



UNIVERSITÀ DI PISA

## DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA



# STUDIO AMBIENTALE DELL'AREA MARINA ANTISTANTE ROSIGNANO SOLVAY

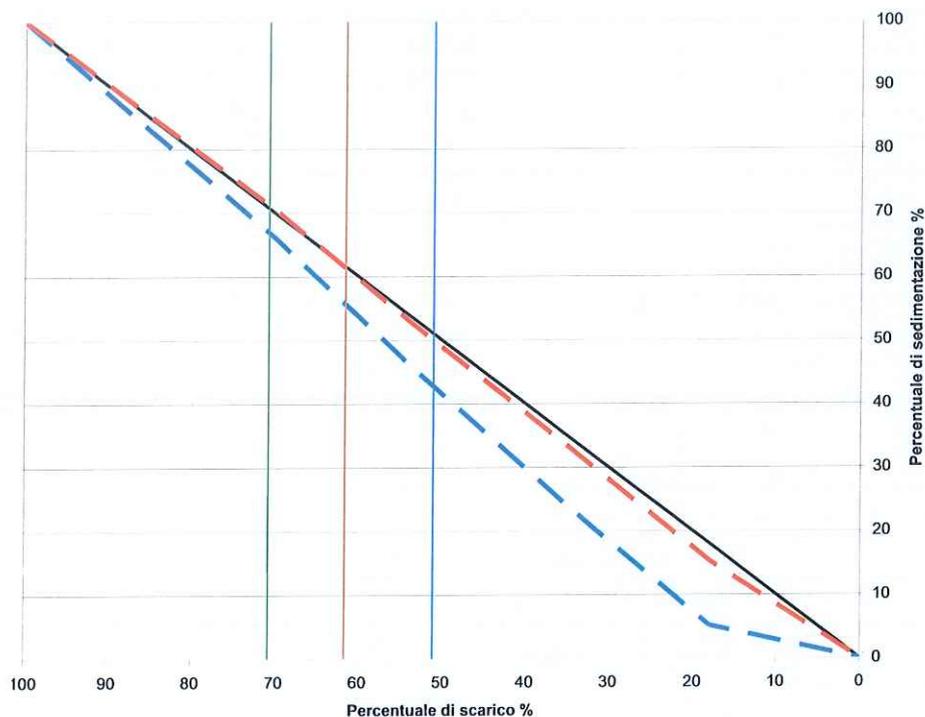
DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA, UNITA' DI BIOLOGIA MARINA ED ECOLOGIA - VIA DERNA, 1 PISA

Telefono: 0502211401 - Fax: 0502211410

Coordinatore dello studio: Prof. Alberto Castelli

DOCUMENT No. 400206-ROS-UDB-ADD-r1 Pag. 1 di 25	 UNIVERSITÀ DI PISA	 <b>DEAM</b>
<b>MAR LIGURE</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>400206</b>
<b>AREA</b>		<b>COMMESSA</b>

## STUDIO AMBIENTALE DELL'AREA MARINA ANTISTANTE ROSIGNANO SOLVAY



## ADDENDUM INTERPRETAZIONE DELLE MISURE 2012 E CONCLUSIONI GENERALI

1	Maggio 2012	Inserito commenti	<i>Eleonora Duchini</i>	<i>Emanuele Terrile</i>	<i>Brunella Guida</i>
0	Aprile 2012	Emissione	Dr. Eleonora DUCHINI	Dr. Ing. Emanuele TERRILE	Dr. Brunella GUIDA
REV	DATA	DESCRIZIONE	AUTORI		APPROVATO

**INDICE**

<b>1. SCOPO</b>	<b>4</b>
<b>2. MISURE EFFETTUATE NEL 2012</b>	<b>5</b>
2.1 Posizione della linea di riva	6
2.2 Variazione annuale della superficie della spiaggia emersa	8
2.3 Variazione annuale dei volumi della spiaggia emersa	9
<b>3. LO SCARICO SEDIMENTARIO</b>	<b>14</b>
<b>4. L'ENERGIA ONDOSA</b>	<b>15</b>
<b>5. SINTESI DEI RISULTATI DELLO STUDIO 2011</b>	<b>17</b>
<b>6. INTERPRETAZIONE ALLA LUCE DEI NUOVI DATI 2012</b>	<b>23</b>
<b>7. CONCLUSIONI</b>	<b>25</b>

## 1. SCOPO

Scopo del presente addendum allo studio effettuato nel 2011 è quello di rianalizzare le conclusioni a cui si era pervenuti, alla luce delle nuove misure che la SOLVAY, conscia della situazione complessiva del litorale emersa dopo le misure di luglio 2011, ha ritenuto opportuno di ripetere in febbraio 2012.

Ove necessario, si farà riferimento ai risultati e alle simulazioni contenute nello studio 2011, in particolare a:

- *“Sezione 1 - “Le spiagge bianche - Situazione al 2005”*, citato nel seguito come RT;
- *“Sezione 2 - “Misure effettuate - Spiaggia emersa e sistema dunale”*, citato come studio DU;
- *“Sezione 3 - “Studio meteo-marino”*, citato nel seguito come studio MM;
- *“Sezione 4 - “Studio morfodinamico”*, citato come studio MD;
- *“Sezione 5 - “Interpretazione dei risultati e conclusioni generali”*, citato come studio IR;
- *“Sezione 6 - “Appendici: Descrizione dei modelli numerici utilizzati”*, citato come APP;
- *Sezione 7 - “Allegato: Documentazione fotografica e misure sul sistema dunale”*, citato come ALL

## 2. MISURE EFFETTUATE NEL 2012

Nel corso del 2011 è stato effettuato lo studio delle Spiagge Bianche, finalizzato alla comprensione dettagliata della fenomenologia del litorale di Rosignano.

Dopo aver preso atto della situazione complessiva del litorale emersa dalle misure effettuate nel 2011, SOLVAY ha ritenuto opportuno ripetere le stesse indagini in febbraio 2012, ad un anno di distanza dalla prima campagna di rilievi.

Nel febbraio 2012 è stata quindi eseguita una nuova serie di misure della posizione della linea di riva, dell'ampiezza della spiaggia emersa e dei volumi di sabbia presenti.

Sono così ad oggi disponibili i risultati di 3 campagne di misura eseguite in:

- febbraio 2011
- giugno-luglio 2011
- febbraio 2012.

Si ritiene opportuno evidenziare che:

- le misure sono state eseguite dalla stessa società DRAFINSUB che aveva effettuato le precedenti, basate su nostra specifica tecnica e con gli stessi strumenti;
- il sistema di posizionamento è riferito esattamente agli stessi caposaldi;
- la metodologia utilizzata è rigorosamente identica;
- la restituzione dei dati e le elaborazioni effettuate sono esattamente le stesse.

I rilievi sono stati effettuati in condizioni climatiche buone, con mare calmo e in assenza di vento.

Si sottolinea che entrambe le misure invernali sono state effettuate in febbraio, con la stessa tipologia di clima, caratterizzato dalla presenza, per molti giorni consecutivi antecedenti il periodo dei rilievi, di leggero vento da costa e da alta pressione atmosferica.

**Ne segue che l'indeterminazione associata alle misure può essere considerata praticamente trascurabile e il confronto tra i dati totalmente attendibile.**

Va tuttavia messo in evidenza, per completezza d'informazione, che il livello del mare, in condizioni di alta pressione e con vento proveniente da costa, tende ad abbassarsi e di conseguenza la posizione della linea di riva può risultare più avanzata rispetto alla posizione mediamente assunta. Poiché ciò è avvenuto sia nel febbraio 2011 che nello stesso mese del 2012, il confronto tra le situazioni è comunque valido.

Nel seguito vengono sinteticamente descritti i risultati ottenuti, i cui dettagli sono riportati nella relazione di Drafinsub Survey "Indagini topografiche 3D finalizzate allo studio ambientale dell'area marina antistante Rosignano Solvay (LI)" del febbraio 2012 consegnata a SOLVAY alla quale si rimanda per i dettagli.

## 2.1 Posizione della linea di riva

La posizione della linea di riva misurata in febbraio 2012 mostra un deciso avanzamento rispetto a quella di febbraio 2011, come risulta dalla **Fig. 2.1**.

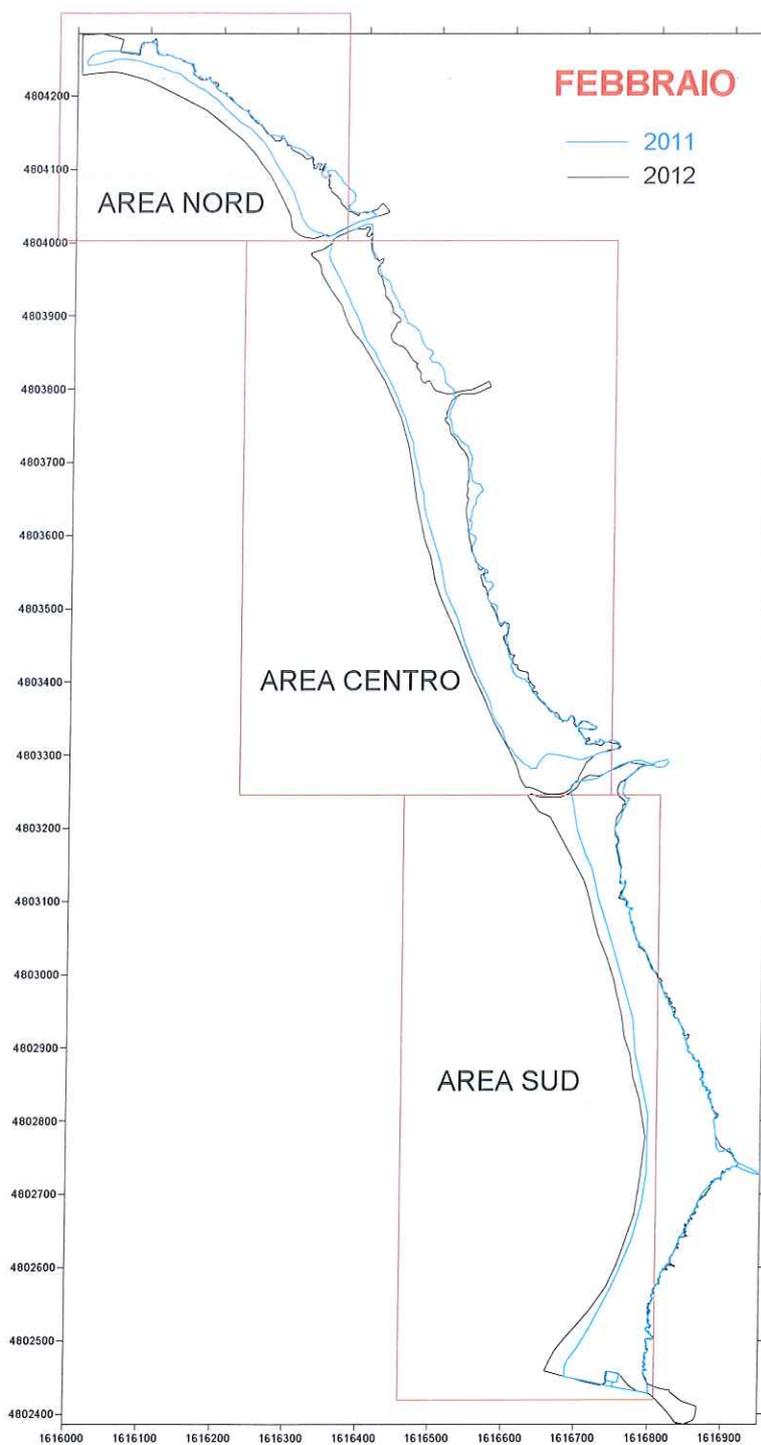


FIG. 2.1 – CONFRONTO TRA POSIZIONI DELLA LINEA DI RIVA 2011-2012

Nella **Fig. 2.2** vengono riportate anche le linee di riva misurate in luglio 2005 e 2011: si noti come la posizione relativa a febbraio 2012 sia quella più avanzata.

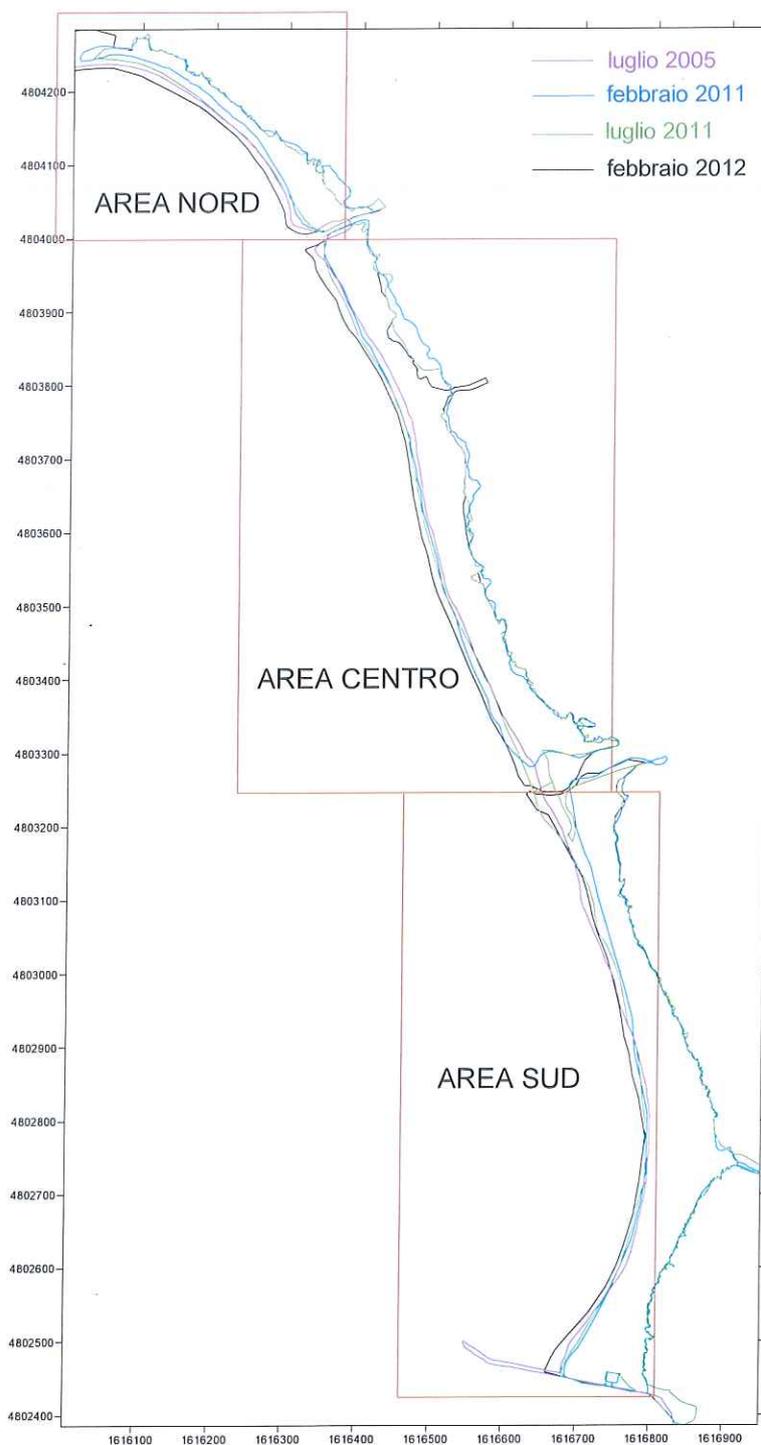


FIG. 2.2 – CONFRONTO TRA POSIZIONI DELLA LINEA DI RIVA 2002-2011-2012

## 2.2 Variazione annuale della superficie della spiaggia emersa

Per ognuna delle 3 aree considerate sono state calcolate le variazioni della superficie della spiaggia emersa rispetto al febbraio 2012.

Nella zona della foce del Fiume Fine la variazione di superficie era piuttosto notevole: poiché la zona della foce può essere più o meno ampia a secondo della portata del fiume o del suo flusso verso mare, che può essere facilmente influenzato dal vento o dalla presenza di onde, si sono eseguiti i calcoli sia considerando che trascurando l'area di foce. I risultati sono mostrati nella **Tab. 2.1**.

Come si osserva dalla tabella, la superficie della spiaggia è aumentata di circa 22.000 m<sup>2</sup> in 1 anno (27.000 m<sup>2</sup> se si considera anche la zona della foce del fiume Fine). Tale incremento riguarda, pur in misura ridotta, tutti i settori in cui, per comodità, è stata suddivisa la spiaggia.

AREE	FEBBRAIO 2011 (mq)	FEBBRAIO 2012 (mq)	INCREMENTO SUPERFICIE (mq)
AREA NORD	12.532	19.062	6.530
AREA CENTRO			
FOCE COMPRESA	50.154	60.446	10.292
SENZA FOCE	48.269	55.014	6.745
AREA SUD			
FOCE COMPRESA	60.521	71.065	10.544
SENZA FOCE	56.768	65.414	8.646
TOTALE SPIAGGIA (FOCE COMPRESA)			27.366
TOTALE SPIAGGIA (SENZA FOCE)			21.921

TAB. 2.1 – VARIAZIONE ANNUALE DELLA SUPERFICIE DELLA SPIAGGIA EMERSA

### 2.3 Variazione annuale dei volumi della spiaggia emersa

Tenuto conto dell'oggettiva difficoltà nel calcolare con accuratezza la quantità di materiale presente sulla spiaggia emersa, il calcolo dei volumi è stato effettuato in due modi differenti:

- computo, effettuato direttamente da Drafinsub per ogni area, dei volumi di materiale in accumulo e/o diminuzione rilevati nelle fasce di spiaggia con quote comprese tra 0 e 1 m, tra 1 e 2 m, tra 2 e 4 m, tra 4 e 7 m. Il calcolo è stato eseguito per differenza tra i volumi dei rilievi laser-scanner di febbraio 2012 rispetto a febbraio 2011, sia considerando l'avanzamento della linea di riva sia trascurandolo. Si fa presente che, ove esiste la vegetazione, il calcolo dei volumi è affetto da una notevole indeterminazione e ciò riguarda soprattutto la fascia compresa tra 2 e 7 m;
- calcolo dei volumi di materiale, in accumulo e/o in diminuzione, rispetto al ciglio della duna. Tale scelta è stata considerata la più opportuna in quanto il ciglio non ha cambiato la sua posizione nel tempo.

Si fa notare che la superficie è decisamente diversa nei 2 metodi, in particolare l'aver considerato anche la fascia 4-7 m comporta una superficie complessiva almeno doppia di quella considerata nel secondo metodo.

I risultati ottenuti da Drafinsub calcolando le variazioni di ogni singola fascia sono mostrati nelle **Fig. 2.3-2.5** e sintetizzati nella **Tab. 2.2**. I risultati calcolati rispetto al ciglio della duna sono riportati invece nella **Tab.2.3**.

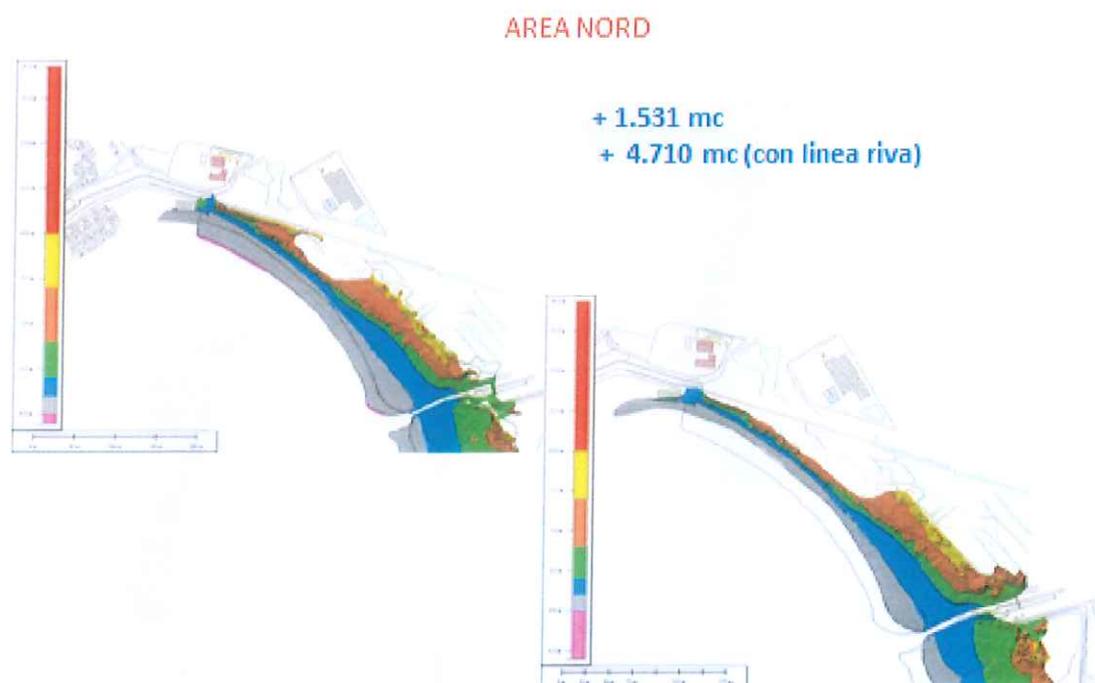


FIG. 2.3 – AREA NORD: VARIAZIONI VOLUMETRICHE TRA FEBBRAIO 2011 (a sinistra) E FEBBRAIO 2012 (a destra)

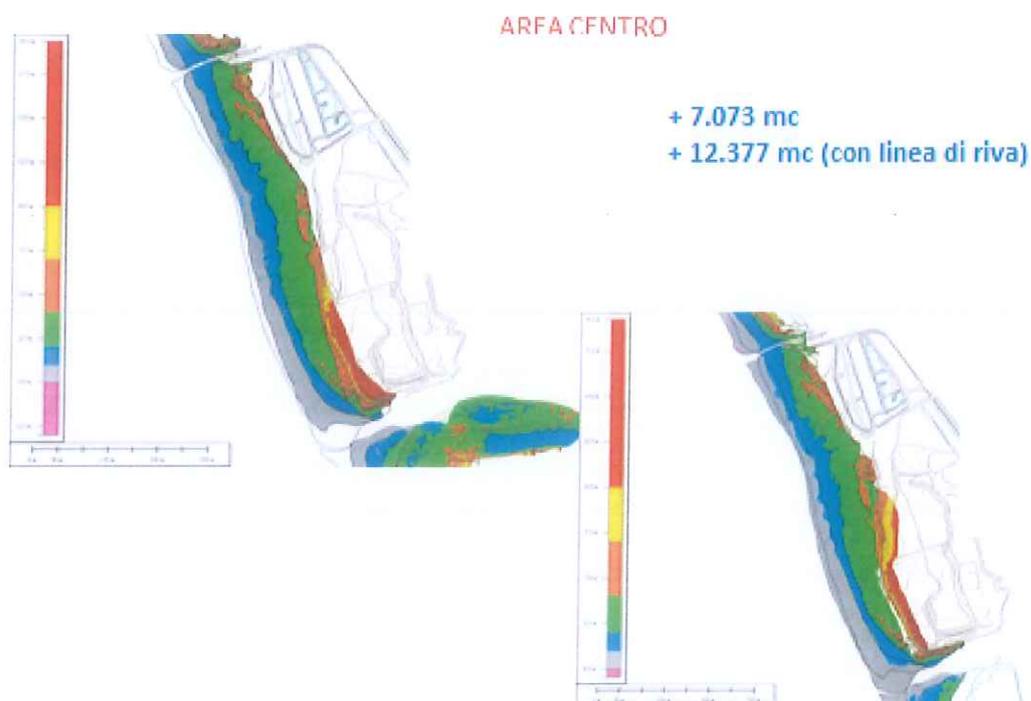


FIG. 2.4 – AREA CENTRALE: VARIAZIONI VOLUMETRICHE TRA FEBBRAIO 2011 (a sinistra) E FEBBRAIO 2012 (a destra)

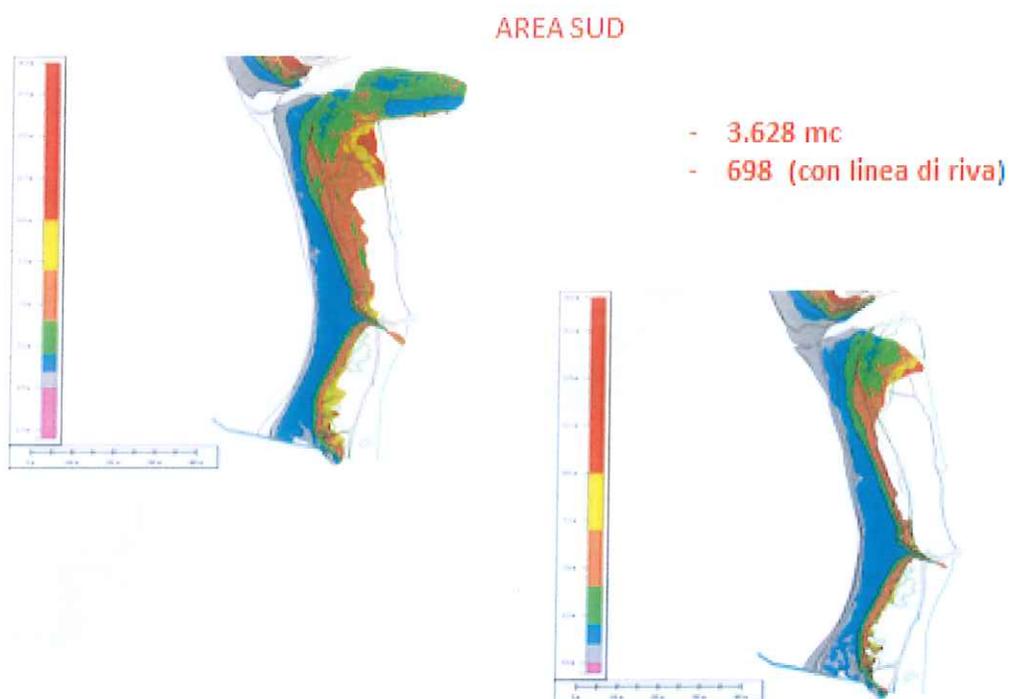


FIG. 2.5 – AREA SUD: VARIAZIONI VOLUMETRICHE TRA FEBBRAIO 2011 (a sinistra) E FEBBRAIO 2012 (a destra)

AREA NORD	FEBBRAIO 2011 (mc)	FEBBRAIO 2012 (mc)	ACCUMULO (mc)	CON LINEA DI RIVA
0 – 1 m	3.335	3.975	640	3.819
1 – 2 m	6.954	6.893	299	
2 - 4 m	8.784	9.047	263	
4 – 7 m	18.155	18.484	329	
<b>TOTALE AREA NORD</b>	<b>38399 1.66</b>		<b>1.531</b>	<b>4.710</b>
<b>AREA CENTRO</b>				
0 – 1 m	15.299	18.503	3.204	8.508
1 – 2 m	33.238	33.709	471	
2 - 4 m	113.488	116.647	3.159	
4 – 7 m	65.008	65.247	239	
<b>TOTALE AREA CENTRO</b>	<b>234106 3.2</b>		<b>7.073</b>	<b>12.377</b>
<b>AREA SUD</b>				
0 – 1 m	8.194	10.503	2.309	5.239
1 – 2 m	60.936	57.951	- 2.985	
2 - 4 m	34.181	32.697	-1.484	
4 – 7 m	78.284	76.816	-1.468	
<b>TOTALE AREA SUD</b>	<b>177967 2.0</b>		<b>-3.628</b>	<b>-698</b>
<b>TOTALE SPIAGGIA</b>			<b>4.976</b>	<b>16.389</b>

TAB. 2.2 – VARIAZIONI VOLUMETRICHE ANNUALI PER OGNI AREA  
E PER OGNI FASCIA CONSIDERATA

AREE	FEBBRAIO 2011 (mc)	FEBBRAIO 2012 (mc)	INCREMENTO VOLUMI (mc)
AREA NORD	19.826	23.158	3.332
AREA CENTRO			
FOCE COMPRESA	63.084	72.573	9.489
SENZA FOCE	61.579	68.690	7.111
AREA SUD			
FOCE COMPRESA	88.197	92.441	4.244
SENZA FOCE	85.505	87.798	2.293
TOTALE SPIAGGIA (FOCE COMPRESA)			17.065
TOTALE SPIAGGIA (SENZA FOCE)			12.736

TAB. 2.3 – VARIAZIONI VOLUMETRICHE ANNUALI PER OGNI AREA RISPETTO  
AL CIGLIO DELLA DUNA

I risultati necessitano di alcuni commenti:

- la prima cosa che appare evidente dal confronto tra **Tab. 2.2** e **Tab. 2.3** è che, per quanto concerne la totalità della spiaggia, i volumi hanno subito un incremento di 16.000 m<sup>3</sup> circa secondo il primo metodo di calcolo, di 17.000 m<sup>3</sup> circa secondo l'altro metodo: la differenza è talmente minima rispetto alle differenze di metodologia che i risultati possono essere considerati praticamente identici. Quindi è indubbio che i volumi totali sono aumentati nel corso dell'anno. Per rendersi meglio conto delle quantità, si possono dividere questi 16-17.000 m<sup>3</sup> per la superficie totale della spiaggia, ottenendo così valore di 10-11 cm di sedimento che si sono mediamente depositati sulla spiaggia nel corso dell'anno. La quantità non è certo tale da poter concludere che la spiaggia sia in crescita, ma si può tranquillamente affermare che, pur soggetta a drastiche variazioni nel corso dei mesi, è rimasta stabile nell'ultimo anno;
- analizzando le 3 differenti aree in cui si è suddiviso per comodità il litorale, si osserva che, considerando anche l'avanzamento della linea di riva, i volumi dell'area nord sono incrementati, ma che l'incremento preponderante è quello dovuto all'avanzamento della linea di riva;
- l'area centrale mostra un deciso incremento dei volumi, anche in questo caso legati soprattutto all'avanzamento della linea di riva. Per quanto concerne le singole fasce, i valori calcolati destano molte perplessità, in particolare l'incremento di circa 3.000 m<sup>3</sup> per la fascia 2-4 m. Escludendo errori di calcolo (i calcoli sono state ovviamente ripetuti e verificati con cura), occorre quindi tener conto dell'indeterminazione: 3.000 m<sup>3</sup> rappresenta solo il 2.7% del volume complessivo della fascia, fascia in cui c'è presenza di vegetazione. Si ritiene infatti inverosimile che il mare (o il vento) abbia accumulato su questa fascia una quantità circa 8 volte superiore a quella accumulata sulla fascia 1-2 m;
- nell'area sud si è verificato asporto di sedimento in tutte le fasce che potrebbe essere derivato sia dagli interventi di movimentazione della spiaggia che anche dall'azione del vento

Confrontando i volumi dell'area sud con quelli dell'area centrale, appare molto verosimile che nel corso dei consistenti lavori (non comunicati a Solvay e quindi del tutto imprevisi) effettuati sulla spiaggia da aprile a giugno 2011, in particolare nella zona della foce del Fiume Fine, **ci sia stato uno spostamento di materiale sia verso riva sia verso nord** (si vedano i dettagli e le fotografie riportate nello studio 2011, in particolare nel rapporto IR).

Presumibilmente molto più realistici sono i volumi calcolati rispetto al ciglio della duna, presentati in **Tab. 2.3**, dove si nota, anche per l'area Sud, un modesto incremento dei volumi di materiale.

### 3. LO SCARICO SEDIMENTARIO

Si è ritenuto opportuno riportare nei dettagli (**Tab. 3.1**) le quantità di materiale scaricato dal Fosso Bianco dal 2006 al 2011.

ANNO	SEDIMENTI SCARICATI (TON/ANNO)	MEDIA NEGLI ANNI (TON/ANNO)	MEDIA NEGLI ANNI (TON/ANNO)	MEDIA NEGLI ANNI (TON/ANNO)
2006	123.964	133.847	121.1519	124.624
2007	148.359			
2008	129.218			
2009	92.000	102.109		
2010	112.218			
2011	141.985	-	-	

TAB. 3.1 – QUANTITA' DI MATERIALE SCARICATO DAL FOSSO BIANCO  
DAL 2006 AL 2011

Dall'osservazione della tabella si nota una notevole variabilità nel corso degli ultimi 6 anni. Quindi, dal punto di vista degli scenari simulati nello studio 2011, rapporto MD:

- la quantità di sedimenti scaricati nell'anno 2011 può essere associata allo scenario A1;
- la quantità di sedimenti scaricati mediamente negli anni 2009-2010 può essere associata allo scenario A2.

Per comodità, in **Tab. 5.1** si riporta la definizione degli scenari.

Rispetto alle quantità scaricate fino al 2005, i cui valori medi sono dell'ordine di 200.000 ton/anno, la riduzione media 2006-2011 è stata del 38%, con un massimo del 54% nel 2009 e un minimo del 26% nel 2007.

Si sottolineano due aspetti immediati:

- la quantità di sedimenti effettivamente scaricata negli anni 2006-2011, cioè circa 125 mila tonnellate medie/anno, rappresenta circa il 63% delle quantità medie/anno scaricate negli anni antecedenti il 2006;
- la grave situazione della spiaggia risultante dalle misure effettuate in febbraio 2011 avveniva dopo aver scaricato attraverso il Fosso Bianco, per 2 anni consecutivi (2009-2010), quantità di sedimento che rappresentano i minimi storici.

**L'ovvia conclusione immediata è che lo scarico sedimentario è indispensabile al mantenimento della stabilità complessiva delle Spiagge Bianche.**

#### 4. L'ENERGIA ONDOSA

In conseguenza delle variazioni climatiche descritte nel rapporto MM, l'andamento temporale dell'energia dovuta al moto ondoso mostra differenze significative tra gli anni fino al 2005 e quelli dal 2006 al 2011, come riportato nella **Tab.4.1**.

ANNO	ENERGIA MEDIA AL LARGO (M <sup>2</sup> )	MEDIA NEGLI ANNI (M <sup>2</sup> )	MEDIA NEGLI ANNI (M <sup>2</sup> )	MEDIA NEGLI ANNI (M <sup>2</sup> )
2006	1.16	1.36	1.44	1.41
2007	1.41			
2008	1.51			
2009	1.35	1.55		
2010	1.75			
2011	1.26	-	-	

TAB. 4.1 – VARIAZIONI DELL'ENERGIA DELLE ONDE AL LARGO NEL CORSO DEGLI ANNI SUCCESSIVI AL 2005

Si noti infatti che:

- l'energia media al largo negli anni 2006-2011 è stata di 1.41 m<sup>2</sup>/anno, che rispetto al valore medio 1993-2005, pari a 0.88 m<sup>2</sup>/anno, è superiore di circa il 60%;
- l'energia massima, pari a 1.75 m<sup>2</sup>/anno, si è verificata nel 2010, mentre la minima appartiene al 2006 (1.16 m<sup>2</sup>/anno) e al 2011 (1.26 m<sup>2</sup>/anno).

Anche in questo caso emergono due aspetti immediati:

- dopo un 2010 caratterizzato da energia massima la situazione appariva seria, con l'emersione di scogli sui fondali costieri e la perdita di sedimento;
- dopo un 2011 caratterizzato da scarsa energia la linea di riva è avanzata, la superficie è incrementata, i volumi di sedimento sono aumentati.

**Se ne deduce quindi che la stabilità delle Spiagge Bianche è pesantemente dipendente dall'energia ondosa disponibile.**

Nessuno può ovviamente ipotizzare l'andamento futuro dell'energia ondosa, ma il trend evolutivo dell'energia negli ultimi anni può fornire un aspetto oggettivo che rappresenta un'informazione importante, soprattutto quando si debba valutare la stabilità di un litorale. Nella **Fig. 4.1** viene presentato l'andamento dell'energia media delle onde al largo dal 1993 al 2011, prendendo in considerazione tutti i valori di altezza d'onda registrati nei singoli anni.

L'asse y rappresenta l'energia media  $E_m$  delle onde, normalizzata a  $8E/\rho g$ , dove  $\rho$  è la densità dell'acqua e  $g$  è l'accelerazione di gravità.

Ricordiamo infatti che la densità di energia media per unità di area orizzontale è:

$$E = kH^2 \quad [4.1]$$

con  $k = \rho g/8$  e l'unità di misura è Joule/m<sup>2</sup>. Se  $H$  è espressa in metri, Il valore di  $K$ , assumendo una densità  $\rho = 1025$ , è  $1.26 \times 10^3$ .

Si è quindi usato il termine (improprio, ma di immediato impatto) "energia media"  $E_m$  calcolata come:

$$E_m = H^2/N \quad [4.2]$$

dove  $N$  è il numero di onde nel periodo considerato. L'unità di misura di  $E_m$  è m<sup>2</sup>.

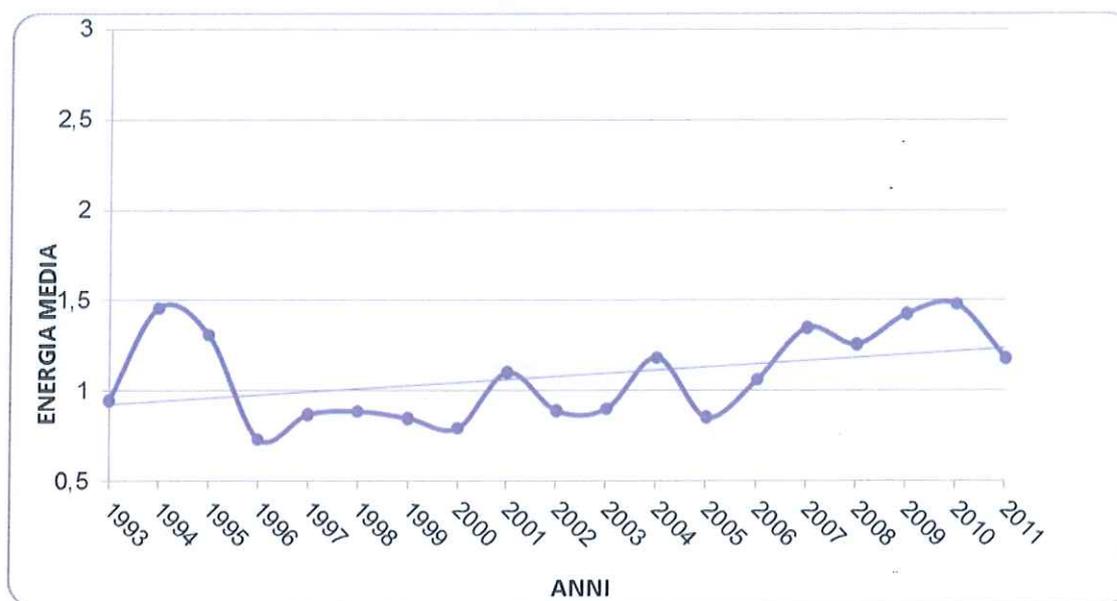


FIG. 4.1 – TREND DELL'ENERGIA MEDIA DELLE ONDE AL LARGO DAL 1993 AL 2011

La retta riportata nella figura rappresenta il trend lineare dell'energia negli anni: come si può osservare l'energia media, pur caratterizzata da variazioni anche consistenti nel corso degli anni (si noti, ad es., che nel 2010 l'energia era più del doppio di quella del quinquennio 1996-2000), tende a crescere nel tempo. Si ritiene che tale analisi, basata su 19 anni di dati, sia particolarmente significativa.

## 5. SINTESI DEI RISULTATI DELLO STUDIO 2011

Nel corso del 2011 è stato effettuato lo studio delle Spiagge Bianche, finalizzato alla comprensione dettagliata della fenomenologia del litorale di Rosignano, attraverso l'individuazione del ruolo dei vari termini forzanti meteo-marini nella dinamica costiera e la definizione quantitativa del contributo dello scarico Solvay nel Fosso Bianco.

In particolare, la stabilità complessiva del litorale era stata valutata in un arco temporale di 7 mesi, nel corso dei quali sono state effettuate misure invernali (febbraio) ed estive (giugno-luglio) atte a caratterizzare l'evoluzione temporale della spiaggia emersa (duna, superficie, volumi, posizione della linea di riva) e attraverso il confronto con la situazione di partenza, riferita allo studio redatto per la Regione Toscana nel 2005 (e riportato in sintesi nel rapporto RT).

Dall'analisi dei dati misurati e limitatamente al periodo compreso tra febbraio e giugno 2011, si era rilevato che la situazione più critica del sistema dunale riguardava la parte a nord del Fosso Bianco. Si mettevano tuttavia in luce alcuni aspetti importanti:

- l'esecuzione di lavori imprevisti effettuati sulla spiaggia (in particolare nella zona della foce del Fiume Fine e nella zona del pennello di Pietrabianca) da aprile a giugno: ciò comporta che, per queste zone, le misure della linea di riva effettuate in luglio sono influenzate da tali lavori in maniera consistente. Si ritiene pertanto che le misure della linea di riva di luglio siano affette da un avanzamento anomalo (le misure mostrano avanzamento proprio nell'area dei lavori) causato dagli interventi effettuati sulla spiaggia e conseguentemente che l'ampliamento della superficie che risulta dalle misure sia, almeno in parte, fittizio;
- da febbraio a luglio 2011 le misure evidenziano che la spiaggia emersa aveva perso  $8.224 \text{ m}^3$  di materiale;
- la presenza di substrato roccioso affiorante in prossimità della foce del fiume Fine a testimonianza dell'arretramento della linea di riva e dell'asporto di sedimento (**Fig. 5.1**).

Alla luce dei risultati generali e di questi aspetti non trascurabili, la situazione appariva abbastanza critica. Si è quindi cercato di analizzare con cura la fenomenologia locale, in modo da rendersi maggiormente conto della possibile evoluzione.

Dopo varie simulazioni con modellistica semplificata, la stessa usata nel sopracitato studio della Regione, relative al trasporto sedimentario tipico dell'area e alle variazioni avvenute dal 2005 al 2011, erano stati simulati il moto della linea di riva e le variazioni del profilo batimetrico trasversale alla costa in varie sezioni lungo il litorale.

Successivamente, mediante modellistica tri-dimensionale (si veda rapporto APP), erano stati analizzati sia i contributi delle mareggiate e delle correnti da esse indotte, sia il contributo relativo ai periodi di calma e alle brezze estive e invernali, simulando l'evoluzione media annua per i vari scenari di apporto di solidi sospesi scaricati nel Fosso Bianco.

Gli scenari considerati erano quelli mostrati in **Tab. 5.1**.

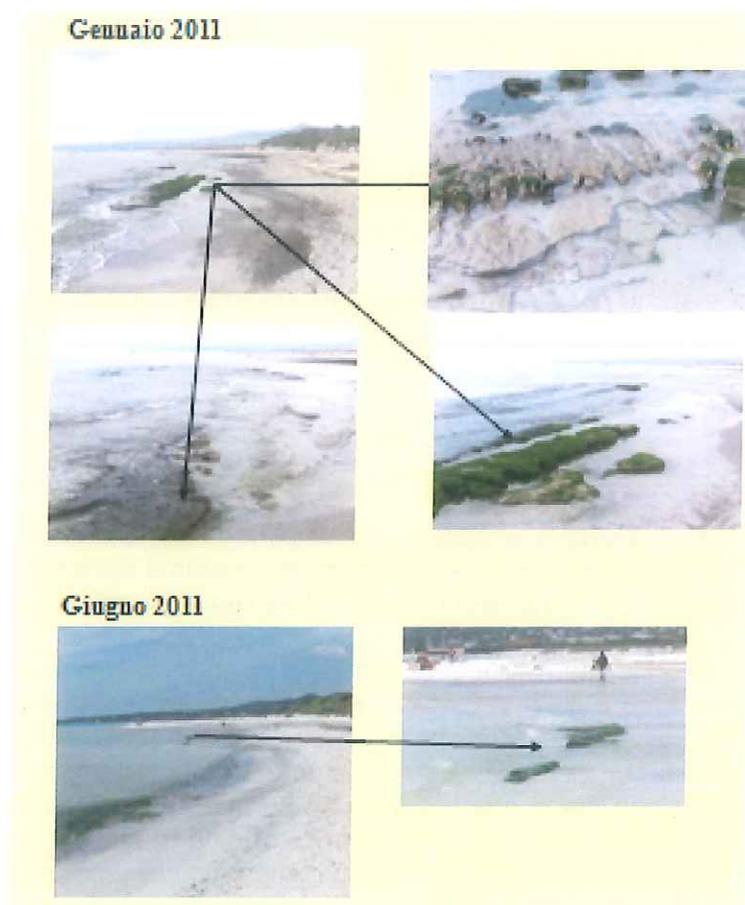


FIG. 5.1 – CONFRONTO IMMAGINI DELLA RIVA RILEVATE A FEBBRAIO E GIUGNO 2011

Configurazione	Concentrazione solidi sospesi scaricati	Quantità di solidi sospesi scaricati [t/anno]	Percentuale di riduzione
A0	2.9	200 000	100%
A1	2.0	140 000	70%
A2	1.5	105 000	53%
A3	1.0	70 000	35%
A4	0.5	35 000	18%

TAB. 5.1 - CONFIGURAZIONI DI SCARICO DAL FOSSO BIANCO SIMULATE

L'analisi del campo di concentrazione (mg/L) dei solidi sospesi e degli spessori di sedimentazione sui fondali circostanti per diverse configurazioni di scarico, evidenzia che gran parte del materiale scaricato, essendo molto fine, rimane in sospensione e si muove, per effetto delle correnti litoranee indotte dal moto ondoso, prevalentemente verso nord-ovest.

Contemporaneamente la parte di solidi sospesi di dimensione superiore ai  $63 \mu\text{m}$ , ha modo di sedimentare sui fondali antistanti le spiagge bianche e di compensare gli effetti di asporto di materiale indotti dal solo moto ondoso nell'area. La **Fig. 5.2** mostra in modo schematico il processo che avviene.

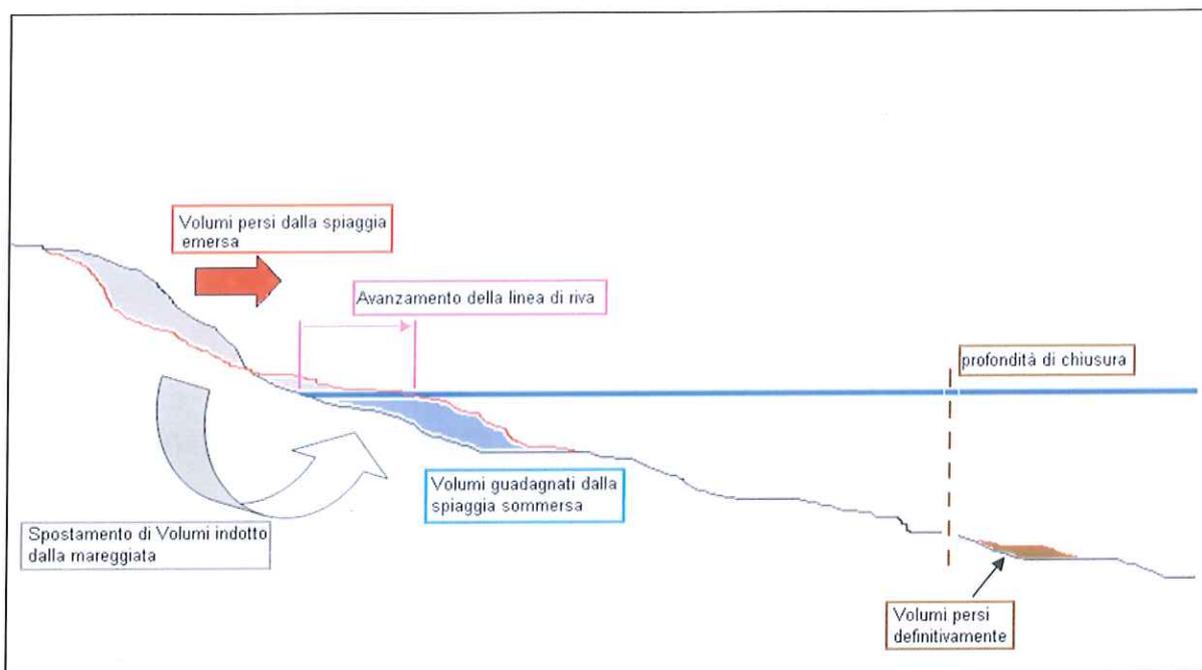


FIG. 5.2 – SCHEMA DEL PROCESSO DI ASPORTO E DEPOSIZIONE DEI SEDIMENTI A SEGUITO DELLE MAREGGIATE

Tale effetto di compensazione dovuto al materiale scaricato nel Fosso Bianco e disperso dalla corrente litoranea, sembrava essere efficiente sino ad una riduzione dello scarico compresa tra il 53% e il 35% del valore massimo considerato (200.000 t/anno).

Le simulazioni sono state effettuate sulla base della batimetria rilevata nel 2005 utilizzata nello studio della Regione, in quanto non sono disponibili ulteriori rilievi batimetrici.

Ai fini di una migliore lettura dei risultati e più facile interpretazione, il dominio di calcolo era stato suddiviso in 6 aree (**Fig. 5.3**):

- **Area 1 e 4**, zona compresa tra punta Lillatro e il Fosso Bianco;
- **Area 2 e 5**, zona compresa tra il Fosso Bianco e il fiume Fine;
- **Area 3 e 6**, zona compresa tra il fiume Fine e il pennello di Pietrabanca.

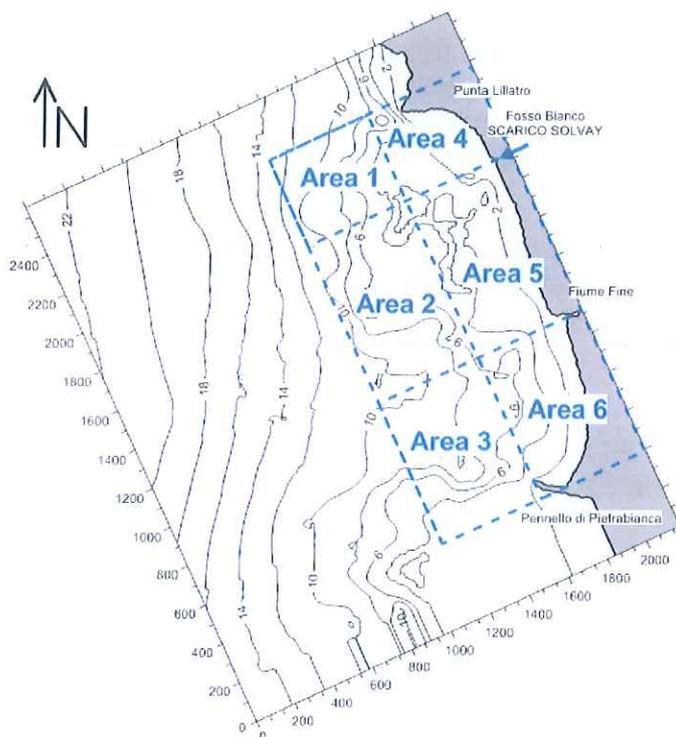


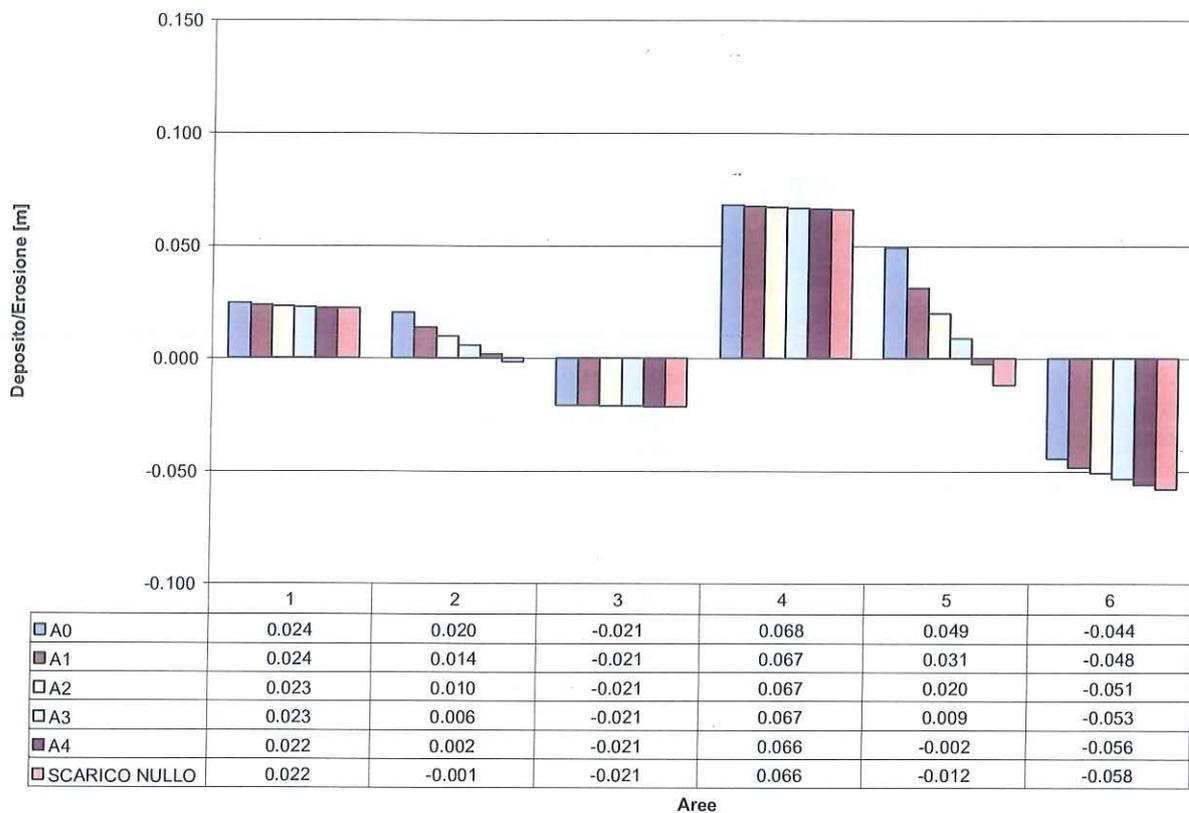
FIG. 5.3 - UBICAZIONE DELLE AREE DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I risultati mostravano che:

- i valori ottenuti, indipendentemente dallo scarico Solvay (Tab 7.1 del rapporto MD), evidenziano un accrescimento del fondale medio annuo di circa 2-7 cm nelle aree **1** e **4**. mentre le restanti aree **2**, **3**, **5** e **6** sono invece mediamente soggette ad erosione di modesta entità nelle aree **2**, **3** e **5**, e più evidenti nell'area **6** (circa 6 cm). In particolare l'area **5** è caratterizzata da un'evidente erosione del fondale in prossimità del Fosso Bianco dovuta alla maggiore intensità della corrente uscente dal fosso stesso, che viene ad essere bilanciata dall'accrescimento della restante parte dell'area soggetta ad una graduale diminuzione di intensità delle correnti, mentre l'erosione media annua che si verifica nelle aree **3** e **6** è risultato principalmente della corrente trasversale di rip che muove il sedimento sul fondale verso il largo, sedimento che quindi, raggiunte profondità superiori alla profondità di chiusura, non è più disponibile a successive modifiche del fondale;
- le aree che risentono maggiormente degli effetti dello scarico Solvay (Tab. 7.2 del rapporto MD) sono l'area **2**, **5** e **6**. In particolare i valori maggiori si riscontrano nell'area **5** dove la deposizione media di materiale varia tra i 6 cm ottenuti con lo scarico in configurazione **A0** a circa 1 cm ottenuto con lo scarico in configurazione **A4**, passando dai quasi 4 cm della configurazione **A1**;
- i risultati complessivi in termine di deposito/erosione medi annui dei fondali analizzati dovuti sia al contributo delle sole correnti litoranee indotte dalle diverse condizioni meteo-marine analizzate, sia alle diverse configurazioni di scarico di solidi sospesi

simulate sono riportate in **Tab. 5.2**, da cui risulta evidente che nelle aree **1, 3 e 6** la quantità di solidi sospesi scaricati nel Fosso Bianco ha una ridottissima influenza diretta sull'evoluzione media annua dei fondali, mentre maggiore è l'influenza nelle aree **2, 4 e 5**. In particolare, nell'area **2** la riduzione dello scarico Solvay comporta, seppur con valori di modesta entità dell'ordine dei centimetri, un passaggio da valori positivi a valori negativi e, quindi, da valori medi di deposizione a valori medi di asporto. Nelle aree **4 e 5**, invece, la deposizione indotta dallo scarico Solvay è confrontabile con i valori di deposizione ottenuti dal solo contributo di trasporto solido sul fondo. Ciò non esclude, comunque, la possibilità che i maggiori valori di deposizione ottenibili in termini complessivi nelle configurazioni caratterizzate da maggiore scarico Solvay, possano essere ridistribuiti col passare del tempo (anni) nelle aree limitrofe;

- i risultati complessivi in termini di volume medi annui movimentati, per tutte le configurazioni di scarico studiate sono sintetizzati in **Tab. 5.3**: si osserva che il solo moto ondoso contribuisce a movimentare (valori potenziali) circa  $16.100 \text{ m}^3$  di sedimento, che vengono asportati dalla corrente litoranea nei fondali antistanti le spiagge bianche, mentre il contributo, in termini di sedimento depositato e risospeso in tale area, indotto dallo scarico di solidi sospesi nel Fosso Bianco è ovviamente variabile con valori massimi pari a circa  $41.300 \text{ m}^3/\text{anno}$  nella configurazione **A0** e a circa  $6.200 \text{ m}^3/\text{anno}$  nella configurazione **A4**.



TAB. 5.2 - VALORI TOTALI DI ASPORTO/DEPOSIZIONE MEDIA ANNUA SUI FONDALI IN TUTTE LE CONFIGURAZIONI SIMULATE INDOTTE DALLO SCARICO SOLVAY, DALLA CORRENTE LITORANEA E DAL MOTO ONDOSO

Volumi depositati (pos.) - erosi (neg.) [x 1000 m <sup>3</sup> ]	Configurazione di scarico					
	A0 - 100%	A1 - 70%	A2 - 53%	A3 - 35%	A4 - 18%	scarico nullo
Solo moto ondoso	-16.1	-16.1	-16.1	-16.1	-16.1	-16.1
Solo scarico Solvay	41.3	29.1	21.4	13.8	6.2	0.0
<b>Totale</b>	<b>25.3</b>	<b>13.0</b>	<b>5.4</b>	<b>-2.3</b>	<b>-9.9</b>	<b>-16.1</b>

TAB. 5.3 - VOLUMI MEDI ANNUALI DI MATERIALE MOVIMENTATI NELL'AREA ANTISTANTE LE SPIAGGE BIANCHE - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON MODELLO MORFODINAMICO

## 6. INTERPRETAZIONE ALLA LUCE DEI NUOVI DATI 2012

In **Fig. 6.1** è riportato un grafico in cui si mostra la quantità percentuale di solidi sospesi sedimentati annualmente al variare della percentuale di scarico simulata.

Sull'asse y sono riportate le percentuali di sedimentazione sui fondali, sull'asse x le percentuali di scarico rispetto al valore ante-2006 di 200.000 tonnellate.

La linea blu tratteggiata si riferisce alle aree 1-3-4, la linea rossa tratteggiata si riferisce invece alle aree 2-5-6 e all'area totale.

Si osserva quindi che, nel complesso, aumentando la diminuzione percentuale dello scarico (passando dalla configurazione **A0** alla configurazione **A4**) la corrispondente sedimentazione tende a ridursi più velocemente.

In particolare, sebbene riduzioni maggiori si osservano nelle aree **1, 3 e 4** interessate da valori di sedimentazioni trascurabili, nelle restanti aree, dove la sedimentazione è più evidente, si hanno comunque valori percentuali di sedimentazione minori rispetto alla rispettiva riduzione della percentuale di scarico.

Sul grafico sono riportate tre rette verticali che si riferiscono a:

- percentuale di volumi scaricati nell'anno 2011 (linea verde);
- percentuale di volumi medi/anno scaricati dal 2006 al 2011 (linea arancione);
- percentuale di volumi medi/anno scaricati dal 2009 al 2010 (linea azzurra).

Dall'intersezione delle 3 rette con le curve relative alle aree, è possibile valutare la riduzione della percentuale di sedimentazione rispetto alle 200.000 ton/anno che venivano scaricate prima del 2006. In particolare, per le **aree 2-5-6 e TOTALE**:

- la riduzione media dal 2006 al 2011 del materiale sedimentato è stata di  $\approx 61\%$ ;
- la riduzione media nel biennio 2009-2010 del materiale sedimentato è stata di  $\approx 51\%$ ;
- la riduzione media nel 2011 del materiale sedimentato è stata di  $\approx 70\%$

Per le aree 1-3-4 le riduzioni sono rispettivamente di  $\approx 43\%$ ,  $56\%$ ,  $67\%$ .

Questi valori, confrontati con le misure della spiaggia emersa effettuate nel 2011-2012, inducono varie riflessioni:

- dopo un biennio 2009-2010 caratterizzato da uno scarico medio di 102.000 ton/anno, corrispondente ad una quantità di volumi sedimentati sui fondali pari al 51% dei volumi disponibili ante 2006, la spiaggia emersa si presentava in condizioni preoccupanti: se ne deduce che lo scarico attraverso il Fosso Bianco di 102.000 ton/anno di materiale rappresenta una quantità non sufficiente ai fini della stabilità delle Spiagge Bianche quando l'energia ondosa sia elevata, come appunto nel biennio considerato;
- nel 2011 lo scarico di materiale è incrementato a circa 142.000 ton, corrispondente ad una quantità di volumi depositati sui fondali pari al 70% dei volumi disponibili ante 2006. Nello stesso tempo, l'energia ondosa è tornata su valori bassi, permettendo così di ripristinare la stabilità della spiaggia. Si noti che la linea di riva ha subito un notevole avanzamento praticamente in tutte le aree, che la superficie è più ampia ed i volumi di sedimento sono incrementati;

- analizzando gli andamenti complessivi su un periodo più lungo e cioè dal 2006 al 2011 compreso, in cui sono stati scaricati mediamente dal Fosso Bianco circa 125.000 ton/anno e il clima ondoso è stato caratterizzato da un'energia superiore di circa il 60% rispetto a quella presente ante 2006, e considerando che oggi il litorale appare abbastanza stabile, appare essenziale il contributo di tale volume annuale che, dalla linea arancione di **Fig. 2.2**, corrisponde ad una sedimentazione sui fondali ridotta del 51% rispetto a quella disponibile ante 2006.

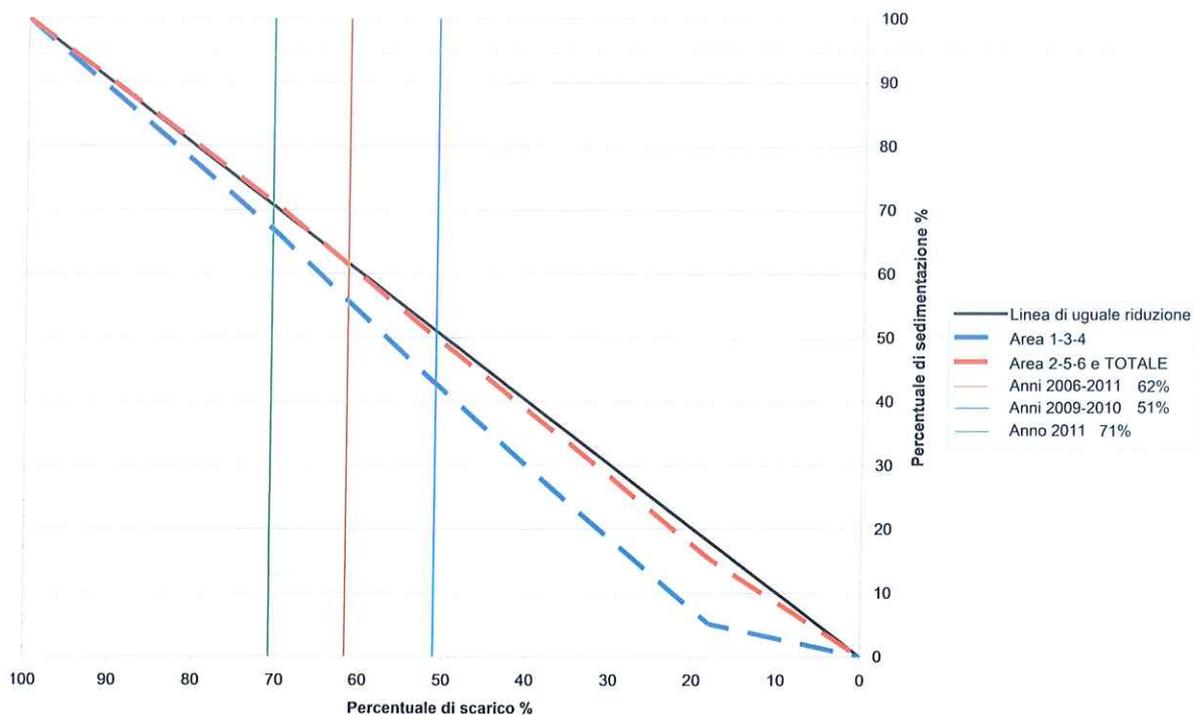


FIG. 6.1 – CONFRONTO DELLE PERCENTUALI DI SCARICO IN FUNZIONE DELLE PERCENTUALI DI SEDIMENTAZIONE

## 7. CONCLUSIONI

Lo studio 2011 ed i risultati complessivi delle simulazioni hanno permesso di quantificare un aspetto ben noto, e cioè che la stabilità delle Spiagge Bianche dipende certamente dal clima ondoso, ma è influenzata in misura notevole dagli scarichi sedimentari del Fosso Bianco.

Per quanto evidenziato nel cap. 6, se si analizzano gli andamenti complessivi della spiaggia emersa, che appare oggi dotata di una certa stabilità, dal 2006 al 2011 compreso, in cui sono stati scaricati mediamente dal Fosso Bianco circa 125.000 ton/anno e il clima ondoso è stato caratterizzato da un'energia superiore di circa il 60% rispetto a quella presente ante 2006, sembrerebbe logico continuare a scaricare tale volume annuale.

Scendere al di sotto di tale volume di materiale può comportare riduzioni della superficie di spiaggia, anche drastiche nell'area più prossima a Punta Lillatro, e un asporto di materiale dalla spiaggia sommersa a quella sommersa: lo dimostra il fatto che le circa 100.000 ton/anno scaricate nel biennio 2009-2010 non sono state sufficienti a impedire l'arretramento della spiaggia e la perdita di materiale.

I volumi di 140.000 ton/anno scaricati nel 2011 hanno invece indubbiamente permesso di ripristinare una situazione di probabile sufficiente stabilità complessiva, certamente anche a causa della moderata energia del moto ondoso incidente in tale anno.

Tuttavia, si fa presente che gli ingenti danni subiti dal fronte del sistema dunale nel biennio 2009-2011, soprattutto nella parte settentrionale del litorale in esame e documentati nella sezione 2, ad oggi non risultano essere stati riparati dai naturali processi di deposizione e colonizzazione opera di specie vegetali edificatrici.

Inoltre, lungo tutto il tratto in esame è evidente ancora la presenza di numerosi varchi creati dal vento, dalle onde e dalla frequentazione antropica. La vegetazione dunale è dominata da *Ammophila arenaria*, una specie stabilizzatrice che in passato interagendo con il sedimento ha edificato la duna. Oggi, il tasso netto di deposizione misurato in prossimità della parte meridionale del litorale è dell'ordine di pochi centimetri: tale valore è inferiore a quello necessario a garantire la sopravvivenza della specie, come riportato in letteratura, e ciò mette a repentaglio la stabilità del sistema.

La situazione, già altamente critica di queste zone, potrebbe ulteriormente aggravarsi con le future mareggiate portando non solo alla progressiva perdita di sedimento necessario al riequilibrio della spiaggia, ma anche alla scomparsa di un habitat considerato prioritario e protetto a livello comunitario e nazionale (Direttiva Habitat CCE, 43/1992).

A tale proposito si vuole evidenziare che, come riportato nel cap. 4, l'energia ondosa risulta certamente molto variabile negli anni, ma il trend è decisamente in crescita: non si possono certo effettuare previsioni a lungo termine sul clima ondoso nel futuro, ma la letteratura scientifica mette in luce che le variazioni climatiche in atto hanno un ruolo essenziale anche sulle variazioni del clima del moto ondoso e ciò, ai fini della salvaguardia del litorale, deve essere tenuto in debito conto.

