



**STATO DEL LITORALE
EMILIANO-ROMAGNOLO
AL 2018**
EROSIONE
E INTERVENTI DI DIFESA

I quaderni di
arpae

© 2020 Arpae Emilia-Romagna
Via Po 5, 40139 - Bologna. Tel. 0516223811
www.arpae.it
urp@arpae.it

I QUADERNI DI ARPAE

Collana editoriale di Arpae Emilia-Romagna

PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE:

Kitchen Bologna

STAMPA:

Tipografia Casma Tipolito S.r.l. Bologna
Stampato su carta riciclata Nautilus Classic

ISBN 978-88-87854-48-0

AUTORI

Margherita Aguzzi*, Rosalia Costantino*, Nunzio De Nigris*, Maurizio Morelli*, Claudia Romagnoli**, Silvia Unguendoli*, Enrica Vecchi***

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DELLA RETE GEODETICA COSTIERA:

Nicola Cenni***, Nunzio De Nigris*, Stefano Gandolfi***, Maurizio Morelli*, Luca Tavasci***

REFERENTE REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Monica Guida *Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica*

REFERENTI AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E PROTEZIONE CIVILE

Claudio Miccoli *Servizio Area Reno e Po di Volano*

Piero Tabellini *Servizio Area Romagna*

SI RINGRAZIANO PER LA COLLABORAZIONE:

Carlo Albertazzi, Roberto Montanari, Christian Marasmi

Regione Emilia-Romagna Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica

Lorenzo Calabrese, Paolo Luciani, Luisa Perini

Regione Emilia-Romagna Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Stefano Bellesi, Giulia Bernagozzi, Maurizio Farina, Alessandro Lanaro, Gino Vezzali

Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e Protezione Civile Servizio Area Reno e Po di Volano

Andrea Foschi, Fabia Foschi, Christian Morolli

Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e Protezione Civile Servizio Area Romagna

Stefano Lovo, Saverio Turolla

Arpae Emilia-Romagna

ATTIVITÀ DI CAMPO E LABORATORIO

Geocom Parma di Soragna (PR): rilievo topo-batimetrico e il prelievo campioni di sedimento

Arpae Laboratorio Multisito Sezione di Ravenna: analisi granulometriche

* *Arpae Emilia-Romagna*

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

*** *Università di Bologna – Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali - DICAM*

**STATO DEL LITORALE
EMILIANO-ROMAGNOLO
AL 2018**
EROSIONE
E INTERVENTI DI DIFESA

PREFAZIONE

La costa dell'Emilia-Romagna è senza dubbio uno dei tratti più caratteristici della regione: elementi naturali, culturali, imprenditoriali, gastronomici si incontrano in questa lunga striscia di sabbia, che rappresenta un territorio unico per la sua storia e il suo presente e che necessita di un'attenzione particolare per garantirne la sostenibilità e la resilienza. L'incredibile sviluppo che negli ultimi sessant'anni ha caratterizzato la riviera, infatti, porta con sé anche elementi di fragilità del territorio, che si manifestano in fenomeni come l'erosione costiera, la subsidenza e il consumo del suolo, tutti elementi su cui è stato necessario e continua a essere necessario attuare interventi di protezione.

Alla base delle politiche regionali di gestione e protezione del litorale ci sono le attività di studio e monitoraggio che forniscono una conoscenza approfondita delle caratteristiche del territorio.

Questa pubblicazione, sesta in ordine di tempo (le precedenti sono uscite nel 1981, 1996, 2002, 2009 e 2016) presenta i risultati delle attività di monitoraggio dello stato e dell'evoluzione morfologica e sedimentologica dell'intero litorale regionale, condotte da Arpae Emilia-Romagna. In particolare, qui vengono illustrati i dati relativi al periodo 2012-2018.

Si tratta di un elemento imprescindibile di valutazione di quanto fino a oggi fatto e di orientamento per le politiche future, nella consapevolezza che il cambiamento climatico in atto accentuerà la fragilità del territorio costiero.

I dati che emergono da questo studio confermano, ancora una volta, il ruolo positivo che hanno avuto le politiche regionali di ripascimento delle spiagge con sabbie prelevate dai fondali marini, con i tre grandi interventi effettuati nel 2002, 2007 e 2016. Si tratta di progetti importanti che hanno comportato investimenti considerevoli consentendo una difesa adeguata dall'erosione delle spiagge emiliano-romagnole e delle attività economiche e turistiche che a queste spiagge sono legate.

Si tratta, soprattutto, di progetti che confermano l'importanza di pensare oltre le necessità immediate e le criticità locali, mettendo in atto politiche basate su un piano di gestione a visione ampia e integrata su scala regionale.

Irene Priolo

Assessora Ambiente, difesa del suolo e della costa,
protezione civile
Regione Emilia-Romagna

PREMESSA

L'ambiente costiero è in un delicato equilibrio su cui agiscono dinamiche naturali e impatti delle attività antropiche. La conoscenza approfondita dello stato e dell'evoluzione di questa porzione di territorio è fondamentale per potere indirizzare le politiche di gestione e deve necessariamente essere integrata con quella dell'entroterra, per le evidenti interazioni. Questa pubblicazione è la sesta edizione (la prima risale al 1981, a testimonianza di quanto questa attività venga da lontano) di un lavoro sistematico di raccolta e analisi di dati di varia natura: subsidenza, moto ondoso e livello di marea, sedimentologia, rilievo topo-batimetrico, analisi degli effetti dei progetti di difesa della costa.

Viene poi descritta la Rete Geodetica Costiera, realizzata negli ultimi anni, che rappresenta un'ulteriore fonte di conoscenza della dinamica del litorale.

Il quadro che ne esce è una fotografia dello stato attuale che, messo a confronto con i dati pregressi, fornisce elementi indispensabili anche per valutare l'evoluzione futura, nel contesto dei cambiamenti climatici. È noto che il riscaldamento globale in corso ha già, e continuerà ad avere per lungo tempo, un impatto forte sui mari e sulle coste, sia per quanto riguarda l'innalzamento dei livelli delle acque, sia per quanto riguarda la maggiore frequenza e intensità di fenomeni estremi.

Anche la porzione di Adriatico su cui si affaccia l'Emilia-Romagna, in base a tutte le proiezioni, andrà incontro a rischi crescenti per le infrastrutture che si trovano sulla linea di costa, con potenziali impatti economici e sociali molto rilevanti.

Nel quadro delle politiche di Gestione Integrata delle Zone Costiere e della Strategia marina definita a livello europeo, questo studio costituisce un elemento ulteriore di conoscenza che auspichiamo risulti utile per elaborare scelte improntate alla sostenibilità.

Giuseppe Bortone
Direttore generale Arpae Emilia-Romagna

INDICE

1.INTRODUZIONE	11
2.I PRINCIPALI FATTORI CHE INCIDONO SULLA DINAMICA COSTIERA	15
2.1 Trasporto solido fluviale	15
2.2 Dinamica marina	17
2.3 Subsidenza	19
3. OPERE E INTERVENTI PER LA DIFESA E LA GESTIONE DEL LITORALE	23
3.1 Moli	24
3.2 Opere di difesa	26
3.3 Ripascimenti	29
4.RETE GEODETICA COSTIERA – RGC	33
4.1 Obiettivi della Rete Geodetica Costiera	33
4.2 Analisi delle infrastrutture geodetiche presenti sul territorio regionale e loro limiti	34
4.2.1 <i>Le reti misurabili con tecniche GNSS</i>	35
4.2.2 <i>Le reti di livellazione</i>	36
4.2.3 <i>Limiti delle infrastrutture geodetiche presenti sul territorio della Regione Emilia-Romagna</i>	37
4.3 Progetto e realizzazione della Rete Geodetica Costiera	38
4.3.1 <i>Progetto preliminare</i>	38
4.3.2 <i>Realizzazione della Rete Geodetica Costiera</i>	39
4.3.3 <i>Proprietà della Rete Geodetica Costiera</i>	46
5.ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO	49
5.1 Subsidenza	49
5.1.1 <i>Sistemi di misura</i>	49
5.1.2 <i>Dati utilizzati</i>	51
5.2 Moto ondoso e livello di marea	52
5.2.1 <i>Sistemi di misura</i>	52
5.2.2 <i>Dati utilizzati</i>	53
5.2.3 <i>Analisi condotte</i>	56
5.3 Sedimentologia	58
5.3.1 <i>Mezzi e tecniche di campionamento</i>	60
5.4 Rilievo topo-batimetrico	61

6.SUBSIDENZA DELL'AREA COSTIERA	67
7.DINAMICA MARINA	71
7.1 Regime del moto ondoso	71
7.2 Mareggiate	74
8.CARATTERIZZAZIONE SEDIMENTOLOGICA	81
8.1 Sedimentologia del litorale emiliano-romagnolo al 2018	81
8.1.1 Tessitura	81
8.1.2 Diametro medio	82
8.1.3 Percentuali di sabbia e pelite	91
8.1.4 Coefficiente di cernita	96
8.2 Confronto con la campagna sedimentologica del 2012	98
8.3 Confronto con la campagna sedimentologica del 1971-1972	118
8.4 Effetti dei ripascimenti del Progettone 3 a scala del litorale regionale	121
9. STATO DEL LITORALE ED EVOLUZIONE RECENTE (2012-2018)	125
9.1 Cattolica – Molo di Rimini	128
9.2 Molo di Rimini - Molo di Cesenatico	143
9.3 Molo di Cesenatico – Foce Savio	155
9.4 Foce Savio – Marina di Ravenna	165
9.5 Porto Corsini – Porto Garibaldi	178
9.6 Porto Garibaldi – Volano	194
9.7 Foce Po di Volano – Foce Po di Goro	206
10. CONCLUSIONI	213
10.1 Realizzazione della Rete Geodetica Costiera	213
10.2 Subsidenza dell'area costiera	213
10.3 Regime del moto ondoso	214
10.4 Risultati della campagna sedimentologica	215
10.5 Stato del litorale ed evoluzione recente (2012-2018)	218
BIBLIOGRAFIA	224

1



1.

Introduzione

Il litorale della Regione Emilia-Romagna è costituito da una spiaggia bassa e sabbiosa, che si sviluppa per 110 km da Cattolica (confine sud con la Regione Marche) alla foce del Po di Volano, e dal sistema barriera-laguna della Sacca di Goro, nella zona nord. Questa struttura litoranea ha alle spalle un territorio pianeggiante, densamente urbanizzato, che nella parte più settentrionale, in particolare nell'area ferrarese, si trova al di sotto del livello medio mare. La spiaggia ne rappresenta la prima linea di difesa dall'ingressione marina (**FIGURA 1**).

Negli ultimi 100 anni, la gran parte del litorale regionale è stata interessata dal fenomeno dell'erosione che ha determinato una riduzione, in termini di ampiezza e di quota, della spiaggia emersa e sommersa, e altre importanti modificazioni ambientali.

La funzionalità del sistema spiaggia, in termini di difesa del territorio e di spazio usufruibile per l'attività turistico-balneare, è stata garantita da continui interventi di difesa, prima con sole opere rigide (prevalentemente scogliere in roccia) e poi con interventi di ripascimento per il ripristino della spiaggia erosa.

Verso la fine degli anni 70 del secolo scorso, a fronte dell'inasprimento del fenomeno erosivo, si è raggiunta la consapevolezza che l'intero sistema costiero deve essere governato a scala regionale e secondo un piano di gestione a visione ampia e integrata, e non più seguendo la logica d'intervento locale con misure a tampone.

Il passo fondamentale in questa direzione è stato raggiunto con l'approvazione della Legge Regionale 13 marzo 1979, n.7, con la quale la Regione Emilia-Romagna *“promuove la realizzazione di un piano progettuale per la difesa della costa”*. La legge fissa come obiettivi l'identificazione e la valutazione dei principali fattori incidenti sull'erosione costiera. Per realizzare tali obiettivi si prevedeva di procedere anche con l'*“esecuzione dei rilievi topografici,*

aerofotogrammetrici, batimetrici, del moto ondoso, dei venti dominanti e di altri fenomeni, provvedendo a definire criteri e metodologie per la ripetizione sistematica di tali rilievi al fine di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni di erosione e subsidenza”.

Il piano progettuale, realizzato nel periodo 1979-1981 e denominato Piano Costa 1981, è stato approvato con la delibera regionale n. 1574 del 6/4/1983. Il Piano Costa 1981 individua nella diminuzione del trasporto solido fluviale, nella subsidenza e nella realizzazione di opere in mare le cause principali dell'erosione delle spiagge (Regione Emilia-Romagna, 1981).

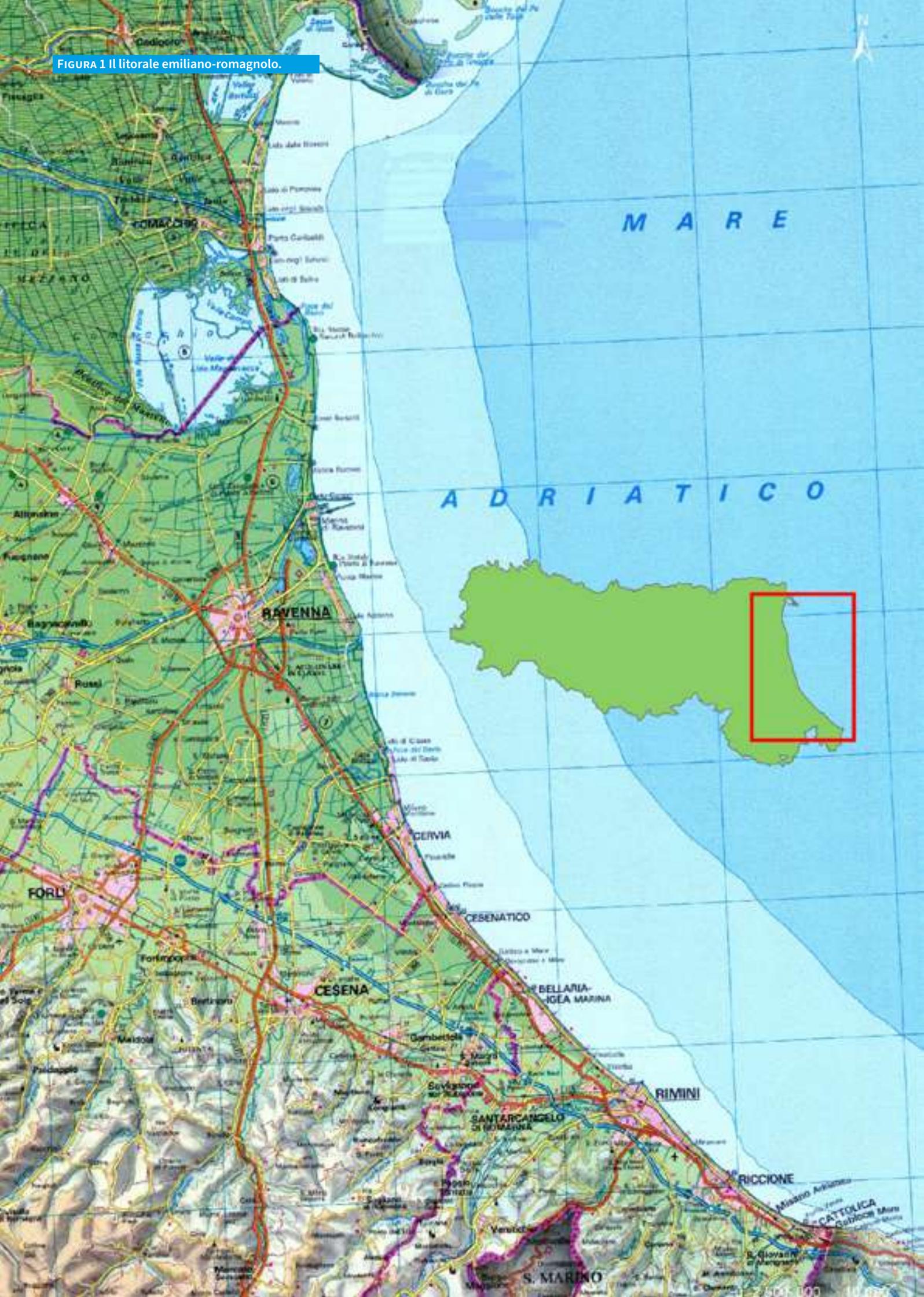
Il fenomeno dell'erosione costiera è stato quindi affrontato dalla Regione a livello legislativo, progettuale e conoscitivo (Regione Emilia-Romagna, 1996).

Il blocco dell'estrazione degli inerti dagli alvei dei corsi d'acqua di competenza regionale, per il ripristino dell'apporto solido fluviale, e il piano per il controllo degli emungimenti per la riduzione della subsidenza antropica, rappresentano due interventi legislativi per il contrasto dell'erosione di notevole rilevanza anche politica (Regione Emilia-Romagna, 1996).

La realizzazione di grandi infrastrutture idrauliche quali l'Acquedotto di Romagna, che utilizza le acque dell'invaso di Ridracoli, e il Canale Emiliano-Romagnolo (CER), che porta nella pianura emiliano-romagnola le acque del Po, ha favorito l'utilizzo di acque di superficie, limitando il prelievo di acqua da falda, ossia una delle principali cause della subsidenza.

Un elemento fondamentale nella gestione dell'erosione costiera e nel mantenimento delle condizioni di equilibrio del sistema costiero regionale è stato quello di indicare nel ripascimento artificiale l'alternativa progettuale, ambientalmente più sostenibile, alle opere di difesa rigide per la protezione e la ricostruzione delle spiagge. Negli anni, la Regione, partendo dalle indicazioni del Piano Costa 1981, ha investito molto per incrementare e migliorare le conoscenze utili al reperimento di sedimento idoneo a questo tipo di interventi e alla sua gestione ottimale. Diverse campagne di ricerca

FIGURA 1 Il litorale emiliano-romagnolo.



geofisiche e geognostiche hanno portato alla scoperta di giacimenti sottomarini di sedimento utilizzabile per il ripascimento delle spiagge, in alternativa a quello prelevato da cave a terra (Preti et al., 2011). Sono stati realizzati tre importanti interventi di ripascimento (nel 2002, 2007 e 2016) con cui sono stati apportati, su diverse spiagge distribuite lungo tutto l'arco costiero regionale, complessivamente circa 3 milioni di mc di sabbia prelevata dai fondali marini al largo di Ravenna. Le fasi che hanno seguito questi interventi sono state caratterizzate da specifici piani di monitoraggio, con lo scopo di valutare le modifiche morfologiche e tessiturali sulle spiagge oggetto di ripascimento e l'efficacia dell'intervento stesso (Arpae, 2019). Sono inoltre stati promossi numerosi studi, supportati anche da modelli numerici, per migliorare il sistema di difesa e riqualificare i paraggi in erosione.

Fondamentali nell'implementazione della conoscenza sono stati l'istituzione e lo sviluppo delle reti di monitoraggio per la valutazione della dinamica dell'erosione costiera e dell'efficacia delle misure di difesa adottate.

Il sistema regionale di monitoraggio costiero, gestito da Arpae, è attualmente composto da:

- la Rete Geodetica Costiera, per l'inquadramento plano-altimetrico dei rilievi;
- la rete topo-batimetrica, per l'analisi della variazione morfologica della spiaggia emersa e sommersa e la valutazione dei processi di erosione e accumulo;
- la rete della variazione della linea di riva;
- la rete sedimentologica, per l'analisi delle caratteristiche tessiturali superficiali della spiaggia emersa e sommersa;
- la rete di monitoraggio della subsidenza;
- le stazioni di misura delle condizioni del moto ondoso (Boa Nausicaa di Cesenatico) e del livello marino (Stazione mareografica integrata di Porto Garibaldi);
- il database degli interventi di ripascimento e di realizzazione e/o manutenzione delle opere di difesa, continuamente aggiornato con i dati forniti dalla Regione e dai Comuni costieri.

Arpae raccoglie questa enorme quantità di dati, realizzando una serie di tabelle, grafici, mappe tematiche e indicatori di stato dell'erosione costiera, quali:

- monografie dei vertici della Rete Geodetica Costiera;
- mappe topo-batimetriche;
- mappe di accumulo e erosione;
- profili della spiaggia emersa e sommersa;
- mappe di variazione della linea di riva;
- mappe sedimentologiche;
- mappe di subsidenza;
- regime del moto ondoso e del livello del mare;
- indicatori di stato di erosione del litorale ASE e ASPE (Aguzzi et al, 2012).

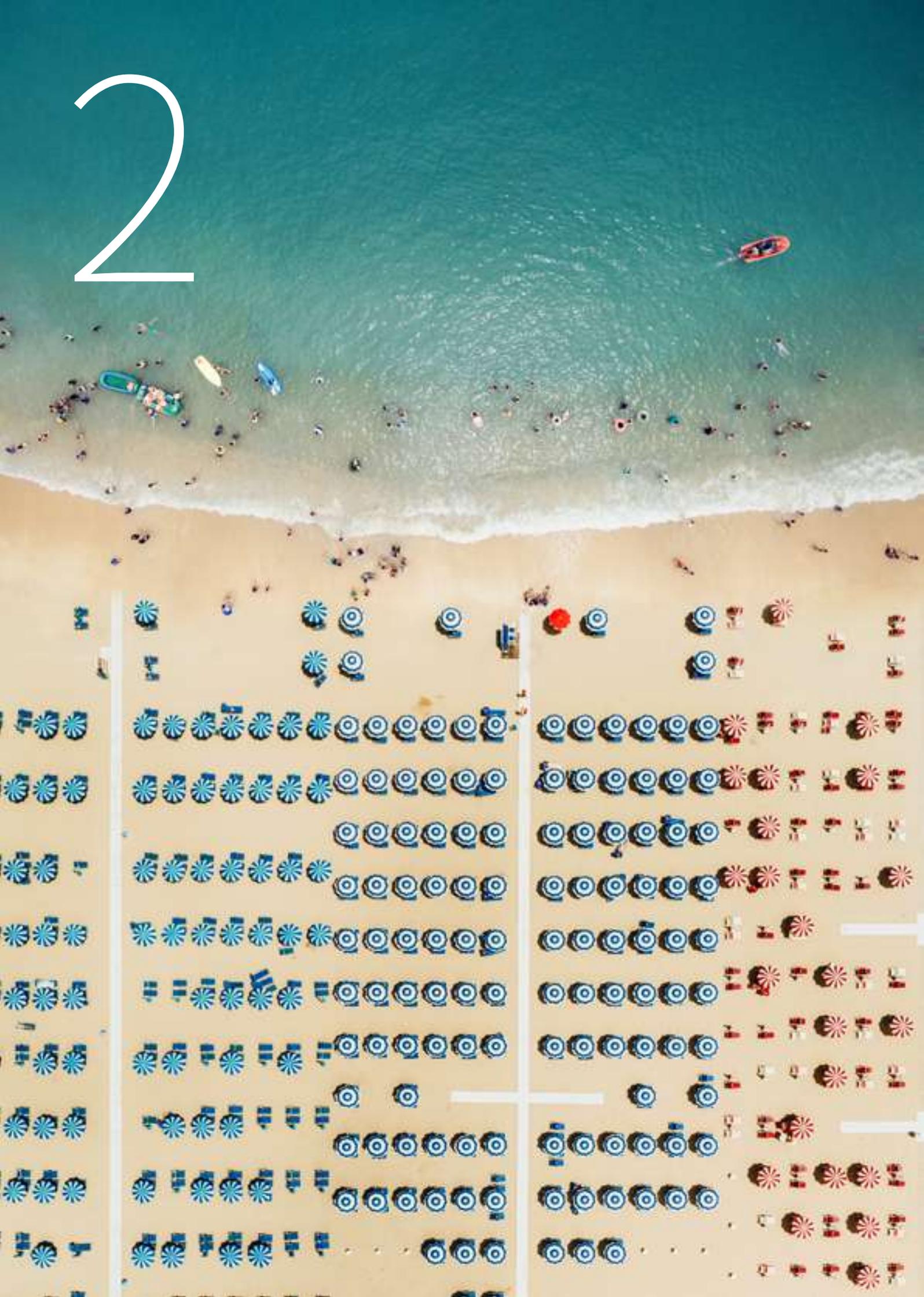
I dati e le informazioni raccolti con le campagne di monitoraggio alimentano il Sistema Informativo della Costa (SIC) e il Sistema Gestionale delle celle litoranee (SiCell) della Regione Emilia-Romagna.

In una fase in cui il ruolo dei cambiamenti climatici sui sistemi costieri sembra sempre più rilevante, la disponibilità di dati aggiornati e sempre più accurati, grazie a un sistema di monitoraggio distribuito lungo tutto l'arco costiero e con una serie storica significativa, permette di effettuare appropriate e dettagliate valutazioni sullo stato del litorale e sul suo trend evolutivo.

Questi risultati sono alla base della definizione delle politiche di gestione, adattamento della fascia costiera e mitigazione dei rischi, nell'ottica di promuovere *“la collaborazione tra i soggetti che hanno una competenza in materia di difesa delle coste e che hanno interessi nello sviluppo economico di questi territori”*, per uno sviluppo sostenibile della fascia costiera (MATTM-Regioni, 2018).

In questo volume si riporta l'aggiornamento, al 2018, dell'evoluzione del litorale, con particolare riguardo all'erosione costiera, a partire dall'analisi dei dati raccolti con le ultime campagne di monitoraggio e confrontati con quelli precedenti.

2



2. I principali fattori che incidono sulla dinamica costiera

La morfologia della costa è il risultato del delicato equilibrio tra le azioni di vari fattori concomitanti: l'apporto di sedimenti, l'abbassamento delle quote operato dalla subsidenza, la distribuzione del materiale sabbioso a opera del moto ondoso, l'interazione della dinamica litoranea dei sedimenti con le opere costiere, le variazioni del livello marino.

Tali azioni presentano scale temporali di accadimento, periodicità e aree di influenza diverse, tanto che si può parlare di equilibrio di un litorale solamente in termini dinamici.

L'equilibrio dinamico di una spiaggia, che a medio e lungo termine vede l'alternarsi di fasi di erosione con periodi di accrescimento, è funzione del bilancio dei sedimenti litoranei movimentati dall'azione dei vari fattori ambientali. Questi possono distinguersi in due gruppi: uno rappresentato dai termini che concorrono a "introdurre" sedimento nel sistema spiaggia, l'altro dalle azioni dinamiche che portano alla movimentazione dei sedimenti e a una "uscita" di questi dal sistema spiaggia.

Come noto le principali voci di input sono rappresentate dai contributi fluviali, dai ripascimenti artificiali e dal trasporto di materiali da spiagge limitrofe da parte delle onde e delle correnti marine.

Per quanto riguarda i termini di output, i principali sono il trasporto dei sedimenti al largo e verso altre spiagge sotto l'azione del moto ondoso, la subsidenza e i dragaggi.

Nel presente capitolo sono brevemente analizzati i principali elementi che incidono, o che hanno significativamente inciso in passato, sulla dinamica costiera: il trasporto solido fluviale, che rappresenta il principale fattore di alimentazione di sedimenti del litorale, la dinamica marina, in qualità di "motore" primario del trasporto e redistribuzione dei sedimenti costieri e la subsidenza che, in

termini di volume di materiale "sottratto", può essere considerata come una delle maggiori cause di deficit nel bilancio sedimentario per la costa regionale, e che grazie a interventi strutturali da parte della Regione è stata notevolmente ridimensionata negli ultimi decenni.

Verranno trattate, invece, nel capitolo 3: le opere (moli e interventi vari di difesa) che, interferendo con il trasporto di sedimenti dei singoli tratti del litorale in oggetto, ne hanno condizionato la dinamica evolutiva, e gli interventi di ripascimento, che contribuiscono a incrementare l'apporto solido al sistema litoraneo.

2.1 Trasporto solido fluviale

Gli apporti fluviali costituiscono (o per meglio dire dovrebbero costituire, come è stato fino alla prima metà del secolo scorso) un contributo fondamentale sia alla formazione, che al mantenimento della spiaggia, soprattutto se questa è bassa e sabbiosa come quelle presenti lungo il litorale della regione Emilia-Romagna.

L'equilibrio della spiaggia risulta fortemente condizionato dalle variazioni del regime di trasporto sedimentario fluviale. Tali variazioni sono indotte da varie cause, di origine naturale o antropica.

Il trasporto di sedimenti da parte dei corsi d'acqua è strettamente legato ai fenomeni di erosione del suolo nei bacini imbriferi; la principale causa naturale di modificazione dei quantitativi di sedimenti apportati dai fiumi al mare e alle spiagge risiede nell'alternarsi di diversi regimi pluviometrici, quali l'aumento o diminuzione della piovosità totale o la variazione nella frequenza degli eventi estremi.

Ben altra entità e tassi di evoluzione presentano le variazioni nel regime dei sedimenti fluviali indotte dalle cause antropiche. Queste sono riconducibili alle regimazioni dei corsi d'acqua nei tratti montani, all'uso del suolo, al prelievo di materiale litoide dagli alvei.

A fronte dell'importanza che riveste il



FIGURA 2 Fiume Reno: sbarramento di Volta Scirocco (18 maggio 2015).

contributo fluviale nell'equilibrio dei litorali, risulterebbe necessario quantificare il fenomeno attraverso specifiche campagne di misure in campo, raffronti ed estrapolazioni con dati raccolti nei diversi corsi d'acqua, e realizzando un sistematico censimento degli interventi e delle opere di regimazione dei corsi d'acqua che interagiscono pesantemente sul trasporto dei sedimenti in alveo (**FIGURA 2**).

Occorre però tenere presente che un'analisi di questo tipo si scontra con un "deficit" di informazioni e dati sperimentali che può definirsi cronico, dovuto essenzialmente alle seguenti cause:

- scarsa disponibilità di dati storici sul trasporto solido fluviale, che impedisce confronti o similitudini con altri corsi d'acqua e altri bacini idrografici;
- difficoltà a realizzare rilievi e misurazioni, dal momento che il trasporto solido si manifesta, in gran parte durante pochi eventi di piena annuali per i quali è laborioso e oneroso organizzare puntuali campagne di misura;
- difficoltà a individuare sezioni fluviali in cui effettuare le misure, che siano rappresentative del bacino idrografico nel suo complesso, ma anche abbastanza prossime alla foce per essere indicative del contributo sedimentario utile al ripascimento naturale dei litorali.

A tutto ciò occorre aggiungere che la natura stessa del trasporto solido fluviale è caratterizzata da una complessità intrinseca:

esso infatti è composto da due componenti, rappresentate dal cosiddetto trasporto torbido o in sospensione e dal trasporto al fondo di materiale più grossolano, utile al ripascimento delle spiagge. Le esperienze condotte mostrano che non solo è difficile riscontrare una correlazione tra il trasporto di fondo e la portata liquida, ma che spesso questa correlazione manca completamente tra le grandezze che esprimono quantitativamente le due forme di trasporto.

Ciò comporta la problematicità, se non l'impossibilità, di ricostruire il valore del carico di fondo partendo dal valore della portata, o dal trasporto torbido. Questa considerazione è importante perché, sicuramente, la misura diretta del carico trascinato al fondo presenta molte più difficoltà e imprecisioni rispetto alla misura della portata liquida o della torbidità in sospensione.

Nello specifico, il litorale della Regione Emilia-Romagna è costituito in massima parte da sabbie portate a mare dai numerosi fiumi e torrenti che vi sfociano, a una distanza di 10-15 km l'uno dall'altro. La sua disposizione ad arco, compreso tra il promontorio di Gabicce a Sud e la cuspide deltizia del Po a Nord (**FIGURA 1**), pone il litorale anche nella felice situazione di ricevere, per via della direzione delle correnti litoranee, contributi sedimentari sia dalla costa marchigiana che dai rami meridionali del delta del Po. In passato, infatti, un modesto quantitativo di sabbia prodotto dall'erosione al piede della falesia che va da Pesaro a Gabicce

ha alimentato le spiagge più a sud del litorale regionale, ma da diversi anni questa fonte si è praticamente esaurita, in quanto la falesia è stata protetta e stabilizzata in più tratti.

L'alimentazione delle spiagge emiliano-romagnole è quindi strettamente dipendente dagli apporti di inerti da parte dei fiumi che vi sfociano, mentre il contributo del Po riguarda in massima parte lo Scanno di Goro e la spiaggia di Volano.

Il blocco delle escavazioni in alveo, la pulizia e il risezionamento degli stessi, realizzati nel corso degli anni 80 e 90, sono stati certamente interventi di grande rilievo. La loro efficacia, tuttavia, non si è manifestata nella misura sperata per il sommarsi di varie cause:

- il progressivo espandersi delle superfici incolte e boscate nei versanti montani;
 - la formazione di materassi sovralluvionali a monte delle numerose opere di regimazione trasversali, presenti lungo gli alvei;
 - la riduzione e il diverso regime delle piogge;
 - le escavazioni di inerti autorizzate dagli uffici competenti per ragioni di sicurezza idraulica;
 - la compensazione degli abbassamenti di quota del terreno dovuti alla subsidenza.
- Dalle poche misure sperimentali di trasporto

solido effettuate sui fiumi che sfociano nel litorale regionale risulta, ancora, un trasporto al fondo prossimo allo zero, mentre non risulterebbe trascurabile il contributo di limo e argilla e, in misura minore, di sabbia fine.

Essendo l'apporto solido fluviale la fonte che può garantire con poca spesa l'equilibrio delle spiagge, non è sufficiente limitarsi al tentativo di misurarne l'entità, ma bisognerebbe agire per riattivarne, nella misura possibile, la crescita. Rispetto alle cause sopra elencate, è possibile supporre che risultati positivi possano derivare dalla rimozione di alcune opere trasversali di regimazione fluviale, che hanno ormai raggiunto lo scopo per cui erano state costruite e, soprattutto, dal mantenimento del blocco di ogni tipo di escavazione e asportazione di materiale litoide dai corsi d'acqua.

2.2 Dinamica marina

Per ricostruire la dinamica litoranea e, di conseguenza, l'evoluzione morfologica e sedimentologica delle spiagge basse e sabbiose che caratterizzano la costa, occorre definire le condizioni del moto ondoso incidente relative sia al regime medio annuo ed, eventualmente, stagionale, sia alle caratteristiche degli eventi estremi che possono colpire la costa (**FIGURA 3**).



FIGURA 3 Milano Marittima: moto ondoso sottocosta (9 marzo 2007).

Le condizioni medie del moto ondoso, siano esse annue e/o stagionali, sono responsabili dell'evoluzione dei litorali a medio e lungo termine essenzialmente attraverso il regime delle correnti lungo riva e il conseguente trasporto di sedimenti. I fenomeni estremi hanno generalmente impatti significativi sui fenomeni erosivi che interessano i litorali e vanno considerati per il corretto dimensionamento degli interventi lungo la costa.

Il primo studio sistematico sul moto ondoso incidente e il conseguente regime delle correnti lungo riva è stato effettuato nell'ambito del "Piano Costa 1981". Un'apposita analisi dei dati meteomarini allora disponibili ha consentito di definire il clima del moto ondoso al largo, ovvero la frequenza degli eventi suddivisi per altezza d'onda, direzione di provenienza e periodo.

Il clima ricavato nel "Piano Costa 1981" è stato chiamato "clima PCB" dal nome della piattaforma AGIP in corrispondenza della quale per oltre un decennio furono rilevate, da operatori esperti, altezza d'onda e direzione del vento (assunta coincidente con la direzione dell'onda). Per almeno due decenni, i dati PCB sono stati la base di riferimento più valida per la porzione di bacino adriatico davanti alla costa regionale. I dati delle piattaforme non sono però più disponibili di fatto dal 1983.

Da allora i dati misurati disponibili di fronte al nostro litorale sono stati pochi e discontinui. È stato necessario ricorrere a modelli numerici basati sulle previsioni meteorologiche o a dati delle boe della Rete Ondametrica Nazionale (RON), ovvero quelle di Ancona e di Punta della Maestra (alla foce del Po).

Al fine di avere dati rilevati davanti alla costa regionale, grazie a fondi messi a disposizione da Arpa, ora Arpae, e dal progetto europeo Beachmed-e, è stata installata nel 2007 una boa ondametrica di fronte a Cesenatico. La boa, denominata Nausicaa, grazie ai sensori di cui è dotata, misura l'altezza d'onda, la direzione di provenienza e il periodo d'onda, ma anche la temperatura dell'acqua. La boa Nausicaa 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.

I dati raccolti vengono inviati al centro ricevente a terra che si trova a Cesenatico, presso la Struttura Oceanografica Daphne di Arpae. L'acquisizione avviene ogni 30 minuti da parte del centro ricevente e i dati vengono archiviati su un computer locale, collegato 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 l'interfaccia DEXTER. I dati vanno, inoltre, ad alimentare la catena modellistica oceanografica di previsione, in cui operano modelli d'onda, di livello marino e di variazione morfologica delle spiagge.

Oltre al moto ondoso, un elemento molto importante che caratterizza la dinamica marina è l'andamento del livello del mare. Infatti, significativi innalzamenti del livello marino, in concomitanza con eventi di mareggiata (storm surges), possono causare l'aggravamento degli effetti erosivi sulla spiaggia da parte delle onde incidenti oltre, ovviamente, alla possibilità di causare l'allagamento delle aree retrostanti le spiagge.

La determinazione dei livelli del mare è resa possibile analizzando i dati dei mareografi disponibili. In particolare, dai primi mesi del 2009, è in funzione, peraltro con interruzioni delle misurazioni estremamente limitate, il mareografo di Porto Garibaldi (Comune di Comacchio), gestito da Arpae.

Oltre alla verifica in tempo reale dell'andamento del livello marino nel corso delle mareggiate, è possibile utilizzare l'ingente serie storica di dati raccolti nell'arco di oltre 10 anni per definire un parametro particolarmente significativo per la gestione del territorio costiero, ovvero il livello medio mare "locale".

Come noto, l'altimetria del territorio nazionale è determinata considerando come quota di riferimento il cosiddetto "0" del mareografo di Genova, calcolato nel decennio 1936-1947 e definito, sinteticamente, Genova 42.

Da tale livello di riferimento, l'IGM ha definito, nel corso degli anni, la quota sul livello medio del mare di un gran numero di punti materializzati sul territorio nazionale.

È oramai un dato consolidato che questo livello medio del mare, preso come zero di riferimento, non sempre coincide con quello locale. Nella maggior parte delle applicazioni, le differenze tra i livelli medi del mare locali non sono significative, ma in alcuni casi, tenendo anche conto che il livello medio mare di Genova è stato definito più di 70 anni fa, cominciano a essere importanti.

Questa differenza può rendere problematica la progettazione delle difese costiere, la determinazione dei reali livelli idrici dei corsi d'acqua nell'area di foce durante eventi di piena e quella dell'ingressione marina in aree costiere. Inoltre, la determinazione del livello del mare locale è importante a fini previsionali, come per la stima delle quote raggiunte dal mare secondo scenari di innalzamento del livello marino e per poter valutare il rischio di inondazione degli stabilimenti balneari o di aree urbanizzate.

È dunque evidente come la differenza tra il riferimento nazionale e i riferimenti

mareografici locali, e l'aggiornamento degli stessi, sia diventata di estrema importanza. Grazie all'analisi del data-set messo a disposizione dalla stazione mareografica di Porto Garibaldi, si potrà definire un livello medio mare, attuale e locale, da utilizzare come riferimento per tutte le informazioni altimetriche del territorio.

2.3 Subsidenza

L'area costiera emiliano-romagnola è geologicamente caratterizzata da una successione di depositi alluvionali di età Quaternaria, che raggiunge, nell'area del ravennate, lo spessore di alcuni chilometri. La lenta e graduale compattazione di questi depositi alluvionali, sommata al movimento di abbassamento delle unità sottostanti, determina la subsidenza naturale dell'area.

Vari studi intrapresi negli anni hanno consentito di determinare valori di subsidenza naturale dell'ordine di alcuni millimetri all'anno, con valori maggiori nell'area del delta a nord, e nettamente minori lungo il margine della piana costiera a ridosso dell'Appennino, nel settore sud del litorale regionale.



FIGURA 4 Operazione di livellazione (2017).

A partire dagli anni 30-40, nella parte nord della fascia costiera regionale, il fenomeno dell'abbassamento del suolo si è manifestato in termini significativi, cioè con valori decisamente superiori a quelli naturali a causa dell'estrazione di acque metanifere dai primi strati sub-superficiali nella zona deltizia del Po e della bonifica di vaste aree vallive nel territorio della provincia di Ferrara.

Negli anni 50, la subsidenza ha investito anche il territorio della provincia di Ravenna. La causa, in questo caso, è stata l'elevato emungimento di acqua di falda a scopo produttivo.

Negli anni 60 lo sviluppo urbanistico connesso all'espansione del turismo balneare su tutta la costa regionale, ha determinato un'intensa estrazione di acque sotterranee per gli approvvigionamenti degli insediamenti civili e turistici e, conseguentemente, un ulteriore spostamento verso sud del fenomeno, fino a interessare tutta l'area costiera riminese.

A questo si è aggiunto un generale aumento, nell'entroterra costiero, delle superfici agricole coperte da colture particolarmente idroesigenti.

L'impatto della subsidenza sull'equilibrio del litorale è stato affrontato per la prima volta durante la stesura del primo Piano Costa del 1981. In questo documento si è evidenziato infatti che l'abbassamento del suolo non si limitava alle sole terre emerse, ma andava a interessare anche la spiaggia sommersa. In quell'occasione non è stato però possibile definire l'entità della subsidenza perché i dati disponibili non coprivano l'intera area costiera ed erano stati raccolti da Enti diversi, con metodologie differenti.

Per colmare questa lacuna, nel 1984, la Regione ha istituito un'apposita rete di misura della subsidenza costiera. Tra il 1984 e il 2005 la rete è stata rilevata 5 volte con la tecnica della livellazione geometrica di alta precisione (**FIGURA 4**). A partire dal 1999, la rete costiera è inserita all'interno di una rete molto più vasta che interessa l'intera pianura della Regione Emilia-Romagna.

Per ottenere informazioni omogeneamente distribuite su tutto il territorio, nel 2006, si è deciso di integrare le misure ottenute tramite la livellazione tradizionale con dati acquisiti dai radar installati a bordo di alcuni satelliti ed elaborati con il metodo dell'analisi interferometrica. Questa metodologia innovativa per la determinazione delle velocità di abbassamento del suolo è diventata sistematica per le successive campagne di misura della subsidenza del 2011 e del 2016 (**VEDI CAPITOLO 5.1**).

Fin dalle prime campagne di misura, i dati ottenuti hanno permesso di accertare che nel corso degli anni 80 la subsidenza dell'area costiera era mediamente di 2 cm/anno con punte di 4-5 cm/anno. La rilevanza di questi dati ha indotto la Regione e lo Stato ad attuare misure utili alla riduzione del fenomeno.

Per ridurre i prelievi d'acqua di falda, oltre alla realizzazione di grandi infrastrutture acquedottistiche quali la diga di Ridracoli e il Canale Emiliano-Romagnolo (CER) che porta l'acqua del Po per l'irrigazione delle zone costiere, è stata intrapresa un'incisiva azione di controllo dei numerosi punti di prelievo di acque sotterranee diffusi sull'intero territorio. Ciò ha comportato il censimento dei prelievi (civili, produttivi, agricoli) e, dove possibile, la loro sostituzione con fonti idriche superficiali.

In questo modo, nel medio periodo, si è ottenuta una notevole riduzione della subsidenza, i cui valori sono mediamente pari a pochi mm/anno su tutto il litorale ferrarese, fino a circa 5 mm/anno lungo il litorale ravennate e di circa 2-3 mm/anno nel restante litorale fino a Cattolica.

Nonostante le misure adottate abbiano prodotto una notevole riduzione delle velocità di abbassamento del suolo, i danni al territorio causati dalla subsidenza sono stati notevoli visto che gli abbassamenti sono irreversibili: in 55 anni Rimini si è abbassata di 70 cm, Cesenatico di 116 cm, Ravenna di 115 cm e l'area più a nord, fino al delta del Po, di circa 100 cm.

3



3. Opere e interventi per la difesa e la gestione del litorale

Il litorale emiliano-romagnolo è costituito da un'unità fisica da Cattolica alla foce del Po di Volano, lunga 110 km, e dal sistema barriera-laguna della Sacca di Goro, con un fronte mare di circa 10 km. Mentre nel primo tratto il trasporto solido lungo costa prevalente è diretto in direzione sud-nord, nel secondo è diretto da est verso ovest.

La realizzazione dei moli a difesa delle foci dei porti canali, prima, e delle scogliere di difesa dall'erosione, poi, ha determinato un forte impatto sulla dinamica costiera, causando forti squilibri tra le zone sopraflutto, in accumulo, e quelle sottoflutto, in erosione. La realizzazione, anche massiccia, delle opere di difesa, non è stata sufficiente a frenare i processi erosivi, quindi per riequilibrare il sistema costiero e ricostruire le spiagge è stato necessario realizzare numerosi interventi di ripascimento con materiale prelevato da cave a terra o a mare, o lungo il litorale nelle aree in accumulo.

I lunghi moli presenti lungo il litorale, intercettando parzialmente o, in alcuni casi, totalmente il trasporto solido lungo costa, hanno limitato o annullato lo scambio sedimentario tra zone contigue. Attualmente lungo il litorale regionale si possono individuare 7 tratti di costa (macrocelle) di fatto indipendenti l'uno dall'altro. All'interno di ogni macrocella, le opere di difesa (scogliere parallele emerse e sommerse, scogliere radenti, pennelli, ecc...) hanno modificato ulteriormente le modalità di trasporto di sedimenti dei singoli tratti di costa difesi, che richiedono dunque differenti modalità di gestione (celle). Questa situazione ha determinato di fatto un'ulteriore frammentazione del litorale (Arpae, 2016).

Le opere e gli interventi realizzati lungo il litorale emiliano-romagnolo si possono suddividere in 4 gruppi in base alla loro funzione:

1. di protezione e mantenimento dell'apertura

- di foci fluviali, canali, porti canali, dell'approdo dei bacini portuali e delle darsene, e della funzionalità delle lagune;
2. di difesa di spiagge, centri abitati e territorio dall'erosione e dall'ingressione marina;
3. di rinaturalizzazione e riqualificazione del sistema costiero (dune e spiaggia).
4. di tutela e miglioramento della qualità dell'acqua di balneazione.

Gli interventi e le opere possono svolgere una o più delle funzioni sopra elencate.

Appartengono al primo gruppo i moli e i dragaggi che hanno la funzione di impedire l'insabbiamento delle foci fluviali o dei canali e delle aste dei porto canali per garantire il deflusso delle acque e il transito in sicurezza delle imbarcazioni.

I moli sono opere disposte trasversalmente alla linea di costa, presenti in coppia, con un protendimento in mare variabile da poche decine di metri fino ad alcuni chilometri (Regione Emilia-Romagna, 1984). Lungo il litorale emiliano-romagnolo, nel maggior numero dei casi, (vedi oltre, e in **TABELLA 1**, una specifica descrizione di queste opere), il molo sud è più proteso in mare rispetto a quello nord, in virtù della prevalenza del trasporto solido litoraneo diretto da sud verso nord. Alla funzione dei moli si associa quella degli interventi di dragaggio di sedimenti per liberare le foci e ripristinare la sezione libera necessaria per la navigazione in sicurezza e l'adeguato flusso e deflusso dell'acqua. Al primo gruppo appartengono anche quelle opere foranee e i dragaggi realizzati per creare approdi e garantire il pescaggio necessario per le imbarcazioni da pesca, da turismo e altre attività economiche. Al secondo gruppo appartengono le opere e gli interventi realizzati per:

- dissipare il moto ondoso e ridurre la capacità di erosione del mare (scogliere parallele);
- impedire l'ingressione marina (muretti, scogliere radenti, argini, dune invernali, ecc...);
- bloccare il trasporto solido lungo costa e favorire l'accrescimento delle spiagge (pennelli e scogliere);

- ripristinare le spiagge e le dune per garantire la presenza e lo sviluppo dell'attività turistico-balneare e degli ambienti naturali di spiaggia (ripascimenti artificiali).

Al terzo gruppo appartengono una serie di interventi realizzati per la conservazione e la salvaguardia naturalistica e ambientale degli habitat costieri. Infine, all'ultimo gruppo appartengono gli interventi per garantire un'adeguata circolazione dell'acqua nelle aree di balneazione, per esempio i prelievi di sabbia nella zona tra battigia e scogliere, o il deflusso al largo delle acque superficiali (condotte e scolmatori).

L'insieme di queste opere e interventi influenzano le dinamiche litoranee, modificando il profilo di spiaggia, e quindi interagiscono con il fenomeno erosivo contrastandolo o, in alcuni casi, accentuandolo. Le prime opere di cui si ha conoscenza, per la difesa dall'erosione costiera lungo il litorale regionale, risalgono al 1917-1918. Sulla spiaggia di Viserba, a nord dei moli di Rimini, furono costruiti 5 pennelli lunghi 30 m e distanziati 150 m, a cui seguirono altri 4 pennelli realizzati negli anni 20, nella vicina spiaggia di Rivabella (Regione Emilia-Romagna, 1984). Nel periodo 1929-1931, per proteggere l'abitato di Porto Garibaldi furono realizzate 3 scogliere frangiflutti a ridosso del molo di Ponente. I ripetuti prolungamenti dei moli del porto canale, infatti, avevano bloccato il trasporto

dei sedimenti provenienti dalla foce del Reno, e mandato in erosione le spiagge a nord. Attualmente, 20 km di litorale dai moli di Rimini a quelli di Cesenatico e 13 km dai moli di Porto Garibaldi a Lido di Volano sono completamente difesi con opere di tipo rigido, prevalentemente scogliere parallele emerse.

3.1 Moli

Nei 110 km di costa tra Cattolica (foce del Tavollo) e la foce di Volano, sono presenti ben 28 foci di corsi naturali o artificiali quasi tutte protette con moli in calcestruzzo o con armature di vario genere (scogliere, pali in legno, palancole e argini protetti). Tra questi si distinguono strutture caratterizzate da diversi gradi di interazione con il trasporto solido litoraneo (**TABELLA 1**):

1. i moli del porto di Ravenna, che si protendono a mare per circa 2,5 km fino a raggiungere i fondali di 9-10 m, intercettano completamente il trasporto solido litoraneo. Trovandosi in una zona di convergenza del trasporto solido, lo sfalsamento tra la spiaggia a sud di Marina di Ravenna e quella nord di Porto Corsini non risulta particolarmente significativo;
- I moli di Rimini (**FIGURA 5**), Cesenatico e Porto Garibaldi che presentano le seguenti caratteristiche:



FIGURA 5 Avamposto di Rimini (18 marzo 2016).

TABELLA 1 Caratteristiche dei moli presenti lungo il litorale emiliano-romagnolo da Cattolica alla foce del Po di Volano.

Denominazione	Distanza rispetto al molo precedente (km)	Descrizione struttura	Aggetto strutture ^{1,2} (m)	Batimetria alla testata del molo al 2018 ² (m)	Grado di interazione ³	Sfalsamento della spiaggia sud rispetto a quella nord ⁴ (m)
Torrente Tavollo, Porto canale e darsena di Cattolica	-	I moli e la darsena protendono oltre la linea delle scogliere	190 150	3,5-4,0 2,5-3,0	3	0
Torrente Ventena	2,10	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	130 120	4-4,5 3-3,5	3	10
Fiume Conca	0,40	La foce è confinata a sud da un setto trasversale in c.a. posto alla fine delle scogliere di Cattolica, e a nord da un pennello in roccia posto a difesa della spiaggia di Porto Verde Sud	140 50	3,5 1,5	3	0
Porto canale di Porto Verde	0,10	Moli	50 40	2,0 2,0	3	0
Rio Agina	2,05	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	20 20	0,5 0-0,5	3	-15
Rio Melo Porto canale e darsena di Riccione	4,25	Moli	50 45	1,5 1,0	4	0
Rio Marano	2,20	La foce è difesa con strutture di legno. La linea di riva è in posizione avanzata rispetto all'armatura.	- -	- -	5	0
Porto canale e darsena di Rimini	8,20	Moli, darsena, scogliera e pennello in roccia	315 250	4,0 3,5-4,0	2	320
Foce deviatore Marecchia	0,85	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	55 45	1-1,5 0,5-1,0	3	75
Canale dei Mulini - Viserba	2,95	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	50 50	0,5-1,0 0,5-1,0	3	0
Foce Uso, porto canale di Bellaria	7,60	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	90 50	3,5 2,5-3	3	0
Foce Rubicone	3,55	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	200 20	4,5 0,5	3	-70
Porto canale di Cesenatico	5,50	Il molo di levante è confinato all'interno della linea delle scogliere, mentre quello di ponente è più avanzato rispetto alla scogliera sommersa	150 380	3,5-4,0 3,5-4,0	2	300
Canale Tagliata	2,10	L'armatura della foce del canale è realizzata con palancole	- -	- -	5	-
Porto canale di Cervia	5,50	Moli e darsena	130 105	2,0 2,0	4	0
Canalino delle Saline - Milano Marittima	1,40	Moli	60 35	1,0 1,0	5	-15
Canale di via Cupa - Milano Marittima	2,25	Moli, in prossimità del molo nord è presente un pennello sommerso che si congiunge con le scogliere di Lido di Savio.	145 50	3,0-3,5 3,0-3,5	3	-
Foce Savio	2,20	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	160 60	3,5 2,0	3	-60
Foce Bevano	4,90	Sponda sud non armata, quella a nord armata con pali di legno	- -	- -	5	-
Foce Fiumi Uniti	3,55	Foce armata	- -	- -	3	-
Canale del Molino - Punta Marina	4,80	Moli confinati all'interno della linea delle scogliere	- -	- -	3	-
Moli del porto di Ravenna	6,50	Moli	2450 2250	8,5-9 10,0	1	-180
Foce del Lamone	3,80	Moli	120 120	2-2,5 2-2,5	5	0
Foce Canale Destra Reno - Casal Borsetti	3,00	I moli sono confinati all'interno della linea delle scogliere	135 70	3,5-4 3,5-4	3	-50
Foce Reno	4,10	Foce armata	- -	- -	5	-
Foce Gobbino	3,60	Foce non armata	- -	- -	4	-
Canale Logonovo	4,60	Foce armata	- -	- -	4	-
Porto Garibaldi	1,70	Moli	150 280	2,0 3,0	2	450

NOTE: 1) rispetto alla linea di riva del 2018; 2) il primo valore si riferisce al molo sud, il secondo al molo nord; 3) grado di interazione con il trasporto solido litoraneo (vedi testo); 4) valori positivi quando la spiaggia a sud è avanzata rispetto a quella nord, negativi quando si trova in posizione arretrata.

- localizzati in paraggi costieri con trasporto solido litoraneo diretto prevalentemente da sud verso nord;
 - molo sud decisamente più aggettante di quello nord;
 - significativo blocco del trasporto solido litoraneo;
 - marcato sfalsamento della linea di riva delle spiagge a sud rispetto a quelle a nord;
 - avanzamento delle spiagge sopraflutto e arretramento di quelle sottoflutto;
 - necessità di dragaggio per garantire l'accesso in sicurezza delle imbarcazioni;
2. una serie di moli confinati all'interno della linea delle scogliere parallele, o che si protendono poco oltre, che non determinano effetti rilevanti sulle spiagge in quanto il trasporto solido litoraneo è già fortemente condizionato dalla presenza delle opere di difesa rigida, per es. porto di Cattolica, porto canale di Bellaria, foce del Rubicone e Savio;
 3. i moli e/o foci, che non determinano importanti sfalsamenti tra le spiagge limitrofe, ma intercettano il trasporto solido litoraneo, quindi necessitano di periodici interventi di dragaggio all'imboccatura (es. moli di Riccione e Cervia, Foce Gobbino e Foce Logonovo);
 4. infine, una serie di foci, perlopiù armate, che hanno un effetto limitato, se non trascurabile, sulle dinamiche del trasporto longitudinale (es. Rio Marano, Foce Bevano, Lamone).

Nella parte nord del litorale regionale, costituito dal sistema della laguna e dello Scanno di Goro, sono presenti:

- la foce del Po di Goro, difesa in sponda destra con un pennello in roccia e una serie di deflettori in pali di legno, in quella sinistra da un pennello in pali di legno,
- a 500 m a ovest della foce, un'apertura di collegamento laguna-mare, difesa su entrambe le sponde con pennelli in pali di legno;
- a ridosso dello Scannone di Volano, un canale sub-lagunare di accesso al Porto di Goro.

3.2 Opere di difesa

Al 2018, sui 110 km di litorale tra Cattolica e Foce Volano, quasi 83 km (75%) sono stati interessati dal fenomeno dell'erosione costiera. Su 79 km di litorale sono presenti opere di difesa rigida o sono stati realizzati interventi di ripascimento per contrastare l'erosione e l'ingressione marina, e ripristinare le spiagge. Sulla spiaggia della Sacca di Bellocchio, tra la foce del Reno e il Bagno Giamaica, pur essendo da anni in forte erosione, non sono stati ancora realizzati interventi di difesa, a esclusione di un pennello in pali di legno nella zona più a nord. Su oltre 69 km di litorale sono state realizzate opere di difesa di varie tipologie, mentre sono stati realizzati interventi di ripascimento su circa 64 km di litorale, di cui 54 km difesi anche con opere. Poco meno di 10 km di spiaggia sono difesi esclusivamente tramite periodici interventi di ripristino/difesa (**FIGURA 6**).

Le uniche spiagge non ancora interessate dai processi erosivi sono quelle sopraflutto ai moli di Rimini e Porto Garibaldi, a ridosso dei moli di Porto Corsini e del porto di Cervia, in quanto zone di convergenza del trasporto solido litoraneo, e quelle in prossimità della foce del Bevano e dello Scannone di Volano.

Nella parte nord del litorale regionale, costituito dal sistema laguna-Scanno di Goro e con un fronte mare di circa 10 km, sono stati eseguiti interventi di escavo per garantire l'accesso alla Sacca e lo scambio idrico tra mare e laguna, e realizzate opere per proteggere o rinforzare lo Scanno (tubi Longard, duna armata e pennelli in roccia o in pali di legno).

La tipologia di opere più utilizzata per la difesa del litorale regionale sono le scogliere parallele emerse, e in misura minore le scogliere a cresta bassa, le scogliere radenti, i pennelli in roccia o pali di legno e le barriere sommerse in sacchi. Alcuni tratti di spiaggia presentano un sistema di difesa dall'erosione costituito da due o più tipologie di opere (**TABELLA 2, FIGURA 7, FIGURA 8 E FIGURA 9**).

FIGURA 6 Litorale emiliano-romagnolo: sistema di difesa dall'erosione.

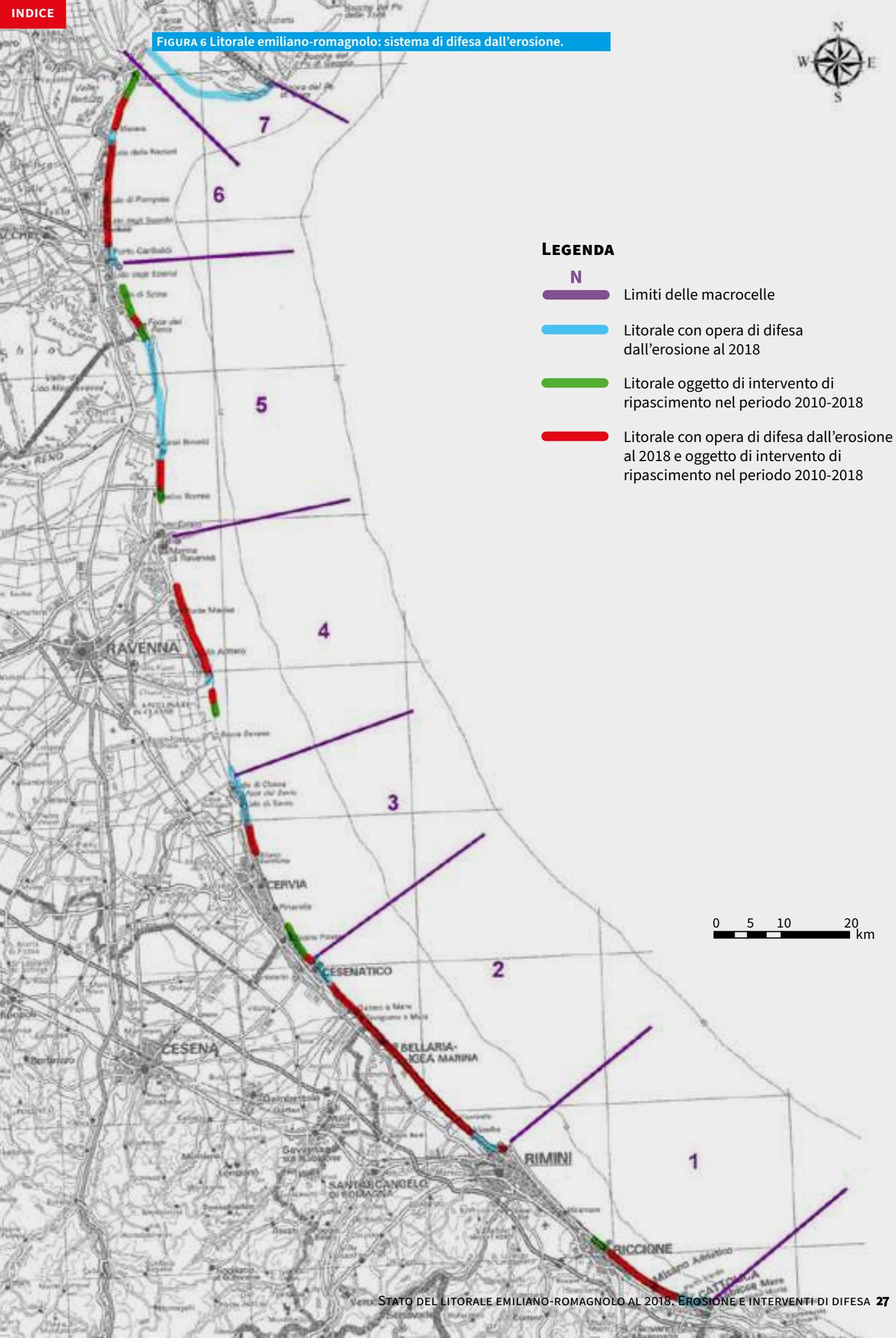




FIGURA 7 Torre Pedrera (Rimini): serie di scogliere parallele emerse (30 maggio 2018).



FIGURA 8 Punta Marina (Ravenna): scogliere a cresta bassa (30 maggio 2018).



FIGURA 9 Lido di Spina Sud (Comacchio): pennelli in pali di legno e in roccia (4 ottobre 2016).

TABELLA 2 Principali tipologie di opere e lunghezza dei tratti di spiaggia difesi al 2018.

Tipologia di opera	Tratto spiaggia difesa (km)
Scogliere parallele emerse	38,015
Scogliere a cresta bassa	6,305
Scogliere radenti in roccia	6,250
Pennelli in roccia	5,000
Pennelli in pali di legno	1,200
Barriera sommersa in sacchi	6,755

Nel periodo 2012-2018 sono stati realizzati diversi interventi di modifica o riassetto delle opere di difesa esistenti. Tra queste citiamo l'abbassamento della quota di berma di sette scogliere parallele emerse a Viserba, per il miglioramento ambientale del paraggio e l'incremento della circolazione idrica nelle acque di balneazione, il salpamento di metà della prima scogliera di Cattolica e di un tratto del "pennellone" in roccia di Cesenatico Ponente. Come nuove opere, sono stati realizzati solo tre pennelli in pali di legno lungo lo Scanno di Goro per rallentare il trasporto solido litoraneo diretto est-ovest, e un pennello, sempre in pali di legno, a Lido di Spina Sud. Inoltre, davanti alla spiaggia di Riccione sono stati realizzati due interventi di natura sperimentale con la posa di una serie di moduli Reefball e Wmesh in calcestruzzo.

Anche nel periodo 2012-2018 si è confermata la tendenza degli ultimi decenni a una riduzione al ricorso di opere rigide di difesa dall'erosione e dall'ingressione marina così come indicato nel Piano Costa 1981, nel Progetto di piano per la difesa dal mare del 1996 e nelle linee guida della Gestione Integrata delle Zone Costiere del 2005.

3.3 Ripascimenti

Fino al 1983, la difesa dall'erosione e dall'ingressione marina era stata effettuata, infatti, quasi esclusivamente con opere rigide. Si ha notizia di un intervento di ripascimento realizzato nel 1972 a Gatteo a Mare, con 42.000 mc di sabbia prelevata da una cava a terra, e di alcuni interventi di qualche migliaio di metri cubi a Gatteo e San Mauro, che insieme a una serie di tubi Longard permettevano di ripristinare la spiaggia emersa (**FIGURA 10**; Regione Emilia-Romagna, 1984). A partire dal 1983, in seguito anche alle indicazioni del Piano Costa 1981 (Regione Emilia-Romagna, 1981), si è sempre più privilegiata la difesa della costa con interventi di ripascimento, prima con sedimento prelevato da cave a terra, da scavi edili, dalla realizzazione di darsene, dalle zone di accumulo lungo il litorale (spiagge in avanzamento e imboccature di canali e fiumi) e dal 2002 anche con sabbie prelevate dai fondali marini al largo della costa regionale (Arpae, 2016).

Questo ha determinato sia un minor costo degli interventi di ripascimento, sia una riduzione dell'impatto ambientale a terra determinato dall'attività di escavo e dal trasporto su gomma. L'ultimo intervento a scala regionale risale al 2016 (**FIGURA 11 E FIGURA 12**).

Dal 1983 al 2018 sono stati effettuati interventi di ripascimento per un totale di 12,7 milioni di mc di sedimento (**FIGURA 13**).

Di questi, il 37,8%, pari a circa 4,8 milioni di mc, deriva da paleggiamenti da zone litoranee in accumulo a quelle in erosione, mentre il 62,2% (circa 7,9 milioni di mc) deriva da contributi esterni che hanno contribuito a incrementare l'apporto solido del sistema litoraneo.

Tra le fonti esterne di sedimento vi sono le cave a terra (3,6 milioni di mc), i giacimenti sottomarini (3 milioni di mc) e il materiale proveniente da scavi edili e realizzazioni di nuove darsene (1,2 milioni di mc). L'apporto esterno di sedimento, se complessivamente può risultare una quantità elevata, in realtà consiste in poco più di 225.000 mc l'anno.



FIGURA 10 San Mauro a Mare: sistema di protezione della spiaggia costituito da scogliere parallele emerse, tubi Longard e ripascimenti (Regione Emilia-Romagna, 1984).

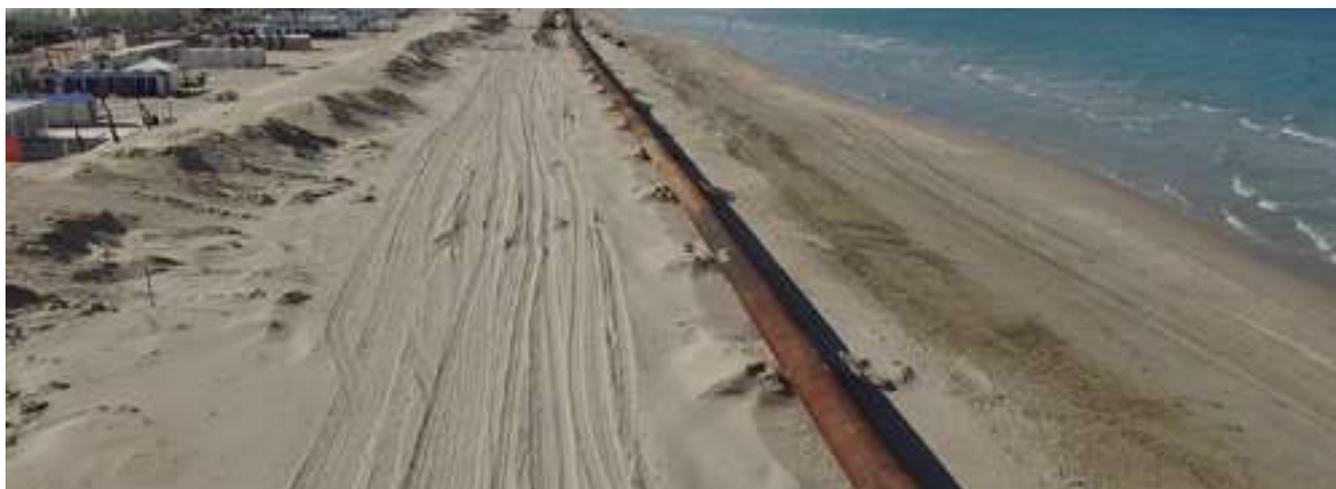


FIGURA 11 Riccione: sabbiodotto utilizzato per l'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (2016).



FIGURA 12 Lido Spina Sud: operazione di ripascimento realizzato nel 2016 con il sedimento prelevato alla foce del canale Logonovo.

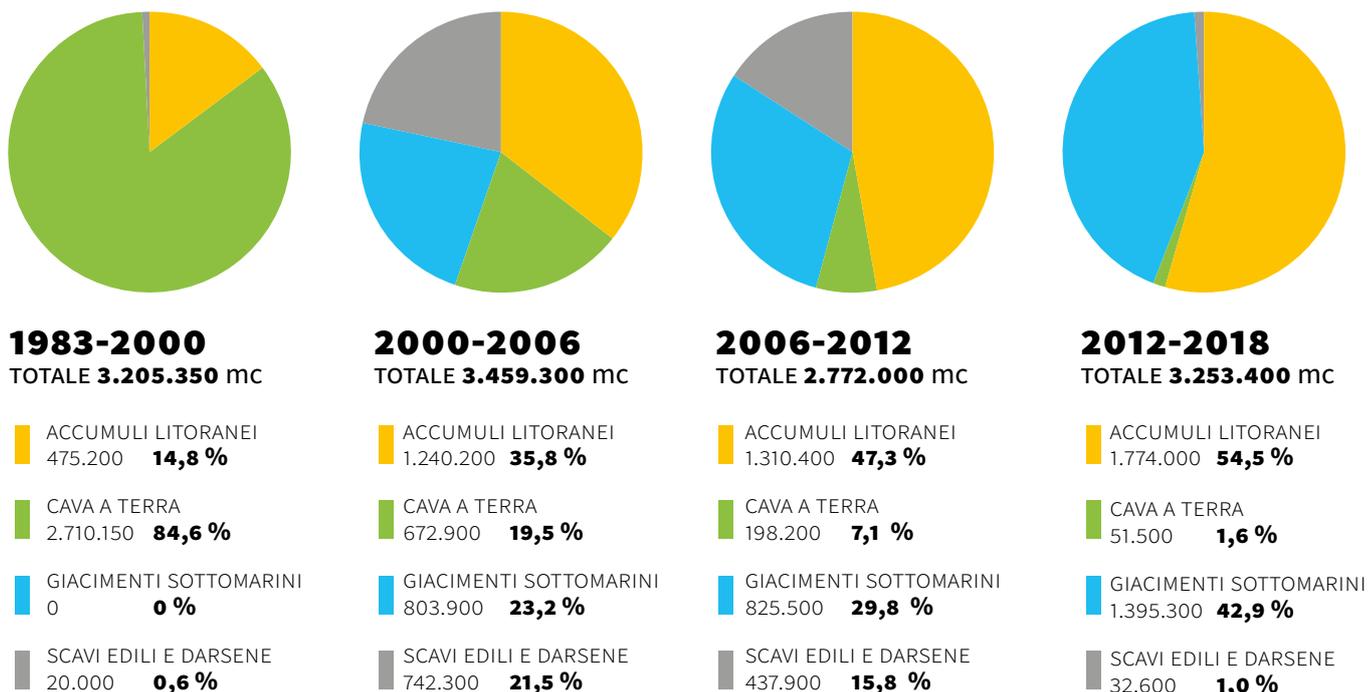
In **FIGURA 14** si osserva la variazione nel tempo della distribuzione percentuale della fonte dei sedimenti utilizzati per interventi di ripascimento. In particolare, nel periodo 2012-2018 sono stati portati a ripascimento oltre 3 milioni di mc di sabbia, pari a un apporto medio annuo di circa 500.000 mc. Il 54,5% (circa 1,8 milioni di mc) del totale del materiale

apportato proviene da tratti litoranei in accumulo, il 42,9% (circa 1,4 milioni di mc) è stato apportato mediante l'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato nel 2016, e solo il 2,6% proviene da scavi edili e cave a terra.

FIGURA 13 Volume di sedimento portato a ripascimento nel periodo 1983-2018, suddiviso per fonte di provenienza.



FIGURA 14 Volume di sedimento portato a ripascimento nel periodo 1983-2018, suddiviso per periodi significativi e per fonte di provenienza.



4



4. Rete Geodetica Costiera – RGC

Nel biennio 2016-2017 è stata realizzata la Rete Geodetica Costiera (RGC) per il corretto inquadramento dei rilievi topografici e batimetrici lungo il litorale regionale.

La realizzazione della RGC è stata effettuata in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna.

La Rete Geodetica Costiera è costituita da 40 vertici stazionabili con tecniche GNSS, inquadrati nel sistema di riferimento nazionale ETRS89-ETRF2000 (2008.0) (Decreto Ministeriale 10/11/2011). In corrispondenza dei 40 vertici è stata determinata sia la quota ellissoidica "h" (m sull'ellissoide di riferimento GRS80), sia la quota ortometrica "H" (m sul livello del mare). Quest'ultima è stata ottenuta facendo riferimento alla rete regionale di controllo della subsidenza rilevata da Arpa nel 2005, e aggiornata al maggio 2011 tramite il modello di subsidenza stimato con misure interferometriche.

Sono state redatte le monografie dei 40 vertici e rese disponibili sul portale cartografico di Arpa, nella sezione Mare e costa (<https://www.arpae.it/cartografia/>).

Nei capitoli che seguono, sono esposti:

- gli obiettivi alla base della realizzazione della Rete;
- le attività di analisi dello stato dell'arte delle reti geodetiche esistenti sul territorio regionale;
- le varie fasi progettuali che hanno portato alla definizione delle caratteristiche tecniche della Rete Geodetica Costiera;
- le attività di campo effettuate per realizzare l'impianto di progetto;
- le operazioni di calcolo per ottenere le coordinate plano-altimetriche dei punti e la loro sistematizzazione in apposite monografie;
- le ulteriori azioni avviate per il potenziamento della rete.

4.1 Obiettivi della Rete Geodetica Costiera

La corretta quantificazione dei volumi portati a ripascimento, la stima dell'efficacia degli interventi stessi, nonché la valutazione dei fenomeni erosivi, sono fortemente dipendenti dall'accuratezza con cui vengono effettuati i rilievi topografici e batimetrici della spiaggia emersa e dei fondali antistanti. Una non corretta misura della quota di spiaggia di pochi centimetri determinerebbe un errore di migliaia di metri cubi di sabbia erosa o depositata.

Per l'inquadramento altimetrico dei rilievi topo-batimetrici del litorale emiliano-romagnolo si è sempre fatto riferimento alla rete per il monitoraggio della subsidenza istituita, almeno per quello che riguarda l'area costiera, nel 1984 dalla Regione. La rete era costituita, all'impianto, da capisaldi equidistanti circa 500 m, e quotati periodicamente con tecniche di livellazione geometrica di alta precisione. Alla fine degli anni 90 del secolo scorso è stata istituita la rete regionale per il monitoraggio della subsidenza che ha inglobato l'originaria rete costiera. Nel 2005 è stata effettuata l'ultima livellazione permettendo l'aggiornamento delle quote dei capisaldi.

L'Unità monitoraggio costiero di Arpa che, per conto della Regione Emilia-Romagna, gestisce la rete topo-batimetrica regionale, esegue l'analisi dell'evoluzione morfologica del litorale ed effettua il calcolo dei volumi erosi e/o depositati, ha da alcuni anni riscontrato la necessità di realizzare una nuova rete di riferimento accurata e aggiornata, la cosiddetta Rete Geodetica Costiera – RGC, proprio al fine di ridurre gli errori, in particolare quelli legati alla quota.

Gli obiettivi della Rete Geodetica Costiera sono:

- realizzare un'infrastruttura geodetica per inquadrare, in un unico sistema di riferimento, i rilievi topografici e batimetrici realizzati per il monitoraggio della zona costiera della regione Emilia-Romagna;
- materializzare la rete con una serie di vertici inquadrati nel sistema di riferimento nazionale ETRS89 – ETRF2000 (epoca 2008.0),

così come prescritto dal Decreto Ministeriale del 10 novembre 2011;

- fornire coordinate plano-altimetriche dei vertici con precisione centimetrica;
- realizzare una rete di vertici stazionabili con strumentazione GNSS;
- utilizzare vertici o capisaldi preesistenti per evitare duplicazioni.

4.2 Analisi delle infrastrutture geodetiche presenti sul territorio regionale e loro limiti

L'accurata conoscenza geometrica del territorio, intesa sia dal punto di vista della sua rappresentazione che delle sue evoluzioni temporali, è un elemento fondamentale per chi opera su di esso con compiti di mantenimento, prevenzione, amministrazione e pianificazione.

I metodi di rilievo topografici (o geomatici) costituiscono lo strumento operativo per poter ottenere le informazioni necessarie per definire l'assetto morfologico del territorio. Tali informazioni sono, in pratica, rappresentate dalla posizione plano-altimetrica di un numero sufficientemente elevato di punti distribuiti sul territorio, per poterlo rappresentare adeguatamente.

La completa conoscenza del territorio non può prescindere dall'individuazione delle tendenze evolutive nel tempo, causate da fattori naturali e antropici, e determinabili solo grazie al periodico monitoraggio morfologico. Grazie al confronto tra assetti plano-altimetrici rilevati in momenti successivi è infatti possibile determinare la presenza di fenomeni erosivi in ambito costiero, oppure quantificare gli eventuali apporti di ripascimento e verificarne l'evoluzione nel tempo.

Determinare la posizione di un insieme di punti nello spazio e nel tempo ha, come condizione imprescindibile, la necessità di definire un "sistema di riferimento". Questo viene generalmente materializzato a terra mediante un insieme di punti (vertici, capisaldi, ecc.) a coordinate note, ai quali occorre riferirsi per determinare le coordinate dei nuovi punti

che permettono la descrizione del territorio. Tali punti a terra, materializzati mediante centrini, borchie metalliche ecc. costituiscono l'infrastruttura geodetica e "realizzano" il sistema di riferimento.

Storicamente le tecniche di rilievo topografico mantenevano separata la componente planimetrica da quella altimetrica e per tale ragione sullo stesso territorio erano presenti, e per certi versi lo sono ancora, due tipologie di infrastrutture geodetiche distinte e materializzate con soluzioni differenti: le reti di triangolazione (materializzate con punti denominati vertici) e le reti di livellazione (materializzate con punti denominati capisaldi).

Con l'introduzione delle tecniche di posizionamento satellitare GNSS (*Global Navigation Satellite System*), i vertici delle tradizionali reti di triangolazione si sono trasformati in riferimenti tridimensionali inquadrati nel sistema di riferimento ellissoidico del GNSS. Quindi anche le quote dei vertici erano per loro natura definite nel modo più accurato rispetto all'ellissoide di riferimento.

L'evoluzione tecnologica degli ultimi anni ha cambiato ulteriormente il concetto di rilievo con sistemi satellitari: all'approccio basato sul posizionamento relativo (DGPS), realizzato con lo stazionamento in corrispondenza dei vertici a coordinate note, si sono affiancati metodi di rilievo basati su reti di stazioni permanenti GNSS, che consentono precisioni di posizionamento, in condizioni ottimali, dell'ordine dei 2/3 centimetri in planimetria e 4/5 cm in quota.

I capisaldi di livellazione invece hanno mantenuto la loro caratteristica di essere unicamente riferimenti altimetrici (con quote ortometriche e una indicazione di massima sulla componente planimetrica) su cui si poteva operare con la tradizionale livellazione geometrica. Vista la loro natura, generalmente i capisaldi di livellazione non sono progettati per misure di altra natura come per esempio stazioni totali o satellitari.

A seguito di ciò, nel tempo, sono state

realizzate infrastrutture geodetiche con caratteristiche differenti e, a volte, riferite a sistemi di riferimento diversi. Si deve inoltre sottolineare che, soprattutto per le infrastrutture geodetiche “passive”, ossia materializzate con centrini, borchie o capisaldi di livellazione, è statisticamente provata una mortalità fisiologica annua del 7-10%, principalmente dovuta a modifiche o rifacimenti delle strutture su cui esse vertono. Ne deriva che il quadro complessivo di impianto, cioè al momento della realizzazione, non sempre rispecchia lo stato reale delle infrastrutture che, in alcuni casi, potrebbe essere molto differente.

Nel territorio della regione Emilia-Romagna sono attualmente presenti diverse reti geodetiche misurate sia con la tecnica GNSS, sia con tecniche “tradizionali” di livellazione per la misura della quota. Le caratteristiche di gestione e materializzazione di queste infrastrutture sono molto diverse tra loro e rispecchiano le differenti finalità e il momento in cui sono state realizzate.

4.2.1 LE RETI MISURABILI CON TECNICHE GNSS

Queste reti possono essere distinte in reti passive, realizzate da vertici stazionabili, ma su cui non sono presenti strumenti di acquisizione continua, e reti attive, costituite da vertici su cui sono installati strumenti GNSS in acquisizione continua, che possono anche erogare un servizio per il posizionamento, o fornire le osservazioni acquisite per successive elaborazioni (post-processing).

Appartengono alle reti GNSS passive le infrastrutture IGM95 e GPS-7.

- La rete di posizionamento denominata IGM95 è stata istituita, sull'intero territorio nazionale, alla fine del secolo scorso dal Servizio Geodetico dell'IGMI come aggiornamento alle infrastrutture classiche verso le nuove tecnologie di posizionamento satellitare. L'interdistanza di progetto tra i vertici è di 20 km, ma la morfologia della penisola italiana non ha permesso di soddisfare sempre tale requisito, soprattutto nelle aree montuose. La rete è stata

inquadrata nel sistema geodetico europeo ETRS89. A seguito della realizzazione della Rete Dinamica Nazionale (RDN) l'IGMI ha aggiornato le coordinate della rete IGM95 nel nuovo sistema di riferimento nazionale ETRF2000 (epoca 2008.0).

Per quanto attiene il territorio regionale, al momento dell'impianto erano presenti 170 vertici IGM95, con una distribuzione non omogenea dei punti, come nell'area costiera dove erano presenti originariamente solo 10 vertici.

- Per ovviare ai problemi operativi derivanti dall'interdistanza tra i vertici della rete IGM95, è stata proposta la realizzazione di un raffittimento della rete da realizzare a cura degli Enti Locali sul territorio di competenza, con il supporto economico delle Regioni. È stato deciso di progettare questi raffittimenti con un interdistanza media tra i punti di circa 7 km e con la condizione che la nuova rete dovesse essere misurabile attraverso le tecniche di posizionamento satellitare. La nuova infrastruttura geodetica è stata denominata GPS-7, includendo in tal modo nel nome l'interdistanza media tra i vertici. All'impianto la rete è stata inquadrata nel sistema ETRS89; dopo la realizzazione della RDN, l'IGMI ha provveduto a calcolare le coordinate dei vertici GPS-7 nel nuovo sistema di riferimento ETRS2000(2008.0).

Per quanto riguarda le reti GNSS attive, cioè dotate di stazioni satellitari permanenti, sul territorio regionale sono presenti diverse infrastrutture geodetiche istituite da enti pubblici o agenzie private per differenti finalità (**FIGURA 15**).

- Tra le reti attive, alcune sono state istituite per scopi di carattere scientifico e/o di monitoraggio del territorio. In particolare sono presenti reti gestite da dipartimenti di Ingegneria, Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna, dall'INGV, dal Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna e, sia pure con una sola stazione, dall'ASI, l'Agenzia Spaziale Italiana.

FIGURA 15 Distribuzione delle reti di stazioni GNSS permanenti presenti nel territorio regionale.



- Con lo sviluppo della tecnologia GNSS per il posizionamento in tempo reale NRTK, anche sul territorio regionale dell'Emilia-Romagna sono state istituite alcune infrastrutture geodetiche in grado di erogare agli utenti questi servizi di posizionamento. In particolare, nel territorio regionale è possibile usufruire dei servizi in tempo reale erogati da due diverse istituzioni private: rete FoGER (Fondazione dei Geometri e Geometri Laureati dell'Emilia Romagna) partner commerciale della rete NetGeo-Topcon, e la rete Italpos di Leica Geosystem. Entrambe le reti sono inquadrare nel sistema ETRF2000 (2008.0).

4.2.2 LE RETI DI LIVELLAZIONE

Sul territorio della Regione Emilia-Romagna sono presenti diverse reti di capisaldi di livellazione realizzate da Istituti nazionali e da vari Enti locali (Regione, Comuni, enti di gestione del territorio, ecc.).

Le principali sono la rete IGMI (Istituto Geografico Militare Italiano) di livellazione di alta precisione e la rete regionale Arpae per il monitoraggio della subsidenza. Altre reti di minore estensione gestite da singoli comuni e enti di bonifica sono, in realtà, agganciate alla citata rete Arpae.

- La rete di livellazione IGMI di alta precisione è stata realizzata fra il 1950 e il 1971, ed era costituita, al momento della sua istituzione, da circa 13.000 capisaldi materializzati lungo altrettanti km della viabilità presente sul territorio nazionale.

FIGURA 16 Mappa delle linee di livellazione della rete per il monitoraggio della subsidenza Arpae Emilia-Romagna.



A questa rete si collegano altre reti di livellazione appartenenti al Catasto, a Enti locali e a Istituti di ricerca. È attualmente in fase di svolgimento un importante progetto di completa rimisura delle linee esistenti e contemporanea istituzione di nuove linee di raffittimento che porteranno a un totale di oltre 20.000 capisaldi.

Questa attività è parte essenziale del progetto, messo in atto dall'IGMI in collaborazione con il Politecnico di Milano, finalizzato a migliorare la conoscenza del Geoide Nazionale.

Le quote dei capisaldi sono riferite a un geoide, ovvero a una superficie equipotenziale del campo gravitazionale terrestre, che, per l'Italia continentale, risulta passante per il punto di quota zero del mareografo di Genova, determinato con le misure del decennio 1937-1946. La rete IGMI materializza il sistema di riferimento altimetrico nazionale.

- Al fine di monitorare in modo strutturato il fenomeno della subsidenza di origine naturale e antropica presente sul territorio emiliano-romagnolo, Arpae, su incarico della Regione e in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, ha progettato e istituito nel 1997-1998 una rete regionale di monitoraggio della subsidenza. La rete Arpae (**FIGURA 16**) è costituita da una rete di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e da una rete di circa 60 punti GPS. Entrambe le reti sono state progettate a partire dal vasto patrimonio di capisaldi esistenti.

La rete, nel suo complesso, è stata misurata per la prima volta nel 1999. Il rilievo della rete di livellazione ha permesso di attribuire a ogni caposaldo una quota assoluta sul livello medio del mare riferita, in particolare, al caposaldo 5/162 (verticale) ritenuto stabile, sito nei pressi di Sasso Marconi (Appennino bolognese) e appartenente alla rete di livellazione di alta precisione dell'IGMI.

Per tale caposaldo è stata adottata la quota determinata nel 1949 dall'Istituto stesso.

Nel 2005 Arpa, su incarico della Regione e in collaborazione con il DICAM dell'Università di Bologna, ha effettuato la livellazione geometrica di alta precisione di un sottoinsieme della rete regionale (circa il 50% delle linee di livellazione) in funzione di supporto all'analisi interferometrica, che a partire dal 2005 è diventata la tecnica di riferimento per la misura della subsidenza.

4.2.3 LIMITI DELLE INFRASTRUTTURE GEODETICHE PRESENTI SUL TERRITORIO DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Le attuali infrastrutture geodetiche presenti sul territorio, seppur ingenti e dense, non posseggono le caratteristiche per diventare la rete a supporto dei rilievi topo-batimetrici, per i motivi di seguito elencati.

1. Non è possibile utilizzare l'insieme dei capisaldi di livellazione in quanto una parte di essi non consente lo stazionamento con metodologie GNSS, oggi largamente diffuse per applicazioni di tale natura.
2. I vertici delle reti planimetriche non presentano una densità adeguata ai fini preposti.
3. Le reti di stazioni permanenti per il posizionamento di precisione GNSS in tempo reale presentano, almeno al momento, alcune criticità:
 - a. non sono progettate per scopi di monitoraggio geodetico;
 - b. le precisioni raggiungibili soprattutto sulla componente in quota non

sono adeguate al monitoraggio di movimenti sub-decimetrici;

- c. le prestazioni in termini di ripetibilità e accuratezza sono garantite all'interno della rete di stazioni permanenti, ma decadono in modo rapido nelle aree esterne, condizione in cui si trovano lunghi tratti dell'area costiera;
 - d. il sistema di riferimento nel quale ci si colloca è quello definito dalle coordinate delle stazioni permanenti, quindi dall'Ente gestore del servizio, che potrebbe, qualora ce ne fosse l'esigenza, aggiornarlo senza che l'utente ne venga avvertito;
 - e. nel caso in cui tali reti di Stazioni permanenti siano di proprietà di Ditte o Istituzioni private, condizioni contingenti potrebbero modificare l'erogazione del servizio fino a farlo cessare. In tali circostanze si porrebbe il problema di comprendere come collegare i nuovi rilievi a quelli ottenuti tramite quella rete.
4. Il quadro attuale dello stato delle reti non rispecchia quello di impianto per via della fisiologica perdita di capisaldi e/o vertici dovuta alle modifiche delle infrastrutture territoriali.

4.3 Progetto e realizzazione della Rete Geodetica Costiera

A seguito dell'analisi condotta e descritta nei punti precedenti, sono stati individuati i criteri che hanno indirizzato la progettazione e la realizzazione della Rete Geodetica Costiera (RGC):

- i punti della rete devono essere inquadrati nel sistema di riferimento nazionale ETRS89 – ETRF2000 (epoca 2008.0), così come prescritto dal Decreto Ministeriale del 10 novembre 2011;
- i punti che la costituiscono devono avere una distribuzione sufficientemente densa, così da consentirne un facile uso in fase di misura. Indicativamente è stata ritenuta sufficiente un'interdistanza di 4/5 km per garantire una buona operatività dei sistemi di posizionamento GNSS in tempo reale RTK o di un utilizzo in modalità cinematica classica;
- i punti della rete devono essere:
 - determinati con precisione centimetrica ($s_{qm} \leq 2\text{cm}$) sia in termini planimetrici che altimetrici e, per la componente in quota, devono essere stimate sia le quote ellissoidiche che quelle ortometriche;
 - stazionabili con strumentazione GNSS in quanto ormai largamente diffusa nei rilievi di questa natura o direttamente, o come mezzo per calibrazione di rilievi ottenuti con altre metodologie;
- i punti devono essere ubicati il più possibile in prossimità della costa, ma in siti tali da garantirne una stabilità e conservabilità nel tempo;
- è preferibile utilizzare vertici o capisaldi preesistenti per evitare duplicazioni. Inoltre, il fatto stesso che siano ancora presenti e in buono stato di conservazione è garanzia di una corretta monumentazione e stabilità nel tempo.

Essendo inoltre importante definire per ogni punto anche la quota ortometrica, prioritariamente si è ritenuto conveniente iniziare la progettazione a partire dai capisaldi di livellazione della rete Arpa, qualora rispondessero ai requisiti per essere monitorati con la tecnica GNSS.

A fronte di queste condizioni vincolanti, la realizzazione della RGC è stata subordinata a una serie di attività articolate in 2 fasi, descritte nei punti seguenti:

- progetto preliminare;
- realizzazione della Rete Geodetica Costiera - RGC.

4.3.1 PROGETTO PRELIMINARE

Sulla base dei criteri di progetto individuati, nei primi mesi del 2016 sono state avviate le attività propedeutiche alla progettazione preliminare della RGC. Si è proceduto all'analisi e alla verifica sul campo, grazie a diversi sopralluoghi, di tutte le infrastrutture geodetiche presenti nel territorio costiero emiliano-romagnolo, considerando differenti aspetti, tra cui:

- l'effettiva presenza del caposaldo;
- la vicinanza alla costa;
- la stabilità del vertice (o caposaldo) e il suo stato di conservazione;
- l'attitudine allo stazionamento GNSS;
- la possibilità di collegare altimetricamente il vertice con uno dei capisaldi della rete di Arpa per la misura della subsidenza, istituita nel 1984 e misurata nel 2005 con tecniche livellazione geometrica di alta precisione, qualora il vertice individuato appartenesse ad altra infrastruttura geodetica.

In prima istanza, sono stati individuati 24 capisaldi, appartenenti alla rete di livellazione Arpa 2005, con caratteristiche idonee a costituire la RGC. In seconda battuta, per coprire le aree scoperte, sono stati ricercati altri possibili punti da inserire nella RGC prioritariamente nell'ambito delle reti IGM95 e GPS-7, e caratterizzati dal poter essere misurati con la tecnica GNSS. Nelle situazioni in cui non erano presenti vertici IGM95 e GPS-7, si sono cercate reti istituite da altri Enti, quali consorzi di bonifica, comuni, ecc.

L'attività di progettazione preliminare ha quindi permesso di identificare 34 capisaldi/vertici, appartenenti a reti diverse, con caratteristiche idonee a far parte della RGC, secondo i criteri e i vincoli espressi in precedenza.

La necessità di avere un vertice mediamente ogni 4-5 km ha richiesto, quindi, di prevedere la materializzazione di alcuni nuovi vertici, attività che è stata demandata alle fasi di realizzazione descritte nel paragrafo successivo.

4.3.2 REALIZZAZIONE DELLA RETE GEODETICA COSTIERA

Successivamente all'individuazione preliminare della struttura di "base" della RGC, sono state eseguite una serie di attività, che hanno permesso di arrivare alla realizzazione della Rete Geodetica Costiera della Regione Emilia-Romagna:

- individuazione dei punti dove monumentare i nuovi vertici necessari al completamento della RGC e scelta della tipologia di vertice più idonea per la loro materializzazione;
- definizione dei criteri per la codifica e denominazione dei vertici della RGC;
- esecuzione di campagne di misure GNSS sui vertici della RGC;
- calcolo delle coordinate ellissoidiche e cartografiche dei vertici;
- determinazione delle quote ortometriche dei vertici di nuova istituzione e di quelli acquisiti da altre reti, tramite riattacchi altimetrici con i capisaldi della rete Arpa 2005. Successivo aggiornamento delle quote ortometriche al 2011 utilizzando il modello regionale di subsidenza;
- redazione delle monografie dei vertici della RGC.

Istituzione di nuovi vertici

A partire dai vincoli di progetto che prevedono la presenza di un vertice ogni 4 km circa, il numero complessivo di punti necessari è stato valutato pari a 40. A valle delle attività di progettazione preliminare della RGC, il numero di capisaldi utilizzabili per gli scopi prefissati, appartenenti alla rete Arpa 2005 o ad altre reti geodetiche esistenti, è risultato pari a 34.

È stato quindi necessario materializzare 6

nuovi capisaldi in posizioni idonee al rilievo GNSS e in prossimità di capisaldi della rete Arpa 2005 in modo da consentire un riattacco altimetrico per effettuare la stima della quota ortometrica in un sistema di riferimento omogeneo rispetto agli altri. Per tale attività è stato necessario definire una tipologia di vertice che potesse essere utilizzata sia per rilievi GNSS che per misure di livellazione geometrica dal mezzo. Si è scelto di realizzare capisaldi ad hoc in acciaio inossidabile secondo il disegno riportato in **FIGURA 17**.

Tutti i vertici, preesistenti e di nuova istituzione, sono stati dotati di una targhetta in alluminio con una delle seguenti diciture:

- "Vertice RGC - Regione Emilia-Romagna Arpa", se il caposaldo apparteneva alla rete di misura della subsidenza Arpa 2005 oppure era uno dei 6 nuovi vertici;
- "Vertice incluso nella RGC - Regione Emilia-Romagna Arpa", se il caposaldo risultava appartenente a una Rete di un altro Ente.

Denominazione dei vertici della RGC

La creazione di una rete di monitoraggio come la Rete Geodetica Costiera richiede che venga definita una denominazione univoca dei vertici che vi appartengono, in modo da uniformare anche le diverse denominazioni di quelli che appartengono alle altre reti. In questi casi, nelle monografie dei vertici, inclusi nella RGC, oltre alla nuova denominazione è stata riportata quella utilizzata nelle altre reti; in tale modo anche la storia del punto è stata preservata.

La nuova denominazione tiene in considerazione la possibilità che in futuro possano essere materializzati nuovi vertici di raffittimento, oppure che i vertici costituenti attualmente la Rete Geodetica Costiera nel tempo possano andare perduti e quindi sia necessario ripristinarli.

È stato scelto di identificare i vertici Rete Geodetica Costiera con un codice alfanumerico, composto da quattro lettere iniziali e quattro numeri.

FIGURA 17 Disegno tecnico del nuovo vertice realizzato in Acciaio INOX.Quote in millimetri.

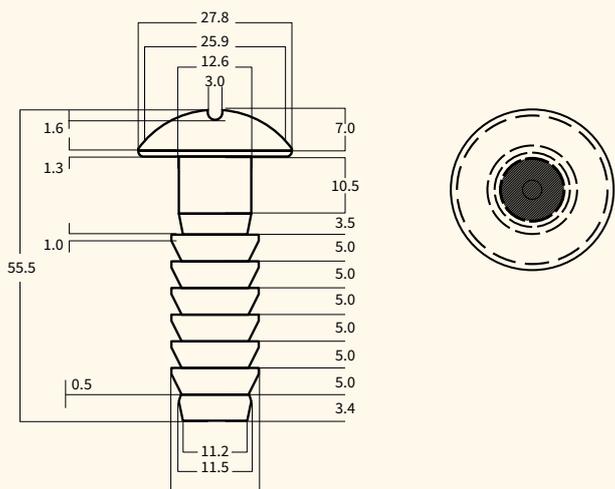


FIGURA 18 Schema logico utilizzato per la denominazione dei capisaldi della RGC.



TABELLA 3

Macrocelle in cui si è suddiviso il litorale emiliano-romagnolo, limiti fisici delle macrocelle e sigla utilizzata nella prima parte del codice identificativo dei vertici della RGC.

n. Macrocella	Limiti Macrocella	Sigla vertice RGC
1	Porto di Cattolica - Porto di Rimini	CARI
2	Porto di Rimini - Porto di Cesenatico	RICE
3	Porto di Cesenatico - Foce del Savio	CESA
4	Foce del Savio - Porto Corsini	SAPC
5	Porto Corsini - Porto Garibaldi	PCPG
6	Porto Garibaldi - Foce Po di Volano	PGFV
7	Foce Po di Volano - Foce Po di Goro	FVFG

Le prime quattro lettere del codice alfanumerico rappresentano i confini delle 7 macrocelle in cui è stato suddiviso il litorale per fini gestionali (TABELLA 3), caratterizzati dal limitato scambio di sedimento con quelli adiacenti (Arpae, 2016), permettendo in questo modo di collocare lungo l’arco costiero regionale i vertici.

Le quattro cifre seguenti si differenziano in funzione della posizione che occupano: i primi due numeri rappresentano, per ognuna delle 7 macrocelle, in maniera progressiva da sud verso nord il numero di appartenenza dei vertici costituenti la RGC.

La terza cifra è relativa alla codifica di futuri nuovi capisaldi di raffittimento. Infine, l’ultima cifra è dedicata agli eventuali ripristini nel caso in cui capisaldi originari appartenenti alla RGC vadano perduti o distrutti (FIGURA 18).

Campagne di rilievo GNSS

In corrispondenza dei vertici individuati, sono state effettuate una serie di campagne di misura GNSS i cui risultati sono stati successivamente elaborati per determinare le coordinate ellissoidiche dei vertici nel richiesto sistema di riferimento ETRS89 - ETRF2000 (epoca 2008.0).

A partire da agosto 2016 fino a maggio 2017 sono state eseguite dal DiCAM 5 campagne di misura: la prima di queste si è svolta nelle giornate del 31 agosto e 1 settembre 2016, la seconda il 26 ottobre 2016, la terza nelle giornate del 26 e 27 aprile 2017, la quarta il 3 e 4 maggio 2017 e, infine, la quinta campagna il 10 e 11 maggio 2017.

Le campagne di misura GNSS hanno seguito due diverse modalità: quella statica e quella in tempo reale denominata NRTK (*Network Real Time Kinematic*).

- **Modalità statica.** Questa modalità consiste nel collocare la strumentazione (antenna, ricevitore, treppiede di supporto e palmare) verticalmente sul vertice designato e acquisire le osservazioni satellitari per un periodo di tempo non inferiore ai 30 - 40 minuti. Successivamente alle misure di campo sui vertici, sono state acquisite le osservazioni effettuate da alcune stazioni

permanenti operanti nell'area costiera e descritte nel precedente paragrafo 4.2.1. Tali osservazioni si sono rese necessarie per elaborare le misure GNSS di campo e determinare le coordinate ellissoidiche dei vertici nel sistema di riferimento prescelto.

- **Modalità NRTK.** Questa modalità rappresenta l'evoluzione della tecnica RTK (*Real Time Kinematic*), mediante la quale è possibile stimare in tempo reale la posizione di uno o più vertici utilizzando almeno due strumenti in campagna. In particolare, uno strumento va posizionato su un punto a coordinate note mentre gli altri eseguono le misure. Le posizioni stimate sono disponibili in tempo reale e a esse possono essere associate precisioni centimetriche. La tecnica NRTK, mediante l'utilizzo di una connessione dati a un centro di controllo e calcolo, permette di eliminare la necessità di uno strumento posizionato sul punto di coordinate note e di utilizzare solo quello che misura la posizione dei diversi vertici. Con questa tecnica si ottiene quindi un risparmio sul numero di strumenti da utilizzare, con conseguente ottimizzazione dei costi e dei tempi necessari per il rilievo, ma bisogna considerare la necessità di un collegamento telematico che consenta lo scambio dei dati con la ditta o l'ente che eroga tale servizio. Tale tecnica è stata usata per effettuare il confronto con le misure ottenute in modalità statica.

Durante le campagne di misura, i rilievi di tipo NRTK sono stati eseguiti appoggiandosi alla rete NetGEO-Topcon, stazionando 5 minuti su ogni vertice, per le prime due campagne, mentre 10 minuti per le successive tre. Al termine del rilievo in questa modalità di osservazione è stato possibile avere direttamente le coordinate dei punti misurati, mentre per quanto riguarda la modalità statica per ottenere le coordinate è stata necessaria una fase di post-elaborazione del dato acquisito.

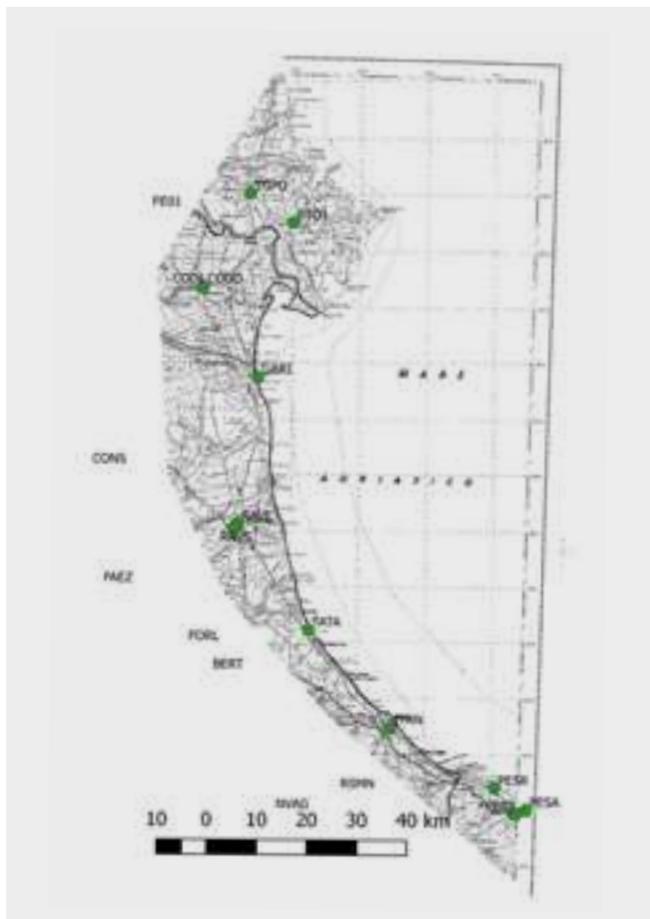
Calcolo delle coordinate geografiche e cartografiche dei vertici

I dati GNSS rilevati durante le campagne di misura sono stati elaborati dal DICAM utilizzando due codici di calcolo differenti, RTKLIB e Gamit-Gblok, che hanno consentito di stimare le coordinate nel sistema geodetico globale ITRS-ITRF08.

Il sistema di riferimento ITRS è un sistema dinamico e le coordinate che lo caratterizzano sono definite mediante una posizione, riferita a una determinata epoca, e una velocità media, che comprende in generale i movimenti tettonici ed eventuali movimenti locali. Nel territorio considerato, appartenente sostanzialmente alla placca Euroasiatica, i punti presentano una velocità media di circa 2,5 cm/anno in direzione N-E.

Per la stima delle coordinate dei punti della RGC nel sistema ITRS sono state utilizzate le coordinate delle stazioni permanenti GNSS presenti lungo la costa (**FIGURA 19**).

FIGURA 19 Stazioni GNSS permanenti utilizzate per l'inquadramento geodetico della RGC.



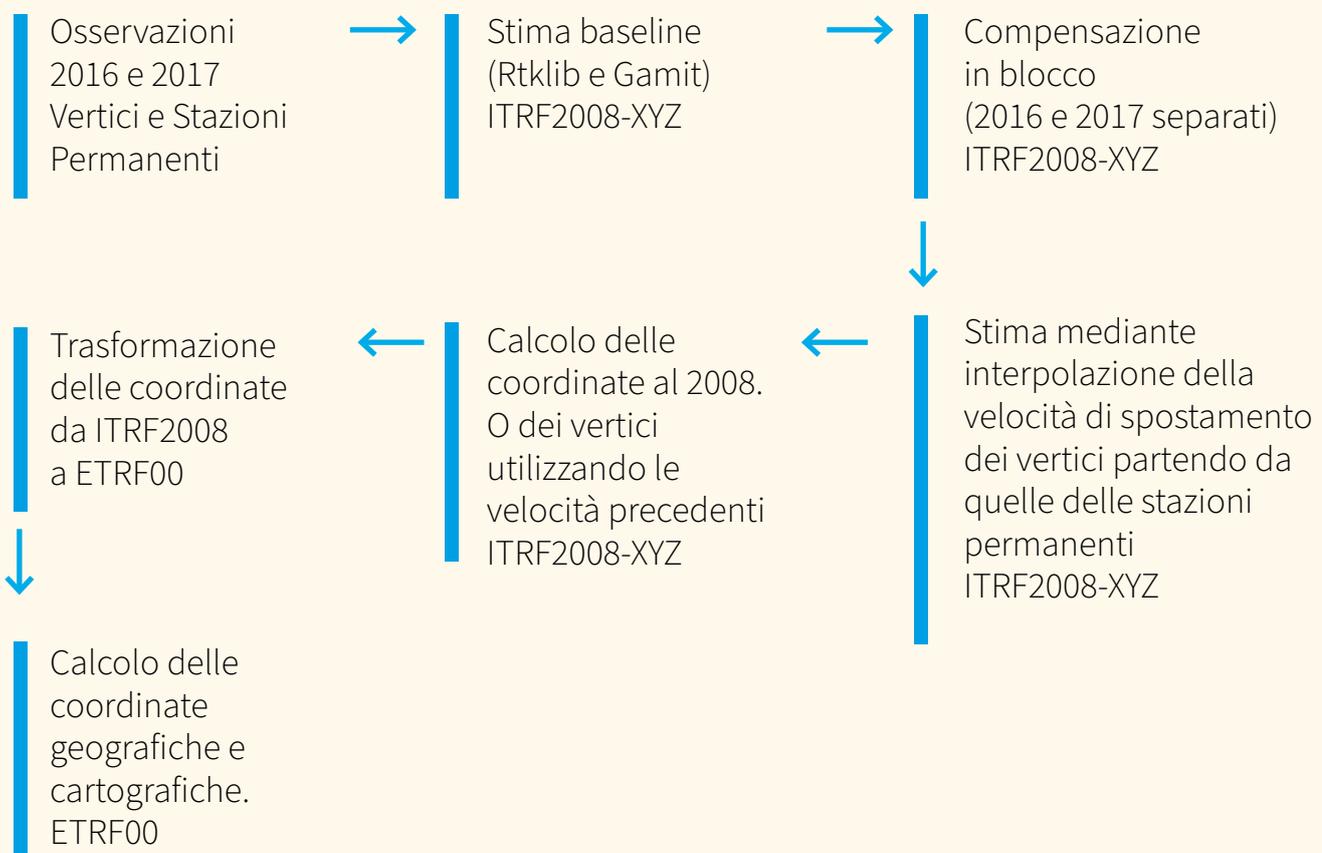
Tramite i valori di velocità media delle stazioni permanenti GNSS di riferimento, le coordinate dei vertici della RGC, calcolate nel sistema internazionale ITRS, sono state trasformate nel sistema di riferimento geodetico ETRS89-ETRF2000 epoca 2008.0. Tale operazione è avvenuta utilizzando programmi di calcolo sviluppati dalla sezione di Geomatica del DICAM.

Le coordinate ricavate con le misure statiche sono state messe a confronto con le analoghe determinate con tecnica NRTK evidenziando, per quest'ultima, alcuni limiti nell'accuratezza della stima della posizione. Infatti, nelle zone prossime all'area costiera, la rete che garantisce il posizionamento in NRTK non ricopre appieno il territorio.

Come ultimo passaggio sono state calcolate le coordinate cartografiche nel sistema UTM-ETRS89 fuso 32. Tale passaggio è stato realizzato mediante il software ConvER3 GPS7 disponibile gratuitamente sul sito della Regione Emilia-Romagna. Il litorale emiliano-romagnolo, pur ricadendo nel fuso 33, è stato proiettato nel fuso 32 in conformità agli standard della Regione Emilia-Romagna, la quale ha adottato per le rappresentazioni cartografiche un unico fuso per l'intero territorio regionale.

Le procedure messe in atto per definire le coordinate geografiche e cartografiche dei vertici della RGC sono riassunte nel diagramma di flusso riportato nella **FIGURA 20**.

FIGURA 20 Diagramma di flusso relativo alle procedure di calcolo utilizzate per stimare le coordinate dei vertici appartenenti alla Rete Geodetica Costiera.



Stima delle quote ortometriche dei vertici

La RGC è stata realizzata utilizzando come infrastruttura geodetica di riferimento la rete di livellazione Arpa 2005 per il monitoraggio della subsidenza. Tale scelta si è rivelata utile per la stima della quota ortometrica da associare a ogni singolo vertice.

In particolare, per i 6 vertici di nuova istituzione e per quelli appartenenti a reti diverse da Arpa 2005, sono stati effettuati i collegamenti altimetrici tramite misure di livellazione di alta precisione, con collegamenti ai capisaldi Arpa 2005 più vicini ai nuovi vertici.

Questa attività ha permesso di ricondurre tutti i 40 vertici della RGC alla quota ortometrica riferita a luglio 2005, quando, come detto in precedenza, è stata eseguita l'ultima misura della rete per il monitoraggio della subsidenza. Successivamente, la quota al 2005 di tutti i vertici della RGC è stata aggiornata al maggio 2011, utilizzando il modello di subsidenza stimato con misure interferometriche.

Tale scelta non consente di arrivare a precisioni nella determinazione della quota paragonabili a quelle ottenute con la livellazione geometrica, ma permette di raggiungere stime della quota dei vertici con una precisione di qualche centimetro, considerate più che soddisfacenti per le finalità preposte.

Redazione delle monografie dei vertici

Al termine delle attività di realizzazione della nuova Rete, per ciascun vertice sono state redatte le schede monografiche. Le monografie contengono tutte le informazioni relative alla denominazione del vertice, alla rete di altro ente di originaria appartenenza, all'ubicazione e alle caratteristiche descrittive del vertice.

Le informazioni fondamentali riportate in ciascuna delle 40 monografie sono relative alle coordinate plano-altimetriche del vertice: coordinate geografiche ETRS-ETRF 2000 epoca 2008.0 e relativo codice EPSG (6706), coordinate piane ETRS89-ETRF2000-UTM fuso 32N e relativo codice EPSG (7791), quota ellissoidica (con data di acquisizione) e quota ortometrica (con data di riferimento).

Le monografie sono consultabili e scaricabili alla pagina WEB del sito di Arpa dedicata alla Cartografia: <https://www.arpae.it/cartografia/>

Di seguito si riporta un esempio di scheda monografica relativa a un vertice della RGC (**FIGURA 21**).

FIGURA 21 Esempio di monografia di vertice della Rete Geodetica Costiera.

								
Rete Geodetica Costiera per il Monitoraggio Topografico e Batimetrico - Vertici GPS stazionabili -								
VERTICE:	PGFV0100	Aggiornamento al 02/2018						
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Comune: <input type="text" value="Comacchio"/></td> <td style="width: 50%;">Provincia: <input type="text" value="Ferrara"/></td> </tr> <tr> <td>Indirizzo: <input type="text"/></td> <td>Località: <input type="text" value="Porto Garibaldi"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ubicazione: <input paradiso"="" type="text" value="Molo sinistro in fondo all'inizio della zona pedonale di fronte al ristorante "/></td> </tr> </table>			Comune: <input type="text" value="Comacchio"/>	Provincia: <input type="text" value="Ferrara"/>	Indirizzo: <input type="text"/>	Località: <input type="text" value="Porto Garibaldi"/>	Ubicazione: <input paradiso"="" type="text" value="Molo sinistro in fondo all'inizio della zona pedonale di fronte al ristorante "/>	
Comune: <input type="text" value="Comacchio"/>	Provincia: <input type="text" value="Ferrara"/>							
Indirizzo: <input type="text"/>	Località: <input type="text" value="Porto Garibaldi"/>							
Ubicazione: <input paradiso"="" type="text" value="Molo sinistro in fondo all'inizio della zona pedonale di fronte al ristorante "/>								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Istituito da: <input type="text" value="Arpa"/></td> <td style="width: 15%;">Anno: <input type="text" value="1998"/></td> <td style="width: 52%;">Denominazione: <input type="text" value="D00650"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Rete di appartenenza: <input type="text" value="Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi di Livellazione"/></td> </tr> </table>			Istituito da: <input type="text" value="Arpa"/>	Anno: <input type="text" value="1998"/>	Denominazione: <input type="text" value="D00650"/>	Rete di appartenenza: <input type="text" value="Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi di Livellazione"/>		
Istituito da: <input type="text" value="Arpa"/>	Anno: <input type="text" value="1998"/>	Denominazione: <input type="text" value="D00650"/>						
Rete di appartenenza: <input type="text" value="Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi di Livellazione"/>								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Altra rete di appartenenza:</td> <td colspan="2"><input type="text" value="Arpa - Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi GPS"/></td> </tr> <tr> <td>Denominazione:</td> <td colspan="2"><input type="text" value="D45"/></td> </tr> </table>			Altra rete di appartenenza:	<input type="text" value="Arpa - Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi GPS"/>		Denominazione:	<input type="text" value="D45"/>	
Altra rete di appartenenza:	<input type="text" value="Arpa - Rete Regionale di controllo della subsidenza - Archivio Capisaldi GPS"/>							
Denominazione:	<input type="text" value="D45"/>							
Inquadramento geografico								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> </tr> </table>								
								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> Coordinate geografiche ETRS89-ETRF 2000 (2008.0) EPSG: 6706 </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> Coordinate piane ETRS89-ETRF 2000-UTM 32N (2008.0) EPSG: 7791 </td> </tr> <tr> <td>Lat ("): <input type="text" value="44,67603360"/> Long ("): <input type="text" value="12,24533916"/></td> <td>Est (m): <input type="text" value="757221,38"/> Nord (m): <input type="text" value="4952087,52"/></td> </tr> </table>			Coordinate geografiche ETRS89-ETRF 2000 (2008.0) EPSG: 6706	Coordinate piane ETRS89-ETRF 2000-UTM 32N (2008.0) EPSG: 7791	Lat ("): <input type="text" value="44,67603360"/> Long ("): <input type="text" value="12,24533916"/>	Est (m): <input type="text" value="757221,38"/> Nord (m): <input type="text" value="4952087,52"/>		
Coordinate geografiche ETRS89-ETRF 2000 (2008.0) EPSG: 6706	Coordinate piane ETRS89-ETRF 2000-UTM 32N (2008.0) EPSG: 7791							
Lat ("): <input type="text" value="44,67603360"/> Long ("): <input type="text" value="12,24533916"/>	Est (m): <input type="text" value="757221,38"/> Nord (m): <input type="text" value="4952087,52"/>							
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Quota ellissoidica h (m): <input type="text" value="42,11"/></td> <td style="width: 50%;">Data di acquisizione: <input type="text" value="03/05/2017"/></td> </tr> <tr> <td>Quota ortometrica H (m): <input type="text" value="1,84"/></td> <td>Data di riferimento: <input type="text" value="05/2011"/></td> </tr> </table>			Quota ellissoidica h (m): <input type="text" value="42,11"/>	Data di acquisizione: <input type="text" value="03/05/2017"/>	Quota ortometrica H (m): <input type="text" value="1,84"/>	Data di riferimento: <input type="text" value="05/2011"/>		
Quota ellissoidica h (m): <input type="text" value="42,11"/>	Data di acquisizione: <input type="text" value="03/05/2017"/>							
Quota ortometrica H (m): <input type="text" value="1,84"/>	Data di riferimento: <input type="text" value="05/2011"/>							

Descrizione caposaldo

Tipologia:	Borchia	
Descrizione:	Infissa sulla rientranza del canale, spigolo nord-est	
Problematiche d'accesso:		
Data ultimo rilievo GNSS:	03/05/2017	
Data ultimo rilievo livellazione:	07/2005	
Data ultimo sopralluogo:	03/05/2017	Operatore: Tavasci, Dovesi - UNIBO



01/09/2016



01/09/2016



03/05/2017

Note: La quota ortometrica deriva da quella del caposaldo 000650 (rilevata da Arpa nel 07/2005) appartenente alla Rete regionale di controllo della subsidenza - Archivio capisaldi di Livellazione.
La quota Luglio 2005 è stata aggiornata al Maggio 2011 tramite il modello di subsidenza stimato con misure interferometriche.

4.3.3 PROPRIETÀ DELLA RETE GEODETICA COSTIERA

Nella FIGURA 22 e nella TABELLA 4 seguenti sono evidenziate, sinteticamente, la collocazione dei vertici costituenti la Rete Geodetica Costiera e le relative coordinate piano-altimetriche associate.

FIGURA 22 Rete Geodetica Costiera della Regione Emilia-Romagna (<https://www.arpae.it/cartografia/>).



TABELLA 4 Coordinate geografiche, cartografiche, quote ellissoidiche e quote ortometriche dei vertici della Rete Geodetica Costiera.

ID	Denominazione RGC	Coordinate geografiche ETRS-ETRF2000 (2008.0)		Coordinate cartografiche ETRS89-ETRF2000-UTM 32N (2008.0)		Quota ellissoidica	Quota ortometrica
		lat (°)	long (°)	Nord (m)	Est (m)	h(m)	H (m)
1	CARIO100	43,96710578	12,74092924	4875025,82	800099,27	42,85	2,42
2	CARIO200	43,97425289	12,71481492	4875724,92	797968,47	42,33	1,92
3	CARIO300	43,98938921	12,68341400	4877293,13	795374,49	43,47	3,16
4	CARIO400	44,01449790	12,64500453	4879945,10	792170,84	43,71	3,51
5	CARIO500	44,03567589	12,61643177	4882196,48	789777,12	43,11	3,03
6	CARIO600	44,05130431	12,59967109	4883873,56	788358,14	42,95	2,98
7	CARIO700	44,07693451	12,57562444	4886636,49	786308,03	41,72	1,85
8	CESA0100	44,21083512	12,39362558	4900892,39	771120,14	41,00	1,61
9	CESA0200	44,24097648	12,37144183	4904167,37	769210,23	41,42	2,12
10	CESA0300	44,27024853	12,35563258	4907367,08	767814,78	41,19	1,99
11	CESA0400	44,29546001	12,34739056	4910140,64	767042,59	40,76	1,65
12	FVFG0100	44,84303725	12,28136560	4970753,48	759327,89	41,81	0,58
13	FVFG0200	44,84763225	12,31194481	4971362,08	761723,77	39,39	-1,90
14	FVFG0300	44,83588199	12,34321763	4970158,14	764248,86	42,48	1,31
15	FVFG0400	44,81764191	12,35149642	4968158,92	764986,87	43,11	2,03
16	FVFG0500	44,79139855	12,39531654	4965387,62	768573,43	42,24	1,45
17	PCPG0100	44,51943587	12,27903528	4934799,34	760591,88	41,11	1,67
18	PCPG0200	44,55376098	12,28295169	4938624,72	760749,73	41,72	2,13
19	PCPG0300	44,57337280	12,27379075	4940774,00	759934,67	40,39	0,69
20	PCPG0400	44,59782744	12,24789252	4943408,24	757770,13	41,54	1,71
21	PCPG0500	44,63003025	12,26049291	4947025,34	758627,06	41,60	1,60
22	PGFV0100	44,67603360	12,24533916	4952087,52	757221,38	42,11	1,84
23	PGFV0300	44,73284435	12,24183782	4958387,21	756692,42	43,18	2,56
24	PGFV0400	44,74566281	12,24602995	4959824,37	756967,51	42,76	2,09
25	PGFV0500	44,78176248	12,24970353	4963846,10	757097,99	41,10	0,23
26	PGFV0600	44,80273480	12,26006976	4966208,66	757824,62	43,62	2,63
27	RICE0100	44,07918577	12,55185105	4886804,08	784393,56	42,69	2,81
28	RICE0200	44,09525029	12,52795222	4888506,11	782403,39	42,59	2,78
29	RICE0300	44,11019957	12,50896210	4890101,58	780812,35	42,35	2,59
30	RICE0400	44,12882577	12,48823764	4892099,94	779065,97	42,87	3,18
31	RICE0500	44,14957878	12,46456857	4894325,02	777075,13	41,57	1,99
32	RICE0600	44,16908649	12,42780344	4896368,54	774044,36	41,85	2,38
33	RICE0700	44,19220344	12,41481162	4898893,04	772898,87	42,03	2,56
34	SAPC0100	44,31915847	12,33714761	4912739,70	766118,21	43,04	3,93
35	SAPC0200	44,36005037	12,31340767	4917205,08	764041,24	40,53	1,46
36	SAPC0300	44,38693141	12,31939128	4920210,32	764396,97	41,44	2,36
37	SAPC0400	44,39803638	12,31613032	4921433,33	764087,22	40,39	1,28
38	SAPC0500	44,42774555	12,30176412	4924687,13	762809,87	40,60	1,42
39	SAPC0600	44,44322122	12,29544088	4926385,87	762237,25	43,38	4,20
40	SAPC0700	44,48583553	12,28415144	4931083,33	761148,60	41,37	2,09

5



5.

Attività di monitoraggio

5.1 Subsidenza

Nel 2011-2012 Arpa, su incarico della Regione Emilia-Romagna e in collaborazione con il DICAM dell'Università di Bologna, realizzò il rilievo dei movimenti verticali del suolo nell'area di pianura della regione, utilizzando il metodo dell'analisi interferometrica di dati radar satellitari. Tramite tale rilievo fu aggiornata la carta delle velocità di movimento verticale del suolo relativamente al periodo 2006-2011 elaborando immagini radar acquisite dal satellite RADARSAT-1 in tale periodo.

Nel 2016 si è proceduto ad aggiornare le conoscenze geometriche sul fenomeno della subsidenza nel periodo 2011-2016, migliorando la tecnica interferometria adottata in precedenza, per analizzare immagini radar da satellite di un gran numero di punti di misura (MP) distribuiti sul territorio di pianura.

Nella prima fase del lavoro (2016), è stata effettuata l'analisi interferometrica sul territorio di pianura della regione, che ha portato a individuare e localizzare i punti di misura presenti, a stimare le loro velocità medie annue di spostamento (in mm/anno) nel periodo 2011-2016 e a stimare le serie storiche di spostamento in mm, nello stesso periodo (Arpae, 2017).

Nella seconda fase del lavoro (2017) si è proceduto a una prima verifica e a un allineamento dei singoli siti a scala regionale, a cui è seguita la calibrazione del dato interferometrico tramite l'utilizzo di 16 stazioni GPS permanenti presenti nell'area di pianura della regione. Sono state poi effettuate verifiche post calibrazione tramite l'utilizzo di 6 ulteriori stazioni (Arpae, 2018a).

Successivamente sono state condotte analisi statistiche sulla distribuzione spaziale e sulla tipologia dei punti di misura con implementazione di procedure di screening

e validazione del dataset complessivo al fine di individuare e rimuovere i punti considerati fuorvianti (*outliers*) ai fini della realizzazione della cartografia delle velocità di movimento verticale del suolo.

Sull'intera area di pianura regionale sono stati individuati oltre 2.000.000 di MP, che, dopo l'eliminazione di circa 61.000 punti ritenuti anomali, hanno costituito il dataset definitivo in grado di rappresentare i movimenti a scala regionale.

Si è così proceduto all'interpolazione dei punti per la produzione di un modello *raster* di velocità di movimento verticale del suolo e, successivamente, all'elaborazione della carta a curve isocinetiche relativa all'intera area di pianura regionale, con alcune specifiche focalizzazioni tra le quali quella sull'area costiera regionale.

5.1.1 SISTEMI DI MISURA

Le tecniche avanzate di rilevamento da satellite degli spostamenti della superficie terrestre sono note come interferometria SAR (InSAR).

I sistemi radar coerenti e, nello specifico, i radar di tipo SAR (*Synthetic Aperture Radar*) sono in grado di misurare la distanza tra il sensore e un bersaglio a terra, registrando il tempo intercorso tra l'emissione dell'onda radar e la ricezione del segnale retro-diffuso dal bersaglio stesso. Grazie alla loro periodicità di acquisizione, i dati SAR forniscono misure ripetute della distanza sensore-bersaglio lungo la direzione di vista del satellite. Il confronto tra i valori di distanza misurati in istanti di tempo diversi consente di mettere in luce eventuali spostamenti dei bersagli al suolo (**FIGURA 23**).

La tecnica convenzionale per lo studio dei dati SAR in questo campo è l'interferometria differenziale (DInSAR) che si basa sul confronto tra due immagini distinte, acquisite sulla stessa area di interesse. Essa tuttavia risente di alcuni effetti che riducono, o addirittura compromettono, la qualità dei risultati.

FIGURA 23 Concetto base delle analisi interferometriche: il confronto tra misurazioni successive della distanza sensore-bersaglio permette di determinare spostamenti del terreno.

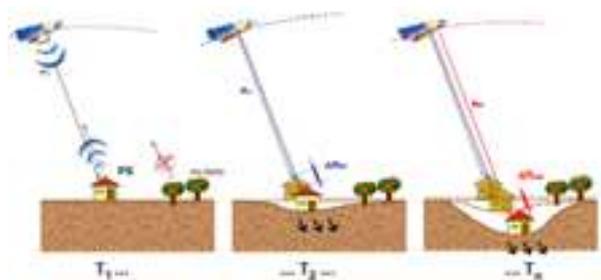


FIGURA 24 Rappresentazione schematica del principio di base dell'interferometria per la misura di spostamenti rilevando gli sfasamenti di onde successive; estensione del principio per il calcolo delle serie storiche di spostamento di bersagli al suolo.

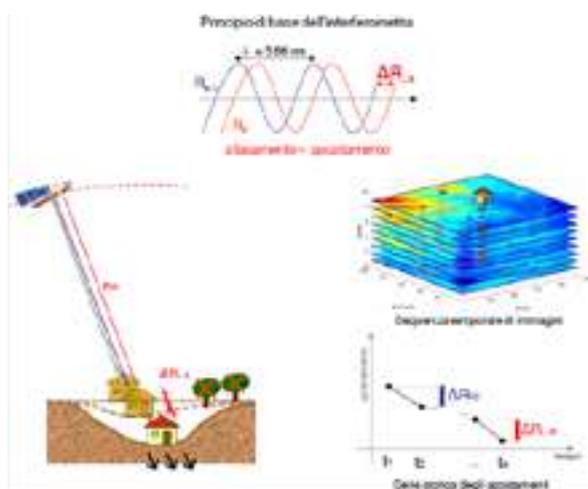
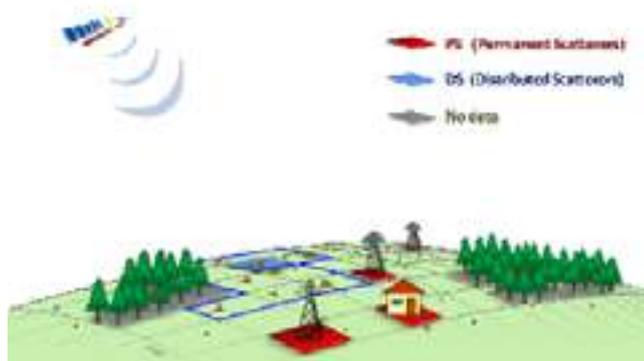


FIGURA 25 Rappresentazione schematica dei diversi bersagli monitorabili da satellite.



Il Politecnico di Milano ha realizzato e brevettato l'algoritmo PSInSAR™ permettendo lo sviluppo di una seconda generazione di tecniche interferometriche, conosciute come *Persistent Scatterer Interferometry* (PSI); la licenza esclusiva di tale tecnica è stata concessa alla società TRE ALTAMIRA.

In particolare, la tecnica PSInSAR™, sfrutta tutte le acquisizioni disponibili su una stessa area di interesse per individuare quei bersagli a terra, i cosiddetti *Permanent Scatterers* (PS), che

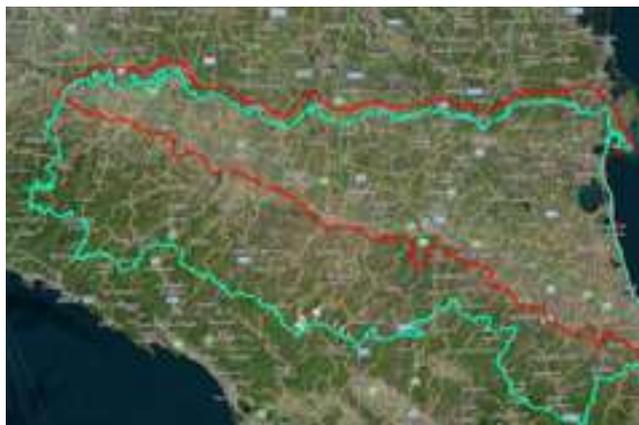
mantengono inalterate nel tempo le proprie caratteristiche elettromagnetiche. Per ciascuno di essi è possibile ricostruire le velocità medie e la serie storica di spostamento nell'intervallo di tempo analizzato con precisione millimetrica. I PS corrispondono tipicamente a edifici, rocce esposte e altri rilevati.

Le misure sono possibili solo in corrispondenza di bersagli radar con caratteristiche elettromagnetiche specifiche: punti già presenti al suolo (*scatterers*) che sono visibili in tutte le immagini acquisite nel periodo di osservazione e che mantengono una sufficiente stabilità nel tempo (*permanent*) del segnale di fase. Quest'ultimo è proprio l'elemento che contiene l'informazione relativa alla posizione al suolo e alla distanza del bersaglio dal satellite.

Poiché i segnali utilizzati hanno lunghezze d'onda centimetriche (microonde), spostamenti anche di pochi millimetri inducono degli sfasamenti tra un'onda e la successiva (es. R_{n-1} vs. R_n) tali da essere rilevati (FIGURA 24).

A distanza di dieci anni dal brevetto PSInSAR™, è stato realizzato un nuovo algoritmo proprietario, SqueeSAR™, che rappresenta un ulteriore sviluppo nel campo dell'interferometria e una soluzione avanzata per il monitoraggio di tutte le aree extra-urbane, dove la densità delle misure PS può talvolta risultare non soddisfacente. L'innovazione consiste nell'aver individuato una nuova famiglia di "bersagli" monitorabili da satellite, i cosiddetti *Distributed Scatterers* o DS, che si vanno così ad aggiungere ai PS.

I dati, in un'immagine radar, provengono da bersagli a terra di varia natura. È possibile classificare i pixel dell'immagine in due famiglie di bersagli: i bersagli puntiformi, che caratterizzano un solo pixel, o al più pochi altri pixel a esso connessi, e i bersagli distribuiti, che caratterizzano tutto un gruppo di pixel e che generano caratteristiche pressoché identiche del segnale radar riflesso. I primi rappresentano i già noti PS, mentre i secondi costituiscono la nuova famiglia dei DS.

FIGURA 26 Estensione dell'area di indagine.

Esempi di target distribuiti sono le aree detritiche, i campi non coltivati, le aree desertiche non sabbiose (**FIGURA 25**).

5.1.2 DATI UTILIZZATI

L'area d'indagine (**FIGURA 26**) comprende il territorio di pianura dell'Emilia-Romagna e una fascia di circa qualche chilometro oltre il confine nord. L'estensione totale dell'area è di oltre 13.000 km².

Il monitoraggio realizzato nel 2011 si avvale di immagini radar acquisite dal satellite RADARSAT-1 (RSAT1), lanciato dall'Agenzia Spaziale Canadese nel 1995 e non più operativo dal marzo 2013.

A sua sostituzione, l'Agenzia Spaziale Canadese ha lanciato nel 2007 un satellite "gemello", RADARSAT-2 (RSAT2), cui tuttavia, in fase di progettazione, è stata associata una frequenza di acquisizione leggermente diversa da quella del suo predecessore, che seppur lieve impedisce l'utilizzo simultaneo di dati acquisiti da questi due satelliti nelle applicazioni interferometriche standard.

Pertanto, al fine di garantire la continuità del monitoraggio, la Società TRE ALTAMIRA ha sviluppato una specifica modalità di funzionamento dell'algoritmo di elaborazione SqueeSAR™ detta *stitching* che consente l'elaborazione congiunta di dati acquisiti da questi due satelliti.

5.2 Moto ondoso e livello di marea

5.2.1 SISTEMI DI MISURA

Moto ondoso

La disponibilità di dati ondametrici in corrispondenza delle coste regionali è risultata, in passato, piuttosto varia, sia come tipologia di 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 misura da parte di un gran numero di istituti, enti, società sia per finalità scientifiche e di ricerca, che per l'organizzazione di attività produttive in campo marittimo.

Questa condizione ha portato all'installazione di molti strumenti e, conseguentemente, alla produzione di un gran numero di dati di varia natura: meteorologici, ondametrici, correntometrici, mareografici, chimico-fisici, ecc. Di contro, davanti alle coste regionali, per molti anni non è stata presente nessuna stazione di misura del moto ondoso.

L'occasione di installare una boa ondametrica davanti al litorale regionale è stata colta grazie al progetto europeo Beachmed-e (2006), che ha messo a disposizione una parte dei finanziamenti necessari all'operazione. Una significativa quota di finanziamento è stata fornita autonomamente da Arpa, come partner del progetto europeo. L'installazione della boa, denominata Nausicaa, è avvenuta

il 23 maggio 2007 in un'area adiacente a un campo di allevamento di mitili a 8 km al largo di Cesenatico, in corrispondenza di un fondale di circa 10 m (**FIGURA 27**). Le coordinate del punto sono: 12°28'35,8" E 44°12'55,8" N (WGS84).

La boa Nausicaa è dotata di vari sensori con i quali vengono misurati i valori di: altezza, direzione, periodo medio e di picco dell'onda e temperatura dell'acqua. I dati sono trasmessi (via HF e GSM) al centro ricevente a terra posto presso la Struttura Oceanografica Daphne di Arpa (Cesenatico) e da qui vengono inviati alla banca dati centrale della rete di monitoraggio meteo gestita dalla Struttura Idro-Meteo-Clima (Arpa - SIMC).

Marea

L'andamento del livello del mare è stato ricavato dai dati raccolti dal mareografo di Porto Garibaldi (Comune di Comacchio).

La stazione mareografica è stata installata, nei primi mesi del 2009, dall'Università di Ferrara per conto dell'allora Provincia. A seguito del trasferimento in Arpa di parte delle funzioni della Provincia di Ferrara, è stata acquisita anche tutta la rete di monitoraggio delle acque lagunari e costiere di Goro e Comacchio, compresa la stazione mareografica di Porto Garibaldi.

Il mareografo è collocato in prossimità della testa del molo nord del porto all'interno di

FIGURA 27 Localizzazione e trasporto della boa Nausicaa al largo di Cesenatico.

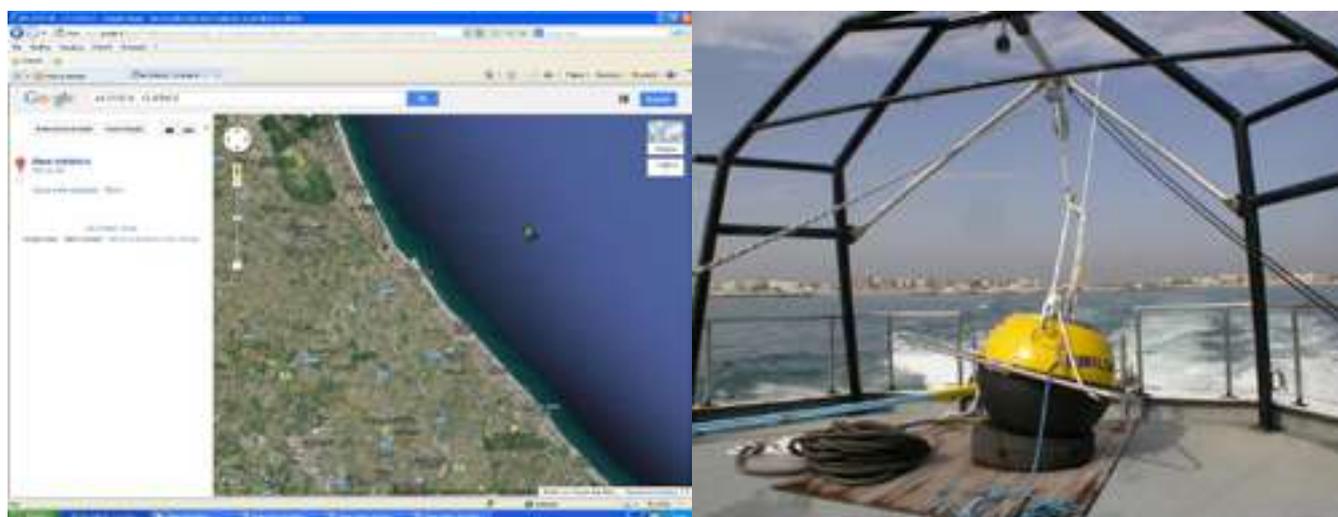




FIGURA 28 La stazione mareografica di Porto Garibaldi collocata in prossimità della testa del molo Nord del portocanale.

un'apposita cabina, poggiata su una piattaforma sostenuta da pali. Questa disposizione garantisce una profondità dell'acqua sottostante di almeno 3,5 m (**FIGURA 28**).

La stazione è dotata di due mareografi distinti per avere una misura precisa del livello del mare e di una stazione GPS permanente, che misura costantemente la quota della piattaforma, per poter discriminare gli effetti del fenomeno della subsidenza. La dotazione strumentale della stazione è composta da: mareografo radar, mareografo a galleggiante, stazione permanente GNSS, stazione meteorologica (anemometro, pluviometro, termometro, barometro), sonda multiparametrica per il monitoraggio dell'acqua. I dati sono registrati ogni 10 minuti e sono disponibili alla consultazione nell'ambito del sistema Dexter, gestito da Arpae - SIMC.

Nell'arco di oltre 10 anni di funzionamento, il rendimento raggiunto dalla stazione mareografica è risultato molto alto: i dati di livello del mare disponibili risultano oltre il 95% di quelli teoricamente ottenibili con una cadenza di 10 minuti.

5.2.2 DATI UTILIZZATI

Dati ondametrici

Allo scopo di fornire indicazioni sul regime del moto ondoso e sugli eventi più significativi che hanno caratterizzato il bacino del Mare Adriatico di fronte alla costa emiliano-romagnola nel periodo di tempo intercorso tra la 5^a e la 6^a campagna topo-batimetrica, si è analizzata tutta la serie storica dei dati ondametrici a cadenza semioraria rilevata dalla boa Nausicaa nel periodo in esame, quindi a partire da aprile 2012 fino al mese di ottobre 2018 (poco meno di 7 anni), quando si possono considerare concluse le principali attività di rilievo topo-batimetrico della 6^a campagna.

Occorre evidenziare come la serie storica della boa Nausicaa non copra completamente l'intervallo di tempo intercorso tra le due campagne di rilievo, infatti sono presenti alcuni periodi in cui la misura dei dati non è avvenuta a causa di malfunzionamenti e di operazioni di manutenzione delle strumentazioni. Nonostante ciò si è ritenuto che l'estensione e la qualità dei dati raccolti dalla boa (**FIGURA 29**) fossero adeguati a descrivere ciò che era successo, in termini di

dinamica marina, tra le due campagne topobatimetriche.

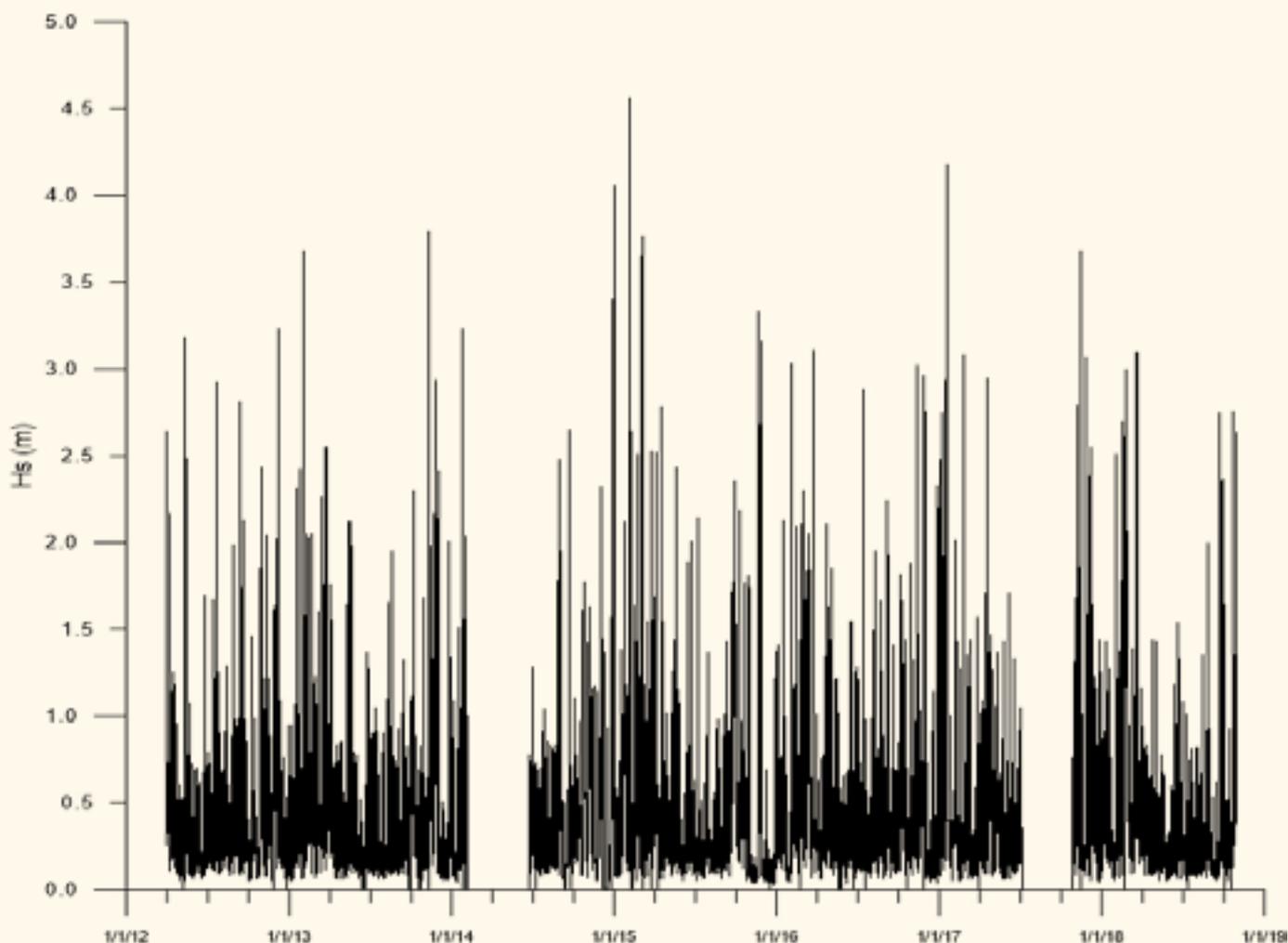
La disponibilità dei dati è risultata infatti piuttosto buona, tenendo conto dei periodi di inattività della boa: anche visivamente si può constatare che i periodi non coperti da misure risultano concentrati in alcuni e ben distinti momenti, mentre nella **TABELLA 5** seguente viene fornita la percentuale dei dati disponibili nei singoli anni di misura e sul totale del periodo.

Complessivamente i dati rilevati hanno raggiunto l'88% dei dati teoricamente attesi, mentre analizzando i singoli anni, o porzioni di essi, si nota una percentuale di disponibilità

piuttosto alta per tutti, con l'eccezione del 2014 e del 2017 durante i quali i dati mancanti hanno raggiunto rispettivamente la soglia del 42,5% e del 30,4% dei valori attesi.

La distribuzione dei dati mancanti per mese (**TABELLA 6**) evidenzia come, nei due anni con maggiori carenze di rilievi per momentanee interruzioni nel funzionamento della boa a causa di guasti e per le successive attività di ripristino, i dati mancanti interessino soprattutto il periodo da febbraio a ottobre (febbraio-giugno per il 2014 e luglio-ottobre per il 2017).

FIGURA 29 Boa Nausicaa. Altezza d'onda significativa misurata nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018. Si evidenzia l'estensione e l'ottima copertura dei dati, ma anche i periodi in cui i rilievi, a causa del mancato funzionamento della boa, sono totalmente assenti.



L'analisi della disponibilità dei dati è stata condotta anche su base stagionale, per effettuare lo studio del regime del moto ondoso secondo questa suddivisione.

Nello specifico i mesi sono stati aggregati secondo il seguente criterio (Aeronautica Militare 2009):

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

Nella **TABELLA 7** si riportano le informazioni sui dati rilevati dalla boa Nausicaa tra aprile 2012 e ottobre 2018, suddivisi per stagioni.

TABELLA 5 Disponibilità dei dati rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018.

Periodo	Valori attesi	Dati rilevati	% Dati rilevati	Dati mancanti	% mancanti
2012 (da aprile)	13200	13144	99,6%	56	0,4%
2013	17520	17061	97,4%	459	2,6%
2014	17520	10070	57,5%	7450	42,5%
2015	17520	17289	98,7%	231	1,3%
2016	17568	17415	99,1%	153	0,9%
2017	17520	12187	69,6%	5333	30,4%
2018 (fino a ottobre)	14592	14575	99,9%	17	0,1%
Totale	115440	101741	88,1%	13699	11,9%

TABELLA 6 Distribuzione dei dati mancanti nella serie storica di dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018.

Mese	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Totale
Gennaio			3					3
Febbraio			1223	226	4		6	1459
Marzo			1488	2		3		1493
Aprile			1440	2				1442
Maggio	1		1488		128			1617
Giugno		247	1069		2			1318
Luglio			1		13	1179	2	1195
Agosto						1488		1488
Settembre		100	304			1440		1844
Ottobre		105			1	1218	9	1333
Novembre	54	7			5	5		71
Dicembre	1		434	1				436
Totale	56	459	7450	231	153	5333	17	13699

TABELLA 7 Disponibilità dei dati rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018, suddivisa nelle quattro stagioni.

Stagione	Valori attesi	Dati rilevati	% Dati rilevati	Dati mancanti	% mancanti
Primavera	29424	24872	84,5%	4552	15,5%
Estate	30912	26911	87,1%	4001	12,9%
Autunno	29136	25888	88,1%	3248	11,1%
Inverno	25968	24070	92,7%	1898	7,3%
Totale	115440	101741	88,1%	13699	11,9%

Dati mareografici

Sono stati analizzati i dati di marea misurati dalla stazione di Porto Garibaldi nell'intervallo di tempo tra aprile 2012 e ottobre 2018. I dati disponibili, come riportato in precedenza, hanno una cadenza di 10 minuti. Allo scopo di confrontare agevolmente i dati di livello del mare con quelli semiorari delle misure ondametriche, si è provveduto a "campionare" ogni 30 minuti la serie storica dei livelli.

In tal modo si è ottenuto un sottoinsieme di valori mareografici sincronizzati con i dati d'onda, che ha permesso di effettuare alcune analisi sulla concomitanza tra mareggiate e livelli del mare.

Dopo la campionatura a 30 minuti la serie storica dei livelli è risultata praticamente completa, analogamente a quella dei dati ondametrici: è risultato infatti disponibile il 96% dei dati teoricamente rilevabili nell'arco di quasi 7 anni, cioè 110.631 dati registrati rispetto ai 115.440 attesi.

5.2.3 ANALISI CONDOTTE

Le analisi condotte sui dati rilevati dalla boa hanno riguardato l'individuazione del regime medio del moto ondoso e la determinazione degli eventi di mareggiata.

Regime medio del moto ondoso

Il regime medio 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 regimi:

- regime medio annuo: in cui la distribuzione delle percentuali di occorrenza è stata calcolata utilizzando tutta la serie storica in esame (da aprile 2012 a ottobre 2018);
- regimi medi stagionali: la distribuzione delle altezze d'onda secondo la direzione è stata determinata associando i mesi alle quattro stagioni secondo il criterio visto sopra.

La determinazione del regime medio del moto ondoso ha fatto riferimento a una suddivisione delle altezze d'onda secondo i seguenti criteri: sono state considerati come "calma" i valori di altezza significativa inferiori a 0,20 m, mentre gli altri sono stati suddivisi nei seguenti intervalli:

$0,20 \leq H_s < 0,50$

$0,50 \leq H_s < 1,25$

$1,25 \leq H_s < 2,50$

$2,50 \leq H_s < 4,00$

$H_s \geq 4,00$

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 infine attribuite a 16 settori angolari di 22,5° ciascuno, centrati con le direzioni:

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

L'attribuzione di una specifica direzione di provenienza a uno dei precedenti settori è avvenuta per le onde con altezza 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 calcolata solo l'incidenza complessiva.

Eventi di mareggiata.

Una mareggiata può essere definita come “una successione di stati di mare durante i quali l'altezza d'onda H_s supera una soglia critica H_{crit} e non scende al di sotto di tale soglia per durate di tempo superiori a un valore t_{crit} prefissato” (Boccotti, 1997).

I valori dei parametri che concorrono alla definizione dell'evento non possono essere prefissati in modo assoluto, ma devono riflettere il preciso contesto climatico e ambientale di applicazione.

L'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa supera per la prima volta il valore della soglia prestabilito. Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia.

Per l'individuazione degli eventi ondosi, è stata definita una soglia critica pari a $H_{crit}=1,50$ m e per poter essere considerato come “mareggiata”, l'evento ondoso deve presentare una persistenza minima sopra alla soglia indicata pari ad almeno 6 ore consecutive. Due eventi sono considerati separati se H_s si mantiene al di sotto del valore soglia per più di 3 ore successive. L'evento termina quando l'altezza d'onda scende sotto la soglia prefissata per almeno 3 ore consecutive.

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 (Valentini, 2009).

La serie storica di dati ondametrici, rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo tra aprile 2012 e ottobre 2018, è stata “vagliata” adottando questa procedura di selezione degli eventi di mareggiata. Una volta individuati i singoli eventi, sono stati identificati 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. Le mareggiate sono state inoltre classificate in base alla stagione.

Oltre ai precedenti parametri si è voluto fornire anche un'informazione sull'andamento del livello del mare durante l'intervallo di tempo in cui si è sviluppato ogni evento.

Eventuali innalzamenti del livello marino di una certa consistenza (*storm surge*), in concomitanza con eventi di mareggiata, possono determinare l'intensificazione degli effetti erosivi sulla spiaggia da parte delle onde incidenti oltre, ovviamente, al possibile allagamento di aree di retro spiaggia.

La determinazione dei livelli del mare è stata effettuata analizzando la serie storica del mareografo di Porto Garibaldi (Comune di Comacchio), gestito da Arpa.

È comunque evidente che il dato di marea rilevato da un mareografo, allocato come quello in oggetto in una località sita nel settore settentrionale dell'arco costiero regionale, sia in grado di rappresentare solo parzialmente il fenomeno di innalzamento del livello del mare che si manifesta in aree più lontane come quella in cui è collocata la boa ondametrica di riferimento.

La distanza tra la stazione mareografica e il sito di ormeggio della boa, infatti, diminuisce l'effetto di “sincronismo” dei fenomeni (la marea registrata a Porto Garibaldi si trasferirà verso sud in un certo lasso di tempo), ma ha effetti anche sull'entità dell'innalzamento del livello marino.

La serie dei livelli mareografici rilevati a Porto Garibaldi è stata analizzata isolando gli

intervalli di tempo coincidenti con le varie mareggiate e ogni dato d'onda è stato associato direttamente al corrispondente livello di marea.

È stato quindi possibile stimare le caratteristiche principali degli eventi di mareggiata che si sono succeduti durante il periodo coperto dalle misure della boa, attraverso le seguenti grandezze:

- **Anno**
anno di riferimento;
- **Stagione**
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**
(ore e giorni) la durata del fenomeno
- **Direzione media**
direzione media di provenienza della mareggiata, espressa in °N;
- **Quadrante**
quadrante di provenienza:
I se $0^\circ \text{ N} \leq \text{Dir} < 90^\circ \text{ N}$, II se $90^\circ \text{ N} \leq \text{Dir} < 180^\circ \text{ N}$;
- **Hs media**
altezza media dell'onda durante la mareggiata, espressa in m;
- **Hmax**
altezza massima dell'onda raggiunta durante la mareggiata, espressa in m;
- **Energia**
contenuto energetico della mareggiata;
- **Classificazione**
classificazione della mareggiata;
- **Liv. marea**
(medio e max) livello di marea misurato dal mareografo espresso in metri, durante l'intervallo di tempo in cui si è sviluppata la mareggiata.

Tra i campi che entrano a far parte del presente elenco, quelli che richiedono un approfondimento sono quelli relativi all'Energia contenuta in una mareggiata e alla sua Classificazione secondo una opportuna scala. Tutti gli altri campi, già dalla loro definizione,

TABELLA 8 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	$E > 706,9$

Per quanto riguarda la quantificazione del contenuto energetico delle mareggiate, essa è stata determinata con 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 adottata la suddivisione in 5 classi energetiche (Perini, 2011) richiamate nella

TABELLA 8.

5.3 Sedimentologia

La campagna sedimentologica del 2018 a scala regionale, oggetto della presente relazione, si colloca 6 anni dopo un'analoga campagna commissionata dalla Regione Emilia-Romagna ed eseguita da Arpae nel 2012 (Arpae, 2016) allo scopo di definire l'evoluzione tessiturale delle spiagge a scala regionale. Rilievi e campionamenti di maggior dettaglio sono stati effettuati da Arpae con tempistiche diverse (ripetizioni annuali) nelle sole spiagge oggetto del ripascimento effettuato nel 2016 nell'ambito del Progetto 3, per monitorare le fasi post-intervento e per riconoscere eventuali effetti prodotti a livello regionale dai ripascimenti.

La campagna 2018 è stata eseguita nell'ambito del monitoraggio del Progetto 3 e rappresenta l'ultimo di una serie di 4 rilievi:

- febbraio-aprile 2016 – campagna di prima pianta (113 campioni);
- marzo-giugno 2016 – campagna in corso d'opera (16 campioni);
- novembre-dicembre 2017 – campagna di primo monitoraggio (119 campioni);

- agosto-ottobre 2018 – campagna di secondo monitoraggio (370 campioni).

Tutte le campagne di campionamento, tranne quella in corso d'opera, sono state associate a rilievi topo-batimetrici. La campagna di prima pianta è stata eseguita nel 2016 prima dell'intervento, allo scopo di definire la situazione sedimentologica delle spiagge *ante operam*. Lo stesso anno, durante lo sversamento delle sabbie a cantiere aperto (campagna in corso d'opera), sono stati raccolti alcuni campioni nella zona emersa delle spiagge, al fine di caratterizzare dal punto di vista sedimentologico le sabbie apportate provenienti dai giacimenti sabbiosi sottomarini e, nel caso di Lido di Spina, dalla foce del canale Logonovo. A 17 mesi dall'intervento, nel 2017, e a 27 mesi, nel 2018, sono state condotte due campagne (rispettivamente di primo e secondo monitoraggio) che hanno permesso di ricostruire l'evoluzione tessiturale della spiaggia nel tempo e di avere indicazioni sulla modalità di migrazione e redistribuzione del sedimento portato a ripascimento. La campagna di prima pianta 2016 e quella di monitoraggio del 2017 sono state condotte sulle sole spiagge oggetto di intervento e con una maggiore risoluzione spaziale (113 e 119 campioni raccolti), mentre la campagna del 2018 è stata estesa a tutto il litorale regionale (raccolti 370 campioni) al fine di cogliere un più ampio quadro evolutivo a scala pluriennale.

La presente relazione segue a una serie di elaborati di dettaglio focalizzati sulle 8 spiagge oggetto di ripascimento, ai quali si rimanda per maggiori informazioni sugli effetti locali dell'intervento (Arpae, 2018b, Arpae, 2019).

Allo scopo di definire l'evoluzione tessiturale del litorale regionale nel tempo, la campagna sedimentologica del 2018 è stata confrontata con i risultati di precedenti analoghe campagne eseguite sull'intera costa:

- una condotta nelle estati del 1971 e del 1972 dall'Università di Ferrara (330 campioni da Volano a Cattolica; Bondesan et al., 1978; Dal Cin et al., 1979);

- una eseguita tra giugno e luglio 2012 da Arpa (300 campioni dallo Scanno di Goro a Cattolica, Arpa, 2016).

Il confronto tra i risultati delle campagne, nel primo caso, è stato parziale a causa dei differenti schemi di campionamento adottati, delle variabili metodologie e della differente disponibilità di dati (per informazioni più dettagliate si rimanda ad Arpae, 2016). In particolare, gli studi sedimentologici di Bondesan et alii (1978) e Dal Cin et alii (1979) sono basati sull'analisi granulometrica di campioni collocati su sezioni distanziate circa 2 km e ubicate 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 e Ward (1957), ma dagli Autori vengono riportate solo le mappe tematiche e non i dati puntuali. A causa di queste disomogeneità, si è scelto di basare il confronto con le campagne degli anni 70 sulle mappe del diametro medio, agevolando l'analisi con semplificazioni e adeguamenti delle legende e delle simbologie adottate, analogamente a quanto fatto nella precedente analisi svolta a livello regionale (Arpae, 2016).

Per quanto riguarda il confronto tra le varie campagne Arpae, grazie alla disponibilità dei dati, è stata possibile un'analisi puntuale esplicitata tramite grafici e mappe tematiche, pur tenendo presente il differente livello di dettaglio (vedi le differenze nel numero di campioni prelevati, da 113 a 370, che ha reso possibili solo confronti tra campioni sovrapponibili, cioè con la medesima ubicazione). Il confronto tra le campagne sedimentologiche 2012 e 2018 è stato condotto sui campioni comuni, comportando così l'esclusione dai confronti di circa 70 campioni del 2018, a loro volta invece necessari per le analisi a scala locale e oggetto delle summenzionate relazioni (Arpae, 2018; 2019).



FIGURA 30 Mezzo navale utilizzato per campionamento dei sedimenti nella spiaggia sommersa.



FIGURA 31 A sinistra la benna Van Veen utilizzata, a destra contenitori di plastica utilizzati per conservare i campioni di sedimento.



FIGURA 32 Prelievo di un campione alla profondità di 1 m da parte dell'operatore.

5.3.1 MEZZI E TECNICHE DI CAMPIONAMENTO

La campagna di prelievi è stata svolta nel periodo compreso tra agosto e ottobre 2018 e ha interessato il prelievo di 370 campioni su tutte le spiagge regionali, da Cattolica allo Scanno di Goro.

Il campionamento è avvenuto lungo sezioni trasversali alla costa rilevate anche per la morfologia, a quote comprese tra la spiaggia emersa e -6/-7 m, lungo i profili della rete topografica regionale.

Nel 2018, il prelievo dei sedimenti è stato effettuato dalla ditta specializzata Geocom Parma. I campioni sulla spiaggia emersa sono stati raccolti con paletta, mentre quelli sulla spiaggia sommersa sono stati prelevati tramite benna di tipo *Van Veen* caricata su mezzo navale (**FIGURA 30**, **FIGURA 31** E **FIGURA 32**).

Per le operazioni di posizionamento plano-altimetrico è stato utilizzato un GPS differenziale (DGPS). Sul mezzo navale utilizzato per il prelievo dei sedimenti dalla spiaggia sommersa, il DGPS è stato accoppiato a un ecoscandaglio singlebeam o multibeam, che ha permesso di misurare la profondità del fondale e le coordinate contestualmente al prelievo.

La ditta ha consegnato i campioni, conservati in opportuni contenitori codificati, al laboratorio Arpae di Ravenna che ha eseguito l'analisi granulometrica determinando la frazione sabbiosa mediante setacciatura e la frazione fine mediante il metodo della pipetta (legge di Stokes).

I campioni sono stati classificati secondo la scala granulometrica di Udden-Wentworth (**FIGURA 33**). L'analisi sedimentologica dei dati è stata svolta da Arpa SIMC. Per ciascun campione sono stati calcolati i parametri tessiturali secondo Folk e Ward (1957), utilizzando il programma di calcolo Gradistat (Blott&Pye, 2001).

Per definire la granulometria media è stato utilizzato come indicatore di tendenza centrale il (Dm) diametro medio, secondo la formula di Folk e Ward (1957). L'analisi tessiturale dei campioni ha compreso il calcolo del coefficiente di cernita (deviazione standard), il cui valore prevede la distinzione delle seguenti classi di selezione del sedimento:

- Molto ben selezionato <0,35
- Ben selezionato 0,35-0,50
- Moderatamente ben selezionato 0,50-0,80
- Moderatamente selezionato 0,80-1,40
- Poco selezionato 1,40-2,00
- Molto poco selezionato 2,00-4,00
- Estremamente poco selezionato >4,00

Infine, i dati granulometrici sono stati riportati in grafici, confrontati tra loro e rapportati alla morfologia della spiaggia e dei fondali per discuterne gli andamenti nel tempo.

5.4 Rilievo topo-batimetrico

Il rilievo topo-batimetrico della campagna 2018 ha interessato l'intero litorale regionale, da Cattolica alla foce del Po di Goro. Sono stati rilevati oltre 1000 km di profili topografici e batimetrici lungo transetti sia perpendicolari che longitudinali alla costa. Il rilievo ha interessato tutta la spiaggia emersa e quella sommersa fino alla batimetrica degli 8-10 m. È stato effettuato il rilievo in continuo della linea di riva, individuata dal luogo dei punti a quota zero.

FIGURA 33 Scala granulometrica di Udden (1914) e Wentworth (1922) utilizzata nelle analisi.

<i>phi</i>	<i>micron</i>	
		Ghiaia
-1	2000	Sabbia molto grossolana
0	1000	Sabbia grossolana
1	500	Sabbia media
2	250	Sabbia fine
3	125	Sabbia molto fine
4	63	Silt
9	2	Argilla

TABELLA 9 Piano di monitoraggio 2018 – Tavole.

<i>Elaborato</i>	<i>Area di indagine</i>
Tavola 01 - 2018	Cattolica – Porto di Riccione
Tavola 02 - 2018	Porto di Riccione – Molo di Rimini
Tavola 03 - 2018	Molo di Rimini – Foce Uso
Tavola 04 - 2018	Foce Uso – Molo di Cesenatico
Tavola 05 - 2018	Molo di Cesenatico – Foce Savio
Tavola 06 - 2018	Foce Savio – Foce Fiumi Uniti
Tavola 07 - 2018	Foce Fiumi Uniti – Marina di Ravenna
Tavola 08 - 2018	Porto Corsini – Foce Reno
Tavola 09 - 2018	Foce Reno – Porto Garibaldi
Tavola 10 - 2018	Porto Garibaldi – Volano
Tavola 11 - 2018	Volano – Foce Po di Goro

Le sezioni previste dal piano di monitoraggio 2018 (**TABELLA 9**) sono state integrate con i seguenti rilievi:

- una serie di sezioni di raffittimento in specifiche zone richieste dai servizi regionali con competenza sulla costa;
- 16 sezioni perpendicolari alla costa da utilizzare nell'ambito del sistema di allertamento regionale per il rischio costiero;
- due aree antistanti la spiaggia di Riccione sud, dove sono posizionate le strutture sperimentali WMesh e Reef Ball.

Prima di partire con l'attività di rilevamento topografico e batimetrico, la ditta esecutrice dei rilievi ha proceduto all'inquadramento geodetico nel sistema di riferimento ETRS89 – ETRF2000 (2008.0), così come stabilito dal DM del 10 novembre 2011, pubblicato in G.U. n. 48 del 27 febbraio 2012 (Supplemento ordinario n. 37).

L'inquadramento geodetico è stato effettuato utilizzando i vertici della nuova Rete Geodetica Costiera, realizzata nel corso del 2016-2017 (**FIGURA 34**). Le monografie di questi vertici sono state consegnate alla ditta direttamente da Arpae e sono reperibili sul sito cartografico di Arpae: <https://www.arpae.it/cartografia/>.

In tutte le verifiche effettuate, lo scostamento massimo delle coordinate dei vertici misurate rispetto a quelle riportate in monografia è stato $\leq 2,5$ cm sia in planimetria e che in quota ellissoidica.

I vertici sono stati utilizzati anche come riferimento della stazione *master* (**FIGURA 35**).

Le attività di rilevamento topo-batimetrico sono iniziate, dopo aver ricevuto tutte le autorizzazioni necessarie per la navigazione sottocosta, il 1° ottobre 2018, dal litorale di Cattolica, e si sono concluse il 19 febbraio 2019 con il rilievo dello Scanno di Goro. Questo periodo di 142 giorni solari è stato caratterizzato da ben 63 giorni di condizioni meteo marine non idonee al rilevamento.

Come prescritto nel Capitolato Tecnico, le attività di rilevamento sono state condotte nelle sole giornate in cui le condizioni meteorologiche e di moto ondoso rientravano nei seguenti limiti operativi:

- velocità del vento: non superiore al Valore 2 della Scala Beaufort (max 4-6 nodi);
- altezza significativa delle onde: non superiore al Grado 2 della Scala Douglas (0,10-0,50 m).

I rilievi della spiaggia emersa sono stati eseguiti con ricevitori satellitari GNSS a doppia frequenza, in modalità RTK-OTF con stazione di riferimento (*master*) e stazione ricevente (*rover*) per la ricezione della correzione differenziale.

Le comunicazioni tra *master* e *rover* sono avvenute tramite trasmissione GSM o radio.

Il rilievo della spiaggia emersa è stato effettuato tramite asta centimetrata e GPS-rover avendo cura di battere mediamente un punto ogni 2 m e a ogni cambio di pendenza significativo.

Come previsto dal Capitolato Tecnico, il rilievo ha interessato tutta la spiaggia emersa fino alla prima struttura significativa e sono state rilevate le difese invernali presenti in spiaggia.

In corrispondenza delle sezioni della rete topo-batimetrica regionale sono state effettuate una foto verso terra e una verso mare per la verifica dello stato della spiaggia, delle strutture e delle opere presenti (**FIGURA 36**).

I rilievi della spiaggia sommersa sono stati realizzati tramite ecoscandaglio *multibeam* installato su idonea imbarcazione equipaggiata con tutta la strumentazione necessaria per la correzione del dato acquisito (**FIGURA 37, FIGURA 38 E FIGURA 39**).

Nelle sole zone a basso fondale, dove per questione di sicurezza non è stato possibile effettuare i rilievi con il *multibeam*, è stato utilizzato il sistema *singlebeam* che può essere installato su imbarcazioni con ridotto pescaggio.

Prima di procedere ai rilievi, giornalmente l'ecoscandaglio è stato calibrato posizionando un "target" artificiale, composto da una piastra in acciaio del diametro di circa 30 cm legata con un cavo in materiale inestensibile graduato al decimetro e ricavando i parametri corretti di immersione del trasduttore e di velocità del suono in acqua.



FIGURA 34 Rete Geodetica Costiera: vertice e targhetta.



FIGURA 35 Rete Geodetica Costiera: posizionamento della stazione master su un vertice.



FIGURA 36 Foto verso terra (in alto) e verso mare (in basso) in corrispondenza della sezione topo-batimetrica 15BL1.



FIGURA 37 Rilievo multibeam 2018: postazione di acquisizione dati.



FIGURA 38 Trasduttore multibeam.



FIGURA 39 Sistema integrato per rilievo multibeam.

6



6. Subsidenza dell'area costiera

Osservando il litorale nel suo complesso, non si evidenziano variazioni significative rispetto al periodo precedente (2006-2011): si osservano, in generale, valori compatibili con la subsidenza di origine naturale, fatta eccezione per l'areale storicamente più subsidente compreso tra Lido Adriano e la Bocca del Torrente Bevano, che presenta valori massimi di oltre 15 mm/anno in corrispondenza della foce dei Fiumi Uniti - in diminuzione rispetto al periodo precedente - e un'estensione massima dell'area subsidente verso l'entroterra di circa 5 km. Il litorale nella sua interezza presenta un abbassamento medio, relativamente a una fascia di 5 km verso l'entroterra, di circa 3 mm/anno, ulteriormente ridotto rispetto al periodo precedente. Nella **FIGURA 40** è riportato uno stralcio della cartografia regionale ritagliato secondo la suddetta fascia litoranea.

Nella **TABELLA 10** sono riportate le velocità di abbassamento nei 5 periodi 1984-1987, 1987-1999,

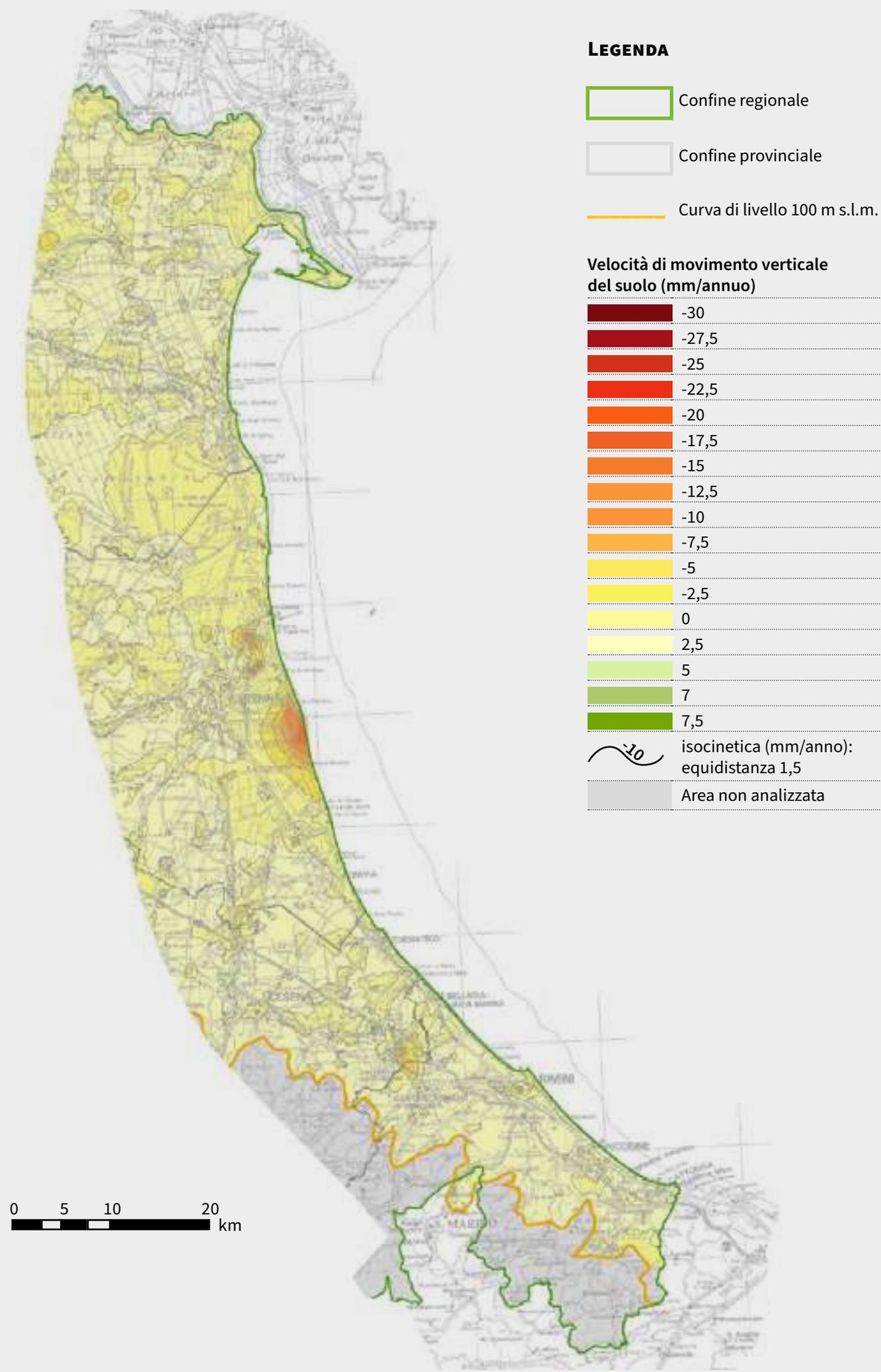
1999-2005, 2006-2011, 2011-2016 e l'abbassamento totale nel periodo 1984-2016 per diverse località costiere da Cattolica sino alla foce del Po di Goro. Per ciascuna località è stato scelto un caposaldo di livellazione che presentasse una serie storica con inizio a partire dal primo rilievo del 1984, seguito dai rilievi del 1987 e 2005 sempre con metodi topografici; le serie storiche sono state completate utilizzando le velocità di abbassamento rilevate per i medesimi siti dalle analisi interferometriche del 2006-2011 e 2011-2016. Infine, viene riportato anche l'abbassamento totale registrato con le medesime modalità nel periodo 1984-2016. Come si può osservare, nel periodo più recente continua la tendenza alla riduzione degli abbassamenti già evidenziata nel precedente rilievo. Anche la subsidenza del paraggio di Lido di Dante (foce Fiumi Uniti), pur presentando il valore più alto dell'intero arco costiero con 17 mm/anno, appare in diminuzione. Per quanto riguarda gli abbassamenti complessivi dal 1984 al 2016, ancora Lido di Dante appare la località più subsidente (53 cm), insieme al limitrofo Lido Adriano (45 cm).

TABELLA 10

Confronto tra le velocità di abbassamento nei periodi 1984-1987, 1987-1999, 1999-2005, 2006-2011, 2011-2016 e abbassamento complessivo nel periodo 1984-2016 per le diverse località costiere.

Località	Velocità di abbassamento nel periodo 1984-1987 (mm/anno)	Velocità di abbassamento nel periodo 1987-1999 (mm/anno)	Velocità di abbassamento nel periodo 1999-2005 (mm/anno)	Velocità di abbassamento nel periodo 2005-2011 (mm/anno)	Velocità di abbassamento nel periodo 2011-2015 (mm/anno)	Abbassamento nel periodo 1984-2015 (cm)
Cattolica	10	2	4	4	3	-12
Rimini	28	6	9	6	4	-27
Torre Perdera	27	2	6	3	3	-17
Bellaria	36	6	8	5	2	-27
Gatteo a Mare	38	12	10	6	3	-37
Cesenatico	55	10	9	5	3	-38
Pinarella di Cervia	30	6	8	5	3	-26
Milano Marittima	35	9	10	7	5	-35
Lido di Savio	24	9	10	6	5	-30
Foce Bevano	17	8	11	11	11	-33
Lido di Dante	20	10	19	21	17	-53
Lido Adriano	23	13	15	14	11	-45
Punta Marina	21	11	10	5	4	-31
Marina di Ravenna	20	10	8	5	4	-27
Porto Corsini	24	15	13	7	8	-42
Casalborsetti	18	11	10	3	2	-27
Dosso degli Angeli	23	18	13	2	3	-40
Portogaribaldi	10	8	8	3	2	-21
Lido delle Nazioni	14	13	10	2	3	-29
Boscone della Mesola	10	11	7	5	3	-26
Goro	20	17	10	8	3	-39
Foce del Po di Goro	-	-	9	9	4	-

FIGURA 40 Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2011-2016 lungo il litorale emiliano-romagnolo.



7



7. Dinamica marina

7.1 Regime del moto ondoso

I dati ondametrici, rilevati dalla boa Nausicaa tra aprile 2012 e ottobre 2018, sono stati elaborati per ricostruire il regime del moto ondoso medio annuo caratteristico del periodo in esame. La **TABELLA 11** mostra la distribuzione delle onde, suddivise per classi d'altezza, nei diversi settori di provenienza, ampi ciascuno 22,5°. 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 proviene il maggior numero di onde, pari al 20% del totale, è quello E o di Levante (90° N), seguito dal settore ESE (112,5° N) con circa il 13% e dal settore ENE (67,5° N) con poco più del 12% degli eventi.

Relativamente alla distribuzione delle onde per classi di altezza si può notare come la classe più frequente sia quella rappresentata dalle onde basse, cioè con $0,20 \leq H_s < 0,50$, con quasi il 40% dei casi registrati. Dal settore ENE proviene il maggior numero di onde medio-alte, ovvero quelle con $H_s > 1,25$ m. Dai dati riportati in tabella si nota che queste onde rappresentano circa il 5,7% del totale registrato dalla boa nel periodo in esame, mentre il settore ENE contribuisce, da solo, con quasi il 3%.

Sempre in merito alle onde di maggiore altezza, anche il settore NE o di bora (45° N) presenta percentuali di occorrenza significative pari a circa l'1,8% del totale.

Tali considerazioni sono evidenziate in maniera più immediata in **FIGURA 41**, nella quale si riporta la rosa delle onde ricavata da tutti i dati disponibili da aprile 2012 a ottobre 2018.

Grazie all'estensione e alla buona copertura della serie storica analizzata (oltre l'88% dei dati attesi), è stato possibile ricavare la distribuzione delle altezze d'onda in funzione dei settori di provenienza, suddividendo i dati a livello stagionale.

FIGURA 41 Rosa delle onde ricavata dai dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018.

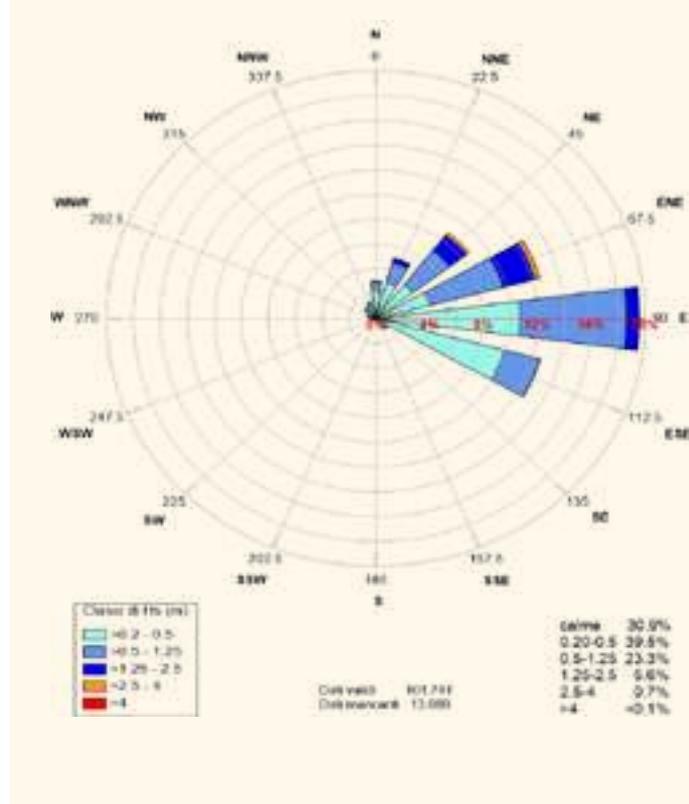


TABELLA 11 Tabella di occorrenza (16 settori direzionali e 5 classi di altezza significativa, più le calme) dei dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Totale
calme																	30,93
0,20-0,5	2,35	3,09	3,48	4,21	10,87	10,22	1,04	0,14	0,11	0,09	0,11	0,27	0,45	0,73	1,07	1,19	39,45
0,5-1,25	0,73	1,72	3,53	5,65	8,15	2,87	0,13	0,02			0,01	0,02	0,02	0,06	0,10	0,27	23,29
1,25-2,5	0,06	0,39	1,59	2,48	0,97	0,03									0,02	0,03	5,62
2,5-4		0,03	0,29	0,37													0,70
>4				0,02													0,02
Totale	3,15	5,24	8,89	12,73	20,00	13,13	1,17	0,17	0,12	0,10	0,12	0,29	0,47	0,79	1,20	1,50	100,00

Nella **TABELLA 12** e nella successiva **FIGURA 42** si riportano, rispettivamente, le tabelle di occorrenza e le rose delle onde per ognuna delle quattro stagioni, da cui è possibile evidenziare alcune significative caratteristiche:

- l'inverno e l'estate presentano valori di calma superiori all'autunno e alla primavera: tra il 33-36% contro il 26-27%;

- 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 21-26% dal settore E o di Levante (90° N), mentre in estate il settore con la percentuale più alta è quello ESE (112,5° N) con un valore di quasi il 18%;

TABELLA 12 Tabella di occorrenza dei dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018 suddivisi per stagioni.

PRIMAVERA																	
	<i>N</i>	<i>NNE</i>	<i>NE</i>	<i>ENE</i>	<i>E</i>	<i>ESE</i>	<i>SE</i>	<i>SSE</i>	<i>S</i>	<i>SSW</i>	<i>SW</i>	<i>WSW</i>	<i>W</i>	<i>WNW</i>	<i>NW</i>	<i>NNW</i>	<i>Totale</i>
calme																	26,40
0,20-0,5	1,43	1,84	2,24	4,28	14,61	13,24	1,00	0,04	0,10	0,06	0,15	0,37	0,49	0,70	1,00	0,96	42,53
0,5-1,25	0,43	1,38	2,55	4,82	11,02	4,28	0,11				0,01	0,00	0,04	0,06	0,05	0,20	24,95
1,25-2,5	0,04	0,42	1,57	2,28	1,31	0,02											5,64
2,5-4		0,01	0,21	0,27													0,49
>4																	0,00
Totale	1,90	3,65	6,57	11,65	26,95	17,54	1,11	0,04	0,10	0,06	0,16	0,38	0,53	0,76	1,05	1,16	100,00
ESTATE																	
	<i>N</i>	<i>NNE</i>	<i>NE</i>	<i>ENE</i>	<i>E</i>	<i>ESE</i>	<i>SE</i>	<i>SSE</i>	<i>S</i>	<i>SSW</i>	<i>SW</i>	<i>WSW</i>	<i>W</i>	<i>WNW</i>	<i>NW</i>	<i>NNW</i>	<i>Totale</i>
calme																	36,06
0,20-0,5	2,57	4,07	4,80	5,21	8,36	14,63	1,73	0,27	0,16	0,15	0,16	0,36	0,75	0,85	1,15	1,32	46,55
0,5-1,25	0,71	1,96	2,81	4,44	2,00	3,27	0,15	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,04	0,06	0,16	15,69
1,25-2,5	0,01	0,17	0,49	0,73	0,11	0,05											1,56
2,5-4			0,03	0,10													0,14
>4																	0,00
Totale	3,30	6,19	8,13	10,49	10,46	17,96	1,88	0,30	0,17	0,15	0,16	0,39	0,77	0,90	1,21	1,49	100,00
AUTUNNO																	
	<i>N</i>	<i>NNE</i>	<i>NE</i>	<i>ENE</i>	<i>E</i>	<i>ESE</i>	<i>SE</i>	<i>SSE</i>	<i>S</i>	<i>SSW</i>	<i>SW</i>	<i>WSW</i>	<i>W</i>	<i>WNW</i>	<i>NW</i>	<i>NNW</i>	<i>Totale</i>
calme																	27,38
0,20-0,5	2,19	3,33	3,86	3,98	10,73	8,98	0,80	0,20	0,15	0,12	0,11	0,17	0,31	0,78	0,82	0,82	37,37
0,5-1,25	0,70	1,63	4,30	6,83	10,38	2,73	0,14	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,07	0,09	0,22	27,19
1,25-2,5	0,18	0,55	2,06	2,99	1,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01				0,01	0,09	0,12	7,18
2,5-4	0,00	0,08	0,38	0,39										0,01	0,01	0,00	0,87
>4																	0,00
Totale	3,07	5,59	10,60	14,19	22,19	11,76	0,95	0,25	0,17	0,14	0,12	0,19	0,34	0,87	1,01	1,16	100,00
INVERNO																	
	<i>N</i>	<i>NNE</i>	<i>NE</i>	<i>ENE</i>	<i>E</i>	<i>ESE</i>	<i>SE</i>	<i>SSE</i>	<i>S</i>	<i>SSW</i>	<i>SW</i>	<i>WSW</i>	<i>W</i>	<i>WNW</i>	<i>NW</i>	<i>NNW</i>	<i>Totale</i>
calme																	33,71
0,20-0,5	3,24	3,05	2,88	3,26	9,97	3,51	0,56	0,05	0,02	0,04	0,03	0,17	0,20	0,57	1,34	1,69	30,56
0,5-1,25	1,11	1,89	4,51	6,59	9,66	1,13	0,11	0,02	0,00		0,01	0,02	0,02	0,05	0,21	0,54	25,87
1,25-2,5	0,02	0,45	2,34	4,10	1,48	0,02											8,43
2,5-4		0,04	0,56	0,74													1,35
>4				0,07					0,01								0,08
Totale	4,37	5,43	10,29	14,77	21,12	4,66	0,67	0,07	0,03	0,04	0,04	0,19	0,22	0,62	1,55	2,23	100,00

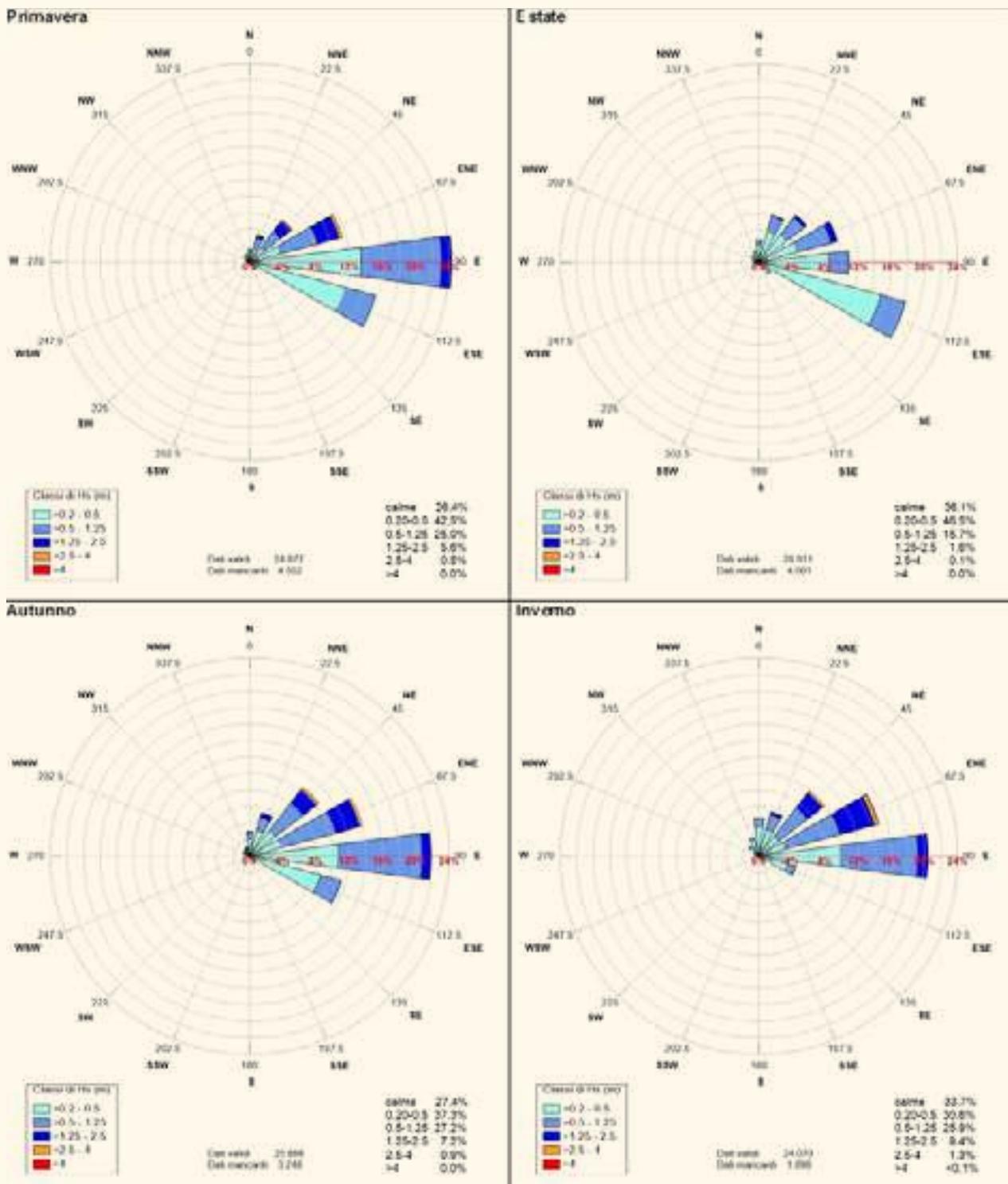
- per tutte e quattro le stagioni la classe d'onda più frequente, come per il regime medio annuo, è quella caratterizzata da $0,20 \leq H_s < 0,50$; in autunno e inverno la percentuale di occorrenza si attesta tra il 30 e il 37% mentre in primavera ed estate la percentuale aumenta rispettivamente al 42-47% circa;
- relativamente alla distribuzione delle onde

che si presentano con un'altezza $H_s > 1,25$ m:

- con l'esclusione dell'estate, nelle restanti stagioni queste classi d'onda si presentano essenzialmente da ENE ($67,5^\circ$ N), con percentuali di occorrenza dell'ordine del 2,5-5%; in autunno le onde medio-alte si ripartiscono quasi equamente tra i settori NE (45° N) ed ENE con percentuali poco superiori al 2,5-3%;

FIGURA 42

Rose delle onde dei climi stagionali ricavate dai dati ondametrici rilevati dalla boa Nausicaa nel periodo aprile 2012 – ottobre 2018.



infine in estate l'incidenza di queste onde è nel complesso modesta;

- relativamente alla classe d'onda con $2,50 \leq H_s < 4,00$ e quindi alle onde più alte, la stagione con la presenza più significativa è l'inverno e la direzione è quella ENE; onde analoghe si riscontrano in autunno, ma con una percentuale di accadimento inferiore rispetto all'inverno.

7.2 Mareggiate

Lo studio delle caratteristiche del moto ondoso è completato dall'analisi del regime delle mareggiate. Elaborando i dati ondometrici della boa Nausicaa è stata assemblata la **TABELLA 13** nella quale sono raccolte le informazioni sugli eventi che si sono succeduti durante il periodo di interesse; le principali caratteristiche delle mareggiate sono riassunte, per anno e stagione, nella successiva **TABELLA 14**. Infine, nella **TABELLA 15** si riportano le informazioni sulla classificazione delle mareggiate dal punto di vista del loro contenuto energetico.

Si può osservare quanto segue:

- nel periodo da aprile 2012 a ottobre 2018 sono stati individuati 96 eventi di mareggiata che hanno comportato condizioni di mare in burrasca per oltre 84 giorni;
- la stagione con la massima incidenza dei fenomeni è stata quella autunnale con 34 mareggiate complessive, seguita dall'inverno con 33 e dalla primavera con 23 eventi; minoritaria è risultata l'incidenza dei fenomeni durante l'estate, con 6 mareggiate;
- la durata media delle mareggiate è stata di circa 21 ore, quella minima di circa 7 ore, mentre la mareggiata più lunga è stata di circa 96 ore (evento del 15-19 gennaio 2017).

Dai dati emerge che la stagione caratterizzata dalle mareggiate più lunghe, circa 25 ore in media, è l'inverno, seguita dall'autunno e dalla primavera con valori di durata media per evento di circa 19 ore; infine l'estate è caratterizzata da mareggiate in media più brevi, con durate dell'ordine delle 15 ore;

- relativamente al settore di provenienza, le mareggiate individuate sono caratterizzate da valori della direzione rispetto al Nord che vanno da 341° N (unico caso dal IV Quadrante) a 101° N (anche questo è l'unico caso di evento proveniente dal II Quadrante). In media, le mareggiate individuate hanno una direzione di circa 57° N, quindi prossima al settore di Bora.

Come si può osservare, la variabilità della direzione di provenienza è piuttosto limitata dal momento che gli eventi si presentano concentrati nell'intorno della direzione media.

Questa caratteristica è dovuta da un lato alla direzione dei venti al largo che generano le onde, dall'altro all'effetto dovuto alla posizione della boa Nausicaa: in corrispondenza della boa le onde più grandi, quindi quelle tipiche delle mareggiate, hanno risentito della profondità abbastanza limitata e, in conseguenza dei fenomeni rifrattivi, hanno cominciato a orientarsi in direzione normale alla costa;

- per quanto riguarda le onde di massima altezza, le 96 mareggiate sono state caratterizzate da valori che vanno da circa 1,6 m, quindi poco più del valore di soglia di individuazione di un evento, a circa 4,6 m. Solamente in altri 3 casi del 2014, 2015 e del 2017, tutti avvenuti in inverno, l'altezza d'onda ha raggiunto valori estremamente alti, oltre i 4,0 m;
- prendendo in considerazione l'aspetto energetico e conseguentemente la classificazione delle mareggiate, si può osservare che 47 mareggiate su 96 sono state di classe I (debole), 27 sono collocabili in classe II (moderata), 19 in classe III (significativa) e le rimanenti 3 in classe IV (severa).

Dal punto di vista della distribuzione per stagione si può osservare che in autunno e inverno sono concentrati il maggior numero di eventi delle diverse classi;

TABELLA 13 Caratteristiche delle mareggiate rilevate dalla boa Nausicaa nel periodo tra la 5^a e la 6^a campagna topo-batimetrica (aprile 2012 – ottobre 2018).

Anno	Stagione	Data e ora inizio	Data e ora fine	Durata (ore)	Durata (giorni)	Dir. Media (°N)	Quadrante	HsMedia (m)	HsMax (m)	Energia (m ² h)	Classificazione	Liv. Marea medio (m)	Liv. Marea max (m)
2012	Primavera	1/4/12 9:00	1/4/12 16:00	7	0,3	64	I	2,02	2,64	29,31	I debole	-0,05	0,07
2012	Primavera	13/5/12 3:00	13/5/12 18:00	15	0,6	60	I	2,43	3,19	93,24	II moderata	0,05	0,24
2012	Primavera	14/5/12 7:00	14/5/12 13:30	7	0,3	30	I	1,90	2,28	23,89	I debole	-0,04	0,03
2012	Primavera	16/5/12 8:30	16/5/12 17:30	9	0,4	22	I	2,03	2,49	37,62	I debole	0,03	0,23
2012	Estate	22/7/12 10:30	23/7/12 16:30	30	1,3	58	I	2,15	2,93	145,92	III significativa	0,18	0,54
2012	Autunno	13/9/12 5:30	14/9/12 20:00	39	1,6	51	I	1,95	2,81	149,11	III significativa	0,31	0,69
2012	Autunno	20/9/12 0:00	20/9/12 6:30	7	0,3	41	I	1,83	2,13	22,06	I debole	0,20	0,43
2012	Autunno	29/10/12 0:30	29/10/12 8:30	8	0,3	55	I	1,58	1,78	19,98	I debole	0,48	0,74
2012	Autunno	31/10/12 19:30	1/11/12 12:30	17	0,7	87	I	2,03	2,43	71,78	II moderata	-	-
2012	Autunno	11/11/12 5:00	12/11/12 0:30	20	0,8	88	I	1,70	2,04	57,05	I debole	-	-
2012	Autunno	28/11/12 14:00	29/11/12 0:00	10	0,4	86	I	1,53	1,64	23,39	I debole	0,56	0,98
2012	Inverno	8/12/12 8:30	9/12/12 7:30	24	1,0	37	I	2,51	3,23	150,30	III significativa	0,32	0,57
2013	Inverno	17/1/13 17:30	18/1/13 11:00	17,5	0,7	53	I	1,94	2,31	68,00	II moderata	0,31	0,49
2013	Inverno	24/1/13 20:30	26/1/13 1:30	29,0	1,2	63	I	1,83	2,42	99,95	II moderata	0,45	0,68
2013	Inverno	2/2/13 21:30	3/2/13 11:30	14,0	0,6	50	I	2,42	3,68	89,41	II moderata	0,41	0,94
2013	Inverno	11/2/13 12:00	12/2/13 4:30	16,5	0,7	89	I	1,70	2,05	49,28	I debole	0,47	1,00
2013	Inverno	21/2/13 5:30	21/2/13 23:00	17,5	0,7	61	I	1,76	2,05	55,36	I debole	0,13	0,32
2013	Primavera	14/3/13 10:30	15/3/13 3:00	16,5	0,7	47	I	1,86	2,26	58,81	II moderata	0,48	0,79
2013	Primavera	18/3/13 3:30	18/3/13 14:30	11,0	0,5	84	I	1,61	1,76	29,79	I debole	0,53	0,62
2013	Primavera	24/3/13 14:30	25/3/13 17:30	27,0	1,1	62	I	2,06	2,55	117,24	II moderata	0,45	0,79
2013	Primavera	16/5/13 8:00	16/5/13 23:00	15,0	0,6	85	I	1,71	2,12	45,17	I debole	0,51	0,70
2013	Estate	20/8/13 10:30	20/8/13 18:00	7,5	0,3	31	I	1,67	1,95	22,12	I debole	0,04	0,27
2013	Autunno	7/10/13 5:30	7/10/13 19:30	14,0	0,6	84	I	1,75	2,30	44,62	I debole	0,31	0,72
2013	Autunno	10/11/13 23:30	12/11/13 13:00	37,5	1,6	52	I	2,64	3,79	323,01	III significativa	0,53	0,93
2013	Autunno	15/11/13 15:00	16/11/13 0:30	9,5	0,4	64	I	1,71	1,98	29,06	I debole	0,29	0,47
2013	Autunno	25/11/13 11:30	28/11/13 1:30	62,0	2,6	46	I	2,16	2,94	296,25	III significativa	0,29	0,61
2013	Inverno	1/12/13 4:00	3/12/13 2:00	46,0	1,9	64	I	1,88	2,42	164,88	III significativa	0,12	0,54
2013	Inverno	26/12/13 4:00	26/12/13 21:00	17,5	0,7	85	I	1,79	2,00	55,93	I debole	0,50	0,75
2014	Inverno	24/1/14 15:30	25/1/14 12:00	20,5	0,9	34	I	1,94	3,23	91,09	II moderata	0,41	0,60
2014	Inverno	30/1/14 23:00	1/2/14 1:00	26,0	1,1	84	I	1,61	2,04	71,54	II moderata	0,52	0,94
2014	Autunno	1/9/14 6:30	1/9/14 23:30	17,0	0,7	36	I	2,00	2,48	70,24	II moderata	0,15	0,43
2014	Autunno	2/9/14 11:30	2/9/14 19:00	7,5	0,3	38	I	1,64	1,95	21,38	I debole	0,36	0,45
2014	Autunno	24/10/14 21:30	25/10/14 4:00	6,5	0,3	64	I	1,60	1,77	17,58	I debole	0,25	0,54
2014	Inverno	28/12/14 9:30	29/12/14 13:00	27,5	1,1	41	I	2,55	3,40	186,87	III significativa	0,27	0,52
2014	Inverno	30/12/14 2:30	30/12/14 17:30	15,0	0,6	65	I	2,14	2,66	71,15	II moderata	0,03	0,31
2014	Inverno	30/12/14 22:30	31/12/14 23:30	25,5	1,1	66	I	2,37	4,06	155,18	III significativa	0,10	0,29
2015	Inverno	23/1/15 10:30	24/1/15 9:30	23,0	1,0	50	I	1,79	2,12	75,65	II moderata	0,29	0,65
2015	Inverno	25/1/15 6:30	25/1/15 13:30	7,0	0,3	62	I	1,69	1,89	21,01	I debole	0,20	0,30
2015	Inverno	5/2/15 3:30	7/2/15 10:00	74,0	3,1	44	I	1,93	4,56	516,67	IV severa	0,72	1,31
2015	Inverno	24/2/15 21:00	25/2/15 13:30	16,5	0,7	57	I	1,99	2,51	67,66	II moderata	0,35	0,58
2015	Primavera	4/3/15 22:00	7/3/15 8:00	58,0	2,4	56	I	2,56	3,77	417,78	IV severa	0,21	0,73
2015	Primavera	7/3/15 23:30	8/3/15 14:30	15,0	0,6	58	I	1,71	2,03	45,44	I debole	-0,02	0,34
2015	Primavera	25/3/15 10:00	26/3/15 5:30	19,5	0,8	86	I	1,79	2,52	68,07	II moderata	0,51	0,82
2015	Primavera	4/4/15 23:30	6/4/15 12:00	36,5	1,5	63	I	2,00	2,52	148,92	III significativa	0,25	0,63
2015	Primavera	22/5/15 1:30	22/5/15 21:00	19,5	0,8	49	I	1,86	2,43	70,33	II moderata	0,16	0,46
2015	Estate	23/6/15 22:30	24/6/15 6:30	8,0	0,3	53	I	1,81	2,00	27,33	I debole	0,16	0,33
2015	Autunno	27/9/15 21:00	28/9/15 7:30	10,5	0,4	64	I	1,79	1,95	34,75	I debole	0,13	0,51
2015	Autunno	28/9/15 18:00	29/9/15 11:00	17,0	0,7	53	I	1,83	2,35	58,75	II moderata	0,26	0,59

TABELLA 13 Caratteristiche delle mareggiate rilevate dalla boa Nausicaa nel periodo tra la 5^a e la 6^a campagna topo-batimetrica (aprile 2012 – ottobre 2018).

Anno	Stagione	Data e ora inizio	Data e ora fine	Durata (ore)	Durata (giorni)	Dir. Media (°N)	Quadrante	HsMedia (m)	HsMax (m)	Energia (m ² h)	Classificazione	Liv. Marea medio (m)	Liv. Marea max (m)
2015	Autunno	29/9/15 20:00	30/9/15 4:00	8,0	0,3	57	I	1,63	1,77	22,28	I debole	0,11	0,32
2015	Autunno	10/10/15 20:30	11/10/15 16:00	19,5	0,8	37	I	1,84	2,18	67,45	II moderata	0,32	0,68
2015	Autunno	31/10/15 0:30	31/10/15 14:00	13,5	0,6	60	I	1,64	1,81	37,60	I debole	0,30	0,47
2015	Autunno	31/10/15 20:30	1/11/15 6:00	9,5	0,4	55	I	1,53	1,74	23,32	I debole	0,23	0,31
2015	Autunno	21/11/15 18:00	22/11/15 13:00	19,0	0,8	38	I	2,47	3,33	120,45	II moderata	0,51	0,81
2015	Autunno	26/11/15 11:30	27/11/15 17:30	30,5	1,3	59	I	2,41	3,16	181,85	III significativa	0,39	0,85
2016	Inverno	16/1/16 13:30	17/1/16 4:30	15,0	0,6	55	I	1,76	2,13	47,93	I debole	-	-
2016	Inverno	3/2/16 22:00	4/2/16 6:00	8,0	0,3	33	I	2,27	3,03	43,55	I debole	-	-
2016	Inverno	16/2/16 11:30	17/2/16 6:30	19,0	0,8	55	I	1,72	2,09	57,51	I debole	-	-
2016	Inverno	28/2/16 19:00	29/2/16 10:30	15,5	0,6	83	I	1,96	2,30	61,25	II moderata	0,60	0,89
2016	Primavera	3/3/16 15:00	3/3/16 23:00	8,0	0,3	17	I	1,54	1,67	20,08	I debole	0,34	0,47
2016	Primavera	5/3/16 13:30	5/3/16 23:30	10,0	0,4	89	I	1,50	1,65	23,63	I debole	0,57	0,90
2016	Primavera	9/3/16 7:00	9/3/16 15:00	8,0	0,3	75	I	1,58	1,83	21,17	I debole	0,43	0,72
2016	Primavera	12/3/16 20:30	14/3/16 11:00	38,5	1,6	54	I	1,76	2,05	121,24	II moderata	0,22	0,59
2016	Primavera	16/3/16 1:30	16/3/16 22:00	20,5	0,9	62	I	1,61	1,84	54,44	I debole	0,20	0,37
2016	Primavera	22/3/16 23:30	24/3/16 4:00	28,5	1,2	53	I	2,12	3,11	133,93	III significativa	0,30	0,65
2016	Primavera	24/4/16 14:00	25/4/16 5:30	15,5	0,6	56	I	1,84	2,11	53,51	I debole	0,25	0,61
2016	Estate	16/6/16 14:30	16/6/16 21:30	7,0	0,3	82	I	1,49	1,55	16,46	I debole	0,74	0,90
2016	Estate	15/7/16 1:30	16/7/16 4:00	26,5	1,1	49	I	2,26	2,88	140,00	III significativa	0,15	0,48
2016	Autunno	6/9/16 20:00	7/9/16 14:00	18,0	0,8	48	I	1,97	2,25	71,68	II moderata	0,25	0,46
2016	Autunno	27/10/16 2:00	27/10/16 12:30	10,5	0,4	64	I	1,64	1,88	29,60	I debole	0,26	0,51
2016	Autunno	27/10/16 21:00	28/10/16 6:00	9,0	0,4	67	I	1,53	1,77	22,06	I debole	0,08	0,35
2016	Autunno	11/11/16 23:30	12/11/16 11:30	12,0	0,5	29	I	2,30	3,02	67,60	II moderata	0,48	0,75
2016	Autunno	28/11/16 10:30	29/11/16 17:30	31,0	1,3	57	I	2,20	2,96	155,07	III significativa	0,24	0,59
2016	Inverno	29/12/16 0:30	29/12/16 14:00	14,0	0,6	71	I	1,88	2,33	49,60	I debole	-0,17	0,11
2017	Inverno	5/1/17 12:00	7/1/17 9:00	45,0	1,9	46	I	2,19	2,75	220,30	III significativa	-0,04	0,17
2017	Inverno	10/1/17 10:30	10/1/17 18:00	7,5	0,3	67	I	1,56	1,65	19,15	I debole	-0,29	0,08
2017	Inverno	15/1/17 18:30	19/1/17 18:30	96,0	4,0	62	I	2,47	4,18	619,82	IV severa	0,22	0,58
2017	Inverno	6/2/17 20:00	7/2/17 4:00	8,0	0,3	65	I	1,71	2,01	24,73	I debole	0,26	0,50
2017	Inverno	25/2/17 0:00	25/2/17 8:00	8,0	0,3	64	I	2,11	3,08	38,47	I debole	0,07	0,37
2017	Primavera	18/4/17 11:30	18/4/17 20:30	9,0	0,4	46	I	2,18	2,94	45,67	I debole	0,31	0,48
2017	Autunno	6/11/17 17:30	7/11/17 13:00	19,5	0,8	57	I	2,10	2,79	89,68	II moderata	0,53	0,83
2017	Autunno	13/11/17 9:00	15/11/17 11:30	50,5	2,1	59	I	2,27	3,68	302,94	III significativa	0,44	0,93
2017	Autunno	15/11/17 14:30	15/11/17 22:00	7,5	0,3	66	I	1,49	1,63	17,78	I debole	0,21	0,44
2017	Autunno	26/11/17 12:00	26/11/17 23:00	11,0	0,5	43	I	2,06	3,07	50,94	I debole	0,13	0,36
2017	Inverno	2/12/17 5:30	3/12/17 3:30	22,0	0,9	56	I	1,95	2,39	86,45	II moderata	0,27	0,69
2018	Inverno	3/2/18 8:30	3/2/18 18:00	9,5	0,4	50	I	1,90	2,51	36,23	I debole	0,29	0,70
2018	Inverno	13/2/18 3:30	13/2/18 10:30	7	0,3	30	I	1,65	1,78	20,20	I debole	0,40	0,52
2018	Inverno	18/2/18 13:30	19/2/18 4:30	15	0,6	59	I	2,13	2,70	70,73	II moderata	0,10	0,45
2018	Inverno	21/2/18 17:30	24/2/18 13:00	67,5	2,8	61	I	2,19	3,00	331,44	III significativa	0,36	0,70
2018	Inverno	24/2/18 21:00	27/2/18 8:00	59	2,5	52	I	2,03	2,49	248,20	III significativa	0,28	0,61
2018	Primavera	20/3/18 20:00	22/3/18 9:00	37	1,5	59	I	2,17	3,10	182,48	III significativa	0,43	0,83
2018	Primavera	22/3/18 21:30	23/3/18 13:30	16	0,7	48	I	1,74	2,13	50,43	I debole	0,38	0,72
2018	Estate	26/8/18 10:00	26/8/18 19:00	9	0,4	89	I	1,73	2,00	28,11	I debole	0,27	0,53
2018	Autunno	24/9/18 11:00	26/9/18 10:00	47	2,0	341	IV	1,98	2,75	189,07	III significativa	0,14	0,59
2018	Autunno	2/10/18 2:30	2/10/18 14:00	11,5	0,5	59	I	2,04	2,36	49,58	I debole	0,32	0,40
2018	Autunno	21/10/18 14:00	22/10/18 10:00	20	0,8	101	II	1,89	2,76	73,65	II moderata	0,26	0,57
2018	Autunno	29/10/18 12:00	30/10/18 4:30	16,5	0,7	37	I	2,11	2,63	76,03	II moderata	0,79	1,06

TABELLA 14 Sintesi delle principali caratteristiche delle mareggiate registrate tra aprile 2012 e ottobre 2018.

Anno	Stagione	Mareggiata (n°)	Durata (giorni)	Hs Max (m)	Energia (m ² h)	Liv. Marea max (m)
2012 (da aprile)	primavera	4	1,6	3,19	184,06	0,24
	estate	1	1,3	2,93	145,92	0,54
	autunno	6	4,1	2,81	343,38	0,98
	inverno	1	1,0	3,23	150,30	0,57
	Totale	12	7,9	3,23	823,67	0,98
2013	primavera	4	2,9	2,55	251,00	0,79
	estate	1	0,3	1,95	22,12	0,27
	autunno	4	5,1	3,79	692,93	0,93
	inverno	7	6,6	3,68	582,81	1,00
	Totale	16	14,9	3,79	1548,86	1,00
2014	primavera					
	estate					
	autunno	3	1,3	2,48	109,20	0,54
2015	primavera	5	6,2	3,77	750,54	0,82
	estate	1	0,3	2,00	27,33	0,33
	autunno	8	5,3	3,33	546,45	0,85
2016	primavera	7	5,4	3,11	428,00	0,90
	estate	2	1,4	2,88	156,45	0,90
	autunno	5	3,4	3,02	346,02	0,75
	inverno	5	3,0	3,03	259,84	0,89
	Totale	19	13,1	3,11	1190,32	0,90
2017	primavera	1	0,4	2,94	45,67	0,48
	estate					
	autunno	4	3,7	3,68	461,34	0,93
	inverno	6	7,8	4,18	1008,91	0,69
	Totale	11	11,8	4,18	1515,92	0,93
2018 (fino a ottobre)	primavera	2	2,2	3,10	233	0,83
	estate	1	0,4	2,00	28	0,53
	autunno	4	4,0	2,76	388	1,06
	inverno	5	6,6	3,00	707	0,70
	Totale	12	13,1	3,10	1356	1,06
2012-2018	primavera	23	18,6	3,77	1892,19	0,90
	estate	6	3,7	2,93	379,94	0,90
	autunno	34	26,9	3,79	2887,67	1,06
	inverno	33	34,7	4,56	3965,49	1,31
Totale	96	83,8	4,56	9125,29	1,31	

- l'analisi del livello massimo raggiunto dalla marea al mareografo di Porto Garibaldi, in concomitanza con i vari fenomeni di mareggiata, pur con i limiti che questo dato possiede nel rappresentare il grado di severità dell'azione del moto ondoso sui litorali, evidenzia come questo dato si sia manifestato secondo valori distribuiti tra i pochi centimetri sopra il livello medio mare e oltre 1,3 m (in concomitanza con uno dei suddetti casi di mareggiata severa).

Per concludere l'analisi delle caratteristiche delle mareggiate, individuate nella serie

storica di dati ondametrici della boa Nausicaa, si riportano alcuni grafici polari (**FIGURA 43**) con i quali si è voluto evidenziare il legame tra i principali parametri caratteristici di ogni evento, quindi Hmax, Durata, Classe energetica e Livello massimo di marea, con la direzione di provenienza della mareggiata. I grafici evidenziano immediatamente come le mareggiate che si sono manifestate tra aprile 2012 e ottobre 2018 in corrispondenza della boa Nausicaa, presentino una direzione di provenienza contenuta all'interno di un settore piuttosto ristretto. Per quanto riguarda i parametri analizzati:

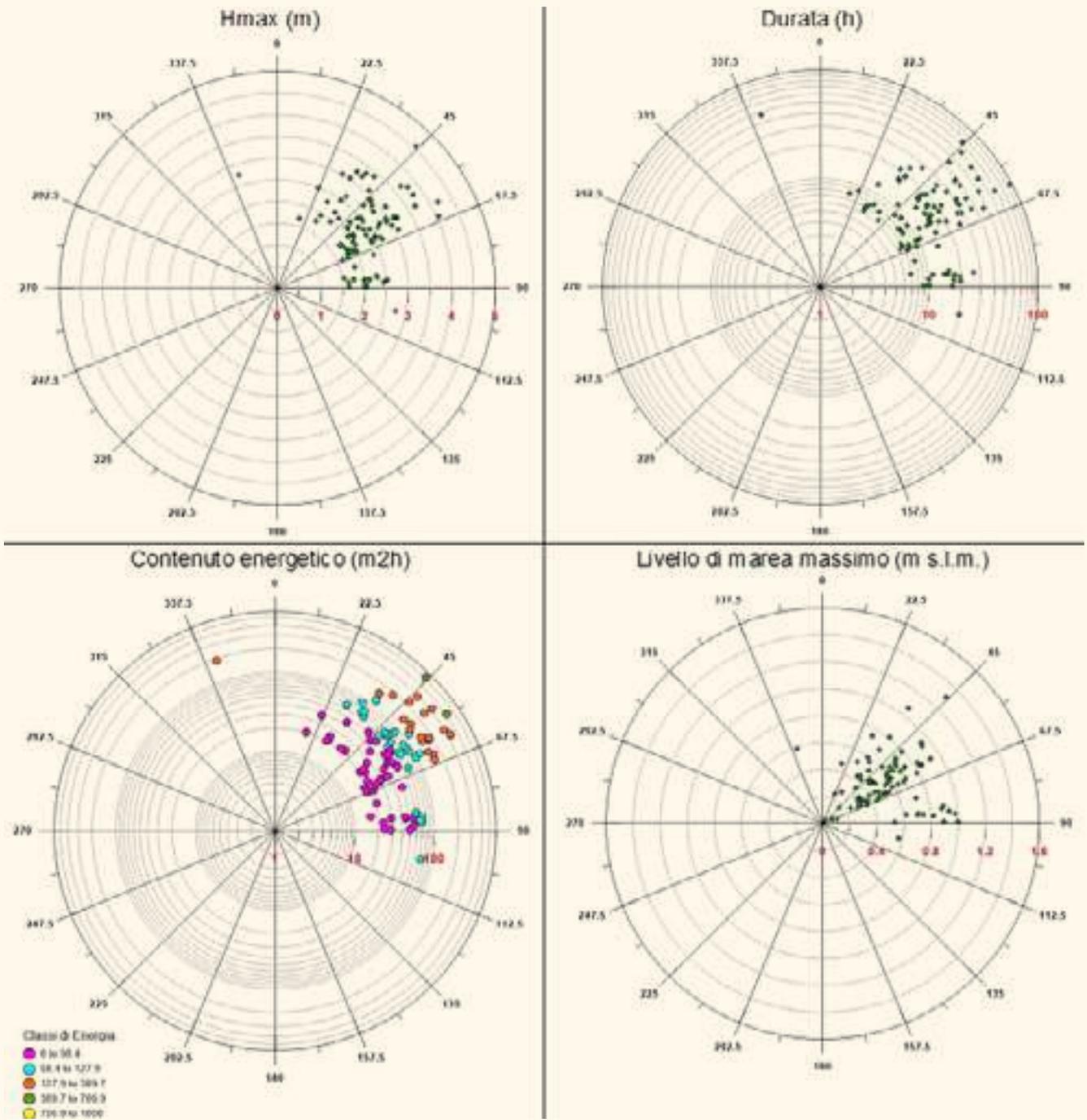
TABELLA 15 Classificazione delle mareggiate registrate tra aprile 2012 e ottobre 2018, in funzione del contenuto energetico.

Anno	Stagione	Mareggiata (n°)	Durata (giorni)	Hs Max (m)	Energia (m ² h)	Liv. Marea max (m)
2012 (da aprile)	primavera	4	3	1		
	estate	1			1	
	autunno	6	4	1	1	
	inverno	1			1	
	Totale	12	7	2	3	
2013	primavera	4	2	2		
	estate	1	1			
	autunno	4	2		2	
	inverno	7	3	3	1	
	Totale	16	8	5	3	
2014	primavera					
	estate					
	autunno	3	2	1		
	inverno	5		3	2	
Totale	8	2	4	2		
2015	primavera	5	1	2	1	1
	estate	1	1			
	autunno	8	4	3	1	
	inverno	4	1	2		1
	Totale	18	7	7	2	2
2016	primavera	7	5	1	1	
	estate	2	1		1	
	autunno	5	2	2	1	
	inverno	5	4	1		
	Totale	19	12	4	3	
2017	primavera	1	1			
	estate					
	autunno	4	2	1	1	
	inverno	6	3	1	1	1
	Totale	11	6	2	2	1
2018 (fino a ottobre)	primavera	2	1		1	
	estate	1	1			
	autunno	4	1	2	1	
	inverno	5	2	1	2	
	Totale	12	5	3	4	
2012-2018	primavera	23	13	6	3	1
	estate	6	4		2	
	autunno	34	17	10	7	
	inverno	33	13	11	7	2
	Totale	96	47	27	19	3

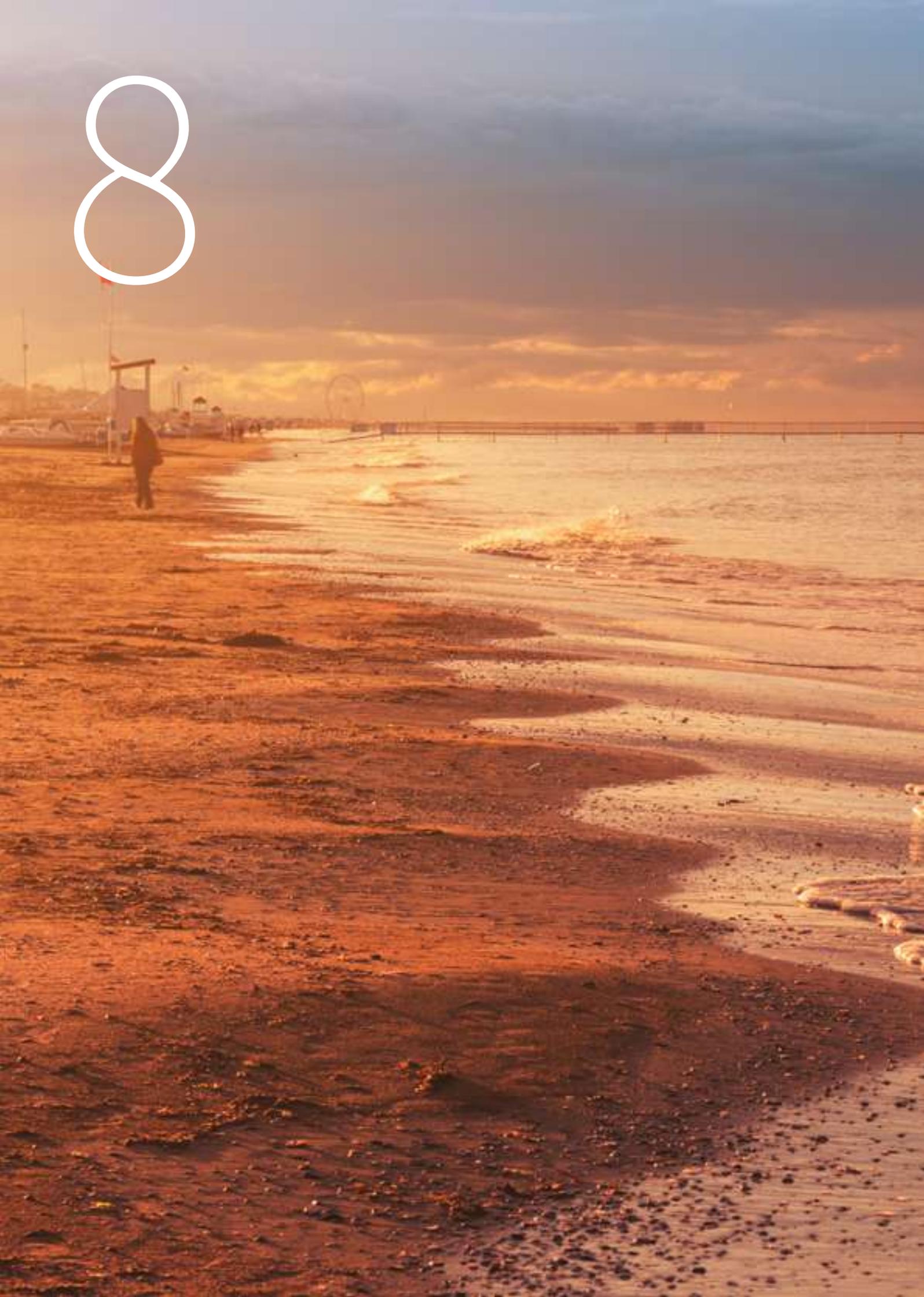
- i valori di Hmax più elevati, oltre i 3,5 m, sono concentrati all'interno del settore 45-67,5° N, quindi tra Bora e Levante;
- la durata delle mareggiate, almeno nei suoi valori più grandi, risulta piuttosto legata alla direzione di provenienza, che anche in questo caso è quella prossima a 45-67,5° N;
- la considerazione del punto precedente può essere estesa anche alla relazione tra direzione di provenienza e contenuto energetico delle singole mareggiate;
- relativamente al dato di marea massimo raggiunto durante ogni evento, si può osservare che i valori più alti sono distribuiti

secondo un settore di provenienza piuttosto ampio, ma ciò che vale la pena di osservare è che innalzamenti consistenti del livello si sono manifestati anche per mareggiate provenienti dal settore prossimo a 90° N, quindi durante eventi determinati da condizioni di "Scirocco" piuttosto che di "Bora".

FIGURA 43 Boa Nausicaa: periodo aprile 2012-ottobre 2018. Relazione tra Hmax, Durata, Classe energetica, Livello massimo di marea e la direzione di provenienza delle mareggiate individuate.



8



8. Caratterizzazione sedimentologica

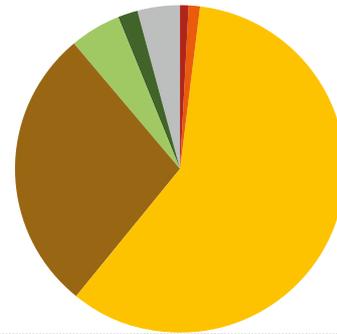
8.1 Sedimentologia del litorale emiliano-romagnolo al 2018

8.1.1 TESSITURA

I sedimenti campionati sulle spiagge del litorale emiliano-romagnolo nel 2018 mostrano caratteristiche tessiturali variabili, riconducibili ad alcune classi granulometriche secondo Folk e Ward (1957). Il 59 % dei campioni analizzati è rappresentato da sabbia, il 28% da sabbia fangosa e il restante 13% si divide in fango, fango sabbioso, ghiaia e sabbia ghiaiosa. Le ghiaie sono state individuate solo in due campioni prelevati a Misano Valverde (**FIGURA 44**). Le sabbie prevalgono sulla spiaggia emersa e nei fondali fino a 3 m, alle maggiori profondità prevalgono i sedimenti a componente fangosa (**FIGURA 45**).

FIGURA 44

Classificazione granulometrica dei campioni di sedimento prelevati nella campagna 2018 sulle spiagge emiliano-romagnole.



■ GHIAIA	1 %
■ SABBIA LEGGERMENTE GHIAIOSA	1 %
■ SABBIA	59 %
■ SABBIA FANGOSA	28 %
■ FANGO SABBIOSO	5 %
■ FANGO	2 %
■ N.C.	4 %

FIGURA 45

Classificazione granulometrica dei sedimenti in rapporto alla quota di prelievo.

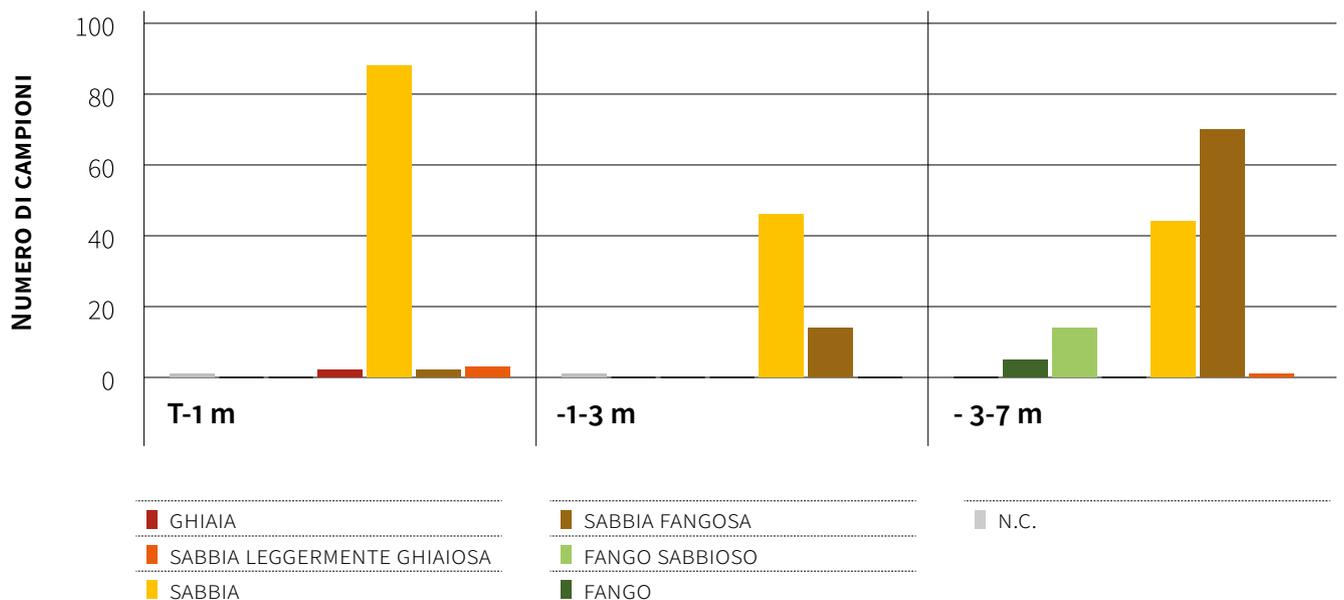


FIGURA 46 Diametro medio dei campioni di sedimento prelevati nel 2018 lungo il litorale emiliano-romagnolo.

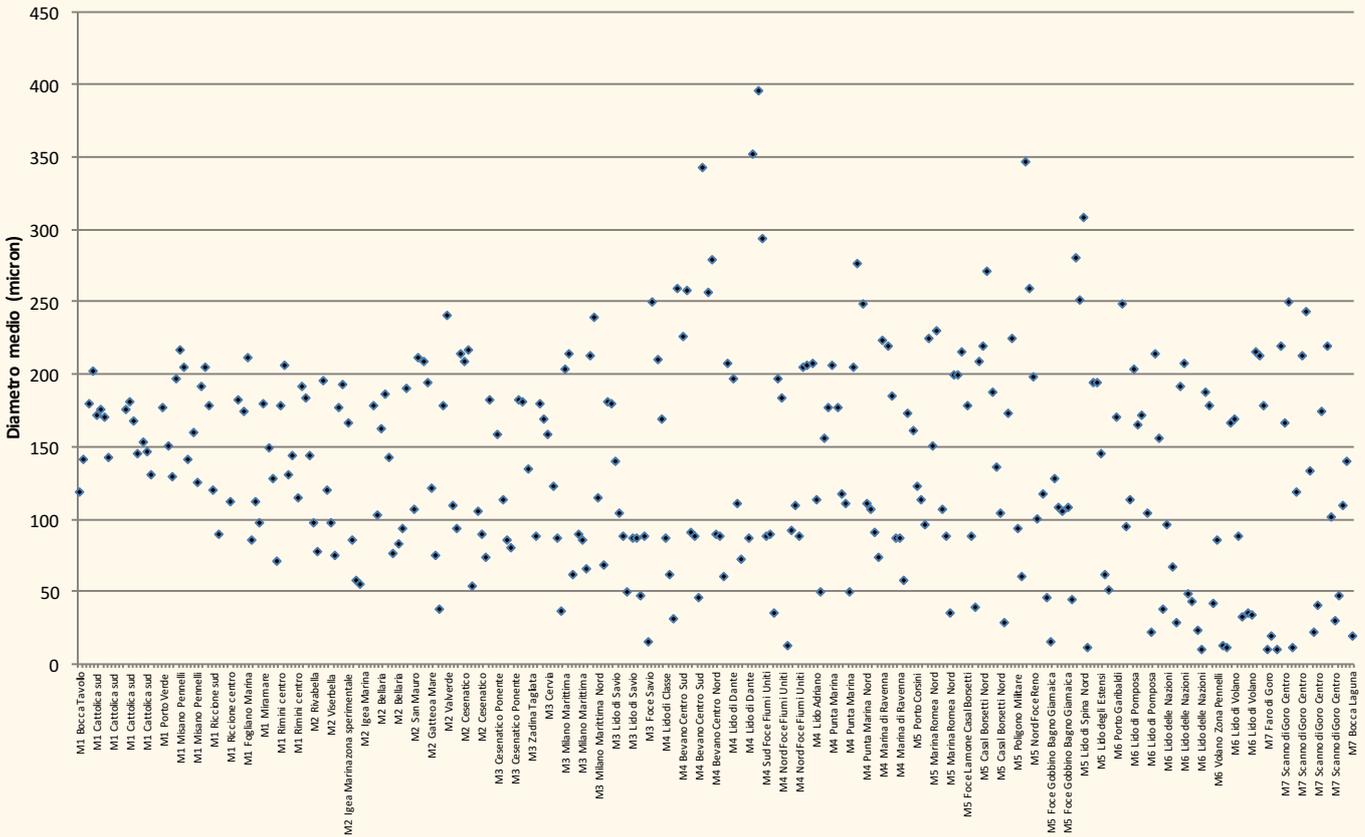
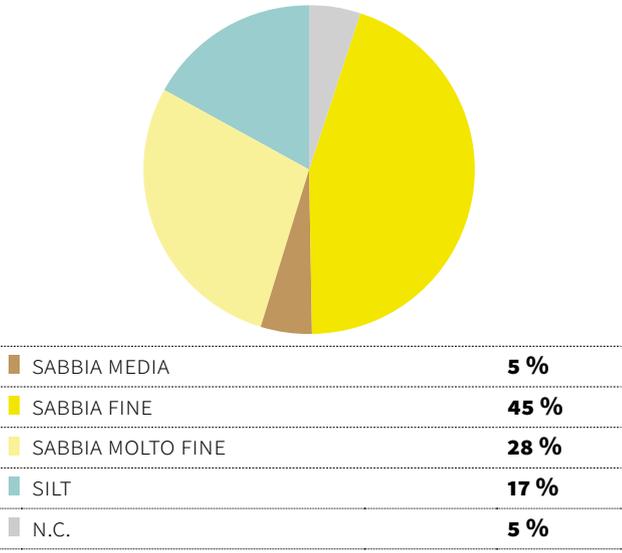


FIGURA 47 Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni.

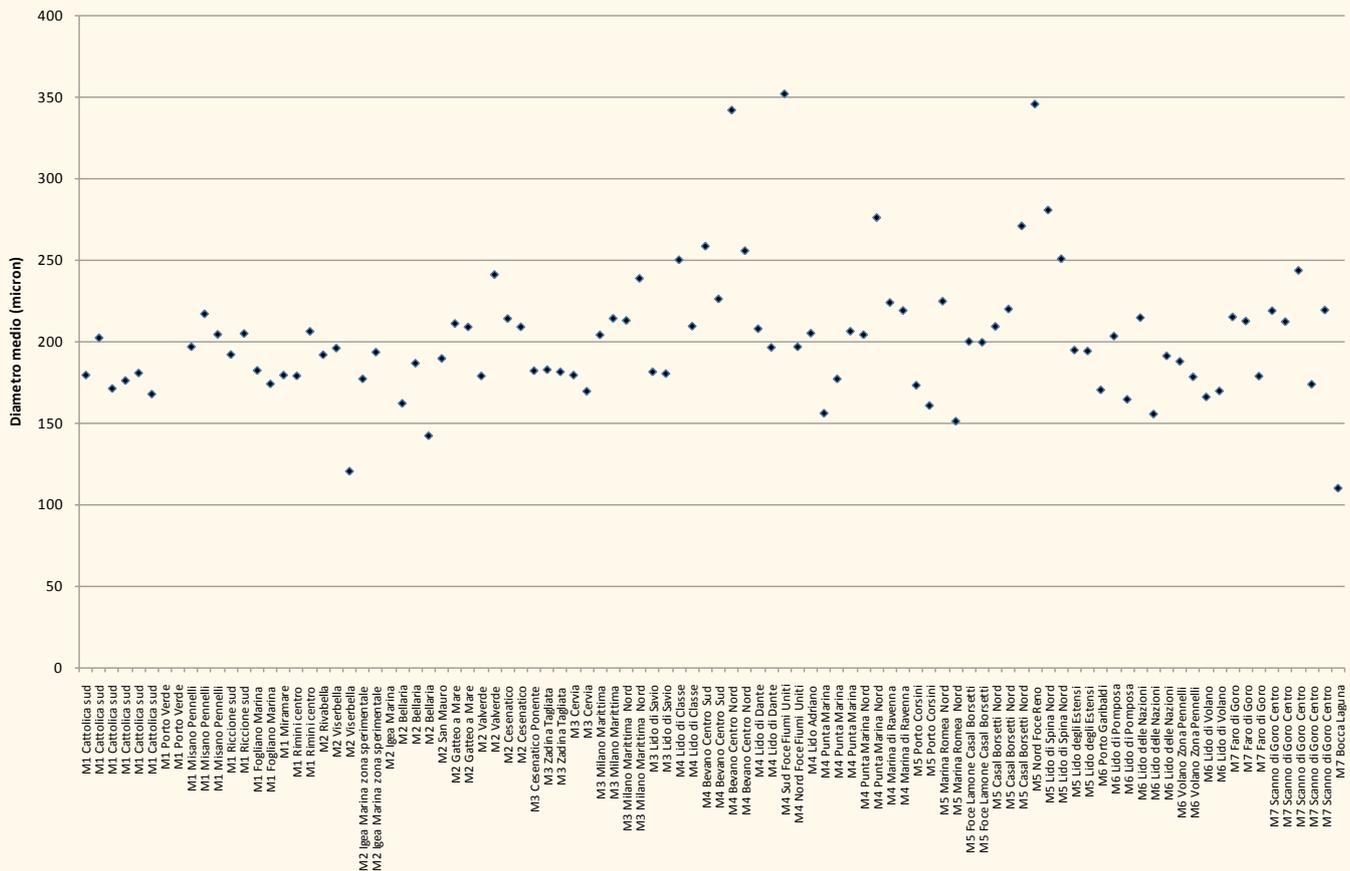


8.1.2 DIAMETRO MEDIO

Il diametro medio (Dm) varia da un massimo di 0,396 mm (i due campioni ghiaiosi di Misano non sono rappresentati nel grafico), per sedimenti provenienti dalla foce dei Fiumi Uniti a 1 m di profondità, e un minimo di 0,010 mm a Lido delle Nazioni e a Goro alle profondità rispettivamente di 6,5 e 4,5-5 m (FIGURA 46 E FIGURA 47). Il range di variabilità del Dm, ridotto nel tratto tra Cattolica e Riccione, si espande gradualmente verso nord diventando molto ampio a partire dalla Foce del Savio (FIGURA 46).

Complessivamente, il Dm più rappresentato è quello della sabbia fine (0,25-0,125 mm; 45% dei campioni), e subordinatamente quello della sabbia molto fine (0,125-0,063 mm; 28%). Il 5% dei campioni è rappresentato dal granulo medio dell'ordine della sabbia media (0,500-0,250 mm) e il 17% ha le dimensioni del silt (<0,063 mm; FIGURA 47).

FIGURA 48 Diametri medi dei sedimenti campionati nel 2018 sulla spiaggia emersa e sui fondali fino a 1 m di profondità.

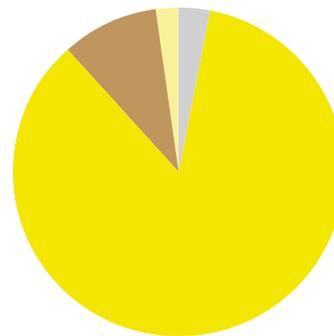


Un'analisi della distribuzione del granulo medio rispetto alla profondità è stata eseguita distinguendo i dati in tre differenti fasce di profondità:

- una fascia comprensiva della spiaggia emersa e dei fondali fino a 1 m, costituita essenzialmente da sedimenti con Dm delle dimensioni delle sabbie fini (86%) e delle sabbie medie (9%). Queste ultime sono state individuate nelle spiagge di Lido di Spina, Punta Marina e Casal Borsetti vicino alle foci di Reno, Bevano e Fiumi Uniti (**FIGURA 48 E FIGURA 49**).

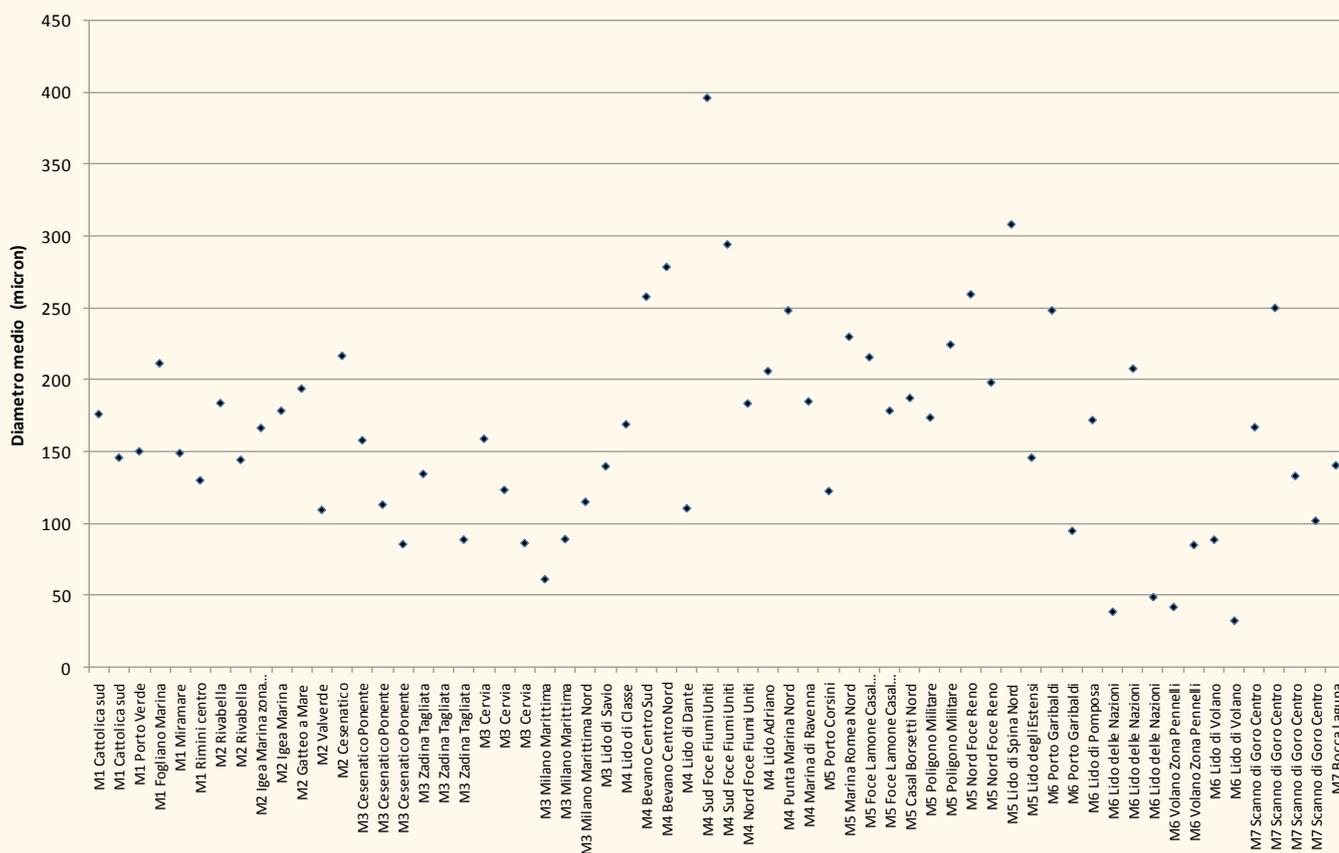
FIGURA 49 Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni di sedimento prelevati sulla spiaggia emersa e sui fondali fino a 1 m di profondità.

Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni di sedimento prelevati sulla spiaggia emersa e sui fondali fino a 1 m di profondità.



SABBIA MEDIA	9%
SABBIA FINE	86%
SABBIA MOLTO FINE	2%
SILT	0%
N.C.	3%

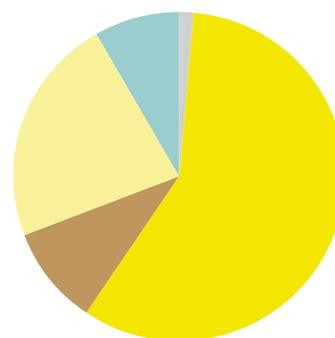
FIGURA 50 Diametri medi dei sedimenti campionati nel 2018 sui fondali compresi tra 1 e 3 m di profondità.



- una fascia intorno ai -2 m (tra -1 e -3 m) costituita prevalentemente da sedimenti con diametro medio delle dimensioni della sabbia fine (58%). Il 22% dei campioni è rappresentato dalla sabbia molto fine (che nella fascia di spiaggia a quota superiore si limitava al 2%), mentre il 10% dei sedimenti ha un diametro medio ricadente nel campo della sabbia media. Questi ultimi campioni più grossolani sono anche in questo caso concentrati nella zona vicino alle foci del Bevano, Fiumi Uniti e Reno e sulla spiaggia di Lido di Spina (FIGURA 50 E FIGURA 51). Infine, circa l'8% dei campioni ha dimensioni medie dell'ordine del silt (Lido delle Nazioni e Lido di Volano).

FIGURA 51

Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni di sedimento prelevati tra 1 e 3 m di profondità.



SABBIA MEDIA	10%
SABBIA FINE	58%
SABBIA MOLTO FINE	22%
SILT	8%
N.C.	2%

FIGURA 52 Diametri medi dei campioni di sedimento prelevati nella fascia di fondale compresa tra 3 e 7 m di profondità.

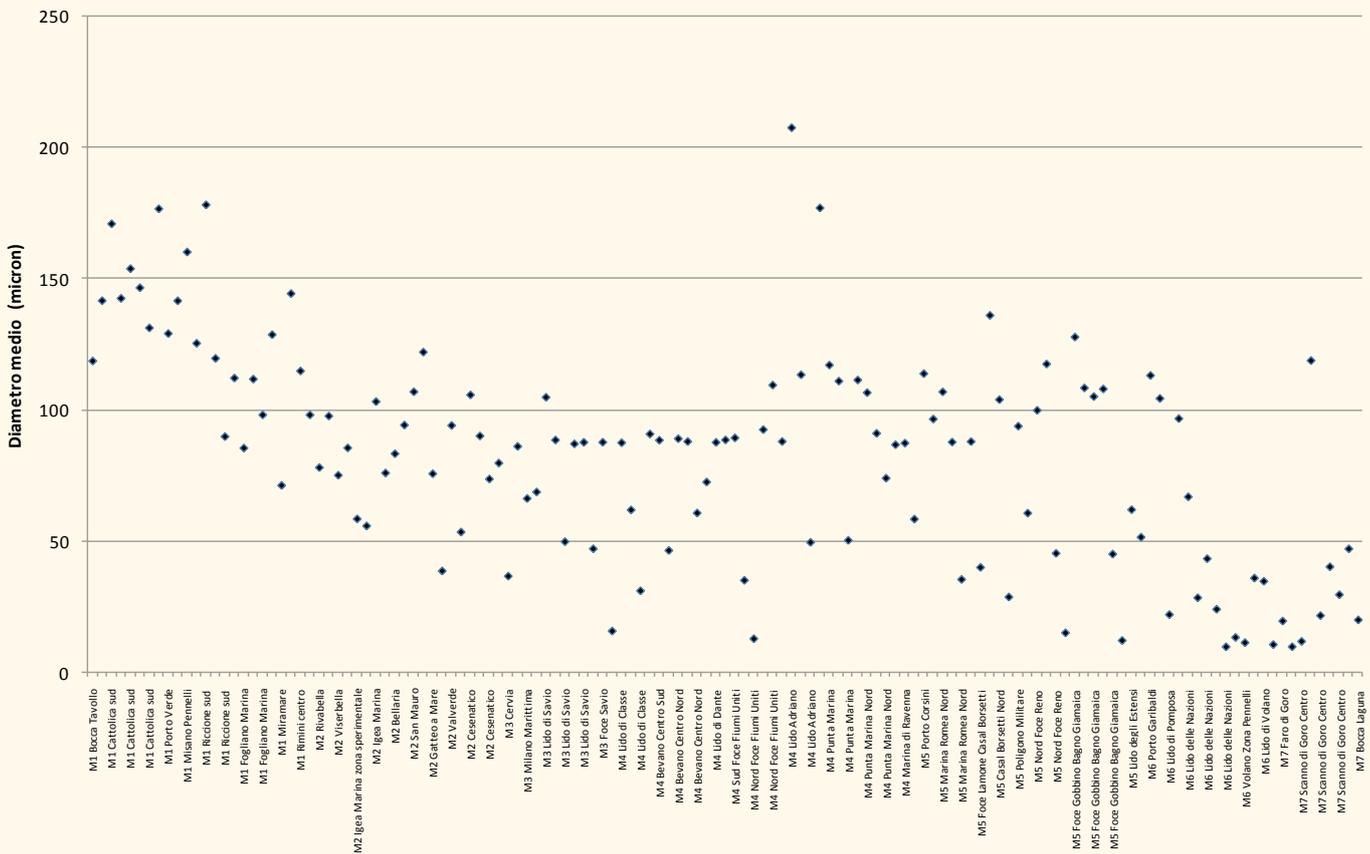
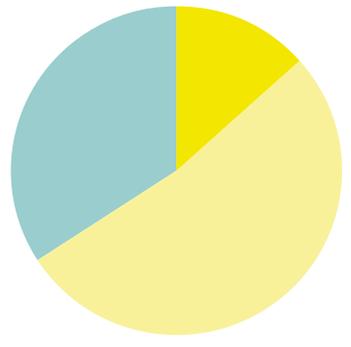


FIGURA 53 Distribuzione percentuale del diametro medio rappresentativo dei campioni di sedimento prelevati nella fascia di fondale compresa tra 3 e 7 m di profondità.



SABBIA MEDIA	0%
SABBIA FINE	13%
SABBIA MOLTO FINE	53%
SILT	34%
N.C.	0%

al di sotto dei -3 m (fino a circa -7 m) il granulo medio prevalente è delle dimensioni della sabbia molto fine (53%) e del silt (34%). Il 13% dei campioni raccolti in questa fascia di fondale ha le dimensioni medie della sabbia fine (FIGURA 52 E FIGURA 53). Questi campioni relativamente più grossolani sono stati individuati nelle spiagge tra Cattolica e Rimini e tra Lido Adriano e Lido di Spina (FIGURA 52).

- La carta del diametro medio 2018 (**FIGURA 54**, **FIGURA 55**, **FIGURA 56 E FIGURA 57**) conferma quanto sopra evidenziato dall'analisi statistica dei dati, mostrando con maggiore immediatezza la distribuzione spaziale del Dm.

La maggior parte delle spiagge emerse e dei primi fondali emiliano-romagnoli sono caratterizzati da sedimenti con Dm delle dimensioni delle sabbie fini, soltanto due tratti compresi tra la foce del Savio e dei Fiumi Uniti e tra il Reno e Lido di Spina presentano il Dm delle dimensioni della sabbia media nella spiaggia emersa e in quella sommersa (nei primi 1-3 m di profondità).

La fascia di spiaggia caratterizzata da sedimenti con Dm della sabbia fine raggiunge profondità variabili da zona a zona:

- tra Cattolica e Misano si spinge fino a 6 m di profondità (limite della zona indagata);
- tra Riccione e Rimini si limita alla batimetrica dei 2,5 m nel tratto meridionale, mentre verso il molo di Rimini si spinge fino a -4 m;
- tra Rimini e la Foce del Savio e tra le foci dei Fiumi Uniti e del Lamone, è contenuta entro le opere di difesa parallele ove presenti, oppure raggiunge i 2/2,5 m di profondità nei tratti privi di opere o laddove all'interno delle opere venga superata tale profondità (vedi Cesenatico, settore a sud del molo);
- da Casal Borsetti fino a Lido degli Estensi raggiunge profondità variabili tra i 2,5 e i 4 m, i valori maggiori di profondità si osservano a Lido degli Estensi;
- da nord di Porto Garibaldi a Lido di Volano si limita alla profondità dei 2 m, collocandosi entro le opere di difesa parallele ove presenti;
- di fronte allo Scanno di Goro raggiunge la profondità di 3 m.

Lungo pressoché tutto il litorale è presente una fascia di fondale caratterizzata da sedimenti con Dm delle dimensioni della sabbia molto fine. Questa tipologia di sedimento si riscontra fino alla profondità di 5/5,5 m (localmente

fino al limite del campionamento) a partire da Misano verso nord, fino a davanti allo Scanno di Goro, con tre interruzioni: 1) davanti a Lido di Spina e Lido degli Estensi, dove si assiste a un passaggio diretto da valori di diametro medio della sabbia fine a quello del silt, tra circa 3 e 4 m di profondità, 2) a Lido delle Nazioni, dove sedimenti contraddistinti da Dm del silt sono presenti anche lato terra delle opere di protezione, e 3) all'imboccatura della Sacca di Goro.

Depositi rappresentati da Dm dell'ordine del silt sono stati individuati prevalentemente oltre i 5 m di profondità, nei campioni prelevati nelle posizioni più al largo. Come già accennato in precedenza, localmente questa tipologia di deposito è stata rilevata anche a minori profondità: a -4/-3 m e sulla battigia a Lido di Spina a Nord di foce Reno (dove infatti affiorano le argille lagunari del substrato in erosione (**FIGURA 58**), e a Lido delle Nazioni all'interno delle opere (-2 e -2,5 m). Nel paragrafo 8.2 (Confronto con la campagna sedimentologica del 2012) le due carte del Dm, relative alla situazione al 2012 e al 2018, verranno confrontate e commentate.

FIGURA 54 Mappa del diametro medio (Arpae, 2018).

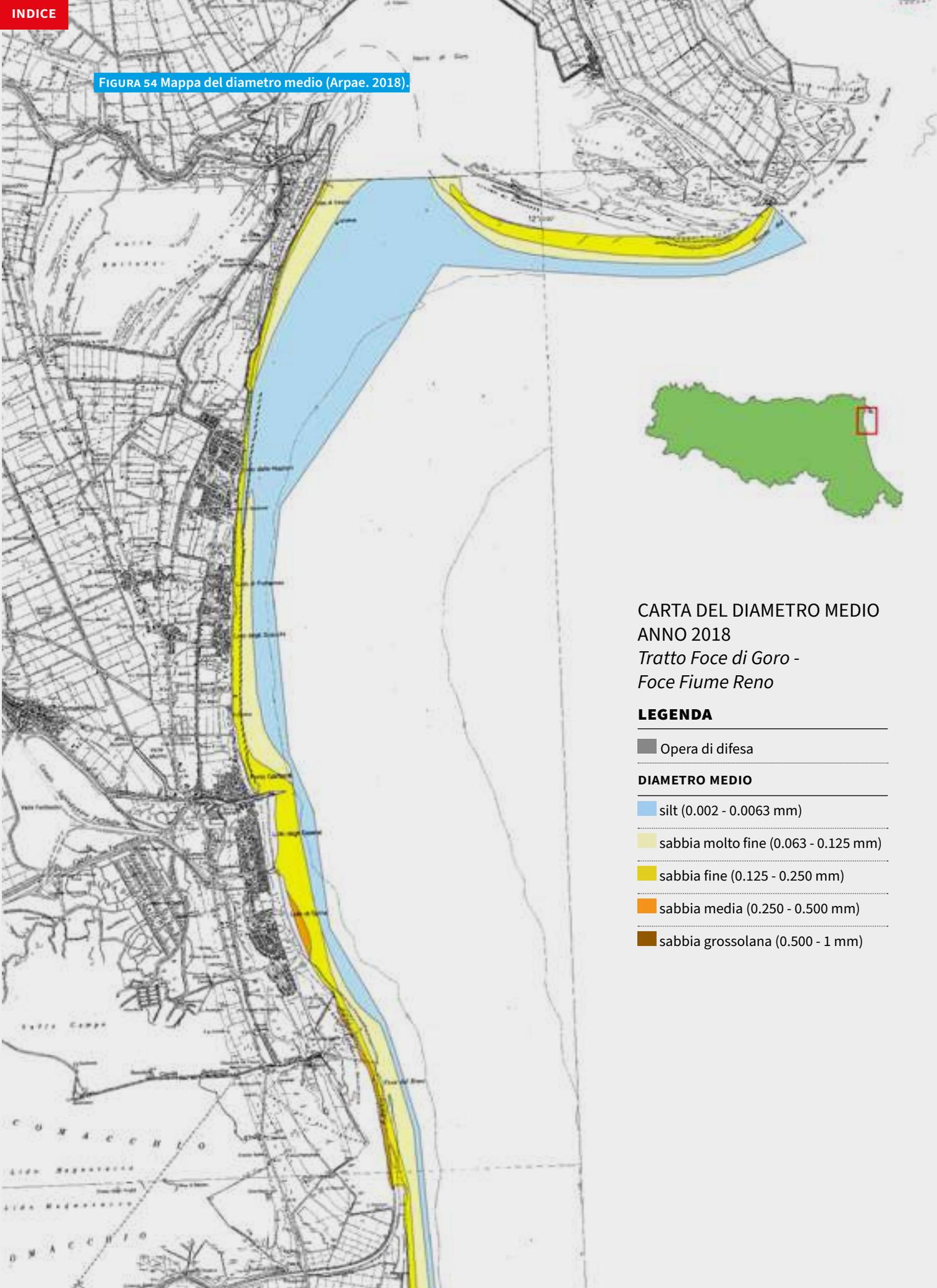


FIGURA 55 Mappa del diametro medio (Arpa. 2018).

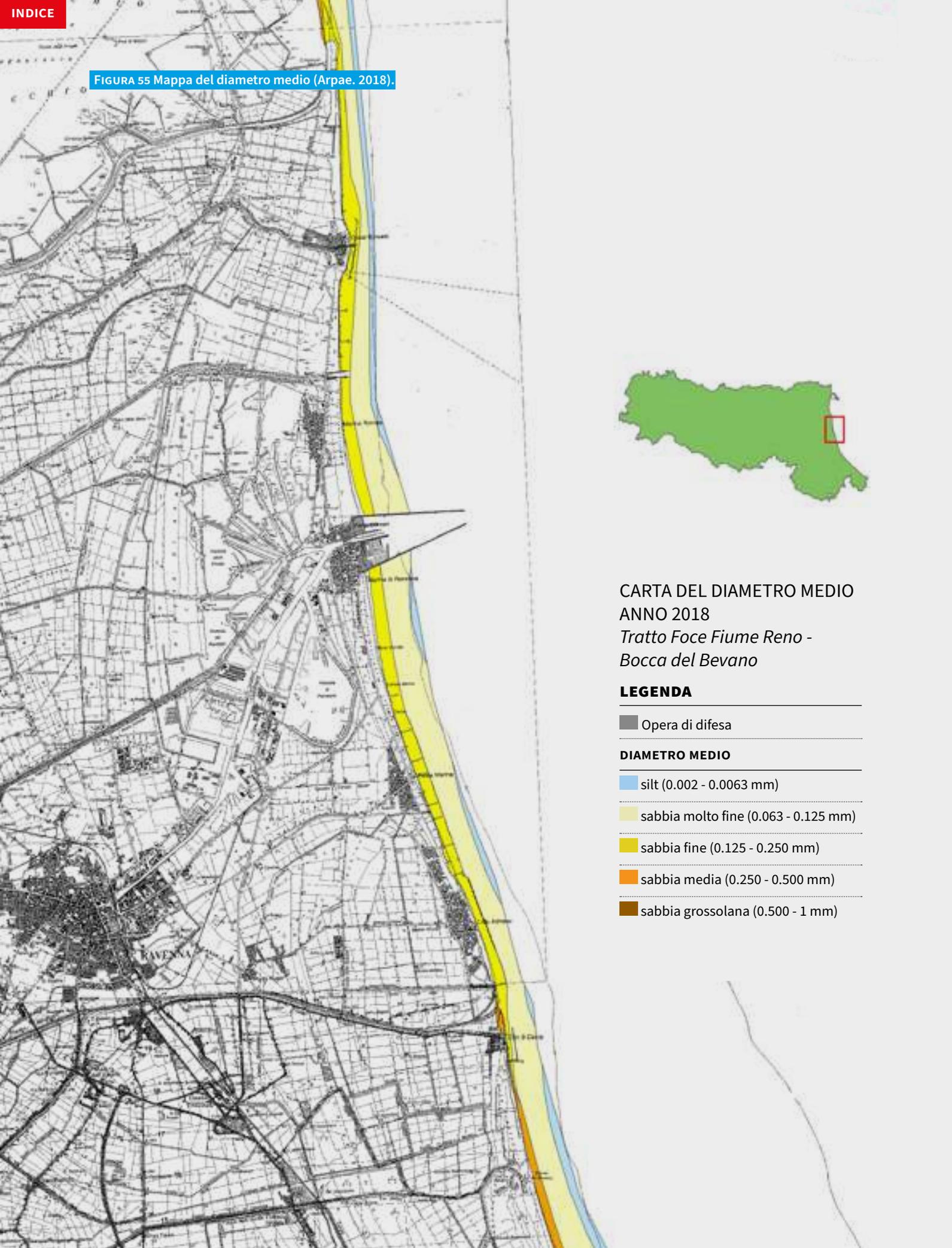


FIGURA 56 Mappa del diametro medio (Arpae.2018).

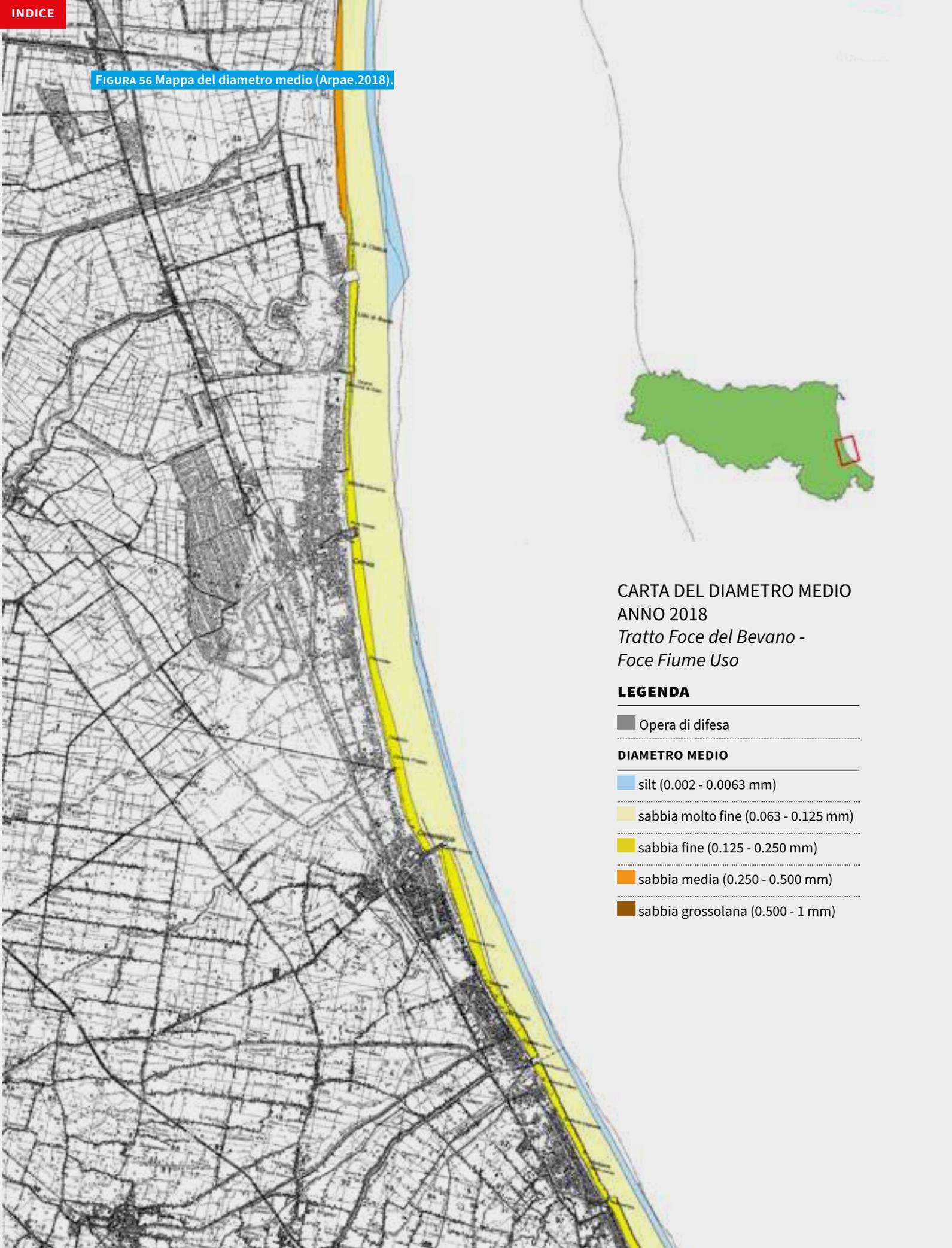


FIGURA 57 Mappa del diametro medio (Arpae, 2018).

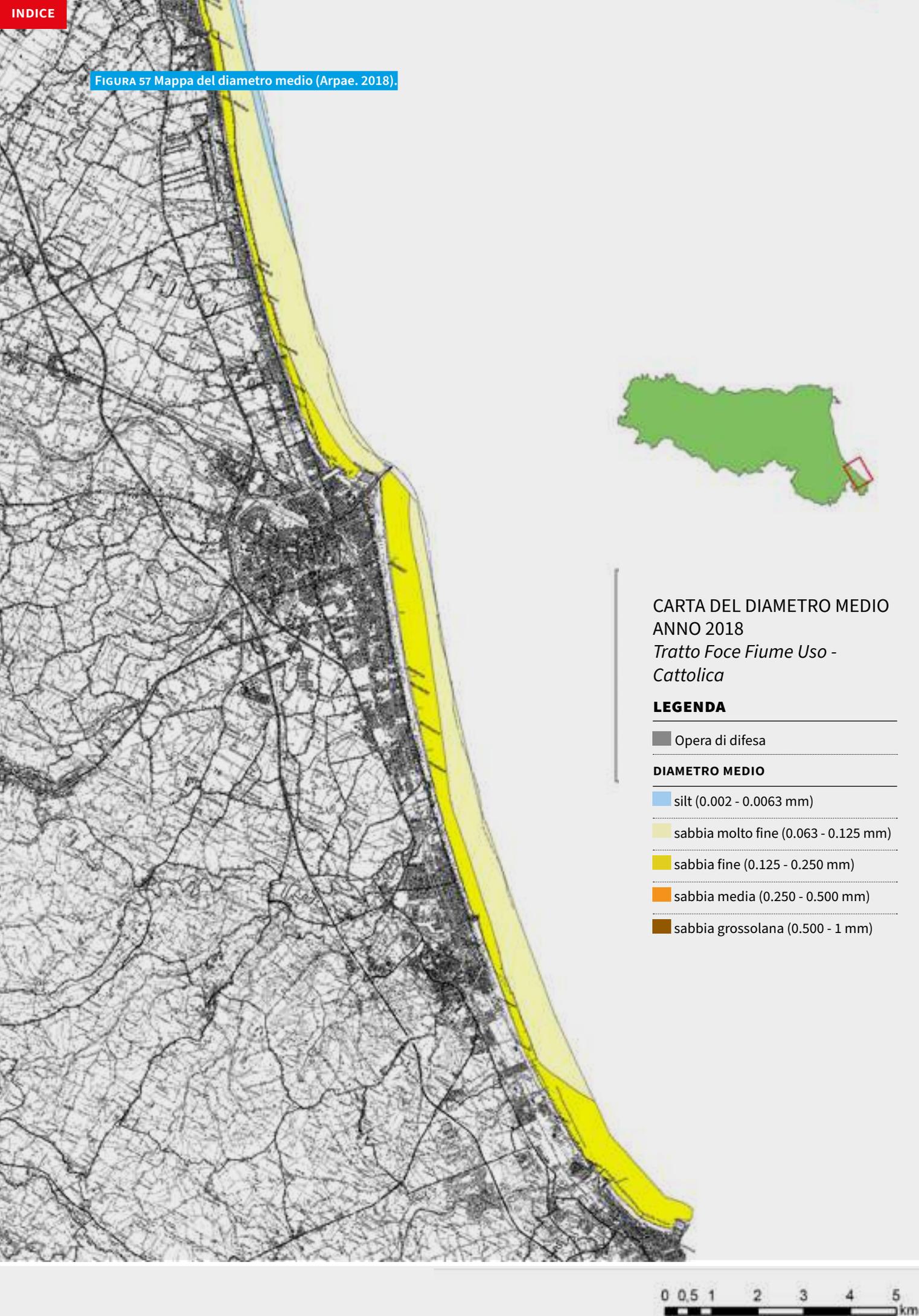




FIGURA 58
Argille lagunari affioranti sulla battigia della spiaggia del Bellocchio (Lido di Spina), in prossimità del canale Gobbino (gennaio 2020).

8.1.3 PERCENTUALI DI SABBIA E PELITE

Nel 2018, tra lo Scanno di Goro e la foce del Savio, le spiagge presentano sedimenti con porzioni pelitiche variabili, comprese tra percentuali ridottissime e il 40%, alternati a campioni che arrivano a contenere percentuali molto alte (superiori al 50%) di silt e argilla, che in alcuni casi superano il 90% (FIGURA 59). Nelle mappe di FIGURA 60 E FIGURA 61 si osserva un passaggio graduale a percentuali di pelite maggiori verso il largo, a eccezione del tratto compreso tra Lido delle Nazioni e Volano dove sedimenti contenenti percentuali superiori al 75% sono stati campionati anche in prossimità della riva (FIGURA 60). Nel tratto di costa tra Lido

di Savio e Rimini, i sedimenti presentano in numerosi casi percentuali di pelite compresi tra il 10 e il 20%, con rari campioni che raggiungono percentuali prossime al 30 e al 40% (FIGURA 59). Le mappe evidenziano anche in questo tratto un aumento della percentuale di pelite verso le maggiori profondità, ma a differenza del tratto più settentrionale solo raramente le peliti superano il 25% nei campioni più profondi (FIGURA 61, FIGURA 62 E FIGURA 63). Tra Cattolica e Rimini i campioni di sedimento proveniente dalle varie profondità presentano una percentuale di pelite estremamente ridotta (FIGURA 59 E FIGURA 63), che nei campioni più ricchi si attesta attorno al 10%.

FIGURA 59 Percentuale di pelite presente nei campioni raccolti nel 2018.

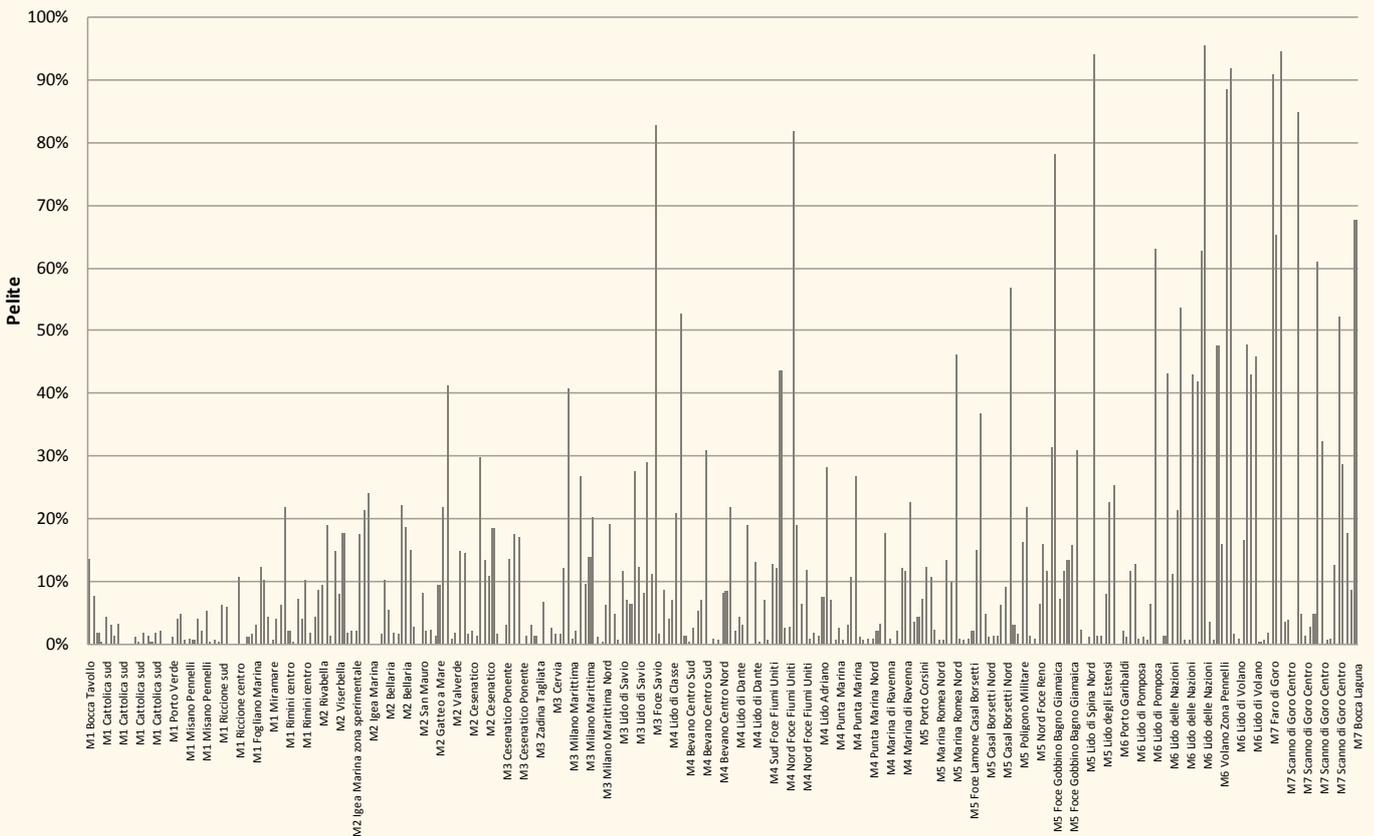
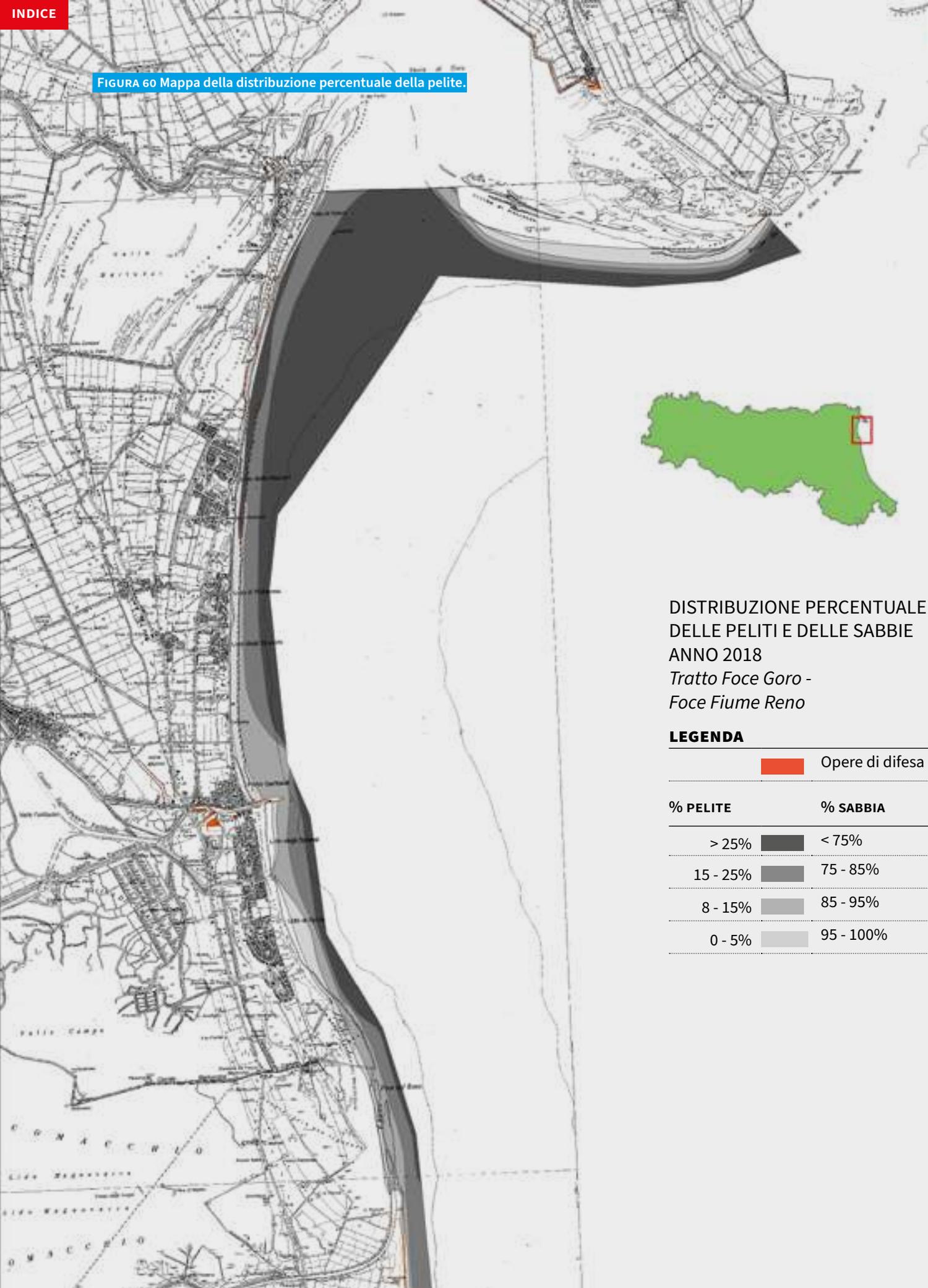


FIGURA 60 Mappa della distribuzione percentuale della pelite.



DISTRIBUZIONE PERCENTUALE
DELLE PELITI E DELLE SABBIE
ANNO 2018
*Tratto Foce Goro -
Foce Fiume Reno*

LEGENDA

 Opere di difesa

% PELITE	% SABBIA
> 25%	< 75%
15 - 25%	75 - 85%
8 - 15%	85 - 95%
0 - 5%	95 - 100%

FIGURA 61 Mappa della distribuzione percentuale di pelite.

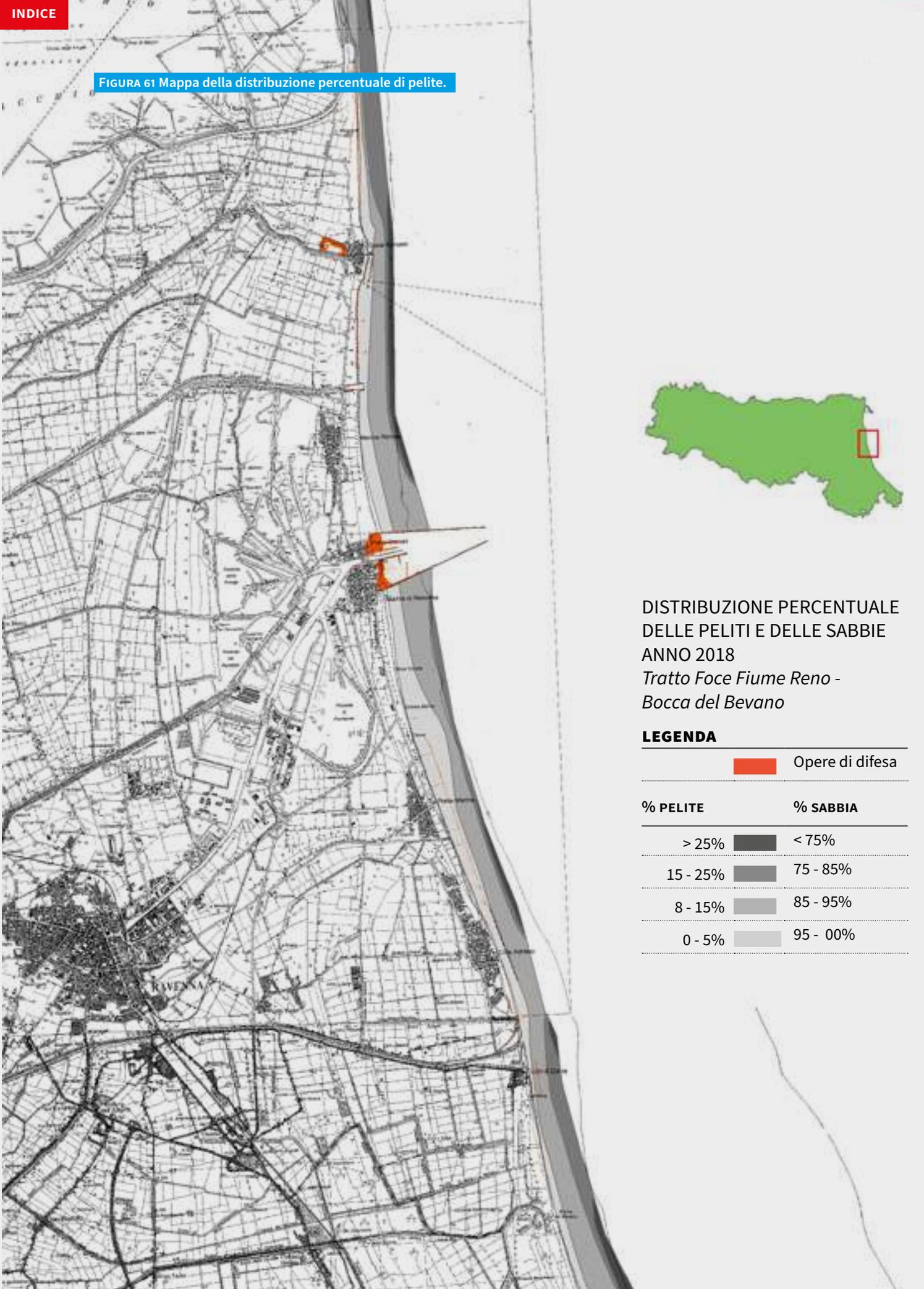


FIGURA 62 Mappa della distribuzione percentuale di pelite.

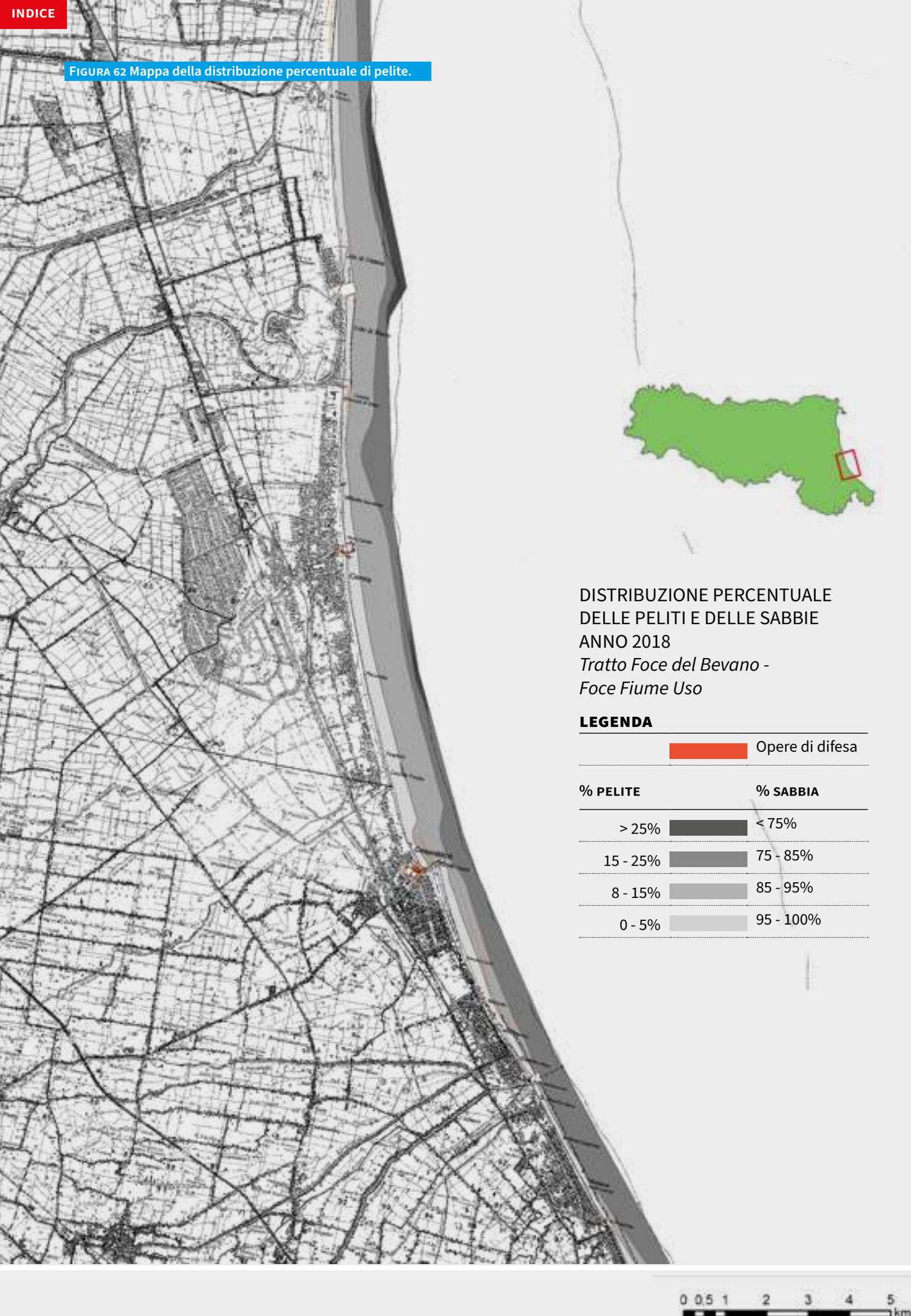
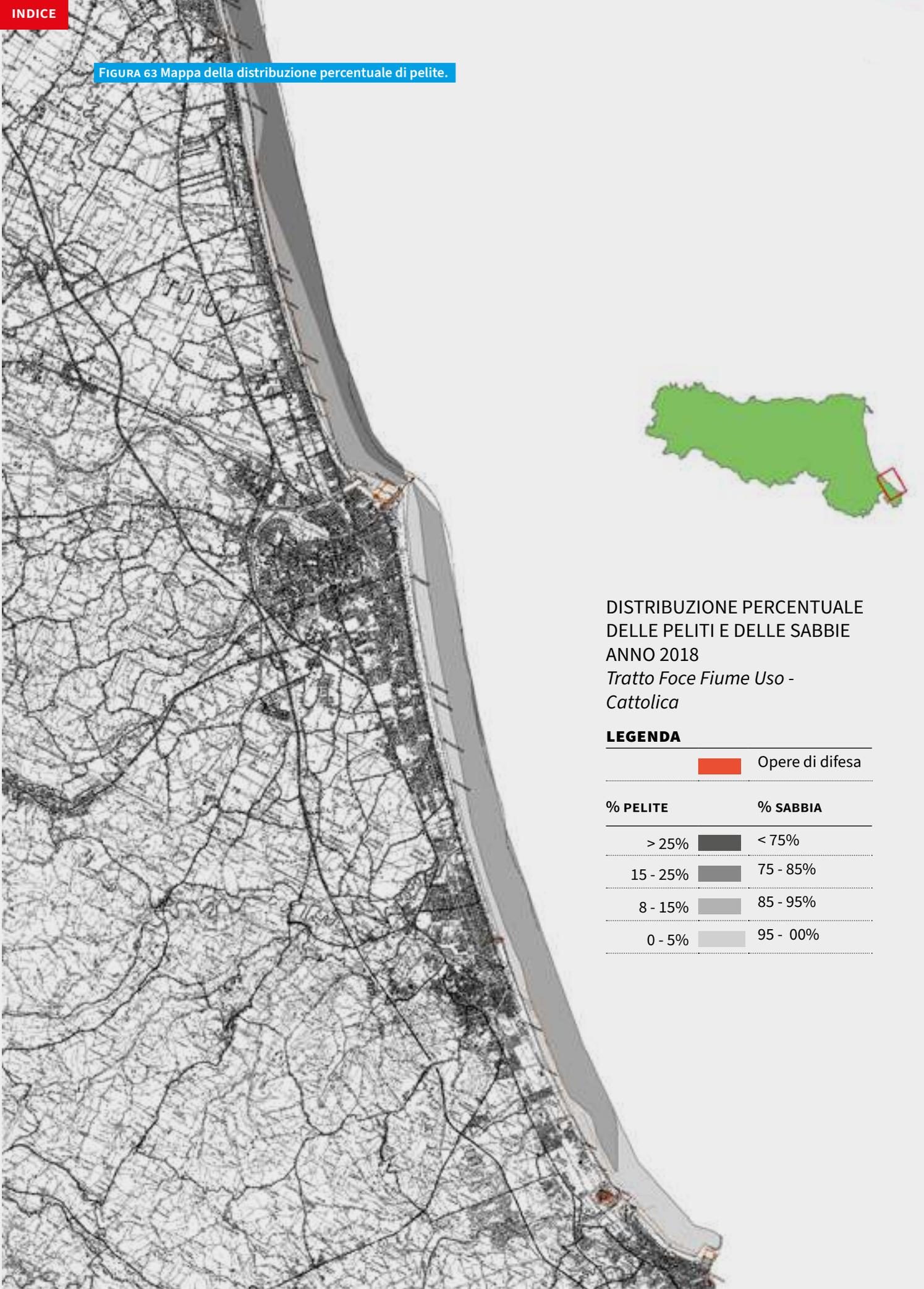


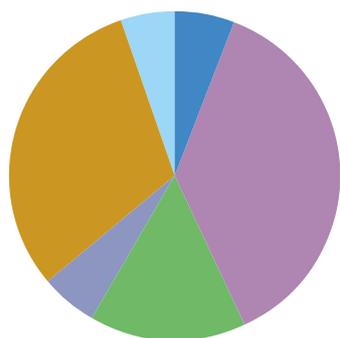
FIGURA 63 Mappa della distribuzione percentuale di pelite.



0 0,5 1 2 3 4 5
km

FIGURA 64

Distribuzione percentuale del coefficiente di cernita dei campioni prelevati nel 2018.



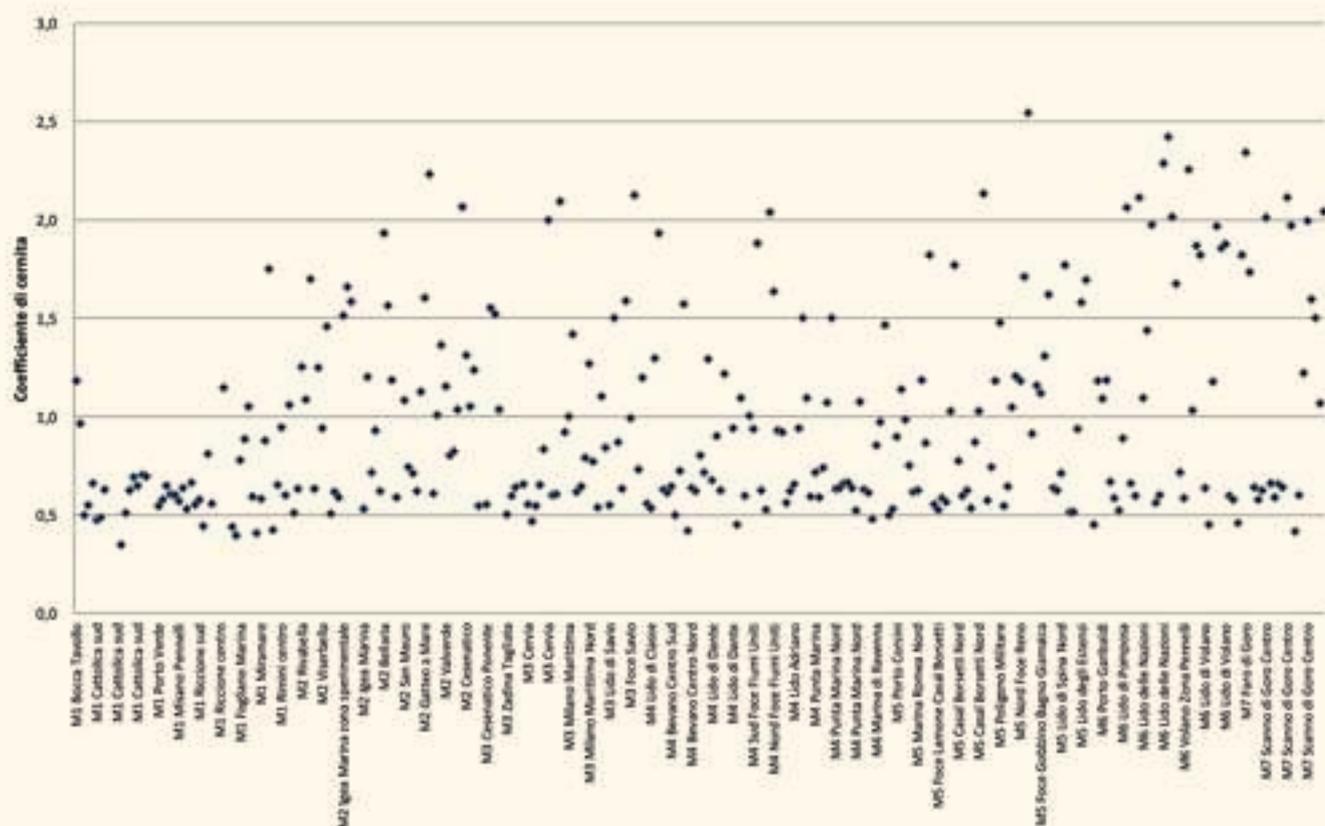
MOLTO BEN SELEZIONATO	0 %
BEN SELEZIONATO	6 %
MODERATAMENTE BEN SELEZIONATO	37 %
MODERATAMENTE SELEZIONATO	15 %
POCO SELEZIONATO	31 %
MOLTO POCO SELEZIONATO	6 %
N.C.	5 %

8.1.4 COEFFICIENTE DI CERNITA

Per quanto riguarda il selezionamento, circa la metà dei campioni analizzati nel 2018 sono classificati da moderatamente ben selezionati a moderatamente selezionati (37% e 15% rispettivamente), con coefficiente di cernita complessivamente compreso tra 0,5 e 1. Soltanto il 6% dei sedimenti è ben selezionato (coefficiente <0,50), i restanti presentano una scarsa selezione (**FIGURA 64**). Osservando il grafico di **FIGURA 65**, si nota che nel tratto di costa tra Cattolica e Riccione il coefficiente di cernita dei sedimenti si mantiene su valori ridotti (in maggior parte inferiori a 0,7) e poco variabili; lungo il resto del litorale si osserva invece una maggiore variabilità nel coefficiente, che tendenzialmente peggiora, oscillando da valori bassi a valori molto spesso superiori a 1 (sedimento poco o molto poco selezionato, **FIGURA 65**).

In particolare, i campioni prelevati su spiaggia emersa e battigia si distribuiscono un po' ovunque in prossimità del limite tra sedimenti ben selezionati e moderatamente selezionati (0,5), rimanendo complessivamente

FIGURA 65 Coefficiente di cernita dei campioni prelevati nel 2018.



entro il valore di 1. A nord di Rimini, a Punta Marina e allo Scanno di Goro alcuni campioni raccolti sulla spiaggia emersa sono invece poco selezionati (valori >1; FIGURA 66). Nella fascia di fondale compresa tra 1 e 3 m si osserva un'ampia variabilità dei coefficienti di cernita. Prevalgono i sedimenti moderatamente selezionati e

moderatamente ben selezionati (in particolare tra Cattolica e Cervia e tra Lido di Classe e Lido di Spina), ma in vari tratti sono presenti anche campioni poco selezionati. A Milano Marittima e tra Lido delle Nazioni e Volano sono stati individuati campioni con scarsa selezione (FIGURA 67).

FIGURA 66 Coefficiente di cernita dei campioni prelevati nel 2018 sulla spiaggia emersa e sulla fascia di spiaggia sommersa compresa entro la batimetrica di 1 metro.

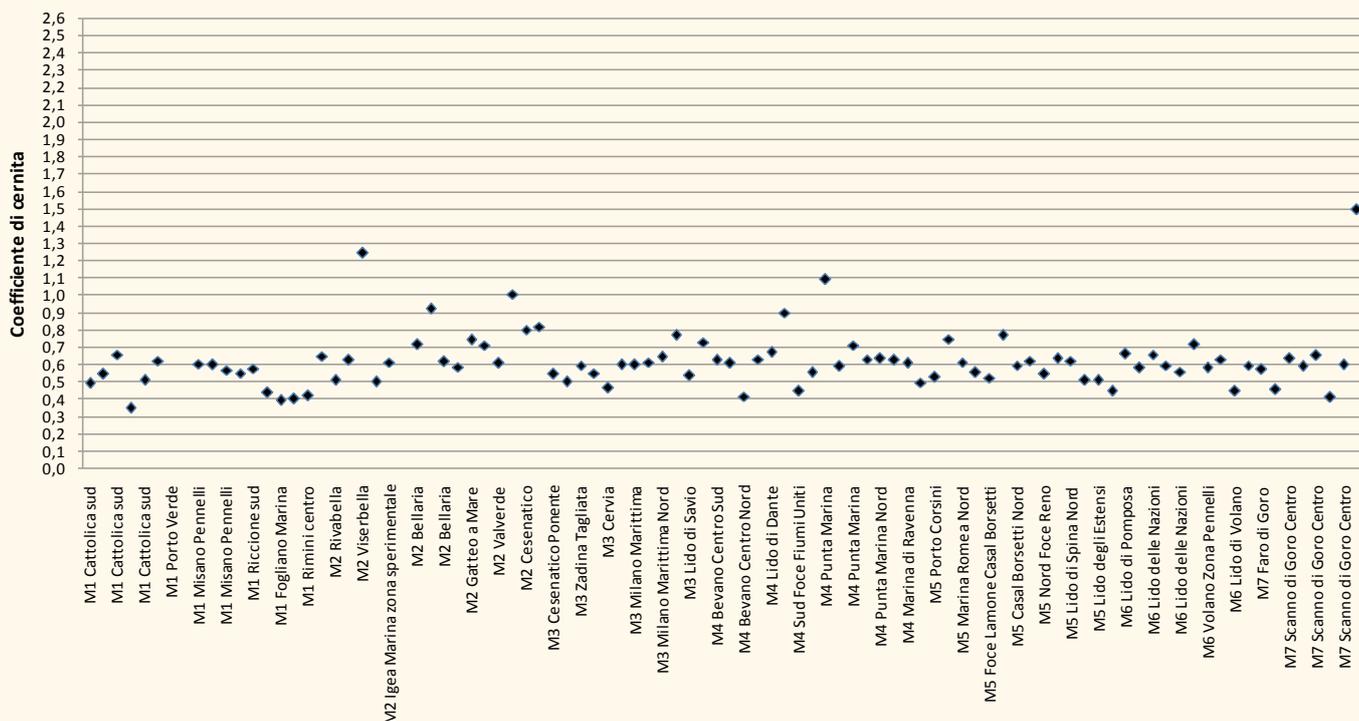


FIGURA 67 Coefficiente di cernita dei sedimenti campionati nel 2018 sui fondali compresi tra 1 e 3 metri di profondità.

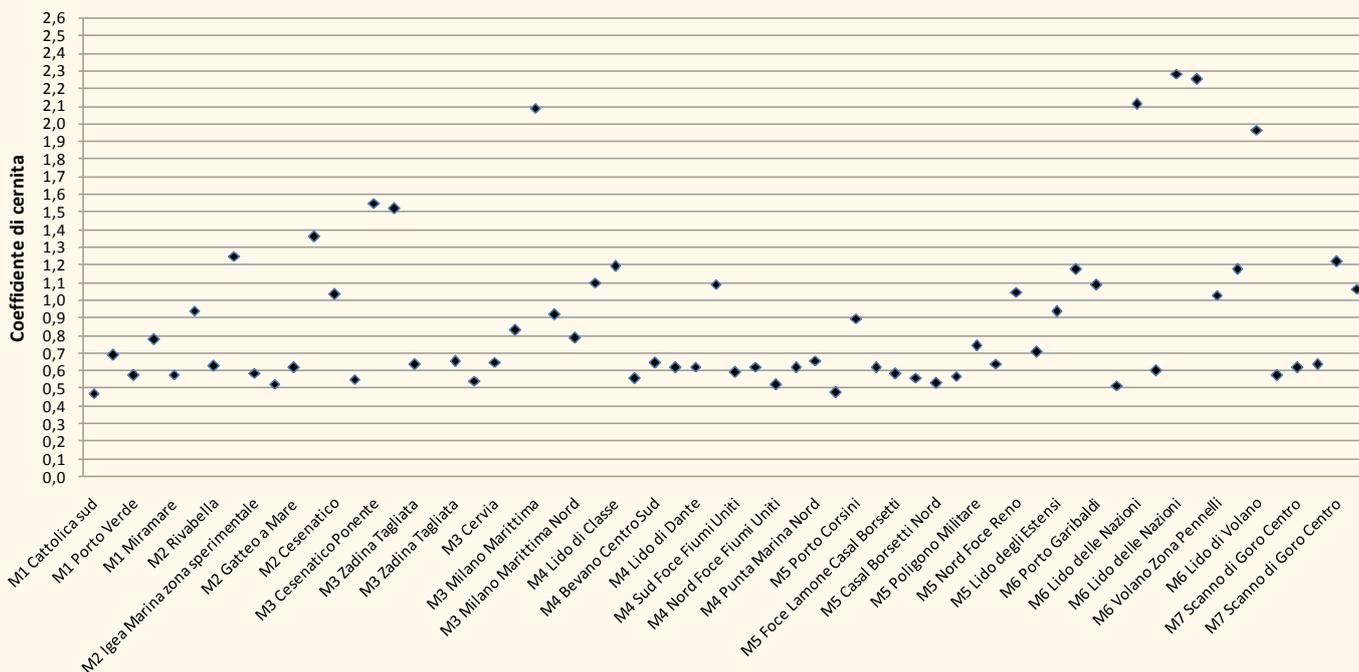


FIGURA 68 Coefficiente di cernita dei sedimenti campionati nel 2018 sui fondali compresi tra 3 e 7 m di profondità.



Al di sotto dei 3 m di profondità, aumenta ancora la dispersione e si riconosce un generalizzato aumento dei valori (quindi un peggioramento del selezionamento) da Sud verso Nord. Nei tratti compresi tra Cattolica e Riccione i sedimenti risultano moderatamente ben selezionati, mentre da Riccione verso nord si osserva una forte variabilità del coefficiente di cernita. Tra Igea Marina e Cesenatico, a Foce Savio e Foce Fiumi Uniti, e tra la Foce del Reno e lo Scanno di Goro i sedimenti sono da poco a molto poco selezionati, per effetto della vicinanza alle foci fluviali (FIGURA 68).

8.2 Confronto con la campagna sedimentologica del 2012

I valori del Dm dei campioni prelevati nel 2012 e nel 2018, osservati complessivamente, non evidenziano grandi cambiamenti del granulo medio negli anni, e la nuvola di punti di FIGURA 69 non mostra trend evidenti.

Suddividendo i campioni per fasce di profondità, tuttavia, si rilevano cambiamenti anche significativi.

Tali cambiamenti consistono in prevalenti diminuzioni della granulometria che riguardano solo localmente la spiaggia emersa e i primi fondali (FIGURA 70) e, invece, più diffusamente la spiaggia sommersa al di sotto di 1 metro (FIGURA 71 E FIGURA 72). La diminuzione del Dm, tuttavia, si alterna a locali aumenti e non mostra un trend unico.

FIGURA 69 Diametro medio dei sedimenti campionati nel 2012 e nel 2018.

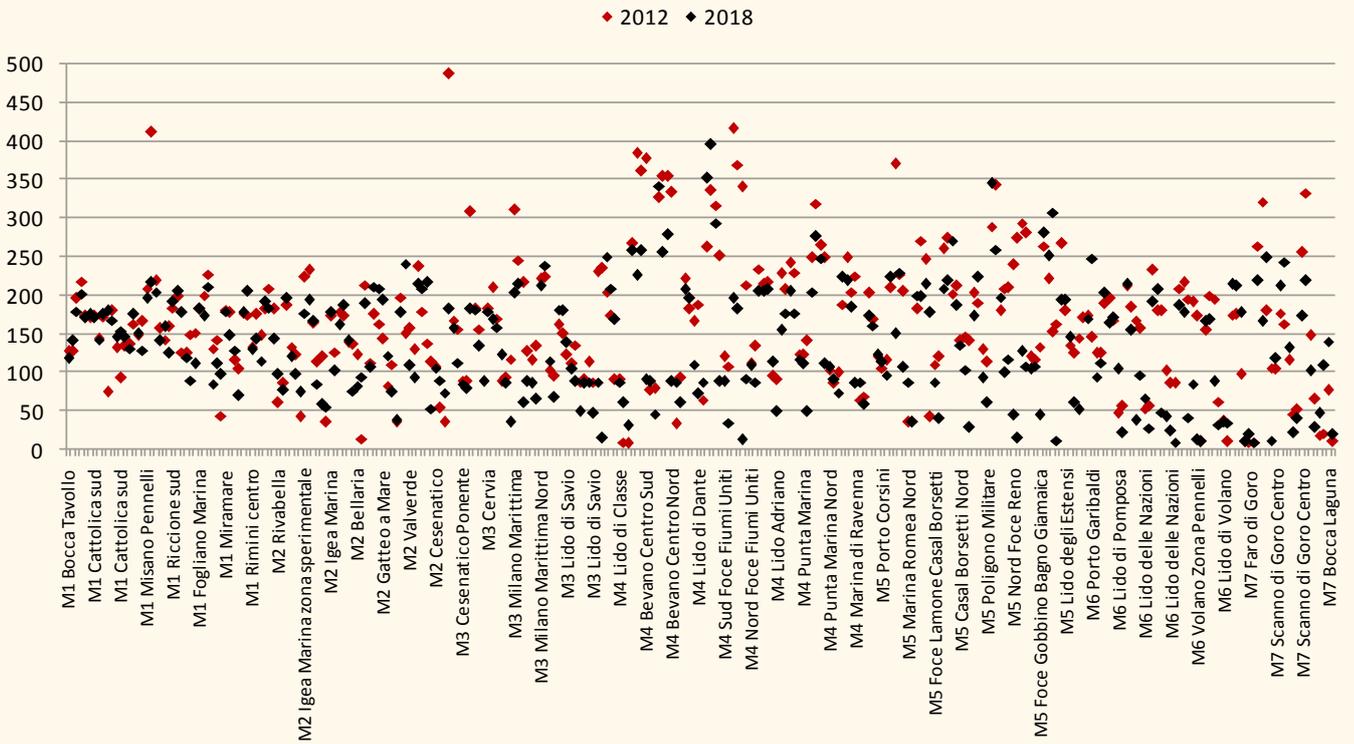


FIGURA 70 Diametro medio dei sedimenti campionati nel 2012 e nel 2018 tra la battigia e la profondità di 1 m. Barre azzurre: diminuzione della granulometria; barre arancioni: aumento della granulometria.

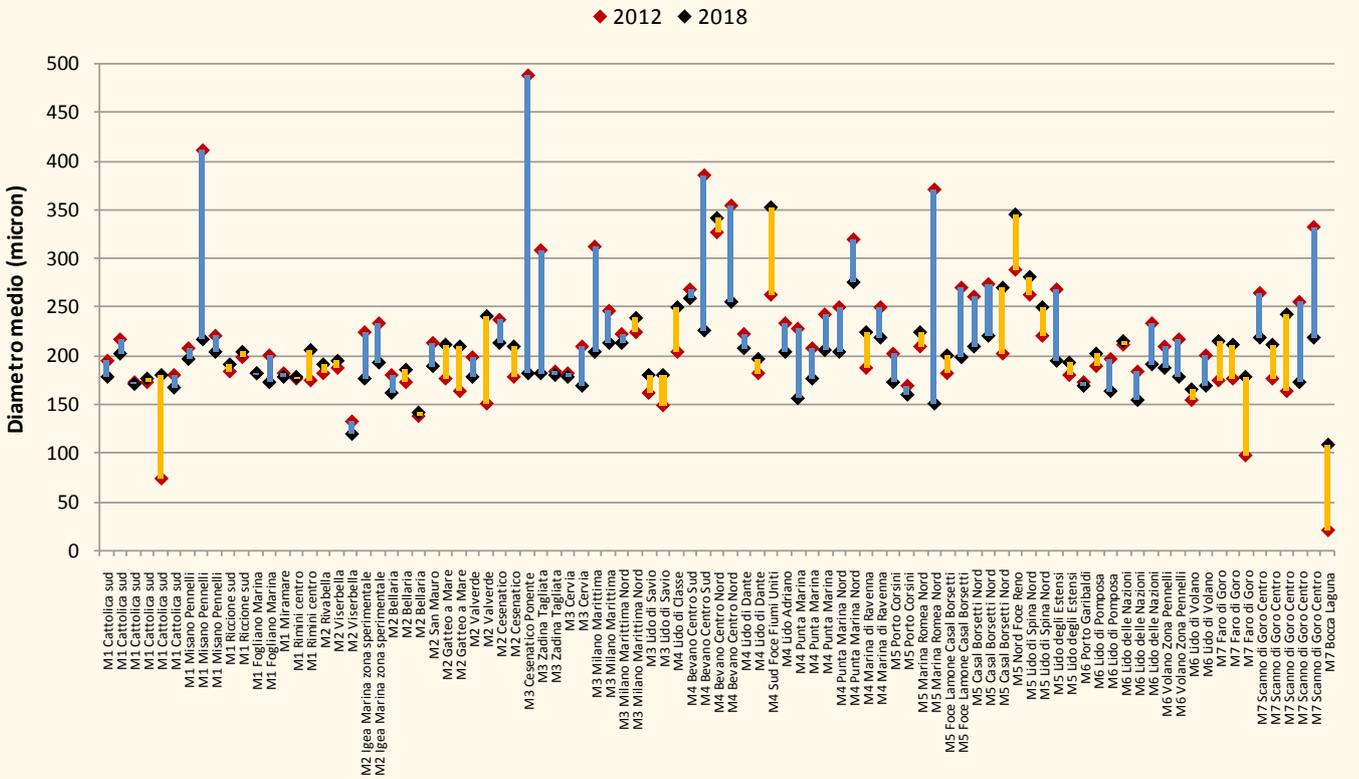
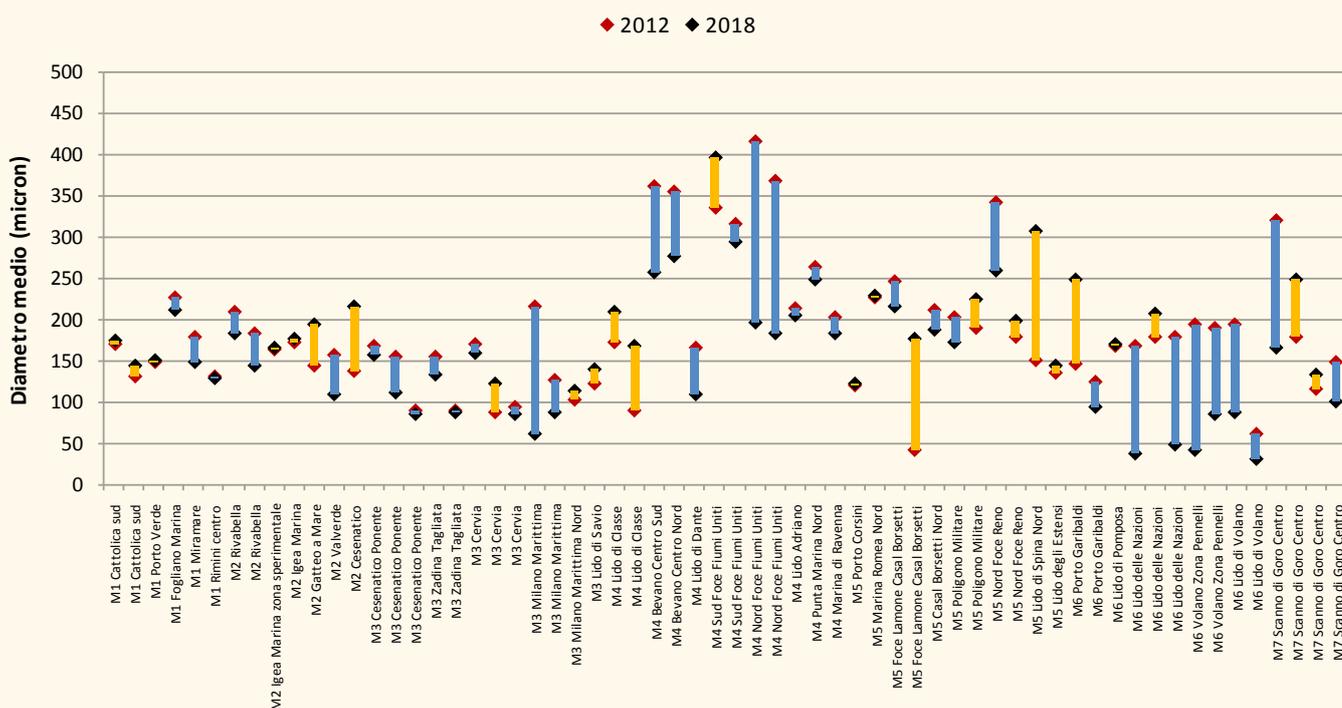


FIGURA 71 Diametro medio dei sedimenti campionati nel 2012 e nel 2018 tra la profondità di 1 m e quella di 3 m. Barre azzurre: diminuzione della granulometria; barre arancioni: aumento della granulometria.



Per la fascia tra la battigia e -1 m, il cambiamento consiste soprattutto nella diminuzione del diametro medio da valori superiori a 250 micron (limite inferiore della sabbia media) a dimensioni della sabbia fine, come osservato a Misano, tra Cesenatico Nord e Milano Marittima e da Foce Bevano verso Nord (**FIGURA 70**).

Nella fascia tra -1 e -3 metri il Dm passa a valori della classe della sabbia molto fine o, localmente, anche inferiori (es. Milano Marittima, Lido delle Nazioni e Lido di Volano, **FIGURA 71**).

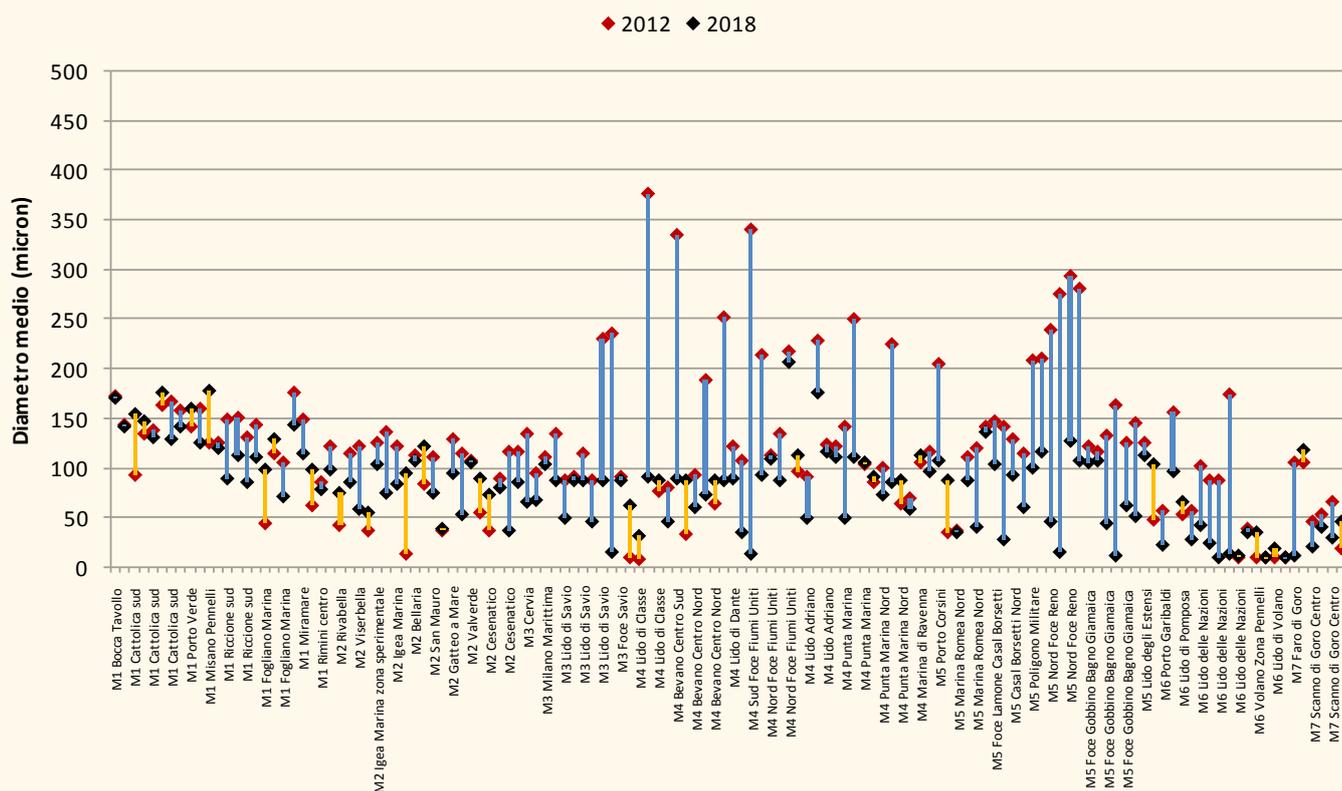
Per quanto riguarda la spiaggia sommersa tra -3 e -7 metri, la tendenza alla diminuzione del Dm appare diffusa; il fenomeno è particolarmente accentuato e frequente nei fondali della porzione settentrionale del litorale a partire da Lido di Savio (**FIGURA 72**). Qui (al limite tra le macrocelle M3 e M4 verso nord) si assiste frequentemente al passaggio da un diametro medio della sabbia fine (o, raramente, sabbia media) a dimensioni della sabbia molto fine o silt. I rari aumenti del Dm osservati si collocano anch'essi,

generalmente, all'interno delle classi a granulometria più fine (<125 micron). Complessivamente, lungo il litorale regionale in questa fascia di profondità si riconosce un generalizzato trend di diminuzione del Dm da Sud verso Nord (già segnalato per quanto riguarda il peggioramento del selezionamento dei sedimenti).

Osservando le mappe del Dm di **FIGURA 73**, dove sono messe a confronto le analisi del 2012 con quelle del 2018, diversi cambiamenti appaiono evidenti.

Nel tratto tra Cattolica e Rimini, in prossimità della linea di riva non si osservano variazioni granulometriche, mentre sui fondali si rileva una diffusa diminuzione del Dm: nel 2012 le sabbie fini caratterizzavano pressoché tutti i fondali fino alle massime profondità indagate (a parte il tratto antistante Miramare-Bellaria dove erano presenti anche sedimenti più fini), invece nel 2018, a partire da Misano andando verso Nord, i fondali sono costituiti da depositi con Dm della sabbia molto fine. Tali variazioni granulometriche

FIGURA 72 Diametro medio dei sedimenti campionati nel 2012 e nel 2018 tra la profondità di 3 m e quella di 7 m. Barre azzurre: diminuzione della granulometria; barre arancioni: aumento della granulometria.



non appaiono in relazione a variazioni morfologiche del fondale (**FIGURA 73**). Le carte degli accumuli e delle perdite evidenziano in prossimità della riva zone con cambiamenti di quota (per esempio, lungo due sezioni topo-batimetriche collocate sulle spiagge prive di opere di difesa di Miramare e a Rimini, 15L5 e 3L5 in **FIGURA 74** e **FIGURA 75**, si rileva la migrazione delle barre sommerse che interessa il fondale fino a circa 3/4 m di profondità); tuttavia, la diminuzione della granulometria osservata sembra interessare porzioni del fondale relativamente stabili e posti a maggiori profondità rispetto all'area di maggiore dinamismo. Tornando alla mappa del Dm (**FIGURA 73**) si osservano altre modifiche per quanto riguarda la presenza delle frazioni granulometricamente più fini: a nord di Rimini fino a Cesenatico, la fascia di fondale caratterizzata dalla sabbia molto fine risulta più ampia nel 2018 rispetto al 2012, estendendosi a maggiore profondità laddove nel 2012 si erano campionati sedimenti con Dm delle dimensioni del silt (questi ultimi nel 2018 si osservano

leggermente più verso nord, fino a sud di Cervia, nella spiaggia sommersa). Lungo il profilo 114L1 (**FIGURA 76**), collocato a sud del molo di Cesenatico, si rilevano a -4 m fondali in leggero accumulo, fenomeno al quale è associato un aumento del granulo medio da silt a sabbia molto fine. Nella zona interna alle opere, a -3 m si osserva una tendenza inversa, con diminuzione delle dimensioni del Dm (da sabbia molto fine a silt).

FIGURA 73 Confronto tra le carte del diametro medio del 2012 e del 2018.



FIGURA 74 Profilo topo-batimetrico collocato a sud di Miramare.

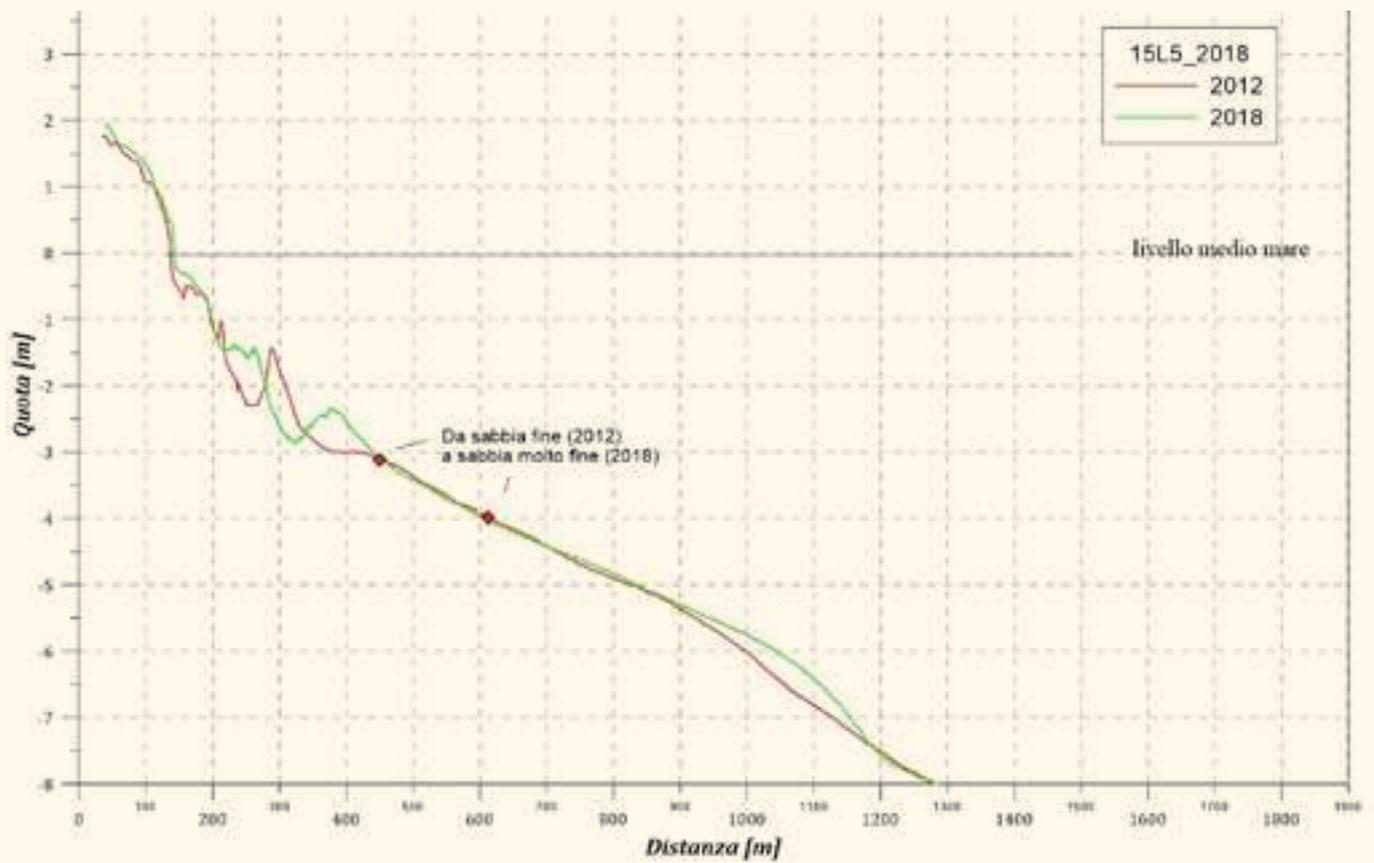


FIGURA 75 Profilo topo-batimetrico collocato a Rimini, a sud del porto.

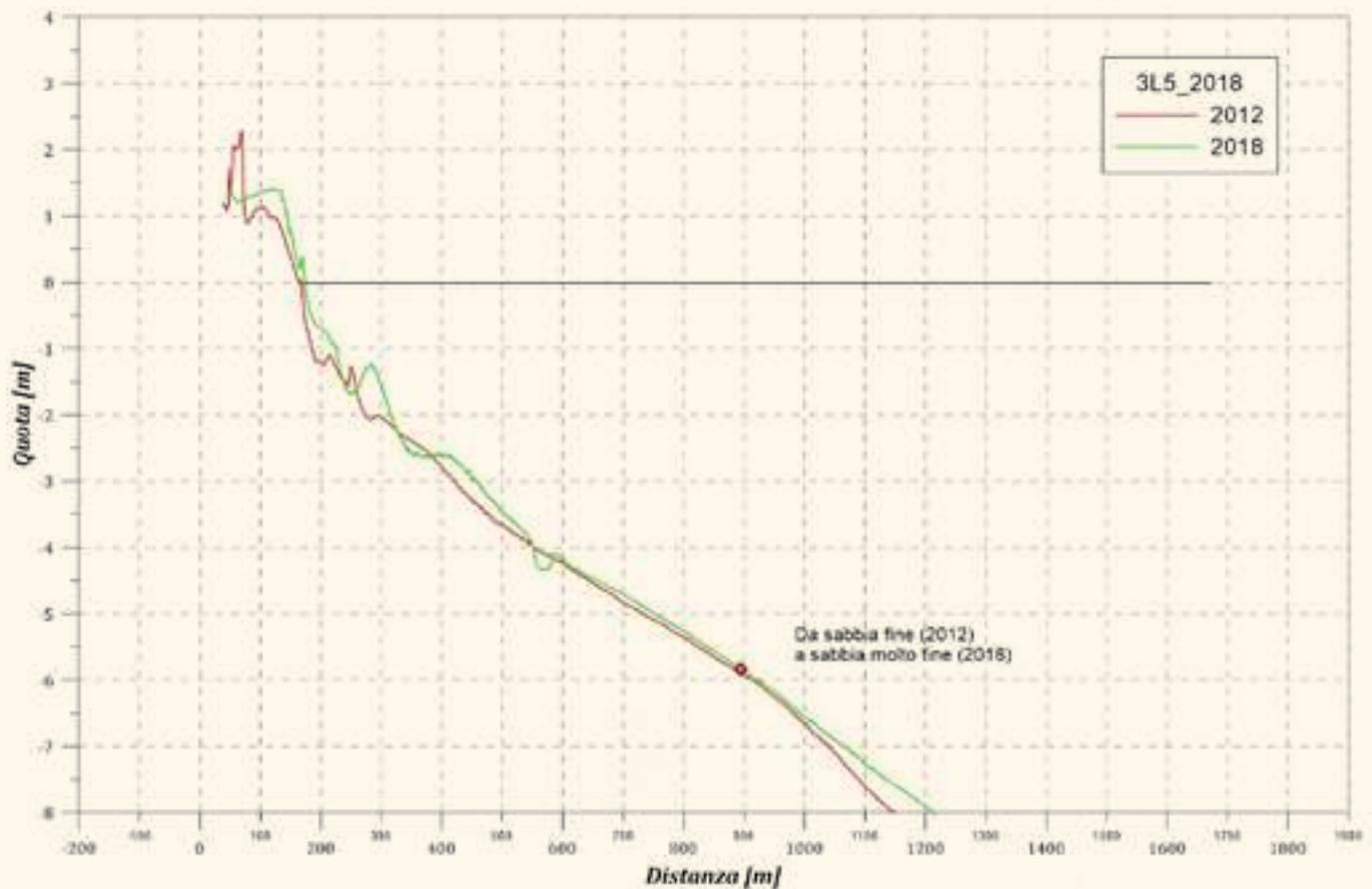
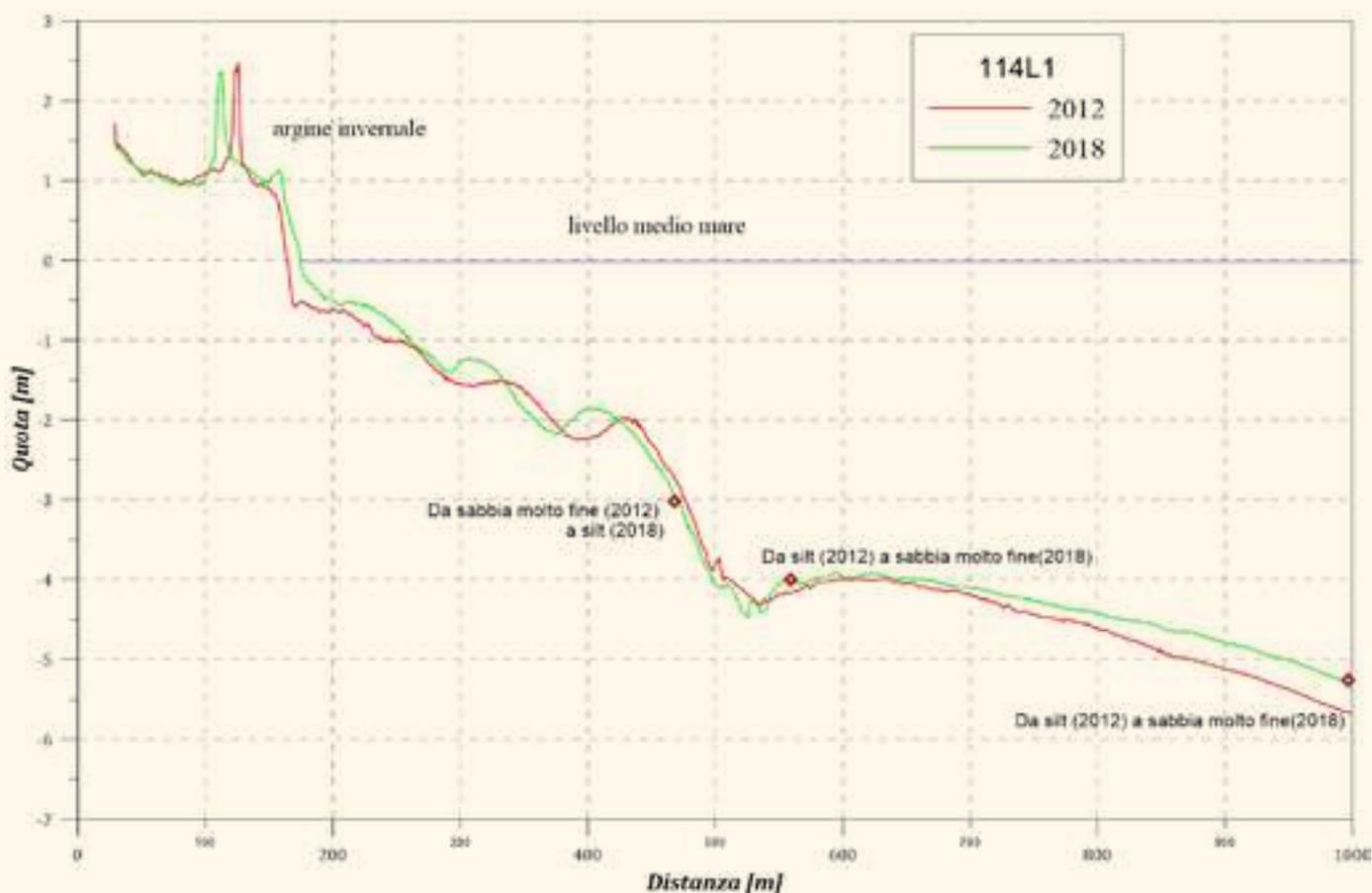


FIGURA 76 Profilo topo-batimetrico collocato a Cesenatico a sud del molo.



A partire dal Savio verso Nord fino allo Scanno di Goro (FIGURA 77) è evidente una generale diminuzione del Dm che si manifesta in vari modi. Nel tratto tra il Savio e la zona del Bevano, nel 2018, la porzione di spiaggia prossima alla riva costituita da sabbie medie è decisamente meno ampia rispetto al 2012, e alle maggiori profondità indagate si rilevano depositi con diametro medio delle dimensioni del silt, che nel 2012 erano assenti. Lungo due profili collocati sulla spiaggia priva di difese a sud e a nord della foce del Torrente Bevano (RA11 e RA14, FIGURA 78 E FIGURA 79), la riduzione della granulometria (Dm da sabbia media a sabbia molto fine) si presenta ancora una volta al limite esterno del settore di fondale interessato dalle principali variazioni morfologiche (migrazione verso terra della barra sommersa nei primi 3 m di profondità circa). Una riduzione del granulo medio (Dm da sabbia molto fine a silt) è rilevabile anche

nei campioni più al largo e più profondi (a circa -6 m) sia lungo RA11, che lungo RA14. Nel caso del primo profilo tale variazione coincide con un'area di leggero accumulo di sedimento, mentre lungo RA14 con un generalizzato e leggero approfondimento del fondale. Lungo quest'ultimo profilo, sul fondale in approfondimento si rileva anche un aumento delle dimensioni del Dm (da silt a sabbia molto fine) in un campione collocato a circa 4,5 m di profondità. Anche in questo caso non sembrerebbe esistere una relazione univoca tra i cambiamenti granulometrici e le più importanti variazioni morfologiche della spiaggia sommersa.

FIGURA 77 Confronto tra le carte del diametro medio del 2012 e del 2018.



CARTA DEL DIAMETRO MEDIO
ANNO 2018
*Tratto Foce Fiume Lamone -
Porto Canale di Cesenatico*

LEGENDA

- Opera di difesa

- DIAMETRO MEDIO**

- silt (0.002 - 0.0063 mm)

- sabbia molto fine (0.063 - 0.125 mm)

- sabbia fine (0.125 - 0.250 mm)

- sabbia media (0.250 - 0.500 mm)

- sabbia grossolana (0.500 - 1 mm)

2012

2018



La comparsa di depositi siltosi al largo (FIGURA 80) viene rilevata anche nel tratto compreso tra i Fiumi Uniti e Casal Borsetti e oltre, fino a Porto Garibaldi. In particolare, i sedimenti dei fondali del tratto della spiaggia del Bellocchio fino a Porto Garibaldi, che nel 2012 erano tra i più grossolani del litorale

perché costituiti da sabbia media e sabbia fine fino alle massime profondità indagate, nel 2018 sono molto diversi: la fascia vicino alla riva caratterizzata da sabbia media è nel 2018 molto più sottile ed è sostituita dalla sabbia fine, che passa a sabbia molto fine e silt verso il largo.

FIGURA 78 Il profilo topo-batimetrico RA11 è collocato a sud della Foce del Torrente Bevano.

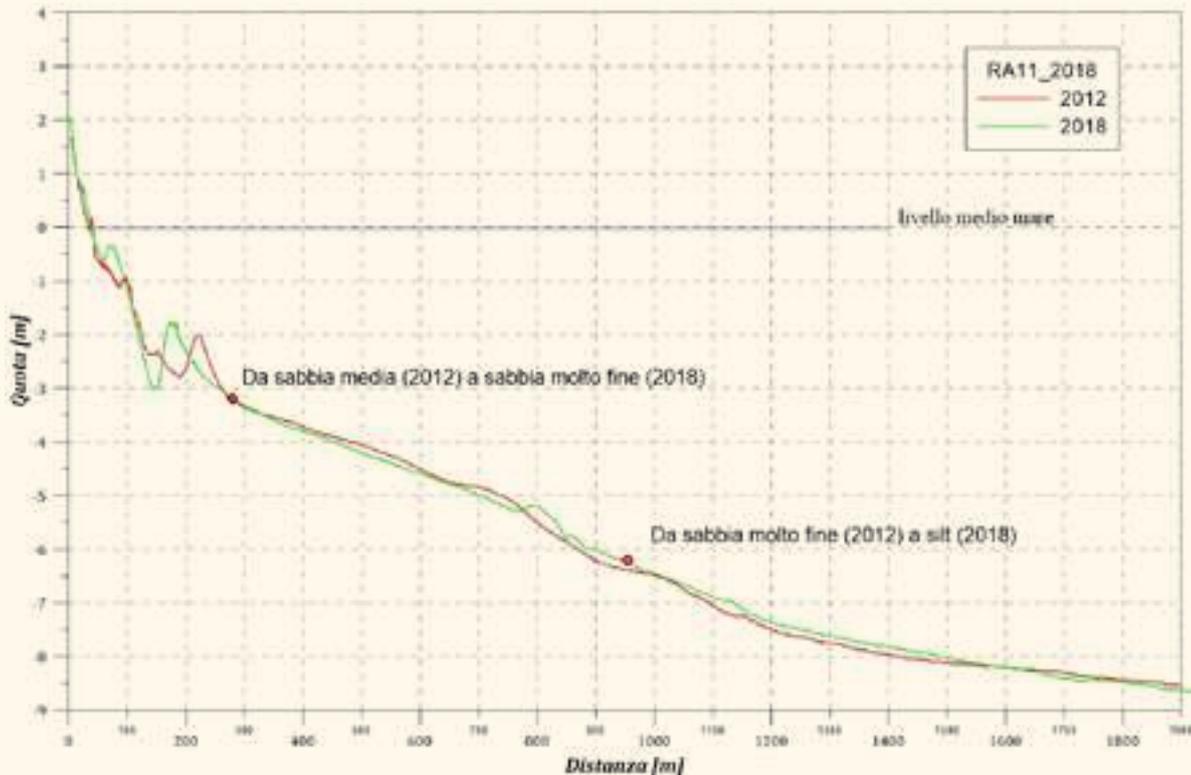


FIGURA 79 Il profilo topo-batimetrico RA14 è collocato a nord della Foce del Torrente Bevano.

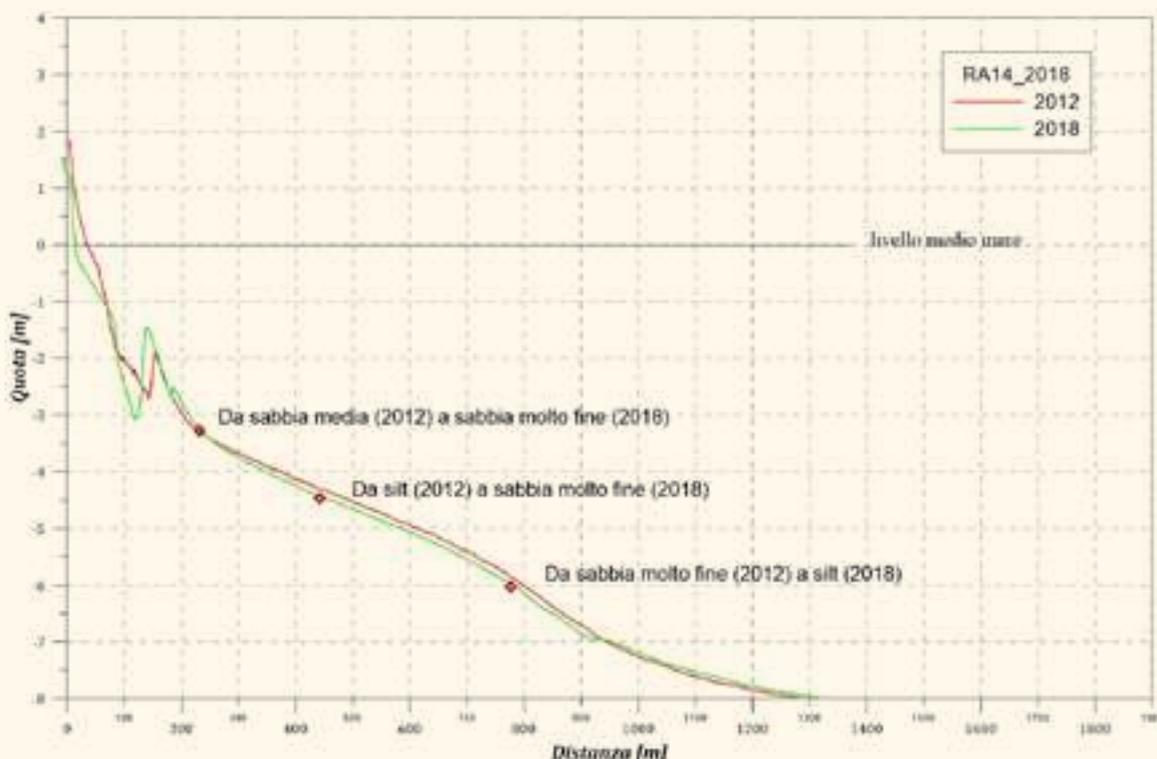
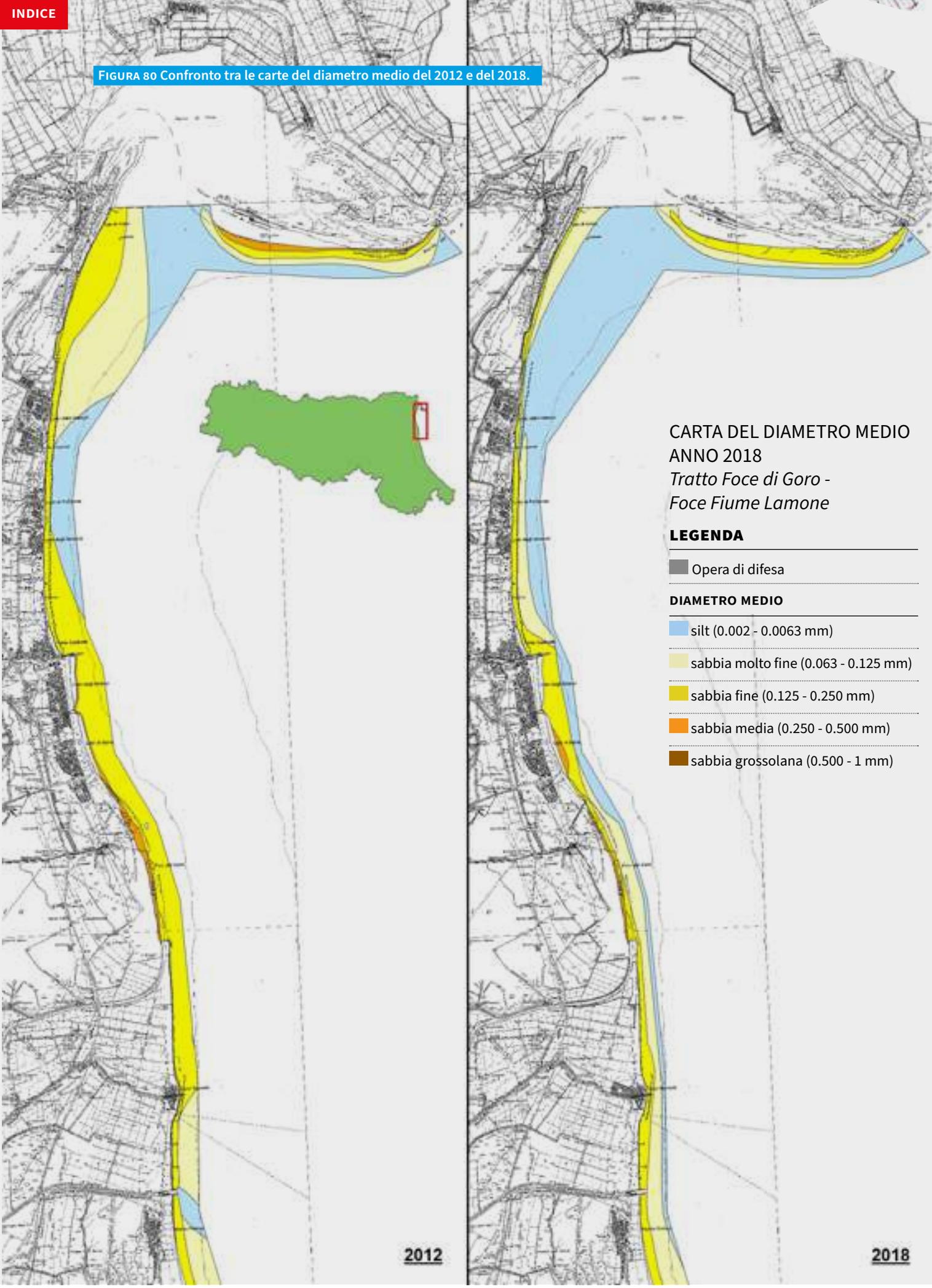


FIGURA 80 Confronto tra le carte del diametro medio del 2012 e del 2018.



CARTA DEL DIAMETRO MEDIO
 ANNO 2018
*Tratto Foce di Goro -
 Foce Fiume Lamone*

LEGENDA

- Opera di difesa

- DIAMETRO MEDIO**

- silt (0.002 - 0.0063 mm)

- sabbia molto fine (0.063 - 0.125 mm)

- sabbia fine (0.125 - 0.250 mm)

- sabbia media (0.250 - 0.500 mm)

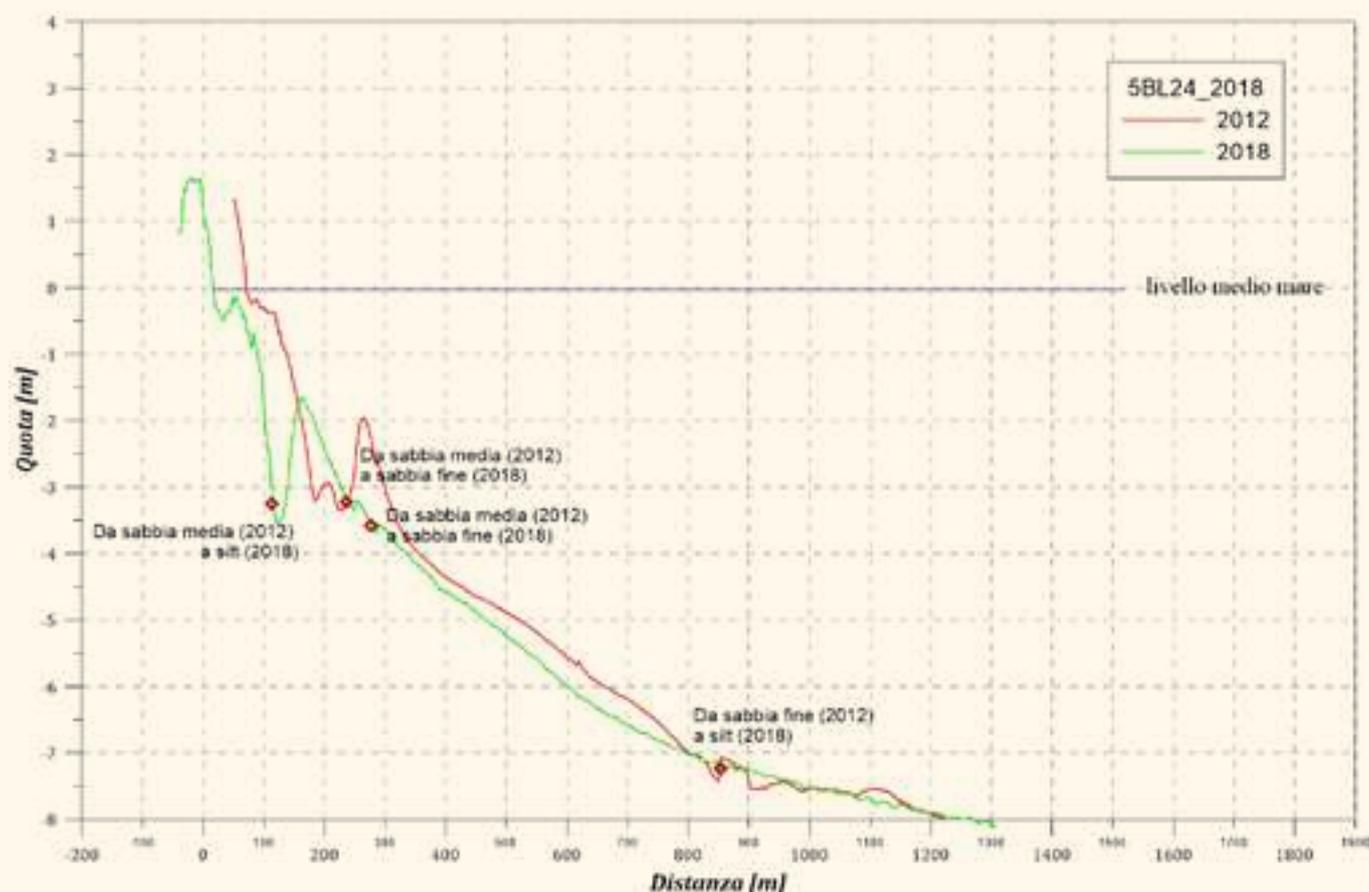
- sabbia grossolana (0.500 - 1 mm)

2012

2018

00,51 2 3 4 5 km

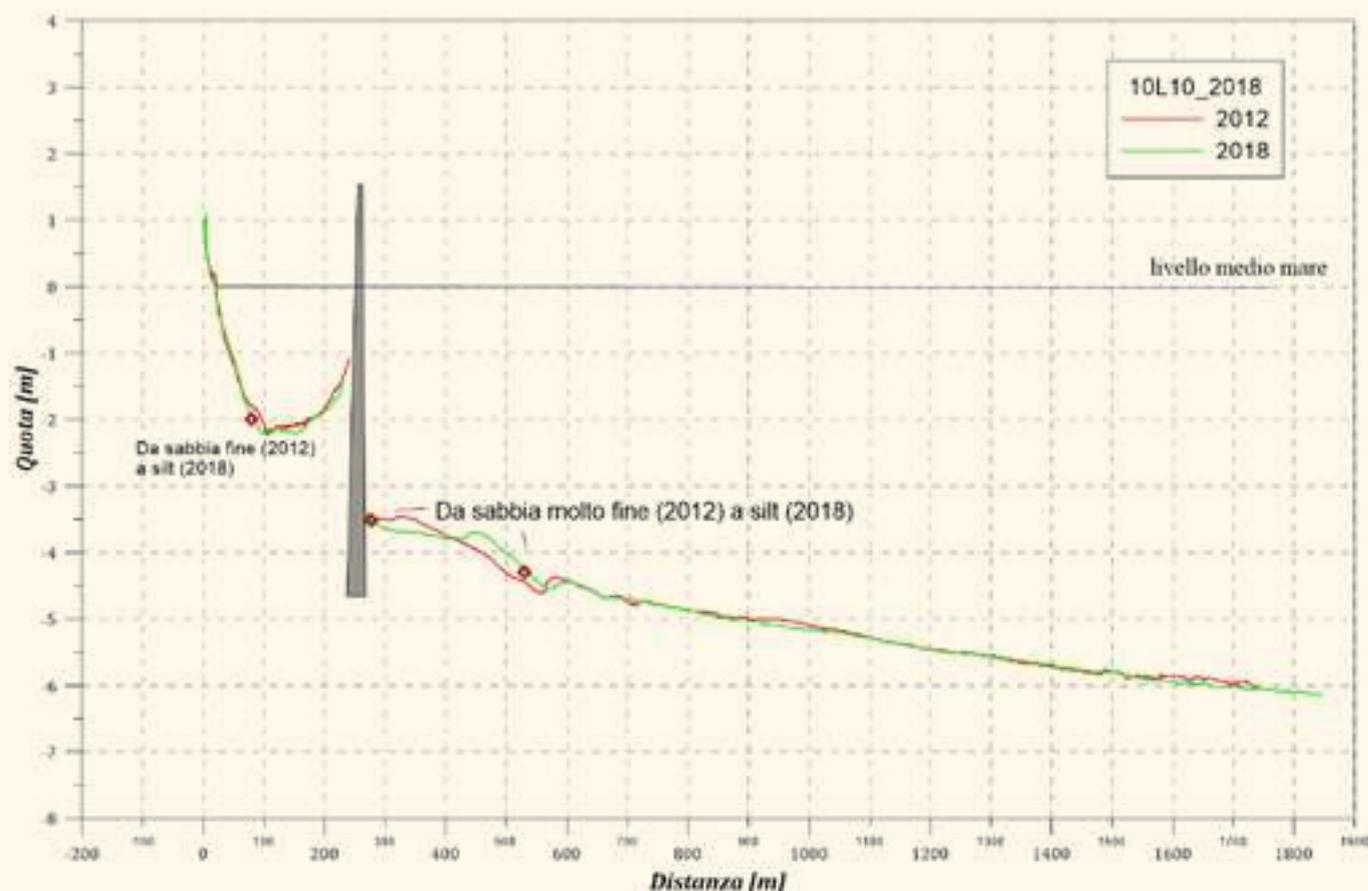
FIGURA 81 Il profilo topo-batimetrico 5BL24 è collocato sulla spiaggia del Bellocchio a sud di Lido di Spina.



Lungo la sezione di **FIGURA 81**, collocata sulla spiaggia del Bellocchio a sud di Lido di Spina, nel tratto di spiaggia a maggior tasso erosivo del litorale regionale (**CAPITOLO 9.5**), si osserva una riduzione generalizzata del granulo medio lungo tutto il profilo, associata quasi ovunque a quote/profondità che nel 2018 sono al di sotto di quelle rilevate nel 2012. In questo caso specifico, la presenza di sedimenti con Dm dell'ordine del silt anche a bassa

profondità è in relazione all'affioramento, in prossimità della battigia, di argille lagunari del substrato in erosione (**FIGURA 58**). Una diminuzione del Dm da sabbia media nel 2012 a sabbia fine nel 2018 tra -3 e -4 m sembra anche in questo caso riguardare il fondale immediatamente esterno alla posizione della barra sommersa, migrata verso terra rispetto alla posizione rilevata nel 2012.

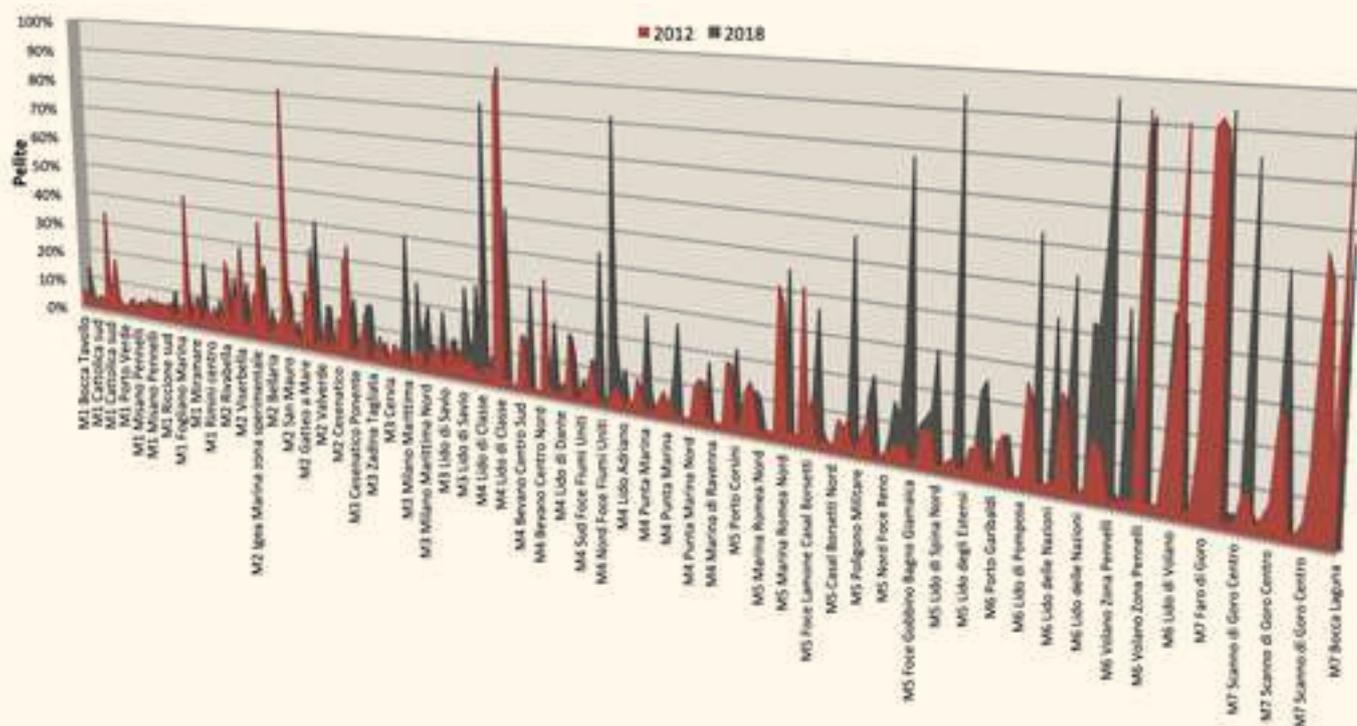
FIGURA 82 Profilo topo-batimetrico collocato a Lido delle Nazioni.



Nel 2018, la fascia a nord di Porto Garibaldi, che nel 2012 era caratterizzata da sabbia molto fine, si riduce fino a chiudersi a sud di Volano, sostituita da un'ampia fascia di sedimenti contraddistinti da Dm delle dimensioni del silt. A Lido delle Nazioni, infatti, lungo la sezione di **FIGURA 82**, nel 2018 risultano siltosi quasi tutti i campioni già a partire dalla zona interna alle scogliere, a soli 2 m di profondità. Anche in questo, caso la variazione granulometrica prescinde dalle variazioni morfologiche del fondale.

A Volano, anche l'estensione della zona con Dm della sabbia fine appare molto ridotta rispetto al 2012 e nel 2018 è limitata a una stretta fascia in prossimità della costa. Davanti allo Scanno di Goro, si tornano a rilevare, come nel 2012, depositi con Dm delle dimensioni gradualmente decrescenti, da sabbia fine e molto fine (nel 2018) a un fondale siltoso al largo. Allo Scanno, nel 2018 sulla riva non sono stati rilevati campioni con dimensioni di granulo medio maggiore della sabbia fine.

FIGURA 83 Distribuzione percentuale del fango (silt e argilla) lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018.



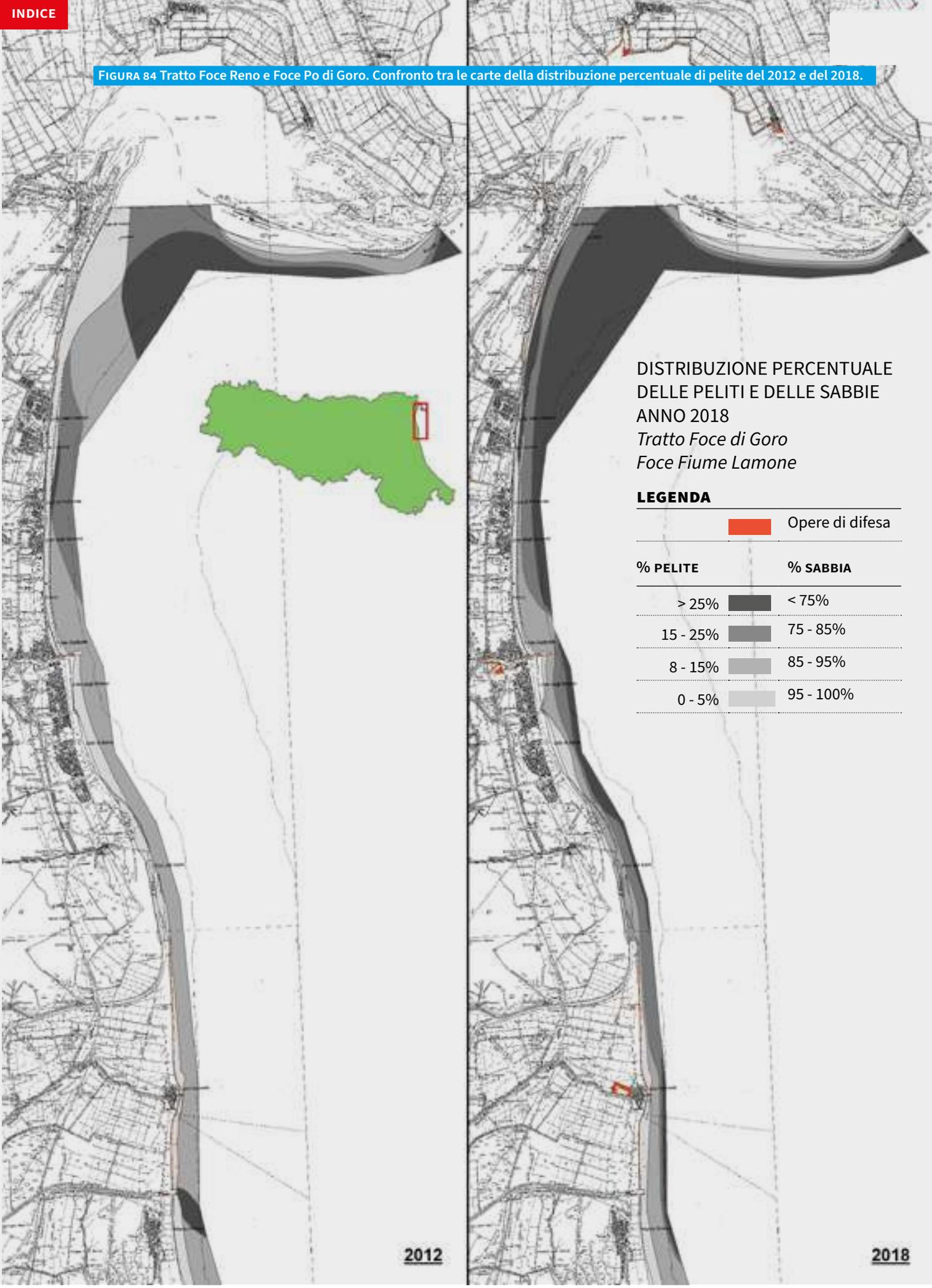
L'analisi della distribuzione percentuale di sabbia e pelite mette in evidenza nel 2018 un prevalente incremento della porzione pelitica rispetto al 2012, in buona parte del settore centro-settentrionale del litorale (FIGURA 83 E FIGURA 84). L'incremento non riguarda la spiaggia emersa del litorale regionale e i fondali compresi entro 1 metro di profondità (FIGURA 84, FIGURA 85, FIGURA 86 E FIGURA 87), dove al contrario si nota una tendenza alla riduzione della componente pelitica dei campioni (a eccezione di locali piccoli aumenti a Viserbella, Lido di Classe, Punta Marina, Casal Borsetti e Volano). Accentuati incrementi della frazione fangosa (anche >40%) si rilevano invece nella fascia di fondale compresa tra 1 e 3 m di profondità, localmente a Valverde, Cesenatico Nord, Milano Marittima, e nel tratto tra Lido delle Nazioni e Volano (FIGURA 84, FIGURA 85, FIGURA 86 E FIGURA 88).

Nei fondali al di sotto dei 3 metri di profondità (FIGURA 89), l'incremento della

componente pelitica raggiunge valori consistenti (valori fino al 90%) e interessa pressoché tutto il litorale compreso tra Gatteo a Mare e Lido delle Nazioni.

Nel paragrafo 8.1.4 si è visto come, a parte il tratto di costa tra Cattolica e Riccione, lungo il litorale regionale il coefficiente di cernita mostra un andamento variabile, che tendenzialmente peggiora da Sud verso Nord, soprattutto al di sotto dei -3 m, coerentemente con l'aumento della percentuale di fango presente sul fondale e con la diminuzione del diametro medio dei sedimenti (FIGURA 64). I campioni prelevati nell'ambito delle campagne 2012 e 2018 presentano in entrambi i casi valori di coefficiente di cernita variabili da 0,35 a 2,5, quindi i sedimenti presentano gradi di selezione da buona a molto scarsa (FIGURA 90), pur con alcune differenze, meglio evidenti esaminando l'andamento di questo parametro nelle diverse fasce di quota/profondità.

FIGURA 84 Tratto Foce Reno e Foce Po di Goro. Confronto tra le carte della distribuzione percentuale di pelite del 2012 e del 2018.



DISTRIBUZIONE PERCENTUALE
DELLE PELITI E DELLE SABBIE
ANNO 2018
Tratto Foce di Goro
Foce Fiume Lamone

LEGENDA

 Opere di difesa

% PELITE	% SABBIA
> 25%	< 75%
15 - 25%	75 - 85%
8 - 15%	85 - 95%
0 - 5%	95 - 100%

2012

2018



FIGURA 85 Tratto Foce Reno e Lido di Classe. Confronto tra le carte della distribuzione percentuale di pelite del 2012 e del 2018.

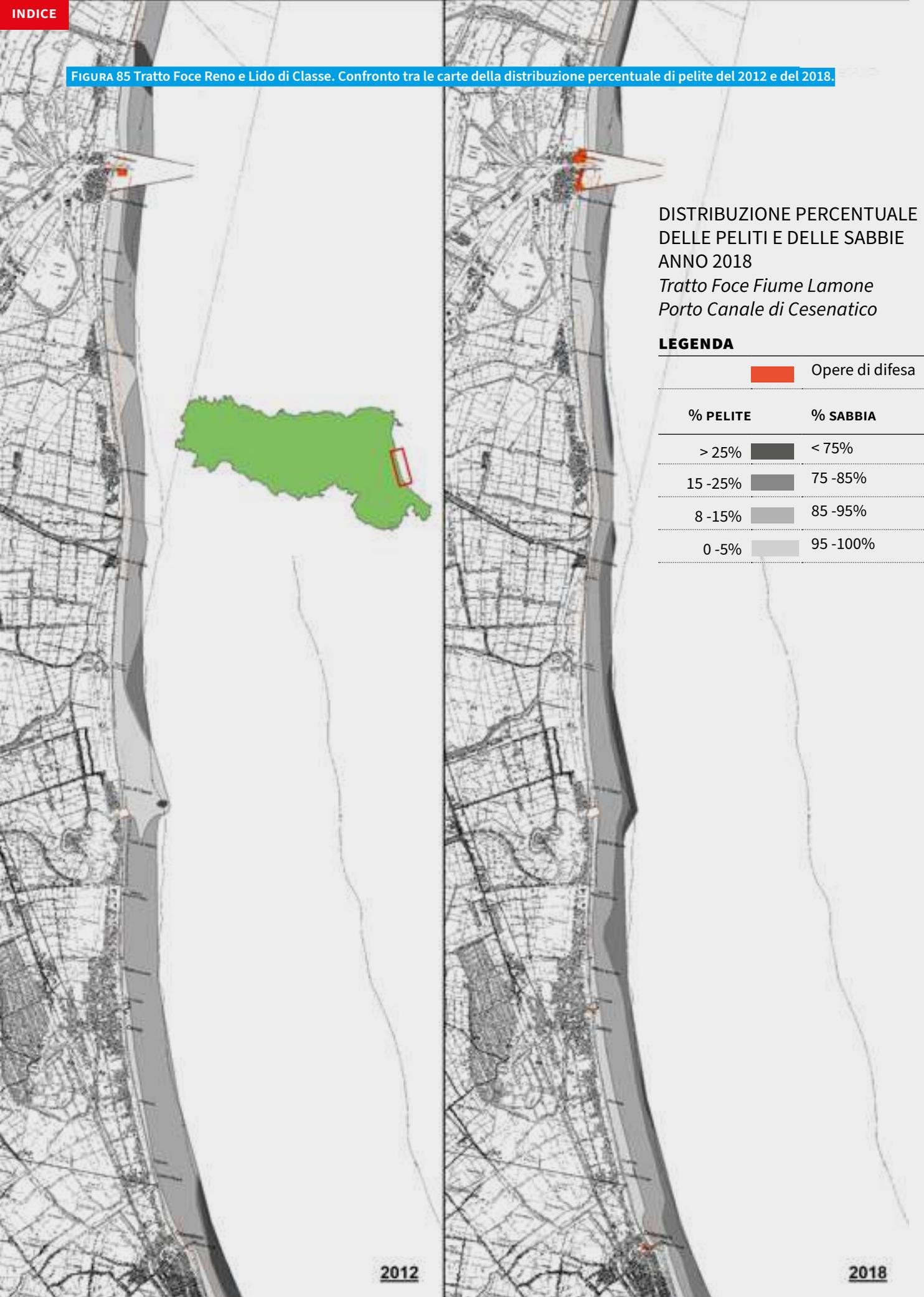


FIGURA 86 Tratto Lido di Classe e Bellaria. Confronto tra le carte della distribuzione percentuale di pelite del 2012 e del 2018.



FIGURA 87 Distribuzione percentuale del fango (silt e argilla) lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018, nella zona compresa tra spiaggia emersa e la profondità di 1 m.

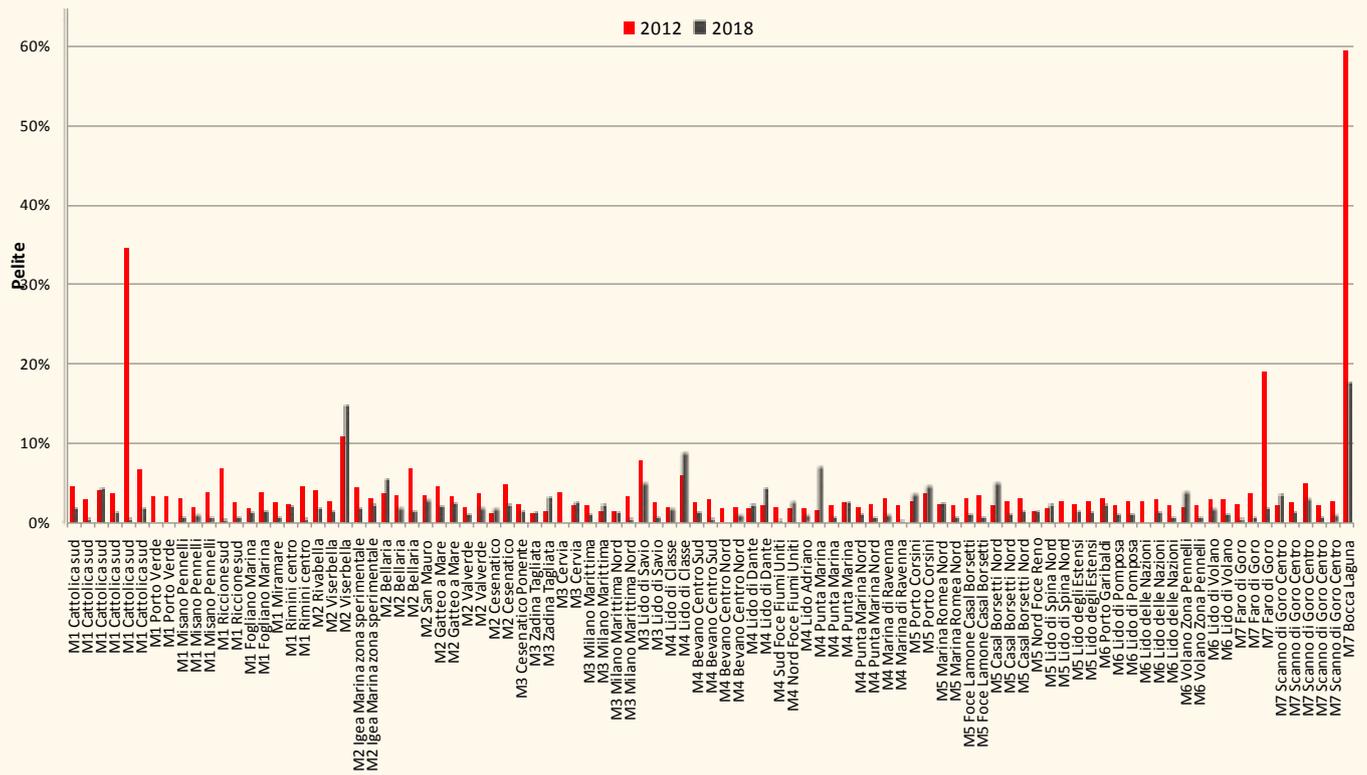


FIGURA 88 Distribuzione percentuale del fango (silt e argilla) lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018, nella zona compresa tra 1 m e 3 m di profondità.

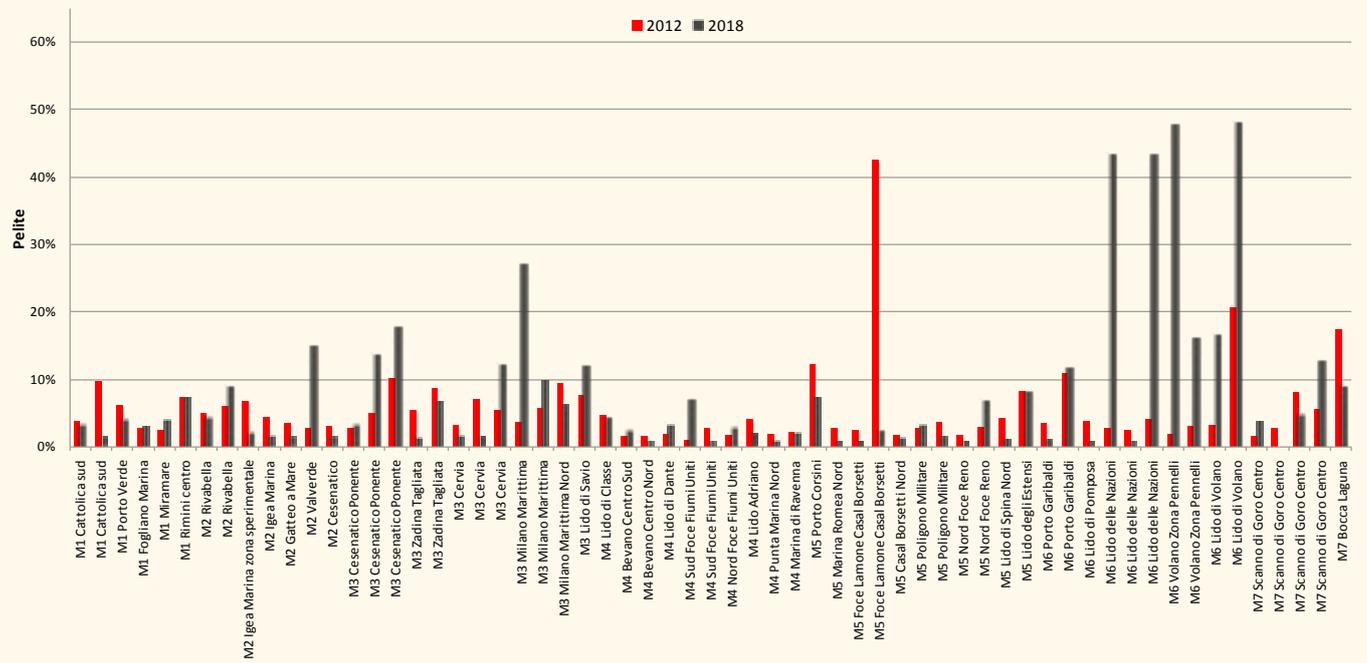


FIGURA 89 Distribuzione percentuale del fango (silt e argilla) lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018, nella zona compresa tra 3 m e 7 m di profondità.

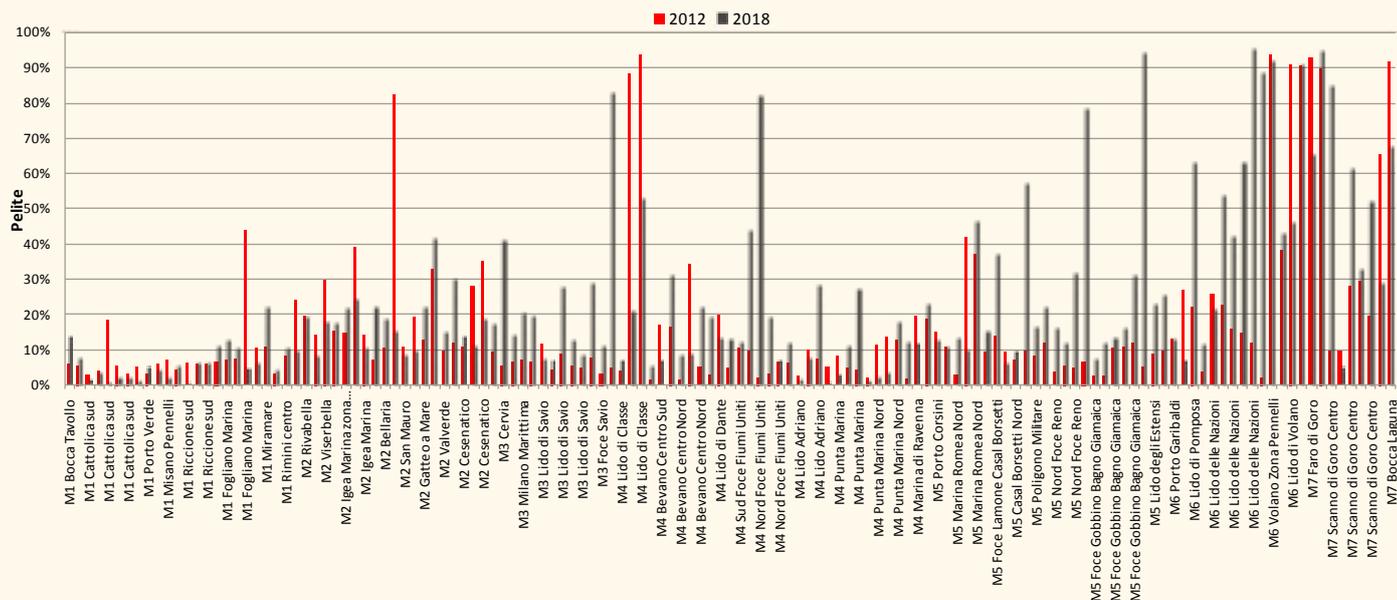


FIGURA 90 Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018.

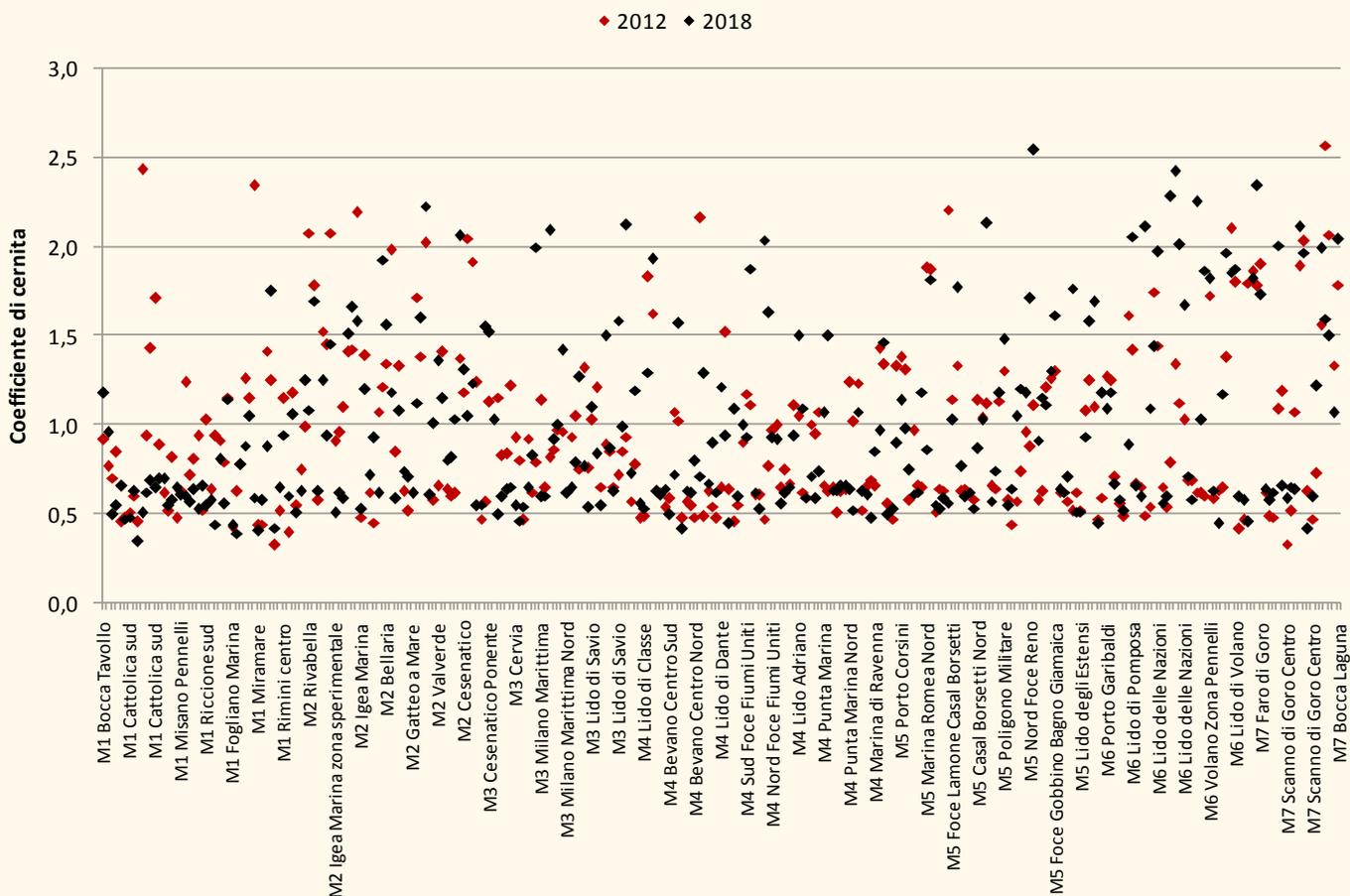


FIGURA 91 Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018, nella zona compresa tra spiaggia emersa e la profondità di 1 m. Barre vuote: peggioramenti della selezione; barre piene: miglioramenti della selezione.

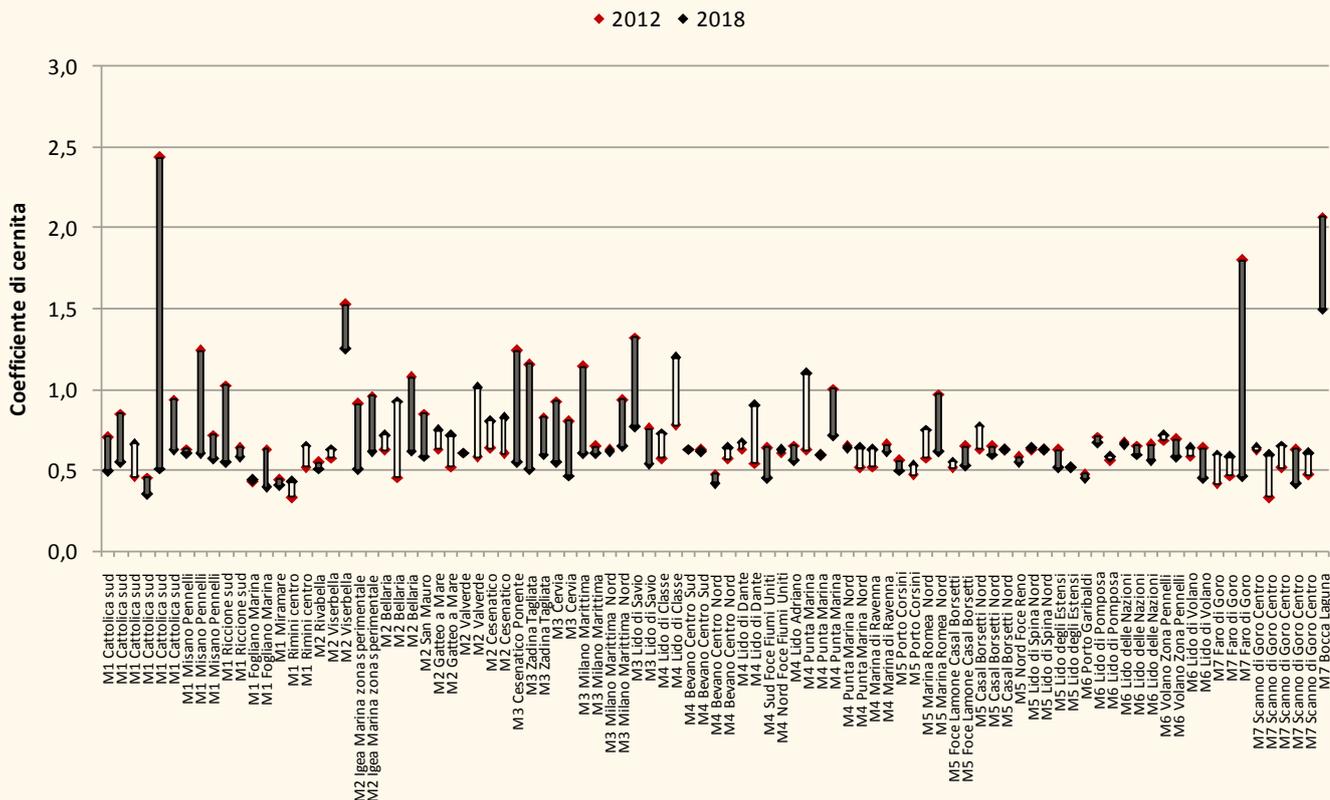


FIGURA 92 Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018, nella zona compresa tra 1m e 3 m di profondità. Barre vuote: peggioramenti della selezione; barre piene: miglioramenti della selezione.

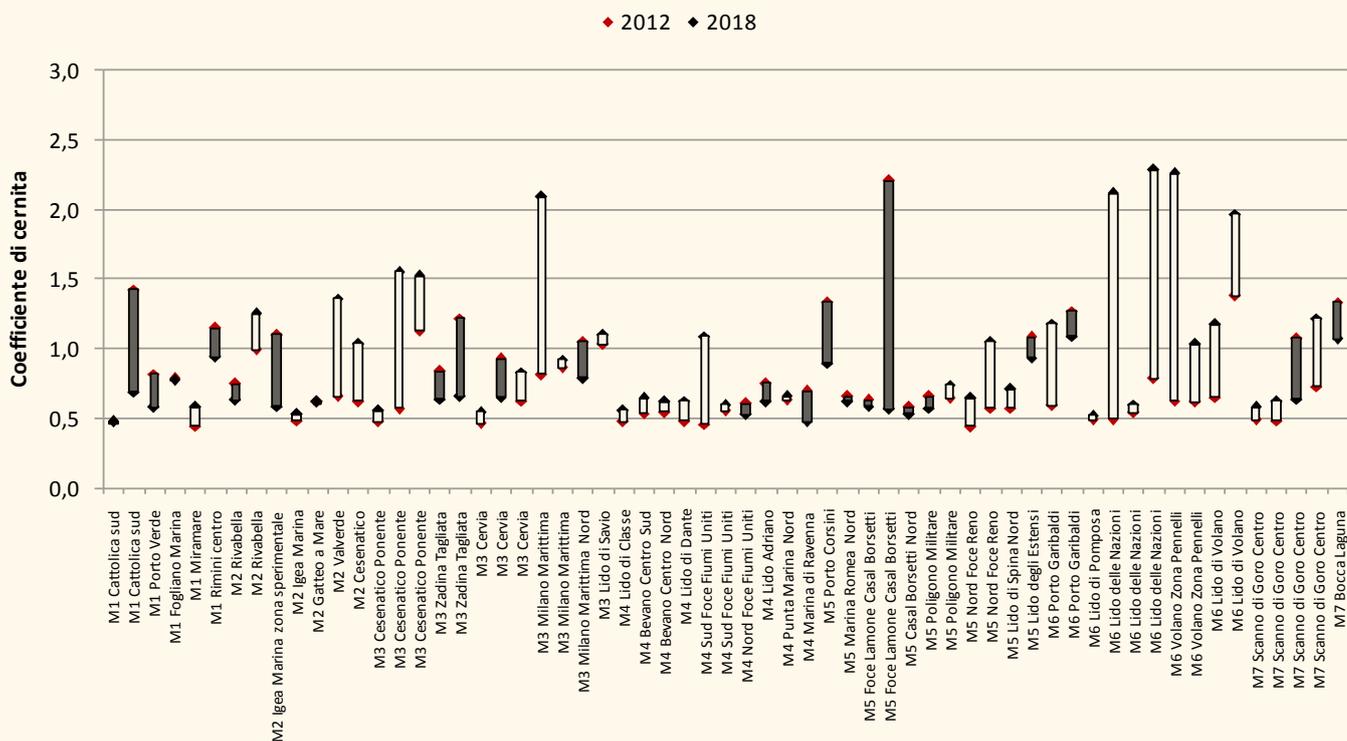
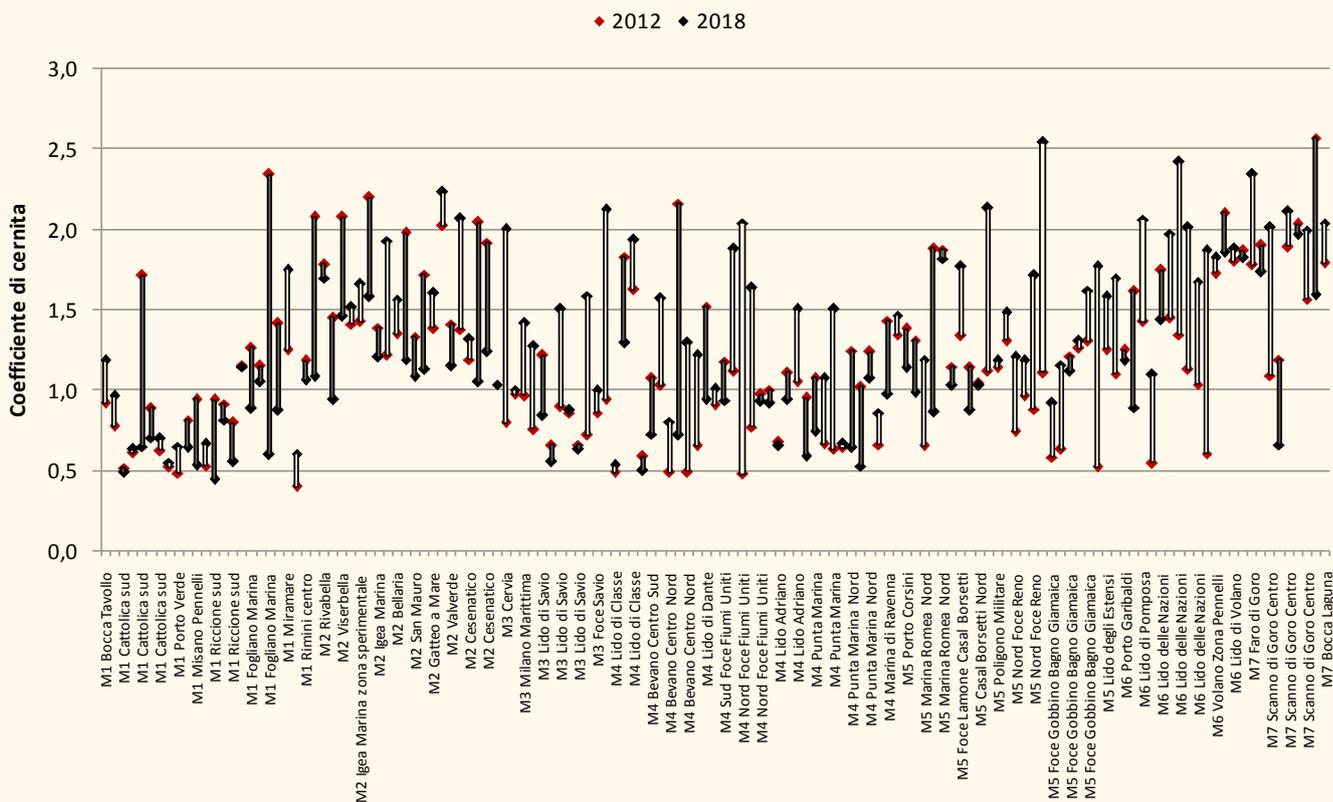


FIGURA 93 Coefficiente di cernita dei campioni di sedimento prelevati lungo il litorale regionale nel 2012 e nel 2018, nella zona compresa tra 3 m e 7 m di profondità. Barre vuote: peggioramenti della selezione; barre piene: miglioramenti della selezione.



Nella fascia di fondale compreso tra la battigia e la profondità di 1 m, nel tratto tra Cattolica e Lido di Savio e localmente più a nord (es. Goro), i campioni nel 2018 presentano prevalentemente valori di cernita con tendenza alla diminuzione (cioè un miglioramento del grado di selezione, barre piene in **FIGURA 91**). Dal Bevano verso nord, i cambiamenti sono poco significativi e localmente si individuano leggeri peggioramenti della cernita (**FIGURA 91**).

Nella fascia di fondale compresa tra -1 e -3 m (**FIGURA 92**), si osserva un'inversione di tendenza: buona parte dei campioni presenta nel 2018 un grado di selezione peggiore rispetto al 2012, aspetto ricollegabile al complessivo arricchimento in fango rilevato nei campioni del 2018. Questo aumento di valori dei coefficienti

(barre vuote) si osserva, con locali interruzioni, nei tratti tra Cesenatico e i Fiumi Uniti e quasi ovunque a nord di foce del Reno. Miglioramenti del grado di selezione in questa fascia di fondale (barre piene) si rilevano invece tra Cattolica e Igea Marina, a Zadina-Cervia e tra Lido Adriano e il Lamone.

Al di sotto dei 3 metri di profondità si osservano in generale variazioni del coefficiente di cernita più ampie: peggioramenti più marcati sono osservati soprattutto tra Cesenatico e Punta Marina e a nord della foce del Reno, mentre prevalgono i miglioramenti della cernita tra Cattolica e Cesenatico, nell'area di Foce Bevano nel settore tra Punta Marina e Casal Borsetti-Foce Lamone (**FIGURA 93**).

8.3 Confronto con la campagna sedimentologica del 1971-1972

Gli studi sedimentologici di Bondesan et alii (1978) e Dal Cin et alii (1979) sono basati sull'analisi granulometrica di 330 campioni prelevati nell'estate del 1971 (da Volano a Cesenatico; Bondesan et al., 1978) e nell'estate del 1972 (da Cesenatico a Cattolica; Dal Cin et al., 1979) su sezioni distanziate circa 2 km, in corrispondenza di duna, spiaggia emersa, a quota zero e a ogni metro di profondità fino a -6 m.

Le analisi furono eseguite presso il Dipartimento di Geologia dell'Università di Ferrara, e i parametri sedimentologici calcolati con il metodo Folk e Ward (1957), ma i lavori riportano solo varie mappe tematiche e non i dati puntuali.

Come già fatto nella Relazione sullo stato del litorale al 2012 (Arpae, 2016), nell'ambito del presente studio si è scelto di prendere come riferimento per un confronto le mappe del diametro medio proposte da Bondesan et alii (1978) e Dal Cin et alii (1979), pur presentando esse alcune differenze nei criteri di mappatura. In particolare, le mappe del Dm sono basate su tagli granulometrici diversi rispetto a quelli usati per le analisi del 2018 e del 2012 da Arpae quindi, per agevolare il confronto, le carte degli anni 70 sono state adeguate a quelle realizzate nell'ambito delle campagne 2012 e 2018 accorpendo alcune classi granulometriche (per i dettagli si rimanda al volume Arpae, 2016).

Confrontando le carte del Dm ottenute per i campionamenti 1971/1972 con quelle del 2012 e del 2018 (**FIGURA 94, FIGURA 95, FIGURA 96 E FIGURA 97**), si osserva che negli anni 70 su spiaggia emersa e primi fondali i sedimenti avevano un diametro medio maggiore di 0,125 mm quasi ovunque, a eccezione del tratto tra Cervia e Cesenatico, dove il Dm era più fine (0,63 mm <Dm<0,125 mm, sabbia molto fine).

Le campagne 2012 e 2018, fornendo ulteriori distinzioni di classi granulometriche anche tra sabbia media e sabbia fine, evidenziano che la medesima porzione di spiaggia e di fondali è composta da prevalenti sabbie fini (0,125 mm <Dm<0,250 mm) lungo l'intero litorale, incluso il settore tra Cervia e Cesenatico. Sabbie medie sono presenti soprattutto in vicinanza delle foci fluviali, con una distribuzione che però diventa sempre più discontinua nel 2018, dove appaiono ridotte sia in estensione lungo la spiaggia che in ampiezza.

Negli anni 70, la spiaggia sommersa era caratterizzata principalmente da sabbia molto fine e i fondali diventavano siltosi verso il largo solo localmente (**FIGURA 94, FIGURA 95, FIGURA 96 E FIGURA 97**). Nel 2012, ma ancora di più nel 2018, gran parte delle spiagge sommerse sono prevalentemente caratterizzate da sabbie molto fini e passano verso il largo a sedimenti con granulo medio delle dimensioni del silt (**FIGURA 94, FIGURA 95, FIGURA 96 E FIGURA 97**). La presenza nel 2012, nei fondali compresi tra Lido degli Estensi e Casal Borsetti e quelli tra Rimini e Cattolica, di sedimenti a granulometria relativamente più grossolana (sabbia fine fino alle maggiori profondità indagate) rispetto a quanto rilevato nelle campagne degli anni 70, non è più osservabile nel 2018, dove essi sono sostituiti da sabbia molto fine e silt. Riguardo a quest'ultimo aspetto, la distribuzione del Dm osservata nel 2018 presenta più analogie con la situazione degli anni 70 che con quella del 2012.

FIGURA 94 In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Bondesan et alii (1978), modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpae 2012-2018.

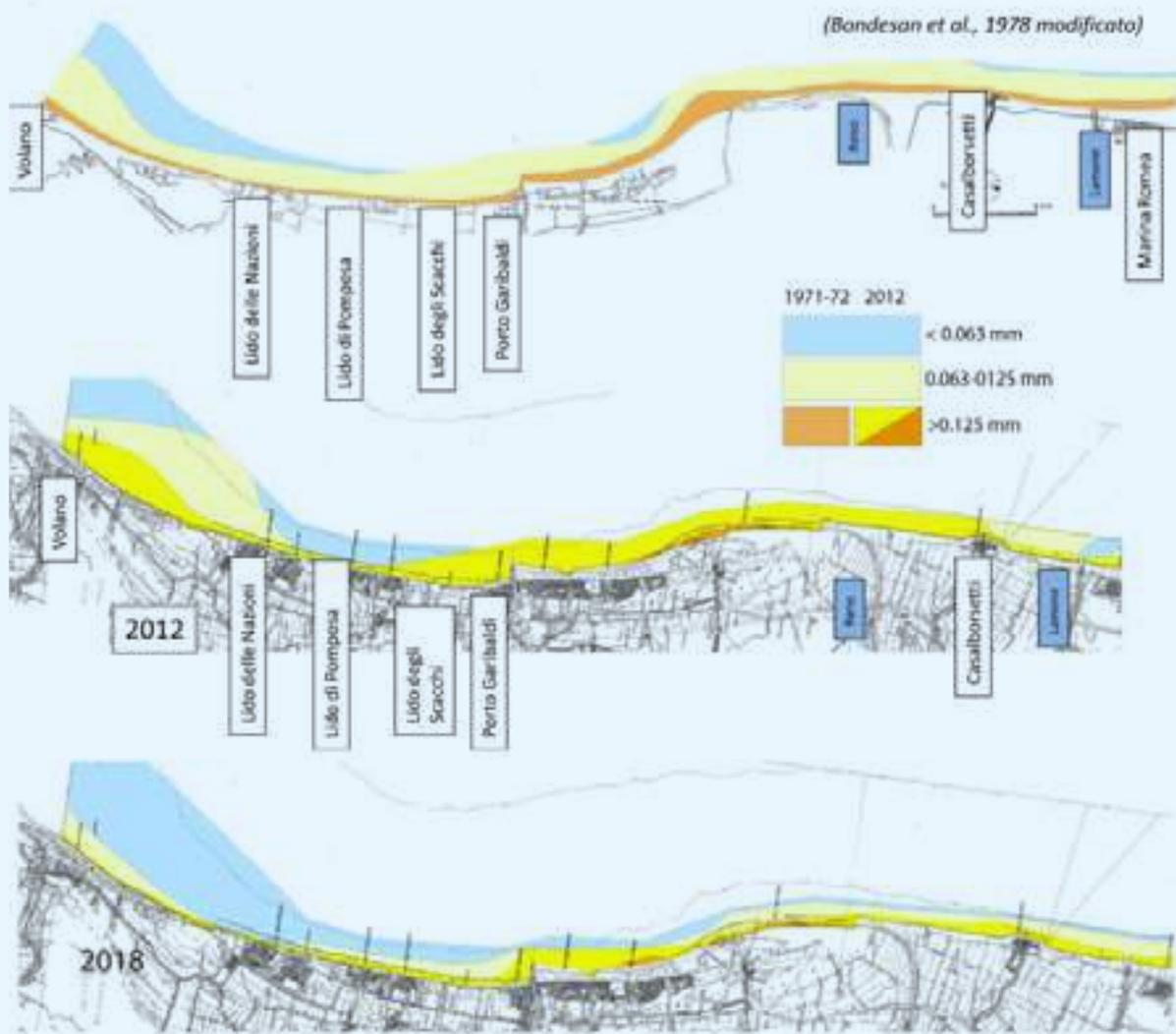


FIGURA 95 In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Bondesan et alii (1978), modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpae 2012-2018.

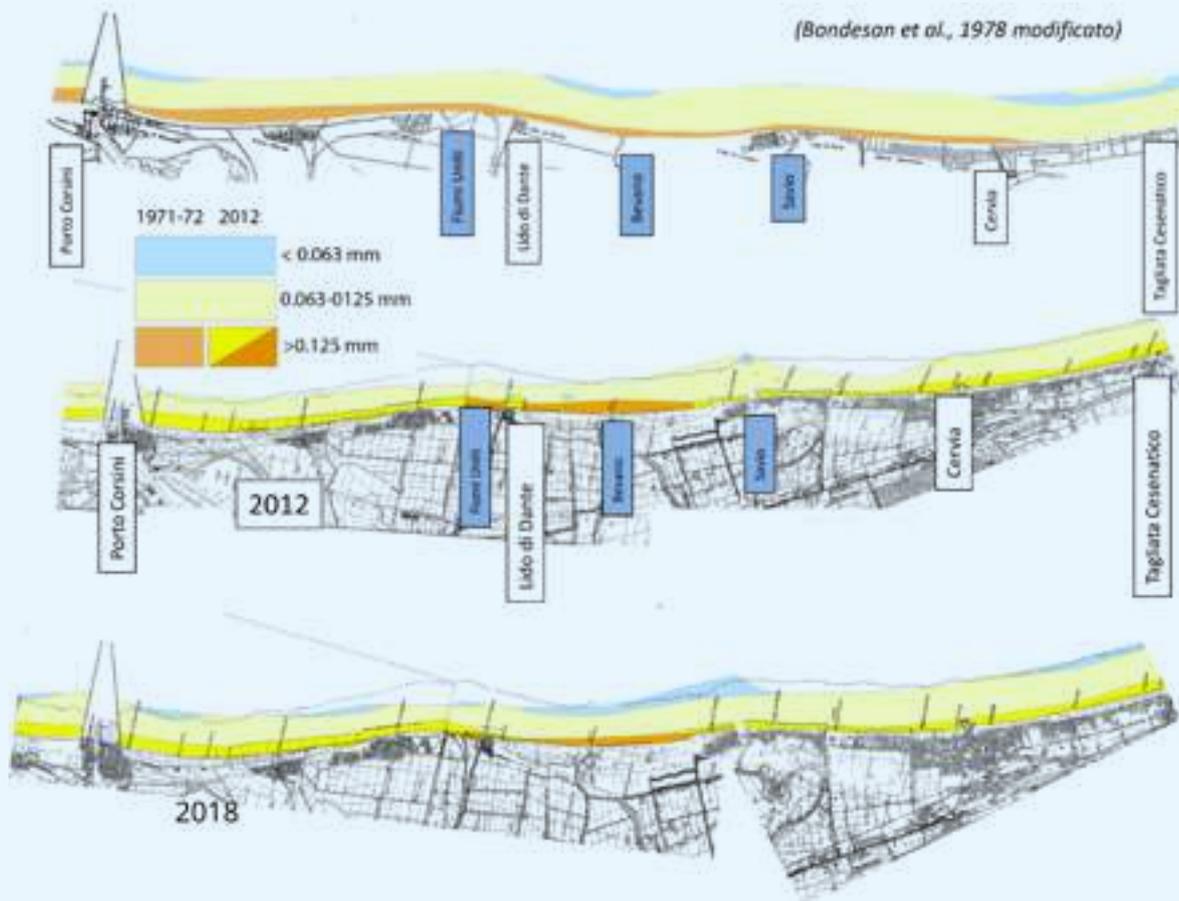


FIGURA 96 In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Dal Cin et alii (1979), modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpae 2012-2018.

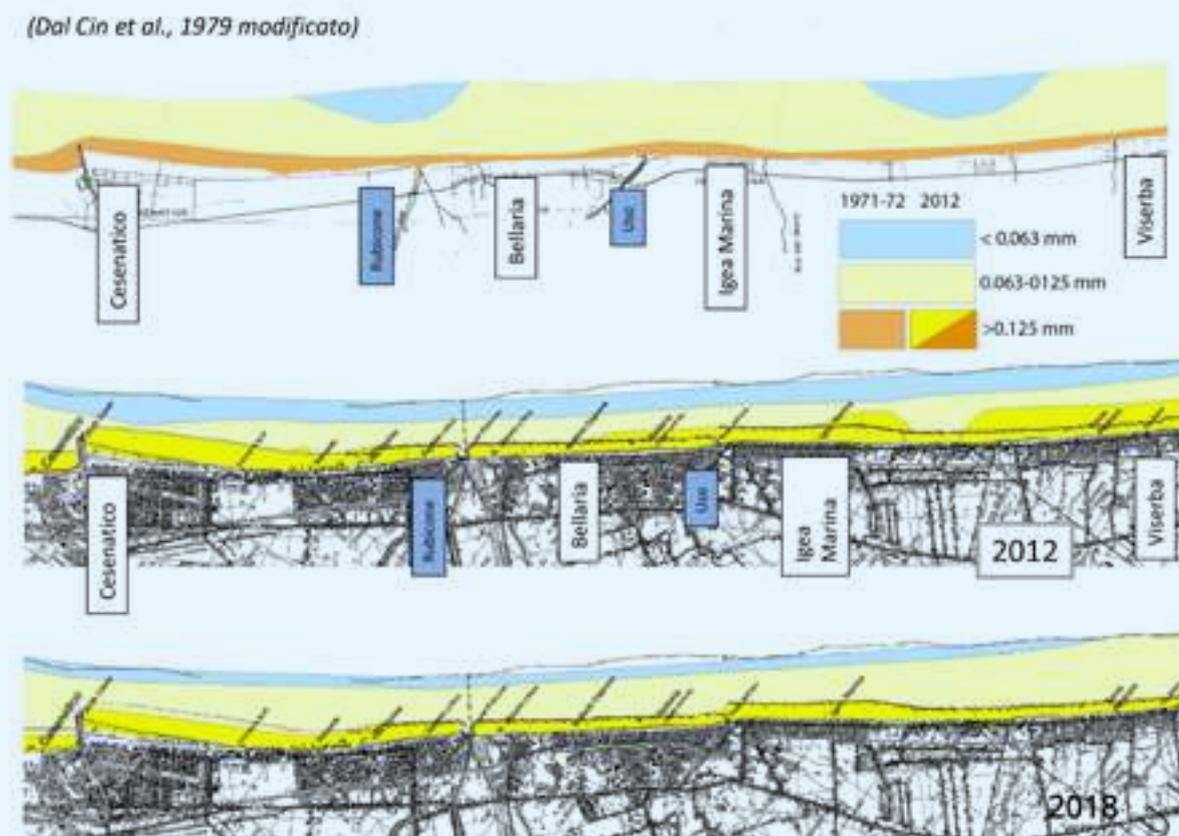
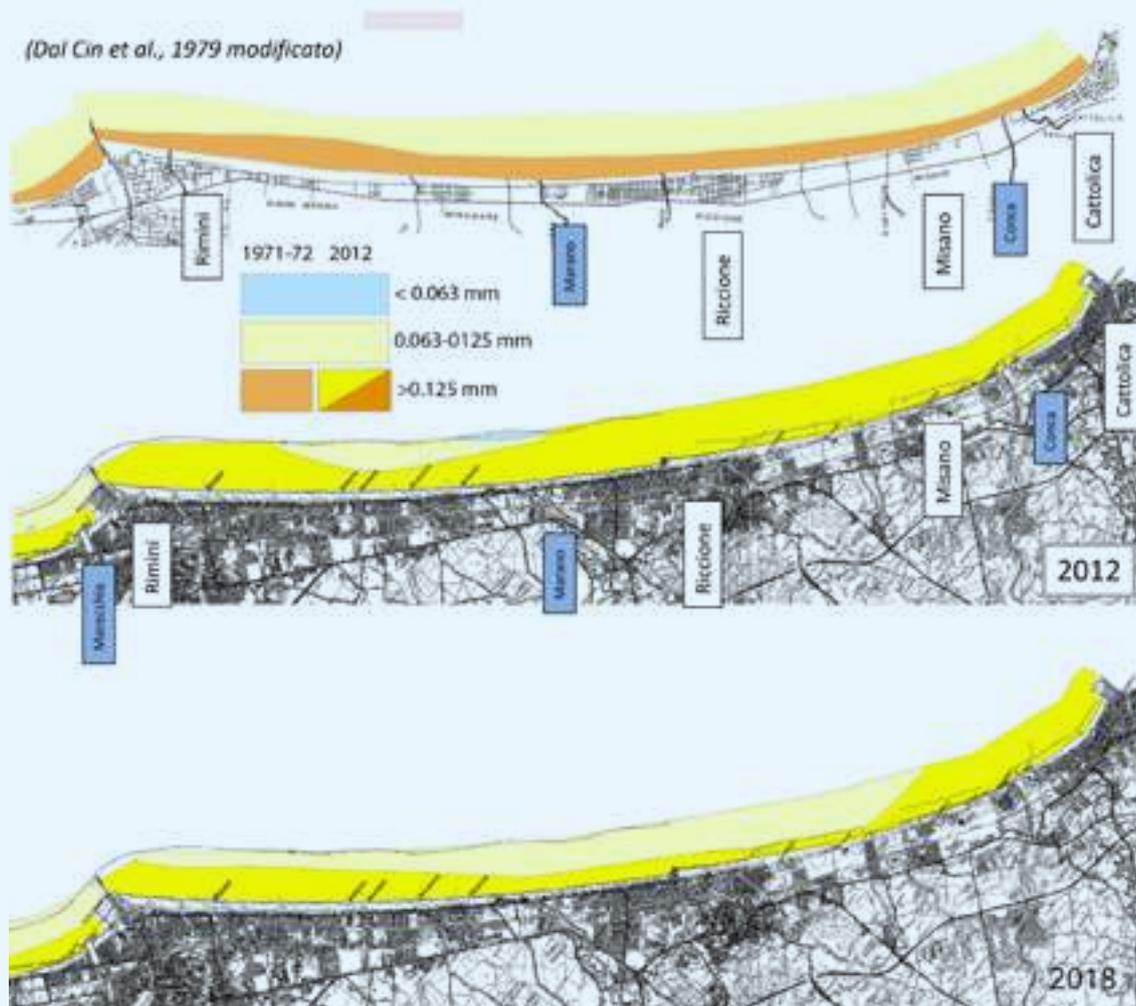


FIGURA 97 In alto: mappa del diametro medio tratta dal lavoro di Dal Cin et alii (1979), modificata; in basso: relativa mappa del diametro medio dai dati Arpae 2012-2018.



8.4 Effetti dei ripascimenti del Progettone 3 a scala del litorale regionale

Il ripascimento del Progettone 3 è stato eseguito nei mesi compresi tra marzo e giugno 2016 e ha interessato 8 spiagge per una lunghezza di alcune centinaia di metri ciascuna: Misano Adriatico, Riccione, Igea Marina, Cesenatico, Milano Marittima, Lido di Dante, Punta Marina e Lido di Spina.

Su 7 spiagge è stato effettuato il ripascimento con sabbia dragata da giacimenti sottomarini collocati sulla piattaforma adriatica, mentre su una spiaggia (Lido di Spina) è stata utilizzata sabbia proveniente dal dragaggio allo sbocco del Logonovo.

I campioni prelevati durante lo sversamento delle sabbie a cantiere aperto (campagna in corso d'opera del 2016), per caratterizzare dal punto di vista sedimentologico il materiale apportato, sono classificabili come sabbie e hanno come componente dominante la sabbia fine (**FIGURA 98**); i sedimenti apportati a Lido di Spina, provenienti dalla foce del Logonovo, si distinguono dalle sabbie sottomarine per una tessitura più grossolana, contraddistinta da una maggiore componente percentuale di sabbia media. Nel grafico del diametro medio (**FIGURA 99**), uno dei due campioni di Lido di Spina (LS_P3_1) mostra un valore del granulo medio che ricade nella classe della sabbia media. La percentuale di pelite si attesta in tutti i campioni al di sotto del 5% e in alcuni è pressoché assente (**FIGURA 98**).

Dall'analisi dei campioni raccolti nell'ambito delle tre campagne di dettaglio condotte per il monitoraggio del Progettone 3 (una *ante operam* nel 2016 e due *post operam* nel 2017 e nel 2018 (Arpae, 2019)) sulle otto spiagge oggetto di intervento, sono stati rilevati alcuni effetti locali prodotti dal ripascimento sulla tessitura dei sedimenti presenti sulle spiagge. L'analisi granulometrica mostra che in tutte e tre le campagne la componente più abbondante è rappresentata sempre dalla sabbia fine, che cresce in percentuale nel 2017, ma ancora di più nel 2018 (Arpae, 2019).

Nel 2017 e 2018, rispetto al 2016, è stata osservata una diminuzione del diametro medio dei sedimenti prossimi alla riva, a causa dell'apporto di materiale prevalentemente costituito da sabbia fine proveniente dai giacimenti al largo. Tale diminuzione è particolarmente evidente in alcuni campioni di Misano, Igea Marina, Milano Marittima e Lido di Dante, che nel 2016 erano più grossolani della media del litorale (Arpae, 2019). In entrambe le campagne di monitoraggio *post operam* sono state poi rilevate evidenze sedimentologiche di migrazione (verso la spiaggia sommersa antistante l'area di intervento) del-

le sabbie di ripascimento, consistenti nell'aumento delle dimensioni granulometriche di alcuni campioni di sedimento collocati entro i 3 m di profondità in alcuni campioni di Misano, Lido di Dante, Igea Marina e Milano Marittima (Arpae, 2019). Evidenze "morfologiche" di tale migrazione sono state rilevate diffusamente tramite le indagini topo-batimetriche, nelle spiagge oggetto di intervento (Arpae, 2019).

Sedimenti sabbiosi a componente pelitica sono presenti con percentuali costanti nelle tre campagne 2016, 2017 e 2018, collocati prevalentemente nella fascia di spiaggia sommersa, non interessata direttamente dal ripascimento (Arpae, 2019). Il ripascimento del 2016 infatti, come già detto, ha riguardato nell'apporto di sedimenti sabbiosi composti da sabbia fine prevalente e pressoché privi di sabbia molto fine e silt. Inoltre, l'intervento ha riguardato solo otto spiagge del litorale regionale, della lunghezza di alcune centinaia di metri ciascuna, interessando la parte prossima alla riva. Sulla base di questi elementi, si è portati a escludere l'esistenza di una relazione tra i cambiamenti sedimentologici colti a scala dell'intero litorale nel confronto dei due rilievi regionali (2012 e 2018) e l'intervento di ripascimento eseguito nel 2016. I cambiamenti osservati nel 2018 rispetto al 2012 hanno valenza a livello regionale, interessano soprattutto la spiaggia sommersa e comunque le profondità superiori al metro e consistono prevalentemente nell'incremento del contenuto in sedimenti relativamente fini (sabbia molto fine e silt). L'unico elemento che si è osservato in modo concorde nei monitoraggi *post operam* e nella campagna sedimentologica 2018 a scala regionale è la diminuzione della granulometria localmente individuata anche sulla spiaggia emersa, ma anche questa tendenza sembra non ricondurre necessariamente a un legame con il ripascimento, dal momento che interessa anche altre spiagge che non sono state oggetto dell'intervento.

FIGURA 98

Rappresentazione delle analisi granulometriche effettuate sui campioni di sedimento prelevati in corso d'opera (2016) sulle otto spiagge interessate dal Progettone 3. MI: Misano; RIC: Riccione, IG: Igea Marina, CE: Cesenatico, MM: Milano Marittima, LD: Lido di Dante, PM: Punta Marina, LS: Lido di Spina.

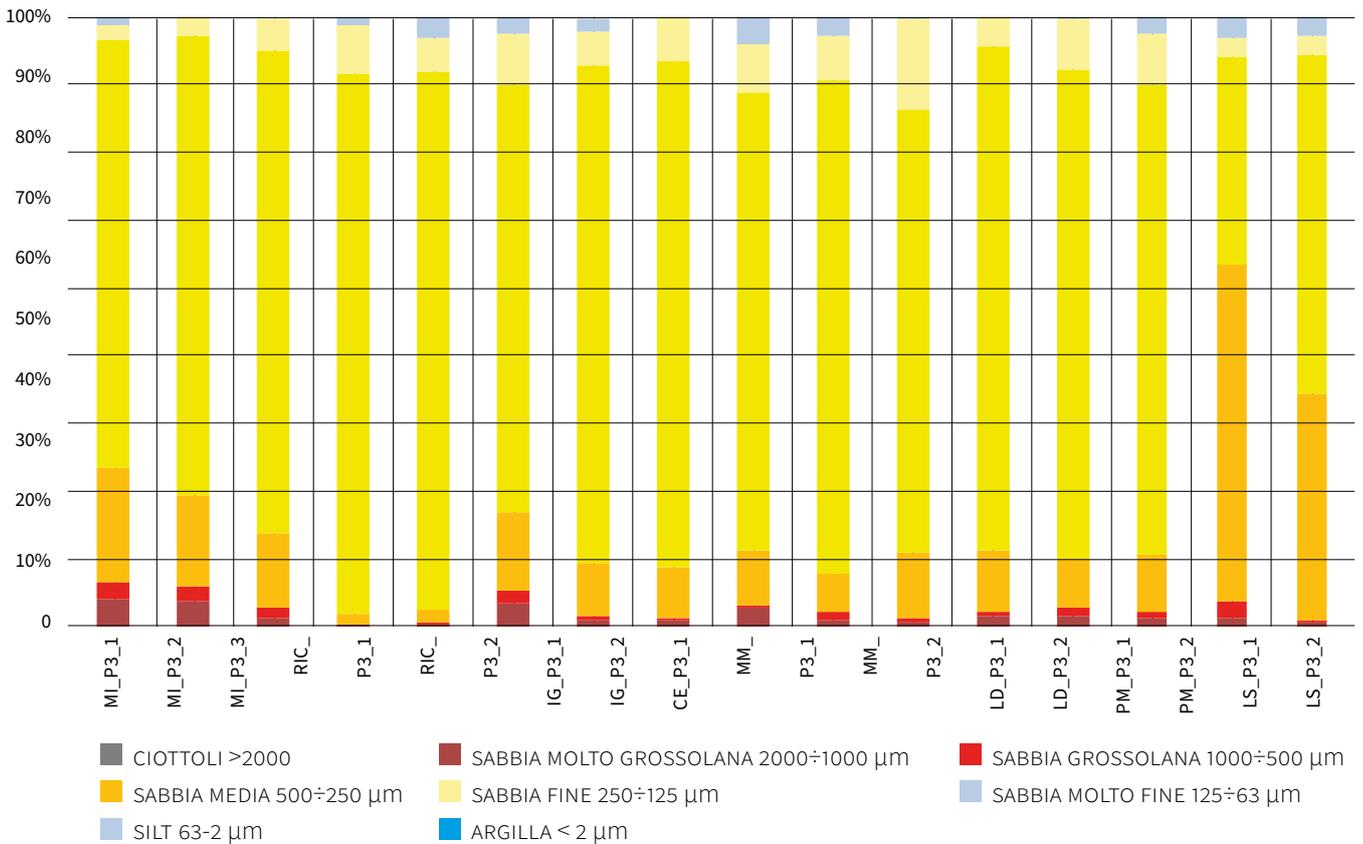


FIGURA 99 Diametro medio dei campioni di sedimento prelevati in corso d'opera (2016) sulle spiagge interessate dal Progettone 3. MI: Misano; RIC: Riccione, IG: Igea Marina, CE: Cesenatico, MM: Milano Marittima, LD: Lido di Dante, PM: Punta Marina, LS: Lido di Spina.



9



9. Stato del litorale ed evoluzione recente (2012-2018)

Di seguito si riporta lo stato e l'evoluzione morfologica recente dell'intero litorale emiliano-romagnolo a partire dai dati della 6^a campagna topo-batimetrica (dicembre 2018) e dal confronto con quelli della 5^a campagna (marzo 2012).

L'analisi è stata effettuata sia a scala di macrocelle che delle singole celle litoranee (**FIGURA 100**) in cui è stato suddiviso il litorale della regionale nell'ambito del "Sistema gestionale delle celle litoranee - Sicell" (AA. VV., 2014).

Per classificare lo stato erosivo del litorale sottocosta, si è fatto riferimento ai due indicatori di stato ASE e ASPE, (**FIGURA 101 E FIGURA 102**) che rappresentano rispettivamente lo stato in cui si trova il litorale al 2018 e nel quale si troverebbe in assenza degli interventi di difesa costiera quali ripascimento, prelievi di sabbia, realizzazione o manutenzione di opere (Aguzzi et alii, 2012; Arpa 2012).

Si ricorda che nella classificazione ASE e ASPE sono escluse le celle relative alle foci dei fiumi e dei canali, alle darsene, ai porti canale e la parte interna della Sacca di Goro.

Nell'analisi sono stati considerati tutti i dati messi a disposizione dai Servizi della Protezione Civile e da alcuni comuni costieri, degli interventi di ripascimento, di prelievo di sabbia, di realizzazione di nuove opere o di manutenzione realizzati nel periodo in esame.

È stata effettuata la stima della perdita in volume di spiaggia dovuta al fenomeno della subsidenza a partire dai dati di velocità di abbassamento del territorio del periodo 2011-2016, ossia gli ultimi disponibili.

È stata determinata l'ampiezza della spiaggia emersa al 2012 e al 2018 e la sua variazione. In questo contesto, per ampiezza

della spiaggia emersa si intende la distanza tra la linea di riva (insieme dei punti a quota 0 m) e la linea di base a terra, che è rappresentata dal piede della duna naturale, o dal primo punto a terra non erodibile, corrispondente di solito a un muretto o a un marciapiede, situato nel retro degli stabilimenti balneari.

La valutazione della possibilità di inondazione della spiaggia emersa è stata effettuata con riferimento ai valori dell'innalzamento della superficie del mare in funzione del tempo di ritorno degli eventi meteo marini riportati nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Regione Emilia-Romagna (**TABELLA 16**, Regione Emilia-Romagna, 2016).

TABELLA 16 Innalzamento della superficie del mare in funzione del tempo di ritorno.

<i>Tempo di ritorno (anni)</i>	<i>Innalzamento della superficie del mare (m)</i>
>>100 (super 100)	2,50
100	1,81
10	1,49

FIGURA 100 Litorale emiliano-romagnolo: macrocelle e celle di gestione del litorale.



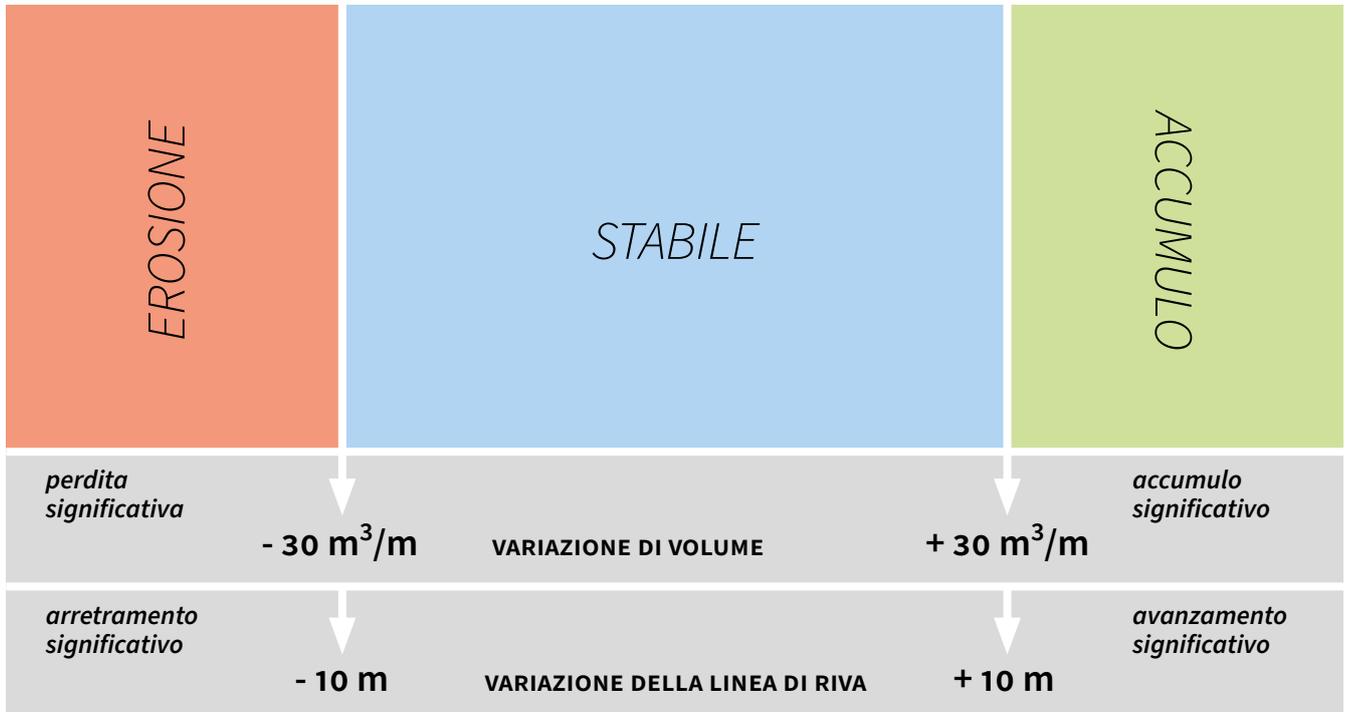


FIGURA 101 Schema dell'indicatore ASE.

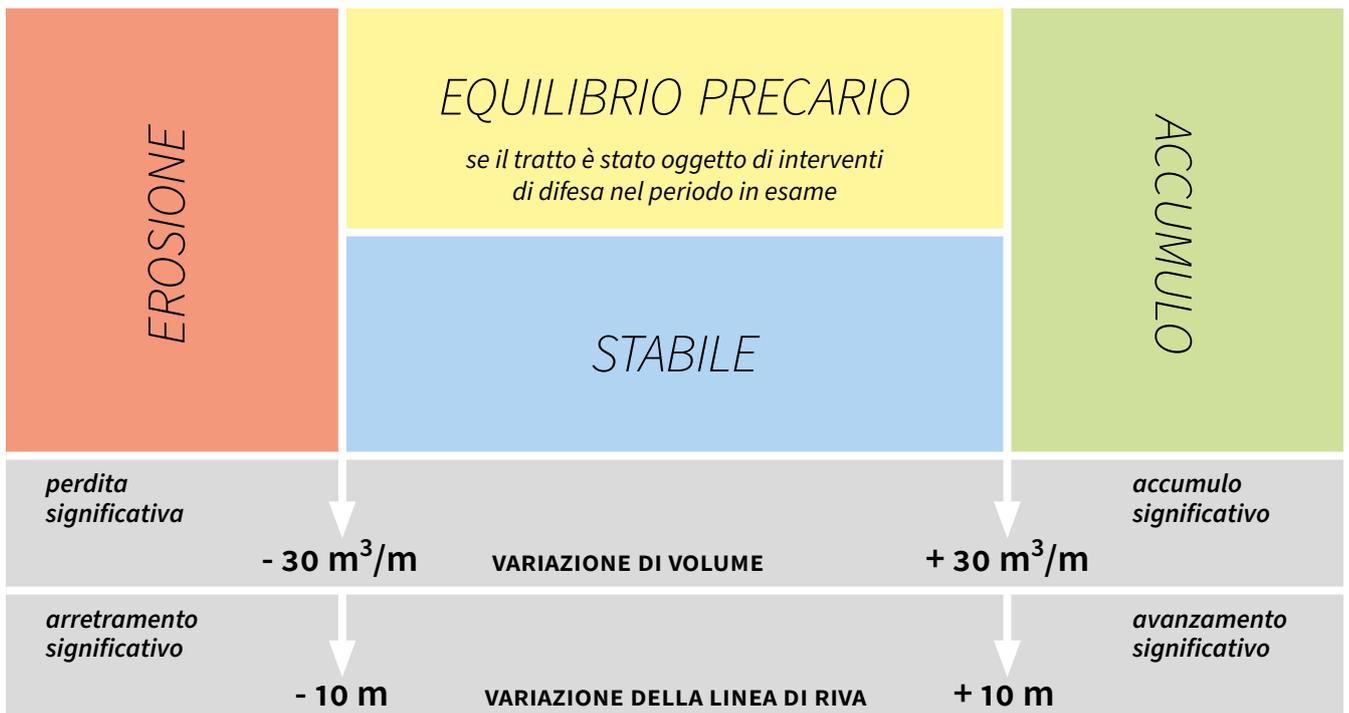


FIGURA 102 Schema dell'indicatore ASPE.

9.1 Cattolica – Molo di Rimini

Il paraggio tra i moli del portocanale di Cattolica e il molo di levante del portocanale di Rimini (macrocella 1), lungo 19.300 m, comprende i litorali dei comuni di Cattolica, Misano e Riccione, e la parte del comune di Rimini a sud del molo (**TABELLA 17, FIGURA 103, FIGURA 104, FIGURA 114 E FIGURA 115**).

Le fonti naturali di sedimento che alimentano questo paraggio sono quelle provenienti dal litorale marchigiano e dal fiume Conca.

La riduzione dell'apporto solido naturale (apporto fluviale e da tratti costieri limitrofi), già manifestatasi alla fine della prima metà del XX secolo, e il trasporto solido lungo costa diretto prevalentemente da sud verso nord, sono i due fattori che governano l'evoluzione di questo paraggio. Le spiagge a sud, non più sufficientemente alimentate, sono andate in erosione, mentre quelle più a nord sono in equilibrio o in avanzamento in virtù della presenza del molo di Rimini che ostacola il trasporto lungo costa dei sedimenti provenienti da sud.

Per difendere i litorali dal moto ondoso e dall'erosione è stata costruita una serie di opere rigide e sono stati realizzati significativi interventi di ripascimento (Arpae, 2016).

Nel periodo marzo 2012 – dicembre 2018, nell'intero tratto compreso tra la spiaggia emersa e la batimetrica dei 2,5 m (o la linea delle scogliere parallele emerse), si è riscontrato un accumulo di sedimento di circa 600.000 mc, pari quindi a un incremento di volume di sedimento sulle spiagge superiore ai 30 mc/m (**TABELLA 17**).

Tutte le spiagge si trovano in una condizione di stabilità o di accumulo, in particolare quelle a nord del porto di Riccione (**TABELLA 17, COLONNA ASE**).

Partendo dai valori di velocità di subsidenza dell'ultimo periodo di misura disponibile (maggio 2011-maggio 2016), dell'ordine di 3-4 mm/anno, su questo tratto di litorale si è stimata una perdita in volume a causa della subsidenza pari a poco più di 80.000 mc,

corrispondenti a circa 4 mc/m di spiaggia.

Questa positiva e omogenea situazione è stata garantita da continui e periodici interventi di ripascimento con i quali sono stati movimentati 726.000 mc di sabbia. Di questi, poco più di un 1/3 (265.000 mc) sono stati paleggiamenti interni alla macrocella da spiagge in accumulo (Cattolica Sud, Misano Scogliere, Fogliano Marina e Miramare), da bocche fluviali o portuali, e da sabbia proveniente dalla vagliatura di materiale derivante dalla pulizia delle spiagge, mentre circa 2/3 (461.000 mc) provengono da fonti esterne. La maggior parte di questo materiale è stato apportato durante l'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato nel 2016 sulle spiagge di Misano Pennelli (**FIGURA 105**), Riccione Sud e Riccione Centro (433.700 mc), e una minima parte proviene da scavi edili (27.300 mc).

In alcune aree, inoltre, sono stati effettuati degli interventi di ricarica delle scogliere in roccia e delle barriere in sacchi pieni di sabbia.

In assenza di questi interventi la situazione sarebbe più eterogenea (**TABELLA 17, COLONNA ASPE**), e diverse spiagge sarebbero in equilibrio precario (P) o in erosione (E). Nel tratto di litorale che si estende da Cattolica a Porto Verde Scogliera Radente, interamente difeso da opere rigide, i prelievi di sabbia delle zone in accumulo (85.730 mc), in particolare di quella che si deposita tra le prime scogliere a nord della darsena di Cattolica e la battigia, e che viene periodicamente dragata per aumentare la circolazione idrica (67.570 mc), compensano più che sufficientemente la necessità di sedimento (37.440 mc) delle zone in sofferenza (**FIGURA 104 E FIGURA 106**).

La spiaggia emersa del litorale di Cattolica (difesa da 17 scogliere parallele emerse) ha un'ampiezza media di 100-130 m, escluso l'ultimo tratto a nord della foce del torrente Ventena ampio circa 50-60 m. La spiaggia ha una configurazione a salienti davanti alle prime 6 scogliere e lineare nella restante parte. Il fondale al piede delle scogliere lato mare ha una profondità di circa 2,0-2,5 m, con

l'eccezione delle prime 6 scogliere poste a sud della foce del Ventena dove si raggiungono i 4,0 m di profondità. Nel 2012 la profondità in quest'ultima zona era mediamente di 3,5 m (**FIGURA 103**).

Nel 2018 è stata salpata una parte (50 m) della prima scogliera parallela emersa a nord della darsena di Cattolica.

La spiaggia emersa ha quote massime inferiori a 1,80 m, e zone anche inferiori a 1,50 m, quindi inondabili da innalzamenti del mare con tempi di ritorno di 100, e di 10 anni (**FIGURA 107 E FIGURA 108**).

La parte meridionale del litorale di Misano è caratterizzata dalla presenza della foce del fiume Conca, da 2 pocket beach artificiali a sud e a nord dei moli dell'imboccatura del porto di Porto Verde, con spiagge ampie rispettivamente 40 m e 60 m, e da un tratto di litorale difeso da una scogliera radente. Quest'ultimo tratto presenta una piccola spiaggia tra gli edifici e la scogliera radente, inoltre il continuo processo di accumulo di sedimento, che si osserva dal 2012 anche nei primi metri di spiaggia sommersa, ha portato alla formazione di una spiaggia emersa di alcuni metri al piede della scogliera, lato mare (**FIGURA 109**).

L'equilibrio delle spiagge del paraggio tra Misano Pennelli e Riccione Centro, altrimenti in forte erosione, è stato garantito da importanti interventi di ripascimento. Infatti, a fronte di un apporto di oltre 600.000 mc sabbia, il bilancio risulta positivo di poco più di 20.000 mc.

Nel tratto di spiaggia di Misano (1.680 m), difeso da una serie di 26 pennelli in roccia e da una barriera sommersa realizzata con sacchi pieni di sabbia, l'apporto medio è stato di 50.000 mc/anno, e la barriera è stata oggetto di ricarica nel 2016 e nel 2017.

La linea di riva ha un andamento rettilineo, la spiaggia emersa ha un'ampiezza media variabile tra 40 m e i 100 m, in funzione della presenza o meno di edifici o stabilimenti balneari tra la battigia e la via Litoranea, e raggiunge i 2 m di quota quasi ovunque. In prossimità della barriera in sacchi si osserva la

tendenza all'accumulo di sabbia sul lato mare e all'approfondimento lato terra (**FIGURA 110**).

Il tratto di spiaggia di Misano, difeso con 7 scogliere parallele emerse (755 m), continua a essere una zona in accumulo, anche sovrabbondante; infatti è necessario effettuare periodici dragaggi per garantire un sufficiente battente d'acqua per la balneazione e il ricambio idrico. La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 120 m, presenta una conformazione a tomboli, e lambisce le scogliere (**FIGURA 111**).

Sul litorale di Riccione Sud (1.000 m) e Centro (1.850 m), difeso da una barriera in sacchi, l'apporto di sabbia è stato di circa 48.000 mc/anno. La barriera è stata oggetto di ricarica nel periodo 2016-2017 (**FIGURA 112**). In prossimità della barriera in sacchi, anche se in maniera meno marcata di Misano, si osserva la tendenza all'accumulo di sabbia sul lato mare e all'approfondimento sul lato terra (**FIGURA 104 E FIGURA 113**).

In questo paraggio, nel periodo 2016-2018, nell'ambito di 2 interventi sperimentali sono stati posizionati alcuni moduli WMesh e Reefball in calcestruzzo.

La spiaggia emersa ha un'ampiezza minima di 60-70 m nel tratto prossimo al confine con Misano, zona caratterizzata dalla presenza della falcata erosiva causata dalle scogliere, e tende ad allargarsi fino a raggiungere i 100-120 m. Ampi tratti della spiaggia emersa sono caratterizzati da quote massime comprese tra 1,5-1,8 m, quindi inondabili da eventi meteo marini con tempo di ritorno di 10 e 100 anni.

Il tratto di litorale da Riccione Porto fino al molo di levante di Rimini (lungo 11 km) non è difeso da opere (**FIGURA 114 E FIGURA 115**). Le spiagge sono stabili o in accumulo, con un bilancio positivo di oltre 570.000 mc, a cui va aggiunto un prelievo, al netto di alcuni apporti, di 100.000 mc, utilizzato per il ripascimento delle spiagge a sud (**TABELLA 17 E FIGURA 116**). Considerando la deriva sud-nord del trasporto solido e l'assenza di fonti di alimentazione fluviali, è evidente che l'arrivo di sabbia su queste spiagge sia garantito anche dai ripascimenti effettuati nelle spiagge a sud, e

principalmente dagli oltre 430.000 mc di sabbia apportati nel 2016 con il Progettone 2016.

La spiaggia emersa di Riccione Porto ha un'ampiezza media di 120-140 m, mentre più a nord tende ad ampliarsi spostandosi dalla zona a ridosso del porto di Riccione (mediamente 100 m) a quella a ridosso del molo di levante di Rimini (mediamente 180 m). In un tratto di spiaggia di circa 500 m, in prossimità dello scaricatore Ausa, non è stato possibile effettuare il rilievo a causa della presenza del cantiere per la posa delle nuove condotte di scarico delle acque a mare (FIGURA 117).

Le spiagge di questo litorale, pur essendo ampie e in accumulo, sono caratterizzate da quote massime di modesta entità, come nei primi km a sud del molo di levante di Rimini, risultando quindi inondabili anche in seguito a eventi meteo marini con tempi di ritorno di 10 e 100 anni (FIGURA 118 E FIGURA 119).

TABELLA 17

Litorale Cattolica – Molo di Rimini (M1): Variazione di volume (DV), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre), e indicatori di stato delle spiagge ASE e ASPE nel periodo 2012-2018 (lunghezze in m, volumi in mc).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	ASE	ASPE
01	Bocca Tavollo	55	-3.769	188	0	7.300	-	-
02	Darsena di Cattolica	250	-14.668	810	0	0	-	-
03	Cattolica Sud	1.230	5.707	3235	0	67.570	S	A
04	Cattolica Nord	615	-3.607	1798	27.400	0	S	E
05	Foce Ventena	40	-694	43	0	5.700	-	-
06	Colonia Navi	260	-1.910	666	0	3.000	S	S
07	Foce Conca	175	5.561	256	2.000	0	-	-
08	Porto Verde Sud	65	525	75	1.800	1.500	S	P
09	Canale Porto Verde	40	24	22	0	660	-	-
10	Porto Verde Nord	165	4.353	222	3.380	0	S	P
11	Porto Verde Scogliera Radente	220	9.814	312	2.860	0	A	A
12	Misano Pennelli	1.680	-23.141	4398	335.524	2.960	S	E
13	Misano Scogliere	755	30.776	1679	2.000	22.780	A	A
14	Riccione Sud	1.000	22.894	2481	272.432	0	S	E
15	Riccione Centro	1.850	-3.507	5878	47.700	0	S	P
16	Riccione Porto	570	-7.902	3063	0	0	S	S
17	Darsena di Riccione Sud	50	-576	208	0	0	-	-
18	Riccione Portocanale	25	84	86	0	26.200	-	-
19	Darsena di Riccione Nord	60	-963	164	0	0	-	-
20	Riccione Alba Sud	840	34.941	4364	29.790	0	A	P
21	Riccione Alba Nord	1.250	112.544	4223	0	4.060	A	A
22	Foce Marano	45	188	102	0	0	-	-
23	Fogliano Marina	610	43.315	2144	0	35.940	A	A
24	Miramare	6.190	323.831	36191	1.320	66.626	A	A
25	Rimini Centro	1.350	68.427	10160	0	0	A	A
	Totale complessivo	19.390	602.247	82768	726.206	244.296		

N.B. In Vrip sono computati i 20.900 mc di sabbia portati a ripascimento recuperati dalla vagliatura del materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge della macrocella 1, ma non sono riportati in Vpre in quanto non è nota la cella di provenienza.

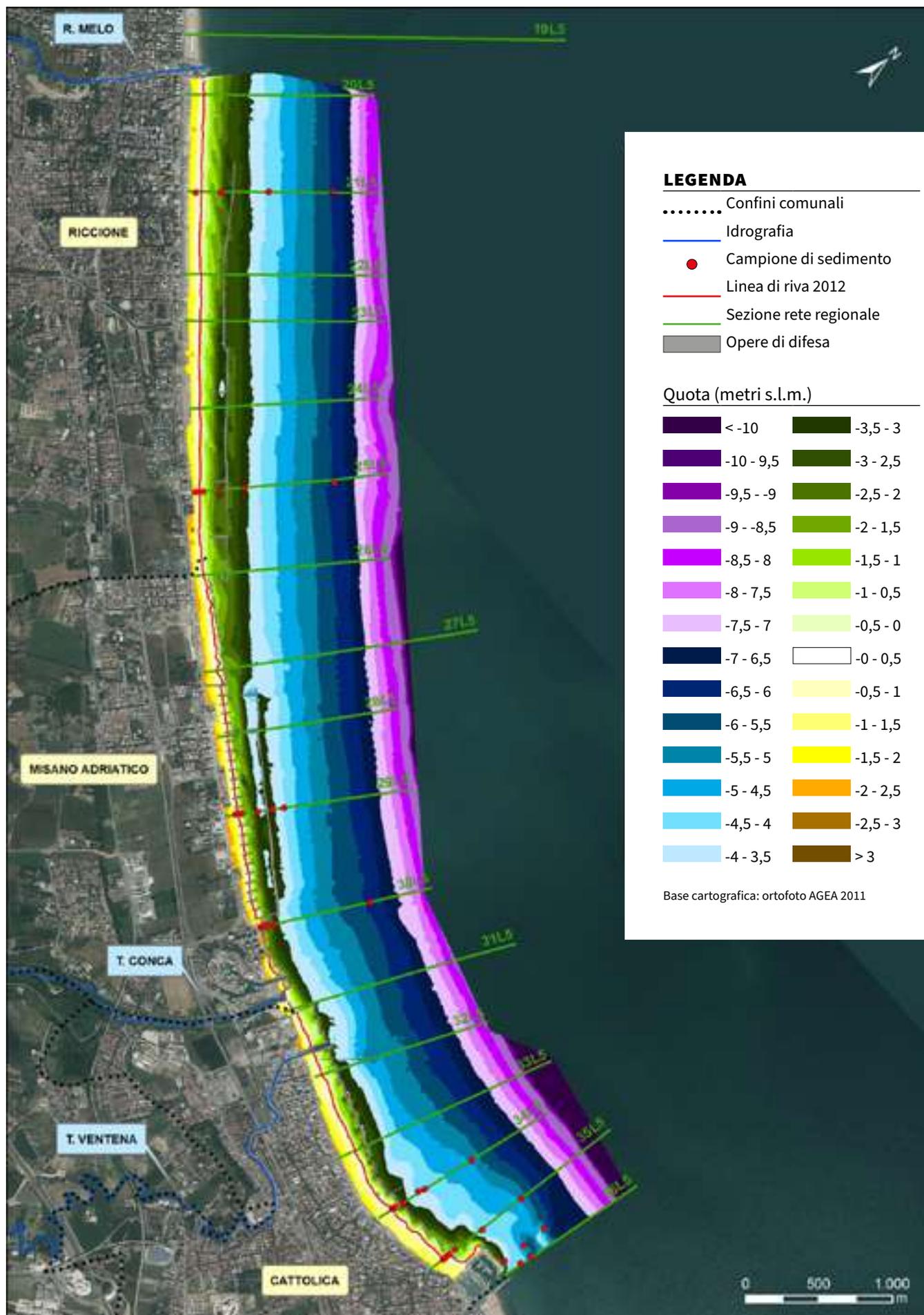


FIGURA 103 Cattolica – Porto di Riccione: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

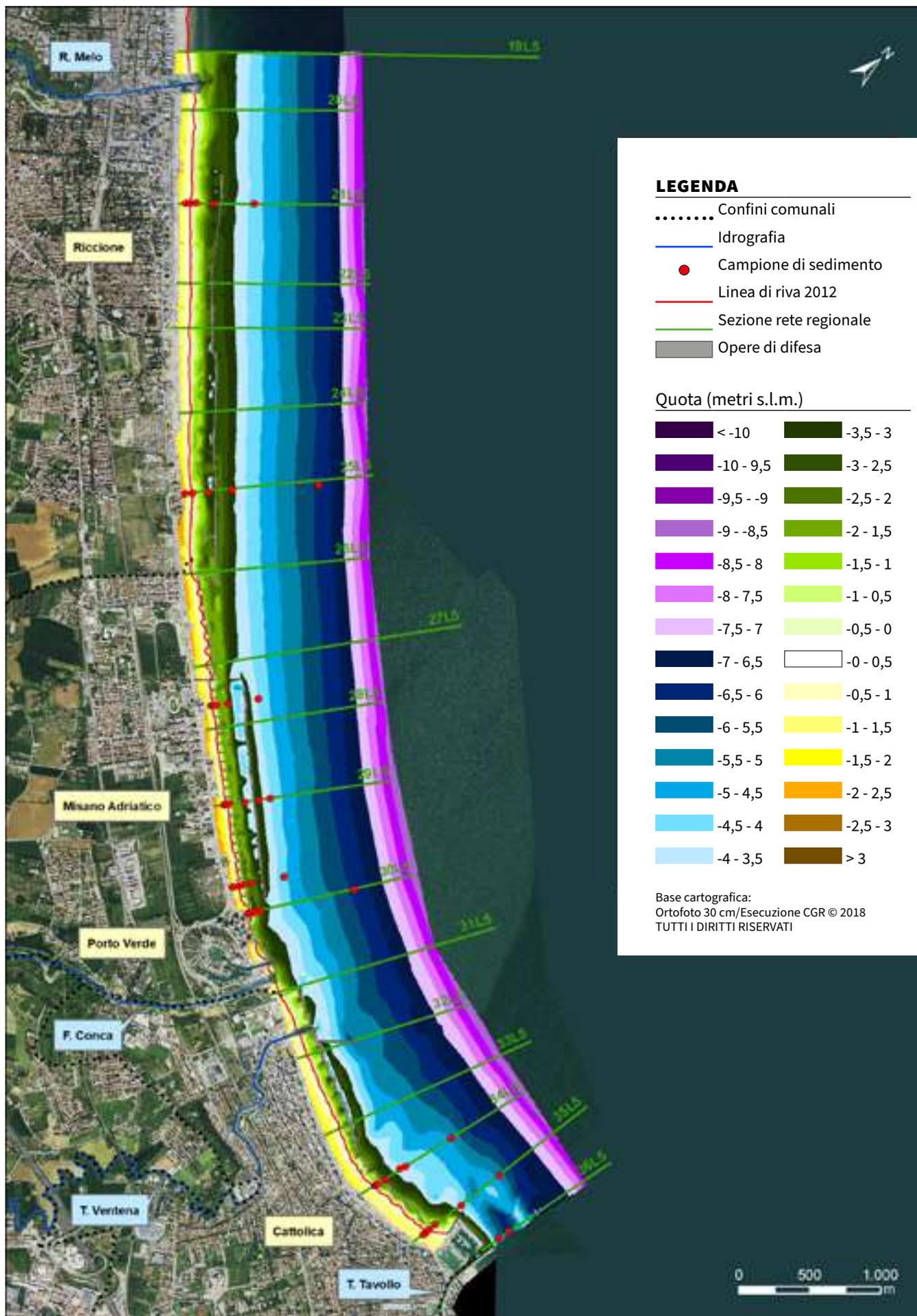


FIGURA 104 Cattolica – Porto di Riccione: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).



FIGURA 105 Misano: operazione di ripascimento e profilatura della spiaggia (aprile 2016).

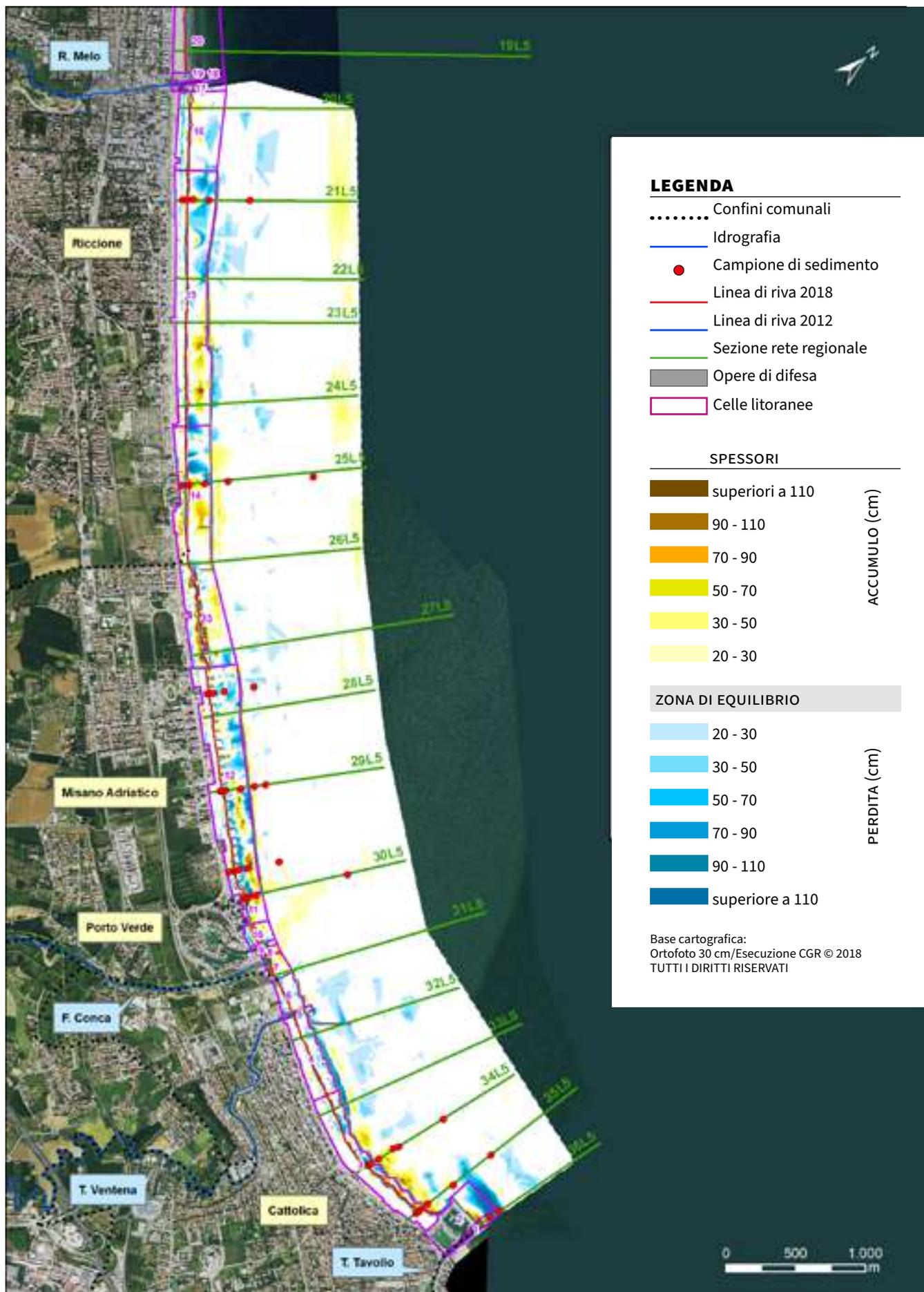


FIGURA 106 Cattolica – Porto di Riccione: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018.

FIGURA 107 Cattolica Sud (cella 3): Profilo 34L5.

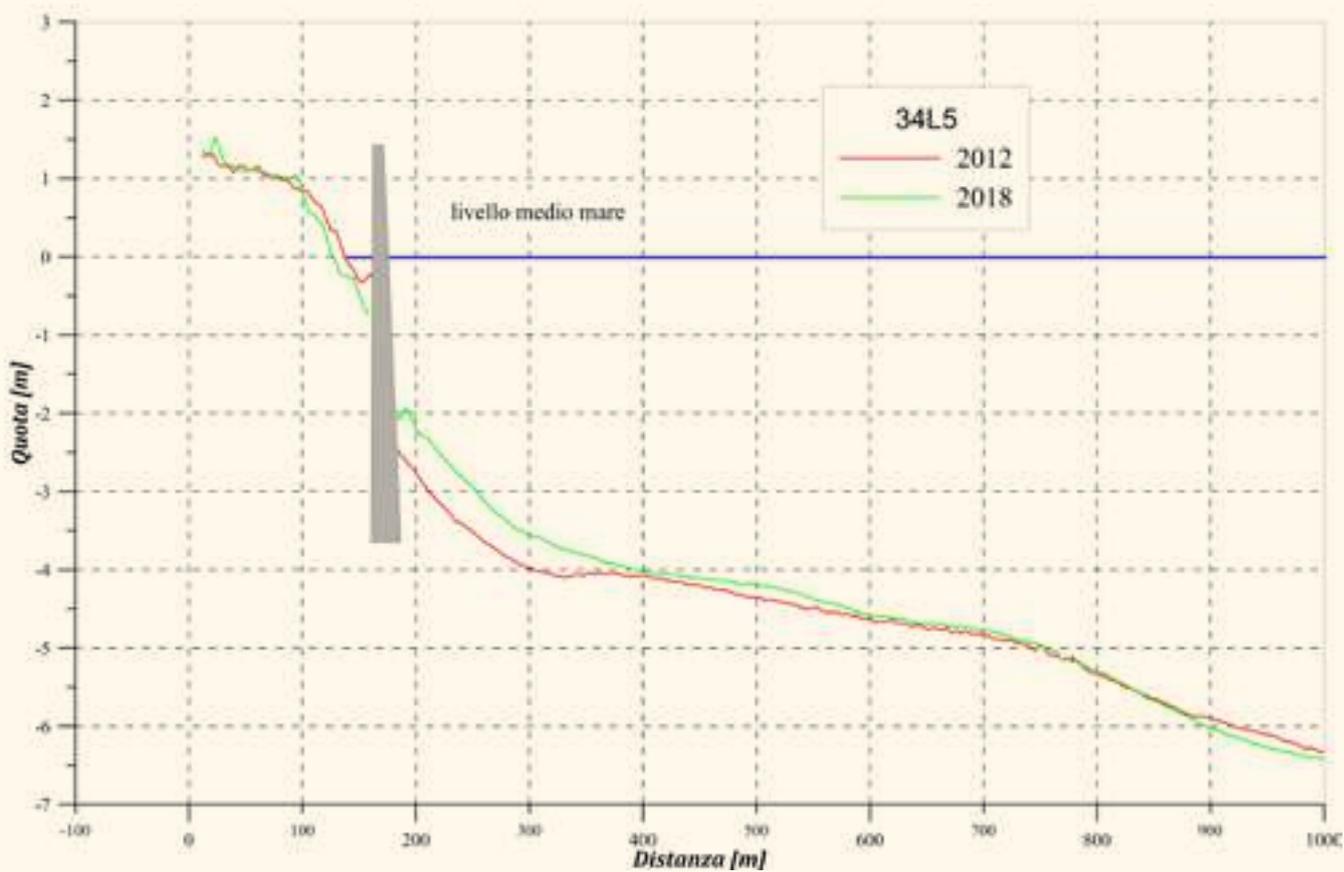


FIGURA 108 Cattolica Nord (cella 4): Profilo 32L5.

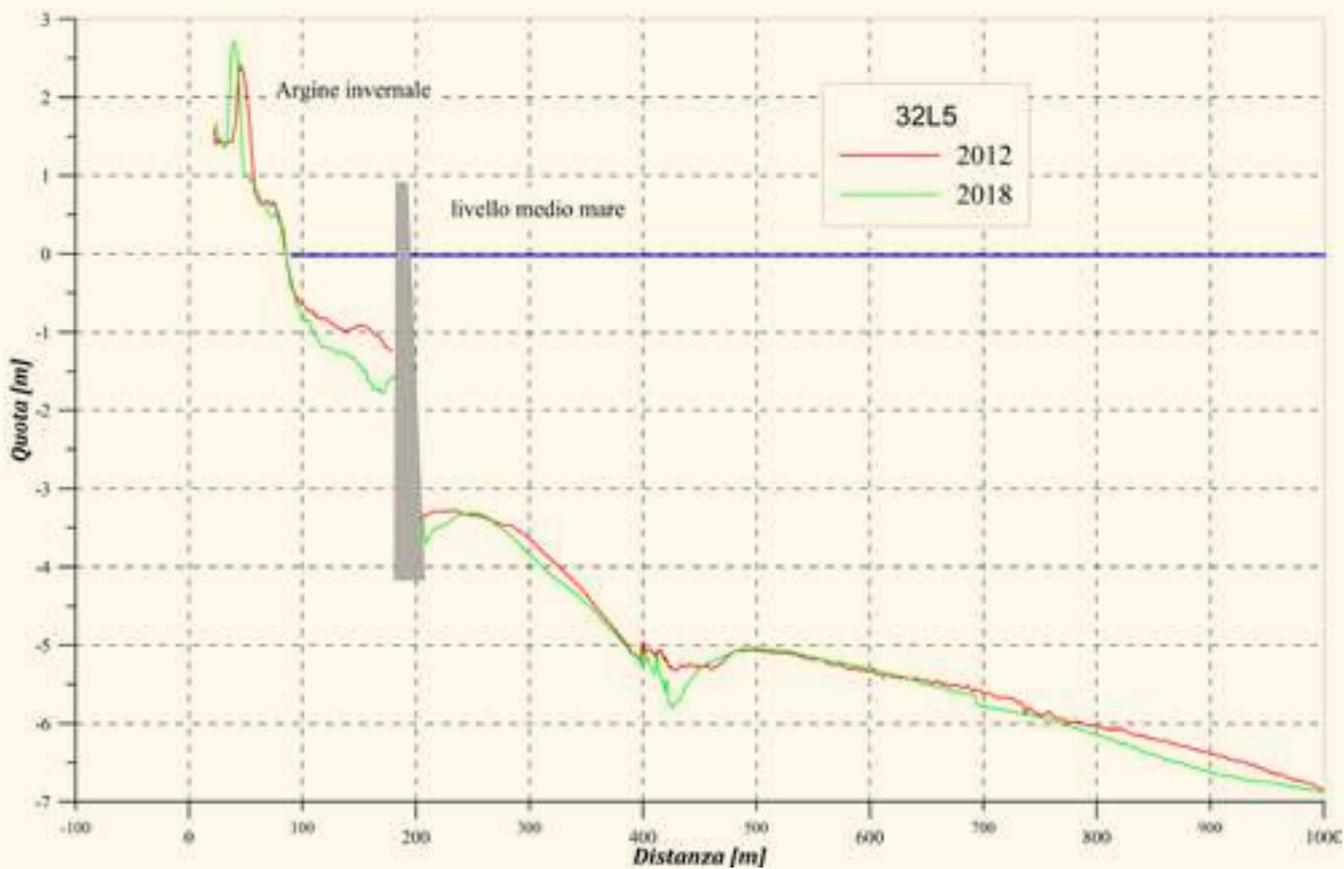


FIGURA 109 Porto Verde Scogliera Radente (cella 11): Profilo 30L5.

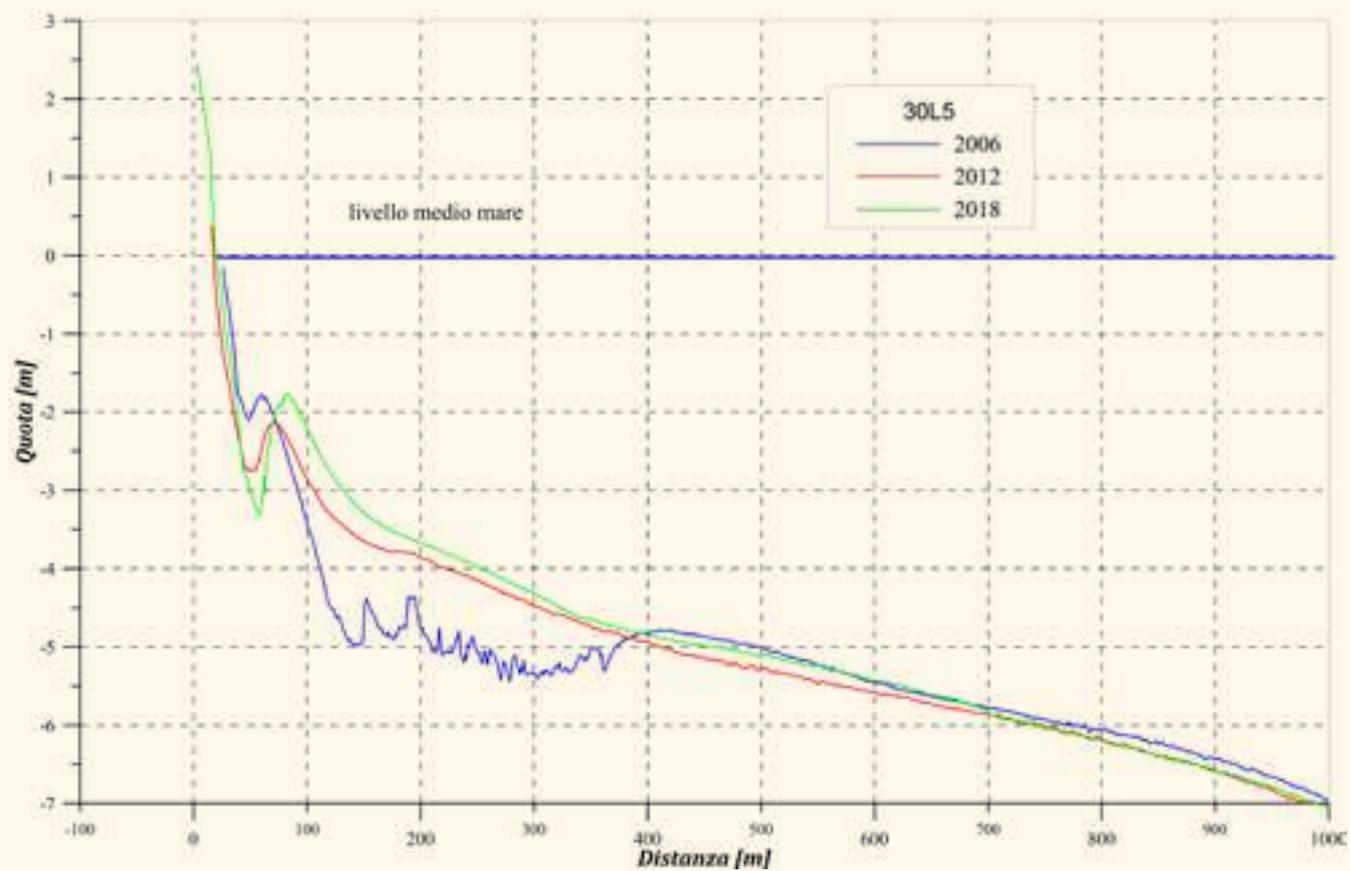


FIGURA 110 Misano Pennelli (cella 12): Profilo 29L5.

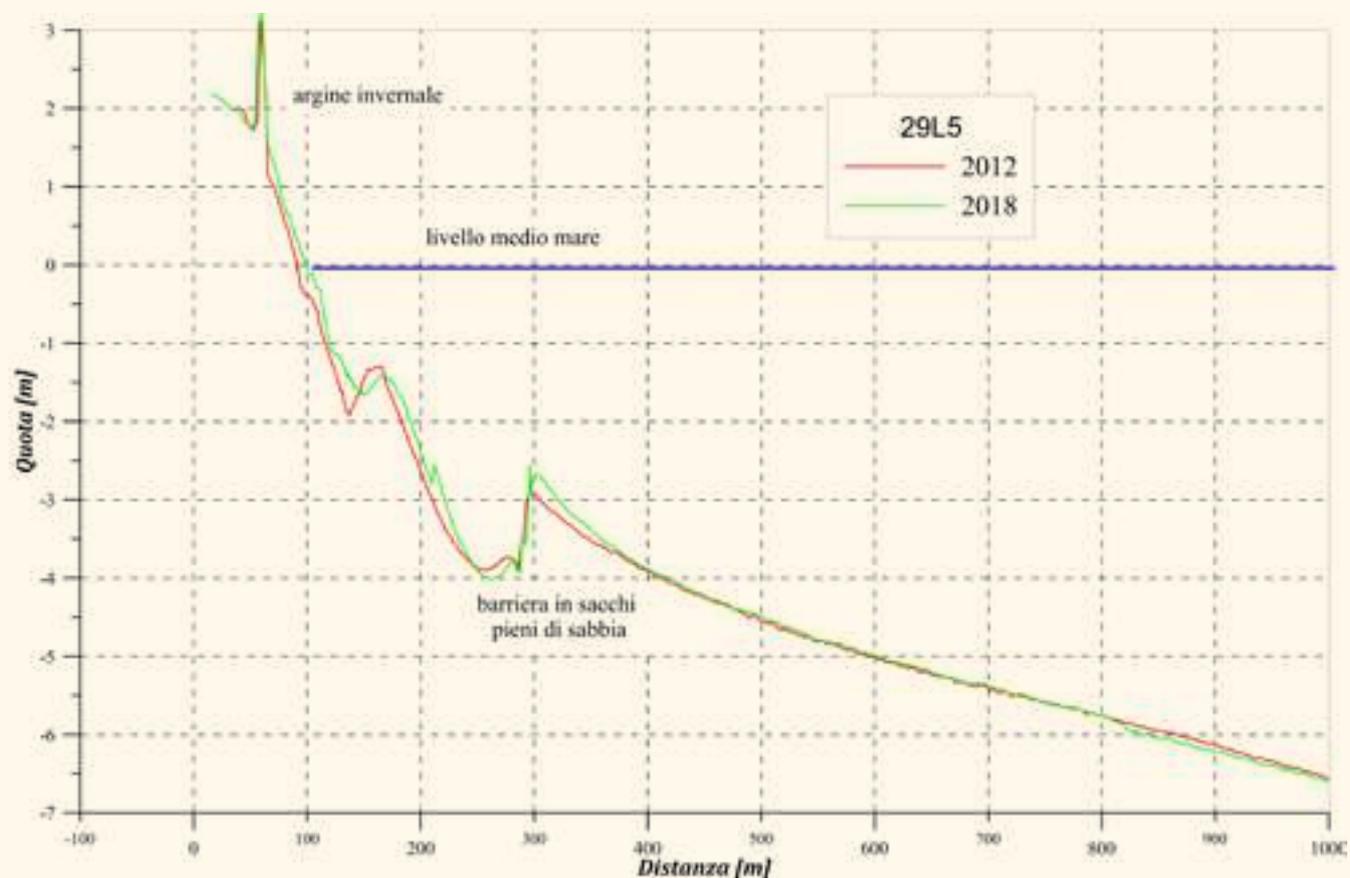


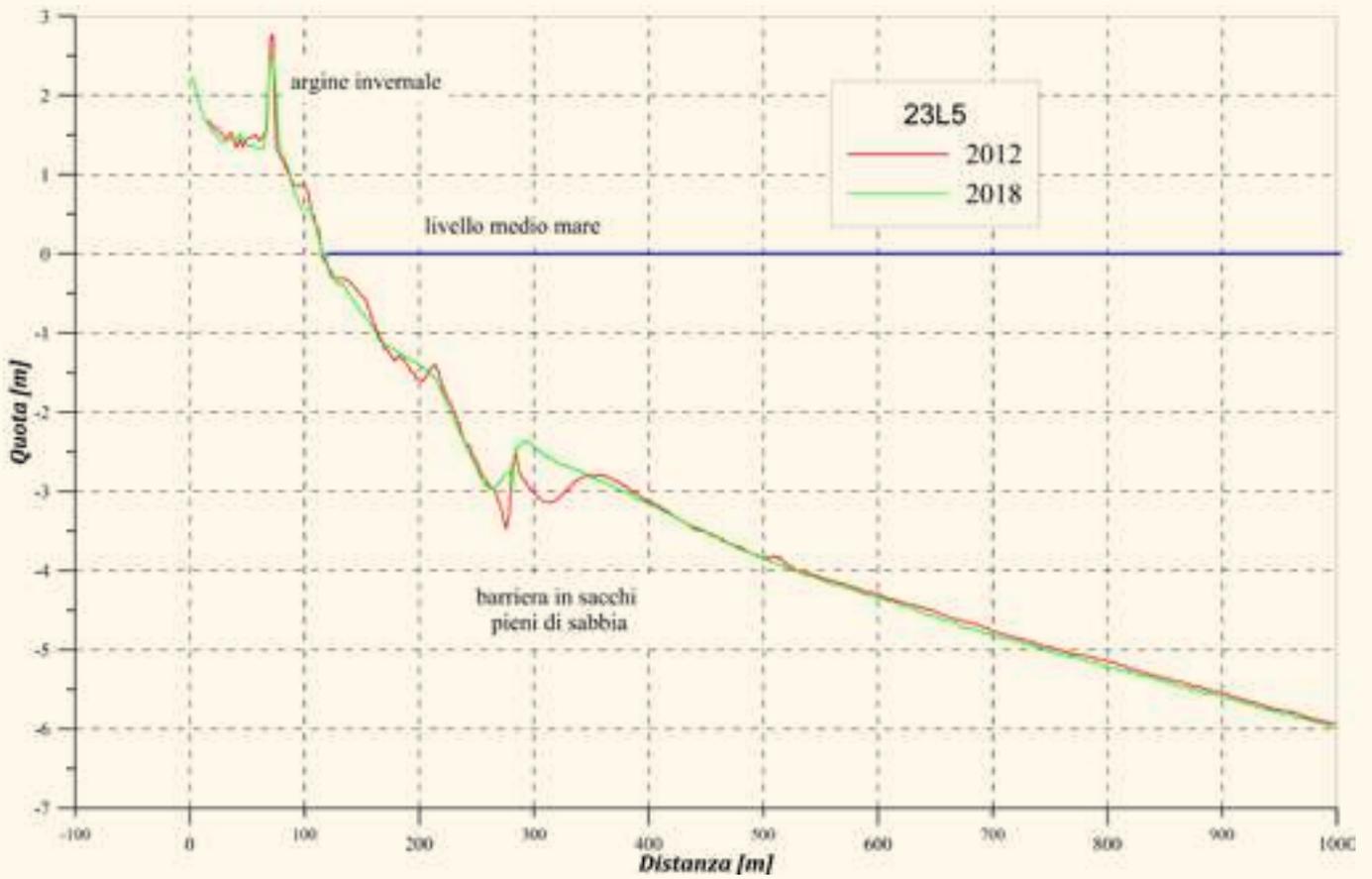


FIGURA 111 Misano scogliere (cella 13).



FIGURA 112 Riccione: operazioni di ricarica della barriera in sacchi piena di sabbia.

FIGURA 113 Riccione Centro (cella 15): Profilo 23L5.



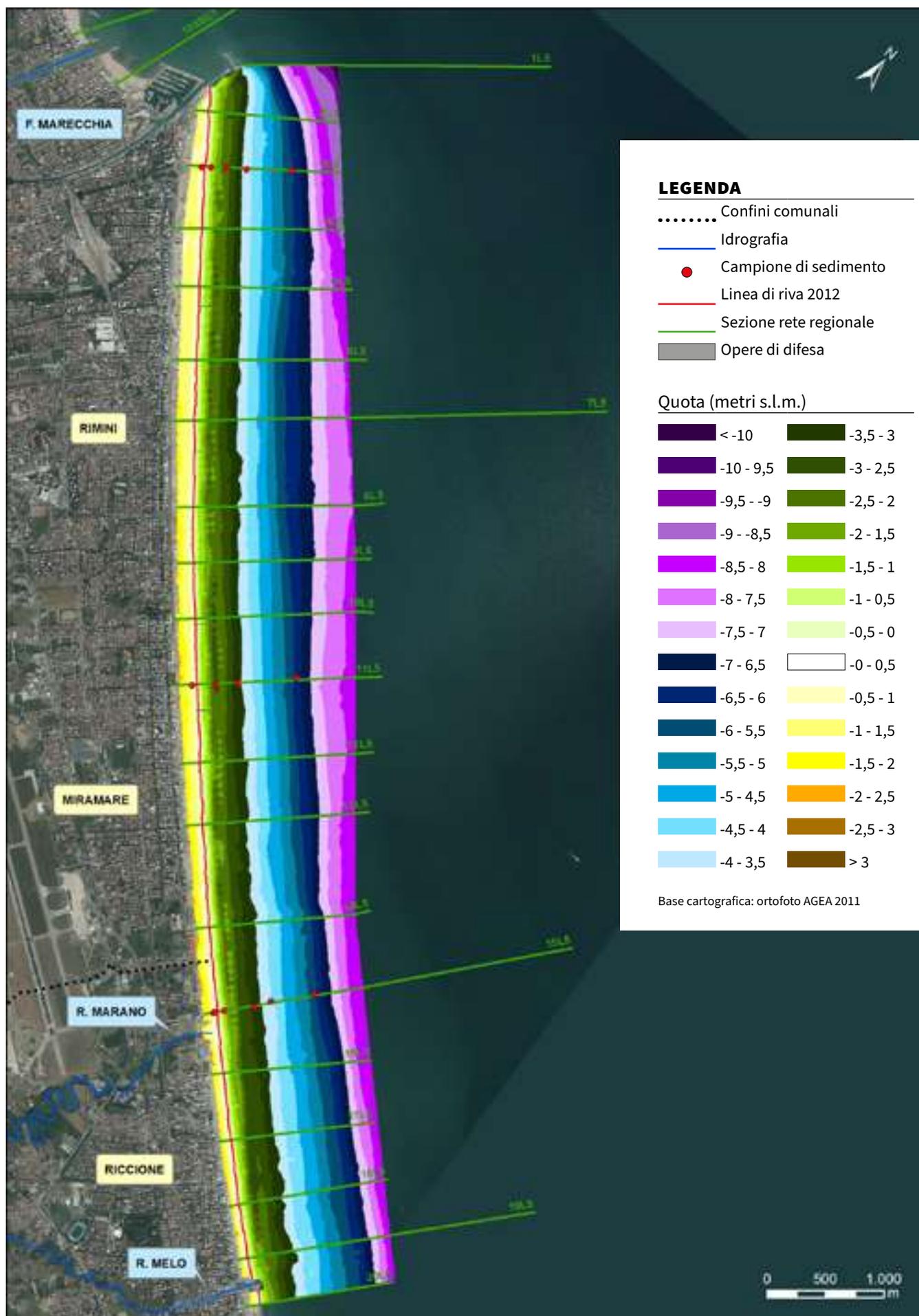


FIGURA 114 Porto di Riccione - Moli di Rimini: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

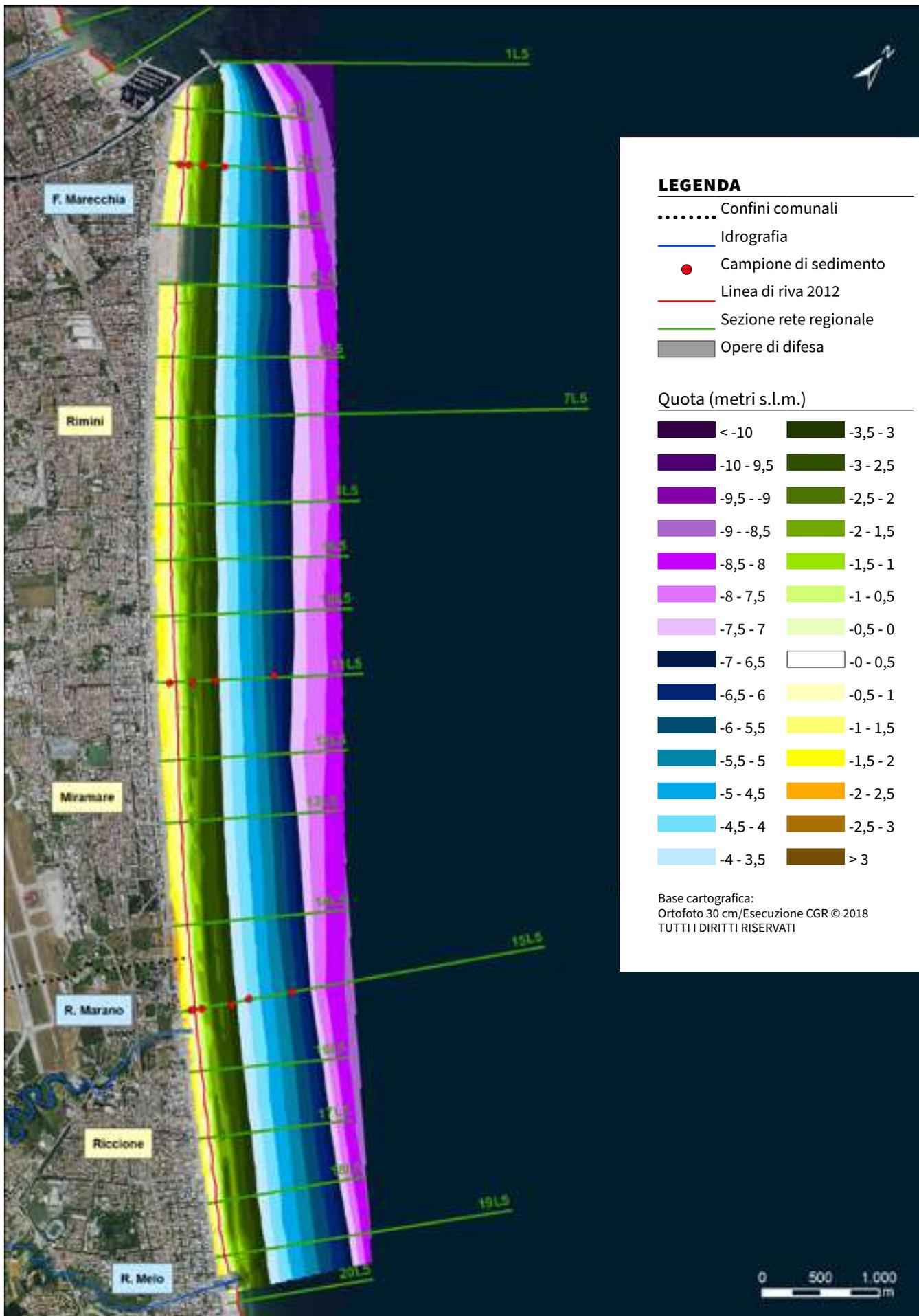


FIGURA 115 Porto di Riccione – Moli di Rimini: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

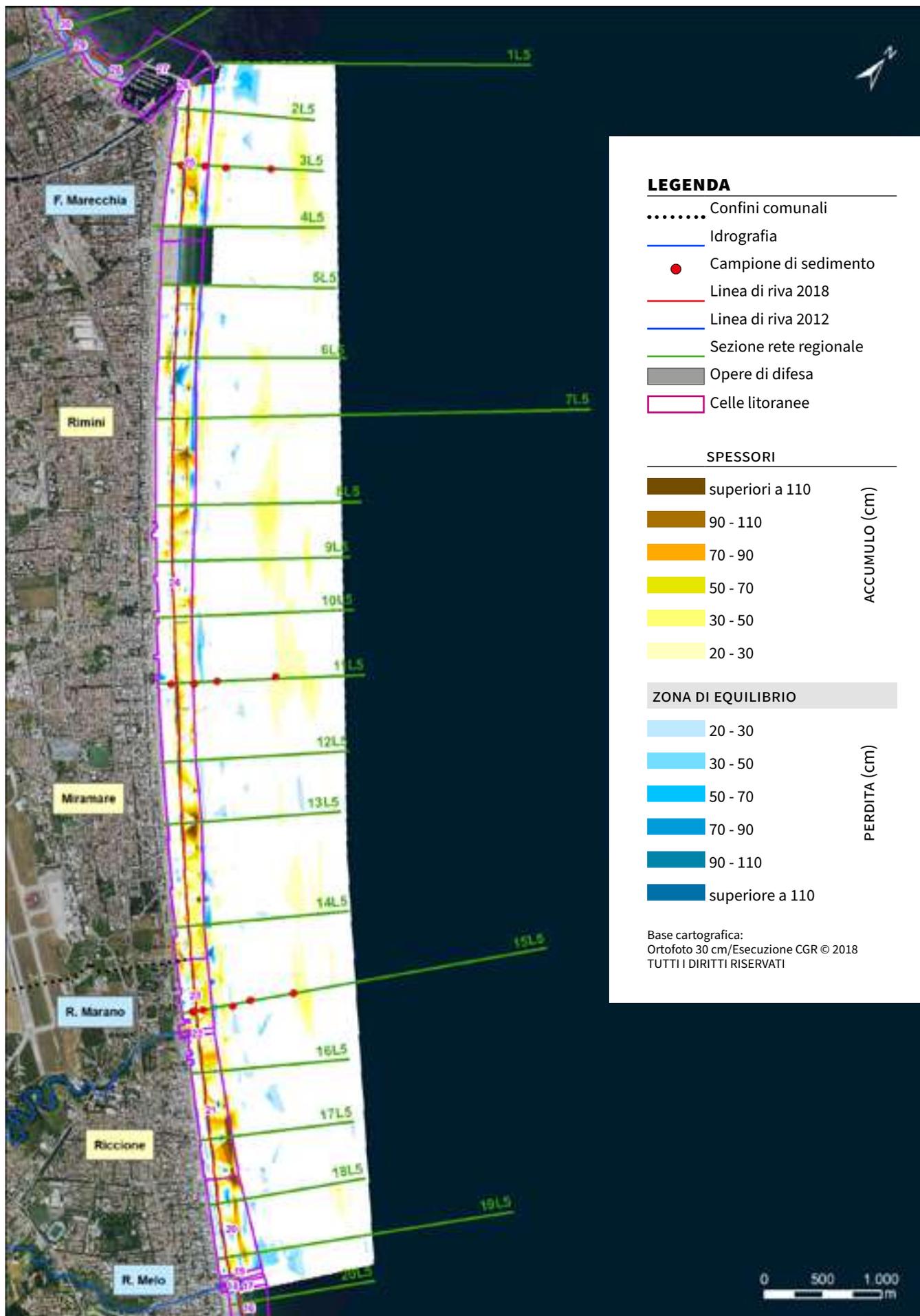


FIGURA 116 Porto di Riccione – Moli di Rimini: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018.



FIGURA 117 Rimini: cantiere per la posa delle condotte di scarico delle acque a mare.

FIGURA 118 Rimini: Fogliano Marina (cella 23): Profilo 15L5.

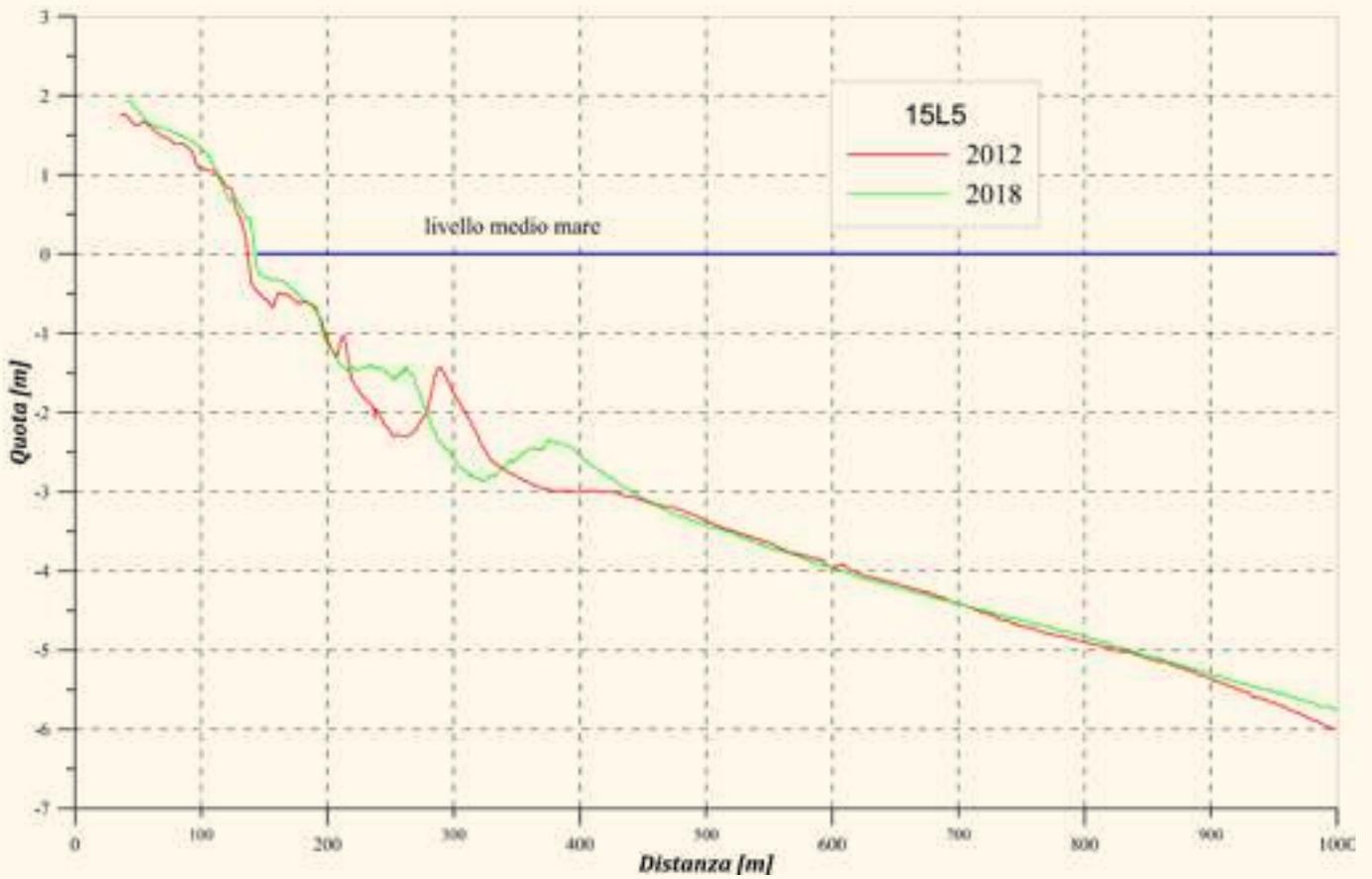


FIGURA 119 Rimini: Miramare (cella 24): Profilo 7L5.



9.2 Molo di Rimini - Molo di Cesenatico

La macrocella 2 (M2) si estende dal molo di levante del portocanale di Rimini a quello di ponente del portocanale di Cesenatico (20.620 m). Comprende la spiaggia di San Giuliano, Viserba, Viserbella e Torre Pedrera (comune di Rimini), di Igea Marina-Bellarìa, San Mauro Pascoli, Savignano, Gatteo e quella del comune di Cesenatico, a sud del portocanale (**TABELLA 18, FIGURA 120, FIGURA 121, FIGURA 128 E FIGURA 129**).

Il blocco del trasporto lungo costa determinato dal molo di Levante di Rimini, accompagnato dalla riduzione del trasporto solido fluviale dei tre fiumi che sfociano in questo tratto, Marecchia, Rubicone e Uso, ha innescato un processo erosivo tale da dover difendere, nell'arco del XX secolo, l'intero paraggio con opere rigide. Attualmente, l'intero tratto (20.620 m) è difeso da una serie continua di scogliere parallele emerse (Arpae, 2016).

Al fine di migliorare la qualità dell'acqua di balneazione e ridurre la componente di materiale fine, che tende a depositarsi tra la battigia e la linea delle scogliere, alcune scogliere sono state ribassate per aumentare la circolazione idrica: la scogliera a "L" di San Giuliano, le prime 7 scogliere a sud del canale dei Mulini di Viserba, 6 scogliere a Igea Marina Zona Sperimentale, e la scogliera di Savignano.

Tra marzo 2012 e dicembre 2018, tra il molo di levante del portocanale di Rimini e quello del portocanale di Cesenatico, nella fascia di litorale compresa tra la spiaggia emersa e le scogliere parallele, è stato stimato un accumulo di sedimento di 426.000 mc. Tutte le spiagge sono stabili o in accumulo (**TABELLA 18, COLONNA ASE, FIGURA 122 E FIGURA 130**).

Questo paraggio è stato caratterizzato, tra il 2012 e il 2018, da tassi subsidenza di 2-3 mm/anno, che hanno portato a una perdita di volume della spiaggia stimata in poco meno di 80.000 mc, paria circa 4 mc/m (**TABELLA 10 E TABELLA 18**).

La complessiva buona situazione dell'intero paraggio è dovuta a periodici interventi di ripascimento. In assenza di questi

interventi, 12 km di litorale su 20 km sarebbero in equilibrio precario o in erosione (**TABELLA 18, COLONNA ASPE**). Nel periodo tra la 5^a e la 6^a campagna di monitoraggio topo-batimetrico (aprile 2012-dicembre 2018) sono stati effettuati interventi di ripascimento per complessivi 413.000 mc di sabbia, di cui circa 240.000 mc sono apporti dall'esterno (220.200 mc da giacimenti sottomarini e poco meno 20.000 mc da cave a terra e scavi edili), mentre 173.000 mc sono paleggiamenti interni da spiagge in accumulo (di cui 135.600 mc interni alla macrocella 2 e 37.400 mc prelevati sul lato mare della scogliera sommersa di Cesenatico Ponente, esternamente alla cella 50). Inoltre, diverse scogliere sono state oggetto di manutenzione e riassetto.

Nel fondale antistante l'imboccatura del portocanale e la diga foranea della darsena di Rimini si riscontra un accumulo di sedimento, in particolare a ridosso della scogliera in roccia realizzata, nel 2011, in prossimità della testata del molo di levante (**FIGURA 122**). Per garantire il pescaggio necessario per l'entrata in sicurezza al portocanale e alla darsena turistica, negli ultimi anni è stato necessario effettuare alcuni interventi di dragaggio.

La spiaggia di San Giuliano (cella 28), confinata tra la darsena turistica e il Deviatore Marecchia, è in accumulo (27.300 mc), grazie principalmente agli apporti annuali di sabbia (23.400 mc). L'apporto di materiale ha determinato un avanzamento della battigia di circa 30 m, e al 2018 la spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 110-120 m. Nel 2017, al fine di aumentare la circolazione idrica nella zona di balneazione, la scogliera a L è stata ribassata, portando la quota della berma a +0,80 m, e un tratto centrale è stato portato al livello medio mare (**TABELLA 18 E FIGURA 122**).

A nord del Deviatore Marecchia, nel tratto da Rivabella (cella 30) a Viserba Nord (cella 34), le spiagge sono in accumulo (115.000 mc), hanno un'ampiezza media tra i 70 m e i 120 m e la linea di riva è stabile o in avanzamento. Davanti alle prime scogliere di Rivabella sono stati prelevati 36.000 mc di sabbia per garantire

TABELLA 18

Litorale Molo di Rimini – Molo di Cesenatico (M2) Variazione di volume (DV), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre) e indicatori di stato delle spiagge ASE e ASPE nel periodo 2012-2018 (lunghezze in m, volumi in mc).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	ASE	ASPE
26	Rimini Portocanale	70	27.267	568	0	0	-	-
27	Darsena di Rimini	425	53.745	1.873	0	0	-	-
28	San Giuliano	450	27.952	957	23.462	0	A	P
29	Deviatore Marecchia	150	0	0	0	0	-	-
30	Rivabella	1.660	37.449	1.497	0	36.159	S	A
31	Viserba Zona Sud Sortie	630	26.365	1.094	0	0	A	A
32	Viserba Sud	520	30.616	1.061	4.252	0	A	A
33	Canale dei Mulini	30	629	17	0	0	-	-
34	Viserba Nord	465	20.675	1.363	2.200	0	A	A
35	Viserbella	1.200	24.092	2.988	35.193	0	S	P
36	Torre Pedrera	1.960	58.641	5.500	37.480	0	S	P
37	Igea Marina Sud	515	49.431	1.767	94.776	0	A	E
38	Igea Marina Zona Sperimentale	825	38.346	1.746	125.990	0	A	E
39	Igea Marina	2.630	-21.618	11.737	3.900	28.200	S	S
40	Foce Uso	40	-6.174	214	0	0	-	-
41	Bellaria	2.690	319	8.373	11.708	0	S	P
42	San Mauro	700	22.216	2.244	5.781	4.245	A	P
43	Savignano	155	2.851	529	21.710	1.740	S	E
44	Foce Rubicone	160	0	0	0	4.552	-	-
45	Gatteo a Mare	700	21.688	3.007	15.352	4.611	A	P
46	Villamarina	880	4.420	4.293	11.711	0	S	P
47	Valverde	1.750	10.818	1.0802	19.180	0	S	P
48	Cesenatico	2.015	-3.193	18.150	0	3.860	S	S
	Totale	20.620	426.535	79.780	412.695	83.367		

N.B. In Vrip sono computati i 52.200 mc di sabbia portati a ripascimento recuperati dalla vagliatura del materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge della macrocella 2, ma non sono riportati in Vpre in quanto non è nota la cella di provenienza.

una migliore circolazione idrica nella zona di balneazione, in quanto la spiaggia emersa tende a formare dei tomboli davanti alle scogliere. Complessivamente quindi in questa zona si sono depositati circa 150.000 mc di sabbia. Questo apporto di materiale determinato dalla deriva litoranea, è dovuto, considerata la sua vicinanza, anche in parte all'apporto solido del fiume Marecchia. Le scogliere di Viserba (celle 31, 32 e 34) sono state oggetto di riassetto; in particolare, nel 2015, il Comune di Rimini ha ribassato a +0,8 m la quota di berma delle 7 scogliere parallele emerse di Viserba, presenti a sud del canale dei mulini (FIGURA 123). Questo intervento, effettuato per incrementare la circolazione idrica nella zona di balneazione, pur riducendo la quota delle scogliere, non ha determinato, al momento, un incremento dei processi erosivi.

Il litorale da Viserbella (cella 35) a Igea Marina Zona Sperimentale (cella 38) è in accumulo (circa 170.000 mc), la spiaggia emersa ha un'ampiezza variabile tra i 60 m e i 100 m e la linea di riva è stabile o in avanzamento. Questa buona condizione è stata garantita dall'apporto di oltre 293.000 mc di sabbia, di cui 212.200 mc apportati nelle celle 36, 37 e 38 nel 2016 nell'ambito dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (Arpae, 2019; FIGURA 124), 80.000 mc da paleggiamenti da zone in accumulo e solo 1.260 mc da scavi edili. In assenza di questi interventi, il litorale sarebbe in equilibrio precario o in erosione (TABELLA 18, FIGURA 121 E FIGURA 122).

Il paraggio di Igea Marina (cella 39) risulta stabile, la spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 70-80 m e la linea di riva non ha subito particolari variazioni. In un tratto di

1.500 m a sud della foce dell'Uso si osserva una perdita di quota tra la battigia e le scogliere, probabilmente dovuta alla movimentazione della sabbia dalla spiaggia sommersa a quella emersa e al prelievo di 28.000 mc di sabbia portati a ripascimento delle spiagge di Igea Marina Sud e Igea Marina Zona Sperimentale (**TABELLA 18 E FIGURA 122**).

È importante notare come nel tratto di litorale dal Deviatore Marecchia alla foce del fiume Uso, il fondale sul lato mare delle scogliere tenda ad approfondirsi dai 1,5-2,0 m di profondità nella zona di Rivabella (cella 30) fino ai 4,0-4,5 m nella parte nord di Igea Marina, cella 39 (**FIGURA 125, FIGURA 126 E FIGURA 127**).

Esclusa la spiaggia di Igea Marina (cella 39), il litorale compreso tra la spiaggia di San Giuliano e la foce dell'Uso è caratterizzato da una quota massima della spiaggia emersa tra 1,5 e 1,8 m, quindi inondabile con eventi di innalzamento del livello del mare con tempi di ritorno di 10 e 100 anni (**FIGURA 125, FIGURA 126 E FIGURA 127**).

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) (**FIGURA 128 E FIGURA 129**). Le spiagge risultano stabili o in accumulo. La stabilità della piccola spiaggia di Savignano è stata garantita da un apporto di circa 20.000 mc di sedimento pari a circa 130 mc/m nel periodo in esame. A differenza di tutte le altre scogliere di questo paraggio che sono emerse, quella posta a difesa di Savignano ha una quota di berma pari al livello medio mare. Per provare a ridurre il tasso di erosione della spiaggia di Savignano bisognerà rivedere l'assetto di questa opera. La linea di riva è sostanzialmente in equilibrio, tranne nel primo km a sud del fiume Rubicone, che comprende la spiaggia di Savignano, San Mauro e la parte nord di Bellaria, dove è avanzata mediamente di 20-25 m. La spiaggia emersa ha un'ampiezza media tra i 60-90 m. Anche in questo paraggio si osserva una perdita di quota del fondale a ridosso delle scogliere, determinata dalla movimentazione di

sedimento dalla spiaggia sommersa a quella emersa tramite escavatori e scraper (**TABELLA 18, FIGURA 128, FIGURA 129 E FIGURA 130**).

La spiaggia emersa di questo paraggio ha una quota massima inferiore a 1,5 m, quindi risulta inondabile a innalzamenti del livello del mare con tempo di ritorno di 10 anni. Solo un tratto di 200-300 m della spiaggia di San Mauro (cella 42) presenta una quota massima superiore a 1,80 m.

Sulle spiagge del Comune di Gatteo (cella 45), di Villamarina (cella 46) e di Valverde (cella 47) del comune di Cesenatico sono stati portati a ripascimento poco meno di 42.000 mc di sabbia, quantitativo che ha garantito la stabilità o il leggero accumulo della spiaggia in termini di variazione di volume, e l'equilibrio della linea di riva. La spiaggia emersa ha un'ampiezza media tra i 75 m e i 90 m (**TABELLA 18, FIGURA 128, FIGURA 129 E FIGURA 130**).

I 2 km di spiaggia di Cesenatico (cella 48) a sud del molo di levante sono stabili, condizione favorita dalla deriva lungo costa diretta sud-nord e dal blocco dei sedimenti esercitato dal molo stesso. La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 140 m ed è avanzata mediamente di 20 m, probabilmente a scapito di una perdita di quota della spiaggia emersa più alta (**TABELLA 18, FIGURA 128, FIGURA 129 E FIGURA 130**).

Tra la foce dell'Uso e il molo di Levante di Cesenatico, al piede delle scogliere lato mare, il fondale raggiunge i 4,0-4,5 m di profondità, determinando un gradino morfologico rispetto alla parte lato terra di circa 3 m (**FIGURA 129, FIGURA 131 E FIGURA 132**). La spiaggia emersa è caratterizzata da quote massime inferiori a 1,5 m, inferiori all'innalzamento della superficie del mare con tempi di ritorno di 100 e 10 m, rispettivamente pari a 1,81 m e a 1,49 m (Regione Emilia-Romagna, 2016). Quindi anche i paraggi, come quello di Cesenatico (cella 48), pur interamente difesi da scogliere parallele emerse e con un'ampia spiaggia emersa sono a rischio inondazioni con tempi di ritorno di 10 e 100 anni.

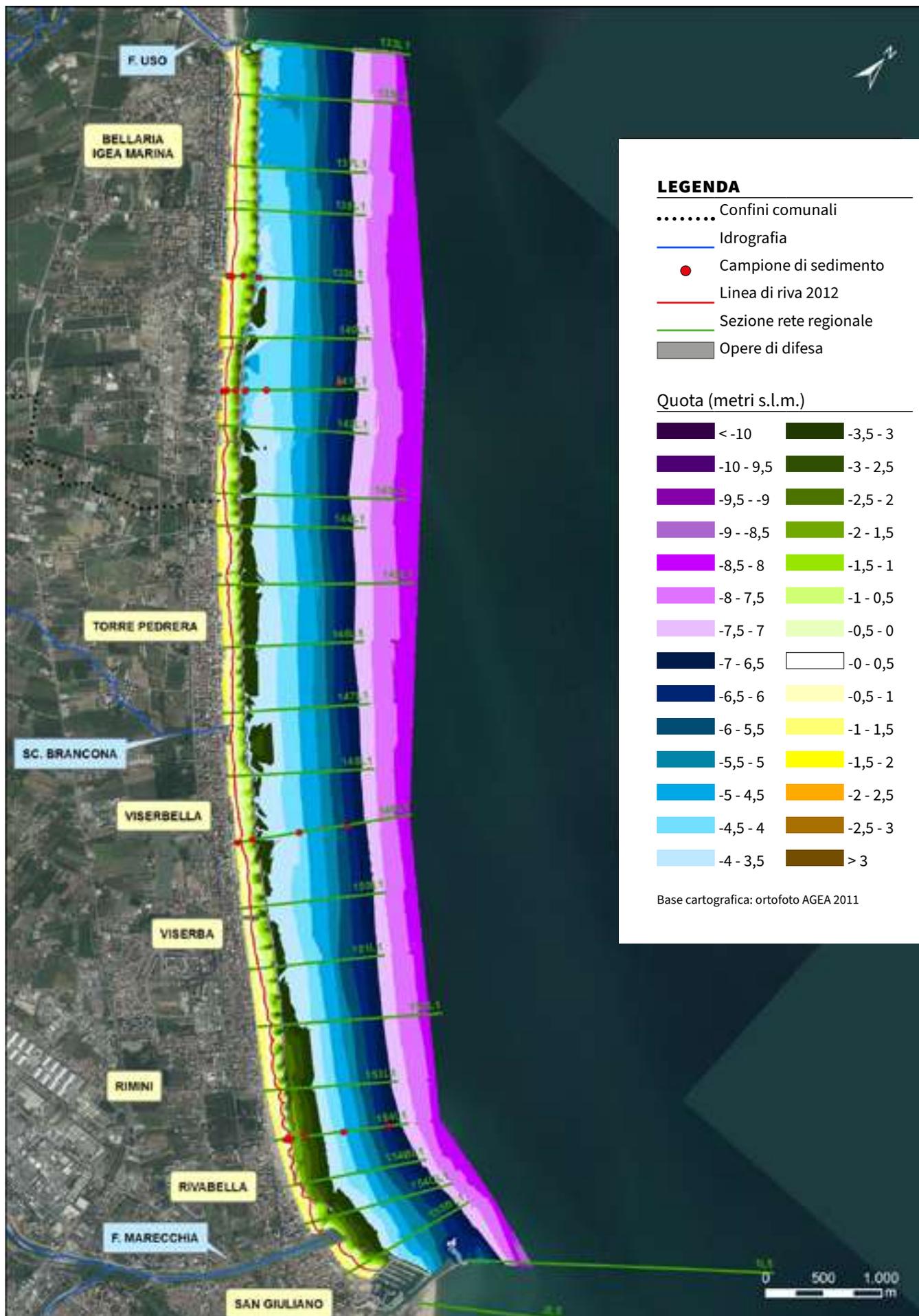


FIGURA 120 Molo di Rimini – Foce Uso: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

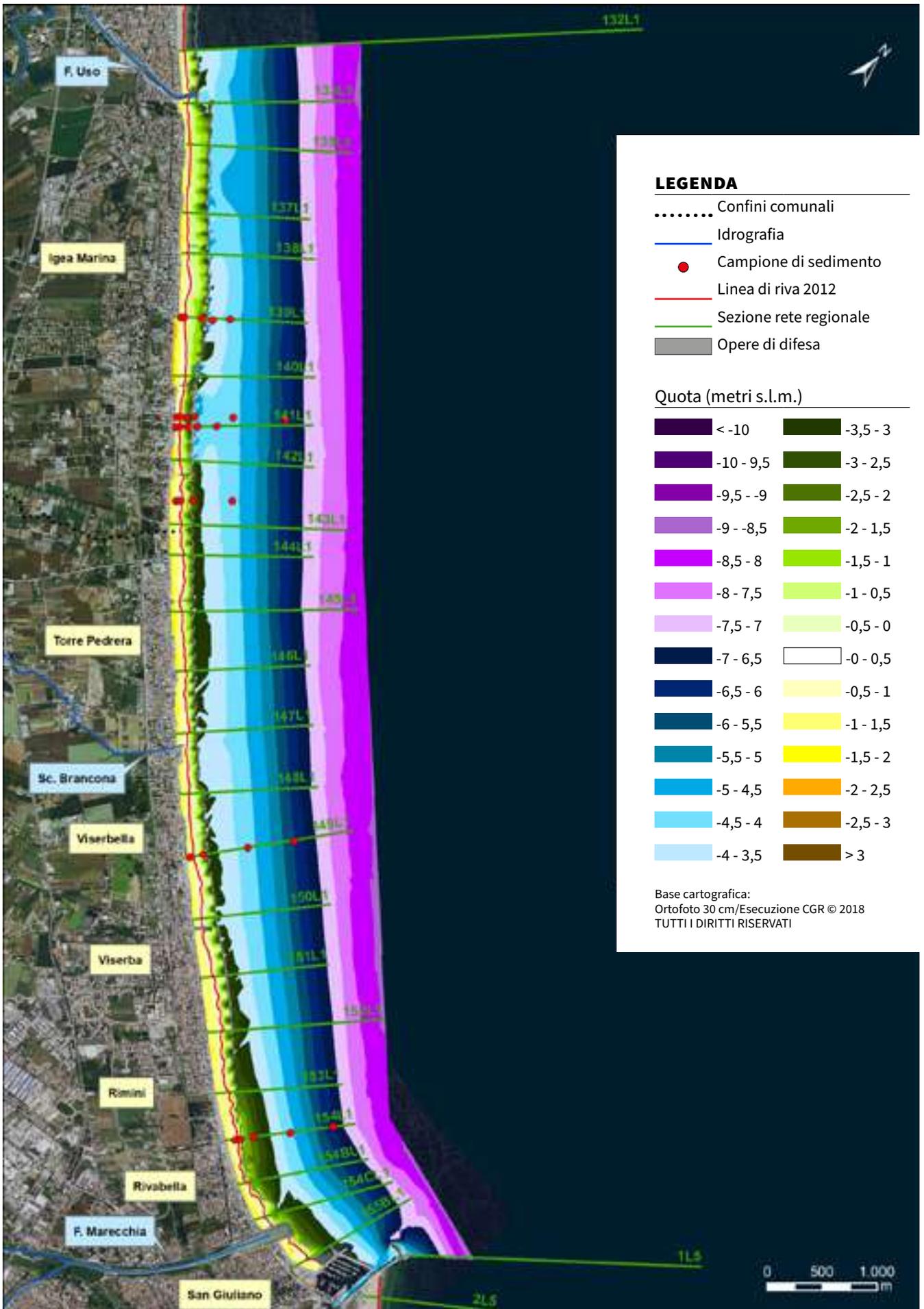


FIGURA 121 Molo di Rimini – Foce Uso: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

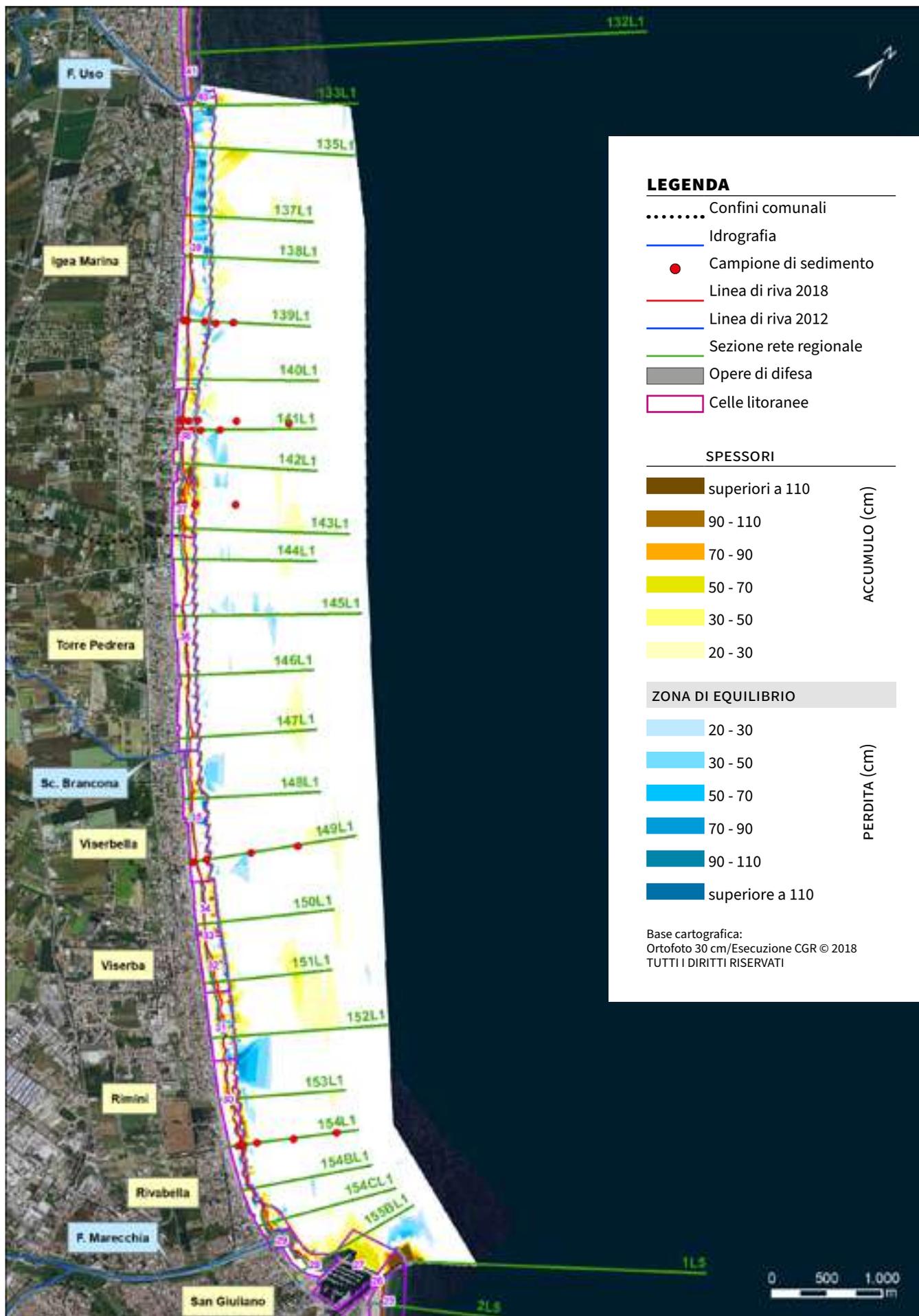


FIGURA 122 Molo di Rimini – Foce Uso: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018.



FIGURA 123 Viserba – Scogliere ribassate (20 marzo 2016).



FIGURA 124 Igea Marina (ottobre 2016).

FIGURA 125 Rimini: Rivabella (cella 30): Profilo 154BL1.

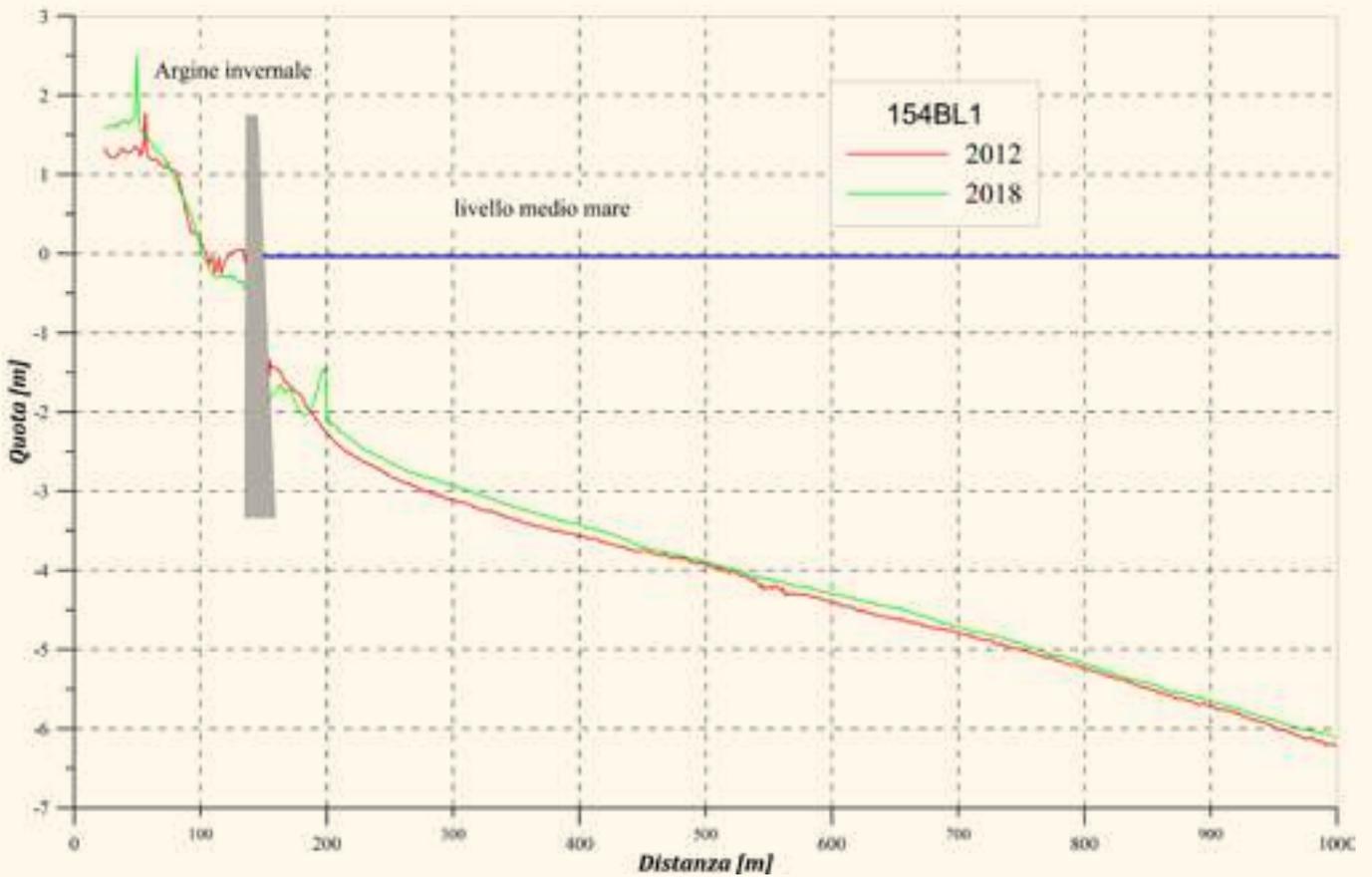


FIGURA 126 Rimini: Viserba Sud (cella 32): Profilo 151L1.

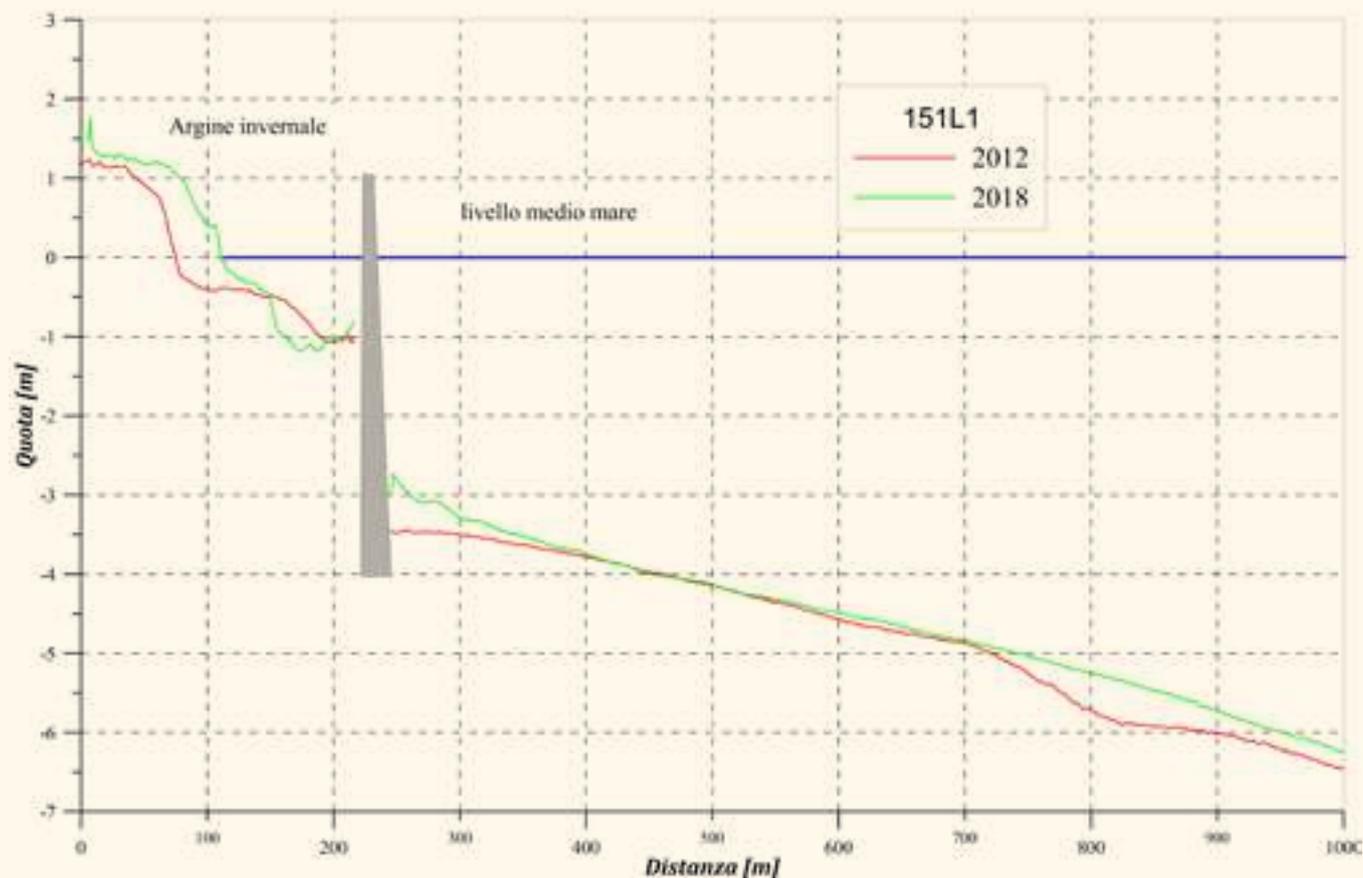
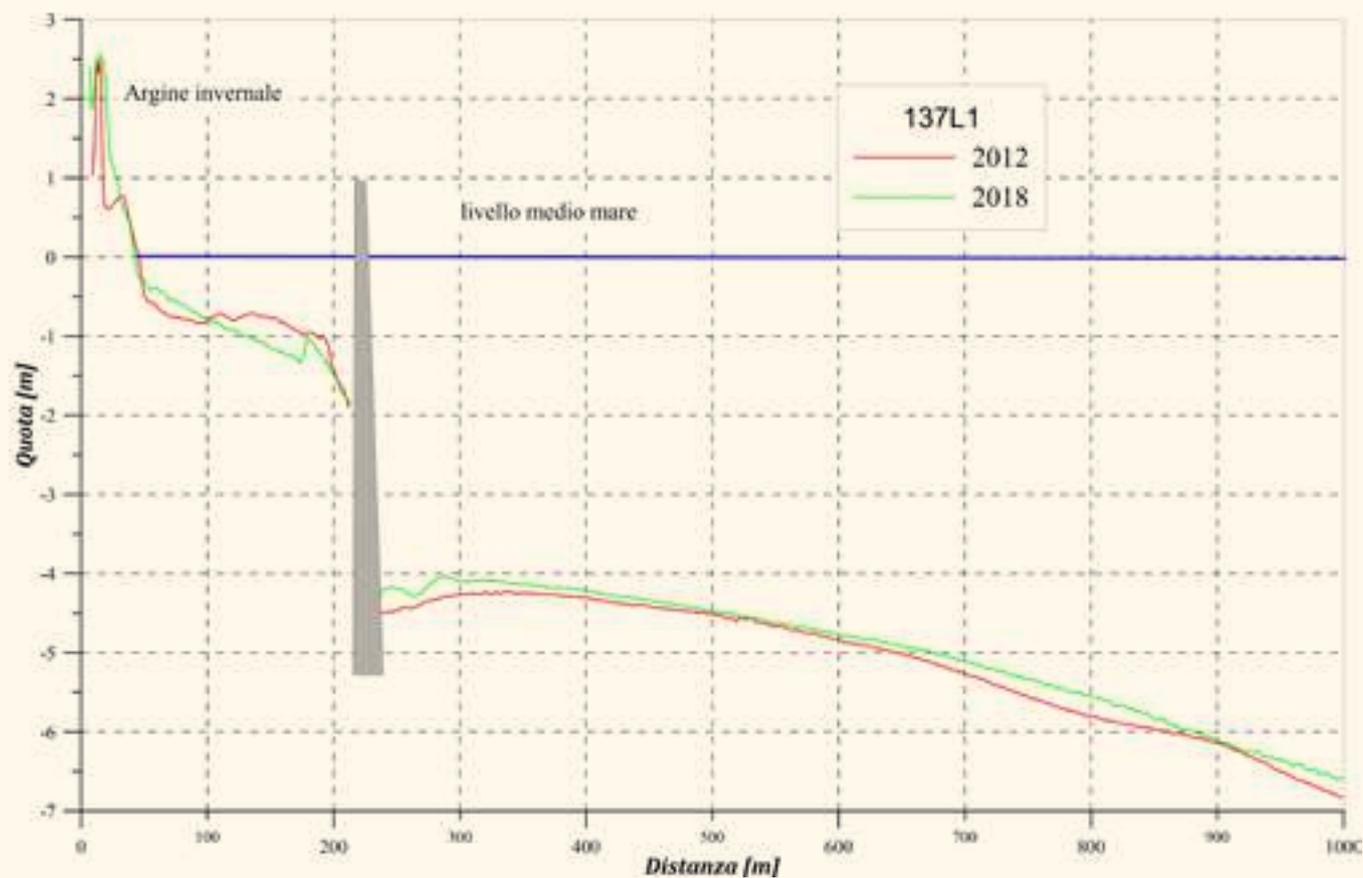


FIGURA 127 Igea Marina (cella 39): Profilo 137L1.



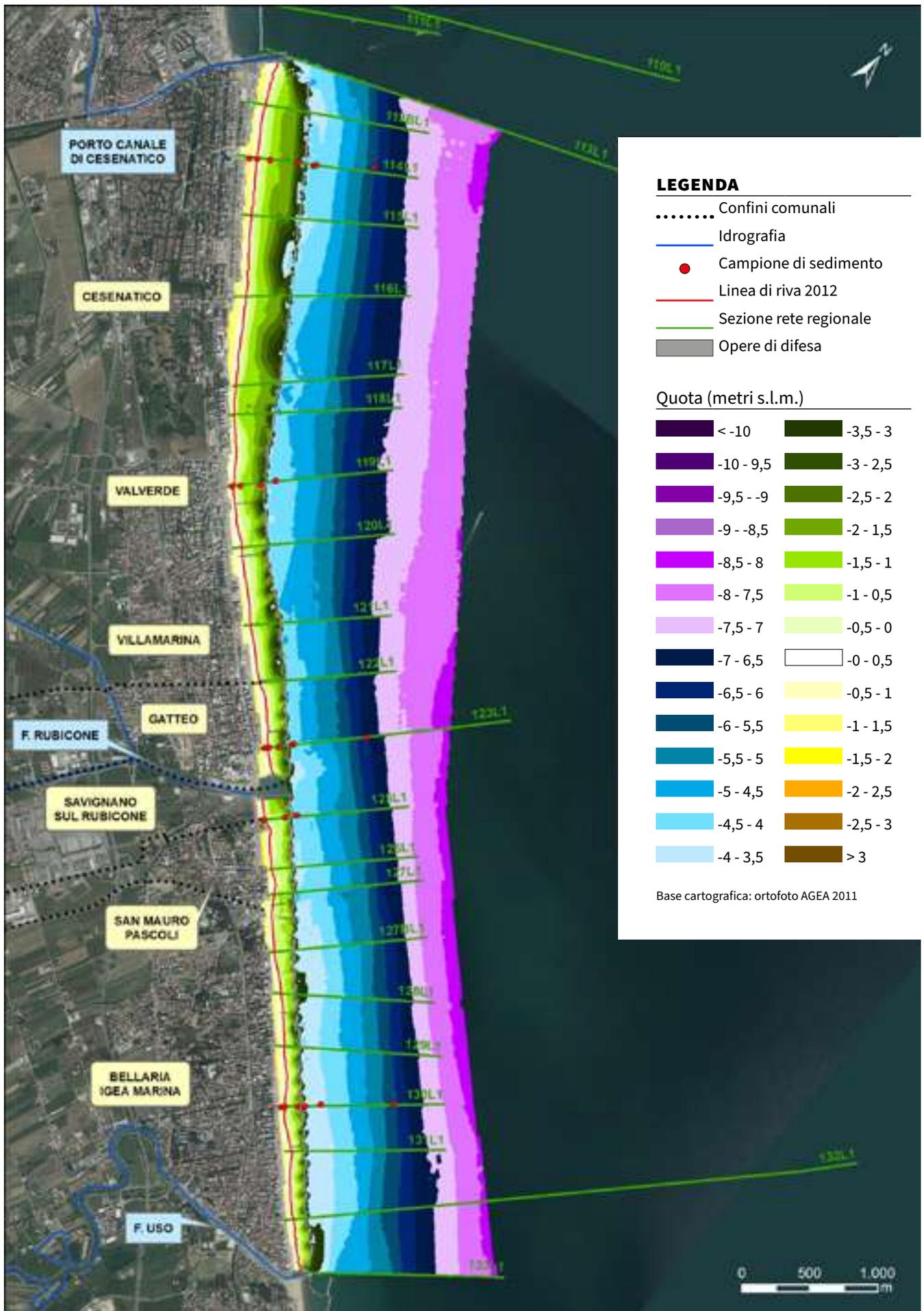


FIGURA 128 Foce Uso - Molo di Cesenatico: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

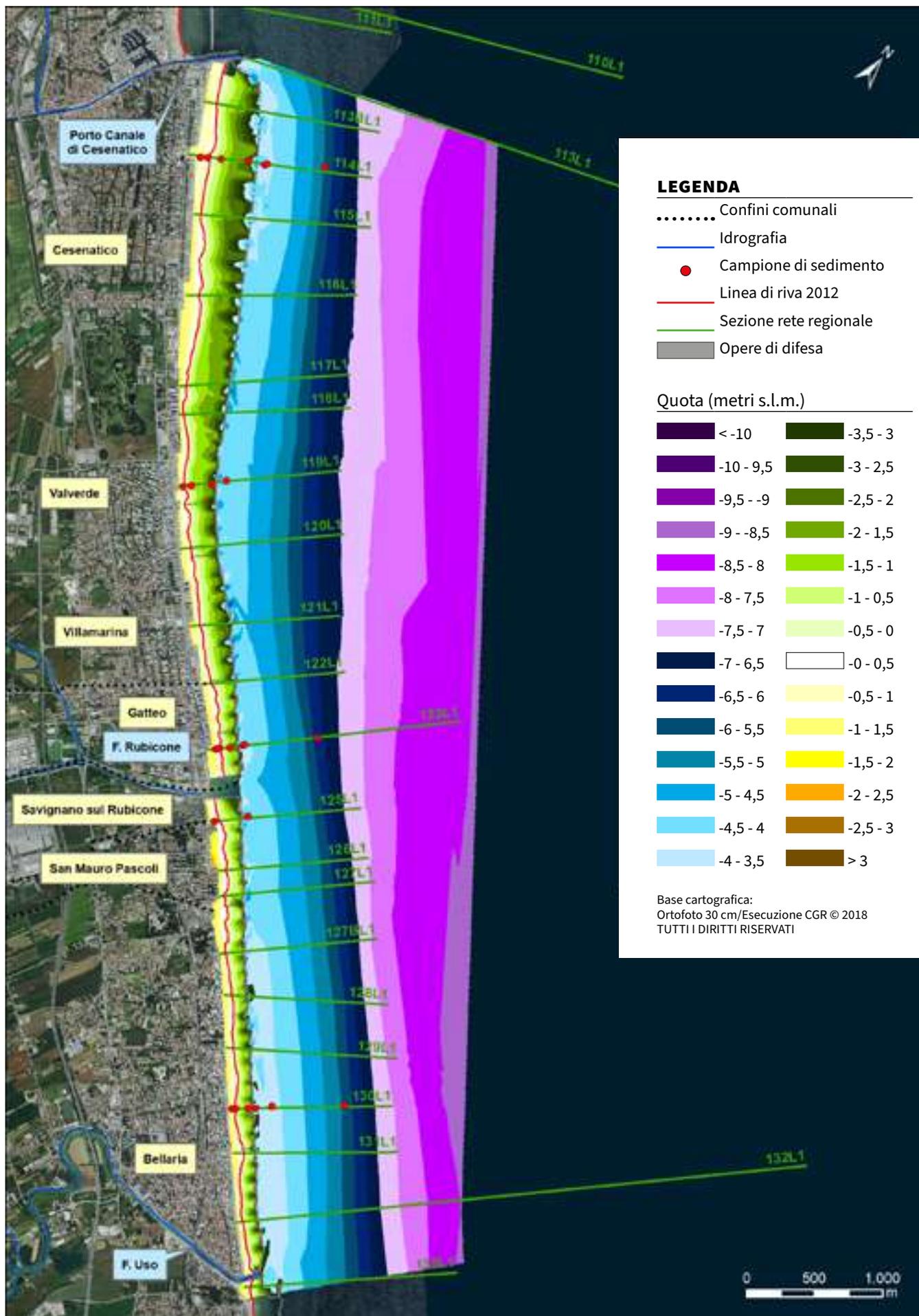


FIGURA 129 Foce Uso – Molo di Cesenatico: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

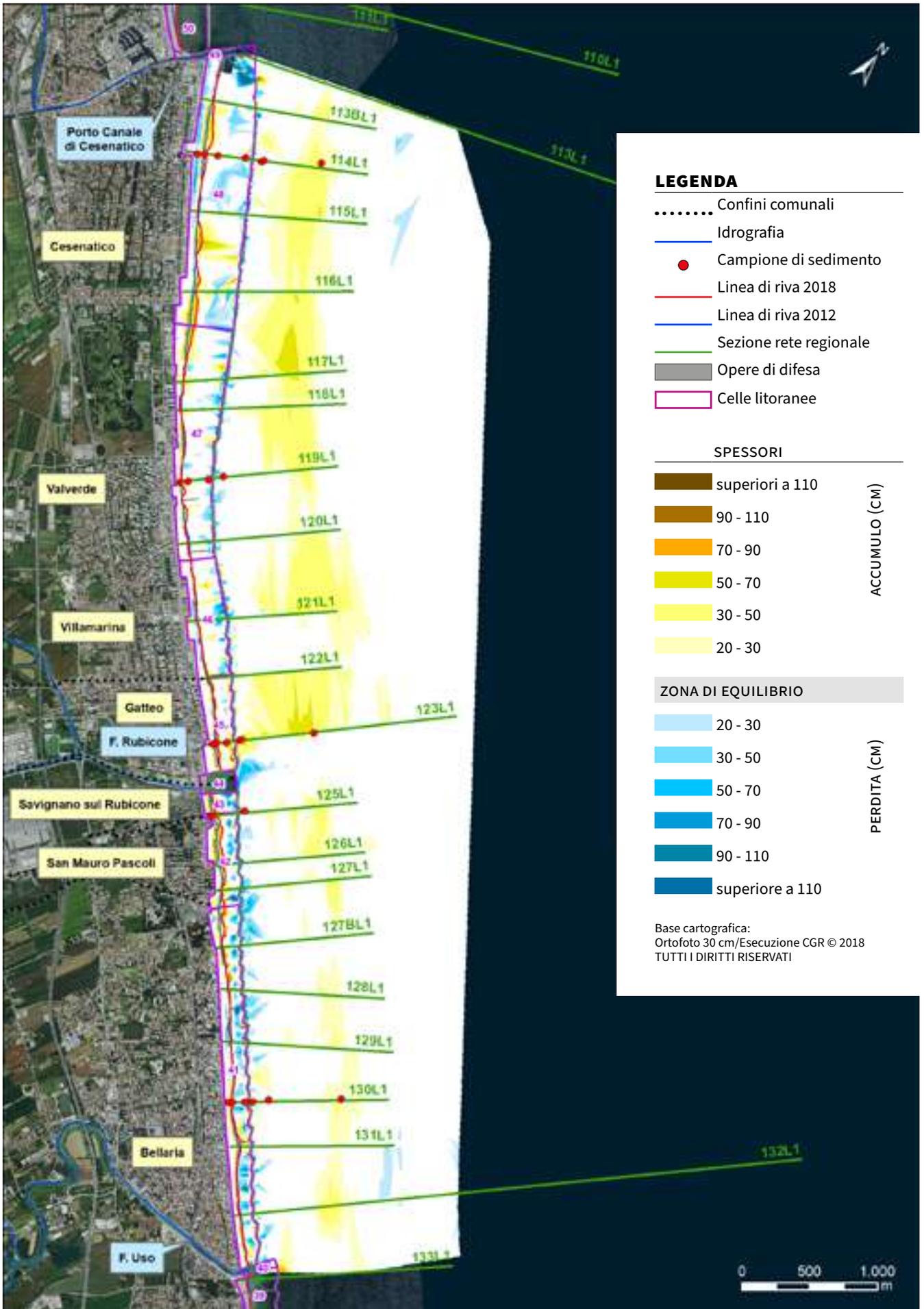


FIGURA 130 Foce Uso - Molo di Cesenatico: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018.

FIGURA 131 Bellaria (cella 41): Profilo 130L1.

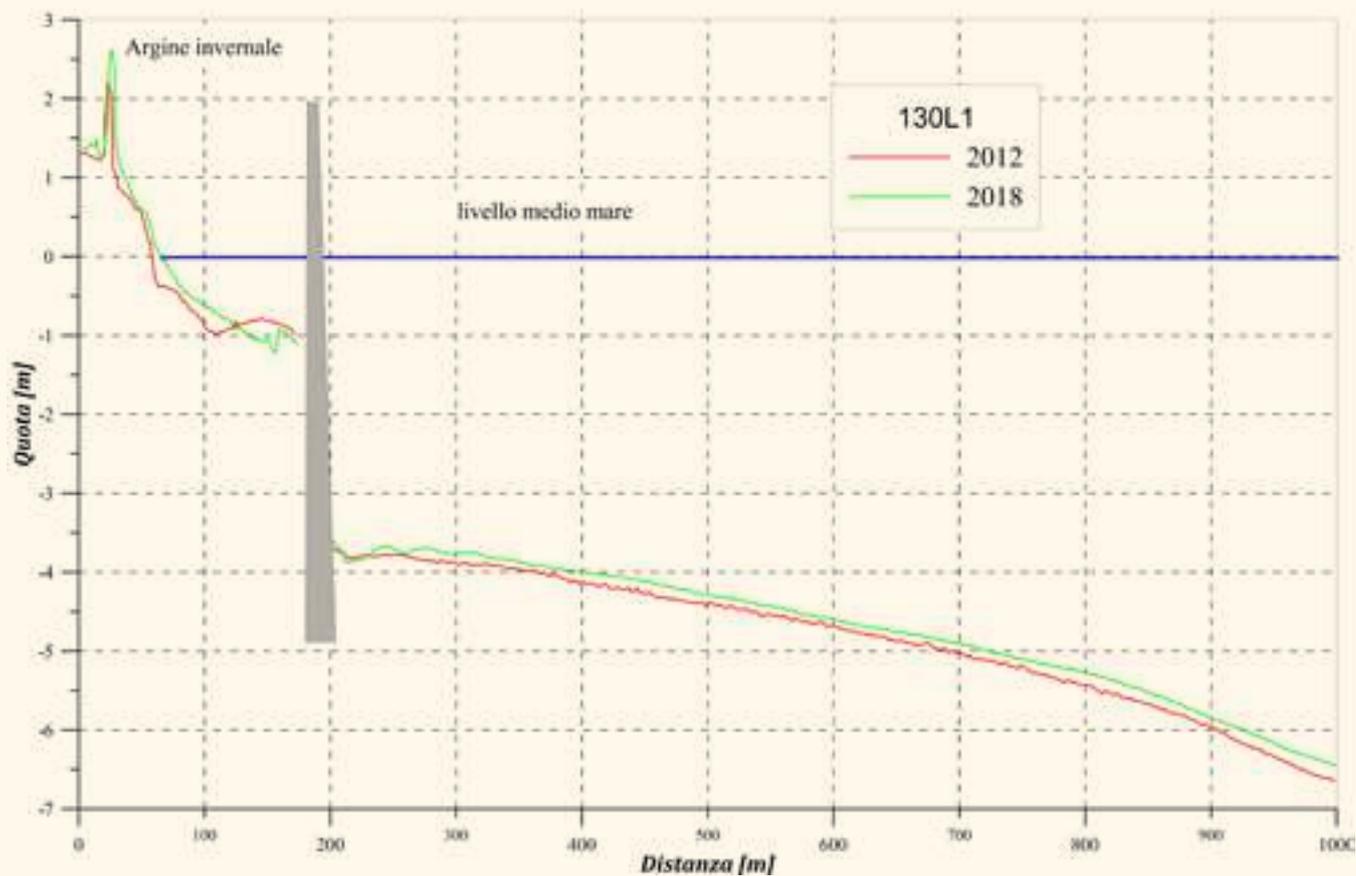
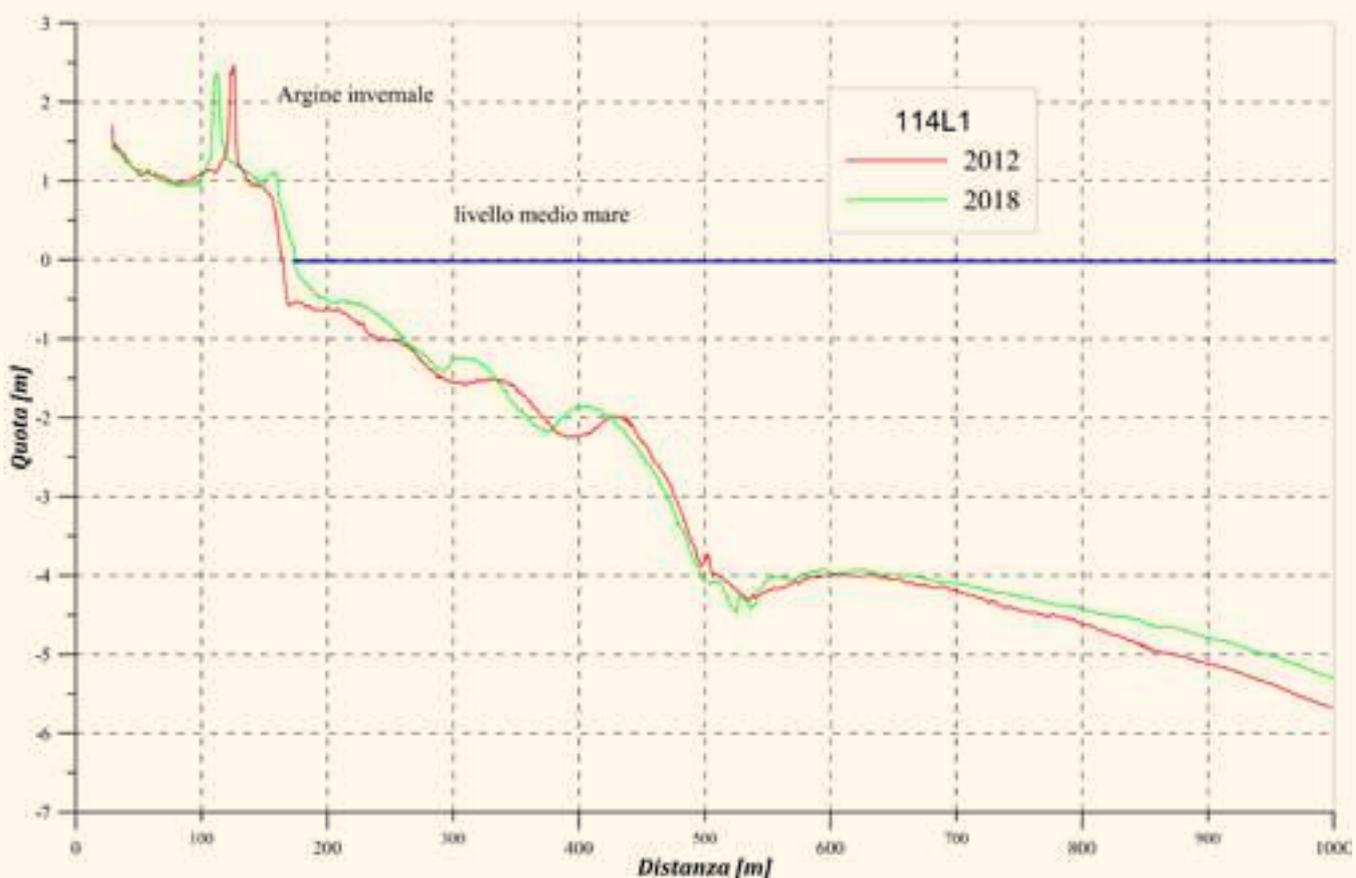


FIGURA 132 Cesenatico (cella 48): Profilo 114L1.



9.3 Molo di Cesenatico – Foce Savio

Il tratto di litorale che va dal portocanale di Cesenatico alla foce del fiume Savio, corrispondente alla macrocella 3 (M3), è lungo 13.765 m (**TABELLA 19, FIGURA 133 E FIGURA 134**).

Questo paraggio comprende la spiaggia di Ponente e di Zadina del comune di Cesenatico, l'intero litorale del comune di Cervia (che comprende le 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 lo scolo di Via Cupa e la foce del Savio (Arpae, 2016).

Il trasporto solido litoraneo prevalente 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 il modesto apporto solido fluviale del Savio sono i due principali fattori che incidono sullo stato delle spiagge della macrocella M3. Per contrastare l'erosione, sulle spiagge meridionali e settentrionali della macrocella, non più alimentate per via naturale, in passato si è dovuto intervenire sia con la realizzazione di scogliere in roccia o barriere in sacchi sia con periodici interventi di ripascimento, mentre sulle spiagge di Cervia (cella 55) e di Milano Marittima (cella 58), poste in una zona di convergenza del trasporto solido litoraneo, non è stato necessario intervenire in quanto sono rimaste sostanzialmente in equilibrio. Un altro fattore che, in passato, ha inciso notevolmente sull'equilibrio delle spiagge di questo paraggio è la subsidenza, che, nel periodo 1950-2005, ha causato a Cesenatico un abbassamento del suolo di 116 cm (Arpa, 2008).

Nel periodo marzo 2012 – dicembre 2018, nell'intero paraggio tra il portocanale di Cesenatico e la foce del Savio, nella fascia tra la spiaggia emersa e la batimetrica dei 2,5 m (o la linea delle opere dove presenti) si è calcolato un accumulo di circa 420.000 mc di sedimento (pari a circa 30 mc/m). Tutte le spiagge risultano

in accumulo o stabili (**TABELLA 19, COLONNA ASE E FIGURA 135**).

Il paraggio è stato caratterizzato da un tasso di subsidenza di 3-5 mm/anno, che ha portato a una stima della perdita in termini di volume della spiaggia di circa 108.000 mc, pari a soli 8 mc/m (**TABELLA 10 E TABELLA 19**).

La complessiva buona situazione della macrocella 3 è stata garantita da una serie di interventi di ripascimento, per un volume totale di sabbia movimentata pari a 635.000 mc. Il 58% di sabbia (pari a 370.000 mc) è stato apportato nell'ambito dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato nel 2016, Progettone 3 (Arpae, 2019; Vecchi, 2018), il 39% (circa 248.000 mc) deriva da paleggiamenti interni alla macrocella 3 da zone in accumulo, e il residuo 3% (circa 17.000 mc) è proveniente da cave a terra. In assenza di questi interventi, le spiagge di Cesenatico Ponente e Colonie (celle 50 e 51) e Milano Marittima Nord e Colonie (celle 60 e 61) sarebbero in equilibrio precario o in erosione (**TABELLA 19, COLONNA ASPE**).

Il litorale a nord del portocanale di Cesenatico fino al canale Tagliata (celle 50-52), lungo 2,1 km, è in accumulo di circa 140.000 mc e la linea di riva è avanzata mediamente 15-20 m rispetto al 2012 (**FIGURA 136 E FIGURA 137**). Questa buona situazione è stata garantita dall'apporto netto di 185.000 mc di sabbia, di cui 141.000 portati nell'ambito del "Progettone 3" del 2016. In assenza di questi apporti, Cesenatico Ponente sarebbe in equilibrio precario, mentre Cesenatico Colonie in forte erosione (**FIGURA 138**). La spiaggia di Cesenatico Ponente (cella 50) è difesa da una scogliera a cresta bassa e da 4 pennelli in roccia. Il pennello di maggiori dimensioni, posto in corrispondenza della testata della scogliera, nel 2018 è stato accorciato di 25 m e portato a una lunghezza di 75 m. La spiaggia emersa ha un ampiezza media di 100 m e una quota massima di 1,5 m, quindi a rischio ingressione marina a eventi di innalzamento del livello del mare con tempi di ritorno decennali. Nel fondale, in prossimità della testata della scogliera, è presente un'ampia buca erosiva

profonda 4,5 m (**FIGURA 134**).

Nel 2016, sul lato mare della scogliera a cresta bassa sono stati prelevati 37.400 mc di sabbia e portati a ripascimento delle spiagge in erosione (**FIGURA 137**).

La spiaggia di Cesenatico Colonie (cella 51), sottoflutto al sistema di opere di difesa di Cesenatico Ponente, è caratterizzata da alti tassi di erosione. Infatti, a fronte di un apporto di 187.200 mc di sedimento, relativo al periodo 2012-2018, erano presenti al momento del rilievo meno di 60.000 mc, dato che evidenzia una perdita annua di circa 20.000 mc (**TABELLA 19**). Per ripascere questa spiaggia sono state utilizzate diverse fonti di sedimento: giacimenti sottomarini (114.500 mc), cave a terra (12.000 mc), dragaggio del portocanale di Cesenatico (25.000 mc), spiagge in accumulo (29.000 mc) e materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge (6.700 mc).

I 500 m di spiaggia di Cesenatico Campeggio Zadina (cella 52), pur non direttamente interessati da interventi di ripascimento, beneficiano degli apporti effettuati nella cella 51, essendo la deriva litoranea prevalente sud-nord. Da quest'area sono stati prelevati 26.000 mc di sabbia e portati nella cella a sud (C51).

La spiaggia emersa delle celle 50 e 51 ha un'ampiezza media di 70-80 m e una quota massima tra 1,5 m e 1,8 m, quindi a rischio ingressione marina a eventi di innalzamento del livello del mare con tempi di ritorno di 10 e 100 anni.

Il paraggio tra il canale Tagliata e il porto di Cervia (celle 54 e 55), lungo 5,4 km, è in accumulo (circa 250.000 mc, pari a 45 mc/m), la linea di riva è in equilibrio o è avanzata, mediamente di 10 m nel paraggio più prossimo alla darsena. Per effetto della deriva litoranea sud-nord e della presenza del porto di Cervia, che blocca il trasporto, la spiaggia emersa tende ad allargarsi da valori medi di 80 m nella zona di Zadina Tagliata, a valori di 150 m a Cervia, con punte massime che superano i 180 m nella zona prossima alla darsena di Cervia. La spiaggia emersa presenta

quote massime tra 1,5 m – 1,8 m, quindi a rischio ingressione marina a eventi di innalzamento del livello del mare con tempi di ritorno di 10 e 100 anni.

Il profilo di spiaggia di questo tratto di litorale è caratterizzato dalla presenza, nei primi 3 m di profondità, di barre sommerse ben formate, elemento morfologico che garantisce una maggiore frangenza delle onde e quindi una maggiore difesa del litorale (**FIGURA 139**).

L'evoluzione dell'intero paraggio di Milano Marittima (celle 58-61), lungo 3,6 km, confinata tra il porto di Cervia e il canalino di via Cupa, è governata dalla deriva litoranea, che in questo paraggio è diretta da nord a sud, dalla presenza del porto di Cervia, dalle scogliere parallele emerse poste a difesa dell'abitato di Lido di Savio e dalla carenza di apporto sedimentario del fiume Savio (**FIGURA 134**).

Il sedimento tende ad accumularsi sulla spiaggia di Milano Marittima più prossima al porto di Cervia, a ridosso del molo di ponente, davanti l'imboccatura del portocanale e davanti alla diga foranea della darsena di Cervia (**FIGURA 135**). L'intero paraggio risulta stabile o in accumulo e la linea di riva non ha subito variazioni significative, ma in assenza di interventi di prelievo e ripascimenti, la spiaggia di Milano Marittima (cella 58) sarebbe in accumulo mentre le spiagge di Milano Marittima Nord e Milano Marittima Colonie (celle 60 e 61) sarebbero in forte erosione (**TABELLA 19, COLONNA ASE E ASPE**). Inoltre, per garantire l'officiosità al portocanale è necessario dragare l'imboccatura (**TABELLA 19, COLONNA VPPE**).

Le celle 60-61, a fronte di un apporto di sedimento di 420.000 mc, risultano in accumulo di poco più di 77.000 mc. Pur difese da un sistema di barriere in sacchi pieni di sabbia e da 2 pennelli in pali di legno (**FIGURA 140**), queste spiagge hanno perso più di 340.000 mc nell'intero periodo di esame, pari a oltre 50.000 mc/anno. Il 54% del sedimento (228.530 mc) è stato apportato, nel 2016, nell'ambito dell'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (**FIGURA 141**), 4.400 mc provengono da cave

TABELLA 19

Litorale Molo di Cesenatico – Foce Savio (M3): Variazione di volume (DV), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre) e indicatori di stato delle spiagge ASE e ASPE nel periodo 2012-2018 (lunghezze in m, volumi in mc).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	ASE	ASPE
49	Portocanale Cesenatico	55	959	149	0	25.000	-	-
50	Cesenatico Ponente	825	47.890	4.333	26.560	2.540	A	P
51	Cesenatico Colonie	775	60.887	5.251	187.169	0	A	E
52	Cesenatico Campeggio Zadina	495	35.801	3.481	400	26.405	A	A
53	Canale Tagliata	15	789	78	0	0	-	-
54	Zadina Tagliata	1.000	40.969	5.817	800	0	A	A
55	Cervia	4.420	217.418	45.790	0	0	A	A
56	Darsena di Cervia	165	8.941	615	0	0	-	-
57	Portocanale di Cervia	40	2.412	103	0	60.000	-	-
58	Milano Marittima	1.365	12.853	15.136	0	115.014	S	A
59	Canalino delle Saline	30	555	64	0	0	-	-
60	Milano Marittima Nord	1.685	57.192	12.677	227.927	0	A	E
61	Milano Marittima Colonie	540	22.917	2.554	192.217	0	A	E
62	Canale di Via Cupa	20	35	99	0	0	-	-
63	Lido di Savio	2.070	-54.552	12.458	0	9.200	S	S
64	Foce Savio	265	0	0	0	0	-	-
	Totale	13.765	420.483	108.605	635.073	238.159		

N.B. In Vrip sono computati i 6.680 mc di sabbia portati a ripascimento recuperati dalla vagliatura del materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge della macrocella 3, ma non sono riportati in Vpre in quanto non è nota la cella di provenienza.

a terra, mentre 187.200 mc provengono da paleggiamenti interni alla macrocella 3 da aree in accumulo (60.000 mc dall'imboccatura del portocanale, 118.000 mc dalla spiaggia di Milano Marittima prossima al porto di Cervia e 9.200 mc da Lido di Savio).

La spiaggia emersa tende a ridursi spostandosi dal porto di Cervia al canale di via Cupa, passando da un'ampiezza media di 120-130 m a valori di 50-60 m, e raggiunge quote massime tra 1,5 m e 1,8 m.

Il litorale di Lido di Savio (cella 63), lungo circa 2 km e difeso da una serie di 15 scogliere parallele emerse e da setti soffolti nei varchi, è stabile e la linea di riva non ha subito significative variazioni (TABELLA 19, FIGURA 134 E FIGURA 135).

La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 70 m, con variazione tra i 40 m e i 110 m, in funzione della posizione più o meno avanzata degli edifici; la quota massima è variabile tra i 2,0 e i 2,5 m, nella zona prossima al canale di via Cupa, fino a ridursi a 1,0-1,5 m nella zona nord

in prossimità del molo ponente della foce del fiume Savio.

In questo litorale, la movimentazione di sabbia dalla spiaggia sommersa a ridosso delle scogliere a quella emersa, operata con mezzi meccanici scraper, garantisce un aumento del battente d'acqua, quindi una maggiore circolazione idrica nella zona di balneazione, e una maggiore quota della spiaggia emersa (FIGURA 134, FIGURA 135 E FIGURA 142).

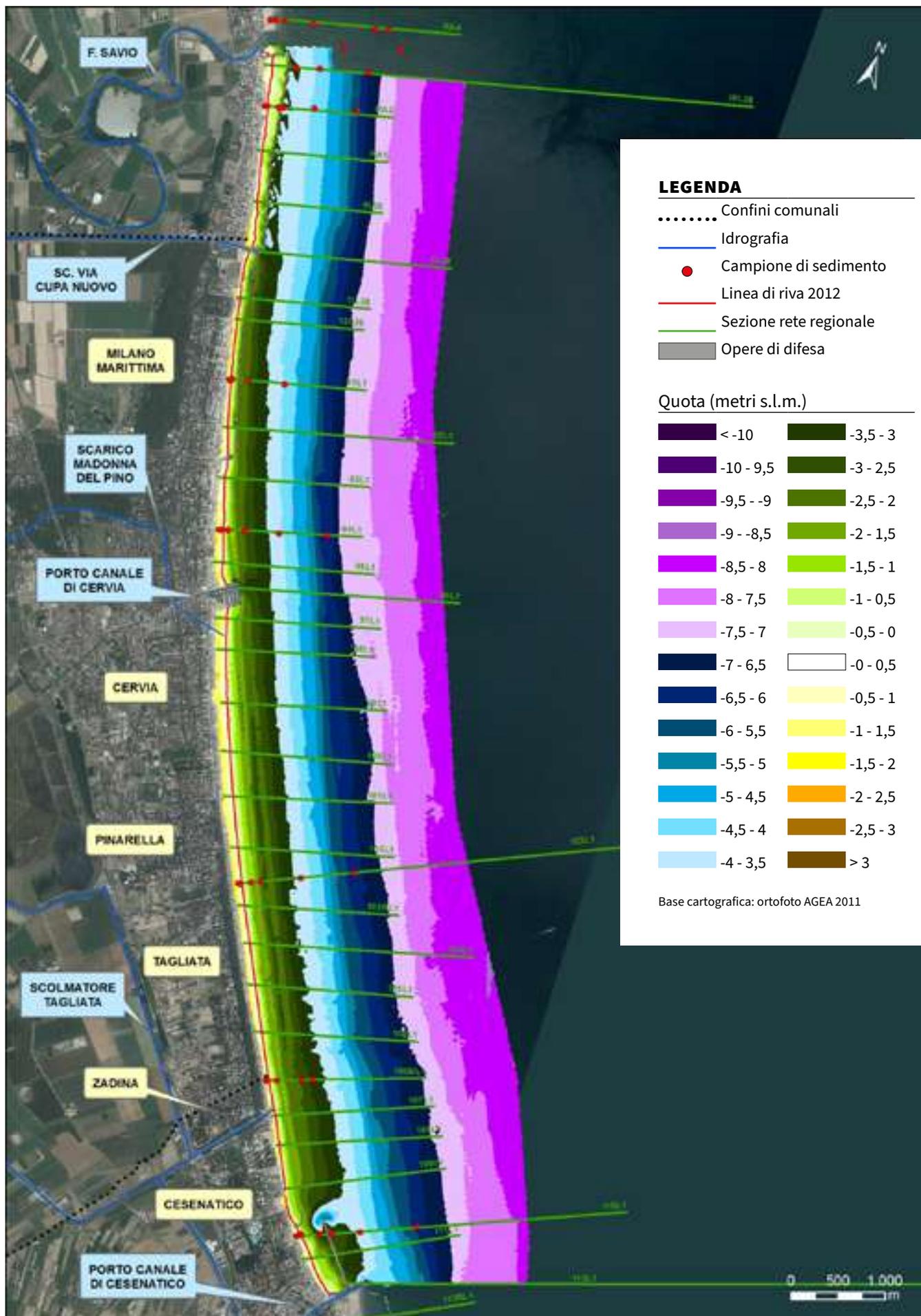


FIGURA 133 Molo di Cesenatico – Foce Savio: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

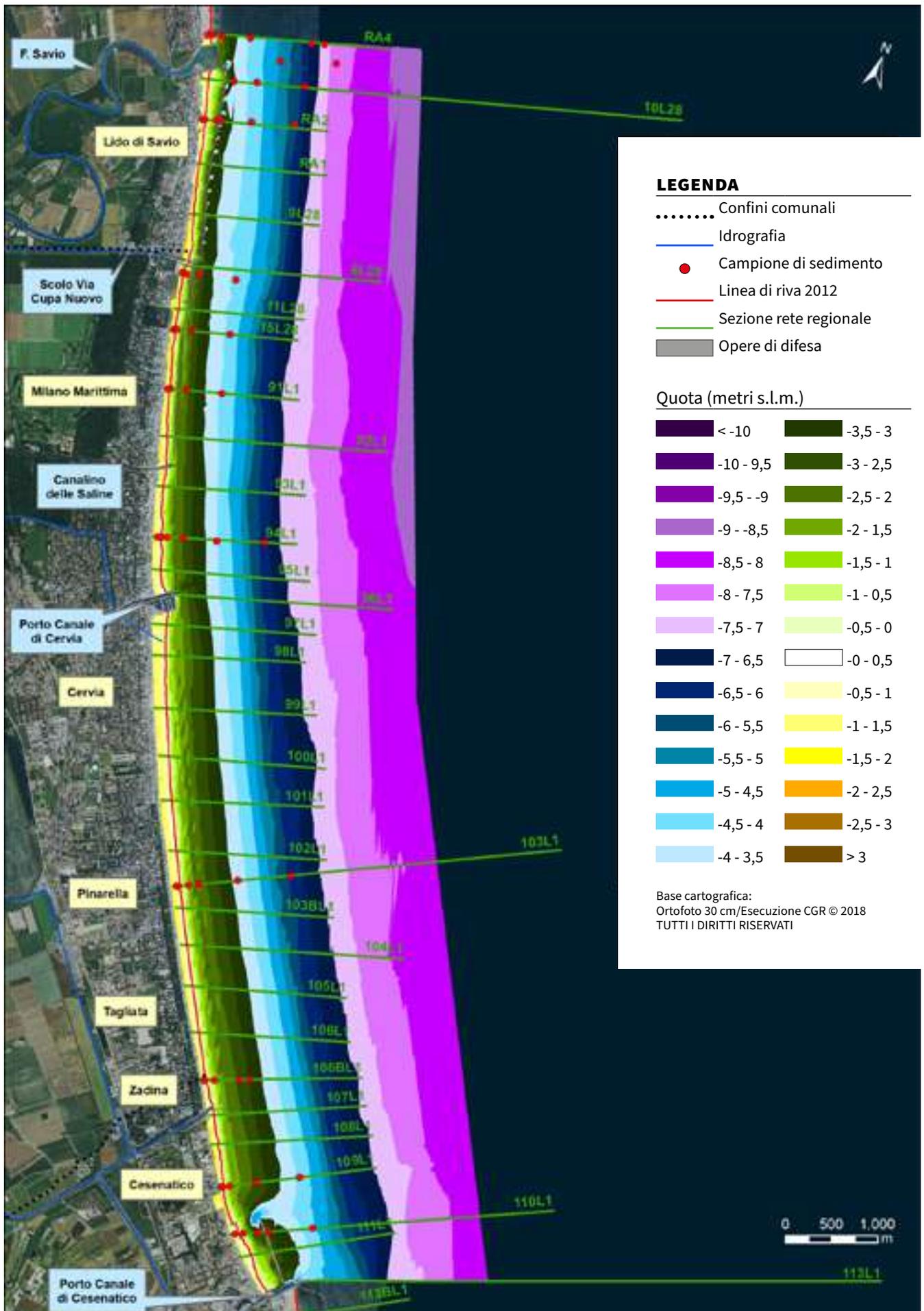


FIGURA 134 Molo di Cesenatico - Foce Savio: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

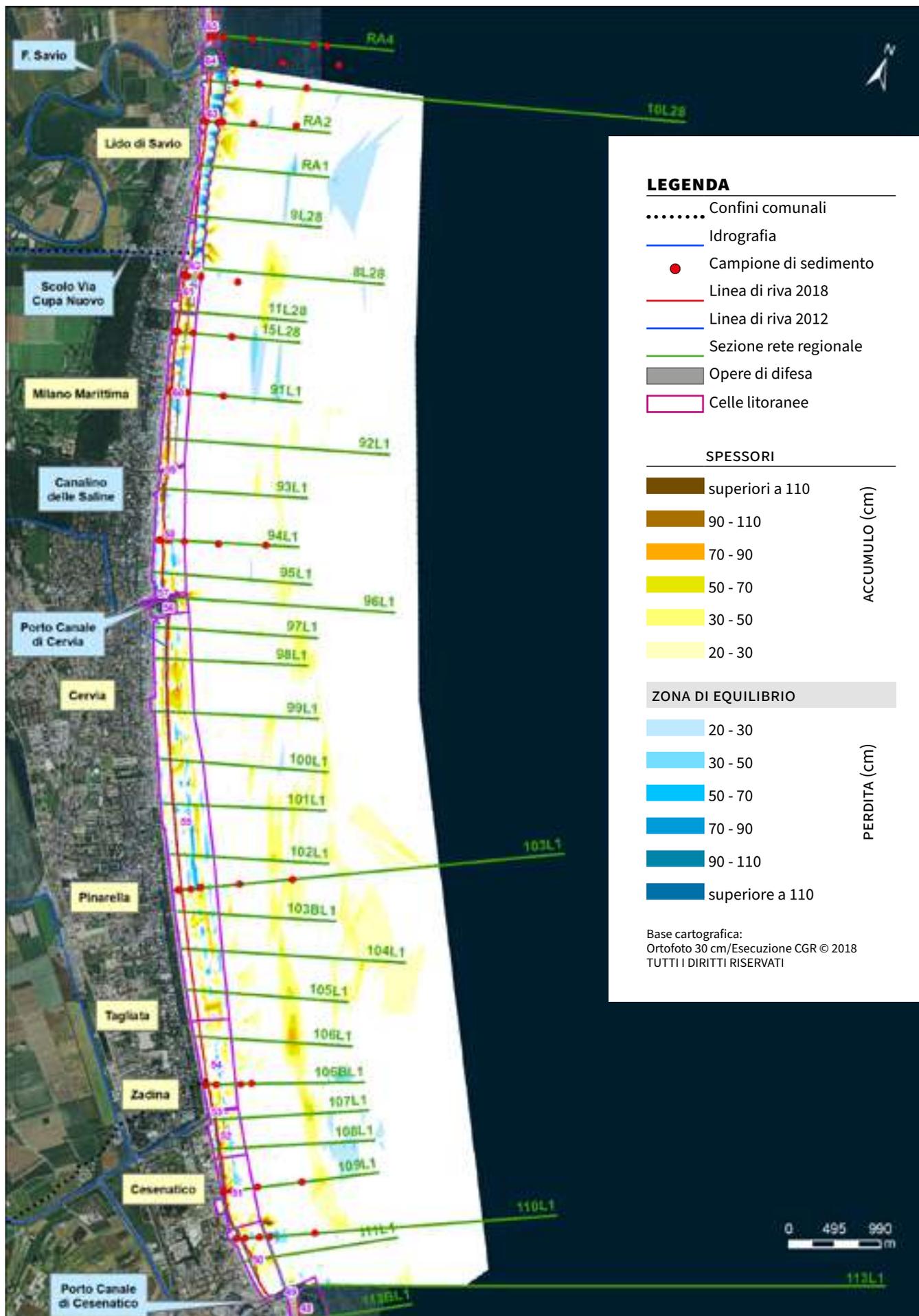


FIGURA 135 Molo di Cesenatico – Foce Savio: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018.

FIGURA 136 Cesenatico Ponente (cella 50): Profilo 111L1.

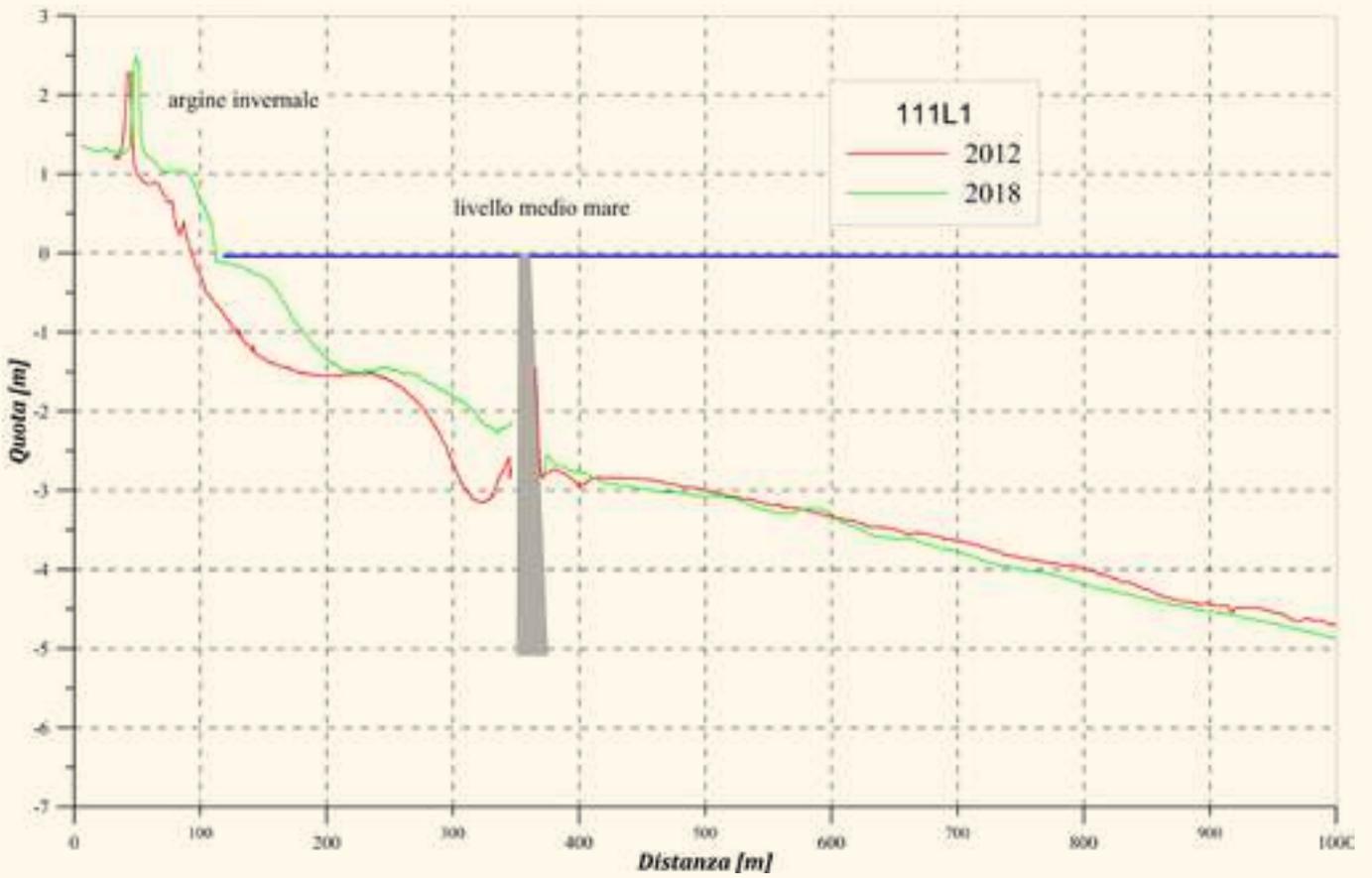


FIGURA 137 Cesenatico Ponente (cella 50): Profilo 110L1.

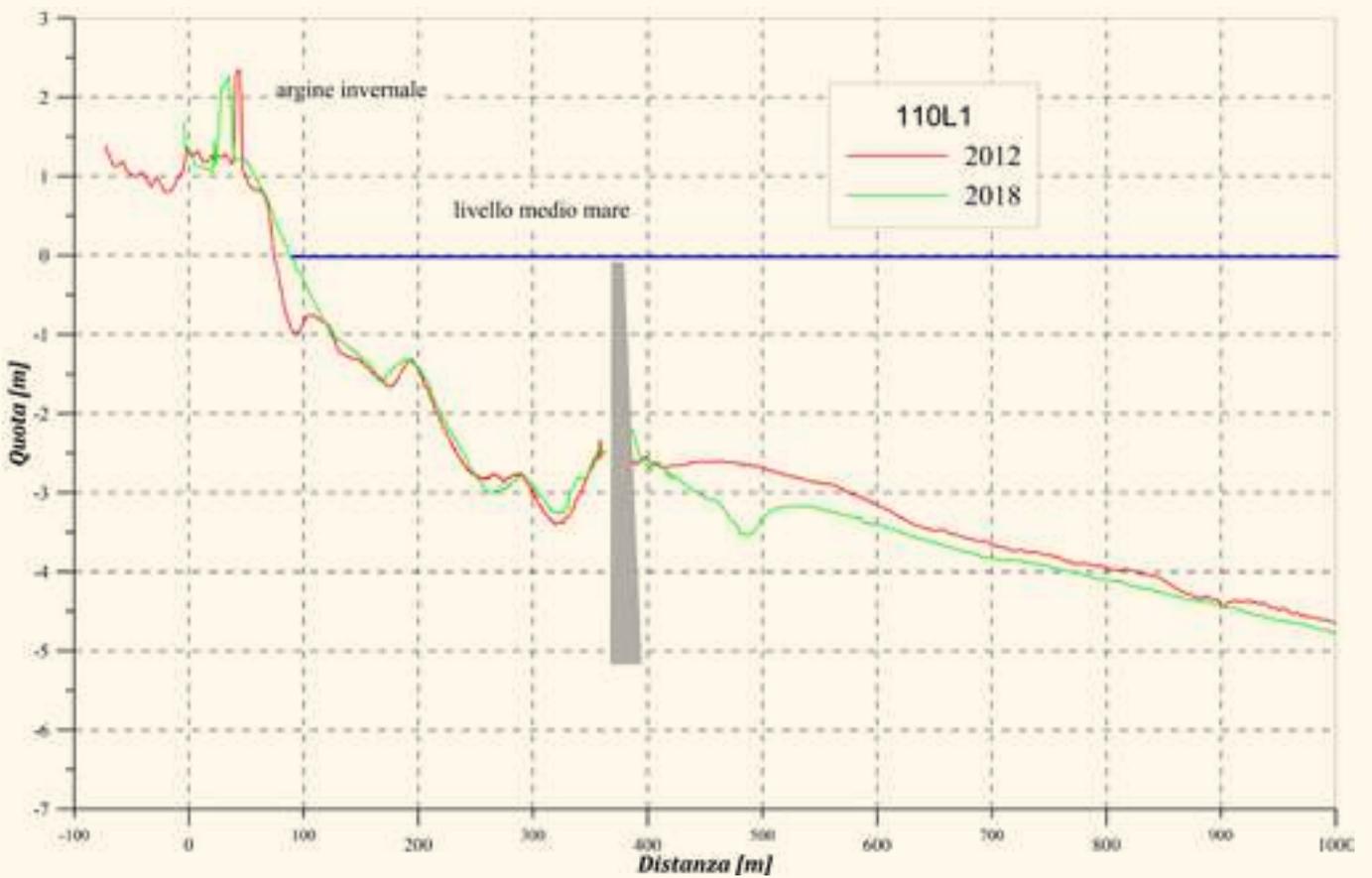




FIGURA 138 Cesenatico Colonie (cella 51): spiaggia in erosione (in alto 30/09/2015 e al centro 15/11/2015), ripristino della spiaggia in seguito al ripascimento con sabbie sottomarine del 2016 (in basso 25/05/2016).

FIGURA 139 Cervia (cella 55): Profilo 101L1.

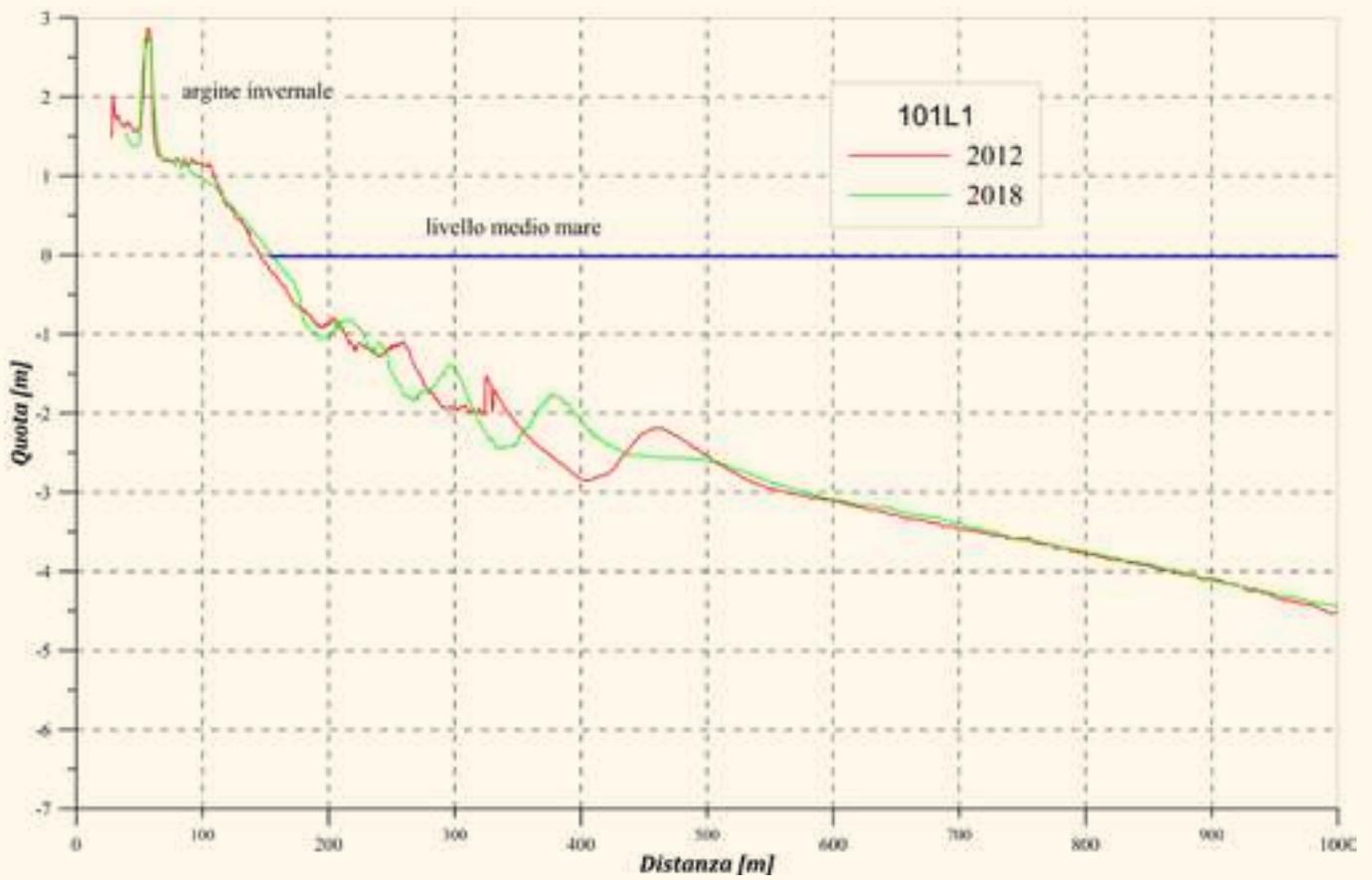
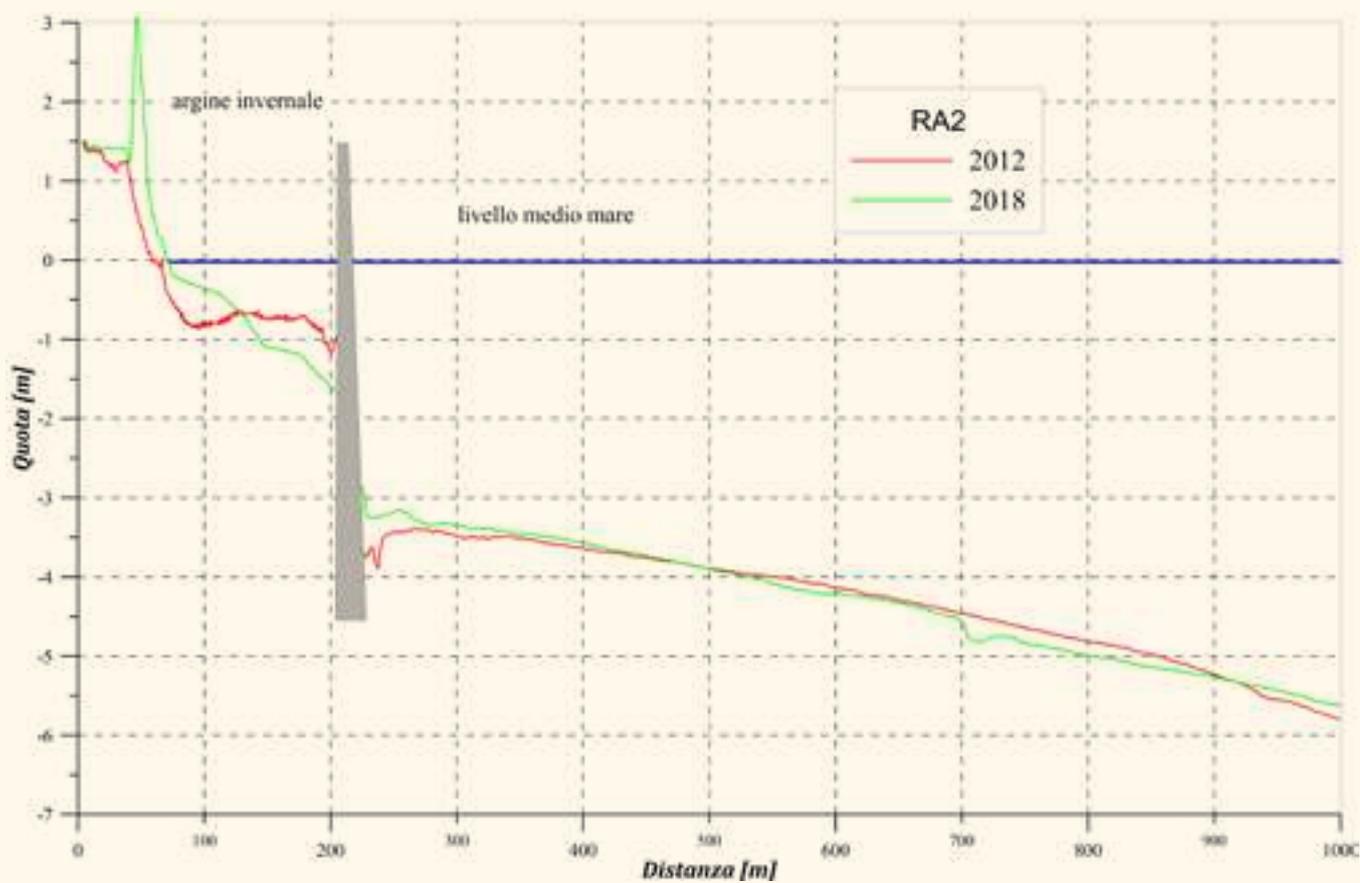


FIGURA 140 Milano Marittima Colonie (cella 61): pennello in pali di legno (14/06/2016).



FIGURA 141 Milano Marittima: operazione di ripascimento e riprofilatura della spiaggia (14/06/2016).

FIGURA 142 Lido di Savio (cella 63): Profilo RA2.



9.4 Foce Savio – Marina di Ravenna

Il litorale ravennate che va dalla foce del fiume Savio ai moli di Porto Corsini, macrocella M4, è lungo 19.100 m. Procedendo da sud verso nord, si incontrano le spiagge di Lido di Classe, Foce Bevano, Lido di Dante, Lido Adriano, Punta Marina e Marina di Ravenna (**TABELLA 20, FIGURA 143, FIGURA 144, FIGURA 151 E FIGURA 152**).

L'evoluzione di questo litorale è strettamente connessa all'apporto sedimentario dei fiumi Savio, Bevano e Fiumi Uniti, alla presenza dei moli del porto di Ravenna e al trasporto solido litoraneo. Quest'ultimo ha una direzione prevalente sud-nord, mentre nel paraggio tra Lido di Dante e la zona del Bevano ha una prevalenza nord-sud. I moli portuali, costruiti nel periodo 1958-1969 (il porto fu inaugurato nel 1971), si aggettano in mare per circa 2500 m, oltre la batimetrica degli 8 m, quindi oltre la profondità di chiusura, impedendo il trasporto solido litoraneo tra le spiagge poste a sud e a nord dei moli stessi (Arpae, 2016).

Nel corso dei primi anni del 900, ma ancor più a partire dagli anni 50 del secolo scorso, la riduzione degli apporti solidi fluviali ha determinato un continuo arretramento prima delle cuspidi fluviali e poi delle spiagge limitrofe. A partire degli anni 70, per arginare il fenomeno dell'erosione costiera, il Ministero dei Lavori Pubblici è dovuto intervenire con la realizzazione di scogliere a difesa delle località litoranee che, nel frattempo, si stavano sviluppando grazie a una rapida crescita del turismo balneare (Arpa, 2008). Al 2018, 10 km di litorale su 19 km 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 inoltre necessario effettuare diversi e importanti interventi di ripascimento, soprattutto nelle zone difese con opere rigide.

Tra il 2012 e il 2018, nel tratto di litorale compreso tra la foce del Savio e il molo di Porto Corsini, si è avuto un accumulo di circa 210.000 mc di sedimento (**FIGURA 145 E FIGURA 153**),

pari a 11 mc/m, a fronte di un apporto sedimentario dall'esterno della macrocella di 390.000 mc (**TABELLA 20**). In questa macrocella, rispetto alle altre, la perdita in volume di spiaggia per subsidenza, stimata in 320.000 mc, incide significativamente sul bilancio sedimentario finale. Tra la foce del Bevano e Lido Adriano il tasso di subsidenza, pur in riduzione negli ultimi anni, supera i 10 mm/anno, con valori massimi di 17 mm/anno nella zona di Lido di Dante (**TABELLA 10**): si tratta dei tassi più elevati a livello regionale (**TABELLA 10 E TABELLA 18**).

La macrocella 4 è in condizioni di stabilità o di accumulo, a eccezione delle celle 71 (Bevano Nord) e 75 (Nord Foce Fiumi Uniti) che sono in erosione (**TABELLA 20, COLONNA ASE**). Questa complessiva buona situazione è stata garantita da una serie di interventi di ripascimento, per un totale di oltre 480.000 mc di sabbia apportata. Il 77% di sabbia (oltre 370.000 mc) è stato apportato nell'ambito dell'intervento regionale di ripascimento con sabbie sottomarine realizzato nel 2016 (Vecchi, 2018) (Arpae, 2019), il 4% (circa 19.000 mc) proviene da cave a terra, e il restante 19% (circa 92.000 mc) deriva da paleggiamenti interni alla macrocella dal litorale di Marina di Ravenna (cella 79) a quello di Punta Marina (celle 77 e 78).

Nel 2014 è stato realizzato un intervento di riassetto e ricalibratura del sistema delle opere di difesa di Lido di Dante (cella 72).

Il tratto di litorale da Lido di Classe alla foce del Bevano (celle 65-68), nel periodo 2012-2018, risulta stabile, e la linea di riva non ha subito variazioni significative.

Nelle celle 65-66 si è avuta una modesta perdita di volume e un leggero arretramento della linea di riva, con valori inferiori rispettivamente ai 30 mc/m e a 10 m nell'intero periodo 2012-2018 (**TABELLA 20 E FIGURA 145**).

La spiaggia emersa di Lido di Classe (cella 65), difesa da 10 scogliere parallele emerse, ha un'ampiezza media di 120-130 m, mentre a partire dal primo pennello di Lido di Classe Nord (cella 66) e fino alla foce del Bevano la spiaggia emersa ha un'ampiezza di 50-60 m.

Nel tratto di spiaggia a sud del Bevano privo di opere di difesa (celle 67 e 68) si osserva la presenza di due barre sommerse, che nel 2018 rispetto al 2012 risultano essere più sviluppate e più vicine alla battigia (**FIGURA 146**).

Il paraggio dalla foce del Bevano a quella dei Fiumi Uniti (celle 69-74) presenta una situazione articolata dovuta a una serie di fattori incidenti quali l'apporto sedimentario fluviale, la deriva litorale, le perdite per subsidenza e gli interventi di difesa. In particolare, il paraggio a sud della foce di Fiumi Uniti (cella 73) risulta in accumulo e la linea di riva è avanzata di 15-20 m. Anche la spiaggia di Lido di Dante (cella 72) è in accumulo e la linea di riva è avanzata di 10-15 m, ma questo grazie alla presenza di un importante sistema di difesa formato da scogliere e pennelli e all'apporto di 38.000 mc di sabbia, di cui il 90% apportato nel 2016 nell'ambito dell'intervento di ripascimento regionale con sabbie sottomarine. Inoltre, la sabbia che migra dalla parte alta della spiaggia verso la scogliera parallela viene periodicamente riportata sulla spiaggia emersa tramite mezzi meccanici scraper (**FIGURA 147 E FIGURA 148**).

Nel paraggio tra la foce Bevano e il pennello sud del sistema di opere di difesa di Lido di Dante (celle 70 e 71), lungo 2.300 m e privo di opere di difesa in mare, è presente nella parte alta della spiaggia emersa un argine in terra a difesa dall'inondazione della pineta retrostante. Nel 2006 erano in erosione i primi 500 m a nord, il fenomeno è poi via via progredito e nel 2012 interessava il primo chilometro (Arpae, 2016). Al 2018, ben 2 km di paraggio sono in erosione e la linea di riva risulta in arretramento di 10-20 m (**FIGURA 149**), mentre gli ultimi 350-400 m prossimi alla foce del Bevano sono in accumulo e la linea di riva è in equilibrio (**TABELLA 20**).

Durante eventi di mareggiata è stata erosa anche parte dell'argine in terra posto tra la battigia e la pineta retrostante. Questo continuo peggioramento è determinato dall'assenza di alimentazione fluviale, dalla falcata erosiva causata dalle opere di difesa di Lido di Dante,

almeno per la zona più prossima alle opere, dal trasporto solido litoraneo che ha avuto una prevalenza nord-sud, e dalle perdite in volume per subsidenza (**TABELLA 10**).

Per far fronte a questo forte processo erosivo, nei primi 600 m a sud del primo pennello di Lido di Dante, nel 2016 sono stati apportati 87.360 mc di sabbia proveniente da giacimenti sottomarini (145 mc/m), che tuttavia sono risultati insufficienti per compensare le perdite (**FIGURA 150**).

La spiaggia emersa a nord della foce del Bevano ha un'ampiezza di 80 m, poi tende gradualmente a ridursi fino quasi a scomparire nella zona a ridosso delle opere di difesa di Lido di Dante. La quota di spiaggia ha valori massimi di 1-1,5 m, quindi la tenuta dell'argine in terra presente è a garanzia della difesa dall'inondazione della pineta retrostante. La spiaggia emersa di Lido di Dante presenta un'ampiezza di 60-70 m e una quota inferiore ai 2 m, mentre i 600 m di spiaggia priva di stabilimenti a sud della foce di Fiumi Uniti hanno un'ampiezza di oltre 100 m.

Sia nel paraggio del Bevano in erosione (area a nord) che in quello in equilibrio (area a sud) sono presenti una o più barre sommerse e la dinamica della spiaggia sommersa appare attiva (**FIGURA 146 E FIGURA 149**).

Lo stato dei 10,5 km di litorale a nord della foce Fiumi Uniti è la conseguenza dell'assenza di apporti fluviali, della deriva litoranea prevalentemente diretta sud-nord e della presenza del molo di levante del porto di Ravenna, che aggettandosi in mare per 2.500 m blocca il trasporto solido lungo costa. Nel periodo 2012-2018, i 7 km di litorale di Lido Adriano (cella 76) e Punta Marina (celle 77 e 78), difesi da scogliere radenti, scogliere parallele emerse e sommerse e pennelli in roccia, risultano stabili o in accumulo, ma solo grazie a periodici interventi di ripascimento, altrimenti sarebbero in equilibrio precario o in erosione (**TABELLA 20**). In totale, sono stati apportati oltre 357.000 mc di sedimento, di cui 250.000 mc provenienti da

depositi sottomarini (apportati nella cella 77) (Vecchi, 2018), 15.600 mc da cave a terra e oltre 92.000 mc dal litorale di Marina di Ravenna. Anche in queste tre celle (76-78) la sabbia che migra dalla parte alta della spiaggia verso la scogliera parallela viene periodicamente riportata sulla spiaggia emersa tramite mezzi meccanici scraper.

Il fondale di questo paraggio è caratterizzato dalla presenza di buche erosive: in particolare a Lido Adriano, a sud della prima scogliera parallela emersa, e in corrispondenza dei varchi tra le ultime 6 scogliere a nord, a Punta Marina in corrispondenza dei varchi e della testata nord della scogliera soffolta (**FIGURA 152 E FIGURA 154**).

La cella 75, lunga 360 m e difesa da una scogliera radente, è in erosione e non sono stati effettuati ripascimenti (**TABELLA 20 E FIGURA 153**).

I 3 km di spiaggia di Marina di Ravenna (cella 79), privi di opere difesa dall'erosione, sono in buone condizioni grazie all'accumulo di sedimento determinato dal trasporto solido litoraneo diretto sud-nord e dall'azione di blocco del trasporto solido del molo di Levante del porto di Ravenna.

Nel periodo 2006-2012 sono stati prelevati 92.000 mc di sabbia e portati a ripascimento delle spiagge più a sud in erosione (**TABELLA 20 E FIGURA 153**).

La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 60 m a Lido Adriano, di 80-90 m a Punta Marina e Punta Marina Nord, tende poi gradualmente ad ampliarsi a Marina di Ravenna, fino a raggiungere i 180-200 m nella zona più prossima al molo. La quota di massima della spiaggia è variabile da zona a zona con valori medi di 1,8-2,00 m e valori massimi anche superiori ai 2,5 m in particolare nelle zone dove è ancora presente la duna naturale. Alcuni tratti di spiaggia pur molto ampi presentano una quota massima inferiore a 1,5 m, quindi risultano inondabili anche con eventi meteorologici marini con tempo di ritorno di 10 anni (**FIGURA 155**).

TABELLA 20

Litorale Foce Savio – Marina di Ravenna (M4): Variazione di volume (DV), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre) e indicatori di stato delle spiagge ASE e ASPE nel periodo 2012-2018 (lunghezze in m, volumi in mc).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	ASE	ASPE
65	Lido di Classe	1.220	-30.353	7.282	0	0	S	S
66	Lido di Classe Nord	580	-11.114	5.303	0	0	S	S
67	Bevano Sud	1.000	7.289	10.375	0	0	S	S
68	Bevano Centro Sud	1.900	22.083	27.092	0	0	S	S
69	Foce Bevano	110	890	2.949	0	0	-	-
70	Bevano Centro Nord	1.300	8.991	36.414	0	0	S	S
71	Bevano Nord	1.000	-82.377	28.472	87.380	0	E	E
72	Lido di Dante	605	38.147	14.788	38.105	0	A	P
73	Sud Foce Fiumi Uniti	600	39.799	23.208	0	0	A	A
74	Foce Fiumi Uniti	270	-4.527	10.502	0	0	-	-
75	Nord Foce Fiumi Uniti	360	-15.503	10.557	0	0	E	E
76	Lido Adriano	2.560	54.367	51.053	7.390	0	S	P
77	Punta Marina	3.730	130.177	41.652	298.730	0	A	E
78	Punta Marina Nord	865	19.220	9.555	51.400	0	S	E
79	Marina di Ravenna	3.000	43.948	41.297	0	92.100	S	A
	Totale	19.100	221.037	320.499	483.005	92.100		

N.B. Nella macrocella 4 non risultano ripascimenti effettuati con la sabbia recuperata dalla vagliatura del materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge della macrocella stessa.

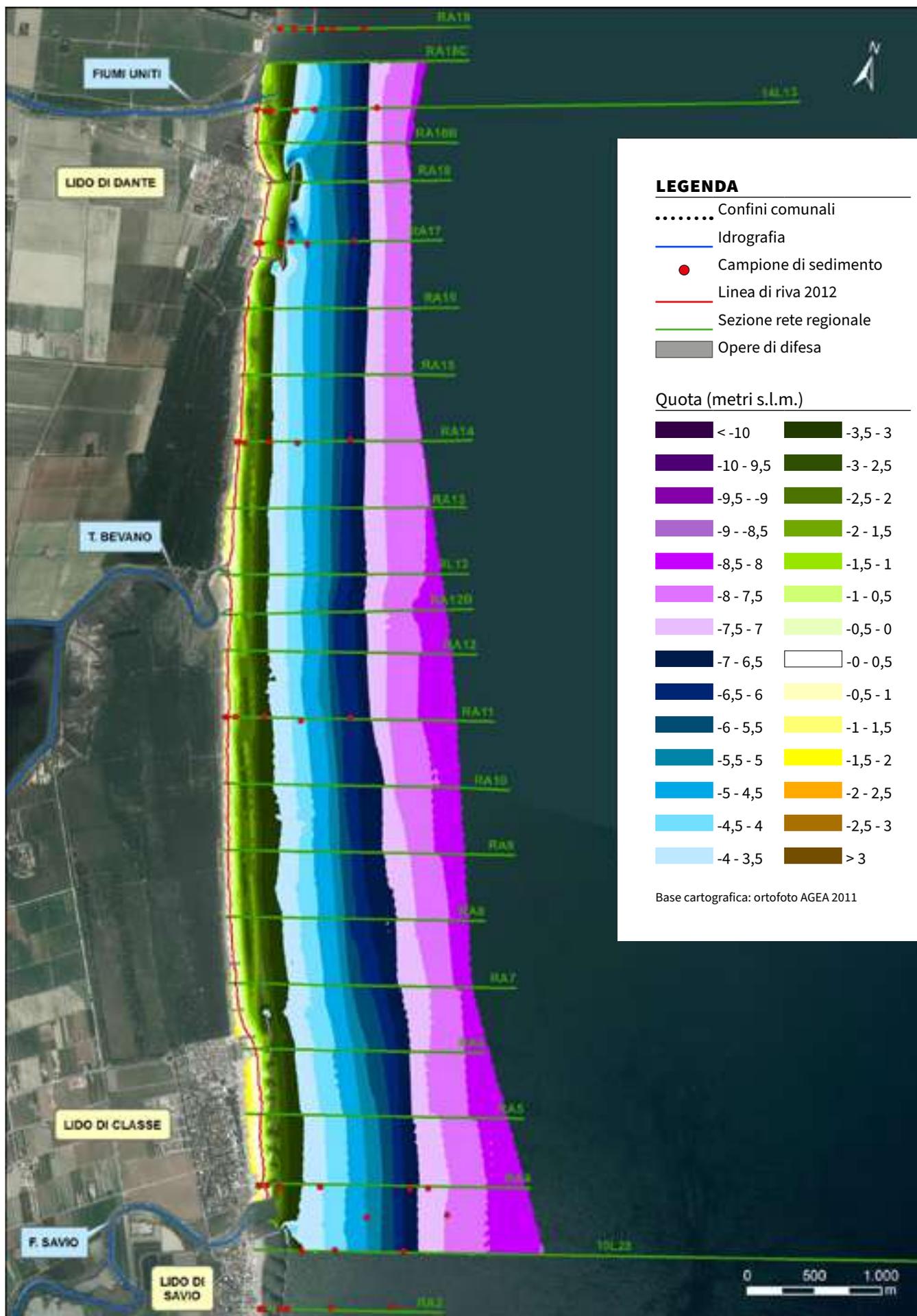


FIGURA 143 Foce Fiume Savio – Foce Fiumi Uniti: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

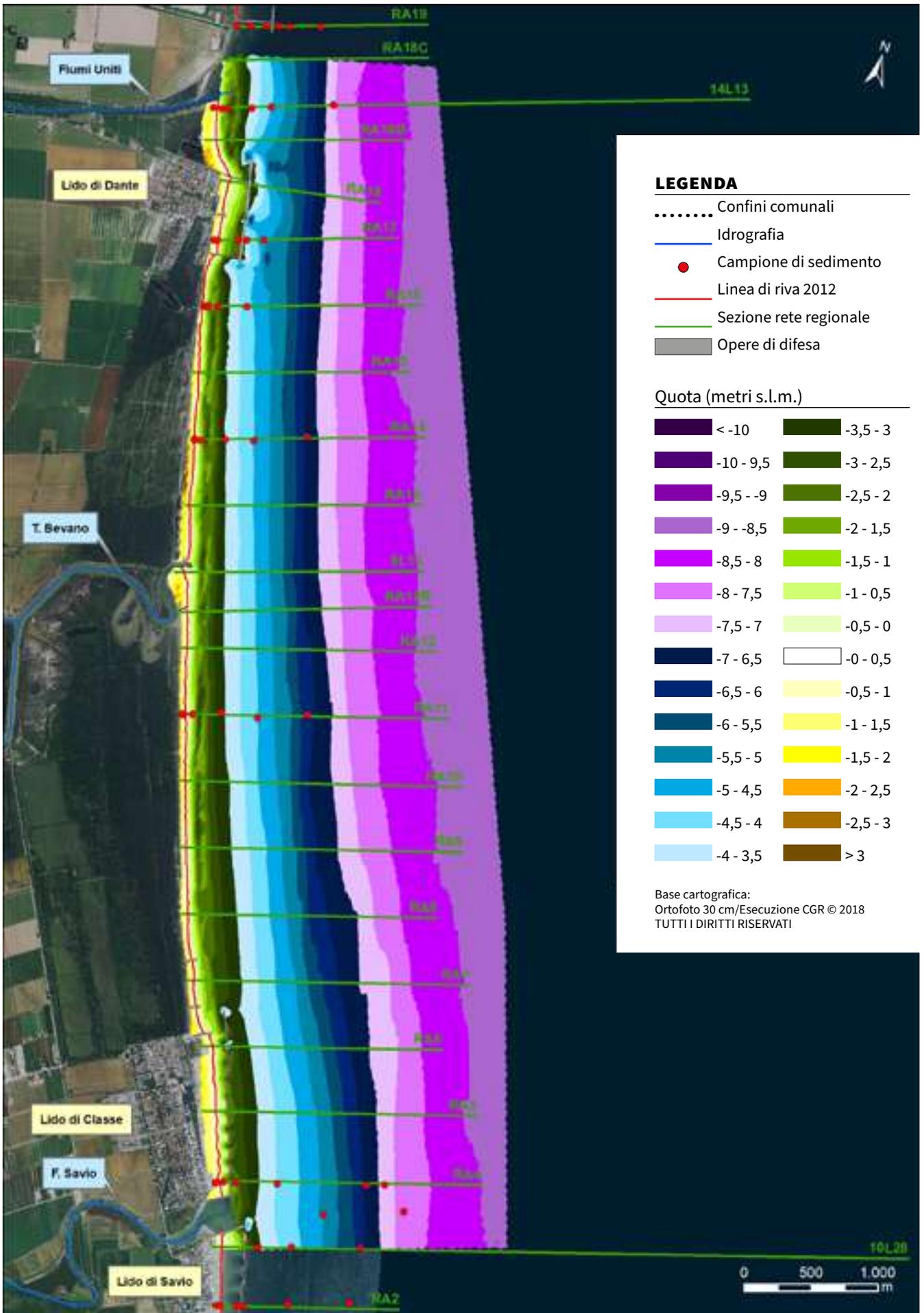


FIGURA 144 Foce Fiume Savio – Foce Fiumi Uniti: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

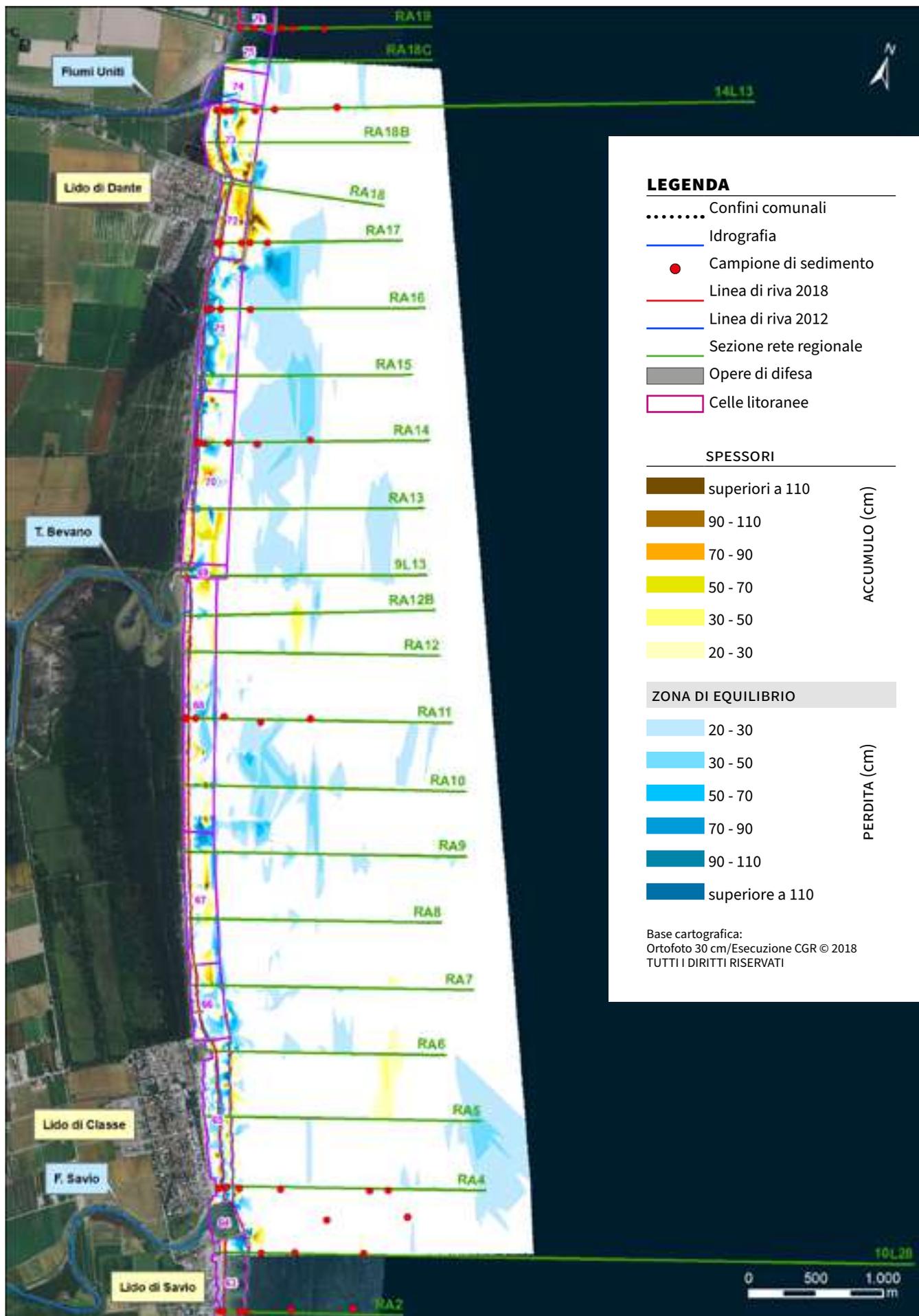


FIGURA 145 Foce Fiume Savio – Foce Fiumi Uniti: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018 e punti di campionamento sedimenti 2018.

FIGURA 146 Bevano Centro Sud (cella 68): Profilo RA11.

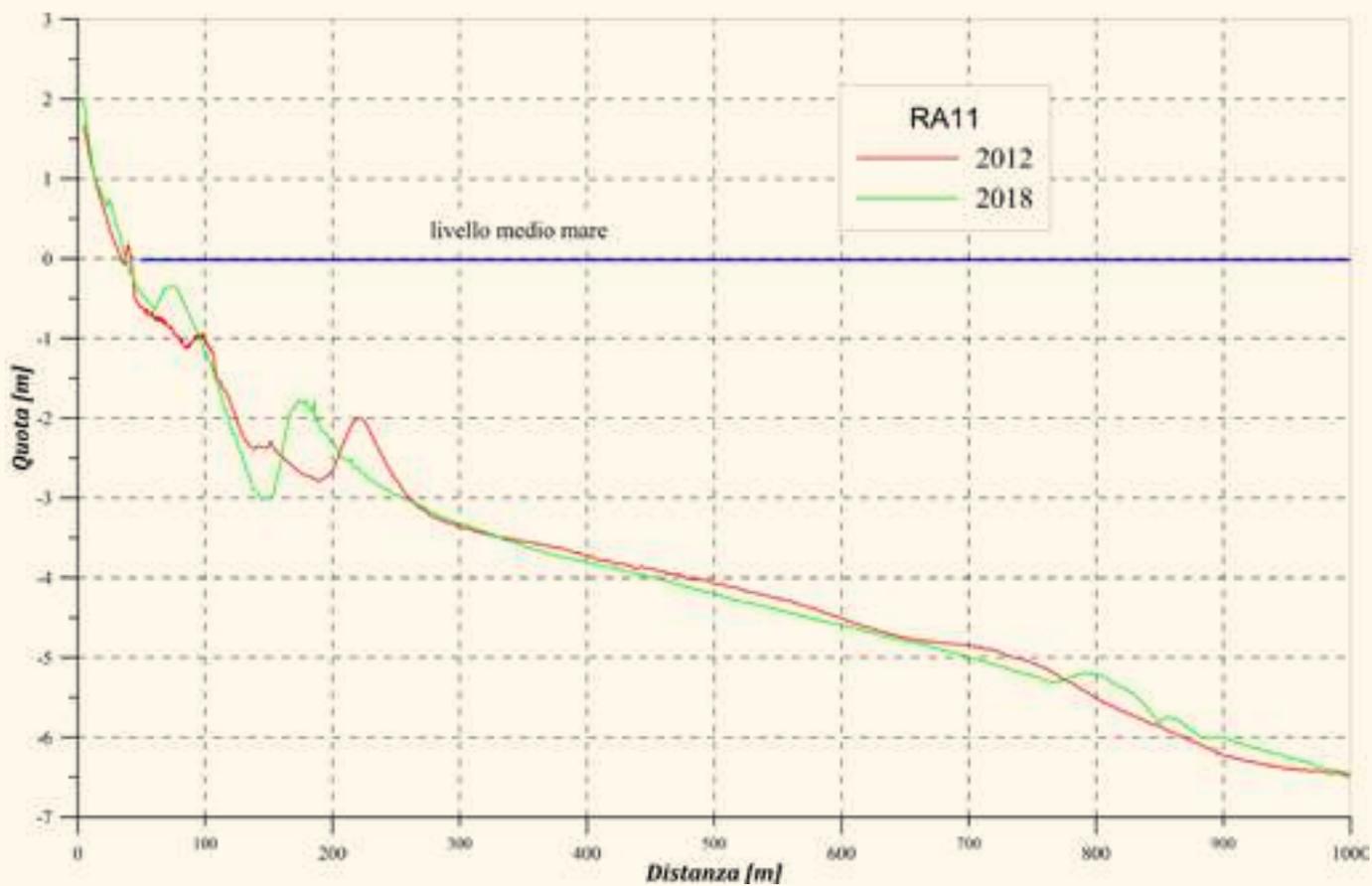


FIGURA 147- Lido di Dante (cella 72): Profilo RA17.

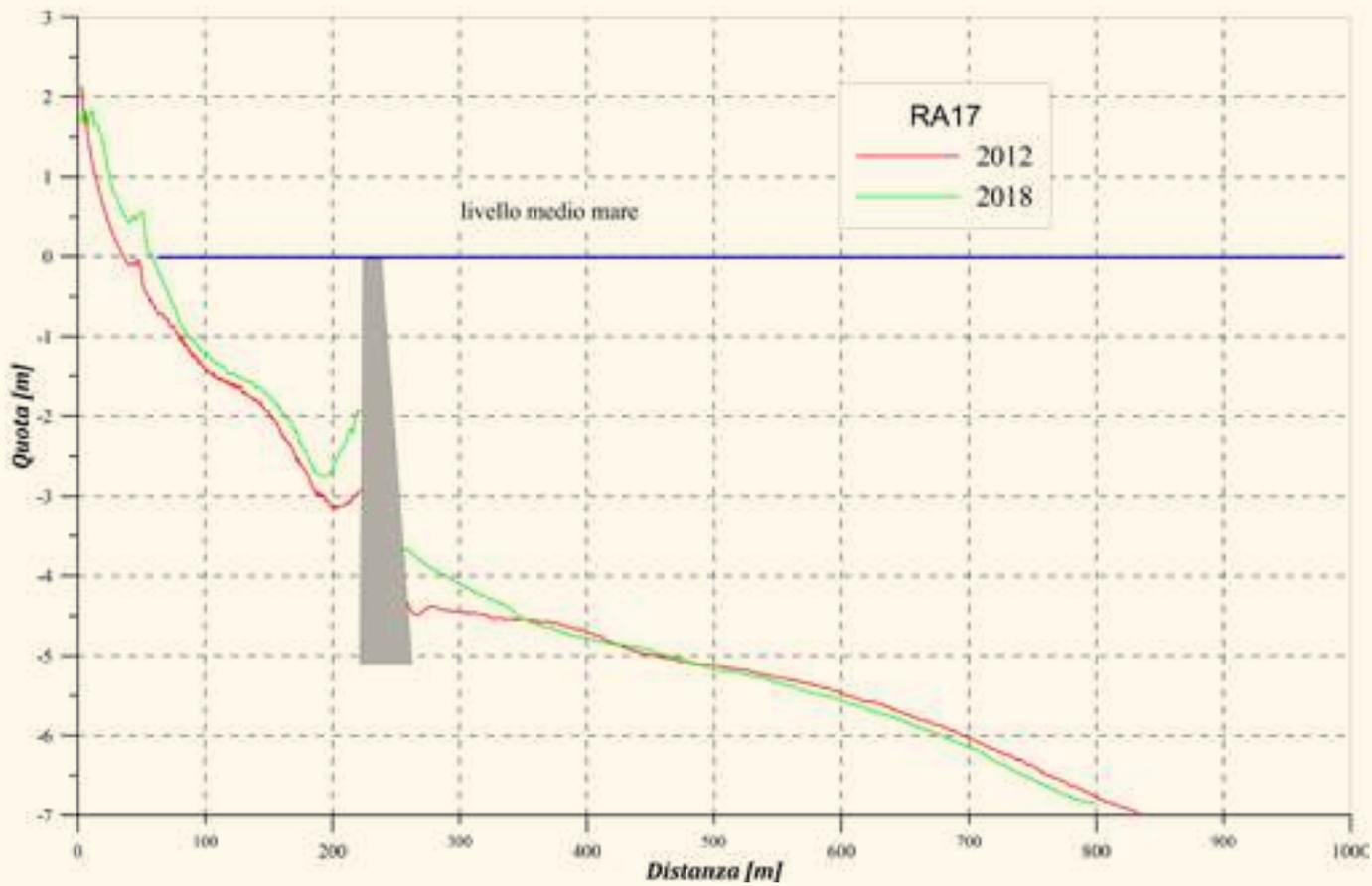




FIGURA 148 Lido di Dante (cella 72): in alto, spiaggia in erosione (Bagno Smeraldo, 5 febbraio 2014), in basso, ripristino della spiaggia in seguito al ripascimento con sabbie sottomarine (freccia nera, posizione del Bagno Smeraldo, 4 ottobre 2016).

FIGURA 149 Bevano Centro Nord (cella 70): Profilo RA14.

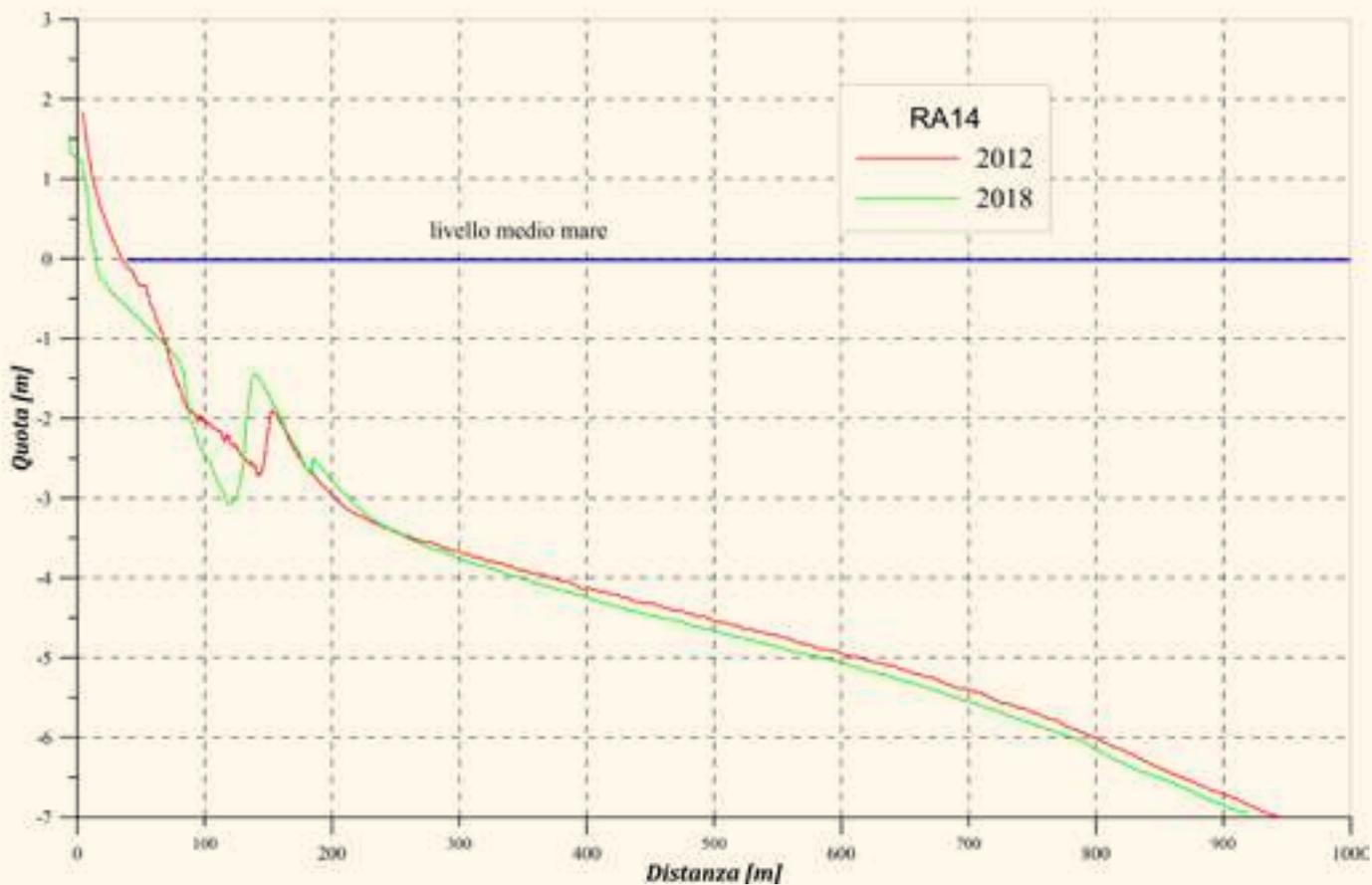


FIGURA 150
Bevano Nord (cella 71):
spiaggia in erosione (5 febbraio 2014);



ripristino della spiaggia in seguito al ripascimento
con sabbie sottomarine (4 ottobre 2016).

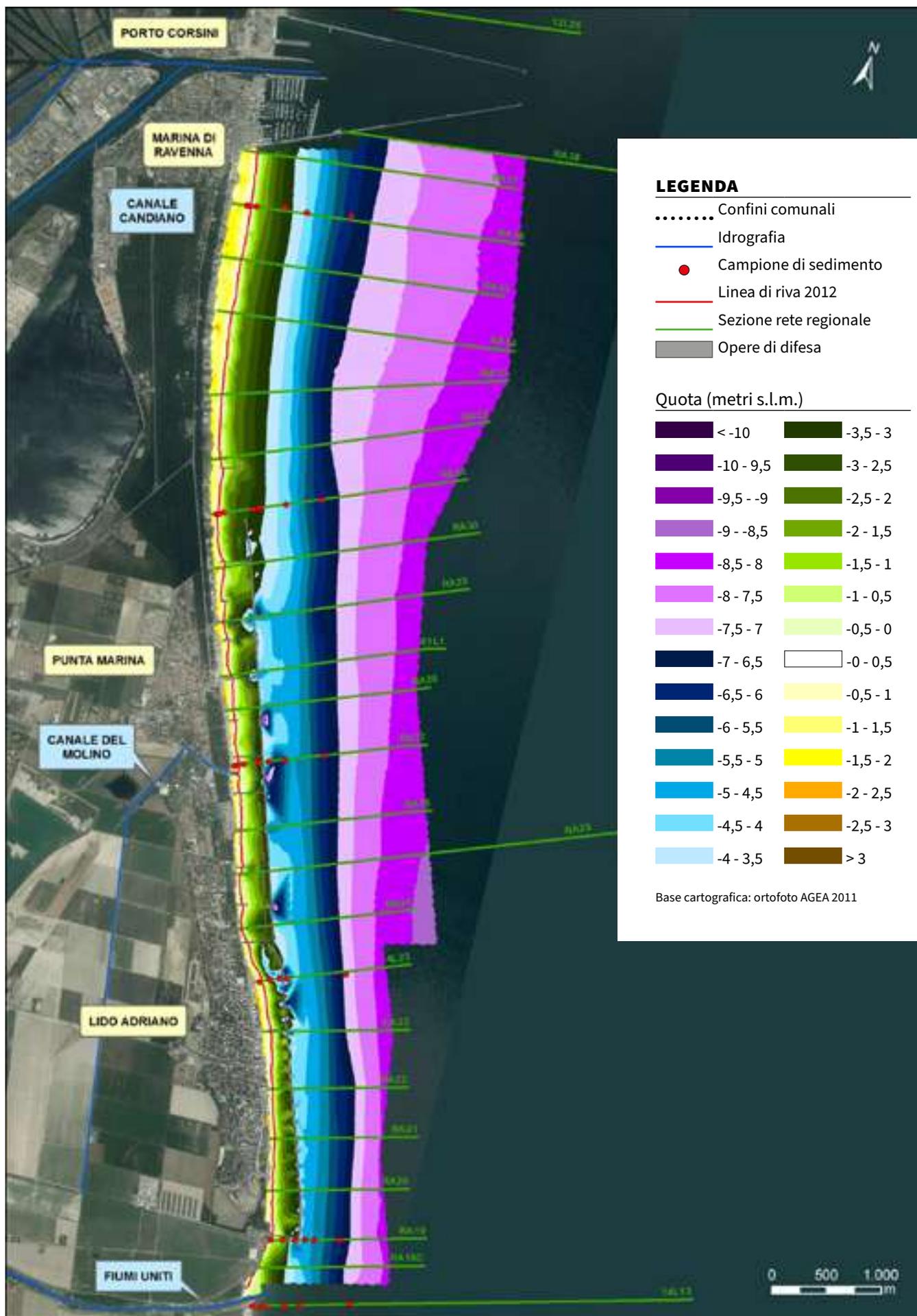


FIGURA 151 Foce Fiumi Uniti – Marina di Ravenna: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

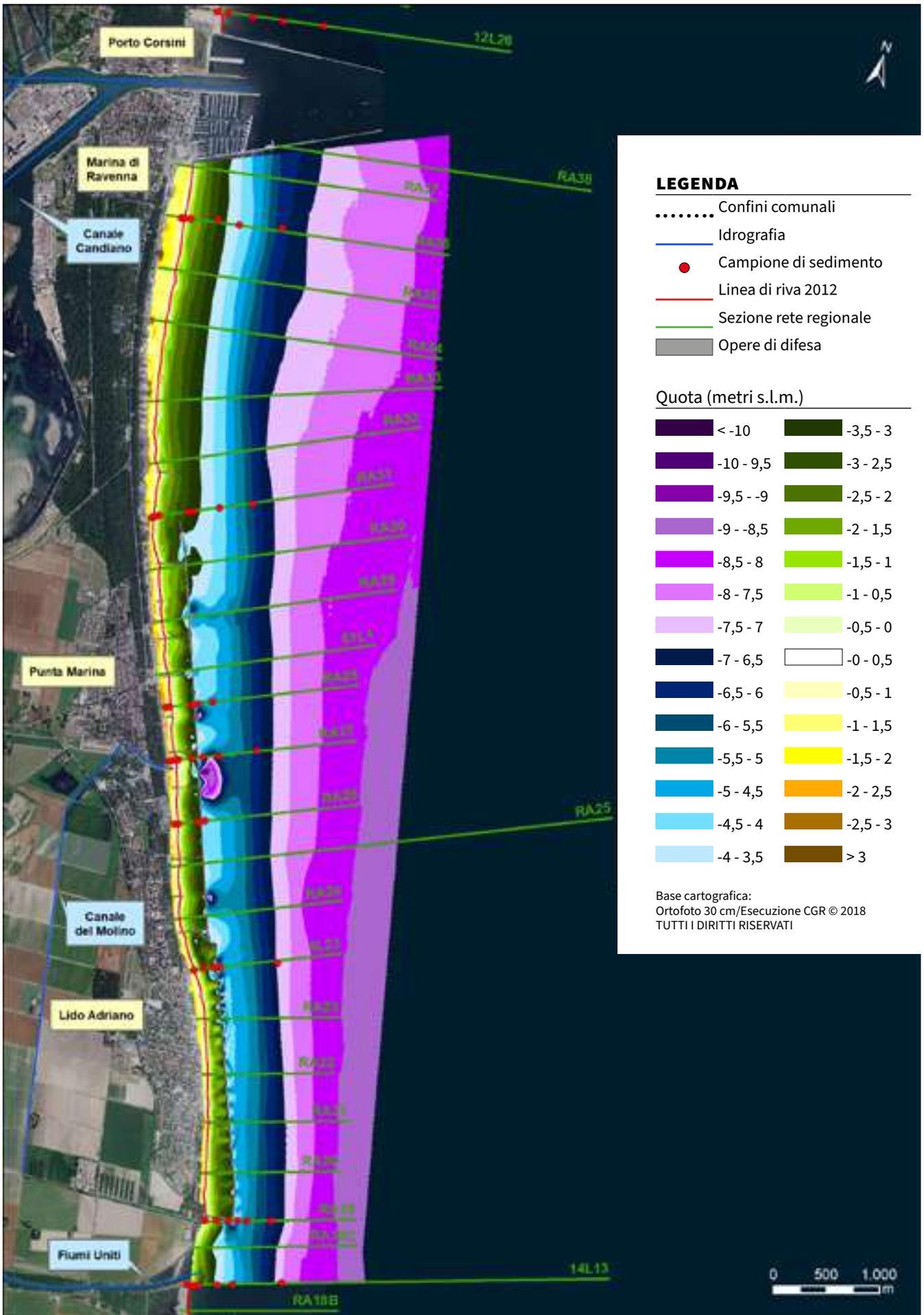


FIGURA 152 Foce Fiumi Uniti – Marina di Ravenna: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

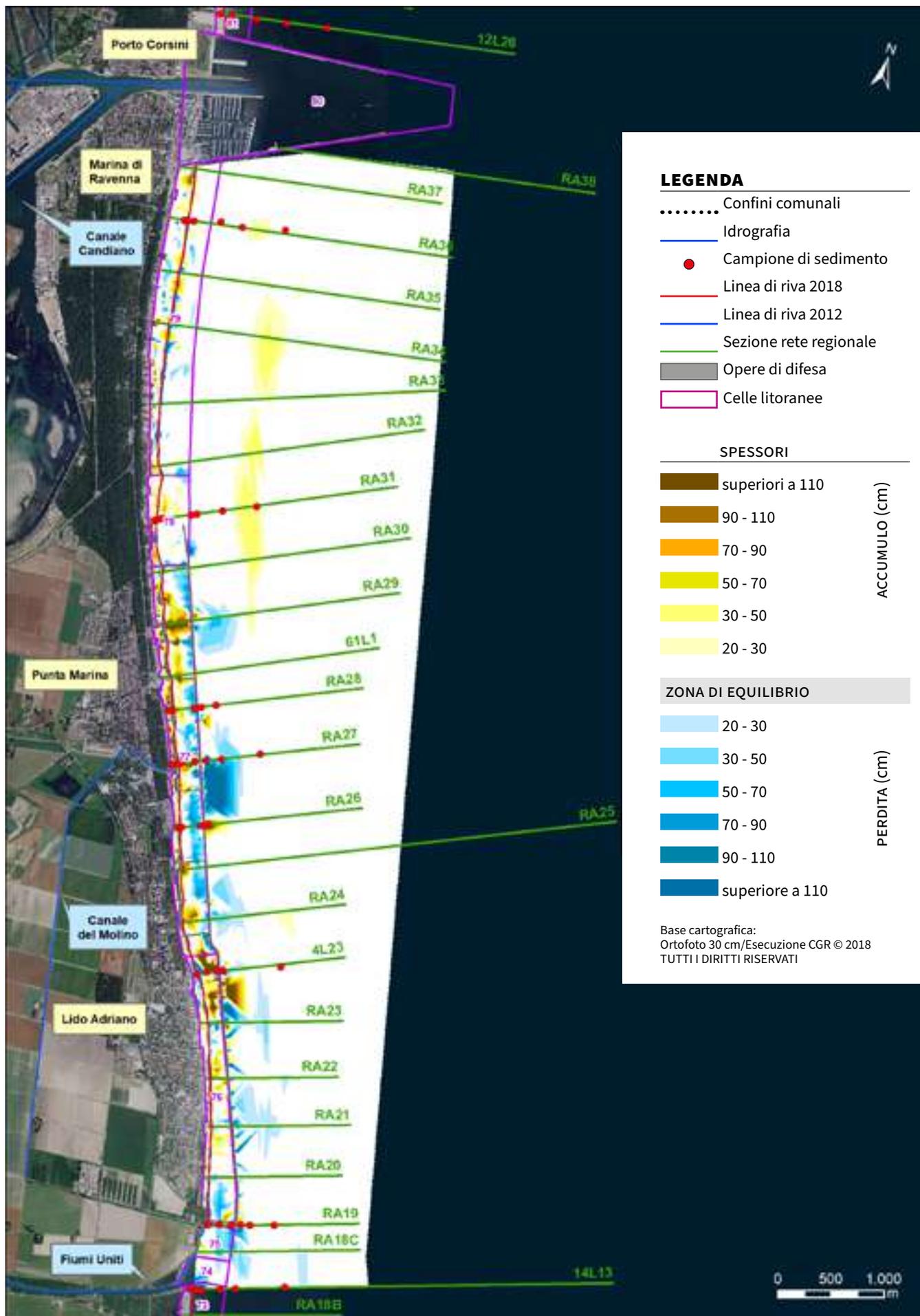


FIGURA 153 Foce Fiumi Uniti – Marina di Ravenna: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018.

FIGURA 154 Punta Marina (cella 77): Profilo RA27.

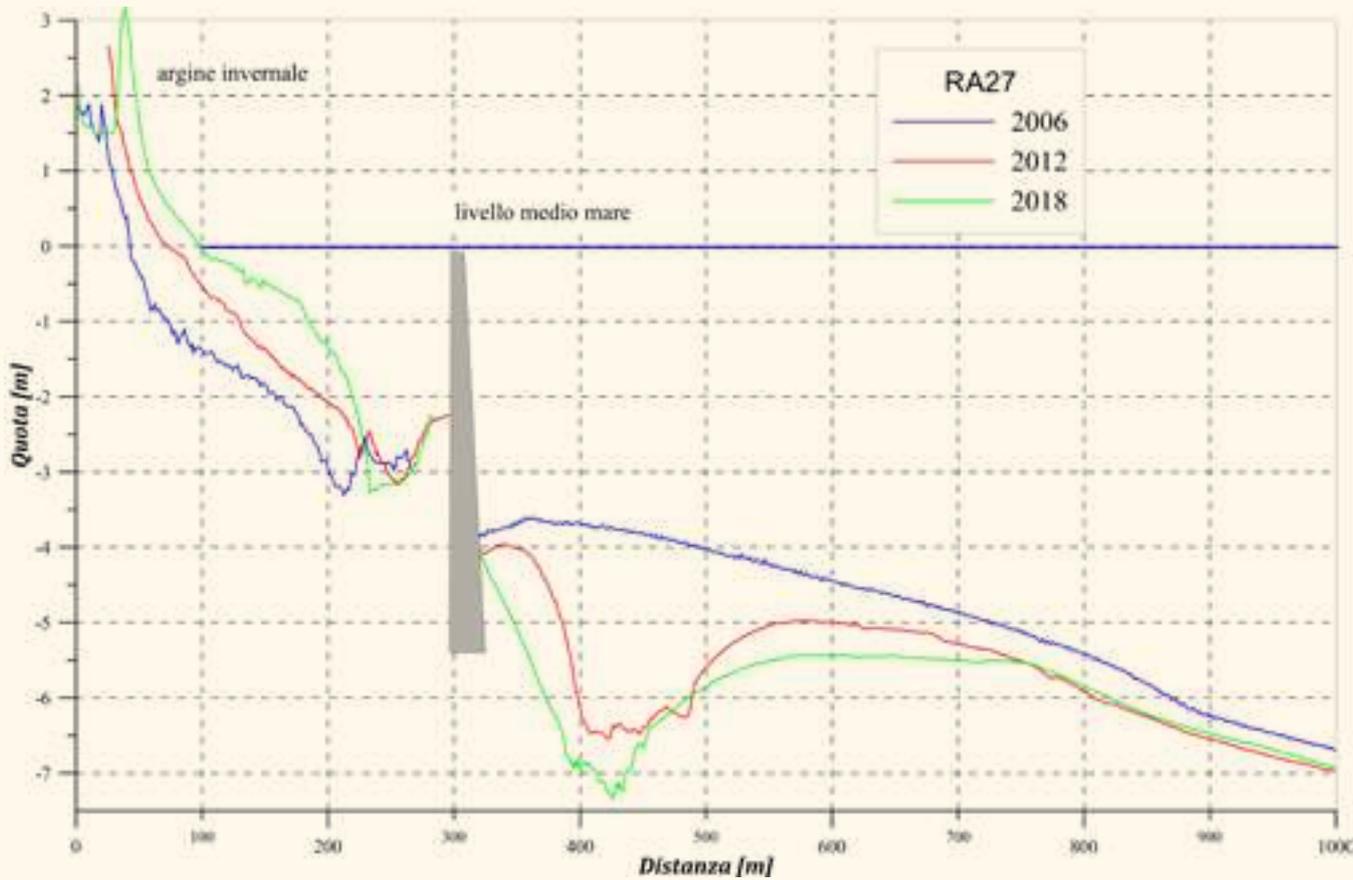
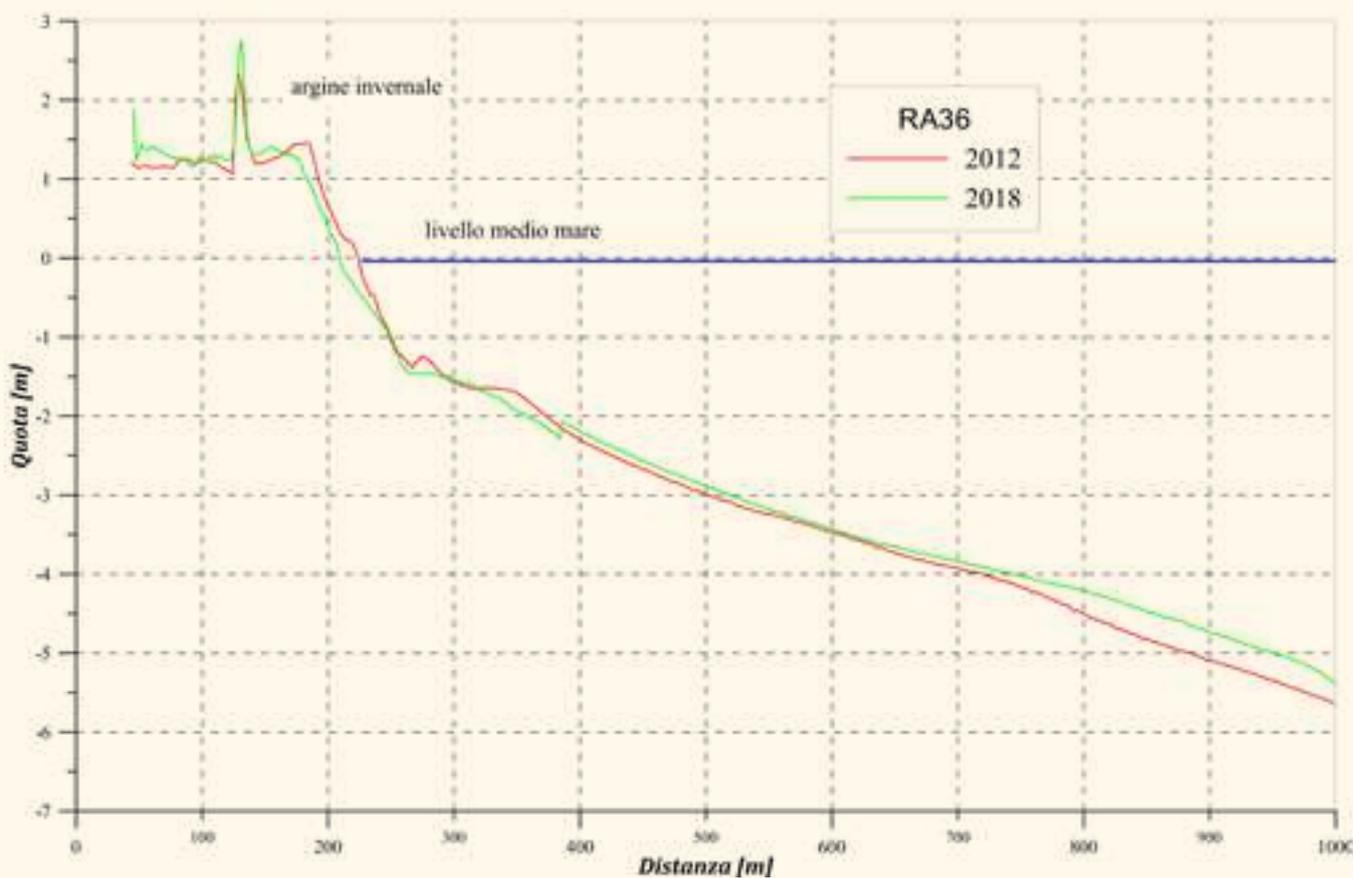


FIGURA 155 Marina di Ravenna (cella 79): Profilo RA36.



9.5 Porto Corsini – Porto Garibaldi

Il tratto di litorale che si estende dal molo ponente del porto di Ravenna al molo levante di Porto Garibaldi (macrocella M5), lungo 20.590 m, comprende le spiagge di Porto Corsini, Marina Romea e Casal Borsetti del comune di Ravenna, il fronte mare del Poligono Militare di foce Reno, la spiaggia naturale di Bellocchio, le spiagge di Lido di Spina e Lido degli Estensi del comune di Comacchio (**TABELLA 21, FIGURA 156, FIGURA 157, FIGURA 166 E FIGURA 167**).

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

La riduzione della portata solida del fiume Reno, già evidente nella prima metà del XX secolo, associata al trasporto solido litoraneo divergente in corrispondenza dell'area di foce Reno, ha innescato un forte processo erosivo che ha determinato lo smantellamento della foce, prima, e un vistoso arretramento delle spiagge limitrofe, dopo. Tale arretramento si estende a nord della foce del Reno fino a Lido di Spina, mentre verso sud arriva fino a Marina Romea. Il blocco del trasporto solido esercitato dal molo di Ponente del porto di Ravenna ha garantito l'avanzamento della spiaggia di Marina di Ravenna (cella 79) e di Porto Corsini (cella 81), mentre quello determinato dal molo di levante di Porto Garibaldi ha favorito l'avanzamento della spiaggia di Lido degli Estensi (cella 100) e di Lido di Spina Nord (cella 98).

Per contrastare i forti processi erosivi, sono state realizzate una serie di opere rigide (scogliere radenti, scogliere parallele emerse, pennelli, ecc...) nel tratto compreso tra la foce del Reno e il Lamone, e alcuni pennelli in legno o in roccia a Lido di Spina Sud (cella 97). Inoltre, per ripristinare la spiaggia emersa sono stati effettuati periodici ripascimenti.

Complessivamente, nel periodo 2012-2018, la macrocella 5 ha subito una perdita di sedimenti di quasi 740.000 mc, pari a 35 mc/m. Il volume stimato di spiaggia persa

per subsidenza è di quasi 136.000 mc, pari a circa 6 mc/m nell'intero periodo di analisi. I tassi di subsidenza della macrocella M5 sono molto bassi, dell'ordine di qualche mm/anno, tranne nella zona di Porto Corsini dove le velocità medie di abbassamento sono di 8 mm/anno (**TABELLA 10 E TABELLA 21**).

La situazione della macrocella M5 si presenta però eterogenea: la zona sud, da Porto Corsini (C81) alla foce del Reno (C91), è in accumulo o stabile (eccetto la cella 89 in erosione), quella centrale, da Foce Reno (C92) a Lido di Spina Sud (C97), è in erosione, quella nord, da Lido di Spina Nord (C98) a Lido degli Estensi (C100), è in accumulo (**TABELLA 21, COLONNA ASE, FIGURA 158 E FIGURA 168**).

Tra il 2012 e il 2018 sono stati realizzati una serie di interventi di ripascimento, perlopiù paleggiamenti interni alla macrocella M5 da zone in accumulo a zone in erosione, per un totale di oltre 570.000 mc di sedimento movimentato (**TABELLA 21**). Si conta un solo apporto da cava a terra di 440 mc, un apporto di 1000 mc proveniente dallo Scannone di Volano (C110 – M6) e un prelievo di 2150 mc dalla foce del canale Logonovo (C99 – M5) portato a ripascimento di Lido delle Nazioni (C105 – M6). I paleggiamenti sono risultati sufficienti per stabilizzare le celle 83 e 86, mentre non hanno garantito la stabilizzazione delle celle 96 e 97, pur avendo apportato 470.000 mc di sedimento, pari all'80% del totale di materiale movimentato (**TABELLA 21, COLONNA ASPE, FIGURA 158 E FIGURA 168**).

Nel 2013 sono state ricalibrate le scogliere di Casal Borsetti e chiusi i varchi tramite delle barriere soffolte; nel 2015 a sud del Bagno Giamaica (cella 96) è stato realizzato un pennello in pali di legno; nel 2018 è stato effettuato un intervento di ripristino dei pennelli in pali di legno e dell'argine di difesa dal mare presenti a nord del Bagno Giamaica (cella 97).

Il tratto di litorale che va dal molo di ponente di Porto Corsini alla foce del Lamone (celle 81-83), lungo circa 3200 m, è privo di opere di difesa rigida. I litorali di Porto Corsini (C81) e di Marina Romea (C82) sono in accumulo,

mentre quello di Marina Romea Nord (C83) è stabile grazie all'apporto di circa 73.000 mc di sedimento proveniente per la maggior parte dal litorale di Porto Corsini, e per una piccola parte dalla foce del Lamone. La linea di riva non ha subito variazioni significative e la spiaggia emersa ha un'ampiezza media di oltre 200 m a Porto Corsini, di 150 m a Marina Romea e di 70 a Marina Romea Nord.

Le spiagge emerse di Porto Corsini (C81) e Marina Romea (C82), pur essendo molto ampie, presentano zone con quota massima inferiore ai valori di 2,5 m e 1,81 m, risultando quindi inondabili con eventi con tempi di ritorno rispettivamente di super 100 anni e di 100 anni. La spiaggia di Marina Romea Nord (C83) quasi ovunque presenta quota massima superiore ai 2,5 m (**FIGURA 159 E FIGURA 160**).

I primi 2 km di litorale a nord della foce del Lamone (cella 85) sono protetti da un sistema di opere costituito da una scogliera radente e 7 pennelli in roccia di diversa lunghezza e forma. La spiaggia emersa è presente nei primi 350 m a nord del Lamone e nelle zone prossime ai pennelli, e ha un'ampiezza media di 30-40 m. Lo stato di accumulo di questo paraggio (80.000 mc) 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 2,5-3,0 m (**FIGURA 158, FIGURA 161 E FIGURA 162**). La spiaggia di Casal Borsetti (celle 86 e 88) è difesa nel tratto a sud del canale Destra Reno da 5 scogliere parallele emerse e da una che è in parte emersa e in parte sommersa, in quello a nord da 4 scogliere parallele emerse e da una sommersa (che ricade nella cella 89). Queste scogliere, oltre a difendere l'abitato di Casal Borsetti dagli eventi di mareggiata, hanno garantito la presenza della spiaggia emersa altrimenti destinata a scomparire (**FIGURA 163 E FIGURA 164**).

Il tratto sud ha subito una leggera perdita di sedimento di circa 22.500 mc, pari a 27 mc/m, e un leggero arretramento della linea di riva di 9 m, quindi è classificabile come stabile. Il tratto

nord, invece, è in accumulo di oltre 72.000 mc, pari a 140 mc/m, e la linea di riva è avanzata mediamente di 25 m.

La linea di riva ha un andamento rettilineo, mentre la spiaggia sommersa tra battigia e scogliere è caratterizzata dalla presenza di salienti. Alla testata della scogliera sommersa a nord è presente una buca ampia circa 100 m x 100 m e profonda oltre 7 m (**FIGURA 157**).

La spiaggia emersa presenta una quota massima superiore ai 1,81 m nella zona sud, mentre in quella nord ci sono aree con quote inferiori a tale valore.

Il tratto di litorale da Casal Borsetti (C89) fino all'attuale foce del Reno (cella 91), lungo oltre 4 km, è difeso da una scogliera radente costruita nel corso degli anni 80 e da due pennelli in roccia. Questo tratto di costa è praticamente privo di spiaggia emersa (**FIGURA 165**), presente solamente nei primi 200-250 m e ha un'ampiezza media di 50 m. La cella 89 è in erosione, mentre le celle 90 e 91 sono rimaste stabili.

Il tratto di litorale dalla foce del Reno a Lido di Spina Sud, lungo circa 6 km (celle 92-97), è in forte erosione (**FIGURA 168, FIGURA 169 E FIGURA 170**). Nel periodo 2012-2018 è stata calcolata una perdita di sedimento di oltre 1,28 milioni di mc (pari a un tasso di erosione di oltre 200 mc/m), oltre ai 435.000 mc portati a ripascimento al netto dei prelievi realizzati alla foce del Gobbino, e un arretramento della linea di riva dai 30 m agli 80 m. Nella zona a sud e a nord del Bagno Giamaica (stabilimento posizionato subito a nord del limite tra le celle 96 e 97, **FIGURA 168**) sono stati apportati 470.000 mc di sedimento, ma non sono risultati sufficienti a stabilizzare la spiaggia. Il materiale proviene prevalentemente dal dragaggio della foce del canale Logonovo, di cui 175.000 mc sono stati apportati nel 2016 nell'ambito del Progettone 3, e in misura minore dalla foce del canale Gobbino.

La spiaggia emersa ha un'ampiezza variabile da pochi metri a un centinaio di metri, e ha una quota massima inferiore al metro dalla foce del Reno a quella del Gobbino e inferiore a 1,5 m nella restante parte (**FIGURA 171**).

In un tratto di 500-600 m, a sud del bagno Giamaica, la quota massima della spiaggia emersa è superiore a 1,5 m. In questo tratto solo in un'area di 300-400 m prossima al Bagno Giamaica sono state realizzate opere di difesa. Sono presenti 5 pennelli in pali di legno, un pennello in roccia radicato a una scogliera radente che si sviluppa per 80 m, barriere sommerse in sacconi pieni di sabbia e un argine realizzato con sacconi pieni di sabbia e geotessuto (**FIGURA 172 E FIGURA 173**).

Le spiagge di Lido di Spina Nord (C98) e di Lido degli Estensi (C100) sono in accumulo, e la foce del canale Logonovo (C99) che separa le 2 spiagge è area di prelievo per ripascere le spiagge a sud in erosione. Nel periodo in esame, la deriva litoranea, prevalentemente diretta sud-nord, e la presenza del molo di Porto Garibaldi hanno determinato un'alimentazione di sedimento di questo paraggio di 725.000 mc.

Questo valore è ottenuto sommando gli accumuli calcolati nelle celle 98-100 e i prelievi effettuati dalla foce del Logonovo, e sottraendo il ripascimento di 24.000 mc, realizzato nel 2016, su un tratto di spiaggia di 450 m nella zona più a sud della cella 98.

La spiaggia emersa è rimasta stabile a Lido di Spina Nord e ha un'ampiezza media di 275 m, mentre è avanzata di 26 m a Lido degli Estensi dove ha un'ampiezza media di 400 m. Pur in presenza di spiagge molto ampie, la quota massima è prevalentemente inferiore a 1,81 m, quindi a rischio d'ingressione marina con eventi con tempo di ritorno di 100 anni (**FIGURA 174**).

TABELLA 21

Porto Corsini – Porto Garibaldi (M5): Variazione di volume (DV), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre) e indicatori di stato delle spiagge ASE e ASPE nel periodo 2012-2018 (lunghezze in m, volumi in mc).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	ASE	ASPE
81	Porto Corsini	1.000	66.954	18.497	0	72.049	A	A
82	Marina Romea	1.300	63.496	13.926	0	0	A	A
83	Marina Romea Nord	945	4.943	7.316	72.890	0	S	E
84	Foce Lamone	140	2022	165	0	7.000	-	-
85	Foce Lamone Casal Borsetti	2.110	80.784	10.713	6.600	0	A	A
86	Casal Borsetti Sud	835	-22.551	2.873	0	0	S	P
87	Canale Destra Reno	30	0	0	0	0	-	-
88	Casal Borsetti Nord	520	72.346	2.489	0	0	A	A
89	Casal Borsetti Fio 82	630	-32.480	3.070	0	0	E	E
90	Poligono Militare	2.500	32.137	4.787	0	0	S	S
91	Poligono Militare Nord	430	-9.910	1.080	0	0	S	S
92	Foce Reno	640	-38.197	3.031	0	0	E	E
93	Nord Foce Reno	2.000	-36.1488	11.038	0	0	E	E
94	Foce Gobbino Sud	935	-435.737	.6415	0	0	E	E
95	Foce Gobbino	90	-14.337	609	0	35.500	-	-
96	Foce Gobbino - Bagno Giamaica	1.510	-333.683	11.272	181.818	0	E	E
97	Lido di Spina Sud	900	-102.695	5.131	288.549	0	E	E
98	Lido di Spina Nord	2.070	157.484	19.545	24.000	0	A	A
99	Foce Logonovo	200	13.096	1.234	0	458.943	-	-
100	Lido degli Estensi	1.540	120.355	12.805	0	0	A	A
	Lido degli Estensi	20.325	-737.461	135.996	573.857	573.492	A	A

N.B. In Vrip sono computati i 52.200 mc di sabbia portati a ripascimento recuperati dalla vagliatura del materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge della macrocella 2, ma non sono riportati in Vpre in quanto non è nota la cella di provenienza.

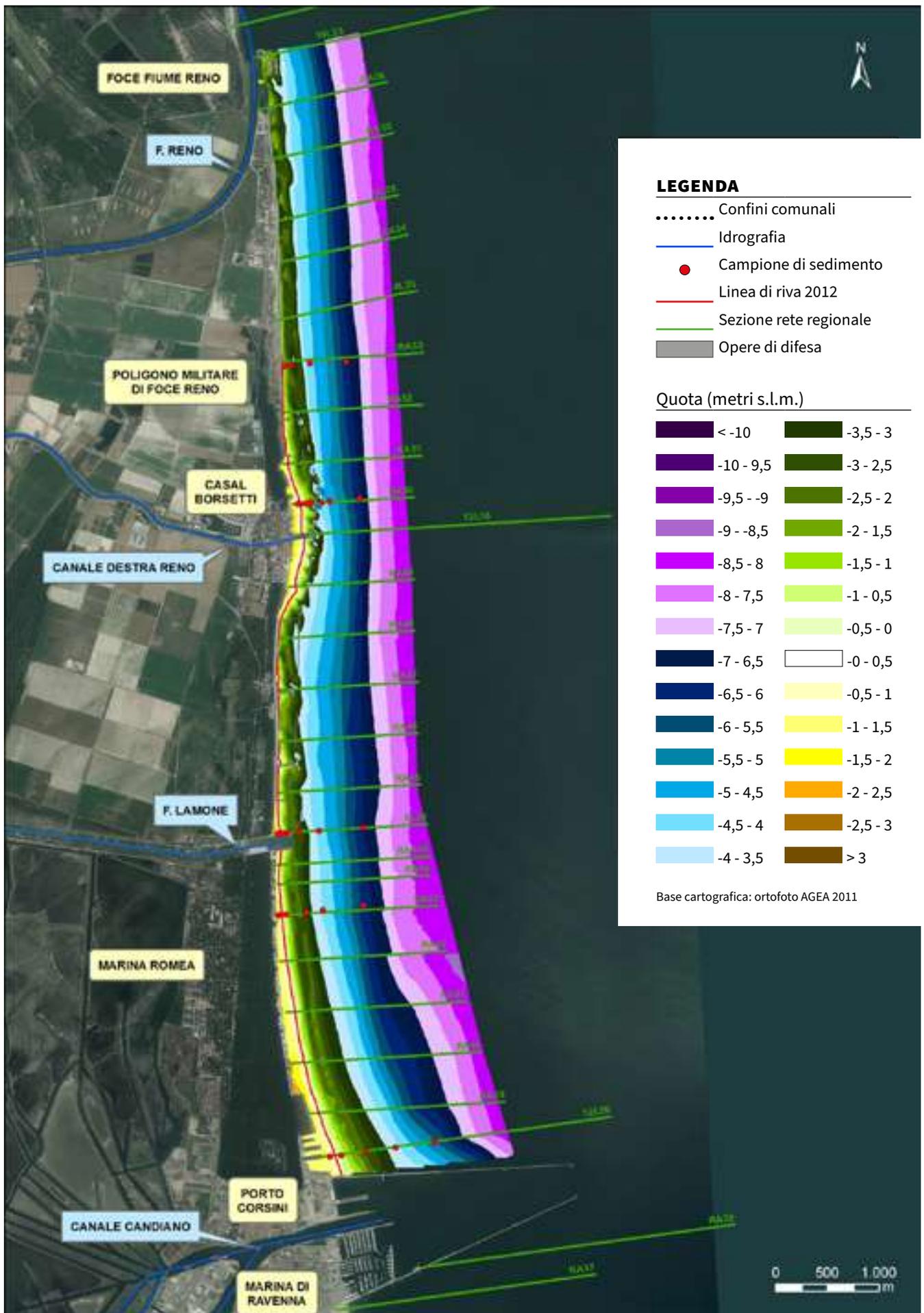


FIGURA 156 Porto Corsini – Foce Reno: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

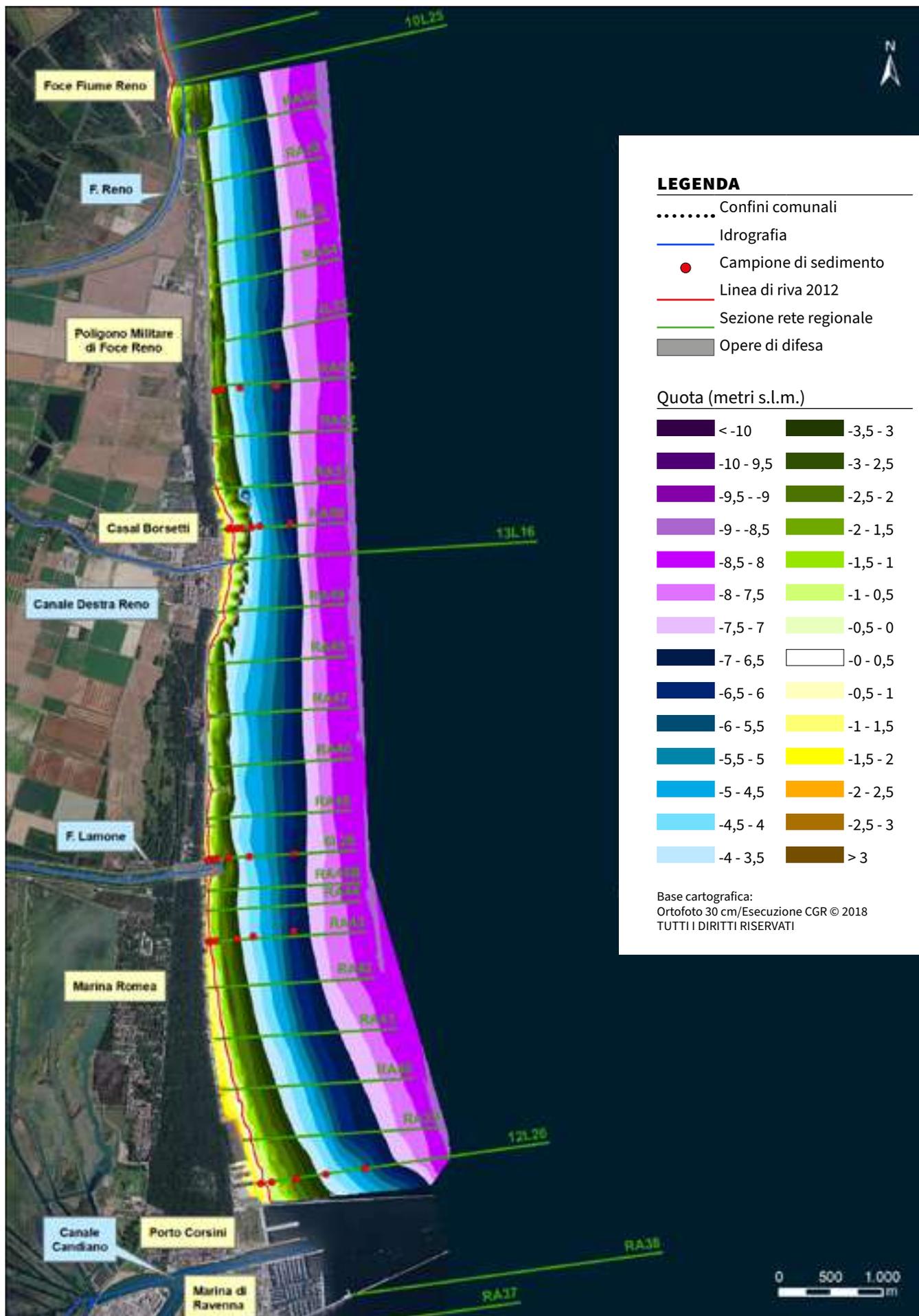


FIGURA 157 Porto Corsini – Foce Reno: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

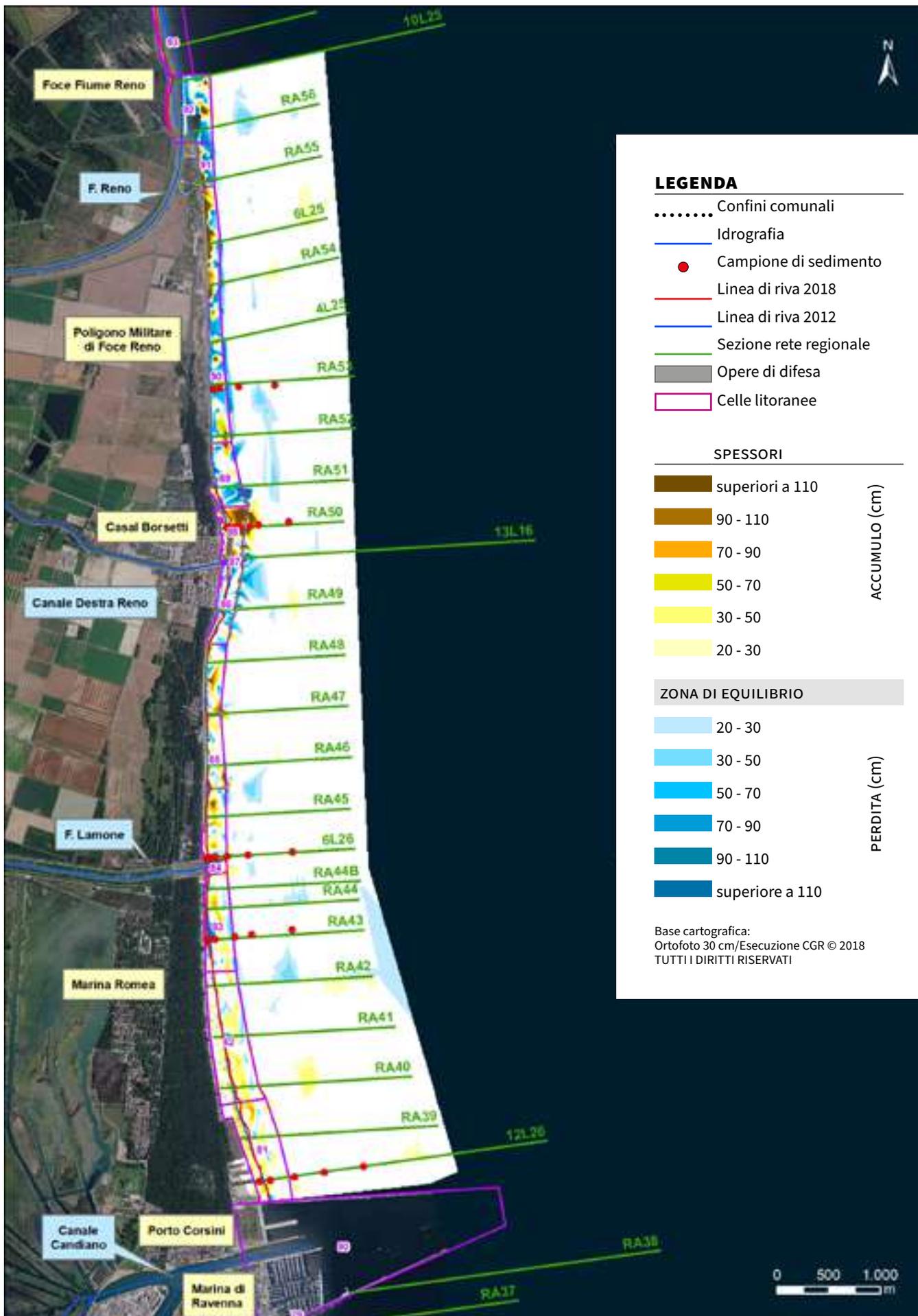


FIGURA 158 Porto Corsini – Foce Reno: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018 e punti di campionamento 2018.

FIGURA 159 Marina Romea (cella 82): Profilo RA40.

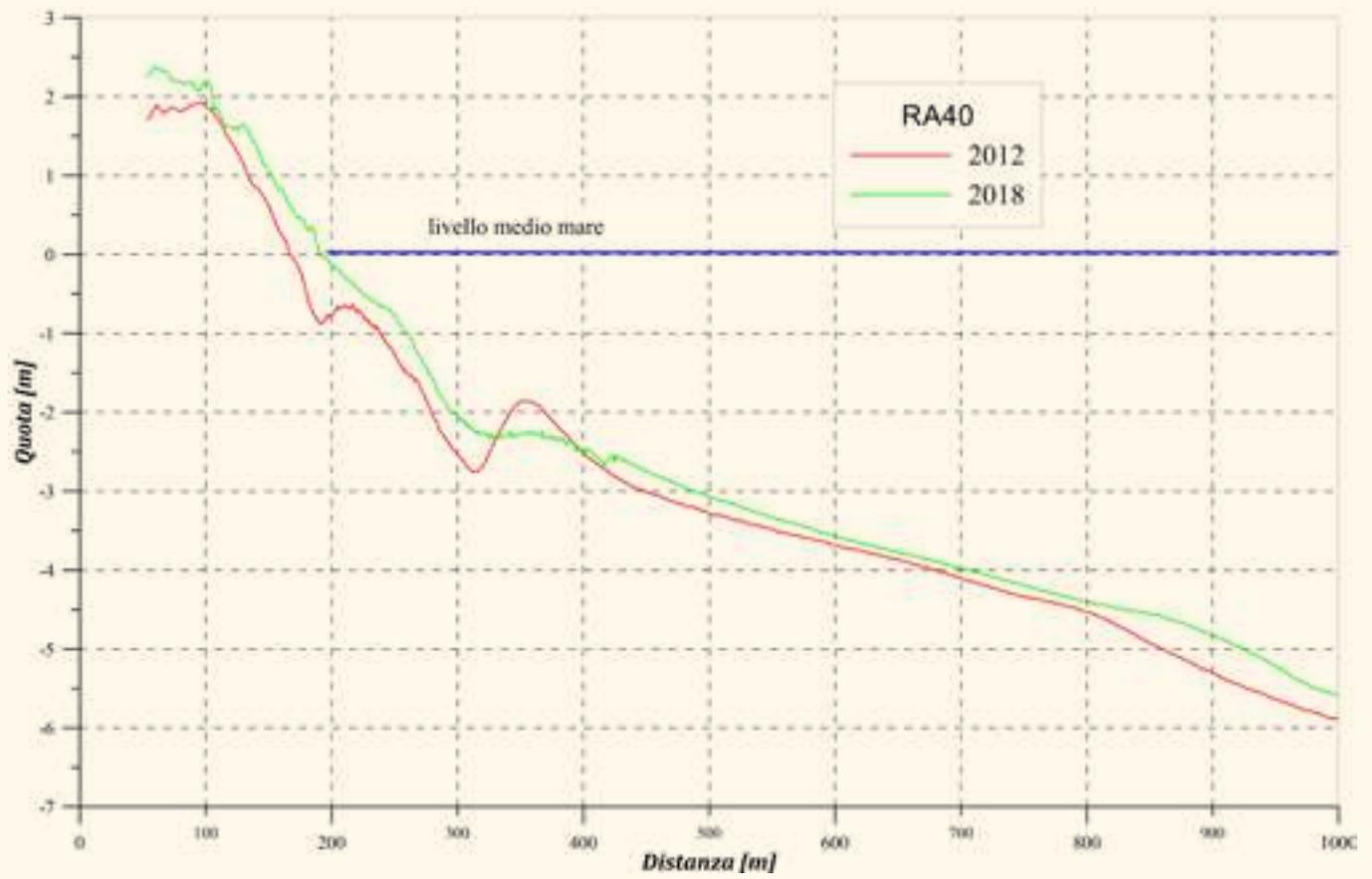


FIGURA 160 Marina Romea Nord (cella 83): Profilo RA43.

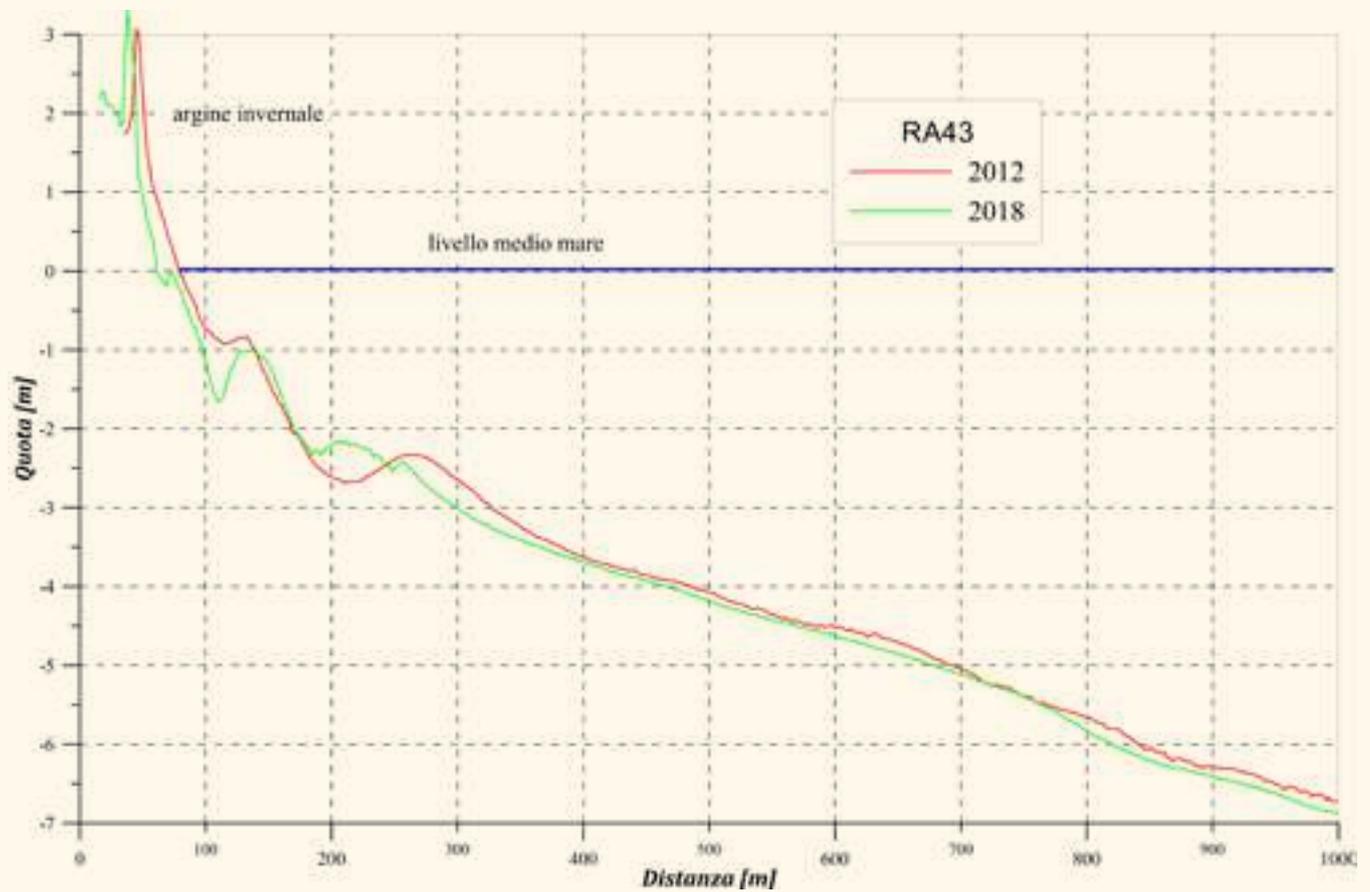




FIGURA 161 Foce Lamone-Casal Borsetti (cella 85): opere di difesa dall'erosione marina.

FIGURA 162 Foce Lamone - Casal Borsetti (cella 85): Profilo RA46.

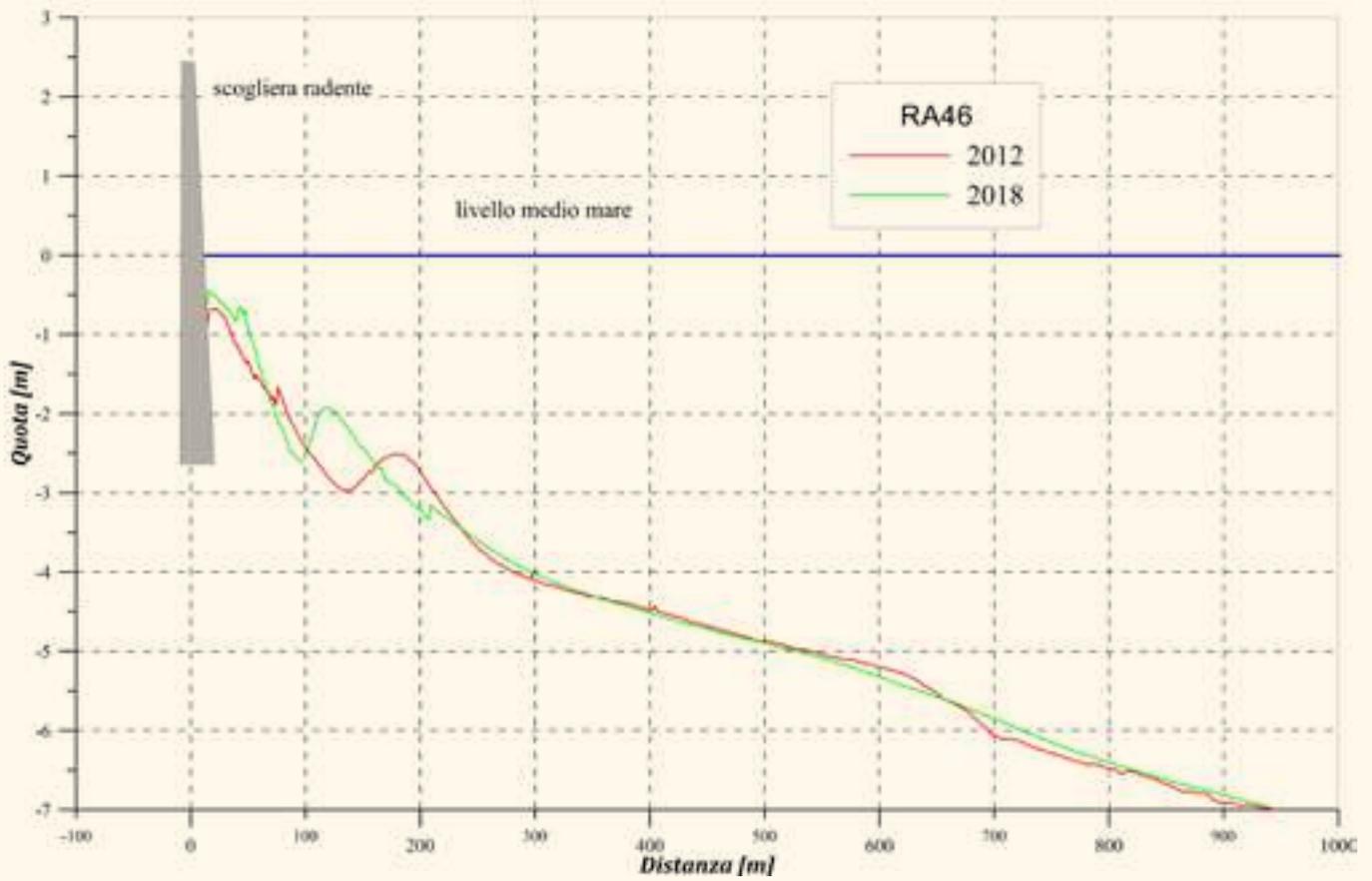


FIGURA 163 Casal Borsetti Sud (cella 86): Profilo RA49.

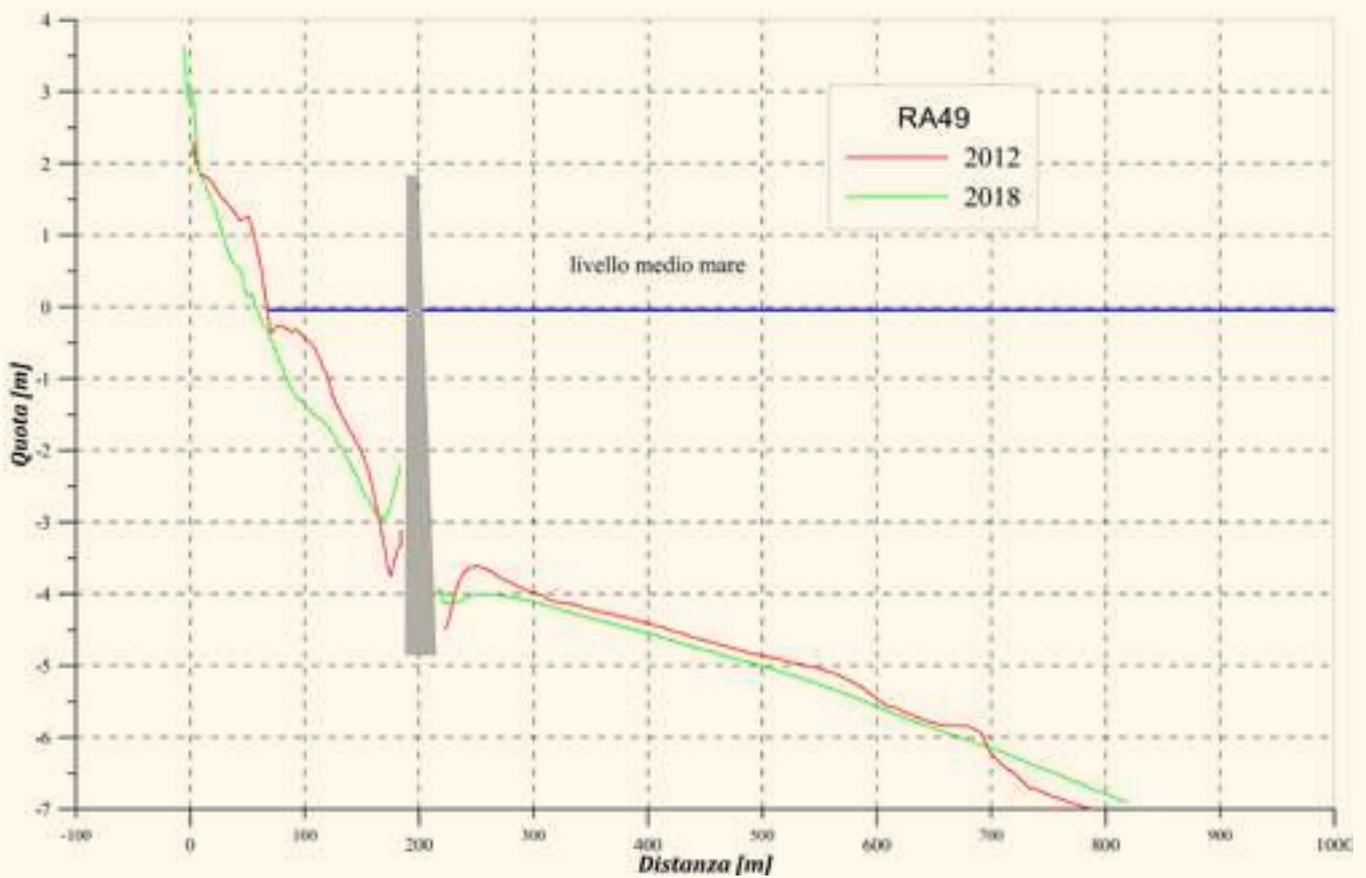


FIGURA 164 Casal Borsetti Nord (cella 88): Profilo RA50.

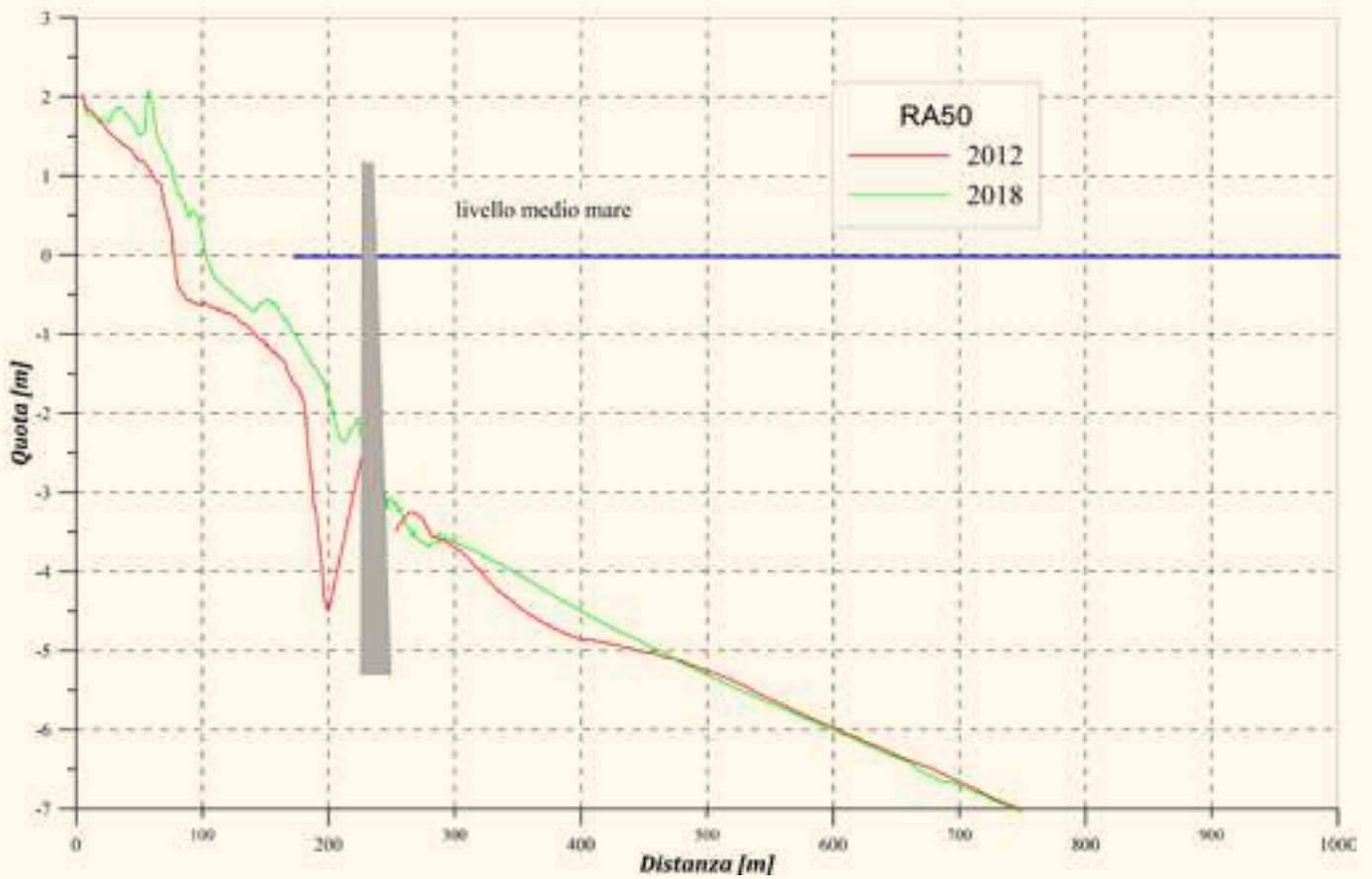
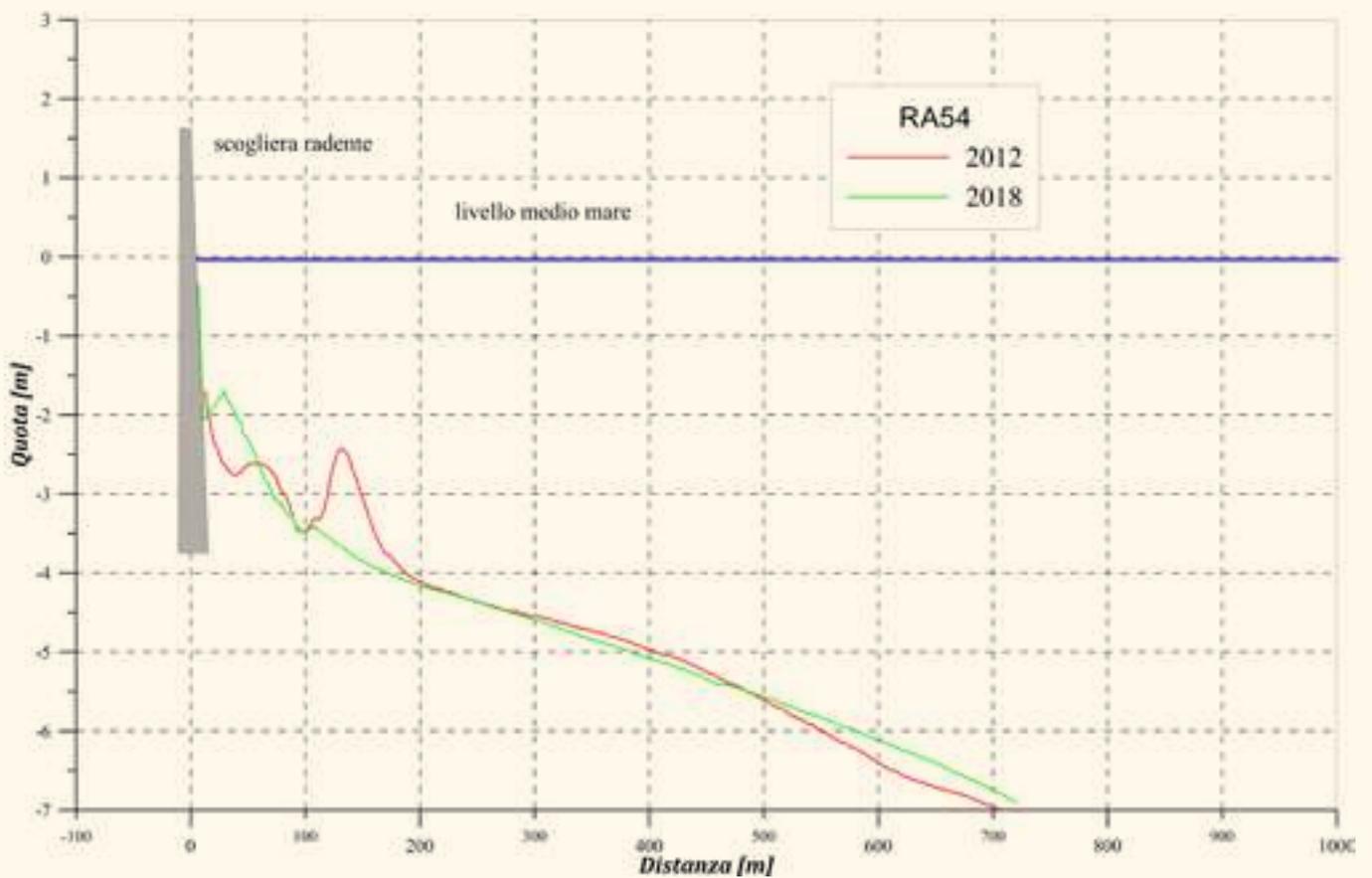


FIGURA 165 Poligono Militare (cella 90): Profilo RA54.



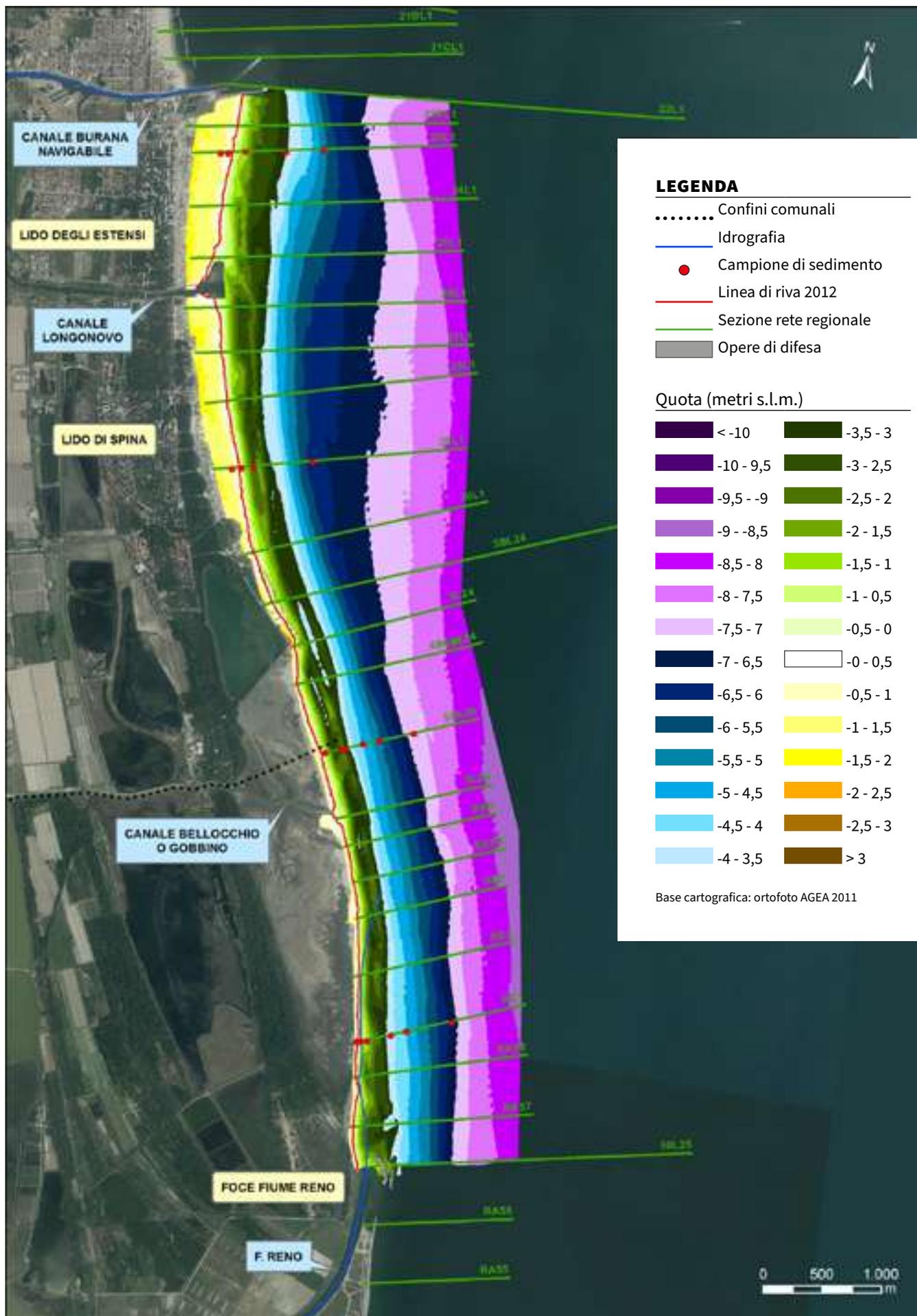


FIGURA 166 Foce Reno – Porto Garibaldi: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2012).

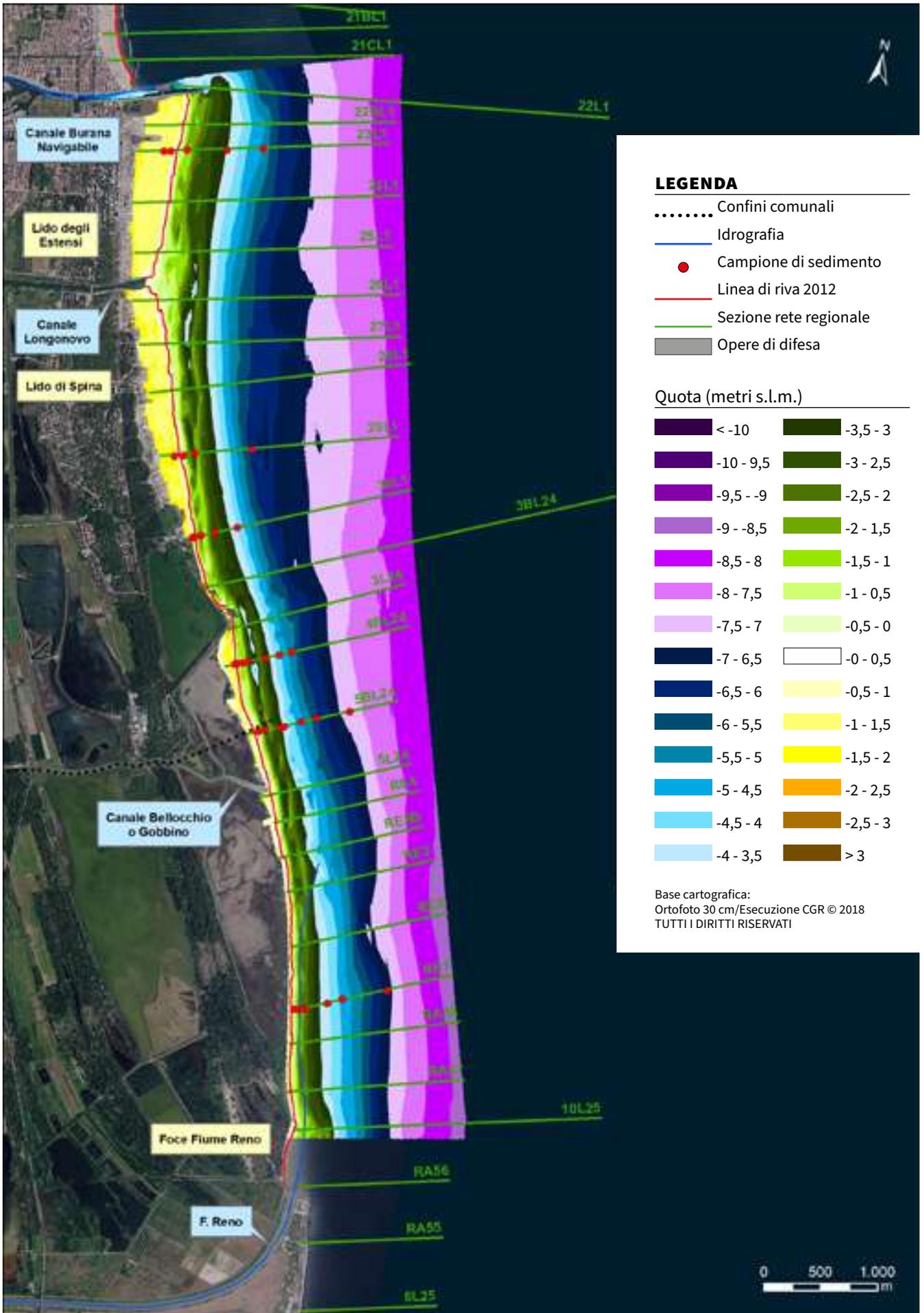


FIGURA 167 Foce Reno – Porto Garibaldi: carta topo-batimetrica e punti di campionamento di sedimenti (2018).

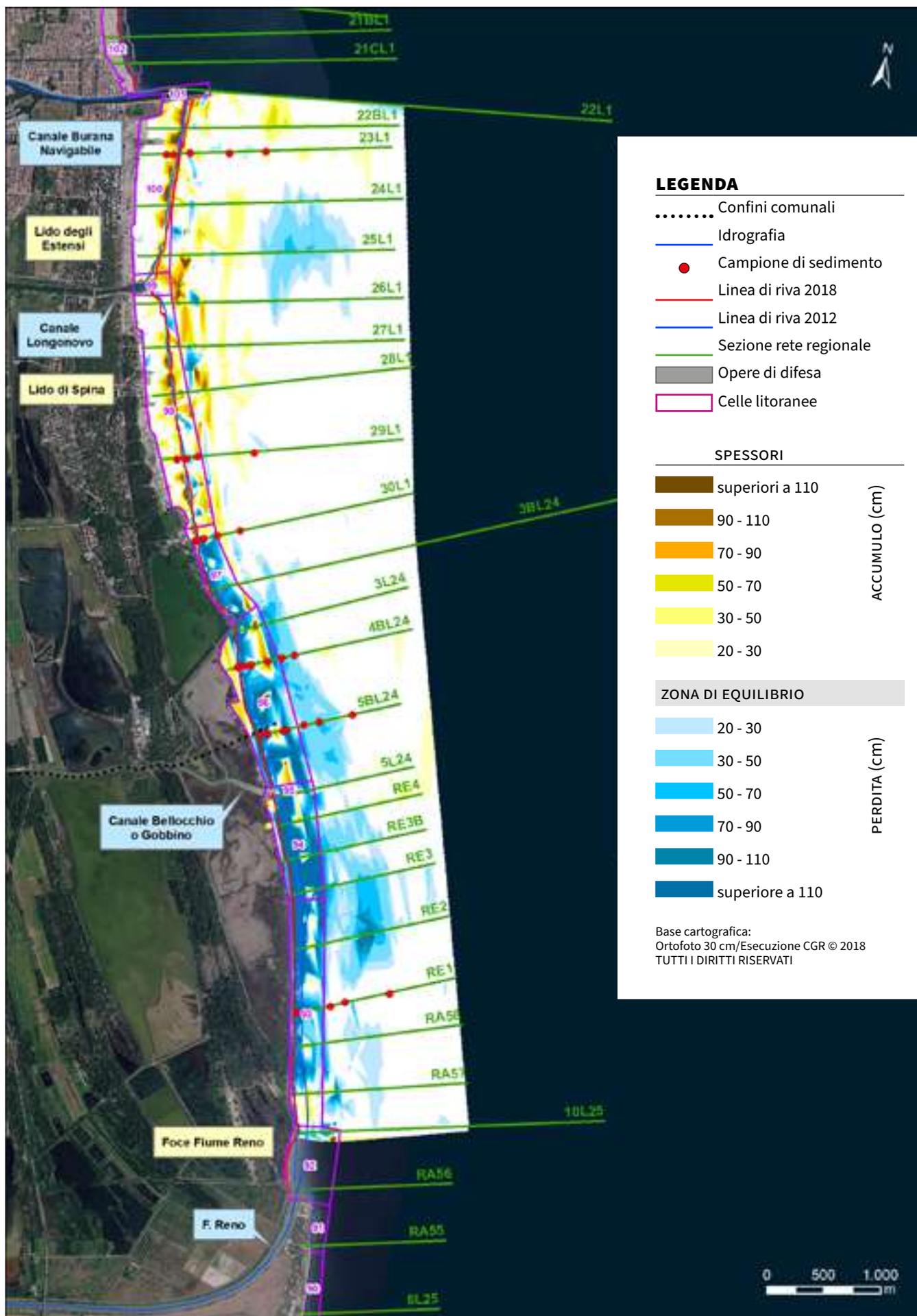


FIGURA 168 Foce Reno - Porto Garibaldi: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018 e punti di campionamento 2018.

FIGURA 169 Nord Foce Reno (cella 93): Profilo RE1.

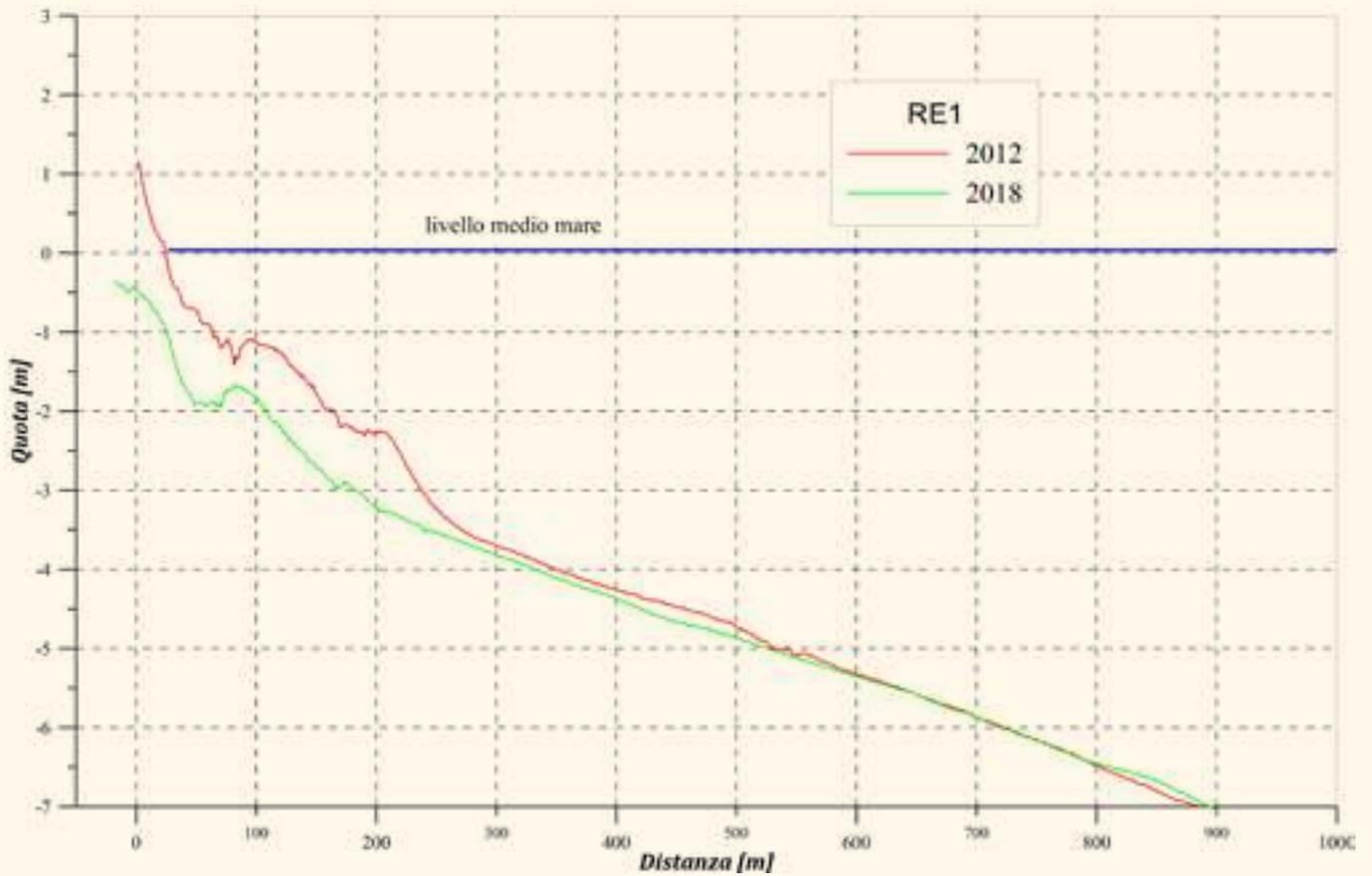


FIGURA 170 Foce Gobbino - Bagno Giamaica (cella 96): Profilo 5BL24.

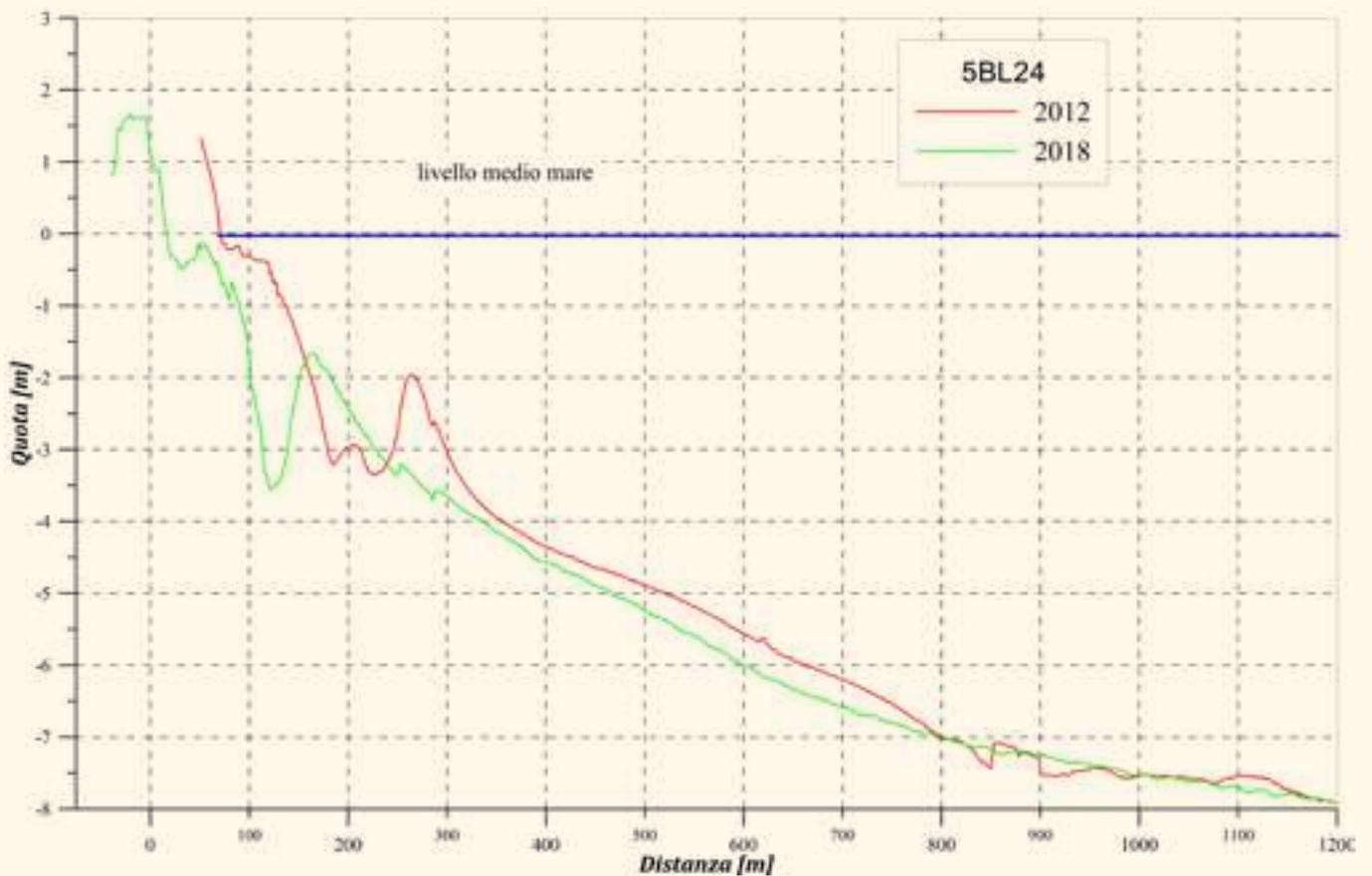




FIGURA 171 Foce Gobbino – Bagno Giamaica – Cella 96 (4 ottobre 2016).



FIGURA 172 Lido di Spina Sud – Cella 97 (4 ottobre 2016).

FIGURA 173 Lido di Spina Sud – Bagno Giamaica (cella 97): Profilo 3BL24.

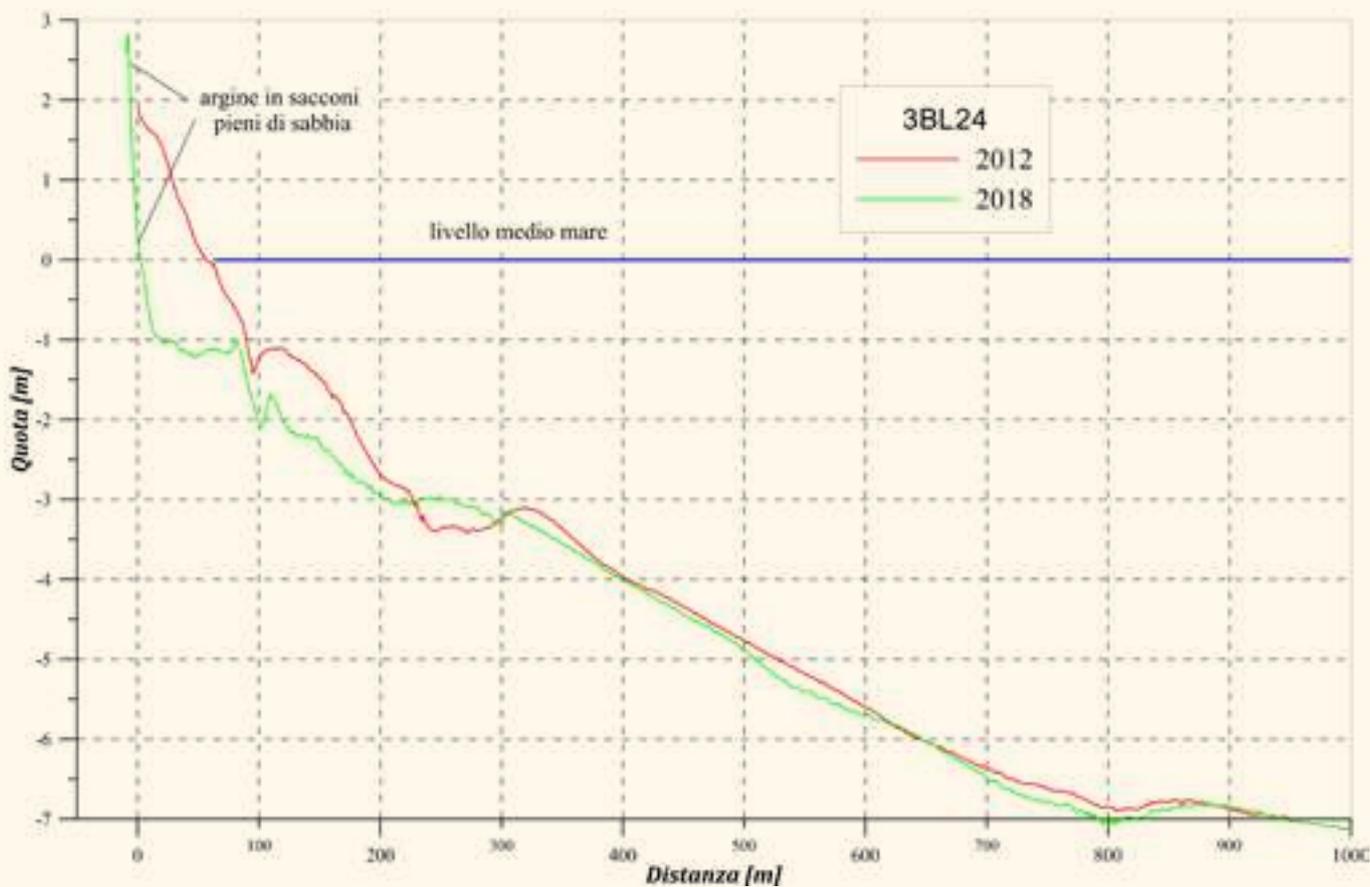
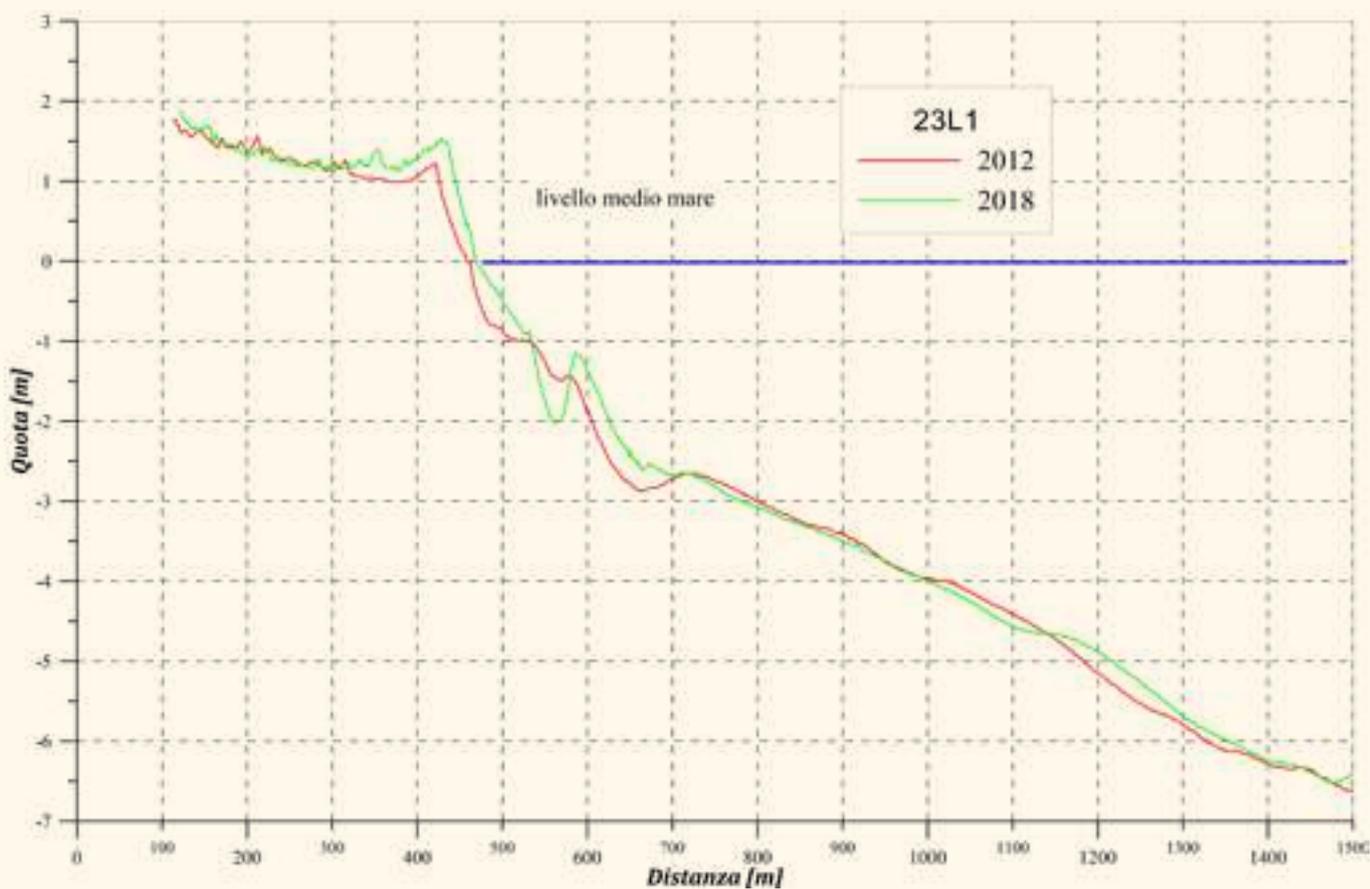


FIGURA 174 Lido degli Estensi (cella 100): Profilo 23L1.



9.6 Porto Garibaldi – Volano

Il paraggio costiero che si estende dai moli di Porto Garibaldi allo Scannone di Volano (macrocella M6) lungo 16.650 m, comprende le spiagge di Porto Garibaldi, Lido degli Scacchi, Lido di Pomposa, Lido delle Nazioni e la riserva naturale di Po di Volano, ricompresa nel Parco Naturale Regionale del Delta del Po (**TABELLA 22, FIGURA 175, FIGURA 176, FIGURA 177, FIGURA 184, FIGURA 185 E FIGURA 186**).

L'evoluzione di questo paraggio è governata dalla presenza dei moli di Porto Garibaldi, dal trasporto solido litoraneo diretto sud-nord da Porto Garibaldi allo Scannone di Volano, ed est-ovest dalla foce del Po di Goro allo Scannone di Volano, e dagli apporti sedimentari del Po di Goro.

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. 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 (**FIGURA 178 E FIGURA 179**). Il processo erosivo ha continuato a estendersi verso nord e per difendere l'area della Bocca del Bianco e della Pineta di Volano è stata realizzata una scogliera radente, mentre nel 2003 sono stati realizzati 16 pennelli in pali di legno a difesa della spiaggia di Volano per la lunghezza di 1 km (**FIGURA 180**) (Arpae, 2016).

Nella zona nord, le correnti litoranee trasportano verso Volano le sabbie presenti tra la foce del Po di Goro e lo Scanno di Goro. In realtà, solo una frazione del materiale sabbioso movimentato raggiunge lo Scannone di Volano, in quanto buona parte rimane intrappolata dal canale marino di atterraggio al porto di Goro (**FIGURA 185**).

Nel periodo 2012-2018, nell'intero paraggio costiero della macrocella M6 è stata calcolata una perdita di circa 144.000 mc, a cui vanno aggiunti gli oltre 162.000 mc di sedimento portati a ripascimento e provenienti dalle

macrocelle M5 (2.156 mc) e M7 (160.256 mc), per un totale di soli 18 mc/m persi nell'intero periodo di esame. Il volume stimato di spiaggia persa per subsidenza è poco più di 106.000 mc, pari a circa 6 mc/m nell'intero periodo di analisi. I tassi di subsidenza della macrocella M6 sono molto bassi, dell'ordine di qualche mm/anno (**TABELLA 10 E TABELLA 22**).

Le spiagge sono stabili o in accumulo, a esclusione di quelle di Volano (celle C108 e C109) che sono in erosione (**TABELLA 22, COLONNA ASE, FIGURA 177 E FIGURA 186**). Per far fronte ai processi erosivi, nel periodo in esame, è stato necessario realizzare una serie di interventi di ripascimento per un totale di 422.500 mc di sabbia. Di questi, 260.000 mc sono paleggiamenti interni alla macrocella M6, di cui 233.300 mc provenienti dallo Scannone di Volano (C110) e 26.700 mc dalla pulizia della spiaggia, e 162.000 mc provengono dalle macrocelle M6 e M7 come sopraddetto.

Sul litorale di Porto Garibaldi (C102) e Lido degli Scacchi (C103) si registra un accumulo di oltre 160.000 mc di sabbia, a fronte di un apporto di poco più di 6.000 mc, mentre la linea di riva è sostanzialmente in equilibrio, con la tendenza all'avanzamento (**TABELLA 22**).

Proseguendo verso nord, sulle spiagge di Lido di Pomposa (C104) e Lido delle Nazioni (C105), a fronte di un apporto di 40.000 mc si è avuta una perdita di circa 84.000 mc (complessivamente pari a più 20 mc/m) e la linea di riva è in equilibrio con la tendenza a un leggero arretramento. La spiaggia emersa ha un'ampiezza media di 150 m a Porto Garibaldi e tra i 50-80 m da Lido degli Scacchi a Lido delle Nazioni e un andamento rettilineo. La quota massima della spiaggia supera i 2,5 m, a esclusione di alcuni tratti in cui è compresa tra 1,81-2,5 m e degli ultimi 500 m di Lido delle Nazioni, dove le quote sono inferiori a 1,5 m e l'argine di difesa è stato in parte eroso dalle mareggiate. La spiaggia tra la battigia e le opere è caratterizzata da salienti, il fondale a ridosso delle scogliere ha un andamento pensile con un dislivello di 2,0-2,5 m tra il lato terra e il lato

mare (**FIGURA 176, FIGURA 181 E FIGURA 182**).

Il litorale di 2730 m, comprendente la Bocca del Bianco (C106) e Pineta Volano (C107) è privo di spiaggia emersa ed è interamente protetto da un argine in terra e geotessuto, ricoperto da una mantellata in roccia sul lato mare. Nel 2012 è stato ricostruito un tratto di 330 m di argine danneggiato da una mareggiata. Il paraggio è stabile, ma nel periodo in esame si evidenzia una tendenza verso l'erosione con perdite di circa 20 mc/m (**FIGURA 183**).

La spiaggia di Volano, lunga 2740 m, comprendente le celle 108-109 è in erosione (**FIGURA 186**), e gli oltre 270.000 mc di sabbia apportata non sono risultati sufficienti a stabilizzarla. L'ampiezza media della spiaggia emersa è di 25-30 m nella zona difesa da pennelli in pali di legno e da un argine di pali e geotessuto (C108), e di 80 m nella restante parte priva di opere di difesa (C109) (**FIGURA 187**).

Il tratto terminale della spiaggia di Volano è costituito dallo Scannone di Volano (cella

110), un sistema di cordone litoraneo naturale della lunghezza di circa 2 km con un'elevata dinamicità. Inoltre, 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 184 E FIGURA 185**). Questo tratto di litorale è sottoflutto al trasporto solido litoraneo ed è il punto di accumulo delle sabbie provenienti sia da sud che da est. Per questo motivo e dovendo mantenere aperto il canale sub lagunare, è uno dei tratti del litorale emiliano-romagnolo utilizzati come fonte di prelievo di sabbia da portare a ripascimento. Nel periodo in esame sono stati prelevati più di 240.000 mc di sedimento, di cui 233.300 mc, come già detto, portati a ripascimento delle spiagge in erosione della macrocella 6, 1.000 a Lido di Spina Sud (C97-M5) e 6.000 mc depositati nelle concessioni di molluschicoltura (**FIGURA 185, FIGURA 186 E FIGURA 188**).

TABELLA 22

Porto Garibaldi - Volano (M6): Variazione di volume (DV), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre) e indicatori di stato delle spiagge ASE e ASPE nel periodo 2012-2018 (lunghezze in m, volumi in mc).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	ASE	ASPE
101	Bocca Porto Garibaldi	110	-8.585	426	0	0	-	-
102	Porto Garibaldi	1.480	42.082	4.766	0	0	S	S
103	Lido degli Scacchi	2.500	120.373	8.599	6.498	0	A	A
104	Lido di Pomposa	2.230	-44.269	9.401	14.835	0	S	P
105	Lido delle Nazioni	2.910	-39.471	14.800	26.137	0	S	P
106	Bocca del Bianco	1.130	-29.619	3.978	0	0	S	S
107	Pineta di Volano	1.600	-26.088	8.497	3.769	0	S	P
108	Volano Zona Pennelli	990	-42.214	9.550	102.125	0	E	E
109	Volano	1.750	-89.281	26.092	269.132	0	E	E
110	Scannone di Volano	1.950	-26.682	18.353	0	240.362	S	A
	Totale	16.650	-143.754	104.462	422.496	240.362		

N.B. In Vrip sono computati i 26.722 mc di sabbia portata a ripascimento recuperata dalla vagliatura del materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge della macrocella 6, ma non sono riportati in Vpre in quanto non è nota la cella di provenienza. Inoltre, 6.000 mc di sabbia prelevati dal canale di atterraggio al porto di Goro (C110) sono stati depositati nelle concessioni di molluschicoltura della Sacca di Goro.

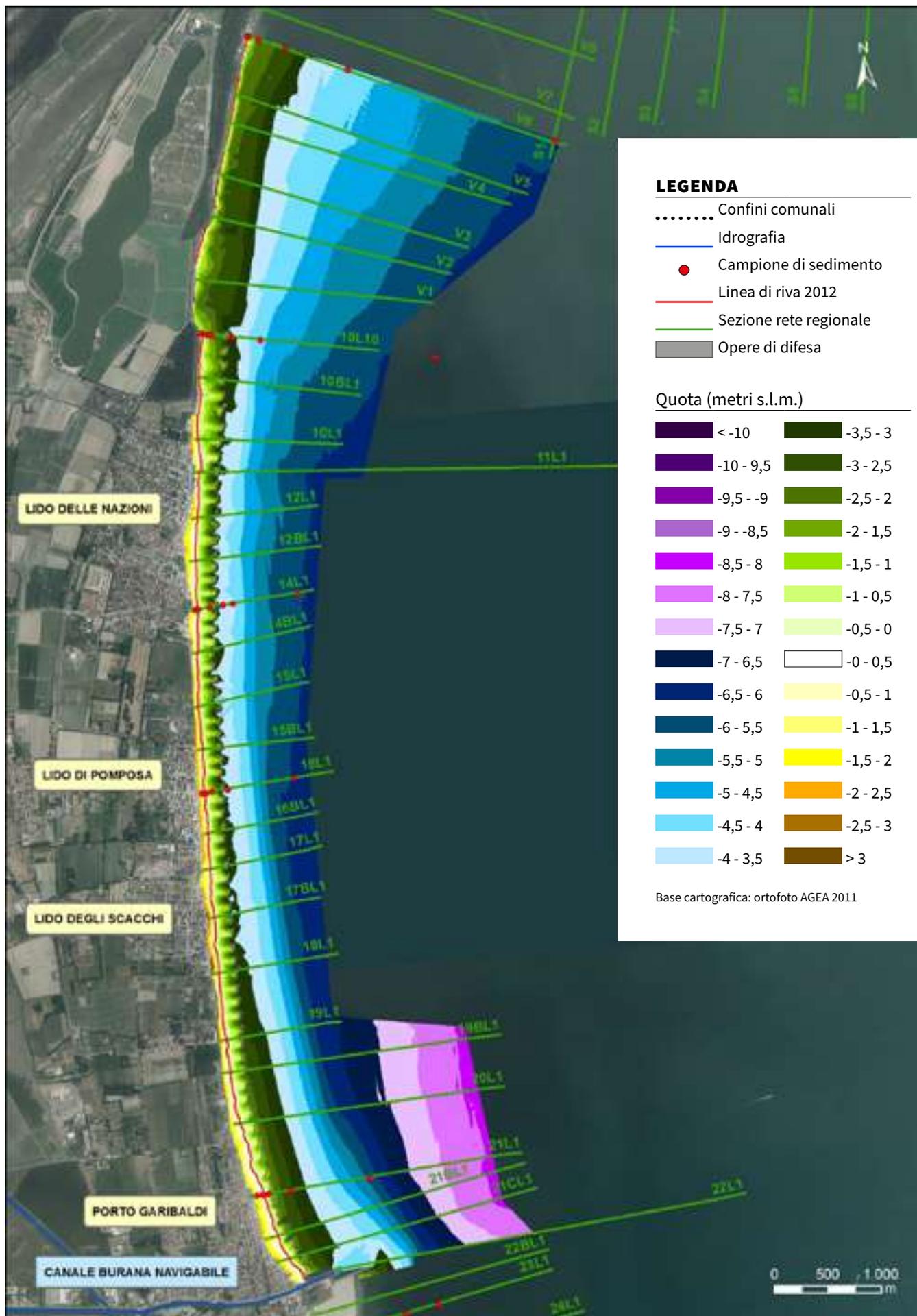


FIGURA 175 Porto Garibaldi – Volano: carta topo-batimetrica e punti di campionamento dei sedimenti (2012).

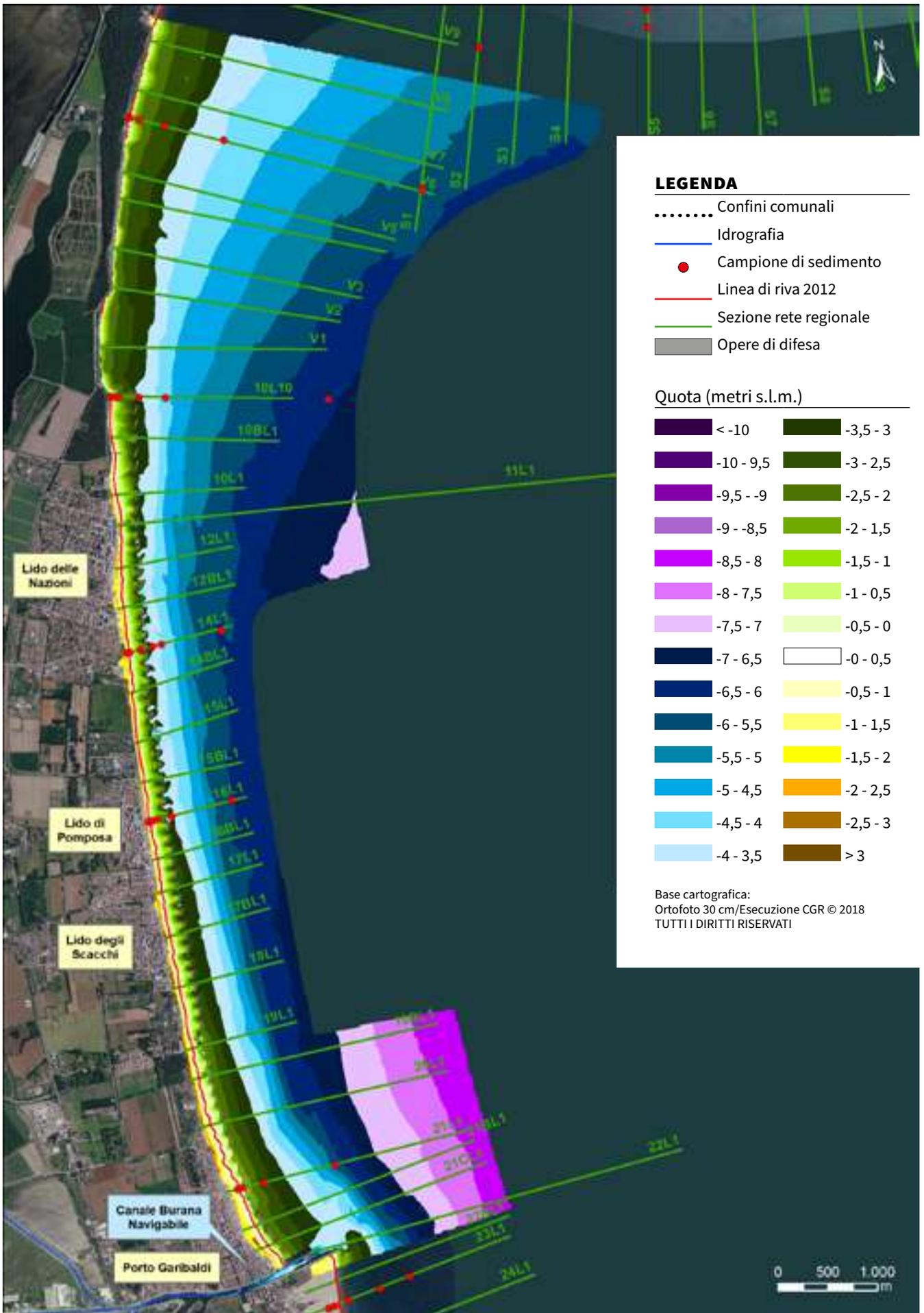


FIGURA 176 Porto Garibaldi - Volano: carta topo-batimetrica e punti di campionamento dei sedimenti (2018).

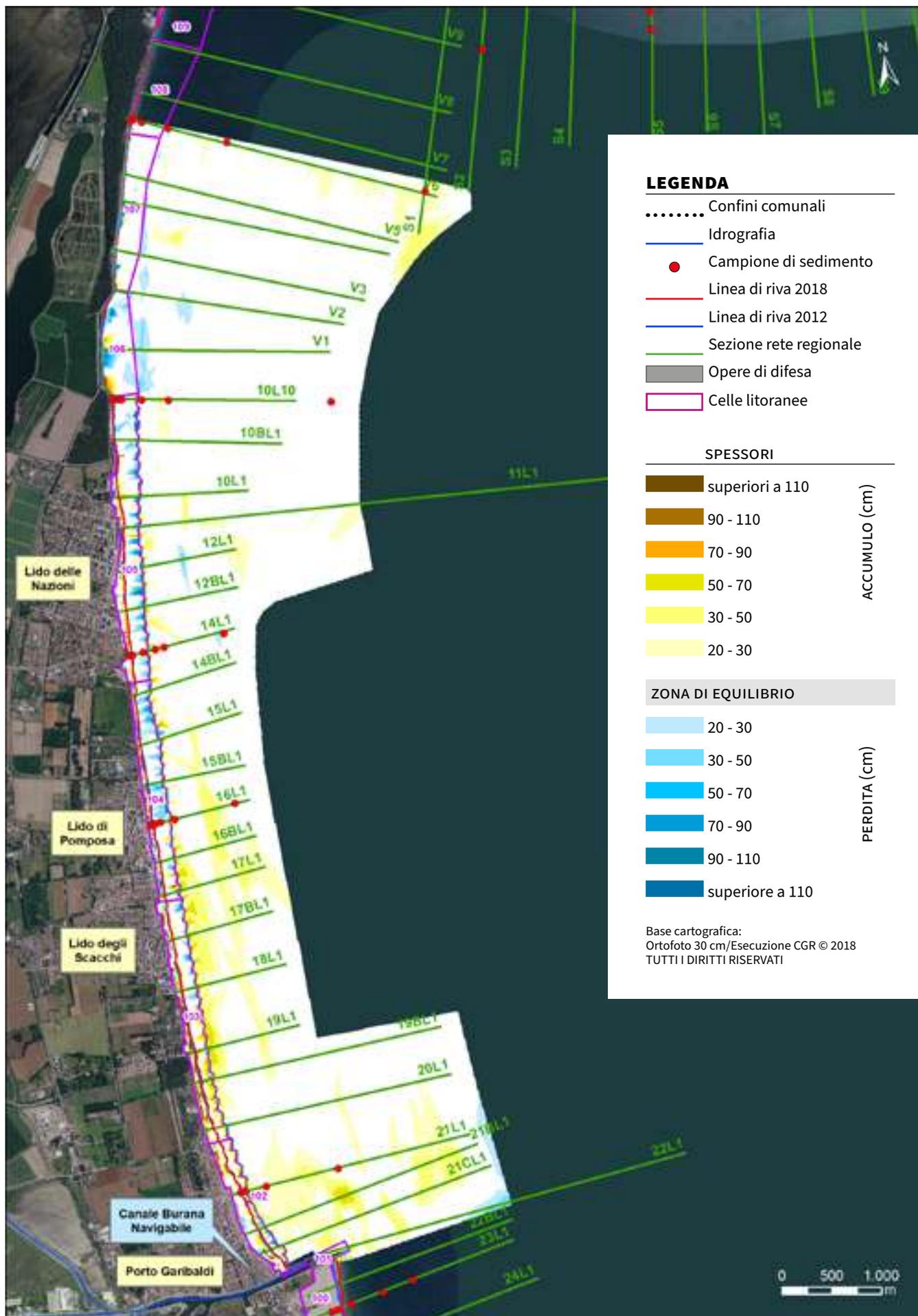


FIGURA 177 Porto Garibaldi - Volano: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018 e punti di campionamento 2012.



FIGURA 178 Lido degli Scacchi (C103): scogliere parallele emerse a difesa della spiaggia (aprile 2019).



FIGURA 179 Lido delle Nazioni (C105): sistema di difesa della spiaggia (aprile 2019).



FIGURA 180 Volano Zona Pennelli (C108): sistema di difesa della spiaggia (maggio 2019).

FIGURA 181 Lido degli Scacchi (cella 103): Profilo 19BL1.

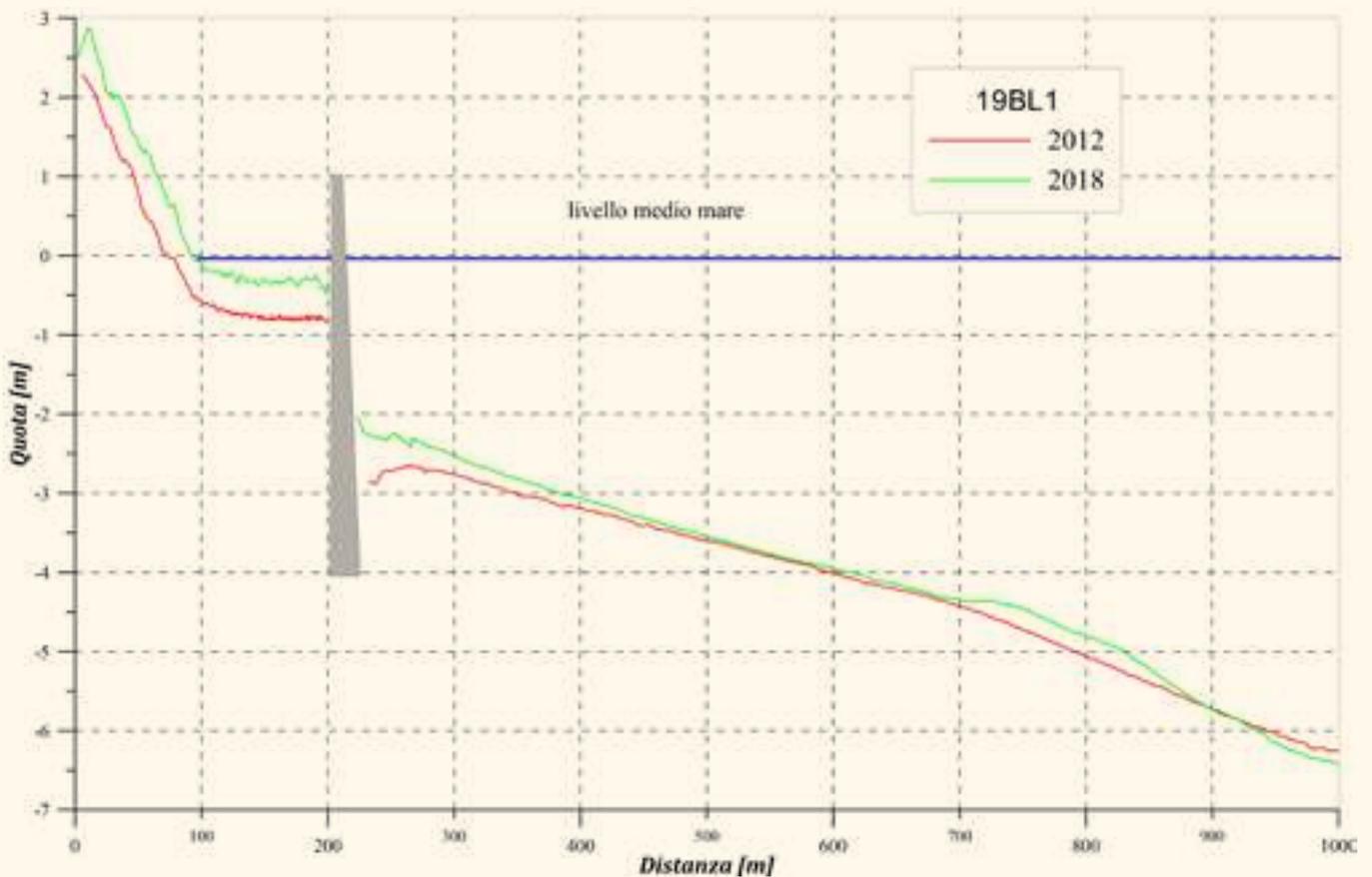


FIGURA 182 Lido delle Nazioni (cella 105): Profilo 14L1.

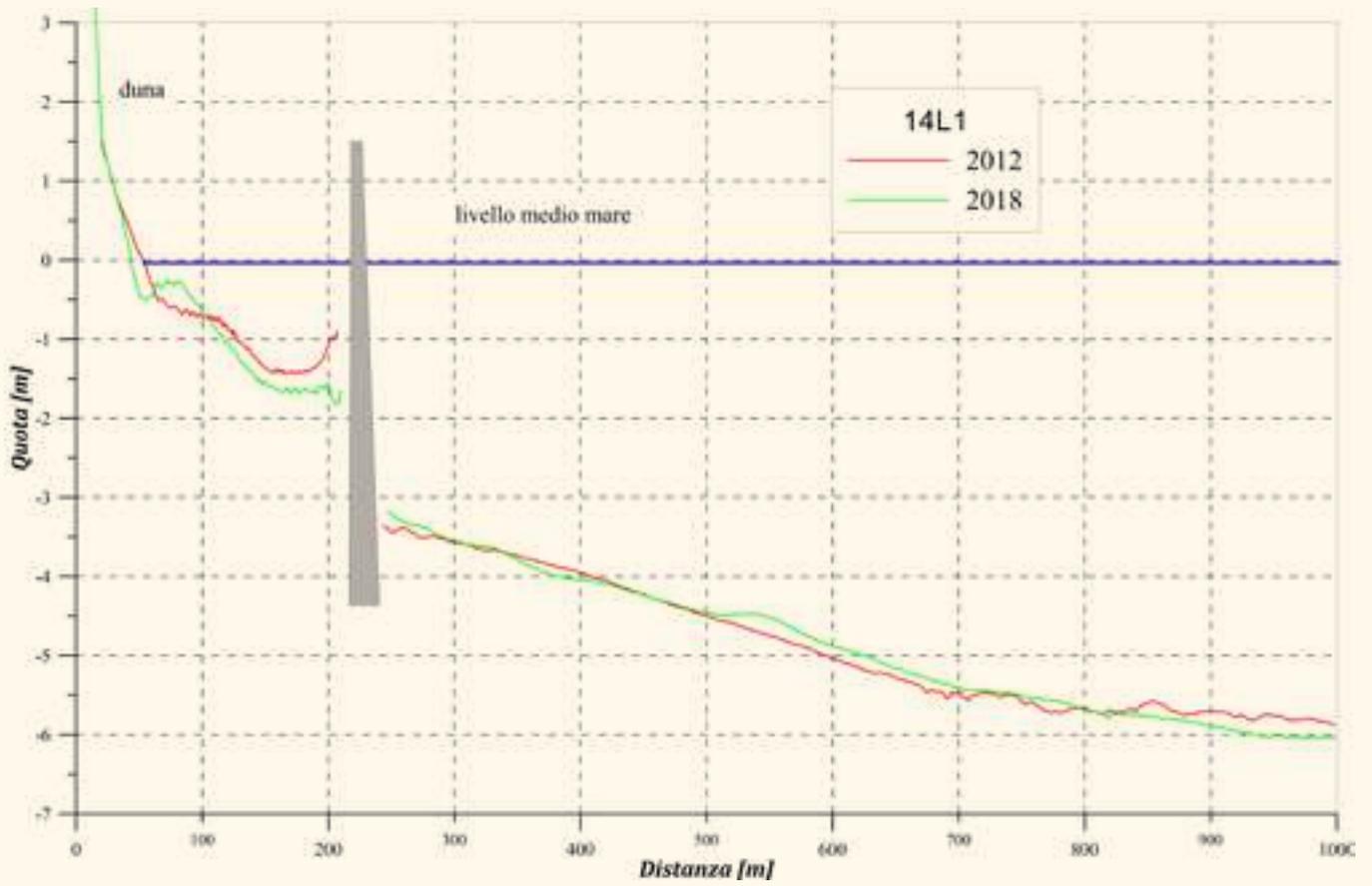
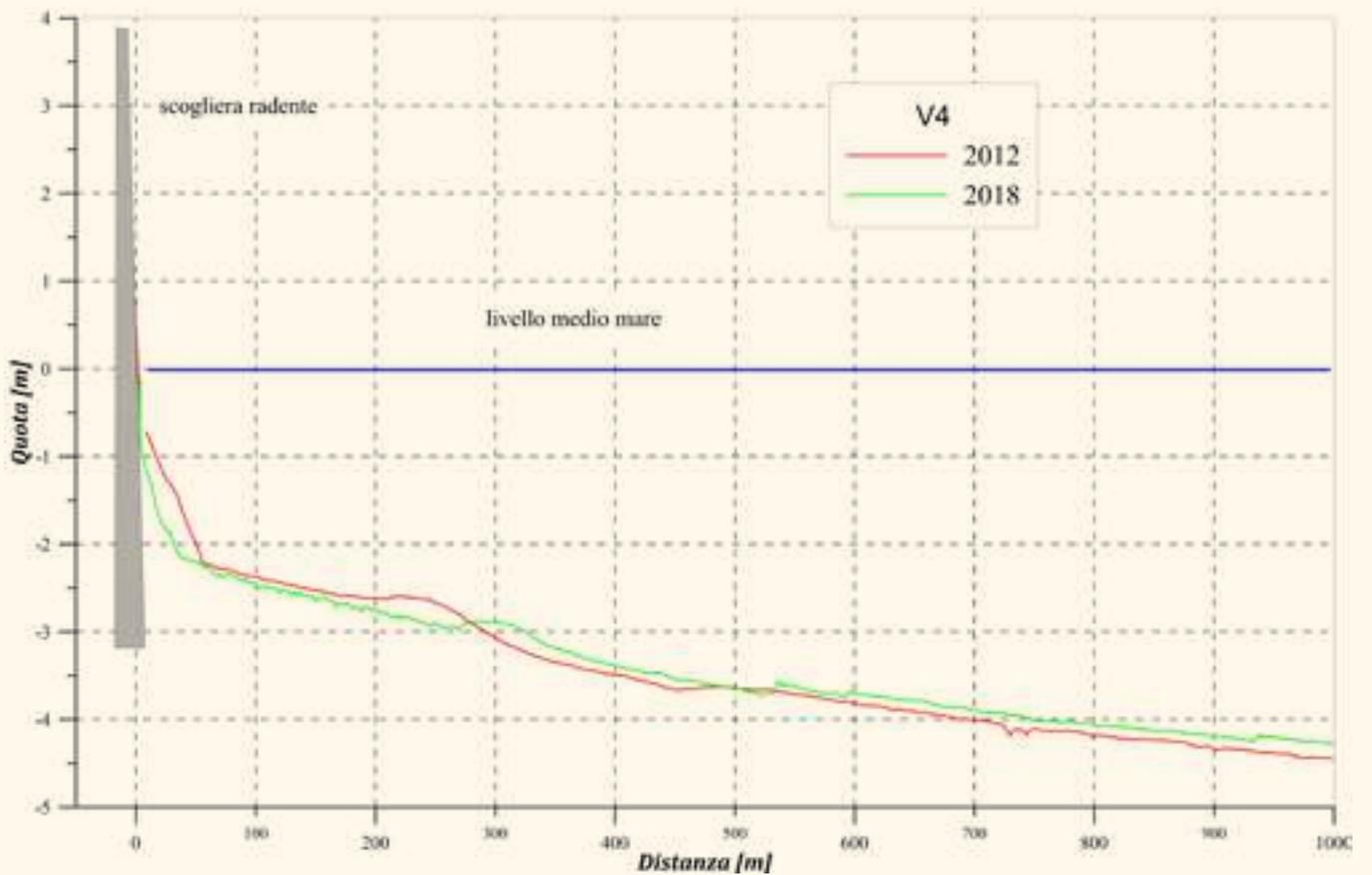


FIGURA 183 Pineta di Volano (cella 107): Profilo V4.



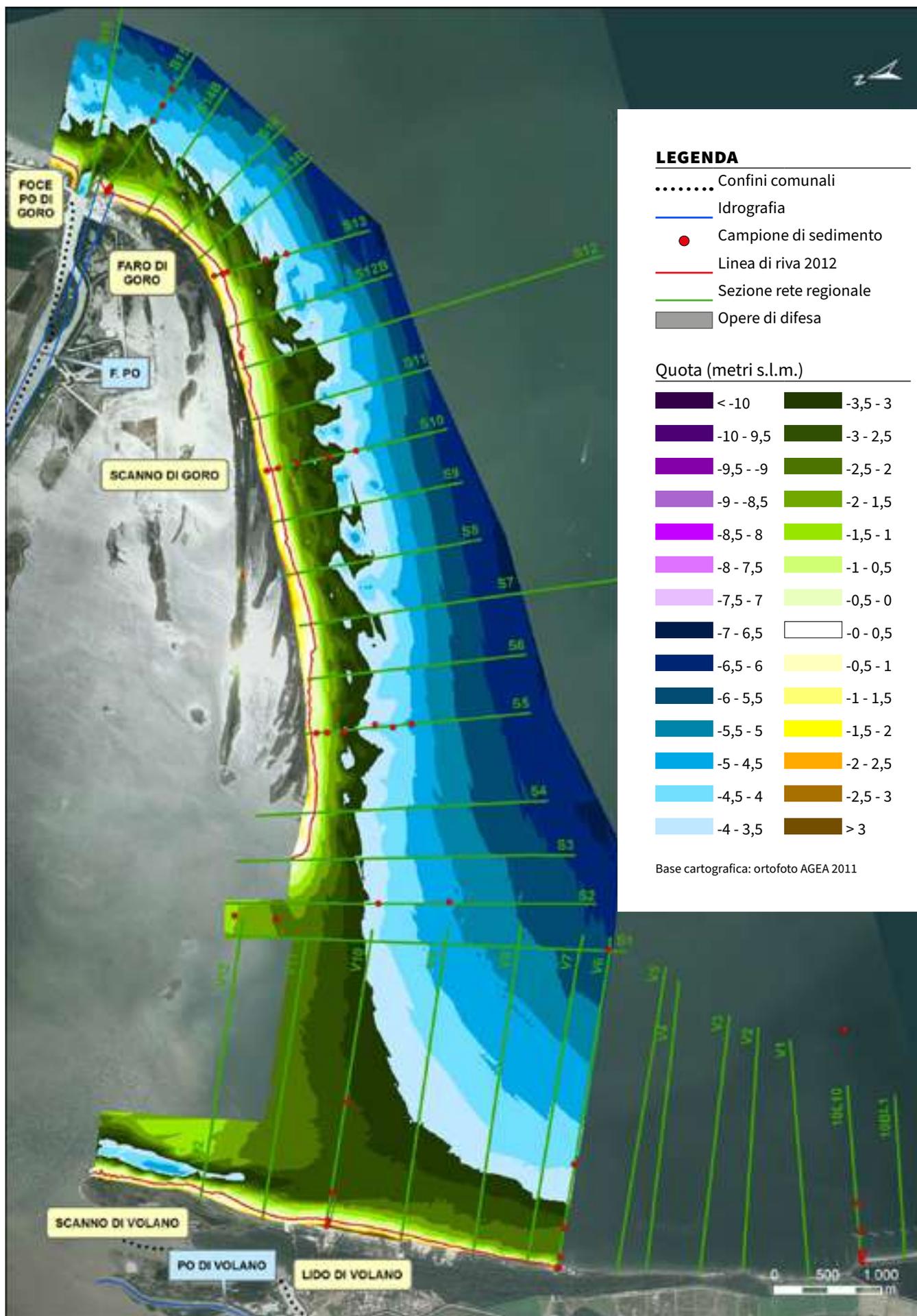


FIGURA 184 Volano – Foce Po di Goro: carta topo-batimetrica e punti di campionamento dei sedimenti (2012).

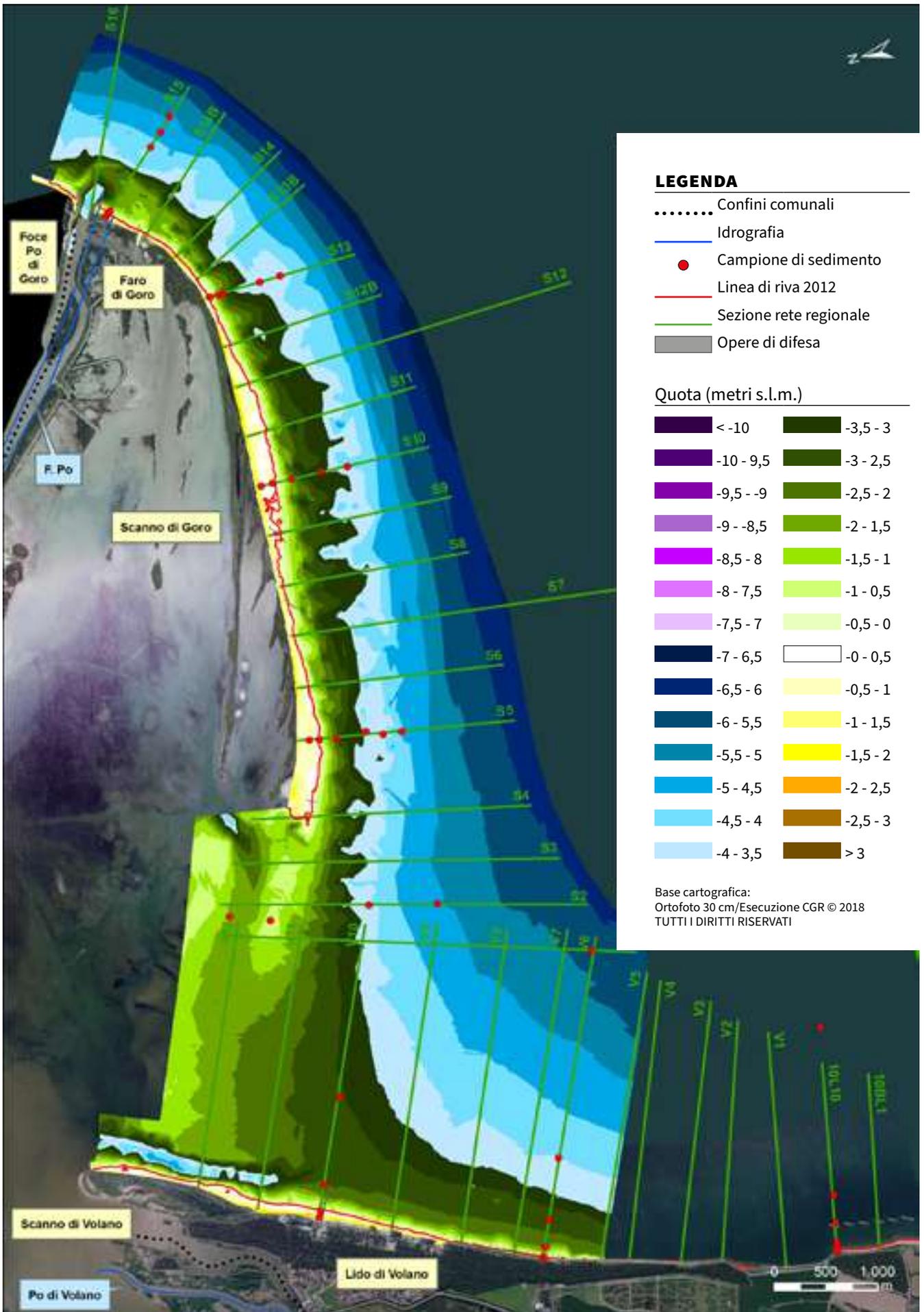


FIGURA 185 Volano – Foce Po di Goro: carta topo-batimetrica e punti di campionamento dei sedimenti (2018).

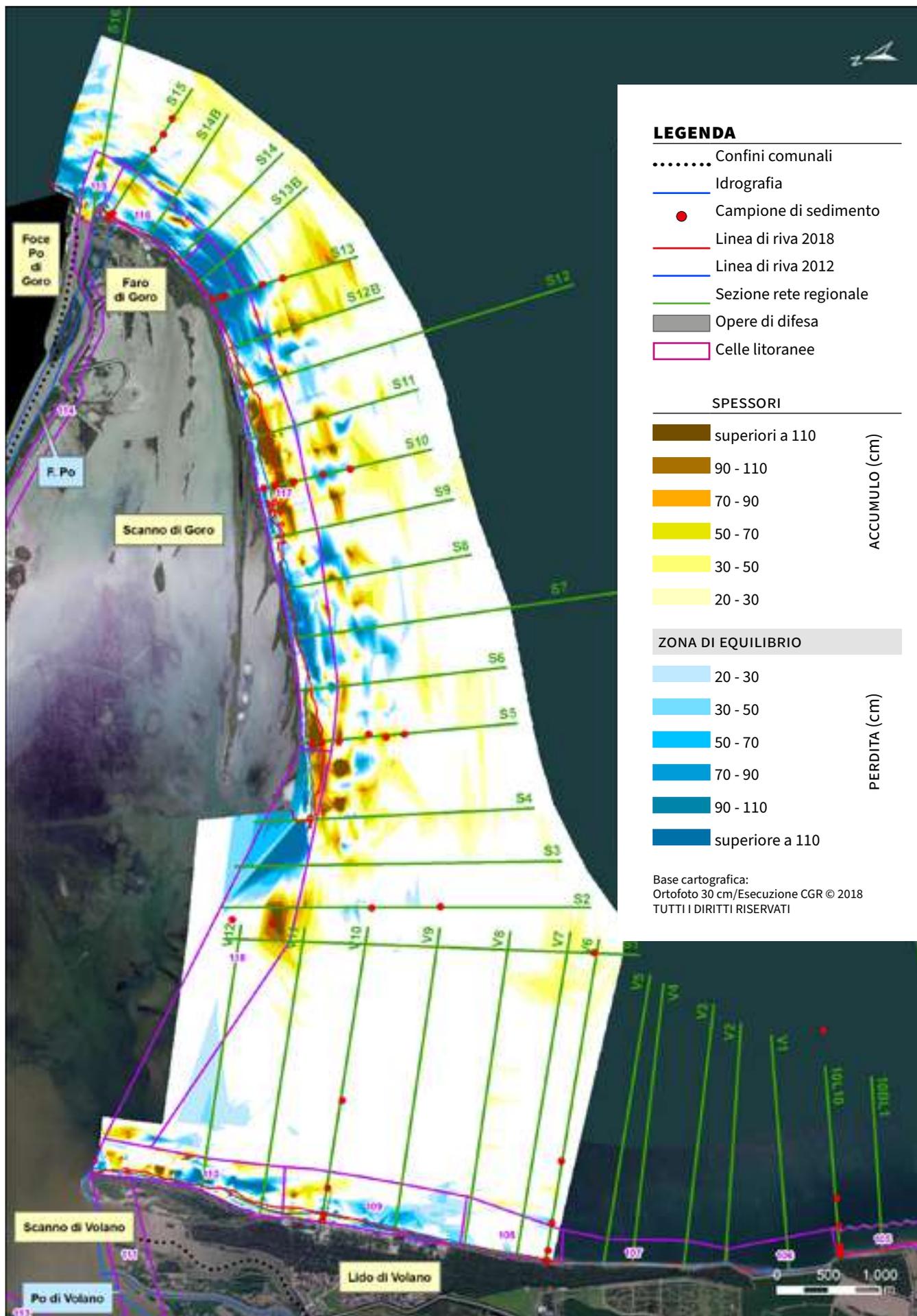


FIGURA 186 Volano - Po di Goro: carta degli accumuli e delle perdite di sedimento 2012-2018 e punti di campionamento 2012.

FIGURA 187 Volano (cella 109): Profilo V9.

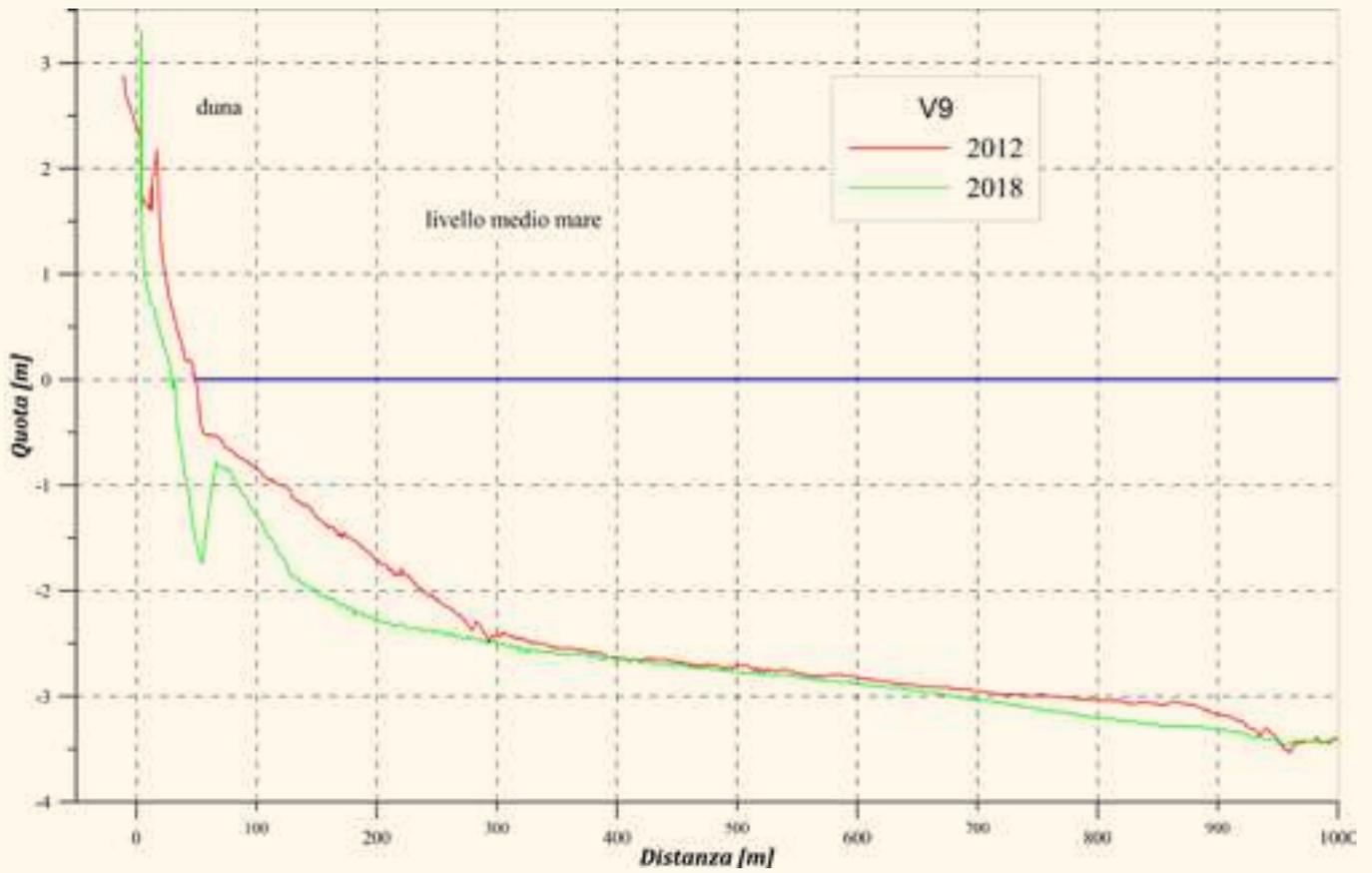
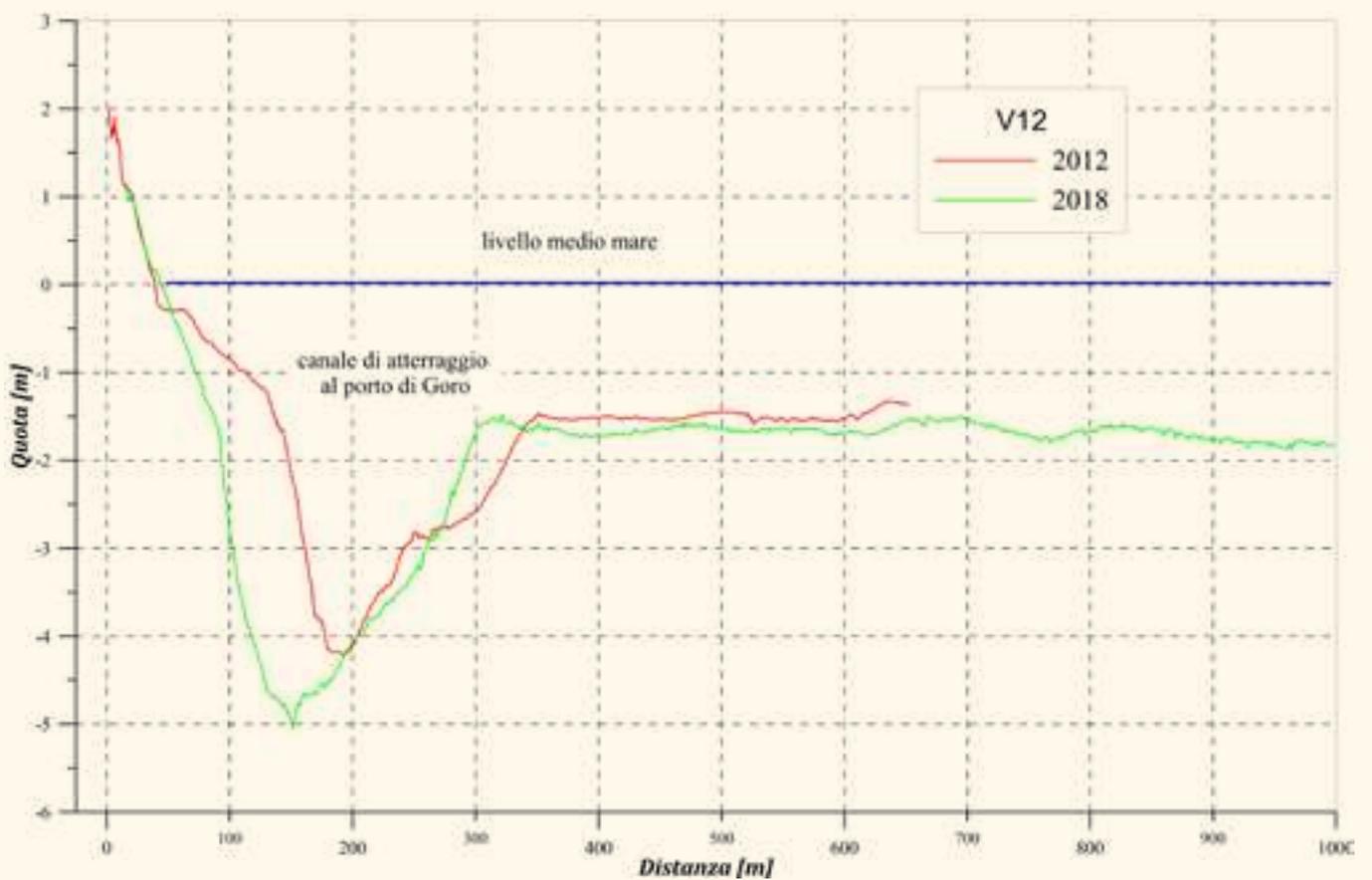


FIGURA 188 Scannone di Volano (cella 110): Profilo V12.



9.7 Foce Po di Volano – Foce Po di Goro

Il sistema lagunare della Sacca di Goro (macrocella M7) costituisce la parte settentrionale del litorale emiliano-romagnolo, ha uno sviluppo complessivo di 28.655 m, di cui 17.890 m interni alla Sacca di Goro (celle 111-114) e 10.765 fronte mare (celle 115-118). 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 anche il porto di Goro e quello di Gorino ai quali si accede tramite una serie di canali sub-lagunari (Arpae, 2016; **TABELLA 23, FIGURA 184, FIGURA 185 E FIGURA 186**).

Il presente studio tratterà solo la porzione di litorale fronte mare.

L'evoluzione di questo paraggio è strettamente legata alla dinamica del trasporto sedimentario lungo lo scanno di Goro, diretto est-ovest, dall'apporto solido del Po di Goro e del trasporto solido litoraneo lungo il litorale ferrarese, diretto sud-nord.

Nel periodo marzo 2012 – dicembre 2018, nel paraggio costiero tra la foce del Po di Goro (C115) e la Bocca di Laguna (C118), nella fascia tra la spiaggia emersa e la batimetrica dei 2,5-3,0 m, risulta complessivamente una variazione negativa di volume di sedimento di circa 713.000 mc (**TABELLA 23 E FIGURA 186**). Di questi, 366.000 mc sono dovuti al dragaggio

dell'estremità ovest dello scanno, e 118.000 mc alla perdita per subsidenza. I tassi di subsidenza, nel periodo in esame sono stati molto bassi, dell'ordine di qualche mm/anno (**TABELLA 10 E TABELLA 23**).

La foce del Po di Goro (C115) è protetta con un'armatura in roccia e una serie di deflettori in pali di legno, sulla sponda in destra idraulica (lato Emilia-Romagna), e con un pennello in pali di legno in quella sinistra idraulica (lato Veneto). All'imboccatura il fondale raggiunge una profondità di 4,0-4,5 m (**FIGURA 185**).

Lo Scanno di Goro si sviluppa a partire dalla foce del Po, da est verso ovest, per 6.750 m, ed è compreso nelle celle C116 (Faro di Goro) e C117 (Scanno di Goro centro) e per 750 m nella C118 (Bocca di Laguna).

Il primo chilometro dello Scanno di Goro (C116), a ovest della foce del Po, risulta complessivamente in erosione e la linea di riva è arretrata mediamente di 25 m. Nel dettaglio, si osserva che il tratto di 170 m di spiaggia davanti al Faro di Goro, confinato tra l'armatura della foce del Po e il pennello in roccia, risulta in accumulo e la spiaggia è in leggero avanzamento. Nel periodo 2015-2017, a 500 m dalla foce del Po, è stata realizzata un'apertura di circa 50 m sullo scanno per mettere in collegamento la laguna con il mare aperto. Le sponde sono state armate con pali in legno. Al 2018, questo varco risulta insabbiato (**FIGURA 189 E FIGURA 190**).

TABELLA 23

Foce Po di Volano – Foce Po di Goro (M7): Variazione di volume (DV), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre) e indicatori di stato delle spiagge ASE e ASPE nel periodo 2012-2018 (lunghezze in m, volumi in mc).

Cella	Denominazione	Lunghezza	DV	Vsub	Vrip	Vpre	ASE	ASPE
111	Foce Po di Volano	1.880	-	-	0	0	-	-
112	Po di Volano Area Naturale	750	-	-	0	0	-	-
113	Territorio del Comune di Goro	10.000	-	-	0	0	-	-
114	Po di Goro	5.260	-	-	0	0	-	-
115	Foce Po di Goro	140	-24.728	4.245	0	0	-	-
116	Faro di Goro	1.000	-103.777	11.623	0	0	E	E
117	Scanno di Goro Centro	5.000	-344.423	48.417	0	0	E	E
118	Bocca Laguna	4.625	-239.750	53.669	0	366.256	E	S
	Totale	28.655	-712.678	117.954	0	366.256		

N.B. Nella macrocella 7 non risultano ripascimenti realizzati con la sabbia recuperata dalla vagliatura del materiale proveniente dalla pulizia delle spiagge della macrocella. Inoltre, 206.000 mc di sabbia prelevati dall'estremità ovest dello scanno di Goro (C118) sono stati depositati nelle concessioni di molluschicoltura della Sacca di Goro.

Il tratto centrale dello Scanno (C117), lungo 5 km, è caratterizzato da zone in accumulo alternate ad altre in perdita, complessivamente però il bilancio di sedimento all'interno della cella risulta in perdita di poco meno di 345.000 mc. Nel periodo in esame sono stati realizzati, su questo tratto di scanno, 2 pennelli in pali di legno al fine di intercettare parte del trasporto solido litoraneo (TABELLA 23, FIGURA 191, FIGURA 192, FIGURA 193 E FIGURA 194).

La Bocca di Laguna (C118) ha un bilancio negativo di circa 240.000 mc, che è dovuto al dragaggio di 366.000 mc di sedimento dall'estremità ovest dello Scanno di Goro (ricadente nella cella 118). Di questi, 160.000 mc sono stati portati a ripascimento della spiaggia di Volano (C108-C109, M6) e 206.000 mc sono stati depositati nelle concessioni di molluschicoltura all'interno della Sacca di Goro. Nel periodo in esame è stato realizzato un pennello in pali di legno all'estremità ovest dello scanno (TABELLA 23, FIGURA 184, FIGURA 186, FIGURA 195 E FIGURA 196).

FIGURA 189 Faro di Goro (cella 116): Profilo S15.

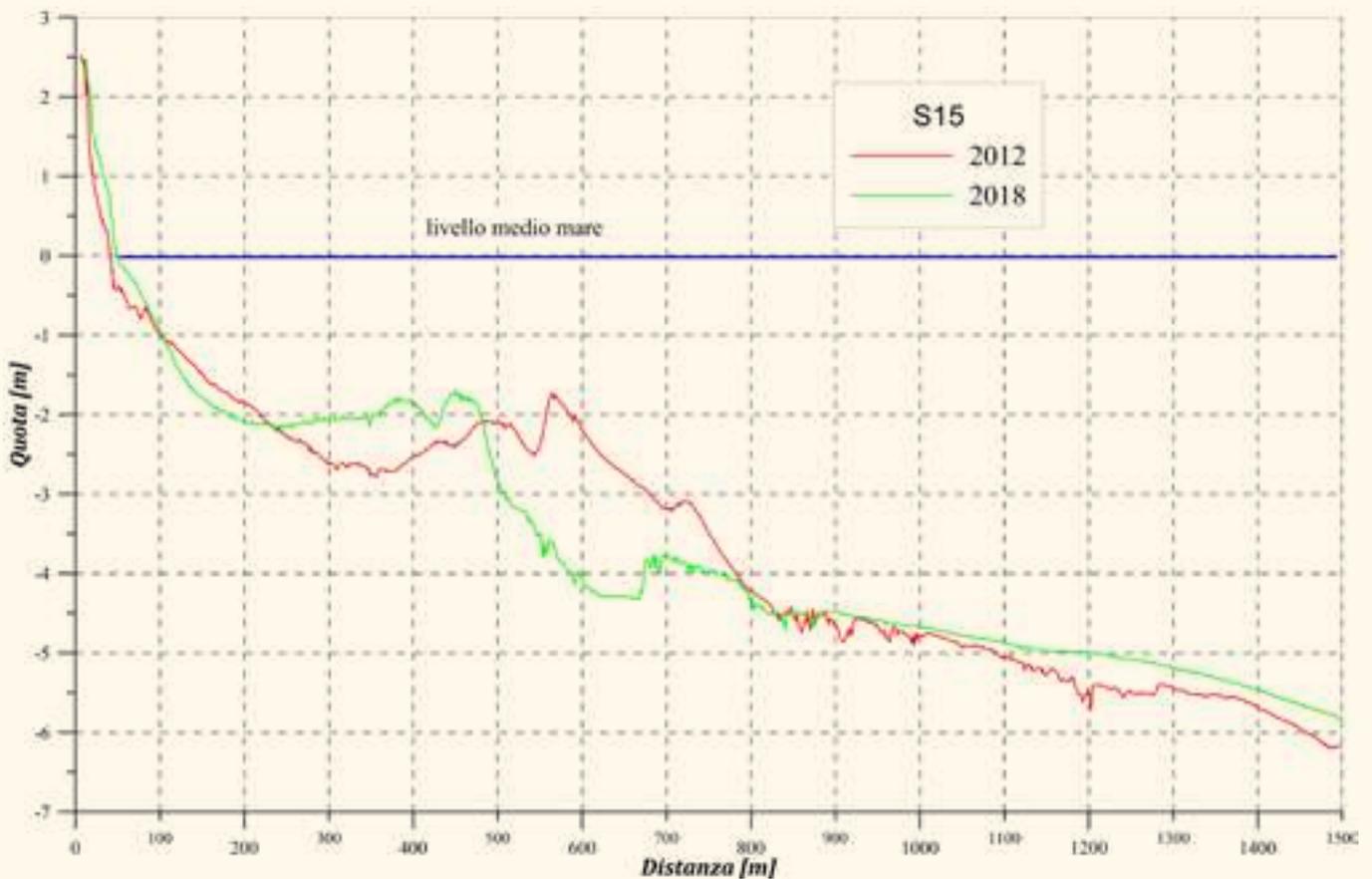




FIGURA 190 Foce Po di Goro (cella 115) e Faro di Goro (cella 116) (Google Earth).

FIGURA 191 Scanno di Goro centro (cella 117): Profilo S13.

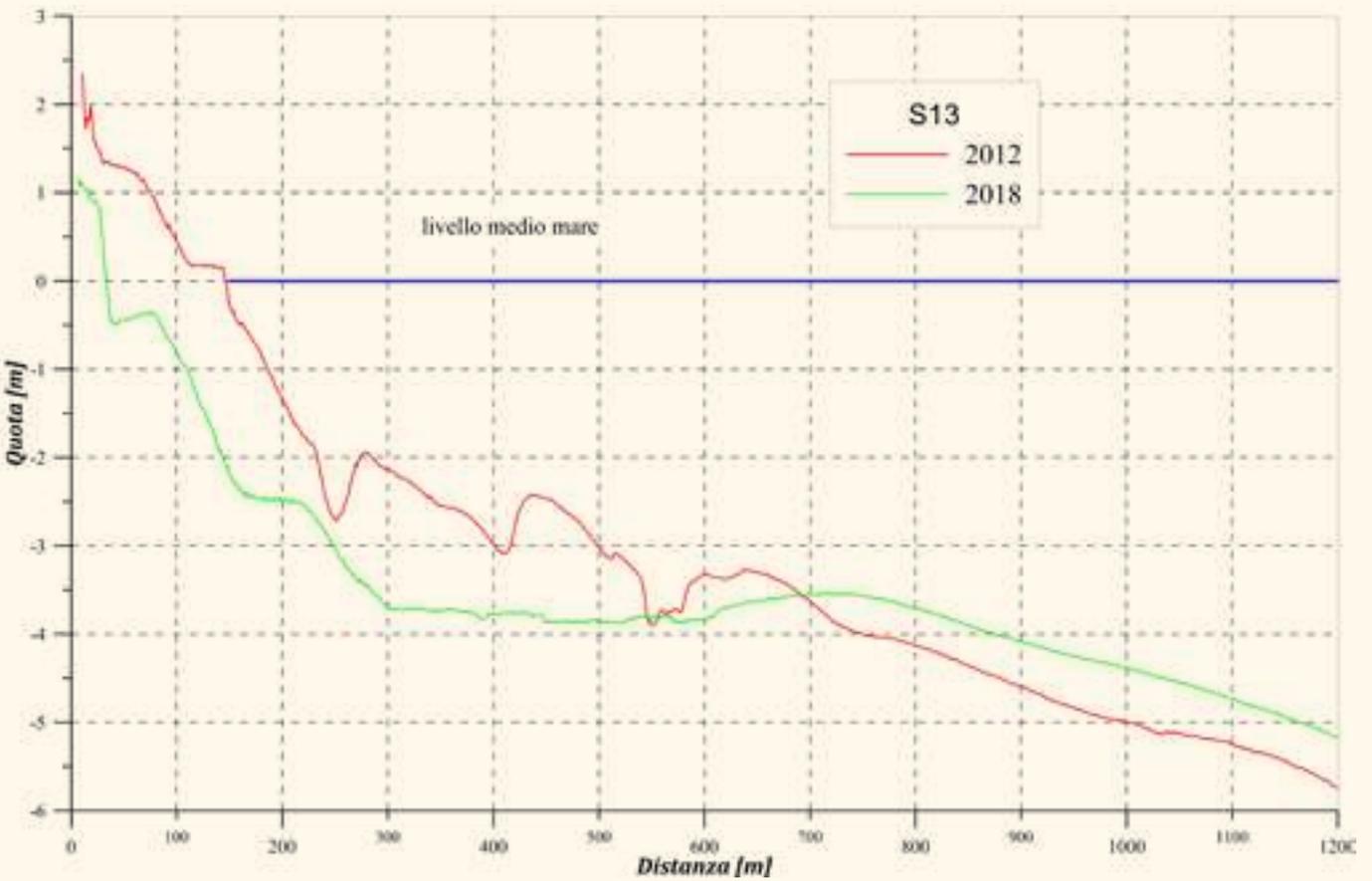




FIGURA 192 Scanno di Goro: 2 dei pennelli in pali di legno realizzati lungo lo scanno di Goro (in alto foto maggio 2017, in basso foto ottobre 2016).

FIGURA 193 Scanno di Goro centro (cella 117): Profilo S10.

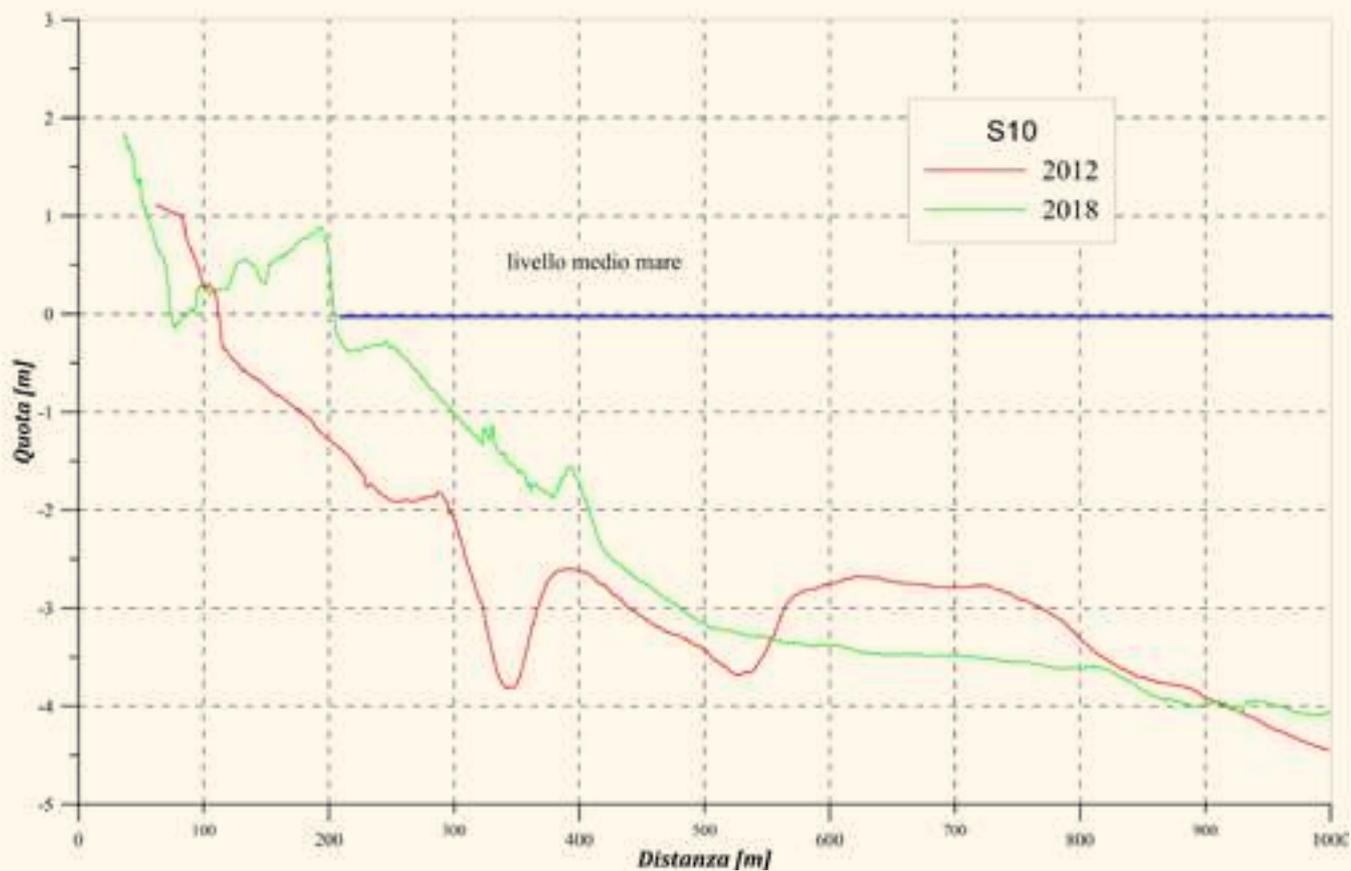


FIGURA 194 Scanno di Goro centro (cella 117): Profilo S5.



FIGURA 195 Bocca Laguna (cella 118): Profilo S4.

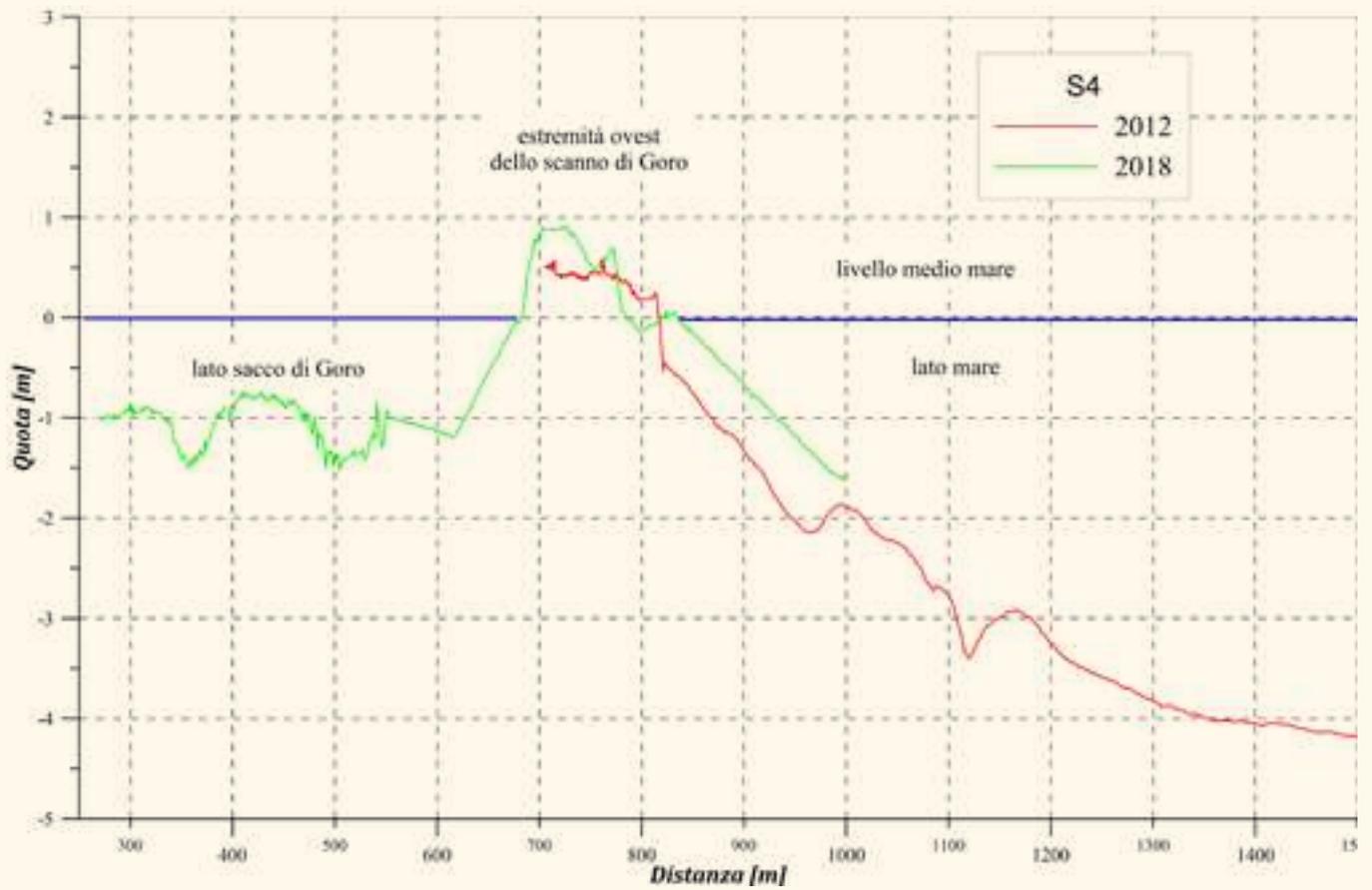
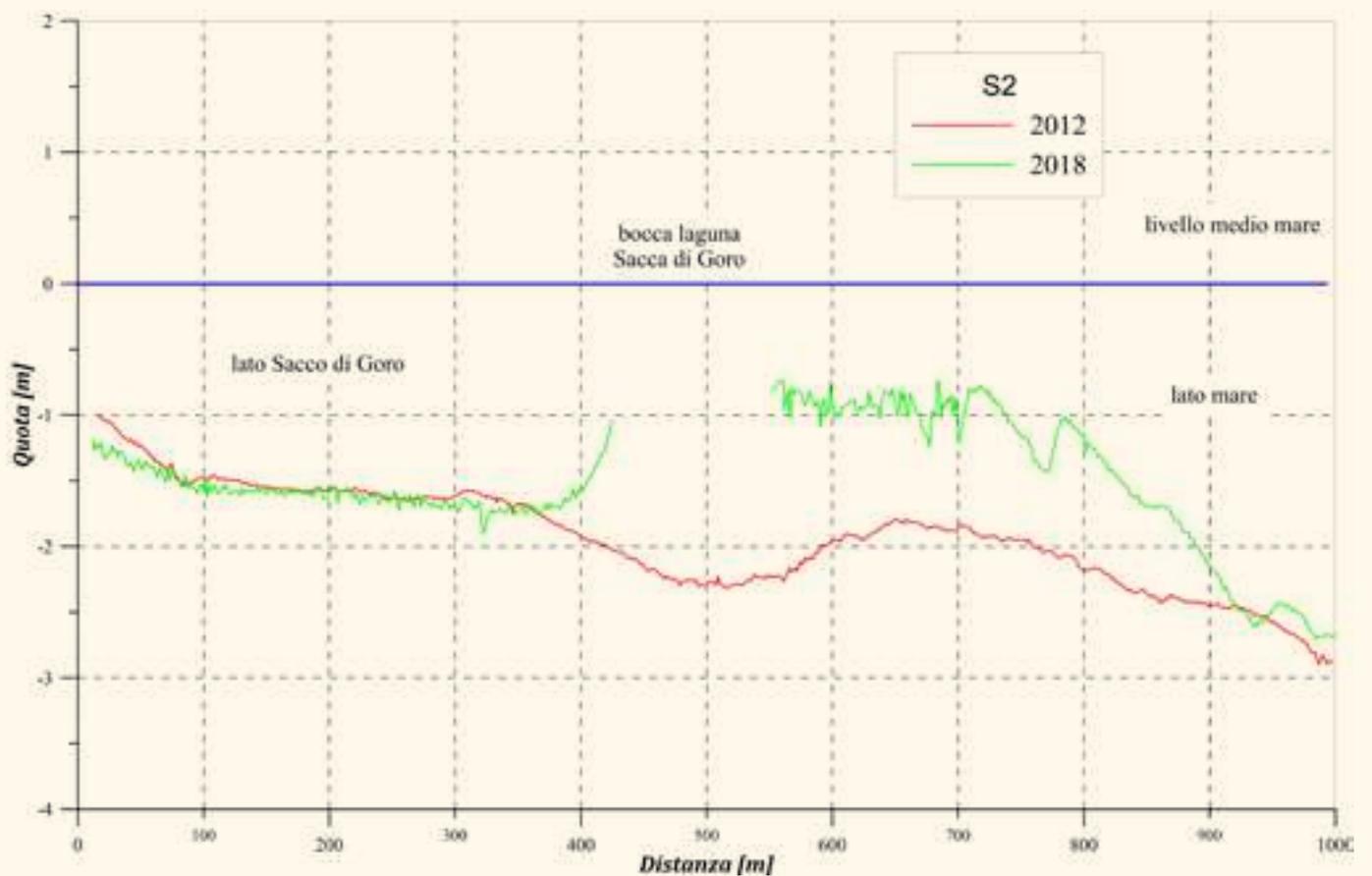
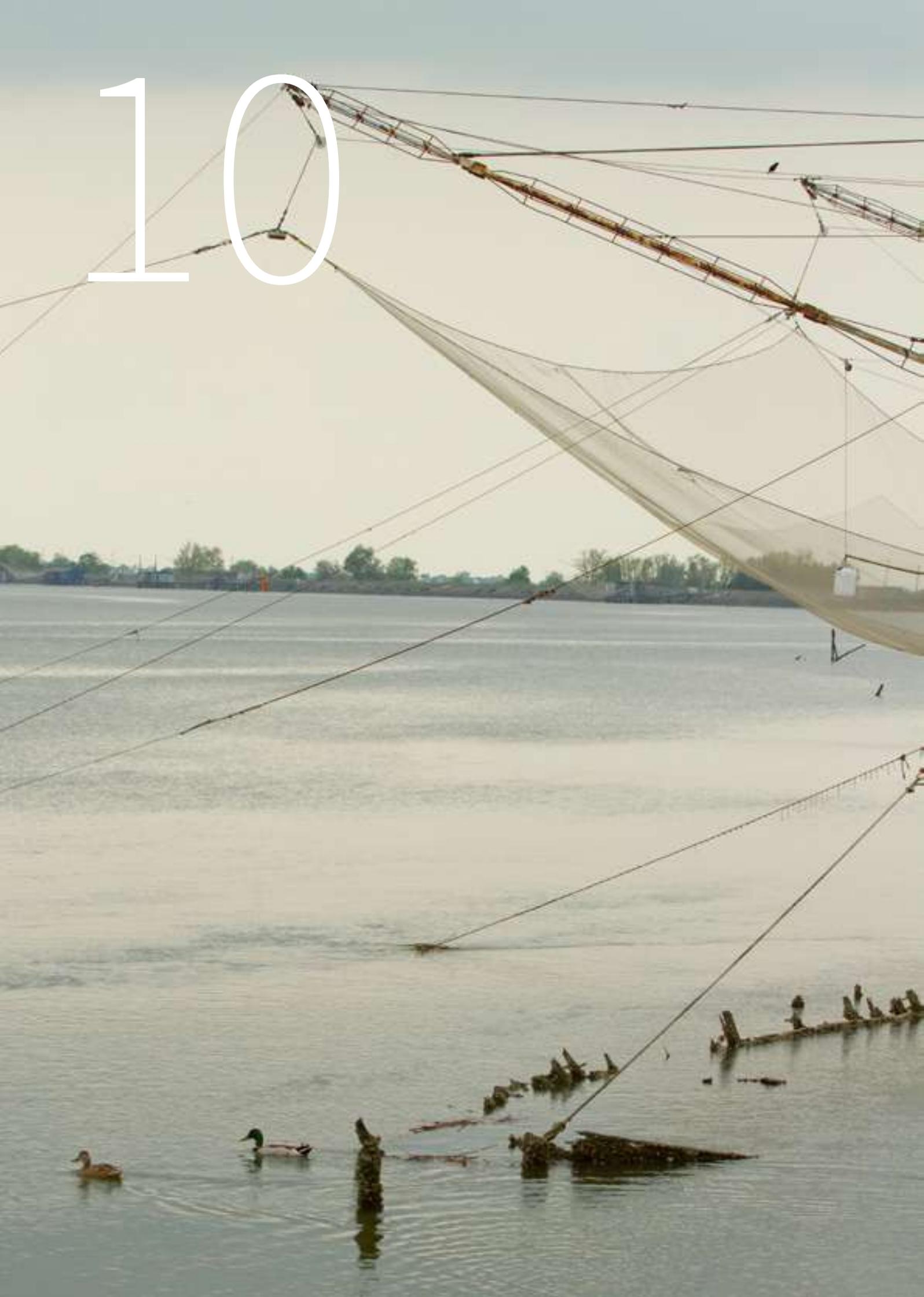


FIGURA 196 Bocca Laguna (cella 118): Profilo S2.



10



10. Conclusioni

10.1 Realizzazione della Rete Geodetica Costiera

Nel biennio 2016-2017 è stata realizzata la Rete Geodetica Costiera (RGC) per il corretto inquadramento dei rilievi topografici e batimetrici lungo il litorale regionale. La realizzazione della RGC è stata effettuata in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna.

La Rete Geodetica Costiera, all'impianto, è costituita da 40 vertici GPS stazionabili, di cui sono state determinate le coordinate plano-altimetriche (E, N, h) nel sistema di riferimento nazionale ETRS89-ETRF2000 (2008.0). La quota ortometrica (H) è stata ottenuta a partire dalla rete regionale di controllo della subsidenza rilevata da Arpa nel 2005, e aggiornata al maggio 2011 con il modello di subsidenza stimato con misure interferometriche. Le monografie dei 40 vertici sono disponibili sul portale cartografico di Arpa, nella sezione Mare e Costa (<https://www.arpae.it/cartografia/>).

La RGC è stata progettata e realizzata in modo da soddisfare le seguenti caratteristiche:

- sufficientemente densa da consentirne un facile uso sia per azioni di controllo sia come riferimento all'atto delle misure topografiche e batimetriche lungo costa: indicativamente un'interdistanza massima tra i vertici di 4-5 km;
- la posizione dei vertici è stata determinata con precisione centimetrica ($\text{sqm} \leq 2\text{cm}$) sia in termini planimetrici che altimetrici;
- per ogni vertice è stata misurata la quota ellissoidica e stimata quella ortometrica;
- vertici stazionabili con strumentazione GNSS;
- ubicazione dei punti il più possibile in prossimità della costa, ma in siti tali da garantirne una stabilità e conservabilità nel tempo;

- utilizzo di vertici o capisaldi preesistenti per evitare duplicazioni e dispersione di risorse.

Nel corso del 2018, è stata riattivata la collaborazione con il DICAM dell'Università di Bologna:

- per potenziare la Rete Geodetica Costiera con ulteriori vertici;
- per riattaccare la Rete Geodetica Costiera ai mareografi presenti lungo il litorale regionale: Porto Garibaldi e Marina di Ravenna;
- per aggiornare le quote ortometriche dei vertici con i nuovi dati di subsidenza derivati dalle risultanze dell'interferometria SAR;
- per definire un modello di ondulazione geoidica locale lungo il litorale.

10.2 Subsidenza dell'area costiera

Il presente lavoro aggiorna al periodo 2011-2016 le conoscenze relative alle velocità di movimento verticale del suolo, sull'intera area di pianura regionale, rispetto al precedente rilievo riferito al periodo 2006-2011. In particolare, si è proceduto attraverso due fasi successive: in una prima fase (2016-2017) è stata effettuata l'analisi interferometrica, tramite la tecnica SqueeSAR™, dei dati radar satellitari acquisiti sull'intera area di pianura della regione, individuando i punti di misura presenti, le loro velocità medie annue e le relative serie storiche di spostamento nel periodo 2011-2016.

Nella seconda fase del lavoro (2017-2018) è stata effettuata un'analisi particolarmente accurata sul totale dei circa 2.000.000 di punti di misura individuati, 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 a un dataset finale pari a 1.912.781 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 2011-2016, tramite una rappresentazione a curve isocinetiche, le quali, anche grazie alla precisione del dato che si stima - in linea con il precedente rilievo - intorno a ± 2 mm/anno, sono state delineate con un passo di 2,5 mm/anno, come per la precedente cartografia.

Focalizzando l'attenzione sul litorale, si osserva che continua la tendenza, già manifestatasi con il precedente rilievo del 2011, a una diminuzione della subsidenza. Si notano abbassamenti di pochi mm/anno su tutto il litorale ferrarese; il litorale ravennate presenta abbassamenti generalmente fino a circa 5 mm/anno, fatta eccezione per un'area di depressione che interessa il paraggio costiero da Lido Adriano fino alla Bocca del Torrente Bevano. In tale zona si registrano velocità di abbassamento con un massimo di oltre 15 mm/anno in corrispondenza della foce dei Fiumi Uniti e un'estensione massima verso l'entroterra di circa 5 km. Anche quest'area storicamente subsidente presenta una tendenza alla riduzione del fenomeno.

Più a sud, gli abbassamenti si riducono a circa 2-3 mm/anno lungo tutto il litorale fino a Cattolica. Il litorale nella sua interezza presenta un abbassamento medio, relativamente a una fascia di 5 km verso l'entroterra, di circa 3 mm/anno, in ulteriore riduzione rispetto al periodo precedente.

10.3 Regime del moto ondoso

Sono stati analizzati i dati della boa ondometrica 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 è quella dell'intervallo di tempo tra la 5^a alla 6^a campagna topo-batimetrica (aprile 2012-ottobre

2018), con dati rilevati ogni 30 minuti. I dati utili per l'analisi sono stati oltre l'88% di quelli teoricamente disponibili, quindi la copertura complessiva è risultata piuttosto buona (**FIGURA 29, TABELLA 5**). Le carenze di informazioni sono risultate concentrate nel 2014 e nel 2017, durante i quali i dati mancanti hanno raggiunto rispettivamente la soglia del 42,5% e del 30,4% sul totale dei valori attesi.

L'analisi dei dati disponibili ha evidenziato che il settore da cui proviene il maggior numero di onde, pari al 20% del totale, è quello E o di Levante (90° N), seguito dal settore ESE ($112,5^\circ$ N) con circa il 13% e dal settore ENE ($67,5^\circ$ N) con circa il 12% 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 7 anni di osservazioni si sono registrate 96 mareggiate che, complessivamente, hanno comportato circa 84 giorni di mare mosso. La stagione con la massima incidenza di fenomeni è stata quella autunnale con complessive 34 mareggiate, seguita dall'inverno con 33 e dalla primavera con 23 eventi.

Le mareggiate hanno presentato valori della direzione rispetto al Nord compresi tra i 341° N e i 101° N. In media le 96 mareggiate individuate hanno una direzione di circa 57° 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 circa 1,6 m e circa 4,6 m. Solamente in altri 3 casi del 2014, 2015 e del 2017, tutti avvenuti in inverno, l'altezza d'onda ha raggiunto valori estremamente alti, oltre i 4,0 m. Prendendo in considerazione l'aspetto energetico e conseguentemente la classificazione delle mareggiate, si può osservare (**TABELLA 15**) che 47

mareggiate su 96 sono state di classe I (debole), 27 sono collocabili in classe II (moderata), 19 in classe III (significativa) e le rimanenti 3 in classe IV (severa).

Infine, l'analisi del livello massimo raggiunto dalla marea al mareografo di Porto Garibaldi, in concomitanza con i vari fenomeni di mareggiata evidenzia come questo dato si sia manifestato secondo valori distribuiti tra pochi centimetri sopra il livello medio mare e oltre i 1,3 m.

10.4 Risultati della campagna sedimentologica

Il monitoraggio delle caratteristiche sedimentologiche rappresenta un aspetto irrinunciabile nella ricostruzione del quadro evolutivo del litorale a scala regionale, in quanto tali caratteristiche sono connesse alle dinamiche di trasporto e redistribuzione del sedimento e quindi al regime idrodinamico presente. In questo studio ci si è concentrati sulle caratteristiche granulometriche a scala regionale, senza entrare nel merito di situazioni specifiche come quelle dei settori oggetto di ripascimento (vedi paragrafo 8.4), per i quali sono state effettuate specifiche campagne di monitoraggio a maggior grado di dettaglio.

Sedimentologia al 2018

Al 2018, il litorale emiliano-romagnolo risulta composto da sabbie prevalenti e, in minor misura, e solo sulla spiaggia sommersa, da sabbie fangose e da fango. Esaminando il diametro medio dei sedimenti, il più rappresentato è quello della sabbia fine (0,25-0,125 mm; 45%) e, subordinatamente, quello della sabbia molto fine (0,125-0,063 mm; 28%). Il 5% dei campioni è rappresentato dal granulo medio dell'ordine della sabbia media (0,500-0,250 mm) e il 17% ha le dimensioni del silt (<0,063 mm).

La maggior parte delle spiagge emerse e dei primi fondali sono rappresentati da sedimenti con diametro medio (Dm) delle dimensioni

delle sabbie fini e soltanto due tratti, compresi tra le foci del Savio-Bevano e quella dei Fiumi Uniti e tra il Reno e Lido di Spina, presentano il Dm delle dimensioni della sabbia media in una fascia relativamente consistente. Come già rilevato nel monitoraggio del litorale al 2012 (Arpa, 2016), questo è dovuto ai processi di smantellamento e "cannibalizzazione" delle foci fluviali in atto negli ultimi decenni, più che all'apporto fluviale attuale.

A parte l'estremo più meridionale del litorale regionale (Cattolica-Misano), dove i sedimenti della spiaggia sommersa mantengono il diametro medio della sabbia fine fino al limite del campionamento (-6 m), si osserva generalmente una graduale diminuzione del granulo medio verso il largo fino alle frazioni più fini. Lungo pressoché tutto il litorale è presente una fascia di fondale caratterizzata da sedimenti con Dm delle dimensioni della sabbia molto fine che si estende fino alla batimetrica dei 5 m circa, a eccezione di due punti di interruzione: davanti Lido di Spina e Lido degli Estensi, e a Lido delle Nazioni. Depositi rappresentati da Dm dell'ordine del silt sono stati individuati prevalentemente oltre i 5 m di profondità, ma localmente anche a minori profondità come, per esempio, sulla battigia del Bellocchio a sud di Lido di Spina, dove affiorano le argille lagunari, a Lido delle Nazioni all'interno delle opere di difesa e davanti all'imboccatura della Sacca di Goro.

Per quanto riguarda la frazione pelitica, le percentuali più ridotte (<10 %) si osservano tra Cattolica e Rimini, mentre muovendosi verso il litorale centro-settentrionale il contenuto di pelite aumenta localmente fino a superare il 50% e, in alcuni casi, il 90%.

Analogamente, da Sud verso Nord si osserva una generalizzata diminuzione del grado di selezione dei campioni, che nella maggior parte dei casi tende anche a peggiorare con la profondità. Sulla spiaggia emersa e nei primi fondali i sedimenti sono in prevalenza moderatamente ben selezionati e pochi campioni sono ben cerniti.

Verso il largo, la maggior parte dei campioni è poco selezionata.

Al di sotto dei 3 m di profondità, nei tratti compresi tra Cattolica e Riccione, i sedimenti risultano moderatamente ben selezionati, mentre da Riccione verso nord si osserva una forte variabilità, fino a un prevalere dei sedimenti poco e molto poco selezionati.

Confronti con le campagne sedimentologiche precedenti

Il confronto tra le campagne 2018 e 2012 è stato condotto in modo puntuale: le due campagne sono state infatti effettuate in condizioni analoghe e con le stesse modalità, sulla base di un piano di campionamento comune, inoltre i campioni sono stati analizzati dallo stesso laboratorio (presso Arpae di Ravenna). Questo rende pienamente confrontabili i relativi dati, con maggior grado di sicurezza rispetto ai confronti con precedenti campagne sedimentologiche (del 1971-1972 da parte dell'Università di Ferrara, Bondesan et al., 1978 e Dal Cin et al., 1979) che comunque forniscono dati importanti nel medio-lungo termine.

Nel 2018 il Dm più rappresentato dai sedimenti campionati è ancora quello della sabbia fine (45%), e subordinatamente quello della sabbia molto fine (28%), ma con differenze rispetto al 2012 (in cui erano, rispettivamente, 56% e 21%). Si è osservata, quindi, una generalizzata diminuzione granulometrica nell'intervallo temporale occorso. Alle diverse fasce di profondità si rilevano, poi, significativi cambiamenti del diametro medio dei sedimenti, che riguardano solo localmente la spiaggia emersa e i primi fondali e, più diffusamente, la spiaggia sommersa al di sotto di 1 metro di profondità ma, soprattutto, i fondali tra -3 e -7 metri. Qui il Dm della sabbia molto fine risulta nel 2018 quello più rappresentato (53%, contro un 39% nel 2012), seguito da quello del silt (34% rispetto al 21% nel 2012); la tendenza alla diminuzione del Dm è particolarmente accentuata nei fondali della porzione

settentrionale del litorale a partire da Lido di Savio.

All'osservazione delle carte del Dm del 2012 e del 2018, la parte di spiaggia emersa e i primi fondali sono molto simili, a eccezione del tratto contraddistinto dalle sabbie più grossolane (sabbie medie) del litorale compreso tra la Foce del Reno e Lido degli Estensi, che nel 2018 si presenta in carta discontinuo e assottigliato rispetto al 2012, e lo Scanno di Goro che nel 2018 presenta sedimenti con Dm non superiori alle dimensioni della sabbia fine.

I fondali al di sotto di 1 metro di profondità presentano invece significative ed estese variazioni che consistono, come già accennato, in prevalenti diminuzioni delle dimensioni del Dm dei depositi e solo locali aumenti. I cambiamenti più accentuati sono stati rilevati nei tratti di spiaggia tra Rimini e Cattolica e tra Porto Garibaldi e Casal Borsetti, dove la spiaggia sommersa nel 2012 era composta da sabbia fine fino alle massime profondità campionate, mentre nel 2018 è composta da sabbia molto fine e/o silt, rispettivamente. A partire dal Savio verso nord fino allo Scanno di Goro, la diminuzione del Dm è evidente e costante e i fondali sono contraddistinti, con alcune interruzioni, da sabbia molto fine e da silt. I campioni del 2018 evidenziano, infatti, un prevalente incremento della frazione pelitica nei fondali rispetto al 2012 in buona parte del settore centro-settentrionale del litorale, in particolare al di sotto dei 3 metri di profondità, cioè al limite esterno del settore di fondale interessato dalle principali variazioni morfologiche in risposta al moto ondoso.

Dall'analisi integrata dei dati granulometrici e topo-batimetrici, tali cambiamenti osservati nel 2018 rispetto al 2012 a livello regionale, non sembrano indicare una relazione univoca tra le variazioni granulometriche e le variazioni morfologiche del fondale. Diverso è il discorso per quanto riguarda quei settori nei quali si è concentrato l'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine effettuato nel 2016 nell'ambito del Progettone 3 (paragrafo 8.4), per i quali restano validi e confermati gli effetti locali

evidenziati con lo studio di dettaglio (Arpa, 2019).

A quali fattori attribuire la generalizzata diminuzione del Dm dei sedimenti e l'incremento della frazione pelitica dei campioni del 2018 rispetto al 2012, osservata soprattutto nei fondali al di sotto dei 3 metri di profondità, non è ancora del tutto chiaro. Nei 6 anni intercorsi tra il rilievo del 2012 e quello del 2018, sul litorale regionale possono essere intervenuti molteplici processi sia antropici che naturali a modificare la tessitura della spiaggia. A parte locali effetti degli interventi di ripascimento (che interessano soprattutto spiaggia emersa e primi metri di quella sommersa, vedi paragrafo 8.4) e di altre opere di difesa (che pure alterano il regime idrodinamico locale presso la costa, diminuendo l'energia e favorendo localmente il deposito di sedimento più fine), possibili effetti legati a cambiamenti del clima di moto ondoso non risultano evidenti dai dati disponibili (capitolo 7). Inoltre, il fenomeno sembra interessare porzioni del fondale più profonde rispetto all'area di maggiore dinamismo, e relativamente "stabili" dal punto di vista morfologico. Più probabilmente, l'evoluzione riscontrata sul litorale regionale dal punto di vista sedimentologico sembra riconducibile alle condizioni di alimentazione lungo la fascia costiera, dove il sedimento non viene più "rinnovato" e arricchito nelle sue frazioni relativamente grossolane (sabbie medie e fini) e il prisma costiero va incontro a una progressiva riduzione in ampiezza e volume. Il fenomeno appare più accentuato nel settore centro-settentrionale del litorale dove, in accordo con la direzione prevalente da sud verso nord dei processi di trasporto per deriva litorale, il "nastro trasportatore" della sabbia diventa sempre meno efficiente e dove si risente maggiormente della vicinanza alla foce del Po.

Rispetto alle precedenti campagne sedimentologiche, il confronto qualitativo tra carte del Dm indica come la campagna del 2018 presenti numerose analogie con il quadro tessiturale ricostruito per il 1971-1972 da parte

dell'Università di Ferrara (Bondesan et al., 1978 e Dal Cin et al., 1979, vedi par. 8.3):

- su spiaggia emersa e primi fondali sono presenti quasi ovunque sedimenti con Dm maggiore di 0,125 mm;
- la spiaggia sommersa è caratterizzata principalmente da sabbia molto fine e, verso il largo, a tratti da silt.

Similitudini erano state riscontrate (Arpa, 2016) anche tra le campagne 2012 e 1971-1972, in particolare per la fascia di spiaggia prossima alla riva, a eccezione di alcuni tratti (vedi paragrafo 8.3). Differenze più marcate erano state invece notate nei fondali dei due tratti compresi tra Lido degli Estensi e Casal Borsetti e tra Rimini e Cattolica dove, rispetto agli anni 70, la spiaggia sommersa nel 2012 risultava composta da sabbia fine fino alle massime profondità campionate (-7 m); questa caratteristica non è più osservabile nel 2018, dove i sedimenti prevalenti hanno un Dm inferiore. Complessivamente, la distribuzione del Dm osservata nei fondali nel 2018 presenta più analogie con la situazione ricavata dai campionamenti negli anni 70 che con quella del 2012.

Future indagini e ripetizioni del monitoraggio delle caratteristiche sedimentologiche del litorale a scala regionale permetteranno di confermare e ampliare il quadro evolutivo sinora ricostruito.

10.5 Stato del litorale ed evoluzione recente (2012-2018)

Lo stato del litorale emiliano-romagnolo al 2018, rispetto al 2012, a valle degli interventi di difesa realizzati dalla Regione e dagli Enti Locali nel periodo 2012-2018, risulta, in base all'indicatore ASE, per il 36% (41.735 m) in accumulo di sedimento, per il 46% (54.245 m) stabile e per il restante 18% (21.340 m) in erosione (**FIGURA 197**). Questa complessiva buona situazione è dovuta a una buona gestione del litorale, e in particolare a una serie di interventi di ripascimento realizzati dalla Regione e dagli Enti Locali, con i quali sono stati apportati sulle spiagge in erosione oltre 3,25 milioni di mc di sabbia. Di questi, il 54% (1,77 milioni di mc) proviene da zone litoranee in accumulo, quindi da paleggiamenti, per la maggior parte realizzati all'interno della stessa macrocella, e il 46% (1,48 milioni di mc) deriva da apporti di sedimenti provenienti da fonti esterne al sistema litoraneo. Degli apporti dall'esterno il 94% (circa 1,4 milioni di mc) proviene da un giacimento sottomarino di sabbia al largo di Ravenna, ed è stato apportato nel 2016 nell'ambito del Progettone 3, e la restante parte da cava a terra (circa 50.000 mc) o da scavi edili (poco più di 30.000 mc). In questo periodo non risultano prelievi da costruzioni di nuove darsene (**FIGURA 199**). Inoltre, nel computo dei prelievi sono stati considerati anche i sedimenti portati all'esterno del sistema litoraneo (per esempio nella Sacca di Goro), e quelli provenienti dalla vagliatura del materiale di pulizia delle spiagge (che per le singole celle è computato come ripascimento, ma non come prelievo in quanto non nota la specifica cella di provenienza).

In assenza di questi interventi, lo stato del litorale al 2018, rispetto al 2012, sarebbe risultato, in base all'indicatore ASPE, per il 33% in accumulo (38.750 m), per il 20% stabile (23.710 m) e per ben il 47% in condizioni critiche (54.855 m). Di questi, il 26% sarebbe in erosione (30.045 m) e il 21% in equilibrio precario (24.815 m). Con questa ultima classificazione si intendono tratti che hanno subito una perdita

inferiore ai 30 mc/m, ma nel periodo in esame sono stati interessati da interventi di difesa (**FIGURA 198**).

Dall'analisi dell'evoluzione del fenomeno erosivo, nel periodo marzo 2012 – dicembre 2018, nell'intero litorale emiliano-romagnolo si identificano tre macroaree.

La prima, costituita dalle macrocelle M1-M2-M3-M4 (dai moli di Cattolica al molo di levante del Porto di Ravenna) caratterizzate tutte da un bilancio positivo, che complessivamente supera i 1,7 milioni mc di sedimento. L'accumulo è dovuto prevalentemente a un apporto di sedimento dall'esterno pari a 1,5 milioni di mc, di cui oltre il 90% è rappresentato dal materiale portato a ripascimento delle spiagge nell'ambito del Progettone 3 (**FIGURA 200**). Inoltre, con una serie di interventi minori, sono stati spostati oltre 700.000 mc di sedimento da zone in accumulo a spiagge in erosione.

Nel 2018, rispetto al 2012, grazie a questi interventi, le spiagge del litorale da Cattolica al Porto di Ravenna sono in accumulo o rimaste stabili, e solo un tratto di costa nella M4 a nord della foce dei Fiumi Uniti (C75, lungo 360 m) e la zona nord del Bevano (C71, lunga 1 km), sottoflutto al sistema di difesa di Lido di Dante, sono in erosione (**FIGURA 201**). In assenza degli interventi di ripascimento (apporti dall'esterno e paleggiamenti litoranei) ben 31 km di spiaggia si troverebbero in condizioni critiche, cioè in erosione o in equilibrio precario (**FIGURA 202**). È bene ricordare che, per effetto della deriva litoranea, beneficiano dell'apporto di sedimento non solo le spiagge direttamente interessate, ma anche quelle sottoflutto.

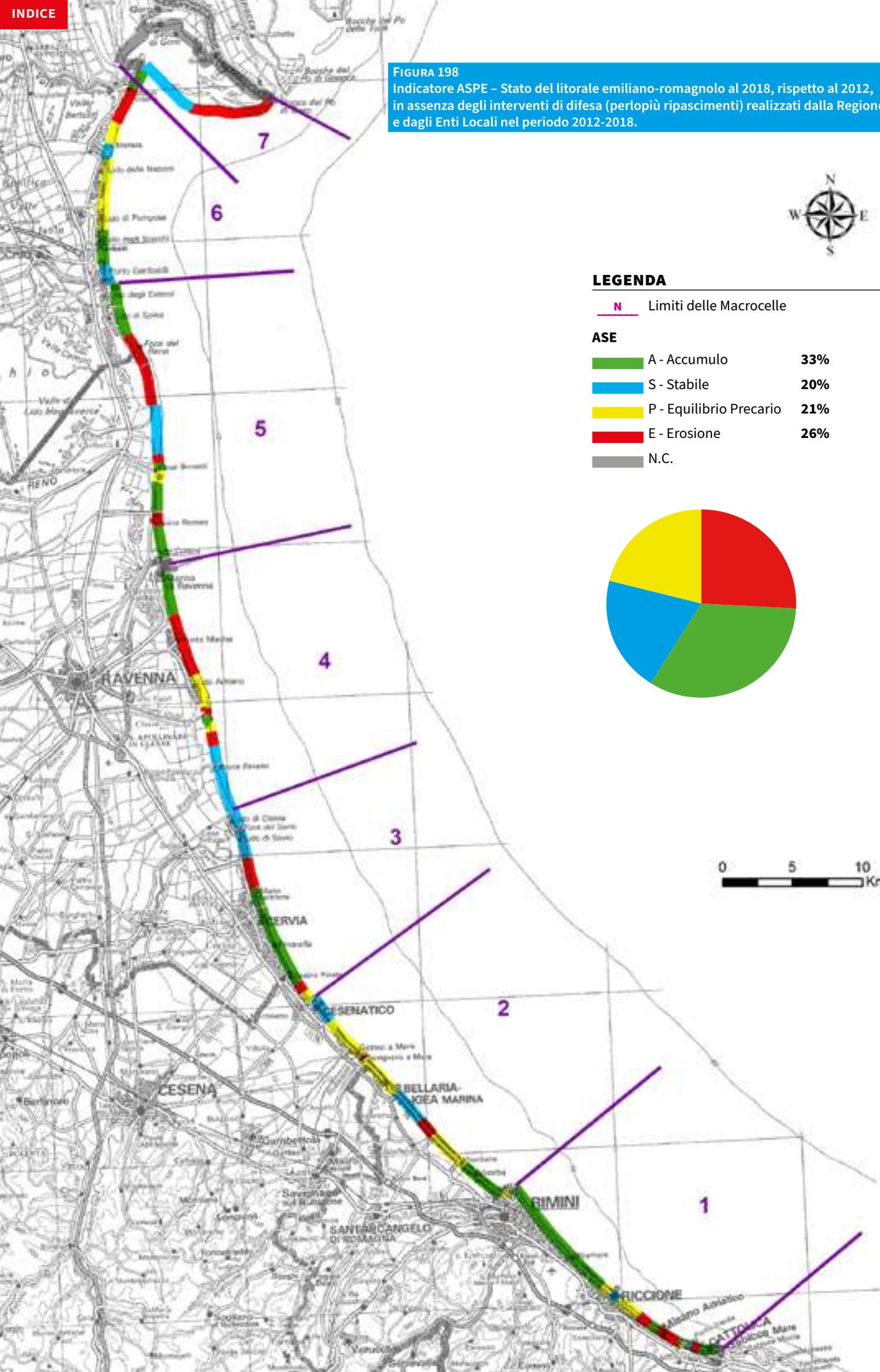
La perdita di volume di spiaggia per subsidenza (**FIGURA 200**) risulta significativa solo nell'area foce Bevano – Lido di Dante – Foce Fiumi Uniti – Lido Adriano (macrocella M4), dove si hanno tassi di subsidenza tra 11-17 mm/anno, tra i più alti dell'intero litorale, mentre negli altri paraggi variano tra 2-5 mm/anno (**FIGURA 200**).

La seconda macroarea comprende le macrocelle M5 e M6 (dal molo di ponente del Porto di Ravenna alla foce del Po di Volano),

FIGURA 197 Indicatore ASE - Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2018, rispetto al 2012, a valle degli interventi di difesa (perlopiù ripascimenti) realizzati dalla Regione e dagli Enti Locali nel periodo 2012-2018.



FIGURA 198
 Indicatore ASPE – Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2018, rispetto al 2012, in assenza degli interventi di difesa (perlopiù ripascimenti) realizzati dalla Regione e dagli Enti Locali nel periodo 2012-2018.



LEGENDA

N Limiti delle Macrocelle

ASE

■ A - Accumulo	33%
■ S - Stabile	20%
■ P - Equilibrio Precario	21%
■ E - Erosione	26%
■ N.C.	

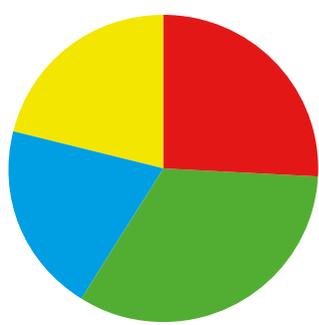
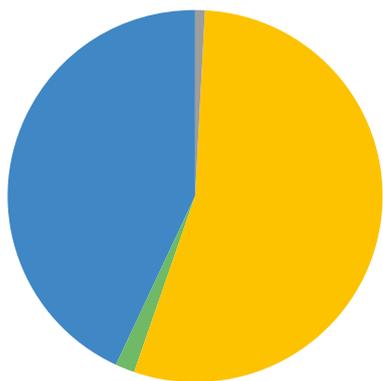


FIGURA 199

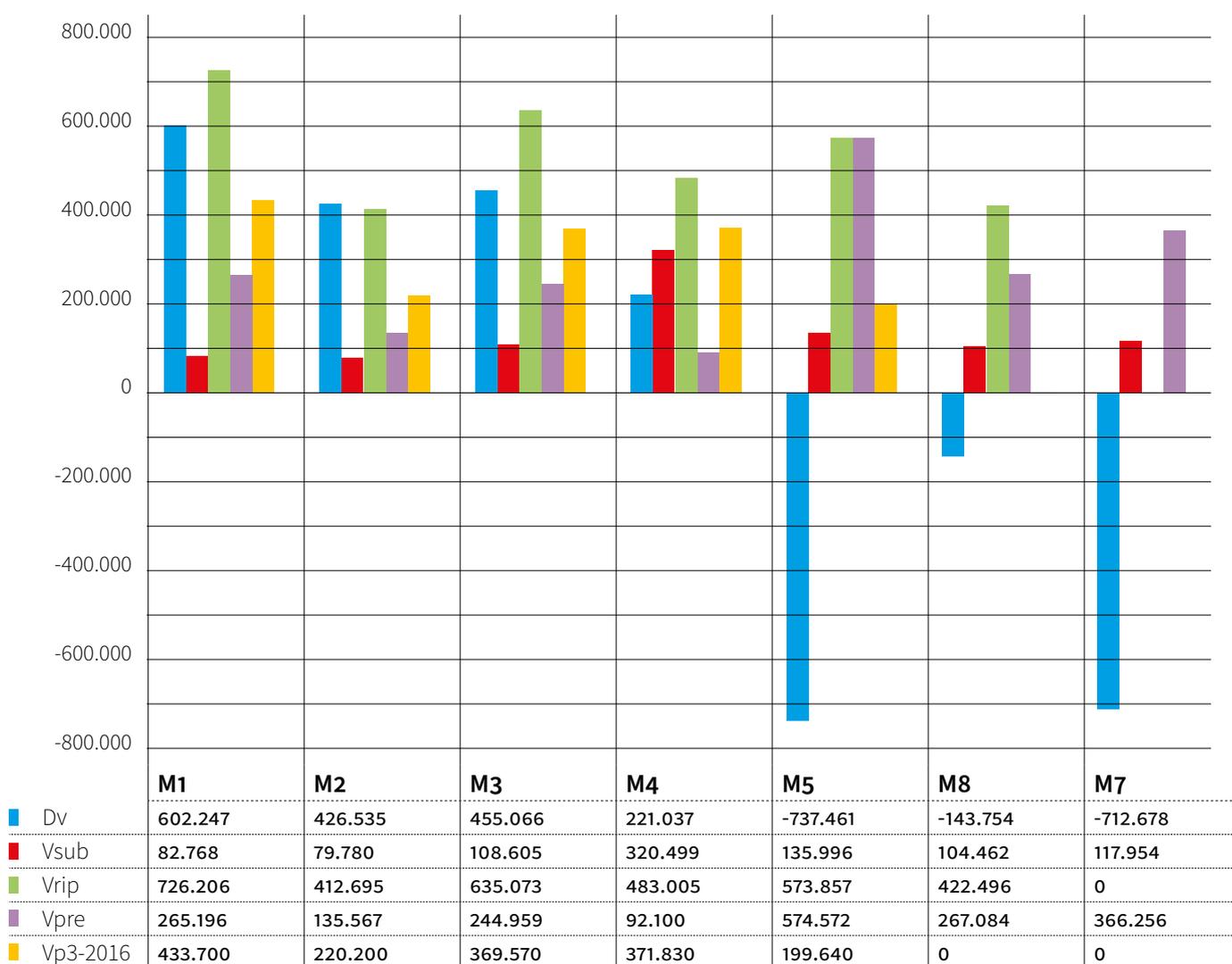
Volumi di sabbia portati a ripascimento nel periodo marzo 2012-dicembre 2018, per tipologia di fonte di provenienza.

**2012-2018**TOTALE **3.253.400 mc**

■ ACCUMOLI LITORANEI	1.774.000 mc	54,5 %
■ CAVA A TERRA	51.500 mc	1,6 %
■ GIACIMENTI SOTTOMARINI	1.385.300 mc	42,9 %
■ SCAVI EDILI E DARSENE	32.600 mc	1,0 %
TOTALE COMPLESSIVO	3.253.400 mc	

FIGURA 200

Variazione di volume (Dv), perdite per subsidenza (Vsub), ripascimenti (Vrip), prelievi (Vpre) e volumi di sabbia apportati nel 2016 nell'ambito del Progettone 3 (valori in mc), per singola macrocella del litorale emiliano-romagnolo.



caratterizzate complessivamente da una perdita di sedimento, anche se in misura differente (**FIGURA 200**).

Nella macrocella 5 (dal molo di ponente del Porto di Ravenna a Porto Garibaldi) si è avuta una perdita complessiva di oltre 700.000 mc di sedimento, essa è caratterizzata da una zona centrale che va dalla Foce del Reno al Lido di Spina Sud in forte erosione, mentre la zona a sud prossima al molo del porto di Ravenna e quella a nord prossima al molo di Porto Garibaldi sono in accumulo. Nella macrocella 5 sono stati effettuati una serie di paleggiamenti di sabbia da zone in accumulo a quelle in erosione, per un totale di oltre 570.000 mc. Risulta un solo apporto di sedimento dall'esterno della macrocella, pari a soli 1.000 mc provenienti dalla Scannone di Volano e depositati a Lido di Spina Sud.

Nel 2018, rispetto al 2012, in assenza degli interventi di ripascimento (paleggiamenti interni alla M5), 11,4 km di litorale sarebbero risultati stabili o in accumulo e 8,4 km in erosione o equilibrio precario (**FIGURA 202**). A valle degli interventi realizzati, invece, 13,2 km di litorale risultano stabili o in accumulo, e 6,7 km continuano a essere in erosione (**FIGURA 201**). Di questi ultimi, in 4,3 km non sono stati realizzati interventi di ripascimento (area Casal Borsetti Fio 82 e il tratto da Foce Reno alla foce del Gobbino), mentre nei restanti 2,4 km gli interventi realizzati non sono risultati sufficienti per migliorare la situazione rispetto al 2012 (Lido di Spina Sud – C97 e Foce Gobbino-Bagno Giamaica – C96).

Nella macrocella 6 (da Porto Garibaldi alla foce del Po di Volano) si è avuta una perdita di poco più di 140.000 mc, le spiagge sono rimaste sostanzialmente stabili, a esclusione delle celle 108 e 109 del litorale di Volano che sono in erosione. La stabilità è stata garantita da un apporto netto di sedimento dall'esterno di circa 160.000 mc e da paleggiamenti interni alla macrocella da zone in accumulo a spiagge in erosione, per un totale di circa 260.000 mc, portando a un valore complessivo di circa

420.000 mc di sabbia portata a ripascimento (**FIGURA 201 E FIGURA 202**).

In questa seconda macroarea (M5-M6) i tassi di abbassamento della spiaggia sono stati dell'ordine di 2-4 mm/anno, a eccezione del paraggio di Porto Corsini dove sono stati di 8 mm/anno, quindi complessivamente le perdite di volume di spiaggia per subsidenza sono state contenute.

L'ultima macroarea, corrispondente allo Scanno di Goro e alla bocca della omonima sacca (M7), ha subito una perdita di sedimento dal litorale di oltre 700.000 mc. Va evidenziato che dall'estremità ovest dello Scanno Goro sono stati dragati 366.000 mc di sedimento, di cui 160.000 mc sono stati portati a ripascimento della spiaggia di Volano (M6) e 206.000 mc sono stati depositati nelle concessioni di molluschicoltura della Sacca di Goro.

Anche in quest'area i tassi di subsidenza sono stati dell'ordine di 3-4 mm/anno, quindi le perdite di volume di spiaggia per subsidenza sono state limitate.

FIGURA 201

Indicatore ASE - Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2018, rispetto al 2012, in assenza degli interventi di difesa (perlopiù ripascimenti) realizzati dalla Regione e dagli Enti Locali nel periodo 2012-2018, per singola macrocella (valori in m).

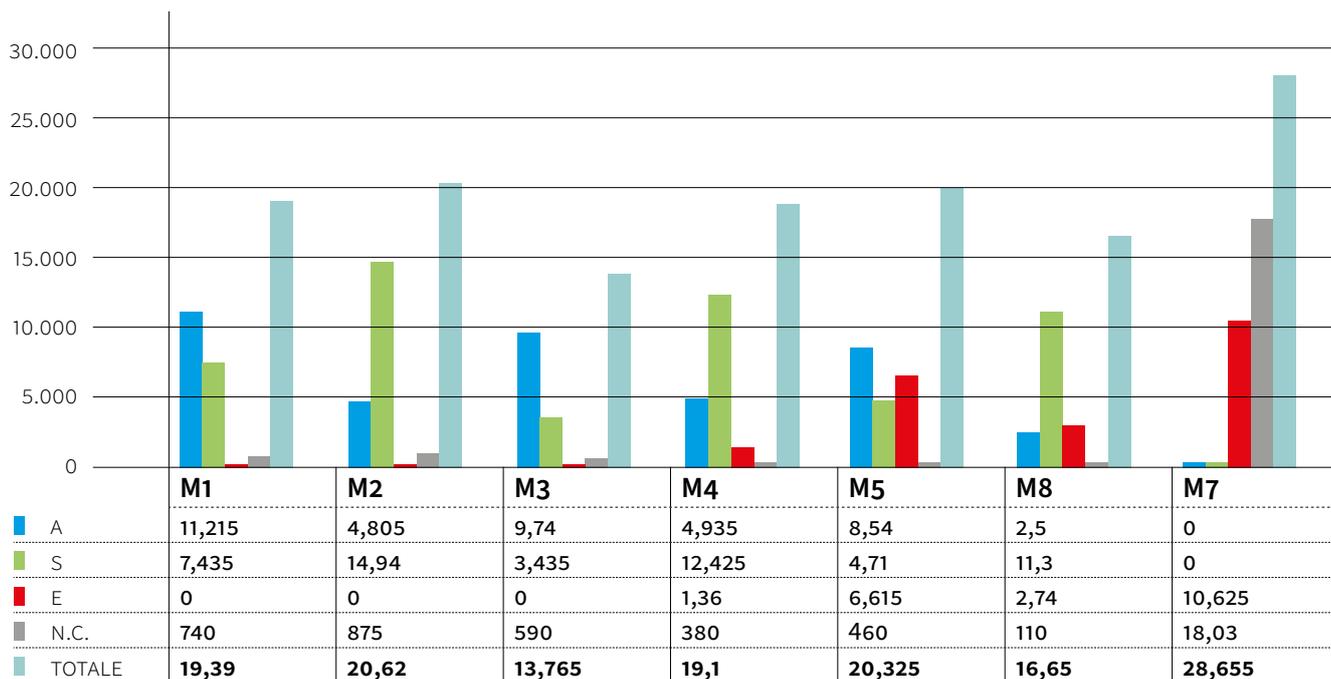
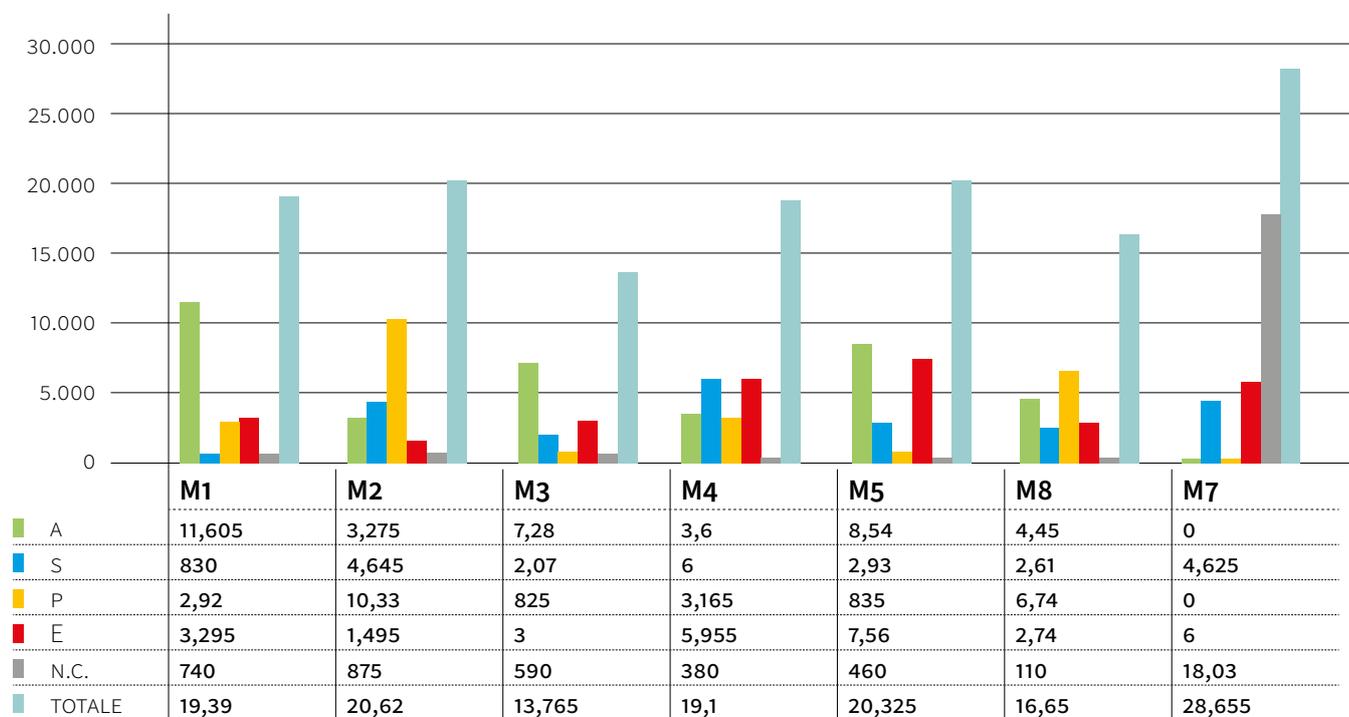


FIGURA 202

Indicatore ASPE - Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2018, rispetto al 2012, in assenza degli interventi di difesa (perlopiù ripascimenti) realizzati dalla Regione e dagli Enti Locali nel periodo 2012-2018, per singola macrocella (valori in m).



BIBLIOGRAFIA

- Aeronautica Militare. Servizio Meteorologico (2009). Atlante climatico d'Italia 1971-2000.
- Aguzzi, M., De Nigris N., Preti M., Mallegni R. (2012). Nuovi indicatori per lo studio e la gestione della costa emiliano-romagnola. Studi Costieri N. 20, pp. 95-109.
- Arpa (2008). Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione. Bologna: I quaderni di Arpa. Pagine 272. ISBN-88-8754-21-1.
- Arpa (2012). Erosione costiera. Annuario regionale dei dati ambientali. Edizione 2011.
- Arpae (2016). Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2012. Erosione e interventi di difesa. Bologna: I quaderni di Arpae. Pagine 227. ISBN978-88-87854-41-1.
- Arpae (2017). Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola – Prima fase. Relazione finale.
- Arpae (2018a). Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola – Seconda fase. Relazione finale.
- Arpae (2018b). Monitoraggio morfologico e sedimentologico delle 8 spiagge oggetto di ripascimento. Attività svolte nell'ambito della prima campagna 2017 - Relazione sintetica.
- Arpae (2019). Monitoraggio morfologico e sedimentologico delle 8 spiagge oggetto di ripascimento - Monitoraggio morfologico dell'area al largo di prelievo delle sabbie – Rete Geodetica Costiera. Risultati. Bologna.
- Blott S.J and Pye K. (2001). Gradstat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.
- Boccotti P. (1997). *Idraulica marittima*, UTET. Pagine 522. ISBN88-7750-874-4.
- 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.
- Dal Cin R., Calderoni G., Simeoni U. (1979). Caratteri sedimentologici del litorale romagnolo - Le spiagge di Romagna: uno spazio da proteggere. C.N.R. Quaderno n° 2, Bologna, 31-36.
- 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.
- MATTM-Regioni (2018). Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 – Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA.
- Regione Emilia-Romagna (1981). Piano progettuale per la difesa della costa adriatica Emiliano-Romagnola – Relazione Generale.
- Regione Emilia-Romagna (1984). Piano progettuale per la difesa della costa adriatica Emiliano-Romagnola – volume VI. Le opere a mare: caratteristiche ed effetti sul litorale.
- Regione Emilia-Romagna (1996). Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna. Relazione Generale.
- Regione Emilia-Romagna (2014). Il sistema gestionale delle celle litoranee – Sicell. Aggiornamento 2006-2012. Centro Stampa della Regione Emilia-Romagna.
- Regione Emilia-Romagna (2016). Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Regione Emilia-Romagna.
- 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. Pagine 143. ISBN88-87854-27-5.
- Preti M. et al. (2011). Ripascimento delle spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna: monitoraggio 2001-2009. Studi costieri N.19 – 2011. Pagine 2016.
- 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.
- Vecchi, E. (2018). Monitoraggio del litorale emiliano-romagnolo con l'utilizzo di misure topo-batimetriche: metodi, prodotti e risultati. Tesi di laurea, Università di Bologna, A.A. 2017/2018. Bologna.

ISBN 978-88-87854-48-0



9 788887 854480 >