

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Tesi di Laurea Magistrale

Studio di settori del litorale emiliano-romagnolo  
soggetti ad interventi di ripascimento

Candidato:  
Camilla Bidini

Relatore:  
Prof.ssa Claudia Romagnoli

Correlatore:  
Dott.ssa Margherita Aguzzi

---

---

Sessione Marzo 2019  
Anno Accademico 2017-2018

## **ABSTRACT**

In questa tesi è stato condotto uno studio sull'evoluzione dei settori di Misano Adriatico e Riccione Sud in seguito agli interventi di ripascimento, attuati sul litorale emiliano-romagnolo da ormai 25 anni: si tratta di un'area dal delicato equilibrio, per questo da sempre oggetto di monitoraggio. Utilizzando rilievi batimetrici (di prima pianta, seconda pianta e primo monitoraggio), profili di spiaggia e dati relativi alle granulometrie sono state osservate le principali variazioni della linea di riva e di fondale caratteristici di questo tratto costiero nel periodo relativo all'intervento di ripascimento del 2016. I cambiamenti ed i trend evolutivi individuati si sono confermati il risultato dell'azione congiunta di fattori naturali e antropici, i quali hanno fortemente influenzato la situazione critica di questi settori di spiaggia.

# **INDICE**

	Pagine
<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1. Inquadramento</b>	<b>2</b>
1.1 Il litorale romagnolo: criticità e approcci di difesa	
1.2 Condizioni meteo-marine	4
1.3 Caratteristiche dei settori costieri oggetto di studio	7
1.3.1 Misano Adriatico	8
1.3.2 Riccione Sud	16
<b>2. Dati e metodi</b>	<b>24</b>
2.1 Data set disponibile	
2.1.1 Rilievo topo-batimetrico per il monitoraggio morfologico delle spiagge	25
2.1.2 Dati granulometrici	26
2.2 Metodologie adottate	29
2.2.1 Aggiornamento dei dati di clima del moto ondoso e delle mareggiate	
2.2.2 Dati topo-batimetrici	30
<b>3. Risultati</b>	<b>34</b>
3.1 Clima meteo-marino	
3.2 Evoluzione morfologica delle spiagge oggetto di intervento	39
3.2.1 Misano Adriatico	
3.2.2 Riccione Sud	48
<b>4. Discussione</b>	<b>58</b>
4.1 Misano Adriatico	
4.2 Riccione Sud	61
<b>Conclusioni</b>	<b>65</b>
<b>Bibliografia</b>	

## INTRODUZIONE

Gli interventi di ripascimento effettuati da oltre 25 anni lungo il litorale Emiliano-Romagnolo hanno come scopo la messa in sicurezza dei tratti di spiaggia sottoposti al forte fenomeno dell'erosione costiera mediante l'innalzamento della loro quota e l'allargamento dell'arenile, in modo da garantire la difesa della spiaggia stessa e del territorio retrostante. Per realizzare i progetti di ripascimento, dal 2002 sono state utilizzate sabbie prelevate da un giacimento sottomarino ubicato al largo della costa regionale (Regione Emilia-Romagna, 2015). L'utilizzo di sabbie provenienti da accumuli sottomarini si è rivelato più utile rispetto all'utilizzo di sabbie di cava (con le quali si era intervenuto in passato) e ha garantito:

- l'immissione di nuovi volumi di sabbia nel sistema litoraneo, a compensazione delle perdite per erosione e subsidenza;
- un basso impatto ambientale sul litorale, sul territorio e sulla rete stradale;
- un beneficio all'economia turistica, poiché si è garantita maggiore stabilità alla zona di balneazione.

Nel "Progettone 3" effettuato tra la fine di marzo e giugno 2016, sono stati movimentati 1,4 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia. L'intervento ha interessato 8 tratti costieri in erosione (Misano Adriatico, Riccione Sud, Rimini Nord e Igea Marina, Cesenatico Ponente, Milano Marittima Nord, Lido di Dante Sud, Punta Marina, Lido di Spina Sud) per una estensione complessiva di circa 11 km di spiagge.

In questa tesi si è analizzata la situazione pre-intervento e post-intervento (a 18 mesi di distanza) nelle spiagge di Misano Adriatico e Riccione Sud. A partire dai rilievi topobatimetrici sono state elaborate le relative mappe di prima pianta (pre-intervento), seconda pianta (a seguito dell'intervento) e del primo monitoraggio (nel 2017) e le corrispondenti mappe delle differenze di quota. L'analisi delle mappe in questione ha lo scopo di valutare lo stato morfologico delle spiagge, la loro evoluzione in seguito all'intervento di ripascimento, la distribuzione dell'apporto di sabbia e l'avanzamento/arretramento della linea di riva. Nel monitoraggio 2017 l'area di indagine è stata estesa anche oltre la zona in cui è stato sversato il materiale poiché, così facendo, è possibile valutare le dinamiche costiere dei sedimenti, anche al di fuori dell'area di sversamento. Sono state confrontate anche le granulometrie di campioni di sedimento prelevati sulla spiaggia emersa e sulla spiaggia sommersa, identificando alcune differenze tra prima e dopo l'intervento. I risultati dei prossimi monitoraggi permetteranno di estendere le analisi preliminari svolte in questa tesi ad un intervallo più lungo.

# 1. Inquadramento dell'area

## 1.1 Il litorale romagnolo: criticità e approcci di difesa

Il litorale emiliano-romagnolo è interamente costituito da spiagge basse e sabbiose, soggette a continue modificazioni dovute sia all'azione dei fattori naturali che all'intervento antropico (riduzione dell'apporto fluviale, subsidenza, modificazioni del trasporto litoraneo, ecc.). L'alimentazione delle spiagge è costituita dai materiali portati a mare dai numerosi fiumi e torrenti che vi sfociano ad una distanza di 10-15 km l'uno dall'altro (Preti, Nigris, & Morelli, 2011). Questo litorale beneficia anche degli apporti di sedimento "esterni", provenienti dall'erosione della falesia di Gabicce, a sud, e dai rami meridionali del delta del Po, a nord. La direzione prevalente del trasporto solido litoraneo è da sud verso nord (Fig. 1.1).

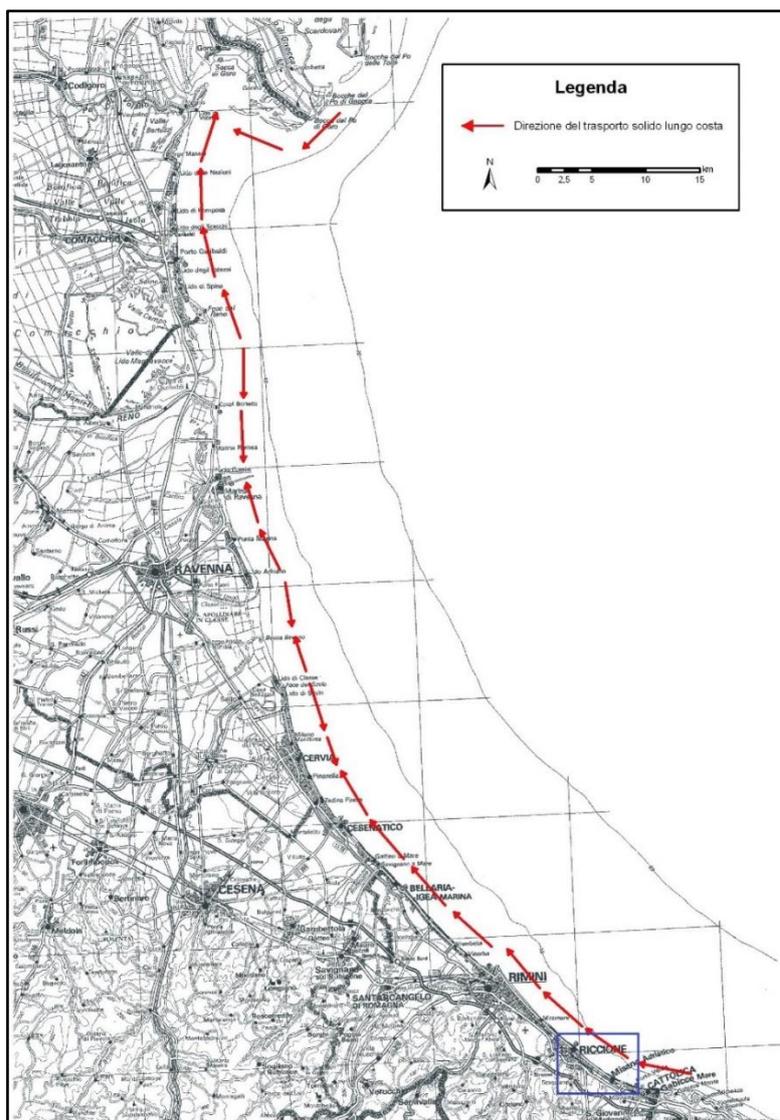


Figura 1.1 - Mappa del litorale emiliano-romagnolo. Le frecce indicano la direzione del trasporto solido lungo la costa. (Da Preti et al. 2011, modificato). L'ubicazione di Misano e Riccione, oggetto di questa tesi, è indicata con il riquadro blu.

A partire dai primi decenni del '900 il litorale romagnolo è stato interessato dal fenomeno dell'erosione delle spiagge ad opera del mare. Per contrastare questo processo, sono state

realizzate tra il 1932 e il 2007 più di 65 km di difese rigide, tra cui circa 40 km di scogliere parallele emerse. Per ridurre gli impatti ambientali legati a questo tipo di opere di difesa, nel 1983 la Regione ha dato il via ai primi interventi di ripascimento. Per circa 20 anni sono state utilizzate prevalentemente sabbie di cave a terra poi, nel 2002, la Regione Emilia-Romagna ha realizzato il primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (“Progettone 1”), portando circa 800.000 m<sup>3</sup> di materiale su otto tratti di spiaggia distinti (Preti et al., 2011); Tab. 1.1. Interventi simili sono stati effettuati nel 2007 e nel 2016 (rispettivamente “Progettone 2” e “Progettone 3”).

Anno	Località	Lunghezza (m)	Volume di sabbia (m <sup>3</sup> )	Monitoraggio
2002	Misano, Riccione, Igea M., S. Mauro, Gatteo, Zadina, Milano Marittima, L. di classe	8.875	793.900 (89,4 m <sup>3</sup> /m)	2003 - 2005
2007	Misano, Riccione, Igea M., Cesenatico Ponente, Milano Marittima, L. di Dante, Punta M.	8.410	790.300 (95,6 m <sup>3</sup> /m)	2007 - 2009
2016	Misano, Riccione, Rimini, Igea M., Cesenatico, Milano Marittima, L. di Dante, Punta M., L. di Spina	9.900	1.200.00 (121 m <sup>3</sup> /m)	2017 – in corso

*Tabella 1.1 - Sintesi degli interventi di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale mediante ripascimento con sabbie sottomarine.*

Al fine di riscontrare il trend evolutivo di ciascun tratto, la Regione ER ha incaricato ARPA di effettuare il monitoraggio dei tratti interessati dal ripascimento. L’Area Mare e Costa di ARPA ha così messo a punto un progetto di monitoraggio delle otto spiagge oggetto di intervento articolandolo in varie campagne di rilievi (Preti et al., 2011).

Gli obiettivi principali del monitoraggio sono i seguenti:

- controllare l’evoluzione del profilo della spiaggia emersa e sommersa ed i relativi volumi di sedimento;

- rilevare le variazioni della linea di riva;
- definire entità e modalità di fuoriuscita della sabbia dalle aree di intervento;
- dare un giudizio sulla validità dell'intervento di ripascimento rispetto ad altre tipologie di opere di difesa.

Il progetto di monitoraggio prevede l'esecuzione di alcune indagini, quali: rilievi topobatimetrici, rilievi aerofotogrammetrici, prelievi di campioni di sedimento e analisi granulometriche, definizioni delle condizioni meteomarine del periodo (Preti et al., 2011). Il rilievo topo-batimetrico viene generalmente esteso almeno a 500 m a sud e a nord di ogni tratto oggetto di ripascimento e, verso mare, alla batimetrica dei 5 m. Il quadro conoscitivo ottenuto a partire dal confronto dei dati di ciascuna campagna è risultato di grande interesse, perché ha permesso di effettuare analisi e considerazioni sugli spostamenti della sabbia dentro e fuori l'area di intervento e di acquisire informazioni più generali sulle dinamiche del trasporto solido litoraneo, oltre che sul comportamento delle diverse opere di difesa (Preti et al., 2011). Nel par. 1.3 verranno sinteticamente riportati i risultati dei monitoraggi effettuati nel corso degli anni a Misano e Riccione.

## **1.2 Condizioni meteo-marine**

L'evoluzione di una spiaggia dipende essenzialmente dalle caratteristiche medie del moto ondoso incidente e dalle mareggiate che si sono succedute via via nel tempo. Per ottenere dati utili a definire queste caratteristiche e poter cogliere le variazioni stagionali e annuali delle grandezze misurate, occorre disporre di serie storiche di misure sufficientemente estese nel tempo. L'entità e l'andamento delle correnti litoranee sul litorale emiliano-romagnolo ed il regime del moto ondoso sono stati inizialmente ricavati dall'elaborazione di una serie storica pluriennale di rilievi ondometrici effettuati su una piattaforma dell'Agip, denominata PCB, localizzata al largo di Ravenna (Preti et al., 2011) e, in seguito, dalla boa di Ancona della Rete Ondometrica Nazionale (RON). Tuttavia questi dati non sono risultati pienamente rappresentativi delle condizioni meteo-marine davanti alla costa emiliano-romagnola, a causa della distanza che intercorre tra il punto in cui è installata la boa e il tratto di mare di interesse.

Per ovviare a questo, nel 2007 è stata installata una boa ondometrica (NAUSICAA), posta a 8 km al largo di Cesenatico, su un fondale di circa 10 m (Aguzzi et al., 2016). I dati sono acquisiti ogni 30 minuti e trasmessi alla banca dati della rete di monitoraggio meteo gestita dal Servizio Idro-Meteo-Clima (Arpa - SIMC). I dati semiorari rilevati dalla boa Nausicaa e raccolti nella serie storica fanno riferimento, in particolare, all'altezza significativa dell'onda ( $H_s$  in metri), alla direzione di provenienza (in gradi rispetto al nord), al periodo medio dell'onda ( $T_m$  in secondi) e al periodo di picco spettrale ( $T_p$  in secondi). Nonostante periodi di inattività della boa a causa delle manutenzioni e/o delle mancate trasmissioni, la disponibilità dei dati è piuttosto buona (Figura 1.2), con percentuali di dati rilevati mediamente superiore all'82% (Aguzzi et al., 2016). Tali dati hanno consentito di caratterizzare il regime del moto ondoso per la costa emiliano-romagnola a partire dal maggio 2007 (Figura 1.2):

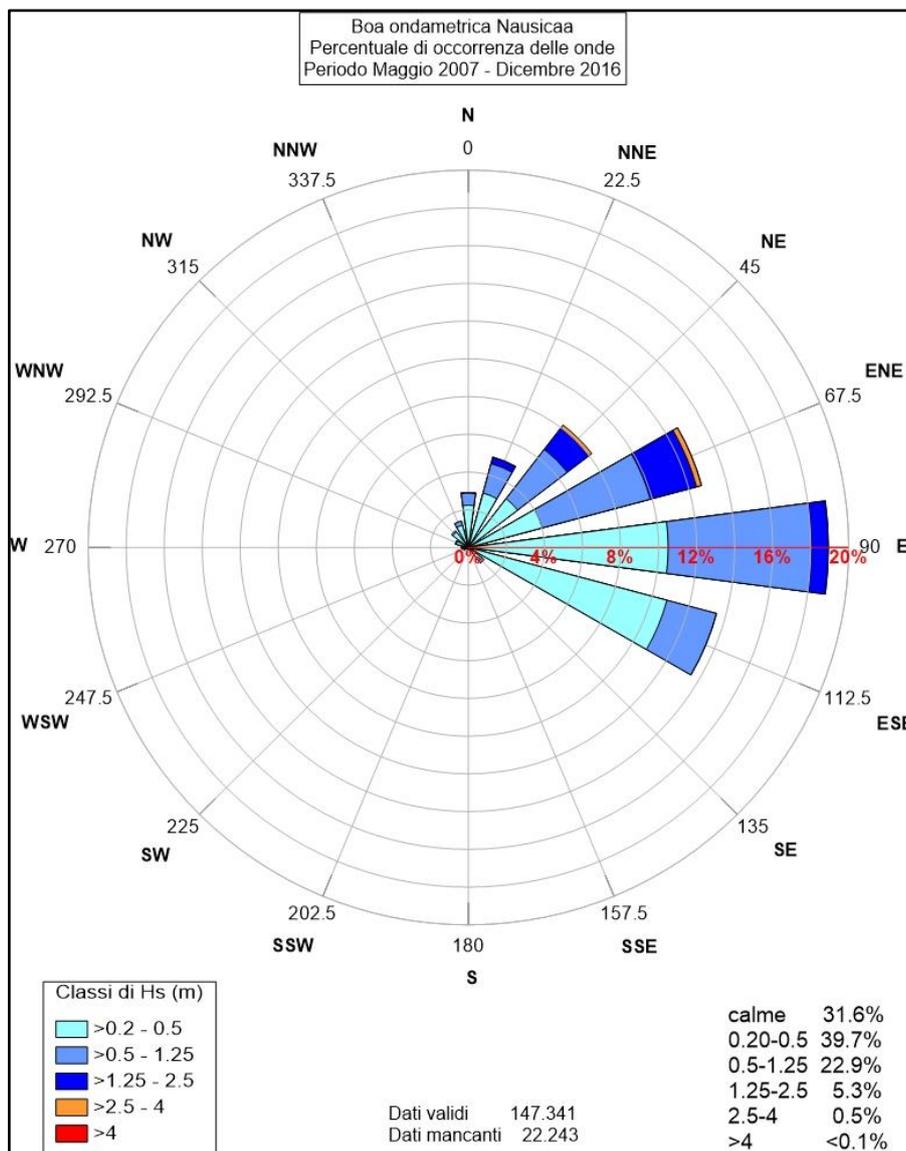
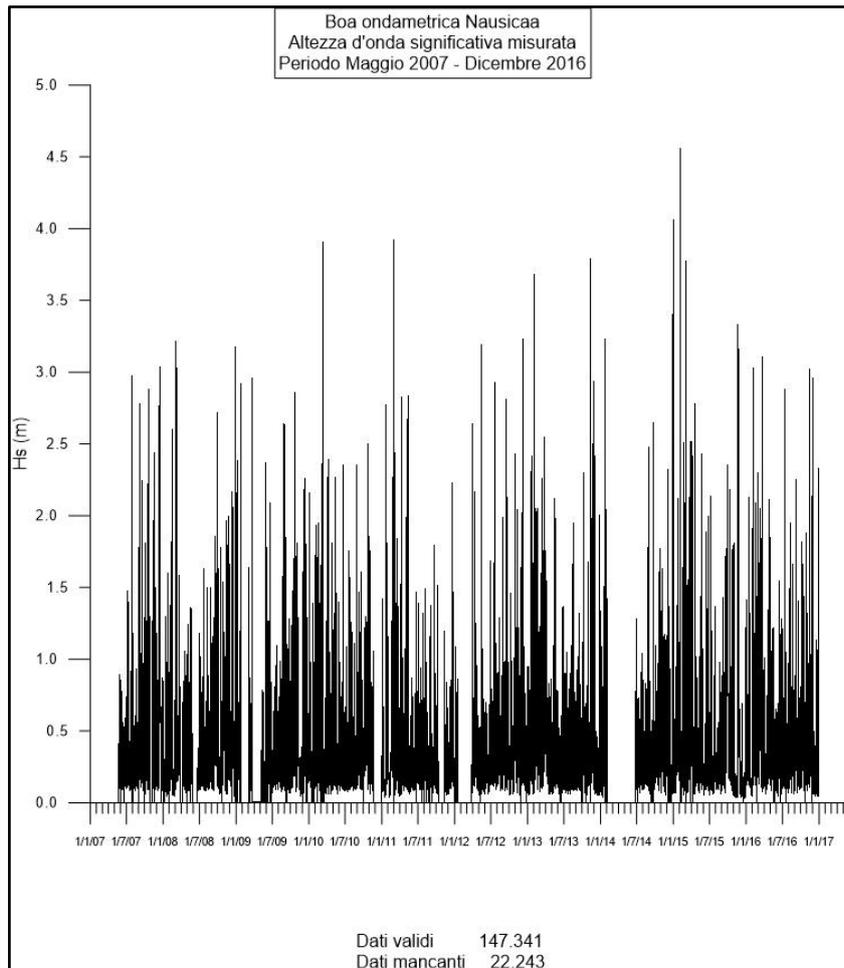


Figura 1.2 - Rosa delle onde ricavata dai dati ondometrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007 – dicembre 2016.

il periodo 2007-2012 è stato caratterizzato da condizioni di calma (cioè con onde di altezza inferiore ai 20 cm) per oltre il 30% dei casi misurati. Il settore da cui è pervenuto il maggior numero di onde, pari a oltre il 18% del totale, è stato quello E o di Levante (90° N), seguito dal settore ESE (112,5° N) con circa il 14% e dal settore ENE (67,5° N) con circa il 13% degli eventi (Aguzzi et al., 2016).



*Figura 1.3 – Boa Nausicaa. Altezza d’onda significativa misurata nel periodo marzo 2007 – gennaio 2017. Sono evidenti l’estensione e l’ottima copertura dei dati, ma anche i periodi in cui i dati sono assenti a causa del mancato funzionamento della boa. (Da Aguzzi et al., 2016, modificato).*

Per quanto riguarda la distribuzione delle onde rispetto alla loro altezza, la classe più frequente (oltre il 40%) è quella caratterizzata da onde basse ( $0,20 \leq H_s < 0,50$  m). Sui 5 anni si sono verificate 65 mareggiate, soprattutto nel periodo invernale, secondariamente in quello primaverile e autunnale (Aguzzi et al., 2016), con direzione prevalente da  $60^\circ\text{N}$  (Bora).

Grazie alla disponibilità di ARPAE, in questo lavoro di tesi si è voluto aggiornare lo studio del clima di moto ondoso, integrando le analisi già pubblicate in Aguzzi et al. (2016) con i dati ondometrici della boa Nausicaa acquisiti fino a giugno 2016, (quindi fino al termine del “Progettone 3”, cioè dell’intervento di ripascimento di cui si occupa questa tesi. Lo studio delle caratteristiche del moto ondoso sull’intero periodo maggio 2007-dicembre 2016 è stato inoltre completato con l’analisi del regime delle mareggiate per il periodo 2012-2016.

### 1.3 Caratteristiche dei settori costieri oggetto di studio

Per la descrizione delle caratteristiche dei litorali di Misano e Riccione, degli interventi di ripascimento e del relativo monitoraggio, si fa riferimento a Preti et al. (2011a e 2011b) da cui sono derivate le informazioni nelle pagine seguenti. Le spiagge di Misano (zona pennelli) e Riccione Sud sono state infatti oggetto di monitoraggio topo-batimetrico sia nell'ambito del "Progettone 1" che del "Progettone 2". I dati così raccolti hanno permesso di studiare, negli 8 anni che vanno dal 2002 al 2009, il processo evolutivo di queste spiagge e di ottenere risultati concreti sulla efficacia delle strategie gestionali fin ad ora adottate basati sulle considerazioni delle dinamiche locali. Oltre allo studio topo-batimetrico è stata effettuata un'analisi anche dal punto di vista granulometrico (Fig. 1.4). In particolare, sulla base dei campionamenti del 2012, a Riccione la maggior percentuale in peso del sedimento presente sulla spiaggia emersa e sommersa è costituita da sabbia fine, mentre a Misano il sedimento risulta costituito anche da sabbia grossolana.

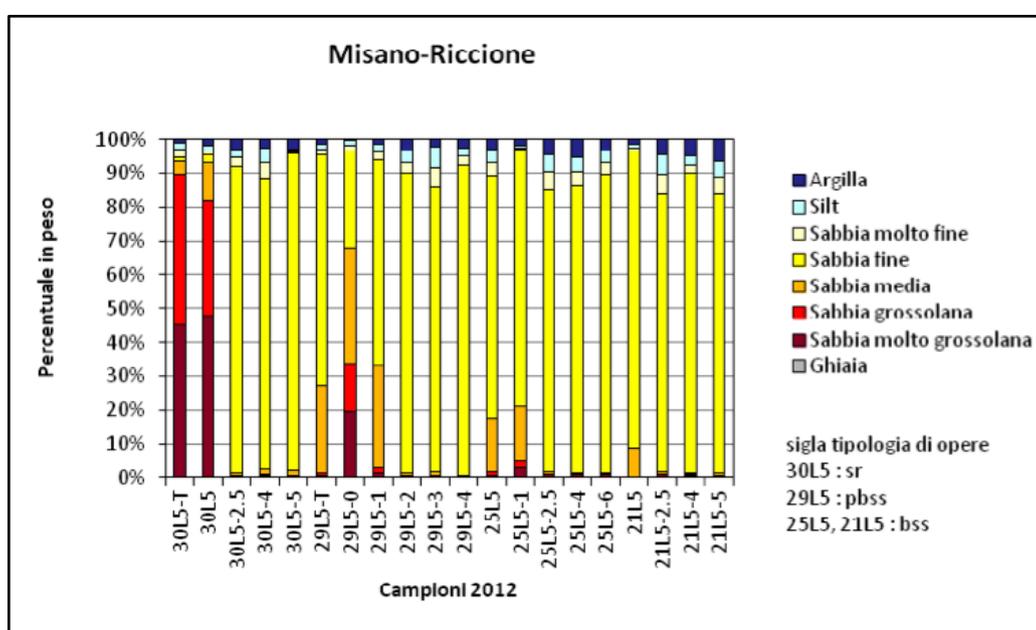


Fig. 1.4 – Caratteristiche granulometriche dei campioni prelevati nel 2012 lungo le sezioni di spiaggia emersa e sommersa a Misano (sezioni 30L5 e 29L5) e Riccione (sezioni 25L5 e 21L5) (Aguzzi et al., 2016).

Sulla base delle analisi granulometriche dei sedimenti campionati nel 2008 e nel 2009 sulle spiagge in questione, sono anche riportati i principali parametri granulometrici (Tab. 1.2).

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

Tabella 1.2 – Diametro medio, coefficiente di cernita e asimmetria dei sedimenti campionati a Misano e Riccione, negli anni 2008 e 2009, (Preti, et al., 2011).

Dai dati si intuisce come le sabbie di Riccione siano più classate rispetto alla zona di Misano, nonostante su entrambe le zone si può osservare una chiara diminuzione della granulometria con l'aumentare della profondità e a Misano è presente una maggiore variazione del diametro medio, dovuta al fatto che si tratta di una zona protetta con opere rigide.

### 1.3.1 Misano Adriatico

Il litorale del Comune di Misano si trova nella parte più a sud della costa emiliano-romagnola, a 2,5 km a nord del confine con la Regione Marche (Fig. 1.1). Il fronte a mare del comune di Misano si estende per 3,2 km ed è interamente protetto da opere rigide realizzate a partire dagli anni '70 (Fig. 1.5). Partendo da sud, a Porto Verde è presente una spiaggia lunga 150 m protetta da 2 pennelli e da una scogliera sommersa, seguono una scogliera radente lunga circa 200 m, un tratto di circa 1.6 km protetto da 26 pennelli in roccia lunghi 60 m, distanti 60 m l'uno dall'altro e, più a nord, 7 scogliere parallele prossime alla riva. Col passare degli anni la politica di gestione dell'area è cambiata e si è optato per interventi di ripascimento e per la realizzazione di una barriera sommersa in sacchi, posta su un fondale di 3 m (alta 1,5 m, parallela alla costa da cui dista circa 200 m). Tra il 1983 ed il 2001, infatti sono stati apportati 36.000 m<sup>3</sup> di materiale sabbioso i cui benefici, tuttavia, hanno avuto un effetto breve. I fattori che contribuiscono alla perdita di materiale della spiaggia sono da ricercare nell'insufficiente alimentazione naturale e nell'azione riflettente dei pennelli, poco distanziati tra loro. Inoltre la spiaggia, attualmente costituita da sabbia, in origine era formata da sabbia e ghiaie che venivano trasportati a mare dal fiume Conca: questo sfocia in corrispondenza del confine meridionale del Comune di Misano e, a partire da metà degli anni '70, è stato sbarrato a 3 km dalla foce con una diga, a causa della quale il trasporto di sedimenti grossolani al mare è stato bloccato.

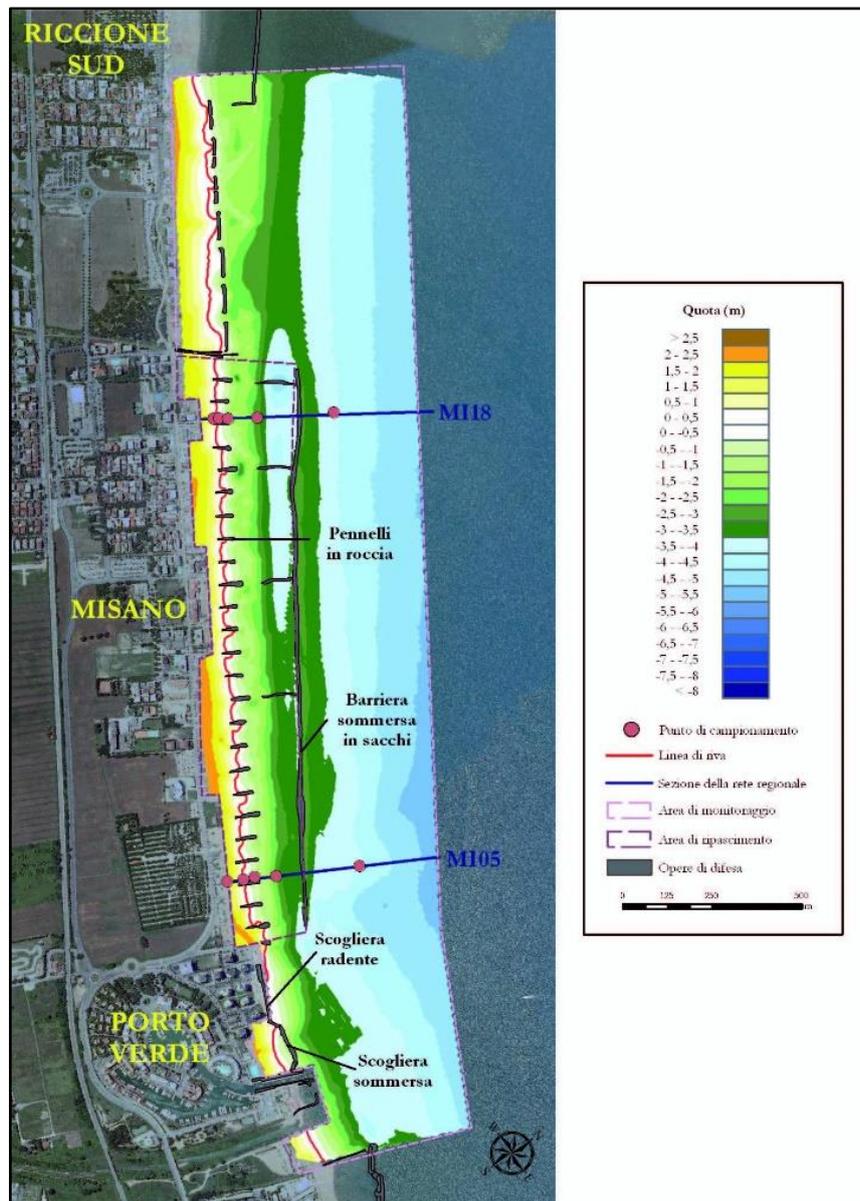


Figura 1.5 - Misano: carta batimetrica a Luglio 2009 (da Preti et al., 2011).

Con l'intervento di ripascimento del 2002 sono stati apportati qui circa 165.300 m<sup>3</sup> di materiale sabbioso (Tab. 1.3), soprattutto nei 600 m centrali della spiaggia dove la linea di riva è avanzata di 30 m, mentre nei tratti di spiaggia laterali ciò ha prodotto un avanzamento di 20 m (Fig. 1.4).

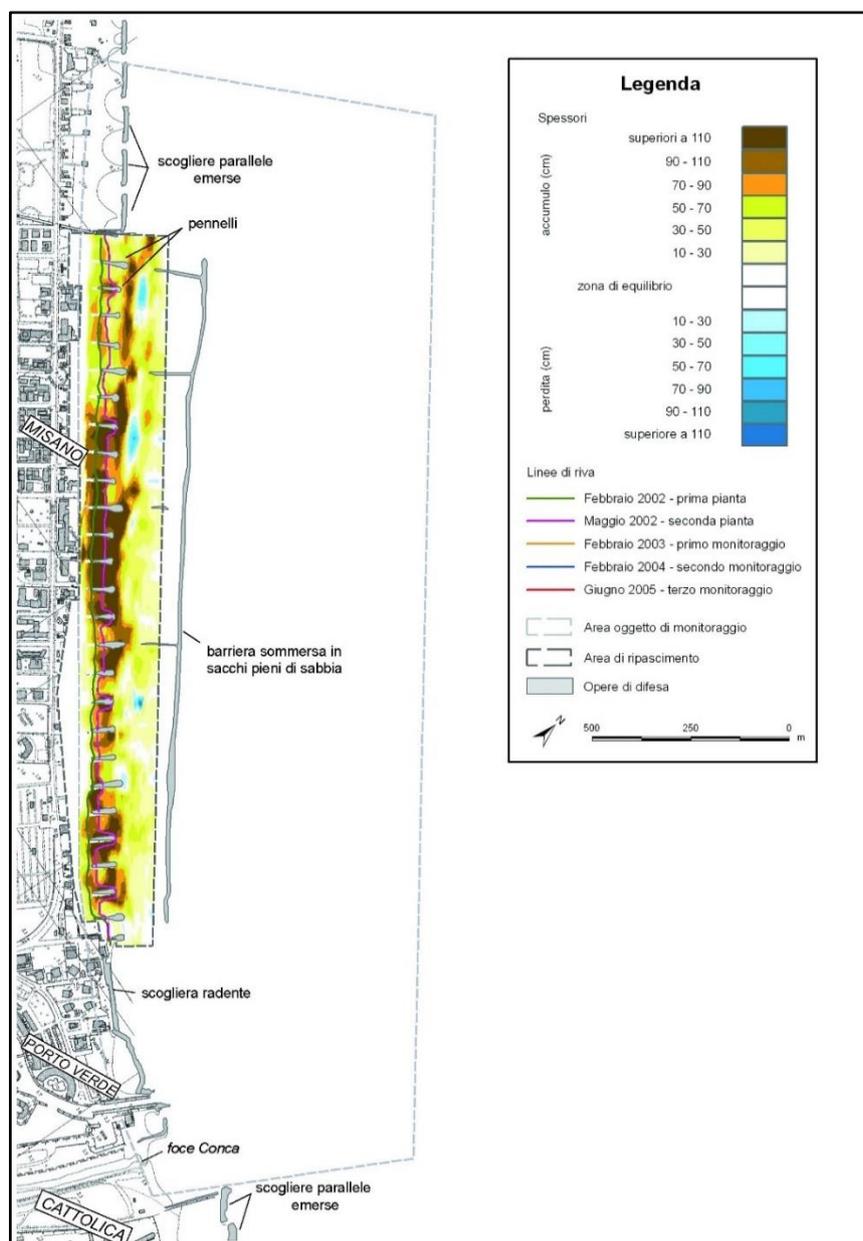


Figura 1.6 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (pre-intervento, Febbraio 2002) e seconda pianta (post- intervento, Aprile 2002). Da Preti et al., 2011a.

Le campagne di monitoraggio condotte da Arpa negli anni seguenti hanno fornito indicazioni molto utili per la gestione futura di questo tratto di costa il cui equilibrio è ormai strettamente legato ai ripascimenti artificiali. Dal confronto tra i rilievi di seconda pianta (Maggio 2002) e quelli relativi al primo monitoraggio (Febbraio 2003) emerge infatti un'accentuata migrazione delle sabbie dalla spiaggia emersa a quella sommersa (Fig. 1.7a). La linea di riva presenta un arretramento generalizzato a eccezione degli ultimi 400 m più a nord, dove non ha subito variazioni (Fig. 1.7a). Dal calcolo dei volumi di sabbia erosi e/o accumulati si è registrata una perdita di materiale pari a 43 % della sabbia apportata, considerando la batimetrica dei 3 m come limite del calcolo verso mare, mentre, estendendo il calcolo alla profondità di 4 m, le perdite totali risultano del solo 5% del materiale sversato.

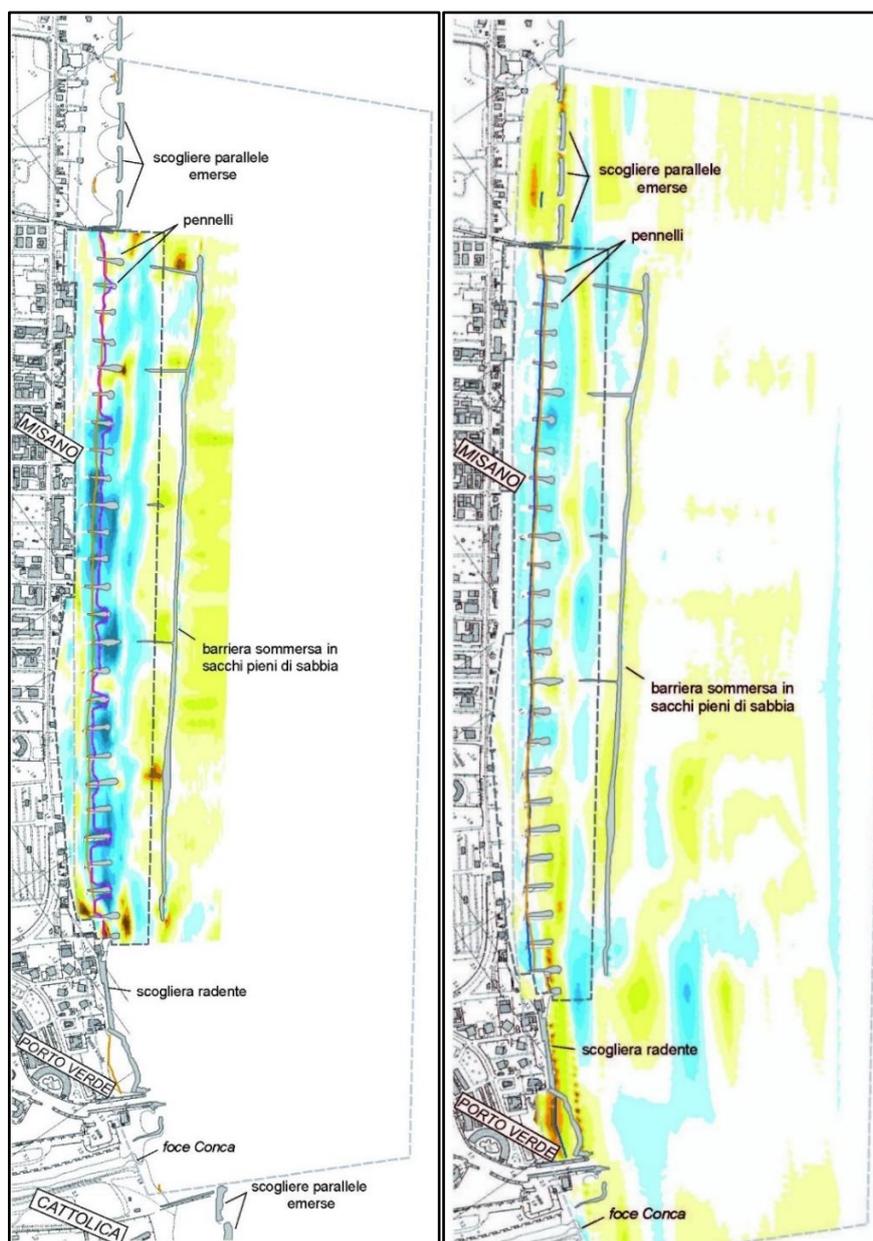


Figura 1.7 - Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi: a) di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003), e b) tra il primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004). Da Preti et al., 2011a.

Tra le cause che avrebbero favorito tale spostamento di materiale nella spiaggia sommersa in pochi mesi sono state considerate da Preti et al. (2011) anche una successione di mareggiate di forte intensità, verificatesi nel periodo Novembre-Dicembre 2002. Per compensare le perdite, tra Maggio 2003 e Gennaio 2004 è stato effettuato un piccolo ripascimento integrativo con sabbie prelevate da cave a terra (aventi una granulometria inferiore a quella originaria della battigia di questa zona), sia nel settore già oggetto di intervento che nella spiaggia di Porto Verde. Il calcolo dei volumi accumulati o erosi, effettuato confrontando tra loro i piani quotati ottenuti con i rilievi della prima (Febbraio 2003) e della seconda (Febbraio 2004) campagna di monitoraggio (Fig. 1.5b), evidenzia anche in questo caso come questi apporti abbiano a malapena compensato la perdita del 2002; la maggior parte delle sabbie sembra essersi spostata nella fascia di fondale

compresa tra i -3 m e i -4 m, mentre una parte è fuoriuscita dalla cella verso nord. Tuttavia, la linea di riva risulta pressoché invariata fatta eccezione per un arretramento di pochi metri nel settore centrale e in quello settentrionale (Fig. 1.7b).

Nel periodo compreso tra Marzo 2004 e Giugno 2005 sono stati eseguiti ulteriori ripascimenti utilizzando 50.000 m<sup>3</sup> di sabbia, nonostante i quali si conferma la tendenza generale della spiaggia di Misano all'erosione, con perdite che tendono a ridursi notevolmente se il limite della cella di calcolo viene spostato sulla batimetrica dei 4 m, anziché su quella dei 3 m. Dal punto di vista morfologico questo si traduce in un innalzamento generale del fondale verso il largo (Fig. 1.8a), mentre la linea di riva presenta un arretramento di 5-10 m esclusivamente nei 250 m più a nord nella zona di intervento.

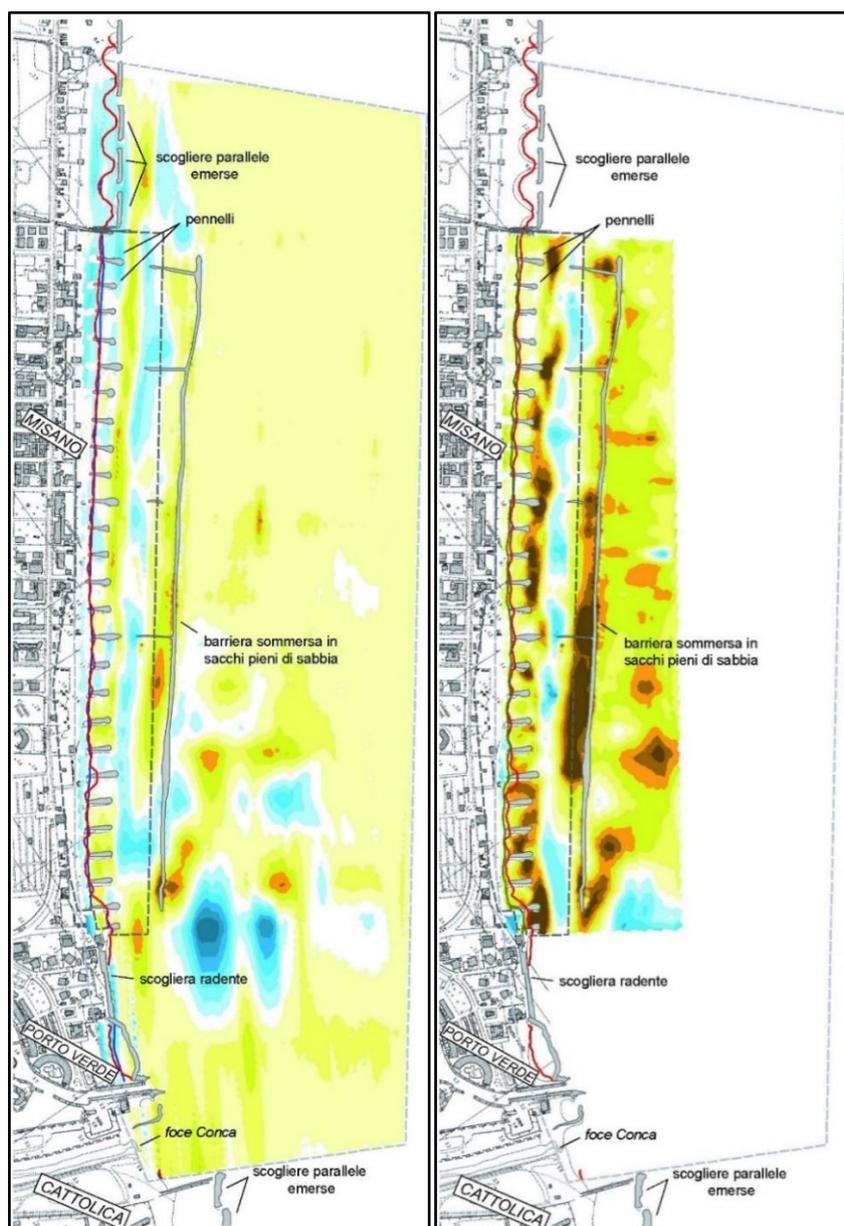


Figura 1.8 – Misano: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi: a) del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005); b) dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e terzo monitoraggio (Giugno 2005). Da Preti et al., 2011a.

Complessivamente, rispetto all'apporto totale di 257.300 m<sup>3</sup>, a distanza di 3 anni e mezzo dagli interventi di ripascimento del "Progettone 2002" è risultato che a Misano le perdite sono state pari al 66% se il limite della cella lato mare corrisponde alla batimetrica dei 3 m e del 13% se lo stesso limite è costituito dalla batimetrica dei 4 m (Fig. 1.8b). Gran parte della sabbia è quindi migrata verso la fascia compresa tra i -3 e i -4 m, anche oltre la barriera in sacchi. Nonostante il fitto campo di pennelli in massi e la barriera sommersa in sacchi, le perdite a Misano sono tra le più elevate del litorale regionale nello stesso periodo: superano infatti 30 m<sup>3</sup>/m all'anno su tutto il tratto. Secondo Preti et al. (2011), la scarsa efficacia a riva dei ripascimenti effettuati nel 2002-2005 a Misano sarebbe dovuta in primo luogo alla granulometria inadeguata dei sedimenti apportati con le varie fasi di ripascimento (diametro medio 0,18 mm) rispetto a quelle "tipiche" della battigia (diametro medio circa 0.26 mm) o alle sabbie grossolane, costituenti originali della spiaggia di Misano.

L'alto tasso di erosione del litorale ha reso necessari continui apporti di materiale per mantenere l'equilibrio della linea di riva nei 5 anni che separano i due Progettoni (Preti et al., 2011 b). Tra il 2002 ed il 2007, infatti, la Regione ha apportato 172.400 m<sup>3</sup> di materiale sabbioso, proveniente da fonti litoranee. Nella primavera del 2007, nell'ambito del Progettone 2, sono stati apportati 149.000 m<sup>3</sup> di sabbia nella zona dei pennelli di Misano, producendo un avanzamento della linea di riva di 30-40 m (Fig. 1.9a) e altri 27.300 m<sup>3</sup> di materiale sono stati portati sulla costa tra la fine del 2007 e la primavera del 2008.

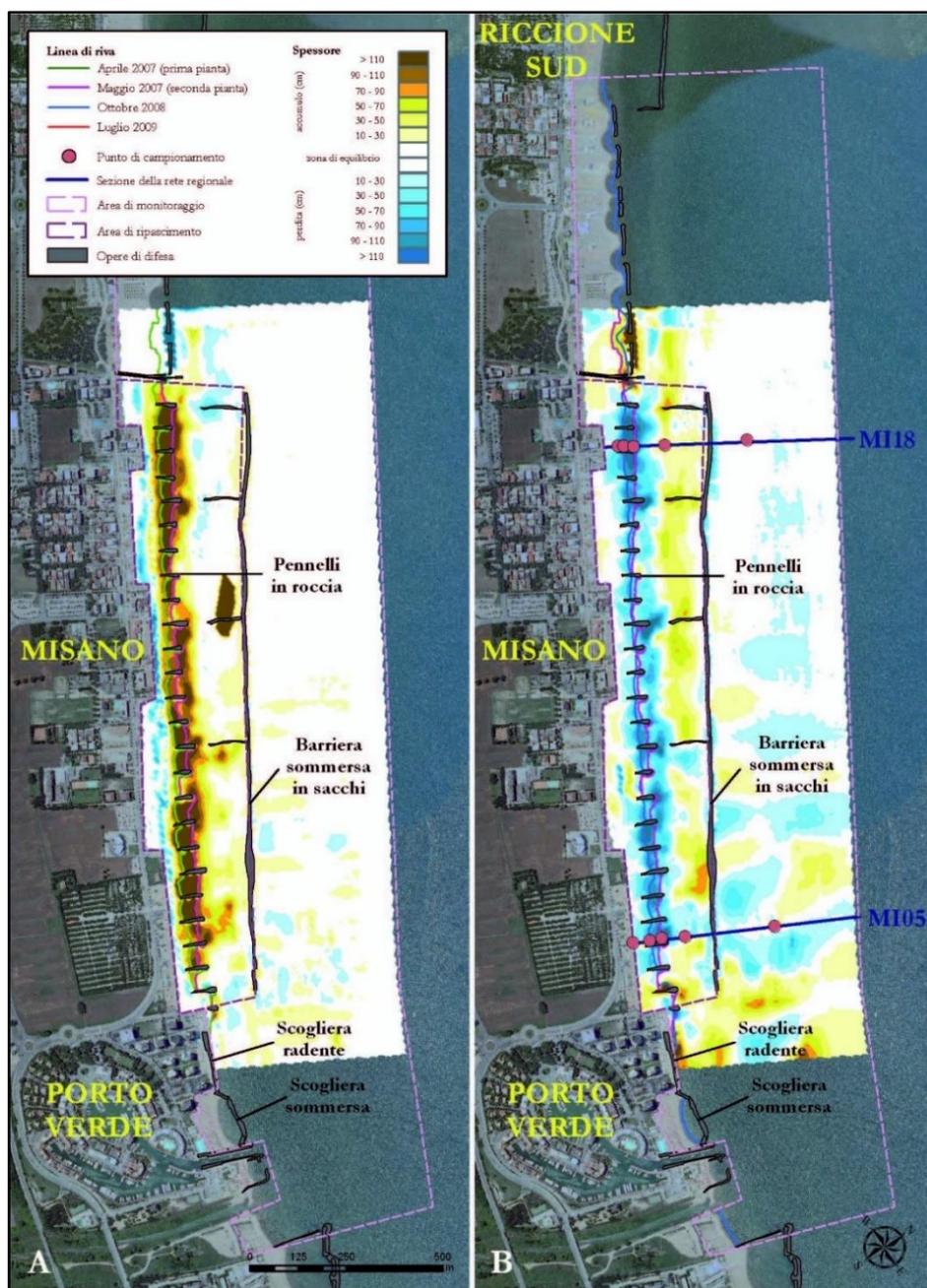


Figura 1.9 - Misano: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia ottenute dal: a) confronto tra i rilievi di prima (aprile 2007) e seconda pianta (maggio 2007); b) confronto tra i rilievi di seconda pianta (maggio 2007) e della prima campagna di monitoraggio (ottobre 2008).

Ad ottobre 2008 è stata realizzata la prima campagna di monitoraggio da ARPA ed è emerso che la perdita nell'area di ripascimento è stata di  $79.900 \text{ m}^3$  di cui gran parte è migrata, come in passato, dalla spiaggia emersa verso il fondale, sul lato interno della barriera in sacchi (Fig.1.10b). Invece, nella zona del fondale esterno alla barriera si è avuta un'alternanza di zone di accumulo e in erosione principalmente a sud, mentre a nord si osserva una situazione di equilibrio. La linea di riva è arretrata di circa 30 m nelle zone laterali dell'area di ripascimento e di 10 m nel tratto centrale.

Nel Luglio 2009, ARPA ha eseguito la seconda campagna di monitoraggio. Confrontando i rilievi con quelli della prima (Fig. 1.8a), risulta che nei 9 mesi trascorsi tra una campagna e l'altra il processo erosivo è continuato, con una perdita di  $16.800 \text{ m}^3$  nell'area di

ripascimento, sia sulla spiaggia emersa che su quella sommersa, fino alla testata dei pennelli. Come nelle annate precedenti, una parte di questa sabbia si è spostata dalla spiaggia al fondale davanti alla barriera in sacchi (processo confermato anche da dati sedimentologici, Preti et al., 2011) e si è osservato un innalzamento generalizzato su tutta la fascia di fondale interessata dai rilievi.

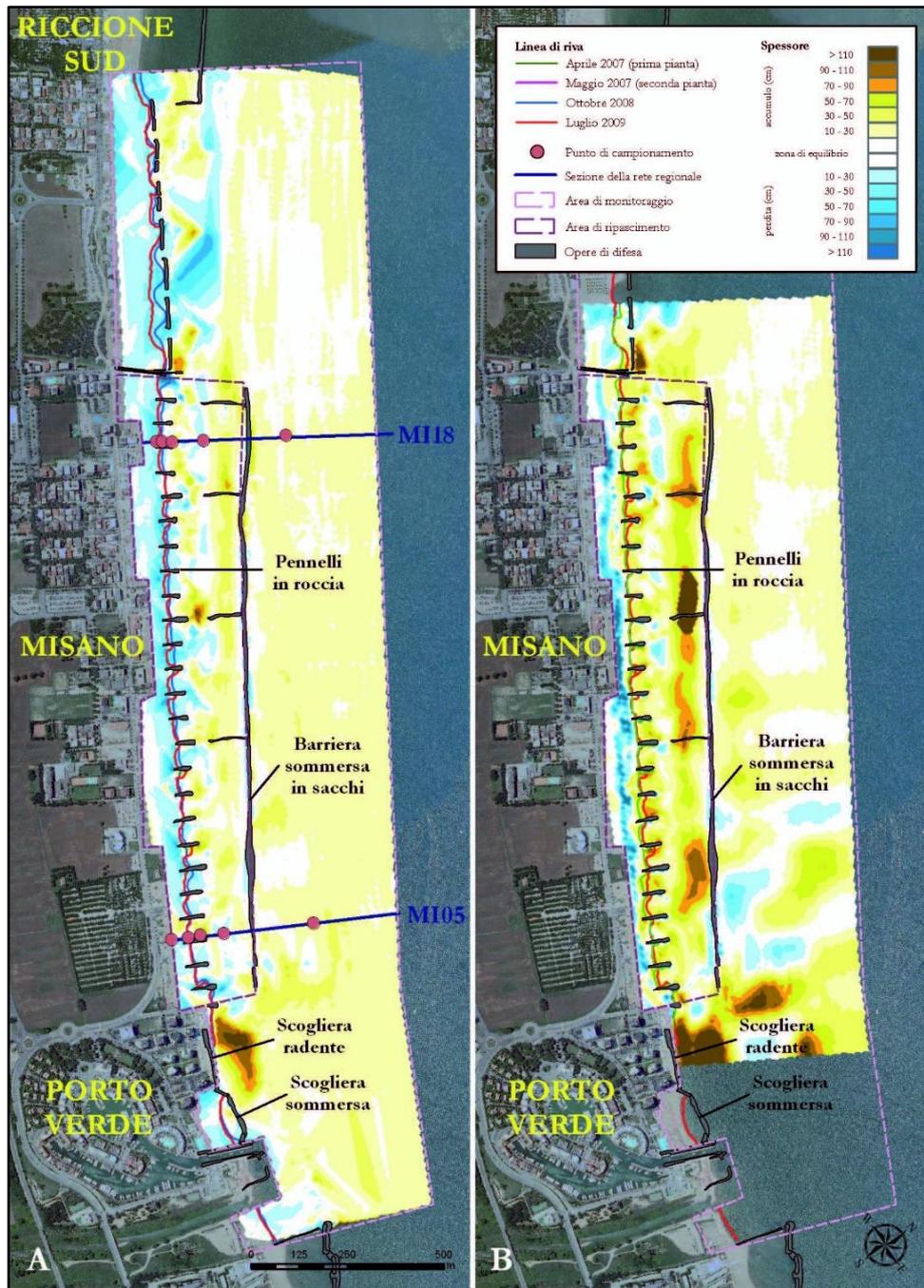


Figura 1.10 - Misano: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia ottenute dal: a) confronto tra i rilievi della prima (ottobre 2008) e seconda campagna di monitoraggio (luglio 2009); b) Confronto tra i rilievi di prima pianta e della seconda campagna di monitoraggio (ottobre 2009).

Secondo Preti et al. (2011) il 50% di materiale “mancante” al tempo del secondo monitoraggio rispetto all’intervento del 2007 non è quindi da considerarsi perso, poiché si

è accumulato in parte all'esterno della barriera in sacchi, contribuendo ad un innalzamento del fondale, in parte è stato trasportato verso nord dalla corrente litoranea, andando ad alimentare la spiaggia in erosione di Riccione Sud (Fig. 1.10b). La dinamica dei sedimenti appare quindi essere la stessa (ed il tasso di perdita rimane molto elevato), per l'evoluzione di entrambi gli interventi di ripascimento (2002 e 2007).

### 1.3.2 Riccione Sud

Il fronte mare di Riccione si estende per 6,2 km (Fig. 1.11) e, diversamente da Misano, è privo di opere di difesa rigide per scelta del Comune. Tuttavia, in seguito alla realizzazione di opere di difesa nei litorali adiacenti, il tratto più a sud della spiaggia è entrato in erosione verso la fine degli anni '70. Conseguentemente, per garantirne l'equilibrio, dal 1983 sono stati effettuati interventi di ripascimento periodici, accompagnati dalla costruzione di una barriera longitudinale sommersa di 3 km costituita da sacchi pieni di sabbia e posta a 150-180 m dalla battigia (Fig. 1.11), allo scopo di trattenere la sabbia portata a ripascimento.

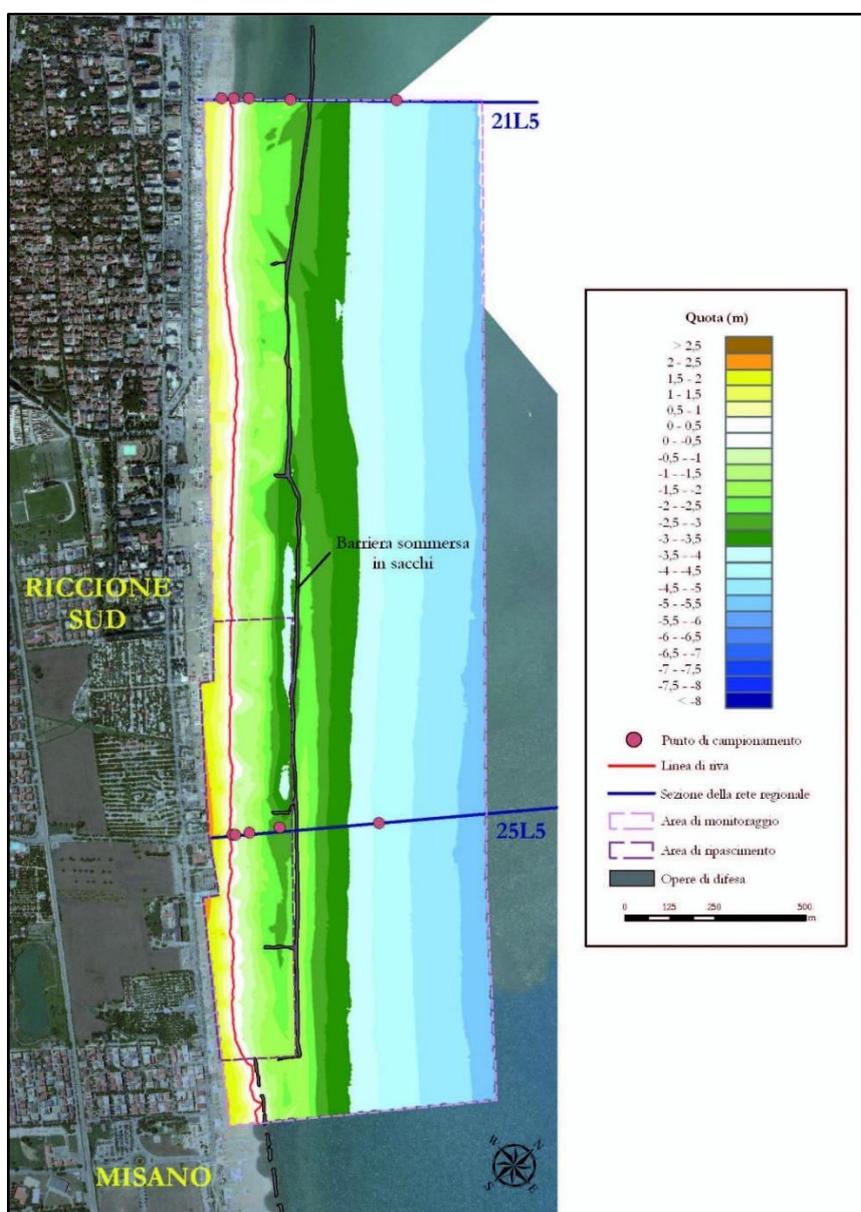


Figura 1.11 - Riccione: carta batimetrica a Luglio 2009. (Da Preti et al., 2011a).

Nel 2002, nell'ambito del primo Progettone (Tab. 1.x) è stato effettuato un intervento di ripascimento nel tratto più a sud del litorale, dove sono stati sversati 253.700 m<sup>3</sup> di sabbie sottomarine. Ne è conseguito un avanzamento della linea di riva qui di circa 50 m, mentre nel settore settentrionale la spiaggia ha subito un allargamento di 20-30 m (Fig. 1.12). Anche i primi metri del fondale hanno subito un innalzamento, soprattutto verso sud e, in minor misura, verso nord.

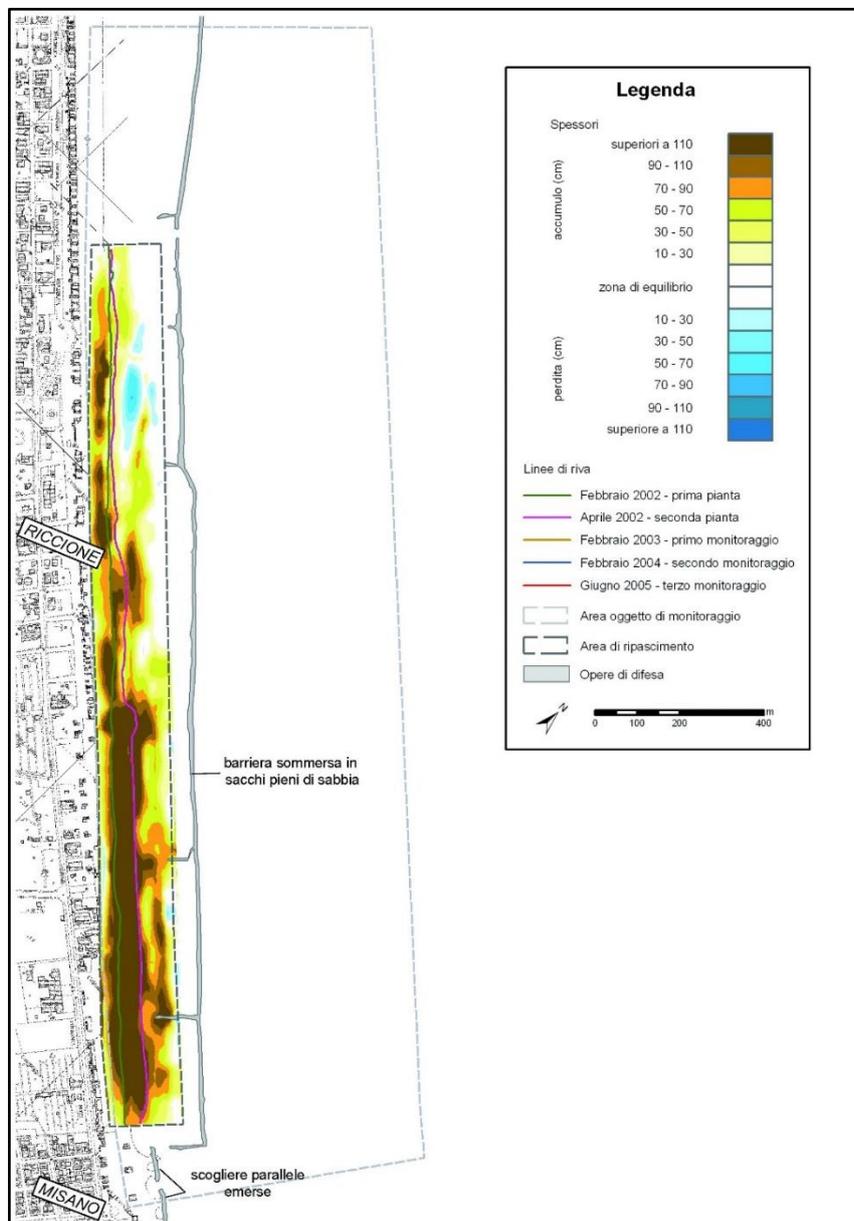


Figura 1.12 - Riccione: mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima (Febbraio 2002) e seconda pianta (Aprile 2002). Da Preti et al., 2011a.

I lavori di ripascimento sono terminati nell'Aprile 2002 e nel Febbraio 2003 è stata effettuata la prima campagna di monitoraggio, dalla quale è stato osservato come nel settore settentrionale si sia mantenuto un certo equilibrio, mentre nel tratto più a sud la linea di riva è arretrata di 20-25 m e dall'area di ripascimento (in tratteggio nella figura) si è verificata una fuoriuscita di materiale pari al 40% di quello apportato (Fig. 1.12a). Al termine del secondo monitoraggio (Febbraio 2004), invece, nell'area sommersa si è osservato un accumulo di sedimenti, in gran parte derivanti da alcuni apporti effettuati tra

Maggio 2003 e Gennaio 2004, mentre la linea di riva è in sostanziale equilibrio o, localmente, in avanzamento a nord e in arretramento a sud.

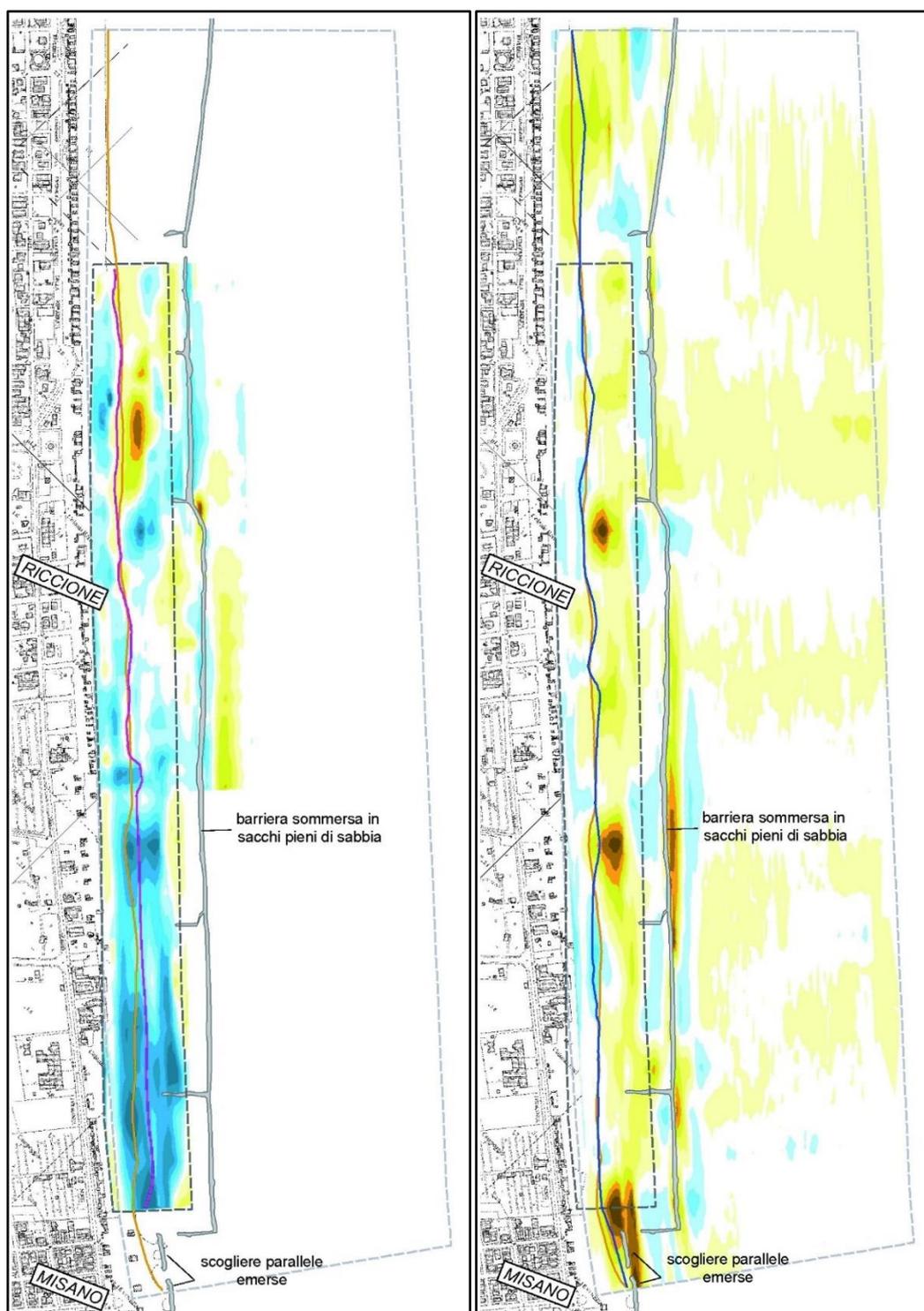


Figura 1.13 – Riccione: a) mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di seconda pianta (Aprile 2002) e del primo monitoraggio (Febbraio 2003). b) mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del primo (Febbraio 2003) e del secondo monitoraggio (Febbraio 2004).

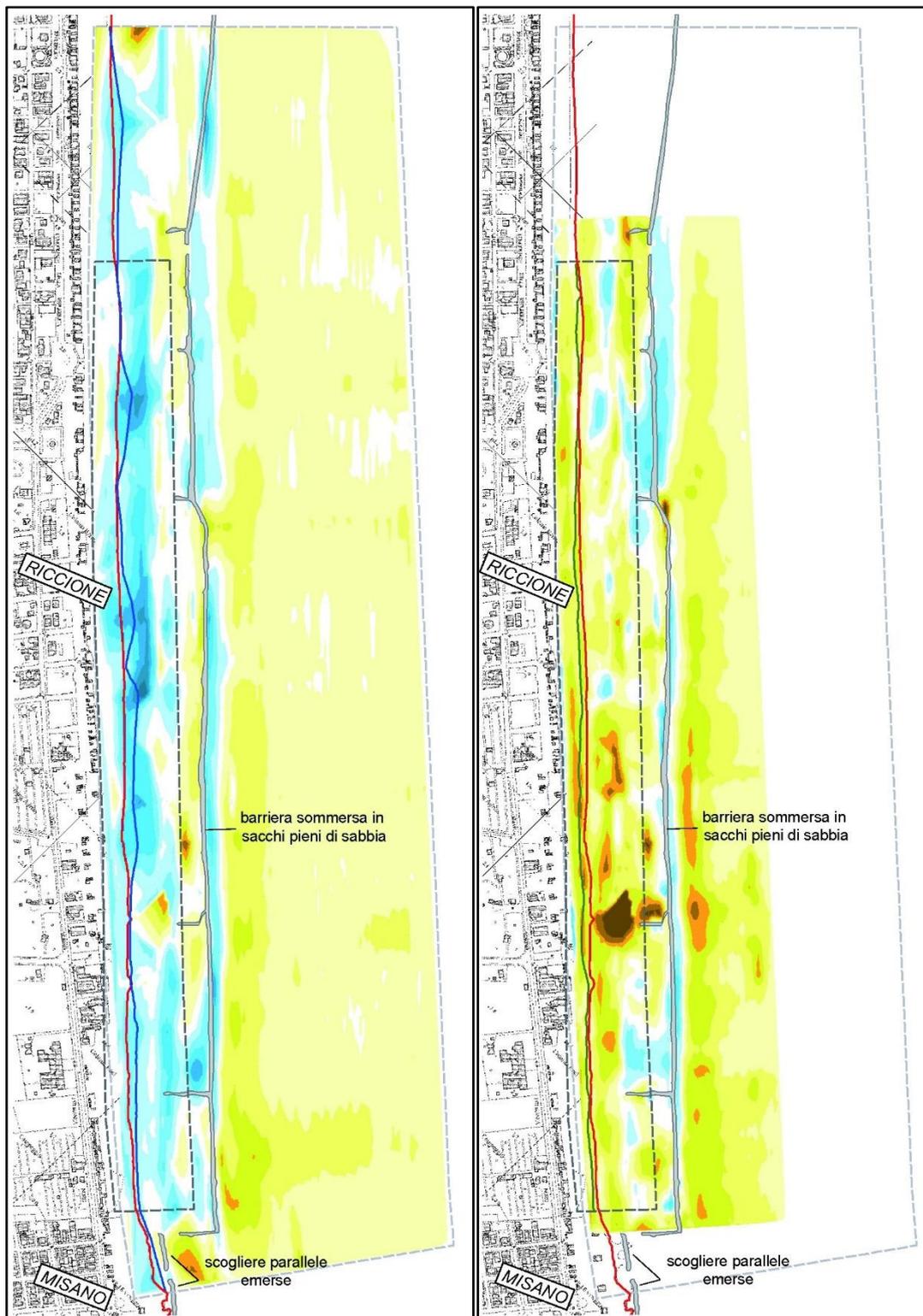


Figura 1.14 - Riccione: a) mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi del secondo (Febbraio 2004) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005). b) mappa degli accumuli e delle perdite di materiale ottenuta dal confronto dei rilievi di prima pianta (Febbraio 2002) e del terzo monitoraggio (Giugno 2005).

Altre perdite si sono osservate nella terza campagna di monitoraggio, effettuata nel Giugno 2005 (Fig. 1.11b) nonostante tra Maggio e Dicembre 2004 siano stati apportati ulteriori quantità (circa 30.000 m<sup>3</sup>) di sabbia proveniente da cave a terra. Tali perdite sono abbastanza diffuse, omogenee e con poche zone in forte approfondimento posizionate

sulla spiaggia emersa, sulla prima parte di quella sommersa e a ridosso della barriera in sacchi (Fig. 1.13a). Alcuni accumuli sono invece presenti nella zona interna alla barriera e sui fondali esterni ad essa, dove si riscontrano innalzamenti di 30-40 cm, oltre all'innalzamento di alcuni decimetri di tutta la vasta area di fondale compresa tra le batimetriche dei 3 e dei 5 m (Fig. 1.13 quella rilevata nella seconda campagna di monitoraggio (Febbraio 2004, Fig. 1.14a; 1.14b).

Secondo Preti et al. (2011), la causa principale delle perdite di sedimento subite dall'area di intervento nei tre anni successivi al ripascimento (Fig. 1.11) è da ricercare nella variabilità delle condizioni meteo-marine all'epoca dei tre monitoraggi. Infatti la fuoriuscita di materiale pari al 40% di quello apportato con il ripascimento del 2002, registrata in occasione della prima campagna (Febbraio 2003), risulta analoga a quella verificatasi nello stesso periodo nella spiaggia di Misano Adriatico e pare imputabile all'eccezionalità del clima che ha caratterizzato gli ultimi mesi del 2002 e i primi del 2003. In questo periodo si sono verificate, infatti, numerose mareggiate, con acqua alta superiore al metro. In seguito alle buone condizioni meteorologiche nel 2003 e l'arrivo di sedimenti erosi dalla spiaggia di Misano si sarebbe invece riscontrato un bilancio positivo nella seconda campagna di monitoraggio (Febbraio 2004, Fig. 1.14) e nell'insieme del periodo (Fig. 1.14b).

sintesi, rispetto all'apporto totale di 295.400 m<sup>3</sup>, a distanza di 3 anni e mezzo, le perdite sul litorale di Riccione dopo il Progettone 1 del 2002 sono risultate pari al 35%. La forte deriva da sud verso nord dei sedimenti lungo costa fa sì che la porzione meridionale della costa di Riccione risulti la più sollecitata dall'erosione e quella settentrionale la più stabile. Dai conteggi effettuati da Preti et al. (2011 a) è emerso infatti che il tasso di perdita più alto si ha nei primi 500 m sottoflutto alle scogliere di Misano (45 m<sup>3</sup>/m\*anno), le perdite si riducono notevolmente allontanandosi dalle opere rigide (14 m<sup>3</sup>/m\*anno), mentre a 1 km dalle scogliere si raggiunge l'equilibrio di bilancio. Inoltre le spiagge difese con scogliere parallele emerse appaiono trattenere di più la sabbia, non avendo un forte set-up nella zona protetta, ma in presenza di mareggiate molto intense perdono comunque materiale attraverso i varchi (Preti et al., 2011).

L'evoluzione degli interventi seguenti è altrettanto significativa. In Nel 2007 sulla spiaggia di Riccione sud si erano accumulati 53.000 m<sup>3</sup> di sabbia provenienti dallo scavo di un parcheggio sotterraneo, a questi si sono aggiunti 105.000 m<sup>3</sup> di sabbia sottomarina con il "Progettone 2": nell'aprile 2007 questo materiale è stato distribuito in maniera uniforme su un tratto di 1200 m, favorendo l'avanzamento della linea di riva di circa 30-40 m (Fig. 1.15a).

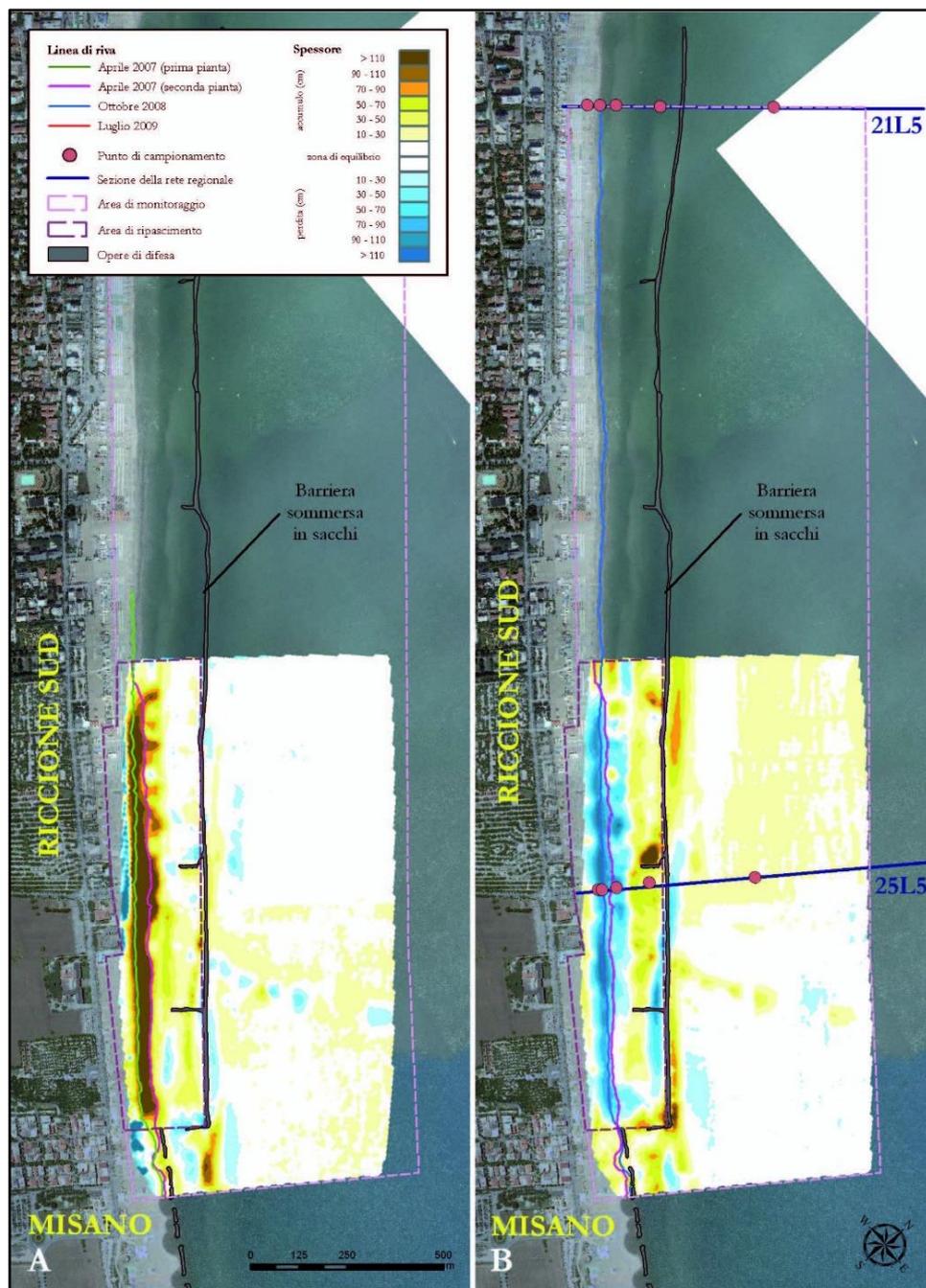


Figura 1.15 - Riccione Sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia ottenute dal confronto tra i rilievi: a) di prima e seconda pianta (Aprile 2007); b) di seconda pianta (aprile 2008) e della prima campagna di monitoraggio (ottobre 2008). Da Preti et al., 2011a.

Nella primavera 2008 sono stati apportati altri 26.700 m<sup>3</sup> di materiale sabbioso sui 600-700 m di litorale più a sud; in totale, quindi nella spiaggia esaminata sono stati versati circa 79.700 m<sup>3</sup> di sabbia. Nell'ottobre 2008 è stata effettuata la prima campagna di monitoraggio da ARPA, da cui è emerso che buona parte di questa è stata asportata dal moto ondoso e si è depositata al di là della barriera sommersa, determinando un rialzo del fondale esterno alla barriera a partire dai 750 m più a nord dall'ultima scogliera di Misano (Fig. 1.15b) Lo stesso fenomeno si osserva nei primi 400 m più a sud, area in cui la sabbia coinvolta è probabilmente quella proveniente dai ripascimenti effettuati nella zona dei

pennelli di Misano, per effetto della deriva sud-nord dei sedimenti. I due rilievi sono stati confrontati e, dal calcolo dei volumi, risulta che in 17 mesi si è verificata una perdita di 103.100 m<sup>3</sup> di materiale nell'area di ripascimento lunga 1200 m, che comprende spiaggia emersa e sommersa, fino alla barriera in sacchi (dove è rimasto il 43% del totale sversato). I 40.000 m<sup>3</sup> di materiale depositatosi sul lato esterno della barriera non vanno considerati persi: svolgono il ruolo fondamentale di nucleo di frangimento per le onde più alte, all'esterno della barriera (Preti et al., 2011). Inoltre, la linea di riva è arretrata di 20 m a sud e circa 30 m nella zona centrale dell'area di ripascimento, poiché questa è la zona in cui sono state riversate le maggior quantità di materiale sabbioso e, nonostante si tratti dell'area più prossima alle scogliere, si tratta della zona maggiormente soggetta ad erosione.

Nel Luglio 2009 è stata effettuata la seconda campagna di monitoraggio, anche per valutare gli effetti dello sversamento di ulteriori 53.100 m<sup>3</sup> materiale sabbioso, apportato sulla spiaggia di Riccione sud. Tuttavia, a 9 mesi dalla prima campagna, si rileva un'ulteriore perdita sia sulla spiaggia emersa che sulla spiaggia sommersa, con una perdita di 104.900 m<sup>3</sup> di materiale (ben 87 m<sup>3</sup> /m; Fig. 1.16a). Anche la spiaggia a nord del ripascimento appare essere stata interessata da forte perdita di materiale sia nella spiaggia emersa che in quella sommersa (Fig. 1.16a): tale andamento è stato ricondotto da Preti e al. (2011) alle condizioni meteomarine del periodo, caratterizzate da frequenti mareggiate da sud-est, che hanno instaurato forti correnti lungo costa, con direzione sud-nord. Conseguentemente anche la linea di riva ne ha risentito ed è arretrata di circa 20 m, nel tratto a sud, e solo di pochi m nel tratto a nord. Anche in questo caso si osserva un deposito localizzato sul lato esterno della barriera in sacchi (Fig. 1.16a).

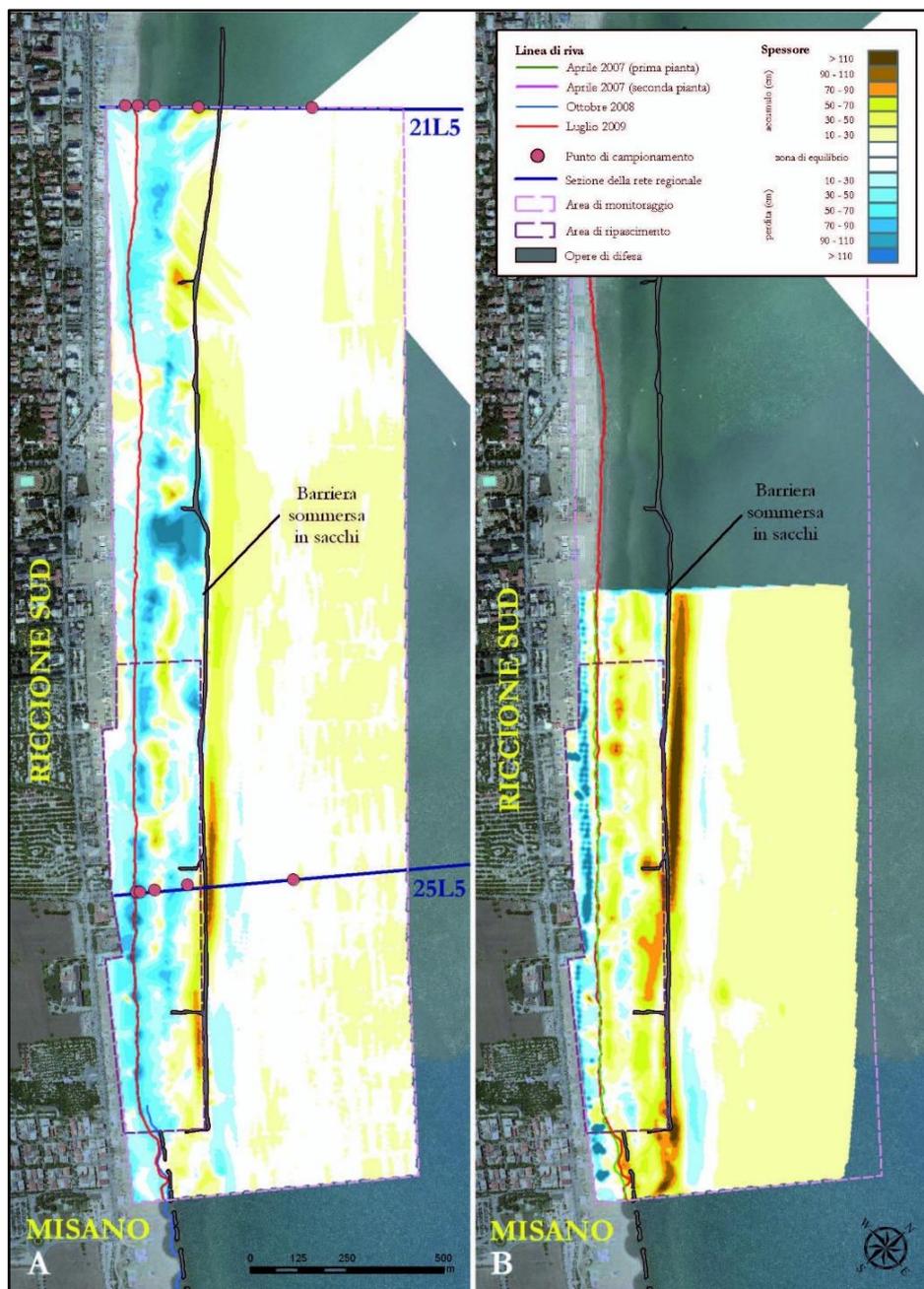


Figura 1.16 - Riccione Sud: mappe degli accumuli e delle perdite di sabbia ottenute dal confronto tra i rilievi: a) della prima (ottobre 2008) e seconda (luglio 2009) campagna di monitoraggio; b) di prima pianta (aprile 2007) e della seconda campagna di monitoraggio (luglio 2008). Da Preti et al., 2011a.

In sintesi, del materiale portato a ripascimento della spiaggia di Riccione Sud nel periodo 2007 – 2009 nell’ambito del “Progettone 2” (237.800 m<sup>3</sup>), nel Luglio 2009 erano rimasti solo 29.800 m<sup>3</sup>. Tuttavia, secondo Preti et al. (2011), considerare questo materiale perso sarebbe un errore poiché, come in passato, questo è andato ad alimentare le spiagge più a nord, come suggerito dalla presenza di barre sommerso che si spingono verso nord per 14 km, fino al molo sud del porto di Rimini.

## 2. Dati e metodi

Oggetto di questa tesi sono le spiagge di Misano Adriatico e Riccione Sud, le cui caratteristiche previste nel progetto esecutivo dell'intervento di ripascimento "Progettone 3" (2016) sono riassunte in tabella:

Località	Lunghezza del tratto da progetto (m)	Volume di sabbia previsto dal progetto (m <sup>3</sup> )	Volume medio per metro di spiaggia (m <sup>3</sup> /m)
Misano Adriatico	1.500	195.000	130
Riccione Sud	1.100	135.000	123

Tabella 2.1 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche dei settori di spiaggia di Misano e Riccione oggetto degli interventi di ripascimento del "Progettone 3".

### 2.1 Data set disponibile

Il data set utilizzato per effettuare l'analisi dell'evoluzione della spiaggia emersa e sommersa nei settori costieri in esame, in relazione all'intervento di ripascimento dell'aprile/maggio 2016, è relativo al periodo 2016 -2017 (Tab. 2.2)

Periodo	Località	Dati
Aprile-Maggio 2016	Misano Riccione	Rilievi di prima e seconda pianta (pre-post intervento)
Marzo 2016 Ottobre 2017	Misano Riccione	Prelievo campioni di sedimento e analisi granulometriche
Novembre 2017	Misano Riccione	Rilievi del primo monitoraggio

Tabella 2.2 – Tabella riassuntiva delle attività, coordinate da Arpae, con le quali si sono acquisiti i data set utilizzati per lo svolgimento della tesi.

Nell'ambito della realizzazione degli interventi di ripascimento, sono state infatti effettuate una serie di attività preliminari:

- Acquisizione (dalla Direzione Lavori) dei rilievi topo-batimetrici di prima e seconda pianta, riguardanti le spiagge oggetto di ripascimento;
- Analisi speditiva dei dati granulometrici risultanti dalla campagna di prelievi dei campioni (febbraio - aprile 2016) dalla ditta incaricata da Arpae ed analizzati da Arpae (Ravenna);
- Acquisizione dei rilievi di primo monitoraggio (Novembre 2017) e del secondo monitoraggio (Dicembre 2018), non ancora disponibili per le analisi.

Tali dati sono stati messi a disposizione per questo lavoro di tesi nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica tra Arpae e BiGeA.

### 2.1.1 Rilievo topo-batimetrico per il monitoraggio morfologico delle spiagge

La Rete Geodetica Costiera (RGC) viene utilizzata da Arpae, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria (DICAM) dell'Università di Bologna, per l'inquadramento plano-altimetrico dei rilievi topografici e batimetrici lungo il litorale regionale. La RGC è costituita da 40 vertici GPS stazionabili, di cui sono state determinate le coordinate plano-altimetriche (E, N, h) nel sistema di riferimento nazionale ETRS89-ETRF2000 (2008.0). Le monografie dei vertici sono attualmente reperibili sul sito cartografico di Arpae (link: <https://www.arpae.it/cartografia/>). La quota ortometrica (H) è stata ottenuta a partire dalla rete regionale di controllo della subsidenza rilevata da Arpa nel 2005, poi aggiornata al maggio 2011 con il modello di subsidenza, stimato con misure interferometriche. Usando come riferimenti i vertici della RGC, è stato inquadrato il rilievo topo-batimetrico delle spiagge in esame, applicando il sistema di riferimento ETRS89 – ETRF2000 (2008.0).

arpae		Regione Emilia-Romagna		PROVINCIA DI INGENGERIA CIVILE, TECNICA AMBIENTALE E DEI MATERIALI - SOGNA		
<b>Rete Geodetica Costiera per il Monitoraggio Topografico e Batimetrico - Vertici GPS stazionabili -</b>						
VERTICE:		<input type="text" value="PGFV0100"/>				Aggiornamento al 02/2018
Comune:	<input type="text" value="Comacchio"/>	Provincia:	<input type="text" value="Ferrara"/>			
Indirizzo:	<input type="text"/>	Località:	<input type="text" value="Porto Garibaldi"/>			
Ubicazione: <input paradiso"="" type="text" value="Molo sinistro in fondo all'inizio della zona pedonale di fronte al ristorante "/>						
Istituito da:	<input type="text" value="Arpa"/>	Anno:	<input type="text" value="1998"/>	Denominazione:	<input type="text" value="000650"/>	
Rete di appartenenza: <input type="text" value="Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi di Livellazione"/>						
Altra rete di appartenenza: <input type="text" value="Arpa - Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi GPS"/>						
Denominazione:	<input type="text" value="045"/>					
Inquadramento geografico						
Coordinate geografiche ETRS89-ETRF 2000 (2008.0) EPSG: 6706			Coordinate piane ETRS89-ETRF 2000-UTM 32N (2008.0) EPSG: 7791			
Lat (°):	<input type="text" value="44,67603360"/>	Long (°):	<input type="text" value="12,24533916"/>	Est (m):	<input type="text" value="757221,38"/>	
				Nord (m):	<input type="text" value="4952087,52"/>	
Quota ellissoidica	h (m):	<input type="text" value="42,11"/>	Data di acquisizione:	<input type="text" value="03/05/2017"/>		
Quota ortometrica	H (m):	<input type="text" value="1,84"/>	Data di riferimento:	<input type="text" value="05/2011"/>		

Figura 2.1 – Esempio di monografia dei vertici GPS stazionabili della RGC.

Nel caso dei dati utilizzati in questa tesi, a seconda della zona di spiaggia presa in esame, sono stati utilizzati diversi sistemi di rilievo:



Purtroppo non è stato possibile fare un confronto con i risultati del campionamento della campagna di monitoraggio post-intervento (autunno 2018), in quanto le analisi sono ancora in corso.



Figura 2.3 – Punti di campionamento relativi ai rilievi di prima pianta (in viola) e di seconda pianta (in verde).

Il prelievo è stato fatto sia sulla spiaggia emersa (tramite una paletta) che sui fondali (utilizzando una benna tipo Van Veen, Fig. 2.4 e 2.5). Per le operazioni di posizionamento piano-altimetrico è stato utilizzato un GPS differenziale (DGPS), accoppiato ad un ecoscandaglio singlebeam o multibeam, per la misura di profondità del fondale. In totale, a dicembre 2017, sono stati prelevati 20 campioni di sedimento dalla ditta Geocom che li ha consegnati alla Sezione Arpae di Ravenna per poter procedere all'analisi granulometrica così articolata:

- Determinazione della frazione sabbiosa (mediante la setacciatura) e la frazione fine (tramite il metodo della pipetta);
- Classificazione campioni secondo la scala granulometrica Udden-Wentworth;
- Calcolo dei parametri tessiturali secondo Folk and Ward (1957) per ciascun campione, usando il programma di calcolo Gradistat (Blott & Pye, 2001).



*Figura 2.4 – Imbarcazione utilizzata per i rilievi batimetrici e per il prelievo dei sedimenti dalla spiaggia sommersa.*



*Figura 2.5 – Benna Van Veen utilizzata per prelevare sedimento dal fondale.*

## 2.2 Metodologie adottate

### 2.2.1 Aggiornamento dei dati di clima del moto ondoso e delle mareggiate

Seguendo le procedure adottate da ARPAE (Aguzzi et al., 2016), nell'ambito di questa tesi la serie storica di dati ondometrici rilevati dalla boa *Nausicaa* è stata integrata con i dati dal 2012 al 2016. In particolare, nelle analisi vengono distinte due tipologie di climi:

- clima medio annuo: in cui la distribuzione delle percentuali di occorrenza è stata calcolata utilizzando tutta la serie storica disponibile;
- climi medi stagionali: per i quali la distribuzione delle altezze d'onda secondo la direzione è stata determinata su periodi più ridotti, associando i mesi delle quattro stagioni.

Sempre seguendo l'approccio di ARPAE, la determinazione del clima del moto ondoso fa riferimento ad una suddivisione delle altezze d'onda secondo i seguenti criteri:

- sono considerate di "calma" le onde con altezza significativa ( $H_s$ ) inferiore a 0,20 m;
- le altre sono state attribuite agli intervalli:

$$\begin{array}{lll} 0,20 \leq H_s < 0,50 & 0,50 \leq H_s < 1,25 & H_s \geq 4,00 \\ 1,25 \leq H_s < 2,50 & 2,50 \leq H_s < 4,00 & \end{array}$$

Le direzioni di provenienza delle onde sono attribuite a 16 settori angolari di  $22,5^\circ$  ciascuno, centrati con le direzioni rispetto al Nord geografico.

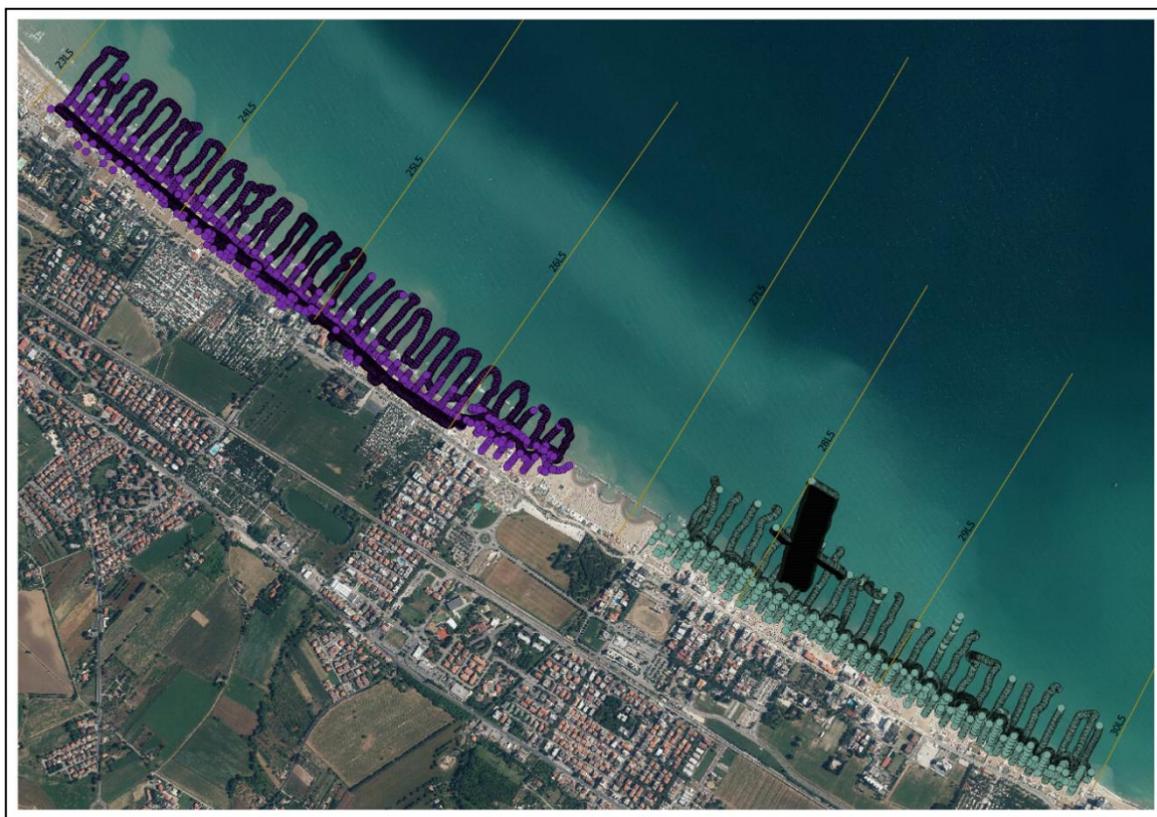
Lo studio delle caratteristiche del moto ondoso è stato completato con l'analisi del regime delle mareggiate, allo scopo di evidenziare gli "eventi di mareggiata" nel periodo 2012 - 2016 secondo l'approccio utilizzato da ARPAE, cioè intesi come "eventi di altezza significativa superiore a 1,5 m che abbiano durata di almeno 6 ore" (Aguzzi et al., 2016). Per considerare due eventi distinti occorre che il moto ondoso abbia avuto un'altezza sotto-soglia per un periodo di almeno 3 ore consecutive tra le due mareggiate. Di ogni mareggiata individuata sono stati ricavati i parametri significativi, quali giorno e ora di inizio e fine della mareggiata, durata in ore, direzione media di provenienza, altezza d'onda media e altezza massima dell'evento, contenuto energetico, oltre all'andamento del livello del mare durante l'intervallo di tempo della mareggiata (dati del mareografo di Porto Corsini e appartenente alla Rete Mareografica Nazionale). Per quanto riguarda la classificazione e la quantificazione del contenuto energetico delle mareggiate, si è seguita la classificazione utilizzata da Aguzzi et al. (2016), Tab. 2.2), tramite l'integrazione del quadrato dell'altezza d'onda significativa ( $H_s^2$ ) entro l'intervallo di tempo in cui si è sviluppato il fenomeno (durata in ore); in tale maniera il contenuto energetico è espresso come  $m^2h$ .

Classe mareggiata	Contenuto energetico $m^2h$
I debole	$E \leq 58,4$
II moderata	$58,4 < E \leq 127,9$
III significativa	$127,9 < E \leq 389,7$
IV severa	$389,7 < E \leq 706,9$
V estrema	$E > 706,9$

Tabella 2.3 – Classificazione delle mareggiate secondo il contenuto energetico (da Aguzzi et al., 2016).

### 2.2.2 Dati topo-batimetrici

I dati dei rilievi topo-batimetrici di prima e seconda pianta (Fig. 2.6 e 2.7) sono stati acquisiti dalla ditta che ha effettuato il rilievo e restituiti come nuvola di punti, cioè un file grid, relativo alla zona d'interesse. Per gli elaborati grafici di questa tesi è stata effettuata un'operazione di selezione tramite il comando "buffering" usando il software QGIS: così facendo è stata realizzata l'interpolazione tra le quote e si sono ottenuti i profili trasversali alla linea di riva delle spiagge di Misano e Riccione che sono stati confrontati per le varie fasi di rilievo, e con sezioni topo-batimetriche precedentemente acquisite dalla RGC.



*Figura 2.6 – Tracce dei rilievi di prima pianta delle spiagge di Misano e Riccione.*

L'elaborazione dei profili di spiaggia emersa e sommersa ha riguardato, infatti, le sezioni perpendicolari alla costa di cui è disponibile una serie "storica" di rilievi e quelle più rappresentative dei settori presi in esame (Fig. 2.8).

Infine, a partire dai rilievi topo-batimetrici sono state elaborate col software Surfer 14 le relative mappe di prima e seconda pianta e la corrispondente mappa delle differenze di quota (tra prima e dopo l'apporto della sabbia). L'analisi di queste mappe permette di valutare lo stato morfologico delle spiagge sia prima che dopo il ripascimento, la distribuzione della sabbia sversata, l'avanzamento della linea di riva e le modificazioni del fondale.

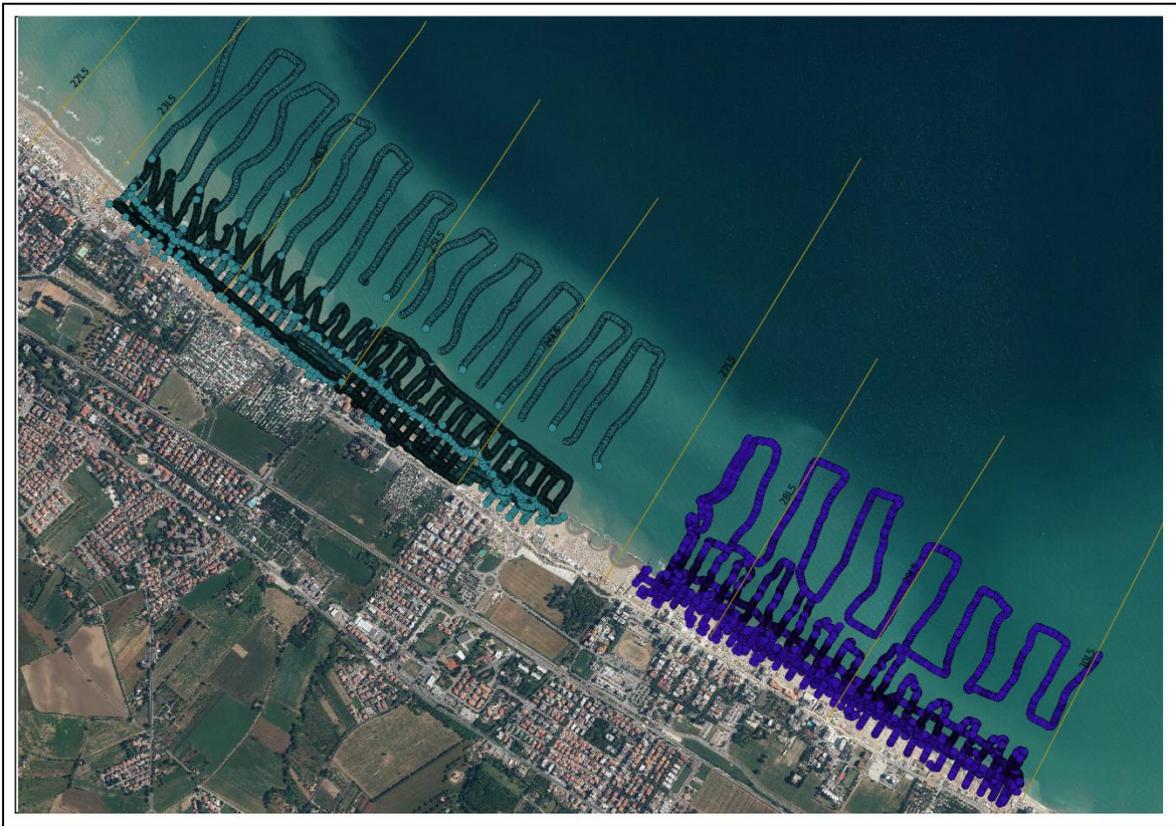


Figura 2.7 – Tracce dei rilievi di seconda pianta delle spiagge di Misano e Riccione.

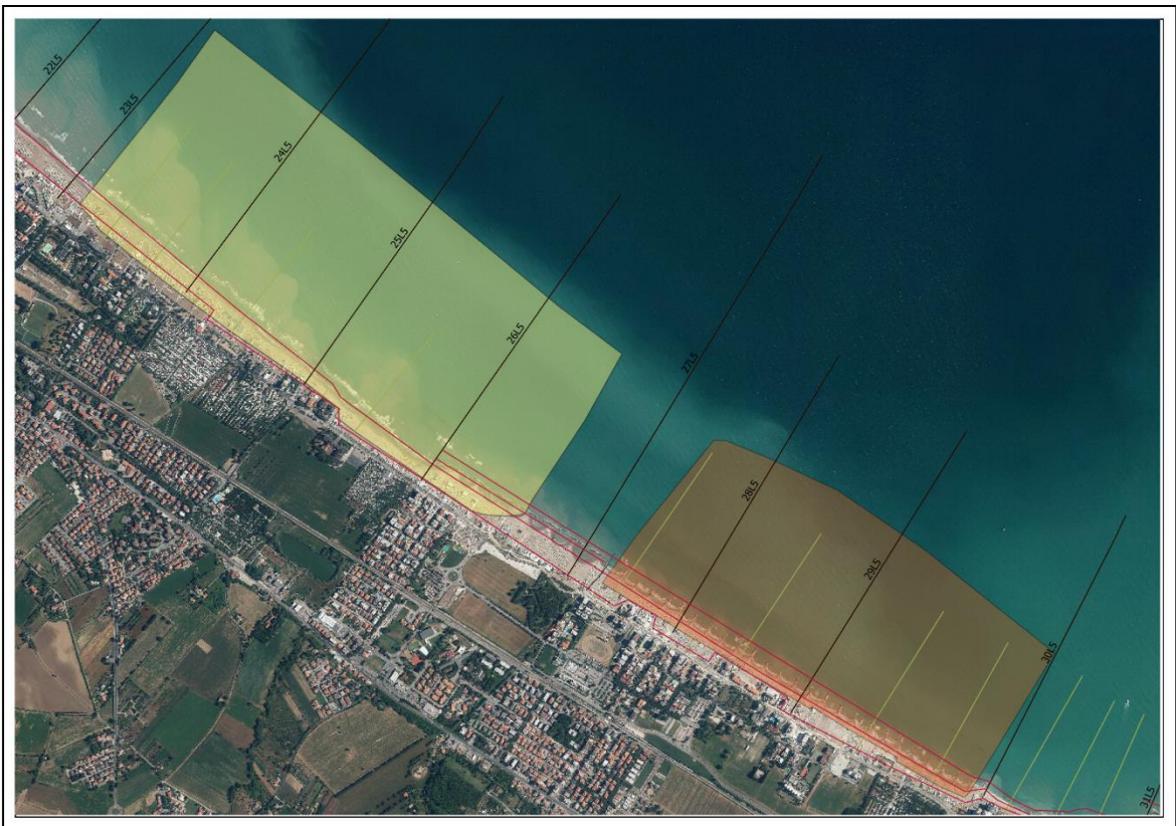


Figura 2.8 – Sezioni scelte dal database della RGC che costituiscono le tracce dei profili di spiaggia emersa e sommersa di riferimento per le aree Misano e Riccione, rispettivamente racchiuse nel

poligono arancione e giallo. Il poligono rosso traccia il limite a partire dal quale sono presenti opere di difesa.

Il progetto è stato così articolato:

- I) I grid data, ottenuti da ArpaE tramite rilievo multibeam, sono stati manipolati per conferire identiche coordinate spaziali di riferimento (X, Y, Z) (Fig. 2.9) ed impostati secondo specifica geometria: questo per permettere in seguito le operazioni di calcolo;

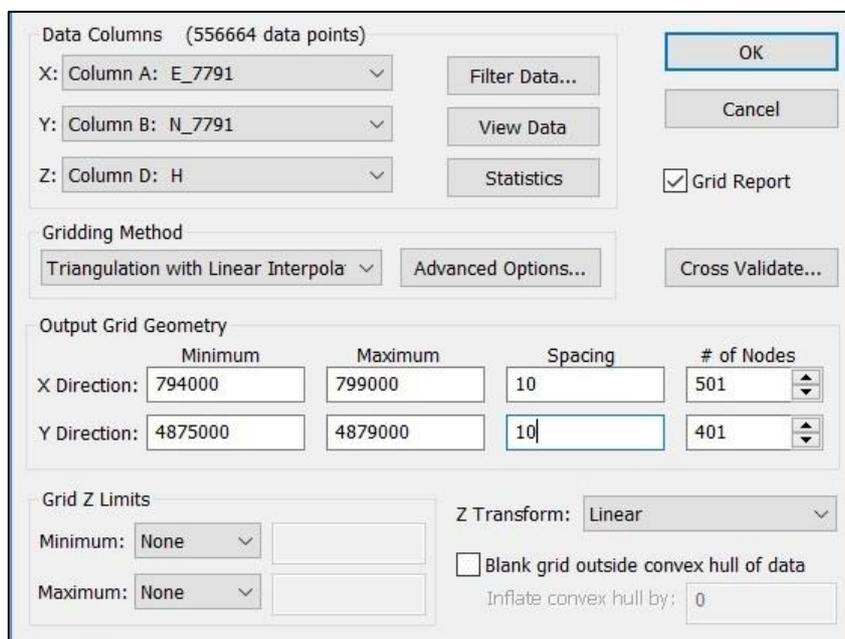


Figura 2.9 – Impostazione delle coordinate e della geometria dei grid data.

- II) I grid data sono stati modificati tramite interpolazione: ho utilizzato il comando “Triangular Advanced Options” che mi ha permesso di forzare il valore di anisotropia. Questo mi ha consentito di ottenere la pendenza e l’interpolazione adatte a rendere graficamente visibili eventuali errori e morfologie, altrimenti non sempre evidenti.

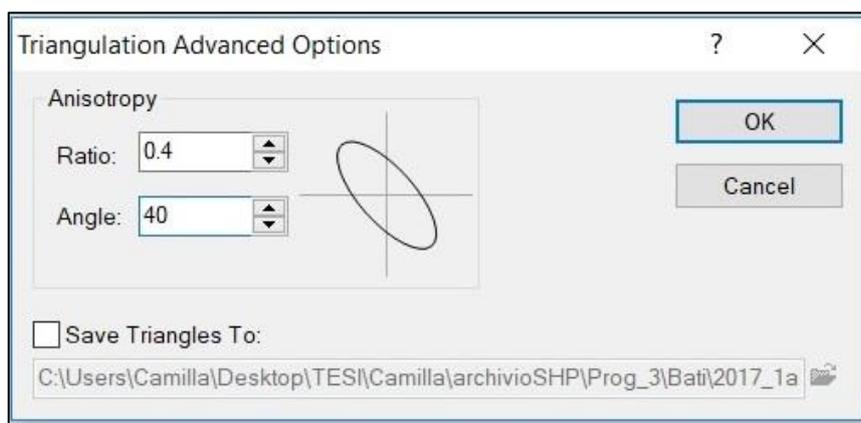


Figura 2.10 – Valori di Anisotropia utilizzati (ratio e angolo di inclinazione).

- III) Inoltre, dato che il software tende ad interpolare anche dove non sono presenti punti di rilievo, ho effettuato un’operazione di ritaglio sui grid data tramite il

comando "Blank", usando come maschera i poligoni dei rilievi. Così facendo mi è stato possibile migliorare la resa grafica delle mappe.

- IV) Una volta ottenuto il ritaglio del poligono per rilievi di prima pianta, seconda pianta e monitoraggio, ho proceduto con il calcolo dei volumi erosi ed accumulati, applicando un'operazione di sottrazione tra le mappe elaborate tramite la funzione "Math".

Lavorando su dati grid mi è stato possibile ottenere contour map che rappresentano le batimetrie del fondale e l'evoluzione della spiaggia prima, durante e dopo gli interventi di ripascimento, valutando il ruolo delle opere di difesa presenti nella distribuzione del sedimento e nell'evoluzione del sistema costiero.

### 3. Risultati

#### 3.1 Clima meteo-marino

Lo studio del clima meteo-marino è stato svolto utilizzando i dati ondametrici registrati dalla boa Nausicaa (forniti da Arpae) da aprile 2012 a giugno 2016: in tal modo è stato possibile estendere le analisi già pubblicate da Aguzzi et al. (2016), riferite al periodo 2007-2012. La tabella 3.1 mostra la disponibilità dei dati nell'intero periodo maggio 2007-dicembre 2016. I dati utili per l'analisi sono stati oltre l'87% di quelli teoricamente disponibili, quindi la copertura complessiva è risultata piuttosto buona (Tabella 3.1).

	<b>Valori attesi</b>	<b>Dati rilevati</b>	<b>% rilevati</b>	<b>Dati mancanti</b>	<b>% mancanti</b>	<b>Calme</b>	<b>% calme</b>
<b>2007 (Maggio)</b>	11760	10096	86%	1664	14%	2607	26%
<b>2008</b>	17568	15635	89%	1933	11%	4707	30%
<b>2009</b>	17520	14238	81%	3282	19%	5013	35%
<b>2010</b>	17520	15222	87%	2298	13%	4714	31%
<b>2011</b>	17520	15972	91%	1548	9%	5781	36%
<b>2012</b>	17568	14343	82%	3225	18%	4624	32%
<b>2013</b>	17520	17061	97%	459	3%	5241	31%
<b>2014</b>	17520	10070	57%	7450	43%	2779	28%
<b>2015</b>	17520	17289	99%	231	1%	6233	36%
<b>2016</b>	17568	17415	99%	153	1%	4833	28%
<b>Totale</b>	<b>169584</b>	<b>147341</b>	<b>87%</b>	<b>22243</b>	<b>13%</b>	<b>46532</b>	<b>32%</b>

Tabella 3.1 – Disponibilità dei dati rilevati dalla boa Nausicaa sul periodo maggio 2007 – dicembre 2016 (in grigio sono evidenziati i campi da me analizzati).

Come si vede, nel data set analizzato i valori in percentuale delle “calme” (cioè con onde di altezza inferiore ai 20 cm) sono mediamente del 32% (nell'intervallo 2012-2007 erano 30%, vedi cap.1.2). Su base stagionale la disponibilità dei dati è comunque sempre almeno del 79%, con un massimo in estate (95%, Tab.3.2).

	<b>Valori attesi</b>	<b>Dati rilevati</b>	<b>% Rilevati</b>	<b>Dati mancanti</b>	<b>% mancanti</b>	<b>Calme</b>	<b>%calme</b>
<b>Primavera</b>	41232	32460	79%	8772	21%	10146	31%
<b>Estate</b>	44160	41909	95%	2251	5%	14560	35%
<b>Autunno</b>	43680	40516	87%	3164	7%	10787	27%
<b>Inverno</b>	40512	32456	80%	8056	20%	11039	34%
<b>Totale</b>	<b>169584</b>	<b>147341</b>	<b>87%</b>	<b>22243</b>	<b>13%</b>	<b>46532</b>	<b>32%</b>

Tabella 3.2 – Disponibilità dei dati rilevati dalla boa Nausicaa nell'intero periodo Maggio 2007 – Dicembre 2016, suddivisa nelle quattro stagioni.

La tabella 3.3 e la Fig. 3.1 riportano l'occorrenza dei dati di onde, suddivise per classi d'altezza e per i diversi settori di provenienza (vedi par.2.1) nell'intero periodo 2007-

2016. Il settore da cui è pervenuto il maggior numero di onde, pari a oltre il 19% del totale, è stato quello E o di Levante, seguito dal settore ESE con circa il 14% e dal settore ENE con oltre il 12% degli eventi. Si notano quindi piccolissime differenze rispetto all'analisi dei dati per il periodo 2007-2012 (Aguzzi et al., 2016; vedi par. 1.2). Relativamente alla distribuzione delle onde per classi di altezza la classe più frequente appare ancora essere quella rappresentata dalle onde basse:  $0,20 \leq H_s < 0,50$  m, con oltre il 39% dei casi registrati (erano il 40% nell'analisi compiuta sul periodo 2007-2012; Aguzzi et al., 2016). Il maggior numero di onde medio-alte (con  $H_s > 1,25$  m) proviene dal settore ENE e dal settore NE o di Bora (Tab. 3.3 e Fig. 3.1). Inoltre, a differenza dello studio effettuato nel periodo 2007 – 2012, si sono verificate in alcuni casi onde con  $H_s > 4,00$  m durante gli eventi di mareggiata degli anni 2014 e 2016, come visibile anche in Tab. 3.4.

Periodo Mag 2007 - Dic 2016		Classe Dir. 2																
Classe Hs 2	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totale	
calme																	31,58	
0,20 ≤ Hs < 0,5	2,34	3,10	3,31	4,06	10,67	11,16	0,94	0,07	0,06	0,07	0,10	0,26	0,37	0,73	1,13	1,32	39,69	
0,5 ≤ Hs < 1,25	0,68	1,67	3,36	5,95	7,77	2,87	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,09	0,23	22,89	
1,25 ≤ Hs < 2,5	0,03	0,35	1,43	2,56	0,93	0,02								0,00		0,00	5,32	
2,5 ≤ Hs < 4	0,00	0,02	0,21	0,27	0,00								0,00	0,00			0,51	
Hs ≥ 4				0,01					0,00								0,01	
Totale	3,06	5,14	8,32	12,85	19,37	14,05	1,09	0,07	0,06	0,08	0,11	0,28	0,40	0,77	1,22	1,56	100,00	

Tabella 3.3 – Tabella di occorrenza dei dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo Maggio 2007-dicembre 2016, con suddivisione in 16 settori direzionali, 5 classi di altezza significativa dell'onda in metri e periodi di calme.

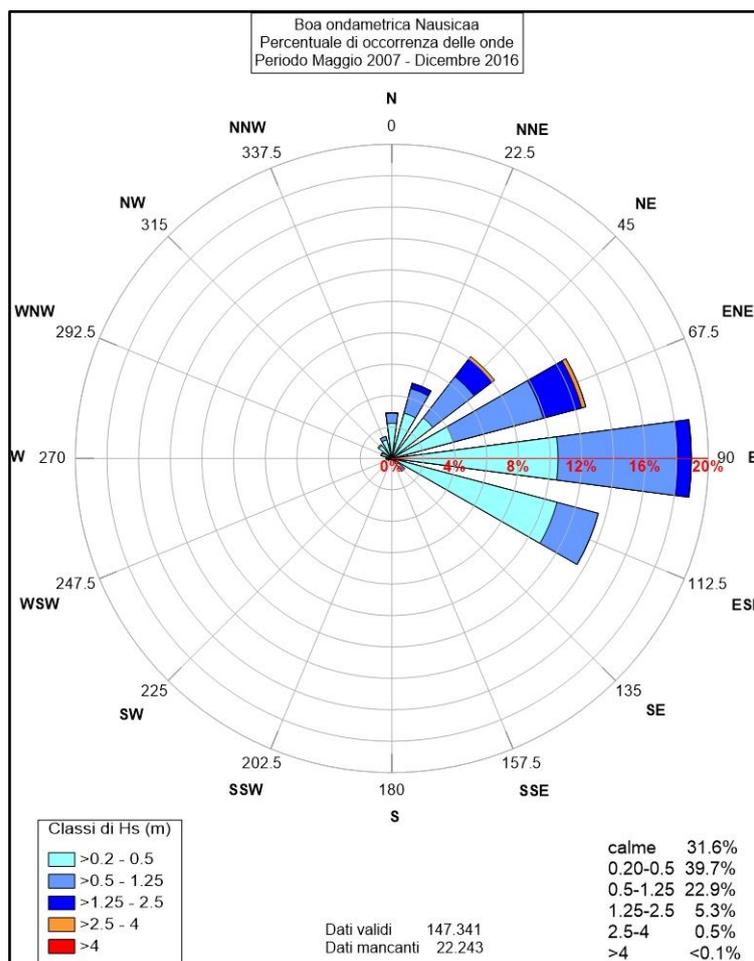
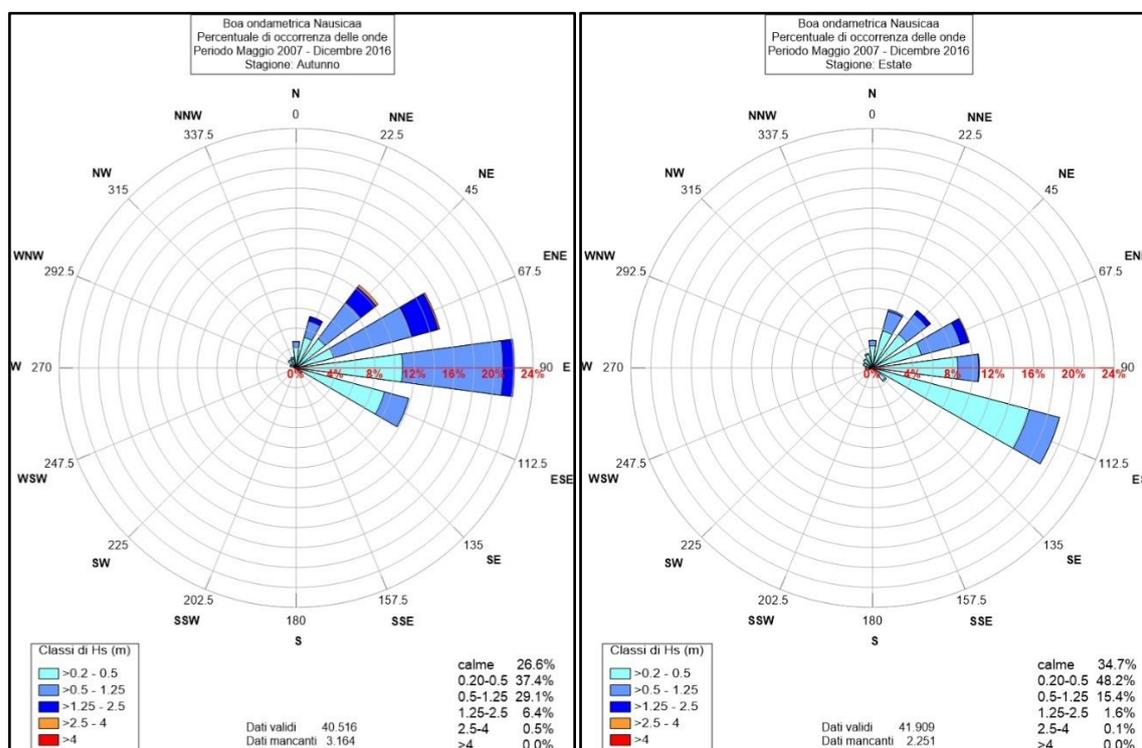


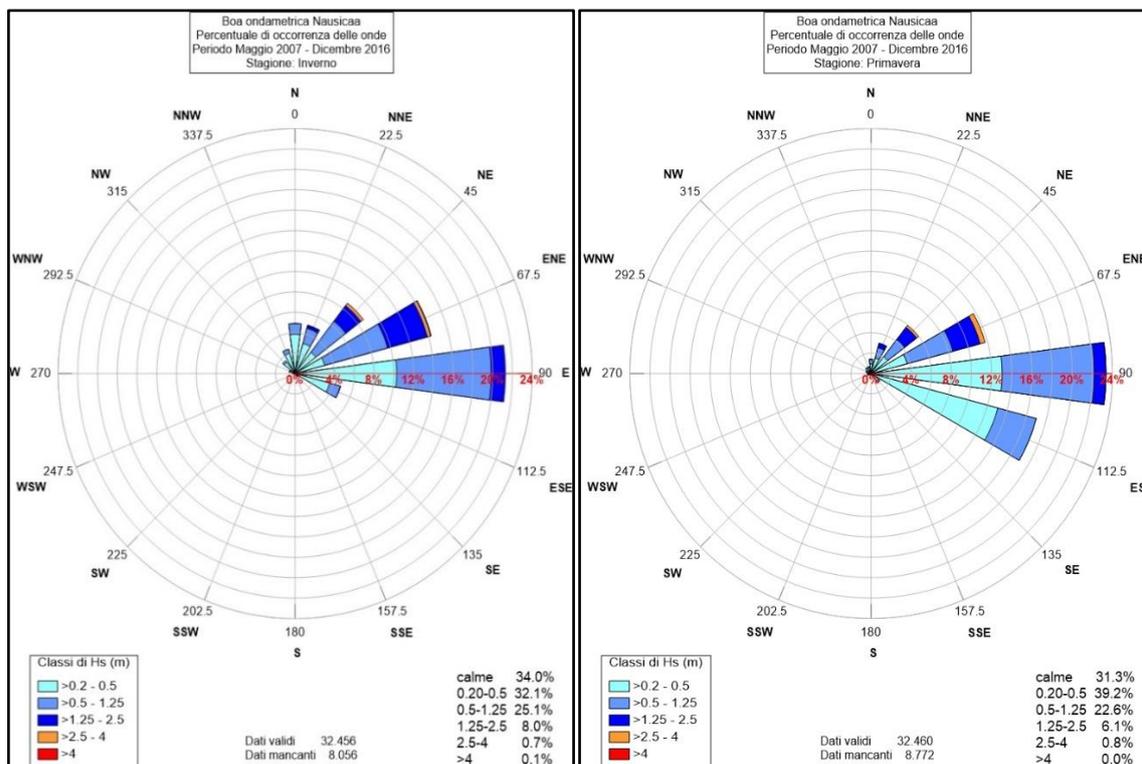
Figura 3.1 - Rosa delle onde ricavata dai dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nell'intero periodo maggio 2007-dicembre 2016.

Suddividendo anche a livello stagionale i dati di distribuzione delle altezze d'onda in funzione dei settori di provenienza (Fig. 3.2), i dati confermano sostanzialmente (con piccole differenze percentuali) quanto già indicato sul periodo 2007-2012 da Aguzzi et al. (2016):

- i valori di calma sono superiori nella primavera ed estate (tra il 31 - 35%) rispetto all'autunno (27%)
- la direzione con la più alta percentuale di accadimento si conferma essere quella dal settore E (90° N) in primavera, autunno e inverno, mentre in estate è quello ESE (112,5° N);
- la classe d'onda più frequente, nelle quattro stagioni così come per il clima medio annuo, è quella caratterizzata da  $0,20 \leq H_s < 0,50$  m (che in estate raggiunge il 48% dei casi);
- le onde medio-alte ( $H_s > 1,25$  m) si presentano essenzialmente da ENE (67,5° N) in primavera e in inverno (ma secondo Aguzzi et al., 2012, potrebbero essere sottostimate a causa della non completa disponibilità di dati in queste stagioni) e da NE (45° N) ed ENE in autunno. In estate l'incidenza di queste onde è modesta (<1%);
- le onde più alte ( $2,50 \leq H_s < 4,00$  m e  $> 4,00$  m) si verificano prevalentemente in primavera e inverno con direzione E-NE.

Figura 3.2 – Rose delle onde dei climi stagionali ricavate dai dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nell'intero periodo 2007-2016.





Lo studio delle caratteristiche del moto ondoso esteso all'intero periodo maggio 2007-dicembre 2016 è stato completato con l'analisi degli eventi di mareggiata per il periodo da marzo 2012-dicembre 2016.

ANNO	Stagioni	Mareggiata (n)	Durata (giorni)	Hs Max (m)	Liv. Massimo di marea (m)
2007-2012*	Integrato da marzo 2012 a dicembre 2012 (?)	77	56,2	3,23	1,15
2013	Inverno-primavera-estate-autunno-	16	14,9	3,68	1,10
2014	Inverno-autunno-	8	6,1	4,06	0,89
2015	Inverno-primavera-estate	18	16,9	4,56	1,20
2016	Autunno-inverno	19	13,1	3,11	0,74
TOTALE		138	107,2	4,56	1,20

*Tabella 3.4 – Mareggiate e le relative caratteristiche significative (i dati dal 2007 al 2012 sono ripresi da Aguzzi et al., 2016)*

L'analisi dei dati sugli eventi di mareggiata nell'intero periodo maggio 2007 – dicembre 2016 ha permesso di ottenere le seguenti informazioni:

- Sono stati registrati 138 eventi complessivi di mareggiata (rispetto ai 77 eventi per il periodo 2007-2012 riportati in Aguzzi et al., 2016) che hanno comportato condizioni di mare in burrasca per oltre 107 giorni.
- La stagione con la massima incidenza di fenomeni nell'intero periodo osservato risulta ancora essere quella invernale, seguita dalla primavera e dall'autunno, mentre l'incidenza dei fenomeni durante l'estate è minoritaria.
- La durata media delle mareggiate è stata di circa 20 ore, quella minima di circa 7 ore mentre la mareggiata più lunga è stata di circa 74 ore (evento del 5 febbraio 2015, che ha superato in durata l'evento del gennaio 2011, il più lungo sul sottoperiodo 2007-2012).

La mancanza di dati, soprattutto nei mesi invernali e primaverili (Tabella 3.2) non ha consentito di raccogliere tutte le informazioni necessarie nei periodi in cui, ragionevolmente, le condizioni meteo-marine risultano più intense. Un'altra lacuna da far notare è quella dei primi 6 mesi del 2014 (Fig.1.2 e Tab.3.2, dovuta ad interventi manutentivi della boa.

### 3.2 Evoluzione morfologica delle spiagge oggetto di intervento

Sono qui riportati i risultati ottenuti riguardo l'evoluzione morfologica delle spiagge a seguito dell'intervento di ripascimento eseguito nel 2016, a distanza di un anno e mezzo dalla sua realizzazione.

#### 3.2.1 Misano Adriatico

Il litorale di Misano Adriatico è difeso da un fitto campo di pennelli in roccia e da una barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia (vedi cap. 1.3). In questa zona il ripascimento ha interessato un tratto di spiaggia lungo circa 1500 m, visibile in Figura 3.3.



Figura 3.3 - Misano: tratto oggetto di ripascimento (poligono rosso), con le opere di difesa rigide (in marrone) e sezioni del piano di monitoraggio 2017.

La caratteristica peculiare della spiaggia sommersa in quest'area è data dalla tendenza all'accumulo di sedimento a ridosso della barriera in sacchi, sul lato mare, e da una corrispettiva propensione all'approfondimento del fondale sul lato terra della stessa barriera (Aguzzi et al., 2016) (Figura 3.4), ben evidente nelle mappe di prima pianta: si è così venuta a formare una depressione profonda oltre 4.5 m in posizione longitudinale, a ridosso della barriera.

Tra aprile e maggio 2016 sono stati portati a ripascimento circa 219.000 m<sup>3</sup> di sabbia, pari a 146 m<sup>3</sup>/m. Il sedimento apportato ha determinato un avanzamento medio della linea di riva di circa 40 - 50 m e un aumento di quota della spiaggia di circa 1,5 - 2,0 m, come da confronto tra i rilievi di prima (2016\_1aP) e seconda pianta (2016\_2aP), visibili nelle Fig. 3.4 e 3.5.

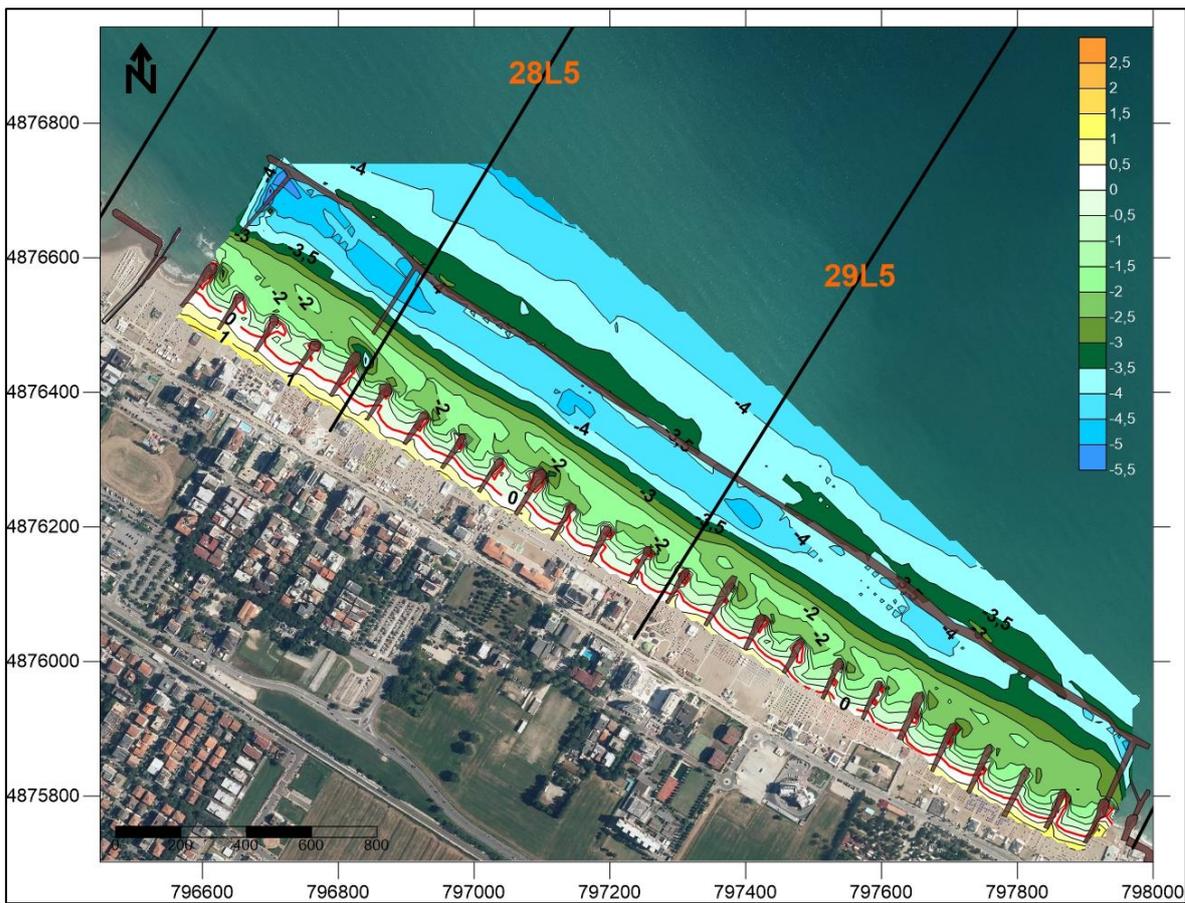


Figura 3.4 - Misano: mappa topo-batimetrica di prima pianta (20 Aprile 2016). In rosso la linea di riva. Equidistanza isobate: in metri.

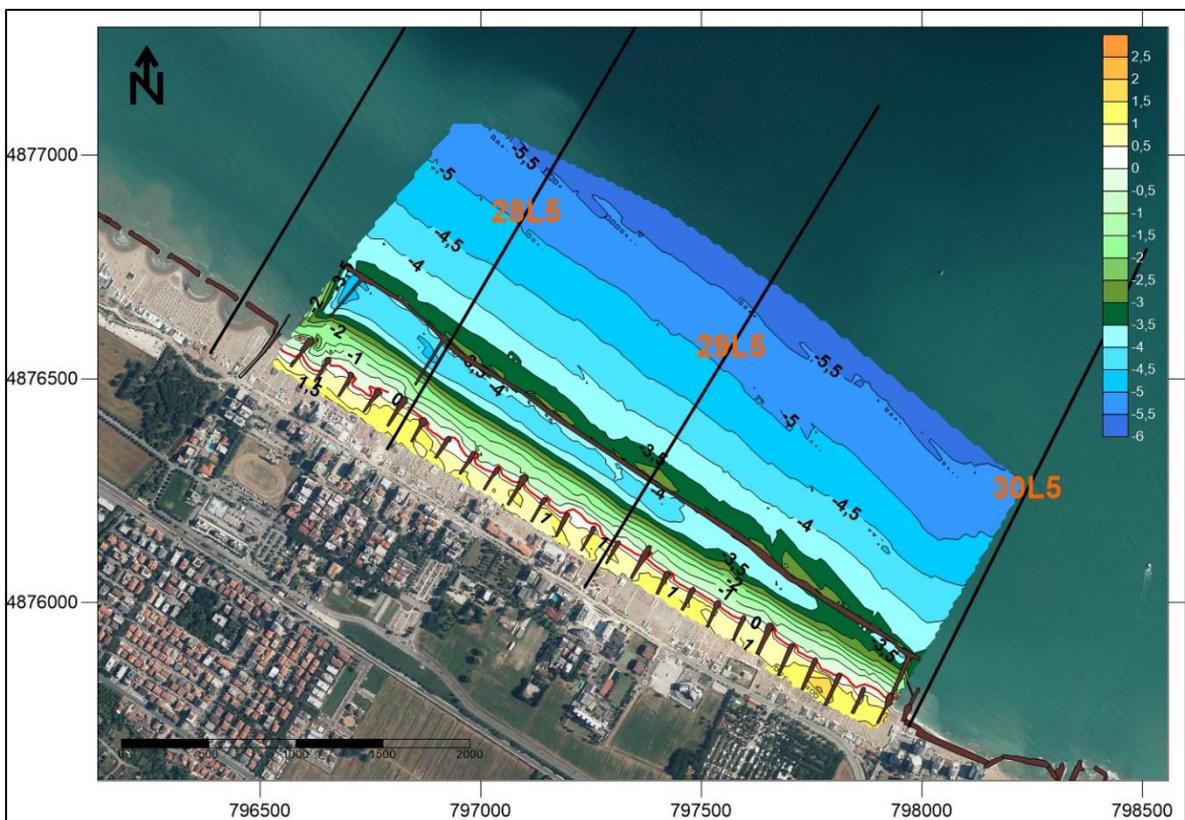


Figura 3.5 - Misano: mappa topo-batimetrica di seconda pianta (6 Maggio 2016), su cui sono stati plottati i profili. In rosso la linea di riva. Equidistanza isobate: in metri.

L'andamento delle isobate mostra inoltre una variazione di profondità del fondale, specialmente nell'area compresa tra i pennelli e la barriera soffolta dove si è ridotta l'area di fondale con profondità superiori ai 4 m.

La Fig. 3.6 mostra le variazioni di quota e della linea di riva tra i rilievi di prima e seconda pianta. Come si vede, il sedimento sversato determina un accumulo sulla spiaggia emersa e sommersa (fino oltre il limite dei pennelli), ben riconoscibile anche nelle seguenti sezioni batimetriche. Un leggero incremento generalizzato della quota dei fondali si osserva in tutta l'area.



Figura 3.6 – Misano: variazioni di quota e di linea di riva determinate dal ripascimento. In evidenza la linea di riva di prima pianta (in nero), quella di seconda pianta (in verde) e l'area di ripascimento (poligono tratteggiato in rosa). Equidistanza residui batimetrici in metri.

Tra il 25 e il 28 novembre 2017 è stata eseguita la prima campagna di monitoraggio (Fig. 3.7). A distanza di 18 mesi dall'intervento, la spiaggia di Misano presenta le seguenti caratteristiche rispetto al rilievo di prima pianta (Fig. 3.8):

- risultano ancora presenti circa 110.000 m<sup>3</sup> di sabbia, pari a 73 m<sup>3</sup>/m,
- la linea di riva risulta ancora in avanzamento di circa 10 - 20 m,
- la quota di spiaggia è 0,30 - 0,50 m più alta rispetto alla situazione pre-intervento,
- è presente una diminuzione della profondità della spiaggia sommersa sia all'interno che all'esterno della barriera in sacchi

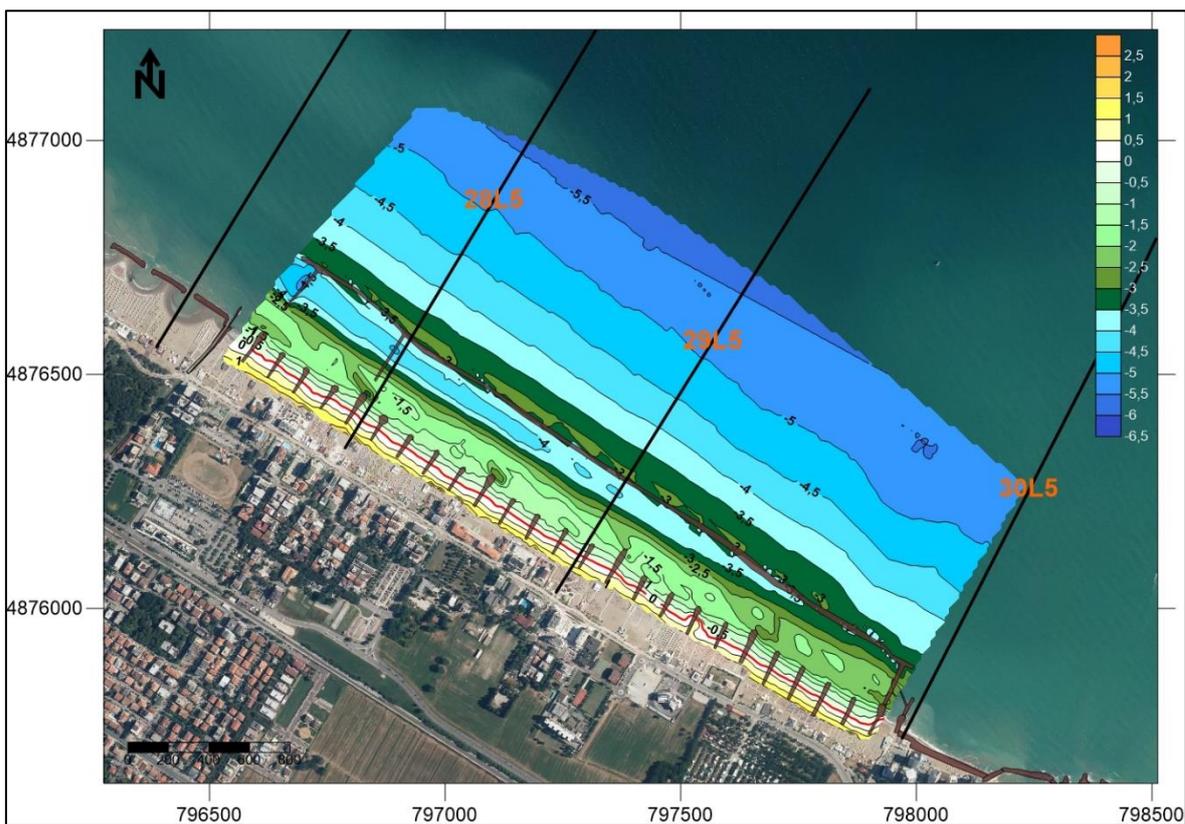


Figura 3.7 – Misano: mappa topo-batimetrica relativa al monitoraggio 2017 in cui si evidenzia la linea di riva (in rosso). Equidistanza isobate in metri.

Come visibile dalle mappe topo-batimetriche che mettono a confronto i rilievi di prima e seconda pianta con il monitoraggio (Figure 3.8, 3.9), il materiale è in parte fuoriuscito dall'area di ripascimento ed è migrato sui fondali, distribuendosi longitudinalmente all'interno della zona protetta dalla barriera in sacchi.

Il confronto tra il rilievo di seconda pianta ed il monitoraggio 2017 mostra, infatti, un arretramento della linea di riva di circa 35 - 45 m. I principali residui negativi (che rappresentano l'approfondimento del fondale) sono dovuti allo spostamento verso mare del sedimento dall'area dello sversamento.



Figura 3.8 – Misano: mappa topo-batimetrica di confronto tra rilievo di prima pianta e monitoraggio 2017: si notano la linea di riva di prima pianta (in nero), la linea di riva del monitoraggio (in rosso) e area soggetta a ripascimento (poligono rosa in tratteggio). Equidistanza residui batimetrici in metri.

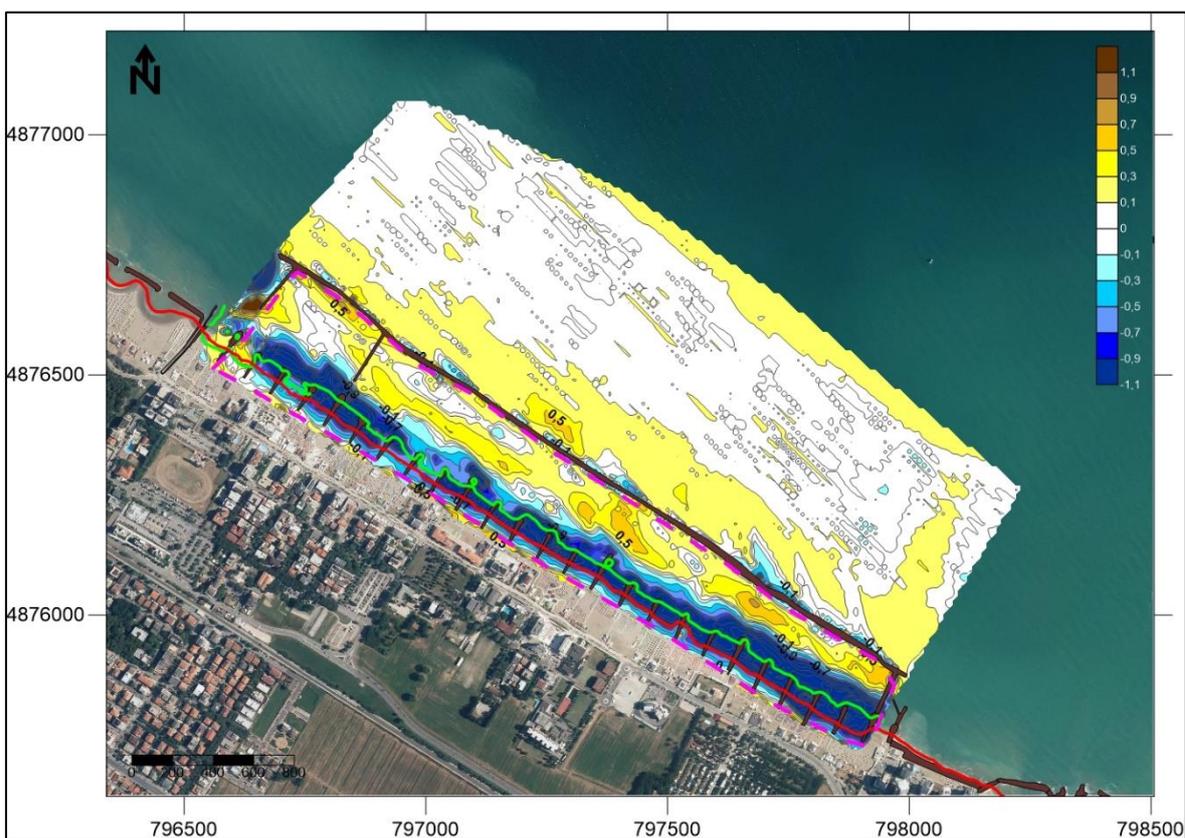
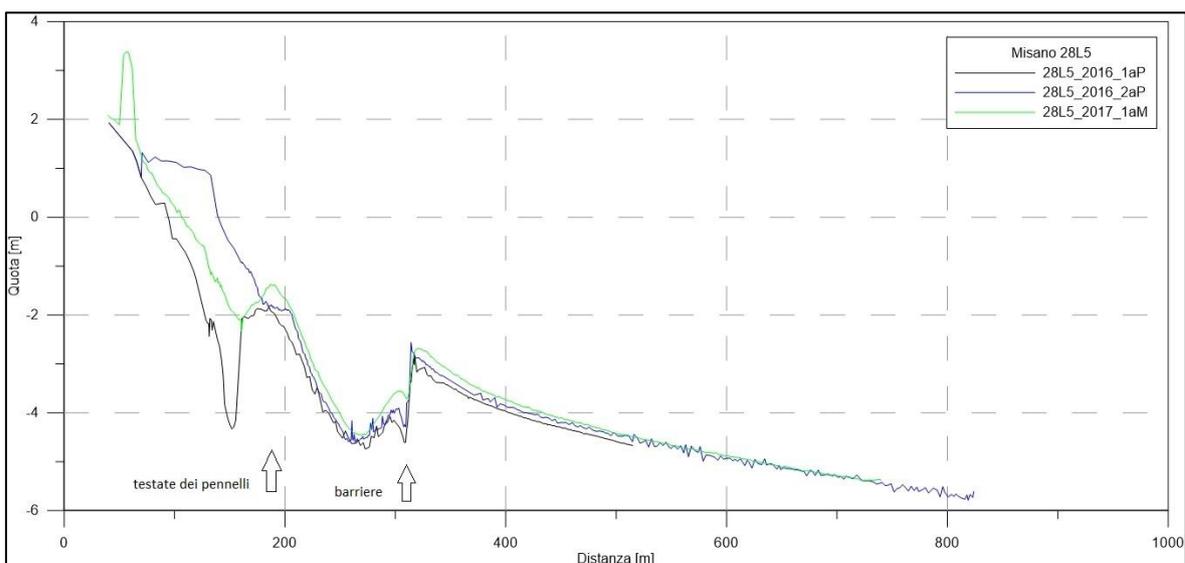


Figura 3.9 – Misano: mappa topo-batimetrica di confronto tra rilievo di seconda pianta e

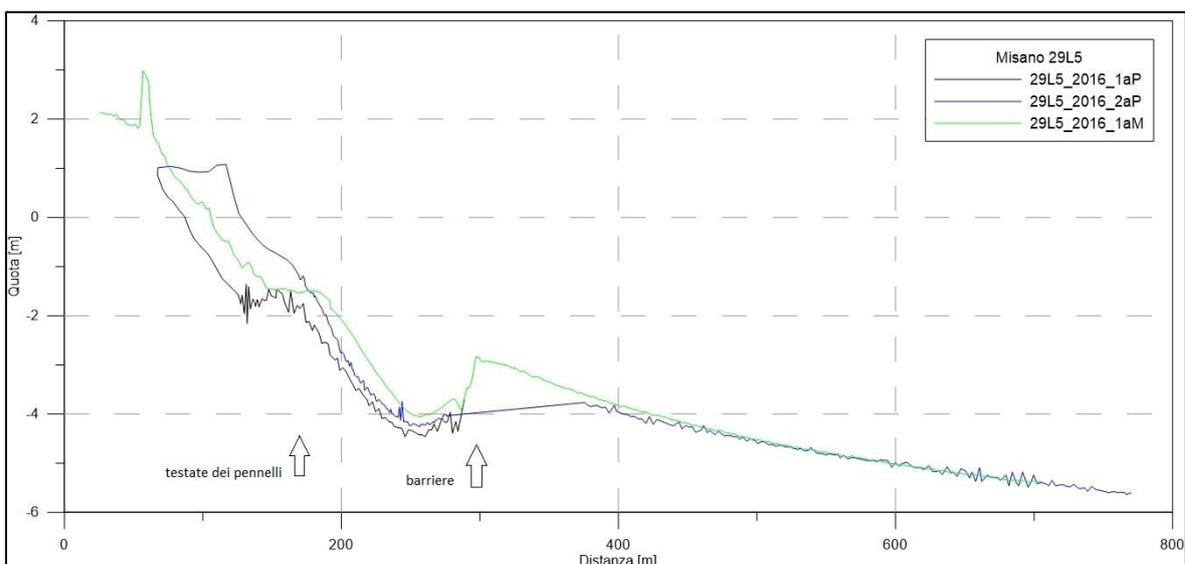
monitoraggio 2017; si notano la linea di riva di seconda pianta (in verde), linea di riva del monitoraggio (in rosso) e l'area soggetta a ripascimento (poligono tratteggiato in rosa). Equidistanza residui batimetrici in metri.

Il comportamento della linea di riva e del fondale si osserva anche nelle sezioni ricavate dai profili della rete regionale:

- In entrambe le sezioni si nota l'evidente accumulo lato mare in corrispondenza delle barriere, oltre i 300 m di distanza dal punto di riferimento e con una quota di fondale nell'ordine dei - 3 m.
- Nella sezione 28L5, seguendo il profilo di prima pianta (2016\_1aP) si nota un approfondimento del fondale, fino alla quota di -4 m, in corrispondenza della spiaggia sommersa a circa 150 m di distanza dal punto di riferimento.



Sezione 28L5 – profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde). Le frecce indicano la posizione delle testate dei pennelli e della barriera in sacchi.



Sezione 29L5 - profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde). Le frecce indicano la posizione delle testate dei pennelli e della barriera in sacchi.

Segue un'analisi preliminare dei dati granulometrici relativi ai prelievi di campioni di sedimento sulle spiagge di Misano (Figura 3.10) eseguiti prima, in corso d'opera e a 17 mesi dall'intervento di ripascimento, negli stessi punti di campionamento (Fig.3.10)



Figura 3.10 – Ubicazione dei campioni prelevati a Misano, sono visibili anche i poligoni delle opere di difesa e le sezioni. In verde i campioni prelevati in corso d'opera, sulla battigia. In viola i campioni prelevati prima e dopo il ripascimento, in verde i campioni prelevati in corso d'opera.

Sulla spiaggia di Misano i campioni prelevati nel 2016 (Figura 3.11), prima dell'intervento, sono prevalentemente costituiti da sabbia fine, anche se in prossimità della battigia (campioni T e 0) risultano presenti discrete percentuali di frazioni sabbiose più grossolane (da sabbia molto grossolana a media) e ghiaie in limitate quantità. La pelite (silt e argilla) è presente solo nella spiaggia sommersa e arriva a percentuali massime del 10% circa in alcuni campioni più lontani dalla riva, a -2 e -4 m, nel tratto meridionale della spiaggia.

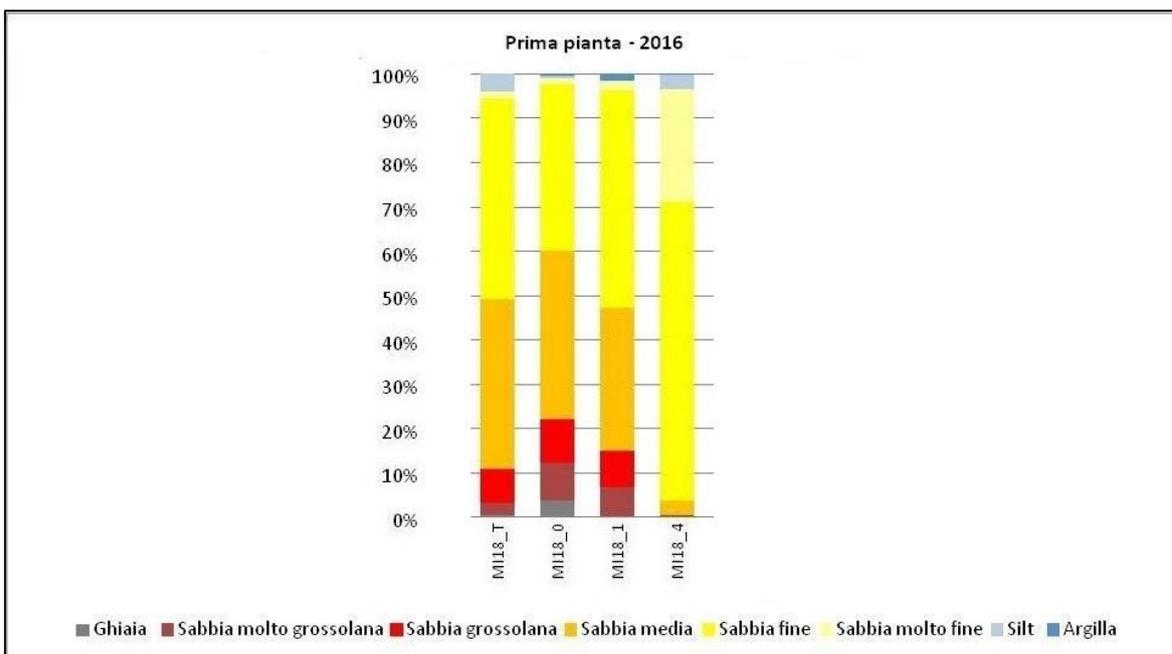


Figura 3.11 - Istogramma con analisi granulometriche eseguite presso il Laboratorio di Arpae Ravenna dei campioni prelevati sulle spiagge di Misano tra marzo e aprile 2016, prima dell'intervento. Sigle: T= spiaggia emersa; 0 = battigia; -1, -2, -4 = profondità fondali in metri.

I campioni prelevati sulla spiaggia subito dopo lo sversamento (Figura 3.12) presentano invece una composizione granulometrica non del tutto simile a quelle presenti in prossimità della battigia, prima dell'intervento: prevale la sabbia fine e la pelite è praticamente assente.

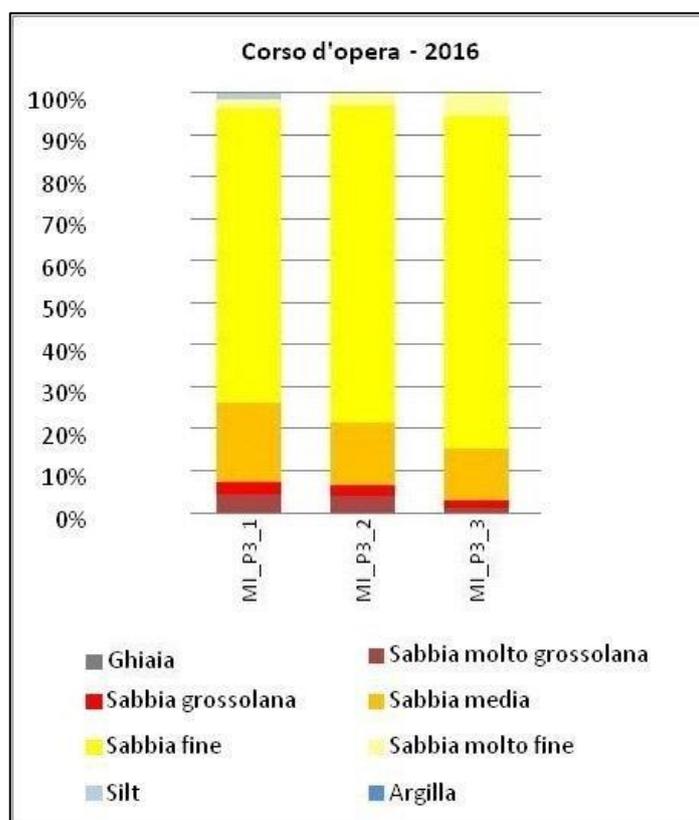


Figura 3.12 - Istogramma con le analisi granulometriche dei campioni raccolti nella zona di sversamento delle sabbie sottomarine sulla battigia di Misano. Il prelievo è stato effettuato tra aprile e giugno 2016, in corso d'opera.

A 17 mesi dal ripascimento, in corrispondenza degli stessi punti del campionamento pre-intervento, si osserva una generale diminuzione delle percentuali di sabbie medie e grossolane. La sabbia fine resta la componente più abbondante, come prima dell'intervento, mentre la distribuzione delle peliti rimane quasi del tutto invariata.

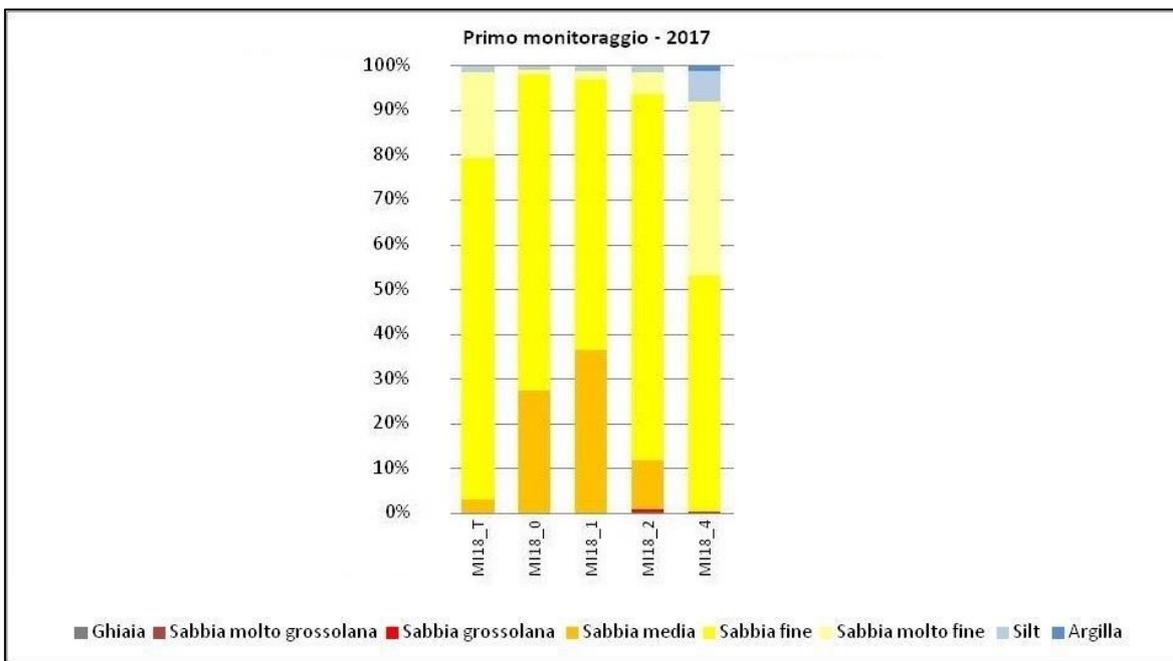


Figura 3.13 - Istogramma delle analisi granulometriche eseguite a dicembre 2017 (primo monitoraggio), a distanza di 17 mesi dall'intervento. Sigle: T= spiaggia emersa; 0 = battigia; -1, -2, -4 = profondità fondali in metri.

Il diametro medio dei sedimenti raccolti su spiaggia emersa e nei fondali prossimi alla battigia, prima dell'intervento, risulta essere di dimensioni maggiori (nell'ordine delle sabbie medie, cioè tra 500 e 250  $\mu\text{m}$ ) sia rispetto ai sedimenti presenti in corso d'opera (anche provenienti dalla battigia), sia rispetto a quelli raccolti a 17 mesi dal ripascimento (diametro medio delle sabbie fini, cioè 250 -125  $\mu\text{m}$ ).

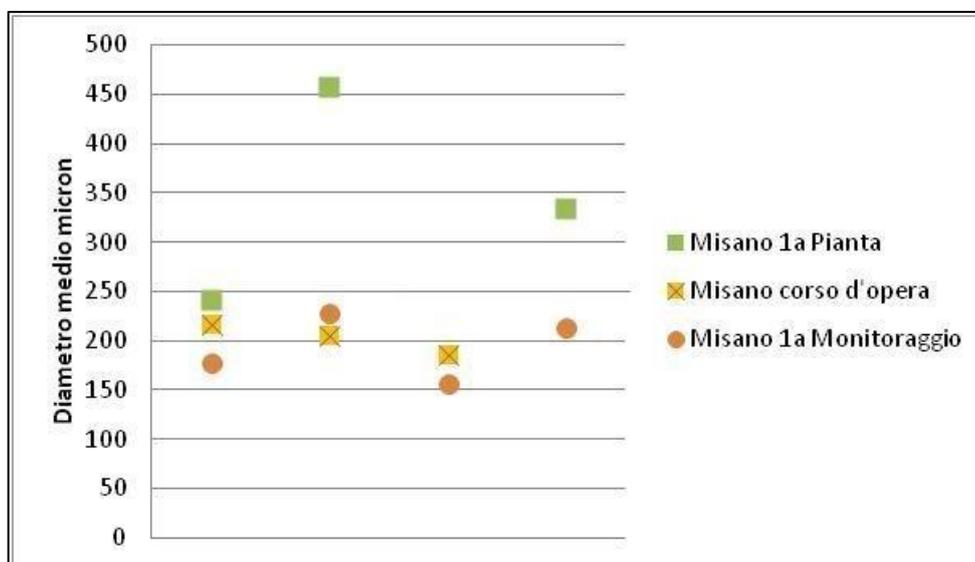


Figura 3.14 - Confronto tra i diametri medi dei sedimenti raccolti in prossimità della battigia prima, durante e dopo l'intervento.

Complessivamente, nel 2017 rispetto a prima del ripascimento, si osserva quindi una lieve diminuzione del granulo medio, in alcuni casi più accentuata.

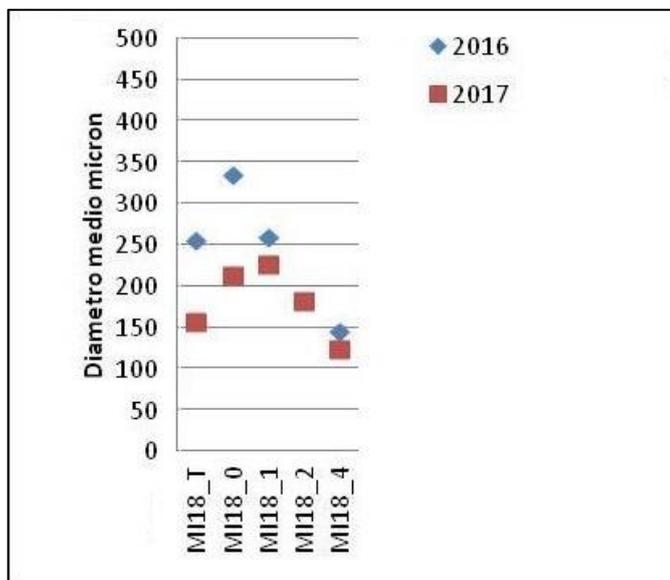


Figura 3.15 - Diametro medio dei campioni prima e dopo l'intervento.

### 3.2.2 Riccione sud

Il litorale di Riccione sud, al confine con il Comune di Misano, è caratterizzato da una barriera in sacchi pieni di sabbia che si estende per 1.400 m (vedi cap. 1.3), corrispondente al tratto di spiaggia che è stato sottoposto a ripascimento (Figura 3.12).

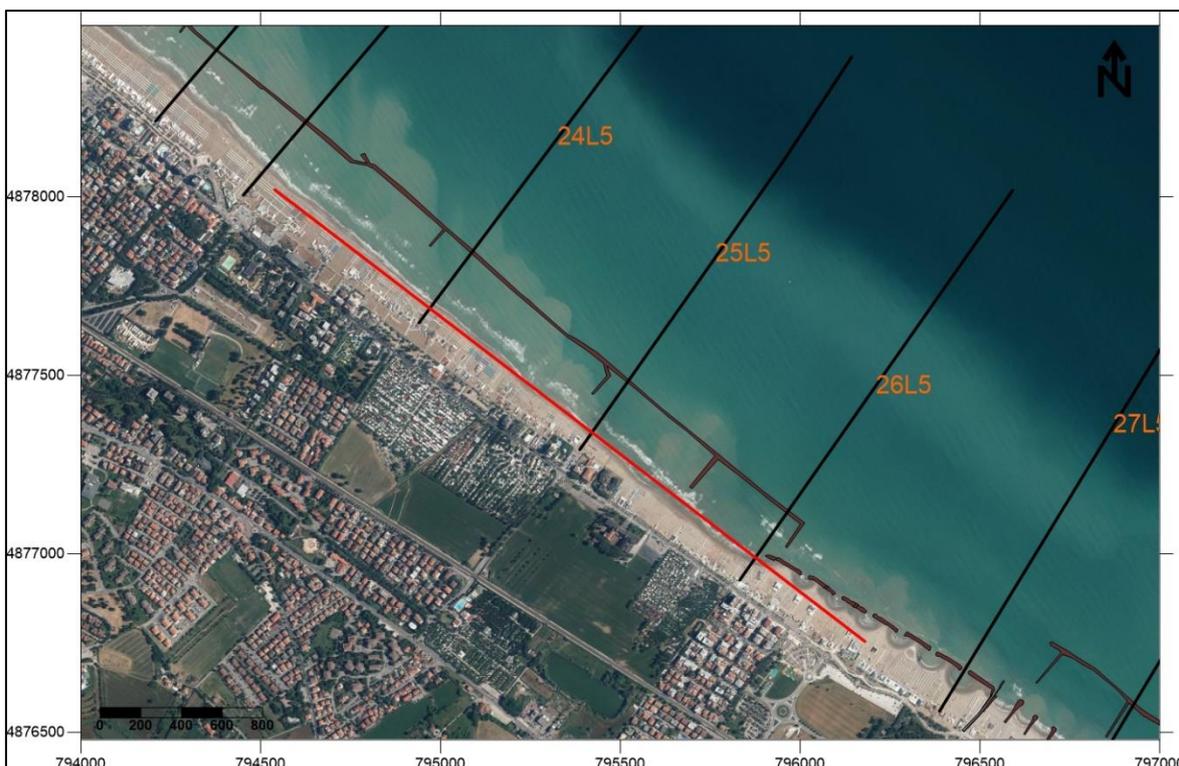


Figura 3.16 – Riccione: tratto oggetto a ripascimento (poligono rosso), opere di difesa rigide (in marrone) e sezioni del piano di monitoraggio 2017.

Tra il 19 e il 25 maggio 2016 sono stati portati a ripascimento circa 213.000 m<sup>3</sup> di sabbia, pari ad un volume di 152 m<sup>3</sup>/m. In seguito a questo apporto di sedimento, rispetto al rilievo di prima pianta (Fig. 3.17) si sono verificati (Fig. 3.18):

- un avanzamento medio della linea di riva di circa 55 - 65 m,
- un aumento di quota della spiaggia di circa 1,5 - 2,0 m, come da confronto tra i rilievi di prima (2016\_1aP) e seconda pianta (2016\_2aP) (Fig.3.18).

Analogamente a Misano, nei rilievi batimetrici di Riccione (Fig. 3.17 e 3.18) si evidenzia un approfondimento del fondale fino a -3.5 m sul lato terra della barriera in sacchi ed un rialzo del fondale dovuto all'accumulo di sedimento, sul lato mare della barriera stessa. Questo assetto fa sì che il materiale portato a ripascimento sulla spiaggia tenda a spostarsi verso la depressione longitudinale a ridosso della barriera, come si vede dalla mappa dei residui (Fig. 3.19).

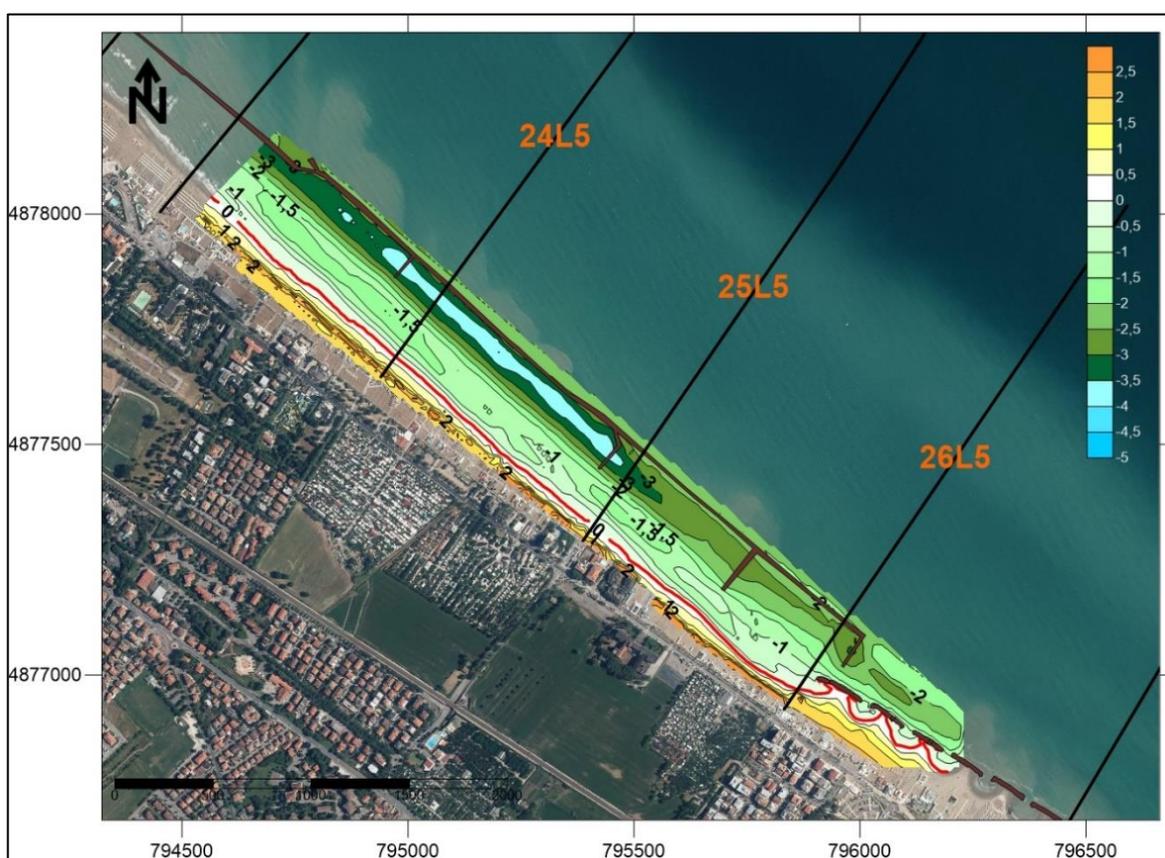


Figura 3.17 - Riccione: mappa topo-batimetrica di prima pianta (20 Aprile 2016). In rosso la linea di riva. Equidistanza isobate in metri.

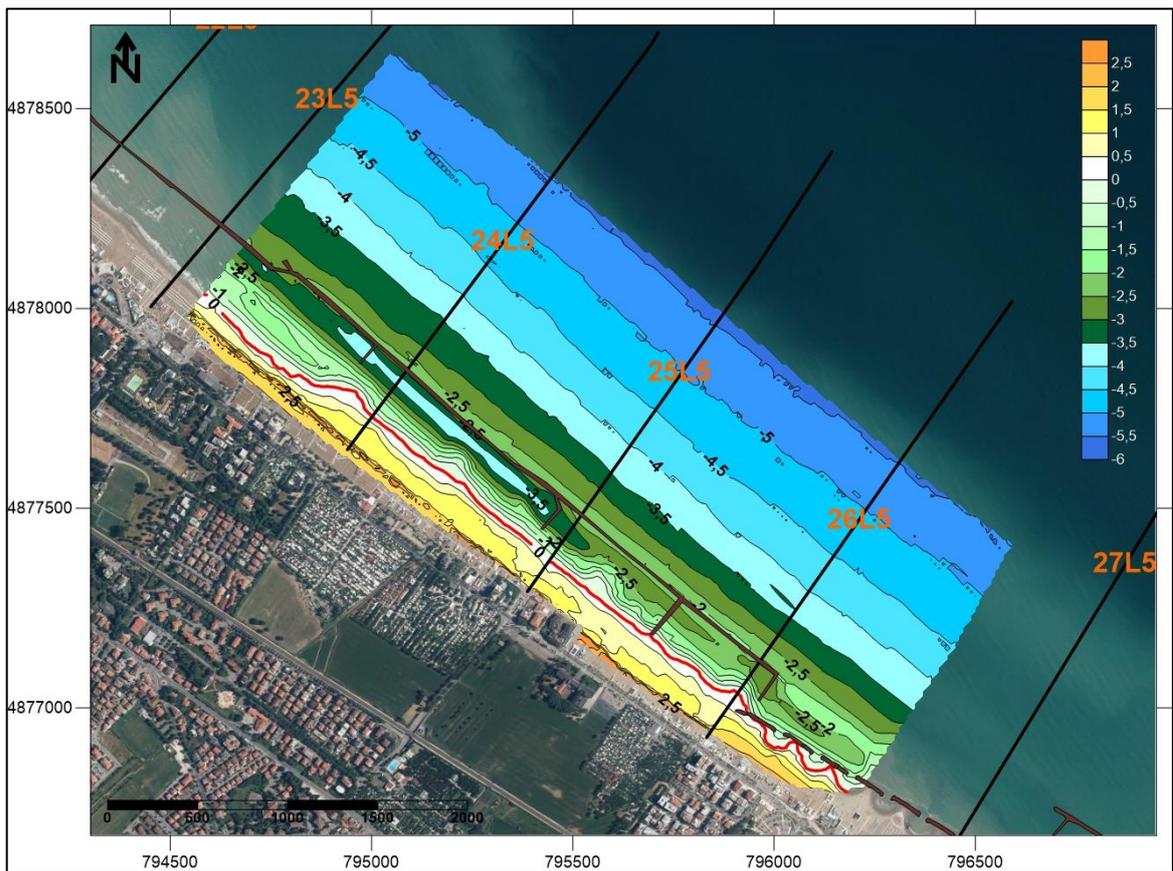


Figura 3.18 - Riccione: mappa topo-batimetrica di seconda pianta (6 Maggio 2016). In rosso la linea di riva. Equidistanza isobate in metri.

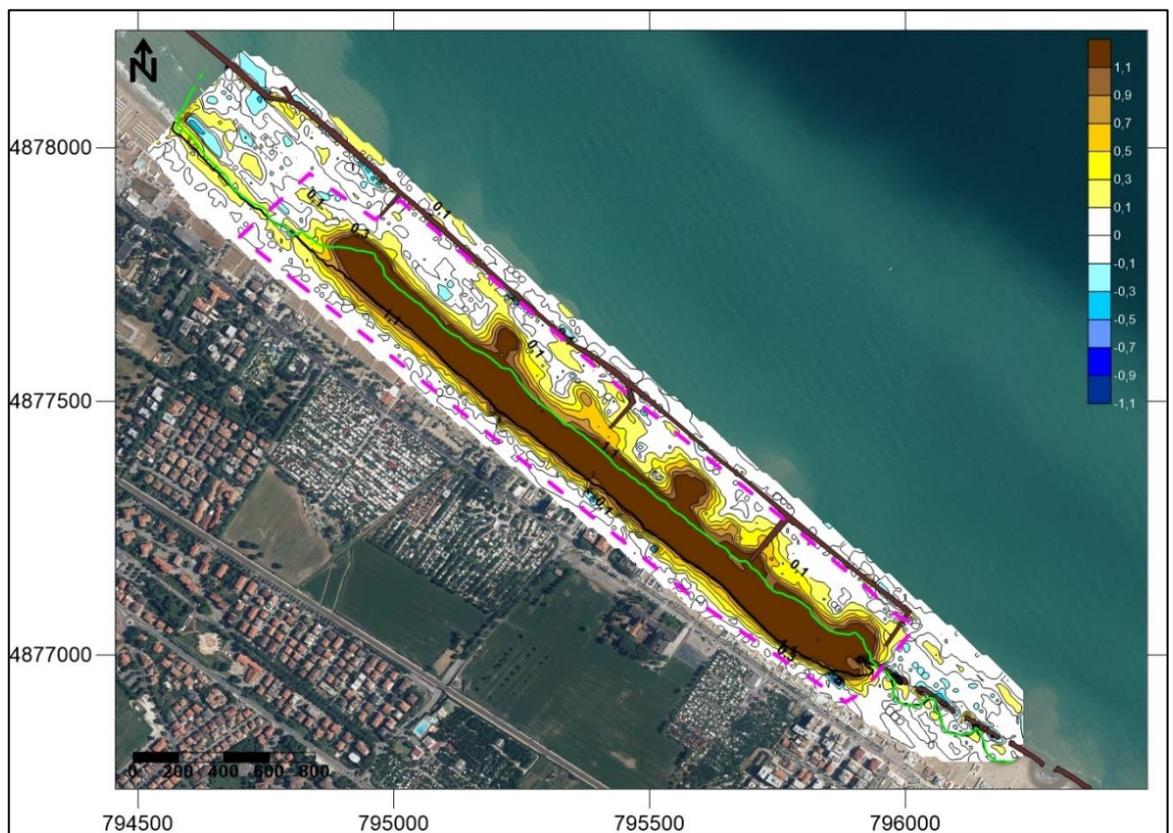


Figura 3.19 – Riccione: variazioni di quota e di linea di riva determinate dal ripascimento. In evidenza la linea di riva di prima pianta (in nero), quella di seconda pianta (in verde) e l'area di ripascimento (poligono tratteggiato in rosa). Equidistanza residui batimetrici in metri.

Tra il 25 e il 28 novembre 2017 è stata eseguita la prima campagna di monitoraggio (Fig. 3.20). A distanza di 18 mesi nell'area di ripascimento, rispetto al rilievo di prima pianta (Fig. 3.21) risulta che:

- sono ancora presenti circa 147.000 m<sup>3</sup> di sabbia, pari a 105 m<sup>3</sup>/m,
- la linea di riva è ancora in avanzamento di circa 25 - 35 m,
- la quota di spiaggia è 0,50 - 0,80 m più alta rispetto alla situazione pre-intervento,

Nell'area di ripascimento, si è avuto uno spostamento del sedimento dalla spiaggia emersa ai fondali antistanti, in prossimità della barriera in sacchi, evidenziato da marcati residui positivi. L'approfondimento del fondale si traduce in residui negativi con valori fino a 1 m, che appaiono in corrispondenza della barriera sommersa in sacchi.

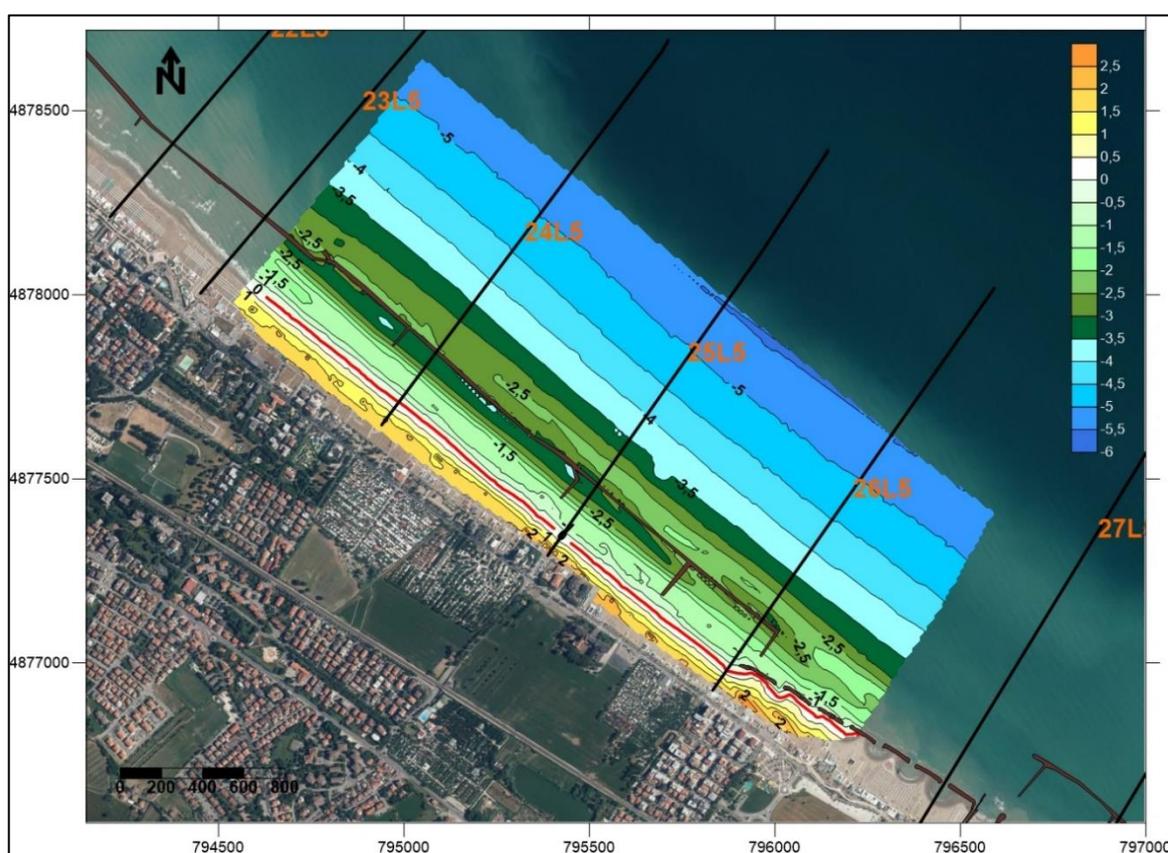


Figura 3.20 – Riccione: mappa topo-batimetrica relativa al monitoraggio 2017 in cui si evidenzia la linea di riva. Equidistanza isobate in metri.

Il confronto tra il rilievo di seconda pianta ed il monitoraggio 2017 (Fig. 3.22) mostra invece un arretramento di circa 40 - 50 m tra la linea di riva di seconda pianta e quella del 2017. Anche in questo caso, i residui negativi e quindi una maggiore profondità del fondale sono dovuti allo spostamento del sedimento dall'area di sversamento verso mare. I residui positivi sono presenti lungo il lato mare della barriera in sacchi e, parzialmente, sul lato esterno.

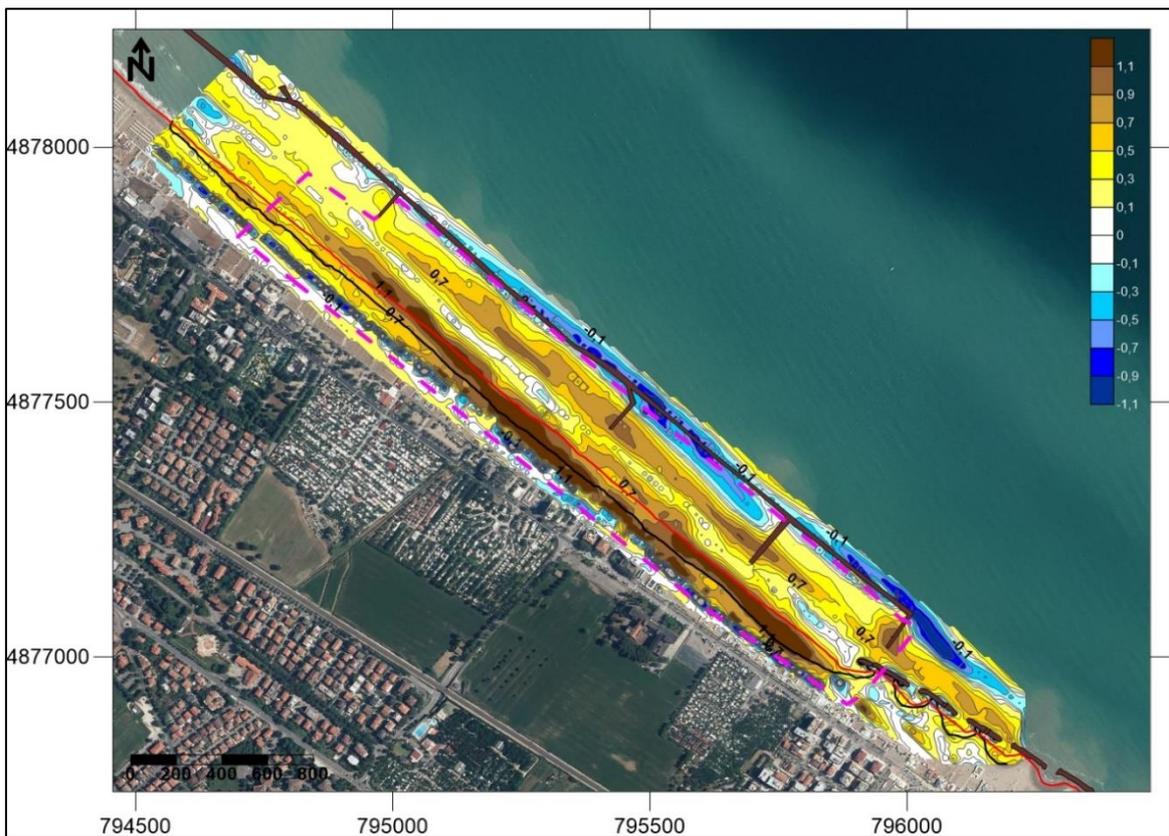


Figura 3.21 – Riccione: mappa topo-batimetrica di confronto tra rilievo di prima pianta e monitoraggio 2017: si notano linea di riva di prima pianta (in nero), linea di riva del monitoraggio (in rosso) e area soggetta a ripascimento (poligono rosa). Equidistanza residui batimetrici in metri.

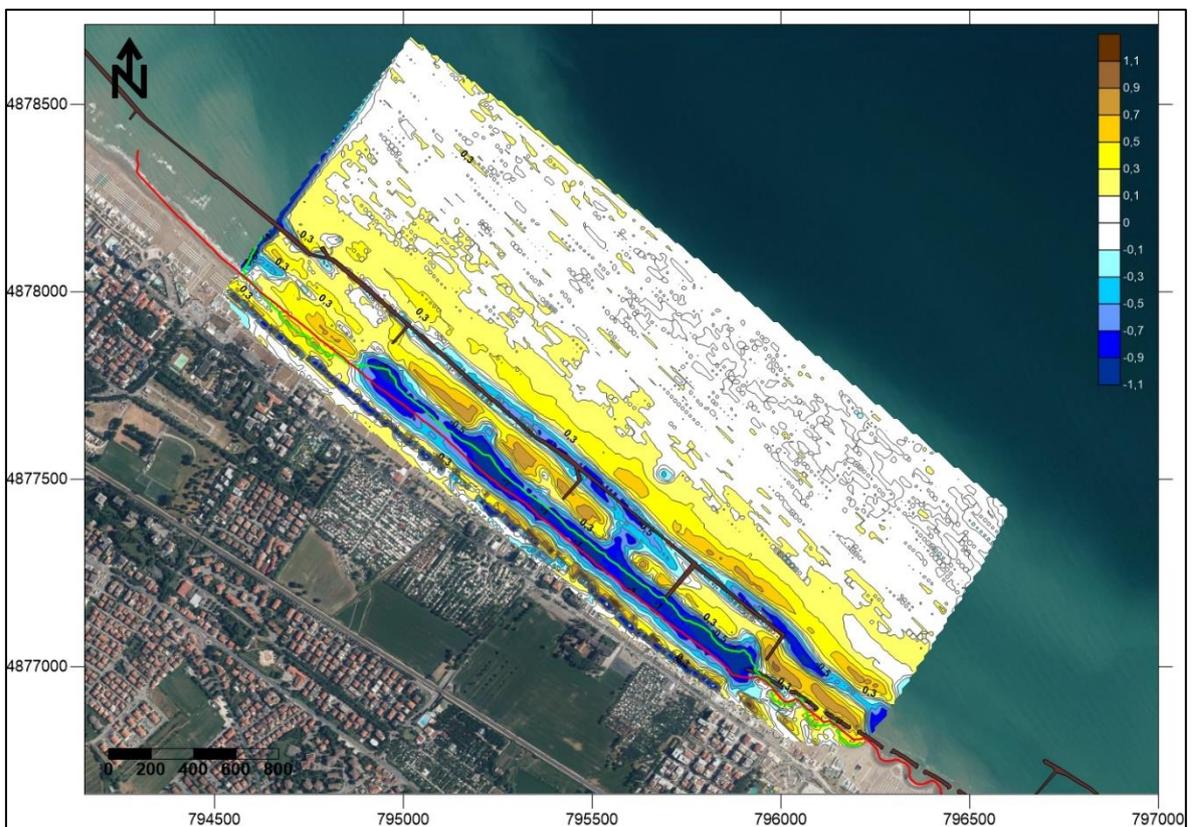
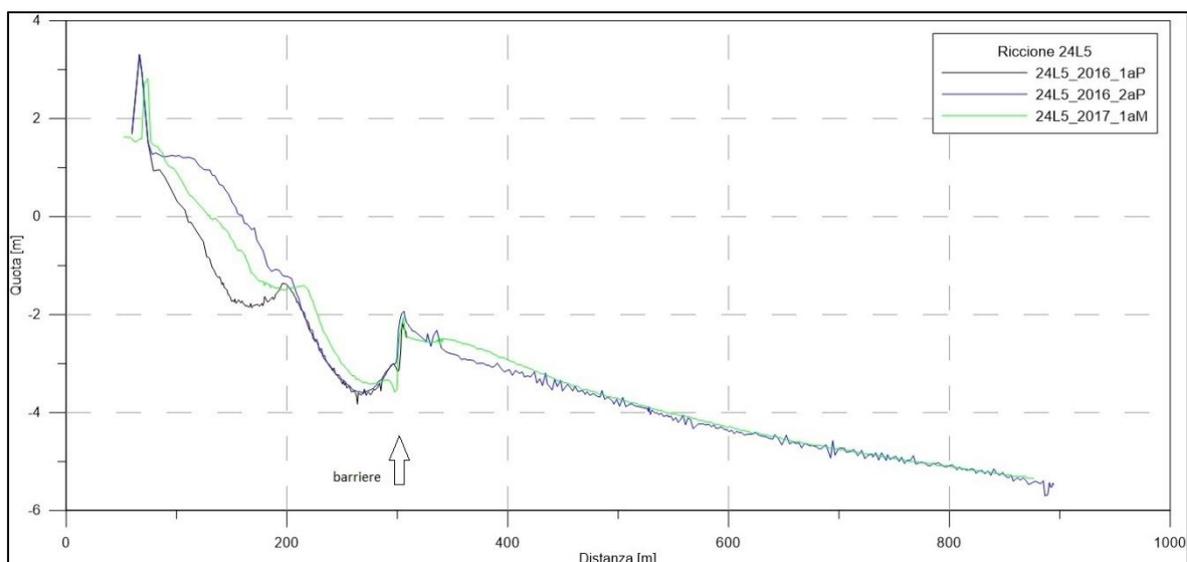


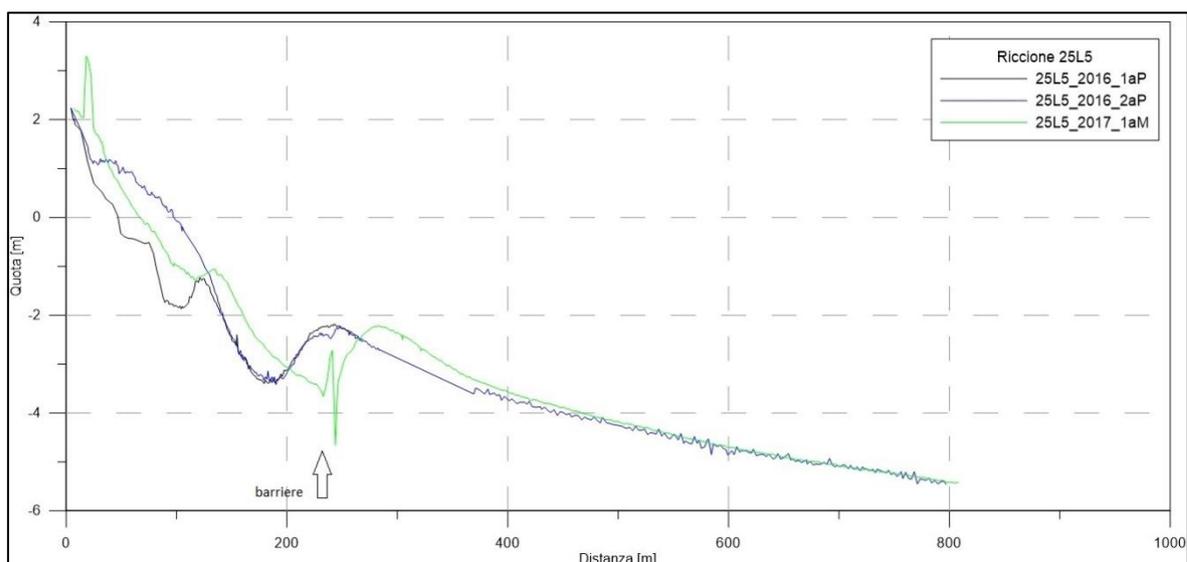
Figura 3.22 – Riccione: mappa topo-batimetrica di confronto tra rilievo di seconda pianta e monitoraggio 2017: si notano linea di riva di seconda pianta (in verde), linea di riva del monitoraggio (in rosso). Equidistanza residui batimetrici in metri.

Le sezioni di Riccione ricavate dalla rete regionale riflettono l'andamento osservato nelle mappe topo-batimetriche:

- Nelle sezioni 24L5 e 25L5 è visibile l'accumulo a ridosso della barriera in sacchi, lato mare, e in questo punto la quota del fondale raggiunge circa i -2 m di quota; allo stesso modo sulla spiaggia emersa si ha andamento analogo per quanto riguarda il volume eroso nel periodo che intercorre tra seconda pianta (2016\_2aP) e monitoraggio (2017\_1aM).



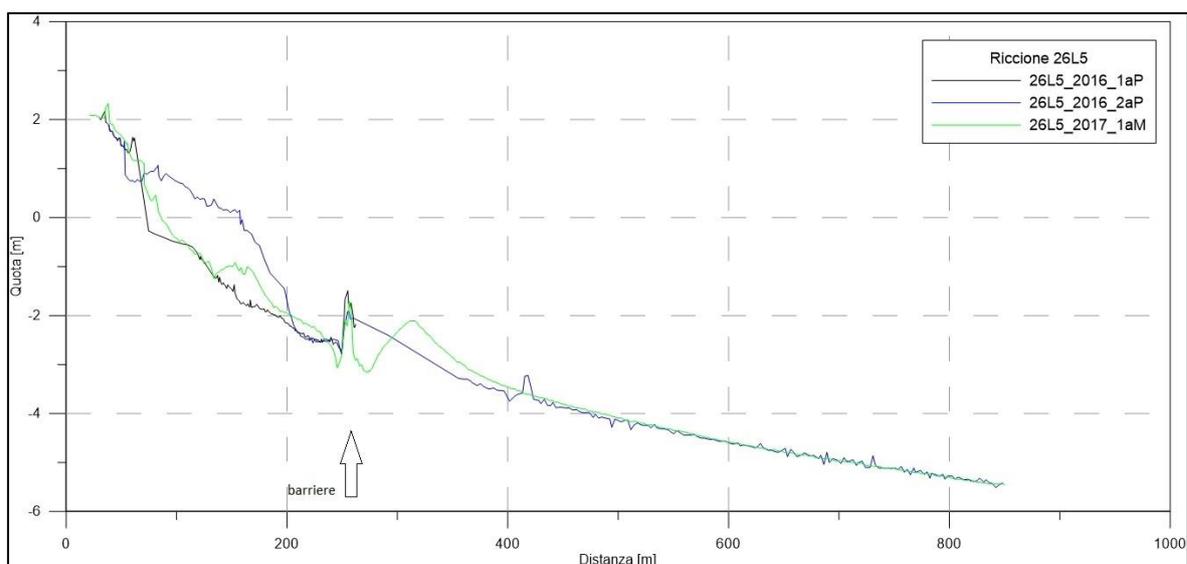
Sezione 24L5 - profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde). La freccia indica l'ubicazione della barriera in sacchi.



Sezione 25L5 - profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde). La freccia indica l'ubicazione della barriera in sacchi.

- Nella sezione 26L5 si era verificato un accumulo di sedimento maggiore in seconda pianta, con quote di 1 m e distanza dal punto di riferimento che arrivavano a 180 –

190 m tuttavia, guardando al profilo del monitoraggio, si può osservare come la situazione sia tornata assimilabile a quella delle sezioni precedentemente descritte.



Sezione 26L5 - profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde). La freccia indica l'ubicazione della barriera in sacchi.



Figura 3.23 - Ubicazione dei campioni prelevati a Riccione, sono visibili anche i poligoni delle opere di difesa e le sezioni. In viola i campioni prelevati prima e dopo il ripascimento, in verde i campioni prelevati in corso d'opera.

I campioni prelevati a Riccione nel 2016, prima dell'intervento, sono prevalentemente composti da sabbia fine (Figura 3.24). I sedimenti in prossimità della battigia presentano anche discrete percentuali di frazioni sabbiose più grossolane (da sabbia molto grossolana a media), mentre la pelite (silt e argilla) è presente solo nella spiaggia sommersa. Inoltre, per confronto, sono stati riportati negli istogrammi anche i campioni prelevati a Riccione Nord, sezione 21L5, non visibili in Fig.3.23.

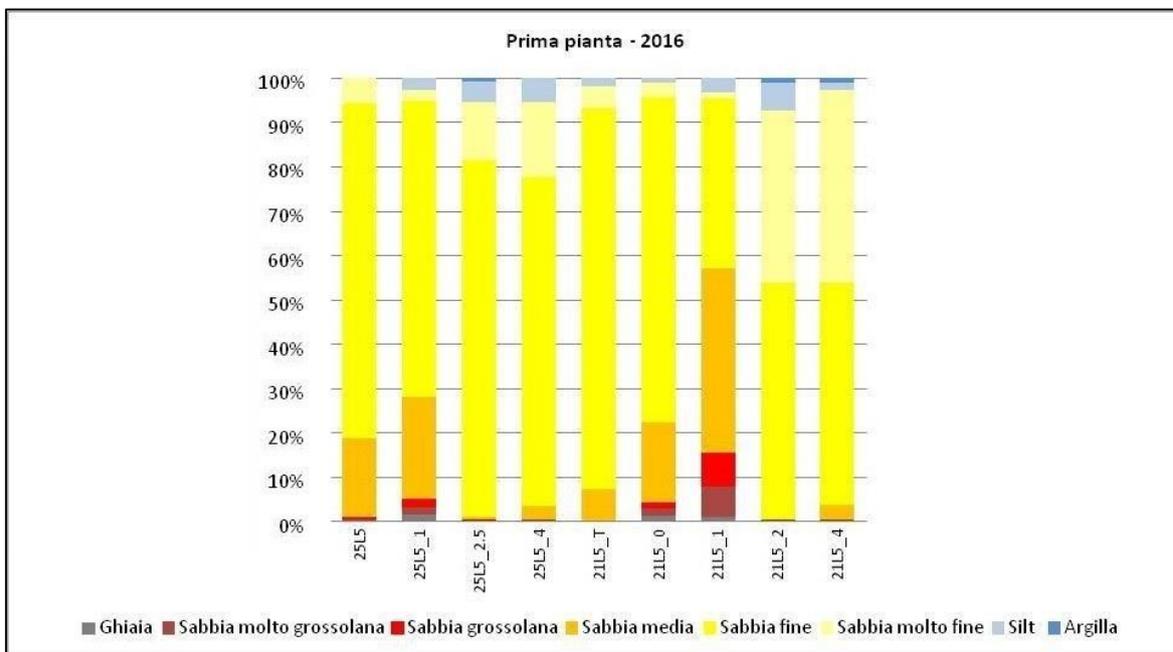


Figura 3.24 - Istogramma con analisi granulometriche eseguite presso il Laboratorio di Arpaè Ravenna dei campioni prelevati sulle spiagge di Riccione tra marzo e aprile 2016 (prima dell'intervento). Sigle: T= spiaggia emersa; 0 = battigia; -1, -2, -4 = profondità fondali in metri.

Dai prelievi effettuati sulla spiaggia subito dopo lo sversamento si nota una composizione granulometrica leggermente diversa da quella presente in prossimità della battigia prima dell'intervento: prevale la sabbia fine e ci sono percentuali minori di sabbia media, non è presente sabbia grossolana e la pelite è praticamente assente (Fig.3.25).

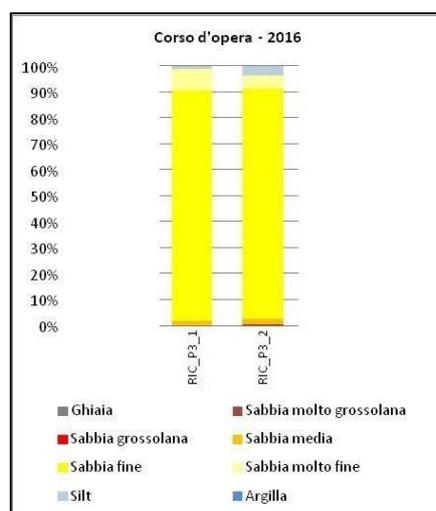


Figura 3.25 - Istogramma con le analisi granulometriche dei campioni raccolti nella zona di sversamento delle sabbie sottomarine sulla battigia di Riccione. Il prelievo è stato effettuato tra aprile e giugno 2106, in corso d'opera.

Nel 2017 si nota un andamento differente nei diversi settori della spiaggia: nei campioni prelevati lungo la sezione 25L5, sulla spiaggia e nei primi fondali, si osserva una percentuale leggermente maggiore di sabbia grossolana e media rispetto a quelli prelevati prima degli sversamenti, mentre la sabbia fine rappresenta ancora la componente principale dei campioni. Non si ha variazione delle percentuali di pelite. Nei campioni prelevati più a nord (21L5) invece risulta in aumento la percentuale di sabbia fine: da notare che ciò si verifica nella zona nella zona sottocorrente e non dove è stato effettuato il ripascimento.

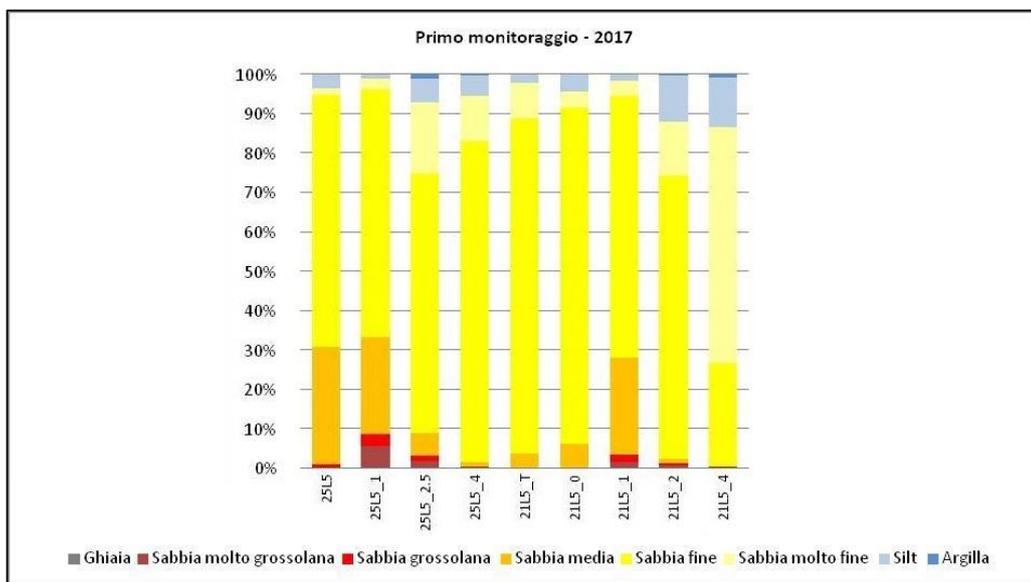


Figura 3.26 - Istogramma delle analisi granulometriche eseguite a dicembre 2017 (primo monitoraggio), a distanza di 17 mesi dall'intervento. Sigle: T= spiaggia emersa; 0 = battigia; -1, -2, -4 = profondità fondali in metri.

Per quanto riguarda il diametro medio dei sedimenti raccolti in prossimità della battigia si hanno dimensioni simili ed assimilabili alla classe della sabbia fine sia prima, durante, che a 17 mesi dall'intervento (Fig.3.27).

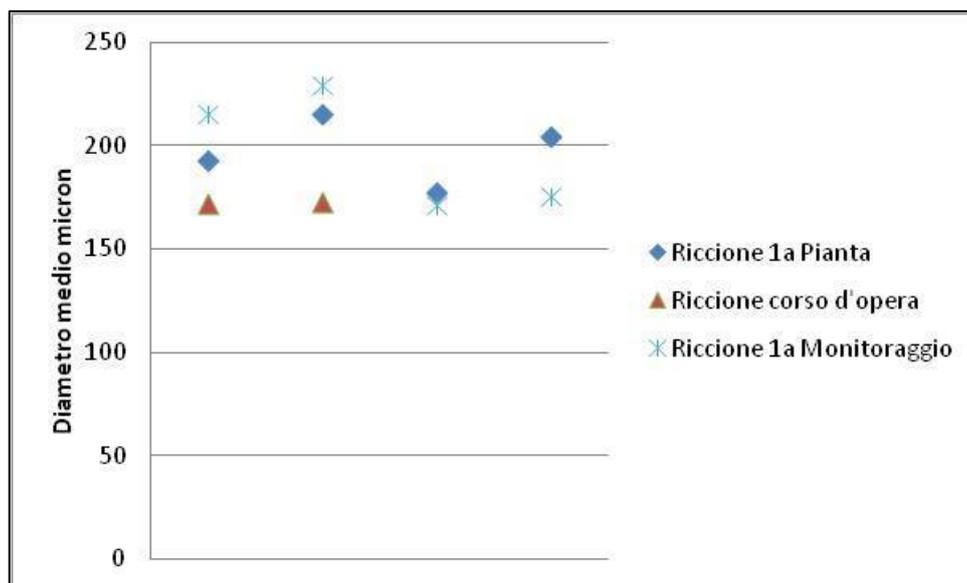


Figura 3.27 - Confronto tra i diametri medi dei sedimenti raccolti in prossimità della battigia prima, durante e dopo l'intervento.

Complessivamente, nel 2017 si osserva che il valore del granulo medio rispetto a prima del ripascimento (2017) risulta pressocchè invariato nell'area di studio (25L5), mentre più a nord (21L5) diventa più fine (Fig.3.28).

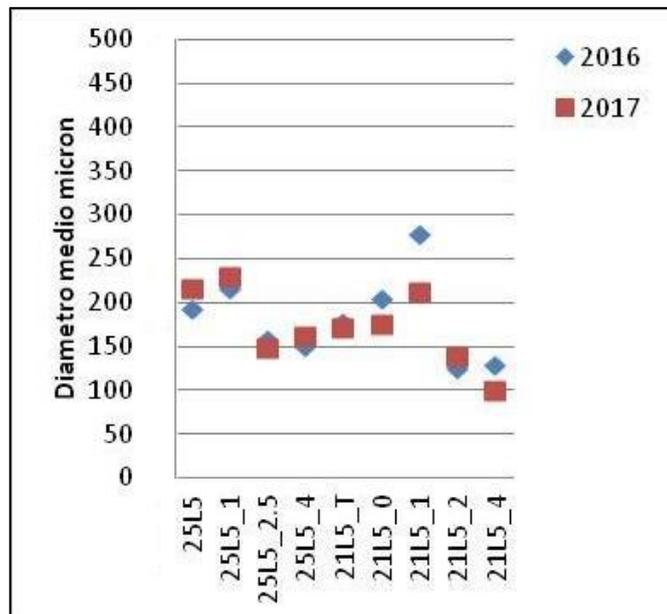


Figura 3.28 - Diametro medio dei campioni prima e dopo lo sversamento.

## 4. Discussione

Come indicato nel Capitolo 3, sulla base dei dati di prima pianta, seconda pianta e monitoraggio, (di cui purtroppo sono disponibili solo i dati relativi al 2017, cioè di primo monitoraggio) relativi all'intervento del "Progettone 3", risulta evidente che per entrambe le spiagge di Misano e Riccione continui il processo di erosione associato ad attive dinamiche di spostamento del sedimento. I risultati della campagna di monitoraggio 2018 (non ancora disponibili al momento di questa tesi) e quelli futuri permetteranno di valutare meglio gli interventi del 2016. Al fine di ottenere un quadro più integrato dell'evoluzione recente del litorale, viene qui applicato un confronto con la situazione pre-intervento a partire dai dati relativi alla fase di monitoraggio, che aveva seguito il precedente intervento di ripascimento (2009), già illustrati nel cap. 1.

### 4.1 Misano Adriatico

Come riporta Aguzzi et al. (2016), la spiaggia di Misano ha continuato ad essere in forte erosione anche nel periodo 2009-2012, nonostante i volumi portati a ripascimento avessero compensato sufficientemente le perdite determinate dalla subsidenza, andando a costituire un accumulo di sedimento concentrato sui fondali a ridosso della barriera in sacchi (Preti et al.,2011).

Come precedentemente illustrato (cap.3), la morfologia e l'evoluzione di questo tratto di spiaggia risultano fortemente condizionate da:

- dinamiche del trasporto solido lungo costa (da sud verso nord),
- presenza di opere rigide quali il fitto campo di pennelli in roccia e la barriera in sacchi pieni di sabbia posizionata a circa 200 m dalla battigia,
- eventi di mareggiate che anche in anni precedenti hanno influito sull'esito degli interventi di ripascimento (vedi cap.1).

Osservando la Figura 3.29, ottenuta confrontando il rilievo di prima pianta 2016 (pre-intervento) con il rilievo del monitoraggio 2009, si notano quasi esclusivamente residui batimetrici negativi. In particolare:

- nell'area di spiaggia sommersa compresa tra i pennelli e la barriera si ha un bilancio negativo piuttosto alto, con massimi valori alle testate dei pennelli ed in prossimità della barriera in sacchi,
- si osserva un approfondimento generalizzato dei fondali anche al di fuori della barriera,
- la zona della spiaggia emersa protetta dai pennelli è principalmente caratterizzata da residui negativi, con valori simili a quelli osservabili nella porzione di spiaggia sommersa.

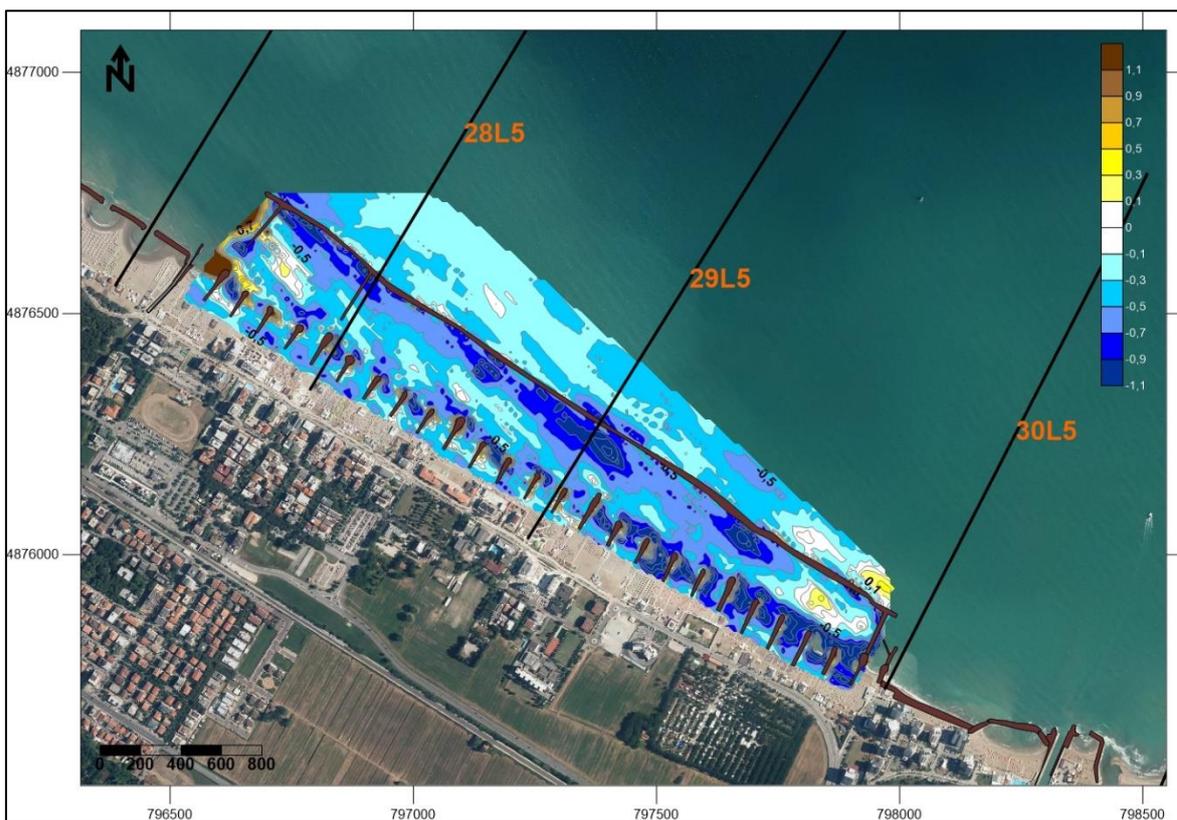


Figura 3.29 – Misano: mappa topo-batimetrica di confronto tra rilievo di prima pianta 2016 e monitoraggio 2009, su cui sono state plottate le sezioni della rete regionale relative ai profili di spiaggia. Equidistanza residui batimetrici in metri.

Queste osservazioni vengono confermate dallo studio delle sezioni topo-batimetriche della rete regionale:

Nella sezione 28L5 (Fig.3.30) si osserva che la linea di riva risulta arretrata nell'arco dell'intero periodo 2009 – 2016 ed i fondali nei primi 2 m della spiaggia sommersa risultano abbassati, con una differenza massima fino a circa 2 metri. In corrispondenza delle testate dei pennelli (indicate con la freccia): qui il profilo di prima pianta del 2016 raggiunge profondità maggiori di 4 m, mentre quello del 2009 arrivava a 2,5 m nello stesso punto.

- i) Abbassamenti del fondale di circa 1 m risultano anche in prossimità delle barriere in sacchi (indicate con la freccia) per cui il profilo relativo al 2016 risulta approfondito rispetto al 2009. Al di fuori delle barriere, fino a circa -4 m, i due profili di spiaggia si discostano nuovamente ed il fondale relativo al 2016 risulta avere profondità maggiori di circa 0,50 m.

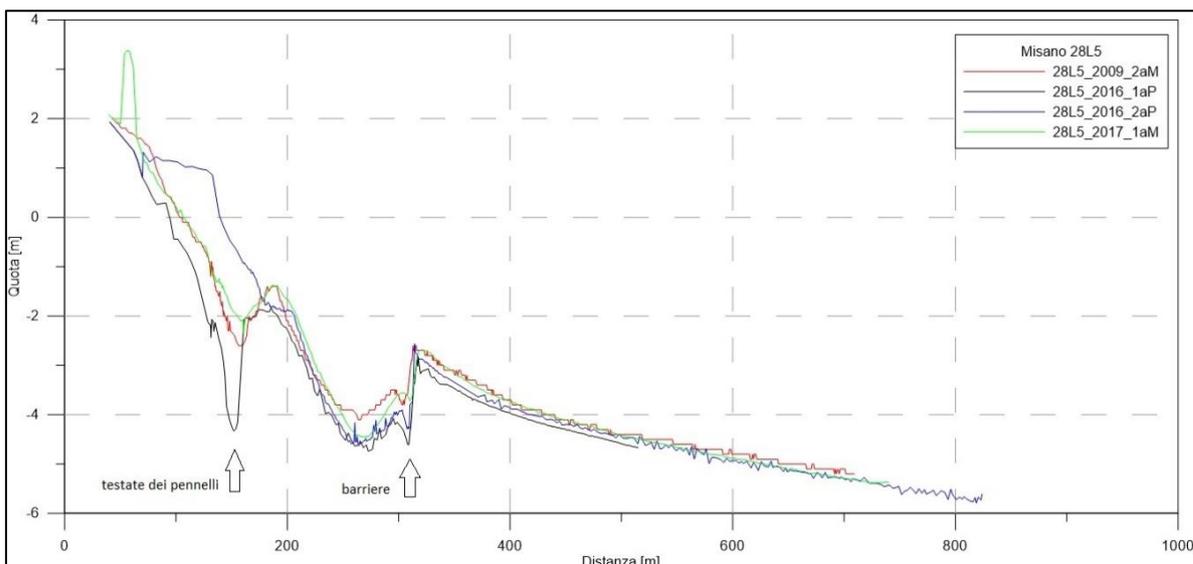


Figura 3.30 – Misano: profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde) confrontati con il profilo di spiaggia relativo al monitoraggio 2009. Le frecce indica l'ubicazione delle testate dei pennelli e della barriera in sacchi.

- i) Nella sezione 29L5 (Fig.3.31) la linea di riva risulta arretrata ed il fondale ribassato, con una differenza di circa 1 m tra il profilo relativo al 2009 e quello relativo al 2016 in tutta la spiaggia sommersa, con valori in aumento avvicinandosi alle barriere (indicate con la freccia). Oltre il limite delle barriere il dato di prima pianta 2016 risulta interrotto, di conseguenza non è applicabile il confronto.

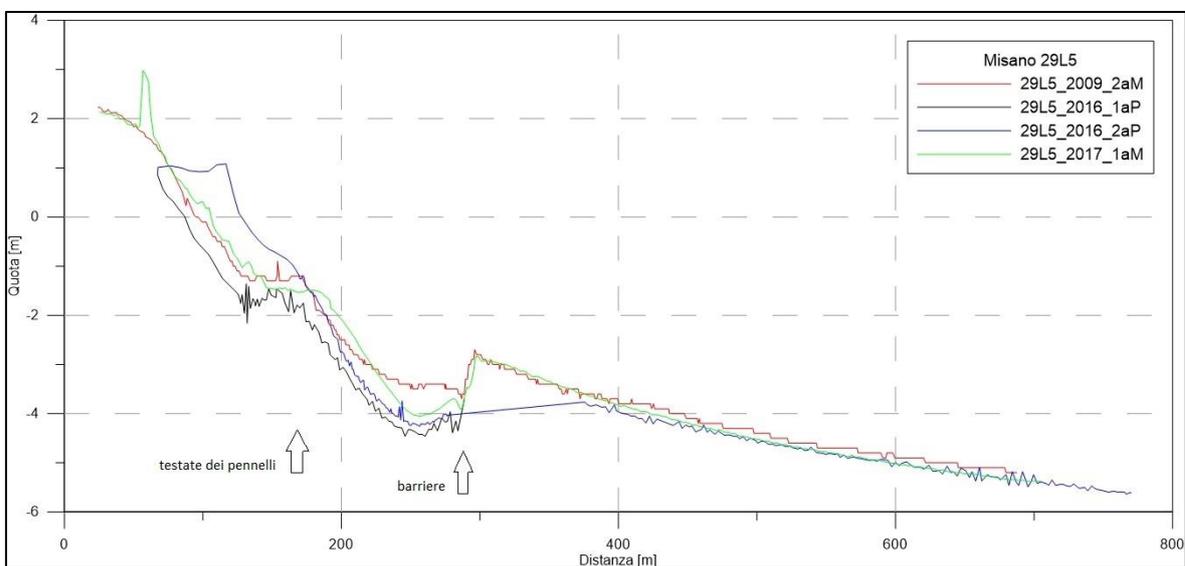


Figura 3.31 – Misano: profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde) confrontati con il profilo di spiaggia relativo al monitoraggio 2009. Le frecce indica l'ubicazione delle testate dei pennelli e della barriera in sacchi.

L' andamento "a dente di sega", che caratterizza tutti i profili estratti, è dovuto all'effetto combinato di:

- esagerazione verticale, applicata al fine di rendere meglio visibili accumuli ed erosioni rispetto alle opere di difesa,

- metodo di acquisizione del dato da parte della ditta esecutrice dei rilievi: probabilmente il basso numero dati acquisiti durante il rilievo ha fatto sì che gli algoritmi di interpolazione, necessariamente applicati per l'estrazione del dato, abbiano operato su due punti troppo distanti tra loro, compromettendo così la resa grafica del profilo di spiaggia che presenta questo tipo di andamento. Un esempio di questo è dato dal profilo relativo alla seconda pianta 2016, nella sezione 29L5 (Fig.3.31), che in corrispondenza delle barriere non segue l'andamento reale del profilo di spiaggia.

In definitiva la situazione post-ripascimento del 2007, così come osservata nel monitoraggio 2009, aveva apportato volumi di sedimento che al rilievo di prima pianta 2016 sono risultati in gran parte erosi. Il fenomeno di erosione si è verificato con maggiore intensità alle testate dei pennelli e a ridosso delle barriere soffolte. Partendo da questa situazione con il ripascimento del 2016 è stato sversato altro sedimento (profilo in blu nelle sezioni, cioè il rilievo di seconda pianta 2016) benché la situazione al 2017 risulti già modificata. Dal confronto tra i profili di spiaggia relativi al monitoraggio 2009 e monitoraggio 2017 (in verde) risulta infatti:

- I) Nella sezione 28L5 (Fig.3.30) la linea di riva 2009 risulta praticamente coincidente con quella del 2017. Nella spiaggia sommersa, alle testate dei pennelli si ha una differenza tra i profili di circa 0,50 m, per cui il fondale aveva profondità maggiori nel 2009 rispetto al 2017. Tuttavia, nell'area interna alle barriere, il fondale mostra profondità maggiori nel 2017, superando i 4 m di profondità. Nell'area esterna alle barriere i due profili mantengono circa lo stesso andamento
- II) Nella sezione 29L5 (Fig.3.31) la linea di riva risulta leggermente avanzata nel 2017, mentre i profili del 2009 e del 2017 nella spiaggia sommersa hanno un comportamento "alternato" di innalzamento ed abbassamento del fondale. Anche in questo caso si osserva un aumento di profondità del fondale di quasi 1 m nel 2017, nell'area interna alle barriere, dove si raggiungono i 4 m di profondità. Nell'area esterna delle barriere l'andamento dei due profili risulta pressoché coincidente.

In riferimento ai dati relativi al monitoraggio 2017, effettuato a 18 mesi dall'ultimo intervento di ripascimento, si osserva quindi che l'andamento del profilo di spiaggia tende ad assumere il trend che caratterizza anche il profilo relativo al 2009, anzi localmente i fenomeni erosivi risultano più accentuati.

## 4.2 Riccione Sud

Sempre facendo riferimento alla situazione del litorale al 2012 (Aguzzi et al., 2016), la spiaggia di Riccione (soprattutto sul suo tratto a sud) risulta ugualmente caratterizzata da perdita di sedimento dovuta in buona parte all'azione del trasporto solido sud-nord. Tuttavia come risultato dai monitoraggi precedenti (Preti et al., 2011), questa spiaggia si giova del fatto che parte del sedimento portato a ripascimento della zona dei pennelli di Misano risultava migrato fino a quest'area, dove infatti anche nel monitoraggio del 2017 si riscontra maggiore quantità di sedimento rispetto a quella apportata con l'intervento (cap.3). Tuttavia, nel momento in cui si riduce l'alimentazione di sedimento proveniente da Misano, la spiaggia di Riccione risulta andare rapidamente in erosione.

Dalla mappa dei residui (Fig.3.32) ottenuta confrontando i rilievi di prima pianta 2016 (pre-intervento) e quelli del monitoraggio 2009 si osservano residui negativi principalmente

nella zona della battigia e a ridosso delle barriere, localizzate al confine con il comune di Misano e l'area di Riccione nord. Tuttavia, a differenza del litorale di Misano, sono presenti piccole aree con residui positivi sulla spiaggia emersa, sulla spiaggia sommersa in direzione di Riccione nord e a ridosso della barriera sommersa (lato mare e lato terra).

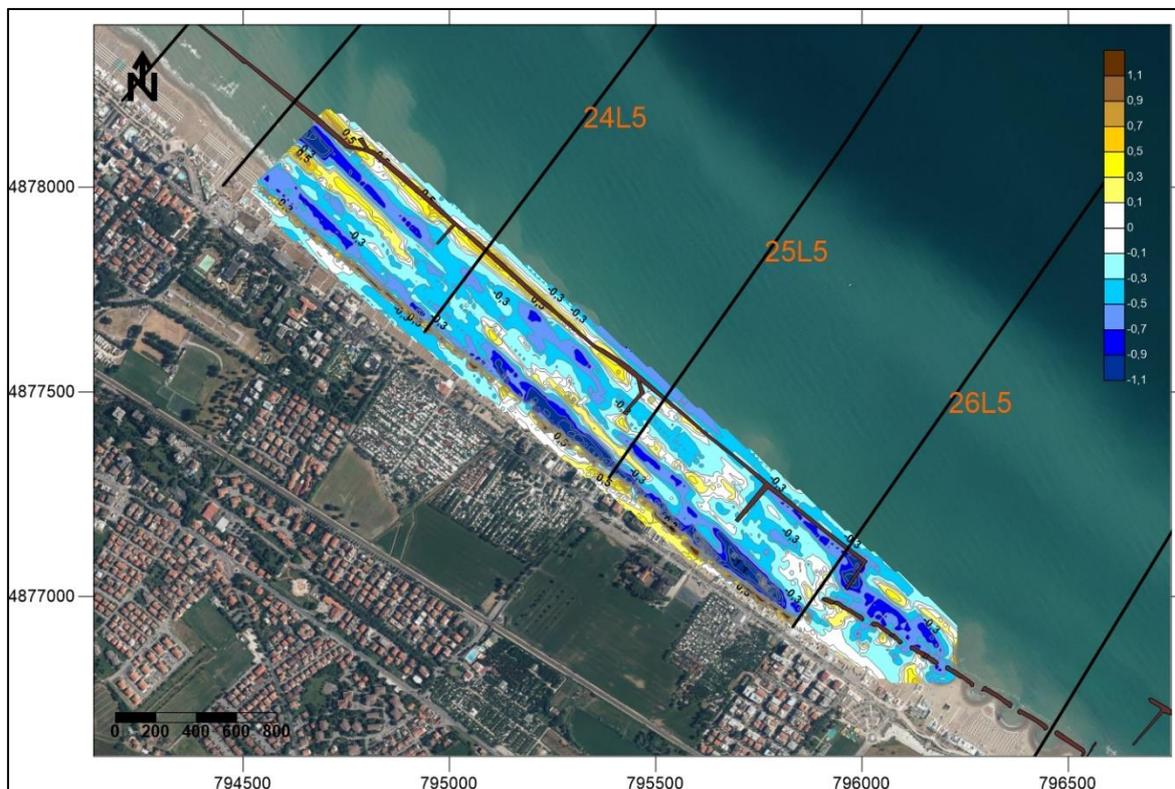


Figura 3.32 – Riccione: mappa topo-batimetrica di confronto tra rilievo di prima pianta 2016 e il monitoraggio 2009, su cui sono state plottate le sezioni della rete regionale relative ai profili di spiaggia. Equidistanza dei residui batimetrici in metri.

Queste stesse caratteristiche sono state osservate in dettaglio nelle 3 sezioni prese in esame per questo tratto di litorale:

- I) Nella sezione 24L5 (Fig.3.33) la linea di riva risulta leggermente arretrata nel 2016 (in nero) rispetto al monitoraggio 2009 (in rosso). La profondità del profilo relativo al 2016 risulta maggiore anche in buona parte della spiaggia sommersa, mentre in prossimità delle barriere (indicate con la freccia) si osserva una differenza tra i due profili di circa 1 m ed il fondale relativo al 2009 aveva maggiore profondità, fino ai 4 m. Questo confronto non è applicabile oltre il limite delle barriere, poiché il dato relativo alla prima pianta 2016 risulta interrotto.  
Osservando il profilo di monitoraggio 2009 (in rosso) rispetto a quello del monitoraggio 2017 (in verde) si osservano alcune differenze: in generale il fondale al 2009 raggiungeva profondità maggiori rispetto al 2017 (a partire da 1.5 e 1.7 m di profondità, dove nel 2009 probabilmente si posizionava una barra sommersa), superate le barriere sommerse l'andamento dei due profili torna ad essere simile.

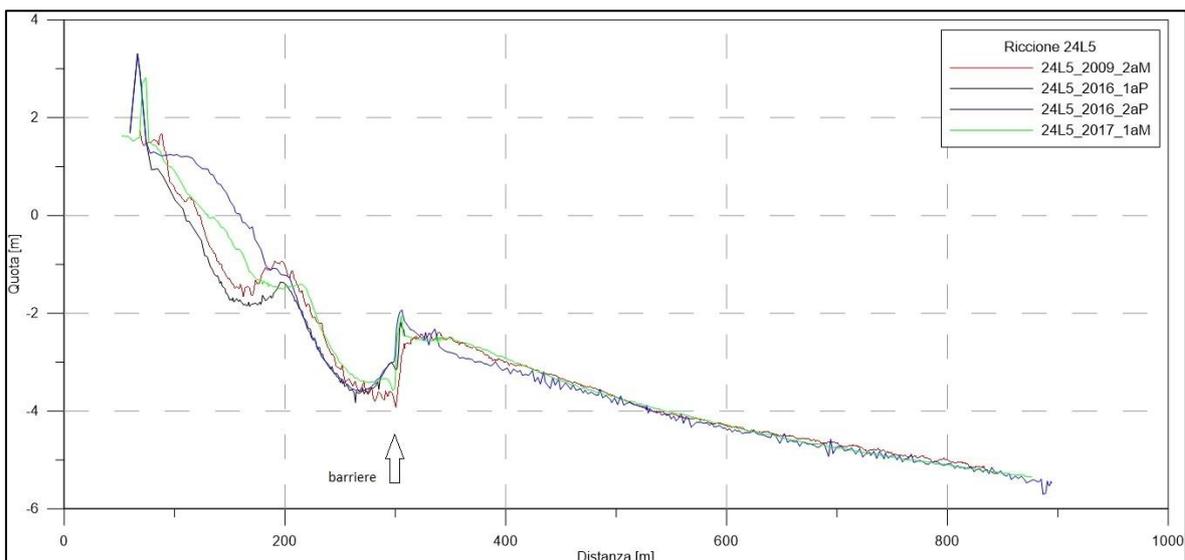


Figura 3.33 – Riccione: profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde) confrontati con il profilo di spiaggia relativo al monitoraggio 2009 (in nero). La freccia indica l'ubicazione della barriera in sacchi.

II) Osservando la sezione 25L5 (Fig.3.34) la linea di riva risulta leggermente arretrata nel 2016 rispetto al 2009. In buona parte della spiaggia sommersa, si rileva un approfondimento del fondale (localmente fin quasi a 1 m) tra profilo di monitoraggio 2009 (in rosso) e di prima pianta 2016 (in nero), quest'ultimo a maggiore profondità. Purtroppo il dato relativo alla prima pianta 2016 risulta interrotto in corrispondenza delle barriere e non è possibile fare il confronto sul lato esterno.

Guardando al profilo di spiaggia relativo al monitoraggio 2017 (in verde), affetto da un errore (spike), del dato batimetrico a ridosso delle barriere, si osserva, rispetto al dato batimetrico del 2009, un generalizzato innalzamento dei fondali nella battigia e nella spiaggia sommersa, tranne che in corrispondenza della barriera in sacchi.

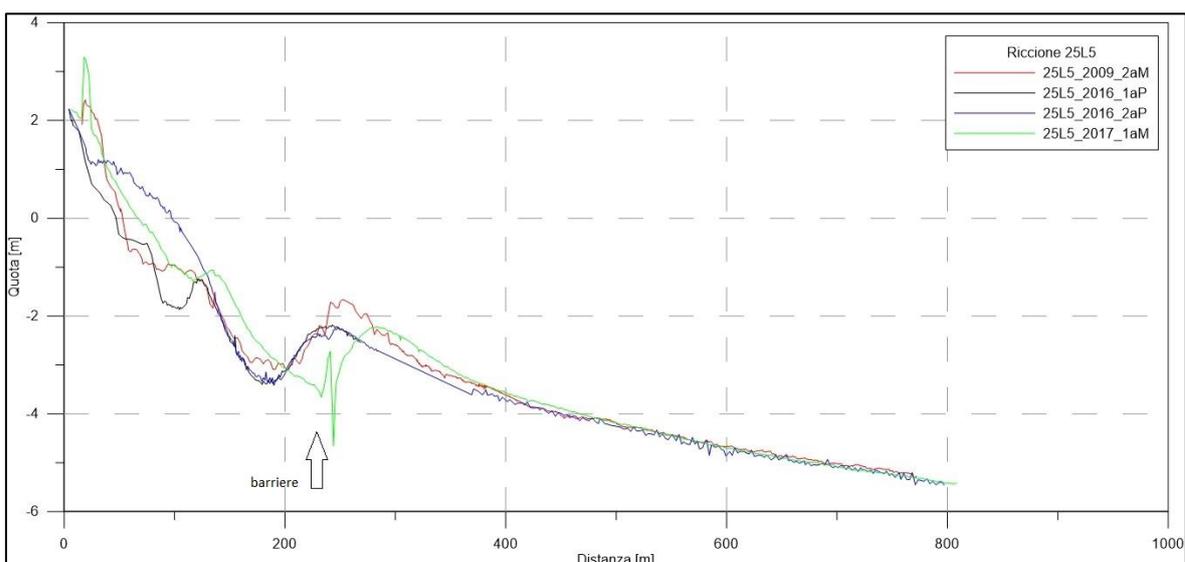


Figura 3.34 – Riccione: profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde) confrontati con il profilo di spiaggia relativo al monitoraggio 2009. La freccia indica l'ubicazione della barriera in sacchi.

- III) Nella sezione 26L5 (Fig.3.35) la linea di riva risulta pressoché invariata tra 2016 e 2009, così come la profondità del fondale nella spiaggia sommersa. In prossimità delle barriere sommerse (a partire dalle quali il dato del 2016 si interrompe) invece si osserva una differenza di circa 1 m ed il fondale relativo al 2016 (in nero) risulta più profondo.
- Confrontando lo stato della spiaggia in questa sezione tra il monitoraggio 2009 con quello relativo al 2017 (in verde) si osservano alcune marcate differenze nella distribuzione del sedimento nella spiaggia sommersa, soprattutto tra -1 e -2 m il fondale nel 2009 (in rosso) aveva maggiore profondità e, a ridosso delle barriere, dove i due profili si discostano di oltre 1 m.

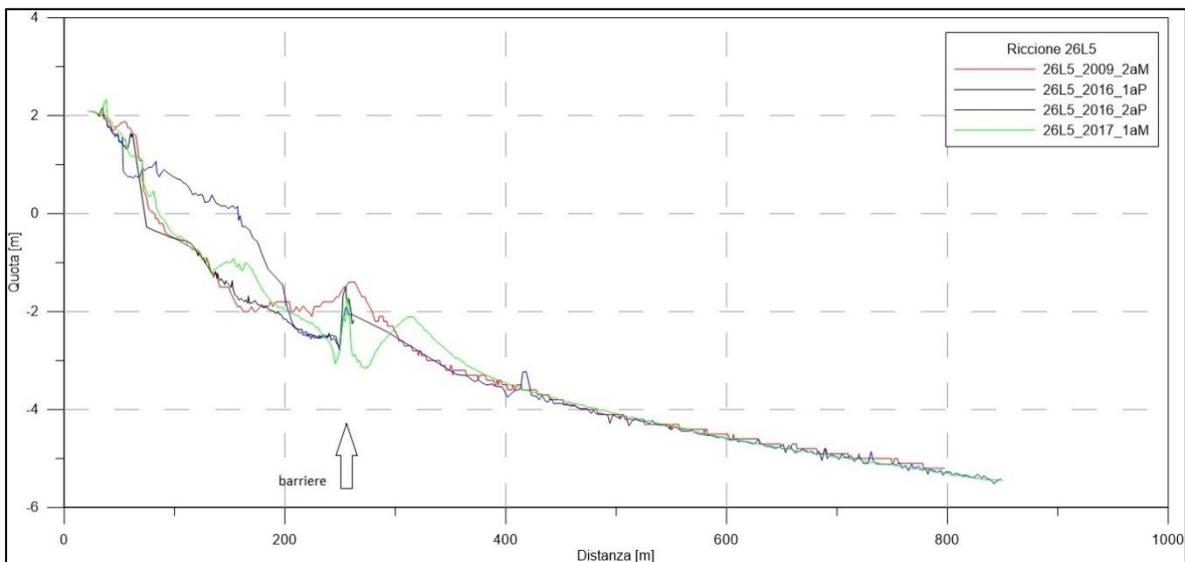


Figura 3.35 – Riccione: profili di spiaggia di prima pianta 2016 (in nero), seconda pianta 2016 (in blu) e primo monitoraggio 2017 (in verde) confrontati con il profilo di spiaggia relativo al monitoraggio 2009. La freccia indica l'ubicazione della barriera in sacchi.

Confrontando il dato relativo al monitoraggio 2009 con quello del monitoraggio 2017 si osserva anche in questo caso che l'andamento del profilo di spiaggia tende ad assumere il trend che caratterizzava il profilo relativo al 2009, col riprodursi dei fenomeni erosivi.

## Conclusioni

Le attività di monitoraggio sullo stato e sull'evoluzione morfologica e sedimentologica del litorale Emiliano-Romagnolo mostrano la validità dell'azione di difesa della costa, attuata dalla Regione Emilia-Romagna partire dal 1983 e studiata da Arpae nel corso dei principali interventi di ripascimento in Emilia-Romagna verificatisi nel 2002, 2007 e 2016. I risultati ottenuti dal monitoraggio confermano l'efficacia degli interventi di ripascimento, mostrando anche come i fenomeni erosivi si siano intensificati nel corso degli anni. Nell'ambito dei risultati del monitoraggio 2002 e del 2009, relativi rispettivamente del "Progettone 1" e "Progettone 2", le spiagge di Misano e di Riccione, in equilibrio precario nonostante i periodici interventi di ripascimento (Aguzzi et al., 2016), sono state considerate con visione unitaria, ai fini delle soluzioni da adottare. Come sostenuto in Preti et al. (2009), a Misano i volumi di sabbia apportati risultavano fuoriusciti in gran parte verso nord e lo stesso si è verificato a Riccione Sud.

Dai risultati ottenuti nell'ambito "Progettone 3", tutt'ora in corso d'opera, emergono le medesime caratteristiche del litorale: proprio per questo i dati di prima pianta, seconda pianta (2016) e monitoraggio (2017), acquisiti da Arpae nei siti di Misano e Riccione sia prima che dopo l'intervento di ripascimento, sono stati confrontati ed inquadrati nell'ambito più ampio dell'evoluzione emerge che:

- Sulla spiaggia di Misano Adriatico la limitata efficacia degli interventi di ripascimento è in parte dovuta alla granulometria inadeguata dei sedimenti apportati rispetto a quelli "nativi" di questo tratto di spiaggia, originariamente più grossolani (sabbia medie; Preti et al., 2011). Inoltre andrebbe probabilmente riconsiderato sia il riassetto dei pennelli in roccia, che risultano essere molto riflettenti e quindi accelerano il processo di allontanamento della sabbia, sia la funzionalità della barriera longitudinale in sacchi pieni di sabbia. A prescindere dalla tipologia di opera di difesa questo tratto dovrà continuare ad essere necessariamente alimentato con apporti artificiali di sabbia proveniente dall'esterno del sistema litoraneo dal momento che, da decenni, l'intero paraggio non è più alimentato da fonti naturali, quali la falesia del Monte San Bartolo e gli apporti fluviali.
- Anche a Riccione Sud il ripascimento risulta insostituibile per mantenere l'equilibrio del litorale. Tuttavia, secondo le stime di Arpae, a fine novembre 2017, in tutta l'area di monitoraggio di Riccione, più ampia di quella dell'intervento, risulta un deposito di 240.000 m<sup>3</sup> di sabbia rispetto alla situazione pre-intervento, quindi 27.000 m<sup>3</sup> in più rispetto ai 213.000 m<sup>3</sup> portati a ripascimento. Ciò suggerisce che in questa zona sia arrivata parte della sabbia fuoriuscita dall'area di intervento di Misano, indicando che il materiale sversato su questi tratti di litorale non va considerato "perso", ma va ad alimentare sia tratti sottocorrente che l'area esterna alle opere di difesa.

In pratica il settore costiero di Misano e Riccione, oggetto di ripetuti interventi di ripascimento può essere considerato come una zona di ricarica artificiale del "nastro trasportatore litoraneo" che, spostando la sabbia fino al molo di Rimini garantisce l'equilibrio di 12 km di spiagge (Preti et al., 2011).

## **Bibliografia**

Preti, M., Aguzzi, M., Costantino, R., De Nigris, N., & Morelli, M. (2011). *Monitoraggio delle spiagge nel periodo 2002-2005*, Studi costieri, no.19, 35-87.

Preti, M., Aguzzi, M., Costantino, R., De Nigris, N., & Morelli, M. (2011). *Monitoraggio delle spiagge nel periodo 2007-2009*, Studi costieri, no. 19, 137-198.

Aguzzi, M., Bonsignore, F., De Nigris, N., Morelli, M., Paccagnella, T., Romagnoli, C., & Unguendoli, S. (2016). *Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2012. I quaderni di Arpae*.

Regione Emilia-Romagna (2015) – *Messa in sicurezza di tratti critici del litorale mediante ripascimento con sabbie sottomarine – Progettone 3. Progetto esecutivo: relazione generale e illustrativa*.