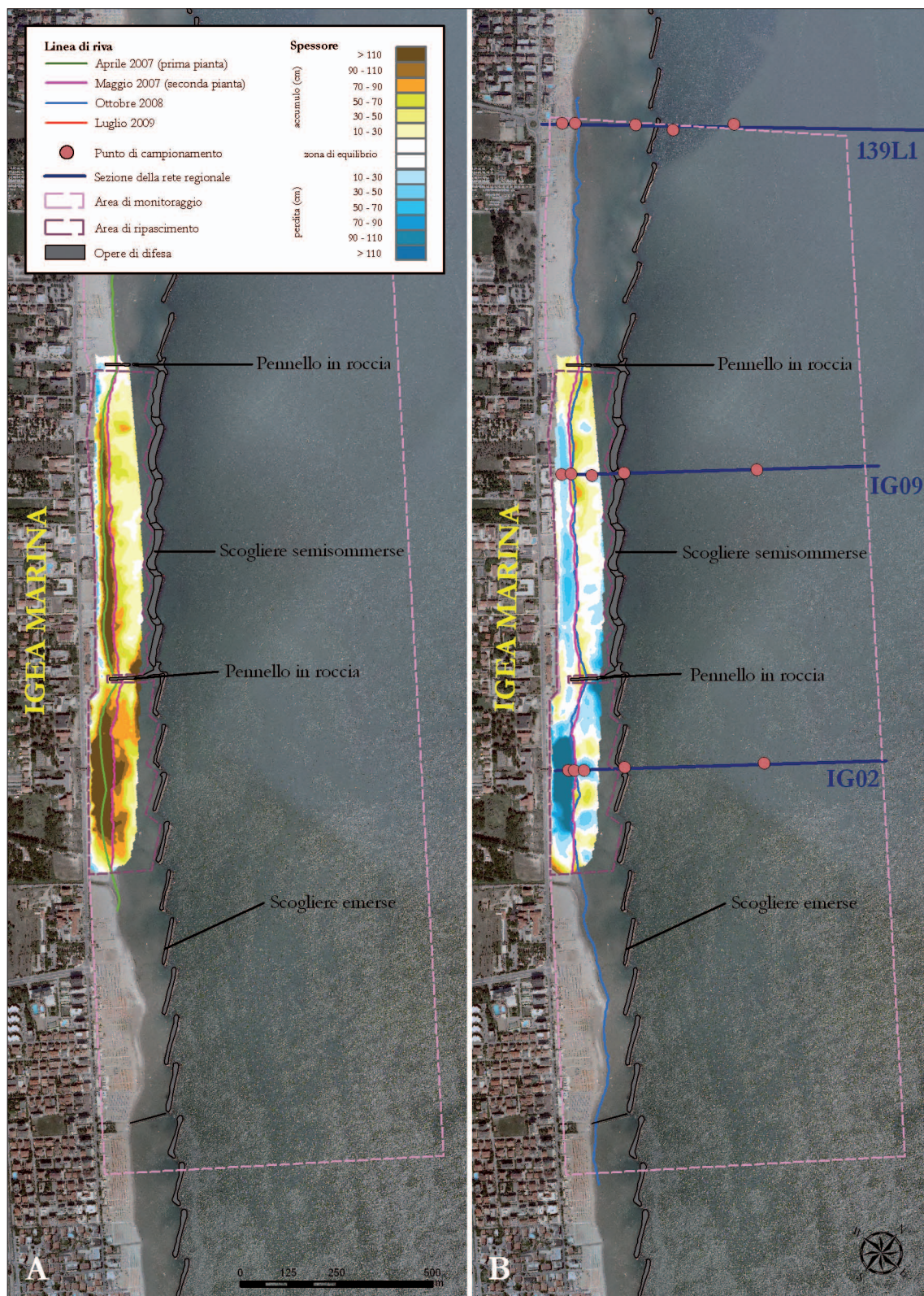


Figura 14 - Igea Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

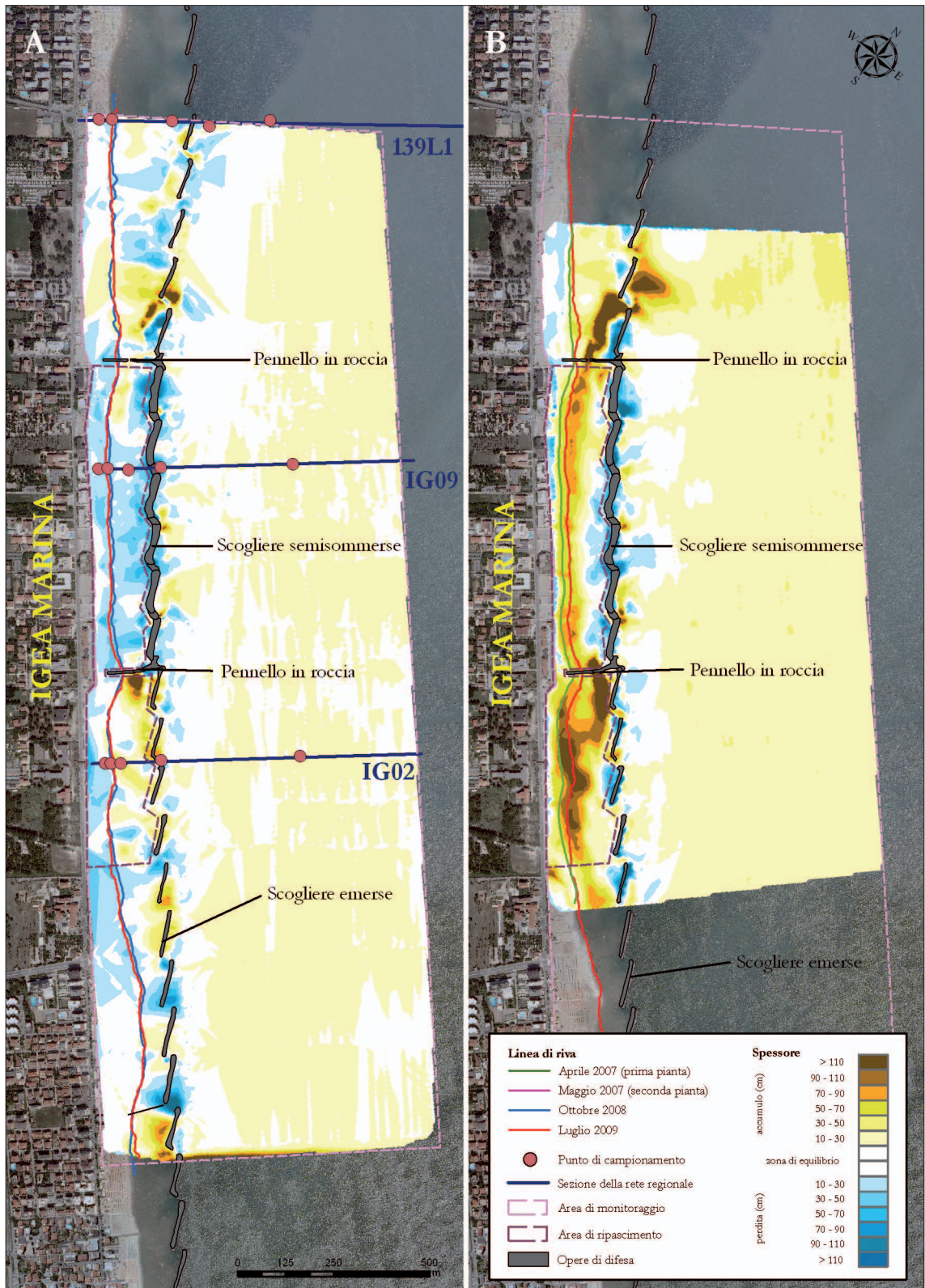


Figura 15 - Igea Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.



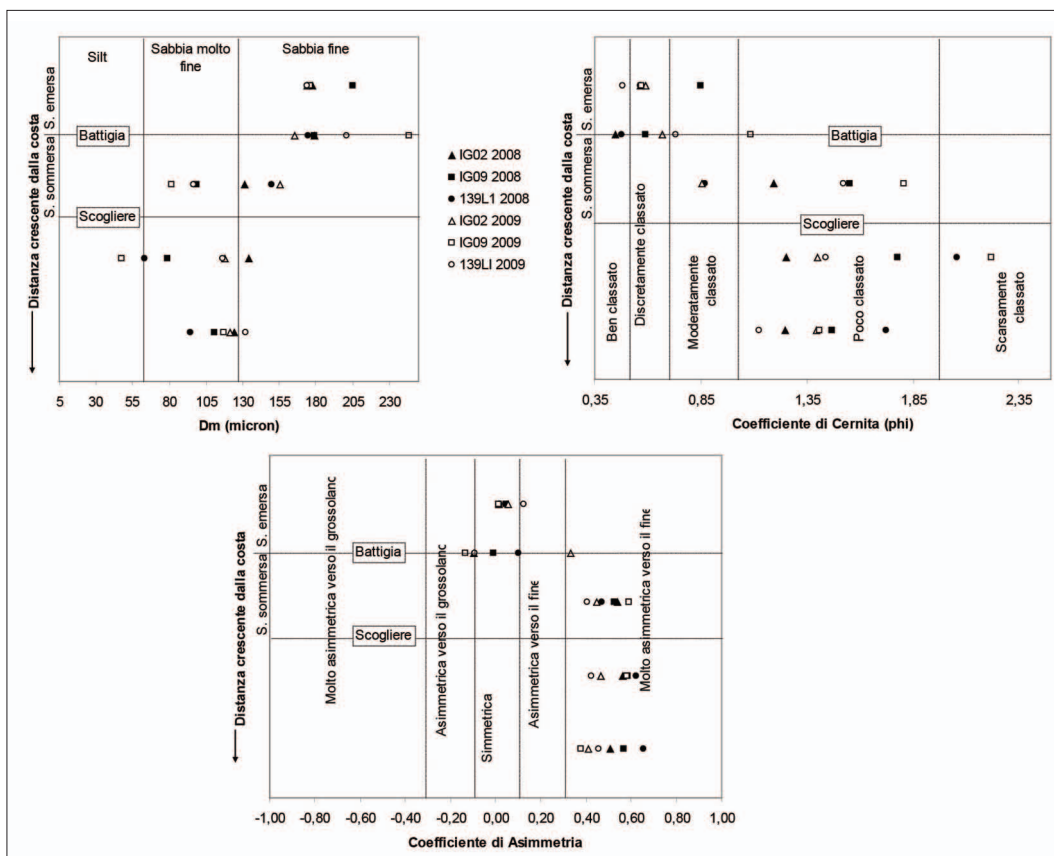


Figura 16 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e di asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Igea Marina, lungo i profili IG02, IG09 e 139L1 nell’Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Vengono riportate le posizioni indicative 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<sup>3</sup> di sabbia con il “Progettone 2” e 4.500 m<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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,

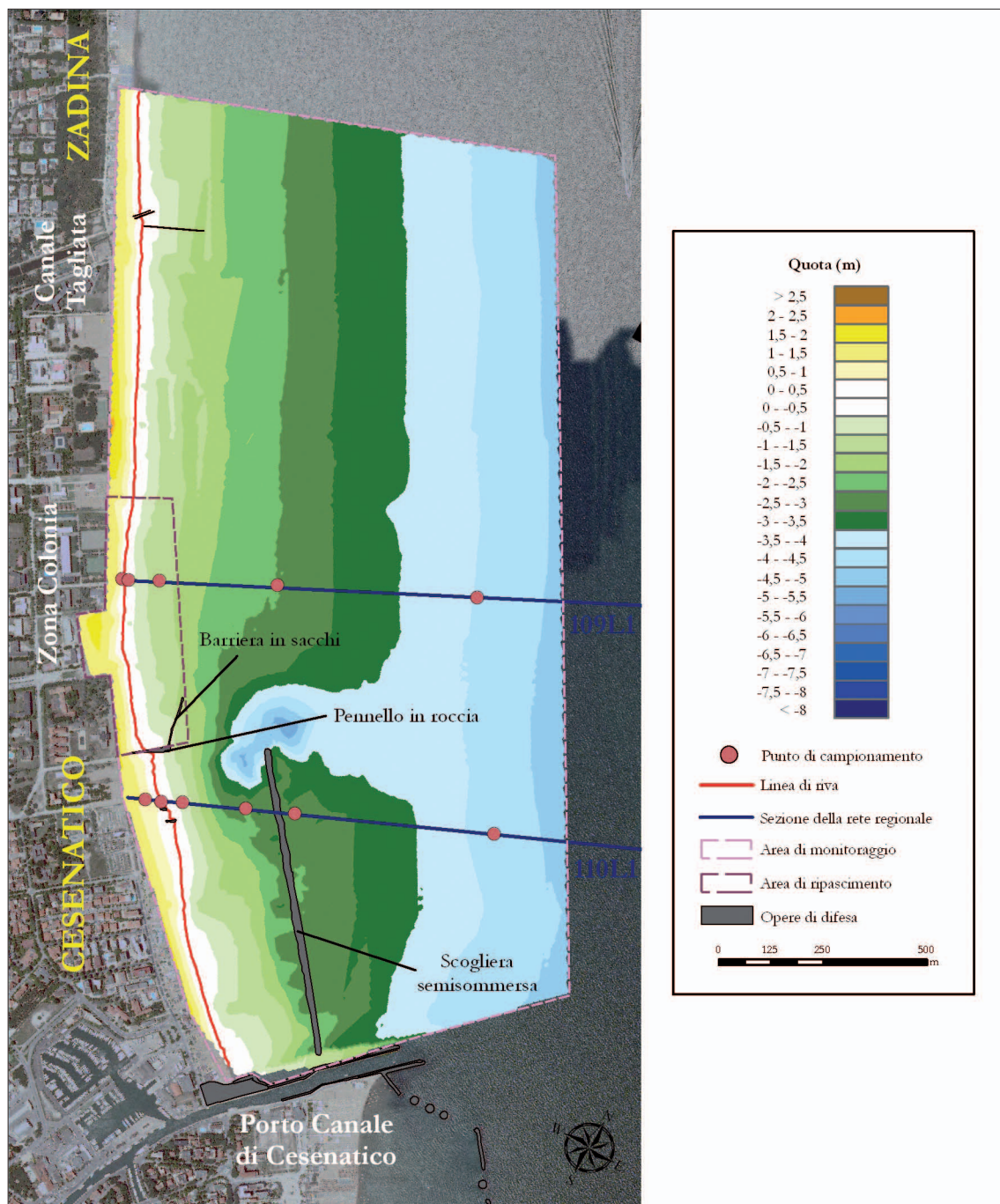


Figura 17 - Cesenatico Ponente: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

21.400 m<sup>3</sup> di sabbia (33 m<sup>3</sup>/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-

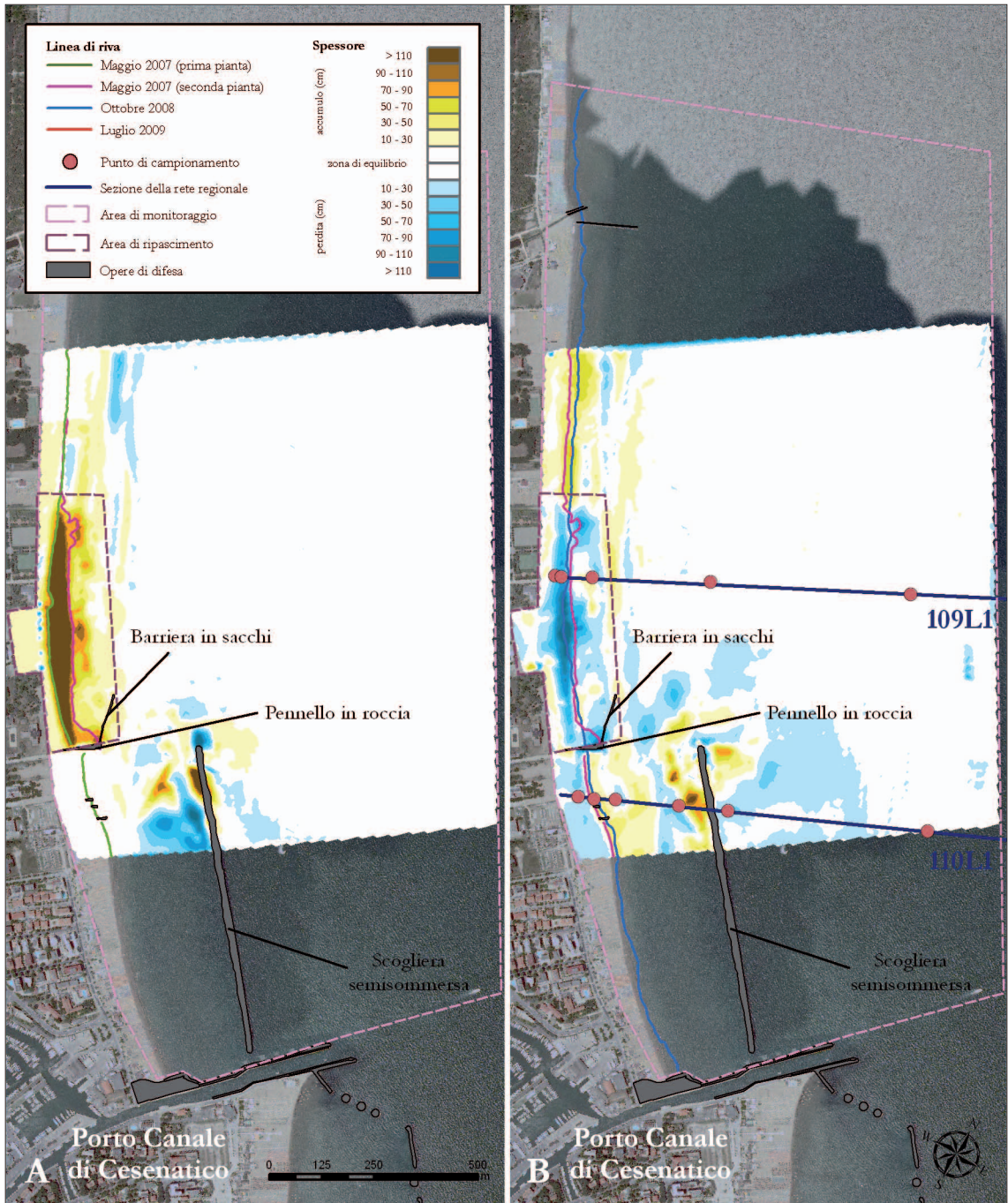


Figura 18 - Cesenatico Ponente: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

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 m<sup>3</sup> di sabbia (37 m<sup>3</sup>/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

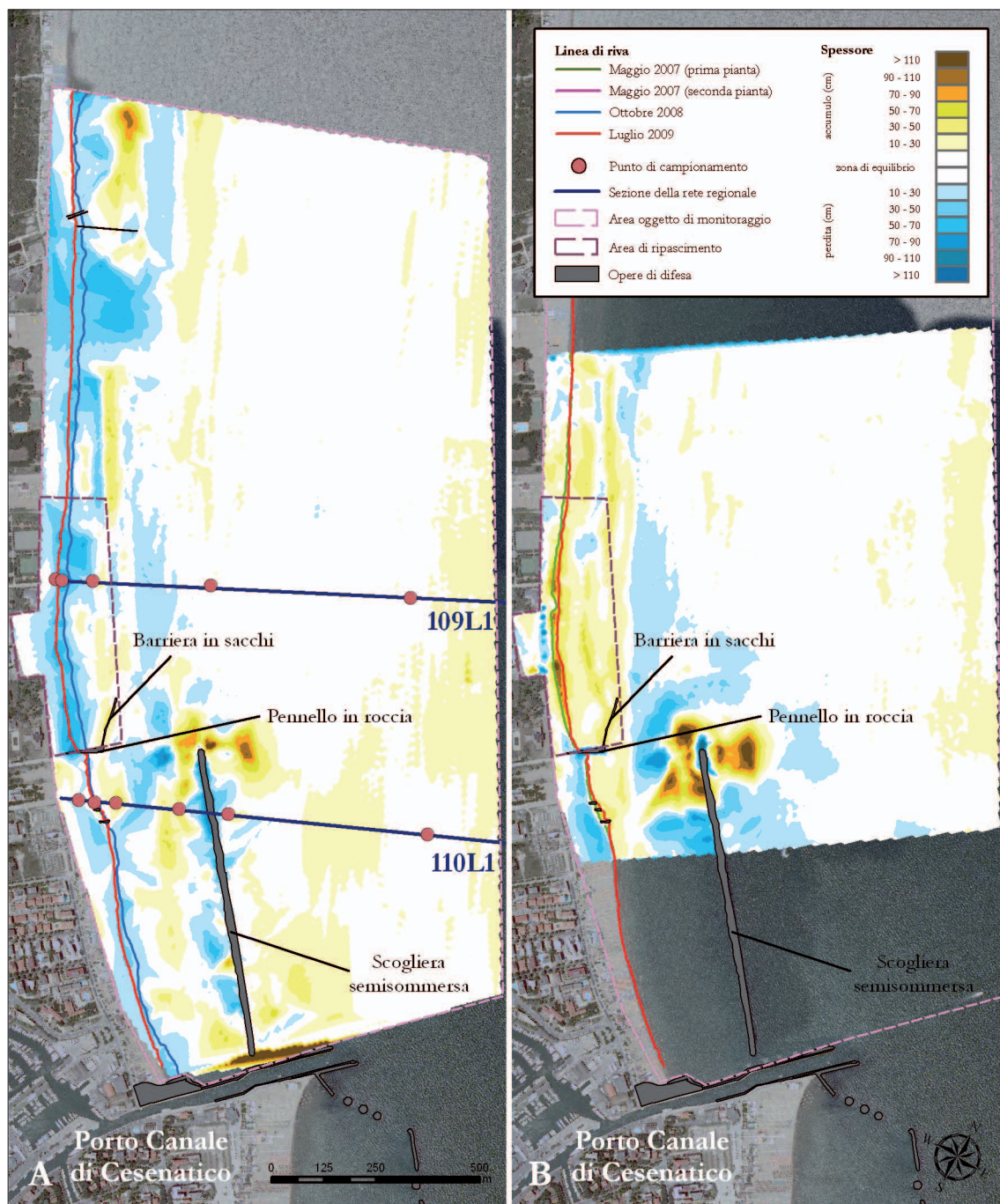


Figura 19 - Cesenatico Ponente: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

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,

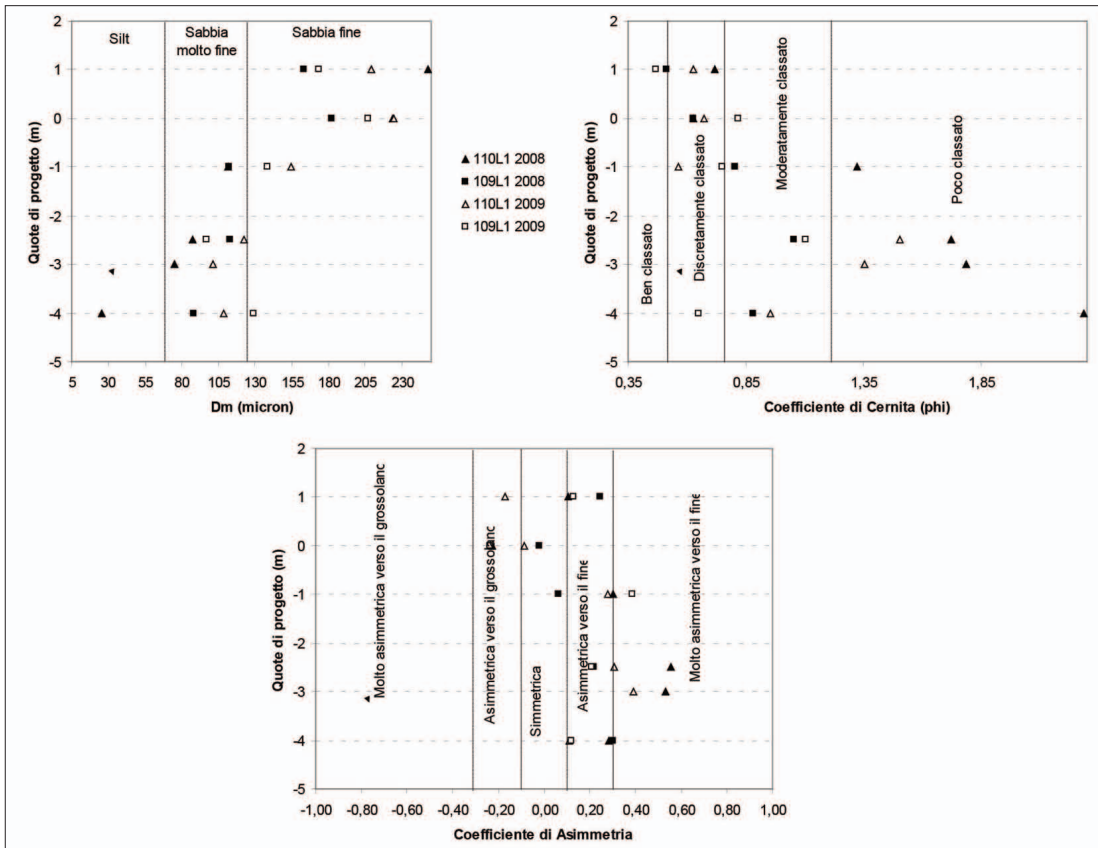


Figura 20 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti dei cernita (a destra) e asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Cesenatico ponente, lungo i profili 110L1 e 109L1 nell’Ottobre 2008 e nel Maggio 2009.

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 (moderatamemente 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 m<sup>3</sup> (114 m<sup>3</sup>/m), nella primavera del 2007. Nei 2 anni successivi sono fuoriusciti dalla cella 43.600 m<sup>3</sup> di sabbia (72 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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

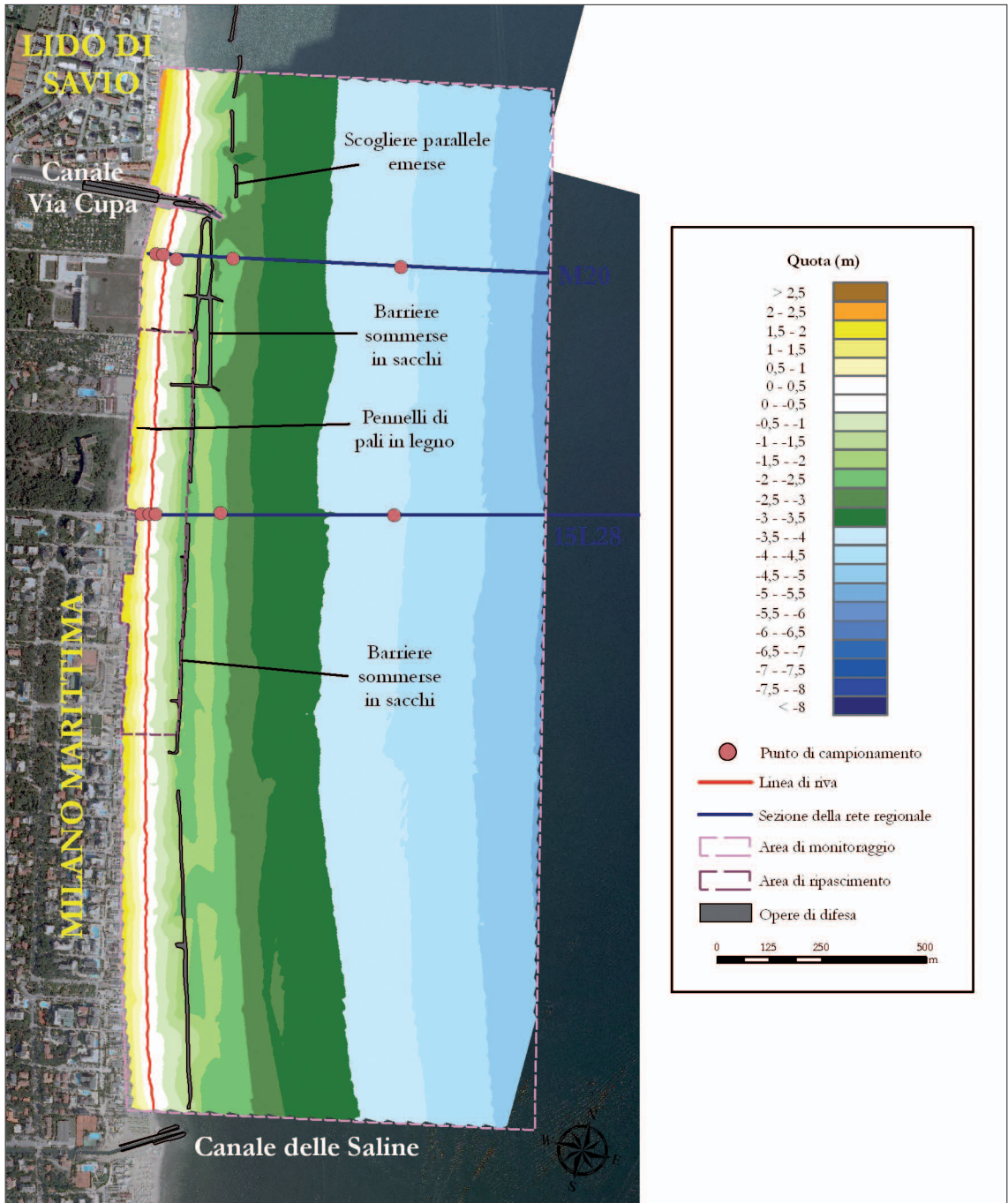


Figura 21 - Milano Marittima Nord: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

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 m<sup>3</sup>) 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-



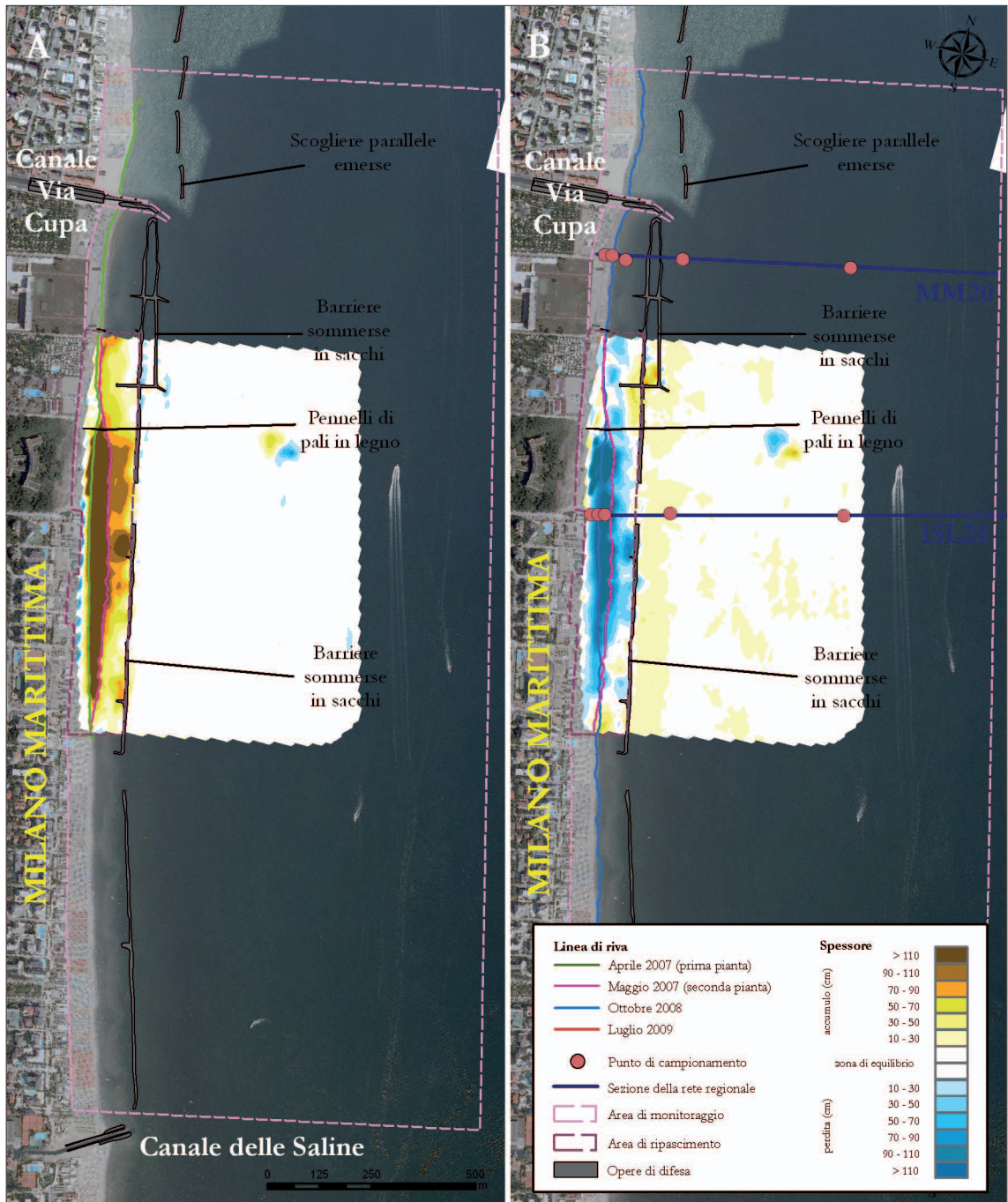


Figura 22 - Milano Marittima Nord: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

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-

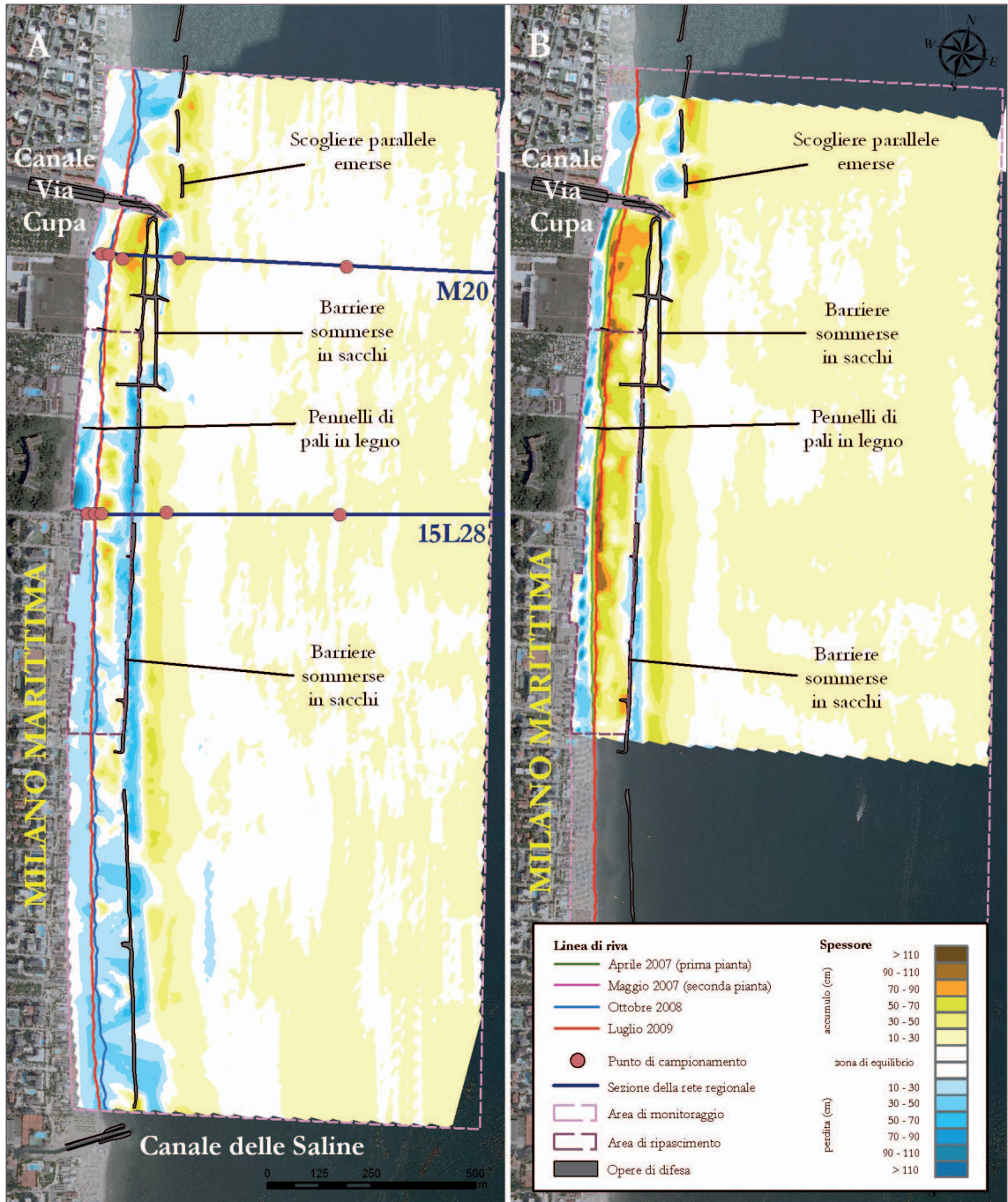


Figura 23 - Milano Marittima Nord: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

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.

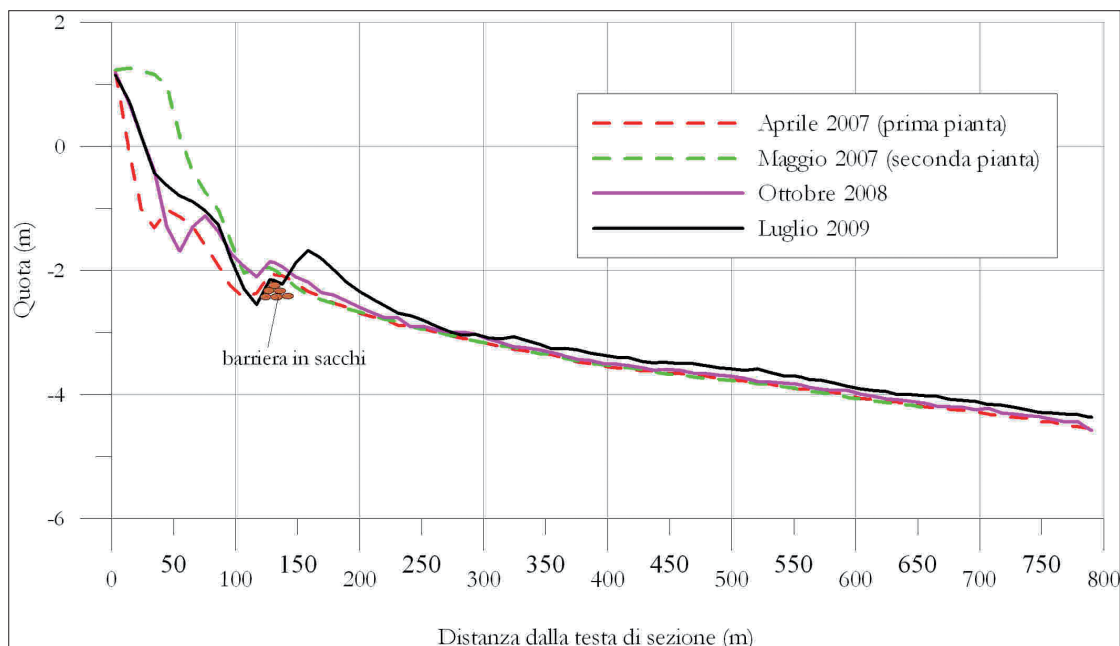


Figura 24 - Milano Marittima Nord: Profilo topo-batimetrico 15L28.

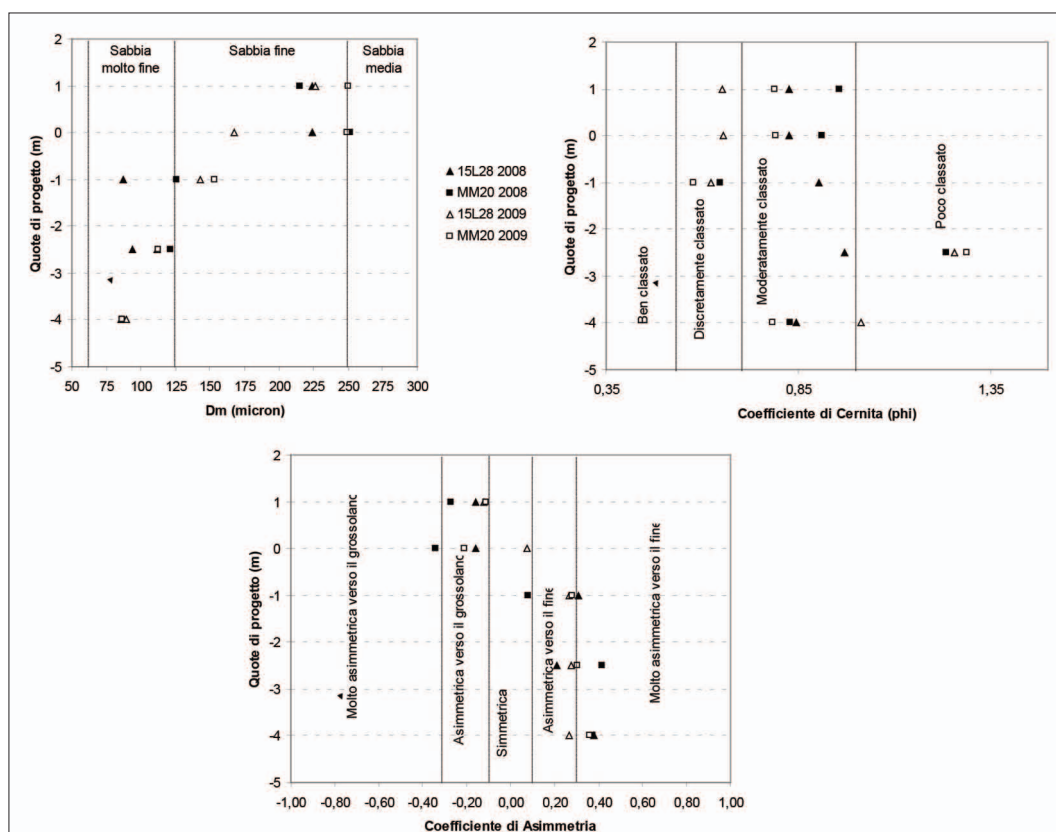


Figura 25 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Milano Marittima, lungo i profili 15L28 e MM20 nell'ottobre 2008 e nel maggio 2009.

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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>, poco più quindi degli 8.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>, 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 m<sup>3</sup> dentro la cella protetta e di 35.900 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>. 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-

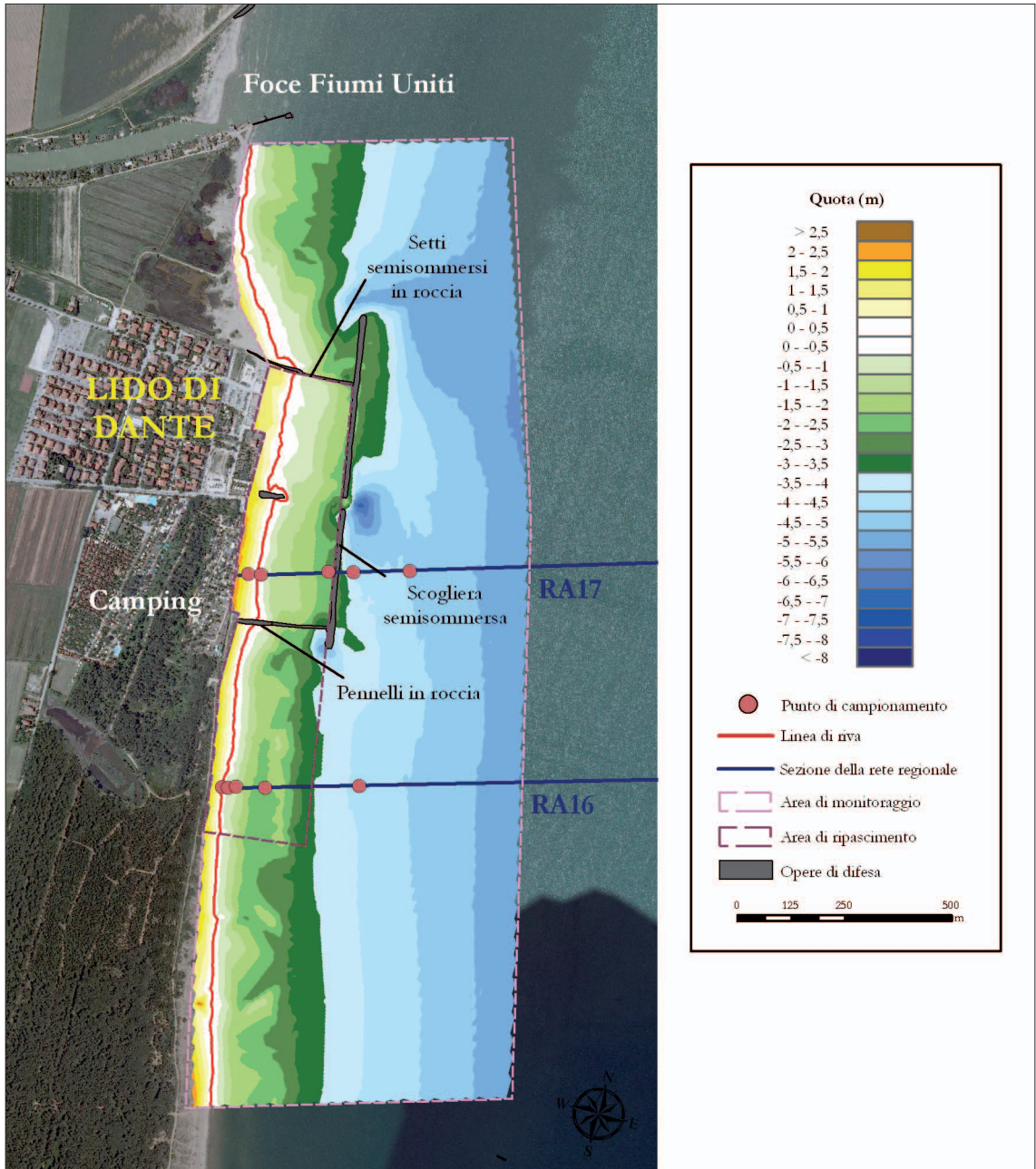


Figura 26 - Lido di Dante: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

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.

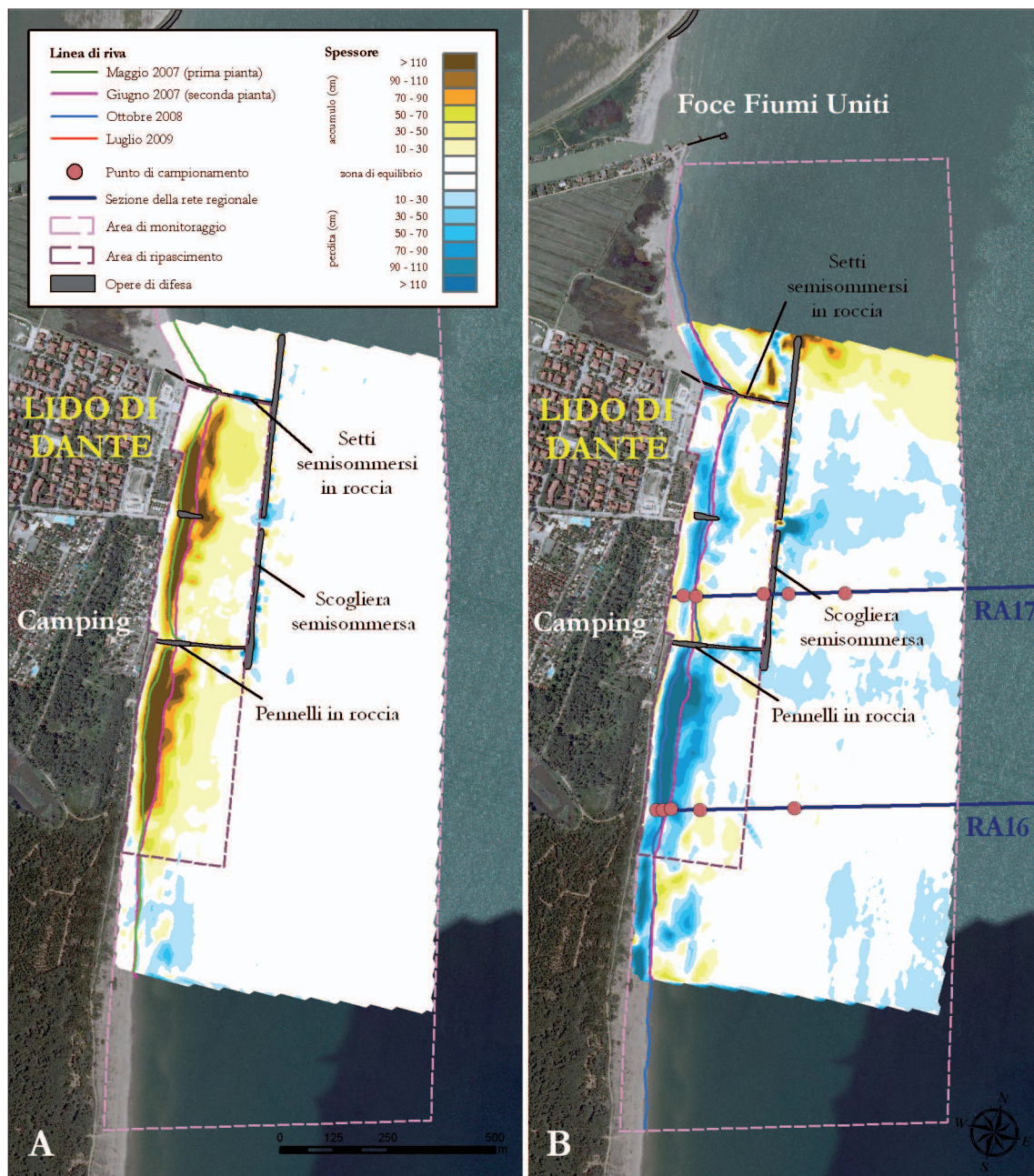


Figura 27 - Lido di Dante: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

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.

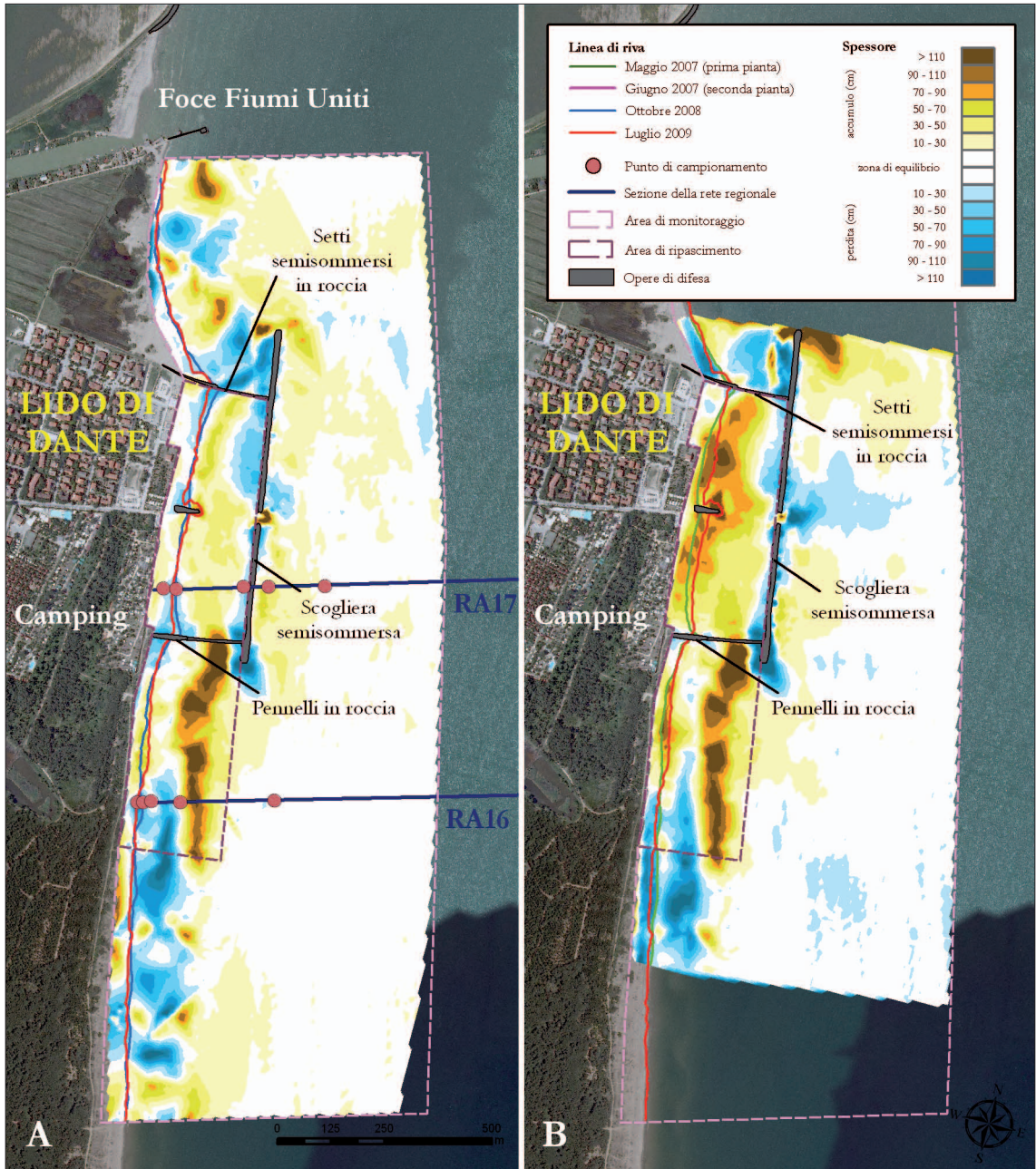


Figura 28 - Lido di Dante: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

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



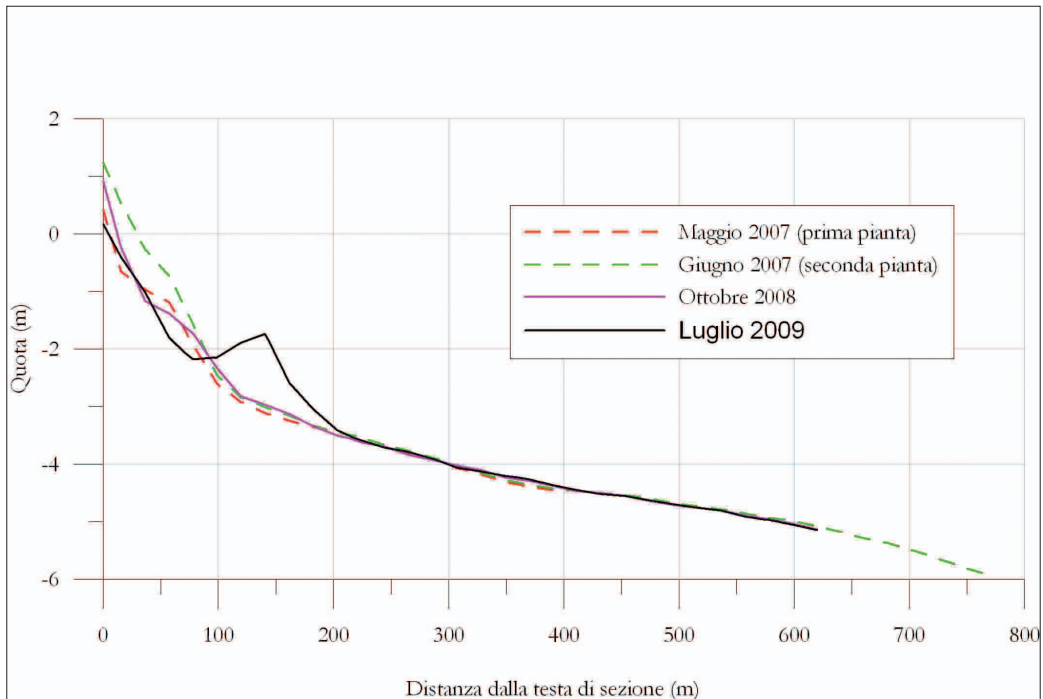


Figura 29 Lido di Dante: Profilo topo-batimetrico RA16.

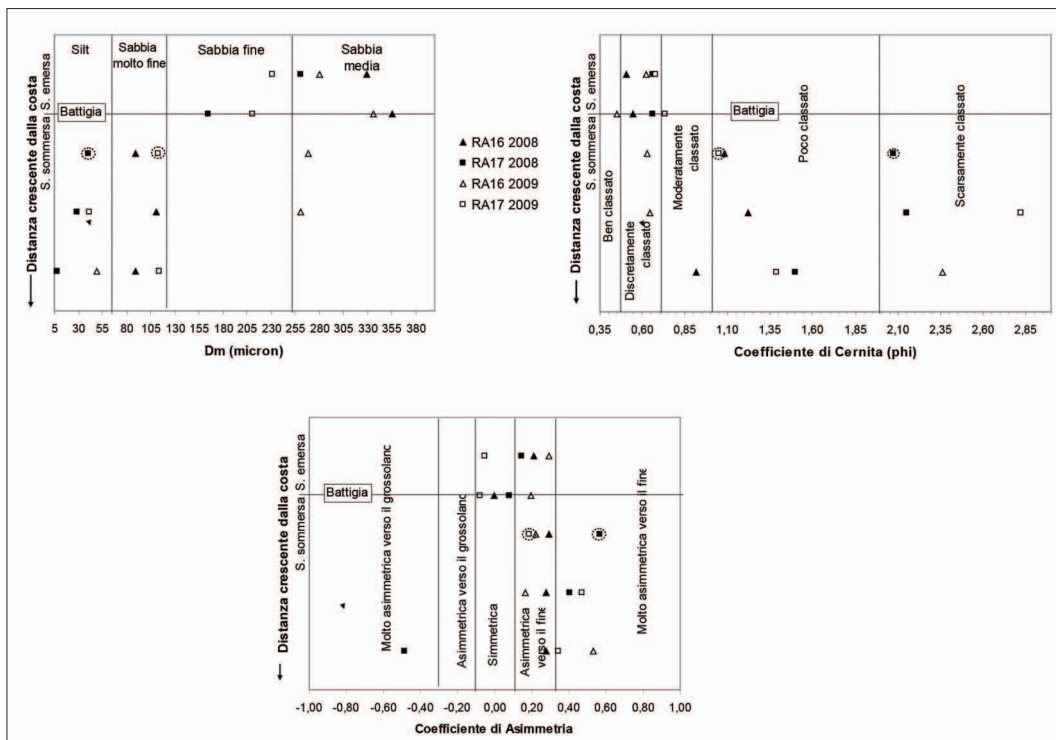


Figura 30 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e di asimmetria (in basso) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Lido di Dante, lungo i profili RA16 e RA17 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Viene riportata, indicativamente, la 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 battigia 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 m<sup>3</sup> 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 soffici, 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 m<sup>3</sup> di sabbia sottomarina (114 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> di materiale.

Questo dato però è il risultato della differenza tra il valore degli accumuli, pari a 66.300 m<sup>3</sup>, e quello delle perdite, pari a 54.000 m<sup>3</sup>; 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 m<sup>3</sup>, dato dalla differenza tra un deposito di 71.100 m<sup>3</sup> e una perdita di 48.700 m<sup>3</sup>.

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).

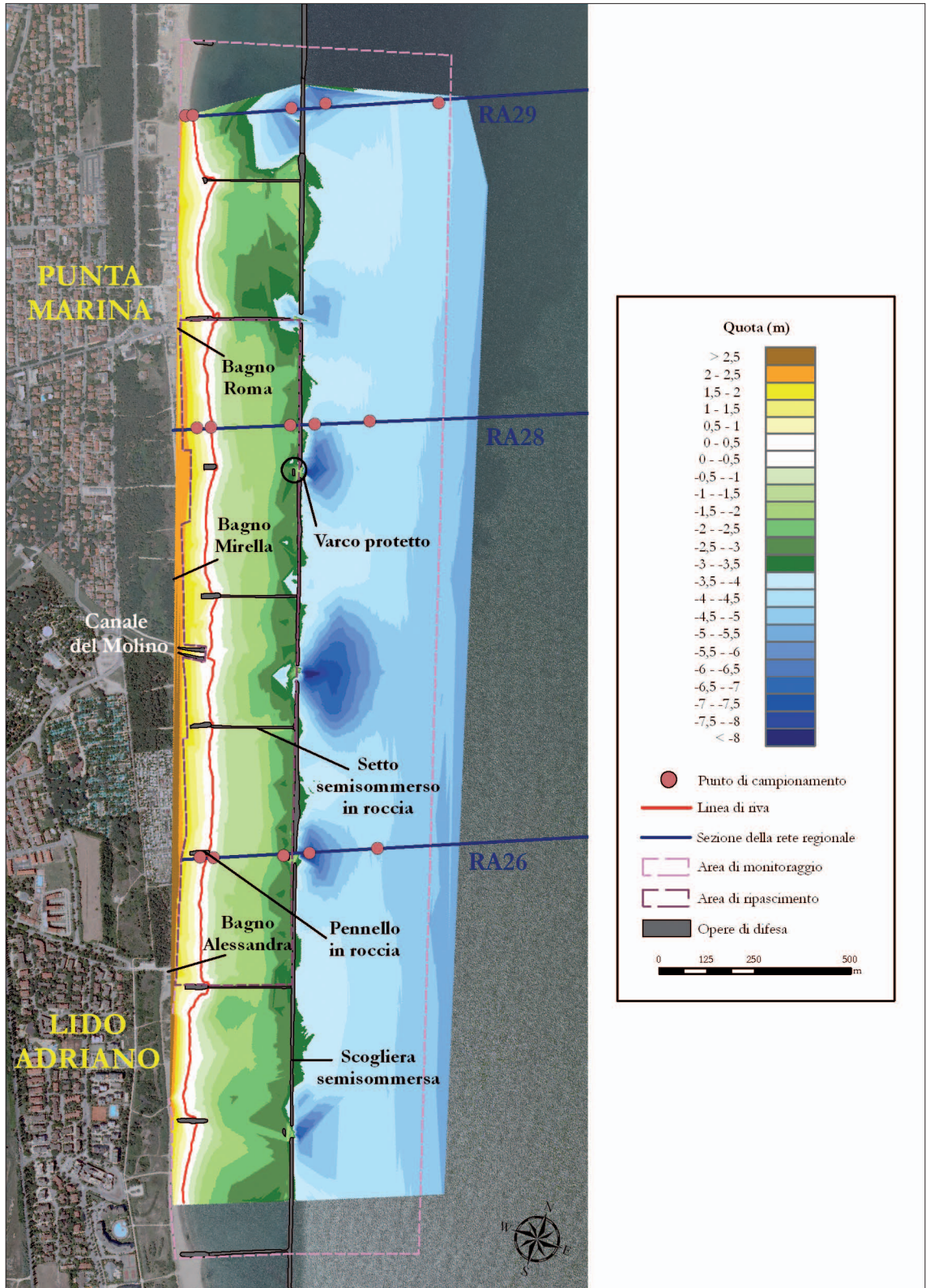


Figura 31 - Punta Marina: planimetria dell'area di monitoraggio con batimetria del Luglio 2009.

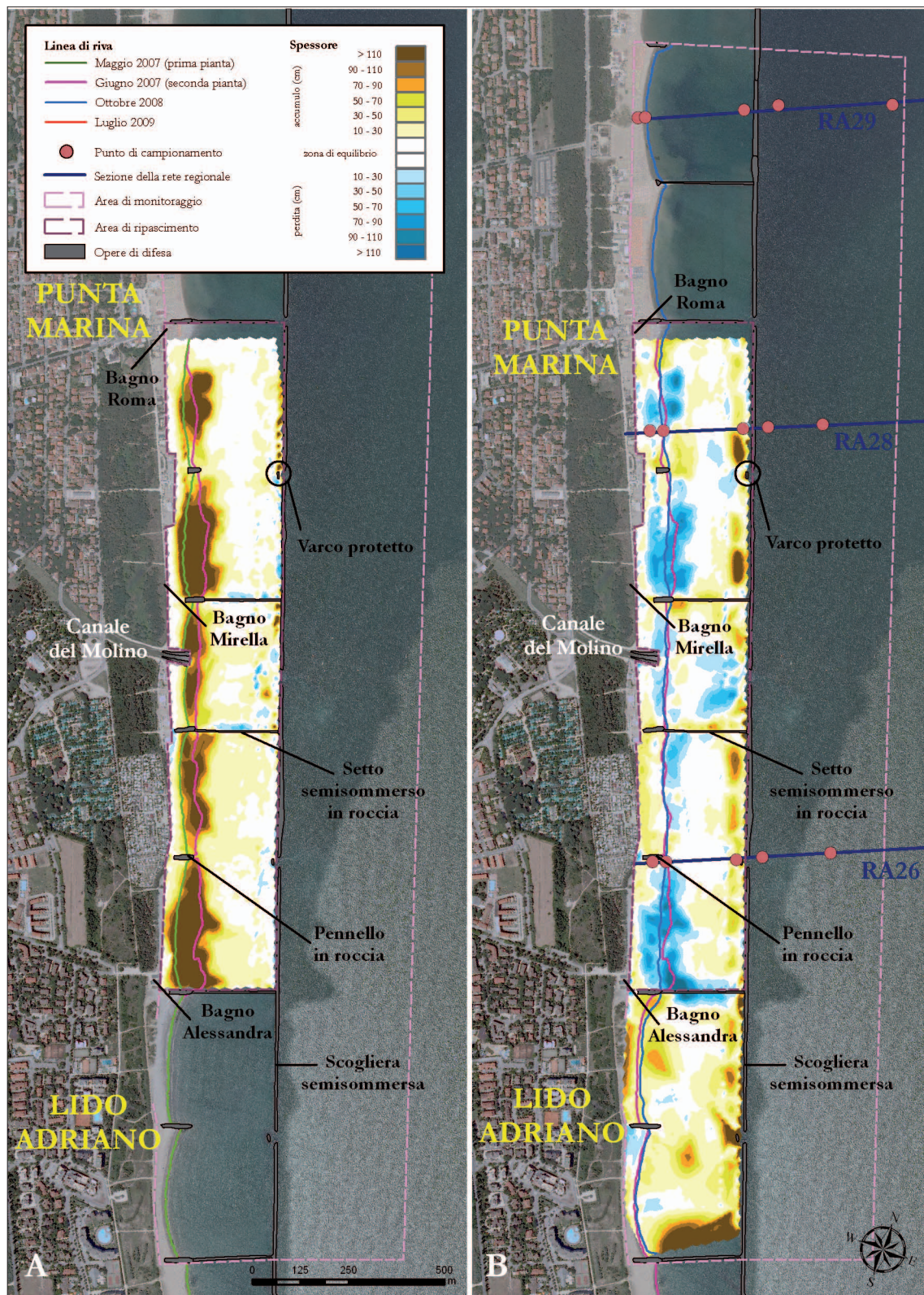


Figura 32 - Punta Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi di prima e seconda pianta. B) Confronto tra i rilievi di seconda pianta e della prima campagna di monitoraggio.

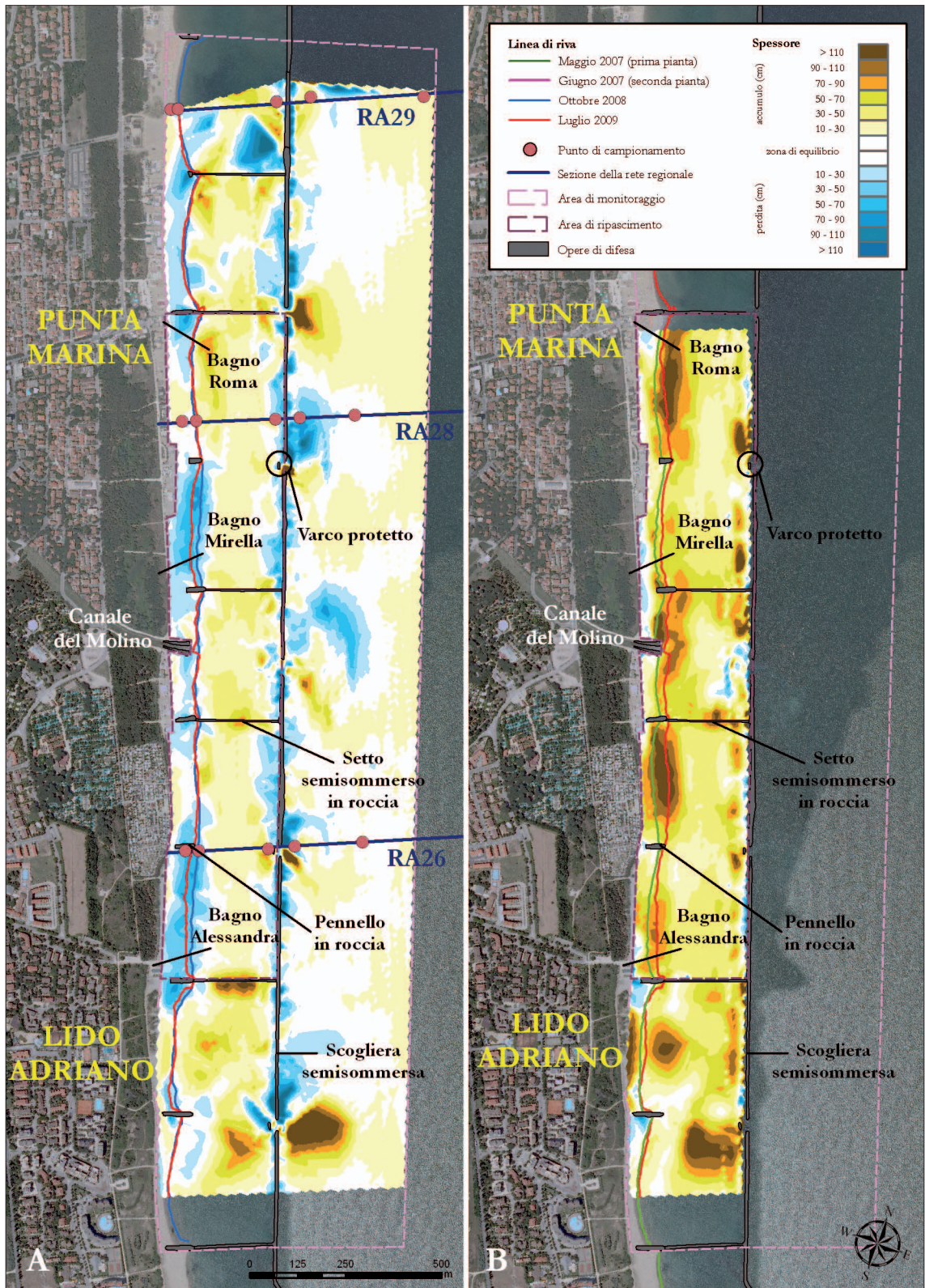


Figura 33 - Punta Marina: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. A) Confronto tra i rilievi della prima e seconda campagna di monitoraggio. B) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

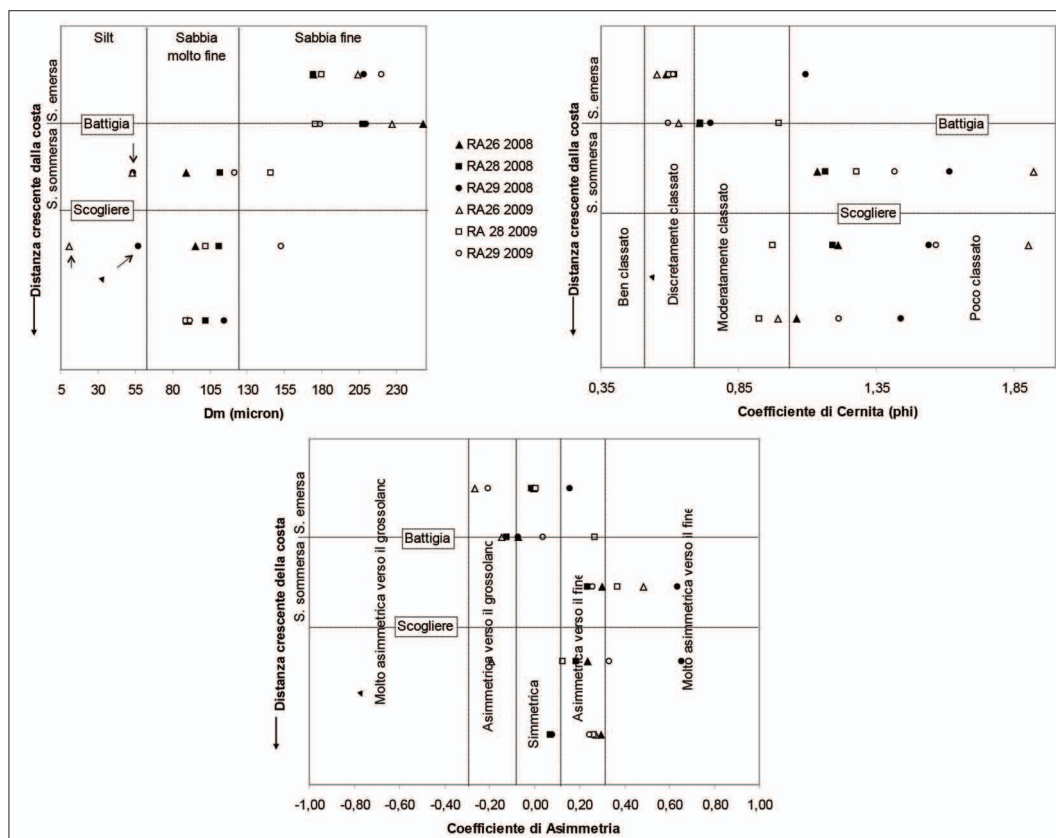


Figura 34 - Confronti tra i valori di diametro medio (a sinistra) e tra i coefficienti di cernita (a destra) e asimmetria (sotto) calcolati per i campioni di sedimento prelevati a Punta Marina, lungo i profili RA26, RA 28 e RA29 nell'Ottobre 2008 e nel Maggio 2009. Vengono riportate le posizioni indicative 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 silteosi 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 m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup> e 18.000 m<sup>3</sup>.

Pertanto, con riferimento alla Figura 33B, nella zona di intervento di Punta Marina sono stati portati, tra il 2007 e il 2009, 220.500 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> nel primo periodo ed è positivo per 7.800 m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> ) | Ripasc. 2007 (m <sup>3</sup> /m) | Limite di calcolo  | $\Delta V$ (FL-1 <sup>a</sup> ) (m <sup>3</sup> ) | Ripasc. (FL-1 <sup>a</sup> ) (m <sup>3</sup> ) | $\Delta V$ -Ripasc. (FL-1 <sup>a</sup> ) (m <sup>3</sup> ) (m <sup>3</sup> /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<br>(-32) |
| Lido di Dante    | 1.100 | 107.100 | 97   | Scogliera sommersa | -49.000  | 0       | -49.000<br>(-31) |
| Punta Marina     | 1.660 | 189.900 | 114  | Scogliera sommersa | 12.300   | 16.000  | -3.700<br>(-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.**

| Spiaggia           | $\Delta V$<br>(1 <sup>a</sup> -2 <sup>a</sup> )<br>(m <sup>3</sup> ) | Ripasc.<br>(1 <sup>a</sup> -2 <sup>a</sup> )<br>(m <sup>3</sup> ) | $\Delta V$ -Ripasc. (1 <sup>a</sup> -2 <sup>a</sup> )<br>(m <sup>3</sup> )<br>(m <sup>3</sup> /m/anno) | $\Delta V$<br>(PP-2 <sup>a</sup> )<br>(m <sup>3</sup> ) | Ripasc.<br>(PP-2 <sup>a</sup> )<br>(m <sup>3</sup> ) | $\Delta V$ -Ripasc. (PP-2 <sup>a</sup> )<br>(m <sup>3</sup> )<br>(m <sup>3</sup> /m/anno) |
|--------------------|--|---|--|---|--|---|
| Misano             | 1.500  | 18.300  | -16.800<br>(-14)   | 97.900  | 194.600  | -96.700<br>(-28)  |
| Riccione           | -51.800  | 53.100  | -104.900<br>(-116)   | 29.800  | 237.800  | -208.000<br>(-80)   |
| Igea Marina        | -16.800  | 4.500   | -21.300<br>(-22)   | 67.900  | 85.300   | -17.400<br>(-6)   |
| Cesenatico Ponente | -22.200  | 0   | -22.200<br>(-49)   | 24.800  | 68.400   | -43.600<br>(-34)  |
| Milano Marittima   | -9.000   | 0   | -9.000<br>(-13)  | 38.000  | 90.100   | -52.100<br>(-25)  |
| Lido di Dante      | 45.300   | 5.800   | 39.500<br>(+48)  | 103.400   | 112.900  | -9.500<br>(-4)  |
| Punta Marina       | 22.400   | 14.600  | 7.800<br>(+6)  | 224.600   | 220.500  | 4.100<br>(+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.

$\Delta V$  (FL-1<sup>a</sup>): 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<sup>a</sup>): ripascimenti effettuati fra i rilievi di fine lavori (Aprile-Giugno 2007) e quelli della prima campagna di monitoraggio (Ottobre 2008).

$\Delta V$ -Ripasc. (FL-1<sup>a</sup>): 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.

$\Delta V$  (1<sup>a</sup>-2<sup>a</sup>): variazione di volume tra i rilievi della prima (Ottobre 2008) e della seconda campagna di monitoraggio (Luglio 2009).

Ripasc. (1<sup>a</sup>-2<sup>a</sup>): ripascimenti effettuati fra i rilievi della prima (Ottobre 2008) e della seconda campagna di monitoraggio (Luglio 2009).

$\Delta V$ -Ripasc. (1<sup>a</sup>-2<sup>a</sup>): 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.

$\Delta V$  (PP-2<sup>a</sup>): 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<sup>a</sup>): ripascimenti effettuati fra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio.

$\Delta V$ -Ripasc. (PP-2<sup>a</sup>): 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 | Quota di progetto (m) | Quota rilevata 2008 (m) | 2008        |               |            | 2009        |               |            |
|------------------|----------|-----------------------|-------------------------|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|------------|
|                  |          |                       |                         | 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 m<sup>3</sup> 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 sottofutto 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 m<sup>3</sup>) e una perdita nel secondo (21.300 m<sup>3</sup>).

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 m<sup>3</sup>) e ridotte nel secondo (16.800 m<sup>3</sup>). 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 m<sup>3</sup>) nel primo periodo e ridotte nel secondo (9.000 m<sup>3</sup>). 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 m<sup>3</sup>/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.

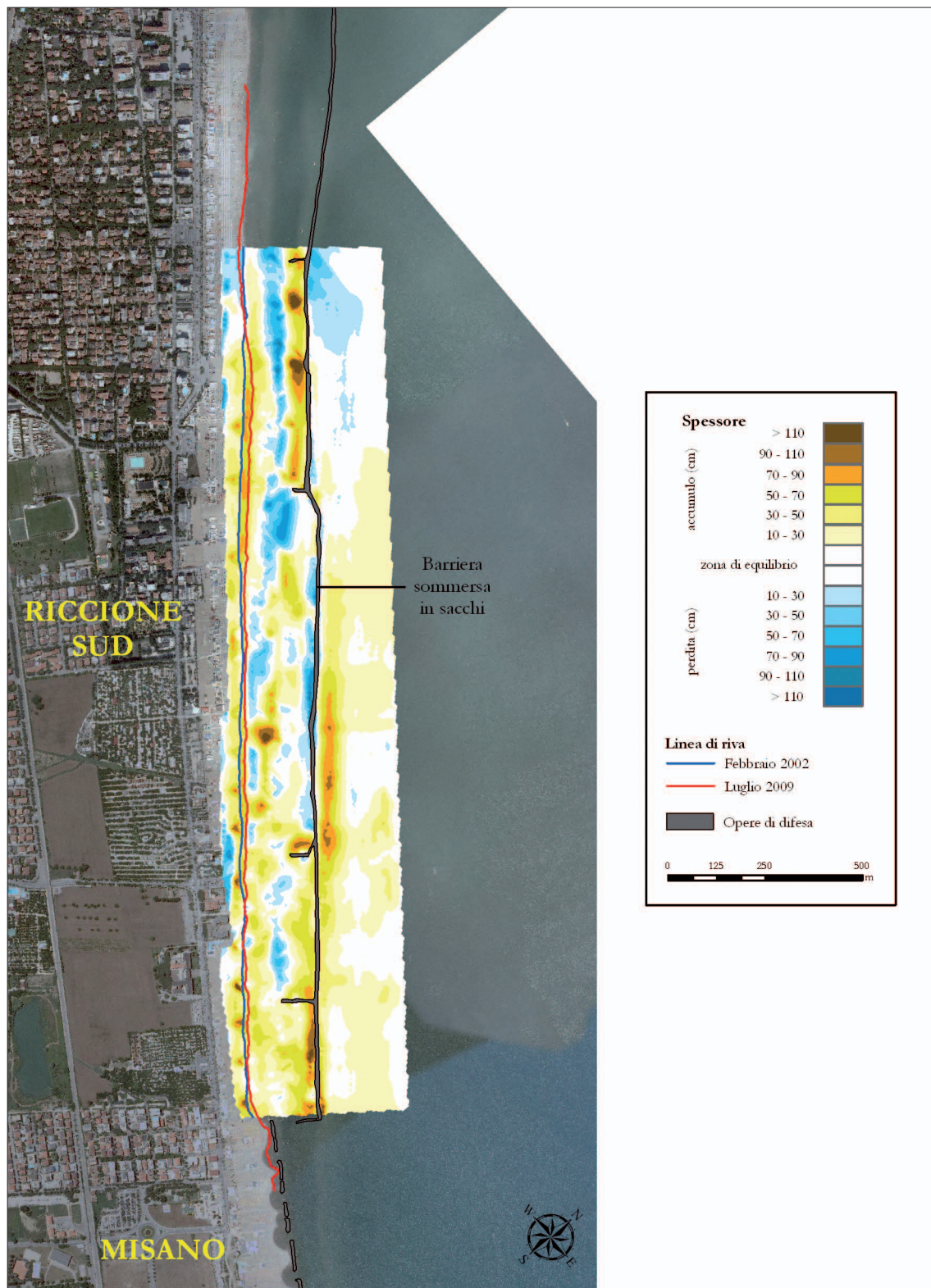


Figura 36 - Riccione sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. Confronto tra i rilievi effettuati prima dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine del 2002 (Progettone 1) e quelli effettuati nel 2009, in occasione dell'ultima campagna di monitoraggio del secondo intervento realizzato sul litorale regionale nel 2007 (Progettone 2).

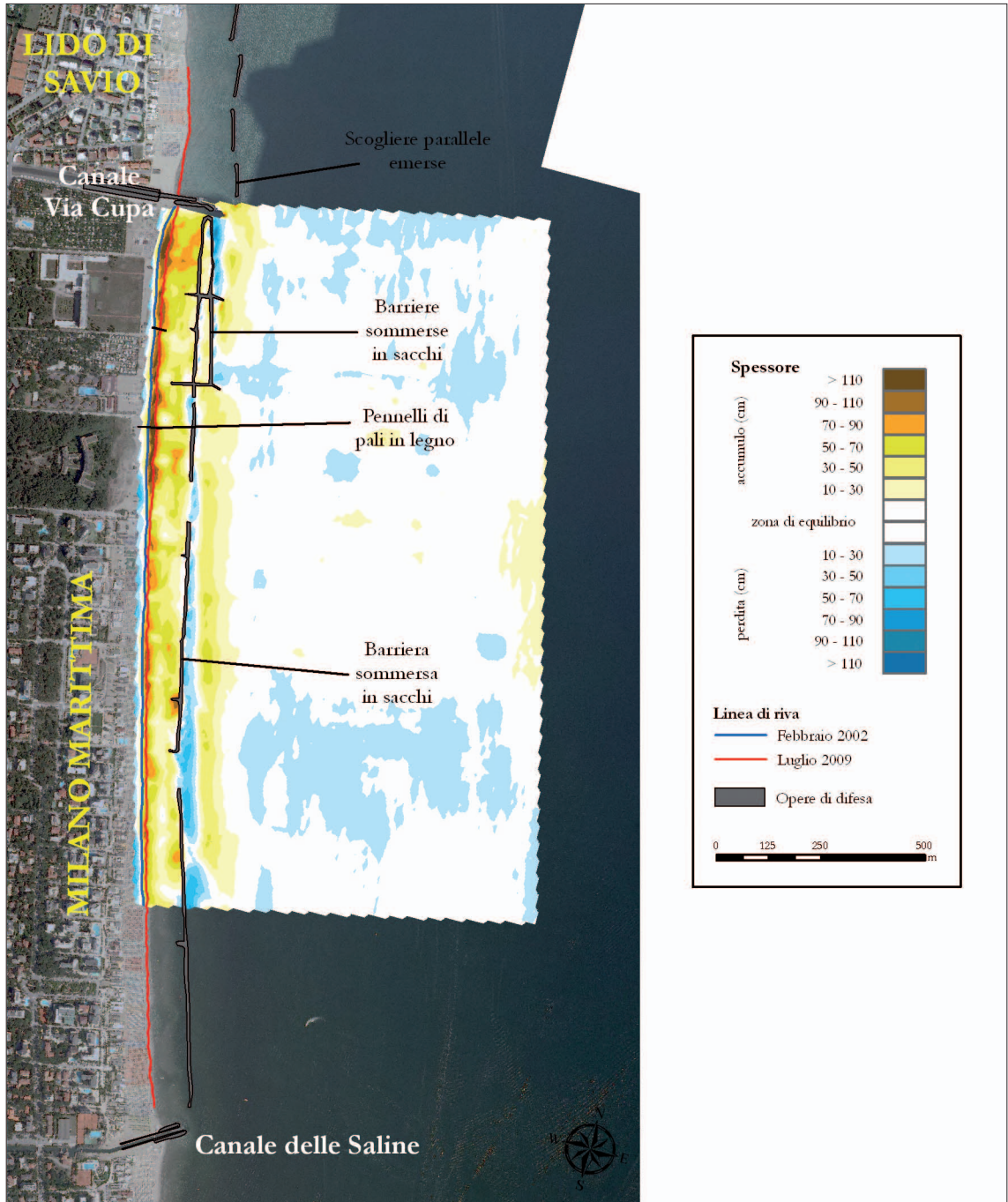


Figura 37 - Milano Marittima: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia. Confronto tra i rilievi effettuati prima dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine del 2002 (Progettone 1) e quelli effettuati nel 2009, in occasione dell'ultima campagna di monitoraggio del secondo intervento 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.

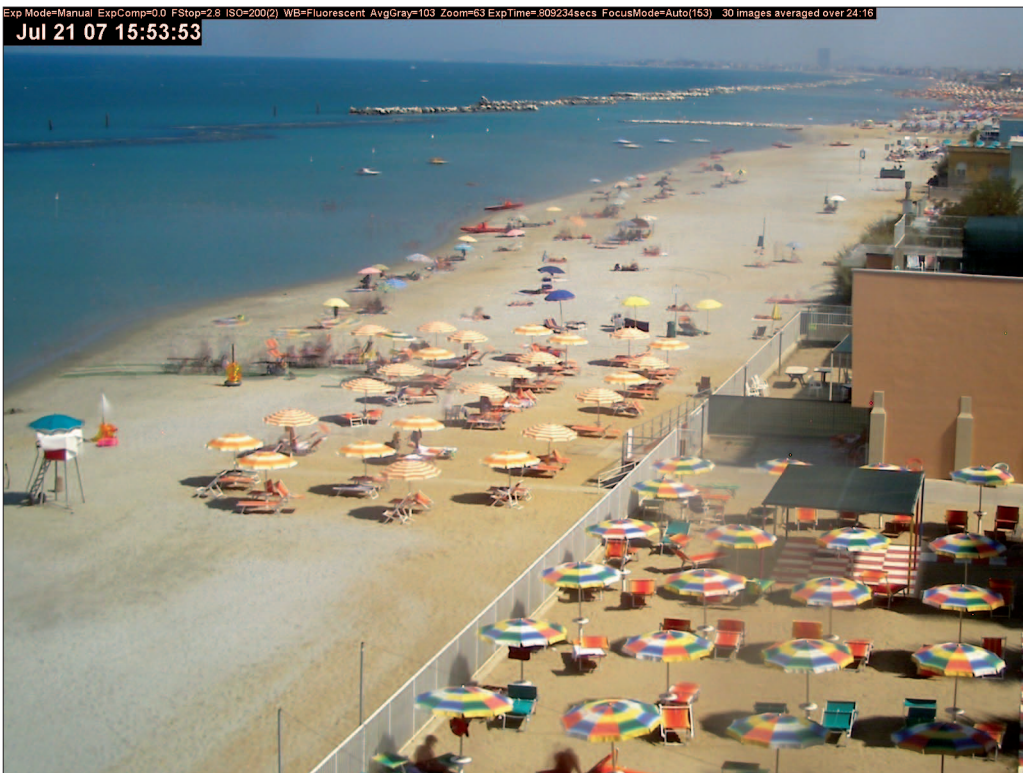


Figura 38 - In alto la spiaggia di Igea Marina nel 2001 prima dell'intervento sperimentale; in basso la stessa spiaggia nel 2007 dopo il ripascimento con sabbie sottomarine. (Foto scattata con fotocamera digitale fissa installata nell'ambito del sottoprogetto OPTIMAL, progetto BEACHMED-e, gentilmente 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 Progetto 1 e del Progetto 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 "Progetto 1" che del Progetto 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 m<sup>3</sup> di sabbia di cui ben 532.000 m<sup>3</sup> negli 8 anni tra il 2002 il 2009; tolto ciò che è rimasto nell'area di intervento rispetto al 2002 (192.000 m<sup>3</sup>), sono fuoriusciti, in gran parte verso nord, 42.500 m<sup>3</sup>/anno di materiale (Fig. 35).

A Riccione Sud, dal 1983 al 2009, sono stati portati a ripascimento 1.521.000 m<sup>3</sup> di sabbia, di cui 721.000 m<sup>3</sup> nel periodo 2002-2009. Con riferimento a questo ultimo periodo, tolti i quantitativi ancora presenti (170.000 m<sup>3</sup>), sono fuoriusciti dall'area di intervento circa 69.000 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/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 “semi-sommerse” (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  $50.000 \text{ m}^3$  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.

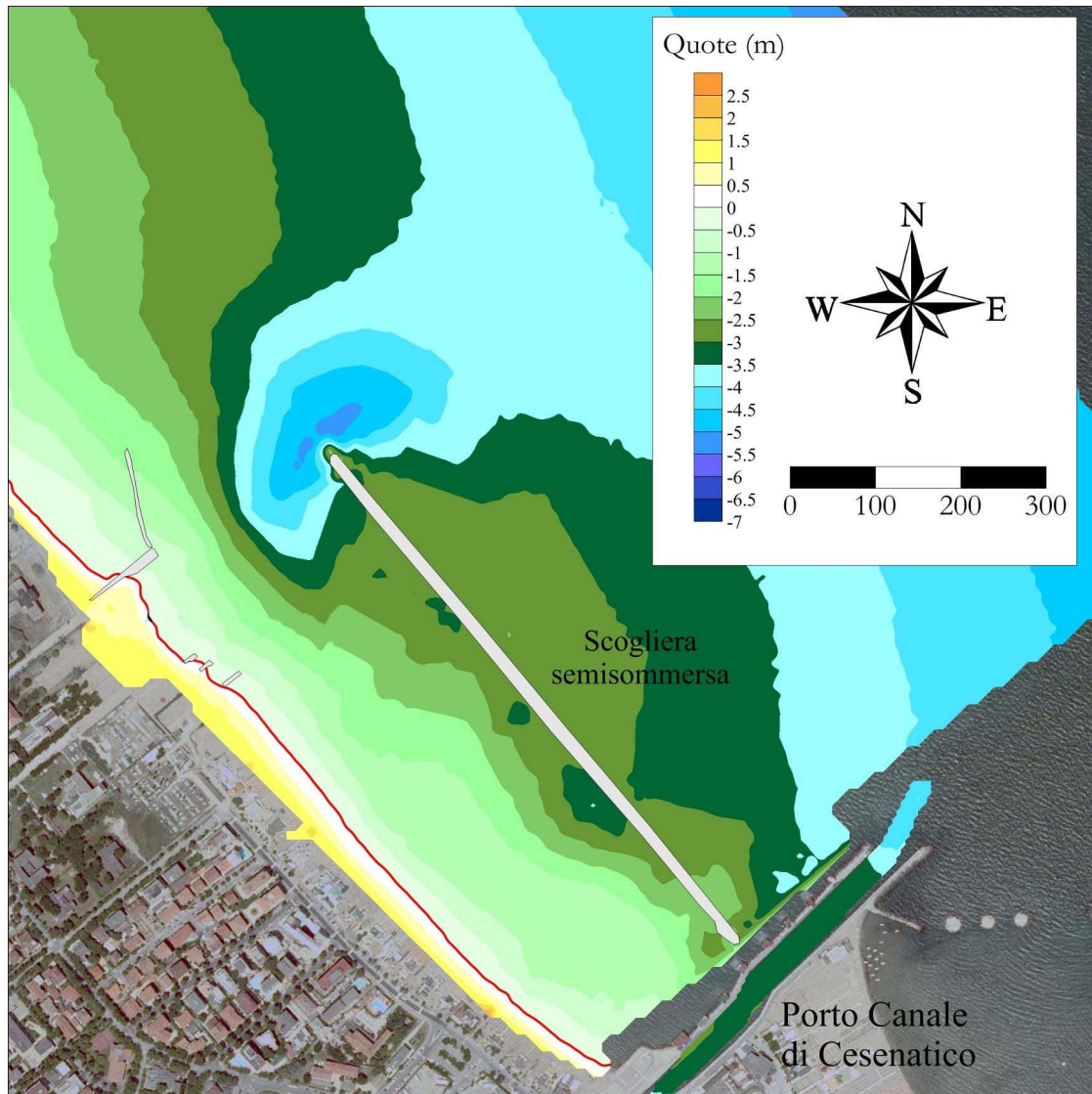
Si è in presenza quindi di fenomeni locali di non facile interpretazione. Comunque la sabbia fuoriuscita dai tratti in erosione si è accumulata sul fondale interno alla barriera.



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  $3,5 \div 4$  m e buche profonde  $6 \div 7$  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., Airoidi 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>.
- Prete 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.**