

A stylized map of the Emilia-Romagna coastline. The land area is represented by a solid yellow color, and the sea area is represented by a solid blue color. The coastline is a dark, irregular shape separating the two colors.

Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2012

EROSIONE E INTERVENTI DI DIFESA

I quaderni di
arpae

© 2016 Arpae Emilia-Romagna
Via Po 5, 40139 - Bologna. Tel. 0516223887 - Fax 0516223801
<http://www.arpae.it> - arpared@arpa.emr.it

I quaderni di Arpae

Direttore: Giuseppe Bortone
Direttore responsabile: Giancarlo Naldi
Responsabile scientifico: Franco Zinoni

Impaginazione:
Omega Graphics snc Bologna

Stampa:
Premiato Stabilimento Tipografico dei Comuni Soc. Coop.

Stampato su carta Fedrigoni Free Life -80% fibre riciclate, 15% di cellulosa proveniente da boschi coltivati e regolarmente reimpiantati. Il trattamento di sbiancatura è eseguito senza l'impiego di cloro gassoso. È a PH neutro e senza sbiancanti ottici.

Stampato nell'Aprile 2016
ISBN 978-88-87854-41-1



Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2012

EROSIONE E INTERVENTI DI DIFESA

Autori:

**Margherita Aguzzi*, Flavio Bonsignore*, Nunzio De Nigris*, Maurizio Morelli*, Tiziana Paccagnella*,
Claudia Romagnoli**, Silvia Unguendoli***

Si ringrazia per la collaborazione:

Mentino Preti

Maurizio Farina, Andrea Peretti Servizio Tecnico Bacino Po di Volano e della costa

**Mauro Corbelli, Andrea Foschi, Fabia Foschi, Ennio Malavolta, Sanzio Sammarini Servizio Tecnico
Bacino di Romagna**

Elaborati cartografici a cura di:

Rosalia Costantino*

Referenti per conto della Regione Emilia-Romagna, Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica:

Monica Guida Responsabile del Servizio, Carlo Albertazzi, Roberto Montanari e Christian Marasmi

4

Attività di campo e di laboratorio:

Arpae Sezione di Ravenna: analisi granulometriche

Te.Ma. S.n.c. di Faenza: rilievo topo-batimentrico

GeoCom Parma di Soragna (PR): prelievo campioni di sedimento

* Arpae Emilia-Romagna

** Università di Bologna – Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali - BiGeA

INDICE

1. Introduzione	11
2. Fattori incidenti sulla dinamica litoranea	15
2.1 Subsidenza dell'area costiera	18
2.2 Trasporto solido fluviale	20
2.3 Opere di difesa e ripascimenti	23
2.4 Condizioni meteo-marine	26
2.4.1 I Dati utilizzati	28
2.4.2 Clima del moto ondoso	30
2.4.3 Mareggiate nel periodo maggio 2007 – marzo 2012	34
2.4.4 Sintesi dei risultati	42
3. Rilievi e metodologie di analisi	45
3.1 Topografia, linea di riva, batimetria	47
3.1.1 Il progetto della campagna topo-batimetrica	47
3.1.2 Raffittimento della rete poligonometrica	48
3.1.3 Rilievi topografici e batimetrici	49
3.1.4 Metodi di analisi dei rilievi topo-batimetrici ed elaborazioni	51
3.1.5 Calcolo dei volumi accumulati o persi	54
3.2 Progetto di campionamento della campagna sedimentologica e attività svolte	56
3.3 Metodologia di analisi tramite indicatori di stato costieri	59
4. Caratterizzazione morfologica e sedimentologica del litorale emiliano-romagnolo e analisi evolutiva	63
4.1 Macrocella 1: Cattolica – Molo di Rimini	65
Inquadramento	65
Stato del litorale al 2012	65
Evoluzione 2006-2012	72
Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012	81
Sintesi	82
4.2 Macrocella 2: Molo di Rimini - Molo di Cesenatico	82
Inquadramento	82
Stato del litorale al 2012	85
Evoluzione 2006-2012	93
Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012	98
Sintesi	99
4.3 Macrocella 3: Molo di Cesenatico – Foce Savio	99
Inquadramento	99
Stato del litorale al 2012	99
Evoluzione 2006-2012	107
Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012	109
Sintesi	111
4.4 Macrocella 4: Foce Savio – Marina di Ravenna	113
Inquadramento	113
Stato del litorale al 2012	115
Evoluzione 2006-2012	126
Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012	132
Sintesi	136
4.5 Macrocella 5: Porto Corsini-Porto Garibaldi	133
Inquadramento	133
Stato del litorale al 2012	133
Evoluzione 2006-2012	146

	Confronto periodi 2000-2006 e 2006-2012	150
	Sintesi	153
4.6	Macrocella 6: Porto Garibaldi - Volano	154
	Inquadramento	154
	Stato del litorale al 2012	154
	Evoluzione 2006-2012	161
	Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012	162
	Sintesi	166
4.7	Macrocella 7: Foce Po di Volano – Foce Po di Goro	166
	Inquadramento	166
	Stato del litorale al 2012	167
	Evoluzione 2006-2012	169
	Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012	170
	Sintesi	172
5.	Risultati dell'analisi sedimentologica	173
5.1	Sedimentologia del litorale emiliano-romagnolo al 2012	175
5.1.1	Diametro medio 2012	175
5.1.2	Percentuale di pelite 2012	181
5.1.3	Coefficiente di cernita 2012	181
5.1.4	Effetti delle opere di difesa sulla sedimentologia	186
5.1.5	Influenza delle foci fluviali sulle caratteristiche granulometriche dei sedimenti campionati	188
5.3	Confronto con la campagna sedimentologica del Piano Costa 1996	194
5.3.1	Diametro medio dei sedimenti: confronto 1994 - 2012	195
5.3.2	Percentuale di pelite: confronto 1994 - 2012	199
5.3.3	Coefficiente di cernita: confronto 1994 - 2012	200
5.4	Confronto con la campagna sedimentologica del 1971-1972	202
5.4.1	Percentuale di pelite: confronto 1971/72 - 2012	202
5.4.2	Diametro medio: confronto 1971/72 - 2012	207
6.	Conclusioni	211
6.1	I risultati della seconda campagna sedimentologica	213
	Sedimentologia 2012	213
	Confronti con le campagne sedimentologiche passate	214
6.2	I risultati della quinta campagna topo-batimetrica	215
7.	Bibliografia	225

Prefazione

I litorali dell'Emilia-Romagna costituiscono un sistema complesso in cui interagiscono vari fattori naturali e antropici: il prezioso patrimonio naturalistico e storico-monumentale, la presenza di numerose attività economiche e di un circuito turistico tra i più importati a livello nazionale e europeo fanno della difesa della costa uno dei temi centrali dell'azione di governo della Regione.

L'obiettivo è quello di perseguire una gestione delle aree costiere capace di coniugarsi allo sviluppo sostenibile, nella convinzione che questa sia l'unica strategia vincente per il futuro di porzioni del territorio tanto fragili quanto preziose sia dal punto ambientale che socio-economico. A partire dalla legge regionale per la protezione del litorale (la n. 7179), l'Emilia-Romagna investe ingenti risorse umane e finanziarie nello studio dell'evoluzione costiera e dei processi che su di essa insistono anche attraverso la partecipazione a numerosi progetti europei: solo una conoscenza approfondita dei fenomeni in atto può efficacemente supportare la pianificazione degli interventi di protezione della costa e del territorio retrostante.

Questa pubblicazione riporta i risultati delle attività di monitoraggio dello stato e dell'evoluzione morfologica e sedimentologica dell'intero litorale regionale. Si tratta del quinto studio in materia condotto da Arpa Emilia-Romagna dopo quelli del 1981, 1996, 2000 e 2007.

L'analisi condotta dimostra, dati alla mano, la validità dell'azione di difesa della costa messa in campo con determinazione e, in particolare, quella intrapresa fin dal 1983 che vede nel ripascimento l'azione più idonea a contrastare l'erosione e allo stesso tempo ricostruire le spiagge compromesse.

I risultati dei dati di monitoraggio confermano l'efficacia degli interventi di questo tipo mostrando però al tempo stesso come i fenomeni erosivi si siano intensificati, rendendo quindi necessario in futuro un aumento degli sforzi per mitigarne gli effetti.

Anche in questo caso la risposta della Regione non si è fatta attendere, aggiudicando i lavori di un importante intervento di ripascimento che prevede l'apporto di 1,2 milioni di metri cubi di sabbia prelevata, perlopiù, da giacimenti posti sui fondali del mare Adriatico al largo della costa regionale.

Saranno interessate 8 spiagge distribuite lungo l'intero territorio da Misano Adriatico a Lido di Spina Sud. Il via ai cantieri è previsto entro la fine di marzo, la conclusione per i primi di giugno. Tempi record resi possibili da una novità assoluta: il lavoro contemporaneo 24 ore su 24, compresi i sabati e le domeniche, di due draghe che "arricchiranno" le spiagge al ritmo calcolato di 23/25000 metri cubi al giorno.

Di fatto si tratterà della prima infrastruttura verde marina attuata in Italia. Un motivo di orgoglio per tutta la comunità emiliano-romagnola.

Paola Gazzolo

Assessore Regionale Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile, Politiche Ambientali

Premessa

È noto che i cambiamenti climatici in corso presenteranno i loro effetti più evidenti sui sistemi costieri a tutte le latitudini del globo. Anche le nostre zone costiere saranno interessate da questi effetti. Le frequenze e l'intensità dei fenomeni estremi stanno già mettendo a dura prova il sistema.

L'evidenza scientifica del 5° rapporto IPPC è ormai incontestabile nel confermare che anche in presenza di politiche globali efficaci di mitigazione dell'effetto serra, l'energia accumulata negli oceani è già tale da interessare scale temporali che vanno ben oltre le future prossime generazioni.

Proprio per questo alla COP 21 va riconosciuto, tra gli altri, l'importante successo di aver portato le strategie di adattamento a parità di rango e importanza di quelle di mitigazione.

La necessità di adottare da subito strategie di adattamento per fronteggiare i fenomeni estremi, di interiorizzare sempre più le politiche di gestione del rischio nella prassi quotidiana diventa essenziale per qualsiasi tipo di comunità che deve puntare ad aumentare il più possibile i suoi livelli di resilienza.

La sfida che abbiamo davanti è doppiamente importante sia per la dimensione del fenomeno sia perché deve comportare un cambiamento radicale dei paradigmi culturali.

La gestione del rischio, le politiche di resilienza non devono però generare, soprattutto nelle nuove generazioni, il senso dell'insicurezza e dell'incertezza.

Per questo i sistemi della conoscenza, non solo scientifica ma anche "comunicativa" devono diventare sempre più gli strumenti per delineare nuovi modelli di sviluppo e di gestione.

La conoscenza e la disponibilità delle informazioni devono diventare il bagaglio delle nuove generazioni per consentire di trasformare le crisi e le emergenze ambientali in nuove sfide per la crescita e lo sviluppo sociale ed economico.

Questo, nel suo piccolo, è anche l'obiettivo del quinto studio del litorale che può contare su un'esperienza quasi trentennale e si caratterizza per integrazione e completezza.

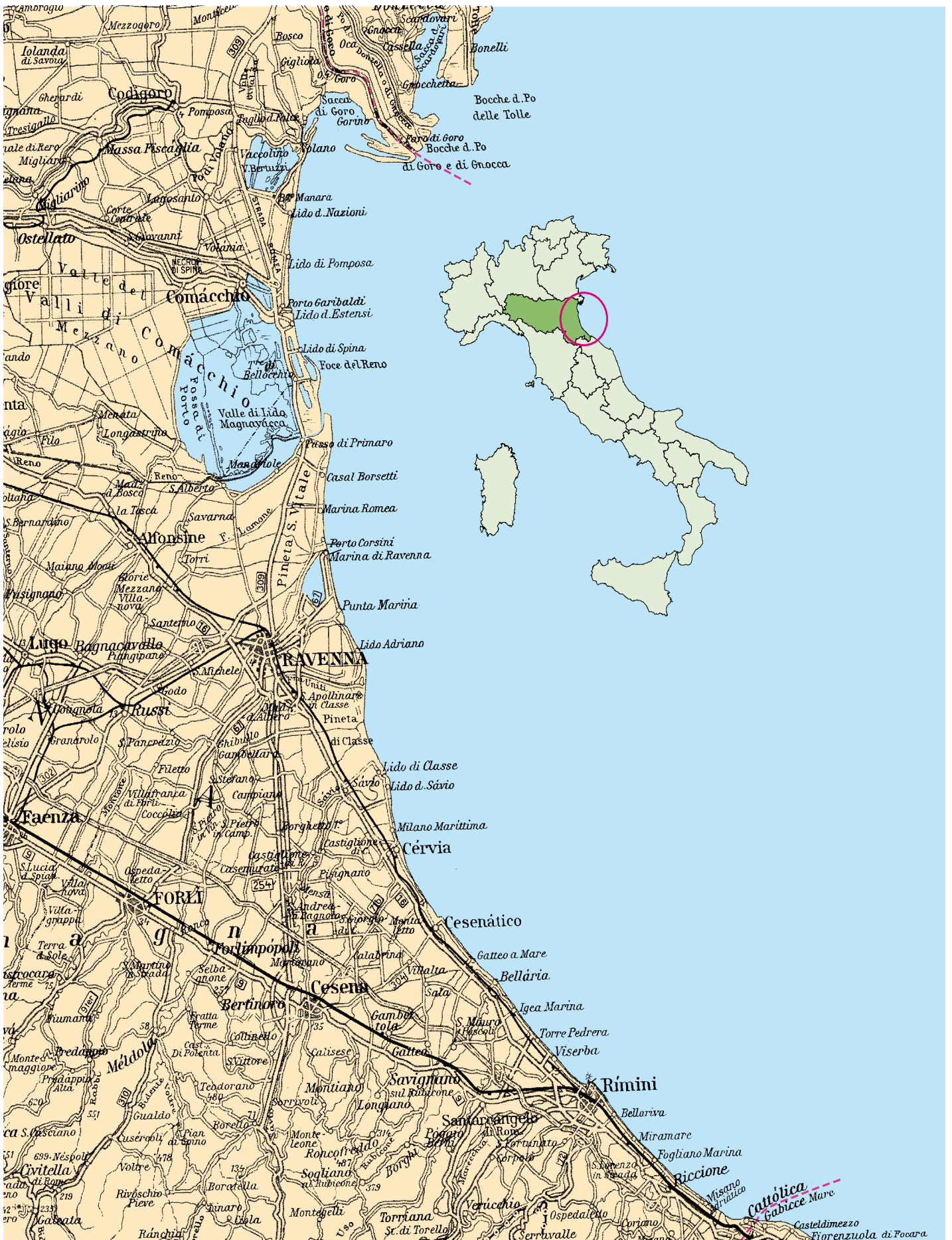
L'auspicio è: la sua massima divulgazione e conoscenza a tutti i livelli della società emiliano-romagnola per supportare le scelte e le decisioni sia politiche che economiche e sociali.

Questo è uno dei compiti della nuova Arpae, che nascendo dall'esperienza ventennale di ARPA, rappresenta proprio una delle risposte all'esigenza di rendere sempre più saldo il rapporto tra i sistemi di monitoraggio e di conoscenza e le decisioni di intervento, di gestione e di trasformazione del territorio.

Si tratta di una sfida importante e innovativa che accompagnerà le politiche di gestione integrata delle zone costiere e della strategia marina di cui questo 5° Rapporto sullo "Stato del Litorale emiliano-romagnolo al 2012" rappresenterà un importante bagaglio di conoscenza.

Giuseppe Bortone

I. Introduzione



Litorale della Regione Emilia-Romagna

La conoscenza approfondita del trend evolutivo del litorale e del suo stato attuale è il requisito basilare per definire le politiche di gestione ed intervento tecnicamente più efficaci ed economicamente più vantaggiose per la difesa del territorio dall'azione del mare, per la salvaguardia dei valori paesaggistico-ambientali e per la tutela dell'economia turistico-balneare. Da oltre 30 anni la Regione Emilia-Romagna persegue con continuità lo studio ed il monitoraggio dei 110 km del litorale da Cattolica a Po di Volano e del sistema barriera-laguna della Sacca di Goro, allo scopo di comprendere sempre meglio il ruolo dei vari fattori incidenti sulla dinamica litoranea e sulle criticità presenti.

In questo volume sono riportati i risultati dello studio sullo stato del litorale emiliano-romagnolo condotto da Arpa (ora Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna - Arpae) per conto della Regione nel corso degli anni 2012 e 2013.

Questo è il quinto studio generale che la Regione Emilia-Romagna dedica alla propria costa:

- il primo è stato realizzato dalla società regionale Idroser tra il 1979 e il 1981 utilizzando i dati allora esistenti (Idroser 1981);
- il secondo risale al 1996 ed è stato condotto sempre da Idroser su dati di nuova acquisizione del 1993 (Idroser, 1996);
- il terzo è stato condotto da Arpa (all'interno della quale è confluita la società Idroser nel 1996) e si riferisce a dati acquisiti con una campagna del 2000 (Arpa, 2002);
- il quarto si riferisce a rilievi condotti tra il 2006 e il 2007 a cura sempre di Arpa (Arpa 2008).

Per quanto riguarda gli studi sopraelencati condotti in passato, i primi due, conosciuti come Piano Costa 1981 e Piano Costa 1996 pur non essendo dei veri e propri piani territoriali sono diventati i punti di riferimento principali per la definizione e l'attuazione delle politiche di intervento finalizzate alla difesa e salvaguardia dei valori paesaggistico-ambientali ed economici della fascia costiera. Sulla base delle indicazioni del Piano Costa 1981, per aggiornare la base dei dati riguardanti i principali fattori influenti sulla costa, sono state istituite e rilevate 3 reti di monitoraggio dell'evoluzione dell'intero litorale regionale.

Il rilievo periodico di queste reti ha permesso di verificare, sulla base di dati sempre più precisi e

omogenei, anche la validità delle politiche attuate sul territorio per contrastare i processi di erosione delle spiagge e l'efficacia degli interventi di difesa.

Nello specifico le 3 reti riguardano la variazione della morfologia di spiaggia e fondale (rete topo-batimetrica), la variazione della linea di riva e l'abbassamento del suolo (subsidenza).

La cronologia delle campagne di rilievo delle reti regionali è la seguente:

topografica-batimetrica	1984, 1993, 2000, 2006, 2012;
linea di riva	1983, 1991, 1998, 2006, 2012;
subsidenza	1984, 1987, 1993, 1999, 2005, 2011.

Nel tempo le reti di monitoraggio sono state oggetto di modifiche e aggiornamenti che, anche grazie all'evoluzione delle tecniche di rilievo, hanno consentito una descrizione sempre più precisa dei fattori ambientali oggetto di monitoraggio. Ad esempio, l'acquisizione dei dati meteo-marini è stata implementata con l'installazione nel 2007 della boa ondometrica Nausicaa al largo di Cesenatico, che consente di avere dati sul moto ondoso caratteristici del tratto di mare antistante il litorale regionale.

In questo quinto studio del litorale è stato fatto un ulteriore sforzo in termini di una maggiore integrazione tra i diversi tipi di rilievi effettuati lungo il litorale regionale. Analogamente a quanto effettuato nel 1993 per il Piano Costa 1996 (Idroser, 1996), la quinta campagna topo-batimetrica è stata integrata con una campagna sedimentologica sistematica dell'intero litorale che è consistita nel prelievo e nell'analisi di oltre 300 campioni di sedimento (quella del 1993 fu basata su circa 150 campioni). I risultati dell'analisi sedimentologica vengono qui descritti insieme a quelli morfologici ed evolutivi dei diversi settori di costa, considerando che il dato sedimentologico rappresenta un'importante fonte di informazioni per quanto riguarda le caratteristiche fisiche e idrodinamiche dei sistemi costieri e le modalità di trasporto dei sedimenti lungo la costa.

Il quadro conoscitivo degli elementi che descrivono il litorale è completato dall'individuazione delle caratteristiche del moto ondoso incidente che, grazie all'azione sui sedimenti costieri, determina l'evoluzione morfologica dei litorali sia nel breve, che nel lungo periodo.

Diventa quindi indispensabile disporre di dati ondometrici in grado di rappresentare le condizioni

marine davanti alla costa regionale. Questa necessità è stata soddisfatta grazie alle misure ondometriche della boa Nausicaa, posizionata 8 km al largo di Cesenatico.

La boa è funzionante dal maggio 2007 e, salvo alcune interruzioni dovute a manutenzione o brevi malfunzionamenti, ha fornito una buona serie storica di dati ondometrici a cadenza semi-oraria dalla quale sono state ricavate le principali caratteristiche del moto ondoso.

Inoltre, l'analisi dei dati e la presentazione dei risultati in questo studio vengono presentati oltre che nella modalità tradizionale utilizzata, ad esempio,

nell'ultimo rapporto sullo stato del litorale all'anno 2007 (Arpa, 2008), anche attraverso l'utilizzo di indicatori di stato costiero (modello DPSIR) e sulla base di unità elementari territoriali di riferimento dette "celle litoranee di gestione" (Arpa, 2011; Aguzzi et al., 2012).

Se si considerano le caratteristiche dei progetti iniziali delle reti, la qualità delle innovazioni di volta in volta introdotte e soprattutto i 30 anni di attività, risulta che il sistema di misura e controllo dell'evoluzione del litorale emiliano-romagnolo costituisce un caso unico nel panorama delle regioni costiere italiane.

2.

Fattori incidenti sulla dinamica litoranea

Il litorale della Regione Emilia-Romagna sotto il profilo morfologico è caratterizzato da due unità. La prima è costituita da una spiaggia bassa e sabbiosa che si sviluppa per 110 km da Cattolica, al confine con la Regione Marche, fino alla foce del Po di Volano a nord. La seconda è rappresentata dal sistema barriera-laguna della Sacca di Goro, che costituisce la parte meridionale del delta del Po e ha un fronte a mare di circa 11 km. Le province di Ferrara e Ravenna sono caratterizzate dalla presenza di oltre 160.000 ettari di territorio con quote inferiori ai -3/-4 m rispetto al livello del mare.

Dal 1950 al 1980, la spiaggia che va da Cattolica a Volano è stata caratterizzata da una trasformazione paesaggistico-ambientale radicale. Nella prima fascia di 500-1000 m di territorio al retro della spiaggia, laddove prima vi erano estesi cordoni dunosi, boschi elicei, stagni retro-dunali e aree coltivate, alla fine degli anni '70 sono sorte strutture turistiche balneari e insediamenti urbani. Questo processo ha portato all'urbanizzazione, senza soluzione di continuità, del tratto di costa lungo 55 km compreso tra Cattolica e la foce del fiume Savio.

L'enorme investimento economico era fondato, e lo è ancora, sulla presenza della spiaggia, nonostante essa rappresenti solo un stretta fascia del territorio costiero. Nel momento in cui il problema dell'erosione delle spiagge regionali ha assunto dimensioni tali da compromettere il sistema, la pressione delle categorie economiche del settore turistico-balneare sulle amministrazioni locali è diventata fortissima. Per far fronte alle varie richieste i Comuni hanno attivato la procedura di intervento dello Stato per difendere gli abitati così come prevedeva la L.542/1907 (abrogata dalla L. 9/2009). Tra il 1947 e il 1981, si è così protetto con diverse tipologie di opere in massi rocciosi più di 65 km di litorale, causando però un forte impatto paesaggistico-ambientale. Durante questo periodo gli interventi sono stati realizzati secondo la logica, purtroppo ancora prevalente in Italia, della difesa urgente o tampone, a danni avvenuti e senza valutare le effettive cause del fenomeno erosivo.

Alla fine degli anni '70, in seguito all'inasprimento e diffusione del fenomeno dell'erosione costiera che comprometteva ogni ipotesi di sviluppo dell'economia turistico-balneare, la Regione Emilia-Romagna decise di intervenire direttamente con l'approvazione della Legge Regionale n.7 del 1979,

anche se le competenze in materia di difesa dei litorali erano dello Stato.

Fu quindi redatto, tra il 1979 e il 1981, un Piano Progettuale conoscitivo dei fattori naturali e antropici che influivano sulla dinamica litoranea regionale, i quali erano per molti aspetti ancora poco conosciuti: "Piano Progettuale per la difesa della costa adriatica emiliano-romagnola", Idroser, 1981; di seguito "Piano Costa 1981".

Il Piano Costa 1981 individuò tra le cause dei fenomeni erosivi la forte riduzione degli apporti di sabbia al mare da parte dei fiumi, l'abbassamento del territorio a causa dell'estrazione di acqua e metano (subsidenza) e la costruzione di opere a mare quali moli e scogliere, e formulò una serie di indicazioni riguardanti le politiche da attuare per ridurre l'arretramento delle spiagge. Tra queste, ad esempio, il Piano Costa 1981 propose il ricorso agli interventi di ripascimento, vedendo in essi un'alternativa di difesa meno impattante rispetto alle tradizionali opere rigide, un ruolo attivo sul bilancio sedimentario dei litorali, legato al fatto che un apporto artificiale avrebbe potuto compensare almeno in parte il mancato apporto solido naturale dei fiumi e le perdite dovute alla subsidenza. Infine, una delle indicazioni prioritarie del Piano Costa 1981 fu quella di istituire delle reti di misura e controllo dell'evoluzione costiera e dei fattori influenti al fine di avere dati certi e aggiornati. Anche questa linea di azione fu recepita dalla Regione, che nel 1983 incaricò la società Idroser di progettare le reti regionali per la misura della subsidenza, per il rilievo topografico e batimetrico della spiaggia emersa e sommersa e per l'individuazione della linea di riva.

La prima campagna di misura delle suddette reti è stata eseguita nel periodo 1983-1984. In seguito queste sono state rilevate ogni 5-7 anni fornendo in tal modo le informazioni necessarie per valutare lo stato del litorale, la sua evoluzione nel tempo e l'efficacia delle politiche regionali messe in atto per limitare le cause dell'erosione costiera (vedi Idroser, 1996; Arpa, 2002 e 2008).

Il presente studio riporta i dati rilevati durante le campagne topo-batimetriche (la quinta a scala regionale) e sedimentologica (la seconda a scala regionale) realizzate nel 2012, e analizza lo stato e l'evoluzione recente del litorale.

Al fine di fornire un quadro conoscitivo complessivo si riporta di seguito un'analisi dei vari fattori incidenti sulla dinamica litoranea: subsidenza

dell'area costiera, trasporto solido fluviale, opere di difesa dal mare e condizioni meteo marine.

2.1 Subsidenza dell'area costiera

Fino al 2005 la subsidenza della fascia costiera emiliano-romagnola è stata misurata mediante una rete di caposaldi istituita da Idroser nel 1983 e rilevata con il metodo della livellazione geometrica di alta precisione nel 1984, 1987, 1993, 1999 e 2005. La geometria iniziale della rete ha subito nel tempo diverse modifiche finalizzate soprattutto a minimizzare la propagazione degli errori derivati dalle lunghe linee di collegamento al caposaldo di riferimento, ovvero a quel caposaldo la cui quota attribuita dall'IGM all'atto della prima misura (anni '50 del 1900) poteva ritenersi invariata nel tempo. Per i primi tre rilievi della rete costiera il caposaldo di riferimento venne individuato nell'alta valle del Marecchia, nei pressi di Pennabilli e, nei primi due rilievi (1984 e 1987), venne a sua volta collegato ad un altro caposaldo ritenuto stabile sito nel primo appennino Bolognese (Castel de' Britti). Nel 1993, per ragioni di economia, venne evitato il collegamento all'appennino bolognese affidandosi al solo caposaldo di Pennabilli e, come è noto, tale rilievo risultò più scadente dei precedenti. Nel 1999 la rete costiera è stata inglobata nella rete regionale istituita da Arpa, adottando quindi lo stesso punto di riferimento della rete regionale stessa, un caposaldo dell'IGM situato nei pressi di Sasso Marconi (Appennino bolognese). Nel 2005, per la prima volta, la subsidenza venne rilevata utilizzando principalmente il metodo dell'analisi interferometrica di dati radar satellitari, supportato dalla misura di un sottoinsieme della rete di livellazione regionale contenente anche la rete costiera; il punto di riferimento delle quote fu lo stesso del 1999. Nel 2011 il rilievo della subsidenza a scala regionale è stato realizzato con il metodo dell'analisi interferometrica supportato dall'elaborazione di 17 stazioni GPS permanenti.

Come è noto, il risultato finale dell'analisi interferometrica sono le velocità di movimento di punti di varia natura a terra (scatterers), che mantengono caratteristiche pressoché identiche del segnale radar riflesso, per l'intero periodo di osservazione. Di tali punti vengono analizzati gli spostamenti nel tempo. Nel 2011, tali veloci-

tà sono state calibrate utilizzando le velocità di movimento, osservate nello stesso periodo, da stazioni permanenti GPS.

La rete di livellazione costiera, nel 2011 non è stata misurata direttamente: gli abbassamenti del suolo possono essere molto meglio evidenziati, sia in termini di precisione sia in termini di diffusione del dato, tramite misure radar. Tuttavia, al fine di attribuire una quota sul livello medio del mare a quei caposaldi di livellazione utilizzati a supporto della rete topo-batimetrica, sono state aggiornate le quote misurate nel 2005 di tali caposaldi per via indiretta, ovvero attribuendo, a ciascuno di essi, una velocità di abbassamento nel periodo 2005-2012, dedotta da un'opportuna elaborazione delle velocità di abbassamento di punti (scatterers) situati in un determinato intorno del caposaldo stesso.

Il rilievo della subsidenza (Arpa 2012c) realizzato nel 2011 aggiorna al periodo 2006-11 le conoscenze relative alle velocità di movimento verticale del suolo, sull'intera area di pianura regionale, rispetto al precedente rilievo riferito al periodo 2002-06. In particolare si è proceduto attraverso due fasi successive: in una prima fase (2011) è stata effettuata l'analisi interferometrica tramite la tecnica SqueeSAR™ (algoritmo PSInSAR™ di seconda generazione) dei dati radar satellitari acquisiti sull'intera area di pianura della regione, individuando i punti di misura (PS-Permanent Scatterer e DS-Distributed Scatterer) presenti, le loro velocità medie annue e le relative serie storiche di spostamento nel periodo 2006-2011. Contemporaneamente sono stati elaborati i dati acquisiti da 17 stazioni GPS permanenti al fine di calibrare e verificare, tramite valori di velocità di movimento verticale, i dati relativi provenienti dall'analisi SqueeSAR™. In tal modo, per la prima volta nel rilievo della subsidenza in Emilia-Romagna, si è andati verso il superamento del concetto di punto di riferimento assoluto all'interno di una rete geodetica - storicamente assunto a priori come fisso ed immutabile nel tempo sulla base di considerazioni di generica stabilità del contesto geologico-strutturale dell'area. In sostanza, la singola stazione GPS diviene essa stessa un punto di riferimento, non già in virtù di una presunta stabilità assoluta, bensì grazie alla conoscenza precisa dei suoi movimenti misurati nel tempo.

Nella seconda fase del lavoro (2012) si è proceduto alla verifica e validazione dei dati interferome-

trici utilizzando tutte le stazioni permanenti GPS precedentemente elaborate presenti sul territorio regionale. Successivamente è stata effettuata un'analisi particolarmente accurata sull'insieme dei PS/DS (318.625) al fine di selezionare i punti considerati non significativi e fuorvianti rispetto alle finalità del lavoro: sono state implementate quindi procedure volte alla ricerca di punti, caratterizzati da velocità "anomale" rispetto al loro intorno, indicativi di fenomeni diversi non attinenti al fenomeno della subsidenza a carattere regionale che si voleva rappresentare. Le procedure di selezione implementate hanno portato ad un dataset finale pari a 315.371 punti, essendo stati scartati 3.254 punti.

Il dataset definitivo così ottenuto è stato usato per un'interpolazione che ha generato un grigliato regolare (100x100 m) delle velocità di movimento verticale sull'intero territorio di pianura della regione; da esso è stata generata la carta dei movimenti verticali del suolo a scala regionale relativa al periodo 2006-2011, tramite una rappresentazione a curve isocinetiche le quali, sia grazie alla maggiore precisione del dato - che si stima intorno a ± 2 mm/anno - sia grazie ad un numero di punti di misura più che doppio rispetto ai 142.000 punti del precedente rilievo, hanno potuto essere delineate con un passo di 2.5 mm/anno, inferiore rispetto a quello adottato nella precedente cartografia (5 mm/anno).

L'analisi che segue fa riferimento sia alla cartografia a curve isocinetiche sia ai singoli punti PS/DS. In particolare, questi ultimi, sono stati utilizzati al fine di evidenziare quei valori massimi di velocità che nella cartografia non sempre riescono ad essere rappresentati tramite le isolinee.

Osservando il litorale nel suo complesso (Figura 2), si evidenzia una prevalente tendenza alla

diminuzione degli abbassamenti. Ciò è particolarmente evidente per tutto il litorale ferrarese e in parte ravennate, almeno sino a Marina di Ravenna, con abbassamenti generalmente di pochi mm/anno. Approssimandosi al Delta del Po, si notano abbassamenti di poco superiori che raggiungono un massimo di oltre 10 mm/anno in corrispondenza dello Scanno di Goro. In corrispondenza di Porto Corsini - Marina di Ravenna si osservano abbassamenti di circa 5 mm/anno. Anche l'area di depressione storicamente localizzata nella zona di Dosso degli Angeli - Foce Reno appare ora priva di movimenti significativi.

Persiste invece nel litorale ravennate un'ampia area di subsidenza che interessa il paraggio costiero da Lido Adriano fino ad oltre la Bocca del T. Bevano, con un massimo di oltre 20 mm/anno in corrispondenza della foce dei Fiumi Uniti ed un'estensione massima verso l'entroterra di circa 5 km: l'area presenta valori con qualche leggero incremento rispetto al precedente rilievo ma, soprattutto, appare ora meglio definita grazie alla maggiore quantità di dati resi disponibili dal nuovo algoritmo utilizzato per l'analisi interferometrica (Figura 1).

Il rimanente litorale ravennate presenta invece una riduzione degli abbassamenti, con valori attuali fino a circa 5 mm/anno che si confermano anche più a sud tra Cesenatico e Bellaria. Da Bellaria a Rimini gli abbassamenti si riducono ulteriormente fino a 2-3 mm/anno. Il litorale riminese, a sud del molo, presenta valori massimi di 8-9 mm/anno per un tratto di circa 1 km che si riducono però rapidamente ad alcuni mm/anno lungo tutto il litorale fino a Cattolica.

Il litorale nella sua interezza presenta un abbassamento medio, relativamente ad una fascia di 5 km verso l'entroterra, di circa 4 mm/anno, sostanzial-

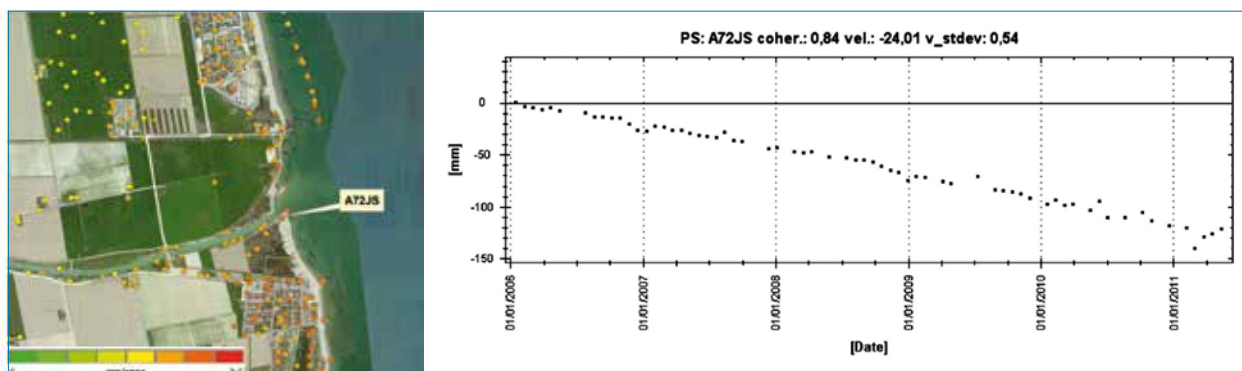


Figura 1 - Area di Foce Fiumi Uniti con evidenziati i PS/DS analizzati e serie temporale delle quote punto A72JS.

mente dimezzato rispetto al periodo precedente. Nella Tabella 1 sono riportate le velocità di abbassamento nei 3 periodi 1987-1999, 1999-2005, 2006-2011 e l'abbassamento totale nel periodo 1984-2011 per diverse località costiere da Cattolica sino alla foce del Po di Goro. Per ciascuna località è stato scelto un caposaldo di livellazione che presentasse una serie storica continuativa a partire dal primo rilievo del 1984 (fa eccezione il caposaldo 140181 alla foce del Po di Goro, istituito nel 1993). L'abbassamento totale è stato calcolato aggiornando la quota di ogni caposaldo al 2011 tramite la velocità di abbassamento desunta dai risultati dell'analisi interferometrica. Come si può osservare, nel periodo più recente, prevale nettamente la tendenza alla riduzione degli abbassamenti, fatta eccezione per il paraggio di Lido di Dante (foce Fiumi Uniti) che presenta anche il valore più alto dell'intero arco costiero con 21 mm/anno. Per quanto riguarda gli abbassamenti complessivi dal 1984 al 2011, ancora Lido di Dante appare la località più subsidente (-45 cm) insie-

me al limitrofo Lido Adriano (-40 cm), seguono Dosso degli Angeli (foce F. Reno) e Porto Corsini con -38 cm.

2.2 Trasporto solido fluviale

Il trasporto solido fluviale, soprattutto nella sua componente più grossolana, riveste un'importanza primaria tra i fattori che determinano l'equilibrio della costa bassa e sabbiosa emiliano-romagnola. Se si escludono i materiali provenienti dall'erosione al piede della falesia di Gabicce, posta immediatamente a sud del confine tra Emilia-Romagna e Marche, il litorale regionale è esclusivamente alimentato dagli apporti solidi dei fiumi e torrenti, ridistribuito dalle correnti costiere.

Per l'importanza che questo fattore riveste nel bilancio sedimentario delle spiagge, è stato oggetto di indagine in tutti e quattro gli studi sullo stato del litorale eseguiti fin ora. Già il Piano Costa 1981,

Tabella 1 - Confronto tra le velocità di abbassamento nei periodi 1987-1999, 1999-2005, 2006-2011 e abbassamento complessivo nel periodo 1984-2011 per diverse località costiere. Nell'ultimo periodo è evidenziata in rosso la velocità in aumento e in verde la velocità in diminuzione rispetto al periodo precedente.

Caposaldo	Velocità di abbassamento nel periodo 1987-1999 (mm/anno)	Velocità di abbassamento nel periodo 1999-2005 (mm/anno)	Velocità di abbassamento nel periodo 2006-2011 (mm/anno)	Abbassamento 1984-2011 (cm)	Località
122350	2	4	4	-10	Cattolica
122030	6	9	6	-25	Rimini
123120	2	6	3	-16	Torre Pedrera
123250	9	10	6	-26	Bellaria
123330	12	10	6	-35	Gatteo a Mare
123410	10	9	5	-36	Cesenatico
123590	6	8	5	-25	Pinarella di Cervia
111011	9	10	7	-33	Milano Marittima
111061	9	10	6	-27	Lido di Savio
128040	8	11	11	-28	Foce Bevano
000770	12	19	21	-45	Lido di Dante
130070	13	15	14	-40	Lido Adriano
130190	11	10	5	-29	Punta Marina
130280	10	8	5	-25	Marina di Ravenna
104012	15	13	7	-38	Porto Corsini
104101	11	10	3	-27	Casalborsetti
102030	18	13	2	-38	Dosso degli Angeli
097010	8	8	3	-19	Portogaribaldi
097090	13	10	2	-27	Lido delle Nazioni
140030	11	7	5	-24	Boscone della Mesola
140080	17	10	8	-37	Goro
140181	-	9	9		Foce del Po di Goro

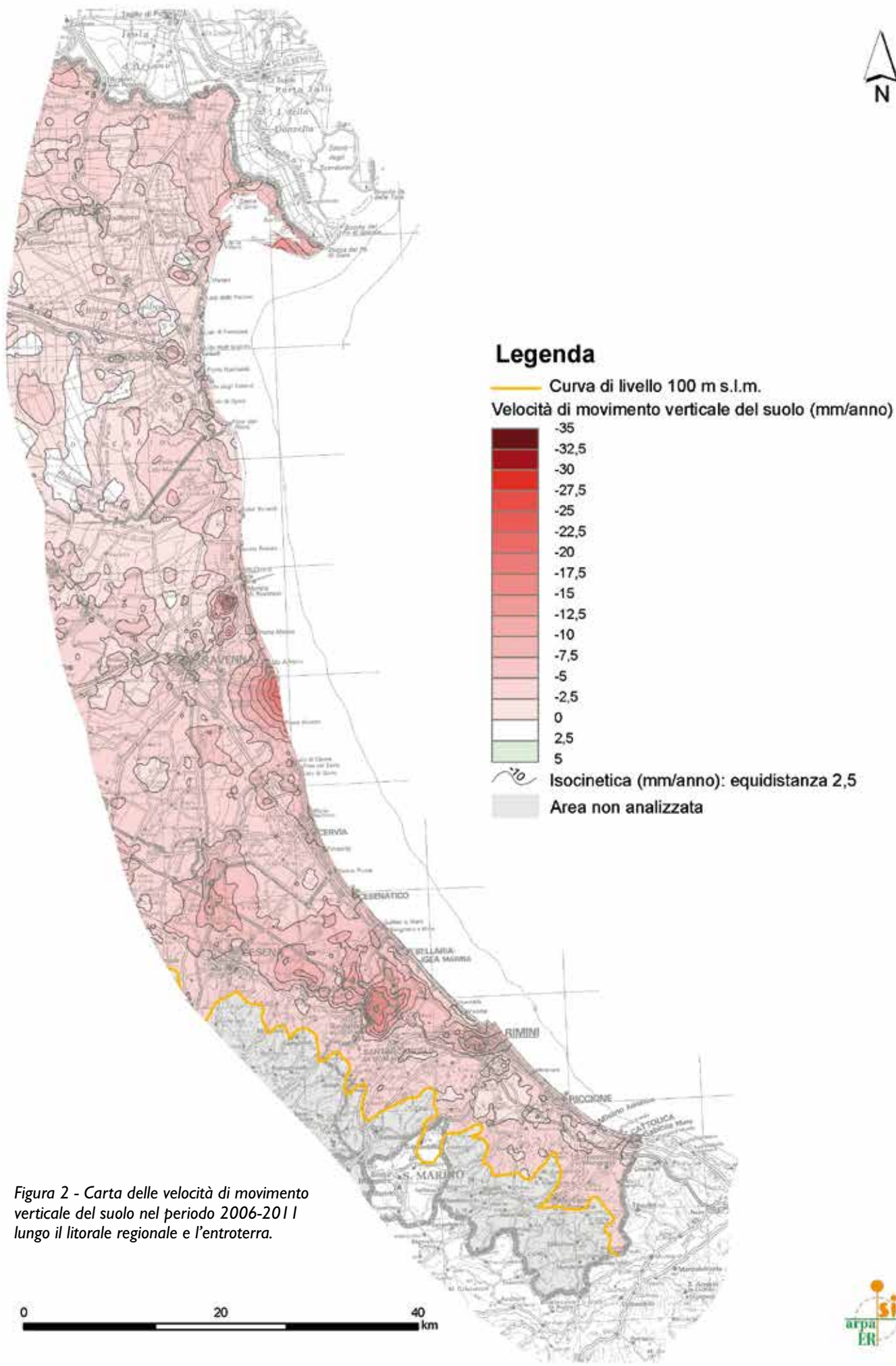


Figura 2 - Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2006-2011 lungo il litorale regionale e l'entroterra.



evidenziò che alla fine degli anni '70 il trasporto solido fluviale si era ridotto di 3 - 4 volte rispetto agli anni '40. Le principali cause di questa forte riduzione furono individuate nella:

- variazione d'uso dei bacini montani;
- regimazione dei corsi d'acqua;
- estrazione degli inerti dagli alvei fluviali.

Ognuna di queste componenti fu oggetto di studi approfonditi, tuttavia la valutazione quantitativa della riduzione si rivelò piuttosto difficoltosa a causa della scarsità delle informazioni disponibili sull'effettiva portata solida fluviale.

In particolare si confrontarono due stime, relative a due periodi storici, dell'apporto solido dei fiumi regionali: la prima relativa a una situazione caratterizzata da un regime naturale (anni'40), la seconda, relativa agli anni '50 e '60 quando l'azione antropica sul territorio era cresciuta notevolmente. Il confronto evidenziò in maniera inequivocabile che la riduzione del trasporto solido fluviale era causata dalle escavazioni di inerti in alveo e dalla progressiva riduzione delle superfici coltivate nei territori montani.

I risultati e le indicazioni del Piano Costa 1981 consentirono di promuovere azioni di straordinaria importanza per l'intero territorio regionale; le più importanti sono state il blocco delle escavazioni in alveo nei fiumi regionali, approvato dalla Regione nel giugno 1982 e, successivamente, la limitazione delle estrazioni di inerti lungo il corso del Po, imposta dal Magistrato per il Po nel 1990. Nel Piano Costa 1996, il tema del trasporto solido fluviale fu affrontato con due distinti obiettivi di ricerca:

- la verifica dello stato dei bacini idrografici regionali afferenti in Adriatico, dopo circa 15 anni dalla loro prima caratterizzazione realizzata nell'ambito del Piano Costa 1981;
- l'implementazione di una procedura innovativa per la stima del trasporto solido fluviale utile al mantenimento delle spiagge.

L'analisi condotta sui bacini e lungo le aste fluviali ha permesso di descrivere in modo esaustivo e sistematico l'assetto geologico e le variazioni morfologiche dei corsi d'acqua, la variazione dell'uso del suolo tra i primi anni '80 e la metà degli anni '90, lo stato e la diffusione delle opere di regimazione e, soprattutto, gli effetti del blocco delle attività estrattive.

L'elaborazione dei dati raccolti ha permesso di individuare, sia pure in maniera qualitativa, le possi-

bili tendenze evolutive nel trasporto delle sabbie da parte dei corsi d'acqua.

La Relazione Generale del Piano Costa 1996 si chiude con un quadro sintetico in cui sono elencate indicazioni strategiche per favorire la ripresa del trasporto solido fluviale:

- mantenere il blocco delle escavazioni in alveo;
- attuare periodicamente la pulizia degli alvei;
- ripristinare le sezioni di deflusso nei tratti di pianura;
- favorire l'erosibilità dei versanti montani a litologia prevalentemente sabbiosa;
- attuare interventi strutturali negli ultimi tratti dei fiumi Conca e Reno.

Nei 15 anni trascorsi tra il primo ed il secondo Piano Costa, il blocco delle escavazioni in alveo rappresentò senz'altro la più significativa delle azioni poste in essere nel perseguimento del più generale obiettivo di favorire la ripresa del trasporto solido fluviale.

Pur non essendo possibile stabilire il numero degli anni, o dei decenni, necessari per la ripresa del trasporto di sabbia in mare, e questo anche per l'assenza di dati e misure, fu del tutto evidente che, per ridurre i tempi ed accrescere il volume trasportato fosse necessario associare al blocco delle escavazioni, il risonamento dell'alveo e la pulizia dalla folte vegetazione che vi era cresciuta.

Lo schema di sintesi del Piano Costa 1996, contenente le indicazioni strategiche per la difesa e riqualificazione del sistema ambientale litoraneo della Regione Emilia-Romagna, è stato riproposto, con alcune integrazioni, nello "Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione".

Dalle osservazioni effettuate lungo i fiumi era risultato evidente che, per incrementare gli apporti a mare, occorreva intervenire non solo nei tratti di pianura, ma anche su quelli montani.

Si era potuto riscontrare, infatti, che la ripresa dello scorrimento a valle di sabbia e ghiaia veniva ostacolata dalle numerose briglie e traverse costruite negli anni '50 lungo gli alvei. A monte di queste opere si erano formati grandi depositi di sovralluvionamento che, in alcuni casi, avevano determinato lo spostamento del corso del fiume e l'insorgere di problemi erosivi sulle sponde, pertanto tra le nuove indicazioni strategiche riportate nel volume del 2007 è stata inserita quella della possibile rimozione di alcune opere trasversali.

A trenta anni dal blocco dell'escavazione in alveo non ci sono ancora segnali evidenti di ripresa degli apporti di sabbia al mare da parte dei corsi d'acqua regionali che sfociano in Adriatico.

2.3 Opere di difesa e ripascimenti

I primi interventi di difesa costiera attuati lungo il litorale emiliano-romagnolo sono stati quelli di Viserba (Rimini) e Porto Garibaldi (Ferrara) in seguito agli effetti di erosione della spiaggia causati dal prolungamento dei moli dei rispettivi porti realizzati nei primi decenni del '900.

Prima di questi prolungamenti, i moli portuali non avevano determinato rilevanti effetti sull'equilibrio delle spiagge limitrofe, in quanto avevano un modesto aggetto verso il mare ed erano costruiti con pali e pietrame che non ostacolavano del tutto il flusso litoraneo delle sabbie. Per rispondere alle esigenze di una marineria in forte sviluppo che richiedeva fondali sempre più profondi, le tradizionali "palate" furono sostituite con moli più lunghi e realizzati in cemento armato. Queste nuove strutture ostacolano il trasporto dei sedimenti

lungo costa in maniera significativa e determinano l'avanzamento delle spiagge sopraflutto e l'arretramento di quelle sottoflutto, ridisegnando così il profilo della costa regionale.

Valutando i macroscopici effetti prodotti nel tempo dai moli portuali, già nel Piano Costa 1996 fu inserita tra le principali indicazioni strategiche quella di "evitare il prolungamento dei moli esistenti". Questa raccomandazione è stata recepita nelle "Linee guida per la Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC)", approvate nel 2005 dalla Regione.

Gli interventi eseguiti lungo il litorale regionale, nel periodo 2006-2012, hanno riguardato perlopiù il riassetto di opere esistenti:

- prolungamento del molo di levante del portocanale di Cattolica;
- prolungamento dei moli del porto canale di Cervia;
- costruzione di una nuova scogliera radicata sul molo di levante di Rimini;
- allargamento della foce del canale Tagliata;
- sistemazione delle opere di foce del canale di via Cupa, tra Milano Marittima e Lido di Savio;
- riassetto delle opere presenti alla foce del fiume Savio;

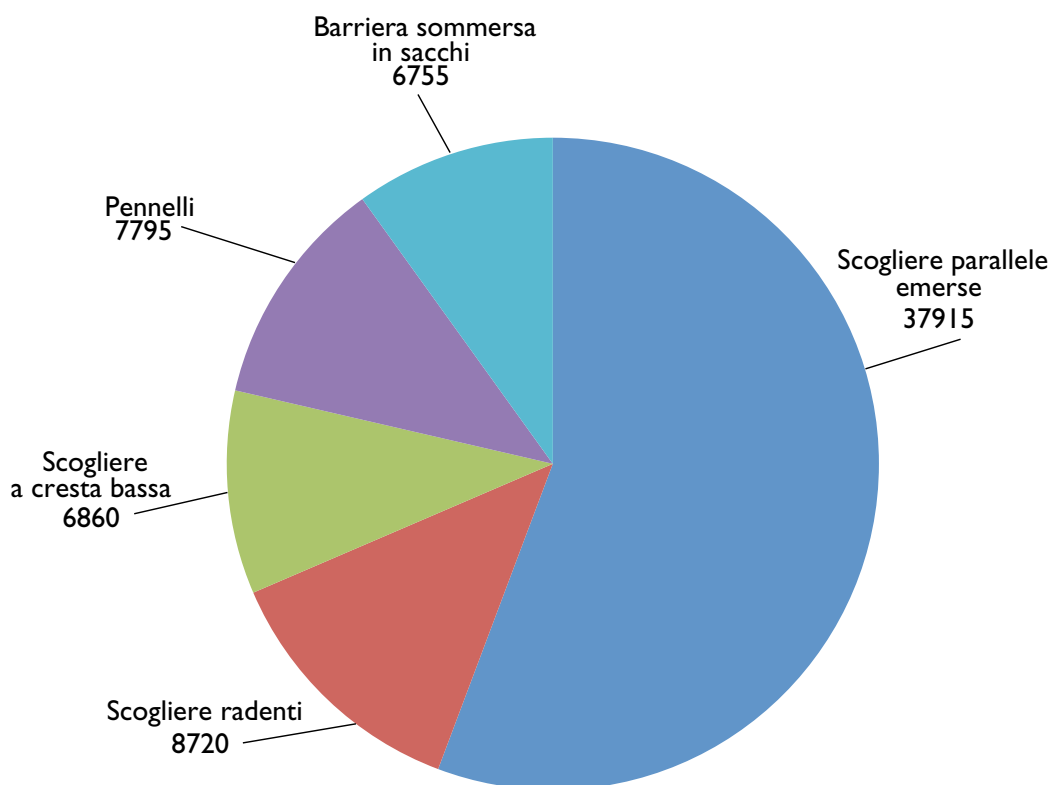


Figura 3 - Lunghezza di litorale emiliano-romagnolo difeso dalle varie tipologie di opere (Banca Dati Arpae – SIMC, dato aggiornato al 2011, valori in m).

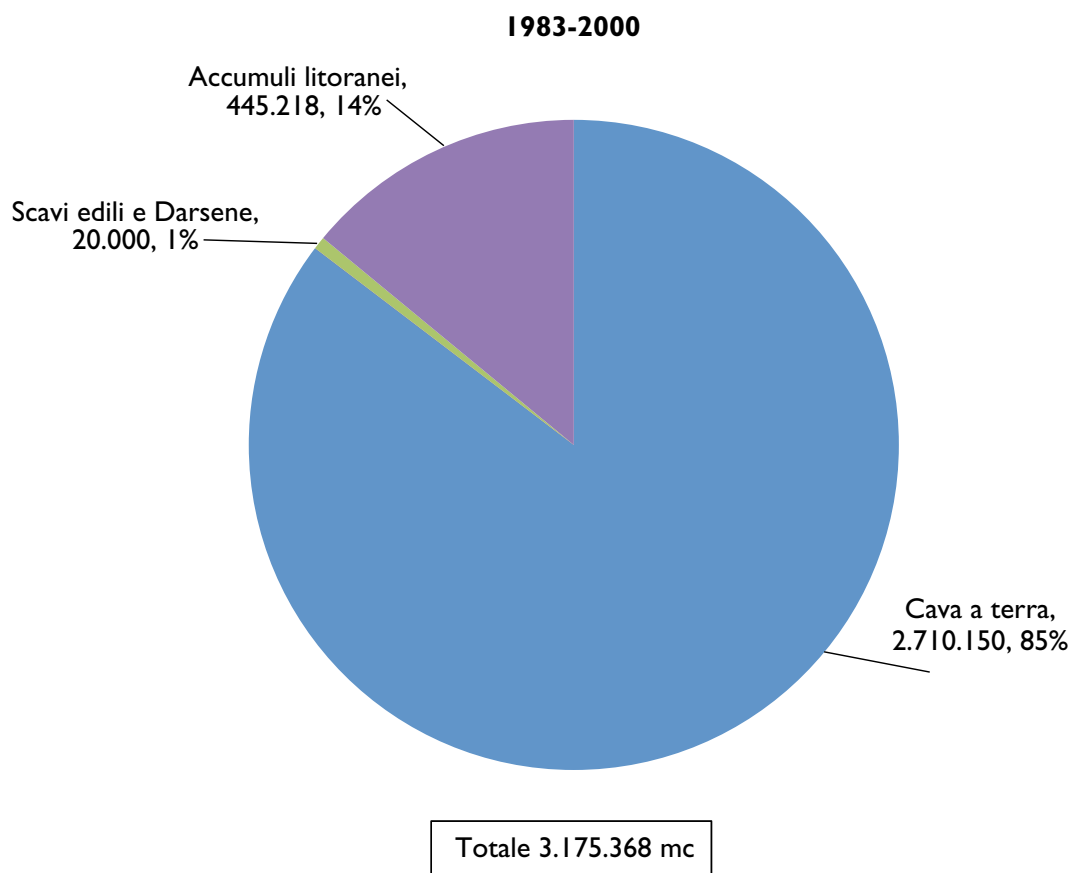


Figura 4 - Volumi di sabbia portati a ripascimento delle spiagge in erosione del litorale regionale nel periodo 1983 -2000 e fonte di provenienza (Banca Dati Arpae – SIMC, valori in mc).

- realizzazione di un setto di chiusura a sud delle scogliere parallele emerse di Lido Adriano;
- realizzazione di una barriera sommersa “Tecno-reef” a Punta Marina .

Oltre a questi, sono stati realizzati interventi di manutenzione come la ricarica di alcune scogliere parallele emerse, la chiusura con berma in roccia di varchi tra le scogliere e la risistemazione di tratti di barriere in sacchi pieni di sabbia.

Nel periodo 2006-2012 è stato, quindi, confermato il trend degli ultimi decenni, durante il quale il ricorso ad opere rigide per la difesa dei litorali è andato sempre più riducendosi, come indicato nei Piani Costa 1981 e 1996 e nelle linee guida GIZC 2005. Infatti tra il 1950 e il 1980 erano stati protetti con opere in massi circa 55 km di litorale, pari a 1,8 km/anno, mentre tra il 1980 e il 2006 erano stati protetti solo ulteriori 10 km, pari a 0,4 km/anno (Arpa, 2008).

Le opere di difesa dal moto ondoso più utilizzate lungo il litorale emiliano-romagnolo sono le scogliere parallele emerse (circa 38 km), seguono le scogliere radenti (circa 9 km), i pennelli in roccia

o in pali di legno (circa 8 km) e infine le barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia e le scogliere a cresta bassa (circa 7 km ciascuna). Si osserva che alcuni paraggi sono difesi contemporaneamente da più tipologie di opere, ad esempio, la spiaggia di Misano è difesa da pennelli in roccia e da barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

Questi dati sono stati ottenuti a partire dalle ortofoto Agea 2011 e dalla conoscenza del territorio. La riduzione al ricorso di opere rigide è stata possibile grazie al progressivo impiego del ripascimento artificiale di sabbia come sistema di difesa dei litorali dall’ingressione marina e dall’erosione. Tra il 1983, anno del primo intervento di ripascimento, e il 2000 sono stati apportati sulle spiagge in erosione poco più di 3 milioni di mc di sabbia, pari a circa 185.000 mc/anno; mentre nei periodi 2000-2006 e 2006-2012 sono stati portati rispettivamente circa 3,5 milioni di mc (575.000 mc/anno) e 2,8 milioni di mc (470.000 mc/anno) di sabbia (Figura 4, Figura 5, Figura 6). Una strategia molto importante portata avanti dalla Regione è stata la diversificazione delle fonti di prelievo di sabbia,

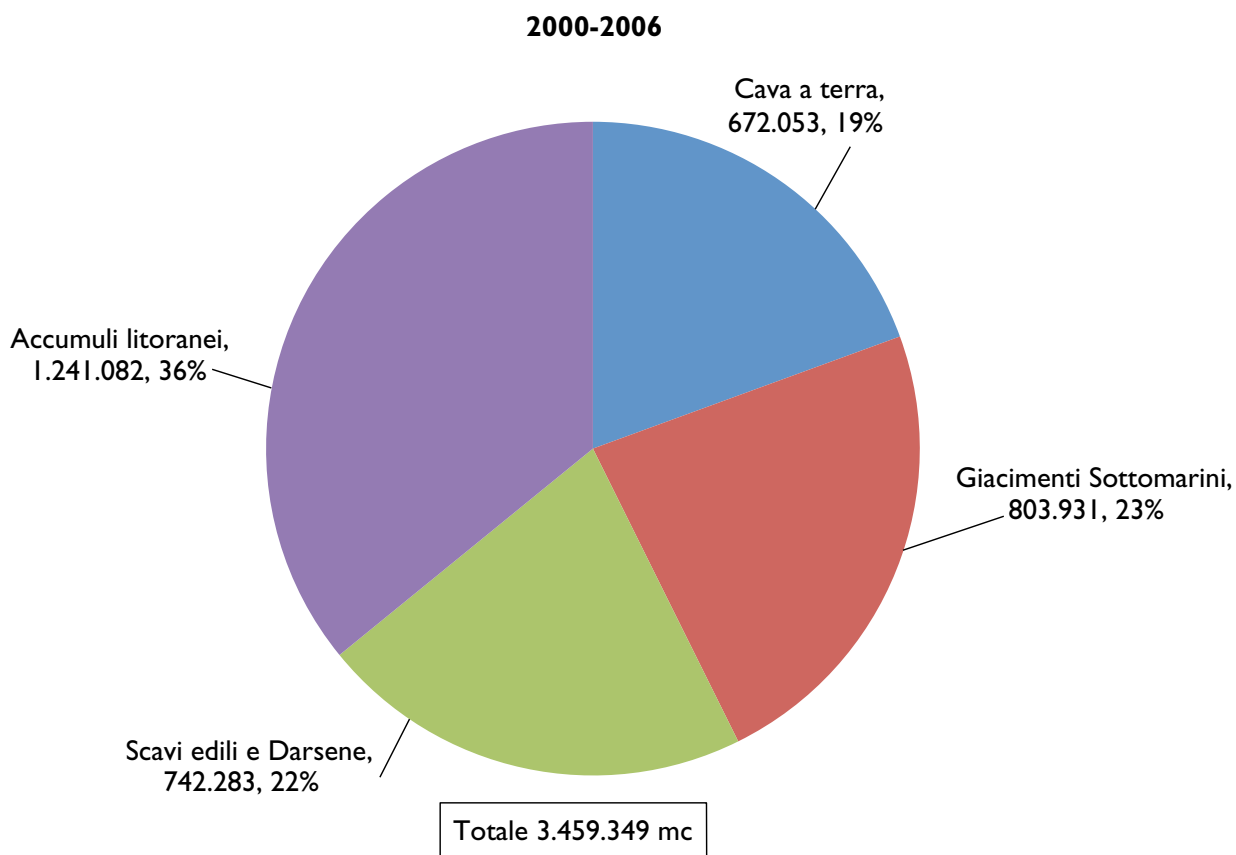


Figura 5 - Volumi di sabbia portati a ripascimento delle spiagge in erosione del litorale regionale nel periodo 2000-2006 e fonte di provenienza (Banca Dati Arpae – SIMC, valori in mc).

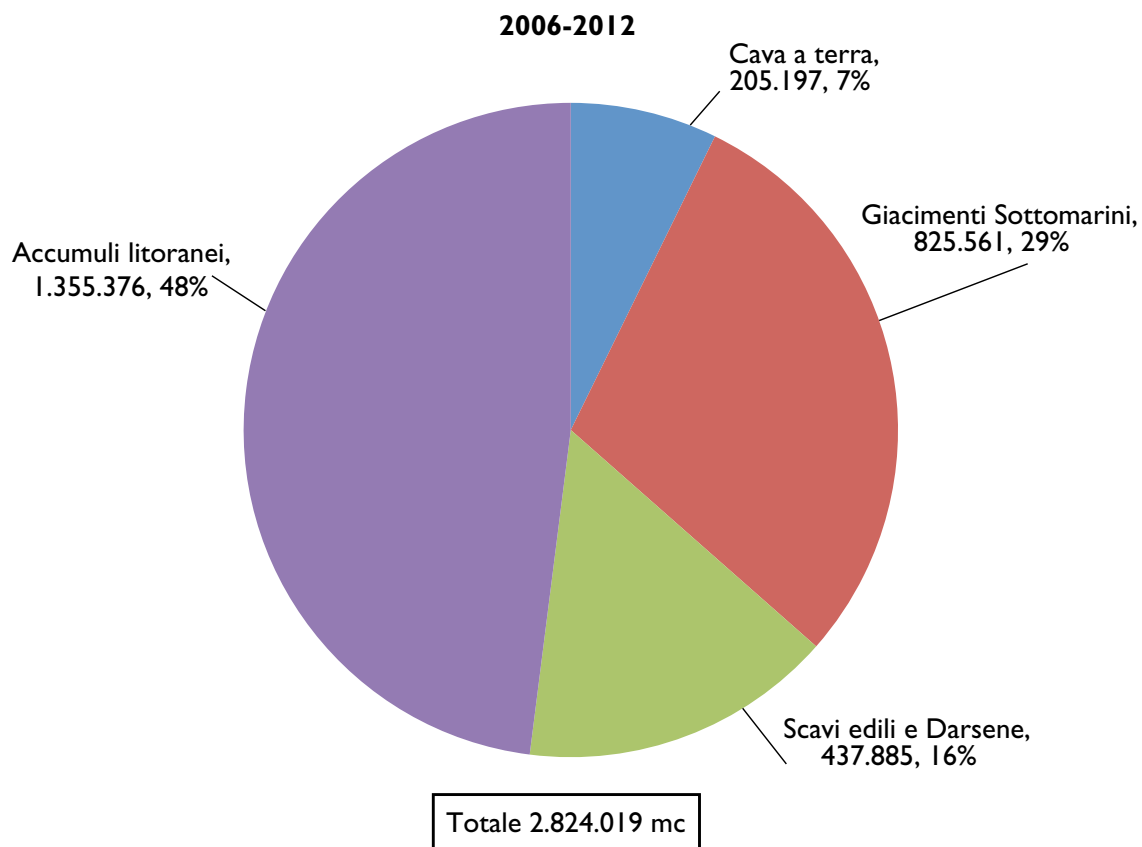


Figura 6 - Volumi di sabbia portati a ripascimento delle spiagge in erosione del litorale regionale nel periodo 2006-2012 e fonte di provenienza (Banca Dati Arpae – SIMC, valori in mc).

1983-2012

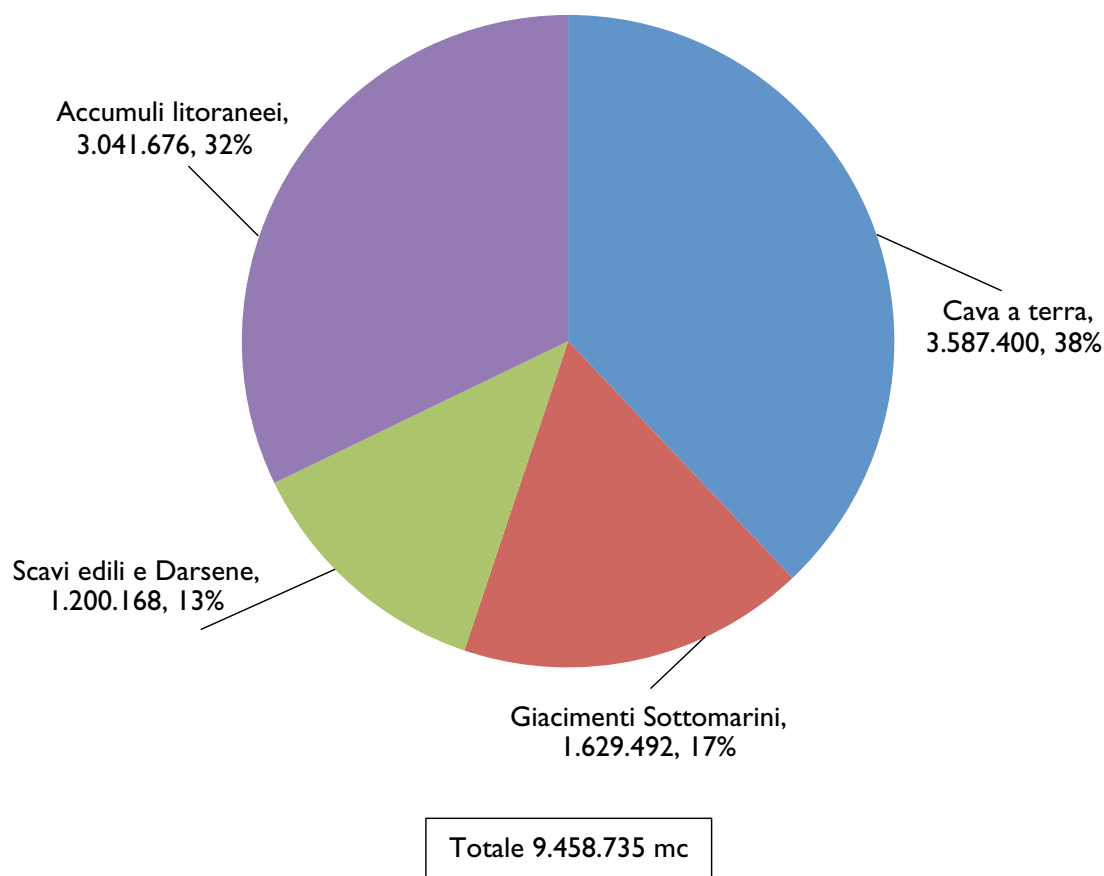


Figura 7 - Volumi di sabbia portati a ripascimento delle spiagge in erosione del litorale regionale nel periodo 1983-2012 e fonte di provenienza (Banca Dati Arpae – SIMC, valori in mc).

privilegiando sempre più quelle a minor impatto ambientale. Tra il 1983 e il 2000, l'85% del materiale sabbioso proveniva da cave a terra, e solo il 14% da accumuli litoranei. Tra il 2000 e il 2006, il ricorso di materiale proveniente da cave a terra si è ridotto drasticamente (19%) ed è aumentato l'utilizzo di fonti litoranee (36%). Questa riduzione è stata possibile anche all'utilizzo di nuove fonti quali giacimenti sottomarini (23%) e materiale provenienti da scavi edili per la realizzazioni di fabbricati, di parcheggi sotterranei e di darsene (22%). Tale strategia è continuata anche nell'ultimo periodo (2006-2012), infatti, solo il 7% del materiali portato a ripascimento è stato prelevato da cave a terra (poco più di 200.000 mc) mentre il 48% da fonti litoranee (più di 1,3 milioni di mc), il 29% da giacimenti sottomarini (circa 800.000 mc) e il restante 16% da scavi edili o portuali (circa 400.000 mc). Dal 1983 al 2012, complessivamente, sono stati apportati sulle spiagge circa 9,5 milioni di mc di sabbia (Figura 7).

2.4 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.

La disponibilità di dati ondametrici in corrispondenza delle coste della Regione Emilia-Romagna è risultata, in passato, piuttosto varia, sia come tipologia delle stazioni di misura, sia come estensione temporale delle serie storiche. Infatti il bacino centro-settentrionale del mare Adriatico è stato oggetto di studi e campagne di misure oceanografiche da parte di diversi istituti, enti, società sia per finalità scientifiche e di ricerca, sia per l'organizzazione di attività produttive in campo marittimo. Ciò ha portato all'installazione di molti strumenti e, conseguentemente, alla disponibilità di un gran numero di dati di varia natura: meteorologici, ondametrici, correntometrici, mareografici, chimico-fisici, ecc.

Spesso, però, la durata delle misurazioni è stata limitata a brevi periodi, in funzione degli obiettivi di una particolare e specifica ricerca scientifica, oppure le osservazioni si sono protratte per anni, ma con accuratezze nelle misure che, a volte, ne hanno limitato l'utilizzo. Per quanto riguarda i dati utili per definire le caratteristiche ondometriche tipiche del tratto di mare antistante la costa regionale è necessario disporre di serie storiche di misure sufficientemente estese nel tempo, così da poter cogliere le variazioni stagionali e annuali delle grandezze misurate.

L'esigenza di disporre di dati attendibili sulle condizioni meteo-marine si è manifestata in maniera rilevante a partire dall'inizio degli anni '80 del secolo scorso, quando la Regione Emilia-Romagna ha avviato le attività di studio dei fattori naturali e antropici che influenzavano il regime dei litorali. Tali studi erano propedeutici alla realizzazione del *Piano progettuale per la difesa della costa adriatica Emiliano-Romagnola*, denominato brevemente "Piano Costa 1981", che ha rappresentato una assoluta novità in ambito nazionale.

Il Piano aveva come obiettivo quello di individuare una valida strategia di intervento per la difesa della costa e uno degli elementi conoscitivi fondamentali per raggiungere questo obiettivo era il trasporto solido litoraneo, in quanto fattore responsabile dell'assetto morfologico di spiagge basse e sabbiose come quelle regionali. L'entità e l'andamento delle correnti litoranee sono stati quindi ricavati dal regime del moto ondoso, detto anche clima meteo-marino, ottenuto dall'elaborazione di una serie storica pluriennale di rilievi ondometrici effettuati su una piattaforma dell'Agip, denominata PCB, localizzata al largo di Ravenna.

Malgrado le incertezze e approssimazioni nei dati rilevati dalla PCB, il clima del moto ondoso da essi dedotto è risultato l'unico valido per questa porzione di bacino adriatico, tanto da essere utilizzato, a partire dal 1983, per circa venti anni, soprattutto nella ricostruzione del regime del trasporto litoraneo. Dopo un periodo così lungo, però, si è sempre più sentita l'esigenza di disporre di dati ondometrici più aggiornati in grado di rappresentare le variazioni meteo-marine che potevano essersi manifestate nel regime ondometrico del tratto di mare antistante il litorale regionale. Una prima risposta a tale necessità è stata fornita dalle misurazioni effettuate dalle boe appartenenti alla Rete Ondometrica Nazionale (RON) e in particolare da quella di Ancona.

Questi dati tuttavia 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. Nonostante questa limitazione, in occasione di diversi studi e progetti, i dati sono stati comunque utilizzati grazie ad opportune trasformazioni matematiche che hanno consentito di "trasferire" il clima meteo-marino, determinato in corrispondenza della boa, davanti alla costa regionale.

Si può affermare quindi che il quadro sulla disponibilità di misure di moto ondoso nel bacino settentrionale del Mare Adriatico è stato caratterizzato, fin dal 1983, da una relativa abbondanza di dati con una distribuzione spazio-temporale alquanto disomogenea, ma anche dalla totale mancanza di dati ondometrici locali, rilevati davanti alle coste della regione.

L'occasione di installare una boa ondometrica davanti al litorale emiliano-romagnolo è stata colta grazie al progetto europeo Beachmed-e (2006) e in particolare nel sottoprogetto NAUSICAA, che ha fornito una parte dei finanziamenti necessari all'operazione. Una significativa quota di finanziamento è stata fornita autonomamente da Arpa, partner del progetto europeo.

Per quanto riguarda l'individuazione del sito di installazione, è stata presa in considerazione sia l'esigenza di collocarla su una profondità d'acqua sufficientemente elevata (almeno 20 m) così ottenere dati rappresentativi del reale clima indisturbato al largo, sia la necessità di evitare danni e furti.

È stata così scelta un'area adiacente a un campo di allevamento di mitili, quindi interdetto alla navigazione e soggetto a guardiana continua, caratterizzata però da una profondità del fondale inferiore a quella ottimale. Il sito si trova a 8 km al largo di Cesenatico, su un fondale di circa 10 m, alle coordinate 44.2155°N 12.4766°E (WGS84). Il varo è avvenuto, a cura di Arpa, il 23 maggio 2007 (Figura 8) e la boa, denominata Nausicaa, ha cominciato misurare e trasmettere i dati sul moto ondoso subito dopo la sua installazione.

La boa ondometrica direzionale (Datawell WA-VERIDER MKIII) è in acciaio con un diametro di 70 cm e peso di 105 kg, all'interno sono alloggiati i sensori e il sistema di alimentazione, controllo, memorizzazione e trasmissione dei dati. I sensori misurano le seguenti variabili: 3 componenti dell'accelerazione, 3 componenti del campo ma-



Figura 8 - Localizzazione e trasporto della boa Nausicaa al largo di Cesenatico.

gnatico, i valori di beccheggio e rollio e la temperatura dell'acqua. La boa è ormeggiata mediante uno speciale cavo elastico che ne consente il movimento libero sul fondale sabbioso e la posizione è tracciata in continuo attraverso il sistema GPS montato a bordo.

L'altezza dell'onda è misurata con un accelerometro ad asse verticale mentre la direzione dell'onda è determinata attraverso la misura del movimento orizzontale registrato da due accelerometri posti perpendicolarmente tra loro che consentono di determinare la direzione dell'onda relativa al nord magnetico, in combinazione con i sensori di rollio e beccheggio e di una bussola. Il sistema di alimentazione è ibrido ed è composto da batterie e pannelli solari che garantiscono un'elevata autonomia di funzionamento.

Il sistema di controllo interno (data logger) provvede all'acquisizione, all'elaborazione del segnale e alla memorizzazione locale dei dati che vengono poi inviati, con un doppio sistema di trasmissione (HF e GSM), al centro ricevente a terra che si trova a Cesenatico, presso la Struttura Oceanografica Daphne di Arpae. I dati sono acquisiti ogni 30 minuti dal centro ricevente il quale li archivia su un computer locale collegato, a sua volta, alla banca dati centrale della rete di monitoraggio meteo gestita dal Servizio Idro-Meteo-Clima (Arpae – SIMC). In questa sede i dati sono controllati, archiviati e distribuiti in tempo reale attraverso la homepage di Arpae – SIMC (sezione *Previsioni mare*) dove quotidianamente sono anche disponibili le previsioni numeriche dello stato del mare, elaborate con il modello SWAN e le previsioni del livello marino, elaborate con il modello AdriaROMS2. Infine, l'archivio storico delle misure effettuate dalla boa Nausicaa è accessibile

grazie all'interfaccia DEXTER attivabile dall'interno della sezione mare di Arpae – SIMC, previa registrazione.

L'attività di misura da parte della boa è iniziata nel maggio 2007 e, quindi, un anno dopo la conclusione dei lavori della 4^a campagna topo-batimetrica regionale. Allo scopo di fornire indicazioni sul regime del moto ondoso che ha caratterizzato il Mare Adriatico di fronte alla costa emiliano-romagnola tra la 4^a e la 5^a campagna topo-batimetrica, si è deciso di analizzare tutta la serie storica dei dati misurati, a cadenza semioraria, dalla boa Nausicaa.

La serie storica, che parte dal maggio 2007 e termina a marzo 2012 quando si sono concluse le attività di rilievo della 5^a campagna topo-batimetrica, è risultata caratterizzata da un alto "rendimento" e cioè da un elevato rapporto tra il numero di dati misurati con quelli teoricamente rilevabili.

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i dati utilizzati in termini di estensione della serie storica, il grado di copertura e le grandezze oceanografiche misurate dalla boa.

In seguito vengono presentate le principali elaborazioni eseguite sui dati raccolti, finalizzate all'individuazione delle caratteristiche del regime ondometrico e rappresentate dal clima medio annuo, dal clima medio stagionale e dal regime degli eventi di mareggiata.

2.4.1 Dati utilizzati

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

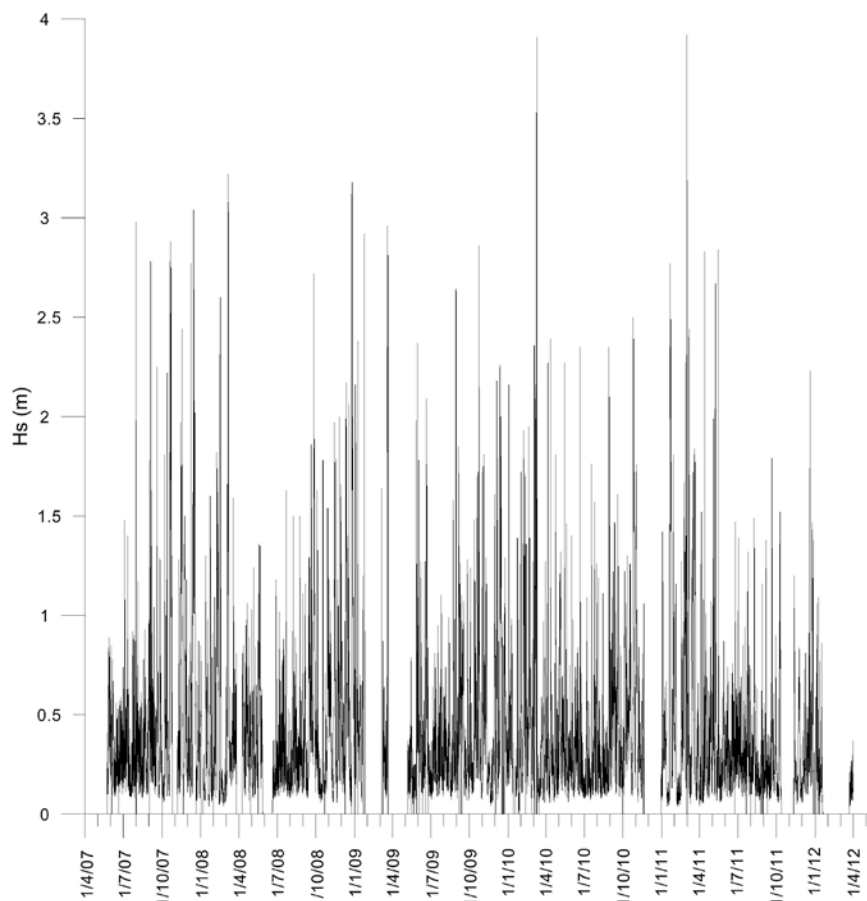


Figura 9 - Boa Nausicaa. Altezza d'onda significativa misurata nel periodo maggio 2007 –marzo 2012. Si evidenzia l'estensione e l'ottima copertura dei dati, ma anche i periodi in cui i dati, a causa del mancato funzionamento della boa, sono totalmente assenti.

al nord), al periodo medio dell'onda (T_m in secondi) e al periodo di picco spettrale (T_p in secondi). La disponibilità dei dati è risultata piuttosto buona, tenendo conto dei periodi di inattività della boa a causa delle manutenzioni, delle mancate trasmissioni, ecc. Anche visivamente si può constatare che i periodi non coperti da misure risultano concentrati in alcuni e ben distinti momenti, mentre nella Tabella 2 viene fornita la percentuale dei dati disponibili nei singoli anni di misura e sul totale del periodo.

Complessivamente i rilievi hanno raggiunto l'82%

dei dati teoricamente attesi, mentre analizzando i singoli anni, o porzioni di essi, si notano alcune differenze: se si prescinde dai primi mesi del 2012, caratterizzati da una notevole incidenza di dati mancanti, tutti gli anni mostrano una percentuale di dati utili piuttosto alta, con l'eccezione del 2009 durante il quale i dati mancanti hanno raggiunto la soglia del 27% dei valori attesi.

L'analisi della disponibilità dei dati è stata inoltre condotta su base stagionale, dal momento che lo studio del clima del moto ondoso è stato effettuato anche secondo questa suddivisione.

Tabella 2 - Disponibilità dei dati rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007 – marzo 2012.

Periodo	Valori attesi	Dati rilevati	% rilevati	Dati mancanti	% mancanti
2007 (da maggio)	11760	10096	86%	1664	14%
2008	17568	15635	89%	1933	11%
2009	17520	12833	73%	4687	27%
2010	17520	15222	87%	2298	13%
2011	17520	15972	91%	1548	9%
2012 (fino a marzo)	4368	1199	27%	3169	73%
Totale	86256	70957	82%	15299	18%

Tabella 3 - Disponibilità dei dati rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007 – marzo 2012, suddiviso nelle quattro stagioni.

Stagione	Valori attesi	Dati rilevati	% rilevati	Dati mancanti	% mancanti
Primavera	20640	15016	73%	5624	27%
Estate	22080	21161	96%	919	4%
Autunno	21840	19252	82%	2588	12%
Inverno	21696	15528	72%	6168	28%
Totale	86256	70957	82%	15299	18%

Nello specifico i mesi sono stati aggregati secondo il seguente criterio¹:

- primavera: marzo, aprile, maggio;
- estate: giugno, luglio, agosto;
- autunno: settembre, ottobre, novembre;
- inverno: dicembre, gennaio, febbraio.

Nella Tabella 3 si riportano le informazioni sulla copertura dei dati rilevati dalla boa Nausicaa tra maggio 2007 e marzo 2012, suddivisi per stagioni. Dalle considerazioni precedenti si può quindi ribadire che la “copertura” dei rilievi ondometrici della boa è risultata molto buona, pari a circa l’82% dei dati teorici attesi e quindi la serie presenta una notevole continuità. A fronte di questa situazione sono comunque evidenti alcune interruzioni delle misure che si sono protratte per periodi di una certa durata. Le cause sono state, in genere, legate alle periodiche attività di manutenzione, ma anche ad alcuni malfunzionamenti e ai conseguenti periodi di fermo per i lavori di ripristino della funzionalità della boa. La maggior parte dei dati mancanti sono concentrati in alcuni periodi che appartengono ai mesi invernali e primaverili.

Questa situazione ha comportato l’impossibilità di considerare, nelle varie elaborazioni, il contributo di un gran numero di onde “invernali” caratterizzate, presumibilmente, da altezze di una certa entità. Tale mancanza, se da un lato può avere causato una non completa ricostruzione del clima medio annuo, dall’altro ha sicuramente limitato l’individuazione e la caratterizzazione dei fenomeni di mareggiata che hanno interessato il tratto di mare davanti alla costa emiliano-romagnola.

Infatti, durante i periodi di interruzione delle misurazioni da parte della boa Nausicaa, si sono verificati proprio alcuni intensi fenomeni meteorologici che, oltre a determinare condizioni severe di maltempo su gran parte della Regione, hanno

prodotto forti mareggiate con conseguenti danni su ampi tratti di litorale regionale. Tra questi vale la pena segnalare due eventi²:

- quello che si è sviluppato tra il 21 e il 25 dicembre 2010 e che ha comportato, oltre ad estese ed intense precipitazioni sul settore nord-orientale dell’Emilia-Romagna e sull’Appennino centro-occidentale, lo sviluppo di mareggiate in concomitanza con il fenomeno dell’acqua alta;
- l’evento di mareggiata che ha avuto il suo momento di massimo sviluppo tra il 9 e il 12 febbraio 2012; questo fenomeno meteo-marino è collocato all’interno di un lungo periodo, che va da febbraio a marzo, caratterizzato da estese e intense precipitazioni di neve, che hanno comportato, in Emilia-Romagna, altezze del manto nevoso che possono essere definite storiche.

2.4.2 Clima del moto ondoso

La serie storica di dati ondometrici rilevati dalla boa Nausicaa è stata elaborata per ricostruire il clima del moto ondoso medio annuo, caratteristico dell’intero periodo maggio 2007 - marzo 2012. Il clima del moto ondoso viene espresso dalla distribuzione delle varie altezze d’onda secondo la direzione di provenienza ed è rappresentato da tabelle di occorrenza e, graficamente, dalle cosiddette rose delle onde.

La disponibilità dei dati ha permesso di definire 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: la distribuzione delle altezze d’onda secondo la direzione è stata determinata associando i mesi delle quattro stagioni secondo il criterio visto sopra.

² Per maggiori dettagli si possono consultare i rapporti meteo di Arpa SIMC: *Rapporto_meteomarine_20101221-24* e *Rapporto_meteo_20120207-12* reperibili nel sito di Arpa SIMC (sezione Osservazioni e dati)

¹ Aeronautica Militare – Servizio Meteorologico, 2009, *Atlante climatico d’Italia 1971 - 2000*

La determinazione del clima del moto ondoso ha fatto riferimento ad una suddivisione delle altezze d'onda secondo i seguenti criteri: sono state considerate "calma" le onde con altezza significativa inferiori a 0,20 m, mentre le altre sono state attribuite agli intervalli:

$$0,20 \leq H_s < 0,50 \quad 0,50 \leq H_s < 1,25 \\ 1,25 \leq H_s < 2,50 \quad 2,50 \leq H_s < 4,00 \quad H_s \geq 4,00$$

Per quanto riguarda le direzioni di provenienza si è adottata la convenzione nautica di considerare come asse di riferimento la direzione nord e come verso positivo degli angoli quello orario. Le direzioni di provenienza delle onde sono state così attribuite a 16 settori angolari di 22,5° ciascuno, centrati con le direzioni rispetto al Nord geografico

0°N	22,5°N	45°N	67,5°N	90°N	112,5°N	135°N	157,5°N
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
180°N	202,5°N	225°N	247,5°N	270°N	292,5°N	315°N	337,5°N
S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW

L'attribuzione di una specifica direzione di provenienza ad uno dei precedenti settori è avvenuta per le onde con altezza d'onda superiore ai 0,20 m, mentre per le onde con altezza inferiore (quindi attribuibili alla condizione di calma) la direzione non è stata considerata, ma si è valutata l'incidenza complessiva.

La Tabella 4 mostra la distribuzione delle onde, suddivise per classi d'altezza e per i diversi settori di provenienza, come definiti sopra.

Il periodo in esame 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.

Relativamente alla distribuzione delle onde per classi di altezza si può notare come la classe più frequente è quella rappresentata dalle onde basse, cioè con $0,20 \leq H_s < 0,50$ m, con oltre il 40% dei casi registrati.

Dal settore ENE è pervenuto il maggior numero di onde medio-alte, ovvero quelle con $H_s > 1,25$ m. Dai dati riportati in tabella si nota che questo insieme di classi d'onda rappresenta circa il 5,7% del totale registrato dalla boa nel periodo in esame, al quale il settore ENE ha contribuito, da solo, con quasi il 3%. Sempre in merito alle onde di maggiore altezza, anche il settore NE o di Bora (45° N) ha presentato percentuali di occorrenza significative pari a circa l'1,5% del totale. Non sono state misurate onde con $H_s > 4$ m nel periodo in esame. Le considerazioni sinora fatte sono rappresentate, in maniera più immediata, in Figura 10 nella quale

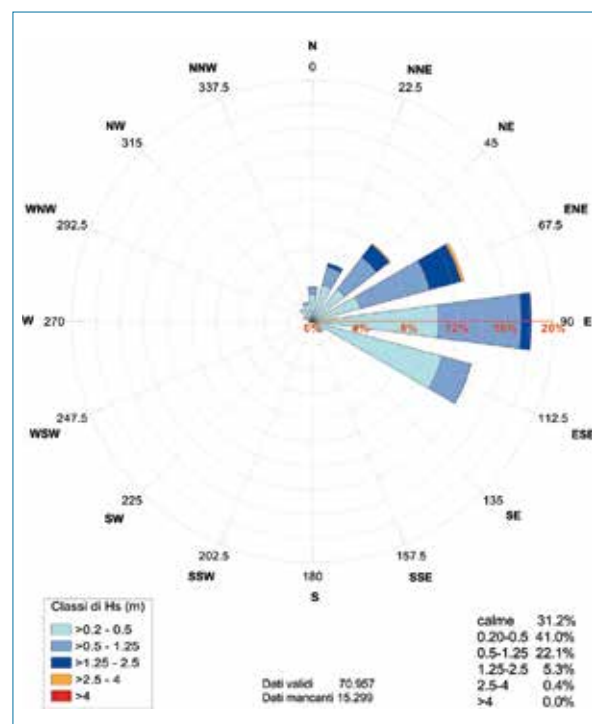


Figura 10 - Rosa delle onde ricavata dai dati ondometrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007 - marzo 2012.

Tabella 4 - Tabella di occorrenza (16 settori direzionali e 5 classi di altezza significativa in metri più le calme) dei dati ondometrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007 - marzo 2012.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totale
calme																	31,21
0,20-0,5	2,32	3,22	3,42	4,15	10,62	11,52	1,02	0,09	0,06	0,10	0,13	0,25	0,35	0,81	1,34	1,57	40,98
0,5-1,25	0,62	1,63	3,43	6,06	7,14	2,67	0,20	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,03	0,07	0,20	22,12
1,25-2,5	0,03	0,30	1,35	2,72	0,86	0,02										0,00	5,29
2,5-4	0,00	0,02	0,12	0,26	0,00									0,00			0,40
>4																	0,00
Totale	2,97	5,17	8,31	13,19	18,63	14,21	1,22	0,09	0,07	0,12	0,13	0,29	0,37	0,83	1,41	1,76	100,00

si riporta la rosa delle onde nei diversi settori di provenienza ricavata da tutti i dati disponibili da maggio 2007 a marzo 2012.

Grazie all'estensione e alla buona copertura della serie storica è stato possibile ricavare la distribuzione delle altezze d'onda in funzione dei settori di provenienza, suddividendo i dati anche a livello stagionale.

Nella Tabella 5 e nella successiva Figura 11 si riportano, rispettivamente, le tabelle di occorrenza e le rose delle onde per ognuna delle quattro sta-

gioni; da esse è possibile evidenziare alcune significative caratteristiche:

- la primavera e l'estate, come ci si può aspettare, presentano valori di calma superiori all'autunno e all'inverno: tra il 32 - 34% contro il 27%;
- per quanto riguarda la direzione con la più alta percentuale di accadimento si evidenzia una notevole somiglianza tra primavera, autunno e inverno, caratterizzati da valori pari a circa il 21-22% dal settore E o di Levante (90° N), mentre in estate il settore con la percentuale

Tabella 5 - Tabella di occorrenza dei dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007 - marzo 2012 suddivisi per stagioni.

PRIMAVERA																	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totale
calme																	32,64
0,20-0,5	0,94	1,96	2,38	3,86	12,85	13,71	1,23	0,11	0,11	0,09	0,11	0,17	0,24	0,56	0,86	0,78	39,95
0,5-1,25	0,47	1,03	1,88	4,71	8,08	3,90	0,21	0,01		0,01	0,02	0,07	0,01	0,01	0,02	0,12	20,54
1,25-2,5	0,05	0,35	1,17	3,22	1,03	0,01											5,82
2,5-4		0,04	0,22	0,79	0,01												1,05
>4																	0,00
Totale	1,45	3,38	5,65	12,58	21,97	17,61	1,44	0,11	0,11	0,10	0,13	0,25	0,25	0,57	0,88	0,90	100,00
ESTATE																	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totale
calme																	34,53
0,20-0,5	1,98	3,93	4,17	5,14	9,05	17,18	1,75	0,12	0,09	0,11	0,17	0,48	0,75	1,13	1,22	1,55	48,84
0,5-1,25	0,36	2,11	2,48	3,67	2,66	3,23	0,23				0,01	0,06	0,05	0,04	0,06	0,13	15,10
1,25-2,5	0,01	0,21	0,40	0,85	0,00												1,47
2,5-4			0,00	0,06													0,06
>4																	0,00
Totale	2,35	6,25	7,06	9,72	11,71	20,41	1,98	0,12	0,09	0,11	0,18	0,54	0,80	1,17	1,29	1,69	100,00
AUTUNNO																	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totale
calme																	27,10
0,20-0,5	2,10	3,18	3,79	3,94	10,06	9,31	0,67	0,09	0,01	0,12	0,13	0,20	0,18	0,74	1,43	1,23	37,19
0,5-1,25	0,51	1,82	5,39	8,99	9,56	2,50	0,24	0,01	0,03	0,02		0,01	0,01	0,02	0,05	0,18	29,33
1,25-2,5	0,05	0,38	1,84	2,51	1,31	0,04										0,01	6,13
2,5-4		0,03	0,17	0,05													0,24
>4																	0,00
Totale	2,66	5,41	11,19	15,49	20,92	11,85	0,91	0,10	0,04	0,15	0,13	0,21	0,18	0,76	1,48	1,42	100,00
INVERNO																	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totale
calme																	27,10
0,20-0,5	4,41	3,52	2,94	3,33	11,32	4,42	0,26	0,03	0,05	0,08	0,07	0,08	0,13	0,68	1,87	2,76	37,19
0,5-1,25	1,25	1,33	3,79	6,97	9,33	0,93	0,08	0,01	0,01	0,03		0,01		0,04	0,15	0,37	29,33
1,25-2,5	0,01	0,27	2,20	5,06	1,33	0,05											6,13
2,5-4	0,01		0,12	0,30										0,01			0,24
>4																	0,00
Totale	5,67	5,11	9,04	15,66	21,98	5,40	0,35	0,04	0,05	0,11	0,07	0,09	0,13	0,73	2,03	3,13	100,00

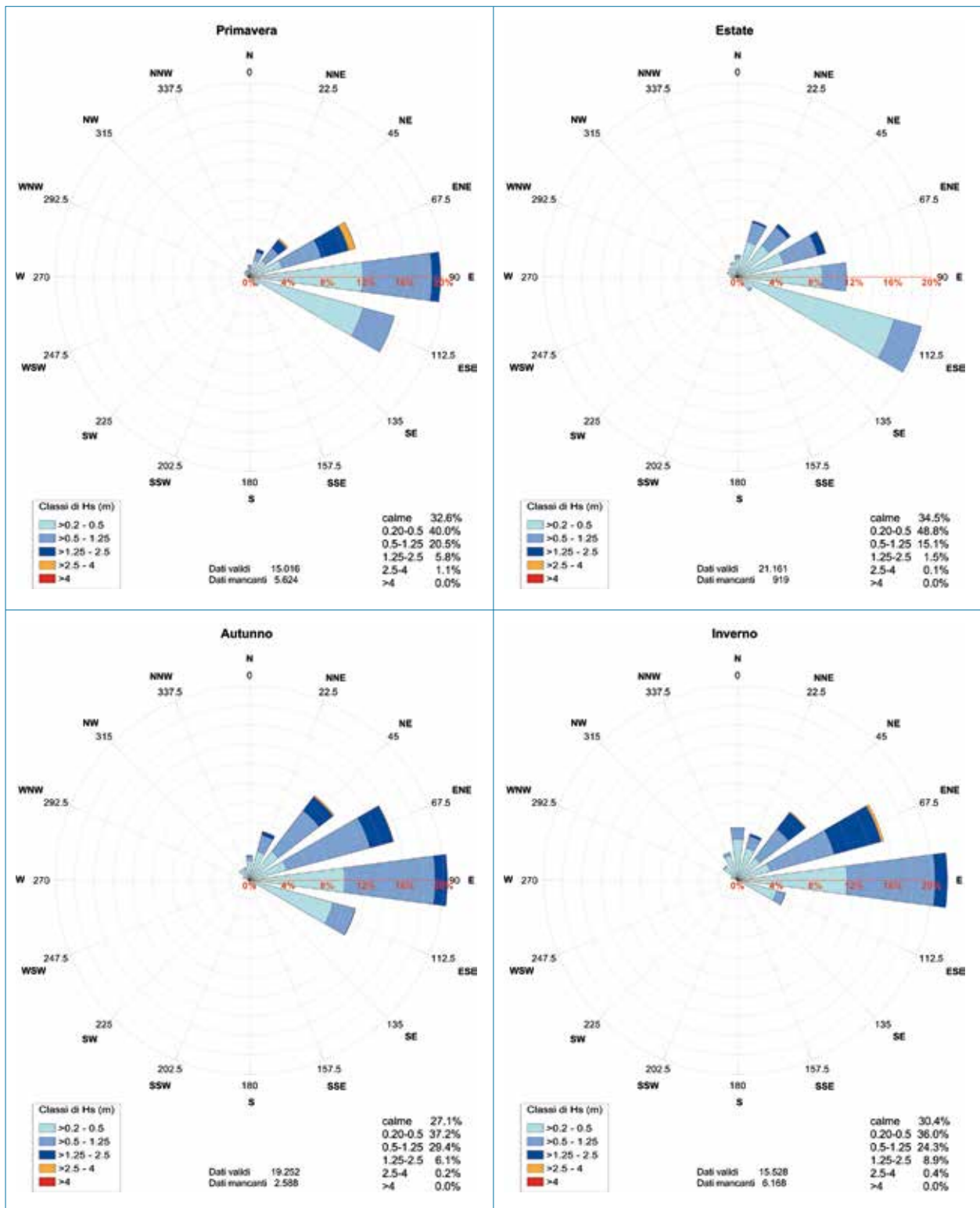


Figura 11 - Rose delle onde dei climi stagionali ricavate dai dati ondometrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007 - marzo 2012.

più alta è quello ESE (112,5° N) con un valore di oltre il 20%;

- per tutte e quattro le stagioni la classe d'onda più frequente, come per il clima medio annuo, è quella caratterizzata da $0,20 \leq H_s < 0,50$ m. In primavera, autunno e inverno la percentuale di occorrenza si attesta tra il 37 e il 39%

mentre in estate la percentuale aumenta a quasi il 49%;

- relativamente alla distribuzione delle onde medio-alte, ovvero quello con $H_s > 1,25$ m, le differenze tra le stagioni si fanno un po' più marcate:
 - in primavera e in inverno questa classe d'onda si presenta essenzialmente da ENE (67,5°

N), con percentuali di occorrenza dell'ordine del 4-5% dei rispettivi totali (probabilmente sottostimate a causa della non completa disponibilità di dati in queste stagioni); in autunno le onde medio-alte si ripartiscono quasi equamente tra i settori NE (45° N) ed ENE con percentuali poco superiori al 2%; infine in estate l'incidenza di queste onde è, nel complesso, modesta (<1%);

- relativamente alla classe d'onda con $2,50 \leq H_s < 4,00$ m e quindi a quelle più alte, la stagione con la presenza più significativa è la primavera e la direzione è quella ENE; onde analoghe si riscontrano anche in inverno, ma con una percentuale di accadimento inferiore rispetto a primavera (di nuovo si applica il limite costituito dalla non completezza della serie di dati).

2.4.3 Mareggiate nel periodo maggio 2007 – marzo 2012

Lo studio delle caratteristiche del moto ondoso tra maggio 2007 e marzo 2012 effettuato sulla base della serie storica dei dati ondometrici della boa Nausicaa, è stato completato con l'analisi del regime delle mareggiate.

I dati disponibili sono stati analizzati per evidenziare gli "eventi di mareggiata", da intendersi come eventi di altezza significativa superiore a 1,5 m che abbiano durata di almeno 6 ore, mentre per distinguere due eventi occorre che il moto ondoso abbia avuto un'altezza sotto-soglia per un periodo di almeno 3 ore consecutive tra le due mareggiate. Tale criterio di individuazione è stato messo a punto nell'ambito del progetto europeo Micore, (Morphological impact and coastal risks induced by extreme storm events), coordinato dall'Università di Ferrara e con la partecipazione, tra gli altri, del Servizio Idro Meteo Clima di Arpa Emilia-Romagna (per maggiori dettagli vedi Valentini et al., 2009³).

Da ogni mareggiata individuata sono stati ricavati i parametri significativi e cioè: 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 ai precedenti parametri si è voluto fornire anche una informazione sull'andamento del livello del mare durante l'intervallo di tempo in cui si è sviluppata ogni mareggiata.

Innalzamenti del livello marino di una certa rilevanza concomitanti con eventi di mareggiata, possono infatti aggravare gli effetti erosivi sulla spiaggia da parte delle onde incidenti oltre, ovviamente, alla possibilità di determinare l'allagamento di aree dell'entroterra.

Per tale valutazione si è fatto riferimento ai dati di marea rilevati dal mareografo del porto di Ravenna, sito in località Porto Corsini e appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. È comunque evidente che il dato di marea rilevato da un mareografo, allocato come quello di Porto Corsini, all'interno di un bacino portuale e quindi protetto dall'azione diretta del moto ondoso, rappresenta solo parzialmente il fenomeno di innalzamento del livello del mare che, all'esterno del porto, può invece raggiungere valori ben maggiori di quelli misurati dallo strumento.

All'interno del porto di Ravenna è stato attivo un mareografo fin dal 1897 benchè soggetto a spostamenti di ubicazione nel tempo (es. nel 1934 e nel 1957⁴); ci sono state alcune significative interruzioni nelle misure di livello, come tra il 1944 e il 1945 a causa degli eventi bellici.

Tra il 1957 e il 2009 la stazione è stata alloggiata all'interno di una cabina installata all'imboccatura della darsena dei pescherecci; tra il mese di marzo 2009 e settembre 2013 la stazione è stata collocata provvisoriamente presso la sede del Circolo Velico Ravennate, garantendo comunque la continuità delle misure. Questo trasferimento si è reso necessario a seguito dei lavori di rifacimento del molo ove era collocata originariamente la cabina. Da settembre 2013 la stazione è stata ricollocata nella posizione originaria.

Queste operazioni sono sempre state accompagnate dagli opportuni collegamenti altimetrici, tramite livellazioni di precisione, con i caposaldi IGM, garantendo la correlazione dei dati più recenti con le serie di misure del passato.

Per l'analisi dei livelli di marea durante le mareggiate si è quindi considerata la serie di dati di marea raccolti durante lo stesso intervallo utilizzato per lo studio delle onde e cioè da maggio 2007 a

³ Valentini A., Deserti M., Ciavola P., Armaroli C., Masina M., Perini L., Calabrese L., 2009, *I nuovi studi su mareggiate e fenomeni erosivi*, Arpa Rivista n°6, pp.16-18

⁴ Lama R., Corsini S., 2000. *La Rete Mareografica Italiana*. Servizio idrografico e mareografico nazionale.

marzo 2013. Fino al mese di aprile 2011 i dati di livello sono disponibili a cadenza oraria, successivamente ogni 10 minuti.

Dalla serie storica sono stati quindi isolati gli intervalli di tempo coincidenti con le varie mareggiate e ogni dato d'onda a cadenza oraria è stato associato direttamente al corrispondente livello di marea. Nei casi in cui il dato di livello non è disponibile, come per i dati d'onda misurati alla mezz'ora, il dato di livello è stato invece ottenuto per interpolazione lineare.

Dalle elaborazioni effettuate sui dati ondometrici per estrarre i periodi classificabili come mareggiata è stato possibile assemblare la Tabella 7, nella quale sono raccolte le informazioni sugli eventi che si sono succeduti durante il periodo coperto dalle misure della boa. Nella tabella sono riportati i seguenti campi:

- Anno anno di riferimento;
- n° numero progressivo dell'evento durante l'anno di riferimento;
- Stagione la stagione in cui si è verificata la mareggiata;
- Data inizio data e ora di inizio dell'evento;
- Data fine data e ora in cui è terminata la mareggiata;
- Durata la durata del fenomeno, espressa in ore e in giorni;
- Direzione media la direzione media di provenienza della mareggiata, espressa in °N;
- Quadrante quadrante di provenienza: I se $0^\circ \leq \text{Dir} < 90^\circ \text{ N}$, II se $90^\circ \leq \text{Dir} < 180^\circ \text{ N}$;
- Hs media l'altezza media dell'onda durante la mareggiata, espressa in m;
- Hmax l'altezza massima dell'onda raggiunta durante la mareggiata, espressa in m;
- Energia il contenuto energetico della mareggiata, espresso in $\text{m}^2 \text{ h}$;
- Classificazione la classificazione della mareggiata sulla base del contenuto energetico;
- Liv. marea max il livello di marea massimo misurato dal mareografo di Ravenna, espresso in metri, durante l'intervallo di tempo in cui si è sviluppata la mareggiata.

Tra i campi che entrano a far parte della tabella, quelli che richiedono un approfondimento sono

Tabella 6 - Classificazione delle mareggiate secondo il contenuto energetico.

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	$E > 706,9$

quelli relativi all'Energia contenuta in una mareggiata, alla sua Classificazione secondo una opportuna scala e il dato relativo al livello massimo raggiunto dalla marea; tutti gli altri campi, già dalla loro definizione, risultano facilmente interpretabili.

– Per quanto riguarda la quantificazione del contenuto energetico delle mareggiate, essa è stata effettuata adottando il metodo riportato in (5) e cioè 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 .

– Relativamente alla classificazione delle mareggiate è stata adottato il criterio, anch'esso riportato in (5), secondo cui gli eventi sono suddivisi in 5 classi energetiche richiamate nella Tabella 6. Infine, per rappresentare in modo sintetico gli effetti delle variazioni del livello del mare durante l'intervallo di tempo in cui si è sviluppata ogni mareggiata, si è scelto di indicare il livello di marea massimo raggiunto al mareografo di Ravenna, nel medesimo istante. Questo dato, espresso in m s.l.m.m. può fornire una indicazione, sia pur qualitativa, sulla condizioni di severità delle condizioni meteo-marine in cui si è sviluppato ciascun evento.

Nella Tabella 7 si riporta l'elenco delle mareggiate individuate nel periodo che va da maggio 2007 a marzo 2012 e le relative grandezze caratteristiche, mentre nella successiva Tabella 8 le informazioni sulle mareggiate sono state sintetizzate allo scopo di meglio definire la distribuzione degli eventi in funzione degli anni di osservazione e delle stagioni. In sintesi si può osservare quanto segue:

– Complessivamente sono stati individuati 65 eventi di mareggiata che hanno comportato condizioni di mare in burrasca per oltre 48 giorni nel periodo maggio 2007 – marzo 2012. Peraltro nei

⁵ Perini L., Calabrese L., Deserti M., Valentini A., Ciavola P., Armaroli C., 2011, *Le mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna 1946-2010*, Quaderni Arpa

Tabella 7 - Caratteristiche delle mareggiate rilevate dalla boa Nausicaa tra maggio 2007 e marzo 2012.

Anno	n°	Stagione	Data Inizio	Data Fine	Durata (h)	Durata (giorni)	Direzione media (°N)	Quadrante	Hs media (m)	Hs max (m)	Energia (m ² h)	Classificazione	Liv. marea max (m)
2007 (da maggio)	1	Estate	30/7/07 17.30	31/7/07 10.00	16,5	0,7	58	I	2,04	2,98	76,68	II moderata	0,26
	2	Autunno	4/9/07 7.30	4/9/07 16.00	8,5	0,4	40	I	2,05	2,78	36,80	I debole	0,42
	3	Autunno	19/9/07 5.30	19/9/07 15.30	10,0	0,4	59	I	1,96	2,25	38,77	I debole	0,31
	4	Autunno	13/10/07 23.30	14/10/07 8.00	8,5	0,4	68	I	1,80	2,22	27,97	I debole	0,27
	5	Autunno	18/10/07 19.00	19/10/07 2.00	7,0	0,3	42	I	2,27	2,78	37,20	I debole	0,10
	6	Autunno	20/10/07 8.30	23/10/07 3.30	67,0	2,8	45	I	2,04	2,88	287,53	III significativa	0,49
	7	Autunno	16/11/07 20.00	17/11/07 23.30	27,5	1,1	56	I	1,73	2,44	83,86	II moderata	0,34
	8	Inverno	8/12/07 8.00	8/12/07 17.30	9,5	0,4	45	I	2,30	2,77	51,43	I debole	0,65
	9	Inverno	15/12/07 0.00	15/12/07 16.30	16,5	0,7	62	I	2,36	3,04	94,71	II moderata	0,36
	10	Inverno	16/12/07 0.00	18/12/07 5.00	53,5	2,2	58	I	1,87	2,64	190,36	III significativa	0,45
2008	1	Inverno	15/2/08 20.30	16/2/08 12.30	16,0	0,7	69	I	1,89	2,31	58,05	II moderata	0,04
	2	Inverno	16/2/08 23.30	17/2/08 7.30	8,0	0,3	73	I	2,02	2,60	33,58	I debole	-0,13
	3	Primavera	5/3/08 7.00	6/3/08 17.00	34,0	1,4	59	I	2,45	3,22	212,52	III significativa	0,49
	4	Primavera	6/3/08 20.30	7/3/08 22.00	25,5	1,1	65	I	2,00	3,03	106,16	II moderata	0,51
	5	Estate	22/7/08 3.30	22/7/08 10.30	7,0	0,3	53	I	1,47	1,63	15,20	I debole	0,12
	6	Autunno	20/9/08 0.30	20/9/08 10.00	9,5	0,4	70	I	1,62	1,86	25,05	I debole	0,30
	7	Autunno	26/9/08 4.00	27/9/08 15.00	35,0	1,5	56	I	1,96	2,72	138,58	III significativa	0,47
	8	Autunno	17/10/08 17.30	18/10/08 0.00	6,5	0,3	58	I	1,66	1,78	17,98	I debole	0,18
	9	Autunno	14/11/08 1.30	14/11/08 18.00	16,5	0,7	72	I	1,78	1,97	52,37	I debole	0,74
	10	Inverno	10/12/08 16.30	11/12/08 7.00	14,5	0,6	84	I	1,74	1,99	44,38	I debole	0,78
	11	Inverno	11/12/08 17.30	12/12/08 10.00	16,5	0,7	91	II	1,65	1,95	45,52	I debole	0,86
	12	Inverno	12/12/08 14.30	13/12/08 4.30	14,0	0,6	65	I	1,84	2,17	47,66	I debole	0,54
	13	Inverno	18/12/08 18.30	19/12/08 2.00	7,5	0,3	53	I	1,61	2,06	19,94	I debole	0,60
	14	Inverno	25/12/08 20.30	27/12/08 0.00	27,5	1,1	64	I	2,35	3,18	159,65	III significativa	0,00
	15	Inverno	27/12/08 12.00	28/12/08 8.30	21,0	0,9	53	I	1,72	2,00	62,11	II moderata	0,33
2009	1	Inverno	3/1/09 5.00	3/1/09 13.30	8,5	0,4	64	I	1,78	2,16	27,21	I debole	0,00
	2	Inverno	8/1/09 11.00	8/1/09 21.00	10,0	0,4	61	I	1,91	2,38	37,57	I debole	0,20
	3	Primavera	19/3/09 21.30	21/3/09 8.30	35,0	1,5	53	I	2,11	2,96	172,83	III significativa	0,22
	4	Primavera	27/5/09 15.00	27/5/09 23.00	8,0	0,3	37	I	1,76	1,98	24,90	I debole	0,41
	5	Estate	20/6/09 21.00	21/6/09 14.00	17,0	0,7	61	I	1,86	2,09	59,25	II moderata	0,51
	6	Estate	29/8/09 23.00	30/8/09 10.30	11,5	0,5	59	I	2,05	2,64	49,72	I debole	0,31
	7	Autunno	18/10/09 20.00	19/10/09 10.00	14,0	0,6	49	I	1,57	1,70	34,74	I debole	0,56
	8	Autunno	23/10/09 21.00	24/10/09 11.30	14,5	0,6	50	I	2,20	2,86	72,63	II moderata	0,64
	9	Autunno	30/10/09 9.30	30/10/09 16.30	7,0	0,3	64	I	1,57	1,72	17,33	I debole	0,31
	10	Autunno	3/11/09 11.30	3/11/09 18.00	6,5	0,3	26	I	1,62	1,81	17,06	I debole	0,27
	11	Inverno	5/12/09 1.30	5/12/09 9.00	7,5	0,3	59	I	1,90	2,18	27,45	I debole	0,51
	12	Inverno	12/12/09 14.00	13/12/09 6.00	16,0	0,7	57	I	1,77	2,26	51,00	I debole	0,51
	13	Inverno	14/12/09 2.30	14/12/09 17.30	15,0	0,6	74	I	1,69	2,00	42,99	I debole	0,69
	14	Inverno	15/12/09 9.00	15/12/09 16.00	7,0	0,3	55	I	1,61	1,80	18,09	I debole	0,67

Anno	n°	Stagione	Data Inizio	Data Fine	Durata (h)	Durata (giorni)	Direzione media (°N)	Quadrante	Hs media (m)	Hs max (m)	Energia (m ² h)	Classificazione	Liv. marea max (m)
2010	1	Inverno	6/2/10 21.30	7/2/10 6.30	9,0	0,4	36	I	1,67	1,93	25,38	I debole	0,51
	2	Inverno	10/2/10 11.30	11/2/10 3.00	15,5	0,6	70	I	1,57	1,71	38,19	I debole	0,00
	3	Inverno	19/2/10 14.00	19/2/10 21.00	7,0	0,3	83	I	1,72	1,95	20,82	I debole	0,72
	4	Primavera	3/3/10 20.30	4/3/10 16.00	19,5	0,8	71	I	1,87	2,36	72,77	II moderata	0,78
	5	Primavera	5/3/10 8.30	5/3/10 15.30	7,0	0,3	66	I	1,84	2,09	23,96	I debole	0,46
	6	Primavera	7/3/10 12.00	8/3/10 14.30	26,5	1,1	56	I	1,75	2,16	81,45	II moderata	0,46
	7	Primavera	8/3/10 21.30	10/3/10 20.30	47,0	2,0	54	I	2,24	3,91	289,74	III significativa	0,92
	8	Primavera	23/4/10 23.30	24/4/10 10.30	11,0	0,5	85	I	1,65	1,81	30,07	I debole	0,38
	9	Primavera	15/5/10 10.30	15/5/10 18.30	8,0	0,3	31	I	1,99	2,27	32,07	I debole	0,76
	10	Estate	21/6/10 6.30	21/6/10 16.00	9,5	0,4	43	I	1,91	2,35	35,22	I debole	0,67
	11	Estate	28/8/10 19.00	29/8/10 6.30	11,5	0,5	53	I	2,00	2,35	46,63	I debole	0,49
	12	Autunno	25/10/10 22.30	27/10/10 10.00	35,5	1,5	55	I	1,82	2,50	121,07	II moderata	0,74
	13	Autunno	31/10/10 22.30	2/11/10 2.00	28,0	1,2	84	I	1,62	1,76	73,41	II moderata	0,68
2011	1	Inverno	20/1/11 7.00	23/1/11 7.00	72,0	3,0	57	I	2,03	2,77	307,99	III significativa	0,59
	2	Inverno	28/1/11 3.00	28/1/11 16.00	13,0	0,5	63	I	1,63	1,81	34,77	I debole	0,44
	3	Inverno	23/2/11 23.00	24/2/11 6.30	7,5	0,3	44	I	1,57	1,67	18,56	I debole	0,50
	4	Inverno	25/2/11 20.30	26/2/11 9.30	13,0	0,5	60	I	1,84	2,27	44,65	I debole	0,46
	5	Primavera	1/3/11 4.00	2/3/11 23.30	43,5	1,8	59	I	2,43	3,92	301,68	III significativa	0,71
	6	Primavera	6/3/11 21.30	7/3/11 15.00	17,5	0,7	68	I	2,07	2,44	75,35	II moderata	0,50
	7	Primavera	16/3/11 12.00	17/3/11 4.00	16,0	0,7	85	I	1,55	1,72	38,54	I debole	0,72
	8	Primavera	20/3/11 20.00	21/3/11 18.00	22,0	0,9	59	I	1,62	1,81	57,70	II moderata	0,49
	9	Primavera	12/4/11 22.30	13/4/11 7.30	9,0	0,4	49	I	2,26	2,83	47,57	I debole	0,40
	10	Primavera	8/5/11 19.00	9/5/11 6.30	11,5	0,5	62	I	1,84	2,67	40,37	I debole	0,50
	11	Primavera	15/5/11 13.30	16/5/11 3.00	13,5	0,6	28	I	2,09	2,84	60,83	II moderata	0,65
	12	Autunno	20/9/11 5.30	20/9/11 13.30	8,0	0,3	45	I	1,62	1,79	20,96	I debole	0,48
	13	Inverno	19/12/11 7.00	19/12/11 22.00	15,5	0,6	41	I	1,81	2,23	51,30	I debole	0,39

- primi tre mesi del 2012, nonostante ricadano in una stagione durante la quale le condizioni meteorologiche sono di solito particolarmente intense, non sono registrati fenomeni essenzialmente per la presenza di un lungo periodo di assenza di dati.
- La stagione con la massima incidenza di fenomeni nell'intero periodo osservativo è stata, ovviamente, quella invernale con complessive 25 mareggiate, seguita dalla primavera e dall'autunno con 17 eventi ciascuna; minoritaria è risultata l'incidenza dei fenomeni durante l'estate.
 - La durata media delle mareggiate è stata di circa 18 ore, quella minima di circa 7 ore mentre la mareggiata più lunga è stata di circa 72 ore (evento del 20-23 gennaio 2011).

- Dai dati emerge che la stagione caratterizzata dalle mareggiate più lunghe, circa 21 ore in media, è la primavera seguita dall'autunno e dall'inverno con durate medie per evento di circa 17-18 ore; infine l'estate è caratterizzata da mareggiate in media più brevi, con durate dell'ordine delle 12 ore.
- Relativamente al settore di provenienza, le mareggiate individuate sono caratterizzate da valori della direzione rispetto al Nord che vanno da un minimo di 26° N ad un massimo di 91° N (unico caso di evento proveniente dal II Quadrante). In media le mareggiate individuate dai rilievi della boa Nausicaa tra maggio 2007 e marzo 2012 hanno una direzione di circa 60°

Tabella 8 - Quadro sintetico delle mareggiate registrate tra maggio 2007 e marzo 2012.

Anno	Stagione	Mareggiata (n°)	Durata (giorni)	Hs Max (m)	Liv. marea Max (m)
2007 (da maggio)	primavera				
	estate	1	0,7	2,98	0,26
	autunno	6	5,4	2,88	0,49
	inverno	3	3,3	3,04	0,65
	Totale	10	9,4	3,04	0,65
2008	primavera	2	2,5	3,22	0,51
	estate	1	0,3	1,63	0,12
	autunno	4	2,8	2,72	0,74
	inverno	8	5,2	3,18	0,86
	Totale	15	10,8	3,22	0,86
2009	primavera	2	1,8	2,96	0,41
	estate	2	1,2	2,64	0,51
	autunno	4	1,8	2,86	0,64
	inverno	6	2,7	2,38	0,69
	Totale	14	7,4	2,96	0,69
2010	primavera	6	5,0	3,91	0,92
	estate	2	0,9	2,35	0,67
	autunno	2	2,6	2,50	0,74
	inverno	3	1,3	1,95	0,72
	Totale	13	9,8	3,91	0,92
2011	primavera	7	5,5	3,92	0,72
	estate				
	autunno	1	0,3	1,79	0,48
	inverno	5	5,0	2,77	0,59
	Totale	13	10,9	3,92	0,72
2012 (fino a marzo)	Nessun evento registrato				
2007-2012	primavera	17	14,8	3,92	0,92
	estate	6	3,0	2,98	0,67
	autunno	17	12,9	2,88	0,74
	inverno	25	17,5	3,18	0,86
	Totale	65	48,3	3,92	0,92

N quindi prossima al settore di Bora. Come si può osservare dal dato della direzione riportato in Tabella 7 la variabilità è piuttosto limitata dal momento che gli eventi si presentano concentrati nell'intorno della direzione media. Questa caratteristica è dovuta da un lato alla effettiva direzione dei venti al largo che generano le onde, dall'altro all'ubicazione della boa Nausicaa: in corrispondenza della boa le onde più grandi, come quelle tipiche delle mareggiate, hanno risentito della profondità abbastanza limitata (10 m) e, in conseguenza dei fenomeni rifrattivi, hanno cominciato a orientarsi sempre più verso la normale alla costa.

– Per quanto riguarda le onde di massima altezza, le 65 mareggiate sono state caratterizzate da valori che vanno da 1,60 m, quindi poco più del

valore di soglia di individuazione di una mareggiata, a circa 3,2 m. Solamente in due casi del 2010 e del 2011, peraltro avvenuti entrambi in primavera, l'altezza d'onda ha raggiunto valori estremamente alti pari a circa 3,92 m.

- Prendendo in considerazione l'aspetto energetico e conseguentemente la classificazione delle mareggiate secondo il criterio riportato in Tabella 6, si può osservare (Tabella 9) che 43 mareggiate su 65 sono state di classe I (debole), 13 sono collocabili in classe II (moderata) e le rimanenti 5 in classe III (significativa).
- Dal punto di vista della distribuzione per stagione si può osservare che le mareggiate di classe I prevalgono spesso in inverno, mentre per gli eventi di classe più elevata cioè la II e la III, ancorché in numero limitato, la differenza tra le

Tabella 9 - Classificazione delle mareggiate in funzione del contenuto energetico, registrate tra maggio 2007 e marzo 2012.

Anno	Stagione	Mareggiata (n°)	I debole	II moderata	III significativa	IV severa	V estrema
2007 (da maggio)	primavera						
	estate	1		1			
	autunno	6	4	1	1		
	inverno	3	1	1	1		
	Totale	10	5	3	2		
2008	primavera	2		1	1		
	estate	1	1				
	autunno	4	3		1		
	inverno	8	6	1	1		
	Totale	15	10	2	3		
2009	primavera	2	1		1		
	estate	2	1	1			
	autunno	4	3	1			
	inverno	6	6				
	Totale	14	11	2	1		
2010	primavera	6	3	2	1		
	estate	2	2				
	autunno	2		2			
	inverno	3	3				
	Totale	13	8	4	1		
2011	primavera	7	4	2	1		
	estate						
	autunno	1	1				
	inverno	5	4		1		
	Totale	13	9	2	2		
2012 (fino a marzo)	Nessun evento registrato						
2007-2012	primavera	17	8	5	4		
	estate	6	4	2			
	autunno	17	11	4	2		
	inverno	25	20	2	3		
	Totale	65	43	13	9		

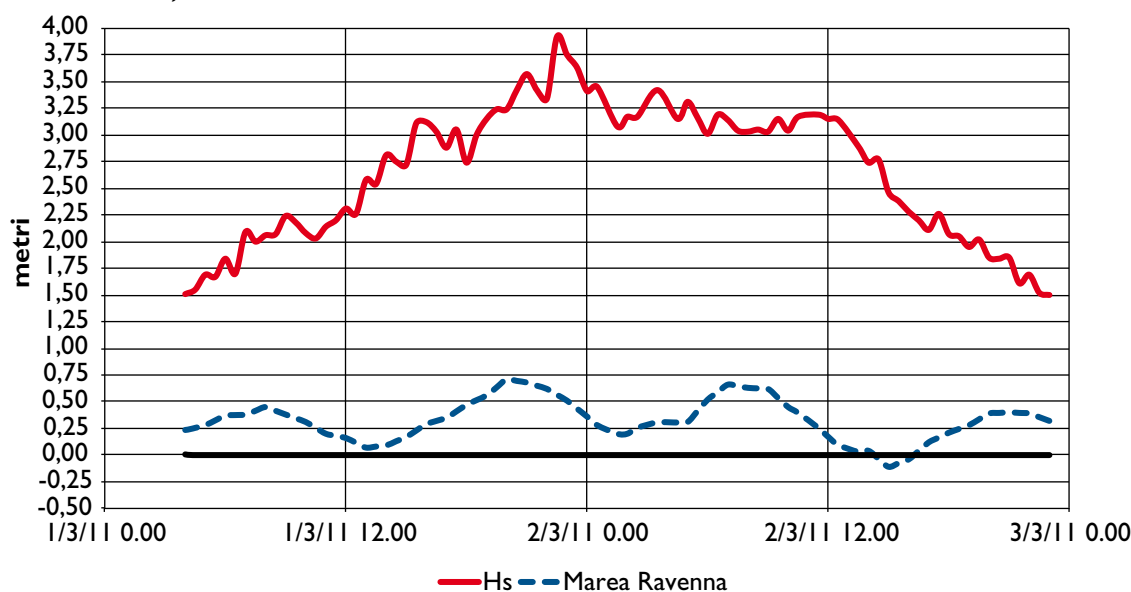
stagioni si fa più sfumata facendo prevalere leggermente la primavera sulle altre stagioni.

- L'analisi del livello massimo raggiunto dalla marea al mareografo di Ravenna, in concomitanza con i vari fenomeni di mareggiata (Tabella 7), pur con i limiti che questo dato possiede al fine di rappresentare il grado di severità dell'azione del moto ondoso sui litorali, evidenzia come questo componente abbia contribuito secondo valori distribuiti tra pochi centimetri sopra il livello medio mare, ad oltre i 0,90 m.
- Allo scopo di mostrare, almeno dal punto di vista qualitativo, come i due fenomeni, e cioè moto ondoso e innalzamento del livello del mare, possono sovrapporsi e creare potenziali condizioni di criticità per le coste si riportano in Figura 12 e Figura 13 alcuni confronti tra altezza d'onda via via

raggiunta nel corso della mareggiata e il concomitante livello della marea registrato al mareografo. In particolare sono state selezionate 4 mareggiate durante le quali si sono registrati, rispettivamente, il valore più elevato dell'altezza d'onda, una delle durate più lunghe, il contenuto energetico maggiore e il livello della marea più alto raggiunto. Si può notare come in alcuni casi l'andamento del livello del mare misurato non sia dovuto alle sole componenti astronomiche di marea, ma venga fortemente influenzato dalle condizioni meteo-marine complessive in grado di provocare innalzamenti persistenti e di notevole entità.

Per concludere l'analisi delle caratteristiche delle mareggiate, individuate nella serie storica di dati ondometrici della boa Nausicaa, si riportano alcuni grafici

Mareggiata dell'1-2 marzo 2011 durante la quale si è avuto il più alto valore di altezza d'onda, pari a $H_s=3,92$ m



Mareggiata del 20-30 ottobre 2007 caratterizzata da una durata tra le più lunghe, pari a 67 ore

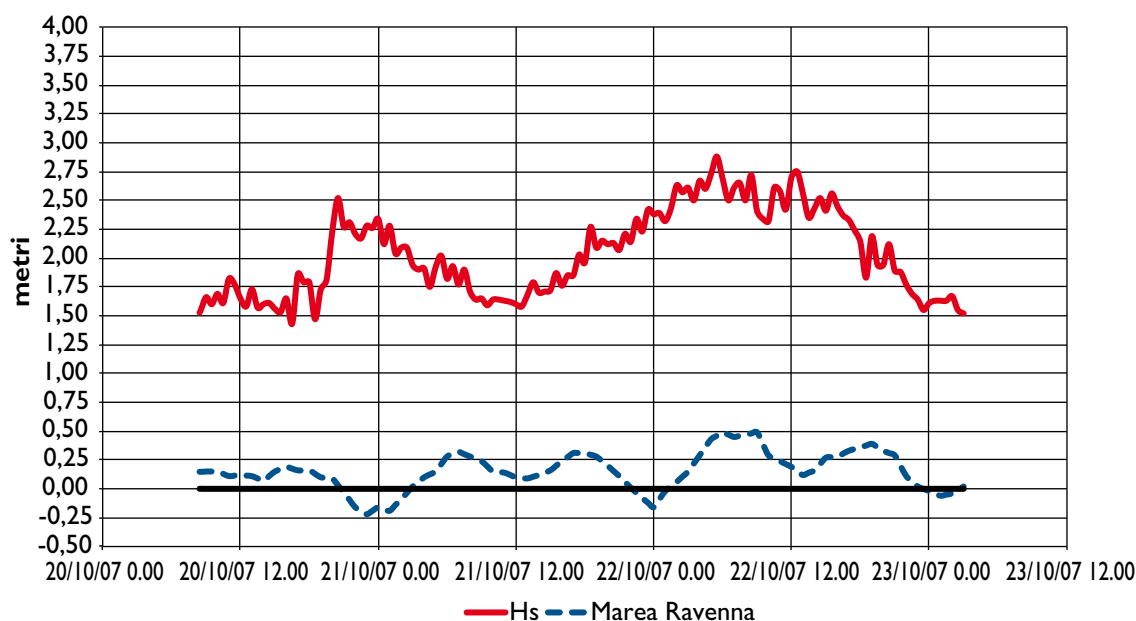


Figura 12 - Confronto tra andamento dell'altezza d'onda e livello della marea a Porto Corsini durante la mareggiata in cui si è registrata la più alta H_s (in alto) e quella con una durata tra le più lunghe (in basso) tra quelle registrate nel periodo tra maggio 2007 e marzo 2012.

polari (Figura 14) con i quali si è voluto evidenziare il legame tra i principali parametri caratteristici di ogni mareggiata, quindi H_{max} , Durata, Classe energetica e Livello massimo di marea, con la direzione di provenienza della mareggiata stessa. I grafici evidenziano come le mareggiate, che si sono manifestate tra maggio 2007 e marzo 2012 in corrispondenza della boa Nausicaa, presentano una direzione di provenienza

contenuta all'interno di settore piuttosto ristretto. Per quanto riguarda i parametri analizzati:

- i valori di H_{max} più elevati non sembrano essere legati ad una specifica direzione (fatta esclusione per due casi con valori di circa 3,9 m decisamente prossimi ai $55-57^\circ$ N;
- la durata delle mareggiate, almeno nei suoi valori più grandi, risulta piuttosto legata alla direzione

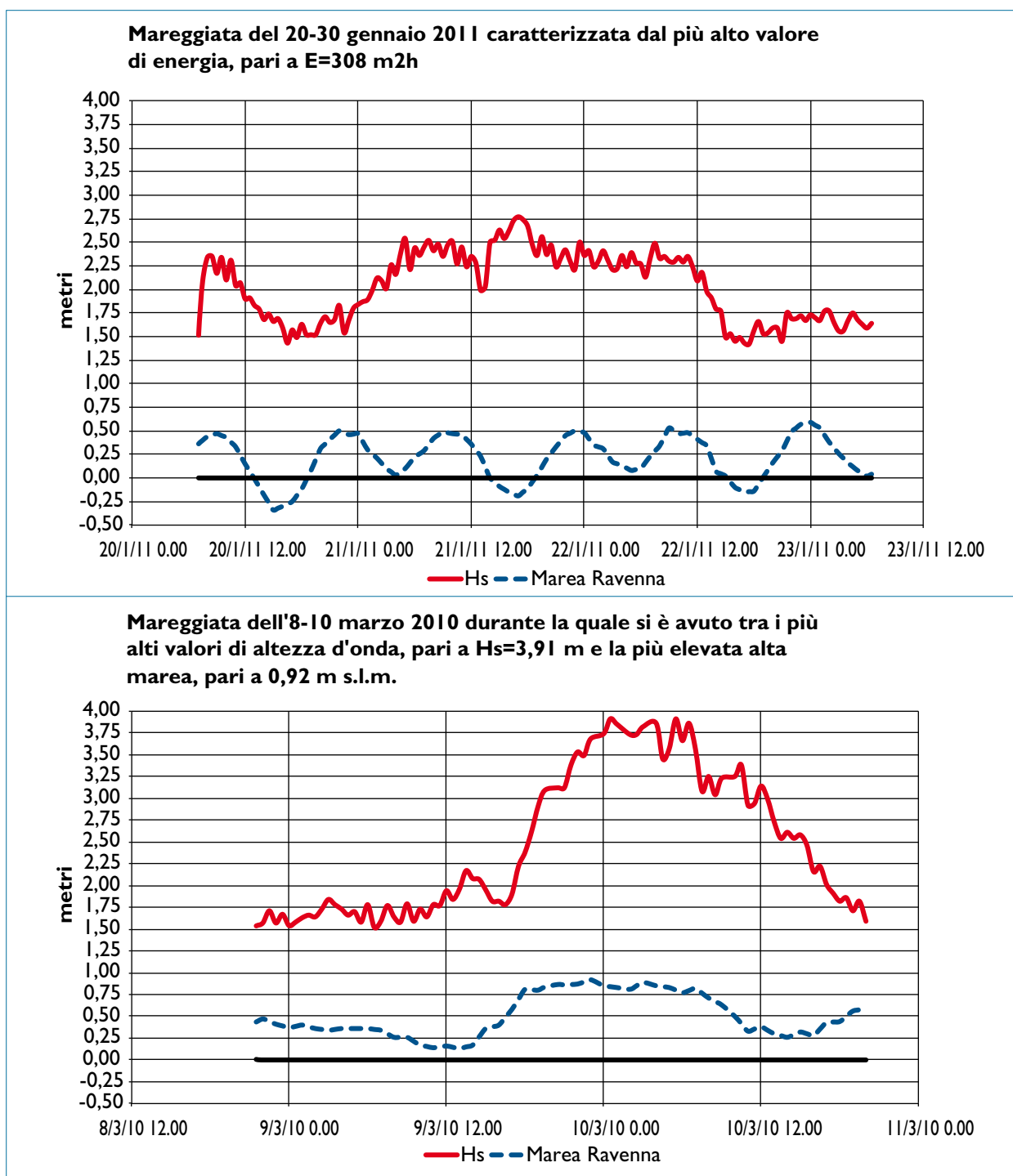


Figura 13 - Confronto tra andamento dell'altezza d'onda e livello della marea a Porto Corsini durante la mareggiata in cui si è avuta la più alta energia (in alto) e quella con la più elevata alta marea (in basso) tra quelle registrate nel periodo tra maggio 2007 e marzo 2012.

- di provenienza, che anche in questo caso è quella prossima $55-57^\circ$ N;
- la considerazione del punto precedente può essere estesa anche alla relazione tra direzione di provenienza e contenuto energetico delle singole mareggiate, soprattutto per le classi più elevate
- relativamente al dato di marea massimo raggiun-

to durante ogni evento, si può osservare che i valori più alti sono distribuiti secondo un settore di provenienza piuttosto ampio, ma vale la pena di notare che innalzamenti consistenti del livello si sono manifestati anche per mareggiate provenienti dal settore prossimo a 90° N, quindi durante eventi determinati da condizioni cosiddette di “levante” piuttosto che di “bora”.

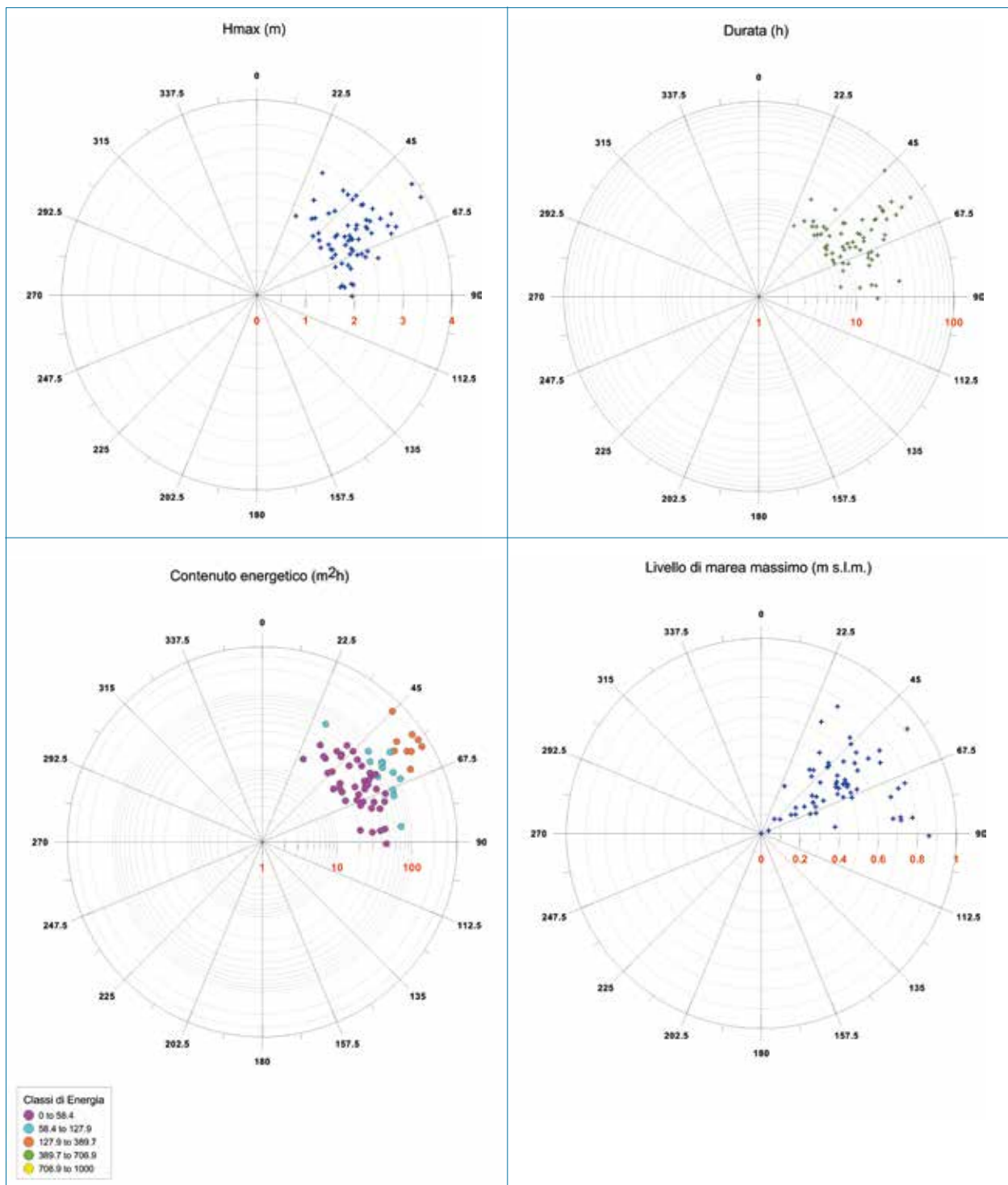


Figura 14 - Boa Nausicaa maggio 2007 - marzo 2012. Relazione tra Hmax, Durata, Classe energetica e Livello massimo di marea con la direzione di provenienza delle mareggiate individuate.

2.4.4 Sintesi dei risultati

Sono stati analizzati i dati della boa onda metrica Nausicaa, posta poco al largo di Cesenatico in corrispondenza di un fondale di circa 10 m e funzionante dal mese di maggio 2007. La serie storica presa in considerazione va da maggio 2007 al mese di marzo 2012, durante il quale si sono concluse le attività di rilievo previste per la 5^a cam-

pagna, e consiste di dati con passo di 30 minuti. I dati utili per l'analisi sono stati oltre l'82% di quelli teoricamente disponibili, quindi la copertura complessiva è risultata piuttosto buona (Figura 9, Tabella 2). I dati mancanti sono risultati concentrati soprattutto nei mesi invernali e primaverili (Tabella 3) e ciò non ha consentito di raccogliere tutte le informazioni necessarie nei periodi in cui,

ragionevolmente, le condizioni meteo-marine risultano più intense.

Tenendo conto di questa indubbia limitazione, l'analisi dei dati disponibili ha evidenziato che il settore da cui proviene il maggior numero di onde, pari a oltre il 18% del totale, è quello E o di Levante (90° N), seguito dal settore ESE ($112,5^\circ$ N) con circa il 14% e dal settore ENE ($67,5^\circ$ N) con circa il 13% degli eventi. Per quanto riguarda la distribuzione delle onde in relazione all'altezza, la classe più frequente (oltre il 40% dei casi registrati) è quella dalle onde basse, cioè con $0,20 \leq H_s < 0,50$. Dal settore ENE proviene il maggior numero di onde medio-alte, cioè con $H_s > 1,25$ m (circa il 5,7% del totale), tra queste il settore ENE contribuisce, da solo, con quasi il 3%.

Durante i quasi 5 anni di osservazioni si sono registrate 65 mareggiate che, complessivamente, hanno comportato circa 48 giorni di mare mosso. La stagione con la massima incidenza di fenomeni è stata, ovviamente, quella invernale con complessive 25 mareggiate, seguita dalla primavera e dall'autunno con 17 eventi ciascuna. Le mareggia-

te hanno presentato valori della direzione rispetto al Nord compresi tra i 26° N e i 91° N (unico caso di evento proveniente dal II Quadrante). In media le 65 mareggiate individuate hanno una direzione di circa 60° N quindi prossima al settore di bora.

Per quanto riguarda il valore dell'onda più alta che si è raggiunta in ciascun evento, le onde di massima altezza sono distribuite tra 1,60 m e 3,2 m. Solamente in due casi l'altezza d'onda ha raggiunto valori molto alti pari a circa 3,92 m. Prendendo in considerazione l'aspetto energetico e conseguentemente la classificazione delle mareggiate, si può osservare (Tabella 9) che 43 mareggiate su 65 sono state di classe I (debole), 13 sono collocabili in classe II (moderata) e le rimanenti 5 in classe III (significativa).

Infine l'analisi del livello massimo raggiunto dalla marea al mareografo di Ravenna, in concomitanza con i vari fenomeni di mareggiata (Tabella 7), evidenzia come questo dato si sia manifestato secondo valori distribuiti tra pochi centimetri sopra il livello medio mare, ad oltre gli 0,90 m.

3.

Rilievi e metodologie di analisi

3.1 Topografia, linea di riva, batimetria

3.1.1 Il progetto della campagna topo-batimetrica

Tra le reti di monitoraggio, quella topo-batimetrica è sicuramente la più importante per la definizione dello stato e dell'evoluzione del litorale emiliano-romagnolo. Oltre all'elaborazione delle carte topo-batimetriche, il confronto tra rilievi successivi permette di valutare le modificazioni morfologiche della spiaggia emersa e sommersa, calcolare il volume dei materiali depositati o erosi, determinare il comportamento delle opere rigide, riscontrare gli spostamenti della sabbia dei ripascimenti artificiali e, indirettamente, stimare l'apporto solido dei fiumi.

Il primo rilievo topo-batimetrico di tutto il litorale regionale è stato eseguito nel 1968 dal CNR di Padova ed era basato su sezioni distanti tra loro 1 km. Per quanto il fondale sabbioso del litorale emiliano-romagnolo abbia un andamento abbastanza regolare, il rilievo di un profilo ogni chilometro re-

stituisce un piano quotato della spiaggia emersa e sommersa non sufficientemente rappresentativo. Per ridurre questa approssimazione e allo stesso tempo contenere i costi, la rete regionale è stata impostata, fin dal 1984, su sezioni perpendicolari alla costa equidistanti 500 m.

Nel corso del tempo la rete è stata integrata e migliorata allo scopo di ottenere un modello digitale del terreno (DTM) il più possibile rappresentativo della realtà. Ad esempio, nel corso della 4ª campagna sono state inserite 26 nuove sezioni perpendicolari alla costa e 200 km di profili longitudinali. Le nuove sezioni sono state inserite nelle aree dove le sezioni erano troppo distanti fra loro, mentre i profili longitudinali sono stati posizionati a ridosso delle scogliere, uno lato terra e uno lato mare, per identificare meglio le forme della spiaggia emersa e sommersa, quali tomboli, salienti e buche, tipiche delle spiagge difese da questa tipologia di opera.

Dall'analisi dei diversi rilievi topo-batimetrici di dettaglio effettuati per monitorare gli effetti di alcune opere costruite lungo il litorale emiliano-romagnolo, si è notato che le barre sommerse sono

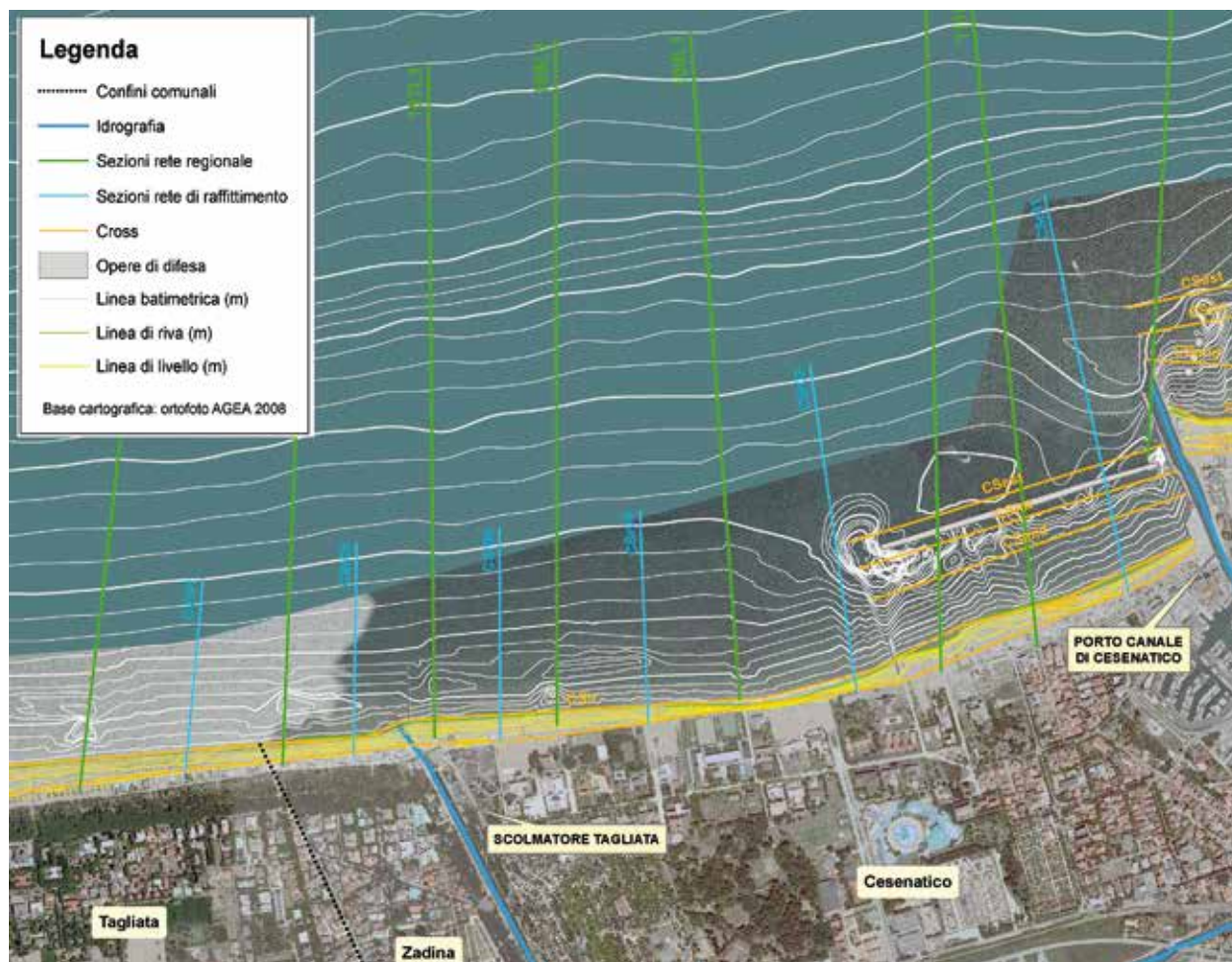


Figura 15 - Cesenatico - Tagliata: progetto dei rilievi topo-batimetrici

vo, sono descritte approfonditamente nel bollettino SIFET n° 4 - 1998: "Realizzazione di reti GPS per l'appoggio cartografico: norme di capitolato IGM95".

L'elaborazione e la compensazione delle reti (e sottoreti) è stata eseguita con il metodo della compensazione rigorosa, avvalendosi di differenti software per il calcolo e la compensazione della rete quali Trimble TTC e Ashtech Solutions. La determinazione dei 7 parametri di Molodenskij-Helmert è stata ottenuta applicando le procedure codificate dall'IGM nei software Verto, Verto2 e Verto3 ed i grigliati, acquistati dall'IGMI per l'area di indagine.

L'adozione della metodologia operativa proposta, applicata ad una rete GPS costruita e raffittita secondo le modalità sopraesposte, ha consentito di ottenere un'accuratezza nel posizionamento dei rilevamenti migliore di 2 cm in planimetria ed inferiore ai 3 cm in quota.

3.1.3 Rilievi topografici e batimetrici

Le attività di rilievo a terra e in mare della 5ª campagna sono iniziate il 12 gennaio 2012 a partire dal litorale di Cattolica, e sospese il 24 gennaio per non idonee condizioni meteomarine. In questo primo periodo sono state rilevate la parte a terra e a mare del litorale tra Cattolica e Marina di Ravenna, circa 70 km di costa. Tra la fine di gennaio e la metà di febbraio si sono succedute diverse mareggiate, anche di notevole intensità, che hanno impedito le operazioni di rilevamento. Le attività di rilievo a mare con il multibeam sono riprese il 24 febbraio e concluse il 28, e in questo secondo periodo sono state rilevate tutte le sezioni batimetriche tra Porto Corsini e la foce del Po di Goro. Il rilievo a terra di questa zona è stato effettuato tra il 23 febbraio e il 1° marzo, ad esclusione del tratto occupato dal Poligono Militare di foce Reno, dove il permesso ad operare è stato concesso il 5 marzo. Il rilievo topografico tra le Bocche del Bianco e la foce del Po di Goro è stato eseguito nei giorni 28 e 29 febbraio con tecniche laser-scanner dinamico.

L'ultima parte del lavoro di campo della 5ª campagna topo-batimetrica è stata effettuata tra il 5 e il 24 marzo, tramite ecoscandaglio singlebeam, alloggiato su una imbarcazione a fondo piatto, ragione per cui si è operato solamente in condizioni

di mare calmo. Con il singlebeam è stato rilevato il tratto di profilo topo-batimetrico di unione tra la parte topografica, effettuata da terra, e quella batimetrica effettuata con il multibeam, dove questi non si sovrapponevano.

Le attività di rilievo batimetrico sono state condotte utilizzando imbarcazioni idrografiche allestite con i sistemi di rilevamento batimetrico multibeam e interferometrico, e vari dispositivi quali girobussola, sensori di moto e sonde multiparametriche per la determinazione del profilo della velocità del suono lungo la colonna d'acqua e in prossimità del trasduttore.

Il rilievo batimetrico è stato condotto percorrendo rotte stabilite a velocità costante. In contemporanea sono state registrate su copia cartacea, tutte le informazioni utili per l'interpretazione in campo: data e ora di acquisizione, parametri di acquisizione, condizioni meteo marine ecc. In presenza di battente d'acqua inferiore a 1,00 m, tale da non garantire condizioni di sicurezza per la navigazione, è stato impiegato un natante appositamente modificato per operare in fondali bassissimi, equipaggiato con ecoscandaglio singlebeam.

Durante tutte le giornate di rilievo è stata operativa una Stazione Master, operante da un caposaldo di coordinate note e dotata di ricevitore a doppia frequenza. La Stazione Master ha provveduto alla propagazione (radio-modem o GSM-modem) della correzione differenziale DGPS RTK a tutti i mezzi navali o terrestri operanti nelle zone di interesse. Il PC di navigazione, dotato del software PDS2000, ha coordinato l'acquisizione dei vari strumenti ad esso interfacciati, consentendo la pianificazione del rilievo e la realizzazione del controllo qualità sui dati acquisiti.

All'inizio di ogni giornata di rilievo è stata effettuata una calibrazione del sistema batimetrico secondo le specifiche IHO SP44, al fine di garantire la massima qualità, affidabilità e ripetibilità dei dati acquisiti. Attraverso un apposito modulo del software idrografico RESON PDS2000, ogni profilo generato viene poi sottoposto ad analisi geometrico-statistica puntuale al fine di determinare i più precisi offset di calibrazione (roll, pitch, heading).

All'inizio di ogni sessione di rilevamento è stato acquisito il profilo della velocità di propagazione del suono in acqua. Questa grandezza dipende principalmente dalla salinità e dalla temperatura dello "strato" liquido attraversato dall'impulso sonoro; i dati acquisiti vengono quindi utilizzati dai software

idrografici per calcolare i coefficienti di rifrazione dei diversi strati liquidi, secondo la legge di Snell. Il controllo e l'eventuale correzione dei valori di marea è stato possibile mediante installazione in posizione idonea di un mareometro RBR collegato altimetricamente alla rete nazionale IGMI. Tale procedura consente di evidenziare eventuali anomalie o disfunzioni del sistema DGPS RTK dovute a downtime dei satelliti GPS o a interferenze elettromagnetiche nella decodifica della correzione di fase RTK che potrebbero compromettere l'affidabilità dei punti rilevati.

Quando la differenza tra la quota del livello idrometrico desunta dal posizionamento DGPS RTK è risultata di oltre 5 cm rispetto a quella rilevata dal mareometro, si è provveduto a ricalcolare tutti i dati acquisiti relativi alla sessione di rilievo, sostituendo le quote relative al livello idrometrico provenienti dal sistema DGPS con i dati derivanti dal mareometro.

Il rilievo topografico è stato condotto in concomitanza con quello batimetrico. Dai punti di stazionamento della rete poligonometrica, si è proceduto al rilievo topografico della linea di riva e della

spiaggia emersa lungo i transetti litoranei, utilizzando la seguente strumentazione: coppie di ricevitori GPS a doppia frequenza e 12 canali digitali, con allestimento a zaino e vari palmari PC, dotati di software di rilievo e navigazione ed interfacciati al sistema DGPS RTK.

La parte emersa delle sezioni litoranee è stata rilevata con sistema di posizionamento satellitare in modalità DGPS-RTK da operatore anfibio lungo i transetti stabiliti, dalla prima infrastruttura prospiciente il litorale alla batimetrica 0,80 m, ed è stata completata per la parte sommersa mediante rilievo batimetrico. Analogamente si è proceduto ad effettuare il rilievo della linea di riva (Figura 17).

In corrispondenza di zone pericolose per l'incolumità degli operatori (scanni di Goro) o difficilmente accessibili (spiagge di Volano), il rilievo topografico della spiaggia emersa è stato eseguito con metodologia laser scanner dinamico installato su imbarcazione, acquisendo 1000 punti/secondo lungo una rotta parallela alla linea di riva e distante circa 100-200 m, in condizioni di bassa marea (-0.40 m) e mare calmo.



Figura 17 - Mezzi terrestri utilizzati per il rilievo della spiaggia emersa.

3.1.4 Metodi di analisi dei rilievi topo-batimetrici ed elaborazioni

I dati raccolti durante la campagna topografica e batimetrica sono stati sottoposti ad opportune analisi di controllo e filtraggio per eliminare eventuali errori di acquisizione o anomalie. Le prime procedure di elaborazione dati in postprocessing sono state: il *Replay dell'acquisizione* e il *Despiking e Downsampling*. Il *Replay* di acquisizione permette di ripetere l'intera giornata di rilevamento esattamente nelle stesse condizioni in cui è stato effettuato in campo e apportando, se necessario, eventuali correzioni per una corretta restituzione. I parametri che possono essere modificati sono la geometria della barca, l'altezza dell'antenna GPS, i valori di calibrazione del Time Delay, Pitch, Roll e Yaw.

Con la procedura di despiking e downsampling si applicano ai dati acquisiti alcuni criteri di rimozione di anomalie e filtraggio secondo parametri legati alla morfologia del fondale, al battente d'acqua e alla natura geologica di materiali componenti la superficie del fondale. I criteri di processing possono essere di natura geometrica o statistica.

Completate le procedure di filtraggio, i dati sono stati esportati in formato ASCII, importati in ambiente GIS e raggruppati nei seguenti 11 tratti litoranei, per effettuare le analisi e le elaborazioni cartografiche:

1. Porto di Cattolica – Porto di Riccione
2. Porto di Riccione – Molo di Rimini
3. Molo di Rimini – Foce Fiume Uso
4. Foce Fiume Uso – Molo di Cesenatico
5. Molo di Cesenatico – Foce Fiume Savio
6. Foce Fiume Savio – Foce Fiume Uniti
7. Foce Fiumi Uniti – Porto Corsini
8. Porto Corsini – Foce Reno
9. Foce Reno – Porto Garibaldi
10. Porto Garibaldi – Lido delle Nazioni
11. Lido delle Nazioni – Foce Po di Goro

Prima di procedere alla elaborazione cartografica è stata effettuata una ulteriore verifica della presenza di punti anomali non individuati durante le fasi di post-processing e alla loro eliminazione.

L'elevato numero di punti quotati rilevati e la loro buona distribuzione spaziale hanno permesso di elaborare, per ogni tratto litoraneo, un modello digitale del terreno (DTM) altamente rappresentativo della morfologia della spiaggia emersa e di quella sommersa fino alla profondità dei 6-8 m.

I modelli digitali del terreno ottenuti con il rilievo della 5^a campagna topo-batimetrica (2012) insieme a quelli elaborati con i dati raccolti nell'ambito della 4^a campagna, realizzata nel 2006, sono stati utilizzati per elaborare le mappe della morfologia della spiaggia e dei fondali sottocosta e della loro evoluzione nel periodo 2006-2012. In particolare, sono state prodotte:

- 11 carte topografiche e batimetriche del 2012;
- 11 carte topografiche e batimetriche del 2006;
- 11 mappe degli accumuli e delle perdite di sedimento tra il 2006 e il 2012;
- 11 mappe dell'evoluzione della linea di riva dal 1943 al 2012.

Le carte topo-batimetriche 2012 riportano i seguenti elementi grafici (Figura 18):

- topografia della spiaggia emersa e la batimetria dei fondali fino alla profondità dei 6-10 m. Come rappresentazione grafica si è scelto la scala di colori, in quanto, rispetto alla rappresentazione con isolinee, permette una più facile e rapida lettura dell'andamento della morfologia della spiaggia e del fondale;
- la linea di riva del 2012, rilevata con sistema DGPS;
- opere di difesa emerse e sommerse, le foci fluviali armate, gli sbocchi dei canali, le opere portuali (darsene, moli, ecc.) e i pontili. Questi elementi sono stati cartografati dalle ortofoto AGEA del 2011. Questa elaborazione è risultata molto impegnativa ma necessaria, in quanto l'ultimo aggiornamento disponibile delle opere era datato 2005, e nel frattempo nuove opere sono state costruite, altre modificate e alcune anche rimosse;
- sezioni della rete topo-batimetrica regionale dell'Emilia-Romagna;
- sezioni di raffittimento.

Come base cartografica sono state scelte le ortofoto del volo AGEA2011, le più recenti disponibili. Le mappe ottenute dalla differenza tra i DTM dei rilievi della 5^a campagna e quelli della 4^a rappresentano la variazione di quota della spiaggia emersa e sommersa tra il 2006 e il 2012. Un aumento o diminuzione di quota si traducono rispettivamente in un accumulo o perdita in volume di sedimento. Nelle carte degli accumuli e delle perdite di sedimento in volume sono stati riportati i seguenti elementi grafici (Figura 19):

- variazione di quota della spiaggia emersa e sommersa tra il 2006 e il 2012. Come rappresentazione grafica si è impiegata la scala di colori. Il

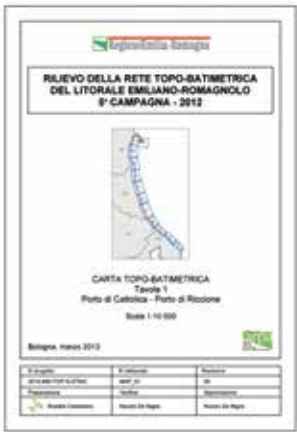


Figura 18 - Cattolica-Porto di Riccione: carta topo-batimetrica del 2012.

- colore bianco rappresenta le zone in equilibrio, i colori dal giallo al marrone le aree in accumulo di sedimento, i colori dal celeste all'azzurro le aree che hanno subito una perdita di sedimento;
- linee di riva del 2012 e del 2006, entrambe rilevate con sistema DGPS;
- opere di difesa, le stesse delle carte topo-batimetriche 2012;
- sezioni della rete topo-batimetrica regionale dell'Emilia-Romagna;
- sezioni di raffittimento
- base cartografica: ortofoto AGEA2011.

Per l'elaborazione delle carte dell'evoluzione della linea di riva, nel caso in cui erano disponibili sia foto aeree sia rilievi DGPS sono stati presi come riferimento quest'ultimi. L'incertezza della posizione della linea di riva ottenuta con rilievo DGPS è centimetrica, mentre può facilmente superare il metro se la linea di riva è ottenuta da fotointerpretazione.

Le carte dell'evoluzione della linea di riva riportano i seguenti elementi grafici (Figura 20):

- linea di riva del 2012, rilevata con sistema DGPS nell'ambito della 5ª campagna topo-batimetrica;
- linea di riva del 2006, rilevata con sistema DGPS nell'ambito della 4ª campagna topo-batimetrica;
- linea di riva del 1998, tracciata tramite fotointerpretazione del volo Italia 2000 eseguito dalla Compagnia Generale RipreseAeree di Parma (CGR). La digitalizzazione è stata effettuata dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (SGSS).
- linea di riva del 1991, tracciata tramite fotointerpretazione del volo eseguito dalla CGR lungo il litorale emiliano-romagnolo nel 1991. L'interpretazione della linea di costa è stata effettuata da Arpa;
- linea di riva del 1982, tracciata tramite fotointerpretazione del volo eseguito dalla CGR lungo il litorale emiliano-romagnolo nel 1982. L'interpretazione della linea di costa è stata effettuata dal SGSS;
- linea di riva del 1943, tracciata tramite fotointerpretazione del volo eseguito dalla Royal Air Force dell'aeronautica militare del Regno Unito durante la Seconda Guerra Mondiale. L'interpretazione della linea di costa è stata effettuata dal SGSS.
- base cartografica: ortofoto AGEA2011.

Nell'ambito del presente lavoro si è deciso di rielaborare le carte topo-batimetriche del 2006, adeguando la rappresentazione grafica a quella delle carte topo-batimetriche 2012. In particolare, la morfologia della spiaggia emersa e sommersa è stata rappresentata a scala di colori e non più a isolinee, e le opere di difesa sono state differenziate in emerse, sommerse, foci armate o opere portuali e pontili.

Dal confronto delle 2 immagini riportate in Figura 21 è evidente come la nuova veste grafica delle carte topo-batimetriche 2006 faciliti l'interpretazione e il riconoscimento delle varie forme morfologiche quali tomboli, buche o approfondimenti, così come le differenti opere di difesa dal mare presenti lungo il litorale emiliano-romagnolo.

Nelle carte topo-batimetriche 2006 sono stati riportati i seguenti elementi grafici (Figura 22):

- topografia della spiaggia emersa e la batimetria dei fondali fino alla profondità dei 6-10 m;
- linea di riva del 2006, rilevata direttamente in campo con sistema DGPS;
- opere di difesa emerse e sommerse, le foci fluviali armate, le foce dei canali, le opere portuali (darsene, moli, ecc.) e i pontili. Questi elementi sono stati cartografati dai fotogrammi del volo Arpa 2005.
- sezioni della rete topo-batimetrica regionale dell'Emilia-Romagna;
- base cartografica: volo aereo Arpa 2005.

3.1.5 Calcolo dei volumi accumulati o persi

Il volume di sabbia accumulato o perso nella spiaggia emersa e sommersa è uno dei dati più importanti e utili per una corretta e dettagliata analisi dell'evoluzione di un paraggio costiero.

Fino alla 4ª campagna topo-batimetrica effettuato nel 2006, il calcolo dei volumi dei sedimenti accumulati o erosi lungo il litorale è stato effettuato confrontando i profili rilevati in due campagne successive.

Nel presente studio si è proceduto, invece, effettuando la differenza tra il modello digitale del terreno (DTM) della spiaggia emersa e sommersa del 2012 con quello del 2006. È la prima volta, infatti, che si dispone di due rilievi topo-batimetrici a scala regionale di buon dettaglio con i quali è stato possibile elaborare il modello digitale del terreno rappresentativo della morfologia della spiaggia.

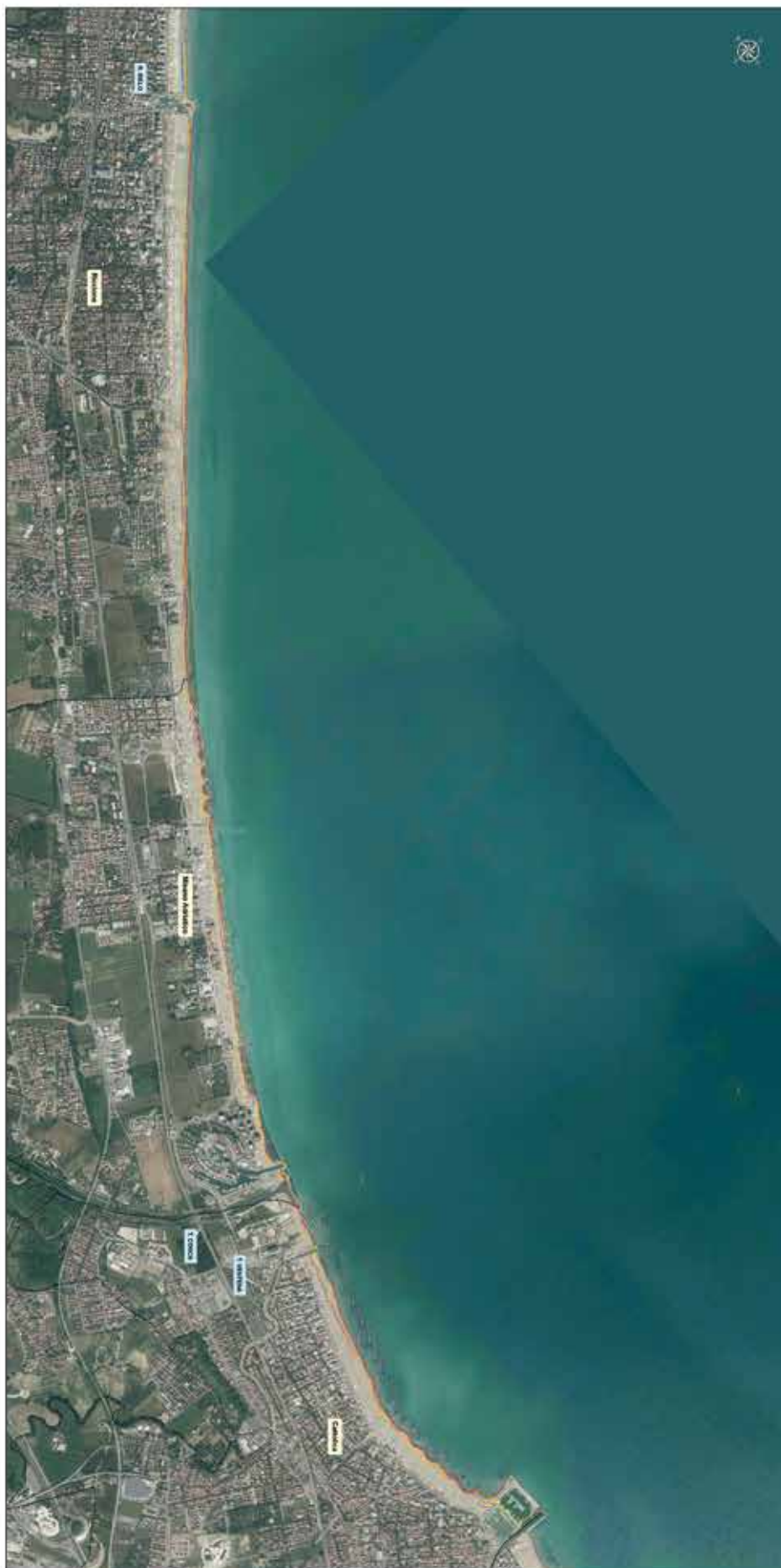


Figura 20 - Cattolica-Porto di Riccione: carta dell'evoluzione della linea di riva dal 1943 al 2012.



Figura 21 - Misano: confronto tra una carta topo-batimetrica a isolinee con una a scala di colori.

Inoltre, è stato stimato il volume di spiaggia sottratto per subsidenza. Il valore medio/annuo di subsidenza attribuito ad ogni cella è pari alla media del valore medio/annuo di abbassamento dei caposaldi di livellazione situati in prossimità delle stesse celle.

Per il periodo 2006-2012, è stato preso come valore medio/anno di abbassamento dei caposaldi (tasso di subsidenza medio/annuo) quello ottenuto dall'analisi interferometrica effettuata per il periodo 2006-2011. Per il periodo 2000-2006, è stato invece preso il valore della velocità di abbassamento misurato, nel periodo 1999-2005, con il metodo della livellazione geometrica di alta precisione.

Nell'analisi della variazione dei volumi di sedimenti lungo il litorale si è tenuto conto anche di quelli prelevati o portati a ripascimento artificialmente, o movimenti nell'ambito dello stesso paraggio.

Come aree di calcolo sono state utilizzate le 118 celle con le quali è stato suddiviso il litorale regionale per fini gestionali (vedi paragrafo 3.3).

3.2 Progetto di campionamento della campagna sedimentologica e attività svolte

Per definire i caratteri sedimentologici del litorale, sono stati prelevati campioni di sedimento in corrispondenza della spiaggia emersa e sommersa, a partire da Cattolica fino alla foce del Po di Goro, lungo i profili della rete topo-batimetrica regionale.

Lo schema di campionamento adottato nel 1993, anno della precedente nonché prima campagna sedimentologica condotta a scala regionale per il Piano Costa 1996 (Idroser, 1996), è stato di nuovo utilizzato come base di partenza per il progetto dei prelievi di questa seconda campagna in modo da garantire la confrontabilità tra i dati. In

seconda battuta si è provveduto all'ubicazione di punti di campionamento aggiuntivi che, tra le varie cose, renderanno possibile un confronto più completo con i campionamenti di maggior dettaglio effettuati nel 1971-1972 dall'Università di Ferrara.

La 2° campagna sedimentologica è consistita nel prelievo e nell'analisi granulometrica di oltre 300 campioni di sedimento:

- circa 130 raccolti alle stesse coordinate del 1993;
- circa 170 campioni integrativi.

Questi ultimi comprendono:

- campioni alla quota di 1 m s.l.m sui profili del 1993, dal momento che con l'altra campagna era stata campionata solo la battigia e non si avevano informazioni sulla spiaggia emersa;
- campioni a varie profondità su profili che nel 1993 erano stati campionati solo parzialmente;
- campioni su profili integrativi, appartenenti comunque alla rete topo-batimetrica. Sono state privilegiate le zone che non erano state indagate nel 1993, rivolgendo particolare attenzione ai litorali con tendenza erosiva. Alcuni di questi campionamenti integrativi sono stati effettuati in corrispondenza di opere a mare recentemente costruite o modificate, per monitorarne gli effetti (es. a Igea Marina l'intervento sperimentale del 2003, a Cattolica la costruzione della darsena nel 2006 e il prolungamento del molo nel 2011). Infine, sono stati previsti profili di controllo aggiuntivi anche in tratti protetti da opere realizzate da tempo, ma che negli ultimi anni sono state oggetto di discussione in merito alla loro efficacia (es. il campo di pennelli di Misano).

Le attività di campo sono iniziate il 15 giugno 2012 e sono terminate il successivo 27 luglio 2012.

Sono stati prelevati oltre 300 campioni.

I campioni raggiungibili a terra, sono stati prelevati

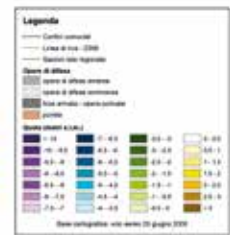
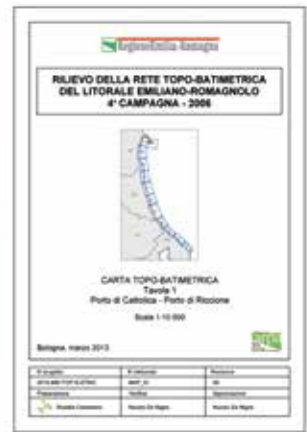
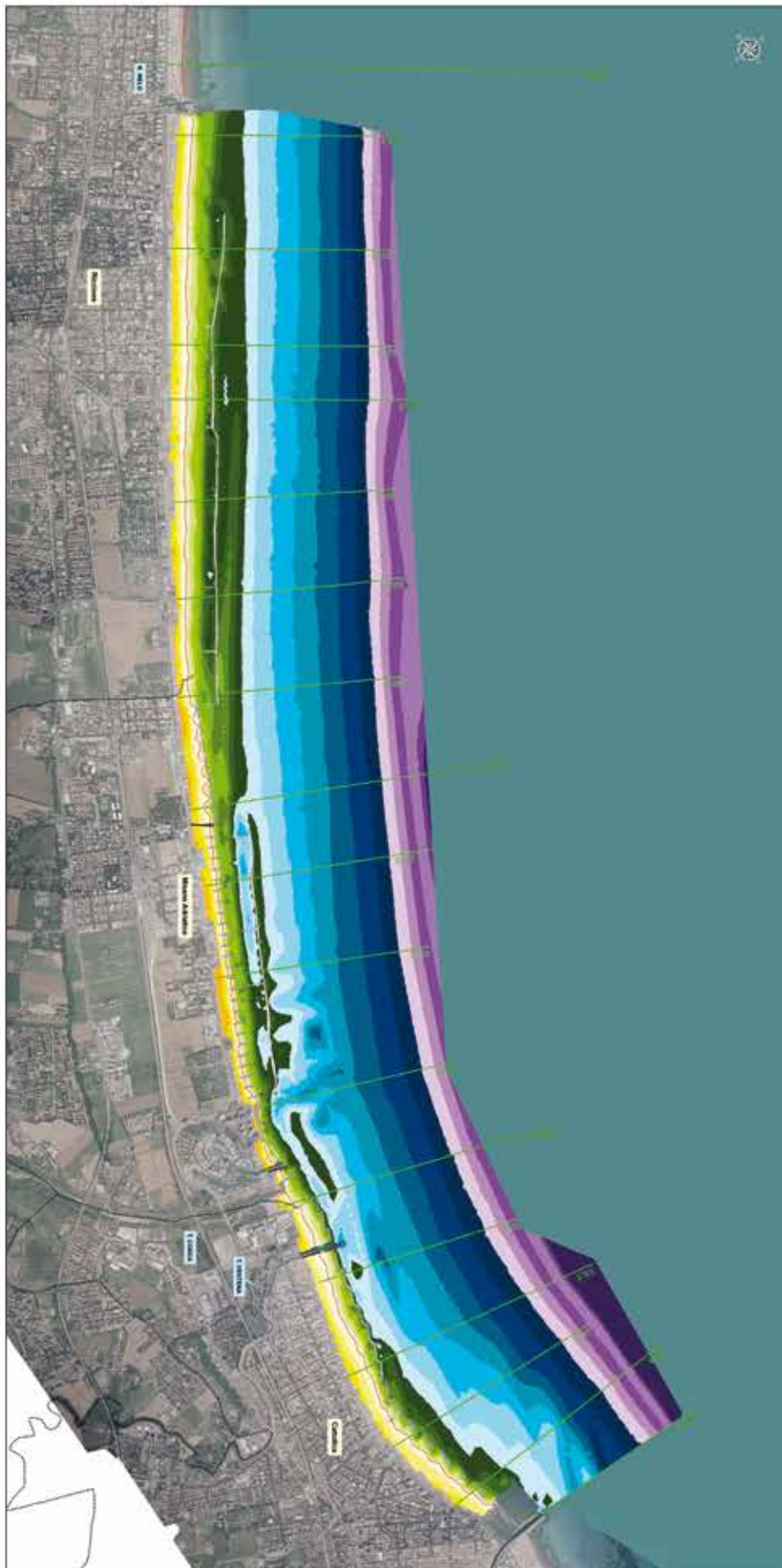


Figura 22 - Cattolica-Porto di Riccione: carta topo-batimetrica del 2006.

con una sassola; il prelievo del sedimento di fondo è stato effettuato tramite la benna Van Veen (Figura 23) Nelle zone in cui la durezza del fondo non ha permesso l'utilizzo della benna i prelievi sono stati effettuati con l'operatore subacqueo munito di sassola.

Le analisi granulometriche sono state effettuate dal laboratorio della Sezione Arpae di Ravenna. I campioni sono stati infine classificati secondo la scala granulometrica di Udden-Wentworth semplificata (Tabella 10).

L'analisi sedimentologica di dettaglio è stata in seguito effettuata tramite il programma di calcolo Gradistat (Blott & Pye, 2001) dall'Unità Mare Costa di Arpae SIMC in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali (BiGeA) dell'Università degli Studi di Bologna.

Tabella 10 - Scala granulometrica di Udden e Wentworth semplificata.

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



Figura 23 - Benna VanVeen nel momento in cui viene calata in acqua per effettuare il prelievo di un campione di sedimento.

Per definire la grana media sono stati utilizzati i seguenti indicatori di tendenza centrale:

- (Md) mediana, il diametro corrispondente al 50% della curva cumulativa (D50), separa la metà grossolana dalla metà fine del campione; la mediana è il centro geometrico della distribuzione, rappresenta il diametro che divide in due parti uguali la distribuzione granulometrica.
- (Dm) diametro medio, si ricava dalla formula di Folk e Ward (1957)

$$Dm = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3}$$

L'analisi tessiturale dei campioni è consistita inoltre nel calcolo di altri due parametri statistici convenzionalmente usati in sedimentologia, secondo le formule di Folk and Ward (1957):

- il coefficiente di cernita (deviazione standard)

$$\sigma = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6}$$

che prevede la distinzione delle seguenti classi di selezione del sedimento:

- Molto ben selezionato <0.35 ϕ
- Ben selezionato 0.35-0.50 ϕ
- Moderatamente ben selezionato 0.50-0.70 ϕ
- Moderatamente selezionato 0.70-1.00 ϕ
- Poco selezionato 1.00-2.00 ϕ
- Molto poco selezionato 2.00-4.00 ϕ
- Estremamente poco selezionato >4.00 ϕ

- il coefficiente di asimmetria (skewness)

$$S_{KI} = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_{50})}$$

che prevede la distinzione delle seguenti classi di asimmetria:

- Molto asimmetrico verso il fine da +1.0 a +0.3
- Asimmetrico verso il fine da +0.3 a +0.1
- Simmetrico da +0.1 a -0.1
- Asimmetrico verso il grossolano da -0.1 a -0.3
- Molto asimmetrico verso il grossolano da -0.3 a -1.0

3.3 Metodologia di analisi tramite indicatori di stato costieri

Nell'ambito del presente lavoro, oltre all'approccio tradizionale, sono stati utilizzati indicatori di stato costiero applicati su unità territoriali elementari dette 'celle litoranee di gestione'.

Gli indicatori sono stati messi a punto dall'Unità Mare-Costa di Arpa per la redazione dell'“Annuario regionale dei dati ambientali” sulla base sul modello di *reporting* ambientale DPSIR (Determinante-Pressione-Stato-Impatto-Risposta) dell' Agenzia Europea dell'Ambiente (Arpa, 2009; 2010; 2011; 2012 (Aguzzi et al., 2012).

Tale metodologia, applicata per la prima volta su dati riferiti al periodo 2000-2006 già validati con approccio tradizionale nell'ambito dello studio dello stato del litorale regionale Arpa (2008), è stata impiegata per l'analisi dei dati raccolti nel periodo 2006-2012 (anni relativi agli ultimi due rilievi topo-batimetrici regionali).

Tradizionalmente, lo stato dei litorali viene definito sulla base dell'analisi evolutiva della linea di riva in termini di tendenza all'accrescimento, alla stabilità e all'erosione, ma è noto come la mappatura della linea di riva è un'operazione molto delicata e che essa da sola non è espressione oggettiva della situazione erosiva del litorale, perché risente fortemente della movimentazione artificiale di sabbia sulle spiagge (argini invernali, dragaggi, ripascimenti). L'utilità degli indicatori risiede nel fatto che essi definiscono criteri di analisi in grado di fornire una più completa ricostruzione dello stato delle coste nella loro complessità, perché riescono ad integrare tra loro dati di varia natura.

La messa a punto degli indicatori da parte di Arpa è nata dalla necessità di portare a sintesi in maniera sistematica un'ampia gamma di dati raccolti dall'Agenzia nell'ambito di 30 anni di attività e studi sulla costa regionale e soprattutto con i rilievi sistematici (ogni 5-6 anni dal 1984) delle reti regionali di monitoraggio costiero e organizzati in un database dei dati costieri, a partire dal 2000, (Idroser, 1981; Idroser, 1996; Arpa, 2002; Arpa, 2008; 2009; 2010; 2011; 2012a). Il lavoro di Arpa in questo senso è iniziato nel 2008 con la creazione dell'“Indicatore di Stato del Litorale” (ISL), un indicatore basato sull'analisi integrata di linea di riva, variazioni di volume a carico di spiaggia emersa e sommersa, subsidenza, ripascimenti, prelievi e situazione delle opere di difesa rigida (Arpa, 2009).

Nel 2010, i criteri dell'ISL sono stati ripresi e sviluppati nell'ambito delle attività volte alla creazione di strumenti di gestione integrata della costa per il Progetto Europeo COASTANCE (AAVV, 2011; 2012) con il coinvolgimento dei Servizi Tecnici di Bacino, del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e del Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica della Regione

Emilia-Romagna. L'indicatore ISL è stato ribattezzato con l'acronimo ASPE (Accumulo-Stabile-equilibrio Precario-Erosione) e il database della costa di Arpae, in base al quale è stato creato l'indicatore, è entrato a far parte del "SICELL Sistema gestionale delle celle litoranee", (Regione Emilia-Romagna, 2011). L'analisi tramite l'indicatore ASPE permette di distinguere i

tratti costieri stabili o in accumulo, quindi in buono stato, dai tratti costieri critici, considerati tali perché in erosione o perché caratterizzati da un equilibrio solo apparente dovuto a interventi di protezione (Figura 24, Tabella 11).

In questa sede, per presentare i dati della campagna di rilievi 2012, verrà utilizzato un altro indicatore,

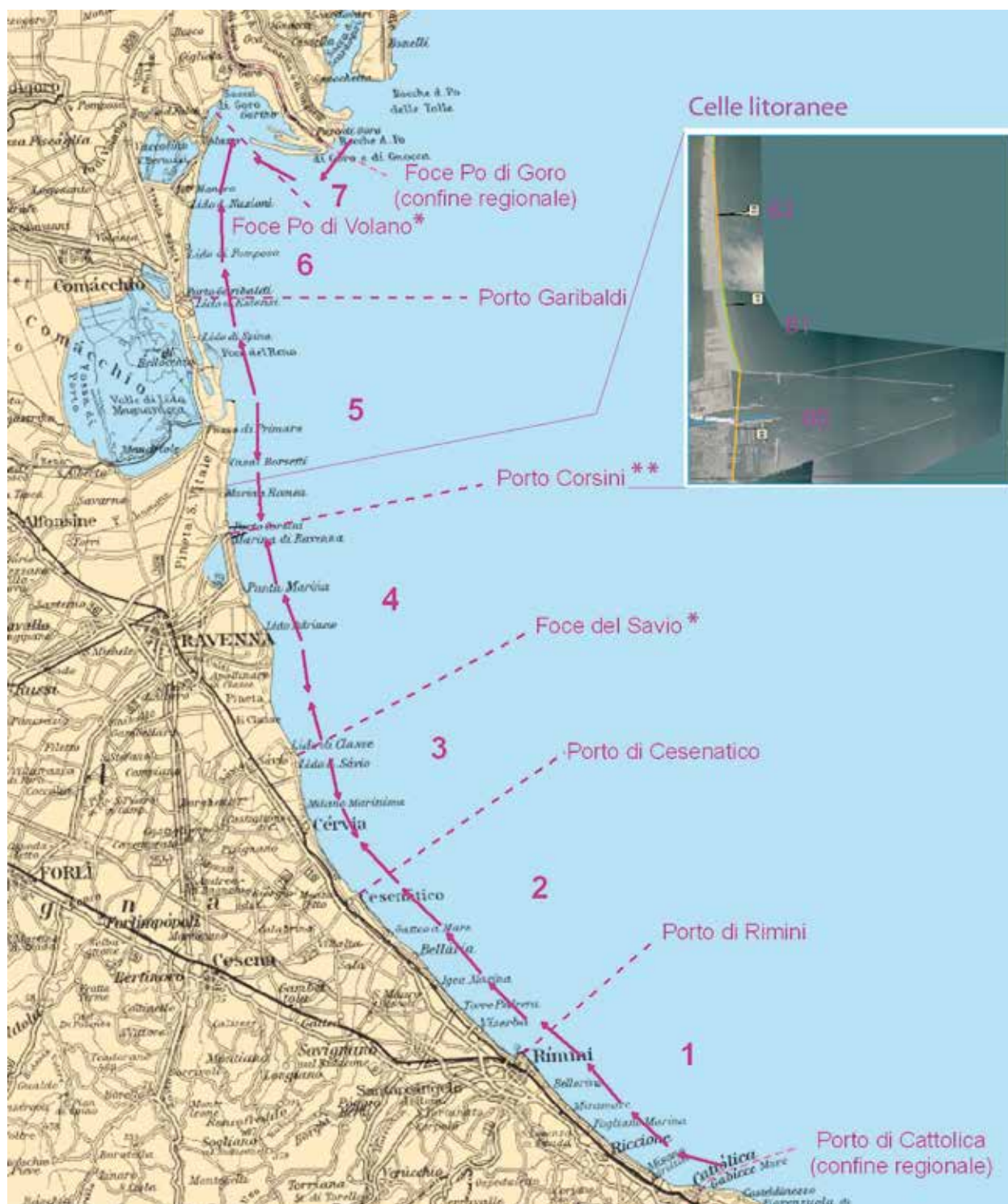


Figura 24 - Suddivisione del litorale nelle "macrocelle" definite da Preti et alii (2008), limitate da lunghi moli portuali o punti nulli del trasporto solido. Le foci del Po di Volano* e del Savio* corrispondono rispettivamente a un punto di convergenza e un punto di divergenza del trasporto solido lungo costa, che nella mappa è rappresentato dalle frecce. Nel riquadro a destra è riportato il dettaglio di tre "Celle litoranee" poste a nord di Porto Corsini.

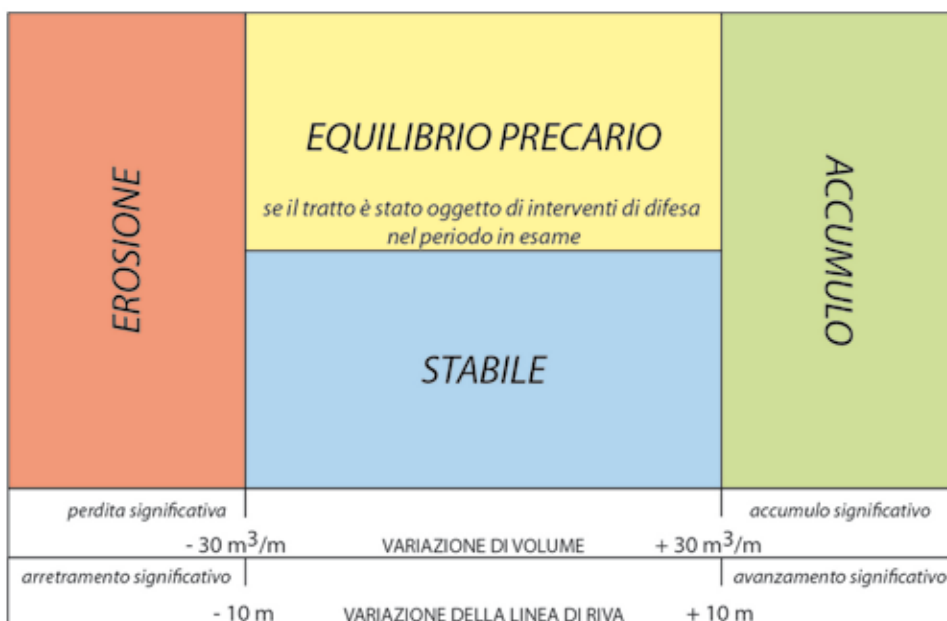


Figura 25 - Schema dell'indicatore ASPE (schema grafico di Christian Marasmi modificato).

denominato ASE (Arpa, 2012a; Aguzzi et al., 2012) ritenuto particolarmente significativo ed associato a quello già condiviso con la Regione nel SICELL. L'analisi tramite l'ASE permette di mettere in risalto l'efficacia delle politiche di difesa condotte dalla Regione sulla costa, dando un'immagine del litorale a valle delle azioni di protezione messe in atto e distingue i tratti costieri stabili, in accumulo e in erosione (Figura 25, Tabella 12).

Senza entrare nel dettaglio dei criteri alla base degli indicatori, per i quali si rimanda all'Annuario Arpa (2012a) o alla pubblicazione di Aguzzi et alii (2012), di seguito verranno spiegati alcuni aspetti indispensabili per la comprensione della presentazione dei dati nel capitolo 4 e nelle conclusioni.

L'analisi è stata basata su unità territoriali di riferimento a piccola e a grande scala. Come settori di

riferimento a grande scala sono state utilizzate sette 'macrocelle' della lunghezza variabile tra 15-30 km, le stesse definite dallo studio Arpa (2008). Tali macrocelle corrispondono a segmenti di costa caratterizzati da bilanci sedimentari che si possono considerare a sé stanti, a causa del limitato scambio reciproco di sedimenti dovuto all'interruzione del trasporto solido longshore ad opera di moli portuali oppure legato alla presenza di punti nulli del trasporto stesso (punti di convergenza o divergenza) (Figura 24).

Come unità elementare di dettaglio è stata adottata la 'cella' introdotta dallo studio di Arpa (2008), rielaborata a fini gestionali nell'ambito del progetto europeo Coastance e utilizzata nel 'SICELL-II sistema gestionale delle celle litoranee' della Regione Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna, 2011). Le 'celle litoranee di gestione' sono in totale

Tabella 11 - Le quattro classi previste dall'indicatore ASPE.

Classe	Definizione
Accumulo	Tratto di litorale che evidenzia accumuli di sabbia significativi* nel periodo in esame.
Stabile	Tratto di litorale che non evidenzia perdite o accumuli di sabbia significativi* e che non è stato oggetto di interventi di difesa dall'erosione (ripascimenti o opere) nel periodo in esame.
Equilibrio precario	Tratto di litorale che non evidenzia perdite o accumuli di sabbia significativi* e che è stato oggetto di interventi di difesa dall'erosione (ripascimenti o opere) nel periodo in esame.
Erosione	Tratto di litorale che evidenzia perdite di sabbia significative* nel periodo in esame.

*Sono considerati significativi accumuli o perdite maggiori di 30 m³/m.

Tabella 12 - Le tre classi previste dall'indicatore ASE.

Classe	Definizione
Accumulo	Tratto di litorale che evidenzia accumuli di sabbia significativi* nel periodo in esame.
Stabile	Tratto di litorale che non evidenzia perdite o accumuli di sabbia significativi* nel periodo in esame.
Erosione	Tratto di litorale che evidenzia perdite di sabbia significative* nel periodo in esame.

*Sono considerati significativi accumuli o perdite maggiori di 30 m³/m.



Figura 26 - Schema dell'indicatore ASE.

I 18, ricoprono tutta la costa inclusa la riva interna della laguna e sommate raggiungono la lunghezza di 140 km. Esse rappresentano tratti costieri della lunghezza variabile da poche decine di metri ad alcuni chilometri, contraddistinti da un'evoluzione della spiaggia emersa e sommersa uniforme e generalmente strettamente dipendente dalla storia degli interventi di difesa effettuati. La cella include la spiaggia emersa, a partire dal primo manufatto o dal piede della duna, e la spiaggia sommersa fino alla batimetria dei 2.5-3 m o fino alla linea delle scogliere parallele dove presenti.

Gli indicatori sopracitati si basano sull'analisi integrata di tre principali gruppi di informazioni a disposizione di Arpae:

1. variazioni del volume di sabbia a carico di spiaggia emersa e sommersa:

- perdite/accumuli risultanti dal confronto tra i rilievi topo-batimetrici;
- perdite legate alla subsidenza;
- accumuli dovuti ai ripascimenti;
- perdite causate dai prelievi di sabbia destinata al ripascimento di spiagge in erosione;

2. variazioni della linea di riva:

- avanzamenti/arretramenti legati a dinamiche marine o a interventi antropici;

3. situazione degli interventi di difesa:

- presenza o meno di opere rigide di protezione;
- costruzione di nuove opere nel periodo in esame;
- manutenzione di nuove opere nel periodo in esame;
- realizzazione di ripascimenti nel periodo in esame.

L'idea generale alla quale si ispira questo approccio è che può essere fuorviante considerare singolarmente o escludere una di queste informazioni che

sono in stretta relazione col bilancio sedimentario e l'evoluzione di un tratto costiero.

Ad esempio, una perdita di volume riscontrata tra i rilievi successivi può essere legata a fenomeni erosivi, ma anche al prelievo artificiale di sabbia oppure ad abbassamenti del suolo dovuti alla subsidenza. Analogamente, un accumulo può essere causato da processi naturali, ma può rappresentare anche l'effetto di un ripascimento.

La presenza di opere di difesa rigida modifica profondamente le caratteristiche dinamiche e morfologiche delle spiagge, inoltre, le condizioni in cui esse versano e il loro stato di manutenzione sono informazioni necessarie per una corretta analisi e gestione del sistema costiero.

Infine, variazioni di volume possono interessare anche solo la porzione di spiaggia sommersa e non avere nessuna manifestazione sulla spiaggia emersa dove la linea di riva può apparire stabile, tuttavia tale situazione è indice di una tendenza erosiva in atto.

Per valutare le modificazioni a carico della spiaggia, sono state definite delle soglie di variazione di volume. Come variazione di volume 'significativa' è stato fissato il valore di 30 m³/m sui 6 anni intercorsi tra gli ultimi due rilievi della rete (2000-2006). Per quanto riguarda la linea di riva, sono stati considerati significativi avanzamenti o arretramenti superiori ai 10 m. Entrambe queste soglie sono state definite sulla base delle conoscenze acquisite negli anni sulla costa regionale (Preti et al., 2008) e sono state utilizzate in maniera flessibile: valutando volta per volta la rappresentatività dei dati e la coerenza tra loro.

La distinzione in classi degli indicatori ASPE e ASE sono definite in Tabella 12 e rappresentate in Figura 25 e Figura 26.

4.

Caratterizzazione morfologica e sedimentologica
del litorale emiliano-romagnolo ed analisi evolutiva

Nel presente capitolo è riportata la caratterizzazione di dettaglio dell'intero litorale regionale.

Ad ognuna delle 7 macrocelle definite nel paragrafo 3.3 è stato dedicato un sottocapitolo organizzato nei seguenti paragrafi:

- *Inquadramento*: riferimenti territoriali, descrizione e storia dei fattori incidenti sul tratto e dell'assetto delle opere, se presenti.
- *Stato del litorale al 2012*: descrizione dettagliata dei dati morfologici e sedimentologici rilevati con la campagna 2012 sulle spiagge
- *Evoluzione 2006-2012*: descrizione dettagliata della tendenza evolutiva della spiagge e dei fondali sulla base dei confronti tra i dati topo-batimetrici 2006 e 2012, con resoconto dei volumi persi e/o accumulati nel periodo.
- *Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012*: considerazioni riguardanti le tendenze evolutive relative ai due periodi.
- *Sintesi*: paragrafo riassuntivo con le principali informazioni utili.

4.1 Macrocella I: Cattolica – Molo di Rimini

Inquadramento

Il paraggio confinato tra i moli del porto canale di Cattolica e il molo di levante del porto canale di Rimini (macrocella I), lungo 19.300 m, comprende il litorale del comune di Cattolica, di Misano Adriatico, di Riccione e il paraggio del comune di Rimini a sud del portocanale.

Le fonti naturali di sedimento che alimentano questo paraggio sono il litorale marchigiano, in particolare il promontorio di Gabicce, e il fiume Conca nel tratto sud. A nord, il molo di levante del porto di Rimini interrompe quasi totalmente il trasporto sedimentario lungo costa.

La riduzione dell'apporto solido naturale (trasporto litoraneo e apporto fluviale), già manifestatasi alla fine della prima metà del XX secolo, e la direzione prevalentemente da sud verso nord del trasporto solido lungo costa, sono i due fattori che governano l'evoluzione di questo paraggio. Le spiagge a sud, non più alimentate come un tempo dai fiumi, sono andate in erosione, mentre quelle a nord sono avanzate o rimaste in equilibrio a causa della presenza del molo di Rimini che blocca le sabbie provenienti da sud.

Per difendere i tratti in erosione dal moto ondoso e dall'ingressione marina sono state costruite una serie di opere rigide e realizzati significativi interventi di ripascimento.

Stato del litorale al 2012

Il litorale di Cattolica, lungo 2450 m, (Figura 27), è difeso da 17 scogliere parallele emerse.

La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 100-120 m, escluso l'ultimo tratto a nord della foce del torrente Ventena ampia circa 50-70 m.

La batimetrica dei 3,5 m è distante circa 100 m dalle scogliere e 200 m dalla linea di riva, mentre la batimetrica dei 7 m è a circa 1000 m dalla battigia. I campioni raccolti in questa zona (Figura 28) sono formati in prevalenza da sabbia fine.

I sedimenti prelevati davanti alla darsena e, in generale, oltre i 3 m di profondità presentano anche una componente rilevante (30-40%) di sabbia molto fine. La componente pelitica si mantiene nella maggior parte dei casi sotto il 5%.

La maggior parte dei campioni ha come diametro medio la sabbia fine (Figura 129), risulta moderatamente selezionata e con asimmetria verso il fine più o meno accentuata (Figura 29, Figura 30, Figura 31). Il campione 34L5-2 rappresenta un'anomalia nel quadro complessivo, perché contiene un'elevata percentuale di pelite nonostante la sua vicinanza con la linea di riva e risulta molto poco selezionata. Non è escludibile che sia stato fatto un errore durante il campionamento.

Il litorale di Misano è lungo 3.200 m ed è caratterizzato da tre tratti distinti. Nel primo, lungo circa 650 m, sono presenti la foce del fiume Conca, i moli dell'imboccatura del porto di Porto Verde, una pocket beach artificiale e una scogliera radente (Figura 27).

I fondali in questa ultima zona sono composti prevalentemente da sabbia fine, moderatamente selezionata, con asimmetria verso il fine (sezione 30L5; Figura 129, Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35). I due campioni più prossimi alla riva, e quindi alla scogliera radente, sono decisamente più grossolani, con elevatissime quantità di sabbia grossolana e molto grossolana.

Il secondo tratto di spiaggia, lungo circa 1.700 m, è difeso da un campo di 26 pennelli in roccia lunghi 60-80 m e equidistanti 60 m, e da una barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia lunga 1600 m posta a circa 150 m dalla testata dei pennelli.

La linea di riva ha un andamento rettilineo mentre l'ampiezza della spiaggia emersa varia tra i 40 m e 100 m in funzione della presenza o meno di edifici o stabilimenti balneari tra la battigia e la via Litoranea. Questo tratto di spiaggia è, infatti, caratteriz-

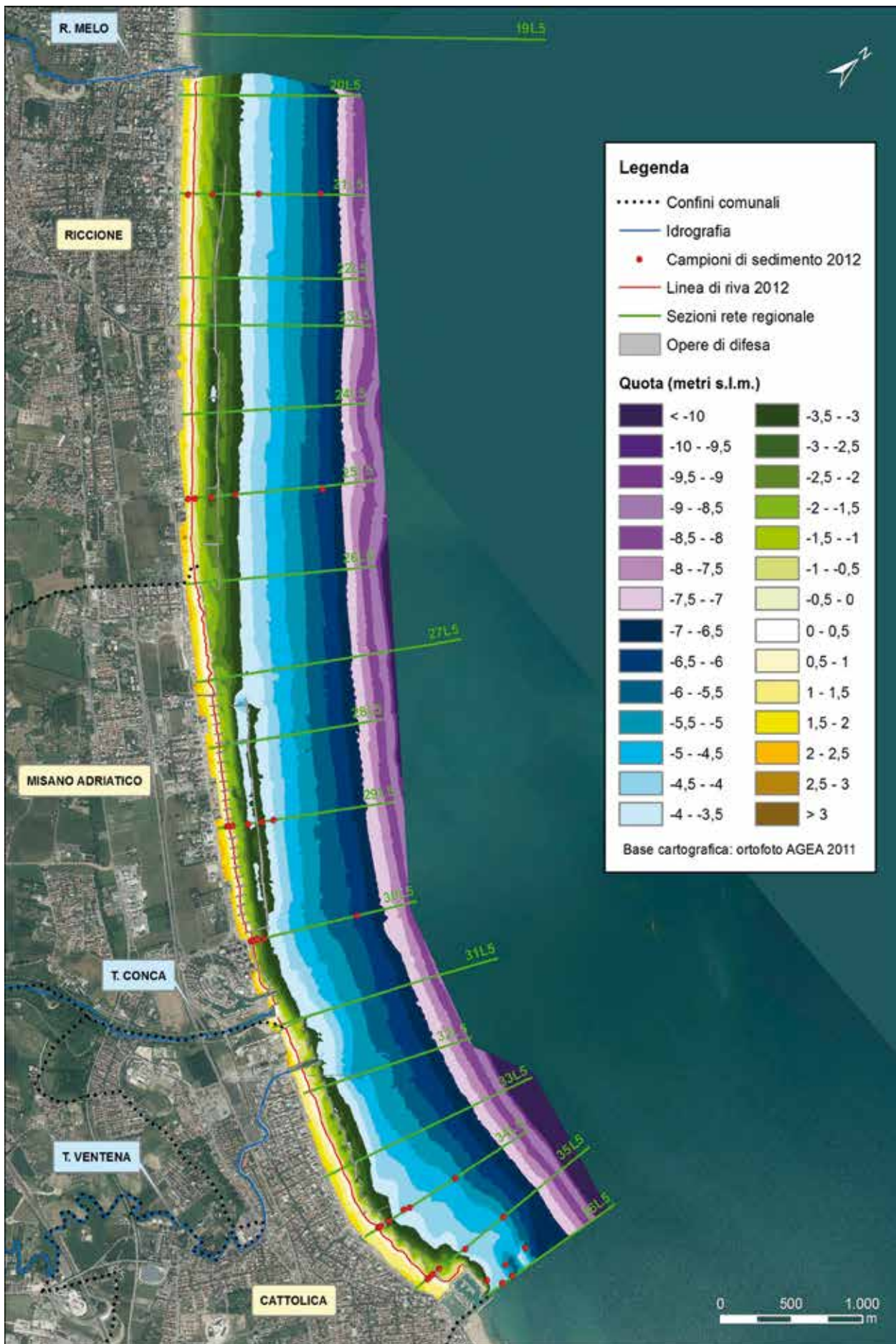


Figura 27 - Cattolica – Porto di Riccione: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

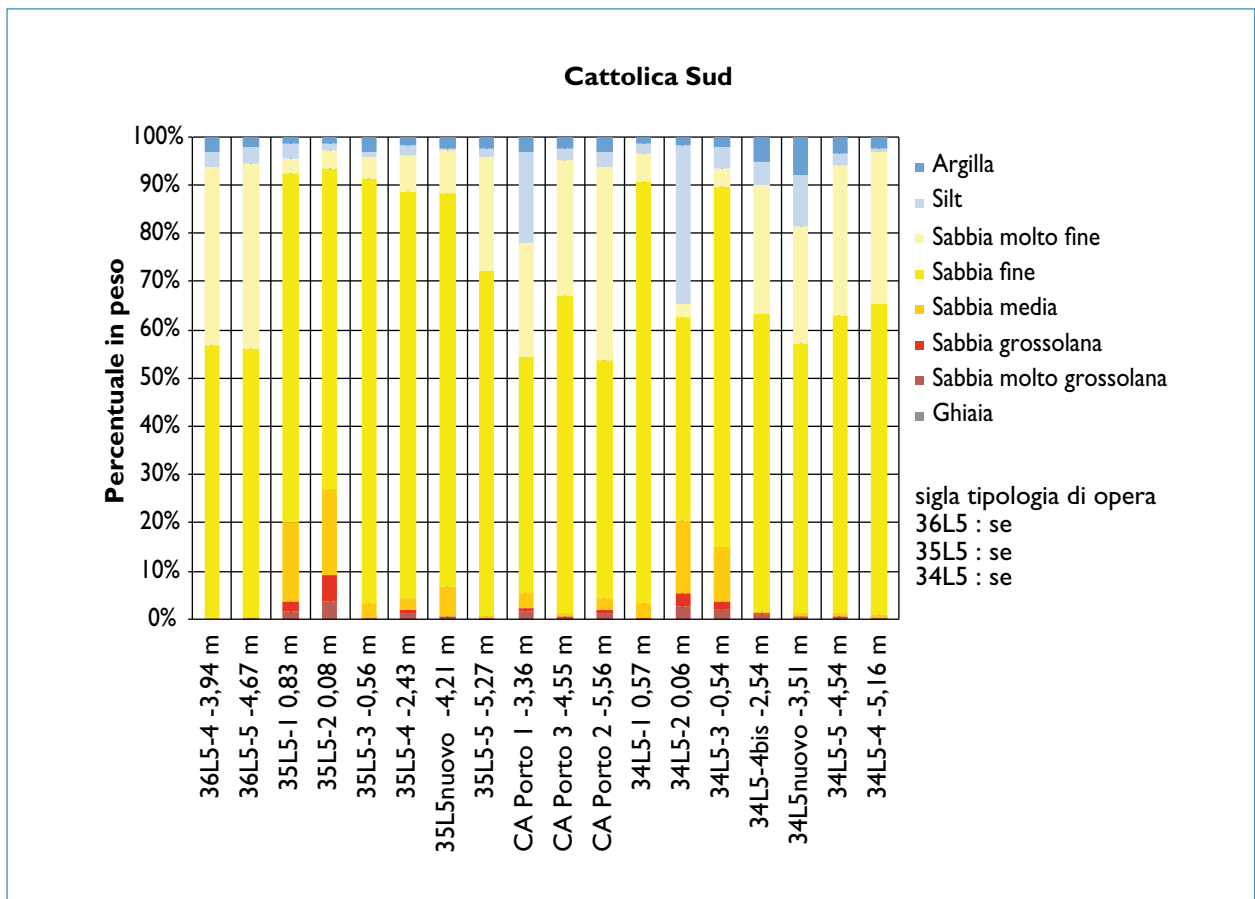


Figura 28 - Istogramma delle analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati a Cattolica nel 2012. se: scogliere emerse.

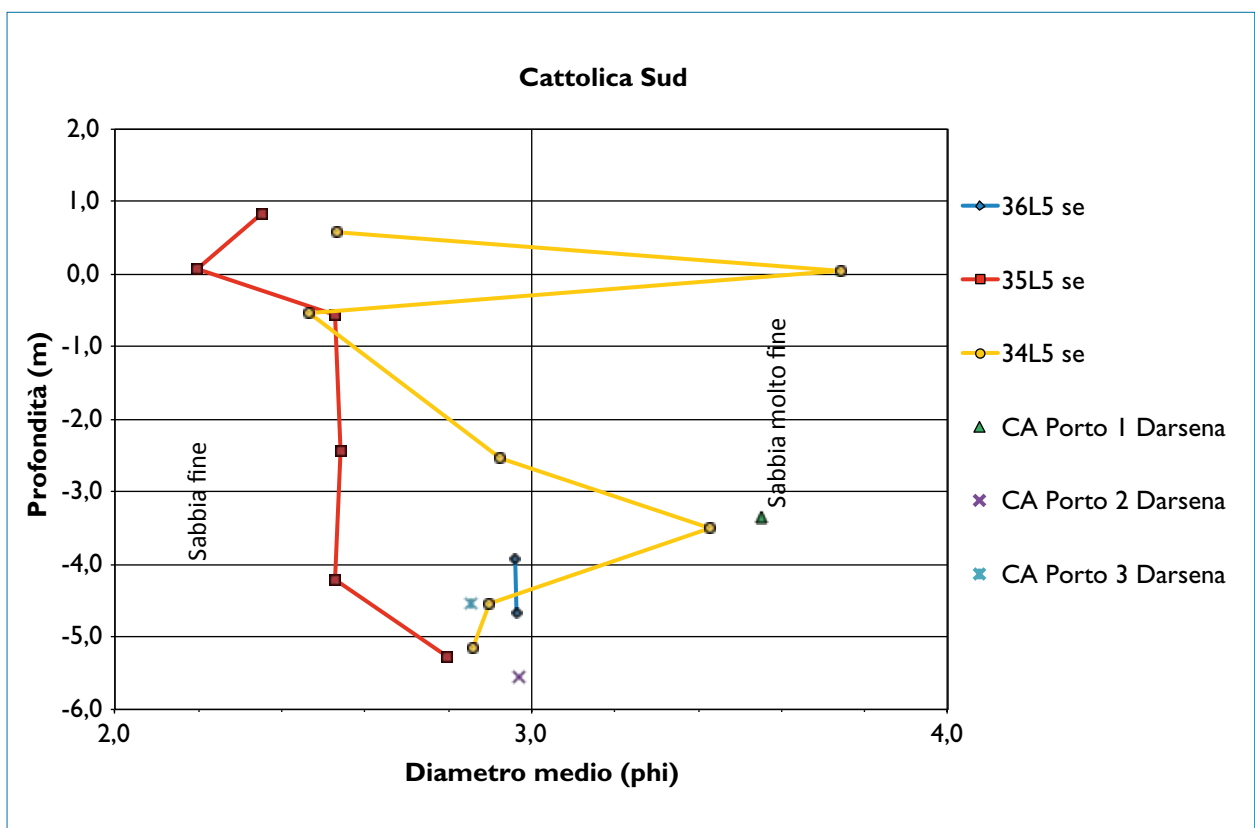


Figura 29 - Diametro medio rappresentativo di campioni di sedimento prelevati a Cattolica nel 2012. se: scogliere emerse.

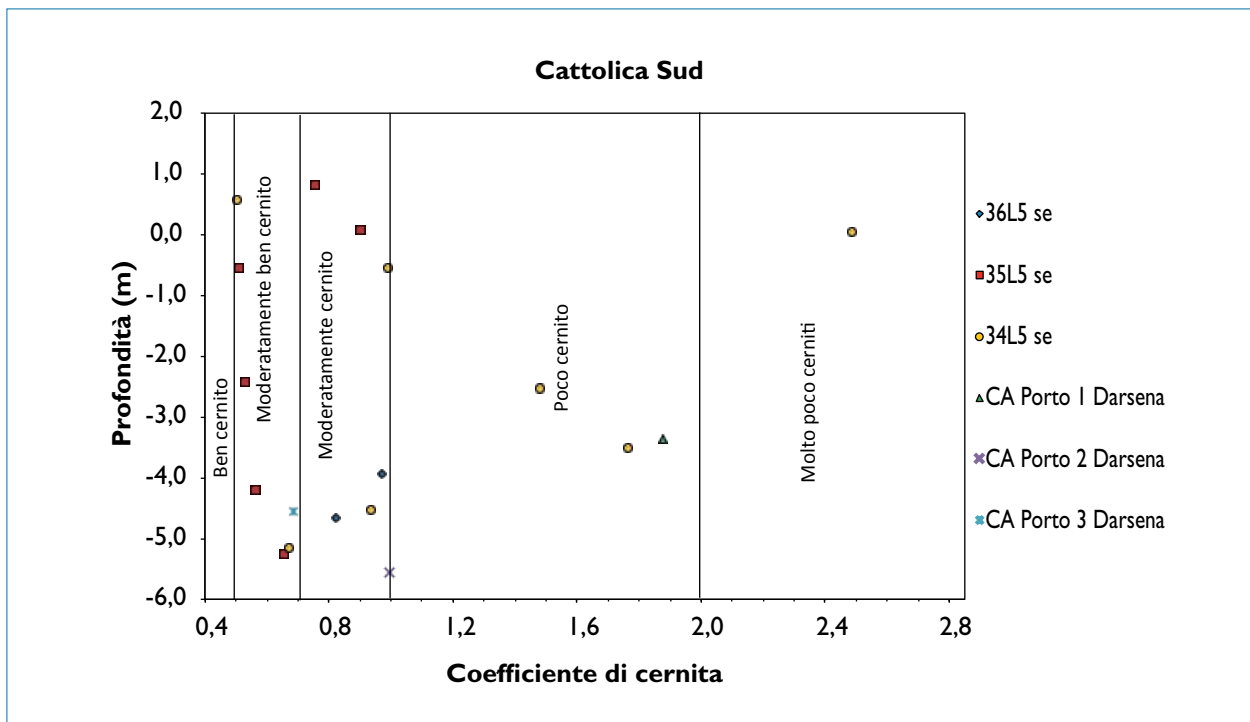


Figura 30 - Coefficienti di cernita di campioni di sedimento prelevati a Cattolica nel 2012. se: scogliere emerse.

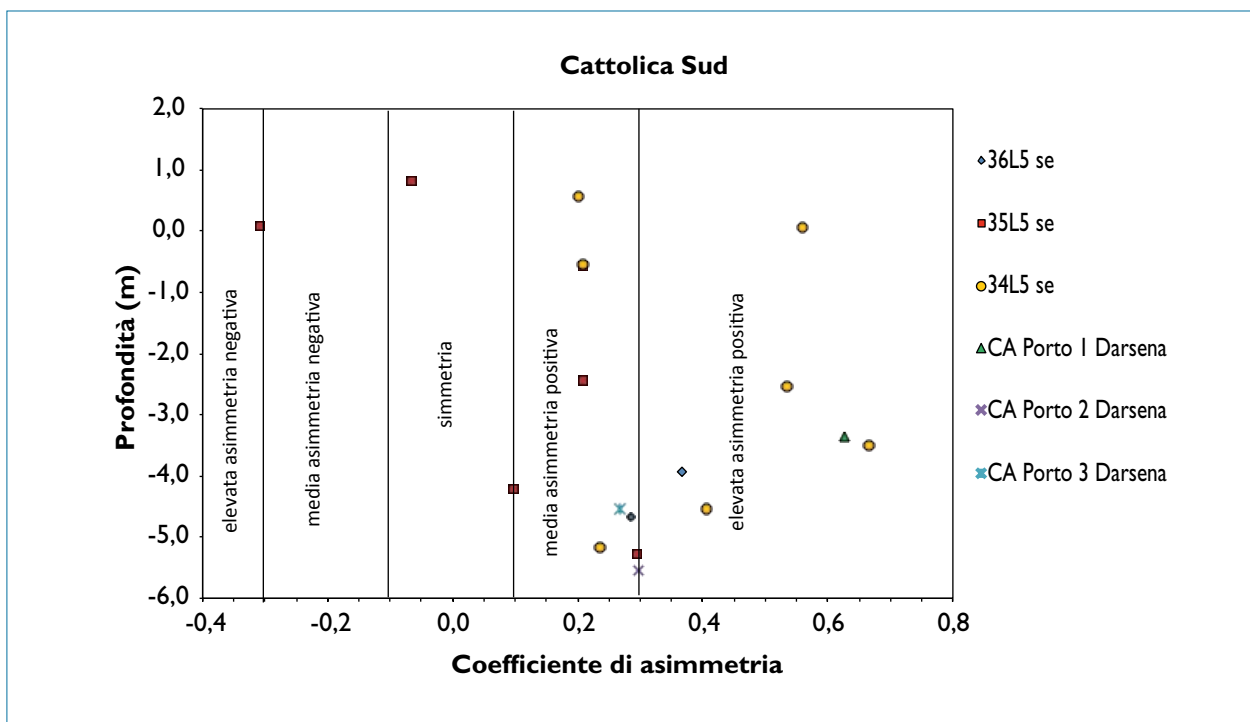


Figura 31 - Coefficienti di asimmetria di campioni di sedimento prelevati a Cattolica nel 2012. se: scogliere emerse.

zato dalla presenza di diversi stabilimenti balneari ubicati a ridosso della battigia e con spiaggia nell'area retrostante.

Dalla carta topo-batimetrica (Figura 27) si osserva come la barriera in sacchi determina un accumulo di sabbia sul fondale lato mare (batimetrica di 3,5 m) e un approfondimento su quello lato terra (batimetrica di 4 m).

I depositi in questo tratto sono caratterizzati da parametri sedimentologici simili a quelli osservati fino ad ora: prevalgono le sabbie fini, la selezione è moderata e l'asimmetria è positiva (sezione 29L5; Figura 129, Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35). Fanno eccezione i tre campioni compresi tra le quote +1 e -1 m, che presentano asimmetria negativa. Il campione prelevato sulla battigia presenta

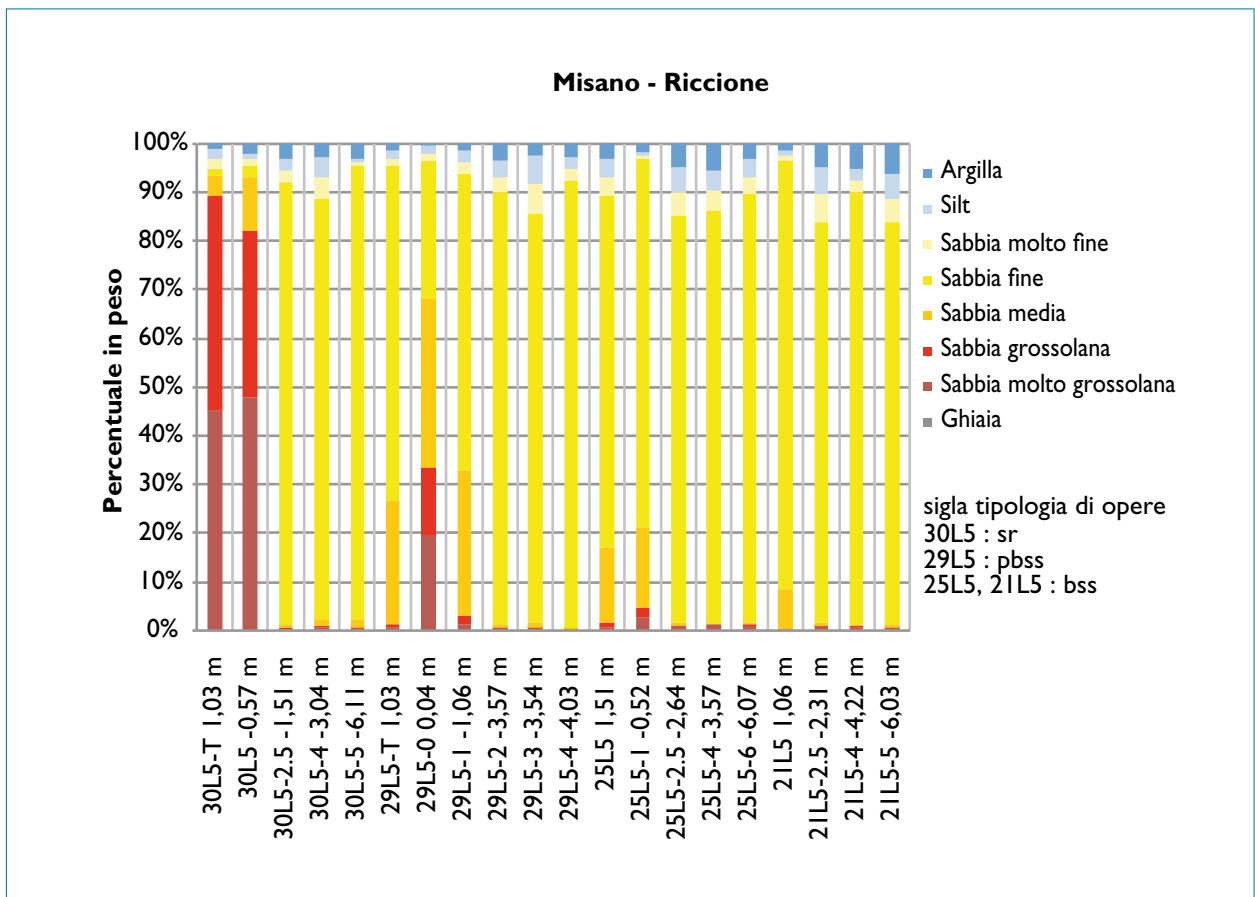


Figura 32 - Istogramma delle analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati a Misano e Riccione. sr: scogliere radenti, pbss: pennelli e barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

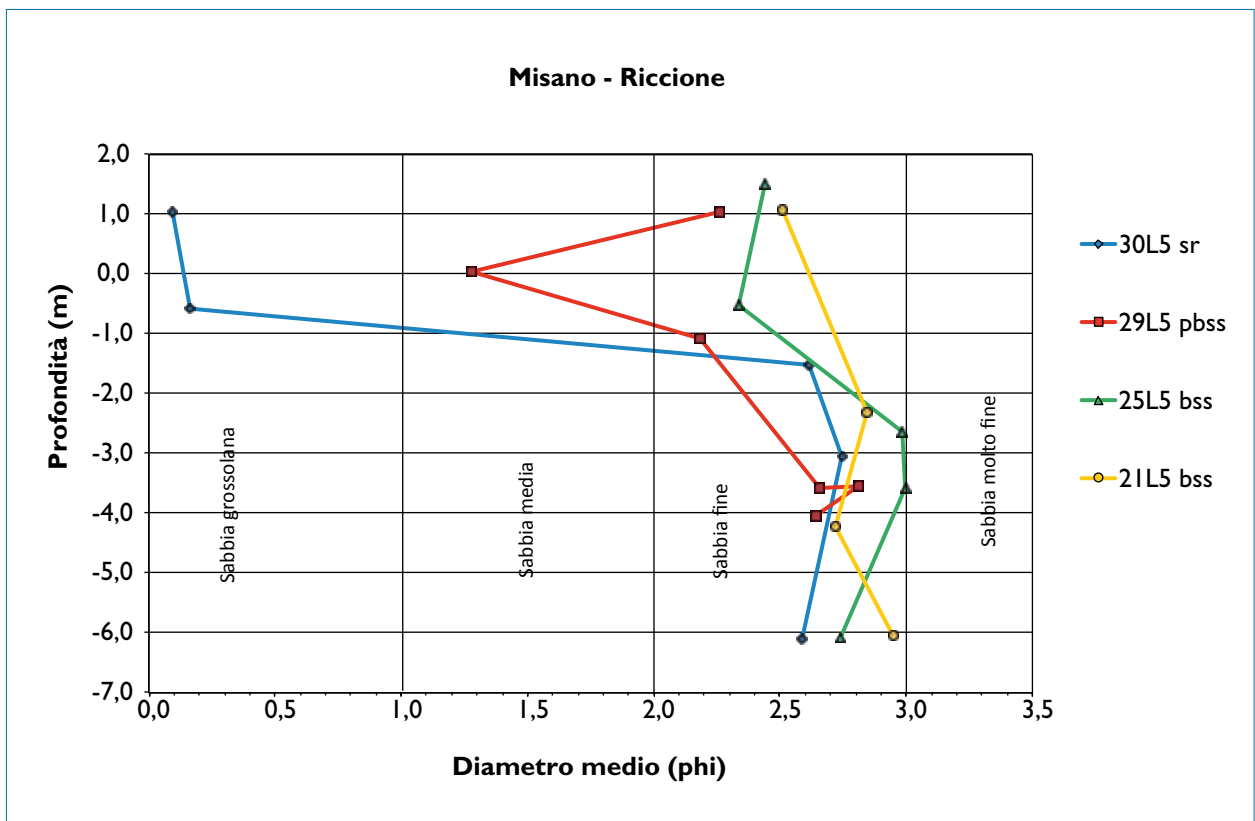


Figura 33 - Diametro medio rappresentativo di campioni di sedimento prelevati a Misano e Riccione nel 2012. sr: scogliere radenti, pbss: pennelli e barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

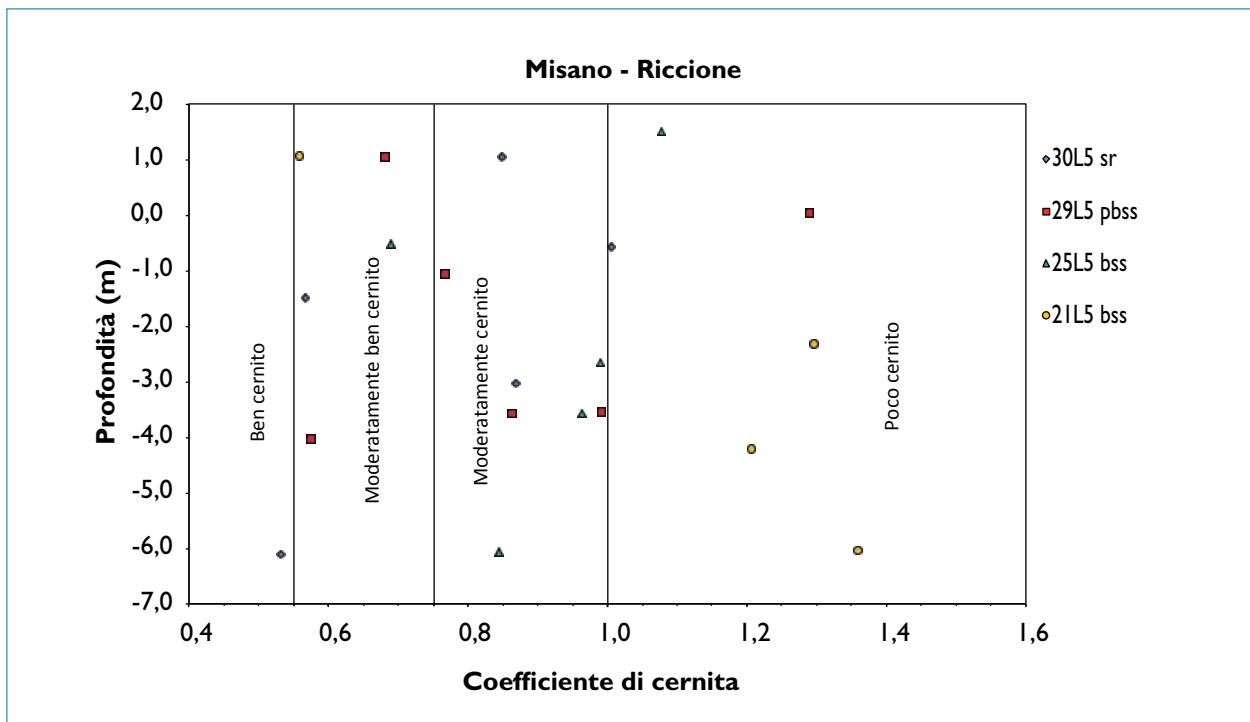


Figura 34 - Coefficienti di cernita di campioni di sedimento prelevati a Misano e Riccione nel 2012. sr: scogliere radenti, pbss: pennelli e barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

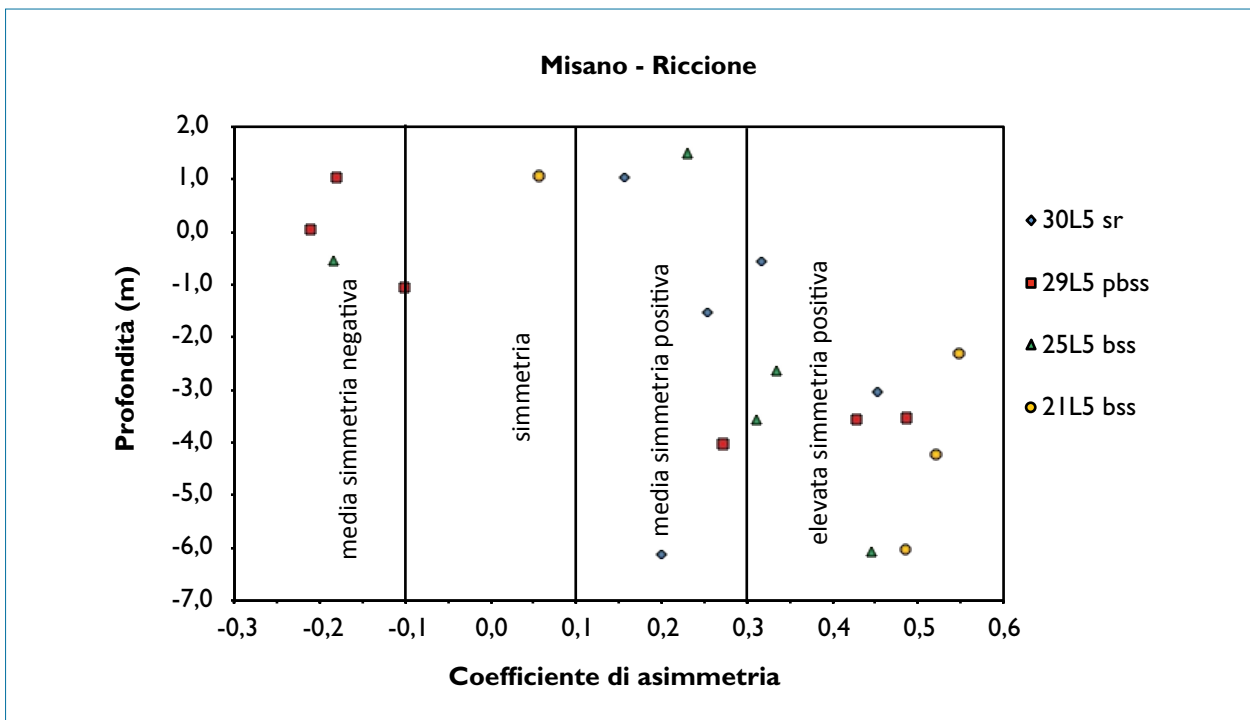


Figura 35 - Coefficienti di asimmetria di campioni di sedimento prelevati a Misano e Riccione nel 2012. sr: scogliere radenti, pbss: pennelli e barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

anche una rilevante percentuale di sabbia molto grossolana, grossolana e media. L'ultimo tratto di spiaggia di Misano, lungo 750 m, è difeso da 7 scogliere parallele emerse che hanno determinato la formazione di tomboli. La spiaggia ha un'ampiezza di 100-120 m. La batimetria dei 3,5 m, in questo tratto è di-

stante 200 m dalle scogliere e dalla linea di riva, mentre la batimetria dei 7 m si trova circa a 1 km dalla battigia.

Il comune di Riccione ha un fronte mare di 6.200 m diviso in due dal porto di Riccione (Figura 36). Il tratto a sud del porto, a partire dal confine con

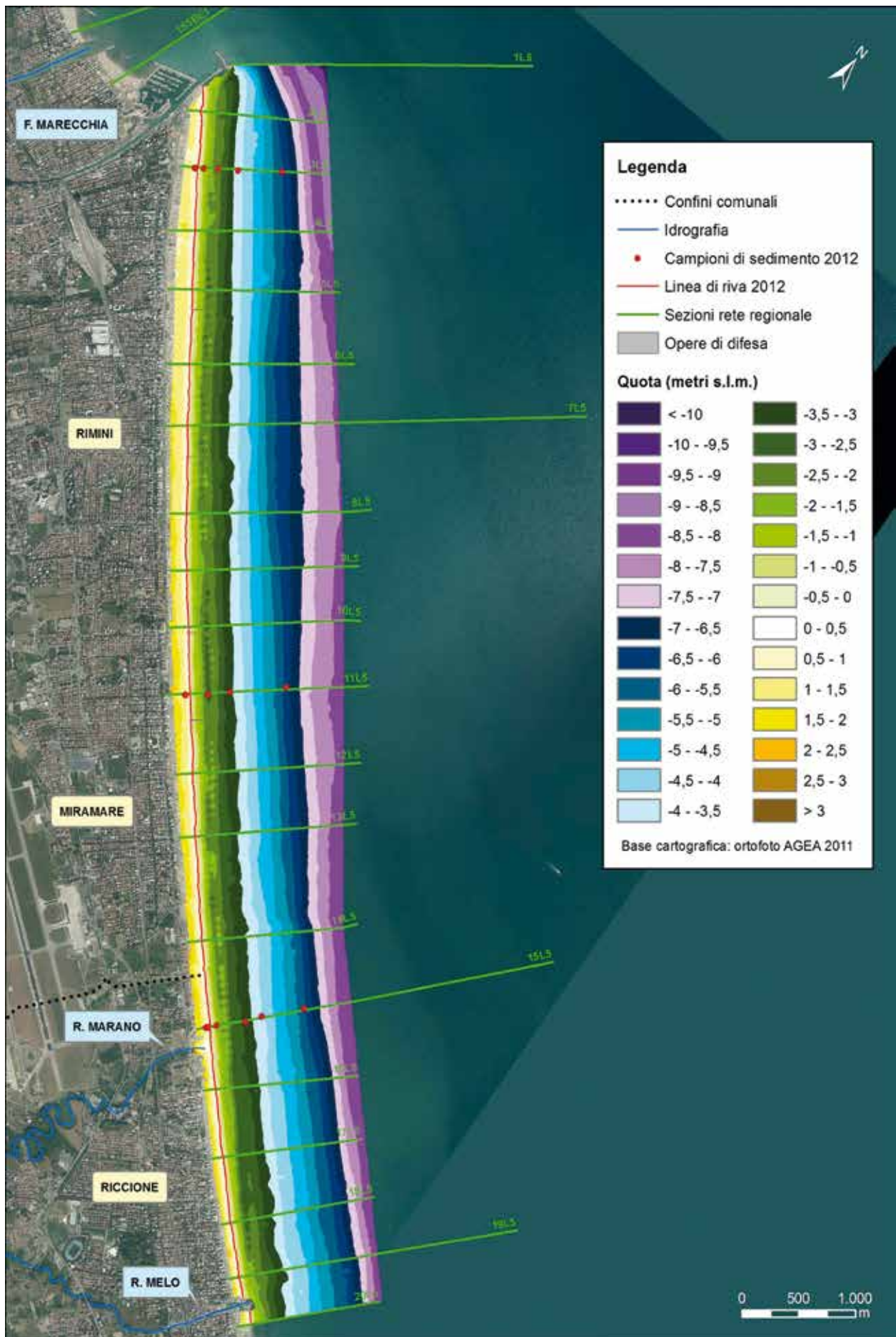


Figura 36 - Porto di Riccione – Molo di Rimini: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

Misano, è difeso per 2.800 m da una barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia posta a circa 150-180 m dalla battigia, mentre, nei primi 600 m di spiaggia a sud del porto e sulla spiaggia a nord del porto, non sono presenti opere di difesa dal mare. La spiaggia di Riccione sud ha un'ampiezza di 70-90 m. Il tratto di spiaggia, lungo 250 m, corrispondente alla colonia Enel e al Piazzale Kennedy ha un'ampiezza di soli 30-50 m, a causa della presenza di edifici in posizione particolarmente avanzata e in parte per la falcata erosiva determinata dall'ultima scogliera parallela emersa di Misano.

La batimetria dei 3,5 m dista circa 150 m dalla barriera in sacchi e 300 m dalla linea di costa, mentre la batimetria dei 7 m continua ad essere ad una distanza media di 1 km dalla battigia.

La spiaggia di Riccione nord (2.800 m) e quella di Rimini sud (7.500 m) sono alimentate dal trasporto sedimentario lungo costa diretto da sud verso nord. Partendo dal porto di Riccione e arrivando al molo di levante di Rimini la spiaggia si allarga sempre più, infatti dai circa 80 m di ampiezza nella zona a nord del porto di Riccione si arriva ai circa 200 m di ampiezza in corrispondenza del Grand Hotel di Rimini (Figura 36).

La batimetria dei 3,5 m si allontana dalla battigia fino ad una distanza dei 350-400 m, mentre quella dei 7 m continua a distare circa 1.000 m.

I campioni prelevati sulle sezioni 25L5 e 21L5, lungo il litorale di Riccione, sono composti da prevalenti sabbie fini (Figura 32); i campioni prossimi alla riva si distinguono dagli altri per una modesta percentuale di sabbia media (circa 15%).

Tutti i sedimenti campionati presentano il diametro medio delle dimensioni della sabbia fine; il grado di selezione è prevalentemente moderato, a eccezione dei tre campioni raccolti al di sotto dei 2 m di profondità lungo la sezione 21L5 e dal campione di spiaggia emersa della 25L5, che risultano poco selezionati (Figura 129, Figura 33, Figura 34). L'asimmetria è prevalentemente positiva, tranne che per il campione entro il primo metro di spiaggia sommersa della 25L5 in cui è negativa (Figura 35).

Nel tratto di costa a nord del Rio Marano (sezione 15L5 e 11L5) nei sedimenti campionati entro i 2,5 m prevalgono le sabbie fini, in quelli più profondi aumentano le porzioni più fini. I tre campioni raccolti in prossimità della battigia sulla sezione più vicina al Torrente Marano, oltre alle sabbie fini, presentano una discreta percentuale di sabbia

media (a 1 metro di profondità è presente anche sabbia grossolana e molto grossolana) (Figura 37). Il diametro medio diminuisce con la profondità e varia dalla sabbia fine (fino a 2,5 m) a sabbia molto fine e silt (a -6 su 15L5) (Figura 129, Figura 37, Figura 38).

Il grado di selezione diminuisce gradualmente con l'aumentare della profondità: i sedimenti risultano da ben cerniti a molto poco cerniti (Figura 39). Per quanto riguarda l'asimmetria, i campioni prossimi alla riva presentano un'asimmetria verso il grossolano, mentre gli altri più profondi una coda fine (Figura 40).

I sedimenti raccolti sulla sezione più a nord (3L5), vicina al molo di Rimini, sono composti prevalentemente da sabbia fine a tutte le profondità, sono ben selezionati e circa simmetrici fino a 2 metri di profondità. I sedimenti più al largo risultano invece poco cerniti e con asimmetria positiva (Figura 37, Figura 38, Figura 39, Figura 40).

Evoluzione 2006-2012

Tra il 2006 e il 2012, nel tratto di spiaggia da Cattolica ai moli di Rimini, compreso tra la spiaggia emersa e la batimetria dei 2,5 m (o la linea delle scogliere parallele emerse) si è verificata una variazione di volume di circa -420.000 mc (Tabella 13), corrispondente ad una perdita netta di 22 mc/m.

Da quando è iniziato il rilievo della rete topo-batimetrica regionale, nel 1984, questa è la prima volta che il bilancio volumetrico sedimentario complessivo del paraggio Cattolica-Molo di Rimini risulta negativo. Le perdite unitarie nel periodo in esame sono inferiori ai 30 mc/m, quindi, secondo i criteri adottati in questo studio illustrati nel paragrafo 3.3, il paraggio è complessivamente considerabile in equilibrio precario, cioè caratterizzato da un equilibrio non naturale ma ottenuto realizzando interventi di difesa, in particolare ripascimenti.

Entrando nel merito dei vari tratti, il litorale di Cattolica corrispondente alle prime 9 scogliere parallele emerse a nord della darsena (cella 3, Figura 41), presenta una tendenza all'accumulo. Questo andamento ha determinato un avanzamento della battigia e la formazione di tomboli che limitano la circolazione dell'acqua. Per far fronte a questo problema vengono effettuati continui prelievi di sabbia tra battigia e scogliera al fine di aumentare il battente d'acqua e garantire un sufficiente idrodinamismo.

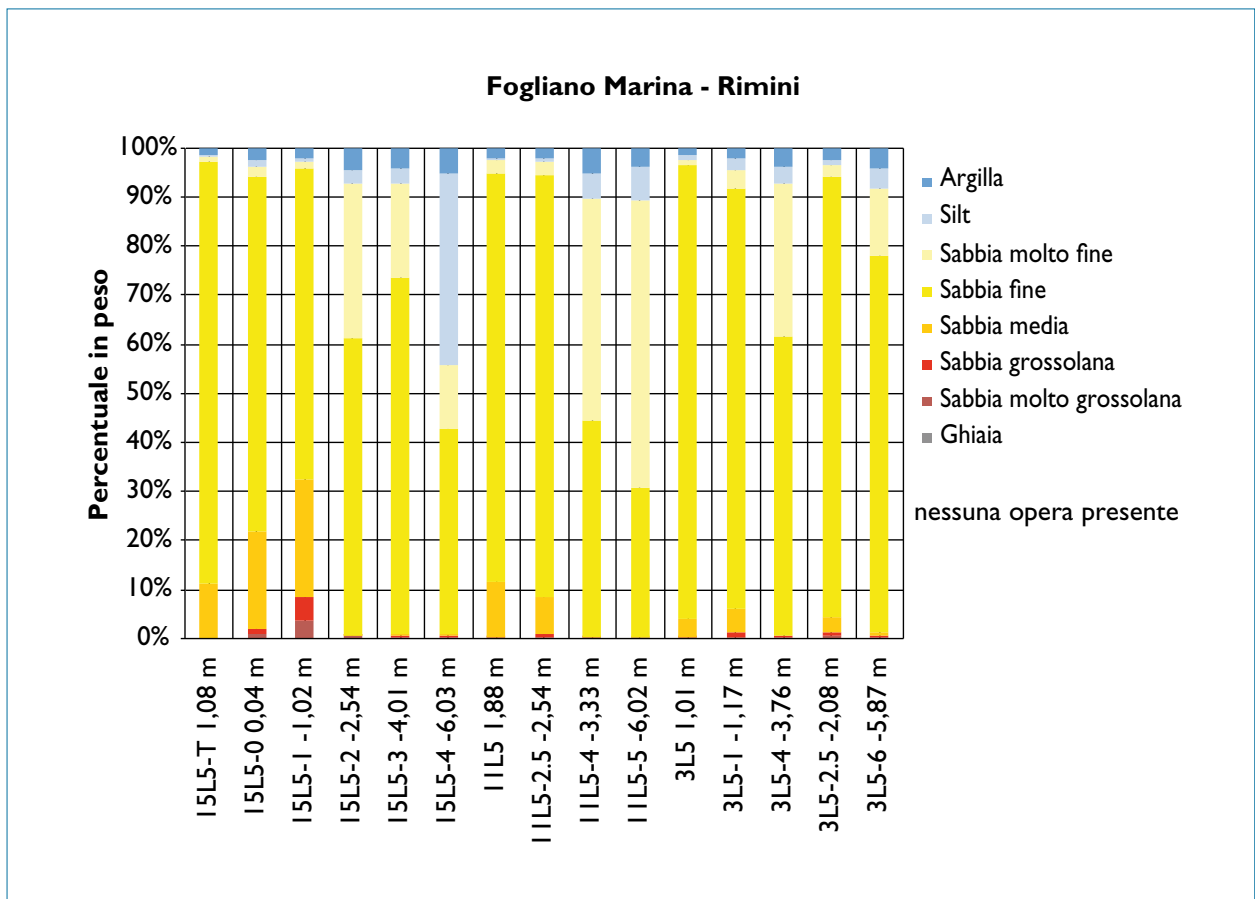


Figura 37 - Istogramma delle analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati tra Fogliano Marina e Rimini nel 2012.

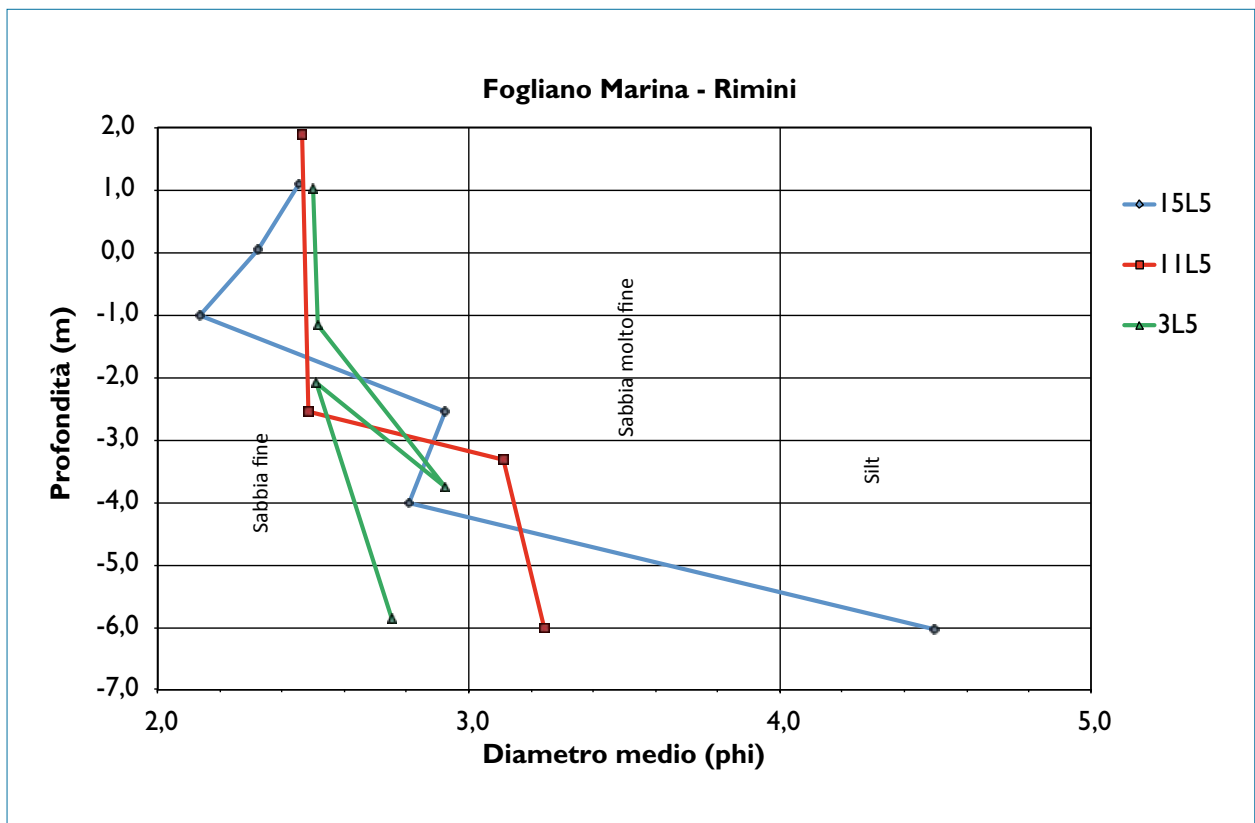


Figura 38 - Diametro medio rappresentativo di campioni di sedimento prelevati tra Fogliano Marina e Rimini nel 2012.

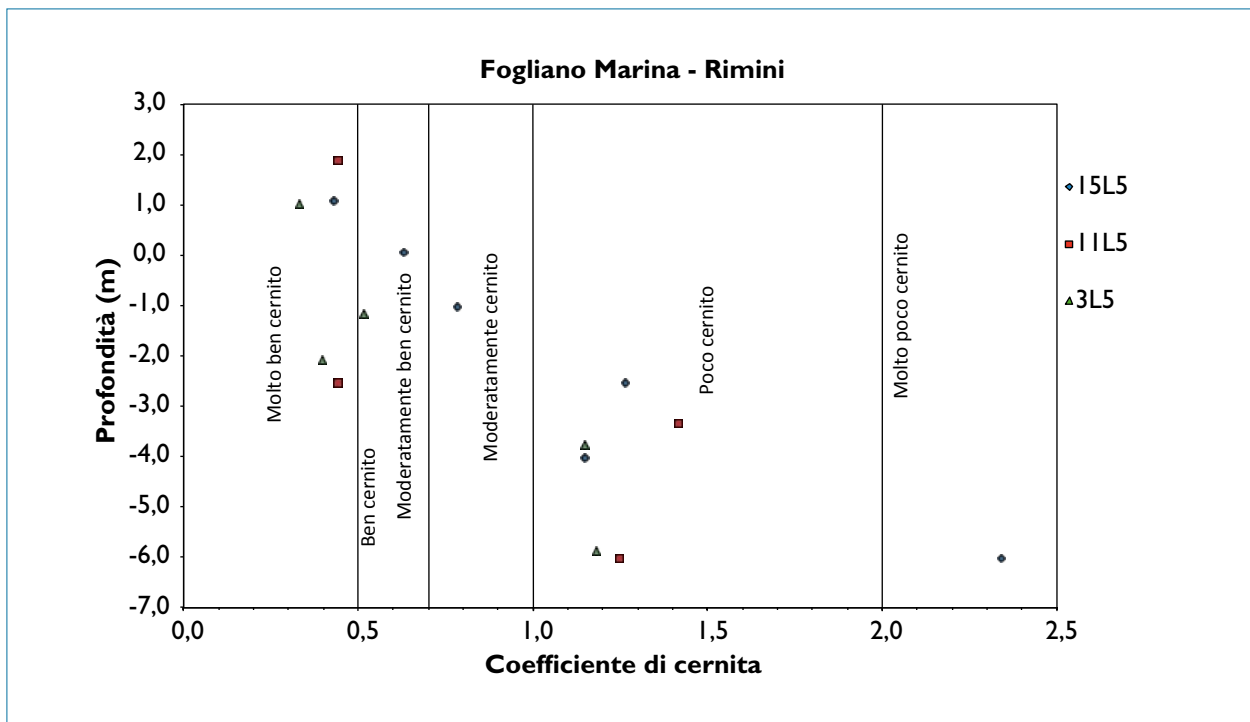


Figura 39 - Coefficienti di cernita di campioni di sedimento prelevati tra Fogliano Marina e Rimini nel 2012.

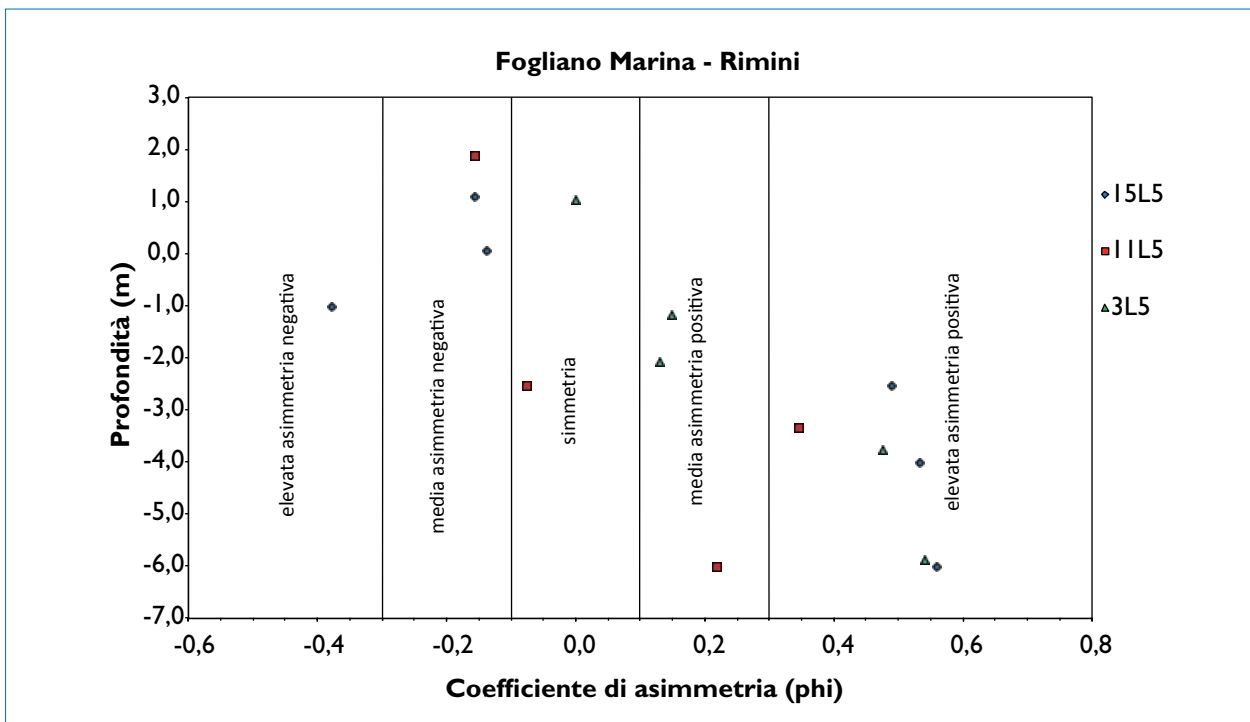


Figura 40 - Coefficienti di asimmetria di campioni di sedimento prelevati tra Fogliano Marina e Rimini nel 2012.

La variazione di volume complessiva di questo tratto di spiaggia (cella 3) è stata di circa -17.700 mc (Tabella 13 e Figura 45), considerando che sono stati prelevati 40.890 mc di sabbia tra battigia e scogliere e che le perdite per subsidenza sono stimate in poco più di 2.800 mc, in questo tratto si sono quindi depositati circa 26.000 mc di sedimento per effetto delle correnti marine generate dal moto ondoso.

Dalla mappa degli accumuli e delle perdite (Figura 41) si osserva che questa cella (3) presenta comunque alcune aree in erosione, con perdite di quota tra 30-50 cm e arretramenti della linea di riva di 5-10 m. Se in futuro dovesse confermarsi questo trend bisognerà ridurre i prelievi di sabbia o utilizzarne parte per ripascere la spiaggia emersa.

Tabella 13 - Cattolica – Moli di Rimini (MI):Variazione di volume positive o negative, dovute a subsidenza, oppure a ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2006-2012 (misure in m le lunghezze, mc i volumi).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	Vimm	Vaspe
01	Bocca Tavollo	55	-	0	0	35000	-35000	35000
02	Darsena di Cattolica	250	-	0	0	0	0	0
03	Cattolica Sud	1230	-17723	2842	0	40890	-40890	23167
04	Cattolica Nord	615	-11238	1312	4000	0	4000	-15238
05	Foce Ventena	40	-	0	0	900	-900	900
06	Colonia Navi	260	-8757	267	0	500	-500	-8257
07	Foce Conca	175	-2528	189	0	0	0	-2528
08	Porto Verde Sud	65	-122	55	3100	0	3100	-3222
09	Canale Porto Verde	40	-	0	0	4000	-4000	4000
10	Porto Verde Nord	165	-2569	194	7650	0	7650	-10219
11	Porto Verde Scogliera Radente	220	9811	277	0	0	0	9811
12	Misano Pennelli	1680	68081	5061	262579	0	262579	-194498
13	Misano Scogliere	755	-24326	3205	19000	18879	121	-24447
14	Riccione Sud	1000	-539	3934	279750	0	279750	-280289
15	Riccione Centro	1850	-80410	8208	51065	0	51065	-131475
16	Riccione Porto	570	-2580	3281	4000	0	4000	-6580
17	Darsena di Riccione Sud	50	-	0	0	0	0	0
18	Riccione Porto Canale	25	-	0	0	42400	-42400	42400
19	Darsena di Riccione Nord	60	-	0	0	0	0	0
20	Riccione Alba Sud	840	-5867	4757	9865	0	9865	-15732
21	Riccione Alba Nord	1250	3181	5912	0	0	0	3181
22	Foce Marano	45	-	0	0	0	0	0
23	Fogliano Marina	610	-12990	2959	0	0	0	-12990
24	Miramare	6190	-270310	51279	0	19665	-19665	-250645
25	Rimini Centro	1350	-64644	17161	0	0	0	-64644
	Totale	19390	-423529	110892	641009	162234	478775	-902304

DV variazione di volume tra il 2006-2012

Vsub volume sottratto per subsidenza

Vrip volume portato a ripascimento

Vpre volume prelevato

Vimm=Vrip-Vpre, volume immesso al netto dei prelievi

Vaspe=DV-Vrip+Vpre variazione di volume effettiva

Sul lato mare delle scogliere, in una fascia di 200 m, sono avvenuti grandi spostamenti di materiale: si osserva un forte accumulo di sedimento nella zona confinata tra la darsena e le prime due scogliere, una forte perdita tra la quarta e la settima scogliera e un consistente accumulo nella restante parte. Nell'ambito del "Monitoraggio degli effetti indotti sul litorale dalla nuova darsena di Cattolica", eseguito dall'Unita Mare e Costa di Arpa nel periodo 2007-2012, si è potuto verificare che questa migrazione di sabbia è stata determinata dalla costruzione della nuova darsena di Cattolica. A tre anni di distanza dalla costruzione di quest'opera i fondali hanno raggiunto un nuovo profilo di equilibrio e il fenomeno sopradescritto si è notevolmente ridotto (Arpa, 2012 b).

Nel tratto di spiaggia di Cattolica dalla decima scogliera fino alla pocket beach di Porto Verde (celle 4, 6, 8, 10) si è verificata una perdita di mate-

riale. Con gli interventi di ripascimento sono state stabilizzate le celle 4, 8 e 10 (Tabella 13), mentre nessun ripascimento è stato effettuato nella cella 6, che infatti risulta in erosione rispetto al 2006. La linea di riva in questo tratto è rimasta invariata tranne nei 200 m a sud e nei 250 m a nord del torrente Ventena, dove è arretrata di circa 15-20 m.

Davanti alla scogliera radente di Porto Verde (cella 11) è stato rilevato un accumulo di sedimento, determinato dal riempimento della fossa che si era creata nel periodo 2000-2006.

La spiaggia di Misano protetta dai pennelli in roccia (cella 12) ha continuato nell'ultimo periodo ad essere in forte erosione. Per contrastare il processo erosivo, tra il 2006 e il 2012 sono stati portati a ripascimento 262.579 mc di sabbia (Tabella 13). Di questi, 149.000 mc sono stati apportati nel 2007 nell'ambito del progetto di "Intervento di messa in

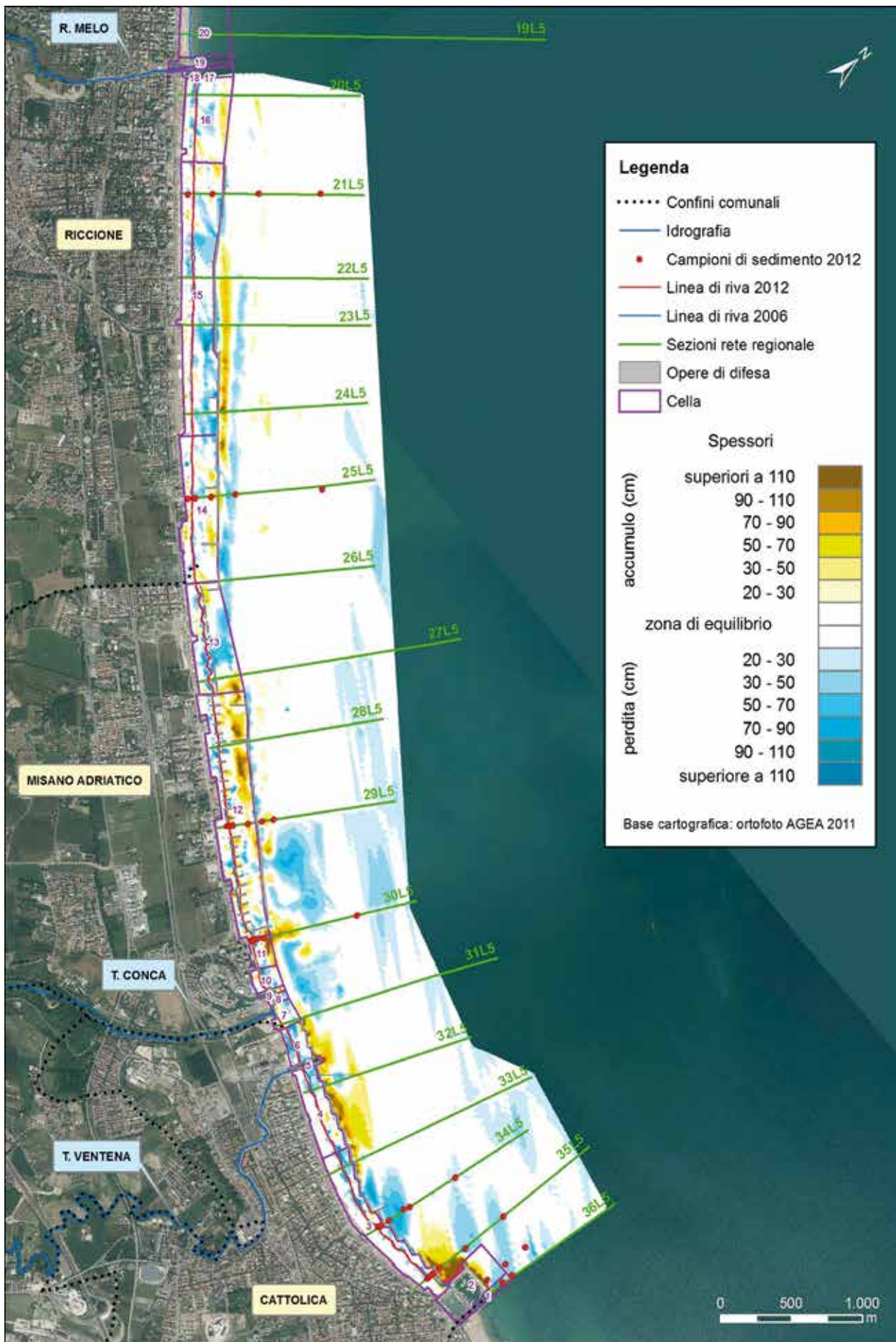


Figura 41 - Cattolica – Porto di Riccione: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012.

sicurezza di taluni tratti critici del litorale emiliano-romagnolo, interessati da erosione e subsidenza, mediante ripascimenti con sabbie sottomarine” nel quale sono stati prelevati circa 800.000 mc di sabbia da un giacimento sottomarino presente al largo di Ravenna a 40 m di profondità, e refluiti su 7 spiagge del litorale emiliano-romagnolo in forte criticità (AAVV, 2011).

La variazione di volume di sedimento nella cella 12 è stata pari a +68.000 mc e questo significa che i volumi portati a ripascimento (262.579) hanno compensato sufficientemente le perdite determinate dalla subsidenza (circa 5000 mc, Tabella 13) e dal trasporto solido longshore e crossshore.

Dalla mappa di Figura 41 si osserva un accumulo di sedimento soprattutto sui fondali a ridosso della barriera in sacchi. Gli eventi di mareggiata e l'elevata riflessione dei pennelli in roccia hanno determinato infatti un notevole spostamento di sabbia dalla battigia (dove vengono usualmente

effettuati i ripascimenti) ai fondali prossimi alla barriera in sacchi.

Nel tratto più a nord del litorale di Misano, difeso da 7 scogliere parallele emerse (cella 13, Figura 41), nel periodo 2006-2012, si è verificata una perdita di volume di circa 24.000 mc, di cui 13.000 mc a largo delle scogliere e 11.000 tra la spiaggia emersa e le scogliere. Nella zona dei tomboli dove tende ad accumularsi sedimento, tra il 2006 e il 2012 sono stati prelevati 18.879 mc di sabbia per favorire la circolazione dell'acqua, mentre nel tratto a ridosso del confine con Riccione, dove inizia la falcata erosiva determinata dalle scogliere, sono stati portati a ripascimento 19.000 mc di sabbia.

Il litorale di Riccione sud (celle 14, 15 e 16, Figura 41), lungo 2400 m, è soggetto a perdita di materiale in quanto dominato dal forte trasporto solido sud-nord e perché collocato in posizione



Figura 42 - Molo di Rimini: evoluzione della linea di riva dal 1943 al 2006.

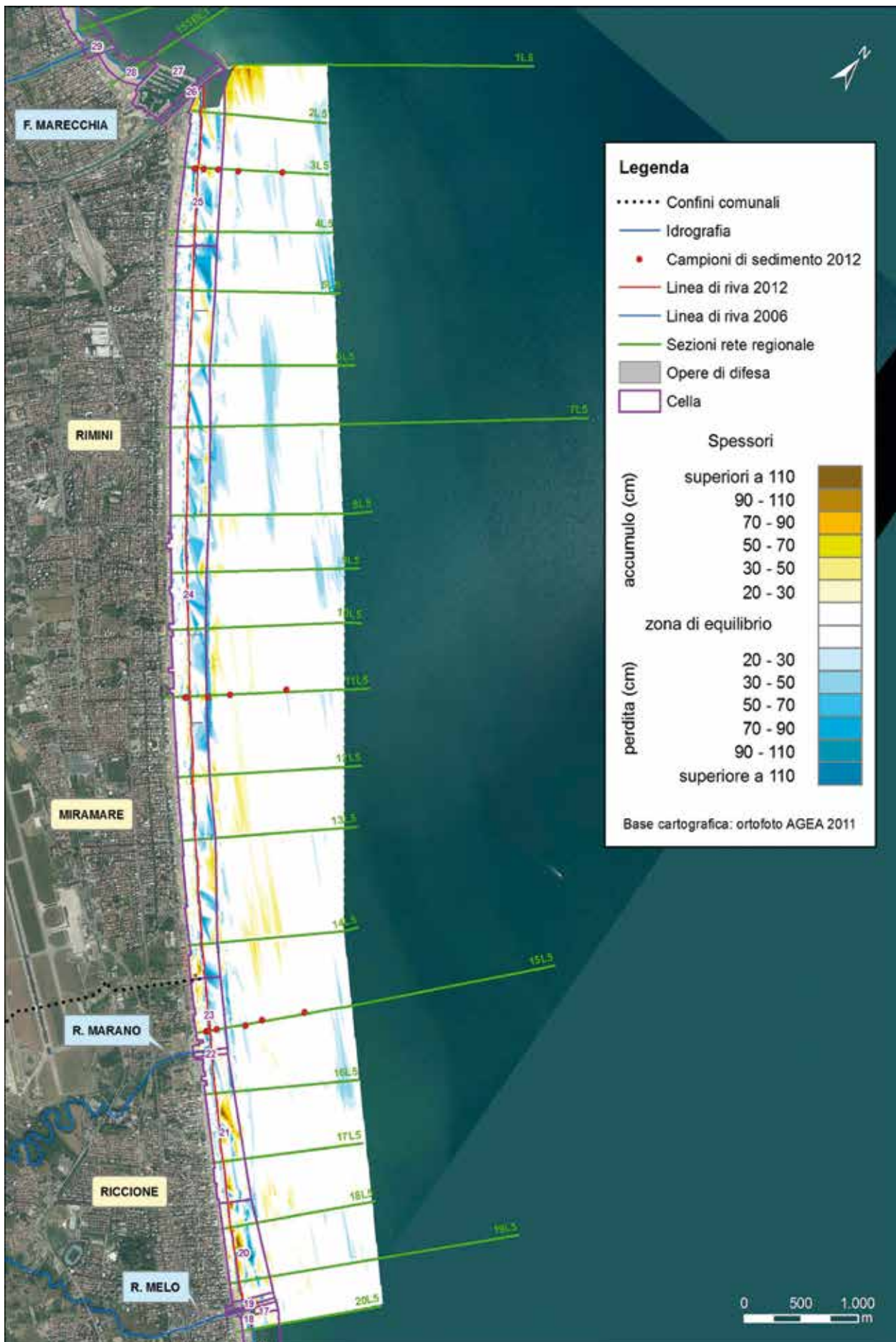


Figura 43 - Porto di Riccione – Molo di Rimini: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012.

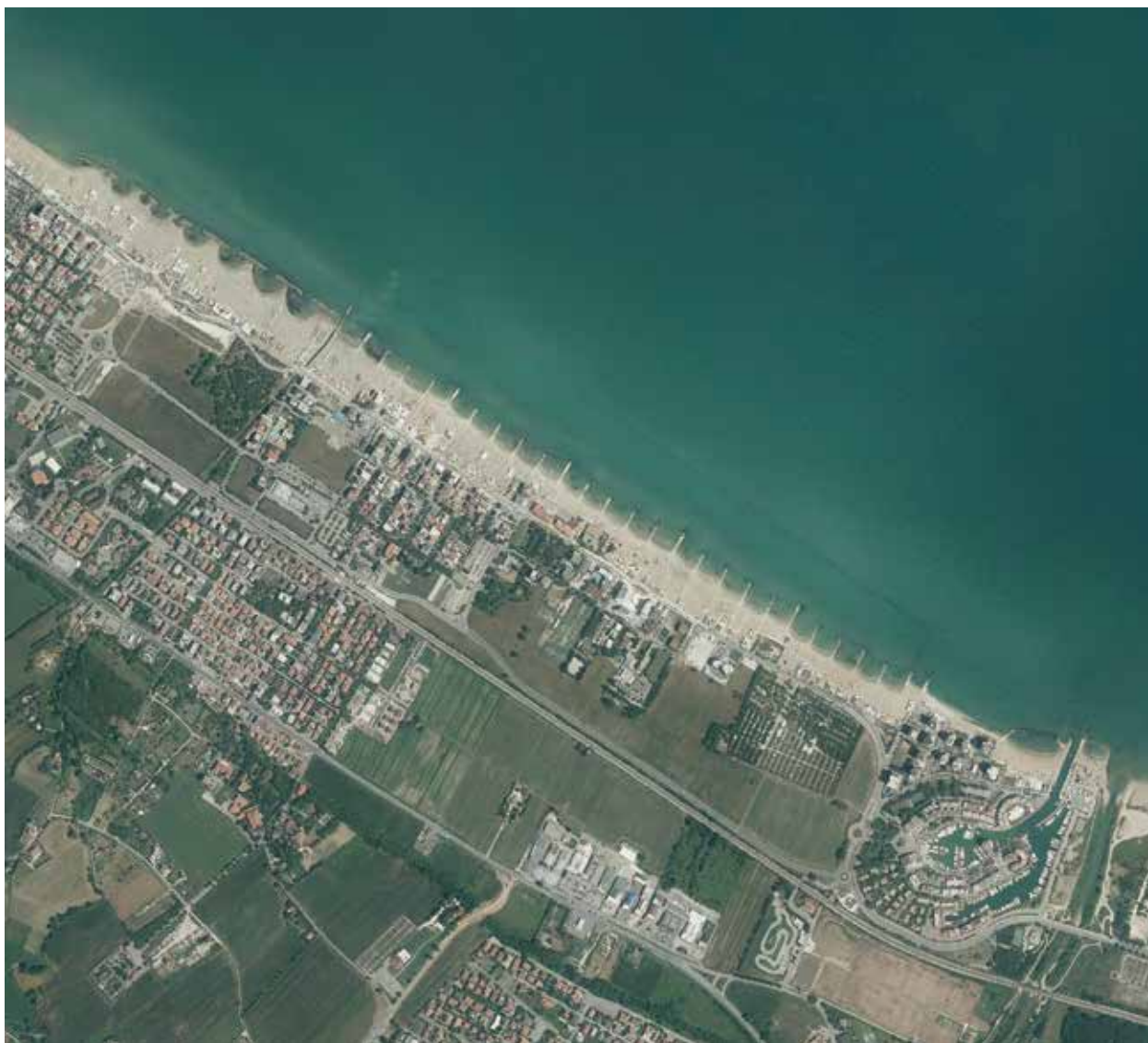


Figura 44 - Litorale di Misano (Volo Agea 2011).

sottoflutto ad una serie di opere rigide. Nel periodo 2006-2012 per far fronte a questo trend erosivo sono stati effettuati diversi interventi di ripascimento.

Nella cella 14 sono stati portati a ripascimento quasi 280.000 mc di sabbia, di cui 105.000 mc provenienti da depositi sottomarini. I volumi di sabbia apportati sono risultati sufficienti per stabilizzare questo tratto di costa, infatti la perdite calcolate sono trascurabili (Tabella 13).

Nella cella 15 sono stati portati circa 50.000 mc di sabbia, in questo caso però i volumi apportati non hanno compensato quelli erosi, infatti nel periodo 2006-2012 è stata registrata una perdita volumetrica di circa 80.000 mc (43 mc/m, Figura 41 e Figura 46).

Infine, nel tratto di litorale di 570 m subito a sud del porto di Riccione (cella 16) è stato sufficiente un unico intervento di ripascimento di 4.000

mc, realizzato nel 2006, per contenere le perdite e mantenere stabile la costa (le perdite calcolate sono solo di 5 mc/m). Il tasso erosivo di questo ultimo tratto è molto minore rispetto agli altri, a causa dell'effetto 'benefico' del trasporto di sabbia proveniente da sud.

Davanti al litorale di Riccione sud, sui fondali oltre la batimetrica dei 4 m, non ci sono stati variazioni morfologiche significative, infatti la variazione di quota è risultata compresa nel range considerato in equilibrio (± 20 cm, Figura 41). La zona a ridosso della barriera in sacchi è caratterizzata, invece, da una prima fascia in accumulo e una seconda in erosione, questo è dovuto alla migrazione della barra sommersa verso la barriera in sacchi (Figura 47). La linea di riva non ha subito variazioni significative.

Il litorale di Riccione a nord del porto (celle 20, 21 e 23, Figura 43) è rimasto stabile. Nella cella 20 (il

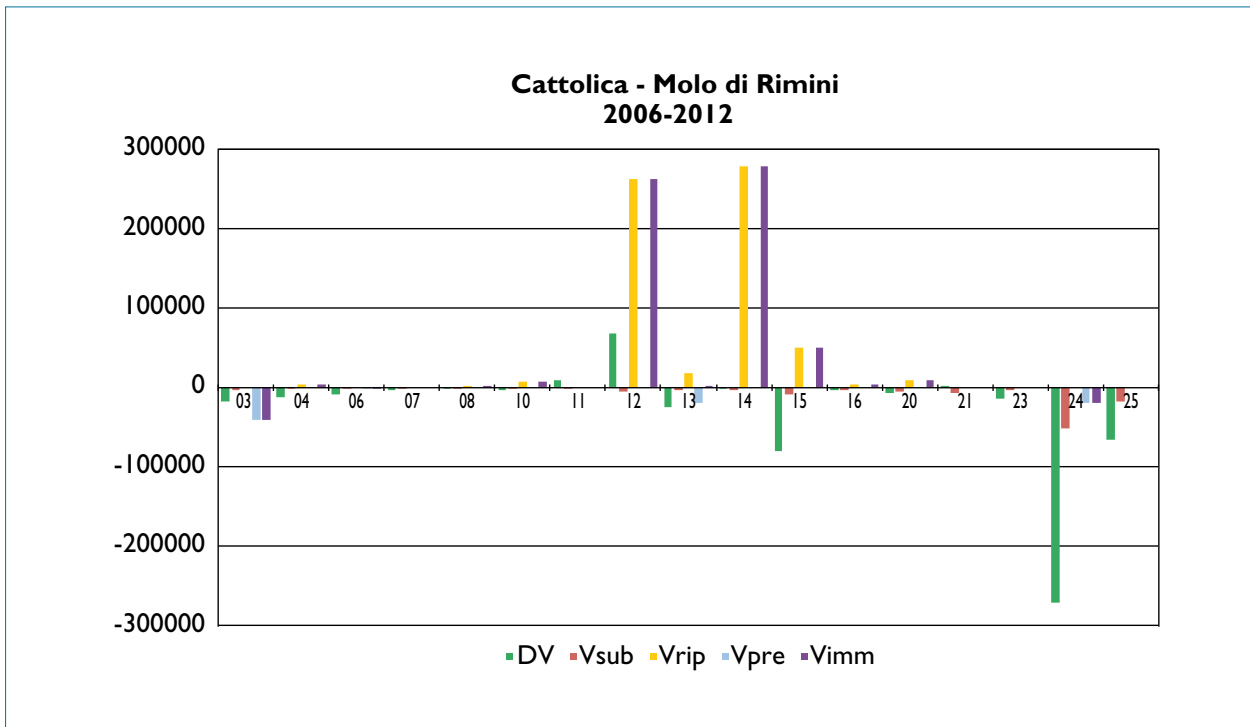


Figura 45 - Litorale Cattolica – Moli di Rimini (MI). DV:Variazione di volume;Vsub: perdite per subsidenza;Vrip: ripascimenti; Vpre: prelievi ;Vimm: volumi immessi. Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc).

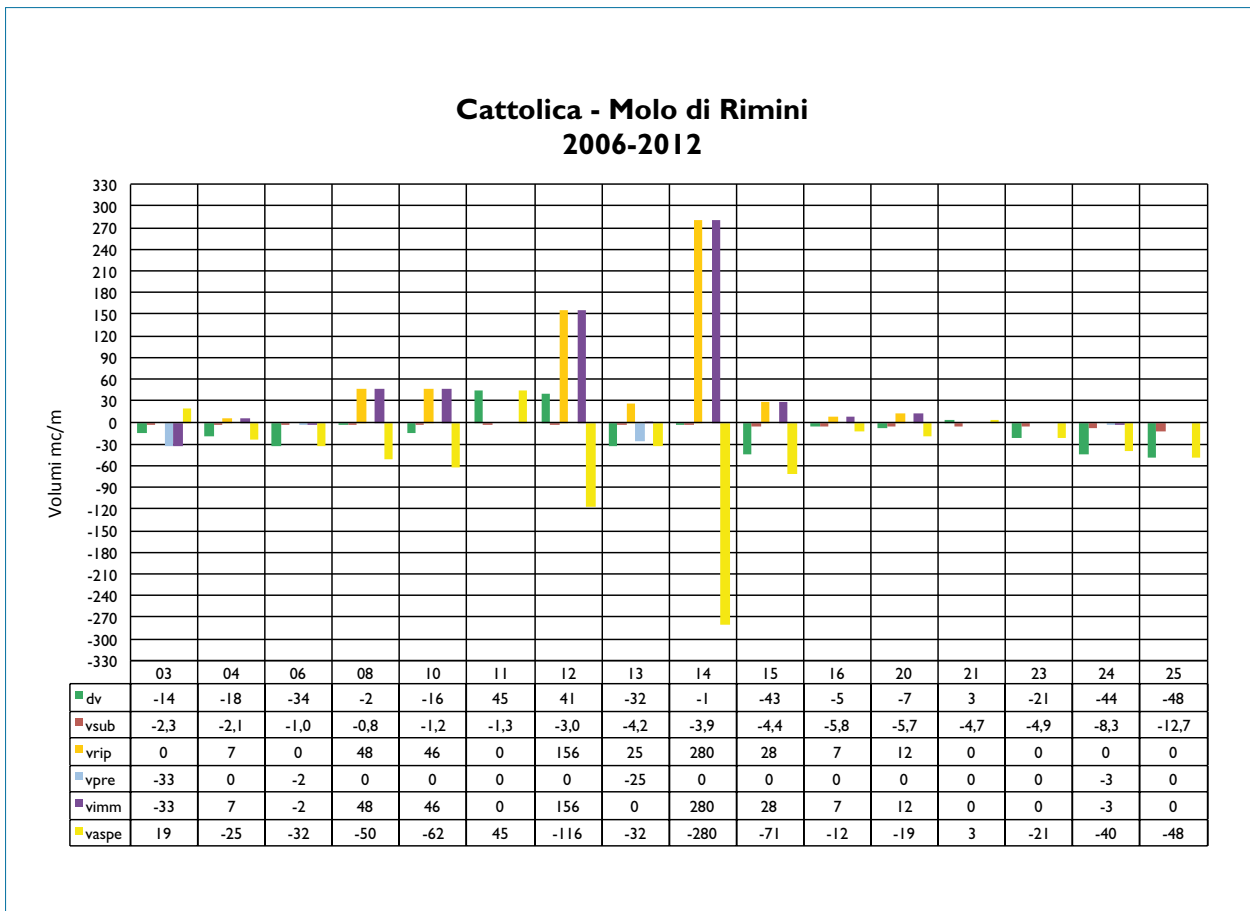


Figura 46 - Litorale Cattolica – Moli di Rimini (MI). Legenda: dv:Variazione di volume; vsub: perdite per subsidenza; vrip: ripascimenti; vpre: prelievi; vimm: volumi immessi; vaspe: variazioni di volume complessive ottenute come $dv-vrip+vpre$. Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc/m).

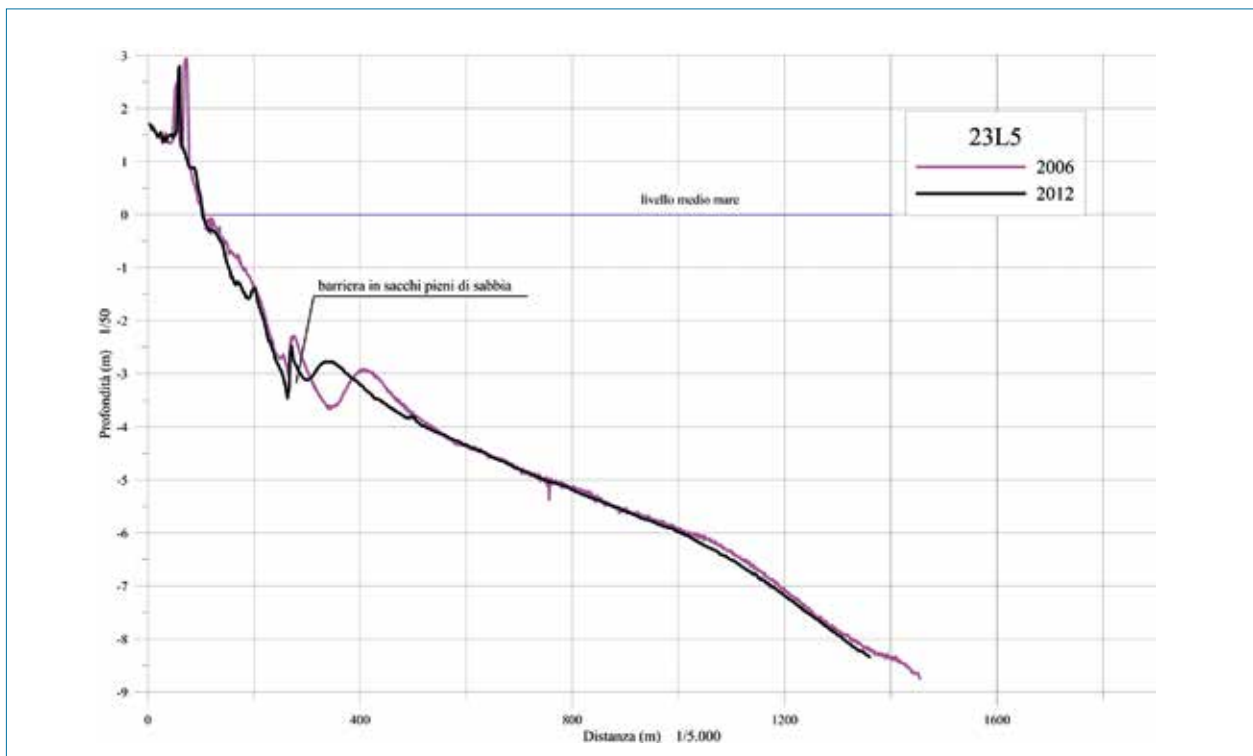


Figura 47 - Riccione Centro (Cella 15): Profilo 23 L5

primo tratto di litorale subito a nord del porto) sono stati effettuati alcuni ripascimenti di piccola entità, per un totale di circa 10.000 mc, che hanno determinato nei 500 m di spiaggia prossimi al porto un avanzamento della linea di riva di 10-15 m.

Sul litorale di Rimini, a sud del porto canale (celle 24 e 25, Figura 43), si è avuta una perdita di 335.000 mc di materiale sabbioso, che ha interessato in particolare la cella 24. Una parte delle perdite è dovuta alla subsidenza (circa 70.000 mc nell'intero tratto, Tabella 13). Nel periodo 2006-2011, i tassi di subsidenza di questo paraggio si sono ridotti rispetto a quelli precedenti, ma continuano ad essere i più alti di tutto il litorale che va da Cattolica al molo di Rimini.

Da quando è stata istituita la rete topo-batimetrica (1983) questo paraggio è sempre stato in accumulo in quanto beneficia dell'arrivo di materiale proveniente da sud, quindi è la prima volta che questo tratto di litorale risulta in erosione. Le perdite maggiori si sono verificate sulla spiaggia sommersa fino alla batimetrica dei -2,5/-3 m, mentre risultano molto modeste sulla spiaggia emersa. La linea di riva, infatti, non ha subito particolari arretramenti.

Questa situazione non sorprende: già nell'ambito

della 4^a Campagna topo-batimetrica del 2006 erano stati osservati una riduzione degli accumuli e un'interruzione dell'avanzamento della linea di riva fino ad allora continuo, almeno dal 1991 (Figura 42, Arpa, 2008). Nell'ultimo tratto a ridosso del molo era persino stato rilevato un arretramento. Questa spiaggia collocata a sud del porto canale di Rimini si presenta comunque in ottimo stato: l'ampiezza varia tra i 100 m e 200 m e la quota supera il metro e mezzo. Le perdite che si sono verificate, quindi, non destano per ora grosse preoccupazioni, tuttavia è importante continuare a tenerne monitorata l'evoluzione nei prossimi anni.

Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012

Il litorale di Cattolica, nel periodo 2006-2012, mostra un trend positivo come avveniva in quello precedente (2000-2006): i quantitativi di materiale prelevato nelle zone in accumulo, quali l'imboccatura del portocanale e la zona protetta dalle scogliere prossime alla darsena, compensano sufficientemente le perdite delle zone erosione.

Il litorale di Misano e di Riccione Sud nel periodo 2006-2012 come in quello precedente è in forte erosione o equilibrio precario.

Per il mantenimento di questo paraggio vengo-

no effettuati periodici interventi di ripascimento. Nel periodo 2006-2012 sono stati apportati circa 627.000 mc di sabbia, un quantitativo decisamente inferiore rispetto a quello del periodo precedente che ammontava a circa 960.000 mc.

Cambiamenti rispetto al periodo precedente sono stati osservati lungo il paraggio che va dal porto di Riccione ai moli di Rimini. In questo tratto si è verificata addirittura un'inversione di tendenza. Nel periodo 2000-2006 il bilancio era positivo di circa 580.000 mc, mentre tra il 2006 e il 2012 è stata rilevata una perdita di materiale di circa 350.000 mc.

La causa di questa inversione di tendenza può essere la riduzione degli apporti (pari a 333.000 mc) di sabbia a ripascimento dei litorali sopraflutto di Misano e Riccione sud, segnalato prima. Questi apporti, in funzione del trasporto solido litoraneo diretto da sud verso nord, sono la primaria fonte di alimentazione di questo paraggio.

Sintesi

Nel paraggio da Cattolica al molo di Rimini (macrocella 1), nel periodo 2006-2012, dal confronto tra i rilievi topo-batimetrici risulta esserci stata una perdita di sedimento di circa 420.000 mc. A questa perdita vanno aggiunti i circa 480.000 mc di sabbia portati a ripascimento delle spiagge in erosione e provenienti da fonti esterne al sistema litoraneo, per una perdita totale netta di circa 900.000 mc.

Rispetto al periodo 2000-2006, durante il quale era stato calcolato un accumulo netto di circa 970.000 mc dovuto in gran parte all'apporto esterno di sedimento (730.000 mc), è evidente una inversione di tendenza.

Di contro, è stato rilevato un dato positivo relativo al tasso di subsidenza e quindi alla 'perdita di materiale per subsidenza', che in base agli ultimi studi risulta in riduzione. Questa è passato dai 172.000 mc del periodo 2000-2006 ai 110.000 mc del periodo 2006-2012 (Figura 45), diminuendo così del 36%.

In definitiva, il litorale di Cattolica, nel periodo 2006-2012 continua ad avere un trend positivo come nel periodo 2000-2006.

Le spiagge di Misano e di Riccione Sud continuano, invece, ad essere in erosione e la loro esistenza è garantita da significativi e periodici interventi di ripascimento.

Lungo il paraggio che va dal porto di Riccione al molo di Rimini è evidente invece un peggioramento: tra il 2000 e il 2006 risultava in equilibrio o con tendenza all'accumulo, mentre tra il 2006 e il 2012 è stata rilevata una perdita di sedimento. Una delle cause di questa inversione di tendenza può essere la riduzione degli apporti di sabbia a ripascimento dei litorali sopraflutto di Misano e Riccione sud, da cui il materiale dovrebbe provenire grazie al trasporto solido litoraneo diretto da sud verso nord. Si precisa però che, pur avendo avuto un trend negativo, la spiaggia emersa si presenta in buone condizioni con ampiezza variabile tra gli 80 e i 200 m.

I sedimenti campionati tra Cattolica e Rimini (macrocella 1) sono formati prevalentemente da sabbia fine a tutte le profondità e risultano da moderatamente selezionati a poco selezionati (nei fondali più profondi). I campioni presentano prevalentemente asimmetria negativa sulla spiaggia emersa e positiva su quella sommersa. Generalmente i sedimenti raccolti sulla spiaggia emersa presentano un diametro medio maggiore perché contenenti anche discrete percentuali di sabbia media e subordinatamente di sabbia grossolana. Lungo le due sezioni poste a nord del Rio Marano (tra Riccione e Miramare) si osserva un aumento della componente di sabbia molto fine e silt, che si manifesta con una graduale diminuzione della granulometria all'aumentare della profondità e con contestuale peggioramento del grado di selezione.

4.2 Macrocella 2: Molo di Rimini - Molo di Cesenatico

Inquadramento

Il litorale che va dal molo di levante del porto canale di Rimini al molo di ponente del porto canale di Cesenatico è lungo 20.620 m. Questo tratto di litorale corrisponde alla macrocella 2 e comprende le spiagge di San Giuliano, Viserba, Viserbella e Torre Pedrera del comune di Rimini, l'intero litorale del comune di Igea Marina – Bellaria, San Mauro Pascoli, Savignano, Gatteo e la spiaggia del comune di Cesenatico, a sud del porto canale (Figura 48, Figura 49).

Fino ai primi anni del '900 le spiagge a nord e a sud del portocanale di Rimini avanzavano quasi simmetricamente, favorite dall'apporto solido del fiume Marecchia e dalla limitata lunghezza dei moli

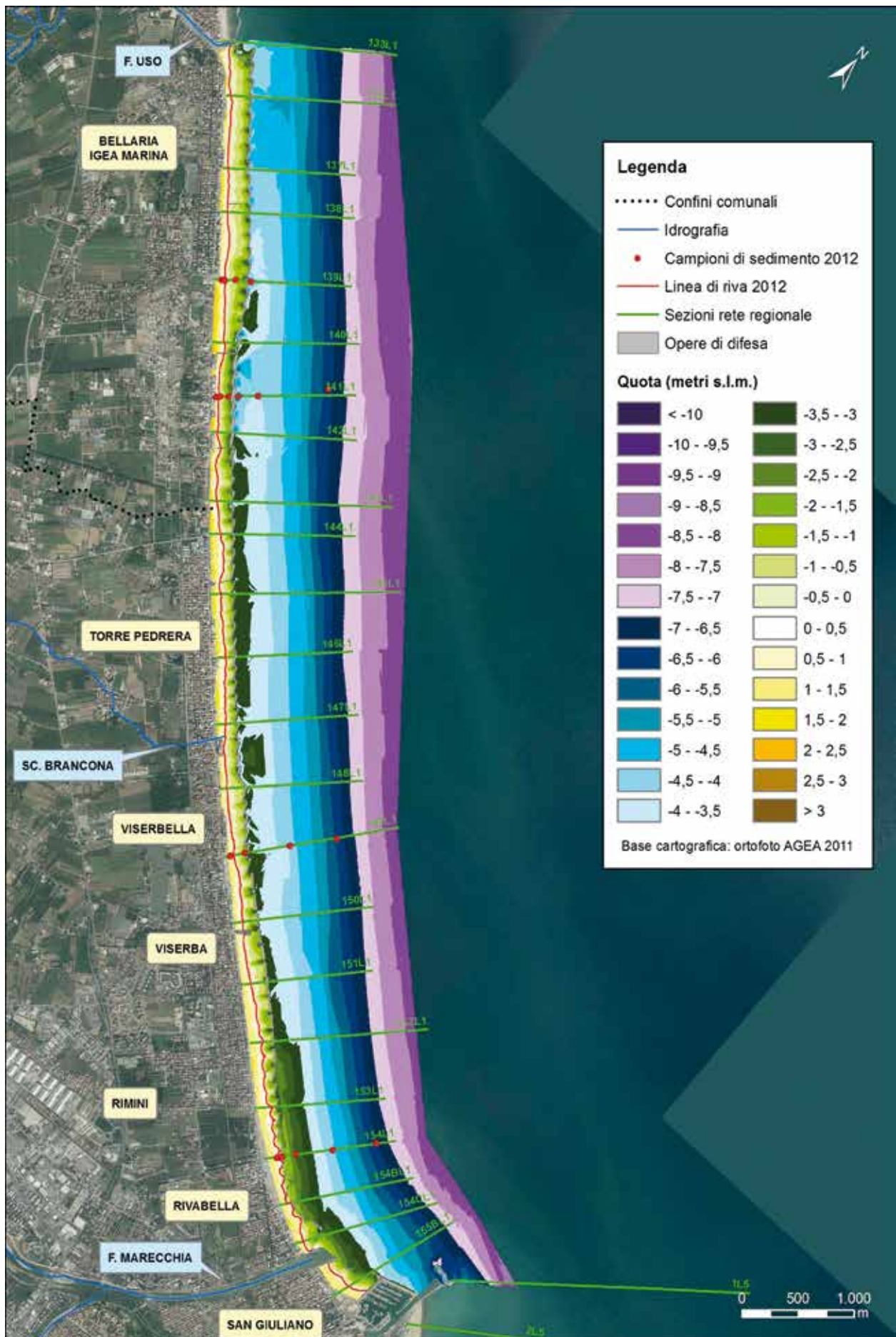


Figura 48 - Molo di Rimini – Foce Uso: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

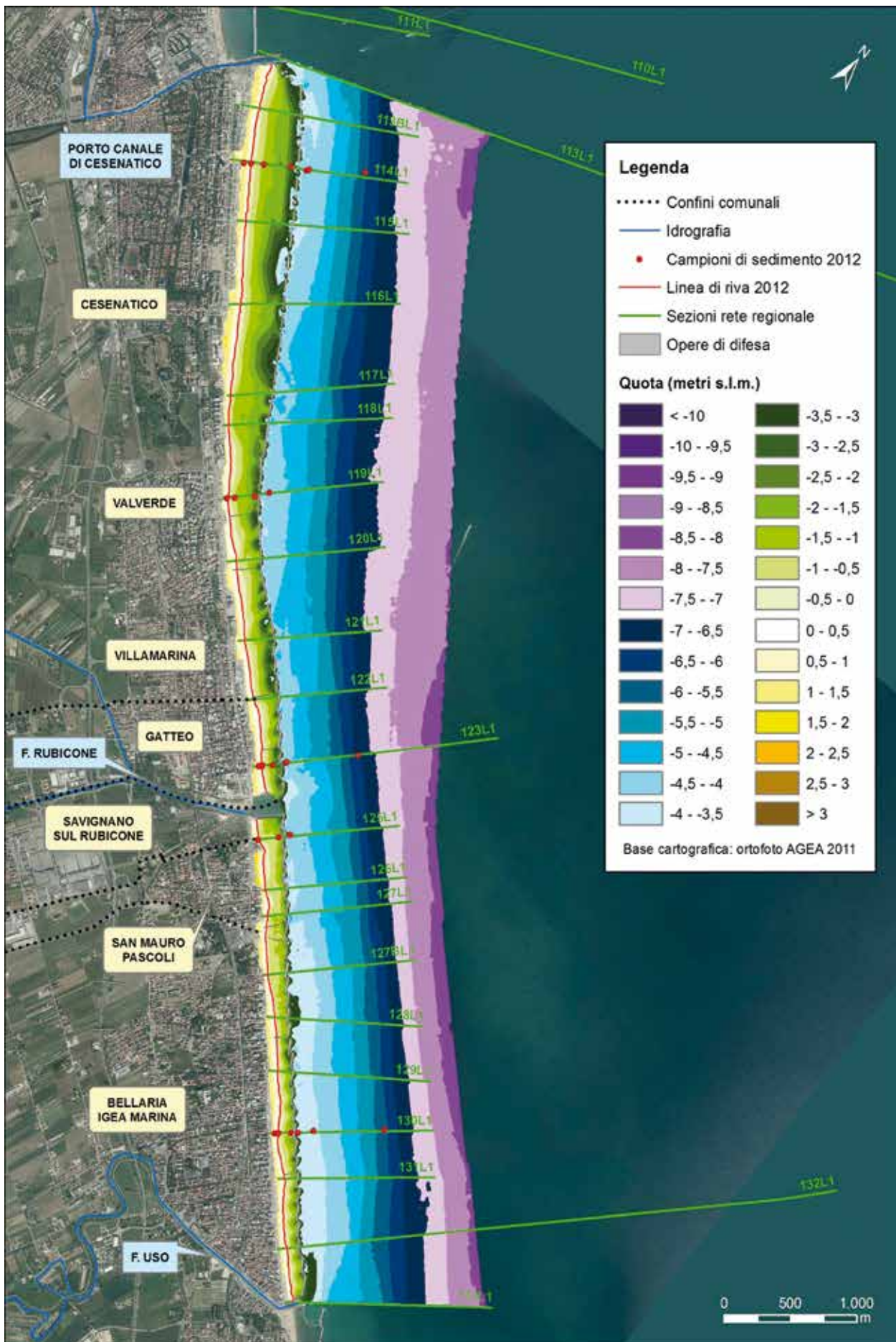


Figura 49 - Foce Uso – Molo di Cesenatico: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

che si estendevano entro alla linea dei frangenti. L'equilibrio delle due spiagge si è rotto quando il prolungamento del molo di levante, avvenuto nel secolo scorso, ha quasi interrotto il trasporto solido litoraneo, che in questo paraggio è diretto da sud verso nord, riducendo drasticamente l'interscambio sedimentario tra le due spiagge (Comune di Rimini, 2007).

Il blocco del trasporto lungo costa determinato dal molo di Levante, accompagnato dalla riduzione del trasporto solido fluviale dei tre fiumi che sfociano in questo tratto (Marecchia, Rubicone e Uso) hanno innescato un processo erosivo tale da dover difendere, nell'arco del XX secolo, l'intero paraggio con diverse tipologie di opere rigide (scogliere parallele, scogliere radenti, pennelli). Attualmente l'intero tratto, di circa 20 km, è difeso da una serie continua di scogliere parallele emerse. In due tratti di spiaggia, Igea Marina e Savignano, alcune scogliere emerse sono state ribassate, in via sperimentale, riducendo la quota di berma a livello medio mare allo scopo di migliorare la qualità dell'acqua di balneazione e ridurre la componente di fango che tende a depositarsi nella zona di calma al retro delle scogliere.

Stato del litorale al 2012

Il tratto di litorale compreso tra il porto canale di Rimini e la foce del Deviatore Marecchia (Figura 48) è occupato in parte dal porto turistico (la darsena realizzata nel 2000) e in parte dalla spiaggia di San Giuliano, ampliata con il materiale proveniente dal dragaggio del bacino della darsena.

La spiaggia di San Giuliano ha un'ampiezza media di 80-90 m ed è caratterizzata dalla presenza di un saliente in corrispondenza della scogliera a "L". Nel 2011, in sponda sinistra del molo di Levante è stata costruita una scogliera per ridurre il moto ondoso all'imboccatura del porto, in quanto in occasione di mareggiate provenienti dal I e IV Quadrante l'agitazione ondosa era tale da rendere difficile l'entrata dei pescherecci e delle imbarcazioni in porto.

I primi due chilometri di litorale a nord del Deviatore Marecchia risentono dell'apporto solido fluviale, infatti sono caratterizzati da un'ampia spiaggia emersa, larga mediamente 100 m, e con la battigia che tende a lambire le scogliere formando tomboli e salienti.

In questo tratto, i campioni di sedimento prelevati

lungo la sezione I54L1, entro la batimetrica dei 2 metri, sono composti per la maggior parte da sabbia fine, ma contengono anche una discreta percentuale di sabbia media (tra il 15-25%), mentre la pelite è sempre inferiore al 5% (Figura 48, Figura 50); nei sedimenti raccolti a -4 e a -6 m prevale ancora la sabbia fine, ma scompare la sabbia media in favore della sabbia molto fine (20-25%) e pelite (20-25%).

Per quanto riguarda i parametri sedimentologici, i campioni tra la spiaggia emersa e i 2 m di profondità hanno un diametro medio ricadente nel campo della sabbia fine (Figura 51, Figura 129) e una selezione da moderatamente buona a moderata ed infine risultano simmetrici (tranne quello a 2 m che presenta asimmetria positiva) (Figura 52, Figura 53). Alle maggiori profondità c'è una evidente diminuzione del diametro medio (Figura 51, Figura 129), peggioramento della cernita e accentuazione dell'asimmetria positiva. In corrispondenza del campione intermedio a 4 m di profondità si osserva un minimo relativo del diametro medio ($dm=4\phi$) e un forte peggioramento della selezione.

Procedendo verso nord l'ampiezza della spiaggia tende a degradare fino a ridursi a pochi metri nel tratto finale di Viserbella. In località Torre Pedrera la spiaggia si ripresenta ampia: con larghezza variabile tra gli 80 e i 100 m.

I fondali, come la spiaggia emersa, risentono dall'apporto solido fluviale del Marecchia. Nel paraggio davanti la spiaggia di San Giuliano e Rivabella, situate a ridosso del Marecchia, la batimetrica dei 3,5 m dista circa 250 m dalla linea delle scogliere, mentre al piede delle scogliere il fondale varia tra 1,5 m e i 2,5 m. Verso nord, la batimetrica dei 3,5 m tende ad avvicinarsi alle scogliere, e in alcuni tratti al piede delle scogliere si raggiungono i 3,5-4 m di profondità (Figura 54).

La batimetrica dei 7 m ha un andamento parallelo alla costa ed è distante circa 1 km dalla battigia.

I sedimenti campionati lungo la sezione I49L1, collocata sulla spiaggia di Viserbella (Figura 48, Figura 50), sono costituiti da prevalente sabbia fine, con contenuto in sabbia media <20% nella spiaggia emersa e percentuali progressivamente crescenti di sabbia molto fine e pelite nella spiaggia sommersa (30-50 e 10-30% rispettivamente).

I campioni presentano un granulo medio che diminuisce gradualmente con l'aumentare della profon-

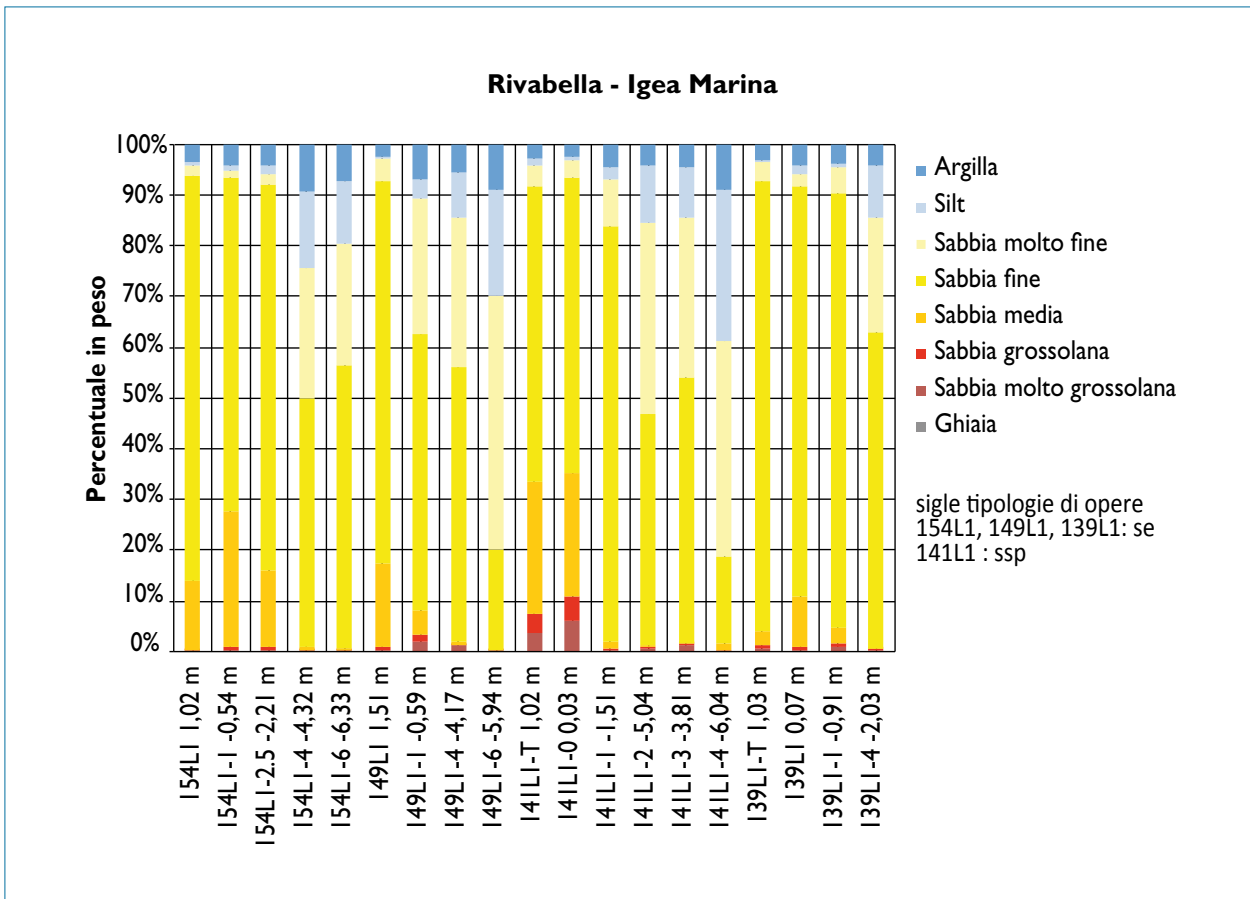


Figura 50 - Istogramma delle analisi granulometriche effettuate sui campioni prelevati tra Rimini e Igea Marina nel 2012; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli.

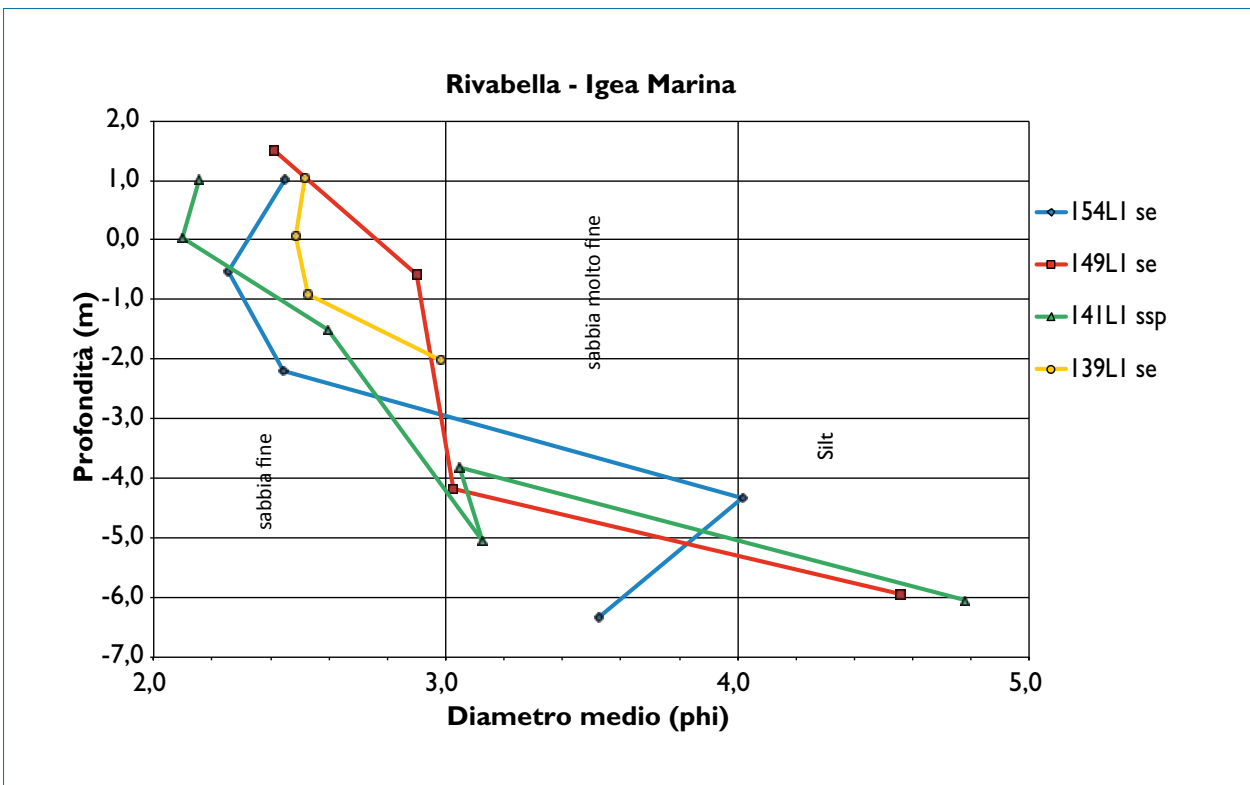


Figura 51 - Diametro medio dei campioni prelevati tra Rimini e Igea Marina nel 2012; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli.

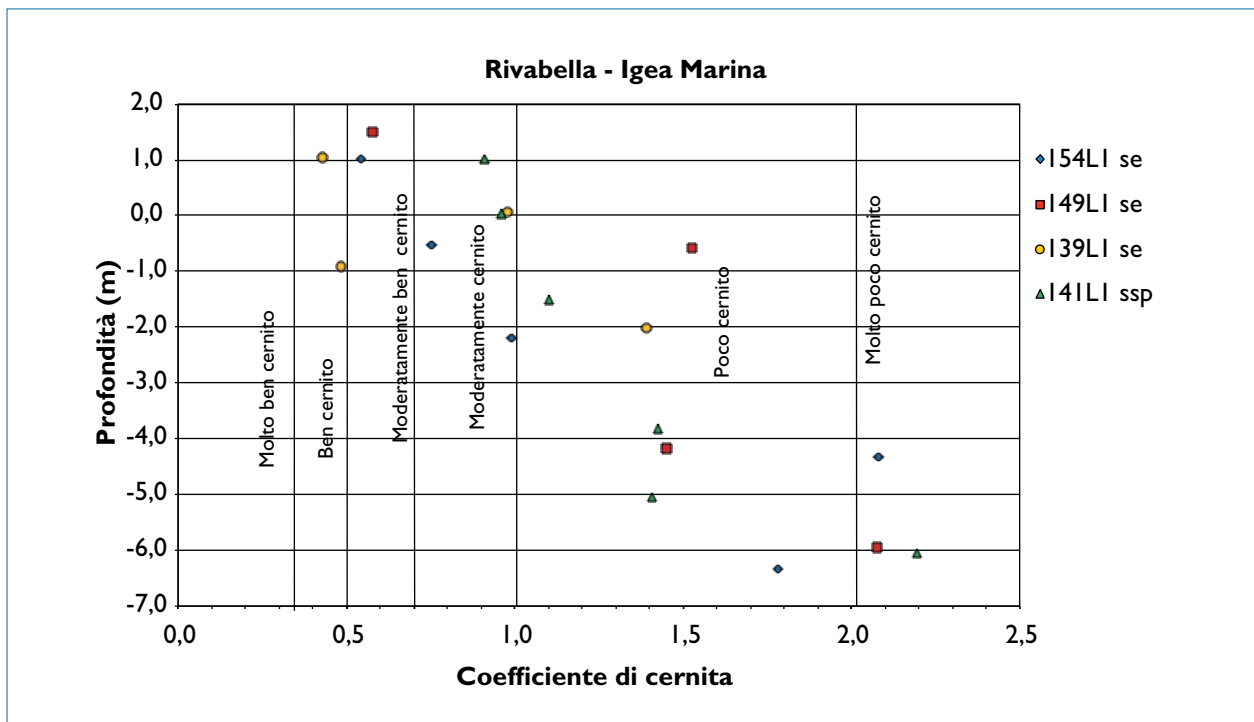


Figura 52 - Coefficiente di cernita dei campioni prelevati tra Rimini e Igea Marina nel 2012; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli.

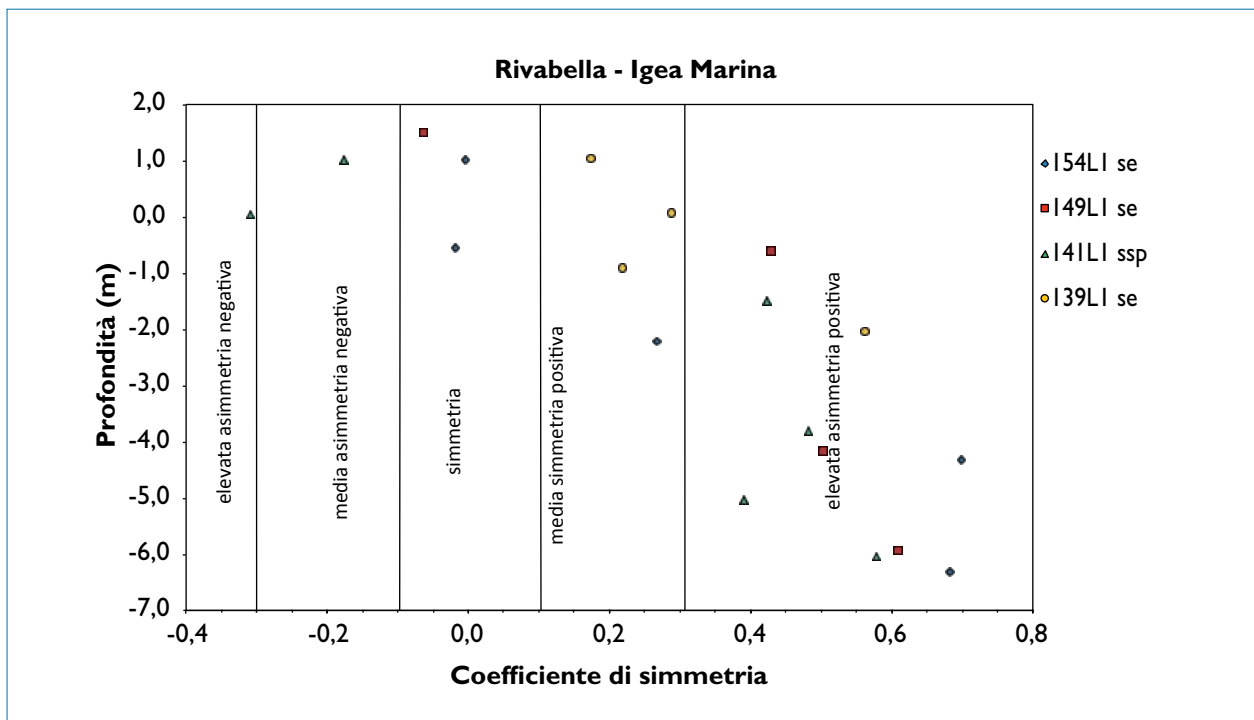


Figura 53 - Coefficiente di asimmetria dei campioni prelevati tra Rimini e Igea Marina nel 2012; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli.

dità variando dalla sabbia fine a terra al silt a -6 m. Il grado di selezione peggiora verso il largo e, contestualmente, i sedimenti passano dalla simmetria sulla spiaggia emersa a una asimmetria positiva sempre più accentuata alle maggiori profondità (Figura 51, Figura 52, Figura 53). Rispetto ai sedimenti campionati a Rivabella sul-

la sezione 154LI, si rilevano varie analogie (vedi i campioni raccolti sulla spiaggia emersa e alla profondità di 4 metri) ma anche significative differenze che riguardano i campioni raccolti alla profondità di 0,5 m, dentro le scogliere e al largo, alla batimetrica di 6 metri. Il campione raccolto a Viserbella a -0,5 m, all'inter-

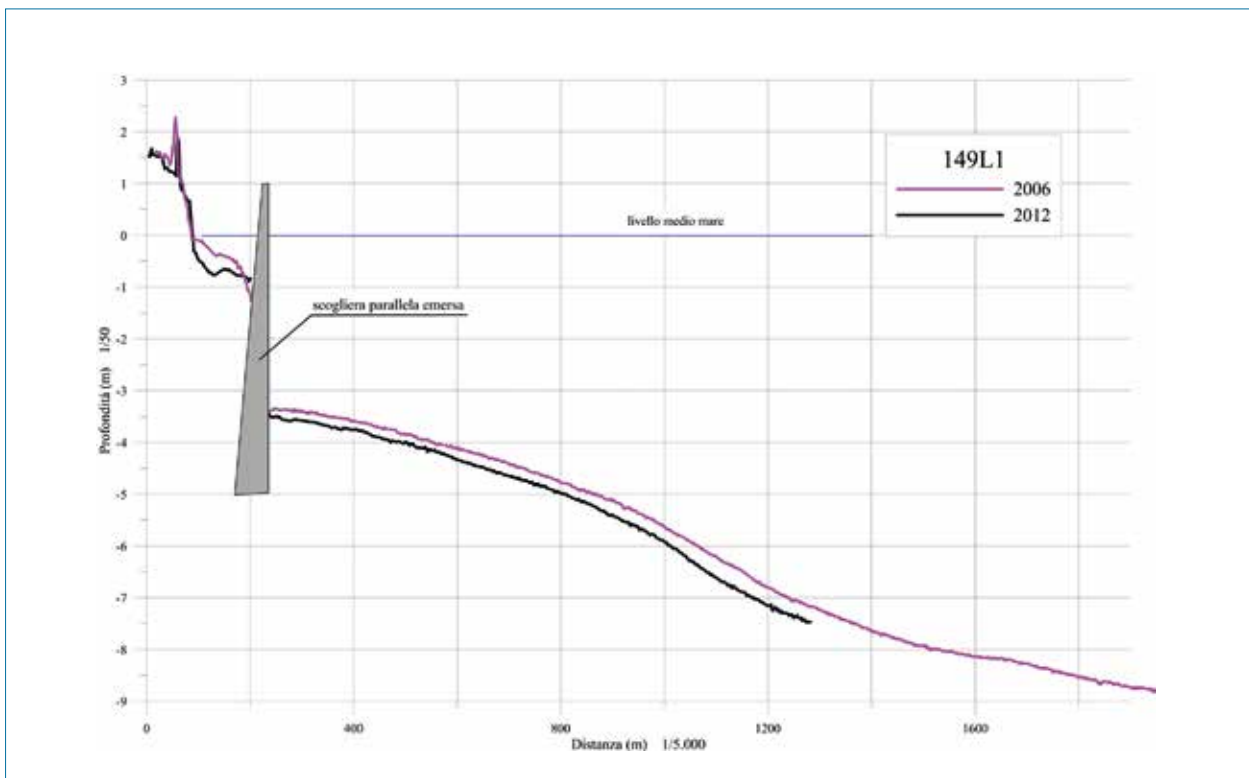


Figura 54 - Viserbella (cella 35): Profilo 149 L.

no delle scogliere, (149LI-I, Figura 55) è, infatti, diverso rispetto a quello posto alle medesime profondità e all'interno delle scogliere sulla sezione 154LI (154LI-I) e presenta più somiglianze con i sedimenti prelevati a 4 e 6 m di profondità a Rivabella (Figura 50). Ciò accade perché esso è collocato in una zona di bassa energia dietro le scogliere di Viserbella, mentre quello di Rivabella è posto in corrispondenza di un varco tra scogliere dove l'energia del moto ondoso è maggiore (Figura 55). Il campione collocato a 6 m di profondità a Viserbella presenta una granulometria più fine rispetto al corrispettivo di Rivabella, aspetto che, come si può notare osservando la Figura 129, diventa caratteristico dei fondali al largo del restante tratto costiero appartenente alla macrocella 2, fino a Cesenatico.

La spiaggia di Igea Marina (lunga 4 km), che va dal confine del comune di Rimini alla foce dell'Uso, ha un'ampiezza variabile (tra i 30 m e i 100 m) condizionata soprattutto dalla presenza o meno di strutture e edifici. Il paraggio è interamente difeso da scogliere emerse, a eccezione di un tratto di spiaggia lungo 800, nella zona delle colonie, difeso da una scogliera a cresta bassa confinata tra due pennelli in roccia. Questa opera è stata realizzata, in via sperimentale, nel 2003, ribassando ed ampliando 6 scogliere parallele emerse.

Dalla carta batimetrica (Figura 48) è evidente il diverso comportamento di questa tipologia di opera rispetto alle scogliere parallele emerse. In questo tratto, la spiaggia presenta una la linea di riva più arretrata e un fondale più profondo tra la battigia e l'opera di difesa.

Al piede delle scogliere, lato mare, il fondale raggiunge in alcuni tratti anche i 4,5 m. La batimetrica dei 7 m, come per il tratto sud, è distante circa 1 km dalla battigia.

Per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali dei sedimenti raccolti in questa zona (sezione 141LI, Figura 48, Figura 50), si osserva anche qui una diminuzione della granulometria con l'aumentare della profondità e un peggioramento della cernita. Il coefficiente di asimmetria è negativo per i campioni prelevati sulla spiaggia emersa e positivo per quelli collocati sui fondali. Nel dettaglio si osserva che i campioni prelevati all'interno di queste scogliere ribassate sono più grossolani e lievemente meno selezionati (Figura 48, Figura 50, Figura 51) rispetto a quelli raccolti più a sud, lato terra alle scogliere emerse di Rivabella e Viserbella, o nei campioni raccolti a nord, lungo la sezione 139LI, che verranno descritti di seguito. In particolare, sulla spiaggia emersa e sulla battigia (141LI-T, 141LI-0) i sedimenti oltre a essere composti da un 60-70% di



Figura 55 - Ubicazione dei campioni raccolti nel 2012 in prossimità della riva a Rivabella e Viserbella.

sabbia fine, contengono anche un 25% di sabbia media e circa un 10% di sabbia grossolana, molto presumibilmente portata artificialmente, nell'ambito del suddetto intervento sperimentale. Altro aspetto sedimentologico da evidenziare è l'esistenza di un minimo relativo della granulometria in corrispondenza del campione I41LI-2 raccolto in un punto particolarmente profondo (circa 5 metri) esternamente alla scogliera ribassata. I tre campioni prelevati dalla spiaggia sommersa nell'area antistante le scogliere ribassate sono caratterizzati da contenuto in sabbia fine in diminuzione (da 5 a <20%) e dall'aumento progressivo verso il largo del contenuto in sabbia molto fine (30-40%) e in pelite (15-39% circa). Sono diversi invece i 4 campioni raccolti tra la spiaggia emersa e i 2 m di profondità lungo il già citato profilo I39LI, collocato più a nord in corrispondenza di un tratto difeso da scogliere emerse. Tali sedimenti per la prevalenza di sabbia fine (>80-85%) tendono ad assomigliare a quelli delle spiagge e dei fondali meno profondi di Rivabella e Viserbella, con la differenza che la componente di sabbia media qui appare molto ridotta. Anche lungo tale sezione all'aumentare della profondità il diametro medio tende a diminuire, il grado di selezione peggiora e l'asimmetria, positiva in tutti i campioni, è più accentuata in quello raccolto a -2 m al di fuori della scogliera.

Nel tratto di litorale, lungo circa 3.500 m, compreso tra la foce del fiume Uso e quella del Rubicone, sono comprese le spiagge di Bellaria (2.690 m), San Mauro (700 m) e Savignano (155 m). Questo paraggio, anche se difeso da una serie continua di scogliere parallele emerse separate da soglie in roccia di recente costruzione, continua ad avere delle spiagge larghe a tratti solo 30 m, con punti più ampi di 70 m al massimo.

Nel 2002, la prima scogliera in destra al Rubicone è stata modificata portando la quota della berma a livello medio mare. Come per la scogliera a cresta bassa realizzata a Igea Marina, anche in questo caso, la riduzione di quota della scogliera se da una parte ha garantito una maggior circolazione dell'acqua di balneazione, dall'altra ha determinato un arretramento della linea di riva e un approfondimento del fondale tra battigia e scogliera (Figura 49). Inoltre, sui fondali al piede delle scogliere lato mare la riflessione delle onde sulle opere, la mancanza di alimentazione di sedimento lungo costa e il modesto apporto sedimentario dei fiumi Uso e Rubicone, hanno determinato un notevole approfondimento, fino ai 4-5 m di profondità. In Figura 56, dove è riportato il profilo di spiaggia di Bellaria rilevato lungo la sezione topo-batimetrica I30LI, è possibile notare il gradino morfologico che si è creato sul fondale ai lati delle scogliere.

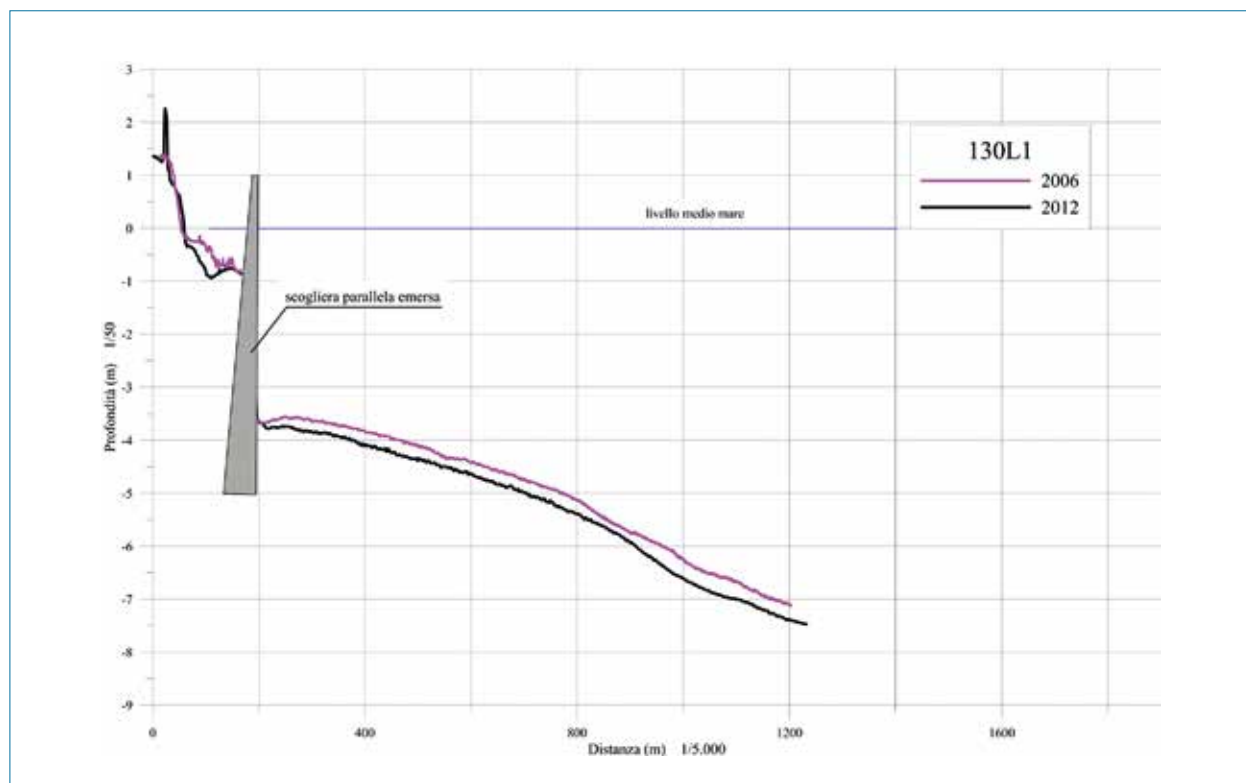


Figura 56 - Bellaria (cella 41): Profilo I30LI.

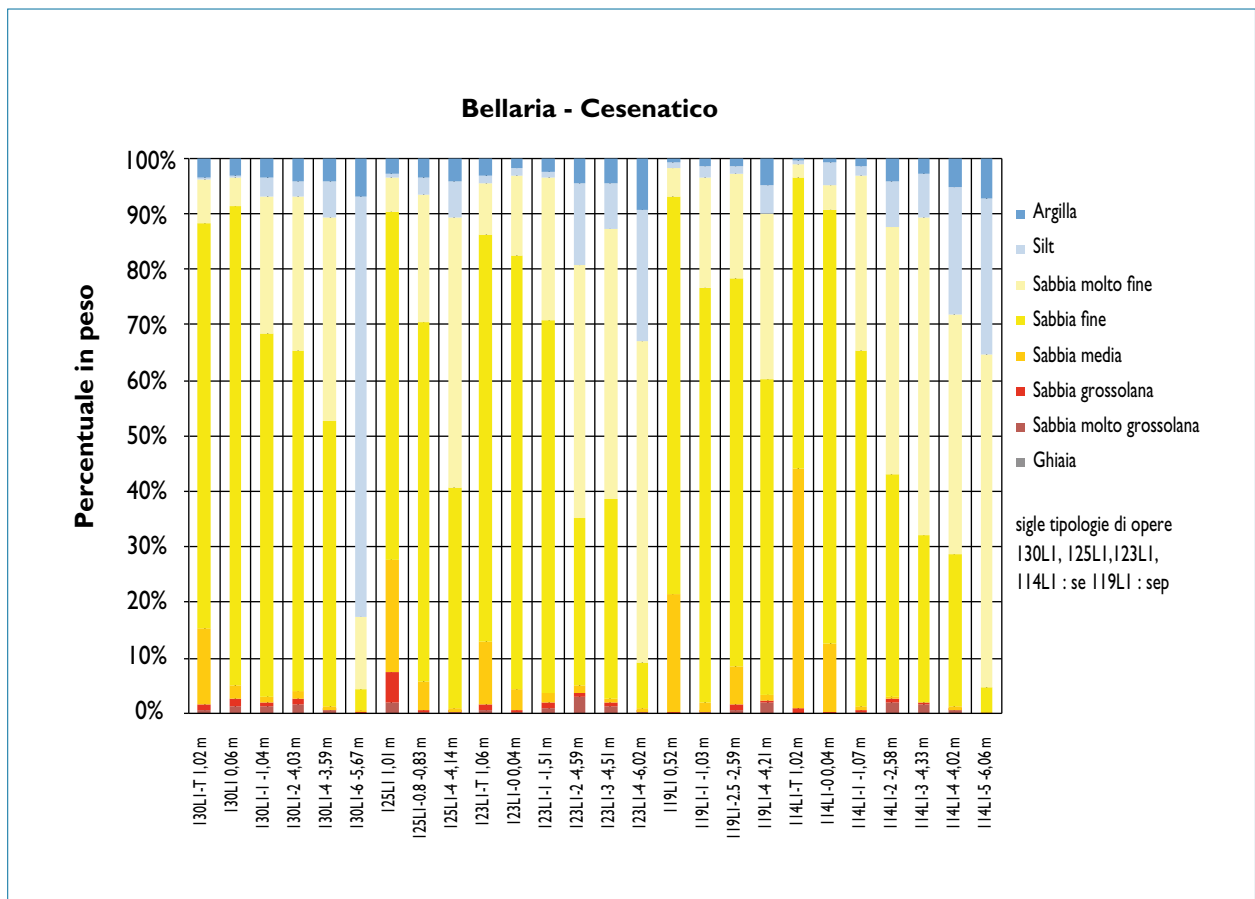


Figura 57 - Istogramma delle analisi granulometriche effettuate sui campioni prelevati nel 2012 tra Bellaria e Cesenatico; se: scogliere emerse; sep: scogliere emerse e pennelli.

La batimetria dei 7 m dista circa 1000 m dalla battigia lungo il tratto in questione

La composizione granulometrica dei 5 campioni compresi tra la spiaggia emersa e la batimetria dei 4 m lungo la sezione 130LI, è del tutto paragonabile a quella dei sedimenti campionati nelle spiagge più a sud e in particolare a quella di Igea Marina (sezione 139LI). Il campione più al largo (130LI-6), si distingue invece per un'elevatissima percentuale di pelite (>80%), forse a causa della vicinanza con la foce del fiume Uso, rispetto alla quale esso si trova sottoflutto.

In generale, anche qui, il diametro medio diminuisce all'aumentare della profondità (da sabbia fine a silt) (Figura 58).

Solo il campione raccolto sulla battigia è ben selezionato, mentre gli altri sono poco selezionati con peggioramento verso il largo (Figura 59).

I sedimenti sulla spiaggia emersa e quello a - 6 m (con granulo medio siltoso) risultano simmetrici, mentre gli altri, alle profondità intermedie,

presentano tutti asimmetria positiva (Figura 60). I tre campioni prelevati a Savignano (sezione 125LI), a sud della foce del fiume Rubicone, tra 1 m di quota e la batimetria dei 4 m, presentano granulometria decrescente (da sabbia fine a sabbia molto fine, Figura 58) e peggioramento della cernita con l'aumentare della profondità. L'asimmetria è negativa nel campione prelevato sulla spiaggia emersa e positiva nei due raccolti su quella sommersa (Figura 59, Figura 60).

Tra la foce del Rubicone e il molo di levante del porto canale di Cesenatico troviamo le spiagge di Gatteo (700 m), Villamarina (880 m), Valverde (1.750 m) e Cesenatico (2.015 m).

Questo paraggio è difeso da una serie continua di scogliere parallele emerse e da alcune isole in roccia. Sulla spiaggia di Valverde di Cesenatico erano presenti 7 pennelli in roccia e alcune piccole barriere radenti in roccia che sono state salpate tra il 2009 e il 2010. La loro rimozione ha determinato un riallineamento della linea di riva dell'intero tratto difeso.

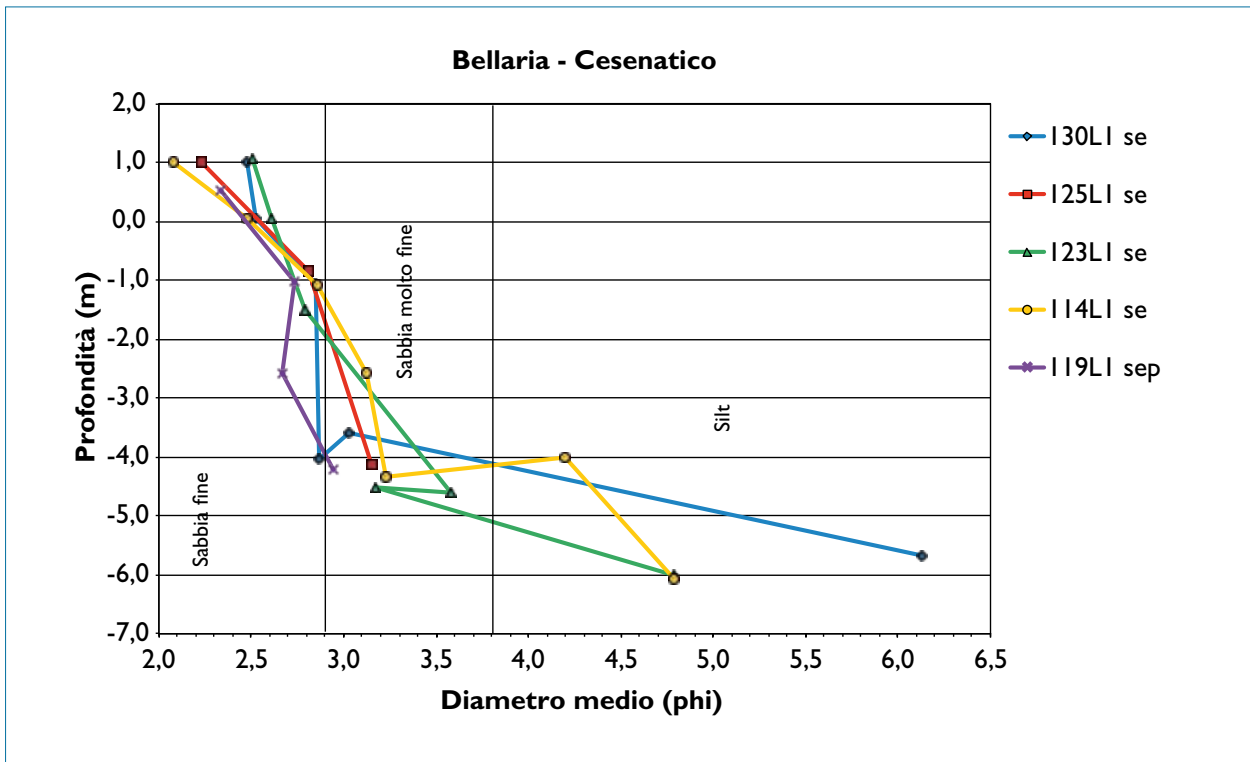


Figura 58 - Diametro medio dei campioni raccolti nel 2012 tra Bellaria e Cesenatico; se: scogliere emerse; sep: scogliere emerse e pennelli.

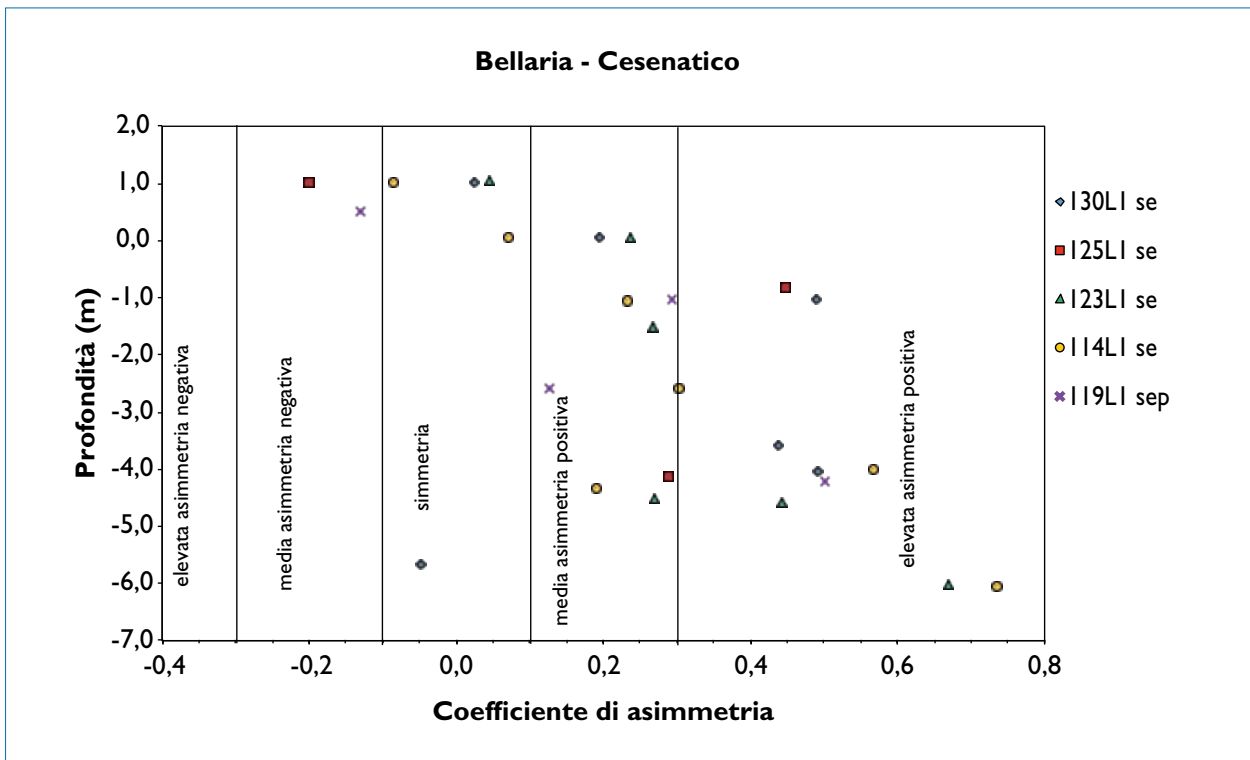


Figura 59 - Coefficiente di cernita dei campioni raccolti nel 2012 tra Bellaria e Cesenatico; se: scogliere emerse; sep: scogliere emerse e pennelli.

Anche in questa zona, a causa dell'assenza di alimentazione sedimentaria, le spiagge sono poco ampie (30-80 m). La spiaggia tende ad allargarsi solo nell'ultimo chilometro a nord, superando i

100 m di ampiezza nel tratto prossimo al molo di Cesenatico, a causa dell'azione di blocco del trasporto sedimentario lungo costa che si ha tra la battigia e le scogliere, determinato dal molo

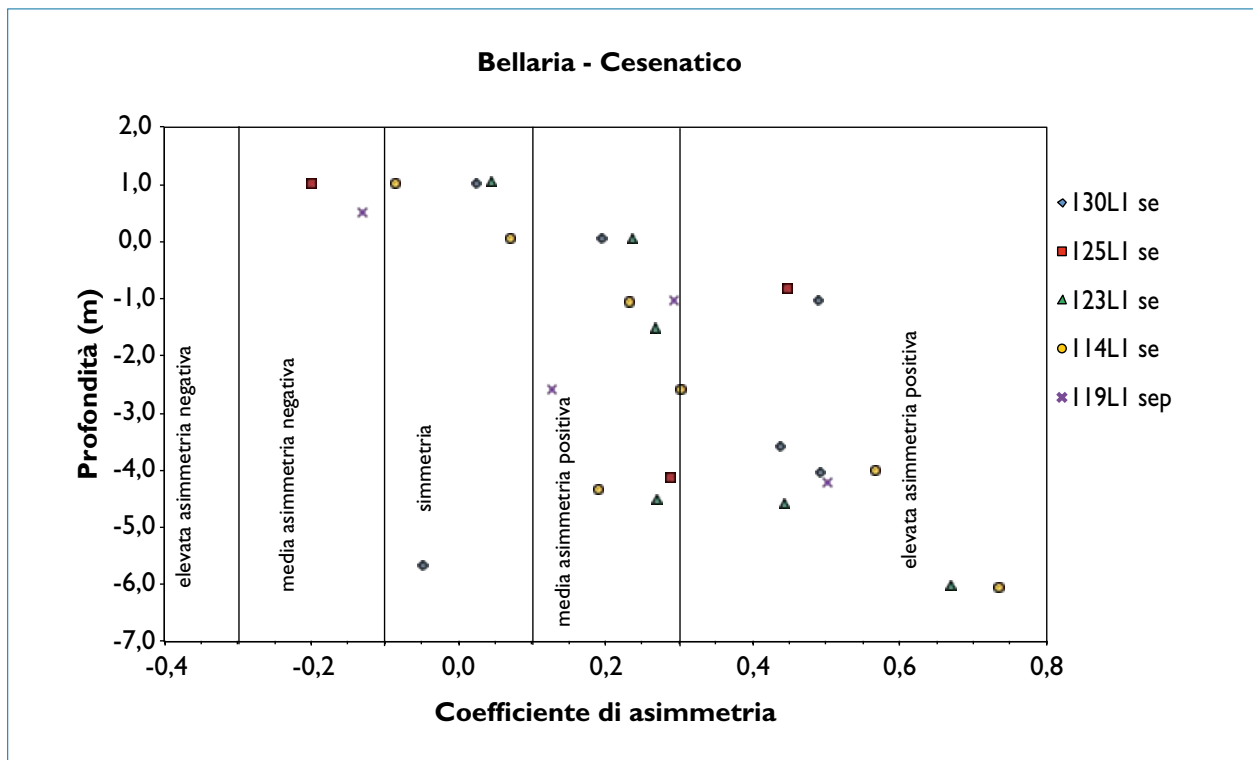


Figura 60 - Coefficiente di asimmetria dei campioni raccolti nel 2012 tra Bellaria e Cesenatico. se: scogliere emerse; sep: scogliere emerse e pennelli.

stesso. Anche la batimetria dei 7 m, andando da sud verso nord, tende ad allontanarsi dalla battigia, posizionandosi 1.100-1.200 m dalla linea di riva, a ridosso del porto canale di Cesenatico.

I sedimenti campionati lungo tre sezioni collocate a Gatteo (123LI), a Valverde (119LI) e a Cesenatico (114LI), sono simili a quelli analizzati nel resto del paraggio in esame.

I campioni raccolti sulla spiaggia emersa sono prevalentemente costituiti da sabbia fine, ma è presente anche una porzione di sabbia media, localmente rilevante nel campione 114LI-T (Figura 57). Fin dai primi fondali scompare la sabbia media in favore della sabbia molto fine e, che arriva a contenuti del 50% e oltre nei campioni più profondi. A partire dai 4 m di profondità, esternamente alle scogliere, anche le peliti raggiungono percentuali rilevanti (30-35%).

Il diametro medio dei campioni diminuisce con l'aumentare della profondità (da sabbia fine a sabbia molto fine e silt, Figura 58, Figura 129). I sedimenti sulla spiaggia emersa fino alla batimetria di 1 m risultano moderatamente ben selezionati, simmetrici o con leggera asimmetria negativa, mentre quelli più profondi sono poco cerniti e con asimmetria positiva (Figura 59, Figura 60).

Evoluzione 2006-2012

Nel periodo 2006-2012, tra il molo di levante del porto canale di Rimini e il molo di levante del porto canale di Cesenatico nella fascia di litorale compresa tra la spiaggia emersa e la serie ininterrotta di scogliere parallele in roccia, è stata calcolata una perdita di volume di circa 520.000 mc, pari a 25 mc/m in 6 anni.

Tutte le celle di questo paraggio sono state interessate da perdite di materiale (Figura 61, Figura 62, Figura 45, Figura 46, Tabella 14). Le uniche due celle con una variazione di volume (DV) positiva sono Igea Marina Sud (cella 37) e Igea Marina Zona Sperimentale (cella 38), ma si tratta di accumuli solo apparenti dovuti ai diversi interventi di ripascimento realizzati tra il 2006 e il 2011.

Il rilievo del fondale tra la battigia e le scogliere, realizzato con ecoscandaglio singlebeam, è stato effettuato nel marzo 2012, subito dopo un lungo periodo caratterizzato da cattive condizioni meteo marine e che ha interessato praticamente tutta la prima metà del mese di febbraio. Infatti per 15-16 giorni consecutivi tutto il bacino centro settentrionale del Mare Adriatico è stato investito da intense perturbazioni dal settore nord-orientale, le quali hanno determinato uno stato di agitazione del mare particolarmente severo.

Lo stato di criticità raggiunto in questo periodo è ben evidenziato dai diagrammi dell'altezza d'onda misurate dalle due boe RON di Ancona e Venezia (durante questo periodo la boa Nausicaa non era funzionante) e riportati nel paragrafo 2.4, nei quali si può vedere che si sono avute onde superiori ai 2-2,5 m per un gran numero di giorni, ma anche ripetute e non isolate condizioni di onde particolarmente alte.

Questo evento ha sicuramente contribuito a determinare un'erosione diffusa su tutto il paraggio della macrocella 2, litorale questo già in erosione a causa del trascurabile trasporto sedimentario lungo costa e dello scarso apporto solido fluviale dei fiumi Marecchia, Uso e Rubicone.

Tra la darsena turistica di Rimini e il molo della foce del Deviatore Marecchia è confinata la spiaggia di San Giuliano, lunga 450 m (Cella 28, Figura 61). Nel corso del 2000-2001, durante i lavori di costruzione della darsena di Rimini questa spiaggia è stata notevolmente ampliata con un apporto di

100.000 mc di materiale proveniente dal dragaggio del bacino della darsena.

Nel periodo 2006-2012 questa piccola spiaggia ha avuto una tendenza erosiva bilanciata con annuali interventi di ripascimento (Tabella 14).

Dal confronto tra i rilievi topo-batimerici risulta che la spiaggia di Rivabella (Cella 30) ha subito una perdita di circa 47.000 mc (Tabella 14). Poco meno della metà di queste perdite (22.000 mc), sono in realtà imputabili ai prelievi effettuati periodicamente nella zona dei tomboli per migliorare la circolazione dell'acqua di balneazione.

Tutto il litorale da Viserba fino alla foce dell'Uso (Celle 31-39, Figura 62) ha subito erosioni localizzate soprattutto sui fondali prossimi alle scogliere (Figura 61 e Tabella 14). A Igea Marina (cella 39) anche la spiaggia emersa è stata interessata da perdite di sedimento che hanno determinato in alcuni tratti significativi arretramenti della linea di riva. Si segnala inoltre che a Viserbella, Torre Pedrera e Igea Marina (celle 35, 36, 37 e 39) è stata movimentata della sabbia dai fondali a ridosso del-

Tabella 14 - Molo di Rimini - Molo di Cesenatico (M2):Variazione di volume, positiva o negativa, dovuta a subsidenza, oppure a ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2006-2012 (misure in m le lunghezze, mc i volumi).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	Vimm	Vaspe
26	Rimini Porto Canale	70	-	0	0	0	0	0
27	Darsena di Rimini	425	-	0	0	0	0	0
28	San Giuliano	450	-9707	1944	9984	0	9984	-19691
29	Deviatore Marecchia	150	-	0	0	1400	-1400	1400
30	Rivabella	1660	-47450	4241	0	22000	-22000	-25450
31	Viserba Zona Sud Sortie	630	-31391	2190	0	0	0	-31391
32	Viserba Sud	520	-13917	1652	6000	0	6000	-19917
33	Canale dei Mulini	30	-	0	0	0	0	0
34	Viserba Nord	465	-27790	1395	0	0	0	-27790
35	Viserbella	1200	-44941	3279	13008	0	13008	-57949
36	Torre Pedrera	1960	-31446	6165	24250	0	24250	-55696
37	Igea Marina Sud	515	30118	1988	46660	0	46660	-16542
38	Igea Marina Zona Sperimentale	825	3404	3290	67000	0	67000	-63596
39	Igea Marina	2630	-36646	17683	21000	16000	5000	-41646
40	Foce Uso	40	-	0	0	15500	-15500	15500
41	Bellaria	2690	-114853	12773	6503	0	6503	-121356
42	San Mauro	700	-31918	4692	1420	1250	170	-32088
43	Savignano	155	-9854	1207	12475	0	12475	-22329
44	Foce Rubicone	160	-	0	0	3050	-3050	3050
45	Gatteo a Mare	700	-35228	5832	0	0	0	-35228
46	Villamarina	880	-31052	8582	10830	0	10830	-41882
47	Valverde	1750	-17414	19648	74265	0	74265	-91679
48	Cesenatico	2015	-69079	25337	0	26660	-26660	-42419
	Totale	20620	-519164	121898	293395	85860	207535	-726699

DV variazione di volume tra il 2006-2012

Vsub volume sottratto per subsidenza

Vrip volume portato a ripascimento

Vpre volume prelevato

Vimm=Vrip-Vpre volume immesso al netto dei prelievi

Vaspe=DV-Vrip+Vpre variazione di volume effettiva

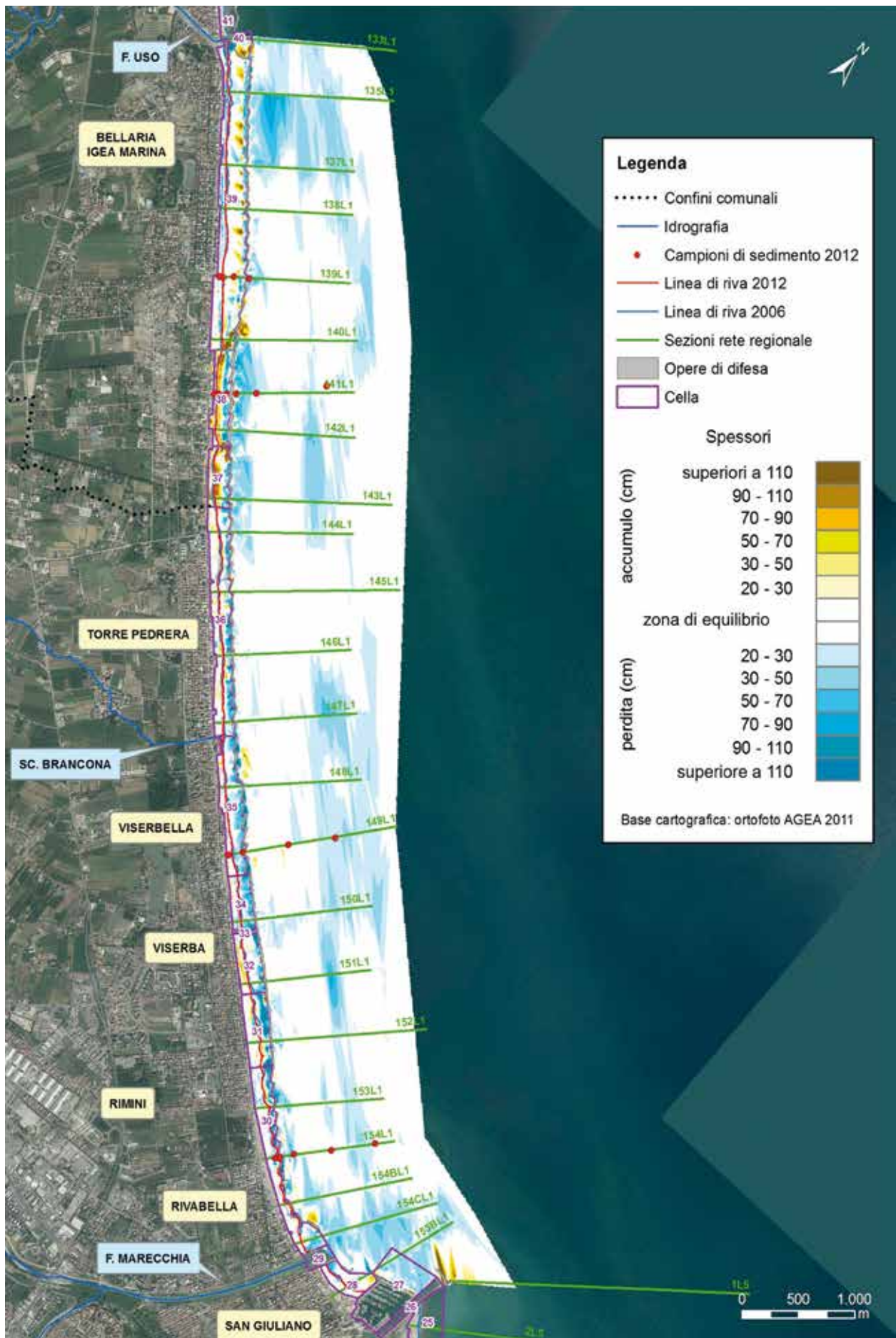


Figura 61 - Molo di Rimini – Foce Uso: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012.

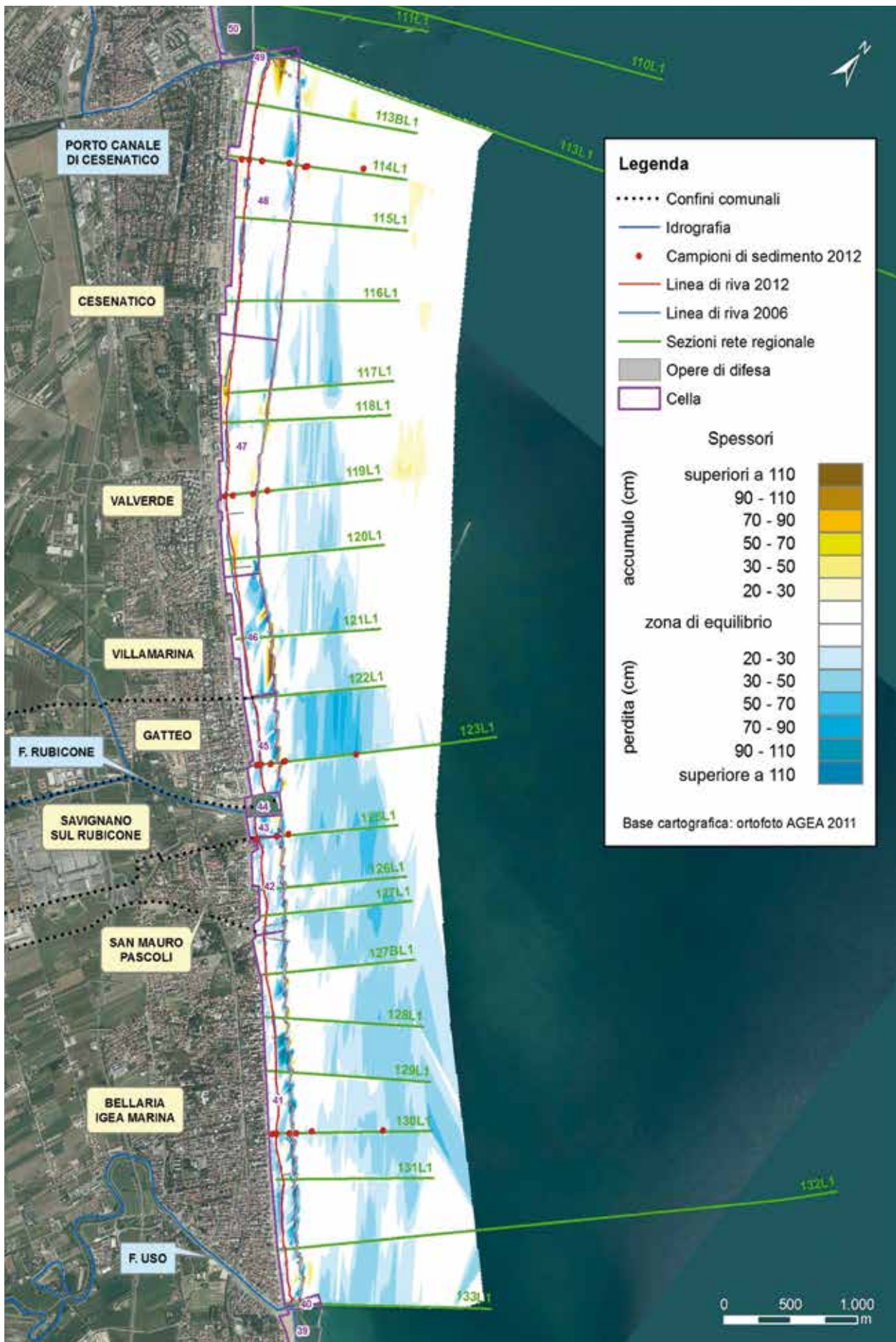


Figura 62 - Foce Uso – Molo di Cesenatico: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012.

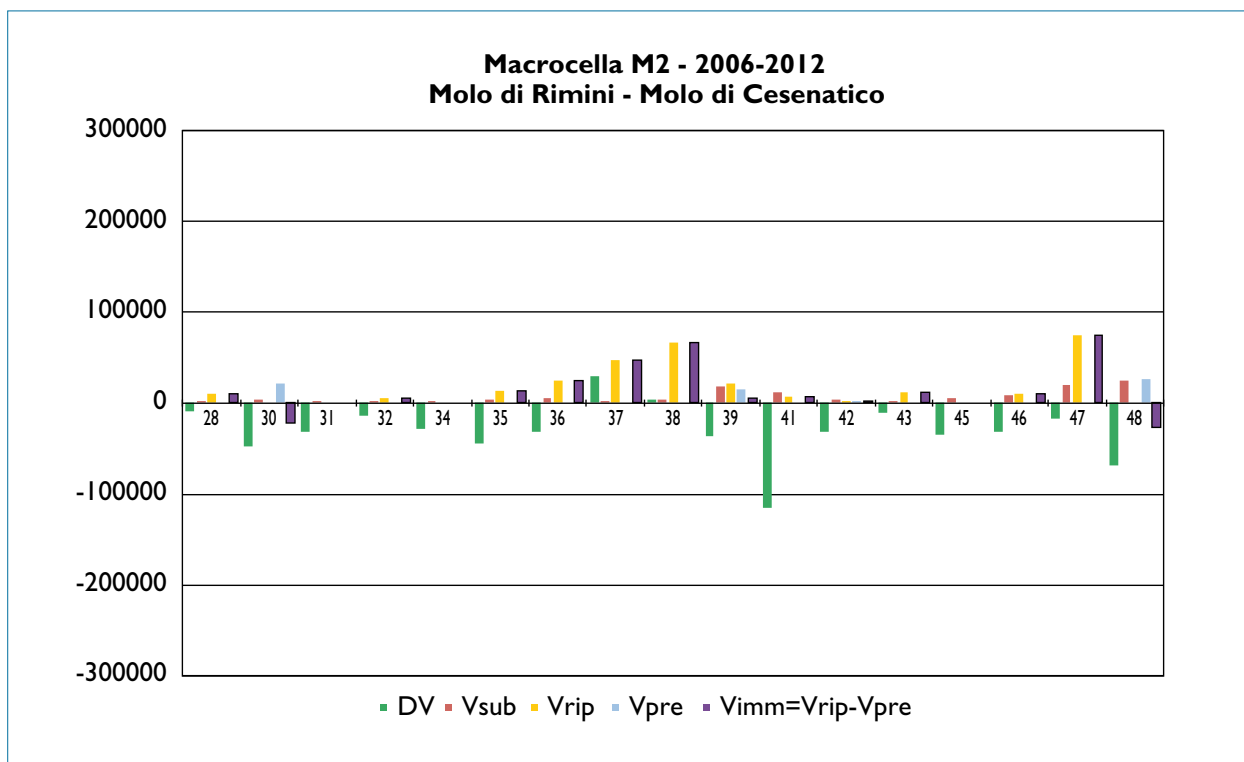


Figura 63 - Molo di Rimini – Molo di Cesenatico (M2). DV:Variazione di volume;Vsub: perdite per subsidenza;Vrip: ripascimenti; Vpre: prelievi ;Vimm: volumi immessi, nel periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc).

le scogliere alla battigia tramite mezzi meccanici (scraper), operazione che ha consentito di stabilizzare o fare avanzare la linea di riva, ad esclusione della spiaggia più settentrionale di Igea Marina (cella 39) che è arretrata.

Il bilancio (DV) positivo nelle cella 37 e 38 di Igea Marina è dovuto ai volumi di sabbia portati a ripascimento, pari rispettivamente a 46.660 m (91 mc/m nella cella 37) e 67.000 mc nella zona sperimentale (81 mc/m, nella cella 38).

Anche negli altri tratti sono stati effettuati dei ripascimenti, ma di minore entità (dell'ordine di 8-12 mc/m) che hanno garantito la stabilità della linea di riva, ad esclusione di Viserbella (cella 35) dove i 13.000 mc di sabbia portati a ripascimento non sono risultati sufficienti.

Il litorale dalla foce dell'Uso al quella del Rubicone ha subito una forte perdita di sedimento, pari a circa 157.000 mc. L'erosione ha interessato in maniera particolarmente accentuata la spiaggia emersa e i fondali prossimi alle scogliere. Gli interventi di ripascimento effettuati hanno garantito la stabilità della linea di riva, ma non sono riusciti a compensare le perdite sulle spiagge di Bellaria, San Mauro e Savignano (celle 41, 42 e 43). In particolare, la piccola spiaggia di Savignano (cella 43), lunga solo 155 m e difesa da una scogliera parallela a cresta

bassa, ha subito delle perdite unitarie complessive pari a 144 mc/m (vaspe, Figura 64), 3 volte superiori alle perdite subite dalle spiagge di Bellaria (45 mc/m, cella 41) e San Mauro (46 mc/m, cella 42) difese da scogliere parallele emerse.

Il tratto di costa dalla foce del Rubicone al molo di levante di Cesenatico ha subito una perdita di materiale di circa 150.000 mc (Tabella 14).

La movimentazione di sabbia dai fondali prossimi alle scogliere alla zona di battigia effettuata con scraper a Gatteo (cella 45) e a Villamarina (cella 46), unitamente al ripascimento di circa 10.830 mc effettuato a Villamarina, hanno garantito l'equilibrio della linea riva di queste due spiagge.

Il paraggio di Valverde (cella 47) ha subito importanti modifiche, infatti tra il 2009 e il 2010 sono stati salpati 7 pennelli in roccia. Questo intervento, il ripascimento di circa 74.000 mc di sabbia e lo spostamento di sabbia dalle zone a ridosso delle scogliere alla battigia con gli scraper hanno determinato un riallineamento della linea di riva ed, in alcuni tratti, anche un avanzamento.

La spiaggia di Cesenatico (cella 48), lunga oltre 2 km, ha subito una perdita di circa 69.000 mc, ma considerando che sono stati prelevati 26.660 mc di sabbia nella zona a ridosso del molo dove tende ad accumularsi, le perdite naturali sono state quindi di 42.340 mc, pari a 21 mc/m, quindi la cella è da

Molo di Rimini - Molo di Cesenatico 2006-2012

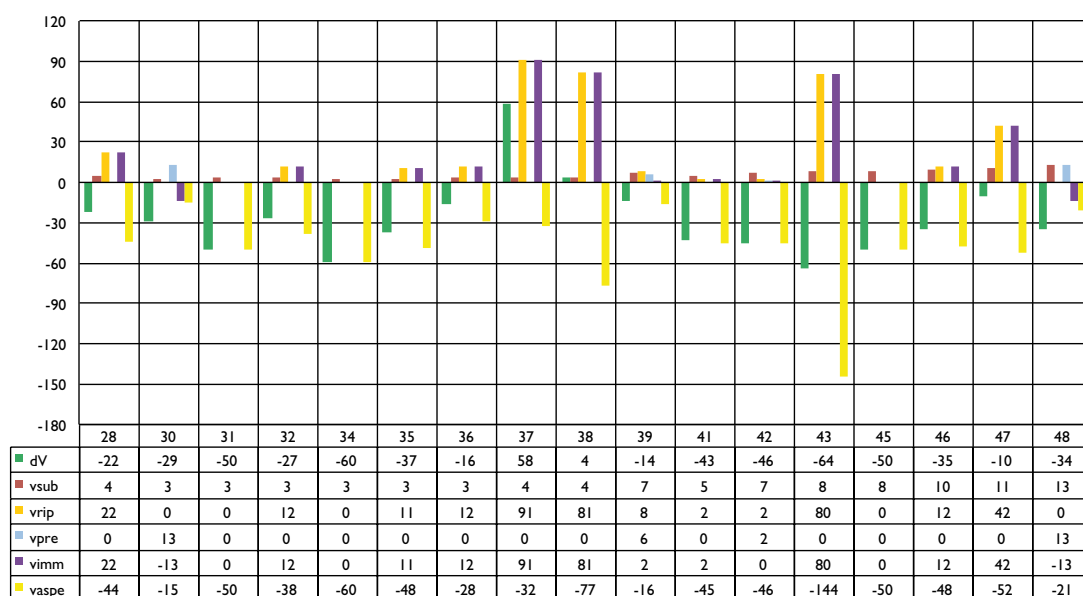


Figura 64 - Molo di Rimini – Molo di Cesenatico (M2).Legenda: dV:Variazione di volume; vsub: perdite per subsidenza; vrip: ripascimenti; vpre: prelievi ; vimmm: volumi immessi; vaspe: variazioni di volume complessive ottenute dV-vrip+vpre. Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc/m).

considerarsi relativamente stabile. La linea di riva non ha subito significative variazioni.

Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012

Per quanto riguarda l'evoluzione morfologica dei fondali, la situazione di questo paraggio appare notevolmente peggiorata rispetto al periodo 2000-2006, quando esso risultava in accumulo di sedimento per oltre 1 milione di metri cubi. Secondo gli ultimi rilievi 2006-2012 la macrocella 2 ha di fatto subito una perdita di sabbia di circa 520.000 mc (DV), alla quale vanno aggiunti i circa 210.000 mc (Vimm) di sabbia portati a ripascimento e provenienti da fonti esterne alla macrocella, che si traduce quindi in una perdita complessiva di circa 730.000 mc di sabbia (Vaspe Tabella 14).

L'aggravamento della situazione erosiva di questo paraggio è riconducibile, come già detto, al fatto che gli ultimi rilievi del fondale tra scogliere e battigia sono stati preceduti da un periodo della durata di circa 15-16 giorni contraddistinto da condizioni meteomarine avverse. Il tutto poi è stato accentuato dalla forte riduzione dei volumi di sabbia portati a ripascimento nel periodo 2006-2012, rispetto al precedente: nel primo periodo erano stati sversati su queste spiagge circa 430.000 mc di sedimento, nel secondo soltanto 210.000 mc. Un

dato positivo è quello che riguarda il fenomeno della subsidenza che è diminuito su tutto il paraggio della macrocella 2, passando da valori medi di 8-10 mm/anno nel periodo 2000-2006 a 4-6 mm/anno del 2006-2012. In termini di volumi di sabbia sottratti per subsidenza si è così passati da circa 220.000 mc nel periodo 2000-2006 a 120.000 mc tra il 2006 e il 2012.

Per concludere, questo tratto di litorale, pur essendo interamente difeso da scogliere parallele, ha avuto nel periodo 2006-2012 una significativa tendenza erosiva. Gli unici due tratti stabili (con variazioni minori ai 30 mc/m nell'intero periodo) sono la spiaggia di Rivabella alimentata dal materiale portato a mare dal fiume Marecchia, e la spiaggia di Cesenatico alimentata dal trasporto solido litoraneo proveniente da sud e bloccato dal molo di levante. Gli interventi di ripascimento realizzati hanno garantito la stabilità della spiaggia di San Giuliano, del tratto di litorale compreso tra Torre Pedrera e Igea Marina e la spiaggia di Valverde, mentre sono risultati insufficienti per le altre zone. In prospettiva, se l'apporto solido dei fiumi Marecchia, Uso e Rubicone continuerà ad essere modesto, per garantire l'equilibrio delle spiagge tra il molo di Rimini e il molo di Cesenatico sarà

necessario incrementare l'apporto sedimentario con interventi di ripascimento.

Sintesi

Il litorale compreso tra i moli di Rimini e Cesenatico (macrocella 2), nel periodo 2006-2012, ha subito una perdita di sabbia complessiva di circa 730.000 mc. La situazione è peggiorata rispetto al periodo 2000-2006, quando risultava un accumulo di sedimento di oltre un milione di metri cubi.

Questo tratto di litorale, quindi, pur interamente difeso da scogliere parallele ha avuto, nel periodo 2006-2012, una significativa tendenza erosiva. Gli unici due tratti stabili sono la spiaggia di Rivabella, alimentata dalla portata solida del Marecchia, e la spiaggia di Cesenatico, alimentata dal trasporto solido litoraneo proveniente da sud e bloccato dal molo di levante.

Gli interventi di ripascimento hanno garantito la stabilità della spiaggia di San Giuliano, del tratto di litorale compreso tra Torre Pedrera e Igea Marina e la spiaggia di Valverde, mentre sono risultati insufficienti per le altre zone.

In prospettiva, se l'apporto solido dei fiumi Marecchia, Uso e Rubicone continuerà ad essere modesto, per garantire l'equilibrio delle spiagge tra il molo di Rimini e il molo di Cesenatico sarà necessario incrementare l'apporto sedimentario con interventi di ripascimento.

Un dato positivo è la riduzione del tasso di subsidenza su tutto il paraggio. Mediamente, si è passati dagli 8-10 mm/anno del periodo 2000-2006 ai 4-6 mm/anno del 2006-2012, e questo ha comportato un dimezzamento dei volumi di sabbia sottratti per subsidenza.

Lungo il tratto di costa compreso tra Rimini e Cesenatico (macrocella 2), i campioni prelevati entro i 3 m di profondità sono formati prevalentemente da sabbia fine (Figura 50, Figura 57). Tra questi, quelli raccolti sulla spiaggia emersa e in battigia contengono anche discrete percentuali di sabbia media, mentre quelli prelevati nei primi fondali (fino a -1 o a -2 m) oltre alla sabbia fine presentano un componente di sabbia molto fine.

Il diametro medio è dell'ordine della sabbia fine (Figura 51, Figura 58, Figura 129), la cernita è generalmente moderata e l'asimmetria è variabile (Figura 52, Figura 53, Figura 59, Figura 60). Le caratteristiche tessiturali dei sedimenti presenti in questa

fascia di spiaggia più superficiale si presentano nel complesso molto simili a quelle riscontrate alle medesime quote e profondità tra Cattolica e Rimini (macrocella 1).

Diverse sono invece le caratteristiche sedimentologiche dei fondali al di sotto dei 4 m di profondità: nel paraggio tra Rimini e Cesenatico si assiste a una accentuata diminuzione granulometrica con l'aumentare della profondità (Figura 129). I sedimenti in questa fascia di fondale più profonda sono composti da prevalenti sabbie molto fini associate a peliti (Figura 50, Figura 57). Il granulo medio rappresentativo dei campioni varia dalla sabbia molto fine al silt, il grado di selezione è scarso e l'asimmetria prevalente è positiva (Figura 52, Figura 53, Figura 59, Figura 60).

Sono state evidenziate alcune particolarità nella distribuzione granulometrica in aree protette da strutture di difesa (scogliere a Rivabella e Viserbella) o interessate da ripascimenti (Igea Marina).

4.3 Macrocella 3: Molo di Cesenatico – Foce Savio

Inquadramento

Il tratto di litorale che va dal portocanale di Cesenatico alla foce del fiume Savio, corrispondente alla macrocella 3, è lungo 13.765 m. Questo paraggio comprende la spiaggia di Ponente e di Zadina del comune di Cesenatico, l'intero litorale del comune di Cervia (le spiagge delle località Tagliata e Pinarella a sud del porto di Cervia, e Milano Marittima a nord del porto) e la spiaggia di Lido di Savio (comune di Ravenna) confinata tra il canale di Via Cupa e la foce del Savio (Figura 65).

Il trasporto solido litoraneo netto è diretto da sud verso nord davanti al litorale del comune di Cesenatico, mentre ha direzione nord-sud davanti a Lido di Savio e Milano Marittima. Tra Tagliata e il Porto di Cervia si ha invece una zona di convergenza del trasporto solido litoraneo (Arpa, 2008). La direzione del trasporto solido litoraneo e l'apporto solido fluviale del Savio sono i due principali fattori che incidono sullo stato delle spiagge della macrocella 3.

Per contrastare l'erosione, sulle spiagge meridionali e settentrionali della macrocella, non più alimentate per via naturale, si è dovuto intervenire sia con la realizzazione di scogliere in roccia o barriere in sacchi sia con periodici interventi di

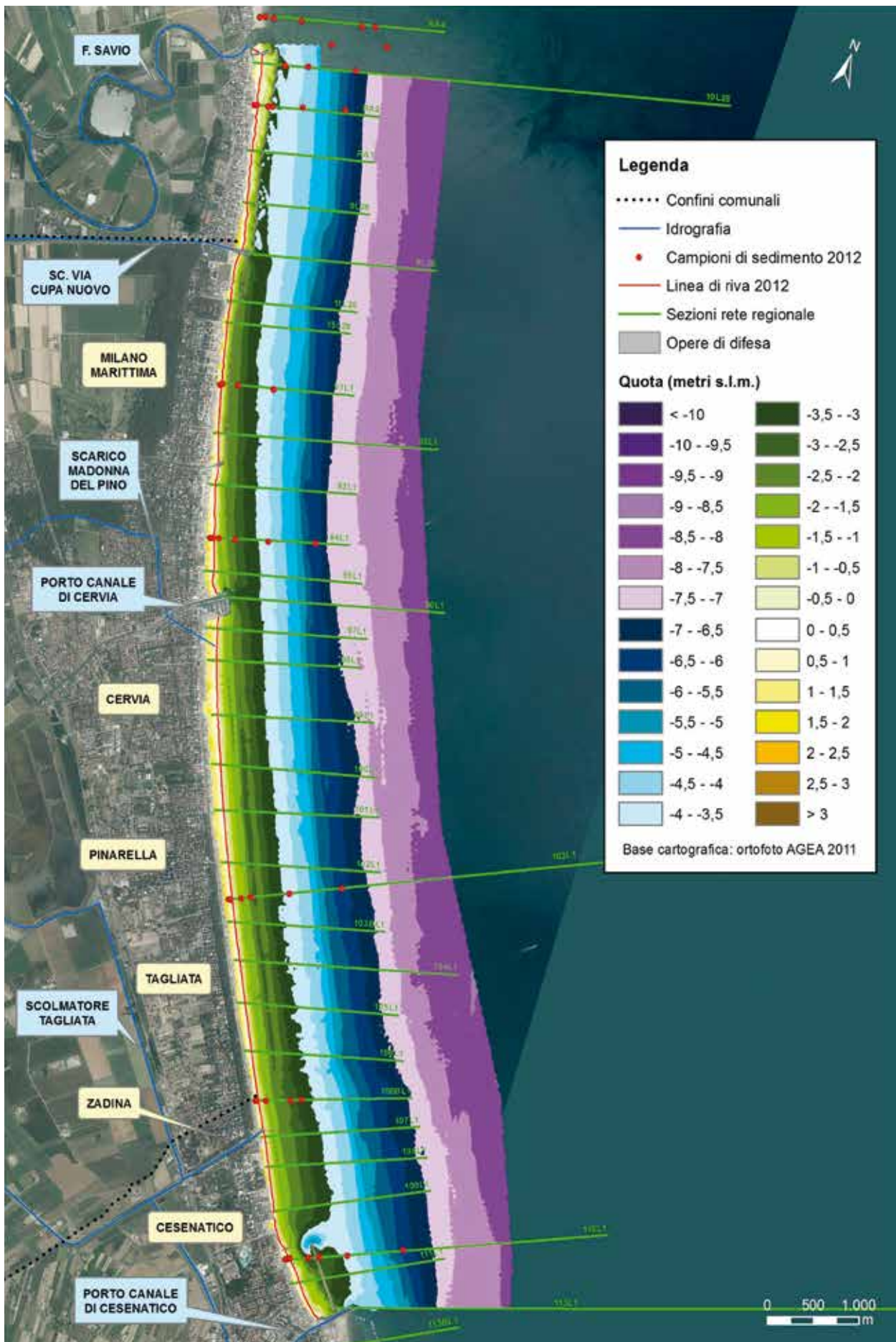


Figura 65 - Molo di Cesenatico - Foce Savio: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

ripascimento, mentre sulle spiagge di Cervia (cella 55, Figura 72) e di Milano Marittima Sud (cella 58), poste in una zona di convergenza del trasporto solido litoraneo, non è stato necessario intervenire in quanto in equilibrio.

Un altro fattore che ha inciso notevolmente sull'equilibrio delle spiagge di questo paraggio è la subsidenza, nel periodo 1950-2005 Cesenatico si è abbassato di 116 cm (Arpa, 2008).

Stato del litorale al 2012

I primi 825 m di spiaggia a nord del portocanale di Cesenatico (cella 50) sono protetti da una scogliera a cresta bassa (realizzata nel 2001), da un pennello in roccia, lungo circa 100 m, ubicato in corrispondenza della testata nord della scogliera, e da altri tre piccoli pennelli in roccia. Prima della realizzazione della scogliera questo litorale era difeso da una barriera in sacchi pieni di sabbia (realizzata nel 1983) e da un altro pennello in roccia, posto a 400 m di distanza dal portocanale, salpato in occasione della realizzazione della scogliera. Gli interventi di realizzazione della barriera in sacchi (1983) e della scogliera a cresta bassa (2002) sono stati accompagnati da rilevanti interventi di ripascimento per ripristinare la spiaggia di Cesenatico Ponente. Sono stati apportati 215.000 mc di sabbia nel biennio 1983-1984 e 90.000 mc nel 2002, in entrambi i casi il materiale proveniva da cave a terra. La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 60-80 m. Dalla carta topo-batimetrica (Figura 65) è evidente una buca profonda 5 m a ridosso della testata della scogliera a cresta bassa che si estende fino alla sezione topo-batimetrica I10LI ubicata a 160 m dalla testata (Figura 65 e Figura 74).

Lungo tale sezione i sedimenti campionati (Figura 66) sulla spiaggia emersa sono particolarmente grossolani, il campione raccolto alla quota di 1 m è formato per il 50% da sabbia grossolana e molto grossolana, il resto è sabbia media e sabbia fine. Sulla battigia e nei primi fondali fino alla scogliera semisommersa prevale la sabbia fine. Infine i campioni esterni all'opera (da -3 m a -6 m) risultano prevalentemente costituiti da sabbia molto fine. Quindi, a partire dai primi fondali verso il largo i sedimenti tornano ad assomigliare a quelli appartenenti alla macrocella 2 (Figura 129).

Il diametro medio diminuisce verso il largo, passando dalla classe della sabbia media al silt (Figura 67, Figura 129).

Le sabbie grossolane sulla spiaggia emersa, sicu-

ramente apportate con i ripascimenti, si presentano non a caso poco cernite (Figura 68). Il resto dei campioni si presenta moderatamente ben cernito in prossimità della riva e poco cernito sotto i -3 m; l'asimmetria è positiva a tutte le quote (Figura 69).

Nel tratto di litorale che va dal pennello in roccia posto a chiusura della scogliera a cresta bassa di Cesenatico Ponente fino al porto di Cervia non sono presenti opere di difesa rigida. Sulla spiaggia di Cesenatico Colonie (cella 51) è evidente la falcata erosiva determinata dal pennello e dalla scogliera; la spiaggia emersa ha un'ampiezza modestissima e in alcuni tratti è quasi scomparsa. Durante gli eventi di mareggiata, anche non intensi, le onde raggiungono e sormontano con facilità i muretti di recinzione delle colonie (Figura 75).

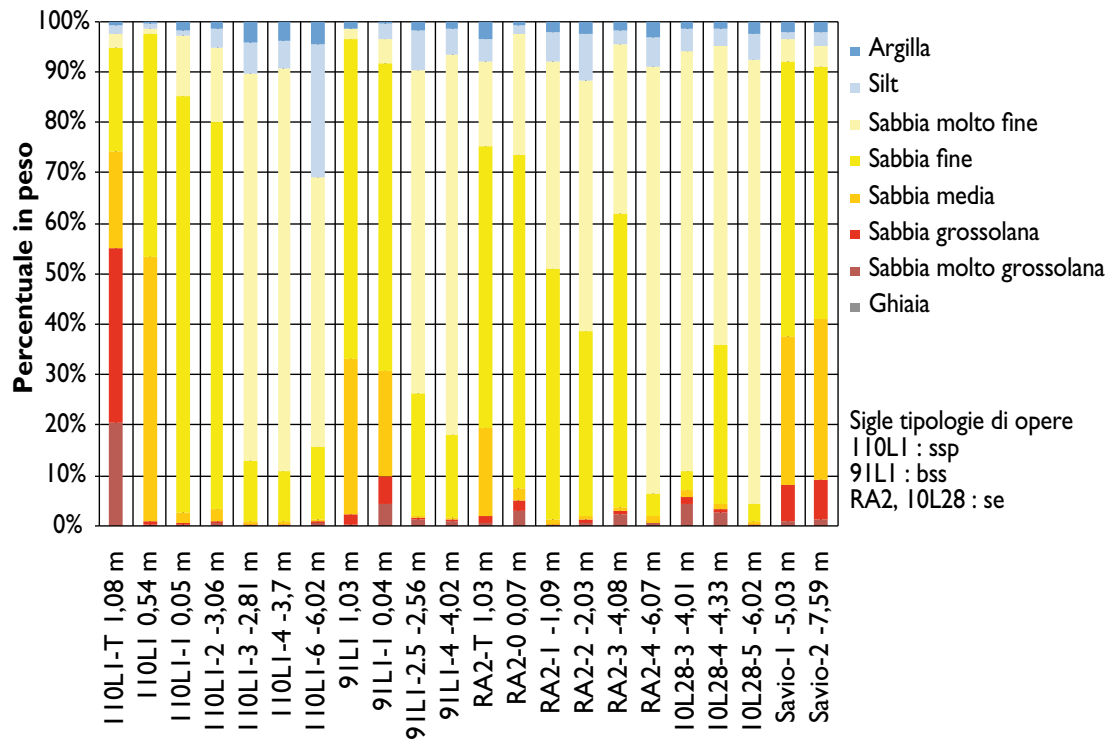
Proseguendo verso nord, dove incontriamo in sequenza la spiaggia di Zadina, Tagliata e Cervia (celle 52-55), la spiaggia emersa tende ad allargarsi fino a superare i 100 m di ampiezza nel tratto a ridosso del porto di Cervia.

I fondali di questo tratto di litorale sono caratterizzati dalla presenza di barre sommerse ben formate, elemento morfologico che garantisce una maggiore frangenza delle onde e quindi una maggiore difesa del litorale (Figura 76).

La batimetrica dei 3,5 m è posizionata a circa 600 m dalla battigia, mentre quella dei 7 m a circa 1500 m.

In questo tratto di costa, i sedimenti (sezioni I06BLI e I03LI, Figura 65) sulla spiaggia emersa sono formati in prevalenza da sabbia fine, ma, soprattutto sulla sezione più meridionale a Zadina (I06BLI), sono presenti anche sabbie grossolane, molto grossolane e medie (Figura 66). Al di sotto della batimetrica dei 2 m prevalgono le sabbie molto fini fino a 6 m di profondità (sezione I03LI). Il granulo medio varia dalla classe della sabbia media sulla spiaggia emersa a quella della sabbia molto fine (Figura 67). Da questo punto in poi (verso nord), nella macrocella in esame i fondali più al largo sono caratterizzati da sedimenti con granulometria media delle dimensioni della sabbia molto fine, a differenza di quanto osservato nella precedente macrocella, quella compresa tra Rimini e Cesenatico, dove tra i -4 e -6 m i sedimenti erano siltosi (Figura 129).

Cesenatico Ponente - Foce Savio



Cesenatico Ponente - Foce Savio

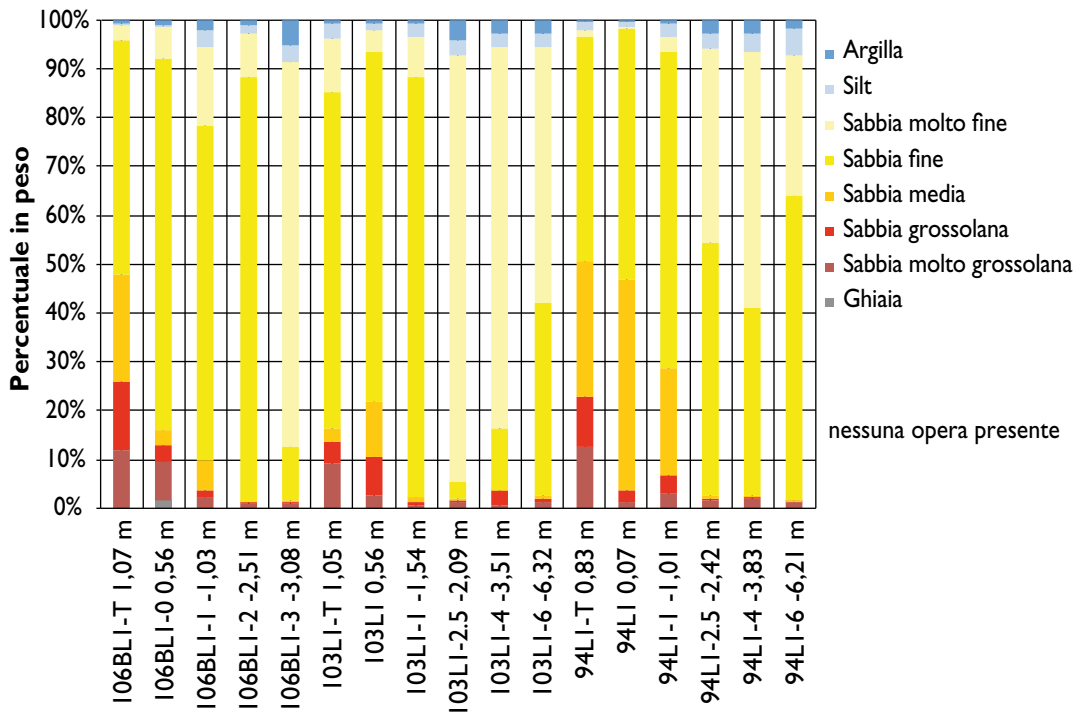


Figura 66 - Istogrammi con analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Cesenatico e la foce del fiume Savio; ssp: scogliere a cresta bassa; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia; se: scogliere emerse.

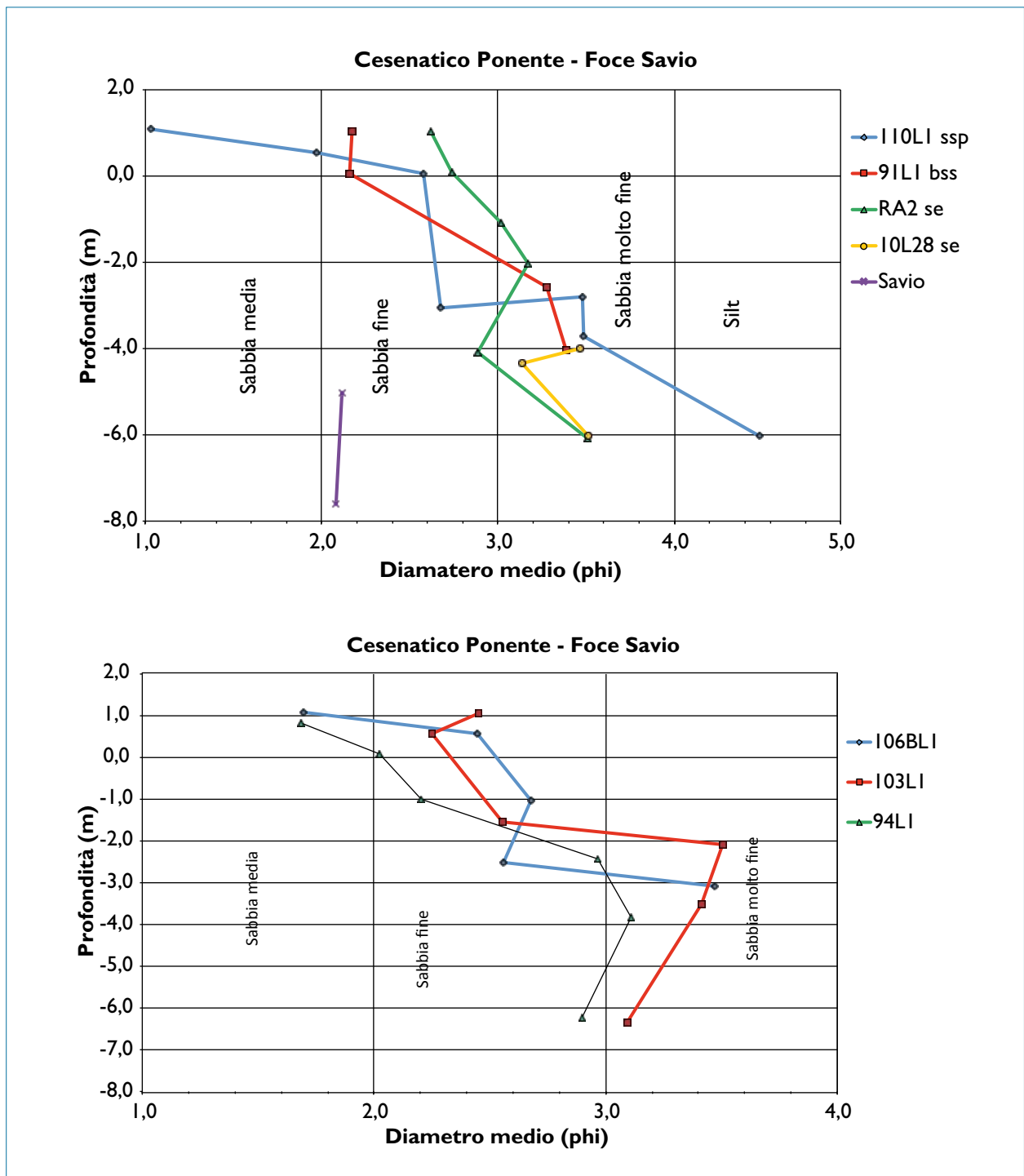


Figura 67 - Diametro medio dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Cesenatico e la foce del fiume Savio; ssp: scogliere a cresta bassa; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia; se: scogliere emerse.

La cernita lungo la sezione 106BLI è variabile: risultano moderatamente selezionati i campioni raccolti in prossimità della battigia, ben cernito il campione a 2,5 m di profondità e poco classati sia quello sulla spiaggia emersa più grossolano (probabilmente a seguito di interventi di ripascimento) che quello più al largo (Figura 68).

I campioni raccolti lungo la sezione 103LI a nord del canale Tagliata sono in prevalenza moderatamente selezionati, anche qui la cernita non segue

un trend legato alla profondità, infatti i sedimenti meglio selezionati si trovano nei fondali al di sotto del primo metro di profondità.

Lungo la sezione 106BLI di Zadina l'andamento dell'asimmetria è quello 'classico': sulla spiaggia emersa è negativa, mentre su quella sommersa è positiva (Figura 69). La stessa cosa si osserva a nord del Tagliata (sezione 103LI), unica 'anomalia' sono i campioni al di sotto dei -3 m che risultano simmetrici.

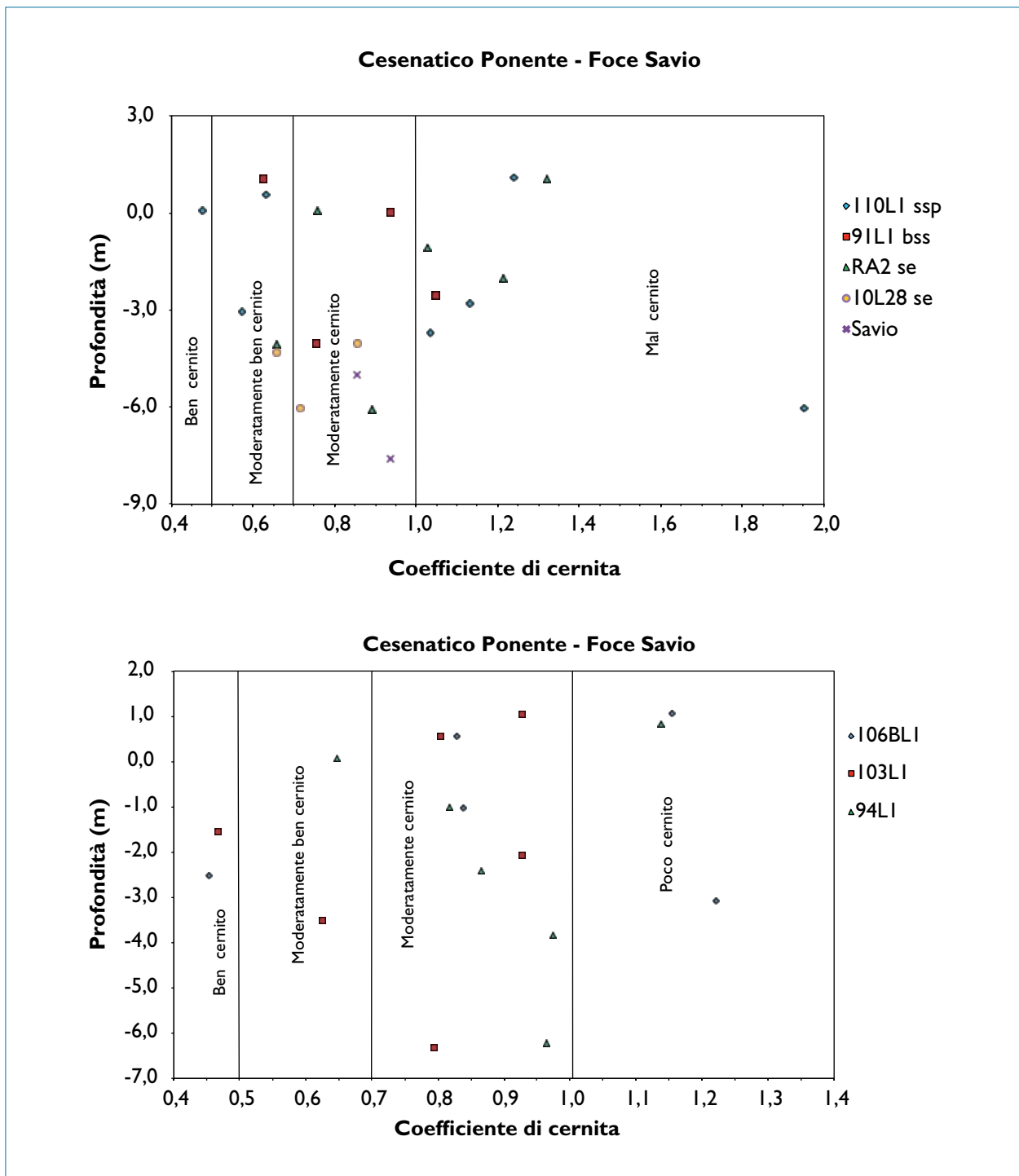


Figura 68 Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Cesenatico e la foce del fiume Savio; ssp: scogliere a cresta bassa; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia; se: scogliere emerse.

Tra il portocanale di Cervia (Cella 57) e il canalino delle saline (Cella 59) troviamo la spiaggia di Milano Marittima (Cella 58, Figura 72). A ridosso del portocanale l'ampiezza della spiaggia emersa supera i 100 m, mentre verso nord si riduce fino a raggiungere i 70 m nella zona a ridosso del canalino delle saline, a causa del trasporto solido litoraneo diretto da nord verso sud e dal blocco esercitato dal molo di ponente del portocanale. Il tratto di litorale che va dal canalino delle sali-

ne (cella 59) fino al canale di via Cupa (cella 62) è totalmente difeso da una barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia. Negli ultimi 500 metri a nord (cella 61) sono presenti anche due piccoli pennelli in pali di legno e una seconda barriera posta 30 m al largo dalla prima. L'ampiezza della spiaggia a Milano Marittima Nord (celle 60) e nella zona delle Colonie (Cella 61) è di circa 70-80 m a ridosso del canalino delle saline e poi si restringe fino a raggiungere un'ampiezza di 30-40 nella zona del

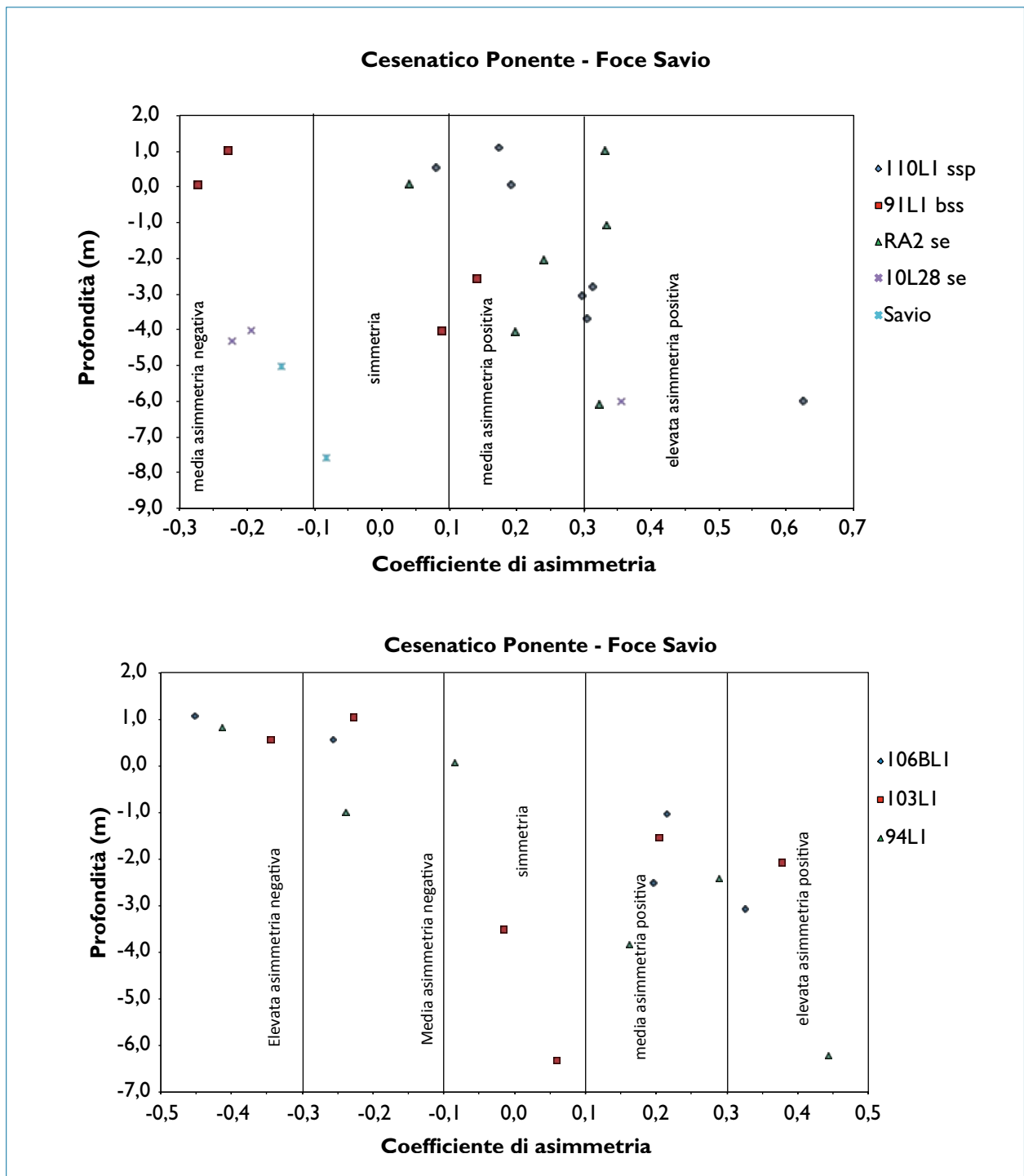


Figura 69 Coefficiente di asimmetria dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Cesenatico e la foce del fiume Savio; ssp: scogliere a cresta bassa; bss: barriera sommerse in sacchi pieni di sabbia; se: scogliere emerse.

canale di via Cupa. Questo assetto della spiaggia è dovuto sia alla direzione del trasporto solido litoraneo N-S sia perché la zona nord è sottoflutto ad una serie di scogliere parallele emerse.

In questo tratto i fondali tendono ad approfondirsi, infatti la batimetria dei 3,5 m è a soli 300-350 dalla battigia mentre quella dei 7 m a circa 1.200 m.

I sedimenti tra Cervia e Milano Marittima, sia nel tratto privo di opere che in quello protetto con la barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia (ri-

spettivamente sezione 94L1 di cella 58 e sezione 91L1 di cella 60, Figura 65, Figura 72) sono molto simili a quelli analizzati sulle spiagge di Cesenatico: sulla spiaggia emersa e nei fondali in prossimità della battigia prevalgono le sabbie fini associate a sabbia media e grossolana, sotto alle batimetriche dei 2 e 3 m alle sabbie fini si associano le sabbie molto fini (Figura 66).

Il diametro medio varia dalla sabbia fine a quella molto fine (Figura 67), come già osservato in

corrispondenza della sezione collocata a nord del canale Tagliata (103LI).

Anche a Milano Marittima i coefficienti di cernita non mostrano trend collegati alla profondità, i sedimenti risultano infatti in prevalenza moderatamente selezionati (Figura 68).

Sulla spiaggia emersa le sabbie presentano asimmetria negativa, mentre in profondità tale coefficiente è positivo, a eccezione di un campione posto a -4 m sulla sezione 91LI e di uno sulla battigia lungo 94LI che risultano simmetrici (Figura 69).

La spiaggia di Lido di Savio (cella 63), tra il canale di via Cupa e la foce del Savio (cella 64), è totalmente difesa da scogliere parallele.

La spiaggia emersa ha un'ampiezza di circa 60-80 m nei primi 400-500 m a nord del canale di via Cupa per poi ridursi a 30-40 m nella restante parte.

Al retro delle scogliere i fondali hanno una profondità di 3,5-4 m, mentre la batimetria dei 7 m rimane ad una distanza media di circa 1.200 m dalla battigia.

I sedimenti campionati qui sulla spiaggia emersa e nei primi fondali (sezioni RA2, Figura 66) hanno una granulometria più fine del tratto più a sud: il diametro medio è dell'ordine della sabbia fine,

non più della sabbia media, e sono quasi assenti le sabbie grossolane e medie. Quelli al di sotto della batimetria dei 2 m invece (sezione RA2 e 10L28), risultano del tutto in linea con quanto riscontrato tra Zadina e Milano Marittima (Figura 67), mostrando un diametro medio dell'ordine della sabbia molto fine.

La cernita presenta, in questi campioni, un trend "quasi inverso" rispetto alla profondità, perché i sedimenti meno cerniti sono compresi tra spiaggia emersa e i 2 m di profondità (sezione RA2), mentre quelli profondi sono da moderatamente ben selezionati a moderatamente selezionati (sezioni RA2 e 10L28, Figura 68).

L'asimmetria è prevalentemente positiva, a eccezione di due campioni raccolti nei pressi della batimetria dei 4 m lungo la sezione 10L27 che hanno asimmetria negativa.

In corrispondenza della foce del Savio le batimetrie evidenziano un approfondimento dei fondali alla testata della scogliera a cresta bassa realizzata nel 2008 alla destra della foce (Figura 70). Il confronto con le batimetrie rilevate con la campagna del 2006 (Figura 71), mostra come la tendenza all'approfondimento fosse già osservabile, ma

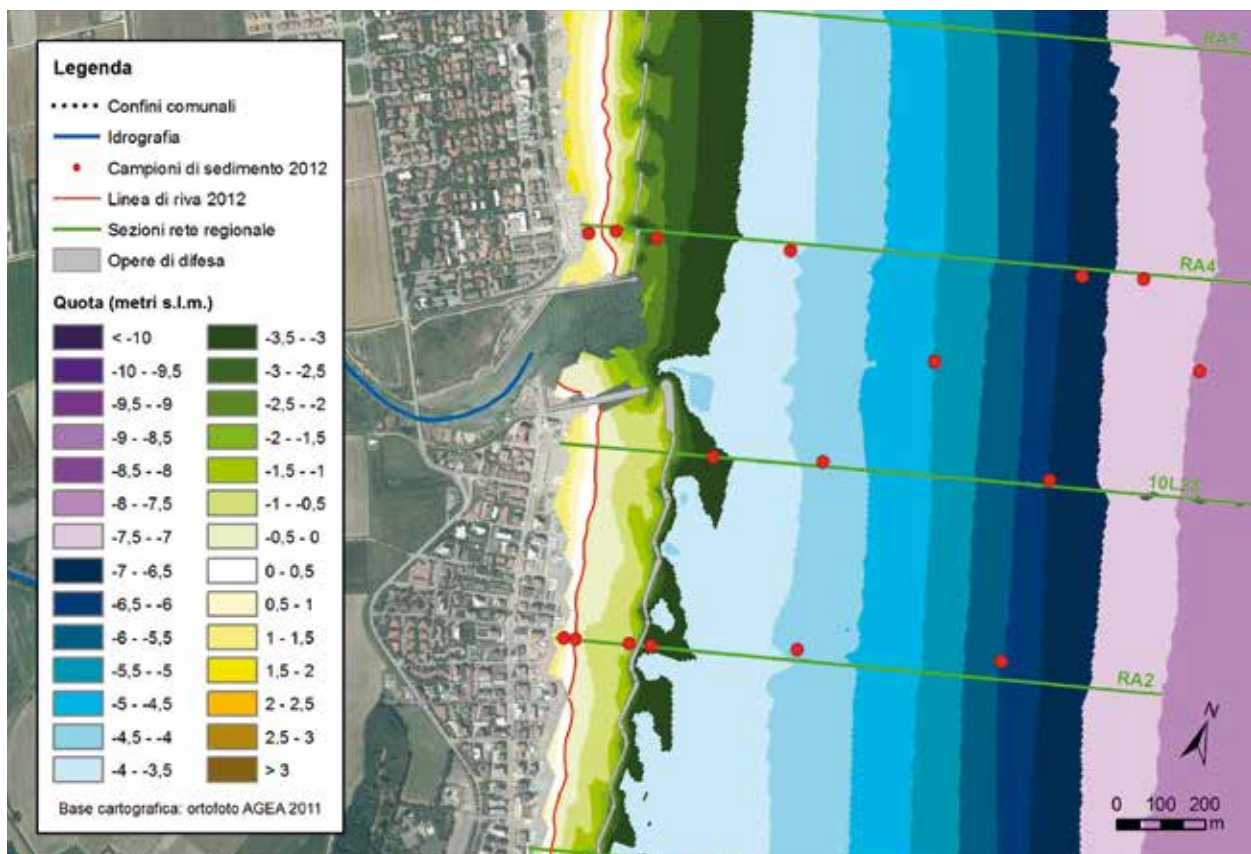


Figura 70 - Batimetrie alla Foce del Savio rilevate nel 2012.

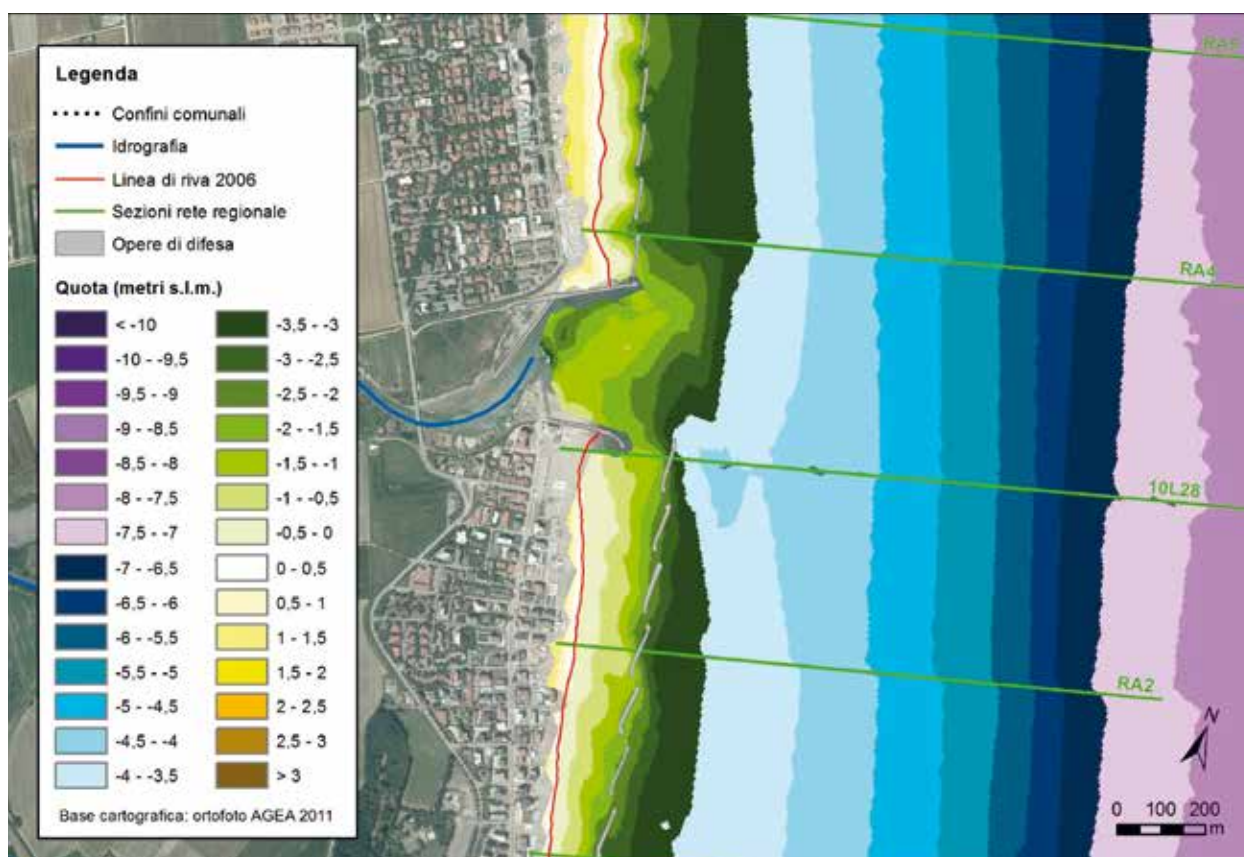


Figura 71 - Batimetrie rilevate alla foce del Savio nel 2006.

meno accentuata, alla testata dell'ultima scogliera emersa posta a protezione di Lido di Savio e come la barra di foce presente allora, con gli ultimi rilievi risulti in parte smantellata.

Di fronte allo sbocco del Savio sono stati raccolti due ulteriori campioni al di fuori dei transesti di campionamento (savio-1 e savio -2, Figura 70) alle profondità di 5 e 7,5 m, con granulometria particolarmente grossolana per questa fascia di fondale: essi sono composti da sabbia fine (50%) associata a sabbia media (30%) e grossolana (10%); sono moderatamente cerniti e con asimmetria debolmente negativa.

Evoluzione 2006-2012

Il tratto di litorale tra il molo ponente del porto canale di Cesenatico e la foce del Savio (Celle 49-64, Figura 72 e Tabella 15) ha subito, tra il 2006 e il 2012, una perdita in volume di sedimento di circa 356.000 mc, pari a 26 mc/m in 6 anni. Nella macrocella 3 sono stati apportati inoltre quasi 194.000 mc di sabbia che sommati alle perdite rilevate contribuiscono a formare una perdita totale di sedimento di circa 550.000 mc.

Sulla base dei recenti dati relativi ai tassi di subsidenza, è stato possibile ricostruire che circa un

quarto delle perdite totali (147.000 mc) è dovuto al fenomeno della subsidenza.

Le uniche spiagge risparmiate dall'erosione sono quelle di Cesenatico Ponente (cella 50), Lido di Savio (cella 63) e Foce Savio (Cella 64).

I primi 800 m di spiaggia a nord del porto canale di Cesenatico (Cella 50) difesi da una scogliera a cresta bassa (di seguito LCS) e da un pennello in roccia, nel periodo 2006-2012 sono rimasti in equilibrio e anche la linea di riva non ha subito significative variazioni.

A nord del pennello, da Cesenatico Colonie (cella 51) ai primi 1.300 m di Cervia (Cella 55), la spiaggia emersa e sommersa ha subito invece forti perdite (Figura 72). Questo tratto è penalizzato dal fatto che è sottoflutto ad un sistema di opere di difesa rigida ed è privo di alimentazione naturale. Nel periodo 2006-2012, in questo tratto di costa sono stati portati a ripascimento circa 90.000 mc di sabbia che sono risultati insufficienti a compensare i fenomeni erosivi, mentre gli oltre 260.000 mc di sabbia portati a ripascimento nel periodo 2000-2006 avevano garantito l'equilibrio di quasi tutto il tratto.

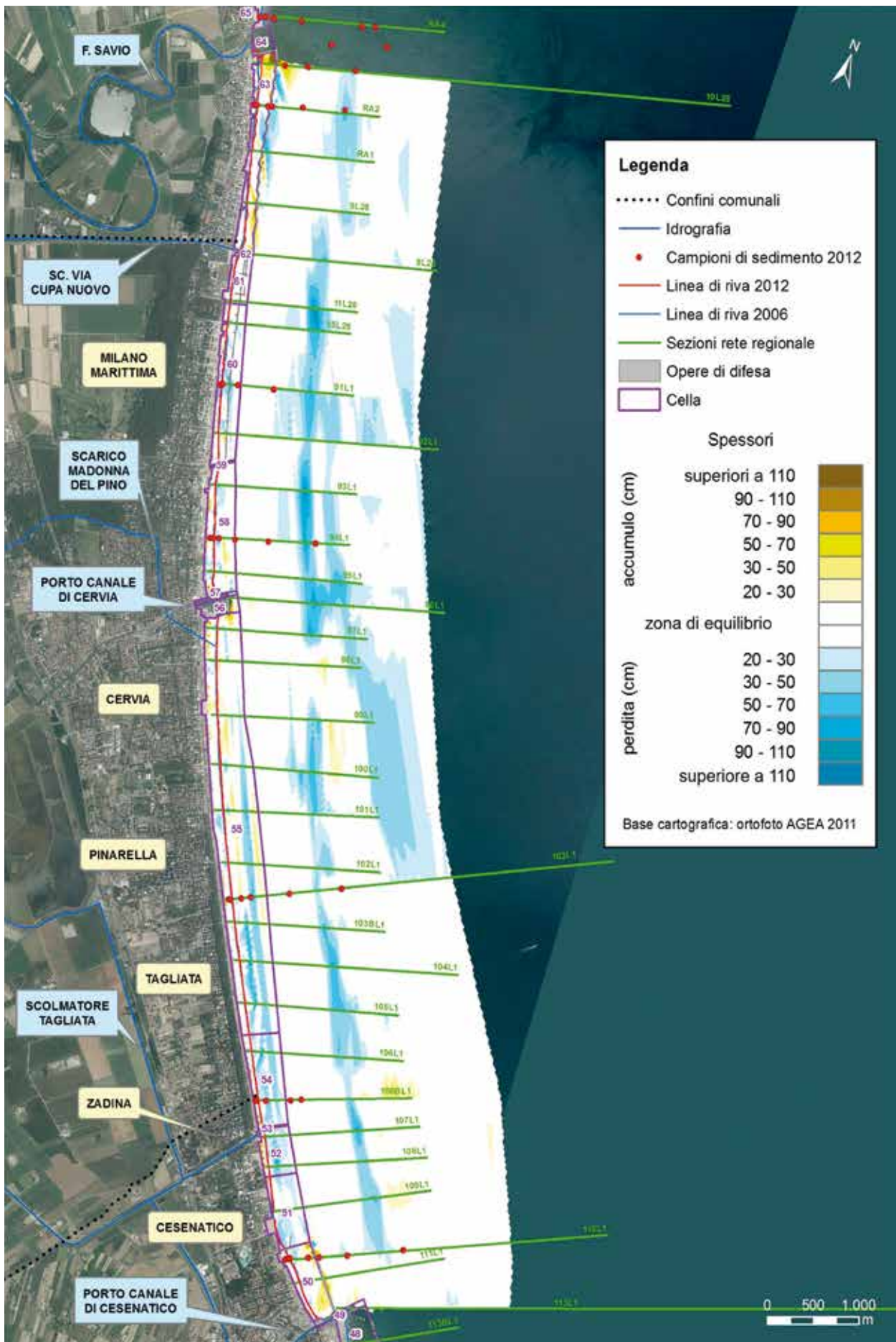


Figura 72 - Molo di Cesenatico - Foce Savio : carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012.

La falcata erosiva determinata dal pennello e dalla LCS interessa soprattutto la cella 51 (Cesenatico Colonie), dove la spiaggia è ormai scomparsa e durante le mareggiate l'acqua lambisce le colonie e sormonta facilmente i muretti perimetrali (Figura 75). Nel 2009, la foce del Canale Tagliata (Cella 53) è stata allargata e i vecchi moli in cemento armato sono stati sostituiti da palancole in acciaio. Come dimostrato dai risultati del "Piano per il monitoraggio e la gestione idraulica degli interventi per la messa in sicurezza del nodo Cervia-Cesenatico" di Arpa, questo intervento non ha determinato nessun impatto significativo sull'evoluzione della spiaggia al 2012.

I 3 km di litorale del comune di Cervia a sud della darsena (zona nord della Cella 55) beneficiano del trasporto solido litoraneo sud-nord, infatti risultano in equilibrio e in alcuni tratti la linea di riva è in leggero avanzamento. Complessivamente, però, questa cella (55, Cervia) risulta in erosione con una perdita di oltre 150.000 mc. Le perdite di sedimento risultano localizzate nella spiaggia sommersa (Figura 72)

Il litorale tra il porto canale di Cervia (cella 57) e il canale di via Cupa (cella 62) è contraddistinto da perdite di materiale differenziate da tratto a tratto. Il bilancio sedimentario della spiaggia di Milano Marittima (Cella 58), posta sottoflutto al trasporto solido litoraneo, risulterebbe in equilibrio se il tratto non avesse perso a causa dell'abbassamento del suolo per subsidenza oltre 19.500 mc di materiale e se da essa non venissero prelevate sabbie poi utilizzate per ripascimento di altre spiagge. Il materiale sabbioso proveniente da nord tende ad accumularsi nei primi 200-300 m a ridosso del molo di ponente del porto canale di Cervia che nel 2009 è stato prolungato. Per evitare un eccessivo accumulo, tra il 2010 e il 2011 sono stati prelevati da questa zona 27.700 mc di sabbia che poi sono stati portati nella cella 61, a sud di Via Cupa (Figura 72). Sulle spiagge di Milano Marittima Nord e Milano Marittima Colonie (Celle 60 e 61) per fronteggiare l'erosione sono stati apportati circa 190.000 mc di sabbia, i quali sono risultati sufficienti per stabilizzare la cella 61, ma insufficienti per la cella 60. Nei 6 anni precedenti in queste due aree erano stati apportati a ripascimento circa 300.000 mc di sabbia che avevano compensato adeguatamente le perdite.

Lungo tutto il tratto di spiaggia dal porto canale

di Cervia al canale di via Cupa la linea di riva non ha avuto variazioni significative, tranne in un tratto di 400-500 m della cella 60 dove rispetto al 2006 essa è arretrata di circa 10-20 m.

Le scogliere poste a protezione del litorale di Lido di Savio (cella 63) continuano a garantire l'equilibrio di questi 2 km di spiaggia, inoltre nel corso del 2010 il sistema di difesa è stato ulteriormente rinforzato con la realizzazione di berme in roccia in corrispondenza dei varchi e la ricalibratura delle scogliere ad una quota di +1.5 m s.l.m.m. Nel 2008, in corrispondenza dell'estremità settentrionale della spiaggia di Lido di Savio, è stata costruita una nuova scogliera a cresta bassa che collega le scogliere emerse di Lido di Savio a un nuovo pennello costruito in destra foce. Al retro della nuova scogliera, nel 2012, risulta essersi accumulato del materiale, mentre alla testata della stessa e di fronte alla foce del fiume Savio i rilievi hanno evidenziato una tendenza erosiva della barra di foce (Figura 73).

Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012

Dai calcoli fatti sui rilievi risulta che la macrocella 3, nel periodo 2006-2012, ha perso circa 355.000 mc di materiale. Aggiungendo a questi i circa 194.000 mc di sabbia portati a ripascimento e provenienti da fonti esterne alla macrocella, si ottiene un bilancio complessivo negativo di 549.000 mc.

Anche nel periodo precedente, 2000-2006, il paraggio risultava in perdita: i rilievi avevano evidenziato un accumulo di sedimenti di 430.000 mc, ottenuto però con oltre 580.000 mc di sabbia portati a ripascimento e provenienti da fonti esterne alla macrocella.

Sia per le spiagge a sud del porto canale di Cervia che per quelle a nord, ad esclusione di Lido di Savio, il trend nel periodo 2006-2012 è peggiore rispetto a quello del 2000-2006.

Questo paraggio è praticamente privo di fonti naturali di alimentazione di sedimento e il suo equilibrio è garantito ormai dagli apporti esterni. Nel periodo 2006-2012, la riduzione dei volumi di tali apporti ha avuto inevitabili conseguenze sullo stato delle spiagge. Per migliorare le condizioni di questo paraggio in futuro bisognerà incrementare gli apporti di sabbia e, per ottenere il massimo beneficio, converrà concentrare gli interventi nelle zone considerate punti di partenza del trasporto solido litoraneo della macrocella 3: le spiagge di Cesenatico Ponente (Cella 50) e Cesenatico Co-

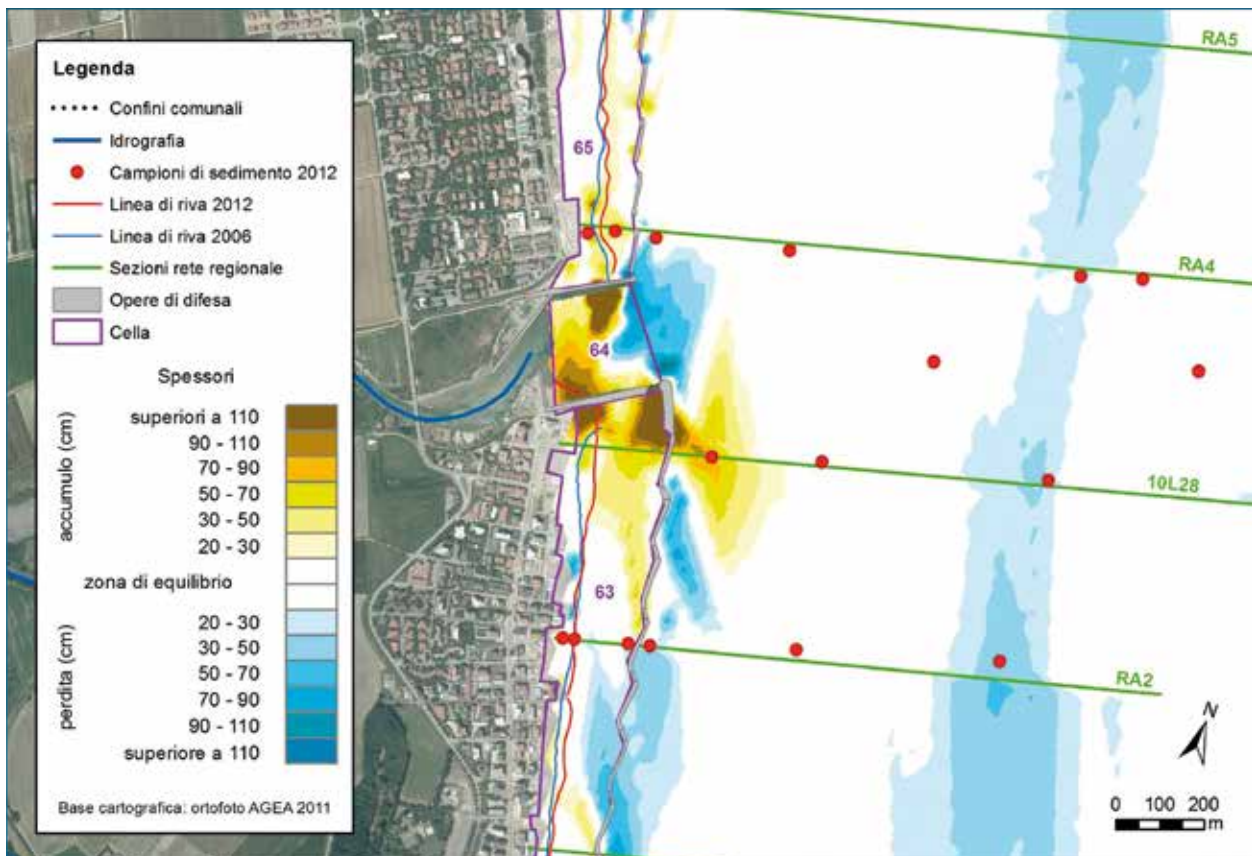


Figura 73 - Mappa degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012 alla foce del fiume Savio.

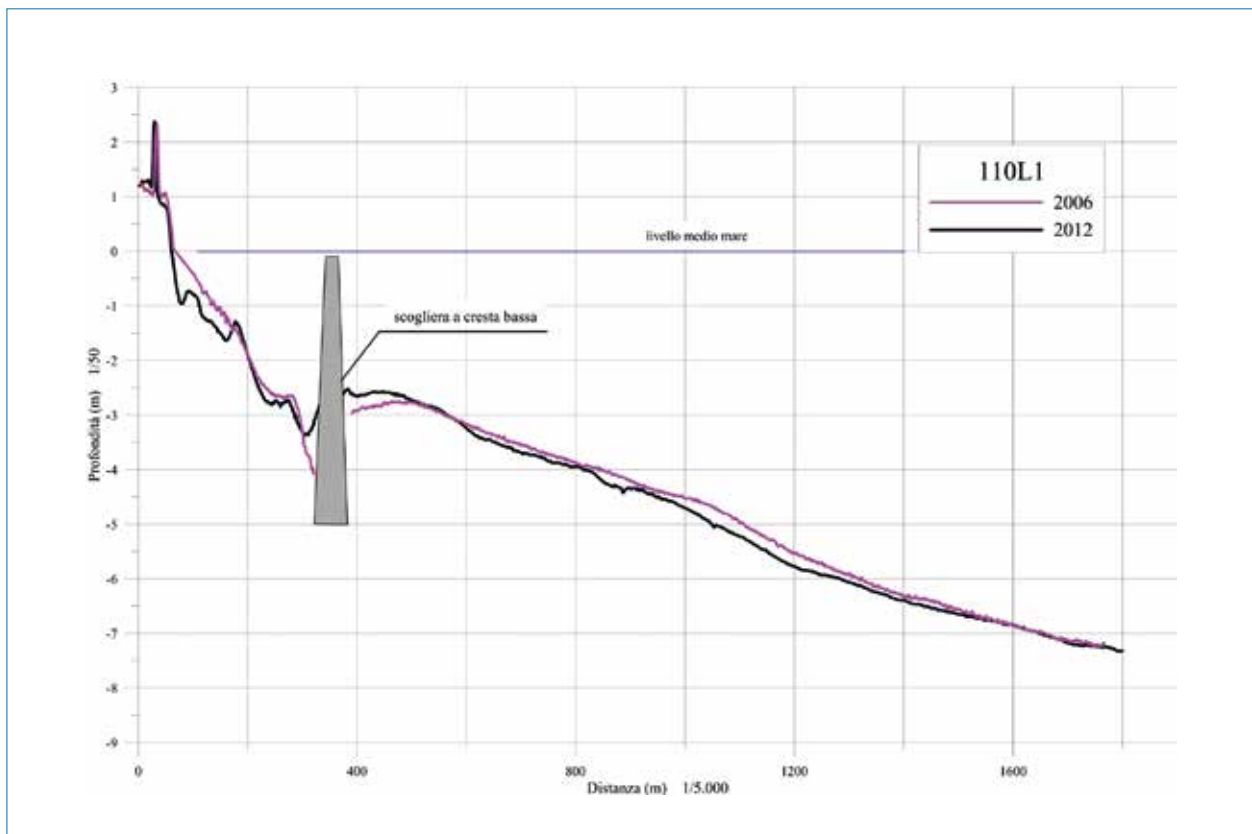


Figura 74 - Cesenatico Ponente (Cella 50): Profilo 110L1.

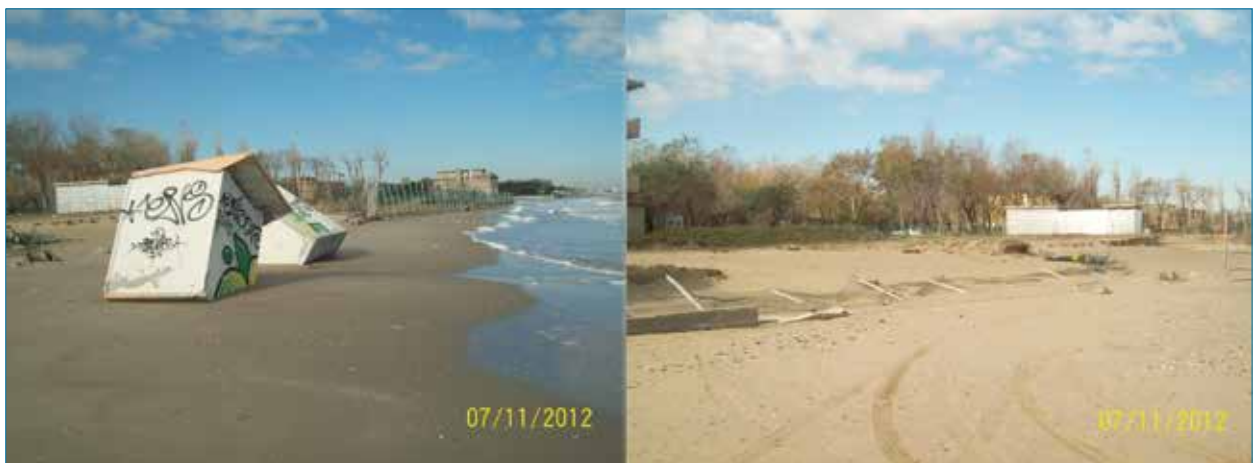


Figura 75 - Cesenatico Colonie: effetti della mareggiata del 31 Ottobre 2012.

lonie (Cella 51), a sud, e quelle di Milano Marittima Nord (cella 60) e Milano Marittima Colonie (Cella 61), a nord. 3 (Figura 78).

Per quanto riguarda la subsidenza, anche in questa macrocella nel periodo 2006-2012, è stata rilevata una netta riduzione del tasso di subsidenza che è passato a valori medi di 6 mm/anno dai circa 10 mm/anno del periodo 2000-2006. Le perdite di volume di sedimento per subsidenza si sono così ridotte del 40%, passando dagli oltre 240.000 mc del periodo 2000-2006 ai circa 147.000 mc del periodo 2006-2012.

Sintesi

Dai calcoli fatti sui rilievi risulta che la macrocella 3, nel periodo 2006-2012, ha avuto un bilancio complessivo negativo di 549.000 mc.

Anche nel periodo precedente, 2000-2006, il paragone risultava in perdita: i rilievi avevano evidenziato un accumulo di sedimenti di 430.000 mc ottenuto, però, con un apporto di oltre 580.000 mc di sabbia provenienti da fonti esterne alla macrocella.

Sia le spiagge a sud del porto canale di Cervia che quelle a nord, ad esclusione di Lido di Savio e Cesenatico Ponente, hanno avuto un trend evolutivo

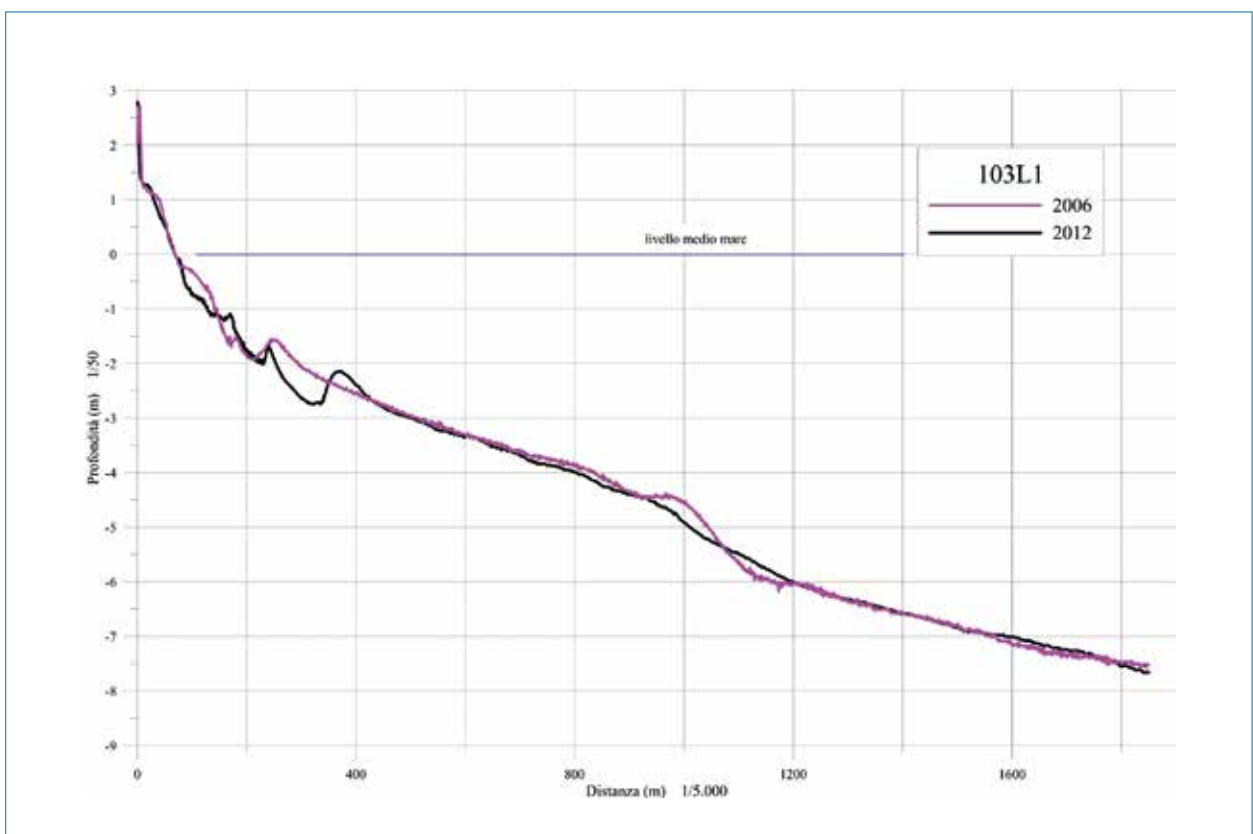


Figura 76 - Cervia (Cella 55): Profilo 103L1.

Tabella 15 - Molo di Cesenatico – Foce Savio (M3):Variazione di volume, perdite per subsidenza, ripascimenti e prelievi. Tutti i valori sono riferiti al periodo 2006-2012 (misure in m le lunghezze, mc i volumi).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	Vimm	Vaspe
49	Porto Canale Cesenatico	55	0	0	0	0	0	0
50	Cesenatico Ponente	825	17257	6490	0	3150	-3150	20407
51	Cesenatico Colonie	775	-48412	7008	90491	0	90491	-138903
52	Cesenatico Campeggio Zadina	500	-37601	4938	0	0	0	-37601
53	Canale Tagliata	10	0	0	0	2600	-2600	2600
54	Zadina Tagliata	1000	-71888	9436	7628	0	7628	-79516
55	Cervia	4420	-158261	62534	0	0	0	-158261
56	Darsena di Cervia	165	0	0	0	0	0	0
57	Porto Canale di Cervia	40	0	0	0	64950	-64950	64950
58	Milano Marittima	1365	-45929	19514	0	27700	-27700	-18229
59	Canalino delle Saline	30	0	0	0	0	0	0
60	Milano Marittima Nord	1685	-68929	16931	101850	0	101850	-170779
61	Milano Marittima Colonie	540	-9652	4070	87508	0	87508	-97160
62	Canale di Via Cupa	20	0	0	0	0	0	0
63	Lido di Savio	2070	37313	14104	4700	0	4700	32613
64	Foce Savio	265	29477	1901	0	0	0	29477
Totale		13765	-356626	146927	292177	98400	193777	-550403

DV variazione di volume tra il 2006-2012

Vsub volume sottratto per subsidenza

Vrip volume portato a ripascimento

Vpre volume prelevato

Vimm=Vrip-Vpre volume immesso al netto dei prelievi

Vaspe=DV-Vrip+Vpre variazione di volume effettiva

nel periodo 2006-2012 peggiore rispetto a quello del 2000-2006.

Dal momento che l'alimentazione naturale di sedimento di questo paraggio è praticamente nulla, l'equilibrio delle spiagge dipende molto dagli apporti sedimentari artificiali, che nel secondo

periodo hanno subito una decisa riduzione. Per quanto riguarda la subsidenza, anche in questa macrocella nel periodo 2006-2012, è stata rilevata una netta riduzione del tasso abbassamento del suolo: le perdite di volume di sedimento per subsidenza si sono ridotte del 40%.

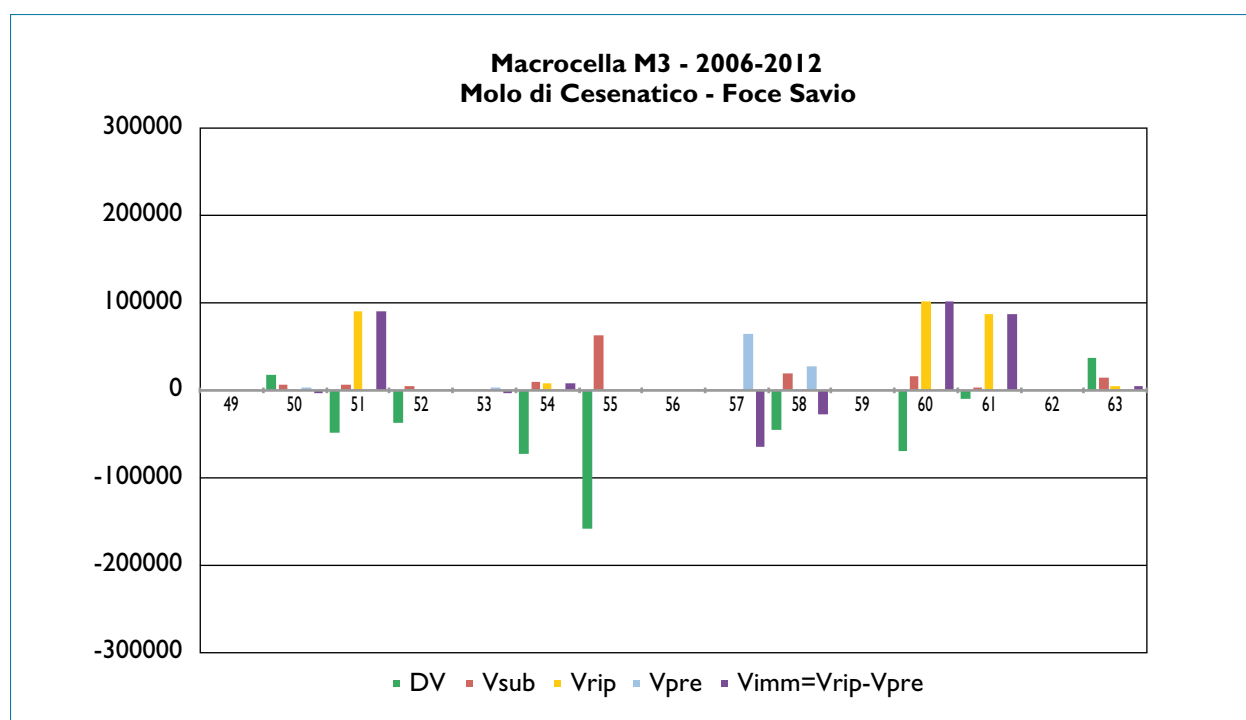


Figura 77 - Molo di Cesenatico - Foce Savio (M3). DV:Variazione di volume;Vsub: perdite per subsidenza;Vrip: ripascimenti;Vpre: prelievi ;Vimm: volumi immessi, nel periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc).

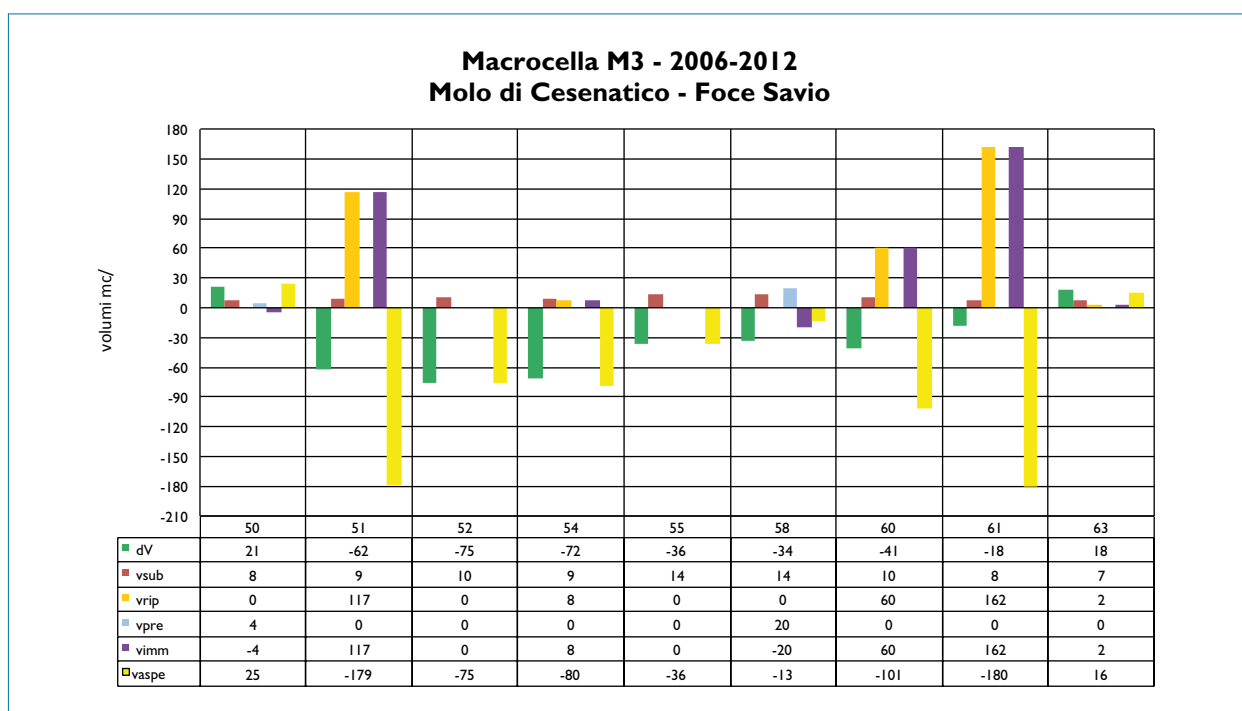


Figura 78 - Molo di Cesenatico - Foce Savio (M3). Legenda: dV:Variazione di volume; vsub: perdite per subsidenza; vrip: ripascimenti; vpre: prelievi; vim: volumi immessi; vaspe: variazioni di volume complessive ottenute come dV-vrip+vpre. Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc/m).

La tessitura dei sedimenti presenti lungo il tratto di costa compreso tra Cesenatico e la foce del fiume Savio (macrocella 3) presenta significative differenze rispetto a quanto riscontrato nel tratto Rimini – Cesenatico (macrocella 2).

Le sabbie che compongono la spiaggia emersa sono leggermente più grossolane, in particolare sul litorale di Cesenatico dove il granulo medio è in vari casi dell'ordine della sabbia media (Figura 67). La spiaggia emersa presenta sempre una certa porzione di sabbia media e grossolana (più abbondante a Cesenatico), a eccezione della sezione più a nord vicina alla foce del Savio, dove prevale la sabbia fine e ad essa è associata anche sabbia molto fine.

Per quanto riguarda i fondali al largo, di fronte a Cesenatico il diametro medio dei sedimenti alle maggiori profondità (-6 m) continua ad essere dell'ordine del silt come nella macrocella 2, mentre a partire da Zadina e lungo il resto del paraggio in questione verso nord, esso risulta ricadente nella classe della sabbia molto fine, quindi più grossolano (Figura 67, Figura 129).

Si segnala inoltre la presenza di sabbie fini alla profondità di 7 metri (quindi grossolane in modo anomalo per queste profondità) alla foce del Savio, probabilmente manifestazione di un processo di cannibalizzazione del corpo deltizio sommerso (Figura 66).

Complessivamente, la cernita non mostra trend relazionabili con la profondità (Figura 68).

L'asimmetria è prevalentemente negativa sulla spiaggia emersa e positiva su quella sommersa, anche se ci sono casi di simmetria in profondità (Figura 69).

4.4 Macrocella 4: Foce Savio – Marina di Ravenna

Inquadramento

Il tratto di litorale che va dalla foce del fiume Savio ai moli di Porto Corsini, macrocella 4, è lungo 19.100 m. Proseguendo da sud verso nord esso comprende le spiagge delle località turistico-balneari di Lido di Classe, Lido di Dante, Lido Adriano, Punta Marina e Marina di Ravenna, tutte appartenenti al territorio del comune di Ravenna (Figura 79 e Figura 88).

L'evoluzione di questo litorale è strettamente collegata all'apporto sedimentario dei fiumi Savio, Bevano e Fiumi Uniti, alla presenza dei moli di Porto Corsini e al trasporto solido litoraneo che è prevalentemente diretto da sud verso nord (nella zona del Bevano il trasporto è diretto da nord verso sud). Nel corso dei primi del '900, ma ancor più a partire dagli anni '50, la riduzione degli

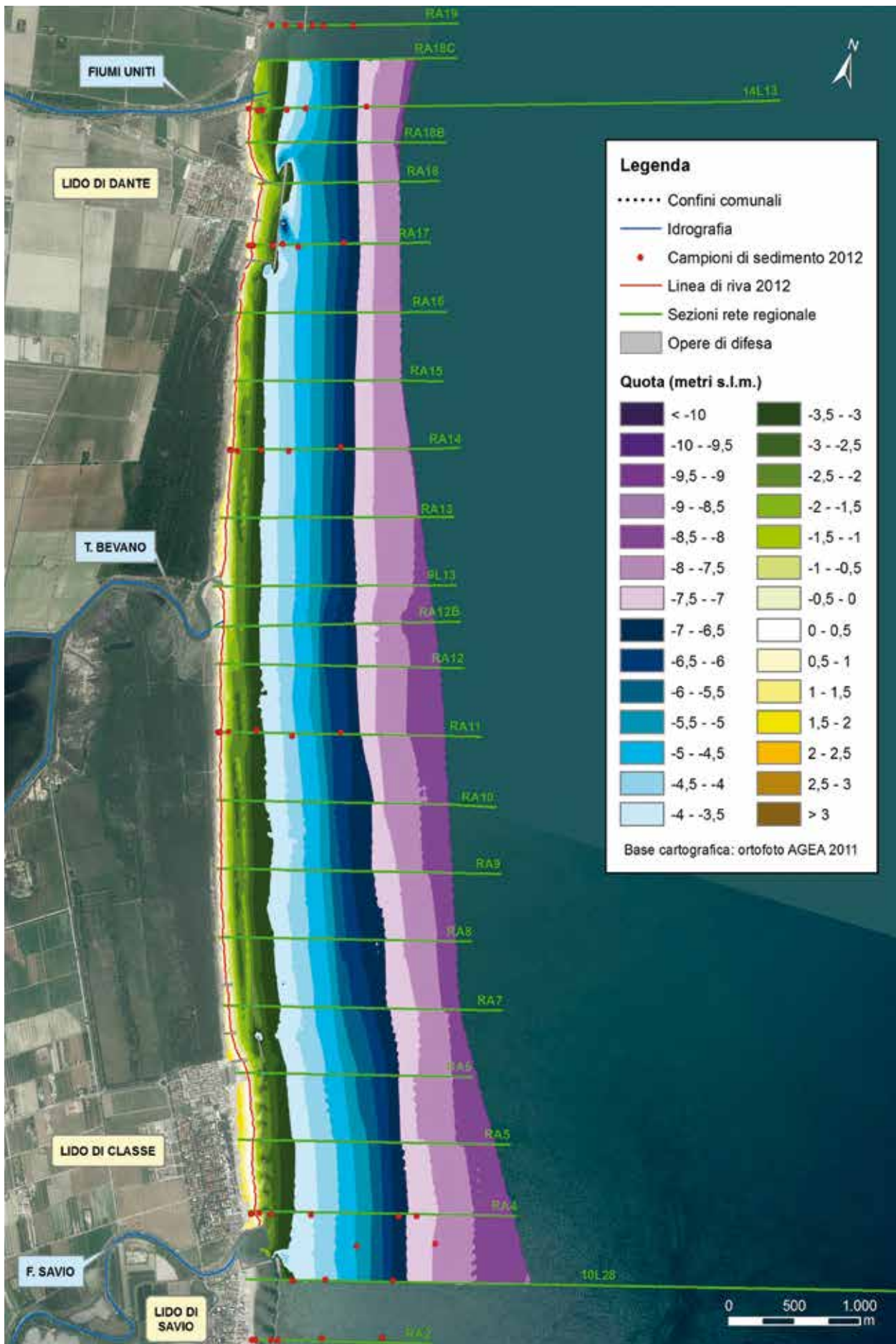


Figura 79 - Foce Fiume Savio – Foce Fiumi Uniti: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

apporti solidi fluviali ha determinato un progressivo arretramento prima delle cuspidi fluviali e poi delle spiagge limitrofe.

I moli di Porto Corsini, costruiti nel periodo 1958-1969 (il porto fu inaugurato nel 1971), si aggettano in mare per circa 2600 m, oltre la batimetrica degli 8 m ostacolando in modo significativo il trasporto solido litoraneo.

A partire degli anni '70, per arginare il fenomeno dell'erosione costiera, il Ministero dei Lavori Pubblici è intervenuto con la realizzazione di scogliere a difesa delle località litoranee che nel frattempo si stavano sviluppando grazie ad una rapida crescita del turismo balneare (Arpa, 2008). Attualmente, 10 km di litorale su 19 km totali sono difesi con opere rigide (scogliere parallele emerse, scogliere a cresta bassa, scogliere radenti e pennelli in roccia). Per ripristinare la spiaggia erosa è stato necessario effettuare diversi e importanti interventi di ripascimento, anche e soprattutto nelle zone difese con opere rigide.

L'erosione delle spiagge è stata accentuata dal fenomeno della subsidenza, che, nonostante secondo gli ultimi studi risulti complessivamente in riduzione, continua ad avere tassi elevati soprattutto nell'area di foce dei Fiumi Uniti.

Stato del litorale al 2012

Nei primi 1.220 metri di questa marocella a partire da sud (cella 65) sono presenti 10 scogliere parallele emerse poste a protezione dell'abitato e della spiaggia di Lido Classe (Figura 79 e Figura 90). Queste opere hanno garantito sia la difesa degli abitati che la presenza di una spiaggia con ampiezza variabile tra i 100 m e 150 m. Nel tratto più a nord è ancora presente un residuo di duna. In prossimità della foce del fiume Savio, i sedimenti raccolti sulla spiaggia emersa e nei primi fondali all'interno delle scogliere emerse (sezione RA4) sono prevalentemente formati da sabbia fine (Figura 80), i due campioni esterni alle scogliere posti a -2,5 e a -4 m sono invece formati prevalentemente da sabbia molto fine, mentre gli ultimi due campioni al largo, a 7 m di profondità, sono completamente pelitici con una componente di argilla che supera il 20%.

Questi campioni più esterni non sono, quindi, confrontabili con i campioni prelevati poco più a sud nell'area di Foce Savio (sezione 10L28 e savio-I e -2, vedi macrocella 3 e Figura 70).

Il diametro medio lungo questa sezione diminuisce

all'aumentare della profondità variando dalla sabbia fine, alla sabbia molto fine e al silt (Figura 81, Figura 129).

I campioni più selezionati sono i due esterni alle opere, raccolti a -2,5 e a -4 m, i sedimenti interni alle opere sono da moderatamente ben cerniti a moderatamente cerniti, mentre quelli al largo sono poco cerniti (Figura 82). Il coefficiente di asimmetria è negativo per tutti i campioni (Figura 83).

La spiaggia di Lido di Classe Nord (Cella 66, tratto lungo 500 m a partire dal primo pennello a sud, Figura 79), trovandosi sottoflutto ad una serie di scogliere, è andata in erosione.

Per contrastare questo processo sono stati costruiti tre pennelli in roccia e una barriera sommersa. Inoltre, per ripristinare la spiaggia, sul finire degli anni '80 è stato effettuato un intervento di ripascimento con materiale proveniente da cava a terra (Piano Costa 1996).

La spiaggia emersa ha un'ampiezza di circa 90 m nella zona prossima al primo pennello sud, verso nord essa si restringe fino a una larghezza di soli 30 m nell'area a ridosso del terzo pennello. Nel retro spiaggia è presente un cordone dunoso continuo.

Procedendo verso nord per oltre 5 km fino a Lido di Dante troviamo il tratto costiero del Bevano (Celle 67-71). Questo tratto, privo di opere di difesa dall'ingressione marina, è caratterizzato dalla presenza di un continuo cordone dunoso e di barriere sommerse (Figura 84).

Dal 1996 al 2005 la foce del Bevano ha avuto una veloce migrazione verso nord di 500-600 m (Figura 85). Questa migrazione ha determinato la distruzione di oltre 150 m di duna e di parte della pineta costiera, indebolendo il sistema di protezione naturale del territorio da mareggiate (Regione Emilia-Romagna, 2009). Per frenare questo processo, nel 2006, è stato realizzato un importante progetto di "riqualificazione funzionale del tratto costiero in corrispondenza di foce Bevano, con lo spostamento della foce di circa 500 m verso sud, in prossimità di dove si trovava nel 1991 (Figura 86).

La spiaggia, intesa come distanza tra il piede della duna e la linea di riva, ha qui un'ampiezza variabile tra i 30 m e i 40 m. Più a nord, in prossimità delle difese di Lido di Dante essa si riduce a pochi metri e, a sud di questo tratto, sia la duna che il terra-

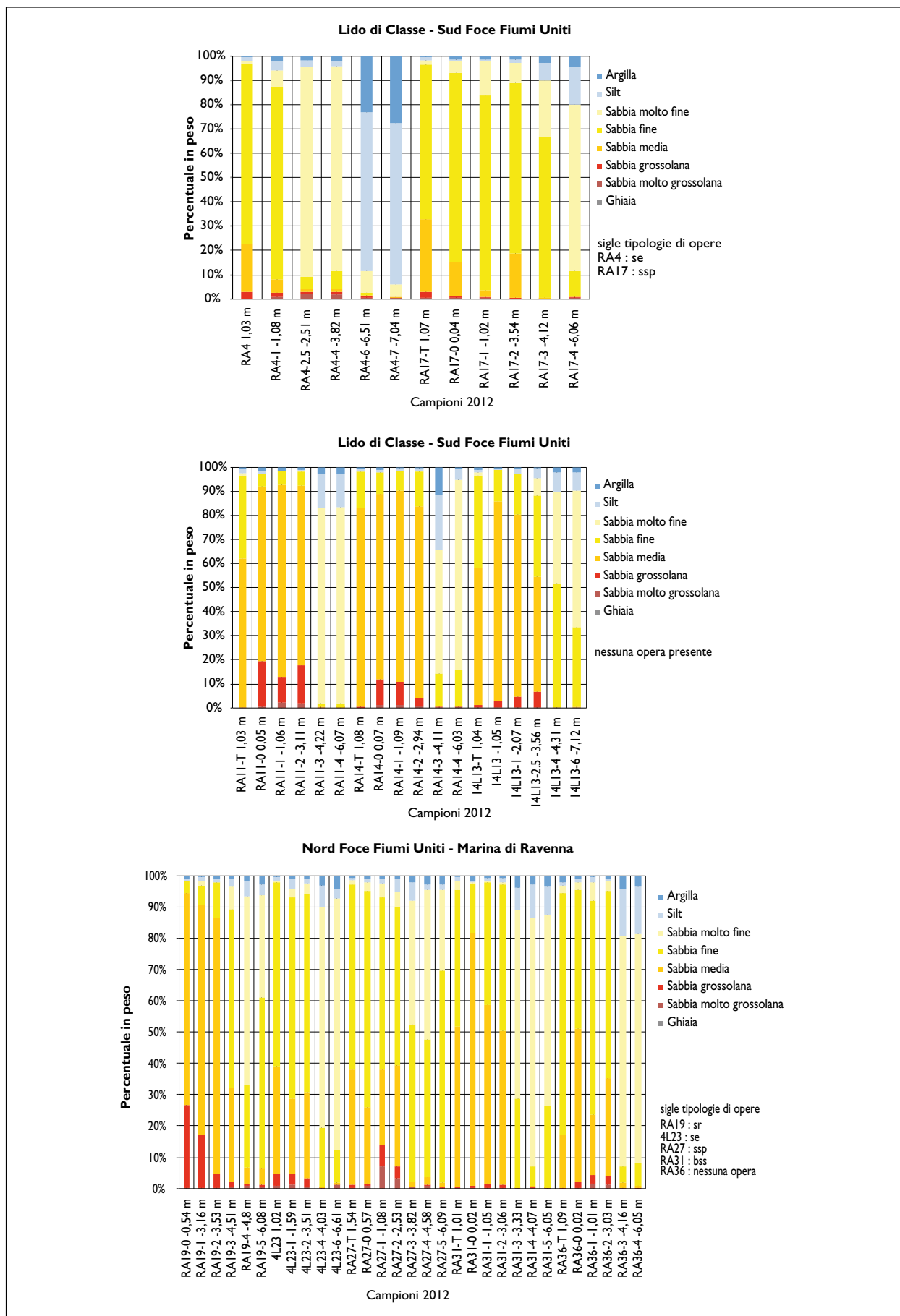


Figura 80 - Istogrammi con analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra la foce del fiume Savio e Porto Corsini; sr: scogliere radenti; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

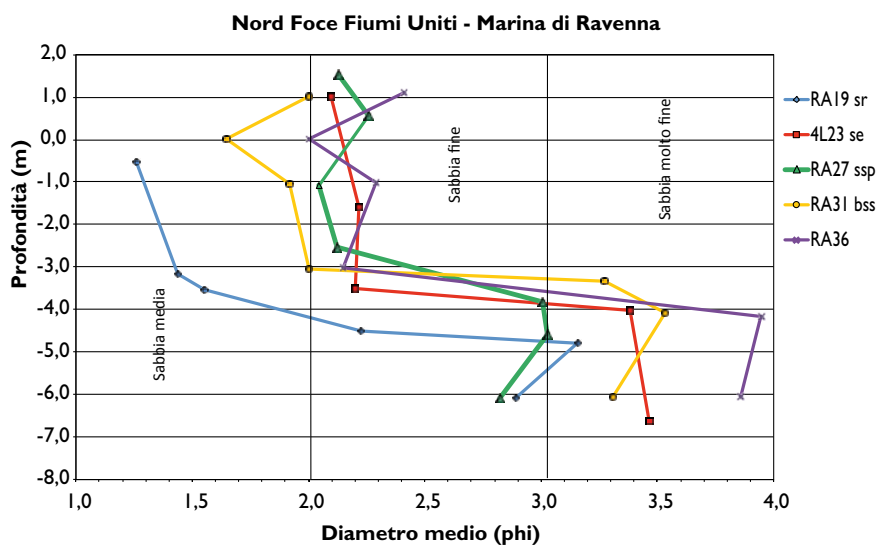
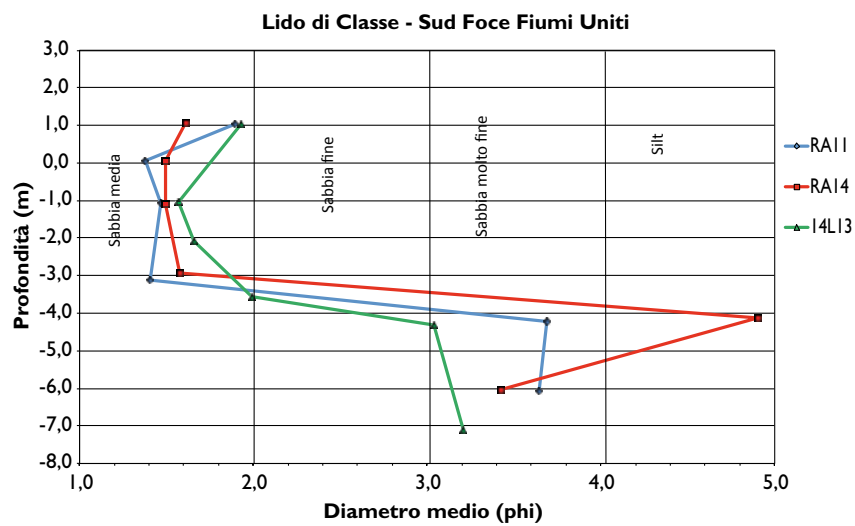
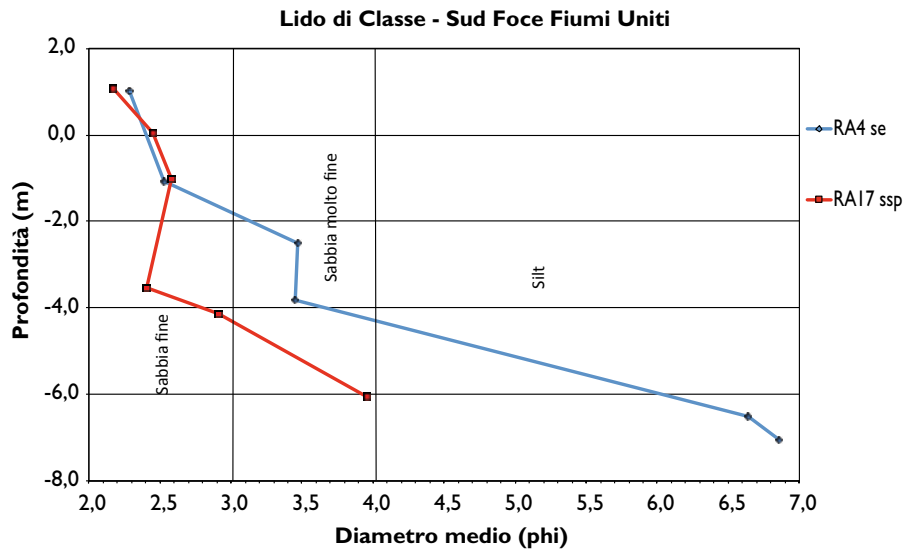


Figura 81 - Diametro medio dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra la foce del fiume Savio e Porto Corsini; sr: scogliere radenti; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

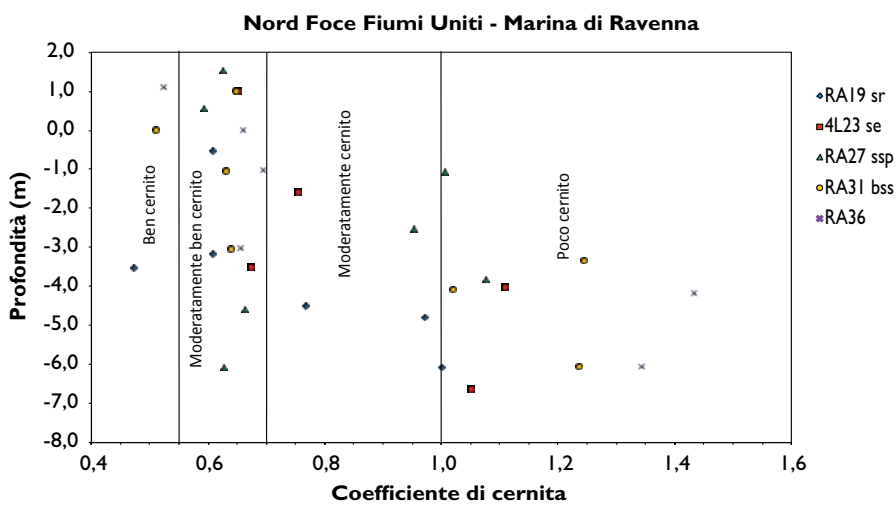
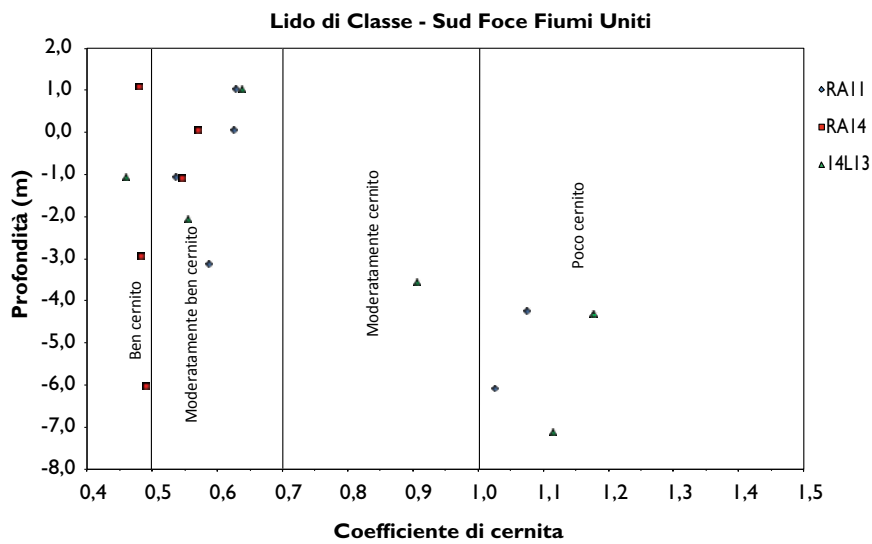
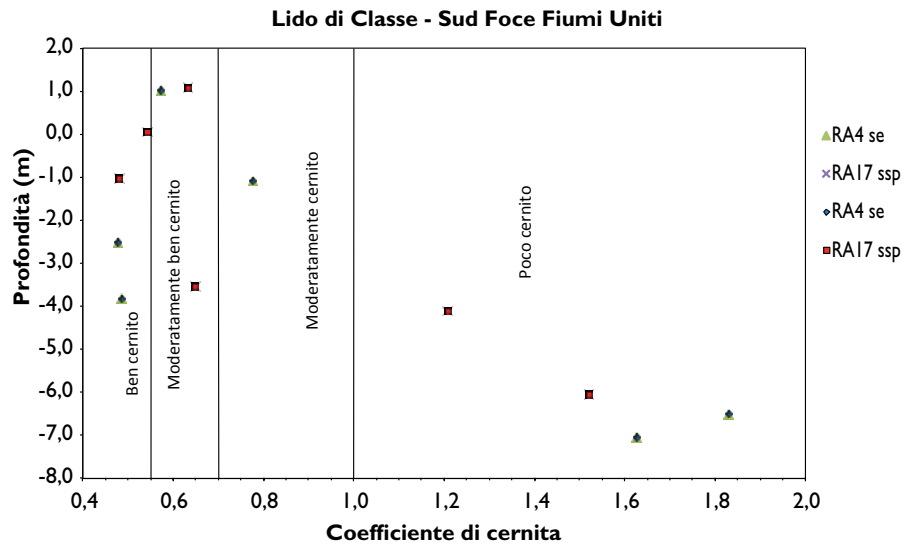


Figura 82 - Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra la foce del fiume Savio e Porto Corsini; sr: scogliere radenti; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

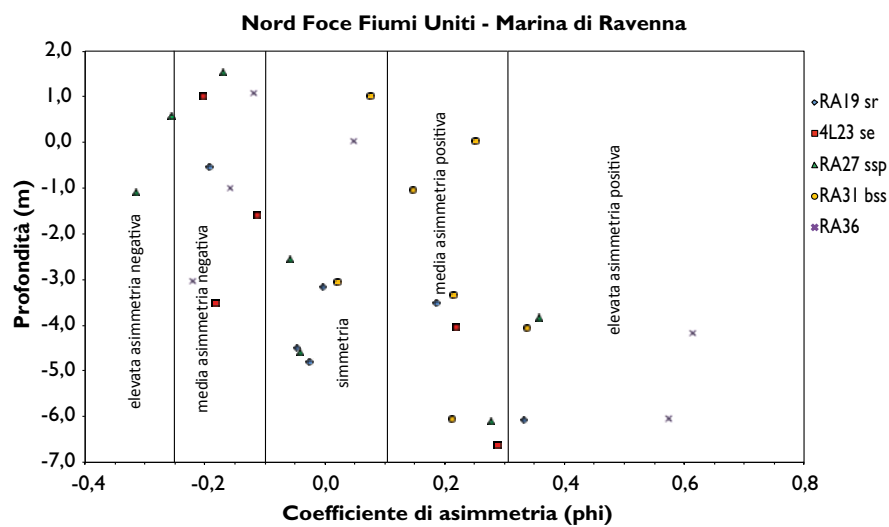
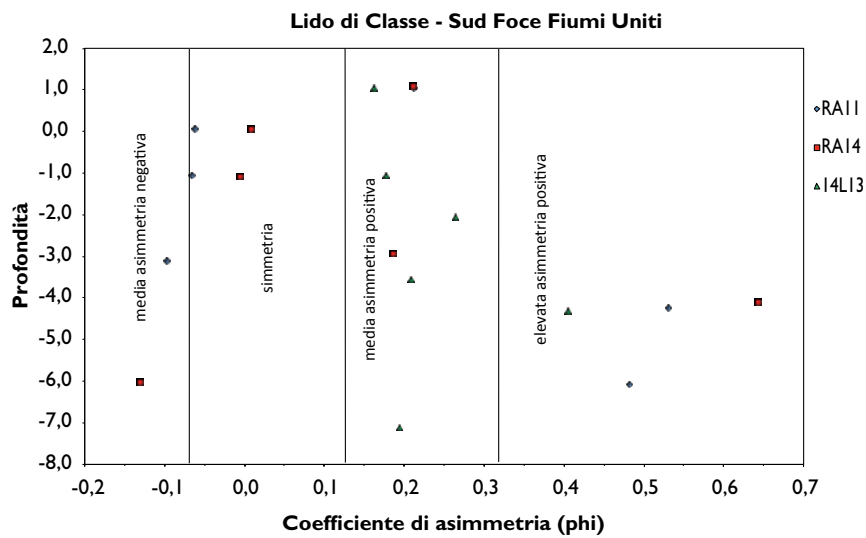
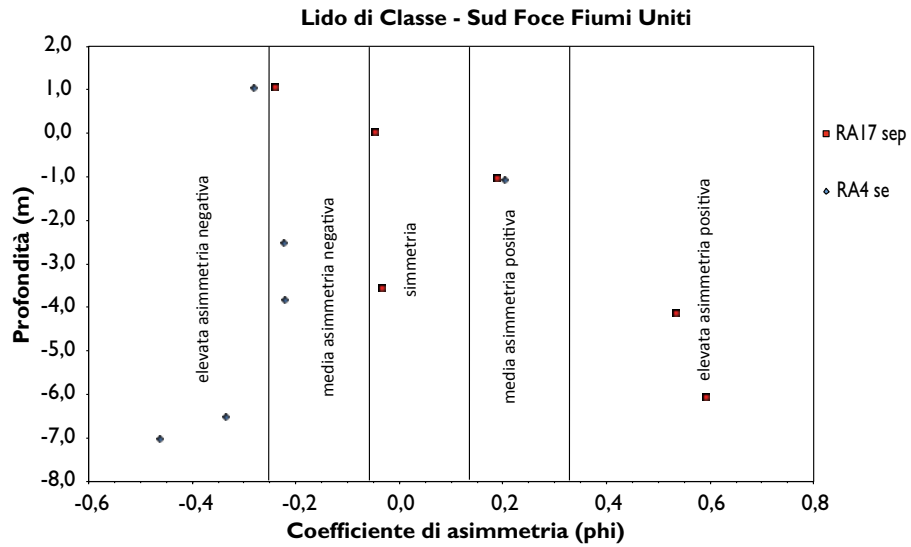


Figura 83 - Coefficiente di asimmetria dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra la foce del fiume Savio e Porto Corsini; sr: scogliere radenti; se: scogliere emerse; ssp: scogliere a cresta bassa e pennelli; bss: barriere sommerse in sacchi pieni di sabbia.

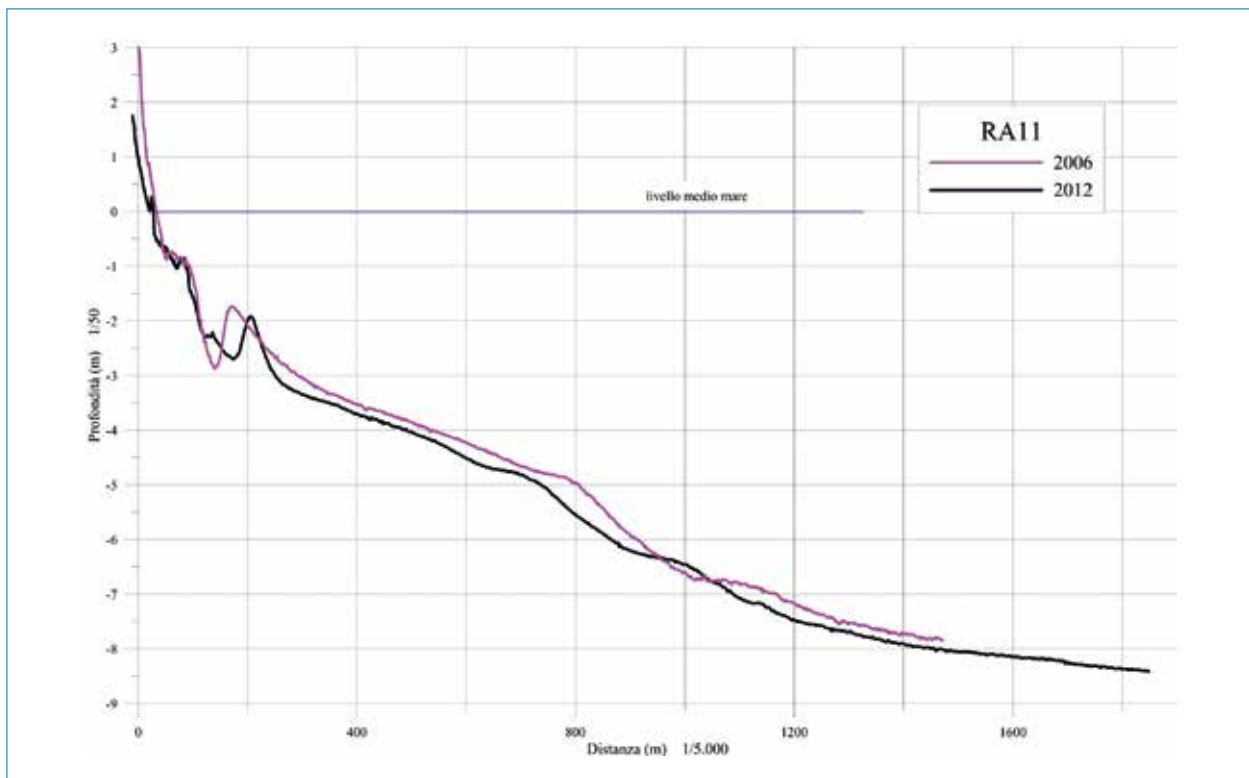


Figura 84 - Bevano Centro Sud (Cella 68): Profilo RA11.

pieno di difesa retrostante sono stati seriamente compromessi dalle mareggiate (Figura 87).

Le sabbie che compongono le spiagge in prossimità di Foce Bevano sono le più grossolane di tutto il litorale regionale (Figura 80, sezioni RA11 e RA14).

A partire dalla spiaggia emersa fino alla profondità di oltre 2 m i sedimenti sono composti da prevalenti sabbie medie (60-80%). I campioni compresi tra la battigia e i -2 m oltre alle sabbie medie contengono discrete percentuali di sabbie grossolane (5-20%), risultando più grossolani dei campioni raccolti sulla spiaggia emersa. I campioni oltre i 3 m di profondità sono composti per il 50-80% da sabbia molto fine. Lungo la sezione più a nord (RA14) è presente anche una discreta porzione di sabbia fine (10-15%). La pelite varia dal 5 al 35%; il campione più ricco in fango è quello raccolto a 4 m di profondità lungo la sezione RA14, dove è presente più del 10% di argilla.

Il diametro medio dei campioni compresi entro la batimetrica dei 3 m ricade nel campo delle sabbie medie, mentre per i campioni al largo nel campo della sabbia molto fine (Figura 81, Figura 129). Tra questi ultimi si distingue quello più fangoso posto a 4 m sul profilo RA14 che mostra un granulo medio delle dimensioni del silt.

I sedimenti prossimi alla riva e compresi entro i 3 m di profondità risultano da bene a moderatamente ben selezionati e simmetrici e con media asimmetria positiva. Quelli più al largo sono poco o molto poco cerniti e con asimmetria prevalentemente positiva, ad eccezione di quello prelevato a -6 m lungo la sezione RA14 che è ben cernito e con asimmetria leggermente negativa (Figura 82, Figura 83).

La spiaggia, l'abitato e il camping di Lido di Dante (Cella 72) sono difesi da un complesso sistema costituito da tre pennelli in roccia e una barriera a cresta bassa collegati con 2 setti trasversali. Nonostante questo importante sistema di difesa, per garantire la presenza della spiaggia è necessario effettuare periodicamente dei ripascimenti di sabbia. Nella mappa topo-batimetrica (Figura 79) sono evidenti una buca profonda 6-7 m in corrispondenza del varco centrale della scogliera a cresta bassa, dei rilevanti approfondimenti in corrispondenza delle testate e la falcata erosiva sulle spiagge adiacenti determinata dalle opere stesse a sud e a nord, nelle celle 71 e 73.

I campioni raccolti lungo la sezione RA17 (Figura 80) sono composti da prevalenti sabbie fini (65-80%), ad esclusione del campione più al largo, a-4 m, in cui la classe più abbondante è quella della



Figura 85 - Foce del Bevano (Agea 2005).

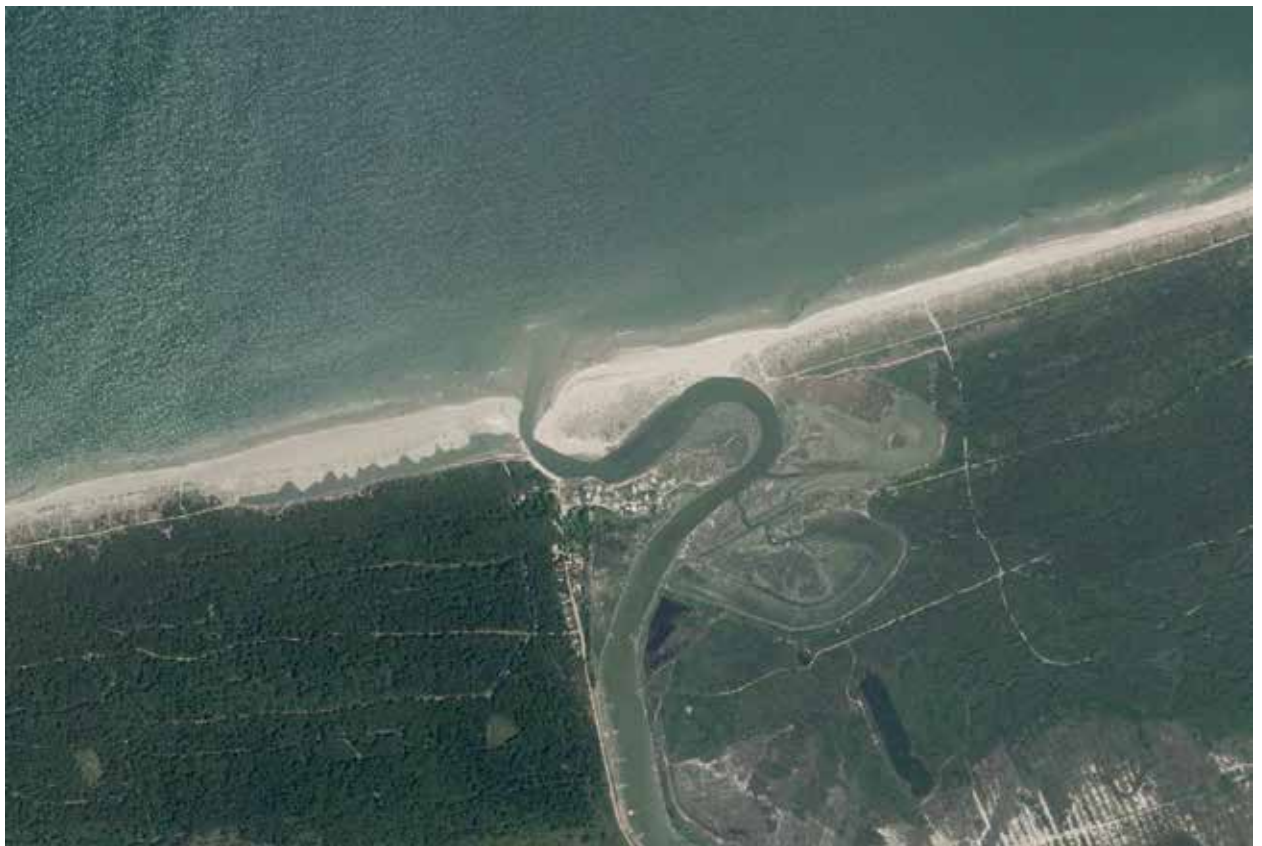


Figura 86 - Foce del Bevano (Agea 2011).



Figura 87 - Zona a sud del sistema di difesa di Lido di Dante: la duna è scomparsa e il terrapieno di difesa retrostante è stato seriamente compresso dalle mareggiate.

sabbia molto fine (quasi 70%). I campioni prossimi alla riva e quello posto al piede della scogliera, lato mare (profondità 2 m), presentano anche una discreta componente di sabbia media (15-30%).

I sedimenti prelevati entro i 4 m di profondità sono tutti rappresentati da un diametro medio delle dimensioni della sabbia fine, mentre il granulo medio del campione a 6 m ricade nel campo della sabbia molto fine, in prossimità del limite con il silt (Figura 81, Figura 129).

I sedimenti in prossimità della riva e il campione esterno alla scogliera, posto a 4 m di profondità, sono da ben cerniti a moderatamente ben cerniti. Risultano invece poco cerniti quelli prelevati al largo (Figura 82).

L'asimmetria è molto variabile nei campioni interni alla scogliera e in quello subito esterno (negativa, simmetrica e positiva), i due campioni profondi presentano invece un'accentuata asimmetria positiva (Figura 83).

Tra Foce Savio e Foce Bevano, la batimetria dei 3,5 m dista dalla costa circa 300 m, verso nord si avvicina a riva fino a una distanza di 200 nell'a-

rea di Lido di Dante. Anche la batimetria dei 7 m presenta lo stesso andamento, infatti è distante circa 1100 tra Foce Savio e Foce Bevano, poi proseguendo verso nord di avvicina a riva fino ad una distanza di 800 m nella zona di Lido di Dante.

Davanti allo sbocco dei Fiumi Uniti (celle da 73 a 75) le batimetrie non presentano evidenze di una barra di foce a parte una leggera convessità delle isobate dei -4 e -4.5 m.

I campioni raccolti a sud (sezione 14L13) e a nord della foce, in corrispondenza della scogliera radente in sinistra foce (sezione RA19, Figura 80 e Figura 129), assomigliano a quelli osservati nella zona del Bevano (RA 11 e RA14). Le uniche differenze risiedono nel fatto che qui i sedimenti con diametro medio dell'ordine della sabbia media (Figura 81) arrivano fino a quasi 4 m di profondità e che i campioni più al largo risultano un po' più grossolani rispetto alle sezioni precedenti. In questi, infatti, alle sabbie molto fini è associata una consistente porzione (30-50%) di sabbia fine che influisce anche sul diametro

medio. Infine, lungo la sezione RA19 i campioni prossimi alla riva, occupata dalla scogliera radente, contengono dal 15 al 25% di sabbia grossolana (Figura 80).

Per quanto riguarda la cernita, anche in questo caso i sedimenti provenienti dai primi metri di spiaggia sommersa (fino a quasi - 4 m) sono da ben a moderatamente cerniti, mentre al di sotto dei 4 m la cernita tende a peggiorare.

L'asimmetria è tutta positiva per i campioni della sezione 14L13 e gradualmente da negativa a positiva con la profondità per i campioni per la RA19 (Figura 83).

A nord della foce di Fiumi Uniti, le spiagge di Lido Adriano (Cella 76), Punta Marina (Cella 77) e Punta Marina Nord (Cella 78) sono interamente protette da opere rigide: scogliere parallele emerse, scogliere a cresta bassa e pennelli o setti in roccia (Figura 88).

La spiaggia emersa, mantenuta con periodici interventi di ripascimento, ha un'ampiezza variabile da pochi metri a 70-80 m.

Nella mappa topo-batimetrica del 2012 è evidente una serie di buche profonde fino a 6-7 m in corrispondenza dei varchi della scogliera a cresta bassa posta a protezione del litorale di Punta Marina (Figura 88 e Figura 89).

I sedimenti campionati sulla spiaggia emersa e all'interno delle scogliere emerse a Lido Adriano (sezione 4L23, cella 76) e a Punta Marina (sezione RA27, cella 77) sono prevalentemente formati da sabbia fine (50-60%), ma contengono anche buone percentuali di sabbia media (25-30%, Figura 80) fino ai -2 m circa. Al di fuori delle scogliere prevalgono le sabbie molto fini, soprattutto a Lido Adriano. A Punta Marina si continuano ad avere buone percentuali di sabbia fine e nel campione più profondo (a -6 m) si osserva un leggero aumento di granulometria (Figura 80).

A Lido Adriano (4L23) il granulo medio varia dalla sabbia fine, fino a - 3 m, alla sabbia molto fine verso il largo, mentre a Punta Marina esso rimane nel campo della sabbia fine anche nel campione più lontano da riva (Figura 81).

A Lido Adriano (4L23) la cernita peggiora con la profondità e i sedimenti sono da moderatamente ben cerniti a poco cerniti (Figura 82). A Punta Marina la cernita non mostra nessun rapporto con la profondità: sono moderatamente ben cerniti i sedimenti vicini a riva e quelli tra i 4,5 e i 6 m, e

poco cerniti gli altri in prossimità della scogliera (RA27, Figura 82).

Fino alla profondità di circa 3-3,5 m i sedimenti di entrambi i transetti sono prevalentemente simmetrici o con asimmetria negativa, mentre quelli più al largo hanno asimmetria positiva (Figura 83).

La spiaggia a sud del 'pennello del Ruvido' (sezione RA31, cella 78) presenta granulometrie un po' più grossolane delle spiagge adiacenti, perché nel 2011 in questa zona è stata ricostruita una barra sommersa con sabbie di cava.

Dalla battigia fino ai 2 m di profondità la spiaggia è caratterizzata da prevalenti sabbie medie associate a sabbie fini (Figura 80). I campioni più al largo sono composti da prevalenti sabbie molto fini e da una percentuale di pelite del 10-15%.

Il diametro medio dei sedimenti campionati sulla spiaggia emersa e nei fondali fino a 3 m è delle dimensioni della sabbia media (Figura 81, Figura 129), mentre quelli al largo cadono nel campo della sabbia molto fine.

I campioni risultano moderatamente ben selezionati fino a 3 m di profondità e poco cerniti oltre i - 4 m (Figura 82).

Lungo la sezione RA31 i sedimenti si presentano simmetrici o con asimmetria positiva (Figura 83). Gli ultimi 3 km di litorale a nord della macrocella 4 (Marina di Ravenna, cella 79) sono privi di opere di difesa.

La spiaggia ha un'ampiezza variabile tra i 70 m nella zona prossima all'ultimo pennello in roccia (Pennello del Ruvido) e i 200 m nella zona a ridosso del molo di levante di Porto Corsini. Questo litorale si presenta in buono stato perché è posto in prossimità del molo che blocca qui il trasporto solido litoraneo diretto da sud verso nord. Gli stabilimenti balneari si alternano a segmenti residui di cordoni dunosi.

Sulla spiaggia di Marina di Ravenna (sezione RA36), fino alla batimetrica dei 2 m i sedimenti sono composti da prevalenti sabbie fini associate a sabbie medie (Figura 80). I campioni più al largo sono composti da prevalenti sabbie molto fini. La percentuale di pelite è del 20%.

Il diametro medio dei sedimenti campionati sulla spiaggia emersa e nei fondali fino alle scogliere è delle dimensioni della sabbia fine (Figura 81, Figura 129), mentre quelli al largo cadono nel campo della sabbia molto fine.

I campioni risultano moderatamente ben selezionati fino a 3 m di profondità e poco cerniti oltre i - 4 m (Figura 82).

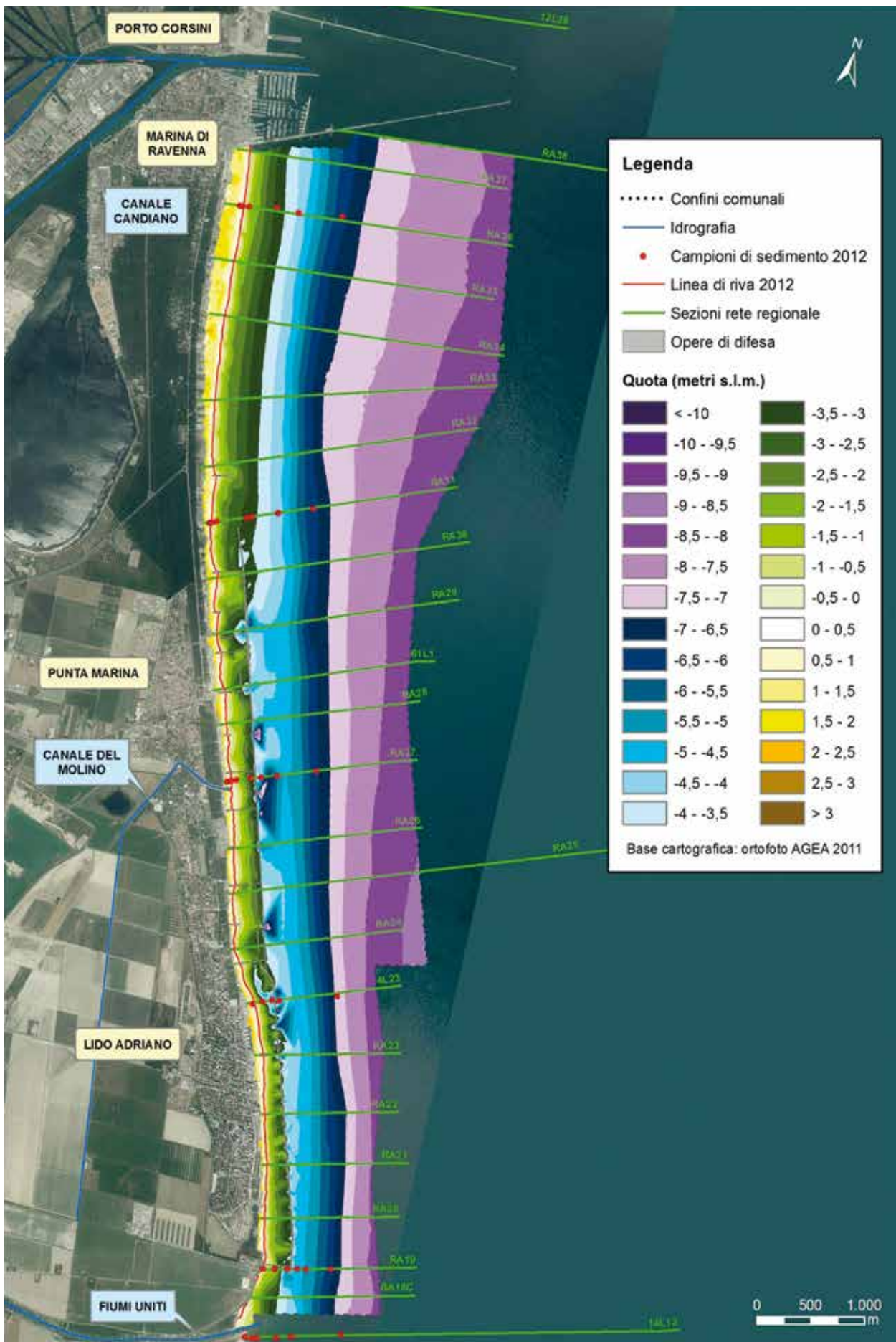


Figura 88 - Foce Fiumi Uniti – Marina di Ravenna: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

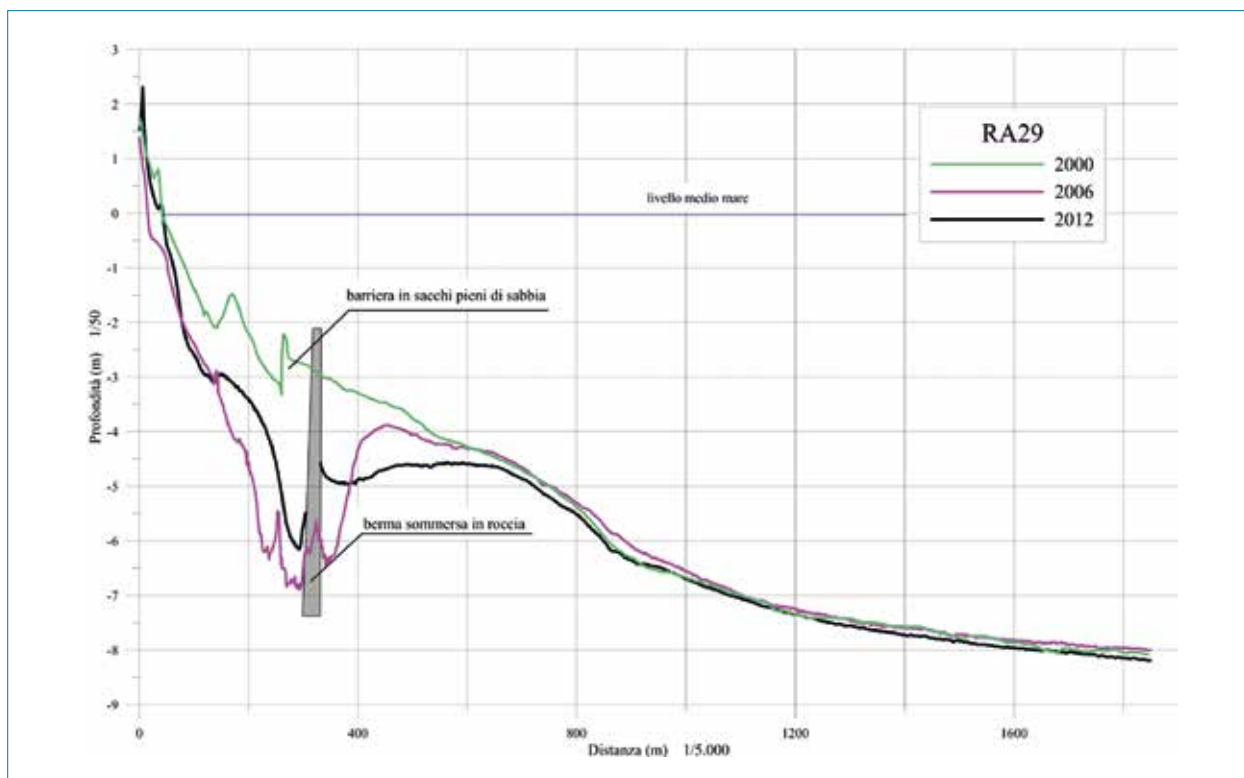


Figura 89 - Punta Marina (Cella 77): Profilo RA29.

I campioni raccolti entro i 3 m di profondità hanno asimmetria negativa prevalente, mentre al di sotto di tale profondità presentano asimmetria positiva (Figura 83).

Tra foce Fiumi Uniti e i moli di Porto Corsini la batimetrica dei 3,5 m coincide con la linea delle scogliere da Lido Adriano a Punta Marina Nord, poi si allontana di circa 150 m verso il largo davanti la spiaggia di Marina di Ravenna. La batimetrica dei 7 m è posizionata a circa 700 m dalla battigia a nord della foce Fiumi Uniti, mentre si allontana gradualmente procedendo verso nord fino ad una distanza di circa 1.100 a ridosso dei moli portuali.

Evoluzione 2006-2012

Tra il 2006 e il 2012, il tratto di litorale compreso tra la foce del Savio e i moli di Porto Corsini (Tabella 16) ha subito una perdita di volume di sedimento di circa 150.000 mc, pari a circa 8 mc/m in 6 anni. A questi va aggiunto circa 446.000 mc di materiale sabbioso immesso nella macrocella 4, quindi la perdita totale reale di sedimento è stata di circa 598.000 mc.

Il 55% delle perdite totali è imputabile all'abbassamento del suolo dovuto alla subsidenza, al quale è riconducibile una sottrazione in volume di circa

328.000 mc di sedimenti. Nel periodo 2006-2012, la macrocella 4 è contraddistinta dai tassi più alti di subsidenza di tutto il litorale. Nei primi 3 km a sud e negli ultimi 7,5 km a nord della macrocella, il tasso di subsidenza ha valori medi pari a 6-7 mm/anno, nella zona centrale della macrocella invece, da Bevano Centro Sud (cella 68) a Lido Adriano (Cella 76), i tassi di subsidenza superano ovunque i 10 mm/anno, con punte di 20-21 mm/anno da Lido di Dante (cella 72) a Nord Foce Fiumi Uniti (cella 75).

Il tratto di litorale da Lido di Classe alla foce del Bevano (Celle 65-68), nel periodo 2006-2012, risulta stabile o in accumulo (Figura 90, Figura 91 e Figura 92). Tutte le celle risultano aver subito una variazione positiva di volume di sedimento, tranne la cella 68 che ha subito una leggera perdita. Si presume infatti che questo tratto di litorale sia interessato dall'arrivo di materiale sabbioso eroso dalla barra di foce Savio (Figura 79, Figura 93).

In assenza della subsidenza tutto il tratto sarebbe stato in accumulo; questo aspetto è particolarmente evidente nella cella 68 dove è stato registrato un tasso di subsidenza di 11 mm/anno pari a una sottrazione di materiale di circa 34.000 mc.

Tabella - 16 Foce Savio – Marina di Ravenna (M4):Variazione di volume, perdite per subsidenza, ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2006-2012 (misure in m le lunghezze, mc i volumi).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	Vimm	Vaspe
65	Lido di Classe	1220	25820	7963	0	0	0	25820
66	Lido di Classe Nord	580	30583	5660	0	0	0	30583
67	Bevano Sud	1000	21528	9947	0	0	0	21528
68	Bevano Centro Sud	1900	-16969	34281	0	0	0	-16969
69	Foce Bevano	110	-15471	2584	0	0	0	-15471
70	Bevano Centro Nord	1300	-104482	35019	0	0	0	-104482
71	Bevano Nord	1000	-64093	27872	53564	0	53564	-117657
72	Lido di Dante	605	2472	16439	94414	0	94414	-91942
73	Sud Foce Fiumi Uniti	600	-59632	22561	0	0	0	-59632
74	Foce Fiumi Uniti	270	0	0	0	0	0	0
75	Nord Foce Fiumi Uniti	360	11992	13037	0	0	0	11992
76	Lido Adriano	2560	-15190	53802	14500	0	14500	-29690
77	Punta Marina	3730	160000	46000	239369	0	239369	-79369
78	Punta Marina Nord	865	-88848	9792	44700	0	44700	-133548
79	Marina di Ravenna	3000	-39360	43007	0	0	0	-39360
	Totale	19100	-151650	327964	446547	0	446547	-598197

DV variazione di volume tra il 2006-2012

Vsub volume sottratto per subsidenza

Vrip volume portato a ripascimento

Vpre volume prelevato

Vimm=Vrip-Vpre, volume immesso al netto dei prelievi

Vaspe=DV-Vrip+Vpre variazione di volume effettiva

La linea di riva, nel periodo 2006-2012, è avanzata mediamente di 10-20 m a Lido di Classe (Cella 65) ed è rimasta sostanzialmente stabile fino alla foce del Bevano.

Tutto il litorale a nord della foce del Bevano fino alla foce di Fiumi Uniti (Celle 70-73), nel periodo 2000-2006 risulta in forte erosione con perdite di materiale tra gli 80 mc/m, nella zona subito a nord di Foce Bevano, e i 152 mc/m di Lido di Dante.

Tra il 2006 e il 2012, per compensare l'erosione è stata effettuata una serie di interventi di ripascimento tramite i quali sono stati apportati circa 53.000 mc di sabbia a Bevano Nord (cella 71) e quasi 95.000 mc a Lido Dante. Parte delle sabbie portate in quest'ultima località (54.000 mc) provenivano da depositi sottomarini sfruttati nell'ambito del "Progettone 2" nel 2007.

I ripascimenti realizzati a Lido di Dante sono riusciti a stabilizzare la spiaggia, mentre gli stessi risultati non sono stati ottenuti a nord del Bevano (cella 71, Tabella 16).

La perdita di volume di spiaggia per subsidenza nelle celle 70-73 è stata stimata in oltre 100.000 mc. Se non fossero stati effettuati i ripascimenti la situazione erosiva del tratto sarebbe stata ancora più grave. Invece, sono stati rilevati solo leggeri arretramenti della linea di riva lungo la spiaggia di

Bevano nord (cella 71), e lungo quella posta a nord di Lido di Dante (cella 73). Qui la situazione è aggravata dalla presenza di una falcata erosiva determinata dal sistema di opere di difesa della spiaggia e dell'abitato di Lido di Dante (cella 72).

Nel tratto di litorale comprendente Nord Foce Fiumi Uniti (Cella 75), Lido Adriano (Cella 76) e Punta Marina (Cella 77) il bilancio complessivo dei volumi di sedimenti è positivo. L'intervento di ricalibratura delle scogliere, la realizzazione di berme sommerse in corrispondenza dei varchi per limitare la dispersione di sedimento al largo, e l'apporto di 14.500 mc di sabbia hanno permesso di stabilizzare la spiaggia di Lido Adriano. I quasi 240.000 mc di sabbia portati a Punta Marina (cella 77), dei quali circa 190.000 provenienti da giacimenti sottomarini, hanno determinato un evidente accumulo di sedimento sulla spiaggia emersa e sommersa (Figura 94 e Tabella 16).

La linea di riva è rimasta mediamente in equilibrio a Lido Adriano, mentre ha subito un netto avanzamento a Punta Marina, in entrambi i casi a causa di interventi di ripascimento.

Infine, la spiaggia di Punta Marina Nord (cella 78) e il primo chilometro di Marina di Ravenna (parte di cella 79) hanno subito forti perdite, mentre

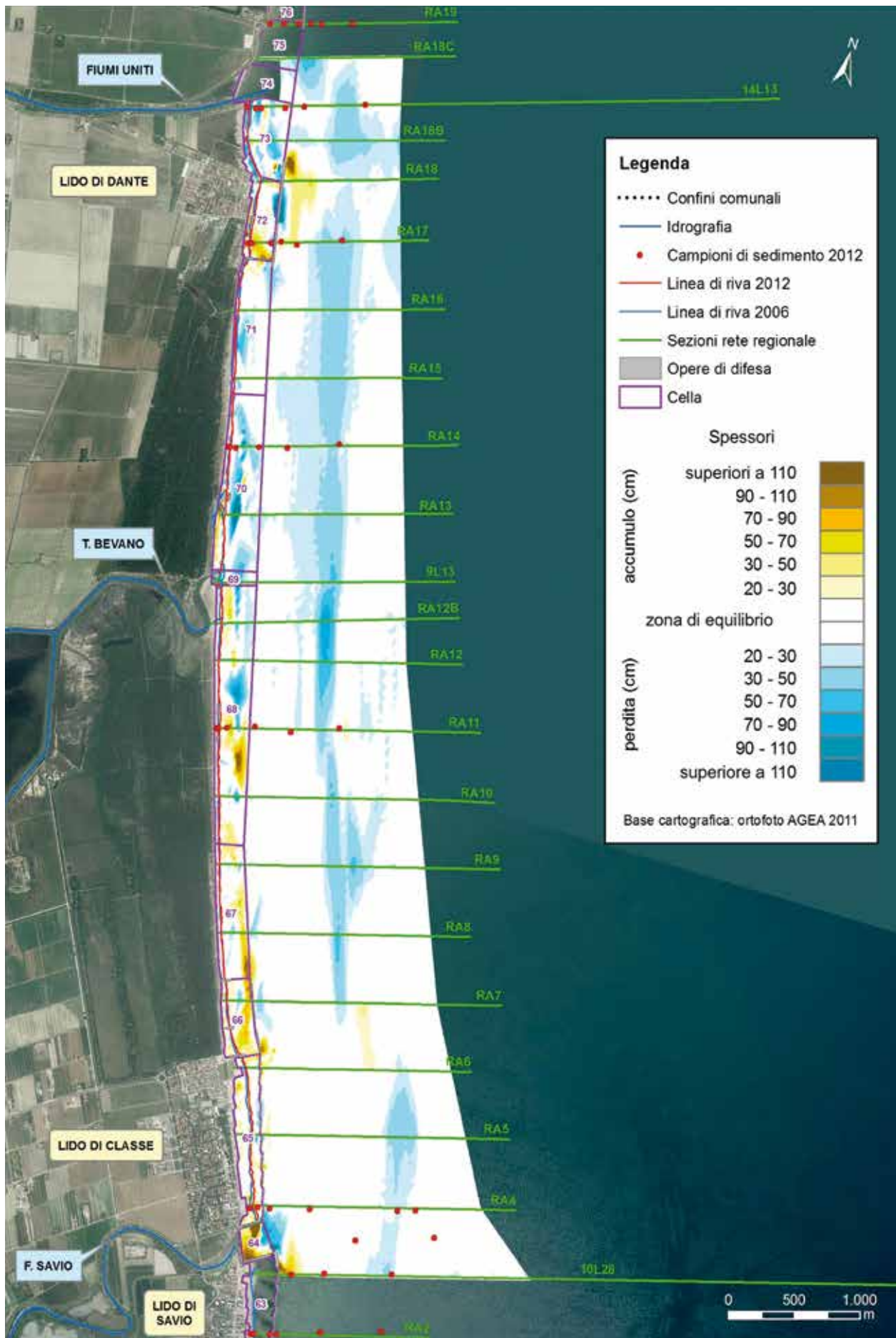


Figura 90 - Foce Fiume Savio – Foce Fiumi Uniti: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012.

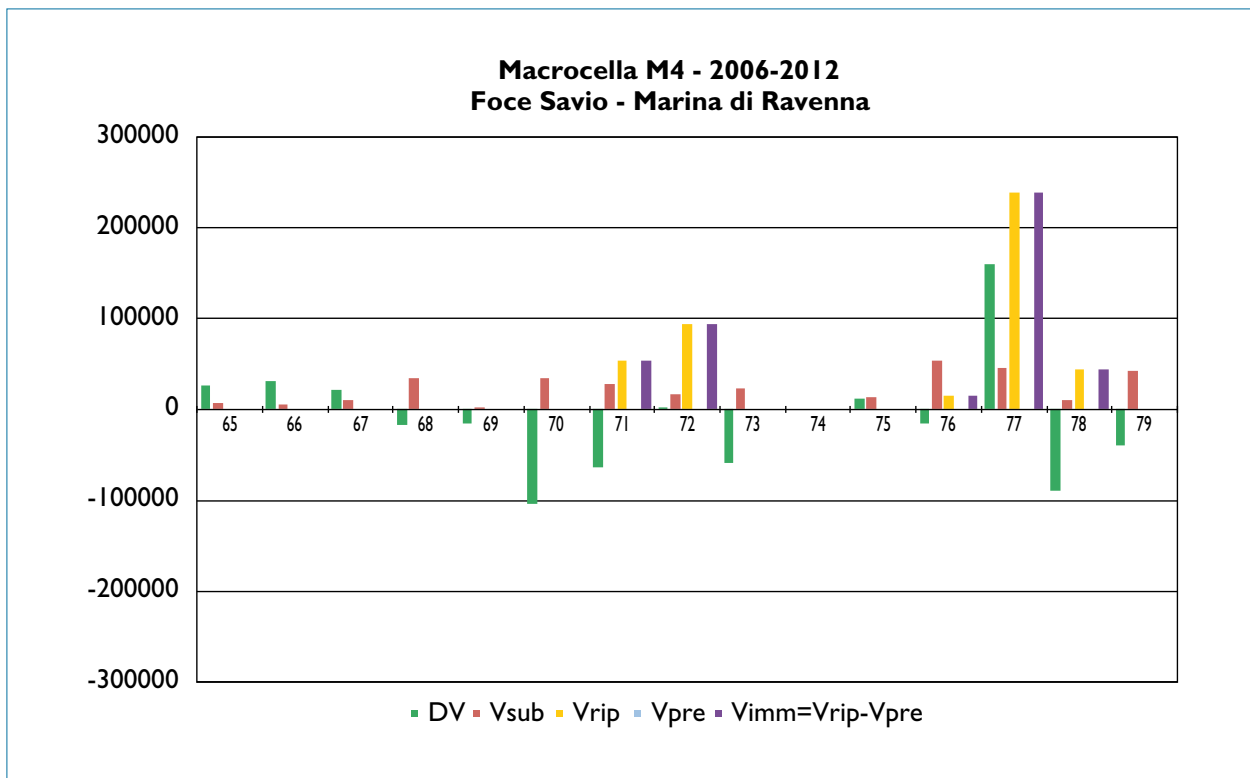


Figura 91 - Foce Savio – Marina di Ravenna (M4). DV:Variazione di volume;Vsub: perdite per subsidenza;Vrip: ripascimenti; Vpre: prelievi ;Vimm: volumi immessi.Tutti i valori son relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc).

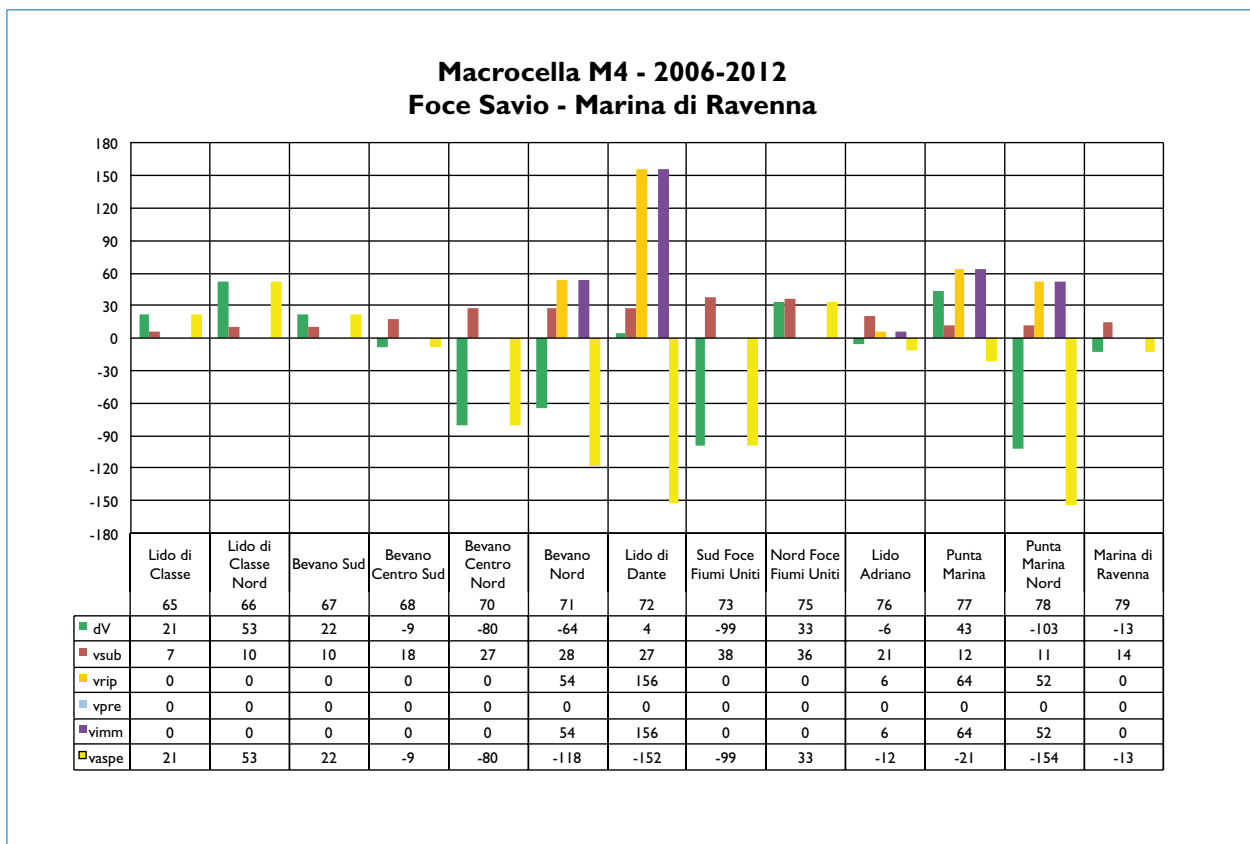


Figura 92 - Foce Savio – Marina di Ravenna (M4). Legenda: dV:Variazione di volume; vsub: perdite per subsidenza; vrip: ripascimenti; vpre: prelievi ; vimm: volumi immessi; vaspe: variazioni di volume complessive ottenute dV-vrip+vpre.Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc/m).

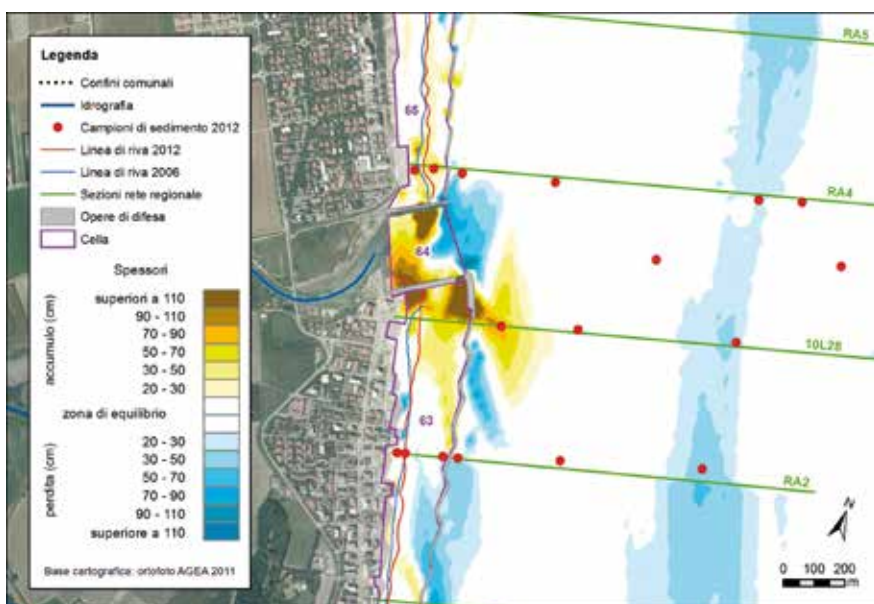
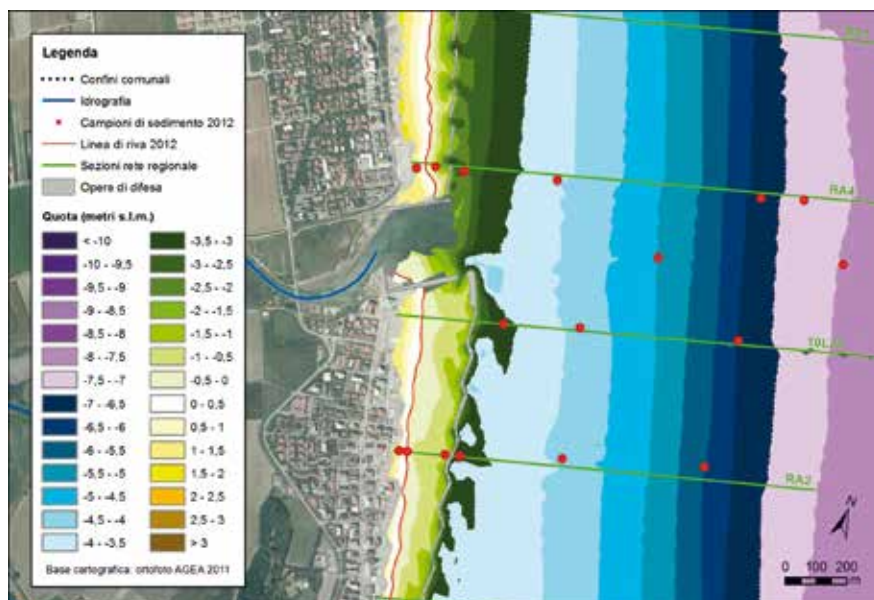
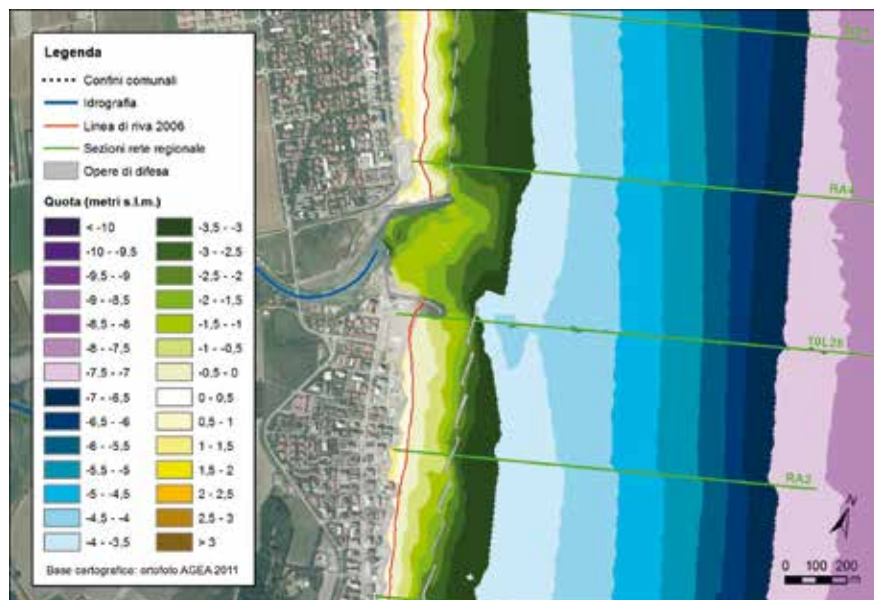


Figura 93 - Foce Savio, dall'alto in basso: batimetria 2006, batimetria 2012, mappa accumulo-erosione 2006-2012.

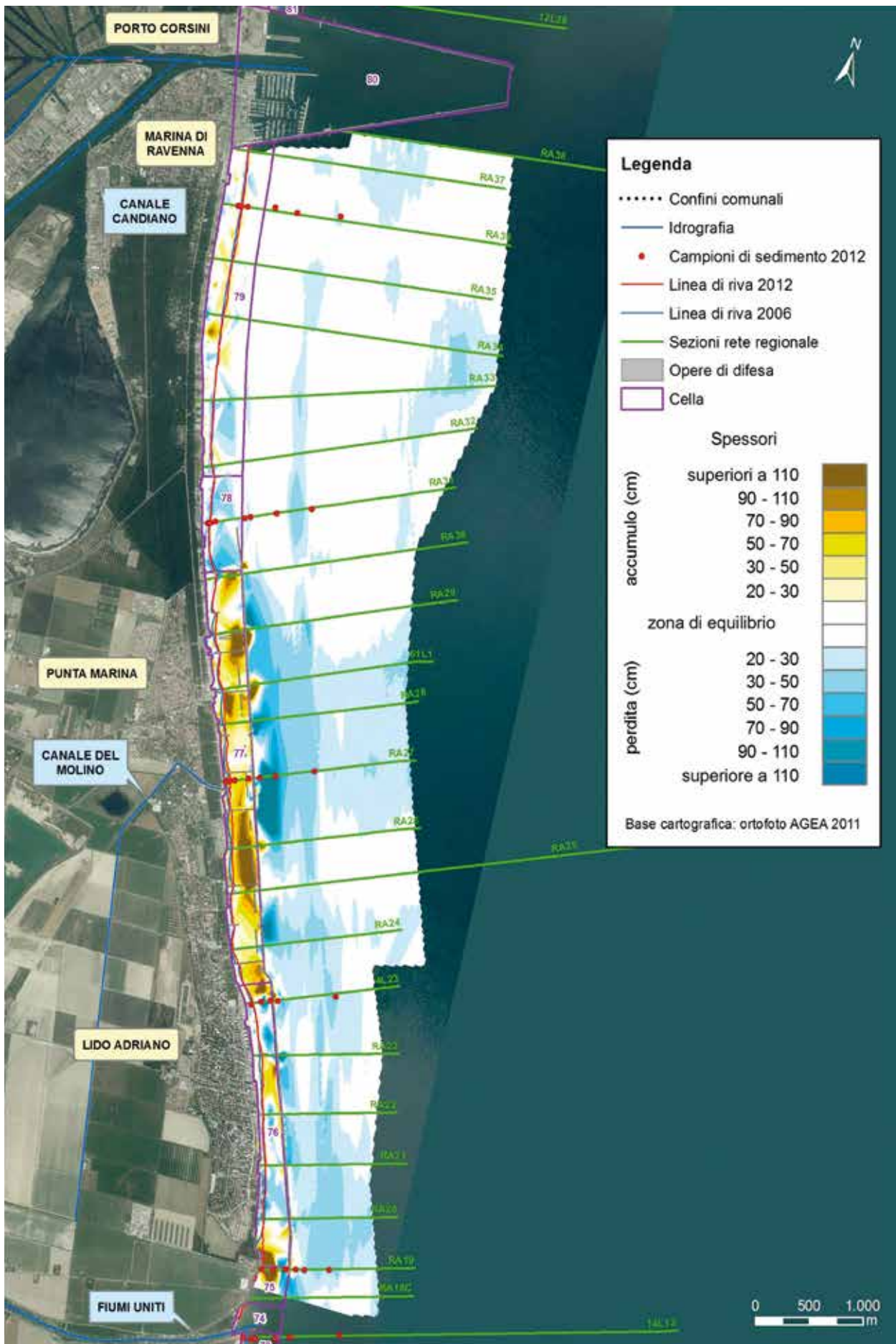


Figura 94 - Foce Fiumi Uniti – Marina di Ravenna: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012.

i due chilometri di spiaggia di Marina di Ravenna a ridosso dei moli di Porto Corsini risultano in accumulo con un evidente avanzamento della linea di riva.

Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012

Il bilancio complessivo dei sedimenti della macrocella 4 (Foce Fiume Savio – Marina di Ravenna), nel periodo 2006-2012 risulta praticamente equivalente al periodo precedente (2000-2006). Infatti, la perdita totale di sedimento, data dalla somma della variazione di volume (DV) e dei volumi immessi nella macrocella (Vimm), è pari a 598.000 mc (31 mc/m) nel periodo 2006-2012, e a 580.000 mc (30 mc/m) nel periodo 2000-2006.

In questo tratto di litorale, le maggiori perdite in volume di sedimento sono determinate dalla subsidenza, infatti nel periodo 2006-2012 esse ammontano a circa 328.000 mc (55% del totale delle perdite) e nel periodo precedente esse risultano pari a circa 400.000 mc (68% del totale delle perdite).

In futuro, per garantire l'equilibrio di questo paraggio bisognerà o incrementare ulteriormente i volumi di sabbia da portare a ripascimento (almeno fino a 100.000 mc/anno, quindi 600.000 mc in 6 anni) o cercare di ridurre i tassi di subsidenza che risultano i più alti di tutto il litorale, con punte di 20-21 mm/anno nell'area di foce Fiume Uniti.

Per quanto riguarda le singole celle si osserva che dalla foce Savio al Bevano sia nel primo che nel secondo periodo le spiagge sono rimaste stabili, mentre dalla foce del Bevano a Fiumi Uniti il trend è ulteriormente peggiorato: la spiaggia subito a nord del Bevano (cella 70), che nel primo periodo era risultata stabile nel secondo è in erosione, le spiagge a sud e a nord di Lido di Dante (celle 71 e 73) continuano ad essere in erosione. Il litorale protetto di Lido di Dante (cella 72) è stato mantenuto grazie ai continui interventi di ripascimento.

Dalla foce dei Fiumi Uniti a Punta Marina la situazione è invece nettamente migliorata. Tra il 2000 e il 2006 tutto il tratto in questione (celle 75, 76 e 77) era in erosione. Nel secondo periodo risulta invece che:

- la piccola spiaggia a nord della foce dei Fiumi Uniti (cella 75) è in accumulo,
- il litorale di Lido Adriano (cella 76) è relativamente stabile,

- la spiaggia di Punta Marina (cella 77) in accumulo grazie all'apporto di circa 240.000 mc di sabbia.

La stato della spiaggia di Punta Marina Nord (cella 78) posta sottoflutto alle scogliere a cresta bassa è drasticamente peggiorata. Essa risultava in equilibrio nel primo periodo, mentre è in forte perdita (oltre 150 mc/m) nel periodo 2006-2012.

Infine la spiaggia di Marina di Ravenna (cella 79) da decenni in avanzamento a causa della presenza dal molo di levante di Porto Corsini che qui blocca il trasporto solido litoraneo, nel periodo 2006-2012 ha subito un'inversione di tendenza manifestando complessivamente una leggera perdita (-13 mc/m in 6 anni).

Sintesi

Nel periodo 2006-2012, il tratto di litorale tra Foce Savio e Marina di Ravenna (macrocella 4) ha perso complessivamente circa 600.000 mc di sabbia, quindi poco più dei 580.000 mc persi nel periodo 2000-2006.

Le maggiori perdite di sedimento in volume sono dovute alla subsidenza che in questo paraggio ha i più alti tassi di tutto il litorale, con punte di 20-21 mm/anno nell'area di foce Fiume Uniti.

Analizzando i singoli paraggi si osservano differenti tendenze.

Il litorale dalla foce Savio a quella del Bevano in entrambi i periodi, 2000-2006 e 2006-2012, è rimasto in equilibrio.

Dalla foce del Bevano ai Fiumi Uniti la situazione è peggiorata: il primo tratto di spiaggia a nord del Bevano nel periodo 2000-2006 era in equilibrio, mentre tra il 2006 e il 2012 risulta in erosione; il restante paraggio fino a Foce Uniti risulta in erosione in entrambi i periodi. La spiaggia di Lido di Dante necessita di continui interventi di ripascimento per contrastare il fenomeno erosivo.

Dalla foce dei Fiumi Uniti a Punta Marina la situazione è invece nettamente migliorata. Nel primo periodo tutto il tratto era in erosione, nel secondo, invece, la spiaggia a nord della foce dei Fiumi Uniti è in accumulo, Lido Adriano risulta stabile e Punta Marina è in accumulo, anche se grazie ad un apporto di circa 240.000 mc di sabbia.

Infine, è peggiorata la situazione della spiaggia di Punta Marina Nord e Marina di Ravenna. Punta Marina era stabile tra il 2000 e il 2006 mentre

risulta in forte erosione tra il 2006 e il 2012, la spiaggia di Marina di Ravenna che da decenni risultava in accumulo, grazie al blocco del trasporto solido litoraneo esercitato dal molo di levante di Porto Corsini, evidenzia una leggera perdita nel periodo 2006-2012.

Le spiagge comprese tra la foce del fiume Savio e i moli di Porto Corsini sono tra le più grossolane del litorale regionale, esse risultano costituite da proporzioni variabili di sabbia media associata in alcune zone a sabbia grossolana e in altre zone a sabbia fine (Figura 129, Figura 80, Figura 81).

Al largo i sedimenti presentano lungo tutto il tratto un diametro medio della sabbia molto fine.

I tratti in cui il granulo medio della spiaggia emersa è più fine (sabbia fine) sono quello subito a nord della foce del Savio, quelli protetti di Lido di Dante e di Punta Marina e la spiaggia di Marina di Ravenna a ridosso del molo (Figura 81).

Vicino al Savio e a Punta Marina, dove ci sono le scogliere a cresta bassa, il grado di selezione è variabile e non presenta una relazione diretta con la profondità, mentre a Lido di Dante e Marina di Ravenna la cernita peggiora con l'aumentare della profondità.

I tratti costieri privi di opere di difesa a sud e a nord della foce del Bevano, quello in corrispondenza della foce dei Fiumi Uniti e quello a sud del pennello del Ruvido a Punta Marina, sono composti fino a 3-4 m di profondità da sabbie medie prevalenti associate a sabbia grossolana. Queste sono le spiagge in cui si trovano le sabbie più grossolane del litorale.

Il grado di selezione peggiora con la profondità e i campioni più superficiali presentano asimmetria negativa o nulla e quelli più profondi asimmetria positiva.

del comune di Ravenna; il Poligono Militare di foce Reno e la spiaggia naturale di Bellocchio, territorio del Corpo forestale dello Stato e parte del Parco del Delta del Po dell'Emilia-Romagna; e le spiagge di Lido di Spina e Lido degli Estensi appartenenti al comune di Comacchio (Provincia di Ferrara).

L'evoluzione di questo paraggio costiero dipende dalla portata solida del fiume Reno, dalla presenza dei moli foranei di Porto Corsini e Porto Garibaldi, dalla direzione del trasporto solido litoraneo e, in misura minore, dall'apporto solido del fiume Lamone.

La riduzione della portata solida del fiume Reno, già evidente nella prima metà del XX secolo, e il trasporto solido litoraneo divergente in corrispondenza della foce del fiume hanno innescato un forte processo erosivo che ha determinato lo smantellamento della foce, prima, e un vistoso arretramento delle spiagge limitrofe, dopo. A nord della foce del Reno tale arretramento si estende fino a Lido di Spina Sud, mentre a sud fino alla foce del Lamone.

Per contrastare i forti processi erosivi in atto, nel tratto compreso tra il Reno e il Lamone è stata realizzata una serie di opere rigide (scogliere radenti, scogliere parallele emerse, pennelli, ecc.), mentre nel tratto dalla foce del Reno fino a Lido di Spina Sud, sono state realizzate delle opere di difesa solo a Lido di Spina (5 pennelli in pali di legno e una barriera in tubi Longard ormai relitta).

Dalla foce del Lamone a Porto Corsini le spiagge sono in avanzamento o in equilibrio a causa del blocco dei sedimenti esercitato dai moli foranei, lo stesso fenomeno si osserva in maniera fortemente accentuata lungo il tratto di litorale da Lido di Spina Nord fino a Lido degli Estensi per la presenza del molo di levante di Porto Garibaldi.

Stato del litorale al 2012

Il tratto di litorale dal molo di ponente di Porto Corsini fino alla foce del Lamone (Celle 81, 82 e 83), lungo circa 3.200 m, è privo di opere di difesa rigida. L'ampiezza della spiaggia è di oltre 250 m a ridosso del molo di Porto Corsini, e si assottiglia fino a un minimo di 50-60 m a ridosso del molo posto in destra della foce del Lamone (Figura 95). Come per la zona a sud dei moli di Porto Corsini, anche in questo tratto è ben evidente l'operazione di spianamento della duna naturale in favore della collocazione degli stabilimenti balneari.

La batimetrica dei 3,5 m dista circa 500 m dalla linea di costa nella zona a ridosso dei moli, proseguen-

4.5 Macrocella 5: Porto Corsini - Porto Garibaldi

Inquadramento

Il tratto di litorale che si estende dal molo ponente di Porto Corsini a quello di Porto Garibaldi, lungo 20.590 m, corrisponde alla macrocella 5. Esso comprende, da sud verso nord, le spiagge delle località balneari di Porto Corsini, Marina Romea e Casal Borsetti appartenenti al territorio

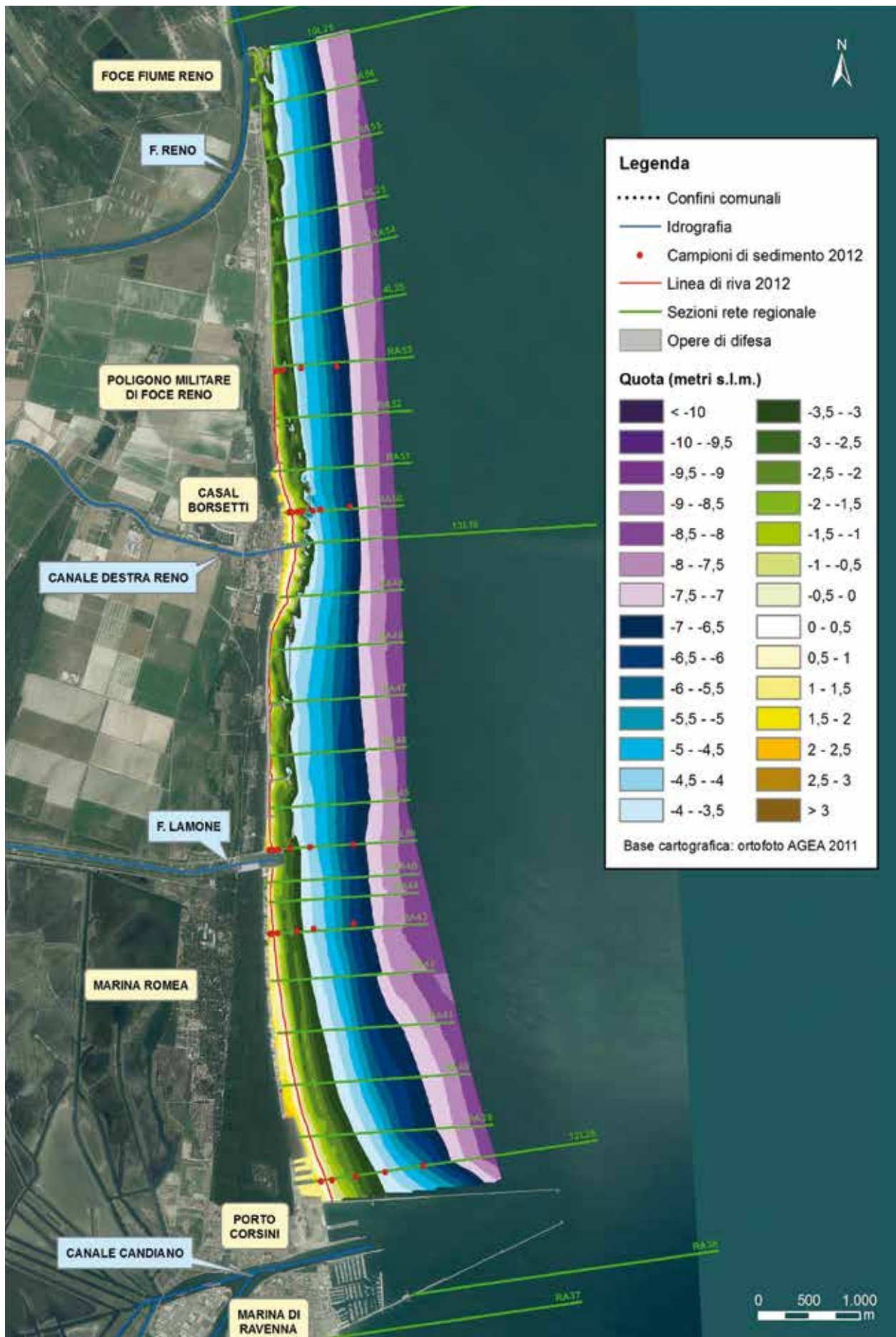


Figura 95 - Porto Corsini – Foce Reno: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

do verso nord si avvicina gradualmente alla linea di riva fino a un minimo di 250 m davanti alla foce del Lamone. Analogo andamento mostra la batimetrica dei 7 m, la quale è distante 1.500 m dal riva a ridosso del molo per poi avvicinarsi a riva fino ad una distanza di circa 900 m davanti al Lamone.

A Porto Corsini nei pressi del molo (sezione I2L26, Figura 96) i sedimenti in prossimità della riva sono composti da prevalenti sabbie fini, mentre con l'aumentare della profondità divengono più abbondanti le sabbie molto fini.

Questo andamento è rispecchiato dal diametro medio che passa dalla sabbia fine in battigia alla sabbia molto fine sotto i 2,5 m di profondità.

I campioni presso la battigia sono da ben cerniti a moderatamente ben cerniti, mentre quelli dai -2,5 m in poi sono poco cerniti (Figura 98). L'asimmetria è prevalentemente positiva (Figura 99).

I sedimenti analizzati a Marina Romea (sezione RA43), a sud della foce del Lamone sono, rispetto a quelli appena descritti di Porto Corsini, più grossolani in prossimità della riva e più fini verso il largo, mostrando un più ampio range di granulometrie.

I campioni sulla spiaggia emersa e fino a 2 m di profondità sono costituiti da sabbia media e fine, con contenuti dal 5% a >20% di sabbia grossolana e molto grossolana; si osserva un graduale incremento delle sabbie fini con la profondità. A profondità maggiore di 3 i sedimenti sono prevalentemente formati da sabbia molto fine (60%) e pelite (30-40%).

Il diametro medio è dell'ordine della sabbia media e sabbia fine a partire dalla spiaggia emersa fino a 3 m di profondità, mentre tra i -4 e i -6 m ricade nel campo del silt (Figura 97, Figura 129).

La cernita peggiora con la profondità e passa dal campo dei sedimenti moderatamente ben cerniti a quello dei sedimenti poco cerniti (Figura 98).

L'asimmetria è negativa per i campioni prelevati sopra ai -3 m e positiva dai -4 m in poi (Figura 99).

I primi 2 km a nord della foce del Lamone (cella 85 – Foce Lamone- Casal Borsetti Sud) sono protetti da un sistema di opere di difesa costituito da pennelli in roccia, scogliera radente e barriere in sacchi pieni di sabbia, queste ultime oramai relitte. Questo tratto è quasi privo di spiaggia emersa, infatti essa è presente solo nei 350 m di litorale confinato tra il molo in sinistra foce Lamone e il primo pennello in roccia posto più a nord (am-

piezza di 20-30 m), e a ridosso dei due pennelli a "Y" (Figura 95).

La batimetrica dei 3,5 m ha un andamento irregolare dovuto dalla presenza delle varie tipologie di opere: nel tratto sud dista 250-300 m dalla scogliera radente, mentre nella parte nord si avvicina fino a 150-200 m dalla scogliera. La batimetrica dei 7 m ha un andamento parallelo alla costa e dista 800-900 m dalla scogliera radente.

Subito a nord della foce del fiume Lamone, i sedimenti campionati lungo la sezione 6L26 sulla spiaggia emersa sono costituiti prevalentemente da sabbia media e fine; sotto i 2,5 di profondità i campioni risultano decisamente più fini e composti quasi in ugual misura da sabbia fine a sabbia molto fine e pelite presumibilmente a causa della vicinanza con la foce. Rispetto a quest'ultimo, i campioni più al largo risultano invece un po' più grossolani.

Il diametro medio varia dalla sabbia media alla sabbia molto fine, con un minimo relativo rappresentato dal silt in corrispondenza del campione prelevato a 2,5 m di profondità (Figura 97).

La cernita peggiora con la profondità, ma tra i campioni il meno selezionato è sempre il solito a 2,5 m (Figura 98).

L'asimmetria è prevalentemente positiva e, tendenzialmente più elevata nei campioni presi in profondità ma con alcune eccezioni (Figura 99).

La spiaggia di Casal Borsetti (Celle 86 e 88) è difesa a sud del canale Destra Reno (cella 87) da 6 scogliere parallele emerse e a nord da 4 scogliere parallele emerse. Queste 10 scogliere, oltre a difendere l'abitato di Casal Borsetti dall'ingressione marina, hanno garantito la presenza di una spiaggia, con ampiezza media di 60-80 m, altrimenti destinata a scomparire.

La linea di riva ha un andamento rettilineo, mentre la spiaggia sommersa tra battigia e scogliere è caratterizzata dalla presenza di salienti. In corrispondenza dei moli del canale Destra Reno e dei varchi delle 4 scogliere a nord sono presenti delle buche profonde 4-5 m (Figura 95).

La batimetrica dei 3,5 m ha un andamento irregolare a causa della presenza delle scogliere parallele emerse, mentre la batimetria dei 7 m ha un andamento parallelo alla costa e dista circa 500 m dalla linea delle scogliere parallele emerse.

I sedimenti campionati a nord del canale Destra Reno a Casal Borsetti (RA50) sono simili a quelli

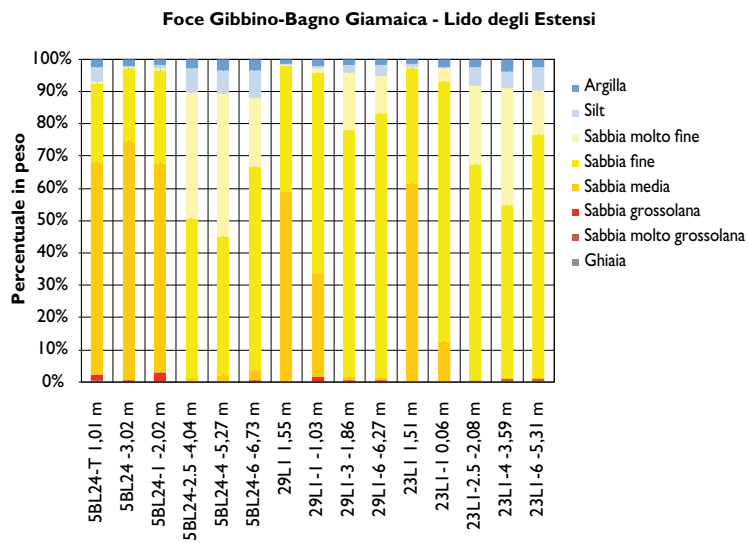
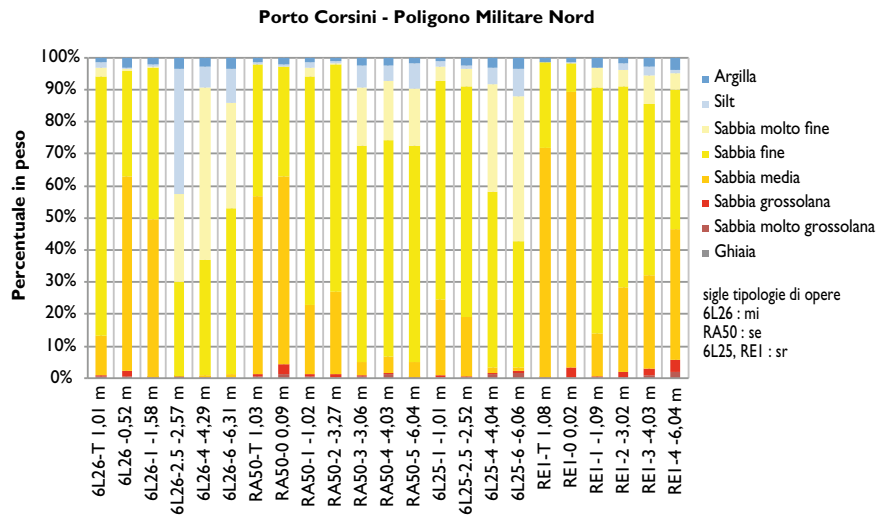
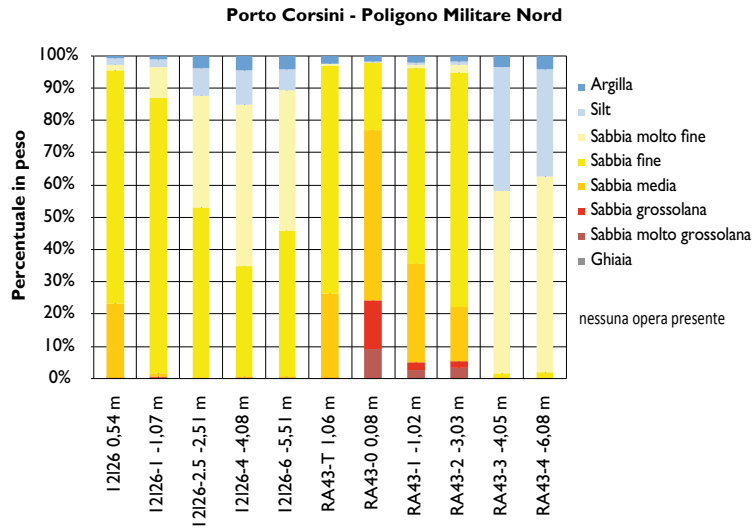


Figura 96 - Istogrammi con analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Corsini e Lido degli Estensi; mi: opere miste; se: scogliere emerse; sr: scogliere radenti.

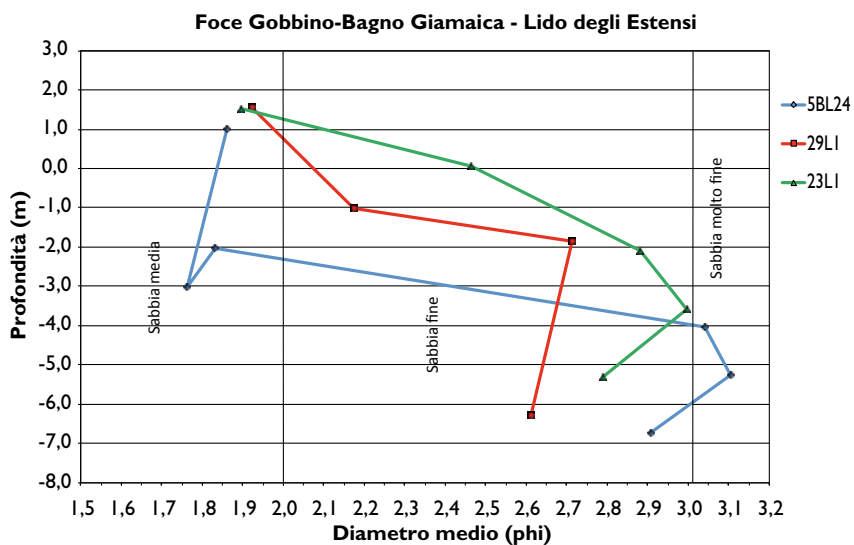
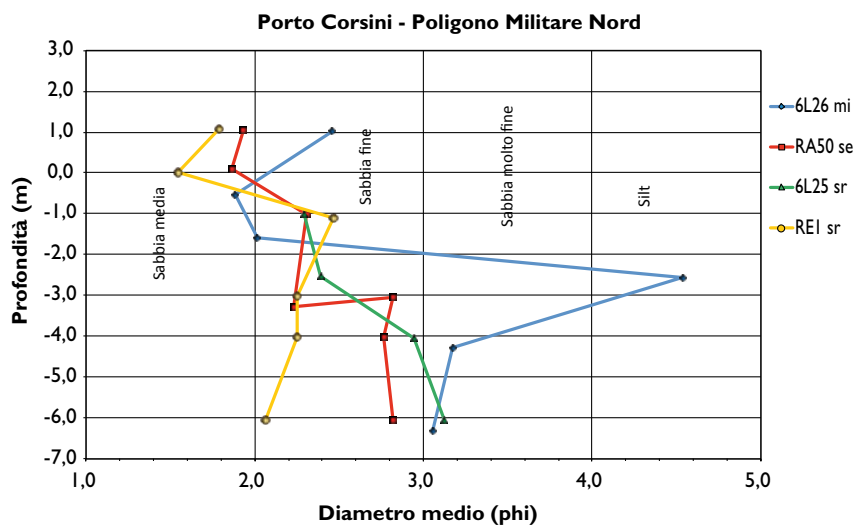
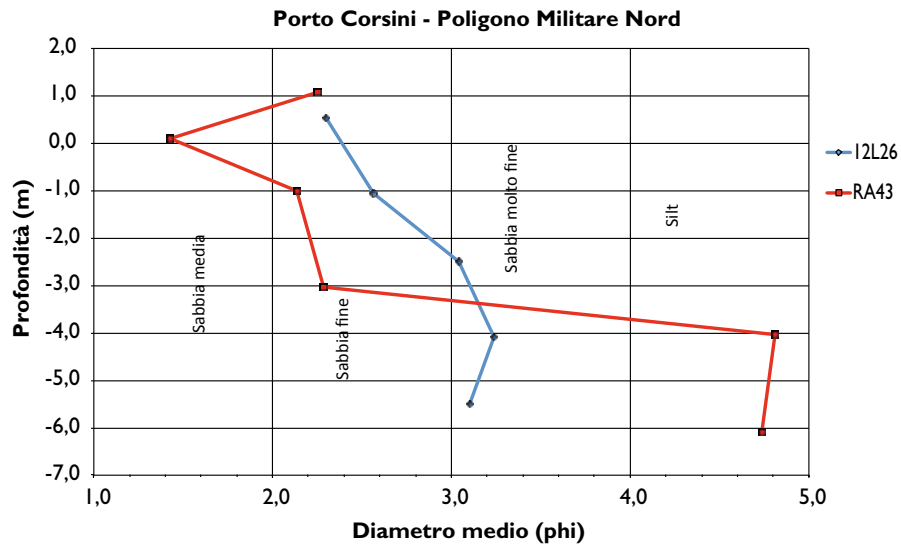


Figura 97 - Diametro medio dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Corsini e Lido degli Estensi; mi: opere miste; se: scogliere emerse; sr: scogliere radenti.

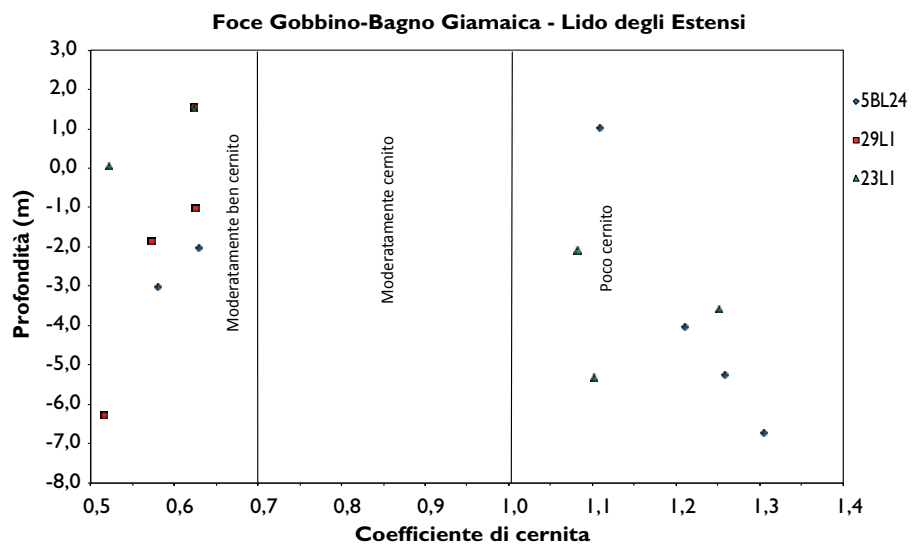
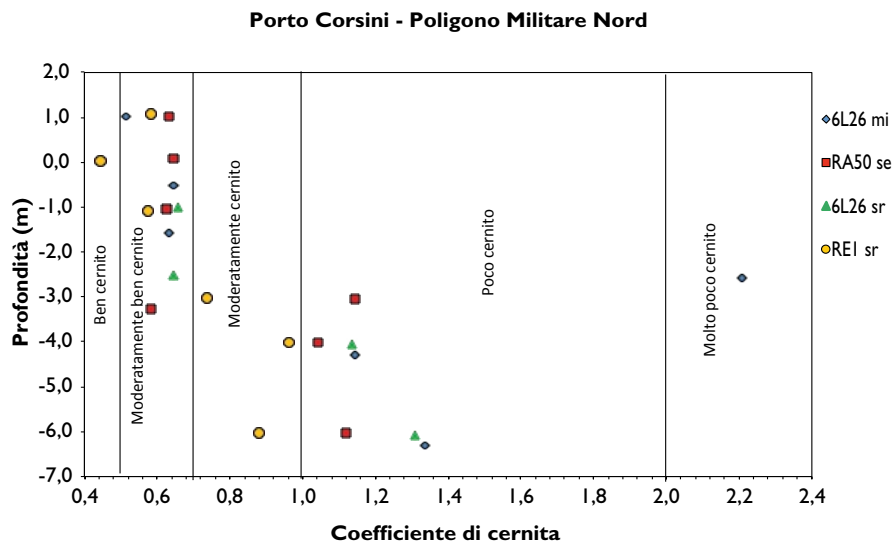
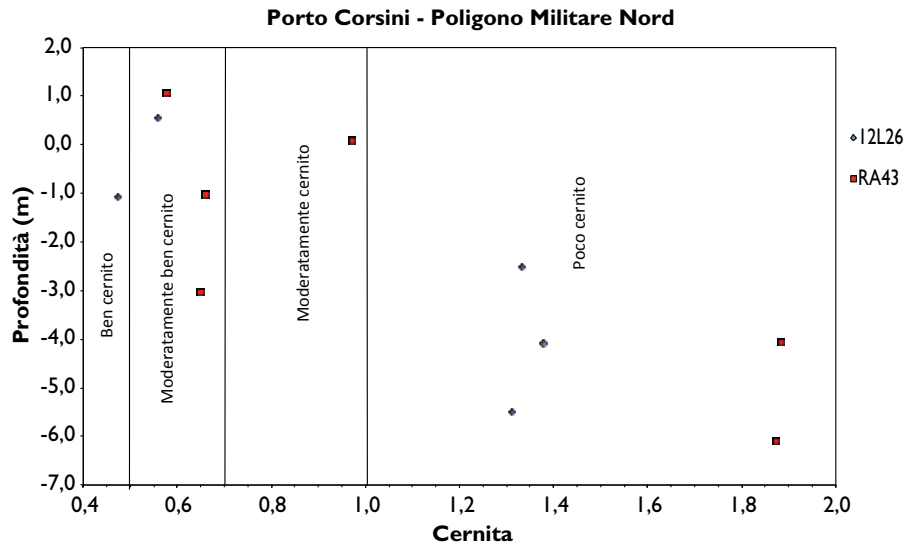


Figura 98 - Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Corsini e Lido degli Estensi; mi: opere miste; se: scogliere emerse; sr: scogliere radenti.

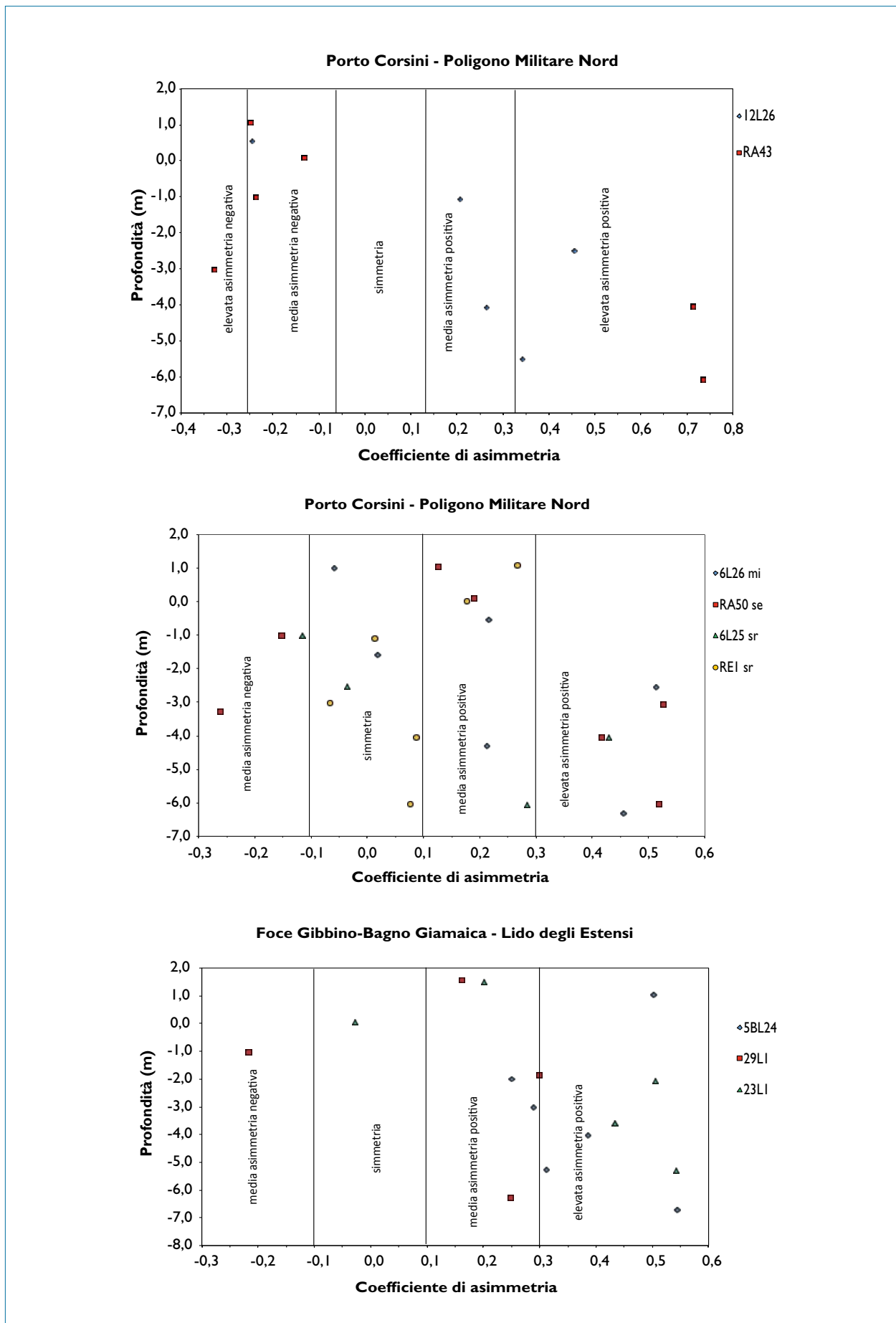


Figura 99 - Coefficiente di asimmetria dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Corsini e Lido degli Estensi. mi: opere miste; se: scogliere emerse; sr: scogliere radenti.

della spiaggia emersa di Marina Romea, ma risultano relativamente più grossolani nella fascia al largo. Le sabbie fini sono infatti molto abbondanti (65%) fino a 5 m di profondità e le sabbie molto fini sono <20% (le peliti ancora meno rappresentate).

Il diametro medio lungo tutto il profilo resta nell'ambito della classe della sabbia media per la spiaggia emersa e della sabbia fine per quella sommersa. I sedimenti fino a 3 m di profondità sono moderatamente ben cerniti, mentre quelli più profondi sono poco cerniti, ma ricadono vicino al limite con i sedimenti moderatamente cerniti (Figura 98).

L'asimmetria è variabile da negativa a positiva senza relazione con la profondità di prelievo (Figura 99).

Il tratto di litorale a partire da metà della cella 89 (Casal Borsetti Fio 82) fino alla foce del Reno (cella 92), lungo circa 4 km, è difeso da una scogliera radente costruita nel corso degli anni '80. La scogliera radente è stata, negli anni, seriamente danneggiata in più punti, e gli ultimi 700 m a nord sono stati totalmente demoliti dall'azione del mare (Figura 100, Figura 101 e Figura 102).

Questa situazione porta a frequenti inondazioni dell'area del Poligono Militare durante eventi di mareggiata. Nel periodo 2010-2012, l'Unità Mare-Costa di Arpa – SIMC ha collaborato con il 6° Reparto Infrastrutture-Ufficio Lavori del Ministero della Difesa per lo svolgimento di una serie di attività a "Supporto della Progettazione Esecutiva della nuova opera di protezione dal mare del Poligono Militare di Foce Reno" (Arpa, Poligono Militare 2012). Questo tratto di costa è praticamente privo di spiaggia emersa: nella cella 89 sono presenti anche due pennelli in roccia, e l'azione di blocco dei sedimenti esercitata dal primo pennello garantisce la presenza della spiaggia nei primi 300 m della cella.

La batimetrica dei 3,5 m dista circa 250 m dalla costa davanti la cella 89, procedendo verso la foce del Reno tende ad avvicinarsi alla scogliera radente fino ad un minimo di 150 m. La batimetrica dei 7 m mostra lo stesso andamento: si trova a una distanza di circa 750 m dalla riva davanti alla cella 89, procedendo verso nord tende gradualmente ad avvicinarsi fino ad una distanza minima di 650 m nel tratto più a nord.



Figura 100 - Poligono Militare di Foce Reno: in evidenza i collassi a cui è soggetta l'opera di difesa radente (21 Febbraio 2011).



Figura 101 - La zona a nord del Poligono Militare dove il mare ha demolito 700 m di opere di difesa (12 Maggio 2010).

Il tratto di litorale dalla foce del Reno al Bagno Giamaica, lungo circa 4.500 m (celle 93-96), è parte integrante della riserva naturale del Bellocchio del Parco Delta del Po (Figura 103).

Questo tratto ha subito, a partire dalla prima metà del XX secolo, un forte processo erosivo ancora oggi in atto. Nella Figura 104 è riportata l'evoluzione della foce del Reno dal 1943 al 2005, si nota come in poco più di 60 anni la spiaggia è arretrata di circa 500 m e la foce del Reno si è spostata 3.500 m più a sud.

I campioni di sedimento analizzati subito a nord della foce del fiume Reno (sezione RE1, Figura 96) sono costituiti da prevalenti sabbie medie su spiaggia emersa e battigia, e da prevalenti sabbie fini associate a sabbie medie sulla spiaggia sommersa. Nei quattro campioni prelevati tra -1 m e -4 m (RE1-1, RE1-2, RE1-3, RE1-4) è stata osservata una particolarità: la percentuale di sabbia media aumenta gradualmente verso il largo. Si tratta di campioni con granulometrie relativamente grossolane rispetto a quelle osservate sul litorale regionale, caratteristica che va messa in relazione allo smantellamento dell'apparato deltizio di Foce Reno.

A partire dalla spiaggia emersa, il diametro me-

dio varia dalle dimensioni delle sabbie medie alle sabbie fini, per i campioni prelevati sulla spiaggia sommersa (Figura 97). In questa fascia di fondale compresa tra -1 e -4 m il diametro medio tende gradualmente a crescere, rispecchiando infatti l'aumento della componente di sabbia media ben visibile in Figura 96.

I sedimenti sono ben cerniti, moderatamente ben cerniti e moderatamente cerniti spostandosi lungo il transetto con l'aumentare della profondità (Figura 98). Le sabbie sulla spiaggia emersa hanno asimmetria positiva, mentre gli altri campioni prelevati sulla spiaggia sommersa sono tutti simmetrici (Figura 99).

Nella carta batimetrica di Figura 103, all'altezza del Lago di Spina a cavallo tra le celle 96 e 97, si osservano due evidenti canali erosivi. Lungo un profilo collocato su uno di questi canali (3L24, Figura 106) si osserva un approfondimento localizzato del fondale di circa 1 m relativo al periodo 2006-2012.

La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 10-30 m e la duna naturale è molto appiattita. In vari punti l'erosione ha portato ad affiorare argille lagunari di retro cordone (Figura 105).

La linea di riva e le linee batimetriche hanno un



Figura 102 - Foce del Reno: in evidenza lo smantellamento, nel corso di tre anni, degli ultimi 700 metri della riva destra. A sinistra, ortofoto AGEA 22 Giugno 2008; a destra ortofoto AGEA 26 Maggio 2011.

andamento rettilineo; le batimetriche dei 3,5 e dei 7 m distano dalla costa rispettivamente 250 m e 800 m.

I campioni di sedimento prelevati a nord del Gobino lungo la sezione 5BL24 presentano caratteristiche molto differenti al di sopra dei -2,5 m e al di sotto di tale profondità.

Sulla spiaggia emersa e alle minori profondità e prevalgono le sabbie medie (circa 70%) alle quali si associano sabbie fini, mentre nella fascia più al largo sabbie fini e sabbie molto fini si presentano in percentuali circa equivalenti (30-40%). La pelite raggiunge il 10% nei campioni più al largo (Figura 96).

Il granulo medio dei sedimenti fino a -3 m è delle dimensioni della sabbia media, a -4 e a -5 m ricade nel campo della sabbia molto fine, mentre a -7 m torna ad essere leggermente più grossolano

andando a collocarsi nell'intervallo della sabbia fine. I sedimenti sulla spiaggia emersa e sotto i 4 m di profondità sono poco cerniti, mentre quelli a -2 e a -3 m sono moderatamente ben cerniti (Figura 98).

L'asimmetria è positiva in tutti i campioni (Figura 99).

La spiaggia di Lido di Spina Sud (Cella 97), per un tratto di 250 m, è difesa con 5 pennelli in pali di legno, costruiti nel 2000. In quest'area, sono ancora presenti inoltre i relitti dei tubi Longard posizionati negli anni '90 per cercare di limitare i processi erosivi. Questo è l'unico tratto della macrocella 5 a nord della foce del Reno in cui sono presenti opere di difesa.

La spiaggia ha un'ampiezza variabile tra i 30 m e i 70 m.

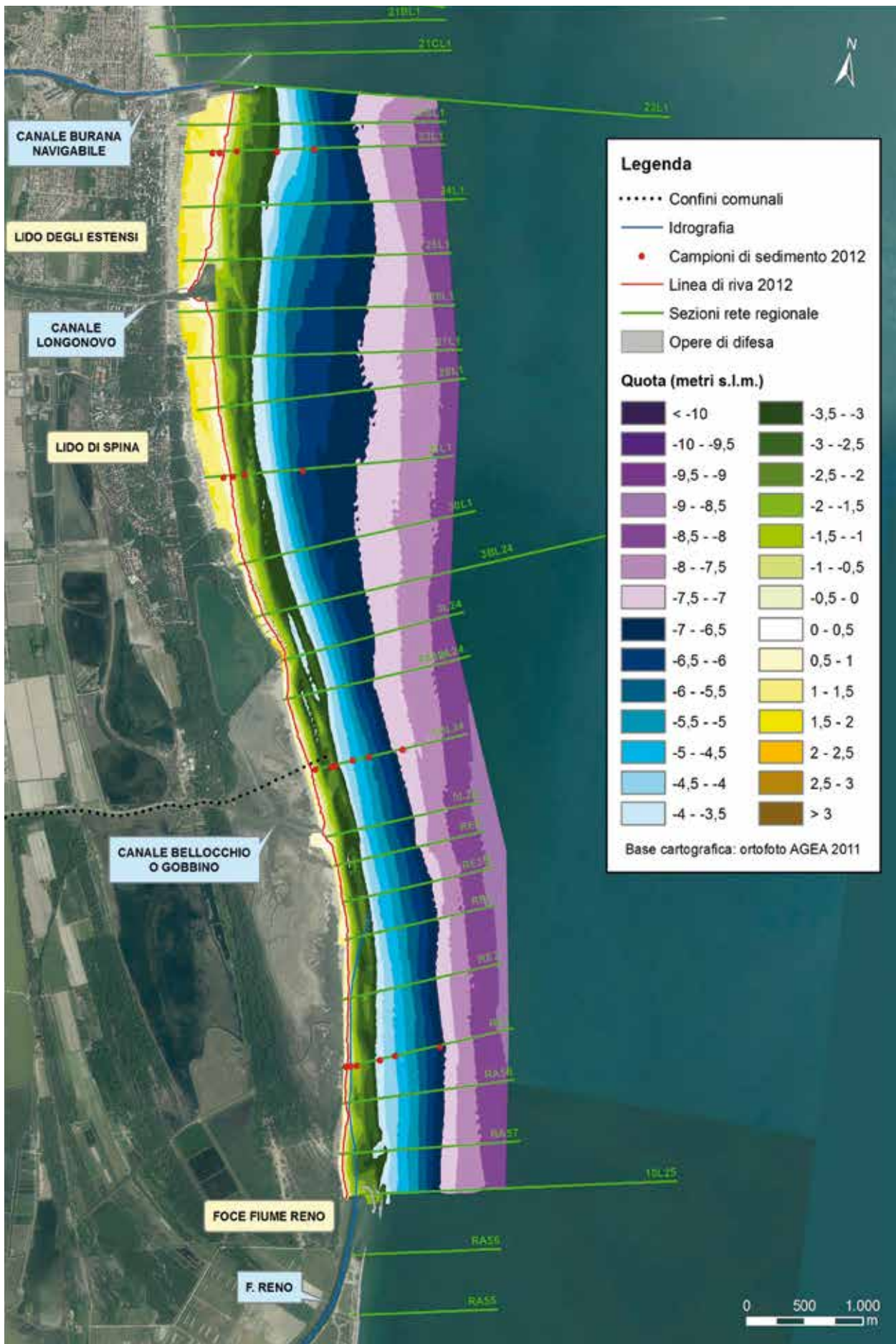


Figura 103 - Foce Reno – Porto Garibaldi: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).



Figura 104 - Evoluzione della Foce del Reno dal 1943 al 2005.



Figura 105 - Argille di retrocordone affioranti nel tratto di costa vicino allo sbocco del canale Gobbino e il Bagno Giamaica (gennaio 2011).

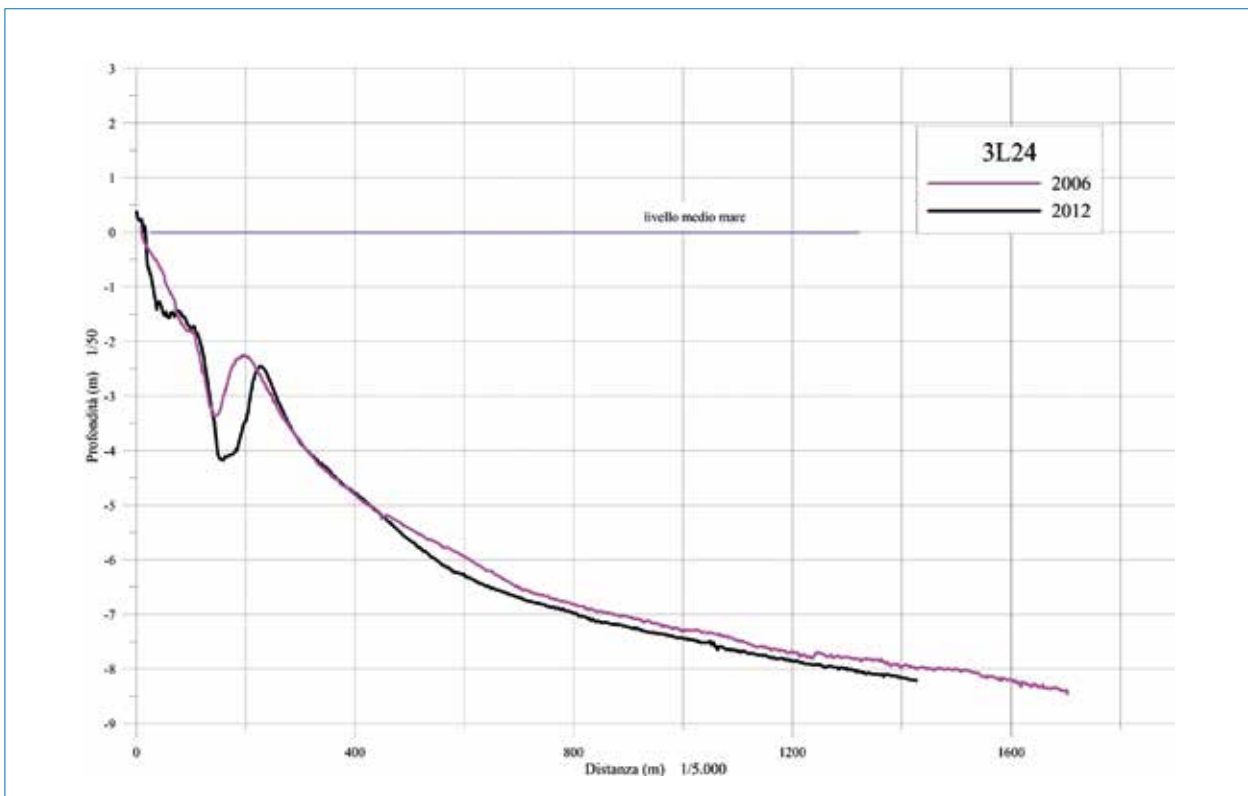


Figura 106 - Foce Gobbino – Bagno Giamaica (Cella 96): Profilo 3L24.

Gli ultimi 3.800 m di litorale della macrocella 5 (Celle 98-100) sono caratterizzati da spiagge molto ampie e in continuo avanzamento (Lido di Spina Nord e Lido degli Estensi). Questa situazione è determinata dall'azione combinata del trasporto solido litoraneo diretto da sud verso nord e dal blocco del sedimento esercitato dal molo di levante di Porto Garibaldi. L'elevato trasporto solido litoraneo determina, inoltre, il continuo intasamento della bocca del Canale Logonovo (Cella 99) e quindi la necessità di periodici dragaggi per garantire il regolare deflusso dell'acqua.

La spiaggia ha un'ampiezza variabile tra gli oltre 150 m, nella zona di Lido di Spina Nord, ai quasi 400 m nella zona nord di Lido degli Estensi.

Dal Bagno Giamaica ai moli di Porto Garibaldi la linea di riva ha un andamento rettilineo; la batimetrica dei 3,5 m è distante solamente 250 m dalla linea di riva davanti a Lido di Spina Sud (cella 97), procedendo verso nord si allontana dalla battigia fino a una distanza di 450 m nella zona prossima ai moli di Porto Garibaldi. La batimetrica dei 7 m è distante circa 800 m davanti a Lido di Spina Sud e si allontana procedendo verso nord fino ad una distanza massima di 1.400 m davanti al Canale Logonovo.

I sedimenti campionati a Lido di Spina (sezione 29LI) e a Lido degli Estensi (sezione 23LI) sono simili.

Sulla spiaggia emersa prevalgono le sabbie medie e ad esse sono associate le sabbie fini. Già a partire dalla battigia diventano più abbondanti le sabbie fini (60-80%), sempre associate a discrete percentuali di sabbia media (10-30%) tra la battigia e la batimetrica di 1 m, mentre sono associate a sabbia molto fine (15-30%), sotto i 2 m di profondità (Figura 96). La porzione pelitica raggiunge un massimo del 5% nei campioni più profondi a Lido di Spina e del 10% negli analoghi campioni collocati a Lido degli Estensi.

Il granulo medio in entrambe le sezioni varia dalla classe della sabbia media alla sabbia fine e, analogamente a quanto rilevato lungo precedenti sezioni (es. 5BL24, RE1, 6L26), anche qui si osserva un leggero aumento di granulometria media nel campione più al largo (Figura 97).

A Lido di Spina (sezione 29LI) i campioni sono moderatamente ben cerniti a tutte le profondità, mentre a Lido degli Estensi (sezione 23LI) sono moderatamente ben selezionati solo i campioni

in prossimità della riva e quelli sulla spiaggia sommersa sono poco cerniti (Figura 98).

I sedimenti di entrambe le località presentano prevalentemente asimmetria positiva. Si distinguono quello prelevato sulla battigia di Lido degli Estensi (sezione 23LI) e quello alla -1 m di Lido di Spina (sezione 29LI) rispettivamente simmetrico e asimmetrico negativo (Figura 99).

Evoluzione 2006-2012

Nel periodo 2006-2012, il tratto di litorale che si estende tra i moli di Porto Corsini e quelli di Porto Garibaldi (macrocella 5 e celle 81-100) ha subito una perdita di sedimenti di oltre 1 milione di mc (DV).

A livello locale la macrocella si presenta però eterogenea, con zone in erosione e altre in accumulo, e con una serie di complessità legate al fatto che sono stati effettuati ripascimenti per circa 780.000 mc (Vrip) e allo stesso tempo sono stati prelevati, nelle zone in accumulo, circa 580.000 mc (Vpre).

Nel periodo 2006-2012 nella macrocella 5 c'è stato un apporto artificiale netto pari a circa 200.000 mc ($V_{imm}=V_{rip}-V_{imm}$, Tabella 17). Le perdite totali reali ammontano quindi a circa 1,2 milioni di mc ($DV+V_{imm}$) pari a un tasso di perdita 60 mc/m in 6 anni, il più alto di tutto il litorale.

Un aspetto positivo è che in questo paraggio la subsidenza si è ridotta. Nel periodo 2006-2012, infatti, il tasso di subsidenza da Porto Corsini a Foce Lamone è stato di 5 - 8 mm/anno e da Foce Lamone a Porto Garibaldi di 2 - 4 mm/anno, mentre nel periodo 2000-2006 era di 11 - 12 mm/anno nel primo tratto, e di 7 - 10 mm/anno nel secondo. La perdita di volume di spiaggia per subsidenza calcolata su tutta la macrocella 5, che nel periodo 2000-2006 era pari a circa 345.000 mc, nel periodo 2006-2012 è stato di circa 125.000 mc, si è quindi ridotta del 64%.

Nel dettaglio, la spiaggia di Porto Corsini (Cella 81), nel periodo 2006-2012, ha avuto un bilancio positivo pur avendo prelevato circa 123.000 mc di sabbia. Questa situazione è dovuta al fatto che la spiaggia è sottoflutto alla deriva sedimentaria ed è a ridosso del molo di ponente di Porto Corsini che blocca i sedimenti. Nella Figura 107 si osservano zone di accumulo sia sulla spiaggia emersa che quella sommersa, mentre la zona di battigia non ha subito variazioni significative (Tabella 17).

Le spiagge di Marina Romea (cella 82) e Marina

Romea Nord (cella 83) sono in forte erosione, infatti nella prima la perdita di sedimento ammonta a circa 100.000 mc, mentre nella seconda, pur avendo effettuato interventi di ripascimento per oltre 360.000 mc di sabbia, il bilancio è solo leggermente positivo (2.000 mc), in quanto tutto il materiale depositato è stato eroso (Figura 108 e Figura 109). La spiaggia di Marina Romea ha subito perdite sia sulla spiaggia emersa che su quella sommersa, mentre la linea di riva è rimasta mediamente in equilibrio. A Marina Romea Nord la spiaggia emersa e quella sommersa, fino alla batimetrica di 1 m, sono in accumulo, la linea di riva è in equilibrio o in leggero avanzamento, mentre è in erosione la spiaggia sommersa fino alla batimetrica dei 2,5-3 m.

Il tratto di litorale Foce Lamone – Casal Borsetti (Cella 85) è difeso da una scogliera radente e da una serie di pennelli ed è quasi privo di spiaggia

emersa, di rappresentando da tempo una zona in forte erosione. Nel periodo 2006-2012, però, il bilancio sedimentario è positivo (+70.000 mc). L'inversione di tendenza è attribuibile all'azione dei due lunghi pennelli a "Y", costruiti nel 2002, che aggettandosi in mare per 150-200 m riescono a intercettare il trasporto solido litoraneo fino alla batimetrica dei 2,5-3 m, creando le condizioni per l'accumulo di sedimento (Figura 107).

I 2 km di litorale di Casal Borsetti (Celle 86-89) sono complessivamente in equilibrio nonostante in mappa risultino esserci aree in erosione e aree in accumulo (Tabella 17 e Figura 107). Queste evidenze suggeriscono che nella zona difesa da scogliere parallele emerse (Celle 86 e 88) deve essersi verificato uno spostamento di sabbia dalla spiaggia emersa a quella sommersa che ha determinato una riduzione di quota della spiaggia emersa e un arretramento della linea di riva.

Tabella 17 - Porto Corsini – Porto Garibaldi (M5):Variazioni di volume positive o negative, per subsidenza, ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2006-2012 (misure in m le lunghezze, mc i volumi).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	Vimm	Vaspe
81	Porto Corsini	1000	13748	16706	0	123100	-123100	136848
82	Marina Romea	1300	-96856	16425	0	6000	-6000	-90856
83	Marina Romea Nord	945	2141	8098	364100	0	364100	-361959
84	Foce Lamone	140	0	0	0	56000	-56000	56000
85	Foce Lamone-Casal Borsetti	2110	69618	8764	16800	0	16800	52818
86	Casal Borsetti Sud	835	-5418	2320	0	0	0	-5418
87	Canale Destra Reno	30	0	0	0	0	0	0
88	Casal Borsetti Nord	520	7128	2118	0	0	0	7128
89	Casal Borsetti Fio 82	630	19437	3486	0	0	0	19437
90	Poligono Militare	2500	-56200	4326	0	0	0	-56200
91	Poligono Militare Nord	1100	-69056	2003	0	0	0	-69056
92	Foce Reno	235	0	0	0	0	0	0
93	Nord Foce Reno	2000	-318461	7683	0	0	0	-318461
94	Foce Gobbino Sud	860	-237839	4603	0	0	0	-237839
95	Foce Gobbino	100	-21019	421	0	61020	-61020	40001
96	Foce Gobbino - Bagno Giamaica	1575	-273120	6689	171724	0	171724	-444844
97	Lido di Spina Sud	900	-53405	6137	230540	0	230540	-283945
98	Lido di Spina Nord	2070	-74904	17284	0	0	0	-74904
99	Foce Logonovo	200	0	0	0	306244	-306244	306244
100	Lido degli Estensi	1540	80724	17675	0	25000	-25000	105724
	Totale	20590	-1013482	124738	783164	577364	205800	-1219282

DV variazione di volume tra il 2006-2012

Vsub volume sottratto per subsidenza

Vrip volume portato a ripascimento

Vpre volume prelevato

Vimm=Vrip-Vpre volume immesso al netto dei prelievi

Vaspe=DV-Vrip+Vpre variazione di volume effettiva

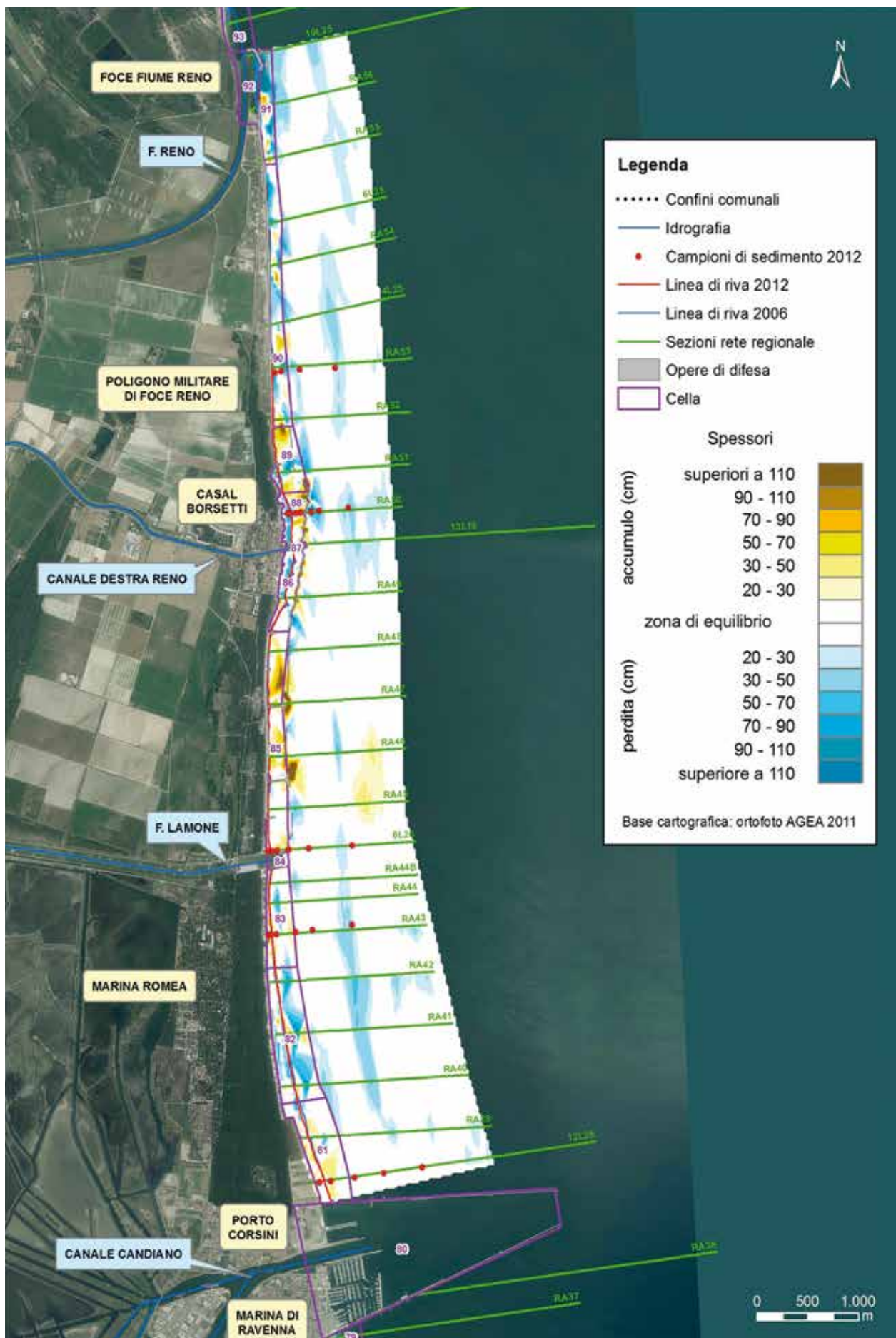


Figura 107 - Porto Corsini – Foce Reno: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012 e punti di campionamento 2012.

Il tratto di litorale pertinente al Poligono Militare (Celle 90 e 91), lungo 3.600 m e interamente difeso da una scogliera radente, è in forte erosione con perdite superiori ai 120.000 mc. Il forte processo erosivo, ancora in atto, ha determinato un approfondimento del fondale al piede della opera, il collasso della struttura in vari punti e lo smantellamento di 700 m di scogliera prossimi alla foce del Reno (Figura 100 e Figura 101).

Il litorale davanti alle Vene di Bellocchio (Celle 93-96) lungo 4,5 km ha subito, nel periodo 2006-2012, una perdita in volume di sedimento di circa 850.000 mc, con un tasso erosivo medio di 190 mc/m e valori massimi di circa 280 mc/m nelle celle 94 e 96.

La linea di riva ha subito arretramenti medi di circa 50 m con punte massime di 80-90 m e la spiaggia sommersa è in forte erosione (Figura 108, Figura 109, Figura 110 e Tabella 17).

Questo paraggio ha il tasso erosivo tra i più alti di tutto il litorale emiliano-romagnolo. È qui chiaramente osservabile la progressiva e veloce migrazione degli ambienti di spiaggia verso la laguna retrostante tramite numerosi e ben sviluppati ventagli di washover (Figura 111), portando al con-

seguito affioramento di sedimenti argillosi più antichi di laguna nella parte frontale della spiaggia stessa (Figura 105).

I 900 m di litorale a nord del Bagno Giamaica (Lido di Spina Sud – Cella 97) hanno subito complessivamente una perdita di circa 50.000 mc (Tabella 17). Nella carta di Figura 110 si osserva che nei primi 500 m a partire dal bagno Giamaica, la spiaggia, per effetto dei 230.000 mc di sabbia portati a ripascimento, è in leggero accumulo e la linea di riva è avanzata mediamente 20-30 m. Negli ultimi 400 m si osserva invece una forte erosione soprattutto della spiaggia emersa e un arretramento della linea di riva.

La perdita totale di volume di sedimento di questo paraggio, lungo solo 900 m, è stato quindi di oltre 280.000 mc (DV+Vrip, Tabella 17), pari ad un tasso di perdita di 315 mc/m in 6 anni, tra i più alti di tutto il litorale.

La spiaggia di Lido di Spina Nord (Cella 98) ha subito una perdita di circa 75.000 mc; nella Figura 110 si osserva che l'erosione ha interessato la sola spiaggia sommersa, la spiaggia emersa è rimasta in equilibrio e la linea di riva è persino avanzata.

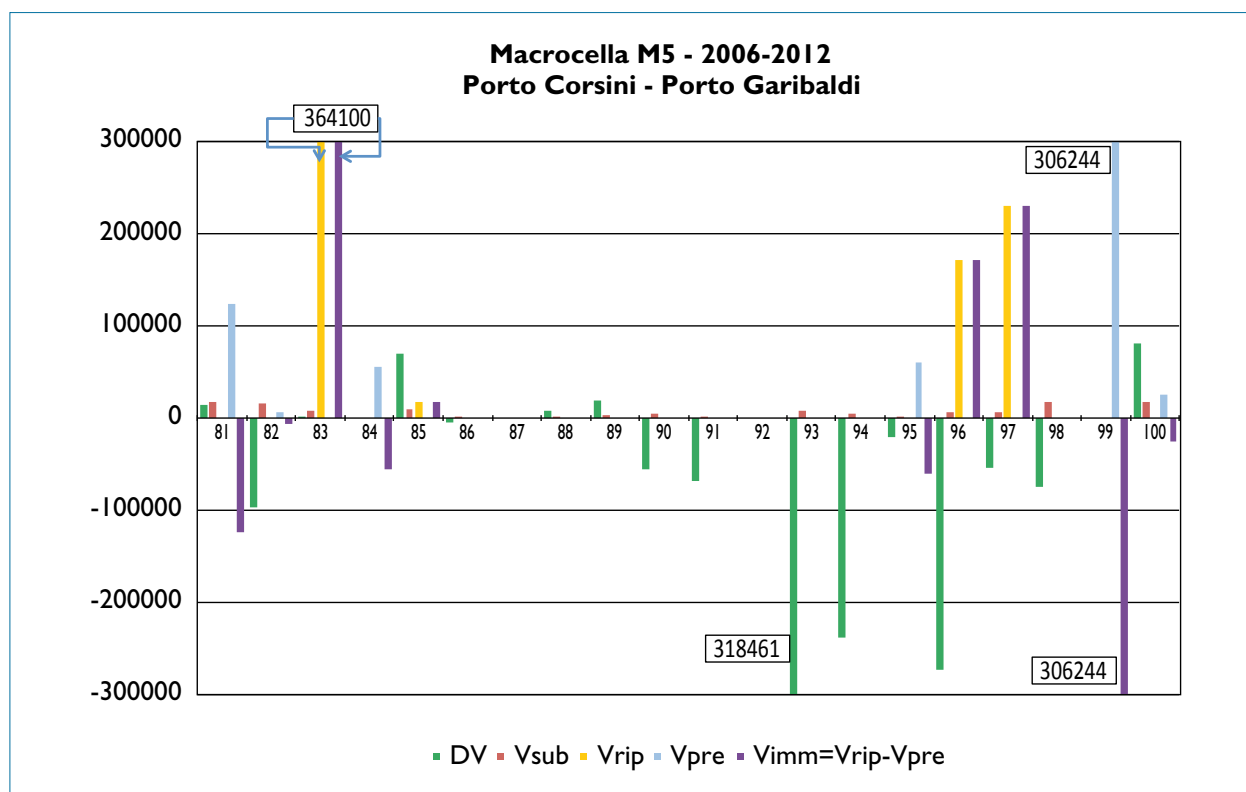


Figura 108 - Porto Corsini – Porto Garibaldi (M5). DV:Variazione di volume;Vsub: perdite per subsidenza;Vrip: ripascimenti;Vpre: prelievi;Vimm: volumi immessi. Tutti i valori sono reltivi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc).

Macrocella M5 - 2006-2012 Porto Corsini - Porto Garibaldi

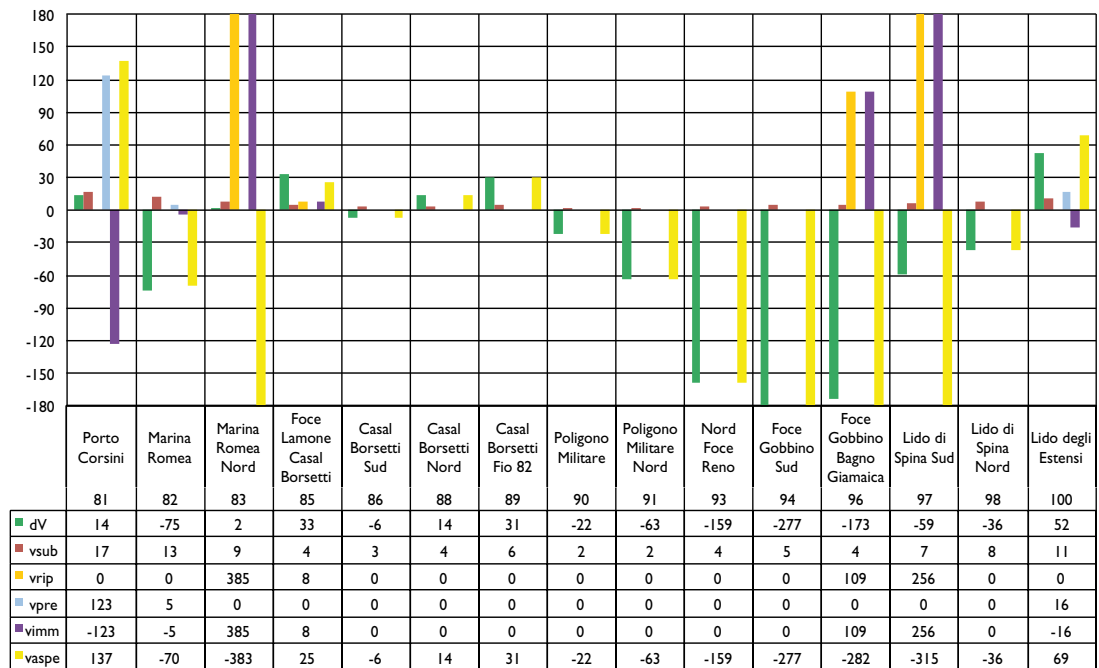


Figura 109 - Porto Corsini – Porto Garibaldi (M5). Legenda: dV:Variazione di volume; vsub: perdite per subsidenza; vrip: ripascimenti; vpre: prelievi ; vimm: volumi immessi; vaspe: variazioni di volume complessive ottenute $dV+vrip+vpre$, nel periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc/m).

La linea di riva è arretrata leggermente nei primi 300 m a sud vicino alla foce di Canale Logonovo (Cella 99), mentre nella zona più a nord è avanzata, con valori massimi di circa 70-80 m a ridosso del molo.

Si segnala infine che dalla foce del Canale Logonovo, per garantire il regolare deflusso delle acque, sono stati dragati oltre 300.000 mc di sabbia, che altrimenti si sarebbero accumulati a ridosso del molo. Le sabbie asportate con questo intervento sono state portate a ripascimento del litorale tra la Foce del Gobbino e Lido di Spina Sud.

Infine, nella spiaggia di Lido degli Estensi (Cella 100) si è verificato un accumulo di 80.000 mc, al quale va sommato il prelievo di 25.000 mc di sabbia utilizzata per il ripascimento della spiaggia di Volano.

Nella Figura 110 si osserva che in questa cella la spiaggia emersa è rimasta in equilibrio, mentre nei primi fondali, per una estensione di 800 m di spiaggia a ridosso del molo levante di Porto Garibaldi è stato rilevato un accumulo.

Confronto periodi 2000-2006 e 2006-2012

Nel periodo 2006-2012, nel tratto di litorale da Porto Corsini a Porto Garibaldi (Macrocella 5) è stata calcolata una perdita di sedimenti di circa 1 milione di mc (DV) che, sommata ai 205.800 mc di materiale immesso (Vimm), arriva ad una perdita totale (DV+Vimm) di oltre 1,2 milioni di mc. Le perdite sono state 10 volte superiori a quelle calcolate nel periodo 2000-2006 (113.000 mc), nonostante la decisa riduzione del tasso di subsidenza, che è passato da 7-12 mm/anno nel periodo 2000-2006 a 2-8 mm/anno nel periodo 2006-2012. In termini di volumi persi per subsidenza si è passati da 344.000 mc del primo periodo ai soli 124.000 mc del secondo periodo, che equivale ad una riduzione del 50-60%.

Le ragioni di tale incremento nelle perdite sono legate ad una serie di fattori sia naturali che antropici.

Lungo il tratto di litorale che si estende da Porto Corsini a Marina Romea Nord (3.2 km, Cella 81-82, Figura 107), non è mai stato necessario costruire opere rigide, perché queste spiagge si

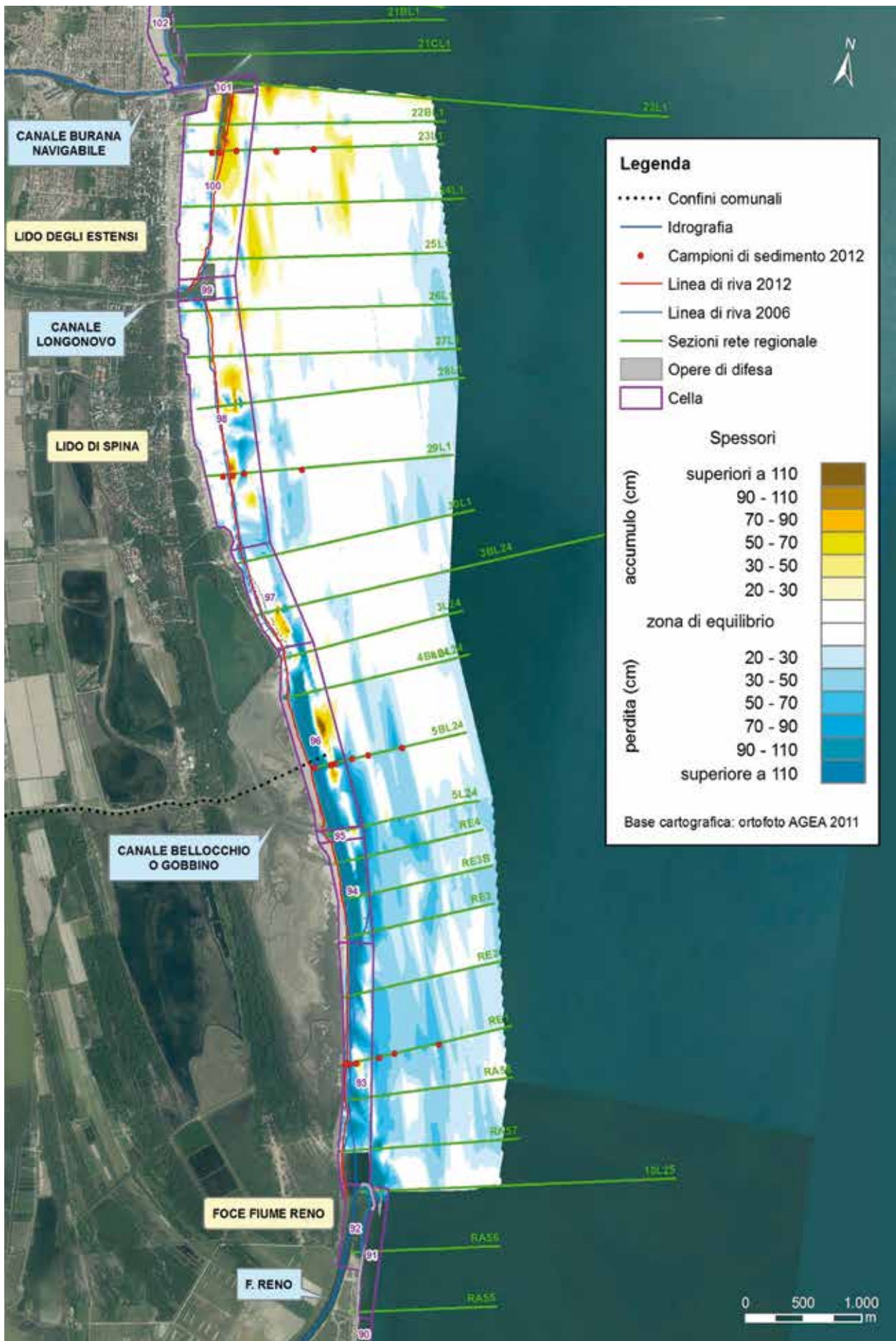


Figura 110 - Foce Reno - Porto Garibaldi: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012 e punti di campionamento 2012.



Figura 111 - Ventagli di washover che si sviluppano verso la laguna nella zona delle Vene del Bellocchio (Gennaio 2011).

trovano, sottoflutto solido alla deriva litoranea e a ridosso del lungo molo del porto che blocca qui il trasporto solido. Nell'ultimo decennio, la riduzione del trasporto solido litoraneo e in parte la costruzione tra Foce Lamone e Casal Borsetti di due lunghi pennelli in roccia che bloccano parte del materiale spostato lungo costa, hanno determinato l'erosione del litorale di Marina Romea. Tale fenomeno, che si era già manifestato nel periodo 2000-2006 nella zona nord (Cella 83), con gli ultimi rilievi 2006-2012, risulta essersi esteso in maniera evidente anche al tratto a sud (Cella 82).

Il litorale di Porto Corsini, lungo 1 km, è l'unico tratto di questo paraggio che al 2012 è ancora in accumulo.

Nel periodo 2006-2012, il tratto di litorale da Foce Lamone a Casal Borsetti (Celle 85-89), lungo circa 4 km, è rimasto sostanzialmente stabile (Tabella 17). Il trend evolutivo è migliorato rispetto al periodo 2000-2006, quando risultava in forte erosione.

Il tratto di litorale del Poligono Militare (Celle 90-91), lungo 3,6 km, continua ad avere un trend erosivo con perdite valutate in circa 130.000 mc. Questo paraggio è ormai da tempo privo di spiaggia e i processi erosivi stanno determinando un graduale approfondimento del fondale prossimo alla scogliera radente. In diversi tratti vicino alla costa questi fondali hanno raggiunto i 3,5 m di profondità. Nel periodo 2006-2012, inoltre, l'azione del moto ondoso ha completamente smantellato gli ultimi 700 m della scogliera radente prossima a Foce Reno (Figura 101).

Il paraggio compreso tra la riva nord del Reno e Lido di Spina Sud (Celle 93-97), lungo 5,4 km, è in forte erosione. Le perdite sono state circa 500.000 mc, tra il 2000 e il 2006, e oltre 900.000 mc, nel periodo 2006-2012. A questi vanno sommati i quantitativi di sabbia portati a ripascimento nel tratto tra Foce Gobbino-Bagno Giamaica (Cella 96) e Lido di Spina Sud (Cella 97) pari a

228.500 mc nel primo periodo e oltre 400.000 mc nel secondo periodo (Figura 48).

A Lido di Spina Nord (Cella 98) sono stati osservati segnali di peggioramento. La spiaggia, che nel periodo 2000-2006 era in forte accumulo (224.000 mc circa), con gli ultimi rilievi 2006-2012, risulta in perdita di circa 75.000 mc. Questa inversione di tendenza è probabilmente dovuta, come per le spiagge di Marina Romea e Rimini, alla riduzione del trasporto solido litoraneo che di anno in anno si aggravava.

Infine, la spiaggia di Lido degli Estensi (Cella 100) continua a beneficiare della posizione sottoflutto al trasporto litoraneo e a ridosso del molo di Porto Garibaldi, infatti risulta in entrambi i periodi in forte accumulo. Essendo questa spiaggia molto estesa e in continuo accumulo è diventata un'area di prelievo di sabbia per ripascere le spiagge in erosione.

In definitiva, per garantire l'equilibrio dell'intero paraggio bisognerà aumentare notevolmente i quantitativi di materiale da portare a ripascimento, attingendo in particolare da fonti esterne alla macrocella. Ormai il materiale sabbioso in circolo è molto limitato, dall'analisi evolutiva del periodo 2006-2012 risulta evidente, che la movimentazione della sabbia dalle zone di accumulo (Foce Logonovo, Lido degli Estensi, Foce Gobbino, Foce Lamone e Porto Corsini) a quelle in erosione non è più sufficiente a compensare le perdite.

Sintesi

Lungo il paraggio da Porto Corsini a Porto Garibaldi (macrocella 5) le perdite di sedimento nel periodo 2006-2012 (1,2 milioni di mc) sono state circa 10 volte superiori a quelle del periodo 2000-2006 (113.000 mc), nonostante la forte diminuzione del tasso di subsidenza che nel periodo 2006-2012 è stato di 2-4 mm/anno contro i circa 10 mm/anno del periodo 2000-2006 (Figura 95, Figura 103, Figura 107, Figura 110).

Il litorale di Porto Corsini, lungo circa 1 km, è in continuo accumulo grazie alla presenza del molo del porto che interrompe qui il trasporto dei sedimenti lungo costa proveniente da nord.

Il litorale di Marina Romea presenta, al contrario, evidenze di erosione imputabili alla progressiva riduzione del trasporto solido litoraneo accen-

tuata dai due pennelli in roccia costruiti nel 2003 tra la foce del Lamone e Casal Borsetti che intercettano sedimento proveniente da nord.

Un miglioramento della situazione è stato rilevato tra la foce del Lamone e Casal Borsetti: la tendenza all'erosione osservata nel periodo 2000-2006 si è trasformata in un sostanziale equilibrio. L'area del Poligono Militare difesa con una scogliera radente (lunga 3,6 km) è ormai da tempo priva di spiaggia emersa. L'azione continua del moto ondoso sta determinando anche un graduale approfondimento del fondale al piede della scogliera e lo smantellamento della scogliera stessa.

Il paraggio compreso tra la foce del Reno e Lido di Spina Sud, lungo 5,4 km, è uno dei più critici di tutto il litorale emiliano-romagnolo. Tra il 2000 e il 2006, le perdite erano state di circa 730.000 mc, tra il 2006 e il 2012 esse sono incrementate ed ammontano a oltre 1,3 milioni di mc. Nel periodo 2006-2012, nell'area del Gobbino la spiaggia è arretrata mediamente di 40-50 metri.

La spiaggia di Lido di Spina Nord, in accumulo nel periodo 2000-2006 (224.000 mc circa) risulta nel periodo 2006-2012 in perdita di circa 75.000 mc. L'inversione di tendenza è probabilmente causata dalla progressiva riduzione del trasporto solido litoraneo.

Continua invece a essere in avanzamento la spiaggia di Lido degli Estensi in quanto collocata a ridosso del molo di Porto Garibaldi.

In futuro per garantire l'equilibrio di questo paraggio (macrocella 5) bisognerà incrementare l'entità dei ripascimenti attingendo a fonti di sabbia esterne al sistema. Dall'analisi evolutiva del periodo 2006-2012 risulta evidente, infatti, che la movimentazione di sabbia dalle zone di accumulo (Foce Logonovo, Lido degli Estensi, Foce Gobbino, Foce Lamone e Porto Corsini) a quelle in erosione non è più sufficiente a compensare le perdite.

Per quanto riguarda la tessitura dei sedimenti, lungo il litorale compreso tra Porto Corsini e Lido degli Estensi (macrocella 5), fatta eccezione per il tratto di Marina Romea a ridosso del molo, la spiaggia emersa è costituita da sedimenti con granulo medio dell'ordine della sabbia media, che in alcuni casi si limita alla battigia o ai fondali compresi entro 1 m di profondità, e in altri arriva a 3 m di profondità (es. a nord della foce del Gobbino,

dove non a caso il tasso di erosione è molto alto, Figura 129).

La spiaggia sommersa invece varia da zona a zona. Tra Porto Corsini fino a sud del Canale Destra Reno la spiaggia sommersa è caratterizzata da prevalenti sabbie molto fini, a eccezione del tratto in prossimità della foce del Lamone dove i fondali sono caratterizzati da sedimenti con diametro medio delle dimensioni del silt (Figura 129). In questa zona, oltre ad essere presente lo sbocco del Fiume Lamone, sono stati effettuati attorno al 2007 vari sversamenti di materiale relativamente fini provenienti dal dragaggio del Porto di Ravenna.

A partire da Casal Borsetti andando verso nord, i fondali fino a 6-7 m sono decisamente più grossolani e costituiti da prevalenti sabbie fini (Figura 129).

4.6 Macrocella 6: Porto Garibaldi - Volano

Inquadramento

Il paraggio costiero che si estende dai moli di Porto Garibaldi allo Scannone di Volano (Comune di Comacchio), lungo 16.650 m, corrisponde alla macrocella 6. Partendo dai moli e procedendo verso nord esso comprende le spiagge di Porto Garibaldi, Lido degli Scacchi, Lido di Pomposa, Lido delle Nazioni e la riserva naturale di Po di Volano, parte del Parco Naturale Regionale del Delta del Po (Figura 112).

L'evoluzione di questo paraggio è dipendente dalla presenza dei moli di Porto Garibaldi, dal continuo escavo del canale sub-lagunare di atterraggio al porto di Goro, che scorre lungo lo Scannone di Volano, dall'apporto solido del Po di Goro e dal trasporto solido litoraneo.

Negli anni '20 del XX secolo, il prolungamento dei moli del porto di Porto Garibaldi ha determinato la riduzione del trasporto solido litoraneo, diretto da sud verso nord, e la manifestazione dei primi processi erosivi sulla spiaggia di Porto Garibaldi.

Tra il 1929 e il 1931, a ridosso dei moli sono state costruite le prime 3 scogliere parallele emerse per fronteggiare l'erosione della spiaggia e smorzare il moto ondoso che aveva demolito alcuni stabilimenti balneari e la duna. Nel 1958 i moli sono stati prolungati di circa 300 m. Questo secondo prolungamento ha ridotto ulteriormente

il trasporto solido litoraneo ed ha intensificato i processi erosivi sulle spiagge a nord dei moli. Sul finire degli anni '50, in seguito ad una violenta mareggiata che aveva demolito un tratto del lungomare di Porto Garibaldi, è stata avviata la costruzione di 5 nuove scogliere. Queste hanno innescato il fenomeno a catena erosione-scogliera-erosione che ha portato, nel corso degli anni '60 e '70, alla costruzione di nuove opere. Nel 1977 i primi 9 km di litorale a nord dei moli di Porto Garibaldi risultavano difesi da una serie ininterrotta di scogliere parallele emerse. Il processo erosivo ha continuato ad estendersi verso nord, e per difendere l'area delle Bocche del Bianco e della Pineta di Volano è stata realizzata una scogliera radente, mentre nel 2003, su un tratto di 1 km, sono stati realizzati 16 pennelli in pali di legno a difesa della spiaggia di Volano.

Nella zona nord, le correnti litoranee, dirette da est verso ovest, trasportano verso Volano le sabbie provenienti dal Po di Goro. In realtà solo una frazione del materiale sabbioso movimentato raggiunge lo Scannone di Volano, in quanto buona parte rimane intrappolata nel canale marino di atterraggio al porto di Goro, situato all'interno della Sacca di Goro.

Stato del litorale al 2012

Il litorale da Porto Garibaldi a Lido delle Nazioni (Celle 102-105) lungo circa 9 km è totalmente difeso da scogliere parallele emerse.

La linea di riva ha un andamento lineare, mentre la spiaggia sommersa tra battigia e scogliere è caratterizzata da salienti (Figura 112). La spiaggia di Porto Garibaldi (Cella 102) ha un'ampiezza media di 120-140 m, mentre la spiaggia di Lido Degli Scacchi (Cella 103), di Lido di Pomposa (Cella 104) e buona parte di quella di Lido delle Nazioni (Cella 105) hanno un'ampiezza media di 50-70 m. Negli ultimi 700-800 m di spiaggia di Lido delle Nazioni sono presenti anche due pennelli in roccia e la spiaggia ha un'ampiezza media di soli 10-20 m. La batimetrica dei 3,5 m è posizionata a circa 300 m al largo delle scogliere nella zona a ridosso dei moli, mentre andando verso nord tende ad avvicinarsi, e a partire da Lido degli Scacchi si posiziona a ridosso delle scogliere.

In questo paraggio il rilievo al largo arriva fino alla batimetrica dei 6 m; questa dista circa 1.200 m nella zona davanti a Porto Garibaldi, si avvicina a riva fino ad una distanza minima di 700 m davanti a Lido de-

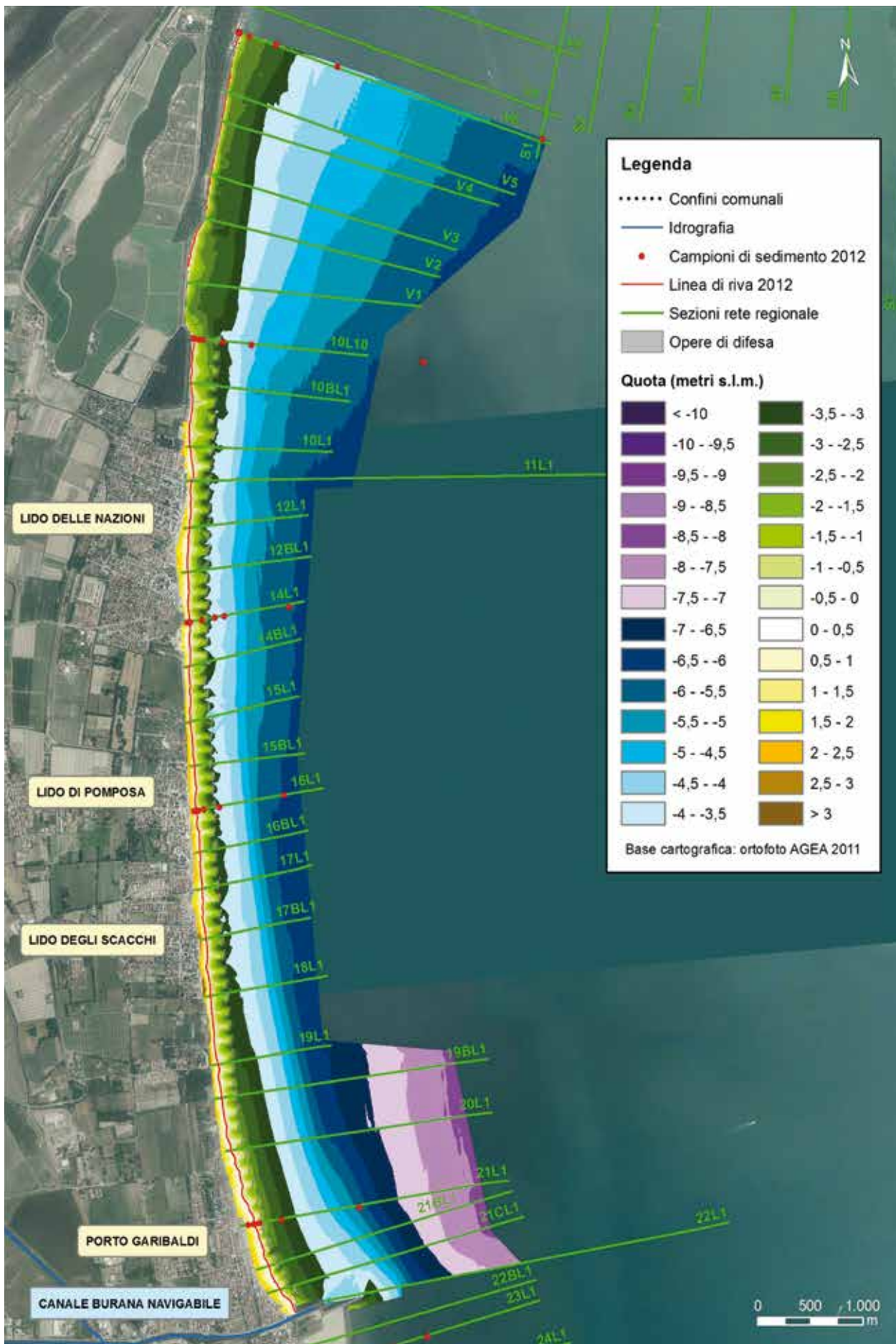


Figura 112 - Porto Garibaldi -Volano: carta topo-batimetrica e punti di campionamento dei sedimenti (2012).

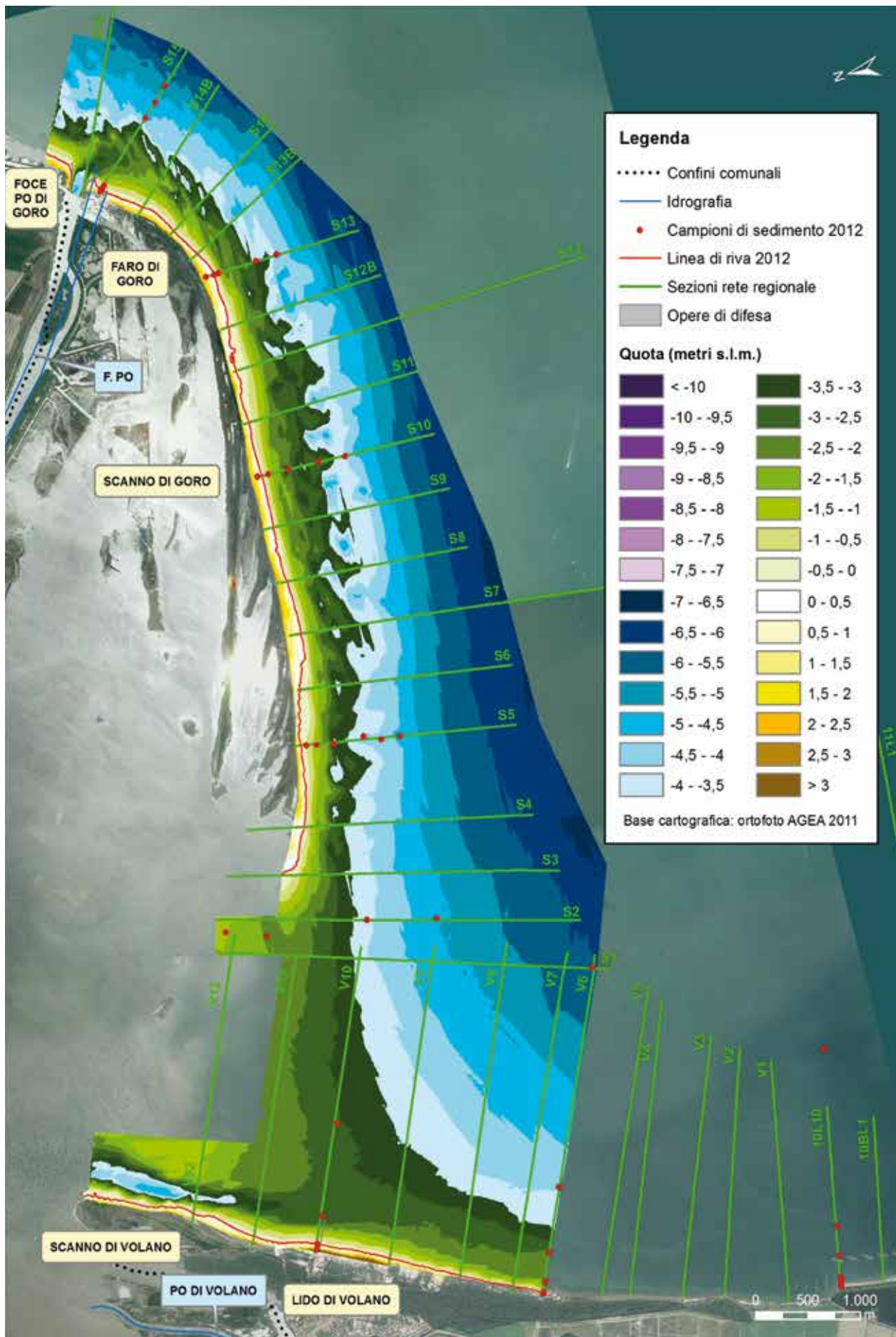


Figura 113 - Volano – Foce Po di Goro: carta topo-batimetrica e punti di campionamento dei sedimenti (2012).

gli Scacchi, poi si allontana fino ad una distanza di 1.600-1.800 m davanti a Lido delle Nazioni.

I sedimenti campionati a Porto Garibaldi (sezione 21LI) sono formati da prevalente sabbia fine (90-60%). A tale componente è associata sabbia molto fine che passa da percentuali del 10-20% nella zona interna alle opere a 25-30% esternamente alle scogliere (Figura 114). Sotto ai 3 m

di profondità compare anche un 10% di pelite (Figura 114).

Il diametro medio si mantiene a tutte le profondità nell'ambito della sabbia fine (Figura 115, Figura 129). I sedimenti sono da ben cerniti a moderatamente ben cerniti dentro le scogliere, mentre fuori da queste sono poco selezionati (Figura 116).

Tutti i campioni hanno asimmetria positiva, gra-

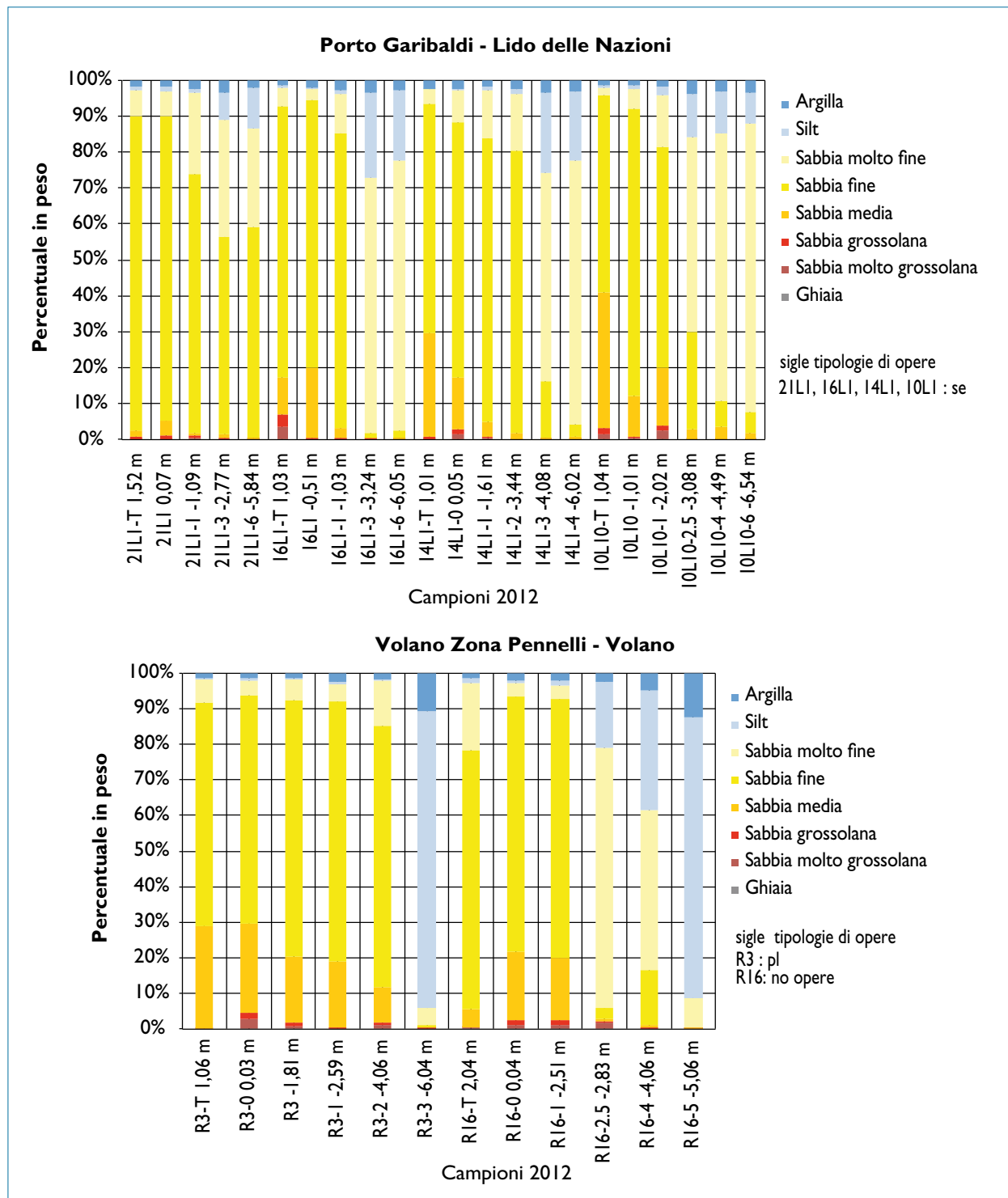


Figura 114 - Istogrammi con analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Garibaldi e Volano; se: scogliere emerse; pennelli in pali di legno.

dualmente più accentuata alle maggiori profondità (Figura 117).

I sedimenti analizzati a Lido di Pomposa (sezione 16L1) e a Lido delle Nazioni (sezione 14L1) sono diversi da quelli campionati a Porto Garibaldi: sulla spiaggia emersa e sui fondali fino alle scogliere i depositi sono formati da prevalenti sabbie fini (70-80%) associate, a differenza di Porto Garibaldi, a sabbie

medie (20-30%) e tracce (<5%) di sabbie grossolane e molto grossolane. Al di fuori delle scogliere i depositi sono prevalentemente costituiti da sabbia molto fine (70-80%) e da pelite (20-30%) (Figura 114).

I campioni entro le scogliere presentano diametro medio dell'ordine della sabbia fine, e risultano leggermente più grossolani rispetto a quelli campionati alle stesse quote a Porto Garibaldi, mentre

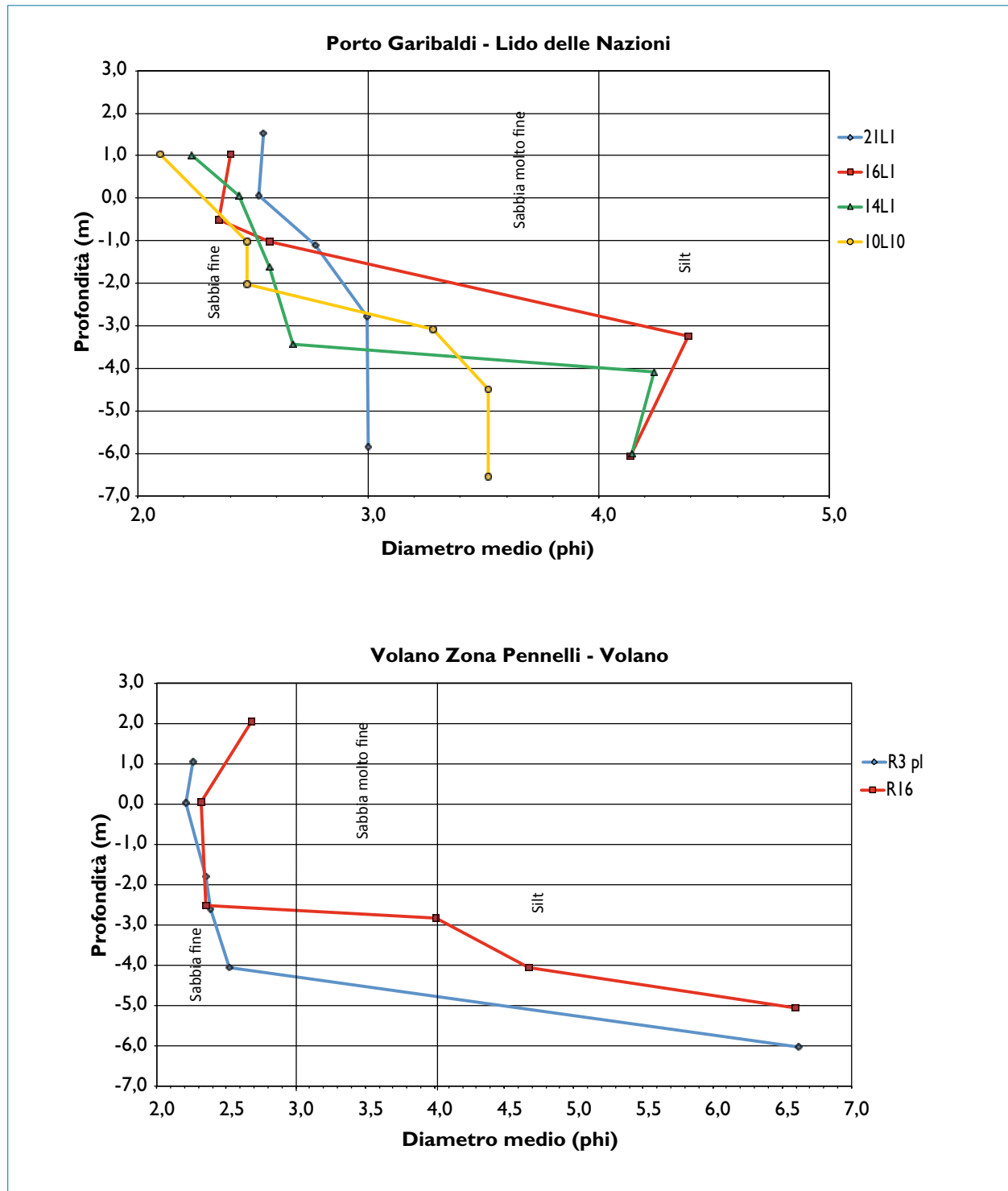


Figura 115 - Diametro medio dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Garibaldi e Volano; pennelli in pali di legno.

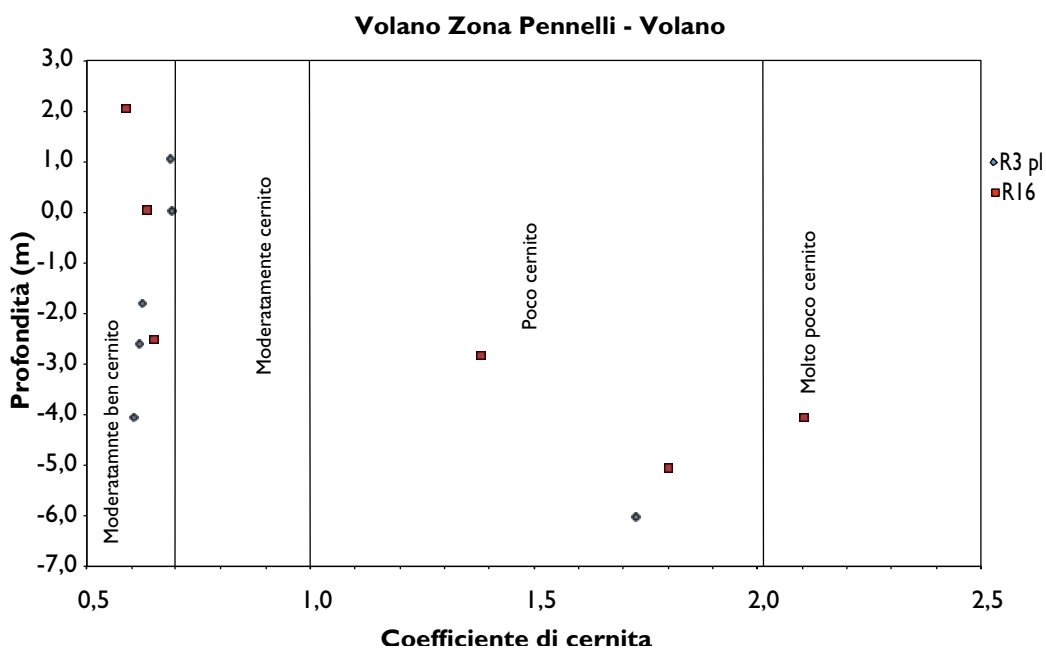
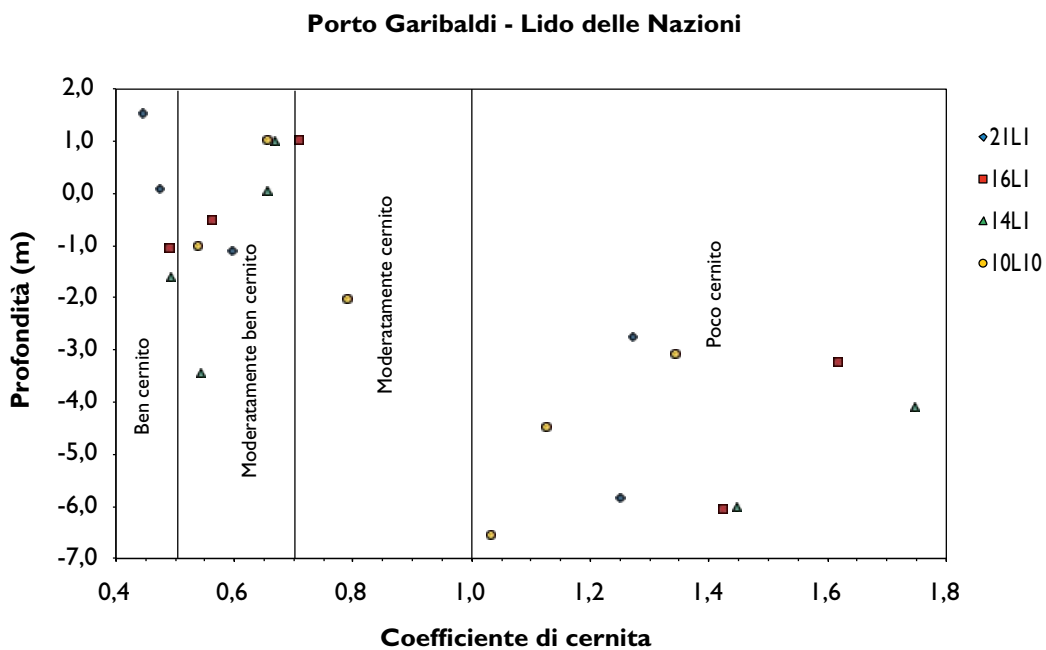


Figura 116 - Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Garibaldi e Volano; pennelli in pali di legno.

i sedimenti dei fondali al largo sono decisamente più fini con diametro medio delle dimensioni del silt (Figura 115, Figura 129).

Il grado di selezione peggiora con l'aumento della profondità. I sedimenti sono da bene a moderatamente ben cerniti nella fascia di spiaggia presso la riva, fino a poco cerniti alle maggiori profondità (Figura 116).

L'asimmetria è negativa o nulla, nella fascia interna alle scogliere, e positiva al largo (Figura 117).

A nord di Lido delle Nazioni, lungo la sezione 10L10, i depositi vicini a riva sono simili a quelli riscontrati a Lido di Pomposa e sulla spiaggia meridionale di Lido delle Nazioni (16L1 e 14L1; Figura 114). Il passaggio ai sedimenti più fini al largo è però più graduale: i campioni esterni alle scogliere,

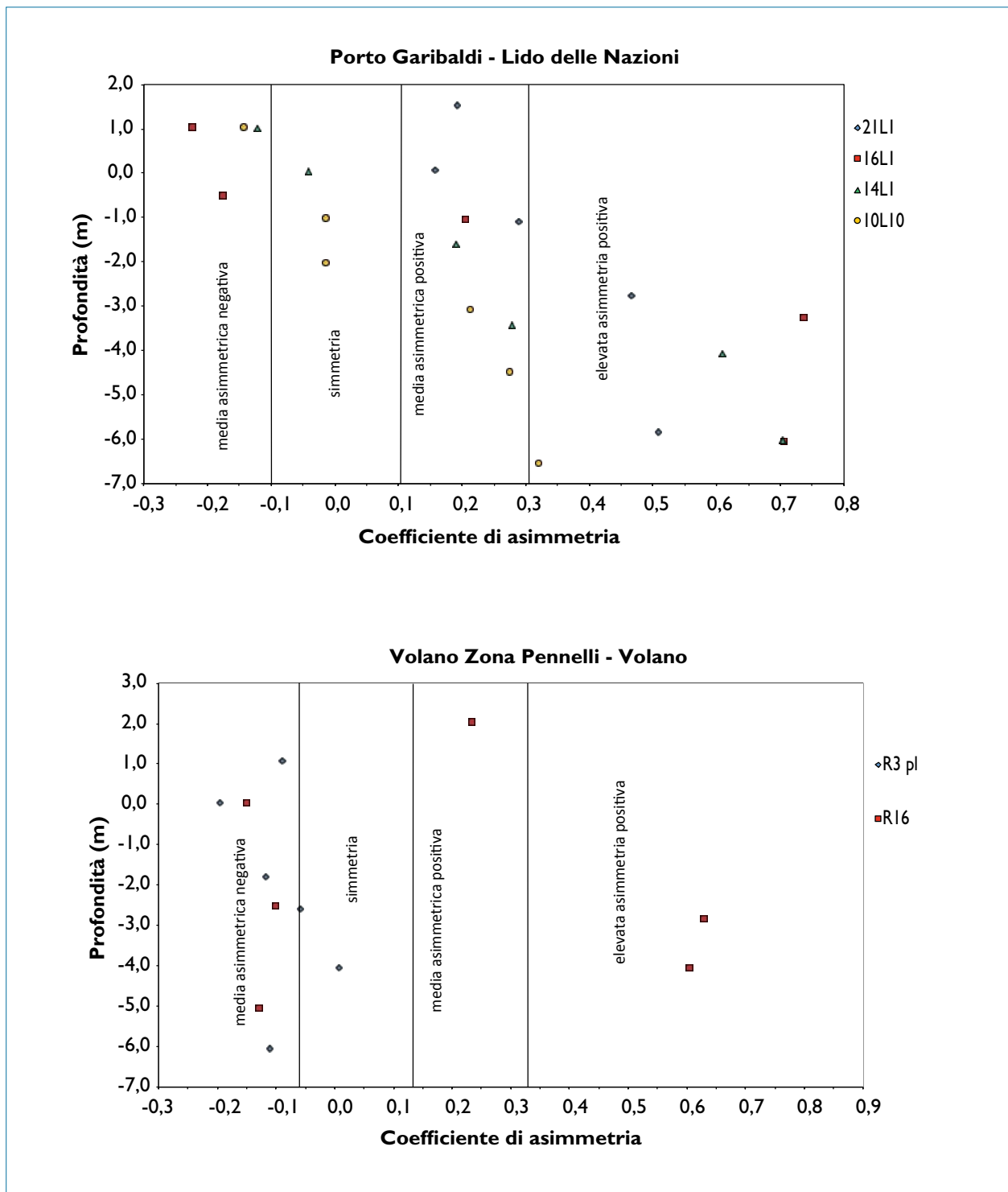


Figura 117 - Coefficiente di asimmetria dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Garibaldi e Volano; pennelli in pali di legno.

oltre a essere prevalentemente formati da sabbia molto fine come quelli di Lido delle Nazioni e Lido di Pomposa, presentano una componente decrescente verso il largo di sabbia fine, che si traduce in granulo medio maggiore (sabbie molto fini) rispetto a quello rilevato lungo le due sezioni più a sud (Figura 115, Figura 129).

Anche lungo questo transetto il grado di cernita

peggiora con la profondità, i sedimenti sono moderatamente ben cerniti e moderatamente cerniti fino a -2 m; e poco cerniti al di sotto dei -3 m. L'asimmetria passa da negativa a positiva con l'aumentare della profondità.

Il litorale a nord di Lido delle Nazioni (Cella 106 - Bocche del Bianco e 107 - Pineta Volano) è interamente protetto da un argine di terra e da una

scogliera in massi sul lato mare ed è praticamente privo di spiaggia emersa. La batimetrica dei 3,5 m dista circa 400-500 m dalla scogliera radente, mentre la batimetrica dei 6 m dista 1.900 m nella zona sud e si allontana fino a 3.000 m nella zona nord.

Il tratto di litorale denominato Volano Zona Pennelli (Cella 108) è difeso da un argine armato e da 16 pennelli in pali di legno lunghi 25-30 m ed equidistanti circa 50-60 m (Figura 113).

La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 20-30 m.

Su questa spiaggia (sezione V6 di Figura 112 corrispondente alla sigla R3 in Figura 114) le sabbie sono prevalentemente fini, simili a quelle riscontrate vicino a riva a Pomposa e a Lido delle Nazioni, ma qui continuano ad avere questa composizione granulometrica fino alla profondità di 4 m. Soltanto il campione più al largo (R3-3), collocato di fronte alla bocca della laguna si distingue perché composto da prevalenti peliti (90%) costituite da circa il 10 % di argilla.

Fino alla profondità di 4 m i depositi hanno un diametro medio delle dimensioni della sabbia fine, a -6 m il granulo medio ricade nel campo del silt in prossimità del limite con l'argilla (Figura 115).

I sedimenti entro i 4 m di profondità sono moderatamente ben selezionati, mentre il campione a 6 m è poco cernito (Figura 116).

L'asimmetria è negativa o nulla (Figura 117).

La spiaggia di Lido di Volano (Cella 109) è priva di opere di difesa rigide e viene mantenuta con continui interventi di ripascimento. La spiaggia emersa ha un'ampiezza variabile tra i 20-30 m e i 100-110 m.

I depositi campionati su questa spiaggia lungo la sezione V10 (con sigla R16 in Figura 114) sono in parte simili a quelli della zona di Volano protetta dai pennelli. Le differenze risiedono nel fatto che le sabbie fini qui si osservano solo fino alla batimetrica dei 2,5 m e già a circa -3 m i fondali sono caratterizzati da prevalenti sabbie molto fini. A -4 e -5 m i campioni contengono alte percentuali di pelite (40-90%), quindi sono rappresentati da un granulo medio delle dimensioni del silt. Il campione a 5 m ricade in prossimità del limite con la classe dell'argilla (Figura 115).

Sono moderatamente ben selezionati i campioni sabbiosi entro i 3 m di profondità mentre sono poco e molto poco selezionati quelli di fronte alla

bocca della laguna, a profondità maggiori di 3 m (Figura 116).

L'asimmetria è variabile e non c'è relazione con la profondità (Figura 117).

Il tratto terminale della macrocella 6 è costituito dallo Scannone di Volano (cella 110), un sistema di cordone litoraneo naturale della lunghezza di 2 km con un'elevata dinamicità. Esso si trova, infatti, sottoflutto al trasporto solido litoraneo ed è il punto di accumulo delle sabbie provenienti sia da sud che da est. Per questo motivo è uno dei tratti del litorale emiliano-romagnolo utilizzati come fonte di prelievo di sabbia da portare a ripascimento. La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 60-70 m.

Davanti alla spiaggia dello Scannone di Volano si trova il canale sub-lagunare di atterraggio al porto di Goro, mantenuto aperto con continui dragaggi (Figura 113).

Evoluzione 2006-2012

Tra il 2006 e il 2012, il paraggio costiero tra i moli di Porto Garibaldi e lo Scannone di Volano (Celle 101-110) è rimasto complessivamente stabile. La variazione di volume di sedimento netta (DV-Vimm) supera di poco i 100.000 mc (Tabella 18) che corrisponde ad un tasso di accumulo di soli 6 mc/m in 6 anni. Nel periodo in esame, con il materiale prelevato dallo Scanno di Volano (176.000 mc) e alla bocca di Porto Garibaldi (143.000 mc) si è per riusciti a mantenere in equilibrio il litorale da Porto Garibaldi a Volano (Celle 102-109) soggetto a fenomeni erosivi. Alla stabilità di questo paraggio ha contribuito anche la riduzione del tasso di subsidenza, che nel periodo 2006-2012, tra Porto Garibaldi e i pennelli di Volano (celle 101-108), è risultato pari a 2-4 mm/anno, contro i 7-9 mm/anno del periodo 2000-2006. Diversamente, la subsidenza è rimasta pressoché invariata (mediamente 7 mm/anno) tra Lido di Volano (Cella 109) e lo Scannone di Volano (Cella 110).

In dettaglio, lungo il litorale tra Porto Garibaldi e la Pineta di Volano (Celle 102-107) è stato calcolato un accumulo di 172.000 mc (pari a circa 15 mc/m in 6 anni) dovuto ai 190.000 mc di sabbia apportati sulle spiagge di Lido degli Scacchi (9.300 mc), Lido di Pomposa (118.750 mc) e Lido delle Nazioni (62.400 mc). La linea di riva non ha subito variazioni significative (Figura 118, Figura 120 e Figura 121).

Tabella 18 - Porto Garibaldi – Volano (M6): Variazioni di volume positive o negative, perdite per subsidenza, ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2006-2012 (misure in m le lunghezze, mc i volumi).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	Vimm	Vaspe
101	Bocca Porto Garibaldi	110	0	0	0	143000	-143000	143000
102	Porto Garibaldi	1480	-10813	4270	0	0	0	-10813
103	Lido degli Scacchi	2500	43848	7107	9342	0	9342	34506
104	Lido di Pomposa	2230	56156	4614	118750	0	118750	-62594
105	Lido delle Nazioni	2910	77306	8426	62441	0	62441	14865
106	Bocche del Bianco	1130	-10598	4440	0	0	0	-10598
107	Pineta di Volano	1600	16747	7747	0	0	0	16747
108	Volano Zona Pennelli	990	-64482	8477	6546	0	6546	-71028
109	Volano	1750	12740	22423	170630	0	170630	-157890
110	Scannone di Volano	1950	29305	29647	0	175969	-175969	205274
	Totale	16650	150210	97150	367709	318969	48740	101470

DV variazione di volume tra il 2006-2012

Vsub volume sottratto per subsidenza

Vrip volume portato a ripascimento

Vpre volume prelevato

Vimm=Vrip-Vpre volume immesso al netto dei prelievi

Vaspe=DV-Vrip+Vpre variazione di volume effettiva

Le spiagge di Volano Zona Pennelli (Cella 108) e Lido di Volano (Cella 109) sono le uniche due in erosione. Nel tratto di spiaggia di Volano difeso da pennelli in pali di legno è stata calcolata una perdita di circa 65.000 mc. Il ripascimento di sabbia effettuato, pari a 6.500 mc, non ha compensato le perdite e la linea di riva è arretrata di circa 5-10 m. A Lido di Volano i 170.000 mc di sabbia apportati sono risultati, invece, sufficienti a stabilizzare la spiaggia e la linea di riva (Figura 119, Figura 120 e Figura 121).

Nel periodo 2006-2012, in corrispondenza dello Scannone di Volano (Cella 110) si sono accumulati circa 205.000 mc di sabbia. Questo quantitativo è dato dalla somma della variazione di volume calcolato, pari a 29.000 mc, e dei volumi di sabbia prelevati, pari a 176.000 mc (Figura 120 e Figura 121).

Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012

La variazione di volume di sedimenti (DV, Tabella 18) nel paraggio che va da Porto Garibaldi allo Scannone di Volano è risultata pari a 100.000 mc (6 mc/m) nel periodo 2000-2006 e a 150.000 mc (9 mc/m) nel periodo 2006-2012. In entrambi i periodi è stato registrato sostanzialmente un pareggio di bilancio sedimentario.

Nel periodo 2000-2006, il pareggio di bilancio è stato ottenuto con una movimentazione interna

alla macrocella 6 di 123.500 mc di sabbia dallo Scannone di Volano alle spiagge di Lido delle Nazioni e di Volano, e con un apporto di sabbia dall'esterno di 289.500 mc. Di questi, 213.500 mc sono stati prelevati dalla spiaggia di Lido degli Estensi e trasportati con un sabbiodotto sulle spiagge tra Porto Garibaldi e Lido delle Nazioni.

Nel periodo 2006-2012, invece, il pareggio di bilancio è stato ottenuto quasi esclusivamente con la movimentazione interna di sabbia dalle zone in accumulo (Scannone di Volano e la bocca di Porto Garibaldi) a quelle in erosione (Lido degli Scacchi, Lido di Pomposa, Lido delle Nazioni, Volano Zona Pennelli e Lido di Volano). Dall'esterno sono stati apportati poco più di 48.000 mc di sabbia.

Anche la riduzione della subsidenza ha contribuito a mantenere stabile il bilancio sedimentario del paraggio nel periodo 2006-2012. Il tasso di abbassamento del suolo, che tra il 2000 e il 2006 era mediamente di 7-9 mm/anno, tra il 2006 e il 2012 è stato di soli 2-3 mm/anno, ad esclusione della spiaggia di Volano (Cella 109) e dello Scannone di Volano (Cella 110) dove non è cambiato ed è risultato rispettivamente di 5 e di 9 mm/anno. In termini di volumi di sabbia sottratti per subsidenza sull'intera macrocella 6, si è passati da oltre 200.000 mc del periodo 2000-2006, a poco meno di 100.000 mc del periodo 2006-2012.

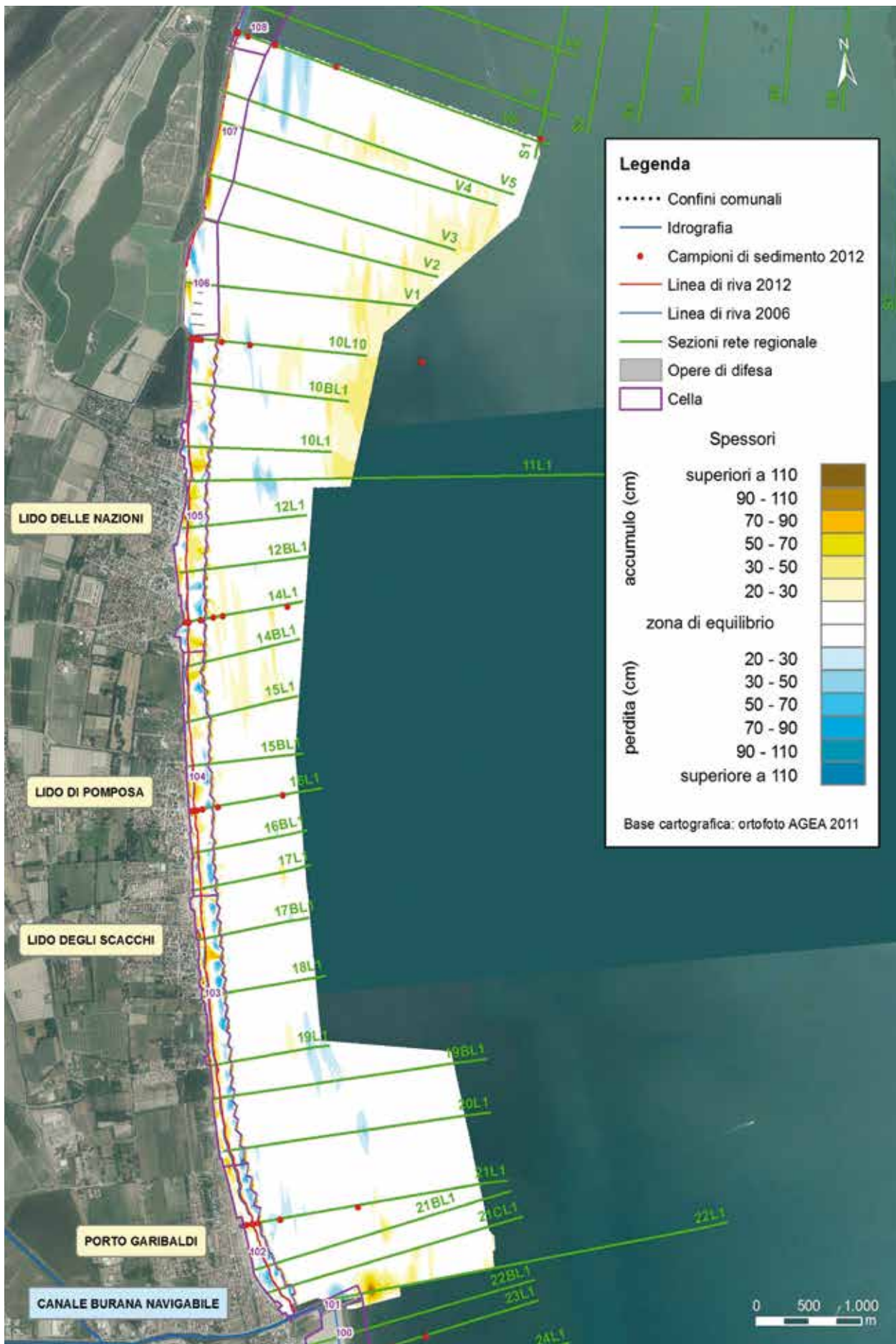


Figura I 18 - Porto Garibaldi - Volano: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012 e punti di campionamento 2012.

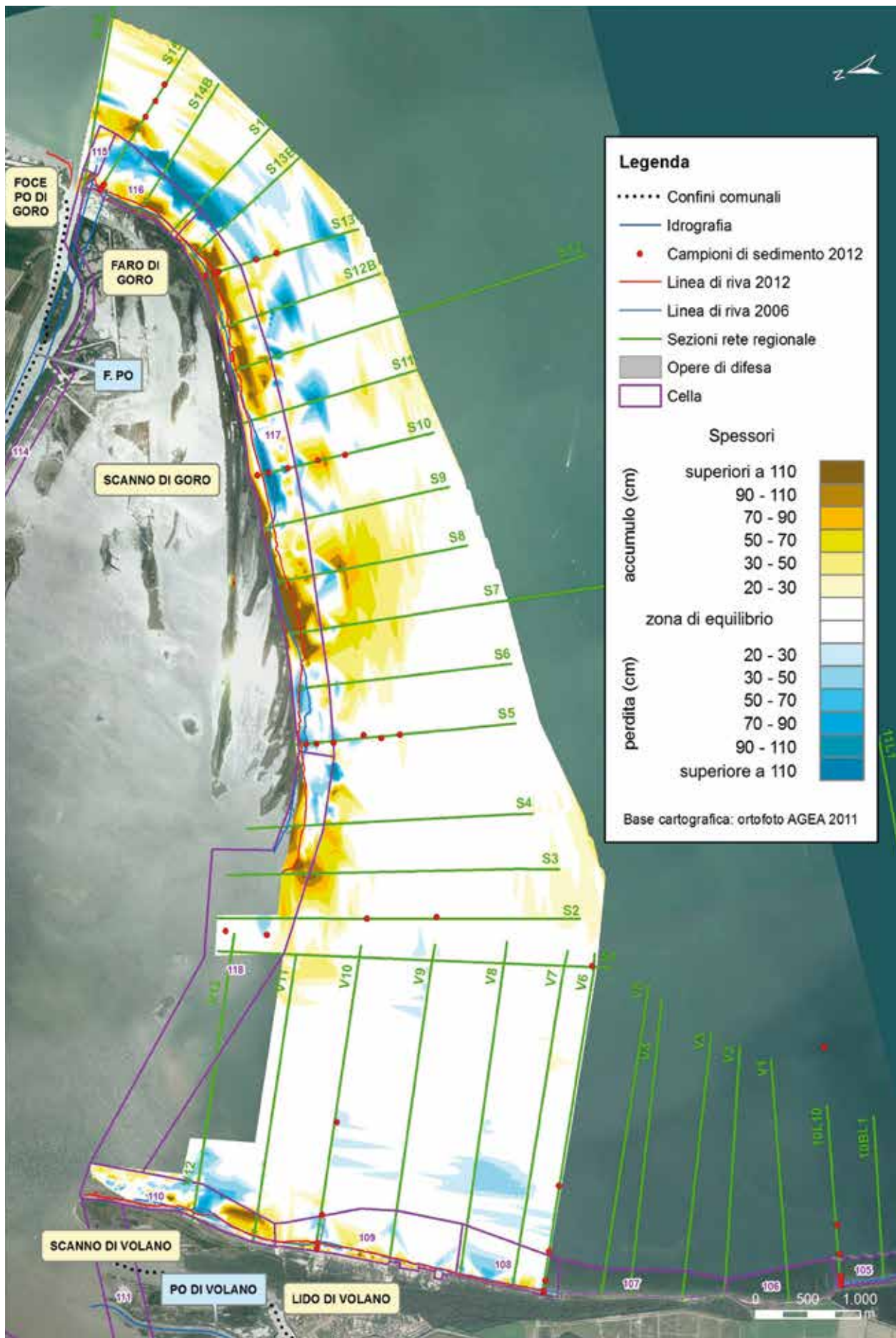


Figura 119 - Volano - Po di Goro: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2006-2012 e punti di campionamento 2012.

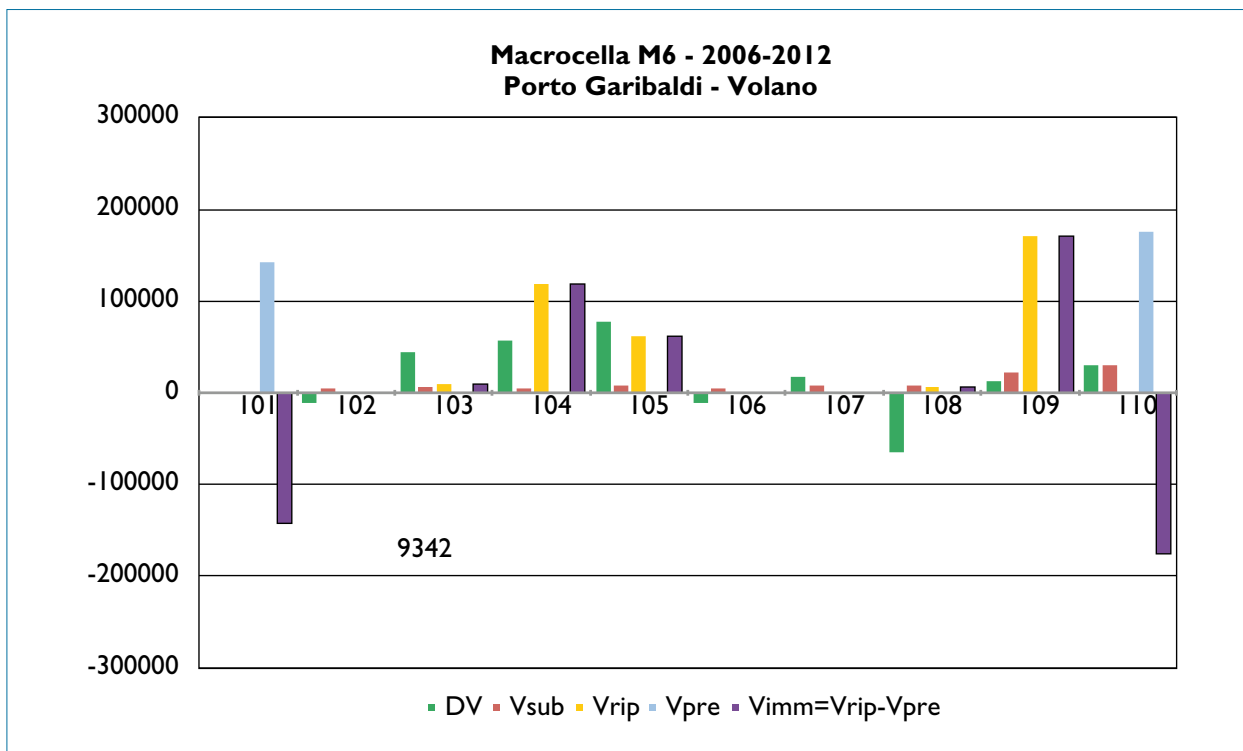


Figura 120 - Porto Garibaldi - Volano (M6). DV: Variazione di volume; Vsub: perdite per subsidenza; Vrip: ripascimenti; Vpre: prelievi; Vimm: volumi immessi. Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc).

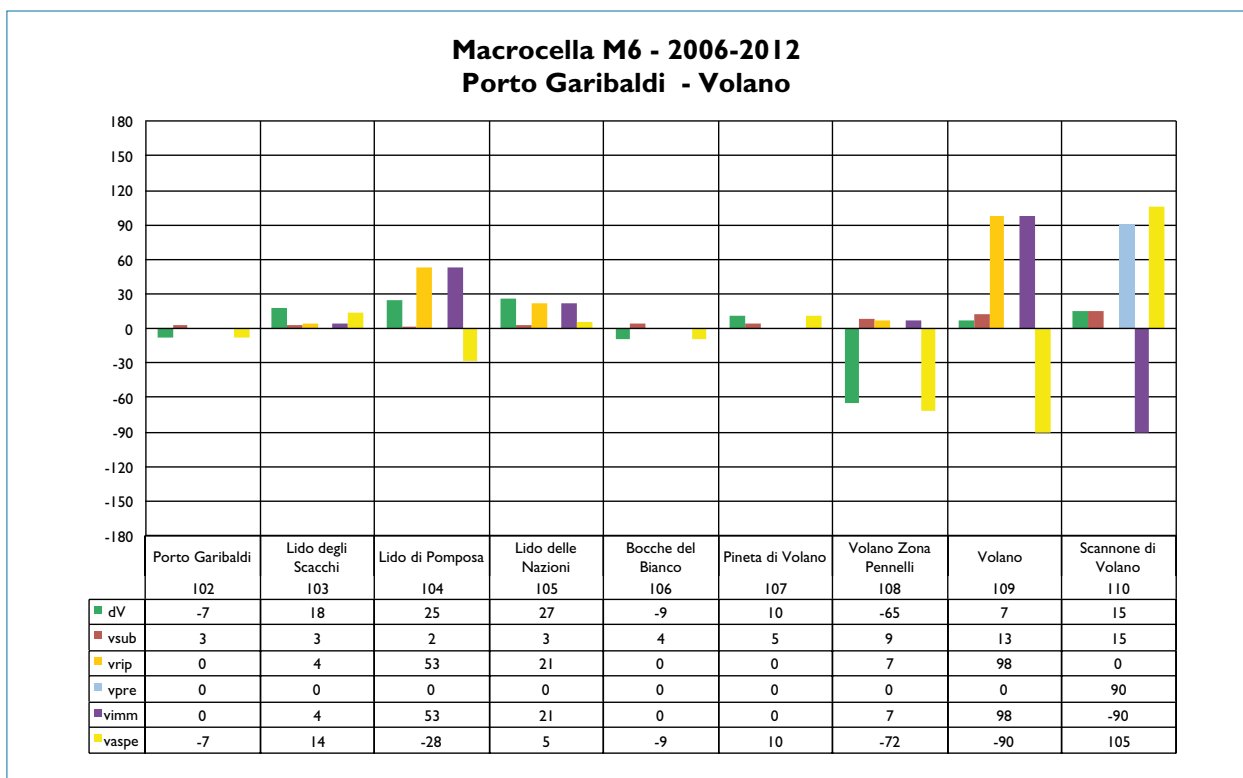


Figura 121 - Porto Garibaldi - Volano (M6). Legenda: dV: Variazione di volume; vsub: perdite per subsidenza; vrip: ripascimenti; vpre: prelievi; vimm: volumi immessi; vaspe: variazioni di volume complessive ottenute dV-vrip+vpre. Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc/m).

Sintesi

Nel paraggio da Porto Garibaldi allo Scannone di Volano (macrocella 6) è stato registrato un sostanziale pareggio di bilancio dei volumi di

sedimento sia nel periodo 2000-2006 che nel 2006-2012.

Nel 2000-2006, il pareggio di bilancio è stato ottenuto con una movimentazione interna di sab-

bia dalle zone in accumulo a quelle in erosione (123.500 mc), più un apporto di sabbia dall'esterno (289.500 mc).

Nel periodo 2006-2012, invece, il pareggio di bilancio è stato ottenuto quasi esclusivamente con la movimentazione interna di sabbia dalle zone in accumulo (Scannone di Volano e la bocca di Porto Garibaldi) a quelle in erosione (Lido degli Scacchi, Lido di Pomposa, Lido delle Nazioni, Volano Zona Pennelli e Lido di Volano). L'apporto di sedimenti dall'esterno è stato inferiore ai 50.000 mc.

Un contributo sedimentario alla stabilità di queste spiagge è stato dato anche dalla riduzione della subsidenza nel periodo 2006-2012

Le spiagge appartenenti al tratto costiero che va da Porto Garibaldi a Volano sono caratterizzate da una discreta variabilità sedimentologica.

I campioni raccolti a Porto Garibaldi sono prevalentemente formati da sabbia fine e il diametro medio si mantiene di queste dimensioni fino alla profondità di 6 m. La cernita peggiora con la profondità.

A Lido di Pomposa e Lido delle Nazioni la spiaggia emersa e quella sommersa fino alle scogliere sono costituite da sabbie leggermente più grossolane rispetto a quelle individuate a Porto Garibaldi, di contro invece i fondali esterni alle scogliere sono decisamente più fini e rappresentati dal silt o da sabbie molto fini (a nord di Lido delle Nazioni). Qui la selezione peggiora vero il largo. Infine, nell'ultimo tratto corrispondente a Volano, la spiaggia è composta da sabbie prevalentemente fini molto simili a quelle campionate entro le scogliere di Lido delle Nazioni e Lido di Pomposa, con la differenza che qui esse si estendono fino a -4 m, nel tratto protetto dai pennelli, e fino a -2,5 m, nel tratto più a nord privo di opere. I campioni prelevati tra i -5 e -6 m- di fronte alla bocca della laguna sono pressoché completamente pelitici. I campioni sabbiosi sono moderatamente ben selezionati, quelli pelitici sono poco cerniti.

4.7 Macrocella 7: Foce Po di Volano – Foce Po di Goro

Inquadramento

Il sistema lagunare della Sacca di Goro costituisce la parte settentrionale del litorale emiliano-romagnolo, e corrisponde alla macrocella 7. Essa

ha uno sviluppo complessivo di 28.655 m, ed è composta da un tratto interno alla Sacca di Goro (Celle 111-114) e da un tratto fronte mare (Celle 115-118, Figura 113, Figura 119). Lungo il perimetro interno della Sacca è presente un argine in terra con rivestimento in roccia sul lato lagunare, posto a difesa del territorio retrostante e degli insediamenti di Goro e Gorino. All'interno della laguna sono presenti il porto di Goro e quello di Gorino ai quali si accede tramite una serie di canali sub-lagunari.

Il presente studio tratta solo la porzione di litorale fronte mare, che comprende lo Scanno di Goro e la bocca della laguna (celle 115-118), mentre la Sacca di Goro è stata esclusa dalle analisi.

L'evoluzione di questo paraggio è strettamente legata alla dinamica dello Scanno di Goro. Questo è una barra sabbiosa (freccia litorale), che si estende dalla bocca del Po di Goro verso Lido di Volano, formatasi a causa del trasporto lungo costa, in direzione est-ovest, della sabbia apportata dal Po di Goro e, in misura minore, del trasporto solido litoraneo lungo il litorale ferrarese, diretto da sud verso nord.

La formazione dello Scanno risale all'Ottocento, ma è dagli anni '40 che ha iniziato ad assumere la forma attuale. Negli anni '50 esso era costituito dallo Scanno del Goro (una freccia litorale che partiva dal Faro di Goro) e dallo Scanno Piallazza (un'isola di sabbia un km ad ovest dal primo). Successivamente i due scanni si sono congiunti e l'accrescimento della freccia litorale è continuato fino ai primi anni '90, quando ha raggiunto la lunghezza di 8 km arrivando a circa 1,5 km da Lido di Volano. L'avanzamento dello Scanno minacciava la chiusura dello scambio idrico tra mare e laguna (Sacca di Goro), con conseguenti problemi di eutrofizzazione e anossia. Nel 1991, per agevolare l'ingresso dell'acqua marina nella laguna fu costruita una stazione idrovora nella zona centrale dello scanno. Nel 1992, poco ad ovest dell'idrovora, fu aperto abusivamente un varco, il quale rapidamente si estese di diverse centinaia di metri, dividendo di nuovo lo Scanno in una freccia litorale e in un'isola (www.parcodeltapo.it).

La sponda in destra idraulica della foce del Po di Goro è difesa con un'armatura in roccia e una serie di deflettori in pali di legno (Cella 115). Nel 2012, la parte emersa dello Scanno di Goro si estendeva dalla Foce del Po di Goro verso Lido di Volano per oltre 7 km.

Stato del litorale al 2012

Il primo chilometro a est della foce del Po di Goro (Cella I16) ha una spiaggia ampia mediamente 70-80 m. A ridosso della sponda destra del Po di Goro si trova il Faro di Goro. Nel 2003, per garantire la presenza davanti al faro di una spiaggia sufficientemente ampia capace di smorzare il moto ondoso, è stato costruito un pennello in roccia lungo circa 80 m, a 170 m dalla sponda destra del Po di Goro (Figura I13).

I sedimenti campionati nei pressi del faro lungo la sezione S15, sono formati da prevalente sabbia fine (70-90%), mentre quelli al largo (profondità >2,5 m) sono interamente pelitici con circa il 15% di argilla. Una discreta percentuale di pelite (20%) era già stata rilevata nel campione a 2 m di profondità (Figura I22).

Il diametro medio è dell'ordine della sabbia fine per i due campioni prossimi a riva, mentre quello a 2 m di profondità citato prima ricade nel campo della sabbia molto fine. I sedimenti al largo sono rappresentati da un granulo medio delle dimensioni del silt (Figura I23, Figura I29).

I depositi entro 1 m di profondità risultano ben cerniti, mentre quelli dai -2 m verso il largo sono poco cerniti (Figura I24).

I campioni entro i 2 m di profondità presentano asimmetria positiva, mentre quelli più profondi asimmetria negativa (Figura I25).

I restanti 6 km dello Scanno (Cella I17 e parte della cella I18) sono caratterizzati da una spiaggia emersa con un'ampiezza molto variabile, infatti si alternano tratti con 20-30 m di spiaggia, ad altri con 150-200 m di spiaggia.

Lungo la sezione S13 i sedimenti sono tutti sabbiosi. Prevalgono le sabbie medie nella spiaggia emersa nel primo metro di profondità (60-80%). In un campione più al largo, sempre collocato a 1 m di profondità risultano prevalenti le sabbie fini (80%), mentre tra -2,5 e -4 m le sono più abbondanti le sabbie molto fini, alle quali sono comunque associate discrete quantità (30% ca.) di sabbie fini. Questi ultimi due campioni contengono circa il 10% di pelite (Figura I22).

Il diametro medio varia verso il largo dalla sabbia media, alla sabbia fine, a quella molto fine (Figura I23, Figura I29).

Con la profondità inoltre peggiora la cernita, si passa da sedimenti moderatamente ben selezionati a sedimenti poco selezionati (Figura I24). In

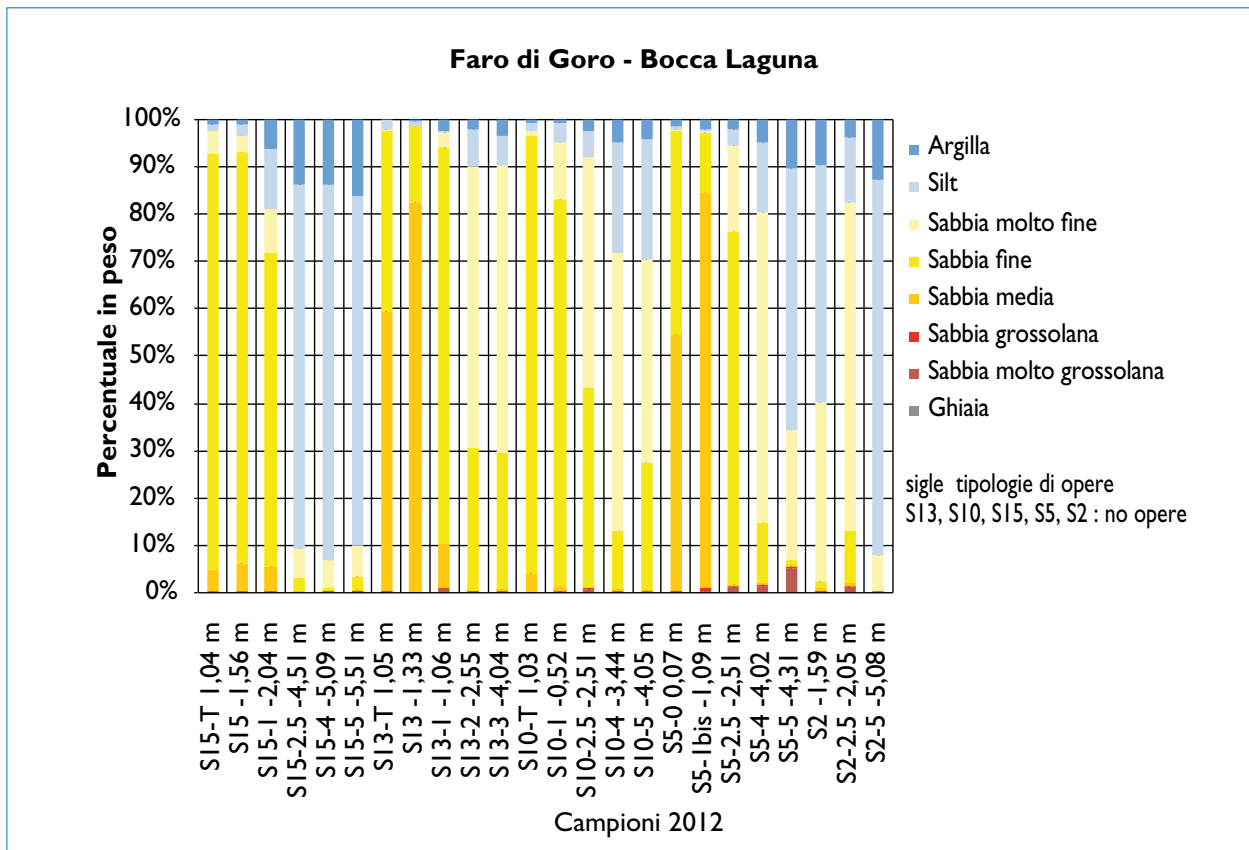


Figura I22 - Istogrammi con analisi granulometriche effettuate su campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra il Faro di Goro e la bocca della laguna.

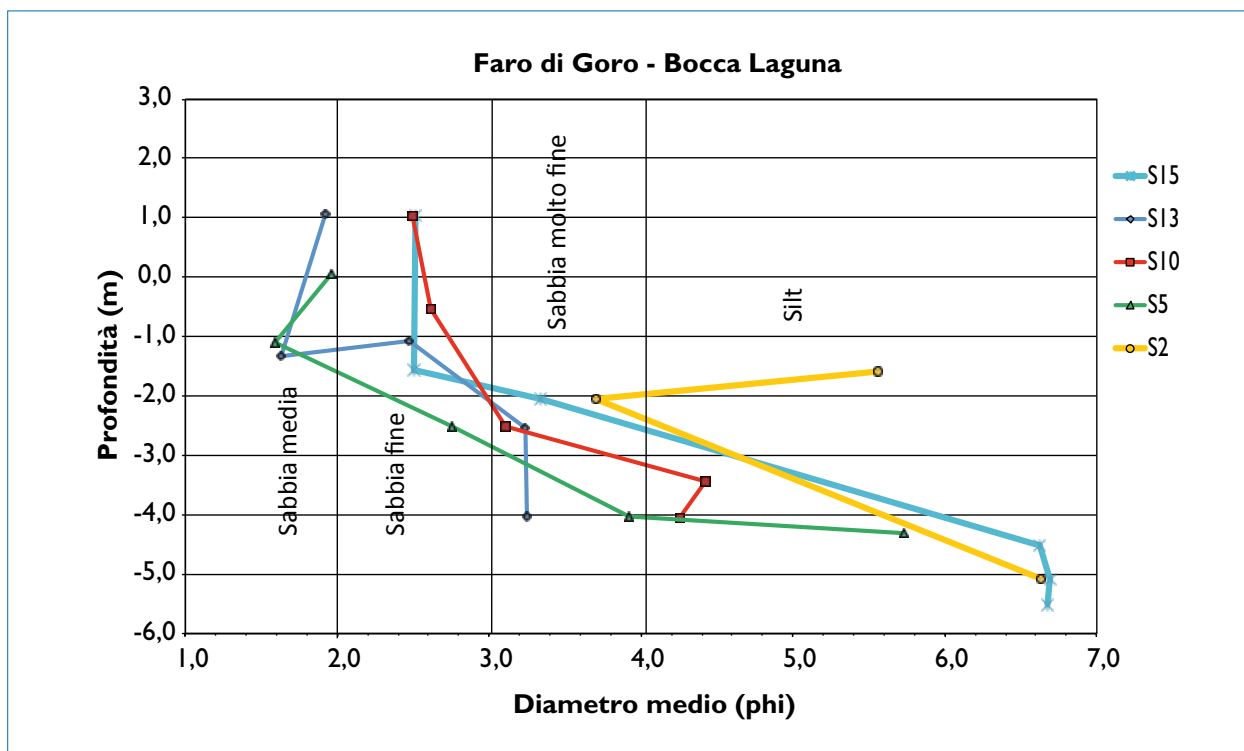


Figura 123 - Diametro medio dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra il Faro di Goro e la bocca della laguna.

generale prevale l'asimmetria positiva (Figura 125). Lungo la sezione collocata circa al centro dello Scanno, la S10, la granulometria è inferiore rispetto a quella rilevata lungo la sezione S13. In prossimità della riva le sabbie prevalenti sono quelle

fini (80-90%), mentre sotto ai 2,5 m di profondità diventano via via prevalenti le sabbie molto fini, e nei due campioni più al largo la componente pelitica raggiunge il 30% (Figura 122).

Il diametro medio varia con l'aumentare della pro-

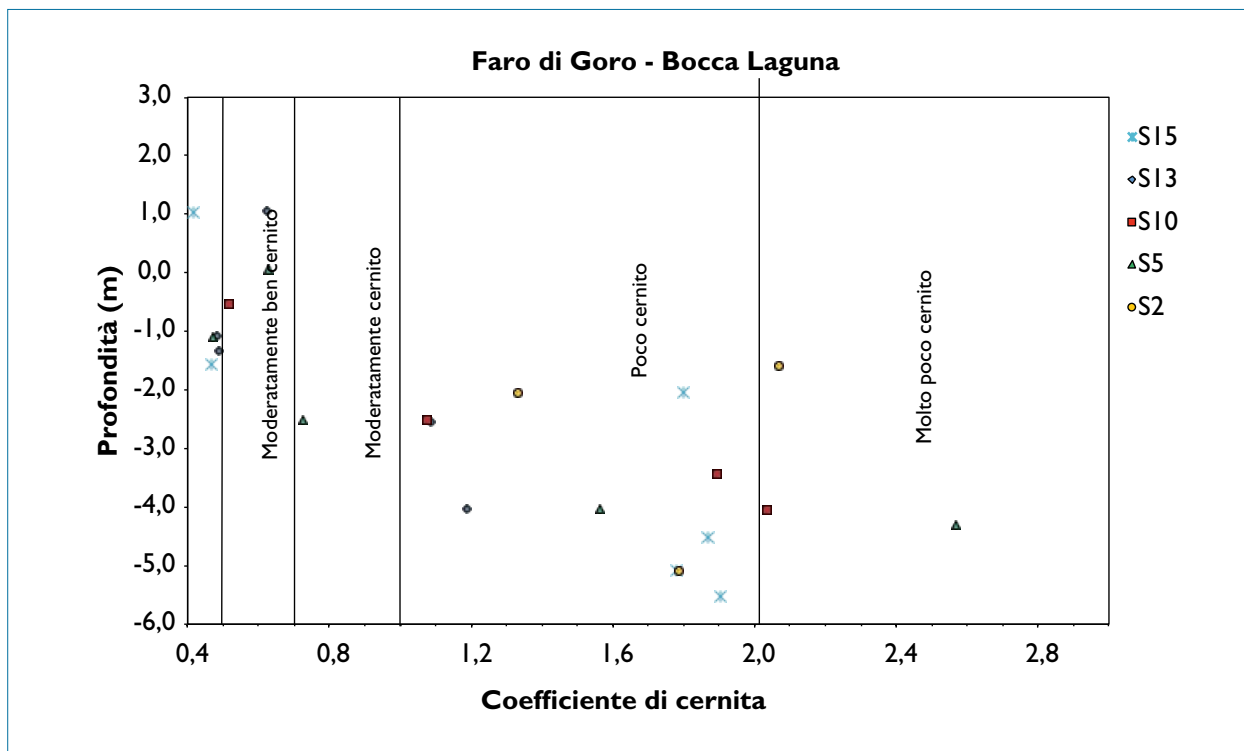


Figura 124 - Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra il Faro di Goro e la bocca della laguna.

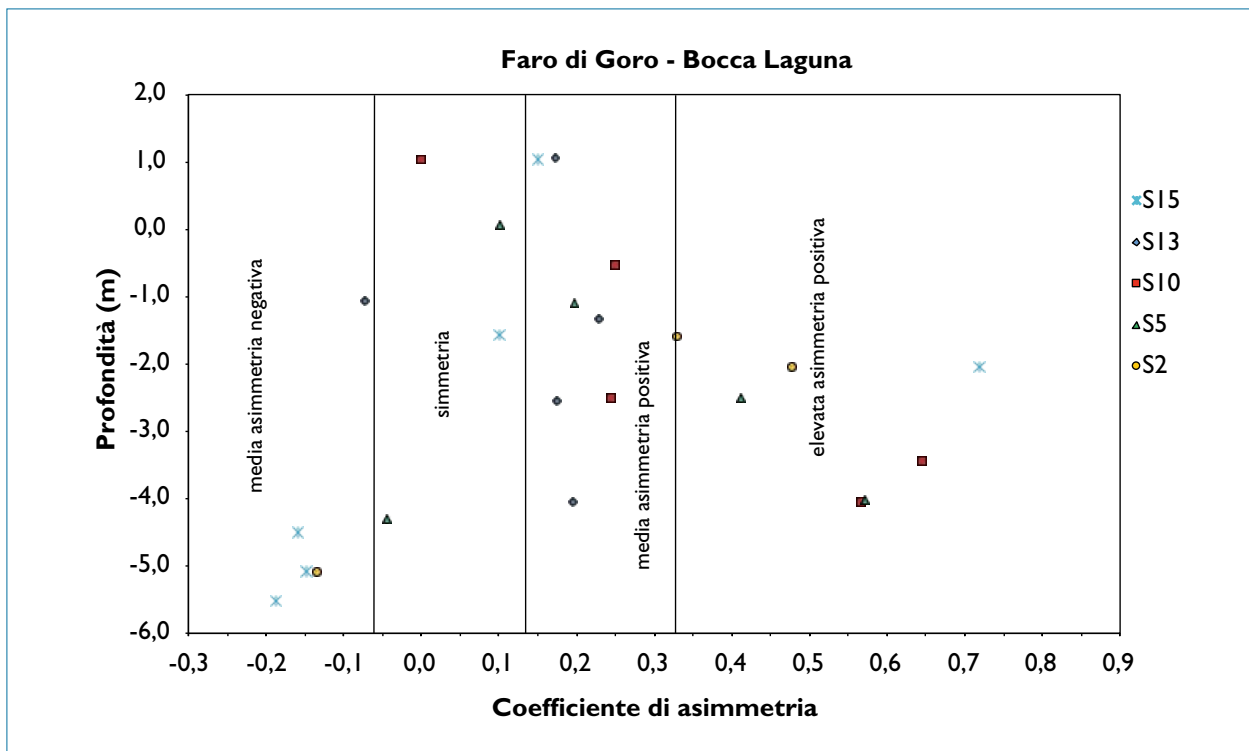


Figura 125 - Coefficiente di asimmetria dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il tratto di litorale compreso tra Porto Garibaldi e Volano.

fondità passando dalle dimensioni della sabbia fine, alla sabbia molto fine, al silt (Figura 123, Figura 129). La cernita peggiora verso il largo, dove un campione arriva ad essere molto poco cernito (Figura 124). Infine, l'asimmetria è prevalentemente positiva (Figura 125).

I campioni prelevati nel tratto terminale dello Scanno sul profilo S5 somigliano sotto tutti gli aspetti a quelli campionati lungo la sezione S13. L'unica differenza è data dalla presenza di sabbia grossolana in tracce (<5%), soprattutto nel campione profondo (-5 m).

Tra la fine dello Scanno e il Lido di Volano (restante parte della cella I18), per una lunghezza di circa 3,5 km, si estende la bocca della laguna con fondali poco profondi (2-3 m). In corrispondenza di questa apertura verso la laguna sono stati analizzati 3 campioni S2, S2-2.5 e S2-5, prelevati rispettivamente a 1, 1,5 e 5 m di profondità. Il primo campione, quello verso la laguna, e quello più profondo verso mare sono costituiti da prevalenti peliti (60-90%) e hanno il diametro medio delle dimensioni del silt (Figura 122 e Figura 123, Figura 129). Il campione a 1,5 m collocato a ovest del tratto terminale dello Scanno è formato da prevalente sabbia molto fine (70%), da quasi un 20% di pelite e da 10% di sabbia fine.

I campioni sono da poco a molto poco cerniti (Figura 124). L'asimmetria è positiva nei due campioni prossimi allo scanno e negativa in quello più profondo (Figura 125).

Davanti allo Scanno di Goro, la batimetrica dei 3,5 m è posizionata ad una distanza di 100-200 m dalla battigia, mentre la batimetrica dei 6 m è distante solamente 300 m dalla battigia in corrispondenza della foce del Po di Goro, poi si allontana verso il largo fino ad una distanza di 600 m in corrispondenza dell'estremità ovest dello Scanno.

Evoluzione 2006-2012

Tra il 2006 e il 2012, nel paraggio costiero tra il Faro di Goro e lo Scannone di Volano (Celle I16-I18) è stato rilevato un accumulo di sedimento di circa 764.000 mc (DV). Sommando a questi il volume di sedimento sottratto per effetto della subsidenza (254.000 mc, V_{sub}) e i quantitativi di sabbia prelevati e depositati nelle concessione di molluschicoltura all'interno della Sacca di Goro (1,245 milioni di mc, V_{pre}), risulta che l'arrivo di materiale in questa macrocella è pari a circa 2,263 milioni di mc (Tabella 19 e Figura 119).

Nel dettaglio, nel tratto presso il Faro di Goro (cella I16), nel periodo 2006-2012, sono stati os-

servati: un accumulo di materiale sabbioso sulla spiaggia emersa e sui fondali fino alla profondità di 1-1,5 m, e una perdita sui fondali più profondi (Figura 119). La cella risulta complessivamente in equilibrio con una variazione volumetrica di circa 6 mc/m in 6 anni. La linea di riva è avanzata mediamente di 20-30 m.

Il tratto centrale dello Scanno (cella 117), lungo 5 km, è caratterizzato da zone in accumulo alternate ad altre in perdita, complessivamente però il bilancio è decisamente positivo (DV=710.000 mc), con tassi di accumulo di oltre 143 mc/m in 6 anni. La linea di riva è in alcuni tratti in forte avanzamento, e in altri in forte arretramento. È stato calcolato un avanzamento medio di circa 11 m in 6 anni.

Infine, in corrispondenza della Cella 118 (Bocca Laguna), nel periodo in esame è stato rilevato un accumulo di circa 45.000 mc di materiale sabbioso, nonostante siano stati prelevati dall'estremità occidentale dello scanno di Goro (compresa nella Cella 118) 1,245 milioni di mc di sabbia, portati nella Sacca.

Confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012

Nel periodo 2006-2012, in corrispondenza della bocca della laguna e lungo lo Scanno di Goro sono arrivati circa 2,263 milione di mc di sabbia. Di questi, 764.000 mc si sono accumulati lungo il paraggio, 254.000 mc hanno compensato la perdite per subsidenza e 1,245 milioni di mc (Vpre) sono

stati prelevati e depositati nella Sacca. La spiaggia vicina al Faro di Goro (Cella 116) risulta stabile e il resto dello scanno è in forte accumulo (Celle 117 e 118). Nel periodo precedente (2000-2006) era stato stimato un arrivo di sedimento di circa 1,19 milioni di mc. Di questi 60.000 mc (DV) risultavano essersi accumulati lungo il paraggio, 260.000 mc avevano compensato le perdite per subsidenza e 871.000 mc erano stati prelevati e portati fuori dalla macrocella 7. La maggior parte di questi prelievi (850.000 mc) erano stati effettuati nel 2000, sulla punta occidentale dello Scanno di Goro (Bocca di Laguna – Cella 118) e portati a ripascimento della Sacca di Goro per favorire la crescita dei mitili.

Davanti alla foce del Po di Goro (cella 115) sono stati prelevati 120.000 mc (non contabilizzati in Tabella 19), dei quali 99.000 mc sono stati utilizzati per il ripascimento della spiaggia vicina al faro di Goro (cella 116) che era in erosione e 21.000 sono stati portati al di fuori della macrocella.

L'entità degli accumuli e l'adeguata granulometria delle sabbie (diametro medio 0,35-0,125 mm), rendono il tratto occidentale dello Scanno particolarmente adatto come fonte litoranea di sabbia da impiegare per il ripascimento dei tratti critici del litorale emiliano-romagnolo.

Sintesi

In corrispondenza della bocca della laguna e lungo lo Scanno di Goro (macrocella 7), nei periodi 2000-2006 e 2006-2012, è stato stimato un arrivo di sedi-

Tabella 19 - Foce Po di Volano – Foce Po di Goro (M7):Variazioni di volume positive o negative, per subsidenza, ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2006-2012 (misure in m le lunghezze, mc i volumi).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	Vimm	Vaspe
111	Foce Po di Volano	1880	-	-	0	0	0	0
112	Po di Volano Area Naturale	750	-	-	0	0	0	0
113	Territorio del Comune di Goro	10000	-	-	0	0	0	0
114	Po di Goro	5260	-	-	0	0	0	0
115	Foce Po di Goro	140	-	-	0	0	0	0
116	Faro di Goro	1000	5597	23711	0	0	0	5597
117	Scanno di Goro Centro	5000	713874	102072	0	0	0	713874
118	Bocca Laguna	4625	44328	128326	0	1245000	-1245000	1289328
	Totale	28655	763799	254109	0	1245000	-1245000	2008799

DV variazione di volume tra il 2006-2012

Vsub volume sottratto per subsidenza

Vrip volume portato a ripascimento

Vpre volume prelevato

Vimm=Vrip-Vpre volume immesso al netto dei prelievi

Vaspe=DV-Vrip+Vpre variazione di volume effettiva

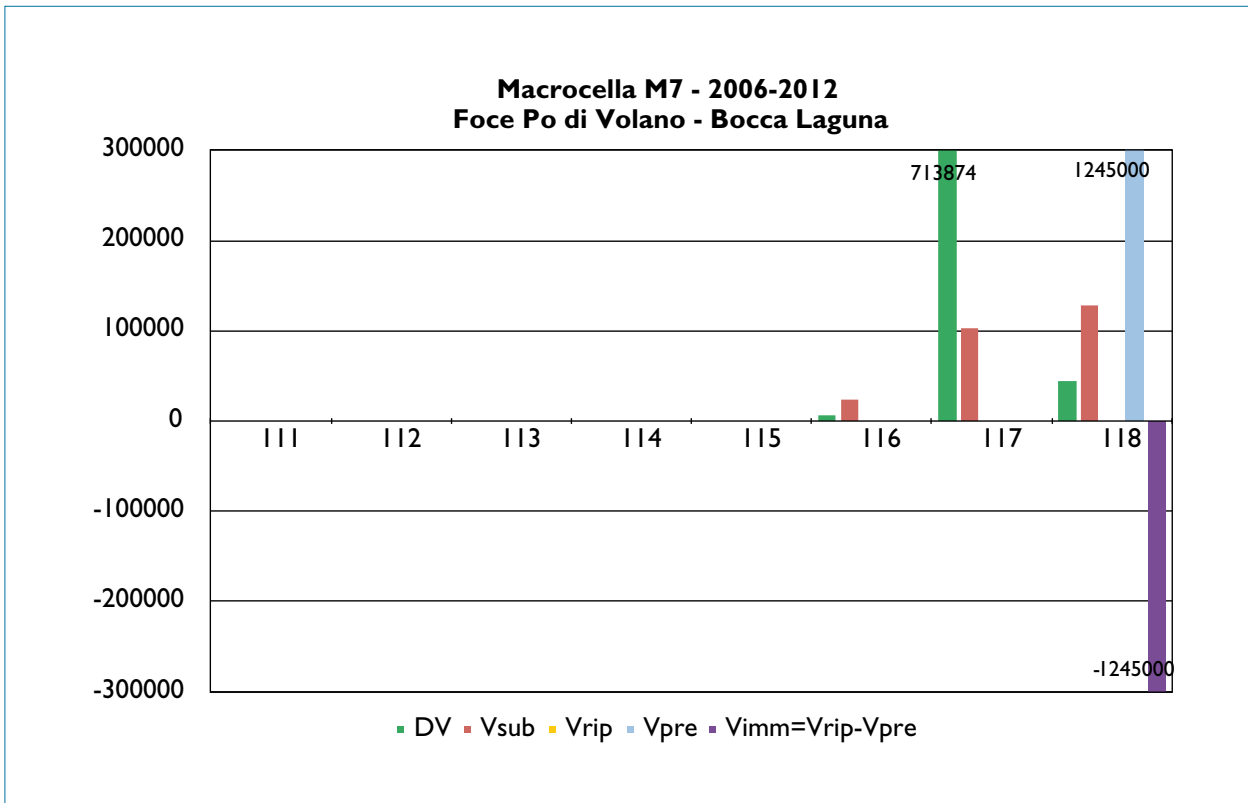


Figura 126 - Foce Po di Volano – Foce Po di Goro (M7). DV:Variazione di volume;Vsub: perdite per subsidenza;Vrip: ripascimenti; Vpre: prelievi ;Vimm: volumi immessi.Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc).

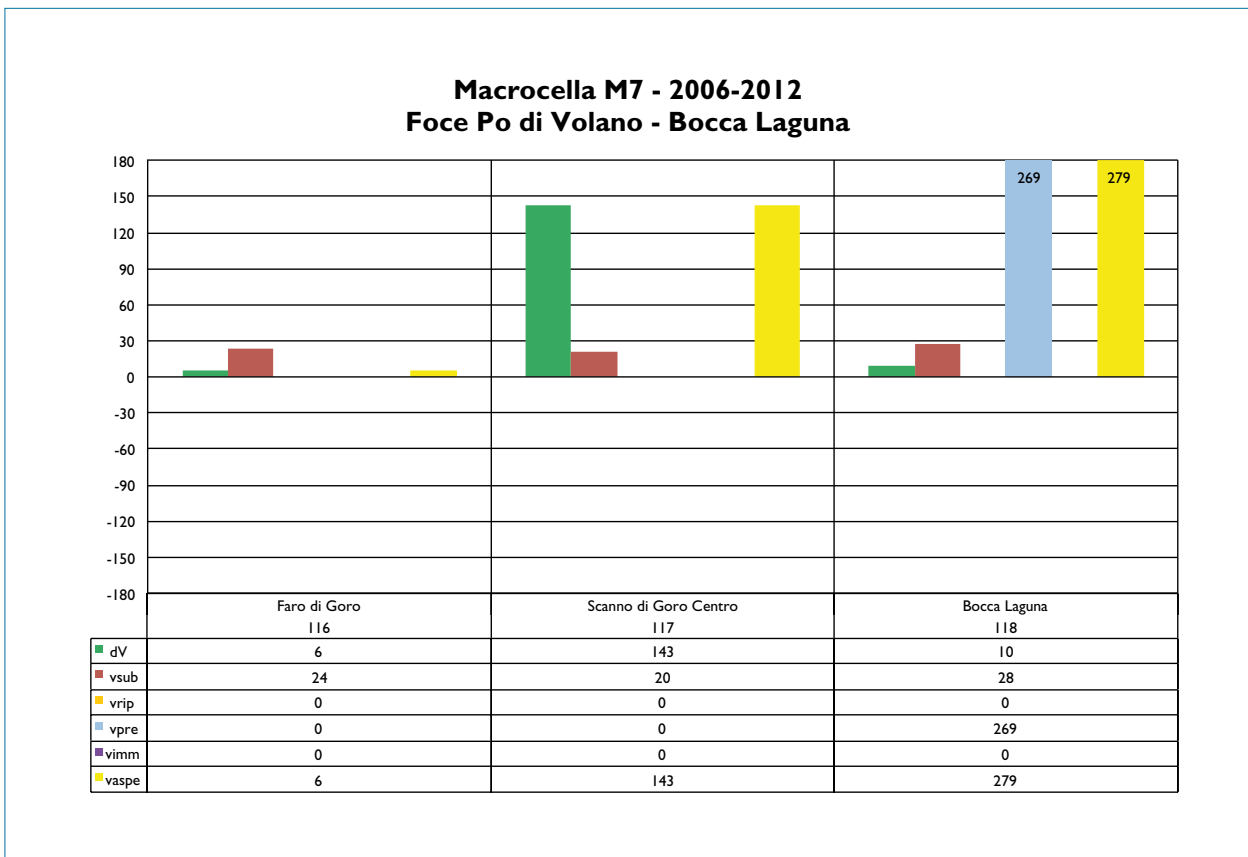


Figura 127 - Foce Po di Volano – Foce Po di Goro (M7). dV: Variazione di volume;vsub: perdite per subsidenza;vrip: ripascimenti; vpre: prelievi ;vimm: volumi immessi; vaspe: variazioni di volume complessive ottenute dV-vrip+vpre.Tutti i valori sono relativi al periodo 2006-2012 per ogni singola cella (valori in mc/m).

mento rispettivamente pari a circa 1,2 e 2,2 milioni di mc. Questo in parte si è accumulato lungo il litorale, in parte ha compensato la perdita di volume della spiaggia per effetto della subsidenza e in parte è stato portato o nella Sacca di Goro o a ripascimento di spiagge in erosione. L'entità degli accumuli e l'adeguata granulometria delle sabbie (diametro medio 0,35-0,125 mm), rendono il tratto occidentale dello Scanno particolarmente adatto come fonte litoranea di sabbia da impiegare per il ripascimento dei tratti critici del litorale emiliano-romagnolo.

I sedimenti campionati sullo Scanno di Goro sono prevalentemente sabbiosi entro i 4 m di profondità e prevalentemente pelitici oltre tale batimetria.

Il diametro medio diminuisce con l'aumentare della profondità, passando dalle dimensioni della sabbia media, alla sabbia fine, sabbia molto fine e silt. Il grado di selezione peggiora verso il largo. I sedimenti prelevati in corrispondenza della bocca di laguna sono invece prevalentemente pelitici e poco selezionati.

5.

Risultati dell'analisi sedimentologica

5.1 Sedimentologia del litorale emiliano-romagnolo al 2012

5.1.1 Diametro medio 2012

I sedimenti campionati lungo il litorale emiliano-romagnolo sono costituiti prevalentemente da sabbia. Il diametro medio varia da un massimo di 0,940 mm (0,091 phi), in corrispondenza della scogliera radente di Porto Verde, e un minimo di 0,006 mm

(6,856 phi) a Lido di Classe a 7 m di profondità (Figura 128, Figura 129 A-D).

In generale, il diametro medio prevalente delle sabbie ricade nel campo della sabbia fine (2-3 phi; 56%), e subordinatamente in quello della sabbia molto fine (3-4 phi; 21%). Il 12% dei campioni è rappresentato dal granulo medio dell'ordine della sabbia media (1-2 phi) e il 10% ha le dimensioni del silt (>4 phi; Figura 128).

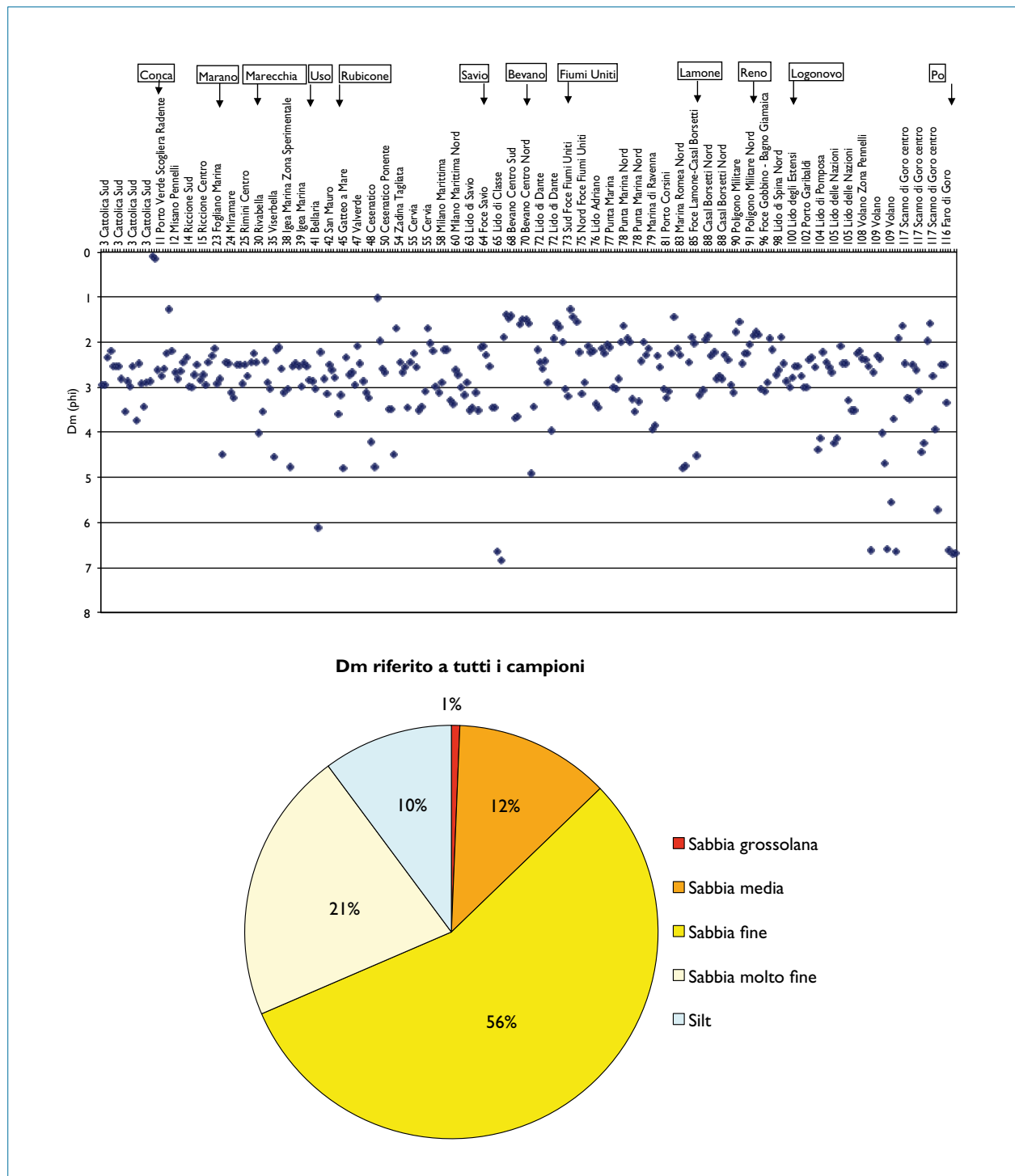


Figura 128 - In alto, diametro medio dei campioni di sedimento prelevati nel 2012 lungo il litorale emiliano-romagnolo. In basso, distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni.

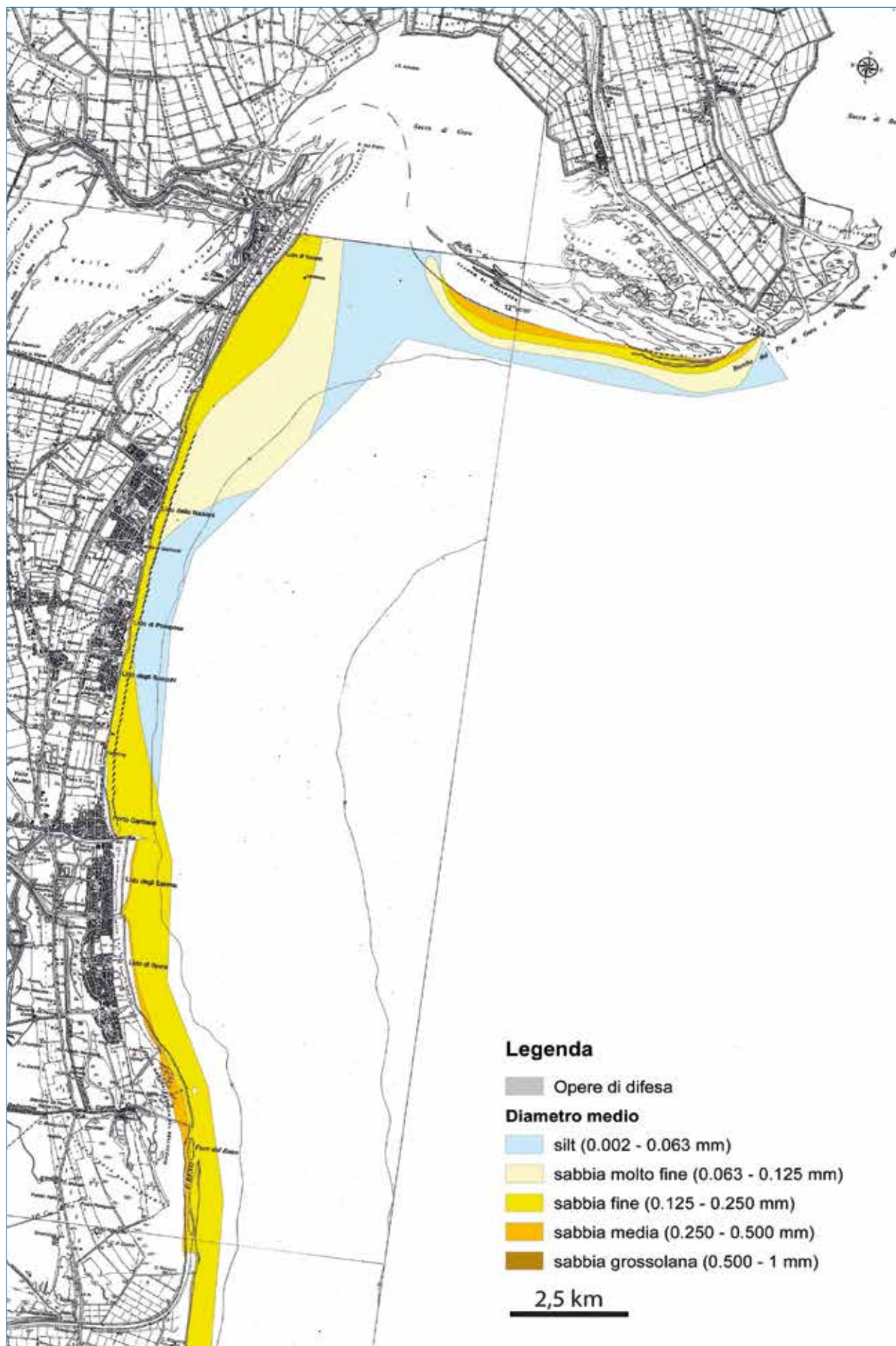


Figura 129 A - Mappa del diametro medio Arpa 2012.

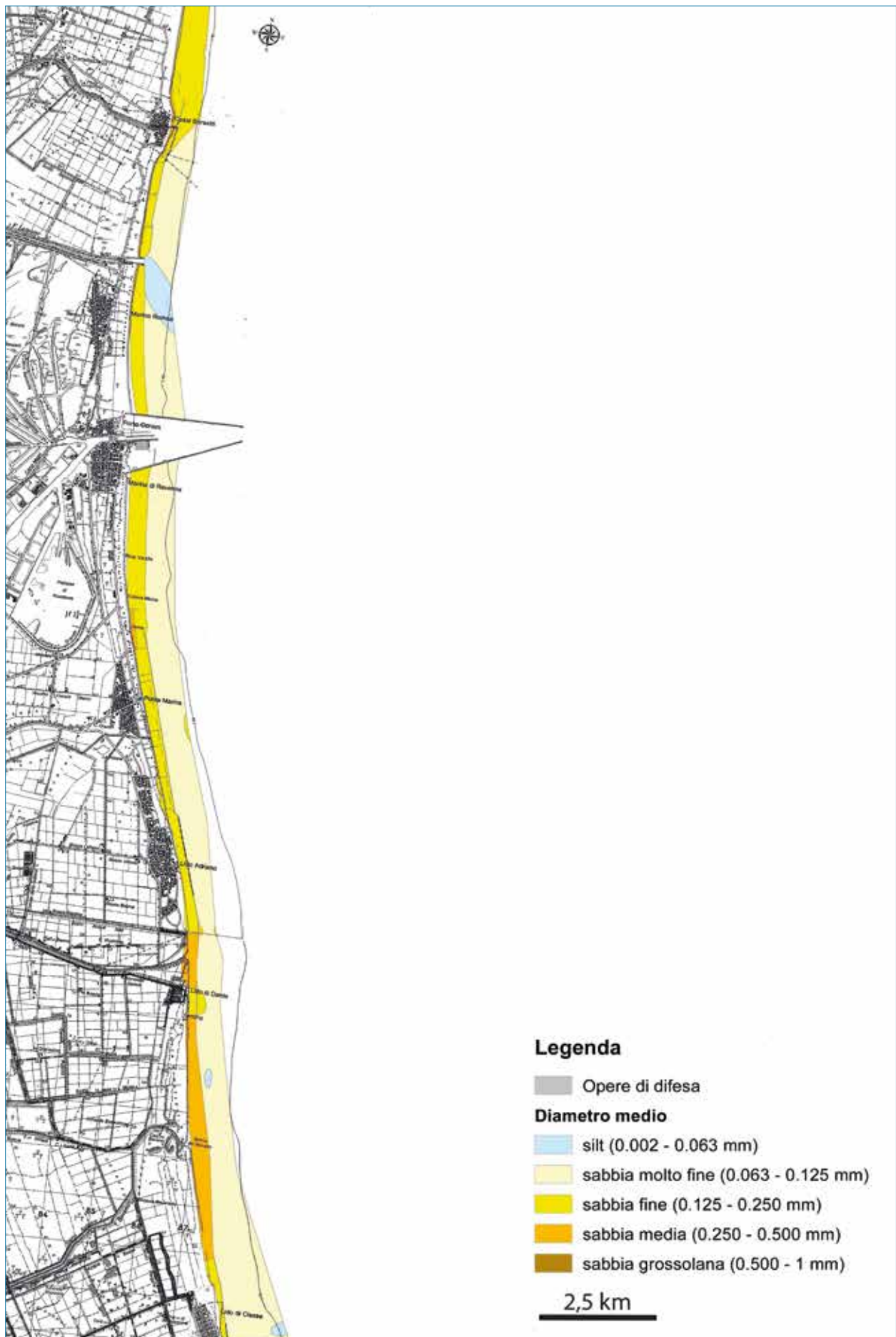


Figura I29 B - Mappa del diametro medio Arpa 2012.

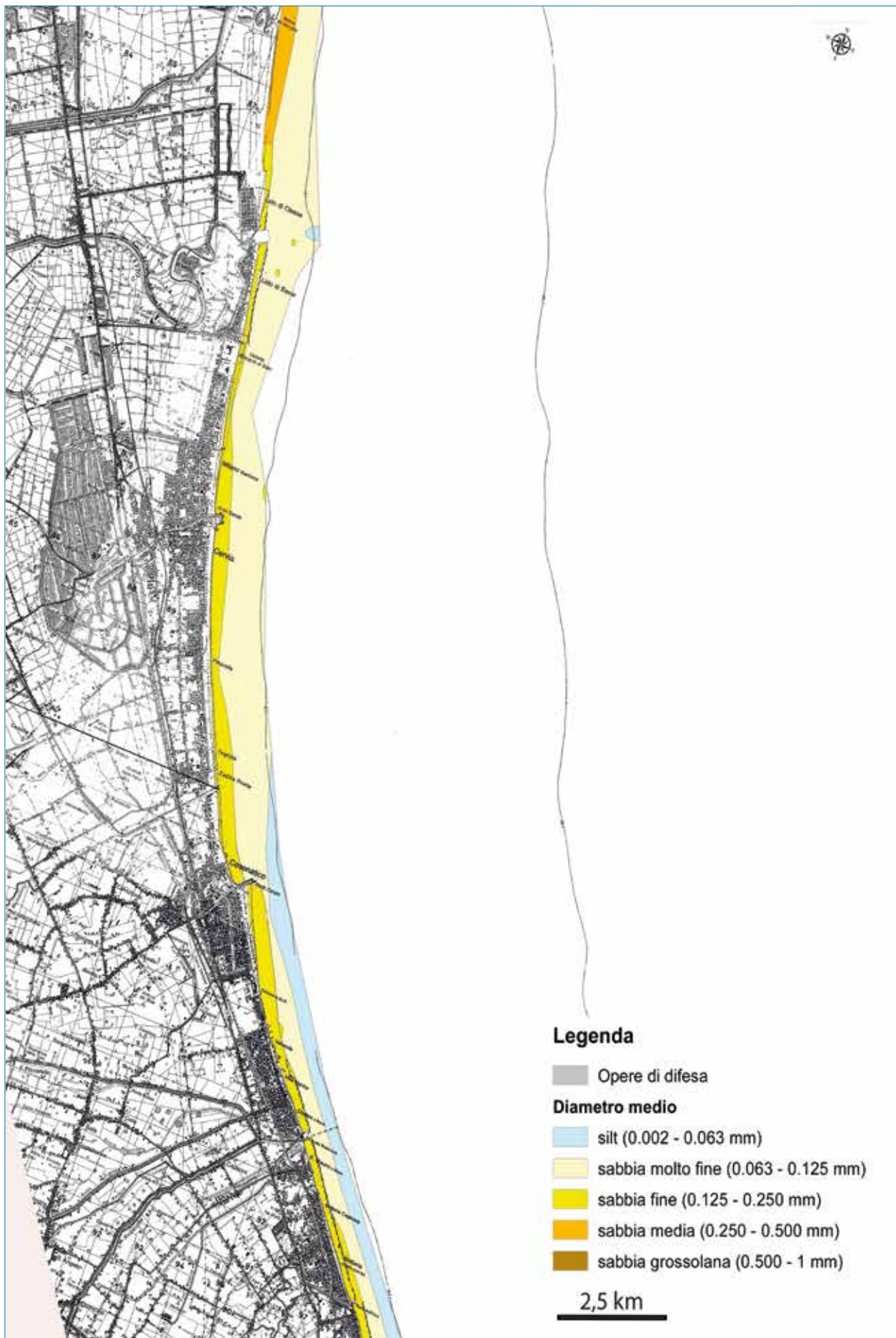


Figura 129 C - Mappa del diametro medio Arpa 2012.



Figura I 29 D - Mappa del diametro medio Arpa 2012.

La maggior parte delle spiagge emerse e dei primi fondali emiliano-romagnoli sono rappresentati da sabbie fini.

Nel tratto tra Rimini e Cattolica e tra Casal Borsetti e Porto Garibaldi, sedimenti con granulo medio di queste dimensioni si rinvennero fino a 6-7 m di profondità (Figura 129). Si tratta di campioni formati per la parte più rilevante da sabbia fine alla quale è associata sabbia media alle minori profondità, e sabbia molto fine alle profondità maggiori. Sono stati rilevati anche sedimenti con diametro medio delle dimensioni delle sabbie medie, distribuiti in modo discontinuo lungo il tratto di costa che va dalle spiagge del Bevano fino a Lido degli Estensi (macrocelle 4 e 5, Figura 129). Essi costituiscono prevalentemente la spiaggia emersa e in parte la spiaggia sommersa estendendosi in alcuni casi solo fino alla batimetrica di 1 m, e in altri fino a 3-4 m di profondità, come ad esempio in prossimità della foce del Gobbino (a nord di foce Reno) o davanti allo sbocco dei Fiumi Uniti. Si tratta di campioni formati da prevalenti sabbie medie associate a sabbie grossolane, sulla spiaggia emersa e battigia, e a sabbia fine nei primi fondali.

Le sabbie molto fini caratterizzano la maggior parte della spiaggia sommersa regionale. Sedimenti aventi tale diametro medio si distribuiscono lungo la fascia

di fondale compreso tra i 3 e i 5 m, tra Rimini e Cesenatico e davanti allo Scanno di Goro, e infine si estendono fino a - 6 e - 7 m a Miramare, da Cervia fino a Casalborsetti e davanti a Volano (Figura 129). Infine, depositi siltosi si individuano oltre i 4-5 m di profondità nel tratto tra Rimini e Cesenatico, tra Lido degli Scacchi e Lido delle Nazioni, in corrispondenza della bocca della laguna e di fronte allo Scanno di Goro (Figura 129).

Nella maggior parte dei casi il diametro medio è controllato dalla profondità e all'aumentare di questa esso tende a diminuire, ma ciò non avviene sistematicamente, soprattutto in prossimità di sbocchi fluviali.

Un'analisi della distribuzione del granulo medio rispetto alla profondità è stata fatta a livello regionale distinguendo i dati in tre differenti fasce di profondità:

- 1) Una fascia, comprensiva della spiaggia emersa e dei fondali fino alla -1 m, costituita da sabbie fini (74%) e da sabbie medie (23%). Queste ultime caratterizzano le spiagge tra Cesenatico e Cervia, quelle prossime al Bevano, quelle vicino ai Fiumi Uniti, Punta Marina nord, il tratto tra Marina Romea e Lido degli Estensi e infine lo Scanno di Goro (Figura 129, Figura 130, Figura 131).

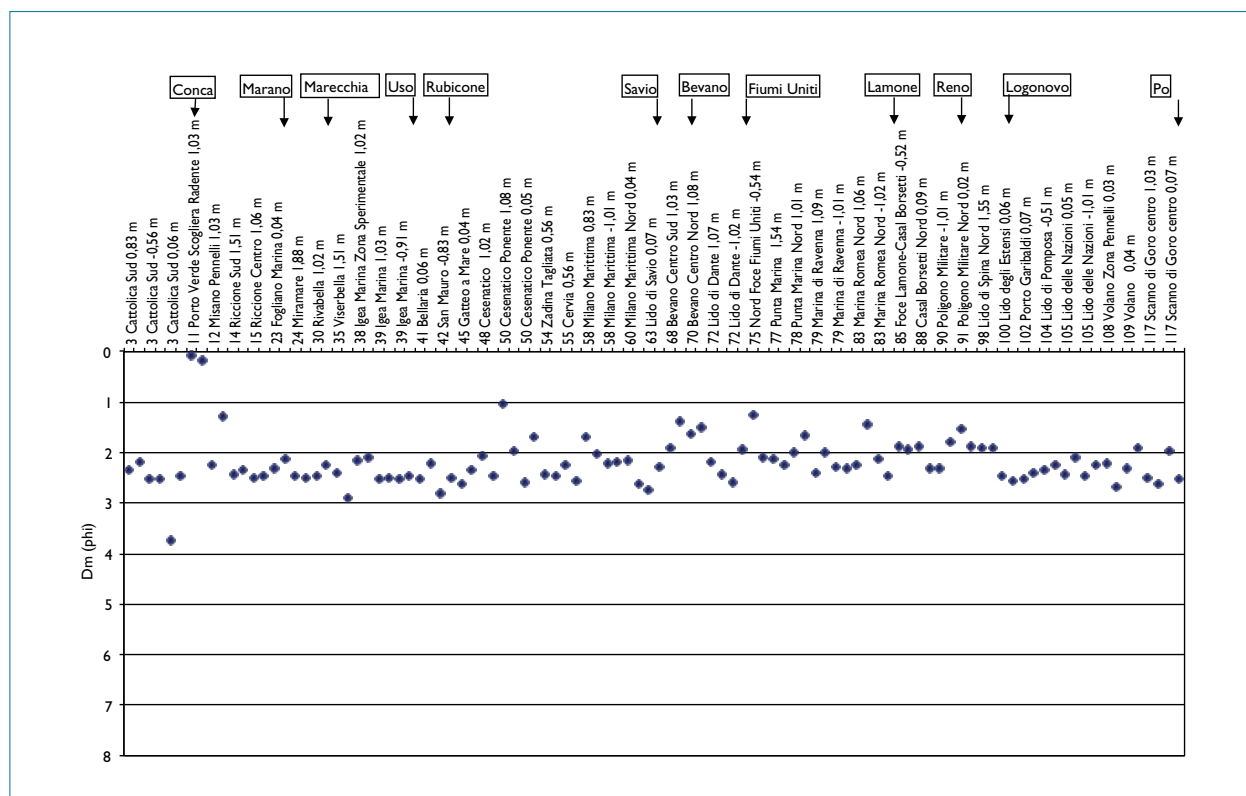


Figura 130 - Diametri medi dei sedimenti campionati nel 2012 sulla spiaggia emersa e sui fondali fino a 1 m di profondità. Sono state evidenziate le posizioni delle foci fluviali.

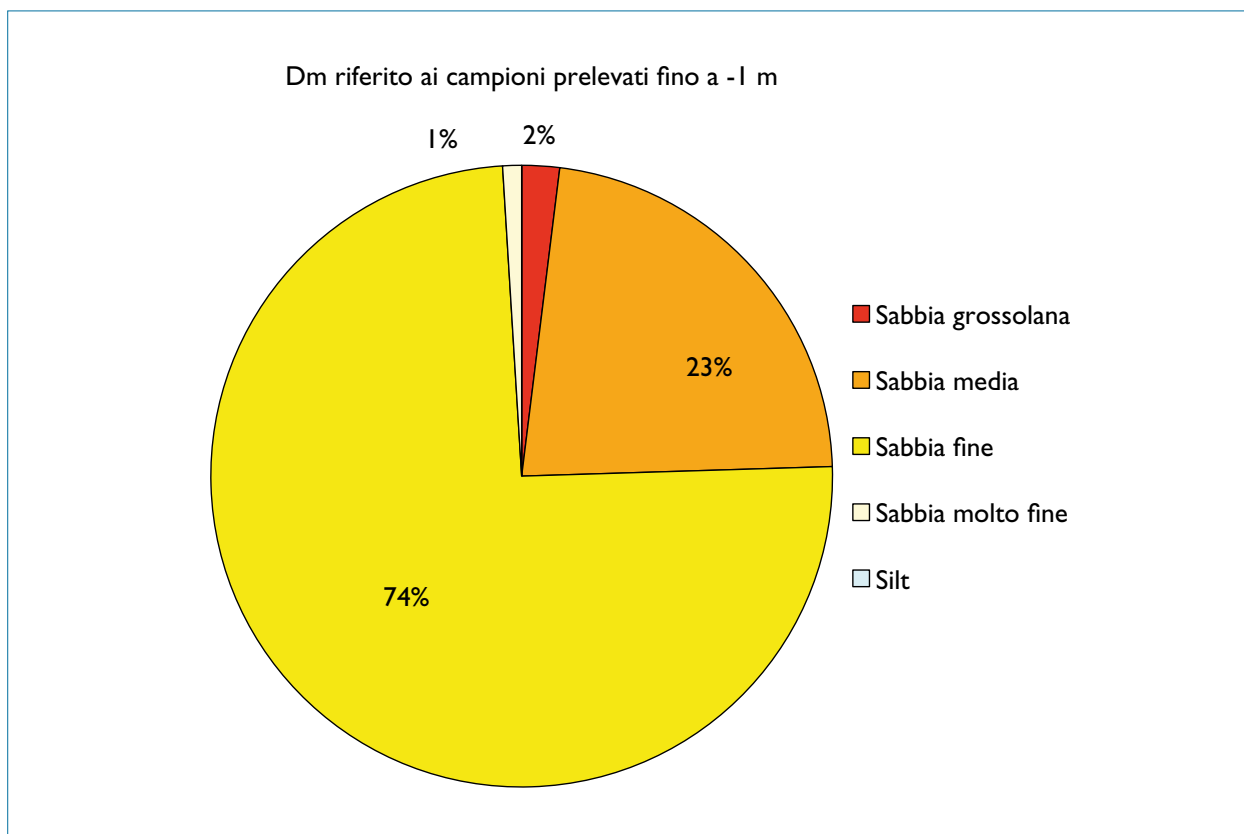


Figura 131 - Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni di sedimento prelevati sulla spiaggia emersa e sui fondali fino a 1 m di profondità.

- 2) Una fascia intorno ai -2 m (tra -1 e -3 m) costituita prevalentemente da sedimenti con diametro medio delle dimensioni della sabbia fine (64%). Il 17% dei campioni è rappresentato dalla sabbia molto fine (che nella fascia di spiaggia superiore si limitava all'1%) e il 15% dei sedimenti ha un diametro medio ricadente nel campo sabbia media. Questi ultimi campioni più grossolani sono concentrati nella zona che comprende il Bevano, Fiumi Uniti e il Reno (Figura 129, Figura 132, Figura 133).
- 3) Al di sotto dei 3 m (e fino a circa -7 m) il granulo medio prevalente è delle dimensioni della sabbia molto fine (39%) e fine (37%). Il 21% dei campioni raccolti in questa fascia di fondale ha le dimensioni medie del silt (Figura 134, Figura 135) come si verifica nei tratti tra Fogliano Marina e Cesenatico, Marina Romea, Lido di Pomposa e Scanno di Goro (Fig. 135).

5.1.2 Percentuale di pelite 2012

Per quanto riguarda la frazione pelitica, sulla spiaggia emersa, fino alla profondità di 2-3 m nel tratto di costa regionale a sud del Savio, e fino a 3-4 m a nord dello stesso, la percentuale di pelite è ovunque inferiore al 5%.

Oltre a tali profondità, i fondali contraddistinti dalle più basse percentuali di pelite (<15%) sono quelli compresi tra Cattolica e Rimini, tra Cesenatico e Lido di Savio, tra Lido di Dante e Punta Marina, tra Porto Corsini e Lido degli Estensi (Figura 137, Figura 138). Leggermente maggiore la percentuale di fango (<20%) tra Foce Savio e Lido di Dante, a Marina di Ravenna, tra Porto Garibaldi e Lido degli Scacchi, Lido delle Nazioni.

A Rimini nord, a Lido di Pomposa e a Lido di Volano la percentuale di pelite raggiunge il 25%.

A Volano il fango raggiunge il 90% con il 10% di argilla. Quantità elevate di pelite (40%) sono state osservate anche alla foce del Lamone e davanti alla foce del Savio (90%) (Figura 138).

In generale, si nota un aumento della percentuale di pelite con l'approfondirsi dei fondali e quindi con l'abbassarsi del livello energetico. Tuttavia tale aumento non è né regolare né graduale.

5.1.3 Coefficiente di cernita 2012

Per quanto riguarda il coefficiente di cernita, i campioni prelevati su spiaggia emersa e battigia si distribuiscono in prossimità del limite tra sedimenti

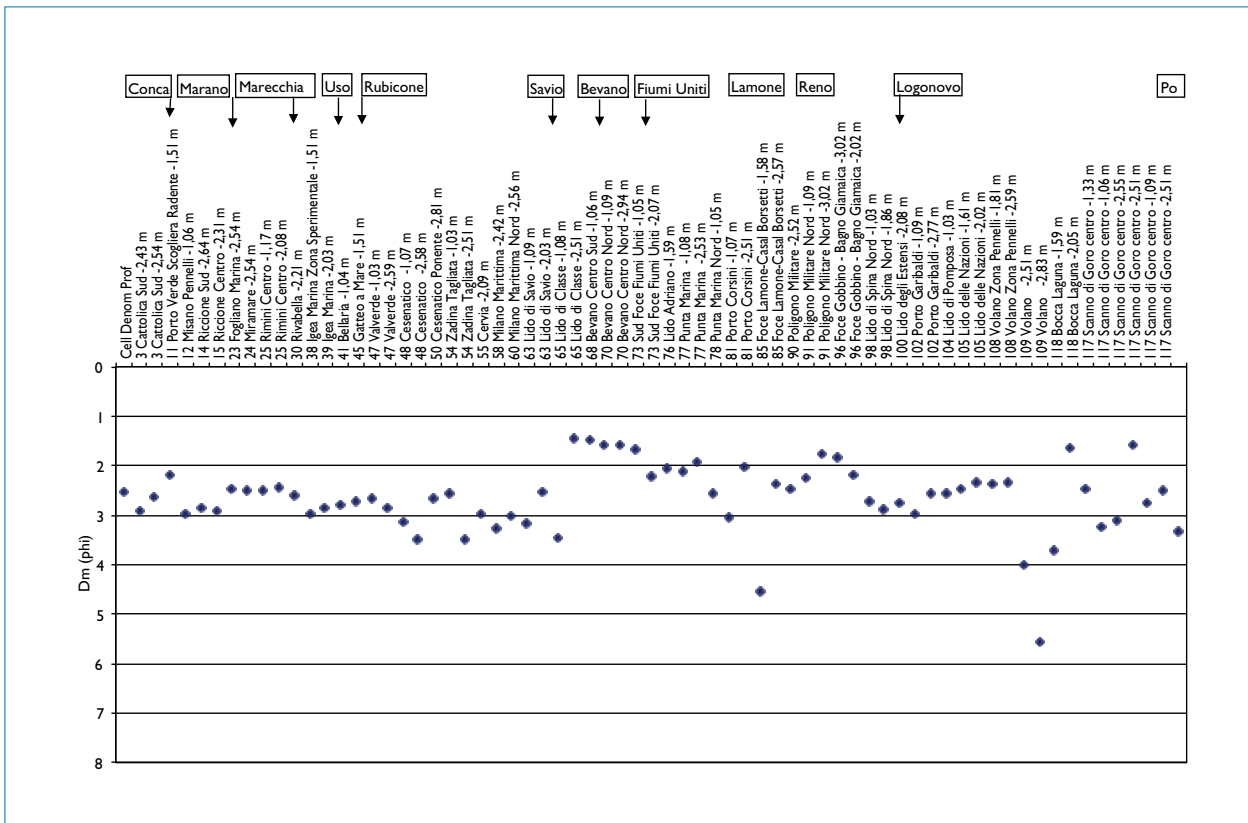


Figura 132 - Diametri medi dei sedimenti campionati nel 2012 sui fondali compresi tra 1 e 3 m di profondità. Sono state evidenziate le posizioni delle foci fluviali.

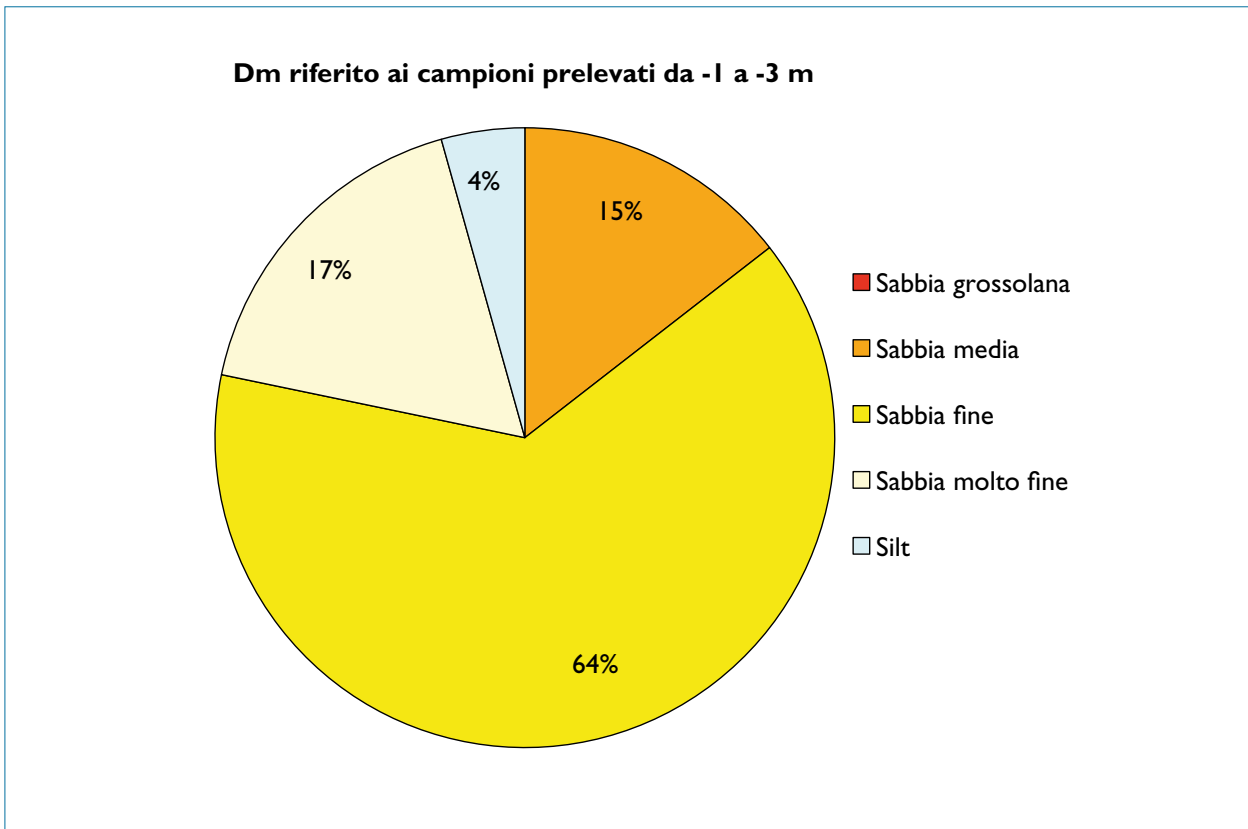


Figura 133 - Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni di sedimento prelevati tra 1 e 3 m di profondità.

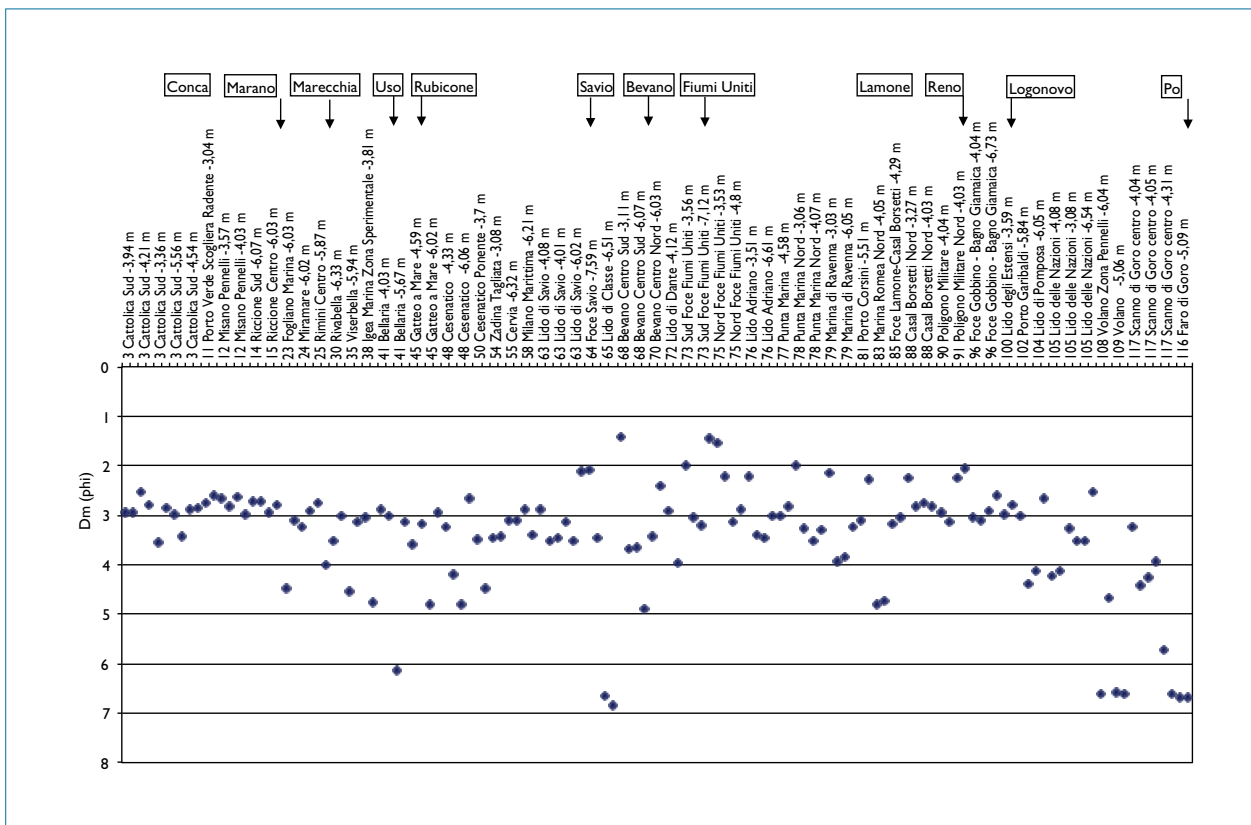


Figura 134 - Diametri medi dei campioni di sedimento prelevati nella fascia di fondale compresa tra 3 e 7 m di profondità. Sono state evidenziate le posizioni delle foci fluviali.

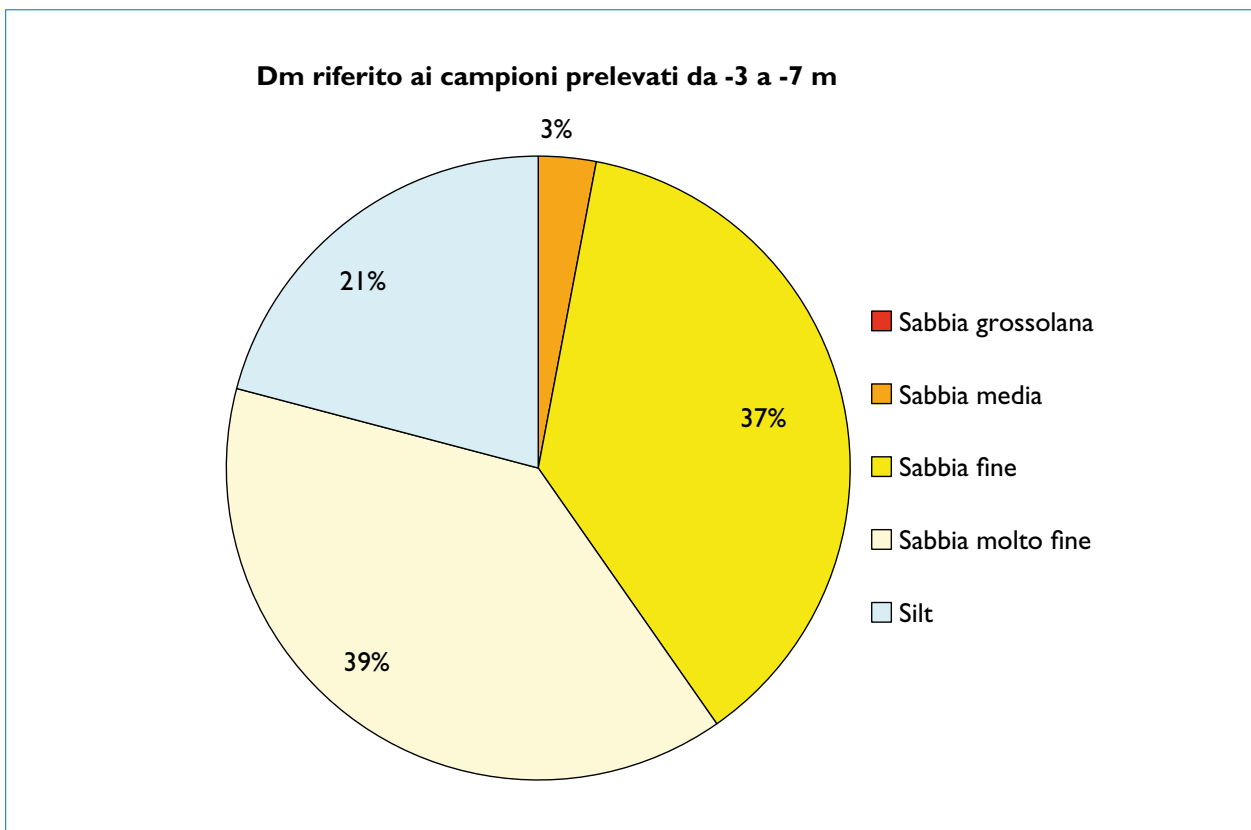


Figura 135 - Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni di sedimento prelevati nella fascia di fondale compresa tra 3 e 7 m di profondità.

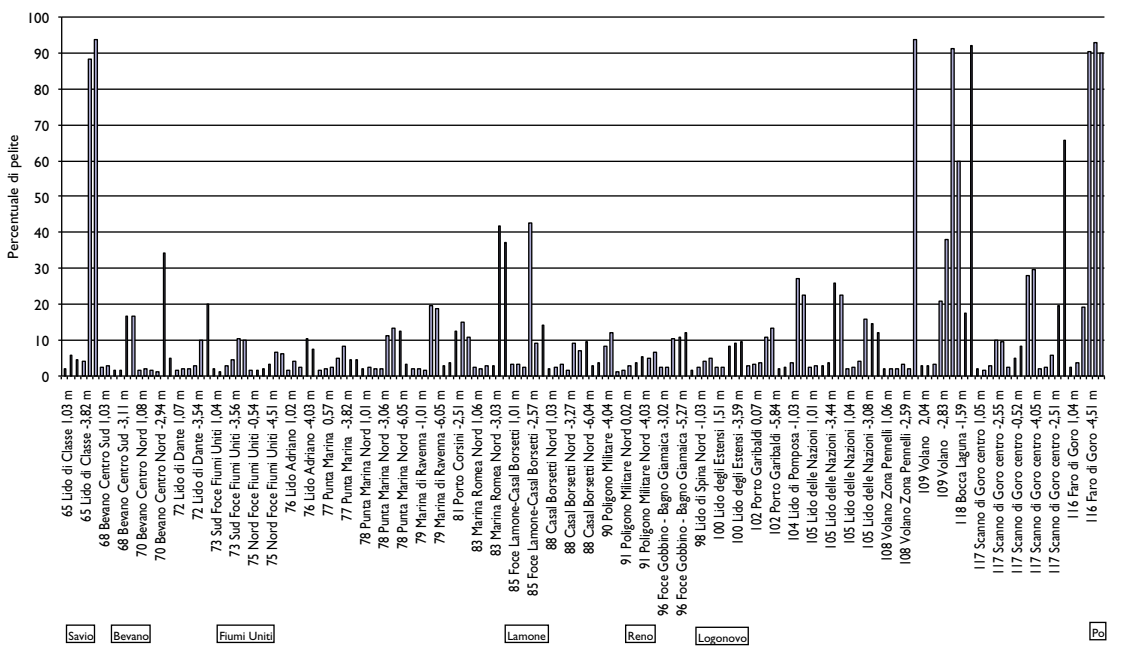
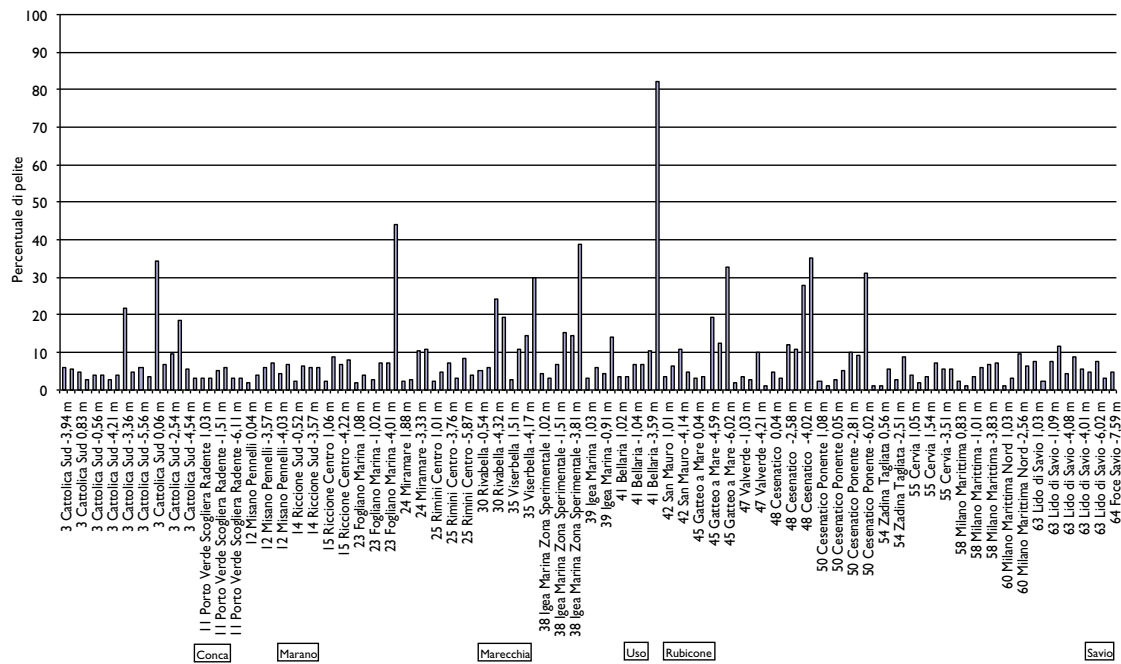


Figura 136 - Percentuale di pelite presente nei campioni raccolti nel 2012. Grafico in alto: tratto Cattolica-Foce Savio; grafico in basso: Lido di Classe- Scanno di Goro. Sono state evidenziate le posizioni delle foci fluviali.

ben cerniti e moderatamente ben cerniti (vedi i valori di riferimento nel capitolo 3; Figura 139). A Misano e tra Cervia e Cesenatico alcuni campioni raccolti sulla spiaggia emersa sono poco selezionati. Nella fascia sommersa entro la batimetrica di 1 m prevalgono i sedimenti moderatamente selezionati. Nella fascia di fondale compresa tra 1 e 3 m i sedimenti presentano un grado di selezione variabile

dal campo dei depositi moderatamente selezionati a quelli poco selezionati (Figura 140). I sedimenti meno selezionati si trovano in corrispondenza della foce del Marecchia, dell'Uso, del Savio, del Lamone e a nord tra Volano e lo Scanno di Goro, dove influisce l'apporto del fiume Po. Al di sotto dei 3 m di profondità, nei tratti compresi tra Cattolica e Riccione e tra Cesenatico e Lido di Savio i sedimenti risultano tutti moderata-

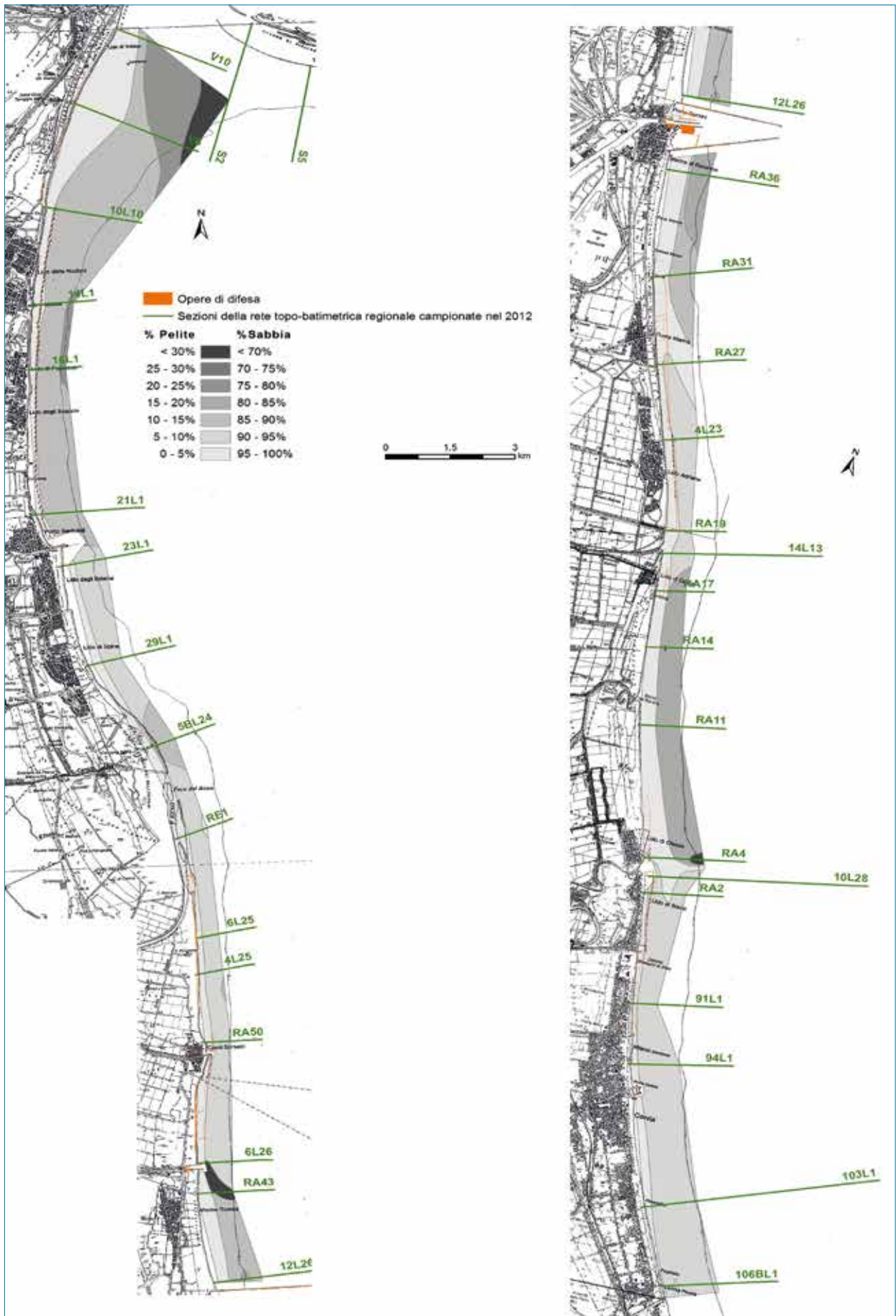


Figura 137 - Mappa della distribuzione percentuale di pelite lungo il litorale tra Volano e Tagliata di Cesenatico sulla base del campionamento Arpa 2012.

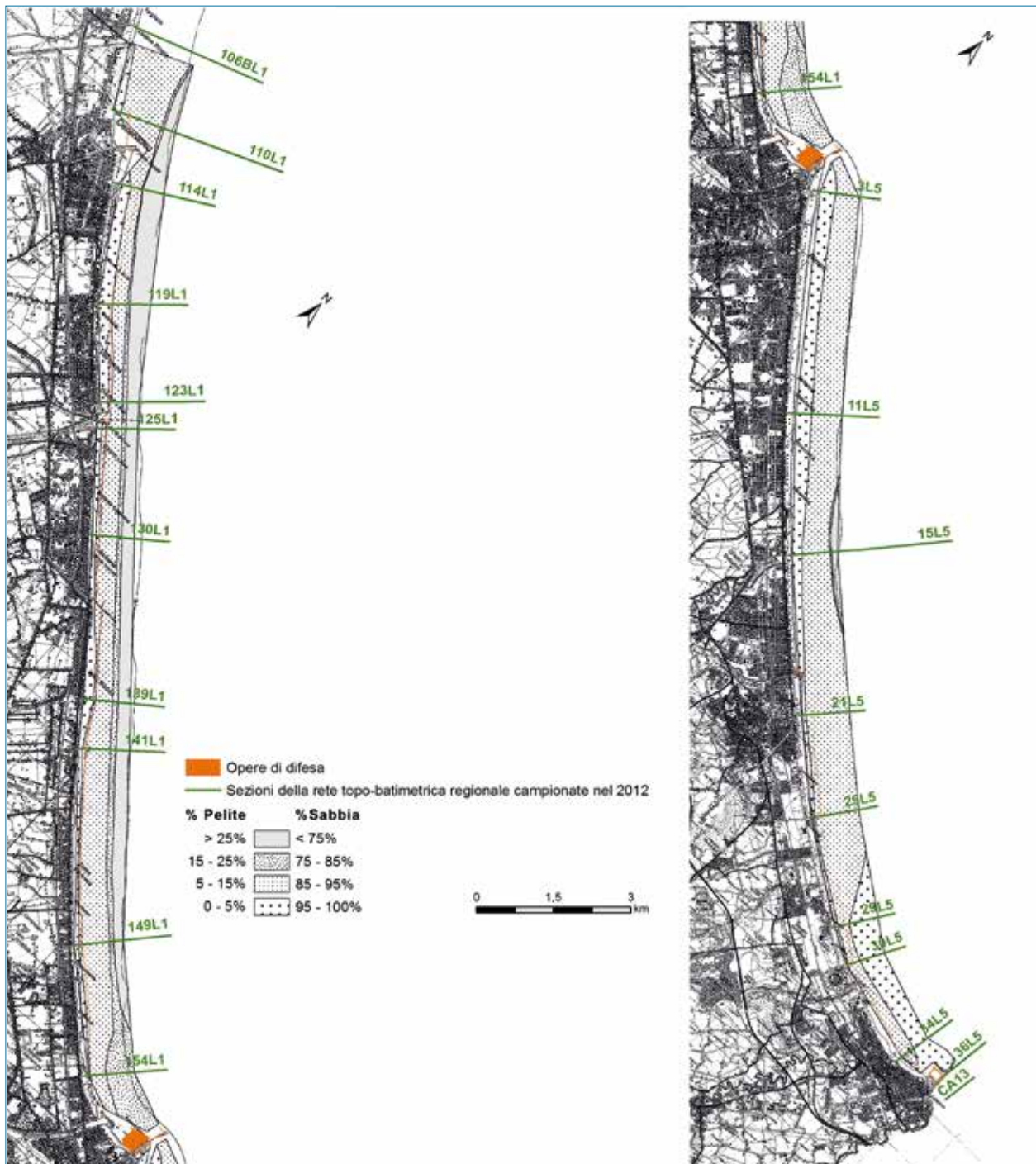


Figura 138 - Mappa della distribuzione percentuale di pelite lungo il litorale tra Tagliata di Cesenatico e Cattolica sulla base del campionamento Arpa 2012.

mente selezionati (Figura 141). Nel resto del litorale il coefficiente di cernita spazia fino alla classe dei sedimenti molto poco cerniti. In alcune zone appare evidente l'influenza delle foci fluviali, come già riscontrato al di sopra della batimetrica dei 3 m. In particolare si segnala il tratto tra Fogliano Marina e Gatteo a Mare dove sfociano il Torrente Marano e i fiumi Marecchia, Uso e Rubicone, dove tra i 3 e i 7 m di profondità i sedimenti sono tutti da poco a molto poco cerniti. Altre zone in cui l'apporto di sedimenti fini da par-

te dei fiumi produce un peggioramento della cernita sono quelle collocate in corrispondenza dello sbocco del Savio, del Bevano, dei Fiumi Uniti e del Lamone, e a nord, dove influisce il Po (Figura 141).

5.1.4 Effetti delle opere di difesa sulla sedimentologia

Infine, allo scopo di evidenziare l'influenza che opere di difesa rigida o ripascimenti possono avere avuto sulla tessitura dei sedimenti sono stati raggruppati e messi a confronto i campioni raccol-

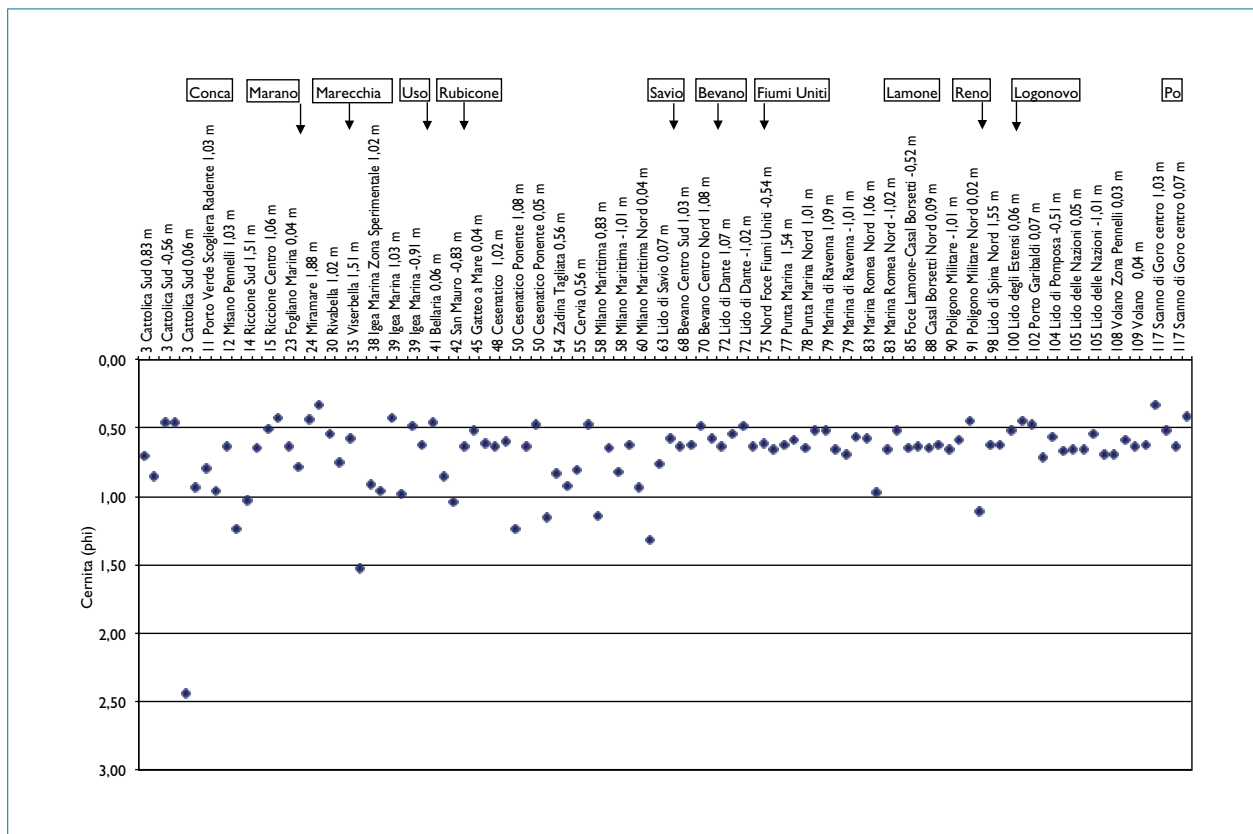


Figura 139 - Coefficiente di cernita dei campioni prelevati nel 2012 sulla spiaggia emersa e sulla fascia di spiaggia sommersa compresa entro la batimetria di 1 metro. Sono state indicate le posizioni delle foci fluviali.

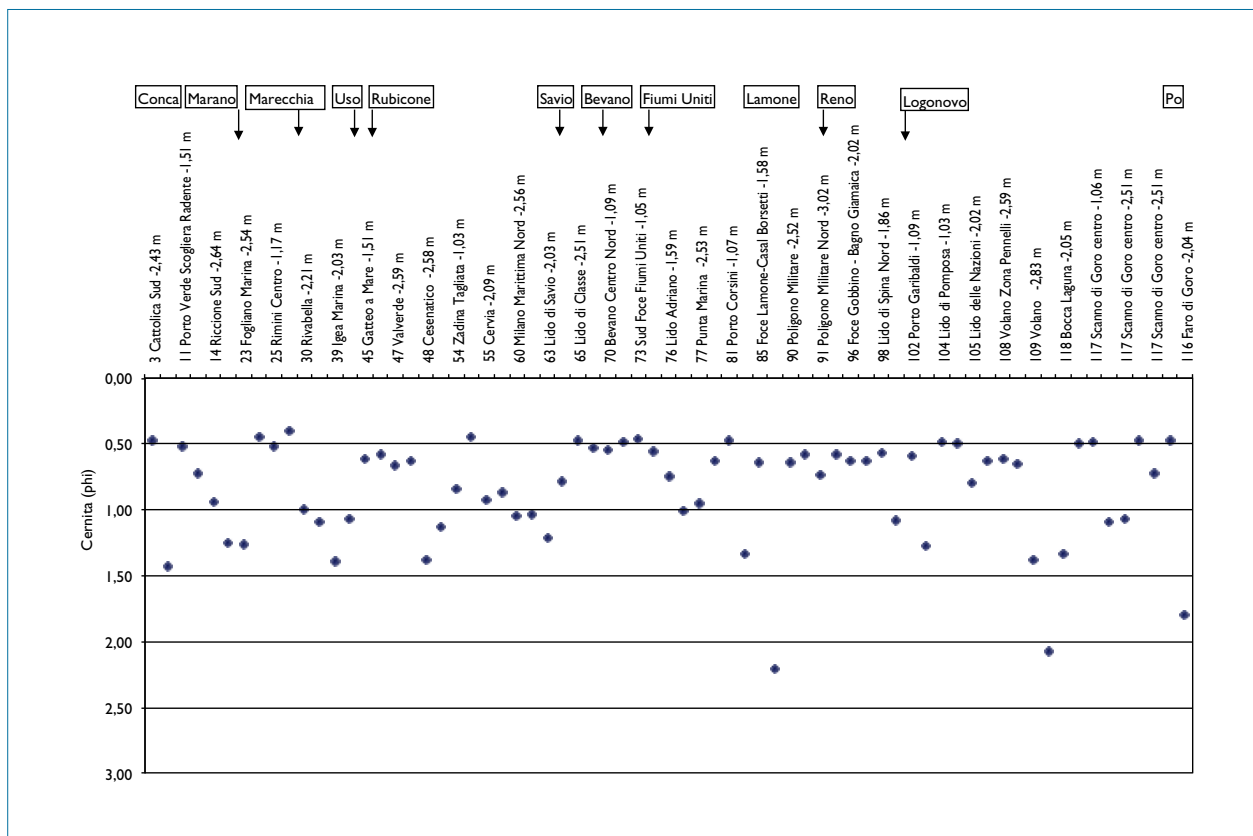


Figura 140 - Coefficiente di cernita dei sedimenti campionati nel 2012 sui fondali compresi tra 1 e 3 metri di profondità. Sono state evidenziate le posizioni delle foci fluviali.

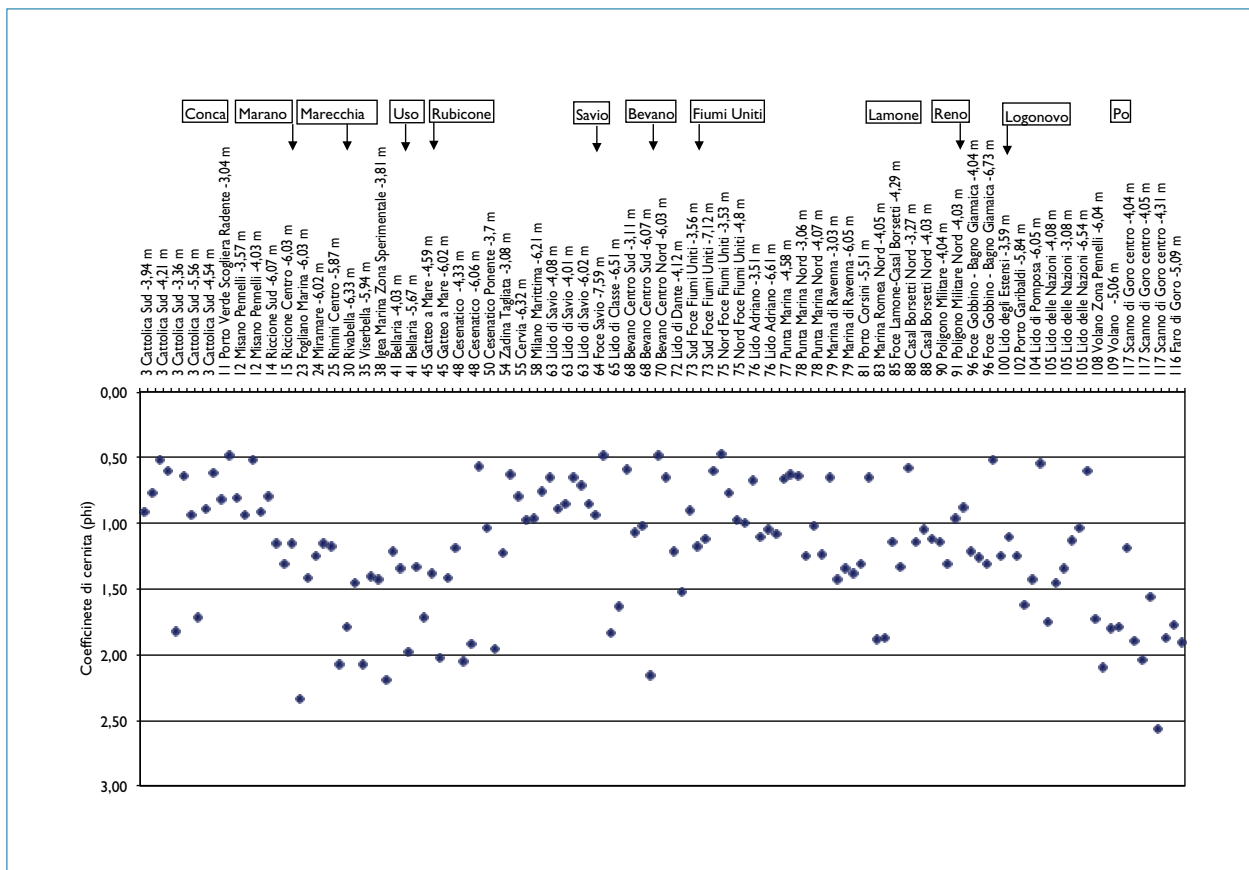


Figura 141 - Coefficiente di cernita dei sedimenti campionati nel 2012 sui fondali compresi tra 3 e 7 m di profondità. Sono state evidenziate le posizioni delle foci fluviali.

ti nelle seguenti quattro diverse condizioni (Figura 142, Figura 143):

- in tratti costieri totalmente privi di protezione;
- in tratti in cui sono stati effettuati solo ripascimenti;
- in tratti protetti da opere rigide;
- in tratti protetti sia da opere rigide che da ripascimenti.

I grafici di Figura 142 e Figura 143 non mostrano trend particolari nel diametro medio e nel coefficiente di cernita, i campioni prelevati nelle varie tipologie di tratto costiero non presentano differenze a livello generale che permettano di distinguerli in gruppi con caratteristiche diverse.

5.1.5 Influenza delle foci fluviali sulle caratteristiche granulometriche dei sedimenti campionati

Come visto nella sezione precedente, le caratteristiche sedimentologiche del litorale emiliano-romagnolo appaiono nel complesso abbastanza omogenee tranne che nelle aree di foci fluviali,

dove si registrano distribuzioni più irregolari e dove, infatti, la cernita dei sedimenti appare più scarsa (Figura 140, Figura 141).

In corrispondenza di alcune foci i sedimenti campionati sono risultati relativamente più grossolani dei litorali circostanti, come visto a Foce Reno, Savio e Fiumi Uniti-Bevano (Figura 129, Figura 144 e Figura 145). Questo è dovuto molto presumibilmente ai processi di cannibalizzazione delle foci fluviali in atto da decenni, come già osservato da Bondesan et alii (1978), più che ad apporto attuale dei fiumi stessi. In alcuni casi, come ad esempio alla foce del Savio, il confronto tra i rilievi batimetrici del 2012 con i precedenti del 2006 hanno evidenziato approfondimenti accentuati proprio allo sbocco del fiume (Figura 73), quindi la prevalenza di erosione e non di deposizione.

In corrispondenza delle foci fluviali, inoltre, non si osserva sempre una graduale diminuzione delle granulometrie con la profondità ma vi sono distribuzioni più irregolari, a volte con minimi relativi a circa 4 e 5 m, di profondità.

Ad esempio, a sud del Savio lungo la sezione 10L28 (Figura 146) il campione prelevato a circa 4 m di

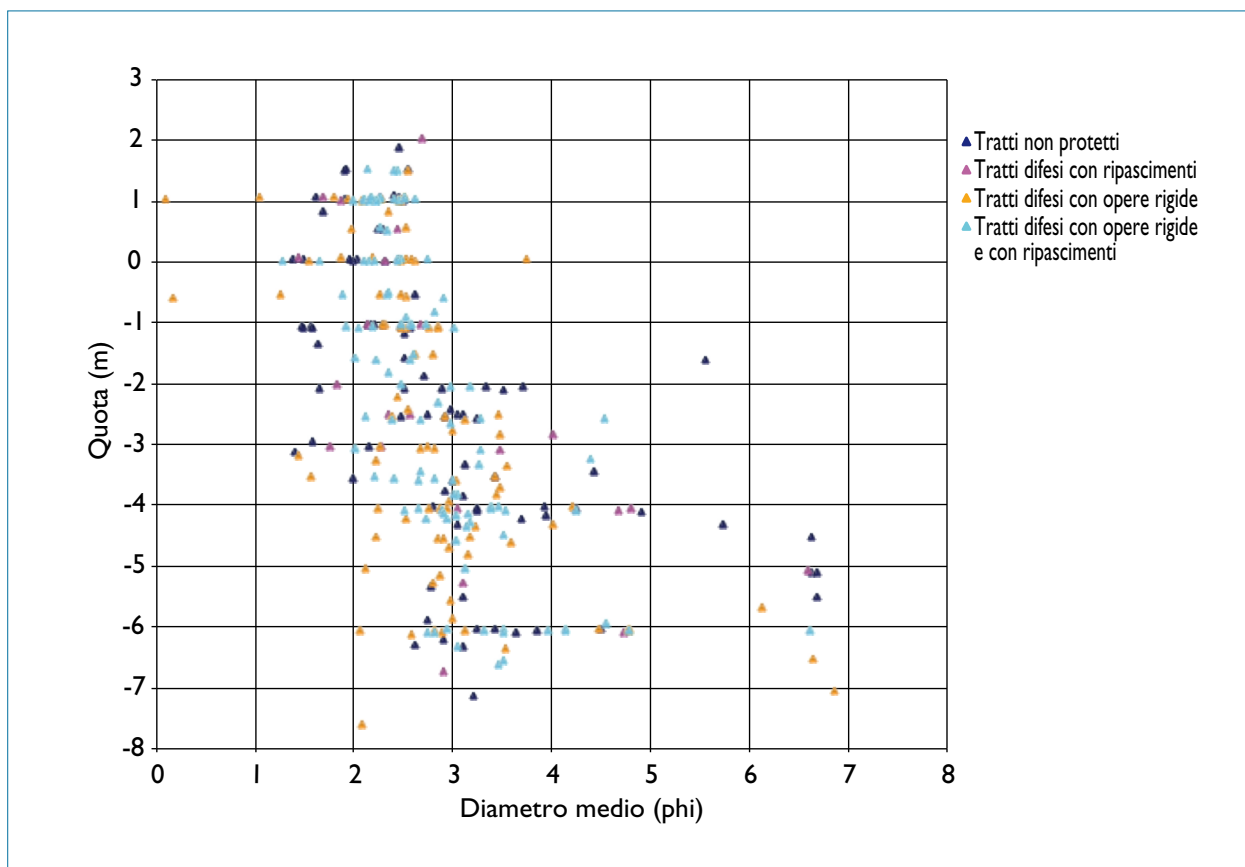


Figura 142 - Confronto tra i valori di diametro medio dei campioni di sedimento raccolti nel 2012 lungo il litorale regionale nelle varie zone protette e non da opere di difesa rigida o da ripascimenti.

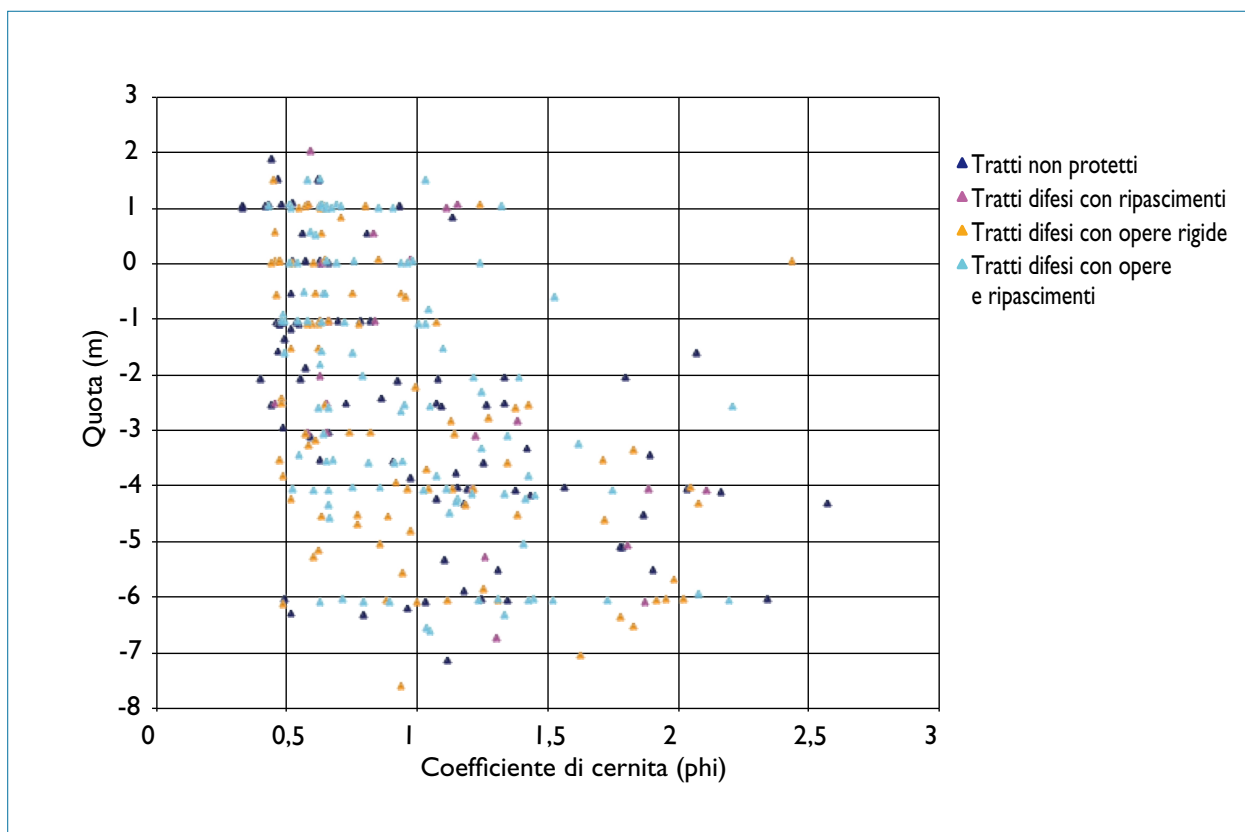


Figura 143 - Confronto tra i coefficienti di cernita dei campioni di sedimento raccolti nel 2012 lungo il litorale regionale nelle varie zone protette e non da opere di difesa rigida o da ripascimenti.

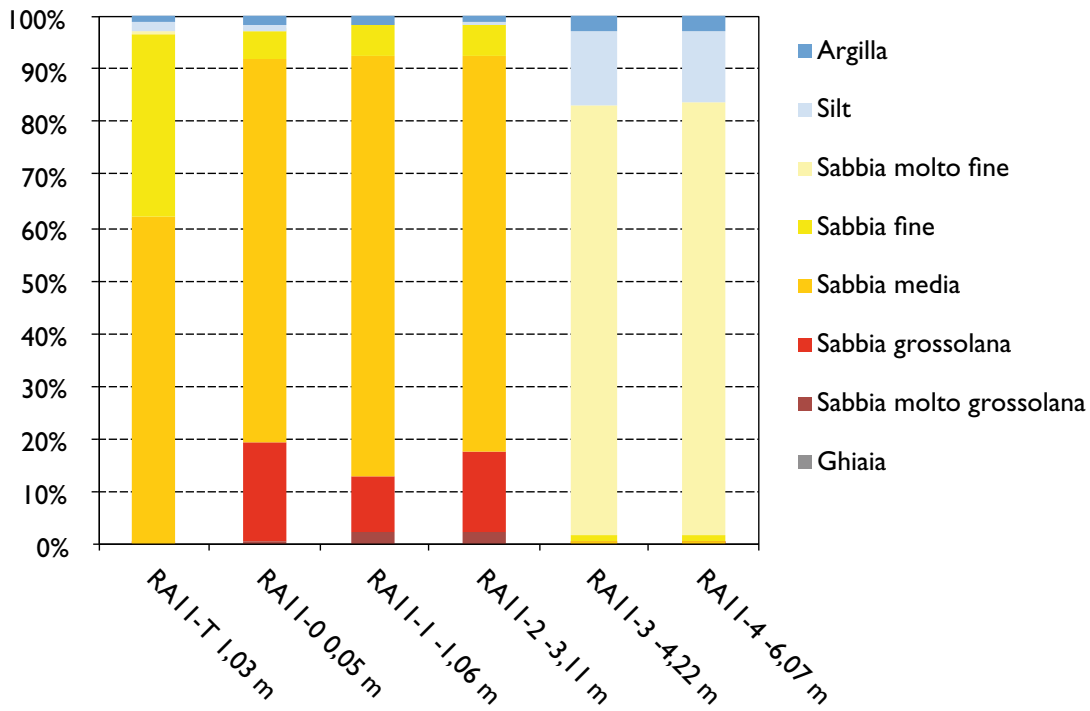


Figura 144 - A sud del Bevano, lungo la sezione RAI 1, i fondali presentano granulometrie di dimensioni relativamente elevate fino a oltre 3 m di profondità.

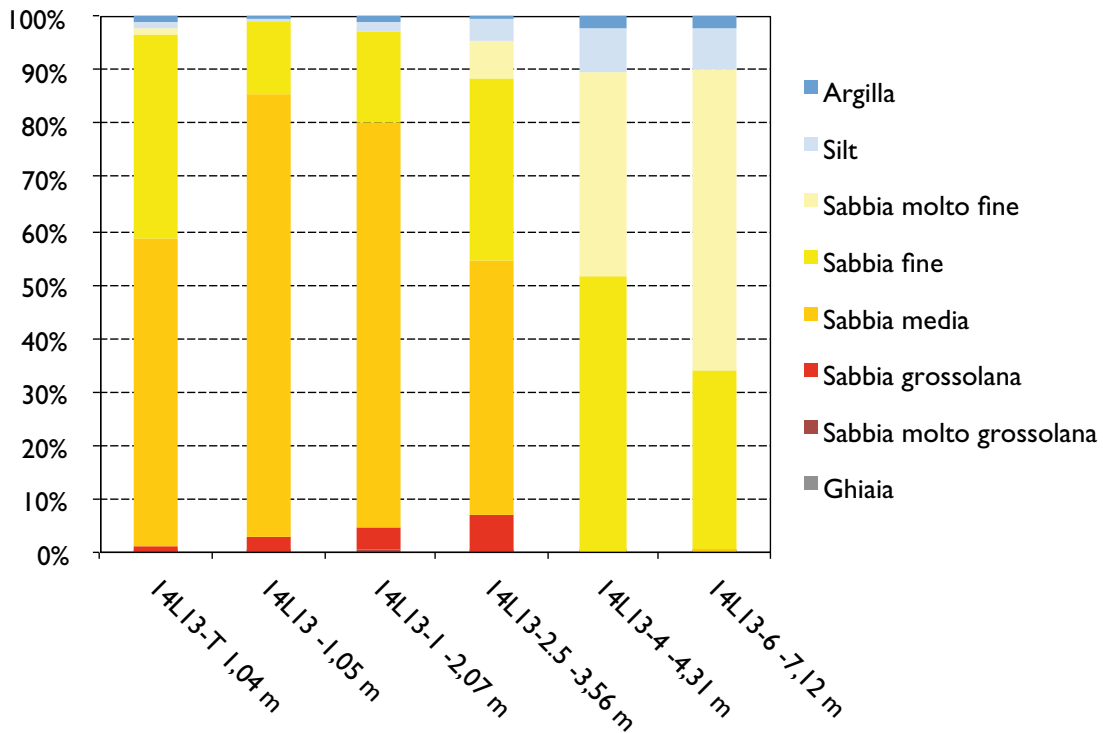


Figura 145 - A sud della foce dei Fiumi Uniti, lungo la sezione I4L13, i fondali presentano granulometrie di dimensioni particolarmente elevate fino a quasi 4 m di profondità.

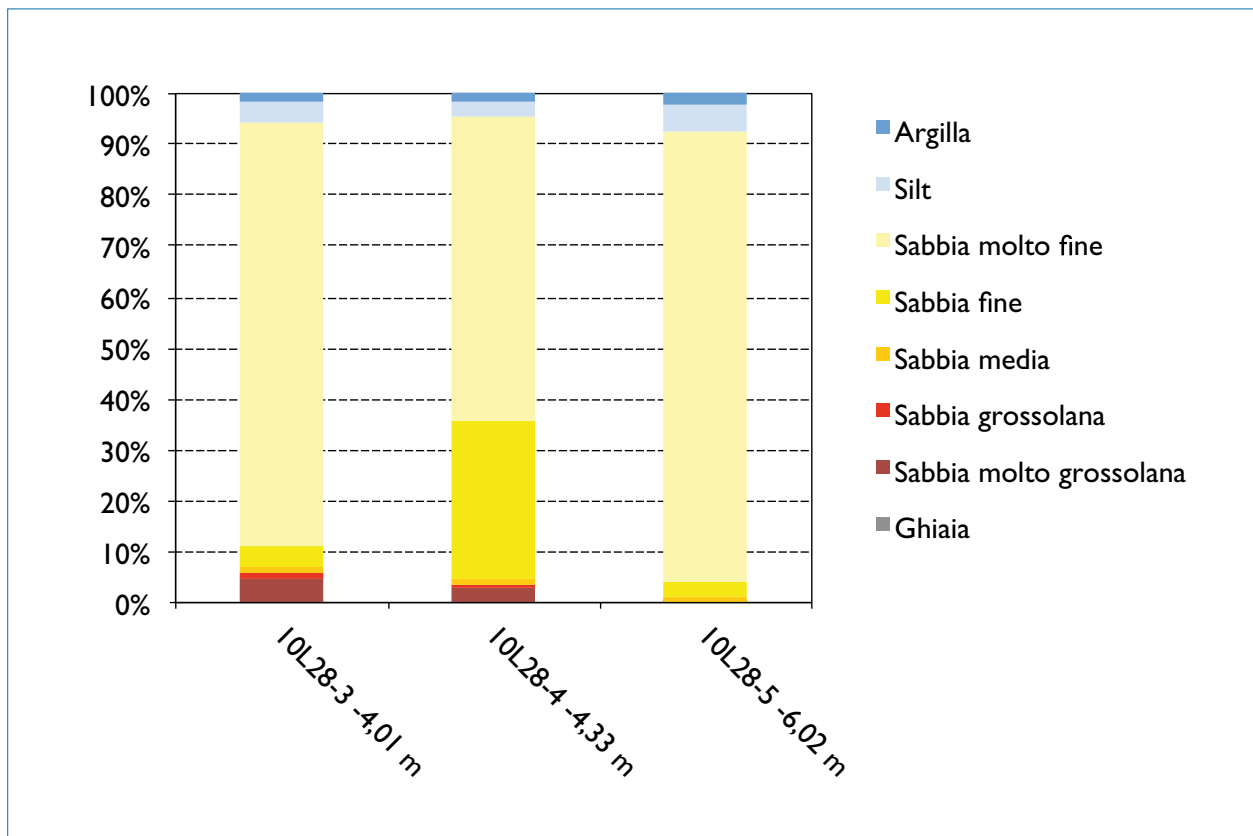


Figura 146 - Distribuzione irregolare delle granulometrie rispetto alla profondità lungo la sezione 10L28 a sud del Savio. Il campione a circa 4 metri di profondità è costituito per l'80% da sabbia molto fine e somiglia molto a quello più al largo, prelevato a 6 m di profondità, mentre il campione a -4,33 m è costituito da sedimento relativamente più grossolano.

profondità è costituito per l'80% da sabbia molto fine e somiglia molto a quello più al largo prelevato a 6 m di profondità. Il campione intermedio tra i due, a 4,3 m di profondità, presenta invece solo il 60 % di sabbia molto fine, mentre la componente di sabbia media e grossolana raggiunge il 35% circa. Nell'area sono presenti scogliere emerse.

Lungo la sezione RA14 campionata a nord del Bevano, mentre sulla spiaggia emersa e nei primi 3 m circa di quella sommersa sono prevalenti le sabbie medie, il campione a circa 4 m di profondità è composto per oltre il 30% da pelite, quello a - 6 m ne contiene solo il 5% (Figura 147).

A nord dei Fiumi Uniti, lungo la sezione RA19, anch'essa con prevalenti sabbie medie nei primi 3,5 m di profondità, nei sedimenti a circa 4,8 m di profondità prevale la sabbia molto fine, mentre quelli a - 6 m sono relativamente più grossolani (Figura 148). Nell'area è presente una scogliera radente.

Alla foce del Lamone, il campione a circa 2,5 m di profondità prelevato lungo la sezione 6L26 è più fine (contiene oltre il 40% di pelite) di quelli prelevati a maggiori profondità (Figura 149). È pre-

sumibile che la tessitura dei fondali in questa zona sia stata alterata da una serie di interventi di ricostruzione della spiaggia sommersa effettuati in più fasi e a varie profondità con sedimenti fini dragati dal Porto di Ravenna nel periodo in esame (2007-2010). Nell'area sono presenti barriere sommerse realizzate in sacchi di sabbia.

A nord del Reno, lungo la sezione RE1 è stato rilevato un minimo granulometrico relativo alla batimetrica di -1 m (dove il relativo campione mostra il minor quantitativo di sabbie medie, <15%) e un progressivo aumento delle dimensioni dei granuli verso il largo fino a oltre 6 m di profondità (Figura 150).

In corrispondenza della zona intertidale della spiaggia del Bellocchio, a sud e a nord del Canale Gobbinò (non interessata dai campionamenti) alcuni sopralluoghi hanno evidenziato l'affioramento di argille coesive più antiche attribuibili all'ambiente lagunare di retro cordone, testimoniando una marcata migrazione del litorale verso terra. Osservandole dall'alto, queste peliti bordano in maniera discontinua le sabbie chiare della spiaggia e si notano per il loro colore grigio-marrone (Fi-

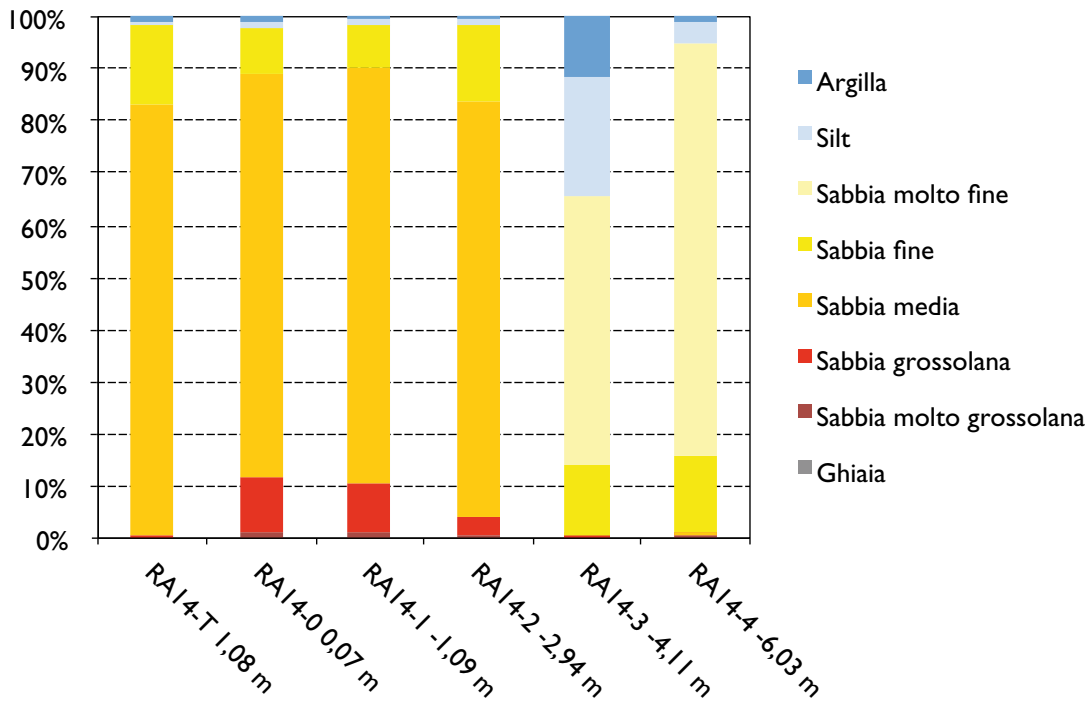


Figura 147 - Minimo relativo nella distribuzione granulometrica lungo la sezione RA14 a nord del Bevano: il campione a circa 4 metri di profondità contiene il 30% di pelite, quello a - 6 m ne contiene solo il 5%.

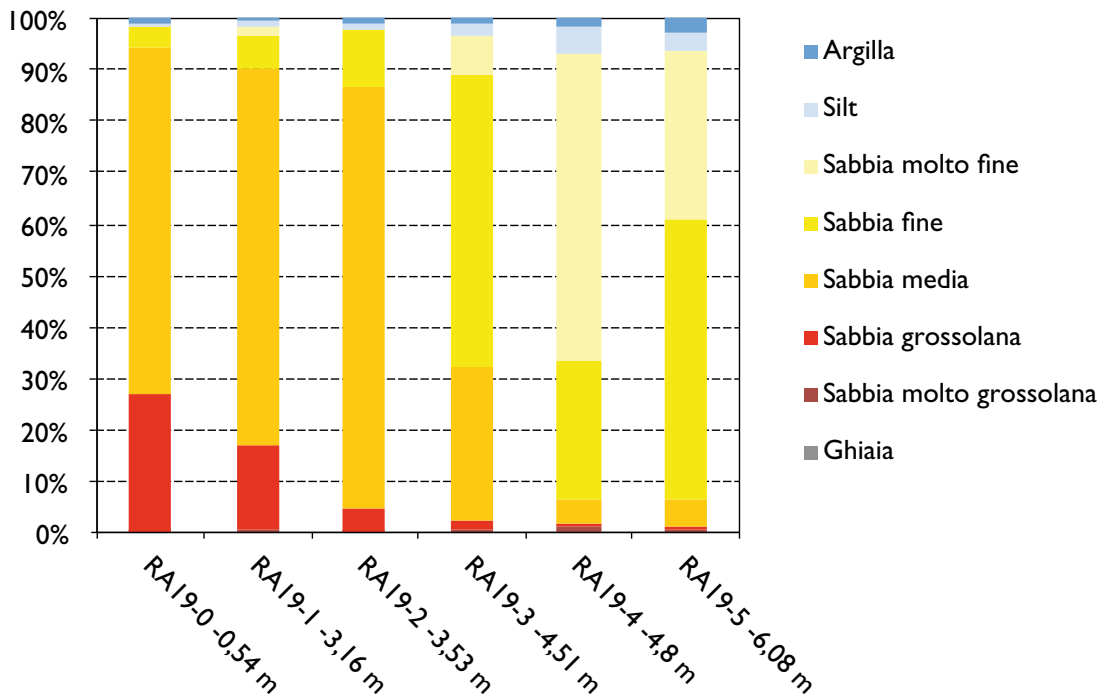


Figura 148 - Minimo relativo nella distribuzione granulometrica lungo la sezione RA19 a nord dei Fiumi Uniti: il campione a circa 4,8 m di profondità è mediamente più fine di quello a - 6 m.

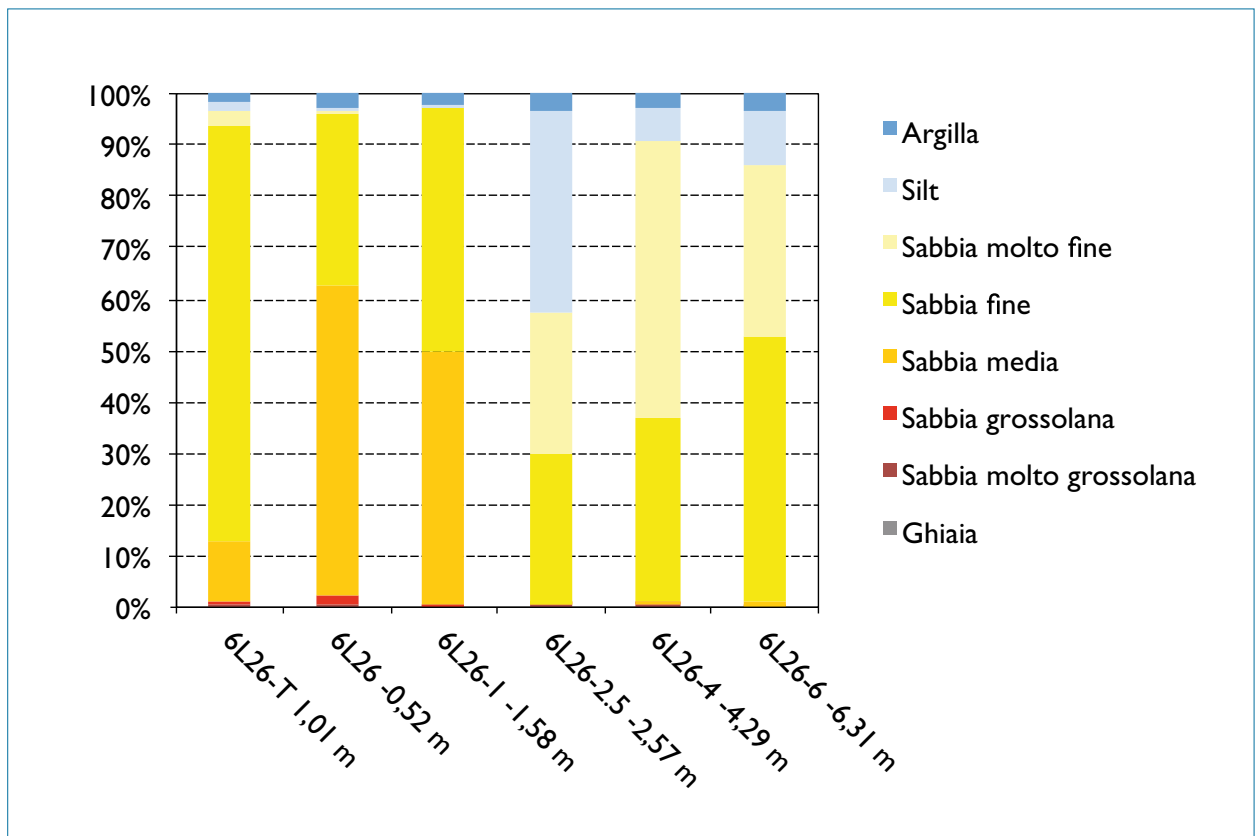


Figura 149 - Minimo relativo nelle granulometrie lungo la sezione 6L26 alla foce del Lamone: il campione a circa 2,5 m di profondità è più fine (contiene oltre il 40% di pelite) di quelli prelevati a maggiori profondità.

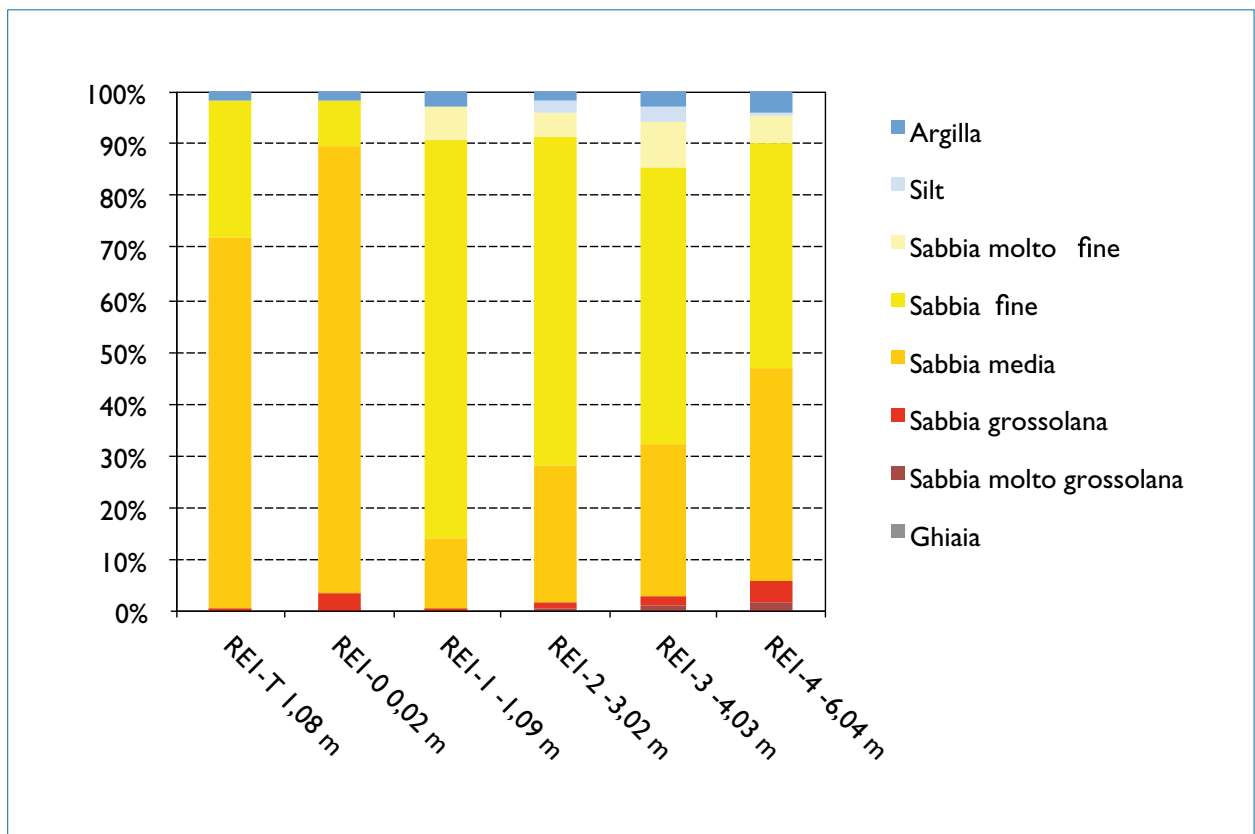


Figura 150 - Minimo relativo granulometrico osservato a 1 metro di profondità lungo la sezione RE-I a nord della foce del Reno e progressivo aumento delle dimensioni dei granuli verso il largo.

gura 151). Le peliti presentano forme terrazzate a bassissimo gradiente verso mare con bordi a scarpata ripida, dell'altezza variabile da alcuni centimetri a svariati decimetri. L'erosione agisce su di esse frontalmente modellando conche e producendo crolli di blocchi in questo materiale, più coesivo di quello circostante (Figura 152).

In altri casi, in corrispondenza di sbocchi fluviali è evidente un arricchimento relativo in pelite, come alle foci del Lamone e del Savio e a sud del Delta del Po (Figura 136).

Nel caso del Savio, la distribuzione granulometrica osservata nel 2012 è piuttosto irregolare (Figura 153): i campioni Savio-1 e Savio-2 mostrano granulometria decisamente grossolana (sono costituiti da prevalente sabbia fine associata a sabbia media, 30% e sabbia grossolana, 10%) benché provengano rispettivamente dalle profondità di 5 e 7,5 m e si trovino in posizione distale rispetto ad altri campioni che invece presentano granulometria più fine (Figura 153). Tali sedimenti grossolani risultano infatti isolati in mezzo sedimenti relativamente più fini con composizione granulometrica più tipi-

ca per le profondità in questione (tra -4 e -6,5 m). In particolare:

- il campione RA2-3 è formato da prevalente sabbia fine e molto fine;
- nei campioni della sezione 10L28, nel RA2-4 e RA4-4 prevale la sabbia molto fine;
- i campioni RA4-6 e RA4-7 sono quasi totalmente pelitici (con oltre il 20% di argilla).

Si conclude quindi che allo sbocco del Savio esiste una zona di estensione limitata costituita da sabbie relativamente grossolane, molto presumibilmente di deposizione non attuale, portate alla luce da processi di cannibalizzazione della foce.

5.3 Confronto con la campagna sedimentologica del Piano Costa 1996

Lo studio sedimentologico delle spiagge e dei fondali contenuto nel “Progetto di Piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna” Idroser 1996 (brevemente Piano Coste 1996), si è basato



Figura 151 Davanti alla spiaggia, nella zona intertidale, affiorano argille grigio-marroni di ambiente lagunare portate ad affiorare dall'erosione, mentre ventagli di washover invadono la zona retrodunale (foto volo Arpa 2011).



Figura 152 Argille lagunari affioranti nella zona intertidale nel tratto a nord e a sud dello sbocco del Gobbino (foto febbraio 2014).

sull'analisi granulometrica di circa 150 campioni prelevati lungo profili della rete topo-batimetrica costiera regionale nell'inverno tra il 1993 e il 1994. I prelievi di sedimento sono stati effettuati sulla battigia, a 0 m s.l.m., e sui fondali alle profondità di -1 m, -2,5 m, -4 m e -6 m, quindi, diversamente dalla campagna 2012, nel 1993-1994 non è stata campionata la spiaggia emersa.

I campioni sono stati sottoposti ad analisi granulometrica ed in seguito sono stati ottenuti i principali parametri tessiturali di Folk e Ward (1957). Purtroppo, le analisi granulometriche originali dei 150 campioni non sono disponibili, il Piano Costa 1996 ne riporta solamente i parametri sedimentologici calcolati; inoltre tale studio non contiene mappe tematiche sedimentologiche e neppure grafici.

Nell'ambito della presente relazione, l'analisi dei dati verrà presentata per mezzo di grafici basati sui parametri sedimentologici tratti dal Piano Coste 1996.

Per rendere il confronto il più possibile oggettivo, saranno presi in considerazione solo i campioni comuni ad entrambe le campagne, prelevati quindi alle stesse coordinate nel 1994 e nel 2012.

Un altro accorgimento adottato per garantire la confrontabilità delle due campagne sedimen-

tologiche, è stato quello di calcolare (solo per il confronto) il diametro medio e il coefficiente di cernita del 2012 sulla base della classificazione granulometrica del 1994. Tale adattamento è consistito nell'utilizzo anche per i dati recenti degli stessi tagli granulometrici impiegati nel 1994 che, a differenza della scala di Udden and Wentworth, trattavano in maniera indifferenziata le frazioni con diametro maggiore di 0,5 mm (minori di 1 phi, sabbie grossolane e molto grossolane) e le frazioni con dimensioni inferiori a 0,063 mm (maggiori di 4 phi, silt e argilla).

5.3.1 Diametro medio dei sedimenti: confronto 1994 - 2012

Per quanto riguarda il diametro medio, in tutto il litorale compreso fra il Delta del Po e Cattolica, le dimensioni delle sabbie tra la battigia e i fondali fino a -1 m risultavano nel 1994 piuttosto costanti e dell'ordine della sabbia fine (0,125-0,250 mm; 3-2 phi) (Idroser, 1996).

Nel 2012, i campioni raccolti alle stesse coordinate del 1994 mostrano solo leggere modificazioni contenute nel campo della sabbia fine da non considerarsi significative a livello regionale (Figura 154). Ad

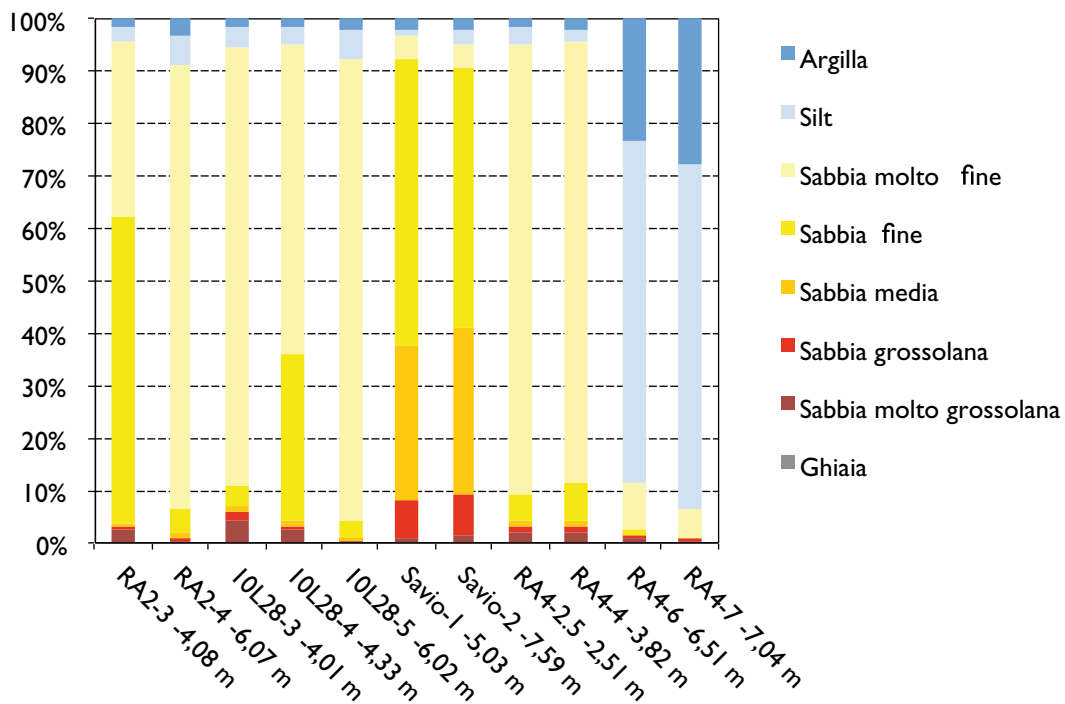


Figura 153 - Ubicazione dei campioni raccolti alla foce del fiume Savio nel 2012 e relative analisi granulometriche.

esempio si segnala un aumento delle granulometrie a sud della foce dei Fiumi Uniti, dove il diametro medio ricade nel campo della sabbia media, ma sembra trattarsi di un fenomeno localizzato.

Se da un lato, negli anni '90, i sedimenti sulla spiaggia tra la battigia e la batimetrica di 1 m mostravano caratteristiche relativamente uniformi lungo tutto il litorale, viceversa variavano le dimensioni delle sabbie nei fondali compresi fra -2 e -6 m (Figura 155).

In particolare, 20 anni fa le minori dimensioni medie erano state rilevate alla bocca della laguna e tra Volano e Lido di Pomposa, dove, a -6 m di profondità i fondali risultavano costituiti da fango a causa degli arrivi massicci di materiale fine portato dal Po (Figura 155).

Da Porto Garibaldi ai Fiumi Uniti, il diametro medio dei fondali si manteneva su valori della sabbia molto fine (0,063-0,125 mm; 4-3 phi) a parte locali valori di diametro medio >4 phi (< di 0,063 mm) a Porto Corsini, Foce Lamone e Fiumi Uniti. In questo tratto, l'influenza del Po risultava quindi molto attenuata (Idroser, 1996). Nel 2012, analogamente al 1994, davanti a Volano in una zona circoscritta in corrispondenza della bocca della laguna sono stati rinvenuti sedimenti fangosi, ma le granulometrie minori, e molto inferiori a quelle rilevate nel 1994, sono state individuate in prossimità dello sbocco del Po di Goro.

È invece aumentata la granulometria media nei seguenti tratti costieri:

- tra Volano e Lido delle Nazioni, dove i fondali non sono più fangosi, ma composti da sabbia fine e molto fine;
- da Porto Garibaldi a Lido di Spina, dove la sabbia fine ha sostituito la sabbia molto fine;
- da Marina di Ravenna a Fiumi Uniti, dove al posto della sabbia molto fine e del silt, nel 2012 sono stati rilevati sedimenti con granulo medio delle dimensioni della sabbia fine e sabbia molto fine (Figura 155, Figura 156).

Non si hanno informazioni di confronto riguardanti Lido di Dante e la spiaggia a sud e a nord della foce del Bevano (Figura 156).

Nel tratto di costa tra i Fiumi Uniti e Viserbella è stata invece osservata una tendenza alla diminuzione del granulo medio dei sedimenti della spiaggia sommersa (-2/-6 m, Figura 155), che sono passati dalla sabbia fine nel 1994 alla sabbia molto fine nel 2012.

In alcuni punti isolati, come a Lido di Classe e a Bellaria alla batimetrica dei -6 metri la diminuzione è più accentuata e i sedimenti nel 2012 presentano un diametro medio delle dimensioni del silt. Essi rappresentano "anomalie negative" e sono paragonabili come dimensioni ai campioni osservati al Po di Goro e alla bocca della laguna (Figura 155). Altre diminuzioni della granulometria si sono os-

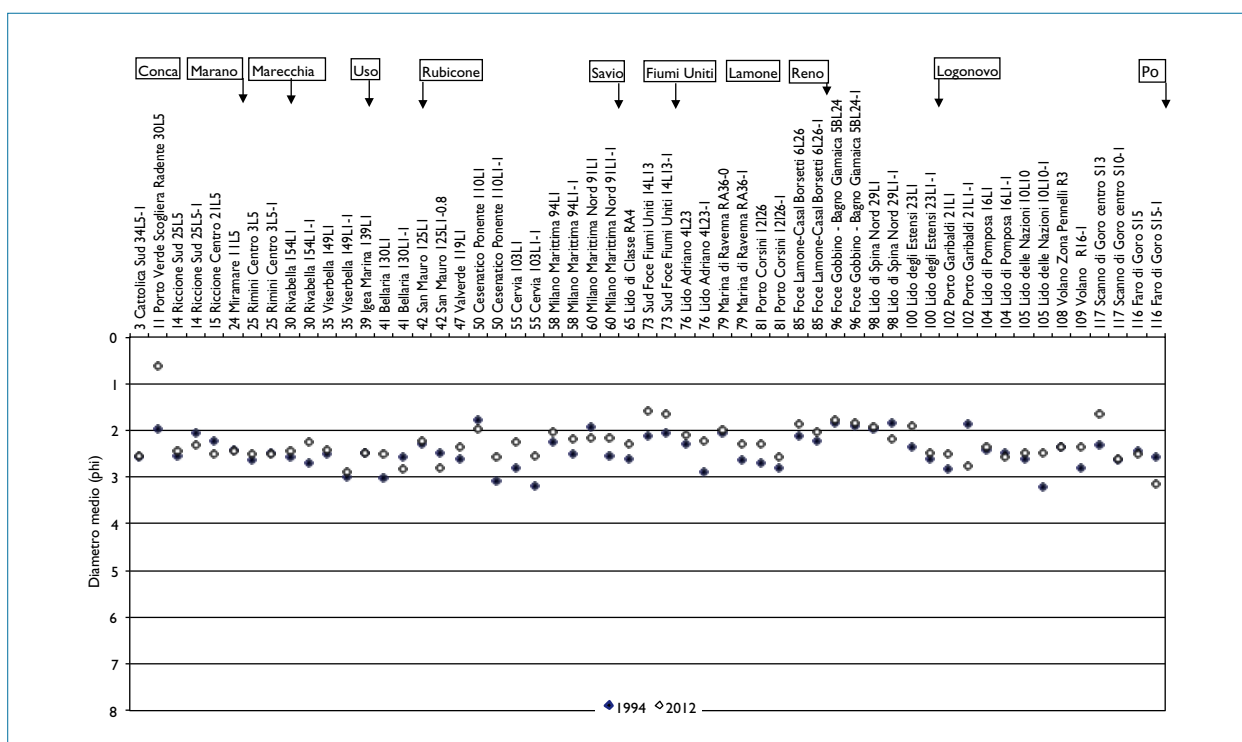


Figura 154 - Diametro medio dei sedimenti campionati nel 1994 e nel 2012 tra la battigia e la profondità di 1 m.

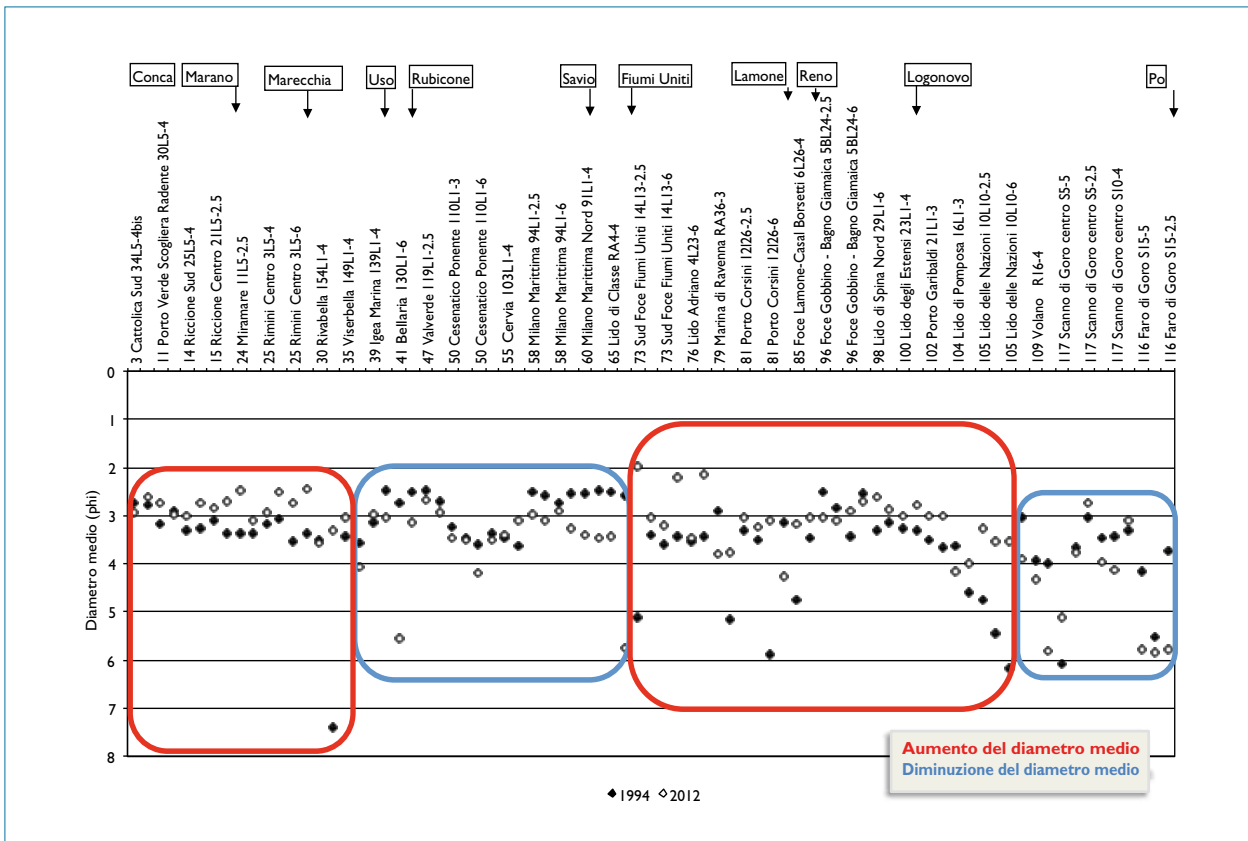


Figura 155 - Diametro medio dei sedimenti campionati nel 1994 e nel 2012 tra -2 m e -6 m.

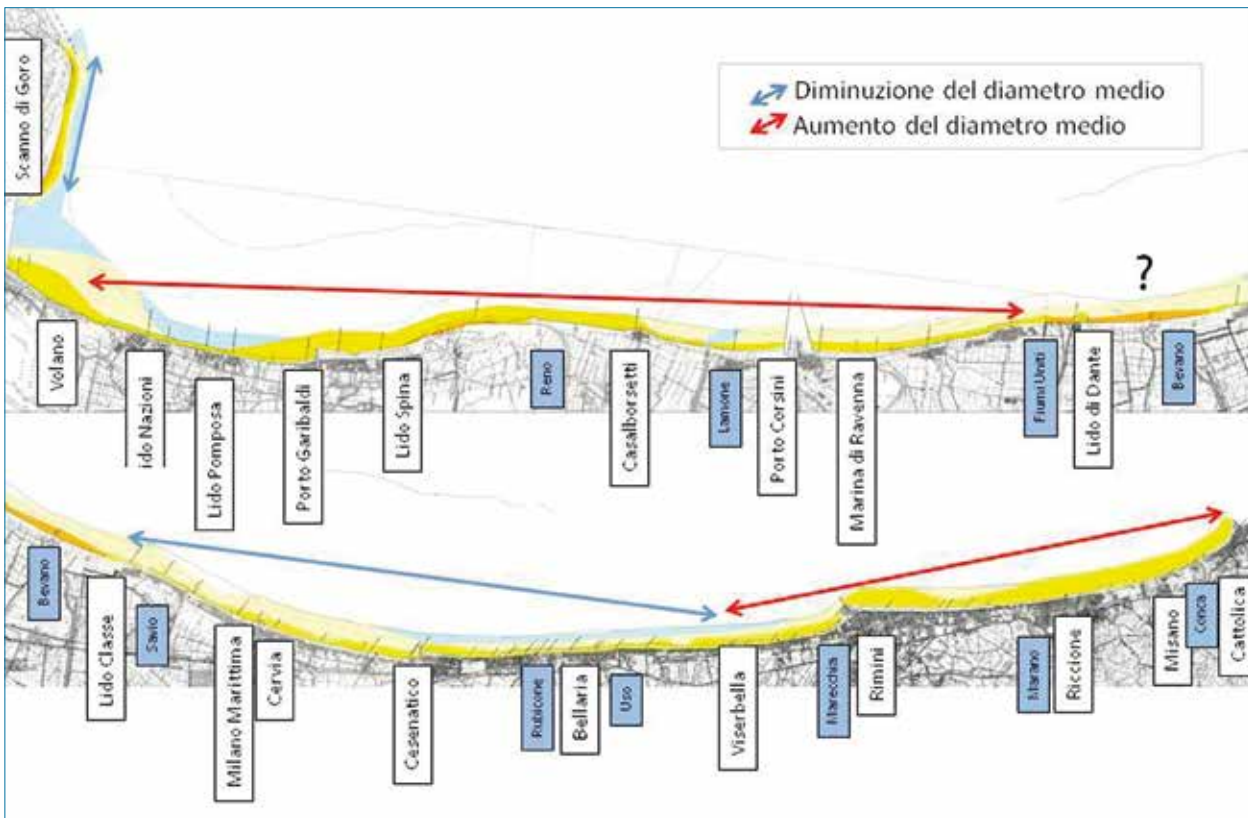


Figura 156 - Mappa del diametro medio del litorale regionale realizzata da Arpa sulla base dei campionamenti effettuati nel 2012 con, in evidenza, i tratti in cui nella spiaggia sommersa sono stati notati dei cambiamenti granulometrici generalizzati rispetto ai rilievi 1993-1994.

servate localmente davanti al Savio, dove alcuni campioni prelevati nel 2012 alle stesse coordinate del 1994 risultano più fini (contengono anche sabbia molto fine e silt, vedi RA4-4 e RA4-6 in Figura 153).

Infine negli anni '90 i fondali tra Viserbella e Cattolica fino a - 6 m erano caratterizzati da un diametro medio dell'ordine della sabbia molto fine, mentre in occasione della recente campagna di rilievi gli stessi fondali risultano mediamente più grossolani (sabbia fine), ad eccezione di un tratto breve di fronte e a nord dello sbocco del torrente Marano (sabbia molto fine e silt).

5.3.2 Percentuale di pelite: confronto 1994 - 2012

L'analisi del diametro medio ha messo in luce una serie di cambiamenti intercorsi negli ultimi 20 anni su alcuni tratti del litorale regionale, più accentuati nei fondali al di sotto dei 2 m di profondità, che sono ancora più evidenti all'analisi della distribuzione percentuale di pelite.

Nel Piano Costa 1996 veniva rilevata la presenza di una massiccia quantità di fango proveniente dal Po nel tratto di costa compreso tra la foce del Po di Goro e Lido di Pomposa a profondità superiori a 1 e 2 m. I campioni contenevano fino al 60-65% di pelite (in alto in Figura 157). Quantità di fango decisamente maggiori sono state individuate in questo stesso tratto nel 2012: allo sbocco del Po di Goro, davanti allo Scanno e in corrispondenza della bocca della laguna i campioni presentano oltre il 90% di pelite (in basso in Figura 157).

I fondali tra Lido di Pomposa e Lido di Spina, che 20 anni fa erano caratterizzati da una percentuale molto bassa di fango (in alto in Figura 157), nel 2012 cambiano aspetto: si osserva un moderato arricchimento in fango a tutte profondità (valori del 10-20%; in basso in Figura 157).

Tra Foce Lamone-Casal Borsetti e il Porto di Ravenna si riscontrava negli anni '90 una relativa concentrazione della percentuale di fango, da mettere in relazione con gli apporti del fiume Lamone (Figura 157). Un arricchimento in pelite in questa zona è stato rilevato anche nel 2012, ma a minori profondità (circa 2,5 m); si suppone che in questo caso abbiano avuto un ruolo determinante, oltre al fiume, anche una serie di interventi di sversamento di sedimenti fini provenienti dal Porto di Ravenna effettuati in questa zona nel 2007.

Secondo Idroser (1996), da Lido Adriano a Cervia la percentuale di fango era particolarmente bassa ad eccezione della zona vicino alla foce dei Fiumi Uniti (in alto in Figura 157). Gli altri due fiumi che sfociano in questo tratto, il Savio e il Bevano, non sembravano contribuire in maniera rilevante all'apporto di materiale fine in questa zona. La situazione nel 2012 appare diversa (in basso in Figura 157): a tutte le profondità i campioni presentano una percentuale maggiore di fango rispetto a 20 anni prima, che comunque non supera nella maggior parte dei casi il 10%. In corrispondenza del Savio, a 6-7 m di profondità al largo di Lido di Classe, si rileva un picco di pelite (circa 90%).

Nel 1994, tra Cervia e Cattolica la percentuale di fango era in generale molto ridotta e si osservava solo un limitato arricchimento a Cesenatico (<10%), spiegabile con il lieve andamento concavo del paraggio in grado di favorire qui il deposito di pelite (Idroser, 1996), e un arricchimento molto più deciso all'altezza del Fiume Marecchia a Riva-bella di Rimini. I campionamenti del 2012 evidenziano un generale arricchimento nella percentuale di fango su tutta la costa compresa tra Cervia e Cattolica, diffuso a tutte le profondità ma soprattutto riscontrabile a - 6 m (Figura 129) particolarmente evidente a Cesenatico a Bellaria e fino a nord di Rimini. In queste località l'incremento nella percentuale di pelite potrebbe essere espressione dei processi legati ai fiumi che sfociano in questo tratto: il Rubicone a San Mauro, l'Uso a Bellaria, il Marecchia a Rimini, il torrente Marano a Miramare (Figura 157). Tuttavia, l'estensione del fenomeno ad un ampio tratto di litorale suggerisce il ruolo di processi non solo localizzati alle foci fluviali.

Si conclude precisando che l'arricchimento generalizzato del contenuto in pelite osservato nel 2012 a tutte le profondità, in particolare quello vicino a riva, si potrebbe in parte essere dovuto a inevitabili differenze nella tecnica di campionamento adottata nelle due campagne e non solo alla incidenza dei processi fluviali.

5.3.3 Coefficiente di cernita: confronto 1994 - 2012

Il coefficiente di cernita misura la dispersione dimensionale delle singole particelle rispetto alla dimensione media. È un parametro che esprime il selezionamento di un sedimento e di solito i suoi valori aumentano (cioè la cernita peggiora) andan-

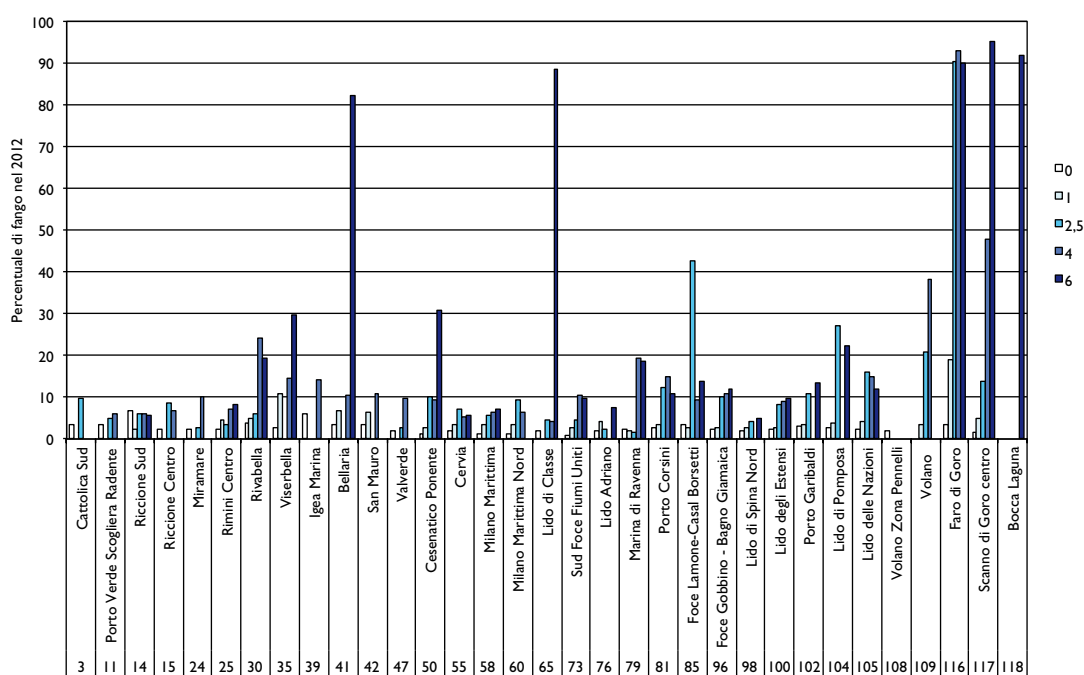
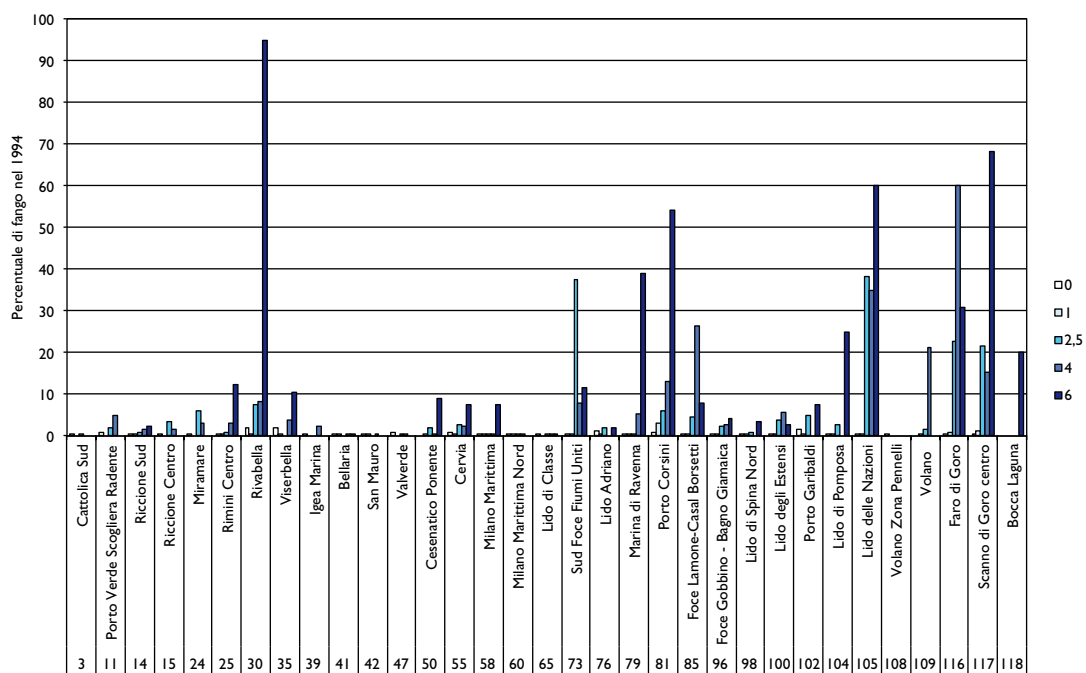


Figura 157 - Distribuzione percentuale del fango (silt e argilla) lungo il litorale regionale nel 1994 (in alto) e nel 2012 (in basso). Nelle legende, a destra dei grafici, sono riportate le profondità approssimative di prelievo dei campioni. Per esempio, in blu scuro sono rappresentati i campioni raccolti attorno ai 6 m di profondità e in bianco quelli prelevati in battigia, a circa 0 m di quota.

do dalla spiaggia verso il largo. Esso è, per lo più, in relazione diretta con la percentuale di fango e inversa con il diametro medio.

Alla prima osservazione di Figura 158 e Figura 159 risulta evidente il generale peggioramento del grado di selezione subito dai campioni a tutte le profondità tra il 1994 e il 2012, facilmente compren-

sibile visto il complessivo arricchimento in fango rilevato nei campioni 2012.

Nella fascia di fondale compreso tra la battigia e la profondità approssimativa di 1 m, i campioni che nel 1994 risultavano ben cerniti, nel 2012 sono da moderatamente ben cerniti a moderatamente cerniti (Figura 158).

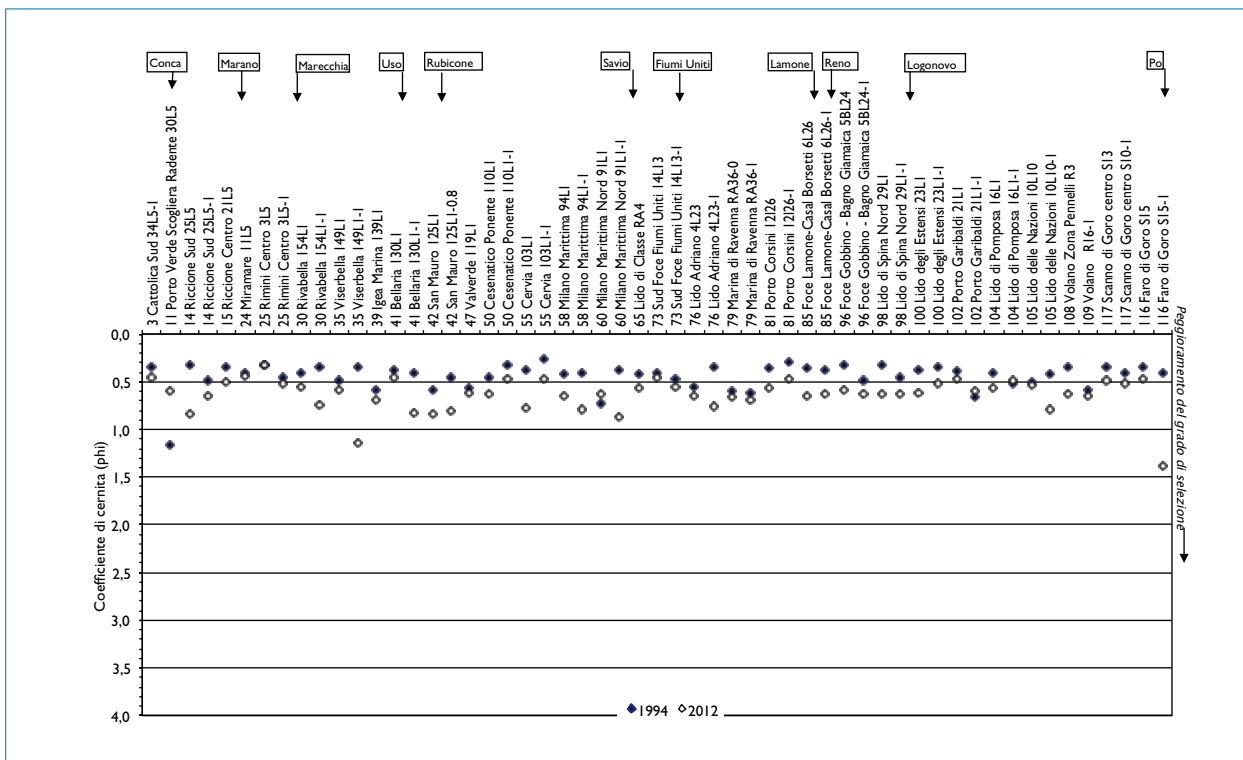


Figura 158 - Confronto del coefficiente di cernita dei campioni raccolti nel 1994 e nel 2012 tra la battigia e 1 metro di profondità.

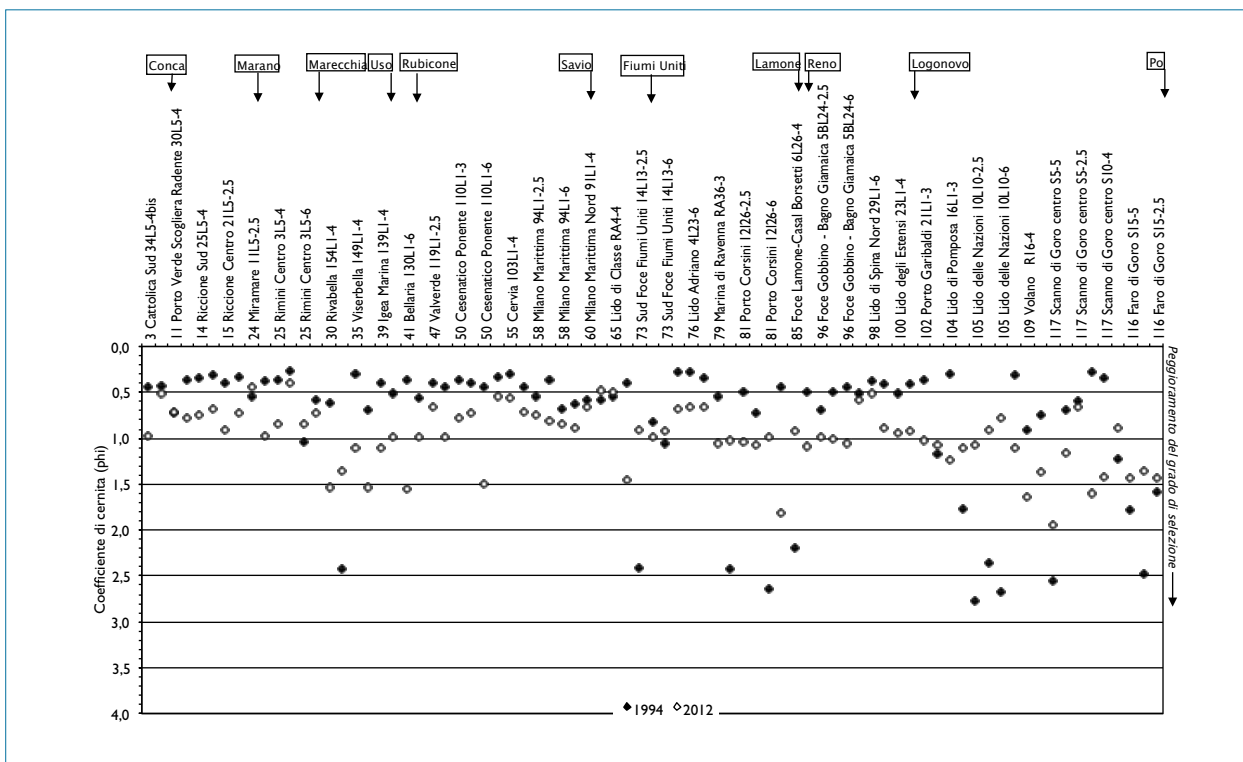


Figura 159 - Confronto del coefficiente di cernita dei campioni raccolti nel 1994 e nel 2012 oltre i 2 m di profondità.

Oltre la batimetrica dei -2 m si distinguono due zone, una a nord di Lido di Pomposa e una a sud, che si estende fino a Cattolica, con gradi di selezione differenti.

Tra Cattolica e Lido di Pomposa si osserva nella fascia di fondale meno profonda un peggioramento nel grado di classazione: i campioni che 20 anni fa

risultavano da bene a moderatamente ben classati, nel 2012 sono da moderatamente classati a poco classati (Figura 158, Figura 159). Peggioramenti più accentuati nel grado di selezione si osservano tra Rivabella e Valverde, tratto in cui sfociano il fiume Marecchia, Uso e il Rubicone, all'altezza dei Fiumi Uniti e alla foce del Lamone.

A nord di Lido di Pomposa i valori di cernita risultano estremamente variabili: i sedimenti raccolti nel 1994 sono da ben classificati a molto poco classificati, gli analoghi campioni prelevati nel 2012 risultano in alcuni casi meno selezionati e in altri, come al largo di Lido delle Nazioni, del Faro di Goro e dello Scanno, presentano in controtendenza un miglior grado di selezione, ma sempre con una notevole dispersione nei valori.

5.4 Confronto con la campagna sedimentologica del 1971-1972

Per rendere il più possibile oggettiva l'operazione di confronto con lo studio sedimentologico degli anni '70 basato sull'analisi di 330 campioni (Bondesan et al., 1978; Dal Cin et al., 1979), in occasione della campagna sedimentologica 2012 è stato raddoppiato il numero di prelievi (circa 300) rispetto a quelli effettuati per il Piano Costa 1996 (circa 150). Il tratto di costa da Volano a Cesenatico era stato campionato nell'estate del 1971 (Bondesan et al., 1978), mentre il tratto tra Cesenatico e Cattolica era stato campionato l'anno successivo, sempre in estate (Dal Cin et al., 1979). I campioni erano stati prelevati su sezioni distanziate 2 km, sulla duna, sulla spiaggia emersa, a quota zero e a ogni metro di profondità fino a -6 m. Le analisi furono eseguite presso il Dipartimento di Geologia di Ferrara, e i parametri sedimentologici calcolati con il metodo Folk & Ward (1957).

In Bondesan et al., 1978; Dal Cin et al., 1979 non sono riportate le analisi granulometriche e i parametri sedimentologici, ma i dati sono rappresentati tramite varie mappe, che sono state quindi confrontate con nuove mappe realizzate in modo analogo con i dati granulometrici al 2012.

Nell'ambito del presente studio si è scelto di prendere come riferimento le mappe della distribuzione percentuale di fango e sabbia e quelle del diametro medio.

5.4.1 Percentuale di pelite: confronto 1971/72 - 2012

Per agevolare il confronto tra i due rilievi, le mappe della distribuzione percentuale della pelite al 2012 (Figura 160, Figura 161, Figura 162, Figura 163) sono state impostate utilizzando le stesse classi percentuali di quelle pubblicate da Bondesan et alii (1978) e da Dal Cin et alii (1979).

È stato necessario, quindi, distinguere due tratti: uno compreso tra Volano e Cesenatico (Figura 160, Figura 161, Bondesan et al., 1978) ed uno tra Cesenatico e Cattolica (Figura 162, Figura 163, Dal Cin et al., 1979), perché i due articoli utilizzano classi di distribuzione percentuale delle peliti differenti: Bondesan et alii (1978) distingue sette classi, mentre Dal Cin et alii (1979) soltanto quattro.

Per quanto riguarda la distribuzione di pelite e sabbia, a livello generale negli anni '70 si notava, come oggi, un aumento della percentuale di pelite con l'approfondirsi dei fondali, e quindi con l'abbassarsi del livello energetico, non sempre però regolare o graduale dato che in alcune sezioni esistevano, ed esistono tuttora, massimi relativi nella percentuale di pelite alle profondità di 4 e 5 m (Figura 160, Figura 161, Figura 162, Figura 163).

Negli anni '70 i campioni presentavano una porzione pelitica generalmente inferiore al 30%, fatta eccezione per i fondali al largo di Volano e Pomposa (Figura 160) dove il fango raggiungeva il 90% dei campioni prelevati. Nel 2012 campioni così ricchi di pelite sono stati rinvenuti localmente allo sbocco del fiume Savio e Lamone e, analogamente ad allora, a Volano di fronte alla bocca della laguna (Figura 160). Secondo Bondesan et alii (1978), quantità relativamente elevate di pelite erano poi state riscontrate ai lati dei moli di Porto Corsini e a nord di Cesenatico (Figura 161, Figura 163). Nel 2012, in questi tratti, i sedimenti raccolti nei fondali più al largo presentano meno del 25% di pelite.

Attualmente, fondali fangosi (contenuto >25% di pelite) si estendono oltre la batimetrica dei 4 m ininterrottamente da Cesenatico fino a Rimini, mentre nella carta di Dal Cin et alii (1979) questo avveniva in modo più localizzato (Figura 162, Figura 163).

Negli anni '70, quantità elevate di fango in corrispondenza di foci fluviali erano state rilevate a nord del Reno, all'altezza del Rubicone, del Rio Pedrera e del Marecchia (Dal Cin et al., 1979). Attualmente, arricchimenti in fango sono stati rinvenuti alle foci del Lamone, del torrente Marano e del Savio (Figura 161, Figura 162, Figura 163).

5.4.2 Diametro medio: confronto 1971/72 - 2012

Per quanto riguarda il diametro medio, la relativa mappa al 2012 è stata invece impostata sulla base delle classi granulometriche della scala di Udden and Wentworth (Figura 129, di abbassamento nel periodo

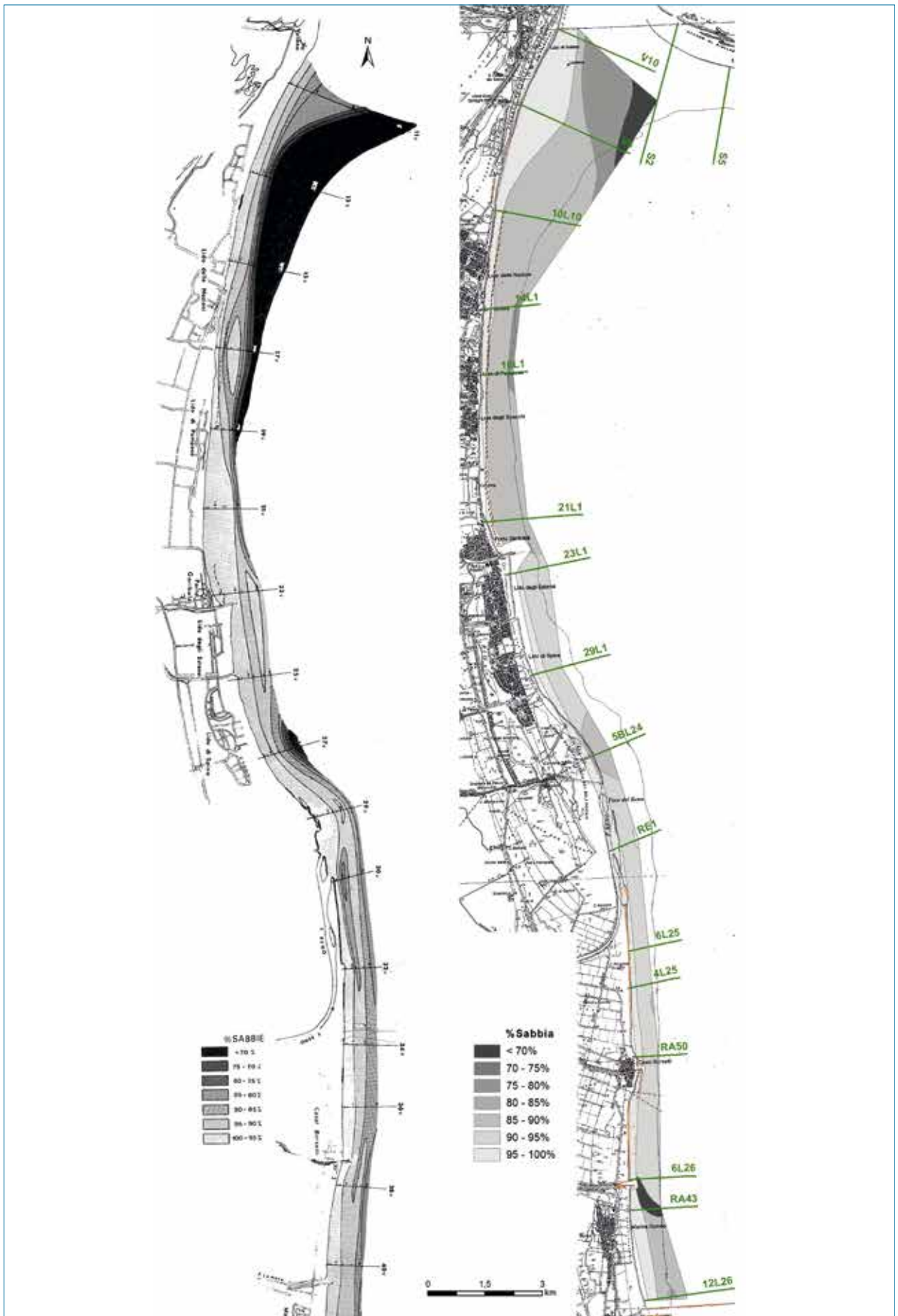


Figura 160 - Tratto Volano – Porto Corsini, confronto tra le mappe della distribuzione percentuale di sabbia e pelite di Bondesan et alii (1978 a sinistra) e Arpa (2012 a destra).

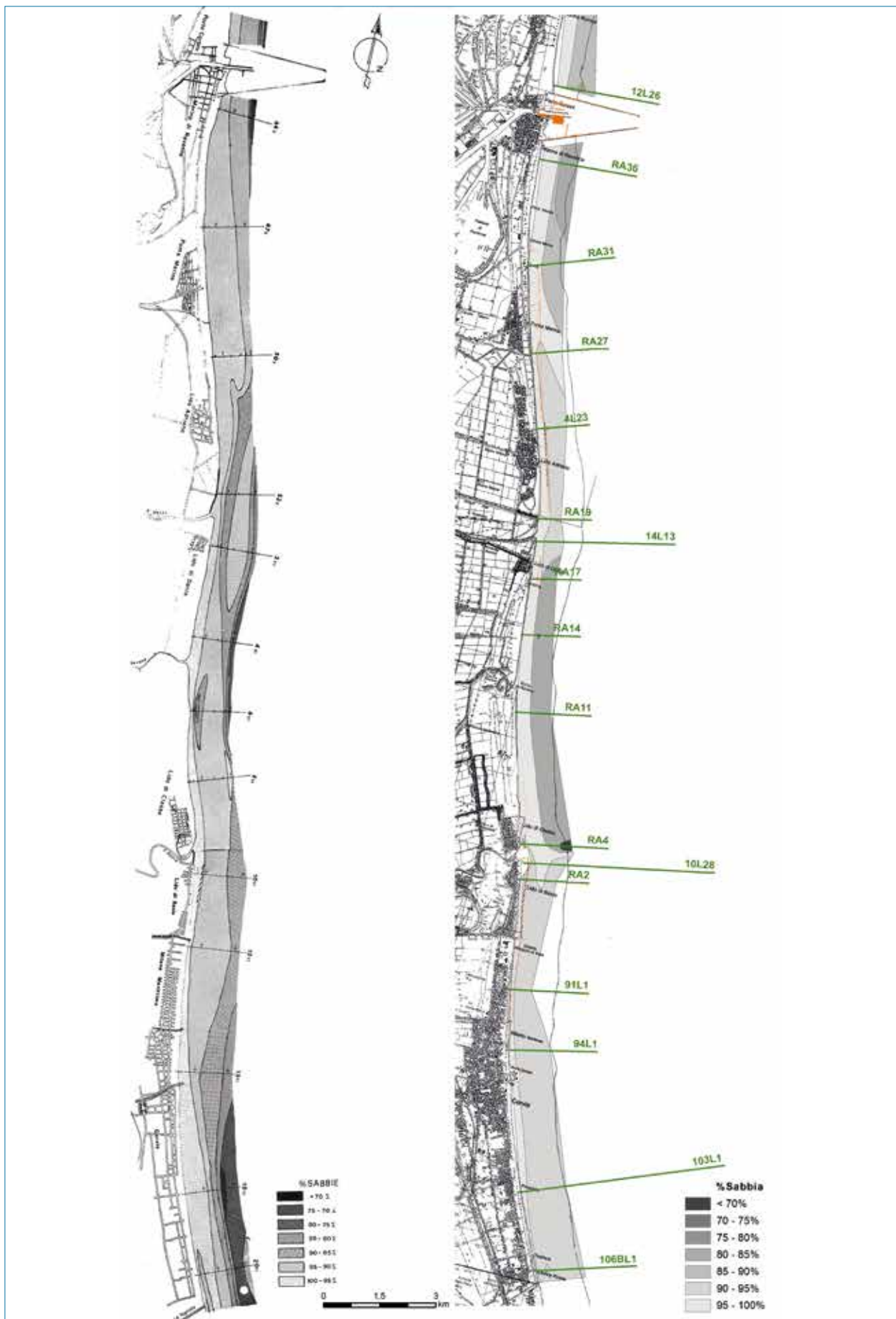


Figura 161 - Tratto Porto Corsini/Tagliata di Cesenatico, confronto tra le mappe della distribuzione percentuale di sabbia e pelite di Bondesan et alii (1978 a sinistra) e Arpa (2012 a destra).

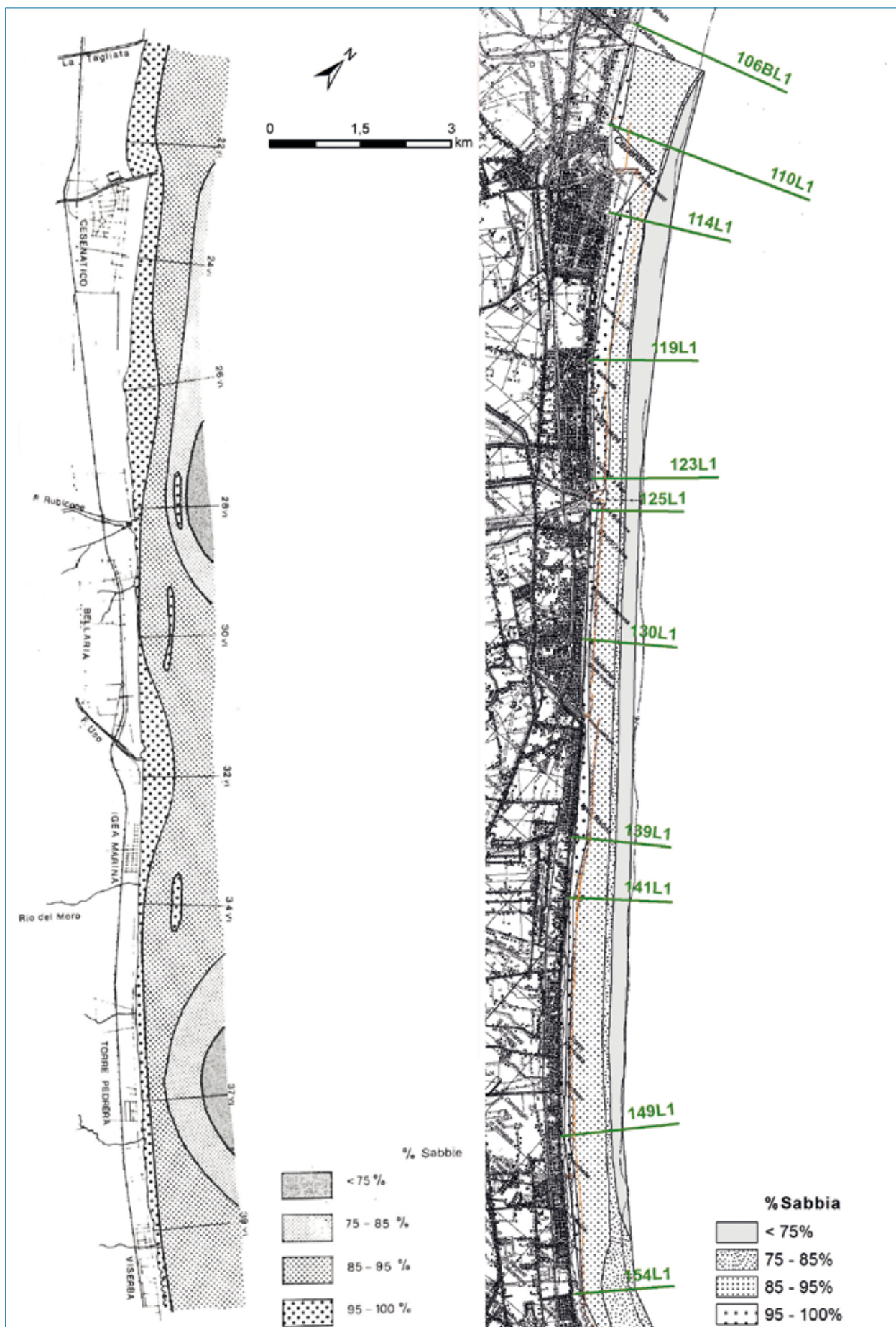


Figura 162 - A sinistra: mappa della distribuzione percentuale della pelite e della sabbia tra Cesenatico e Viserba tratta dal lavoro di Dal Cin et alii (1979); a destra: analoga mappa ottenuta dai dati Arpa 2012.

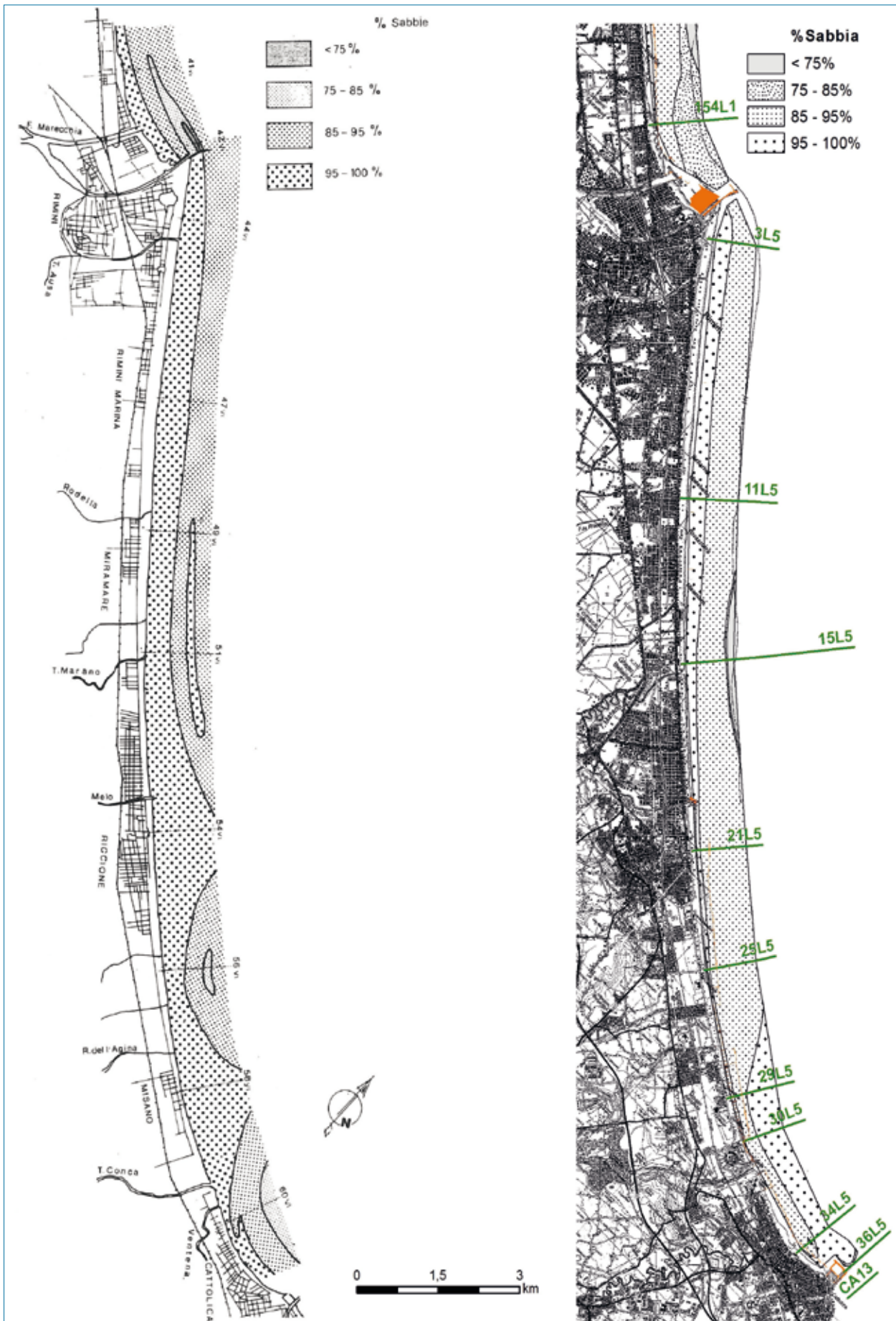


Figura 163 - A sinistra: mappa della distribuzione percentuale della pelite e della sabbia tra Viserba e Cattolica tratta dal lavoro di Dal Cin et alii (1979); a destra: analoga mappa ottenuta dai dati Arpa 2012.

1987-1999 (mm/anno), quindi secondo tagli granulometrici molto diversi rispetto a quelli adottati nelle mappe dell'Università di Ferrara. In esse vengono distinte ben tre classi in un intervallo granulometrico molto ristretto compreso tra i 2,5 e 4 phi (0,176-0,063 mm, corrispondente a parte della classe delle sabbie fini e all'intera classe delle sabbie molto fini, Figura 164 a e b) e, d'altro canto, viene trattato in maniera indistinta tutto ciò che è inferiore o mag-

giore alle suddette classi: quindi risultano accorpate sabbie grossolane, medie e (in parte o del tutto) le sabbie fini, così come silt con argilla.

In questo caso, per agevolare il confronto, si è ritenuto opportuno adeguare le carte degli anni '70 a quelle realizzate nell'ambito della campagna 2012 e non viceversa, come fatto per la mappa della distribuzione della pelite. L'adeguamento è consistito in una semplificazione delle mappe riportate

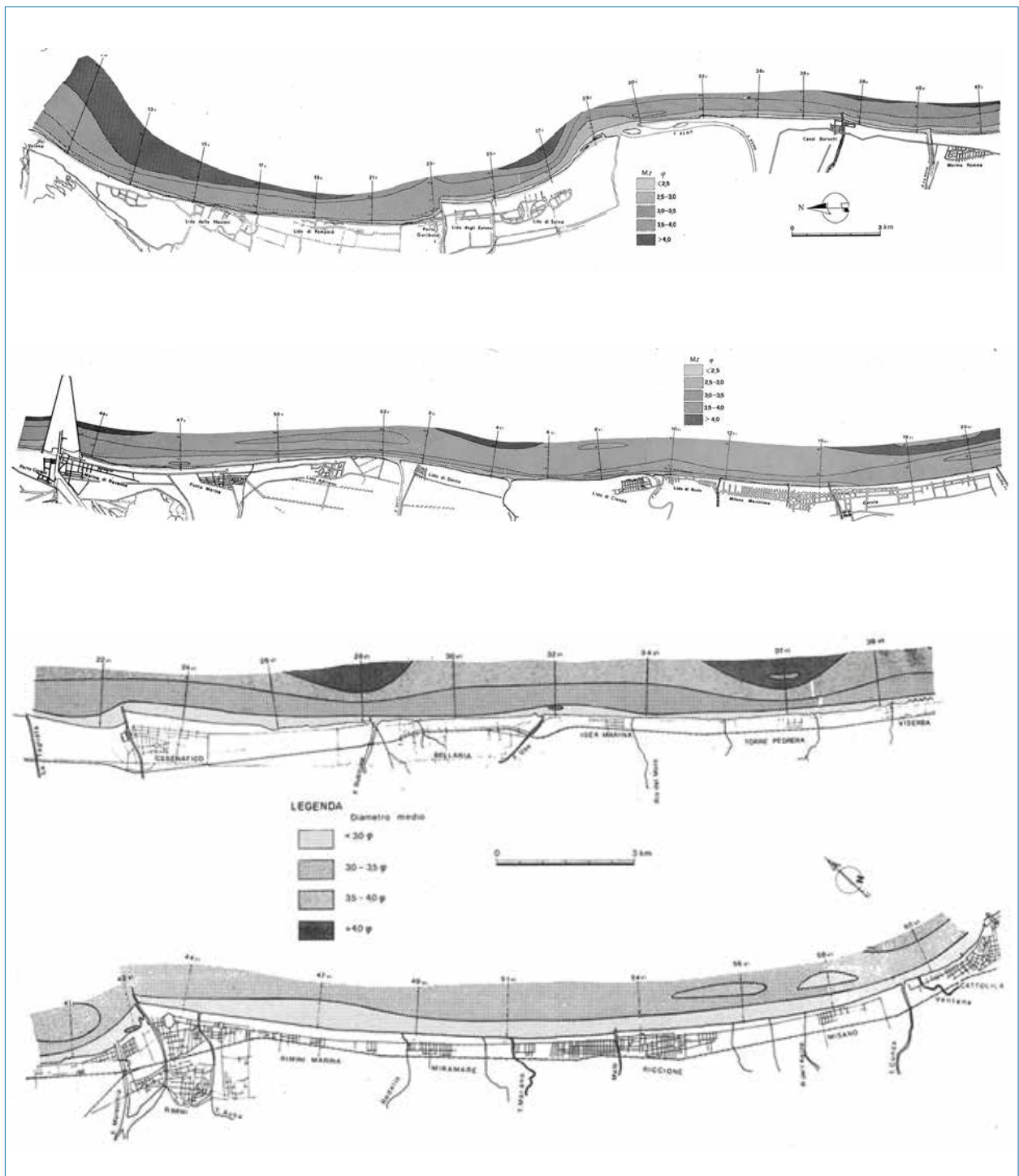


Figura 164 - Mappe del diametro medio basate sui campionamenti degli anni 1971-1972 nella versione originale (Bondesan et al., 1978; Dal Cin et al., 1979).

nei due articoli degli anni '70 (Figura 164) che ha portato ad accorpare alcune classi granulometriche secondo lo schema riportato nella Figura 165. A livello generale, 40 anni fa lungo il litorale regionale la frazione sabbiosa aveva granulometria generalmente inferiore a 0,350 mm, raramente, e solo in battigia, superava i 0,5 mm. Secondo Bondesan et alii (1978), il 90% dei campioni raccolti tra Volano e Cesenatico risultava avere un diametro medio compreso tra 0,250 mm e 0,063 mm (classi della sabbie fine e molto fine; Figura 164). Anche nel 2012 (Figura 130) è stata riscontrata la prevalenza di queste granulometrie, ma in percentuale inferiore (75%).

Confrontando le nuove carte ottenute per i campionamenti 1971/72 con quelle del 2012 (Figura 166, Figura 167) si osserva come, su spiaggia emersa e primi fondali, i sedimenti avevano diametro medio maggiore di 0,125 mm, solo il tratto tra Cervia e Cesenatico era più fine (sabbia molto fine); la campagna 2012 ha evidenziato come la spiaggia emersa e primi fondali siano ora composti da prevalenti sabbie fini (0,125 mm <dm<0,250 mm), sull'intero litorale, quindi anche tra Cervia e Cesenatico. Negli anni '70, Bondesan et al. segnalavano la presenza di una fascia di sedimenti relativamente grossolani (>0,125 mm) tra la spiaggia emersa e i 2 m di profondità, tra Lido degli Estensi e Lido di Savio (Figura 166, Bondesan et al., 1978). Attualmente questo tratto è contraddistinto, anche se in maniera discontinua, da sabbie medie che tra Lido degli Estensi e la foce del Reno si estendono fino a 1 o 2 m di fondale, mentre tra il Bevano e i Fiumi Uniti raggiungono, e a tratti superano, i 3 m di profondità (Figura 166). L'intero tratto da Porto Garibaldi a Casal Borsetti appare caratterizzato da fondali più grossolani (sabbia fine,

Figura 166). Negli anni '70 la spiaggia sommersa era caratterizzata principalmente da sabbia molto fine e i fondali diventavano siltosi verso il largo da Volano a Lido di Pomposa, a nord della foce del Reno, tra Casal Borsetti e Marina di Ravenna, a Lido di Dante, tra Cervia e Cesenatico, davanti al Rubicone e in corrispondenza di Torre Pedrera (Figura 166, Figura 168, Figura 169). Anche attualmente le spiagge sommerse sono prevalentemente caratterizzate da sabbie molto fini, che in alcune zone passano verso il largo a sedimenti con granulo medio delle dimensioni del silt (Figura 166, Figura 167, Figura 168, Figura 169). Si segnala la scomparsa nel 2012 di sedimenti fini (<0,063 mm) sui fondali davanti alla foce del Reno, a Porto Corsini e al fiume Bevano (Figura 166), mentre negli altri tratti sono state rilevate alcune differenze di seguito riportate. Ad esempio, 40 anni fa risultavano tra i più grossolani i fondali compresi tra Pomposa e la foce del Lamone (Figura 166, Bondesan et al., 1978). Attualmente davanti a Lido di Pomposa e a Lido degli Scacchi, e alla foce del Lamone i fondali sono molto più fini: il silt è presente già alla profondità di 3 m, (Figura 166) mentre il tratto da Porto Garibaldi a Casal Borsetti si differenzia per essere caratterizzato da fondali più grossolani (sabbia fine, Figura 167) sia rispetto alle zone circostanti attuali che rispetto anche a quelli che risultavano dai rilievi degli anni '70 che erano comunque dell'ordine della sabbia molto fine.

Negli anni '70 a nord di Rimini, fino a Cesenatico, i sedimenti con diametro medio maggiore di 0,125 mm si limitavano a raggiungere la batimetrica di 1-2 m, i fondali erano prevalentemente rappresentati dalla sabbia molto fine e, davanti a Torre Pedrera e al Rubicone, si assisteva ad un passaggio verso il largo da aree con sedimenti siltosi (Figura 168). Anche i

Diametro medio (mm)	Bondesan et al., 1978 originale	Dal Cin et al., 1979 originale	Legenda anni '70 adattata	Legenda 2012
>0.125				
0.125-0.63				
<0.63				

Figura 165 - Confronto tra le legende delle mappe del diametro medio riportate negli articoli di Bondesan et al., 1978 e Dal Cin et al., 1979, e una legenda (a colori) ideata per "adattare" le mappe degli anni '70 e facilitare il confronto con le carte basate sui dati sedimentologici del 2012.

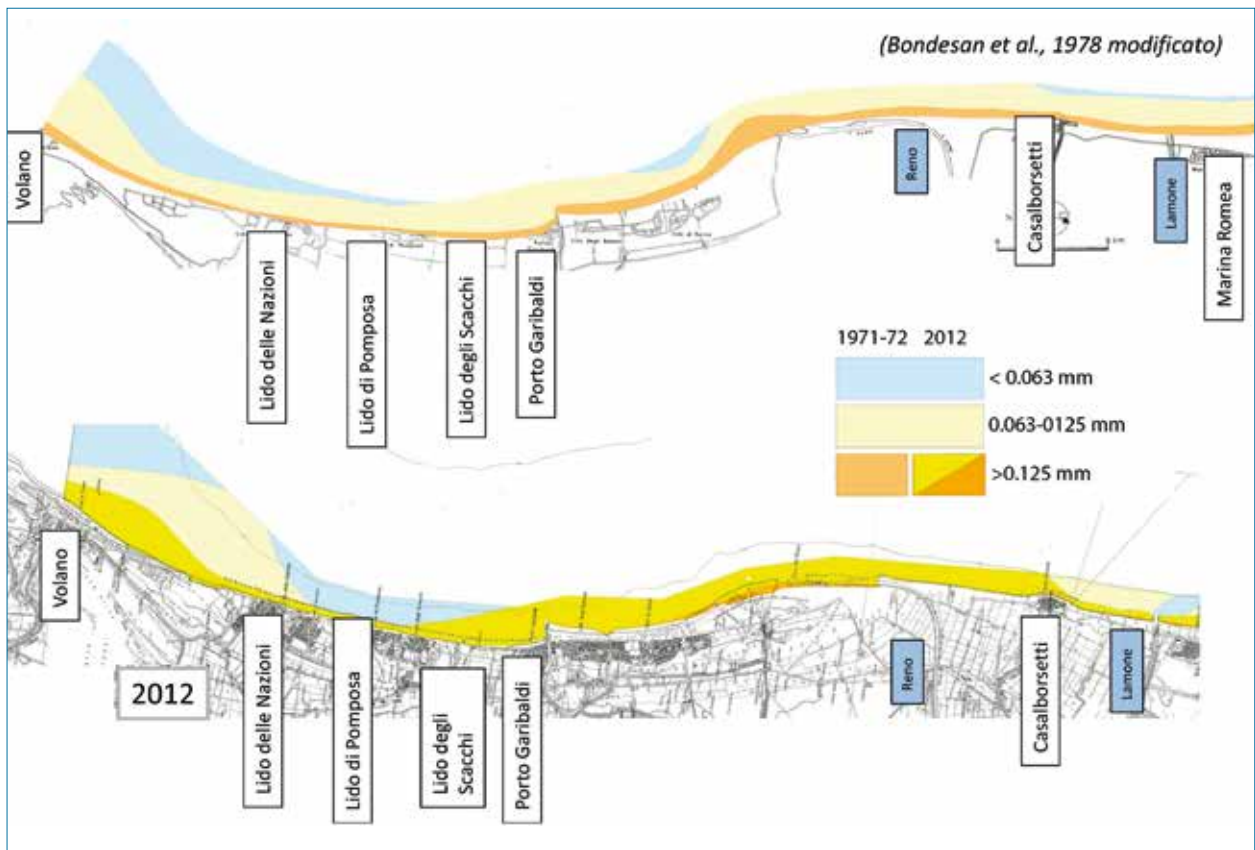


Figura 166 In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Bondesan et alii (1978) modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpa 2012.

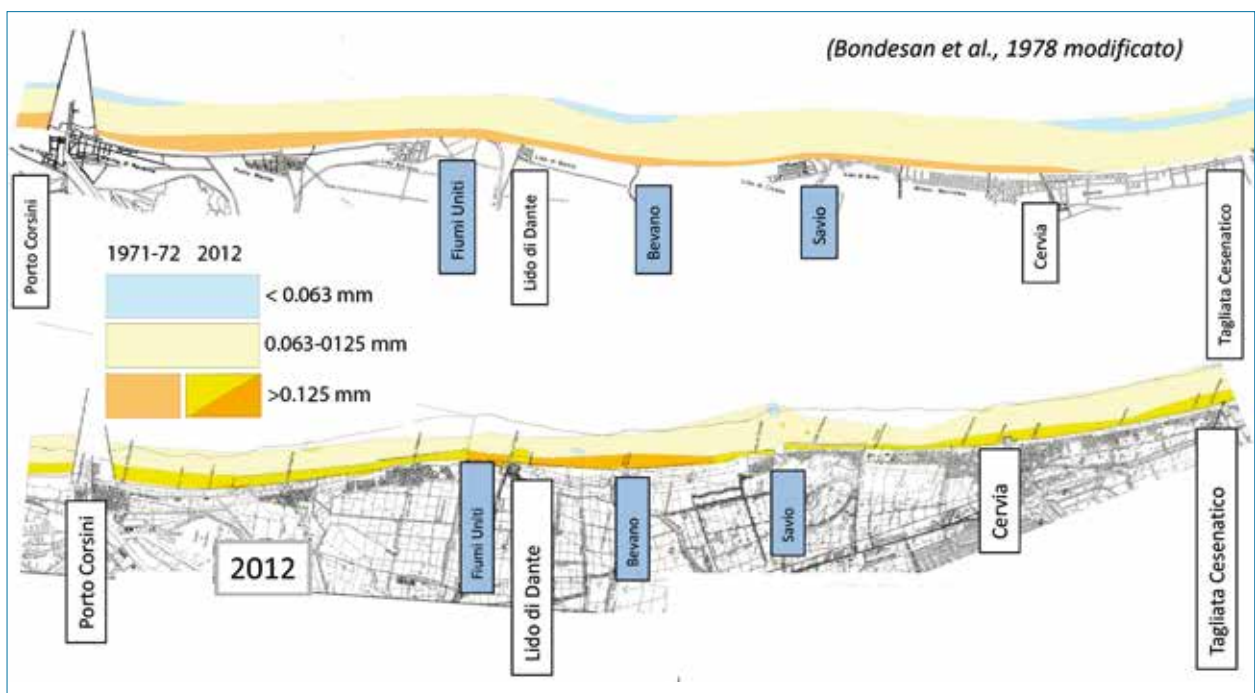


Figura 167 - In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Bondesan et alii (1978) modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpa 2012.

dati attuali mostrano una situazione simile, con la differenza che ora la granulometria diminuisce in modo più regolare con la profondità, arrivando al silt lungo tutto il paraggio tra Cesenatico e Rimini (Figura 169).

In base alle ricostruzioni di Dal Cin et alii (1978), a sud di Rimini la fascia dei materiali con diametro medio maggiore di 0,125 mm si estendeva fino alla profondità di 3 m ed oltre tale batimetrica i fondali

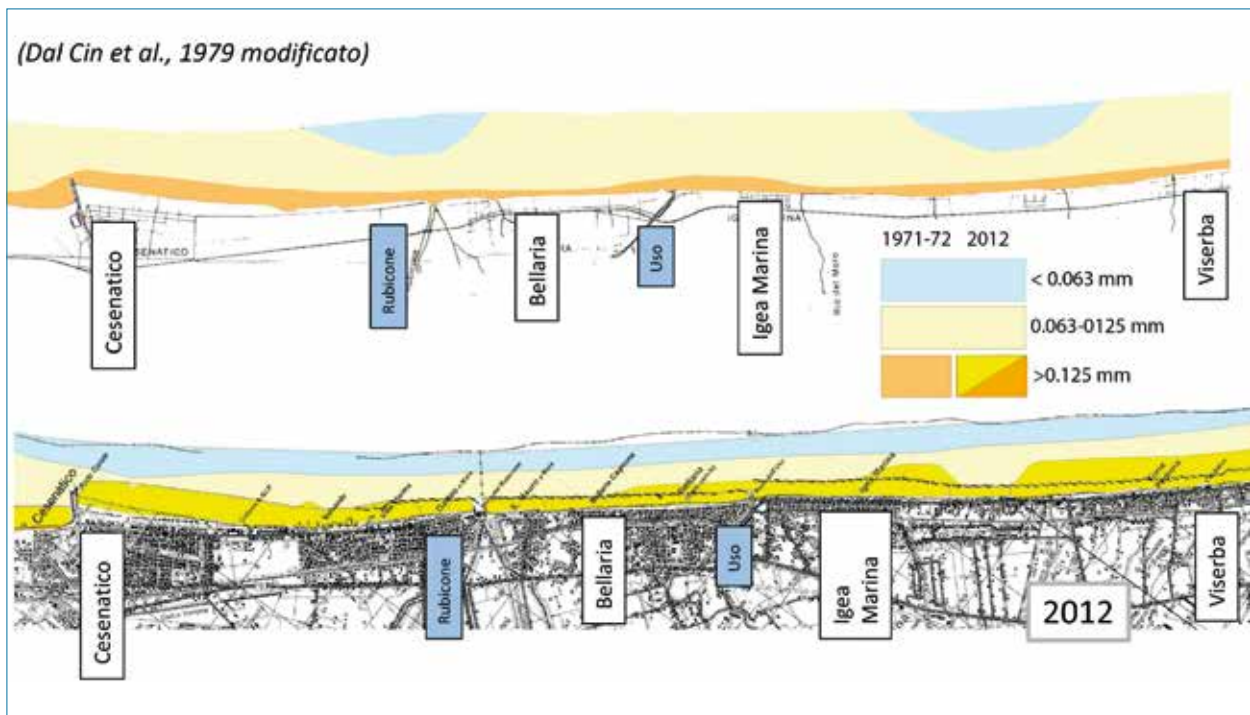


Figura 168 - In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Dal Cin et alii (1979) modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpa 2012.

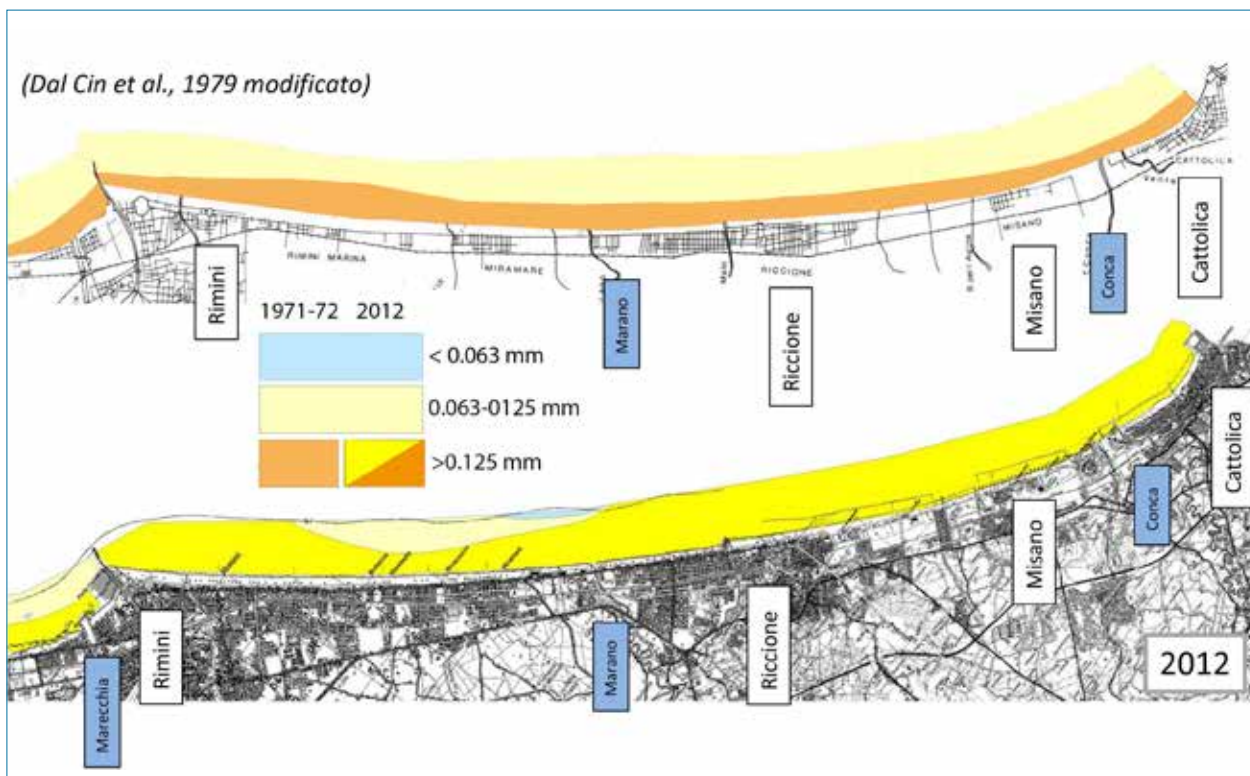


Figura 169 - In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Dal Cin et alii (1979) modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpa 2012.

erano caratterizzati da sabbia molto fine (Figura 169). Nel 2012 i fondali in questa zona sono mediamente più grossolani: le sabbie fini (0,125-0,250

mm) raggiungono i 6 m di profondità a parte nel settore a nord di Misano dove si osserva sabbia molto fine e pelite verso il largo (Figura 169).

6. Conclusioni

Una parte significativa della costa emiliano-romagnola è soggetta all'erosione, fenomeno che ha iniziato a interessare il litorale a partire dai primi decenni del '900, ma che ha raggiunto una elevata intensità nella seconda metà del secolo.

L'attività antropica ha accelerato e inasprito i processi erosivi, che da sempre operano naturalmente a differenti scale temporali e spaziali sui litorali, interagendo con tali sistemi in maniera diretta e indiretta.

Con la regimazione dei bacini fluviali e l'escavazione in alveo è venuta a mancare l'alimentazione sedimentaria delle spiagge.

L'estrazione di fluidi (acqua e gas) dal sottosuolo in prossimità della costa ha portato a un aumento del tasso di subsidenza, producendo un crescente spazio da riempire (quello che in geologia viene definita "accomodation") e che in termini di erosione costiera si traduce in perdita di volume a carico della spiaggia.

Il riscaldamento globale sta provocando un aumento del livello del mare ed i relativi impatti sulle coste.

La costruzione di strutture rigide per proteggere la costa, la realizzazione di opere portuali e l'urbanizzazione a ridosso delle spiagge hanno prodotto un irrigidimento della costa e una riduzione degli spazi di azione dei naturali processi costieri.

La Regione Emilia-Romagna ha iniziato ad occuparsi dell'erosione costiera nel 1979, nonostante le competenze fossero dello Stato, commissionando ai suoi Enti strumentali studi e monitoraggi e contrastando attivamente il fenomeno con opere di difesa rigide (es. scogliere in massi), oltre a ricostruire molte spiagge con ripascimenti artificiali. Dal 1983 al 2012 sono stati apportati 9,5 milioni di mc di materiale sabbioso sul litorale emiliano-romagnolo.

Nella presente relazione sono riportati sinteticamente i risultati del quinto monitoraggio topo-batimetrico e della seconda campagna sedimentologica del litorale regionale, realizzati nel 2012. Prima di procedere alla presentazione dei dati si precisa che il quadro che viene fornito riguarda il solo fronte mare del litorale che è composto da due unità.

La prima va da Cattolica allo Scannone di Volano (circa 110 km) ed è costituita da spiaggia bassa e sabbiosa. La seconda corrispondente al sistema lagunare della Sacca di Goro è composta da un

tratto fronte mare (circa 11 km), che comprende lo Scanno e la bocca della laguna e da un tratto interno alla laguna (che non verrà preso in esame).

6.1 I risultati della seconda campagna sedimentologica

Nello studio dei litorali il dato sedimentologico rappresenta una importante fonte di informazioni per quanto riguarda le caratteristiche fisiche e idrodinamiche dei sistemi costieri.

La distribuzione granulometrica dei sedimenti nell'ambiente deposizionale di spiaggia, oltre ad essere controllata dall'energia delle onde, dalla morfologia dei fondali, dipende dall'apporto solido fluviale e dalla presenza di ripascimenti o strutture realizzate contro l'azione dei processi erosivi.

Per questi motivi, nell'ambito della 5ª campagna topo-batimetrica della costa regionale, è stata svolta nel 2012 una campagna integrativa sedimentologica che ha interessato l'intero litorale, la seconda nella storia del rilievo delle reti di monitoraggio costiero gestite da Arpae.

I risultati del presente studio sedimentologico sono stati:

- la caratterizzazione tessiturale dei sedimenti presenti attualmente sulla spiaggia emersa e sommersa lungo la costa regionale,
- l'individuazione delle modificazioni tessiturali avvenute nei vari tratti costieri attraverso il confronto con i dati della campagna effettuata nel 1993 per il "Piano Costa 1996" e con quelli acquisiti dall'Università di Ferrara nel 1971-1972 (Bondesan et al., 1978; Dal Cin et al., 1979). In merito a questi confronti è necessario precisare che sono stati adottati vari accorgimenti per uniformare i dati presenti con i dati raccolti in passato.

Sedimentologia 2012

Al 2012, il litorale emiliano-romagnolo risulta composto da sabbie prevalenti, e in minor misura, e solo sulla spiaggia sommersa, da sabbie siltose e da silt.

Esaminando il diametro medio dei sedimenti, è risultato che il 56% dei campioni è rappresentato dalla classe della sabbia fine (0.25-0.125 mm), il 21% da quella della sabbia molto fine (0.125-0.063 mm), il 12% da quella della sabbia media (0.5-0.25 mm) e il 10% ha le dimensioni del silt (0.063-0.002 mm).

Per quanto riguarda il grado di selezione dei campioni, nella maggior parte dei casi esso tende a peggiorare con la profondità. Sulla spiaggia emersa e nei primi fondali i sedimenti sono prevalentemente moderatamente ben selezionati e pochi campioni sono ben cerniti. Verso il largo la maggior parte dei campioni è poco selezionata. Diversamente, in corrispondenza di spiagge vicine a foci e protette da opere (vedi ad esempio Savio), i sedimenti prossimi alla riva risultano meno cerniti di quelli più profondi.

Lungo il litorale regionale la maggior parte delle spiagge emerse e dei primi fondali (fino a -2,5 m e -3 m) è composta da sedimenti con diametro medio delle dimensioni della sabbia fine. Esistono tuttavia vari tratti costieri caratterizzati da depositi più grossolani con granulo medio dell'ordine della sabbia media: da Cesenatico a Cervia, le spiagge vicino al Bevano, la zona a ridosso dei Fiumi Uniti, la spiaggia nord di Punta Marina a sud del pennello del Ruvido, il tratto tra Marina Romea e Lido degli Estensi e lo Scanno di Goro (Figura 129). Ad eccezione delle ultime due spiagge appena elencate, tutte le altre sono accomunate da forti fenomeni erosivi e questo suggerisce che si tratti di materiali depositati in precedenza e "rimessi in gioco" da moto ondoso e correnti più che dall'apporto attuale dei fiumi stessi.

Il diametro medio sui fondali tra i 3 e i 7 metri di profondità è molto variabile da zona a zona.

I depositi più grossolani, con granulo medio delle dimensioni della sabbia fine, sono stati individuati nei tratti tra Cattolica e Rimini e tra Casal Borsetti e Porto Garibaldi.

Sedimenti con diametro medio delle dimensioni delle sabbie molto fini sono stati osservati fino a 6-7 m di profondità a Miramare, lungo la costa compresa tra Cesenatico e Casal Borsetti e tra Lido delle Nazioni e Volano (Figura 129).

Sui fondali tra Rimini e Cesenatico e lungo lo Scanno di Goro è stata osservata una diminuzione del granulo medio verso il largo consistente nel passaggio da sabbie molto fini (presenti fino a circa 4-5 m di profondità) a silt.

Infine, nei fondali davanti al Lamone e tra Lido degli Scacchi e Lido delle Nazioni, in questo caso al di fuori delle scogliere, il silt è presente già a 3-4 metri di profondità (Figura 32).

Per quanto riguarda la frazione pelitica, sono state fatte le seguenti osservazioni. Sulla spiaggia emer-

sa, fino alla profondità di 2-3 metri nel tratto a sud del Savio, e fino a 3-4 metri a nord dello stesso, la percentuale di pelite è inferiore al 5%.

Al di sotto delle suddette profondità, i fondali contraddistinti dalle più basse percentuali di pelite (<15%) sono quelli compresi tra Cattolica e Rimini, tra Cesenatico e Lido di Savio, tra Lido di Dante e Punta Marina, tra Porto Corsini e Lido degli Estensi (Figura 137, Figura 138).

Leggermente maggiore la percentuale di fango (<20%) tra Foce Savio e Lido di Dante, a Marina di Ravenna, tra Porto Garibaldi e Lido degli Scacchi, Lido delle Nazioni.

A Rimini nord, a Lido di Pomposa e a Lido di Volano la percentuale di pelite raggiunge il 25%.

A Volano il fango raggiunge il 90% con il 10% di argilla. Quantità elevate di pelite (40%) sono state osservate anche alla foce del Lamone e davanti alla foce del Savio (90%) (Figura 137, Figura 138).

Confronti con le campagne sedimentologiche passate

Rispetto alla campagna del 1994, nel 2012 l'analisi sedimentologica ha messo in luce cambiamenti tessiturali pressoché trascurabili a livello di battigia e primi fondali (la spiaggia emersa non era stata campionata nel 1994), e modificazioni più accentuate nei fondali al di sotto dei 2 m di profondità, diversificate da zona a zona.

È stato osservato un aumento relativo della granulometria tra Cattolica e Viserbella, e tra la foce dei Fiumi Uniti e Lido delle Nazioni. A Volano analogamente al 1993, si segnala che nel 2012 sono stati individuati alcuni dei campioni più fini campionati sulla costa (per il 90% pelitici), ma limitatamente a una zona circoscritta davanti alla bocca della laguna.

Una tendenza inversa, e quindi una generale diminuzione di granulometria, è stata riscontrata tra Viserbella e Fiumi Uniti.

Risultano infine pressoché invariati i fondali tra Cesenatico Ponente e Milano Marittima.

Rispetto a 20 anni fa, è stato rilevato un arricchimento generalizzato di fango a tutte le profondità e su tutta la costa, particolarmente accentuato in corrispondenza dei fiumi, che potrebbe essere imputabile in parte all'incidenza dei processi fluviali e in parte, vista la diffusione, anche a differenze nelle modalità di campionamento adottate durante le due campagne di prelievo.

L'arricchimento in pelite ha influito molto sul coefficiente di cernita, peggiorandolo e incidendo in

particolare sui sedimenti presenti lungo la spiaggia sommersa.

Dal confronto con la campagna sedimentologica condotta dall'Università Ferrara nel 1971-1972, seppur in parte qualitativo, sono emerse numerose similitudini con il quadro tessiturale attuale e limitate differenze puntuali consistenti in prevalenti aumenti delle granulometrie.

Secondo Bondesan et alii (1978), il 90% dei campioni raccolti tra Volano e Cesenatico risultava avere un diametro medio compreso tra 0,250 mm e 0,063 mm (classi della sabbie fine e molto fine) e anche nel 2012 è stata riscontrata una prevalenza di sabbia fine e sabbia molto fine (75%).

Lo studio degli anni '70 annoverava tra le zone caratterizzate dai sedimenti più grossolani quelle comprese tra spiaggia emersa e i 2 m di profondità tra Lido degli Estensi e Cervia (Figura 166, Figura 167, Bondesan et al., 1978). Nel complesso la situazione attuale è simile a quella di allora: lungo questo paraggio la spiaggia emersa e i primi fondali sono caratterizzati da diametri medi delle dimensioni delle sabbie medie, fanno eccezione le spiagge di Lido di Classe, di Lido di Dante e del tratto che va da Lido Adriano a Marina Romea composte da prevalenti sabbie fini. Questa differenza granulometrica è dovuta al fatto che in tali spiagge, oltre ad essere presenti opere di protezione, sono stati effettuati ripascimenti con sabbie che molto presumibilmente avevano granulometria più fine di quella naturale della spiaggia (Figura 166, Figura 167, Figura 129).

La spiaggia emersa e i primi fondali tra Cervia e Cesenatico nel 2012 risultano relativamente più grossolani (Figura 167).

Per quanto riguarda la fascia di litorale investigata più al largo, quella compresa tra 3 e 6-7 m, 40 anni fa i fondali più grossolani (sabbia molto fine) erano quelli compresi tra Pomposa e la foce del Lamone (Figura 166). Attualmente parte di questo paraggio, ovvero il tratto compreso da Porto Garibaldi a Casal Borsetti, è caratterizzato da fondali ancora più grossolani (sabbia fine) (Figura 166 e Figura 129). Il resto è rimasto invariato fatta eccezione per la zona davanti a Lido di Pomposa dove al di fuori delle scogliere, a 3 metri di profondità, i fondali attualmente sono siltosi.

Rispetto agli anni '70, i fondali a sud di Rimini nella fascia compresa tra le batimetriche dei 3 e 6 m sono divenuti più grossolani: secondo Dal Cin

et alii (1979) in questa zona la fascia dei materiali con diametro medio maggiore di 0,125 mm (dalle sabbie fini in su) si limitava solo alla profondità di 3 m, attualmente invece le sabbie fini (0,125-0,250 mm) si estendono fino a 6 m di profondità (Figura 169, Figura 129).

Risulta pressoché invariata la tessitura dei fondali tra Rimini e Cesenatico: la granulometria diminuisce gradualmente come allora con la profondità passando dalla sabbia molto fine al silt, nei campioni più al largo (Figura 168). Tuttavia nel 2012 questa appare essere una condizione estesa con regolarità a tutto il paraggio e non solo osservata localmente.

Per quanto riguarda la distribuzione percentuale della pelite, negli anni '70 i campioni presentavano una porzione fangosa generalmente inferiore al 30%, fatta eccezione per i fondali al largo di Volano e Pomposa dove il fango raggiungeva il 90% dei campioni (Figura 160, Figura 162, Figura 163). Nel 2012, campioni così ricchi di pelite sono stati rinvenuti allo sbocco del fiume Savio e, analogamente ad allora, a Volano ma solo oltre i 5 m di profondità di fronte alla bocca della laguna.

Negli anni '70, quantità elevate di pelite erano state riscontrate ai lati dei moli di Porto Corsini e a nord di Cesenatico. Nel 2012, solo a Cesenatico i sedimenti raccolti nei fondali più al largo presentano oltre il 25% di pelite. Attualmente questi fondali fangosi oltre la batimetrica dei 4 m si estendono ininterrottamente fino a Rimini (Figura 160, Figura 162, Figura 163).

Negli anni '70 erano state osservate quantità elevate di fango in corrispondenza delle foci fluviali del Reno, all'altezza del Rubicone, del Rio Pedrera e del Marecchia (Bondesane et al., 1978, Dal Cin et al., 1979). Attualmente arricchimenti di fango sono stati rinvenuti solo alle foci del Lamone, del torrente Marano e del Savio (Figura 160, Figura 162, Figura 163).

6.2 I risultati della quinta campagna topo-batimetrica

Il primo prodotto ottenuto con il rilievo della rete topo-batimetrica regionale, realizzato nel 2012, è lo stato aggiornato della morfologia della spiaggia emersa e sommersa del litorale regionale.

I dati di questa campagna di rilievi, la 5^a realizzata

lungo l'intero litorale della Regione Emilia-Romagna a partire dal 1984, sono stati confrontati con quelli della 4ª campagna al fine di valutare l'evoluzione delle spiagge nel periodo 2006-2012, e definire la tendenza di queste all'erosione, all'equilibrio o all'accumulo. Per una corretta valutazione del fenomeno dell'erosione costiera sono stati raccolti ed analizzati tutti i dati degli interventi di ripascimento e di prelievo di sabbia realizzati, e di tutte le opere di difesa costruite o oggetto di manutenzione, messi a disposizione dai Servizi Tecnico di Bacino della Regione e dagli Enti Locali attuatori dei vari interventi. Inoltre, sono stati stimati i volumi di sabbia sottratti per subsidenza a partire dai dati di velocità di abbassamento messi a disposizione dalla CTR Gestione Integrata Rifiuti, Siti Contaminati, Subsidenza di Arpae.

Per l'analisi dei dati si è fatto riferimento alle 118 unità elementari (Celle, vedi paragrafo 3.3) in cui è stato suddiviso il litorale regionale ai fini gestionali. Le celle rappresentano tratti costieri di lunghezza variabile, caratterizzati da un'evoluzione della spiaggia emersa e sommersa uniforme (Arpa 2012).

Per la presentazione dei risultati conclusivi è sta-

to riportato il dato aggregato in aree costiere (Macrocelle, vedi paragrafo 3.3), caratterizzate da bilanci sedimentari che si possono considerare a sé stanti a causa del limitato scambio reciproco di sedimenti sabbiosi (Arpa, 2012). Le prime 6 si estendono da Cattolica allo Scannone di Volano, in una fascia di spiaggia bassa e sabbiosa estesa per circa 110 km, e vengono aggregate in un bilancio unico in Figura 170, la macrocella 7 corrisponde alla laguna della Sacca di Goro e viene trattata a parte (Figura 173).

Nel periodo 2006-2012, il tratto di litorale lungo circa 110 km compreso tra Cattolica e Volano (Macrocelle 1-6), ha subito una perdita totale di sabbia di 3,9 milioni di mc (DV-Vimm). Tale dato è stato ottenuto sommando alle perdite ottenute dai rilievi (DV circa 2,3 milioni di mc) i volumi di sabbia portati a ripascimento e provenienti da fonti esterne al sistema litoraneo (Vimm circa 1,6 milioni di mc, Figura 170). Questo risultato rappresenta un cambiamento di tendenza rispetto al periodo precedente, 2000-2006, quando invece era stato rilevato un sostanziale equilibrio (DV-Vimm pari a circa 70.000 mc), nonostante le perdite dovute a subsidenza fossero maggiori (oltre 1,5 milioni di mc nel periodo 2000-2006 contro i

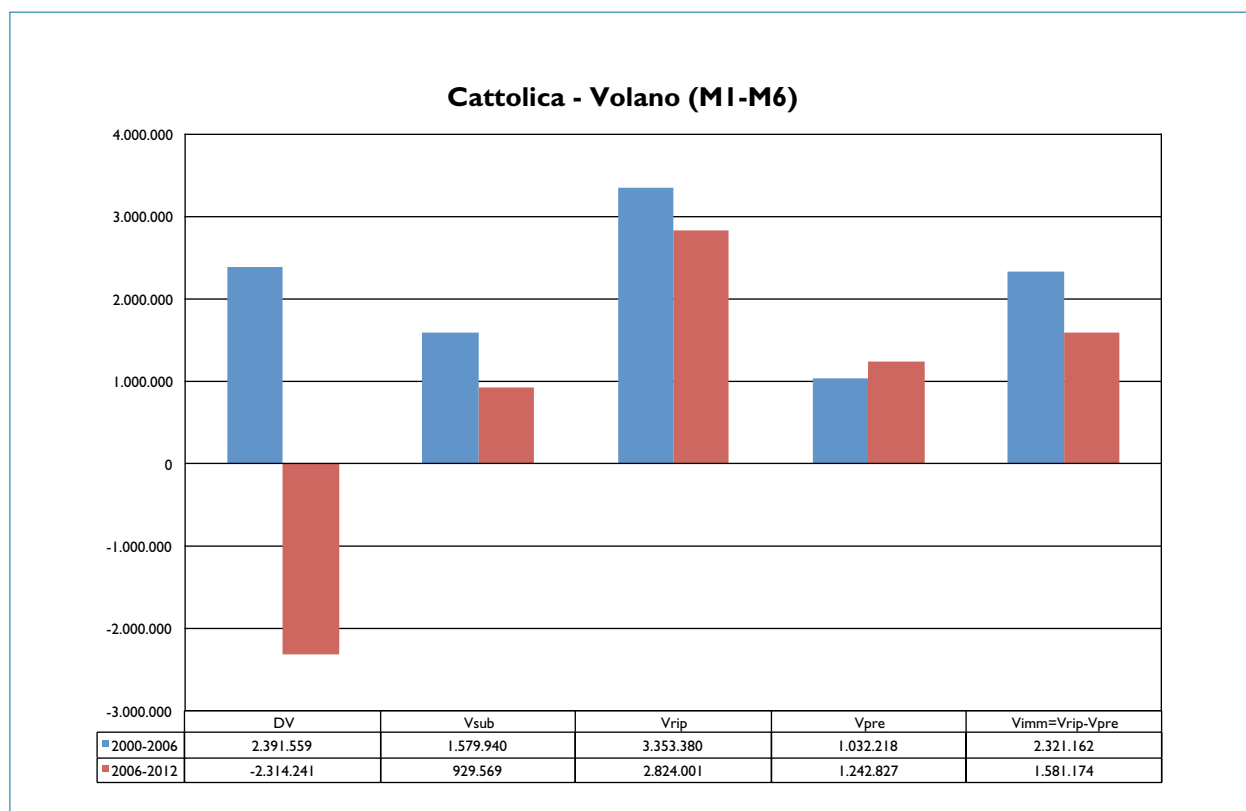


Figura 170 - Cattolica – Volano (M1-M6). Variazione di volume, perdite per subsidenza, ripascimenti e prelievi: confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012 (valori in mc).

0,9 milioni di mc nel 2006-2012). I circa 2,4 milioni di mc di accumulo risultanti dai rilievi (DV) erano dovuti in gran parte agli oltre 2,3 milioni di mc di sabbia portati a ripascimento e provenienti da fonti esterne al sistema (Vimm).

L'andamento negativo, nel periodo 2006-2012, evidenzia che la situazione erosiva del litorale emiliano-romagnolo si è aggravata rispetto al periodo precedente. Ma è importante precisare che questo risultato può essere stato condizionato, almeno in parte, dal fatto che parte del rilievo topo-batimetrico è stato realizzato dopo un periodo di 15-16 giorni caratterizzato da cattive condizioni meteo-marine.

Analizzando le singole macrocelle si osserva che, nel periodo 2006-2012, tutto il paraggio da Cattolica a Porto Garibaldi (macrocelle 1-5) risulta in deficit sedimentario, pur essendo stato alimentato con diversi interventi di ripascimento, mentre il tratto Porto Garibaldi – Foce Po di Volano (macrocella 6) risulta in leggero accumulo (DV=150.000) benchè l'apporto sedimentario dall'esterno (Vimm) sia stato poco meno di 50.000 mc (Figura 171).

Nel periodo 2000-2006 la situazione si presentava più eterogenea. Nel tratto Cattolica – Molo di

Cesenatico (macrocelle 1 e 2) era stato rilevato un accumulo di sedimento di circa 2,2 milioni di mc, a fronte di un volume di sabbia portato a ripascimento delle zone in erosione di poco più di 1,1 milioni di mc (Figura 172).

Il paraggio Porto di Cesenatico - Foce Savio (macrocella 3) risultava anch'esso in accumulo (+430.000 mc) ma dovuto ad un apporto artificiale di sedimento di oltre 580.000 mc.

Il tratto di litorale tra Foce Savio e Porto Garibaldi (macrocelle 4 e 5) risultava in perdita, mentre il paraggio Porto Garibaldi - Foce Po di Volano (macrocella 6), come la macrocella 3, risultava in accumulo (+160.000 mc) grazie ad un apporto di sedimento netto (tra i volumi portati a ripascimento e quelli prelevati) di circa 290.000 mc.

Decisamente diversa è la situazione della macrocella 7, che comprende la bocca di laguna e lo Scanno di Goro, alimentato dal trasporto solido litoraneo proveniente dall'area di Foce Po di Goro. Nel periodo 2006-2012, nella macrocella 7 è stato calcolato un input totale di sabbia di circa 2,263 milioni di mc. Tale valore è stato ottenuto sommando i volumi di sabbia accumulati sulla spiaggia emersa e sommersa e all'estremità occidentale dello Scanno risultanti dai rilievi (DV 764.000 mc), la perdita di

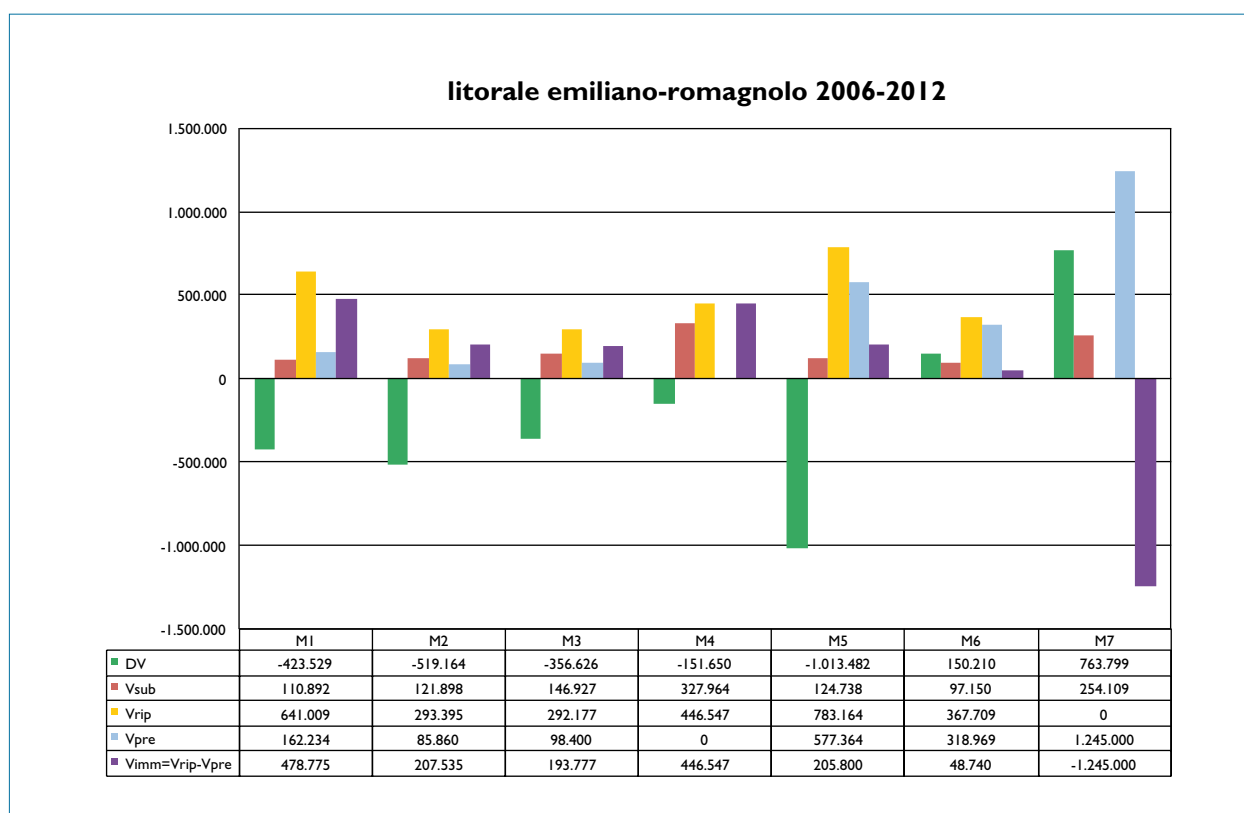


Figura 171 - Litorale Emiliano-Romagnolo: Variazione di volume, perdite per subsidenza, ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2006-2012, aggregati per macrocella (valori in mc).

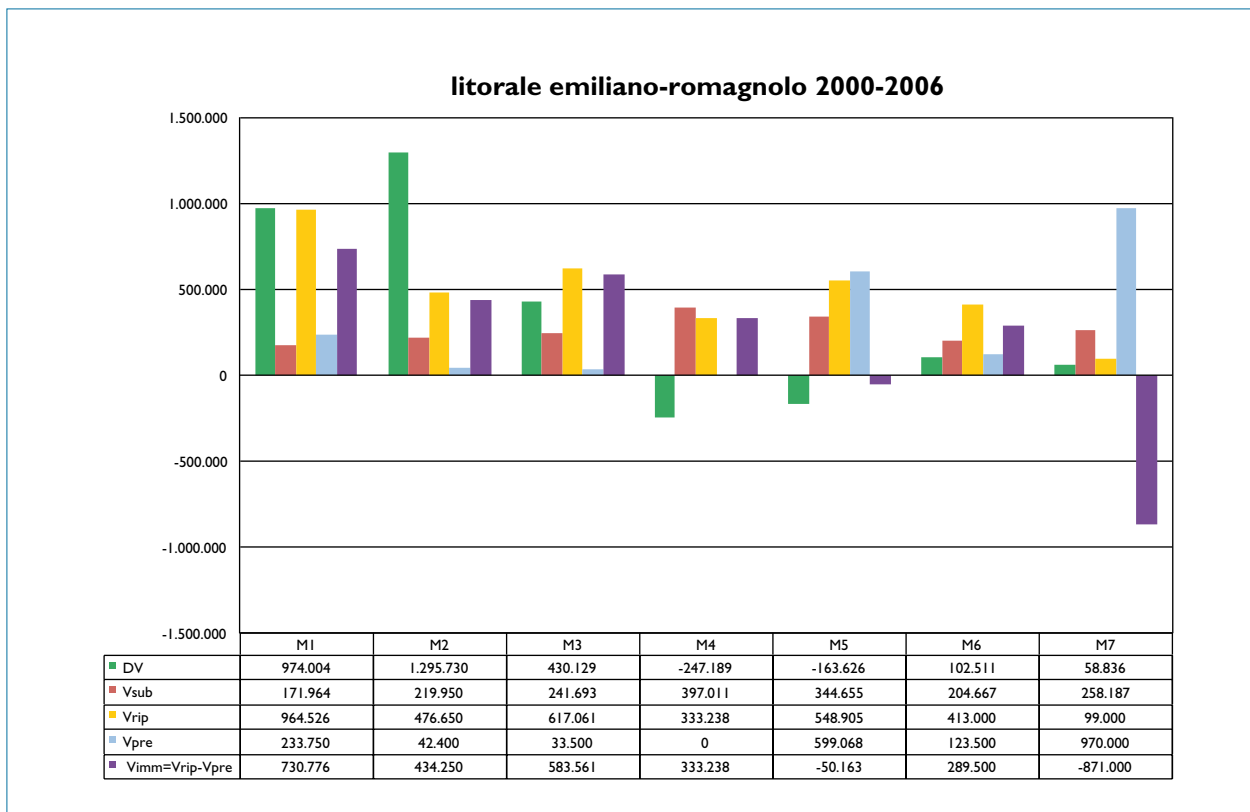


Figura 172 - Litorale Emiliano-Romagnolo: Variazione di volume, perdite per subsidenza, ripascimenti e prelievi effettuati nel periodo 2000-2006, aggregati per macrocella (valori in mc).

volume di sabbia per subsidenza (V_{sub} 254.000 mc) e il quantitativo di sabbia prelevato dall'estremità occidentale dello Scanno di Goro e depositato nella Sacca (V_{pre} 1,245 milioni di mc, Figura 173).

Nel periodo 2000-2006 era stato calcolato un deposito di sabbia inferiore: pari a 1,190 milioni di mc. Di questi, 60.000 mc (DV) erano i volumi di sabbia accumulati lungo la spiaggia risultanti dai rilievi, 258.000 mc (V_{sub}) erano i volumi persi per subsidenza e 871.000 mc ($-V_{imm}$) erano i volumi prelevati e portati all'esterno della macrocella (Figura 173). Di questi ultimi, 850.000 mc erano stati prelevati dalla punta occidentale dello Scanno di Goro e portati nella Sacca. In futuro, considerati i grandi quantitativi disponibili e l'adeguata granulometria (diametro medio 0.35-0.125 mm), bisognerebbe valutare se utilizzare maggiormente la sabbia che si deposita in questa area per ripascere le spiagge in erosione.

Un'indicazione sullo stato di criticità complessivo del litorale utile ai fini gestionali futuri della difesa costiera è fornita dall'analisi dei dati tramite la classificazione ASPE (vedi paragrafo 3.3, Arpa, 2012; Aguzzi et al., 2012). Questo indicatore rappresenta lo stato in cui si troverebbe il litorale in

assenza di interventi di difesa, sulla base dei molteplici aspetti che caratterizzano la costa nel periodo in esame (2006-2012).

In base a tale indicatore, rispetto alla situazione del 2006, nel 2012, il 13% (15 km) delle spiagge è in accumulo, quindi in ottimo stato, il 22% (25 km) è in condizioni di stabilità senza necessità di alcun aiuto, mentre il 65% (77 km) del litorale presenta delle criticità (Figura 174). Tra i tratti critici, si distinguono 44 km di spiagge in evidente erosione (37%, Figura 174) e 33 km mantenuti in equilibrio (28%, 'equilibrio precario' in Figura 174) con vari tipi di interventi (ripascimenti, nuove opere o manutenzione di quelle esistenti).

Tra le spiagge con criticità si distinguono vari casi particolari che meritano delle precisazioni.

Sono state identificate zone particolarmente critiche in cui, per contrastare l'erosione, si è intervenuto e bisogna continuare a intervenire con rilevanti e periodici ripascimenti; in questi tratti è necessario rivedere l'assetto del sistema di opere di difesa. Le zone in questione sono:

- il tratto di Misano protetto con pennelli in roccia e una barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia,

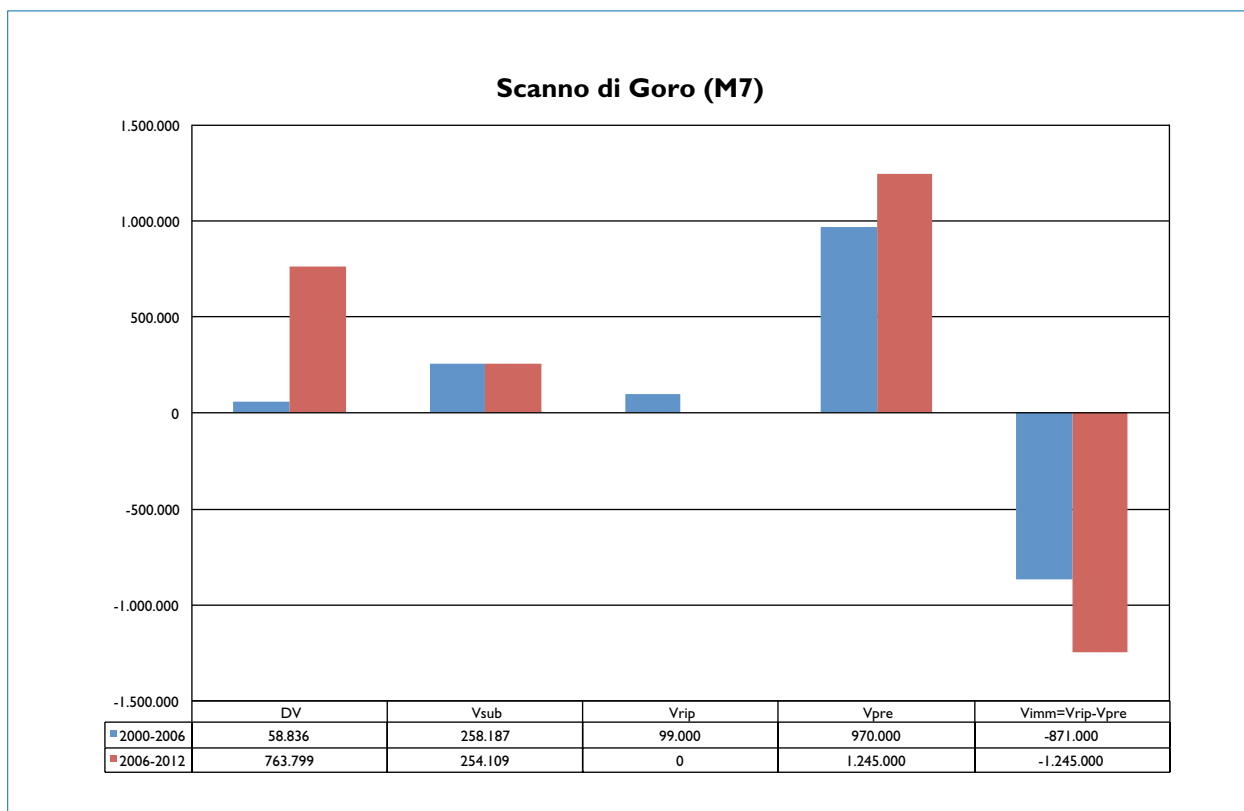


Figura 173 - Scanno di Goro (M7).Variazione di volume, perdite per subsidenza, ripascimenti e prelievi: confronto tra i periodi 2000-2006 e 2006-2012 (valori in mc).

- la spiaggia sud di Riccione,
- il tratto tra le colonie di Cesenatico e Tagliata di Cervia,
- la spiaggia nord di Milano Marittima,
- il tratto a nord della foce Bevano,
- la spiaggia di Lido di Dante fino alla foce dei Fiumi Uniti,
- la spiaggia nord di Punta Marina e quella di Marina Romea,
- il tratto dell'area del Poligono Militare di Foce Reno,
- il tratto dalla foce del Reno alla spiaggia sud di Lido di Spina.

Esistono, poi, altre zone critiche in cui l'erosione è gestibile anche con 'soli' periodici interventi di ripascimento e sono:

- il tratto che va da Cattolica nord a Porto Verde,
- le spiagge comprese tra Viserba di Rimini e Valverde di Cesenatico,
- le spiagge tra Lido Adriano e Punta Marina,
- il tratto di costa tra Porto Garibaldi e Lido di Volano.

Infine sono state identificate delle zone, che pur avendo un'ampia spiaggia e la linea di riva stabile nel periodo in esame, sono da tener monitorate, perché in corrispondenza di esse nel periodo

2006-2012 sono state rilevate delle perdite di sabbia importanti, che per ora hanno interessato prevalentemente la spiaggia sommersa senza dare evidenze su quella emersa. Le località da tenere sotto controllo sono:

- Riccione centro,
- il tratto tra Miramare e Rimini centro,
- la spiaggia di Cervia.

Importante ai fini gestionali è stata l'identificazione, tra le spiagge in buono stato, di zone in accumulo e con ampie spiagge, che sono state e potranno continuare ad essere utilizzate come fonte di prelievo di sabbia per ripascere le aree in erosione. Tali zone sono:

- Porto Corsini,
- Lido degli Estensi,
- lo Scanno di Goro in particolare la zona occidentale.

Un'ultima analisi dei dati 2006-2012 è stata effettuata applicando l'indicatore ASE (vedi ASE paragrafo 3.3, Figura 175) che fornisce il quadro dello stato del litorale a valle degli interventi realizzati dalla Regione Emilia-Romagna e dagli Enti Locali nel periodo in esame.

Da essa emerge che le politiche di difesa adottate

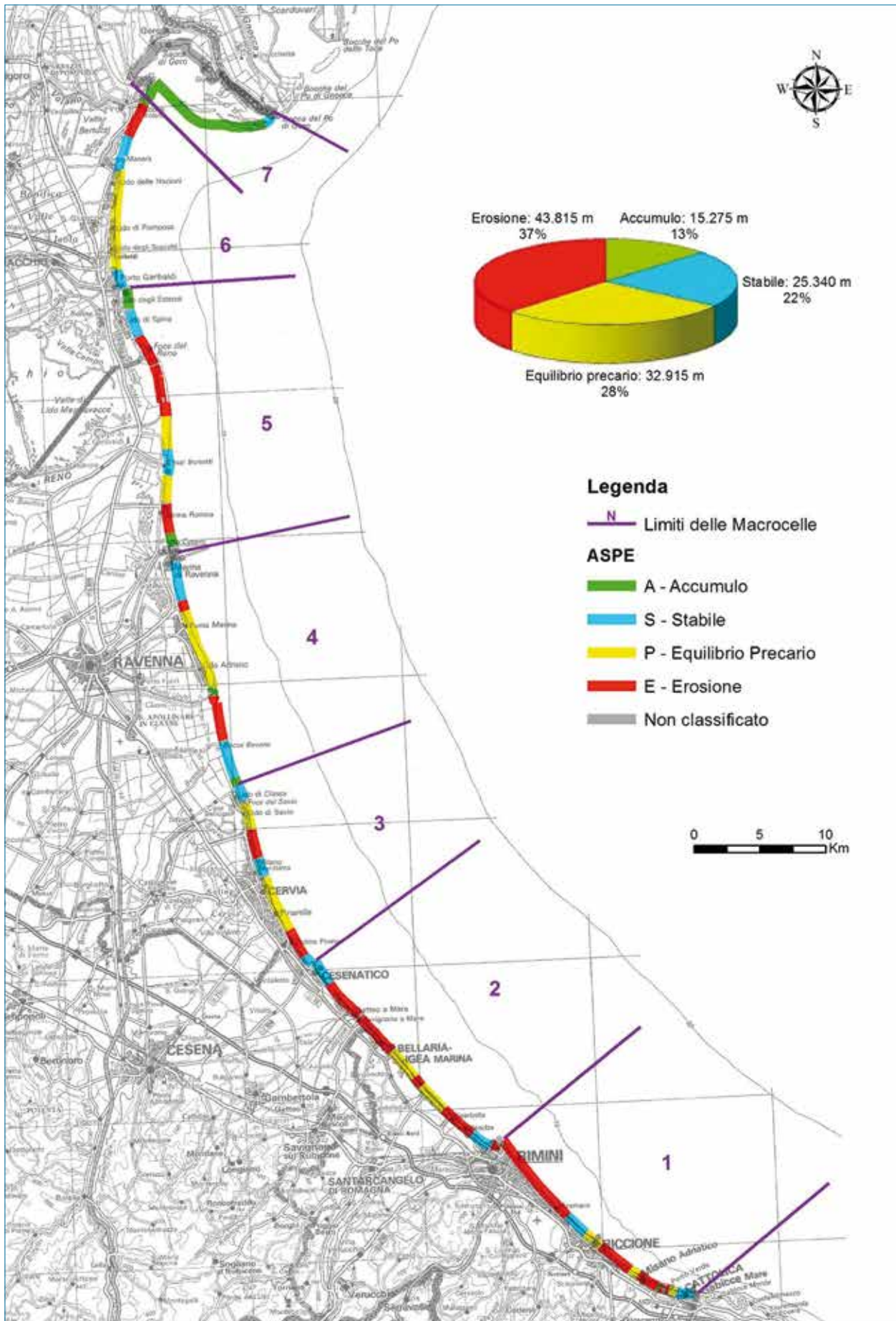


Figura 174 - Stato del litorale emiliano-romagnolo così come si presenterebbe nel 2012 se nel periodo 2006-2012 non fossero stati effettuati da Regione ed Enti locali interventi di difesa (analisi tramite indicatore ASPE).

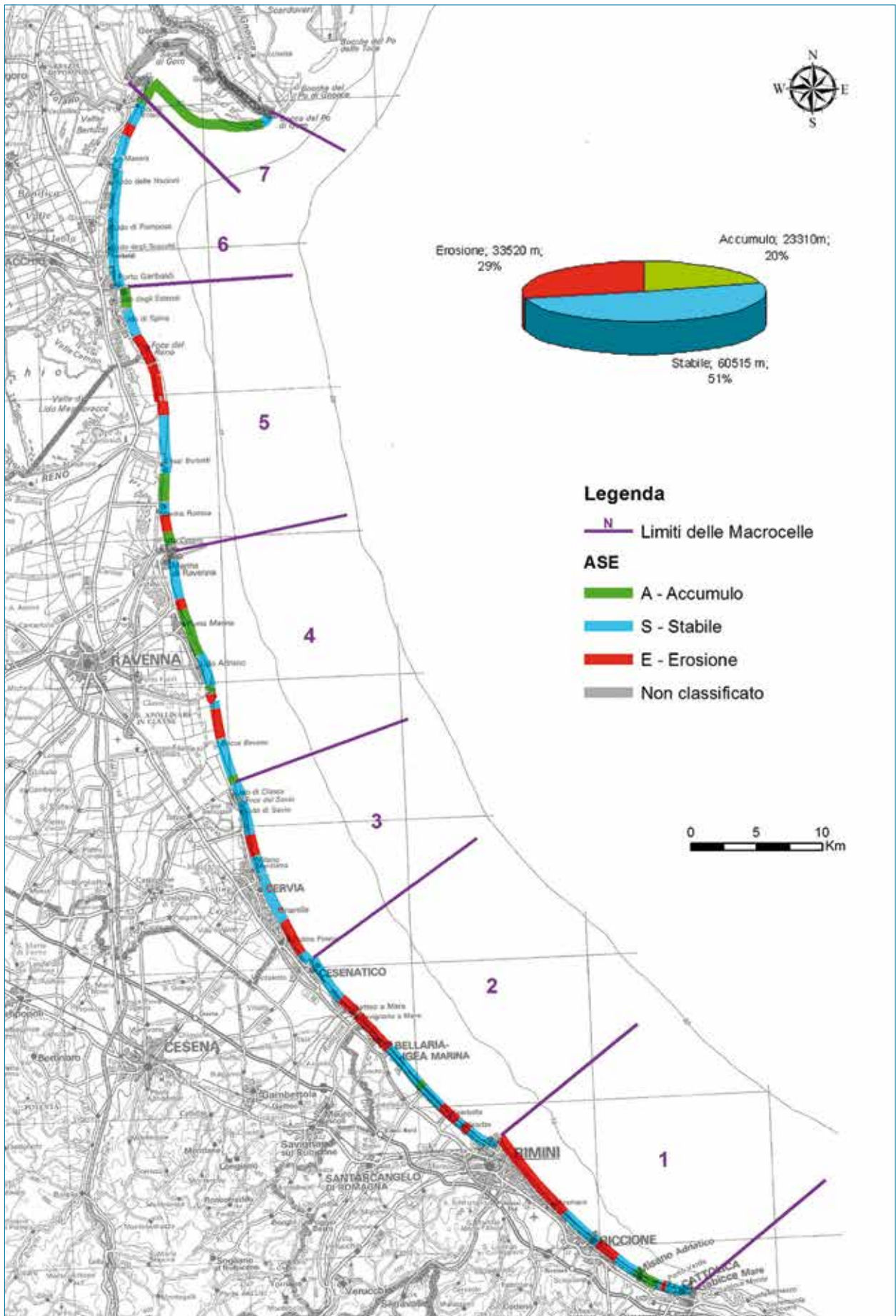


Figura 175 - Stato del litorale emiliano-romagnolo così come si presenta nel 2012 a valle degli interventi di difesa effettuati da Regione ed Enti locali nel periodo 2006-2012 (analisi tramite indicatore ASE).

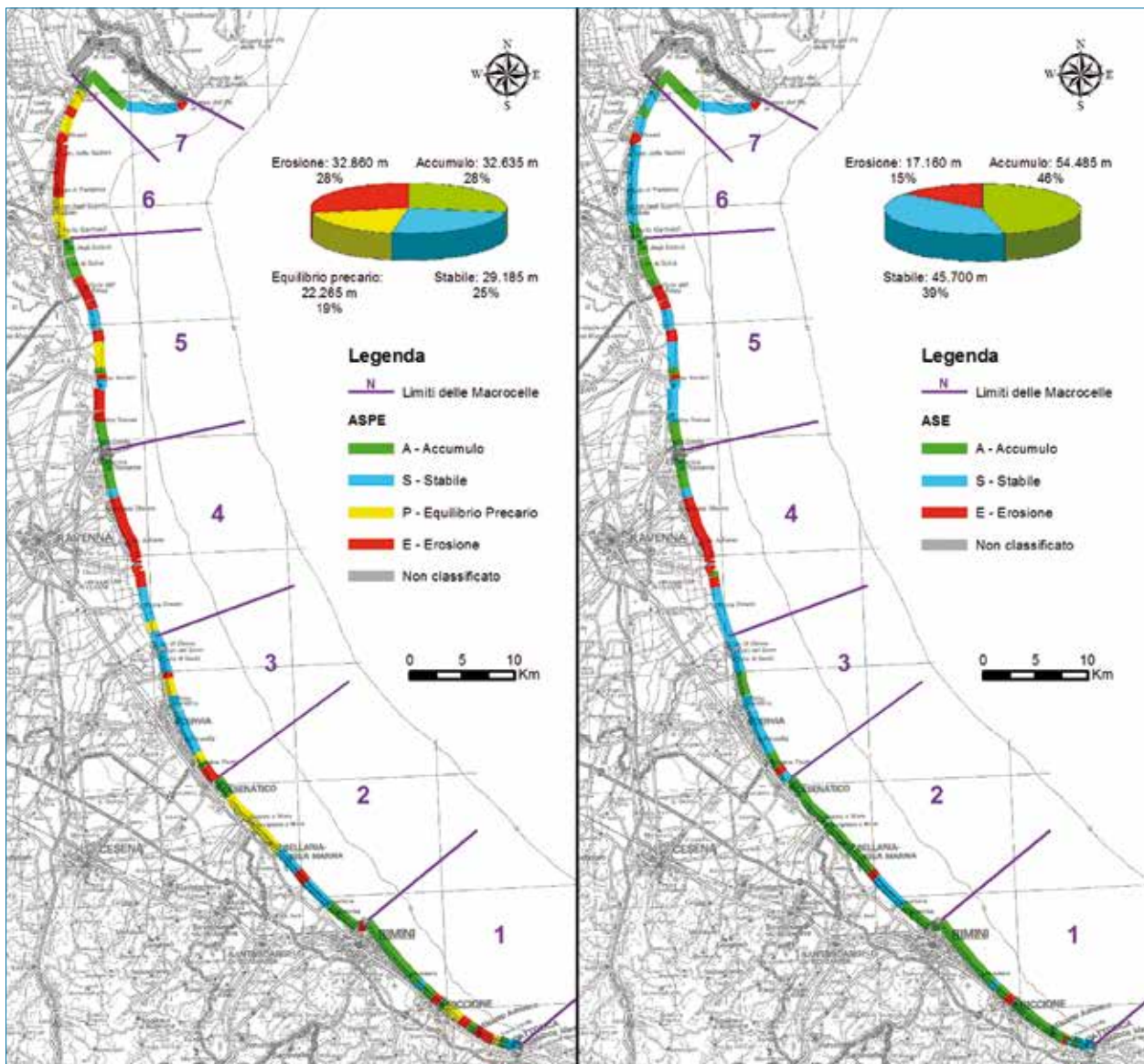


Figura 176 - Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2006, a sinistra (ASPE), così come si sarebbe presentato se nel periodo 2000-2006 non fossero stati effettuati interventi di difesa, a destra (ASE), così come appariva grazie agli interventi di difesa effettuati tra il 2000 e il 2006 (Aguzzi et al., 2012).

sono riuscite a contrastare efficacemente, almeno in parte, l'erosione del litorale.

I tratti litoranei che continuano ad essere in erosione sono il 29% (33,5 km contro i 77 km in condizioni di criticità sopracitati), mentre il 71% (circa 84 km) è in buone condizioni. Tra questi 60 km (51%) di spiagge risultano stabili e 23 km (20%) sono in accumulo.

Questo miglioramento è dovuto quasi esclusivamente agli interventi di ripascimento effettuati tra Cattolica e Volano, pari a circa 2,8 milioni di mc. Di questi, poco meno di 1,6 milioni di mc provengono da fonti esterne al sistema (cave a terra e sottomarine) e poco più di 1,2 milioni di mc da fonti interne litoranee (Figura 170).

Confrontando questo dato con l'analisi effettuata con gli stessi indicatori riferita al periodo 2000-2006 (per i dettagli si rimanda a Arpa, 2012 ed a Aguzzi et al., 2012) la situazione al 2012 appare peggiorata rispetto a quella del 2006.

Le spiagge che allora presentavano condizioni critiche (in erosione o in equilibrio precario secondo l'indicatore ASPE) erano il 47% (54 km contro 77 km del 2012, Figura 176), e risultava che, grazie agli interventi realizzati dalla Regione e dagli Enti Locali, questi tratti erano stati ridotti a soli 17 km (15% in erosione Figura 176, contro 29% al 2012 secondo ASE).

Da questo confronto emerge quindi che i processi erosivi sulla costa regionale stanno progredendo.

Purtroppo la situazione è destinata ad aggravarsi anche perché, ad eccezione del Po di Goro, i fiumi continuano ad avere una scarsa portata solida. Le politiche di difesa costiera fin'ora condotte dalla Regione e dagli Enti locali hanno dimostrato di essere ben orientate, ma è ormai evidente che in futuro saranno necessari sempre più interventi di ripascimento e in particolare sarà indispensabile, oltre a sfruttare in maniera oculata e strategica le fonti litoranee interne, anche attingere maggiormente da fonti esterne al sistema costiero (ad es. giacimenti sottomarini).

Infine, un segnale positivo, anch'esso frutto delle politiche di gestione, è dato dalla riduzione sul litorale regionale del tasso di subsidenza nel periodo 2006-2012, esso è diminuito ovunque ad esclusione dell'area di Foce Fiumi Uniti e dello Scanno di Goro dove è rimasto ai livelli del periodo precedente.

Questo ha contribuito a limitare il fenomeno dell'erosione delle spiagge: la perdita in volume di spiaggia per subsidenza, rispetto al periodo 2000-2006, si è ridotta, infatti, del 36%, pari a circa 655.000 mc di sabbia non persi.

7. Bibliografia

- AA.VV. (2011) – Ripascimento delle spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna: monitoraggio 2001-2009. Studi Costieri, 19.
- AA.VV. (2012) Formulation of territorial action plans for coastal protection and management . Final report phase C Component 4. Montanari R. e Marasmi C. (a cura di). Territorial action plans for coastal protection and management. Eu project Coastance.
- Aguzzi M., De Nigris N., Preti M., e Mallegni R. (2012) – Nuovi indicatori per lo studio e la gestione della costa emiliano-romagnola. Studi Costieri, 20, pp. 95-109.
- Aeronautica Militare – Servizio Meteorologico, 2009 - *Atlante climatico d'Italia 1971 - 2000*.
- Arpa (2002) – Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2000. I Quaderni di ARPA.
- Arpa (2008) – Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione. I Quaderni di ARPA.
- Arpa (2010) – Erosione Costiera. Annuario regionale dei dati ambientali Edizione 2009.
- Arpa (2011) – Erosione Costiera. Annuario regionale dei dati ambientali Edizione 2010.
- Arpa (2012a) – Erosione Costiera. Annuario regionale dei dati ambientali Edizione 2011.
- Arpa (2012b) – Monitoraggio degli effetti indotti sul litorale dalla realizzazione del primo stralcio del prolungamento del molo di levante del porto di Cattolica. Relazione “2a campagna di monitoraggio gennaio 2013”.
- Arpa (2012c) - Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola. Seconda fase. Relazione finale, Bologna, Arpa.
- Blott S.J and Pye K. (2001) - Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*. *Earth Surf. Process. Landforms* 26, 1237-1248.
- Bondesan M., Calderoni G. & Dal Cin R. (1978) – Il litorale delle province di Ferrara e di Ravenna (Alto Adriatico): evoluzione morfologica e distribuzione dei sedimenti. *Boll. Soc. Geol. It.*, 97, pp. 247-287.
- Cirillo M.C., La Sala E., Palma D. (1995)- Indicatori e risanamento ambientale: problemi locali e problemi globali. Working
- Comune di Rimini (2007) – Messa in sicurezza dell'imboccatura. Miglioramento della navigazione in prossimità del porto canale di Rimini. Relazione “Studio di screening ambientale”.
- Dal Cin R., Calderoni G., Simeoni U. (1979) – Caratteri sedimentologici del litorale romagnolo. Progetto finalizzato conservazione del suolo. Sottoprogetto Dinamica dei Litorali. Quaderno 2 Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Folk R.L. and Ward W.C. (1957) – Brazos River Bar: a study in the significance of grain parameters. *J. Sediment Petrol.*, 27, 3-26.
- IDROSER Spa (1981) – Piano progettuale per la difesa della costa adriatica Emiliano-Romagnola. Relazione Generale, pp. 388.
- IDROSER Spa (1996) – Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna, Relazione generale, pp. 365.
- Perini L., Calabrese L., Deserti M., Valentini A., Ciavola P., Armaroli C., 2011 - *Le mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna 1946-2010*, I Quaderni di Arpa
- Regione Emilia-Romagna (2009) – Foce Bevano: l'area naturale protetta e l'intervento di salvaguardia.
- Regione Emilia-Romagna (2011) – SICELL- Nuovi strumenti di gestione dei litorali in Emilia-Romagna. Montanari e Marasmi (a cura di).
- Regione Emilia-Romagna – Arpa (2012): “Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola – seconda fase”, Relazione finale, Bologna, Arpa.
- Valentini A., Deserti M., Ciavola P., Armaroli C., Masina M., Perini L., Calabrese L., 2009 - *I nuovi studi su mareggiate e fenomeni erosivi*, Arpa Rivista n°6, pp. 16-18.

Una parte significativa della costa emiliano-romagnola è soggetta all'erosione. Il fenomeno ha iniziato a interessare il litorale a partire dai primi decenni del '900, ma ha raggiunto la maggior intensità nella seconda metà del secolo.

Per tenere sotto controllo le spiagge minacciate dai fenomeni erosivi, la Regione Emilia-Romagna ha istituito agli inizi degli anni '80 le reti di monitoraggio dell'intero litorale regionale, gestite da Arpae, che controllano: l'evoluzione della linea di riva e la variazione della morfologia di spiaggia e fondale (rete topo-batimetrica), le variazioni tessiturali dei sedimenti di spiaggia (rete sedimentologica) e, infine, l'abbassamento del suolo (rete della subsidenza).

Il volume presenta i risultati dell'ultima campagna di rilievo topo-batimetrico e sedimentologico della costa regionale eseguita dall'Unità Mare e Costa di Arpae nel 2012. Esso rappresenta il quinto studio dell'evoluzione costiera regionale e dei processi che su di essa insistono condotto per conto della Regione Emilia-Romagna. L'elaborazione dei dati di monitoraggio e l'utilizzo di alcuni indicatori dello stato della costa, messi a punto da Arpae e applicati sui 117 km di costa con arenile, ha permesso di identificare 84 km di litorale in buone condizioni, mentre i rimanenti 33 km presentano varie condizioni di criticità.

L'estensione dei tratti critici sarebbe stata ben più rilevante (77 km) senza gli interventi messi in atto dalla Regione e dagli Enti Locali, e in particolare l'apporto, tra il 2006 e il 2012, di circa 2,8 milioni di mc di sabbia per ripristinare le spiagge.

L'analisi dei dati di monitoraggio conferma l'efficacia del ripascimento nel contrasto all'erosione e nel mantenimento delle spiagge, ma evidenzia anche che i fenomeni erosivi si sono intensificati nel tempo, rendendo quindi necessario aumentare gli sforzi per limitarne l'entità.

