

SISTEMA INFORMATIVO
per l'utilizzo
della risorsa
SABBIA
offshore
nei progetti
di protezione costiera:
geodatabase in_Sand



SISTEMA INFORMATIVO per l'utilizzo della risorsa sabbia offshore nei progetti di protezione costiera: geodatabase in_Sand

Guida per la progettazione e lo sviluppo di un Sistema Informativo dedicato alla gestione dei dati relativi ai depositi di sabbie sottomarine offshore utilizzate per il ripascimento delle spiagge. Il geodatabase in_Sand, in particolare, è stato sviluppato dal SGSS RER in convenzione con ISMAR-CNR di Bologna. Esso costituisce il primo modello a livello nazionale, già preso come riferimento dalla Regione Veneto.

Autori

Annamaria Correggiari [1], **Luisa Perini** [2], **Alessandro Remia** [1], **Paolo Luciani** [2], **Federica Fogliani** [1], **Valentina Grande** [1], **Giorgia Moscon** [1], **Lorenzo Calabrese** [2], **Samantha Lorito** [2]

Hanno collaborato:

Elisabetta Campiani di CNR-ISMAR, che ha partecipato alla prima fase del progetto;
Sara Cortesi Società Cooperativa ALVEO a r.l. per la parte normativa sviluppata nell'ambito del progetto EU SHAPE.

Progetto grafico:

Simonetta Scappini [2]

Stampa:

Centro Stampa della Regione Emilia-Romagna

Ringraziamenti

Si ringraziano i colleghi regionali dei Servizi Tecnici che operano per la difesa della costa coordinati dal dott. Claudio Miccoli, il Servizio Difesa suolo, della costa e bonifica coordinati dalla dott.ssa Moniuca Guida, il gruppo mare-costa Arpa coordinato dalla dott.ssa Tiziana Paccagnella, il responsabile del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, ing. Gabriele Bartolini per il supporto e i suggerimenti tecnici offerti; il dott. Raffaele Pignone, responsabile del SGSS fino a Luglio 2014, che ha intuito l'importanza di dotarsi di banche dati specifiche per la gestione dei depositi di sabbia; l'ing. Mentino Preti (in ARPA-DT fino al 2012) che ha introdotto in Regione Emilia-Romagna l'utilizzo delle sabbie sottomarine per i progetti di ripascimento delle spiagge.

[1] CNR-ISMAR di Bologna

[2] Regione Emilia-Romagna, SGSS

SOMMARIO

1.	Premessa	2
2.	Inquadramento geologico regionale finalizzato allo studio dei depositi sabbiosi offshore	3
2.1.	I DEPOSITI DI SABBIA SOTTOMARINI: ORIGINE E CARATTERISTICHE	4
3.	Sistema Informativo Sabbie Offshore: il geodatabase in_Sand	7
3.1.	RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI	8
3.2.	ARCHITETTURA DEL GEODATABASE IN_SAND	12
3.2.1.	Feature Dataset: CARTOGRAFIA_DI_BASE	13
3.2.1.1	<i>Feature Class: LINEA_COSTA</i>	14
3.2.1.2	<i>Feature Class: Ts</i>	14
3.2.1.3	<i>Feature Class: HST</i>	14
3.2.1.4	<i>Feature Class: TST</i>	14
3.2.1.5	<i>Feature Class: GEOLOGIA_SUPERFICIALE</i>	14
3.2.1.6	<i>Feature Class: BATIMETRIA_1M</i>	15
3.2.2.	Feature Dataset: BATIMETRIA	15
3.2.2.1	<i>Feature Class: BATIMETRIA_SB</i>	15
3.2.3.	Feature Dataset: LINEE_GEOFISICHE	15
3.2.3.1	<i>Feature Class: LINEE_DI_NAVIGAZIONE</i>	15
3.2.4 .	Feature Dataset: CAMPIONI	15
3.2.4.1	<i>Feature class: CAMPIONI</i>	16
3.2.4.2	<i>Object class: GrainSize</i>	16
3.2.4.3	<i>Object class: C14</i>	16
3.2.4.4	<i>Object class SUSCI</i>	16
3.2.4.5	<i>Object class LOGLITO</i>	17
3.2.4.6	<i>Object class FOTO</i>	17
3.2.5.	Feature Dataset DEPOSITI SABBIOSI	17
3.2.5.1	<i>Feature class: AREA</i>	18
3.2.5.2	<i>Feature class: GIACIMENTI</i>	18
3.2.5.3	<i>Feature class: SPESSORI</i>	19
3.2.5.4	<i>Feature class: BASE_SABBIA</i>	19
3.2.5.5	<i>Feature class: SUBZONA</i>	19
3.2.5.6	<i>Feature class: INTERVENTI</i>	20
3.2.6.	Database: Contenuti normativi	20
4.	Applicazioni del geodatabase in_Sand	23
4.1.	CALCOLO DEI VOLUMI	23
4.1.1.	Esempio di calcolo dello spessore totale del deposito sabbioso e calcolo del volume sabbioso	24
4.2.	VERIFICHE DEI SITI POST – INTERVENTO	25
4.3.	ANALISI DELLE INTERFERENZE CON ALTRI USI DEL MARE	28
4.4.	APPLICAZIONE DELLO STRUMENTO IN_SAND NELLA PREPARAZIONE DEI PROGETTI DI RIPASCIMENTO	29
5.	Aggiornamento delle banche dati	31
	Acronimi	33
	Glossario	33
	Bibliografia	34

1. Premessa

Il fenomeno dell'erosione costiera interessa gran parte delle coste sabbiose della penisola italiana e comporta gravi rischi per le infrastrutture, l'ambiente e l'economia turistica. Negli ultimi decenni molte regioni hanno scelto di contrastare il fenomeno dell'arretramento delle spiagge attraverso attività di ripascimento, contribuendo a migliorare la fruizione turistica dei litorali. Il problema del reperimento della risorsa sabbia è diventato quindi un obiettivo fondamentale, in buona parte risolto grazie alla scoperta e allo sfruttamento dei depositi relitti presenti sulle piattaforme continentali del territorio nazionale. La caratterizzazione di tali giacimenti è stata realizzata negli ultimi venti anni e di recente è stata meglio definita utilizzando le nuove tecnologie di esplorazione.

I giacimenti di sabbia sottomarini sono una risorsa non rinnovabile che deve quindi essere utilizzata in modo oculato, con una logica di sostenibilità ambientale ed economica. Per un miglior controllo delle strategie di sfruttamento si rendono necessari piani e strumenti di verifica, come specifici sistemi informativi che raccolgano tutti i dati, ambientali e fisici, e ne facilitino il loro utilizzo.

Attraverso una convenzione stipulata tra Regione Emilia-Romagna (Direzione Ambiente-Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - SGSS) e l'Istituto di Scienze Marine del CNR di Bologna (CNR-ISMAR), a partire dal 2009, è stato realizzato un geodatabase (GDB), denominato **in_Sand**, dedicato alla gestione dei giacimenti sottomarini e parte integrante del Sistema Informativo del Mare e della Costa (SIC) della Regione Emilia-Romagna (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/sistema-informativo-del-mare-e-della-costa-sic>). **In_Sand** garantisce l'accesso, la gestione e l'elaborazione dei dati relativi alla risorsa sabbia e si interfaccia con altri geodatabase tematici quali **in_Defence** (dedicato agli interventi di ripascimento e alle opere di difesa rigide) e **in_Sea** (dedicato all'uso del mare).

Nel 2012, nell'ambito di un'azione pilota del progetto europeo SHAPE (*Shaping an Holistic Approach to Protect the Adriatic Environment between coast and sea, 2010-2013*), lo strumento **in_Sand** è stato capitalizzato a beneficio delle Regione Veneto che, attraverso una convenzione con CNR-ISMAR, ha messo a sistema i dati dei depositi sabbiosi nord adriatici utilizzando la struttura ideata in Emilia-Romagna. Nell'ambito dello stesso progetto europeo, il SGSS-RER ha invece potenziato **in_Sand** con nuove informazioni sui giacimenti e con una nuova sezione dedicata alle normative.

Nel 2014, attraverso una collaborazione tra ISPRA e CNR-ISMAR, e con il supporto del Progetto Bandiera RITMARE, è stata messa a punto l'architettura di un altro geodatabase, denominato **env_Sand**, per la gestione dei dati raccolti nelle attività di monitoraggio ambientale effettuate prima, durante e dopo gli interventi di dragaggio dei depositi sabbiosi sottomarini (*Grande et al. 2015*).

Il geodatabase **in_Sand** é stato impiegato in Emilia-Romagna per la realizzazione del nuovo progetto operativo di ripascimento straordinario (denominato “Progettone 3”) e ha mostrato, le sue potenzialità nelle fasi di selezione dei siti di prelievo più idonei, di quantificazione dei volumi disponibili e di programmazione delle campagne di monitoraggio ante operam. Questo strumento, facilitando e semplificando le valutazioni preliminari, ha permesso di ridurre fortemente i tempi di progettazione con un conseguente vantaggio sia per le attività logistiche ed amministrative sia per l'ottimizzazione delle risorse economiche disponibili.

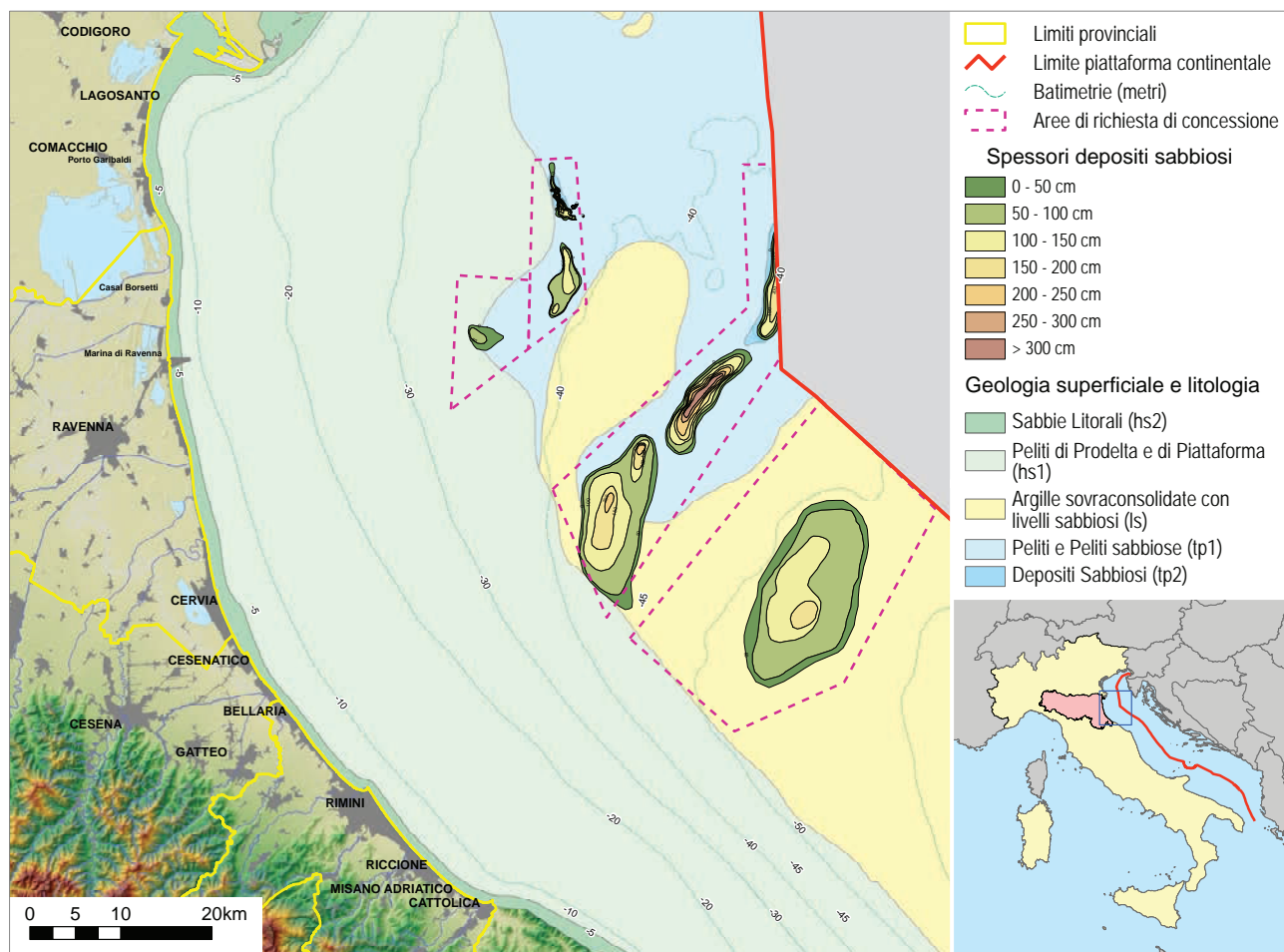
2. Inquadramento geologico regionale finalizzato allo studio dei depositi sabbiosi offshore

Per contrastare il fenomeno dell'erosione costiera nella Regione Emilia-Romagna vengono condotti interventi di ripascimento cosiddetti ‘ordinari’, che sono quelli stagionali o volti a sanare le situazioni più critiche derivate da eventi di mareggiata particolarmente energetici, e interventi ‘straordinari’ che vengono effettuati ogni 5-6 anni al fine di compensare il sistema delle perdite di sedimento legate alla subsidenza e al mancato apporto di sabbia da parte dei fiumi.

Per i primi si utilizzano sedimenti provenienti da accumuli litoranei, o in subordine da cava, mentre per gli interventi straordinari si sono utilizzate le sabbie dei depositi sottomarini, rinvenuti ad una distanza di circa 30-40 miglia al largo della costa regionale alla profondità del fondale di circa 30-50 metri [Fig. 1] .

Tali depositi sono stati individuati nel corso degli anni ‘80 e ‘90 grazie ai numerosi rilievi (Colantoni et al., 1979; 1990; IDROSER SpA, 1985; 1990) condotti da ARPA Ingegneria Ambientale (ex Idroser) e CNR-ISMAR di Bologna (ex IGM-CNR). Recentemente è stata fatta una stima delle risorse di sabbia presenti al largo della costa della Regione Emilia-Romagna, quantificata in 78 milioni di metri cubi (Correggiari et al., 2011).

I volumi sono ora in fase di revisione alla luce dei nuovi dati acquisiti nelle campagne di rilevamento CNR-ISMAR 2012, 2014 già disponibili **in_Sand** . Negli ultimi 10 anni la Regione ha portato a termine due interventi “straordinari” nel 2002 (Progettone 1) e nel 2007 (Progettone 2), alimentando rispettivamente 8 spiagge con il primo e 7 con il secondo, monitorate sia nel corso degli interventi che negli anni successivi (Preti M., 2011; Aguzzi et al., 2011). La quantità di sabbia apportata al sistema è stata, in totale, di circa 1,6 milioni di m³.

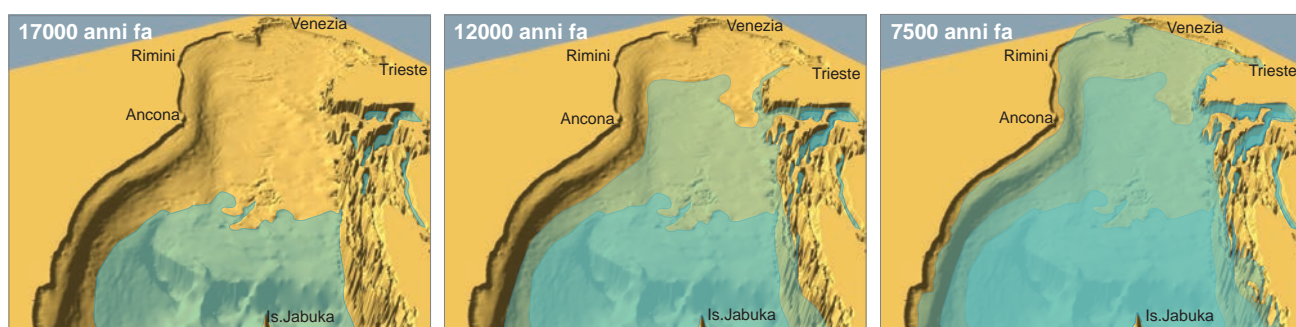


[Fig. 1] Ubicazione dei depositi sabbiosi sottomarini al largo della Regione Emilia-Romagna.

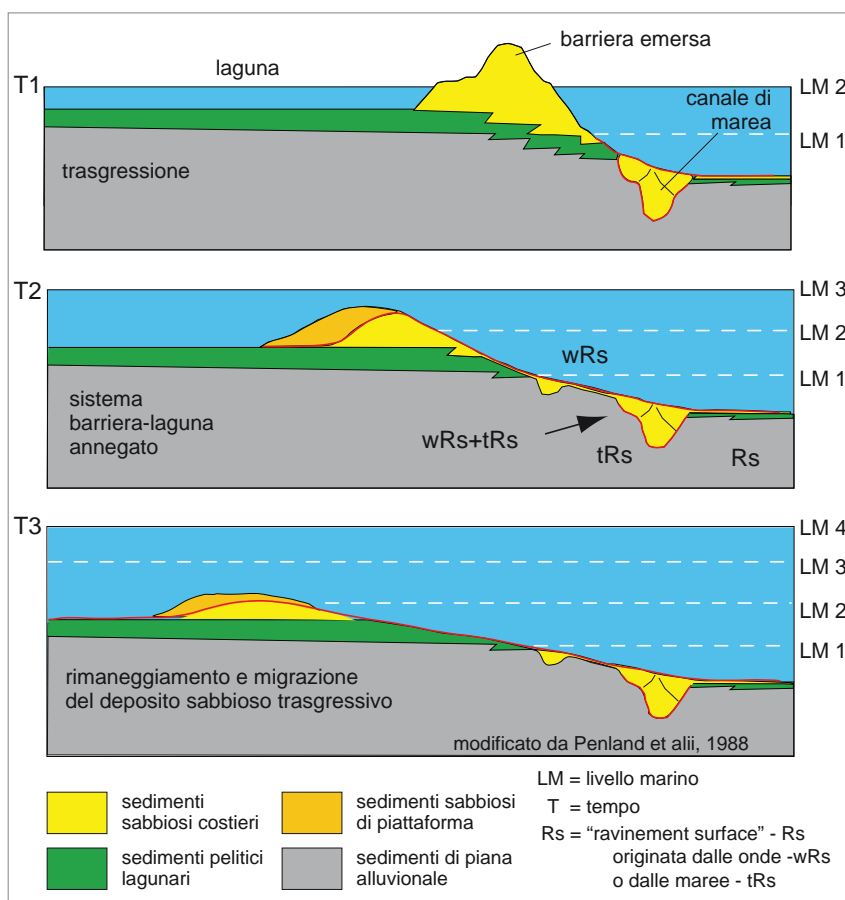
2.1. I DEPOSITI DI SABBIA SOTTOMARINI: ORIGINE E CARATTERISTICHE

Il mare Adriatico comprende la più estesa tra le aree di piattaforma continentale dell'intero Mediterraneo e per questo rappresenta una sorta di "mareografo" che ha registrato le fasi di innalzamento relativo del livello del mare globale. Gran parte della zona, a causa della bassa profondità, si è trovata in ambiente subaereo durante l'ultimo massimo glaciale (LGM) per poi essere progressivamente sommersa a partire da circa 18.000 anni fa [fig. 2].

L'annegamento di questi sistemi è avvenuto durante un regime marino dominato dalle onde, in un periodo di risalita del livello del mare di circa 10 mm/a. Questo tasso, anche se elevato rispetto ai valori attuali, non può essere considerato di per sé come il fattore di controllo principale che ha permesso la conservazione di questi depositi. La teoria più accreditata sostiene che il fattore che più ha favorito la preservazione di questi cordoni sabbiosi sia la topografia antecedente, caratterizzata da una piattaforma a gradiente molto basso (Correggiari et al., 2002; Storms et al., 2008). Dal punto di vista morfologico la presenza di questi corpi sedimentari viene identificata da rilievi allungati del fondale marino [fig. 3 e 4].



[Fig. 2] Evoluzione del bacino Adriatico negli ultimi 18.000 anni.



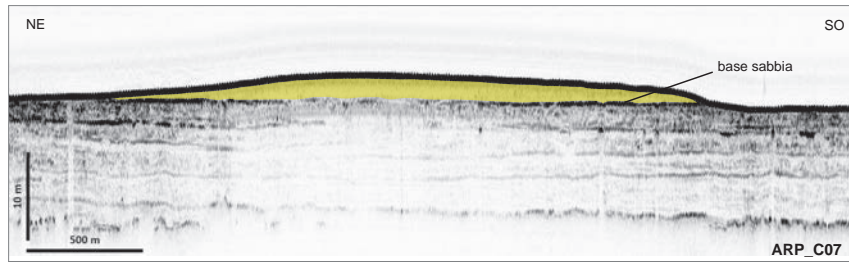
[Fig. 3] Evoluzione dei depositi sabbiosi per progressivo "annegamento" durante le varie fasi della trasgressione marina. (da Penland et al., 1988 modificato).

In corrispondenza di questi dossi, al di sotto dell'unità tabulare a base erosiva costituita da sabbie bioclastiche, giacciono sabbie ben cernite di spiaggia sommersa inferiore [fig. 3].

La superficie erosiva, che separa l'unità sabbiosa superficiale dalle sabbie relitte sottostanti, è stratigraficamente definibile come superficie erosiva di rimaneggiamento marino (superficie di ravinement-RS, fig. 3 e fig. 5). Essa è una superficie diacrona che segna la migrazione della spiaggia verso terra e si forma nel momento in cui zone di spiaggia o di retrospiaggia vengono a trovarsi nell'ambito d'azione del moto ondoso in seguito all'innalzamento del livello marino (Correggiari et al., 2011). La Rs si presenta come una superficie erosiva associata ad un accumulo conchigliare, posto alla base di sabbie a loro volta ricche in bioclasti [fig. 5].

[Fig. 4]

Profilo Chirp sonar (ARP7) area RER_C1. Nel profilo in giallo è evidenziato il deposito sabbioso che poggia su un riflettore molto evidente riconducibile ad un livello torboso.

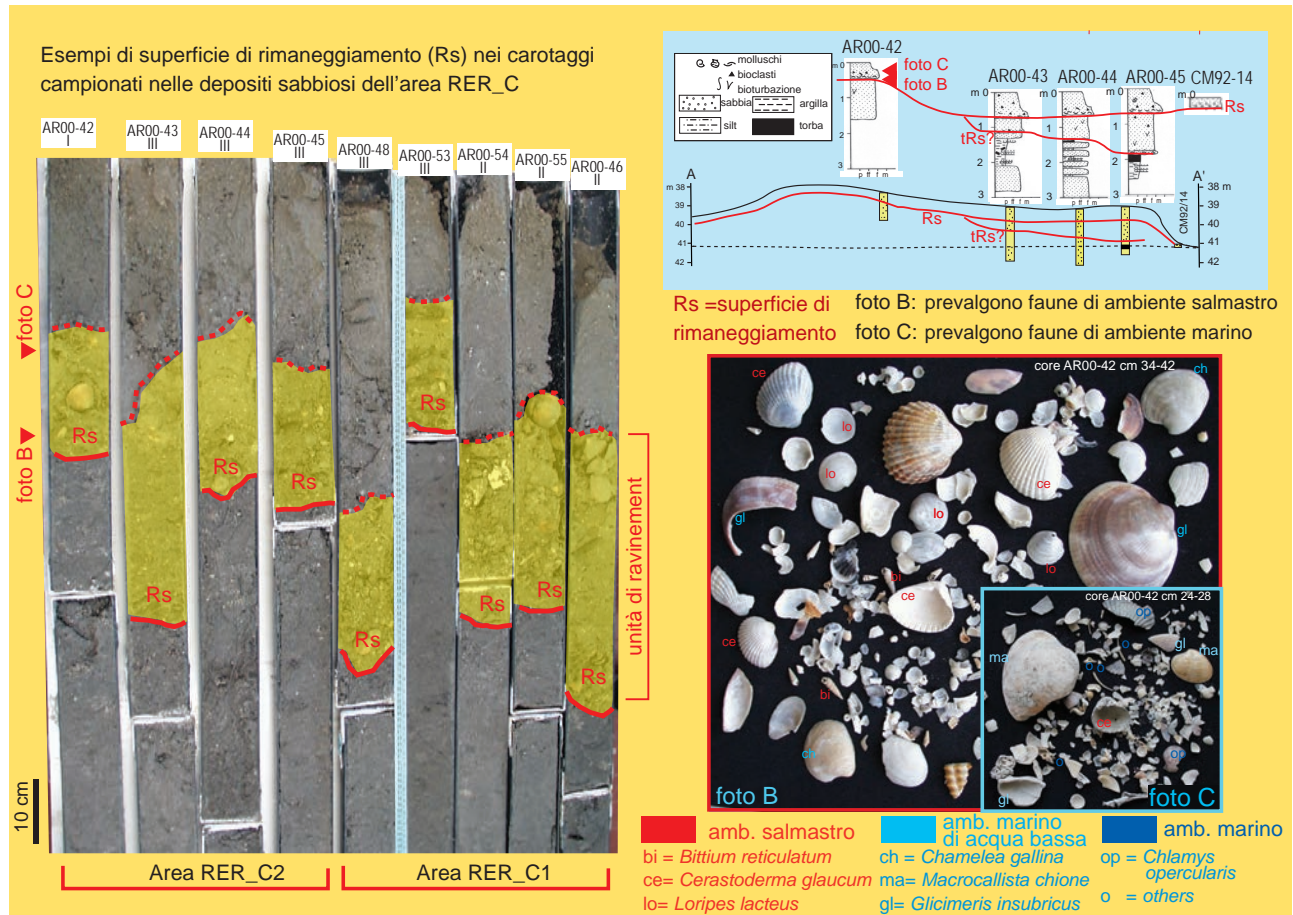


[Fig. 5]

Ricostruzione di una serie di vibrocarotaggi acquisiti nelle aree RER_C1 e RER_C2 dove si evidenzia la superficie erosiva di rimaneggiamento marino (Rs: Ravinement surface); si noti il lag conchigliare posto alla base del deposito sabbioso superficiale (a sinistra). Nella parte destra della figura è rappresentata la sezione dell'area RER_C2 con gli schemi stratigrafici dei vibrocarotaggi e analisi delle macrofaune e dei bioclasti presenti nell'unità di ravinement che vengono utilizzati per comprendere come varia l'ambiente deposizionale durante l'innalzamento del livello del mare in questi depositi trasgressivi. (Cattaneo et al. 2001; Correggiari et al. 2011).

I depositi sabbiosi sommersi, per essere considerati potenzialmente sfruttabili, devono avere i seguenti requisiti: volume estraibile non inferiore a circa 1 milione di m³; presenza di materiale prevalentemente sabbioso con granulometria e caratteristiche mineralogiche compatibili con quelle delle spiagge da ripascere; spessore del livello sabbioso superiore al metro; estensione del deposito di circa 1,5 km². Preferibilmente i depositi sabbiosi dovrebbero essere privi di copertura pelitica che potrebbe creare fenomeni di torbidità durante le operazioni di dragaggio. Inoltre è necessario considerare il mantenimento di un fondale sabbioso anche dopo il dragaggio per non alterare completamente la natura dell'area marina di cava (Simonini et al., 2011).

Questi depositi, che rappresentano ciò che rimane di antiche spiagge, costituiscono attualmente una delle migliori risorse per il



ripascimento delle coste in erosione. Infatti il vantaggio nell'utilizzare depositi sabbiosi sommersi si concretizza, nel medio e lungo periodo, nel rimettere in gioco quantitativi di sedimento considerevoli che sono stati progressivamente sottratti al sistema costiero durante le fasi di innalzamento eustatico e permette di compensare, almeno in parte, la riduzione di apporti solidi dai fiumi.

3. Sistema Informativo Sabbie Offshore: il geodatabase in_Sand

Dalla realizzazione dei due ripascimenti "straordinari" del 2002 e del 2007 (i cosiddetti Progettone 1 e 2) sono emerse alcune criticità gestionali, ovvero:

- l'assenza di una chiara normativa nazionale per lo sfruttamento di tali depositi;
- la necessità di organizzare i dati in un sistema informativo che permettesse di avere un costante aggiornamento sulla disponibilità di sedimento, sulla qualità, sullo stato ambientale dei depositi e sullo stato delle aree oggetto di ripascimento.

Per ottemperare a queste esigenze nel 2008 la Regione ha presentato ai Ministeri competenti una richiesta di concessione delle aree di interesse [fig. 1] e il SGSS ha programmato lo sviluppo del geodatabase **in_Defence** e **in_Sand**, all'interno del Sistema Informativo del Mare e della Costa, al fine di disporre costantemente di un quadro aggiornato degli interventi di ripascimento delle spiagge e delle informazioni relative ai giacimenti sottomarini. Per lo sviluppo di **in_Sand** è stata stipulata una convenzione con CNR-ISMAR, che rappresenta la struttura scientifica di riferimento per aver acquisito, elaborato ed archiviato la maggior parte dei dati.

L'idea progettuale di **in_Sand** era volta ad ottenere tre risultati prioritari:

- un geodatabase dei dati geofisici, geognostici e dei prodotti cartografici elaborati, utili alla caratterizzazione dei depositi e al monitoraggio degli interventi;
- una procedura per una migliore gestione della risorsa, utilizzabile sia nelle fasi di programmazione che di progettazione degli interventi, per esempio per il calcolo automatico dei quantitativi di sabbia ancora disponibile nel giacimento;
- le linee di indirizzo per la gestione ottimale di tali depositi sabbiosi.

Il lavoro, condotto principalmente tra il 2010 e il 2012, è stato organizzato nelle seguenti fasi:

1) Ricerca ed acquisizione dei dati pregressi relativi alla caratterizzazione dei depositi sottomarini dell'Emilia-Romagna. Sono stati inseriti anche i dati acquisiti da altri enti (quali Idroser S.p.A e Arpae Emilia-Romagna) o da istituti di ricerca che hanno operato nella stessa area anche allo scopo di effettuare i monitoraggi post-intervento.

2) Definizione dell'architettura del geodatabase. Si è focalizzata l'attenzione sulle esigenze tecniche di utilizzo dello strumento, ai fini della progettazione e dell'esecuzione dei dragaggi.

3) Sviluppo e popolamento del geodatabase. Questa attività, svolta da CNR-ISMAR, ha richiesto molto tempo perché parte dei dati, soprattutto quelli antecedenti gli anni '90, erano ancora in formato analogico.

4) Realizzazione di una procedura per il calcolo dei volumi, basata sull'utilizzo di strumenti GIS.

5) Collaudo del sistema; fase che è stata in parte oggetto di una delle azioni pilota del Progetto SHAPE ed è stata sperimentata recentemente nell'ambito del Progettone 3 (progetto esecutivo in fase di attuazione).

3.1. RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI

Dagli anni '70 l'Istituto di Geologia Marina del CNR di Bologna (ora CNR-ISMAR) nell'ambito dei primi progetti finalizzati alla caratterizzazione dei mari italiani, ha condotto numerose indagini geofisiche e geognostiche sulla piattaforma adriatica (*Colantoni et al., 1979; 1990*).

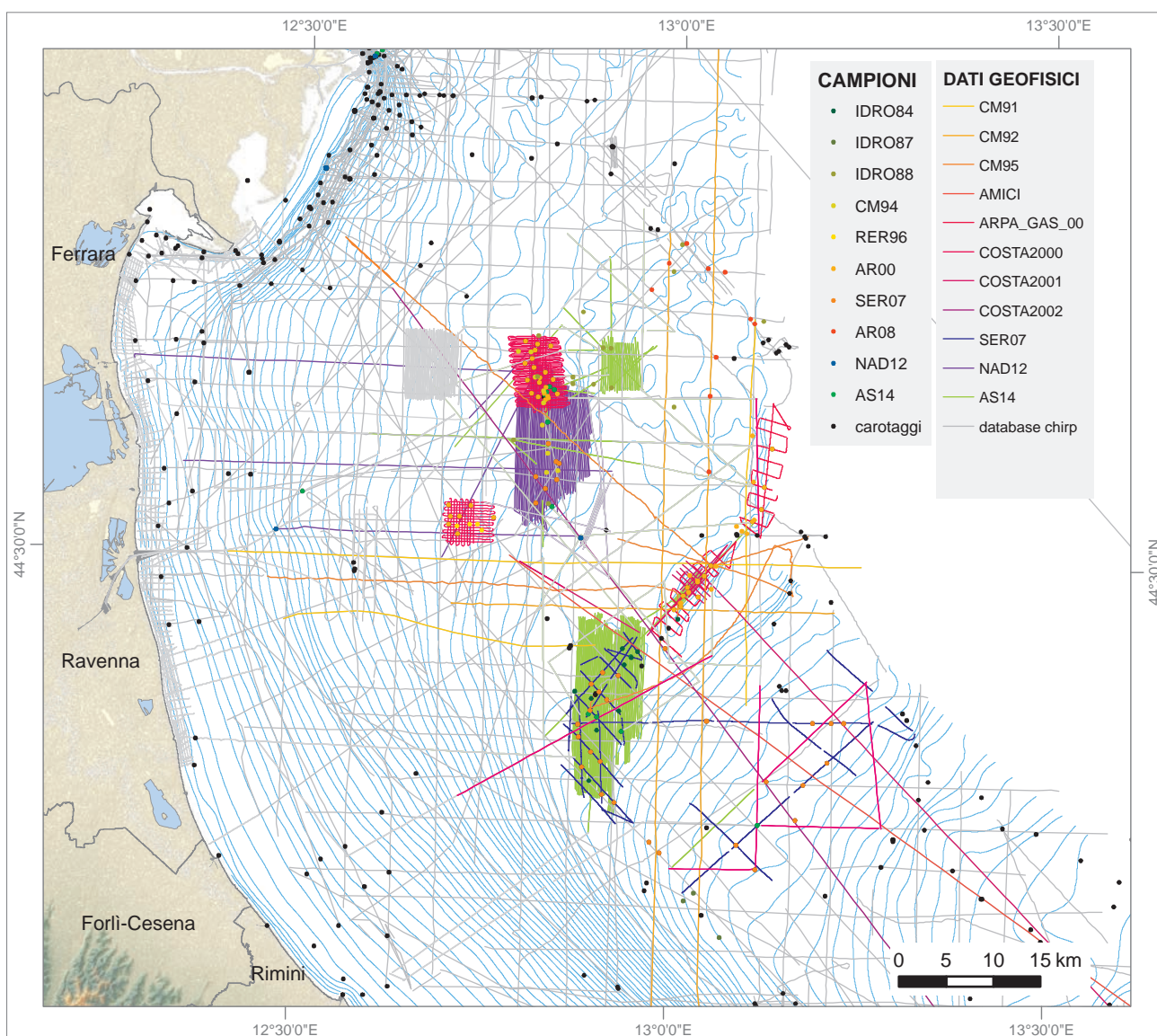
La conoscenza geologico-stratigrafica della piattaforma continentale ha consentito di mappare i depositi sabbiosi appartenenti ad antichi cordoni litorali, affioranti al largo delle coste regionali che, a cominciare dalla metà degli anni '80, sono stati oggetto di indagini specifiche da parte di Idroser S.p.A e Arpae Emilia-Romagna. Per conto della Regione Emilia-Romagna, questi enti hanno analizzato la possibilità di sfruttare tali depositi ai fini di ripascimento delle spiagge e hanno stimato i volumi presenti e la qualità della sabbia. Successivamente, grazie anche ai nuovi progetti ISPRA e CNR-ISMAR nell'ambito dei finanziamenti CARG, si è potuta concludere la redazione della **Carta Geologica dei Mari Italiani per il bacino adriatico a scala 1:250.000**, che ha meglio definito le caratteristiche tessiturali dei depositi trasgressivi in piattaforma.

Dal 2000, quando la Regione Emilia-Romagna ha deciso di realizzare il primo intervento di ripascimento sfruttando tali depositi,

sono state svolte campagne di ricerca mirate per completare il quadro della progettazione.

Le campagne di ricerca hanno prodotto una mole di dati consistente, gran parte dei quali disponibili solo in formato cartaceo e solo in parte consultabili presso gli archivi dei singoli enti. Il primo passaggio è stato quello di verificare la disponibilità e lo stato delle informazioni originali e degli elaborati in possesso di Arpae e/o della Regione Emilia-Romagna, con quelli archiviati presso CNR-ISMAR Sede di Bologna e quelli già oggetto di precedenti consegne nell'ambito di ulteriori accordi CNR-ISMAR e Regione Emilia-Romagna [fig. 6].

[Fig. 6] Ubicazione delle linee sismiche e dei carotaggi acquisiti tra il 1984 e il 2014 (evidenziati in colore) e disponibili in in_Sand.



Progetto/ Convenzione	Anno	Campagna	Nome campa- gna	Vibro- caro- taggi	Log strati- grafici	Analisi granulo- metriche	Acquisi- zione profi- li sismici	Stru- menta- zione	Km	spes- sori dep. sabbiosi
IDROSER 1984	1984	geognostica	IDRO84	17	si	si	Ditta esterna/			
CNR	Uniboom									
IDROSER 1987-1988	1987-1988	geognostica	IDRO87	22	si	si	Ditta esterna/			
CNR	Uniboom									
Convenzio- ne 1994-1996	1994	geognostica	CM94	36	si	si				
Convenzio- ne ARPA2000	1999-2000	geofisica	AR00				ISMAR	Chirp digitale	464	si
Convenzio- ne ARPA2000	2000	geognostica	AR00	40						
ARPA-GAS	2000	geofisica	---				Ditta esterna			
	Chirp digitale	118								
Convenzio- ne ARPA2001 estensione	2001	geofisica	AR01				ISMAR	Chirp digitale	97	si
Convenzio- ne SER2007	2007	geofisica	SER07				ISMAR	Chirp digitale	208	si
Convenzio- ne SER2007	2007	geognostica	SER07	34	si	si				
Convenzio- ne AR2008	2008	geognostica	AR08	10	si	no				
Dati ISMAR										
NAD12	2012	geofisica	NAD12				ISMAR	Chirp digitale	1028	si
Dati ISMAR										
ASC114	2014	geofisica	AS14				ISMAR	Chirp digitale	1508	si
Dati ISMAR										
ASC114	2014	geognostica	AS14	11	si	si	SMAR			

[Tabella 1]

Dati geofisici e geognostici acquisiti per la caratterizzazione dei giacimenti sabbiosi.

Nella Tabella 1 sono riportate le caratteristiche dei vari dataset acquisiti dal 1984 al 2014 e di seguito vengono descritte le campagne oceanografiche che sono state effettuate nell'ambito di queste ricerche.

CAMPAGNE IDROSER 1984 E IDROSER 1987

Prime campagne di acquisizione dati sui depositi sabbiosi sommersi al largo delle coste emiliano-romagnole. I campioni, non più reperibili, sono stati descritti ed interpretati in due relazioni pubblicate da Idroser nel 1985 e nel 1990. La maggior parte dei dati reperiti dalle relazioni (foto, descrizioni litologiche, analisi granulometriche e mineralogiche) è stata digitalizzata e resa compatibile con il formato del geodatabase.

CAMPAGNA CM94

Durante la campagna Idroser/CNR IGM 1994 sono stati recuperati 36 vibrocarotaggi. Gli spezzoni sono stati tutti aperti, descritti, fotografati e sono stati disegnati i relativi log stratigrafici. Dalle carote sono stati infine scelti 12 campioni per analisi granulometriche. I carotaggi sono archiviati nella carototeca refrigerata di CNR-ISMAR di Bologna.

CAMPAGNA AR00

Nell'aprile del 2000 sono stati acquisiti da CNR-ISMAR di Bologna 630 km di profili sismoacustici Chirp Sonar ed in seguito alla loro interpretazione sono stati scelti 40 siti dove effettuare i vibrocarotaggi e 12 siti di prelievo di sedimento con benna. Tutti gli spezzoni delle carote sono stati aperti, fotografati ed è stato disegnato il log stratigrafico. Sono state effettuate 83 granulometrie su 24 carote selezionate, 12 granulometrie sui campioni prelevati con la benna dal laboratorio ARPA. È stata inoltre effettuata una datazione radiometrica ^{14}C presso il laboratorio LLNL di Livermore California. I carotaggi sono archiviati nella carototeca refrigerata di CNR-ISMAR di Bologna.

CAMPAGNA ARPA 2001

Sono stati acquisiti da CNR-ISMAR di Bologna 97 km di profili sismoacustici Chirp Sonar.

CAMPAGNA SER07

Nell'ambito delle ricerche in collaborazione con ARPA Ingegneria Ambientale sulle tematiche del ripascimento costiero utilizzando depositi sabbiosi sommersi, nel 2007 sono stati acquisiti profili sismici Chirp Sonar per un totale di 208 km. In seguito all'interpretazione di questi profili sono stati scelti i siti per la campionatura ed effettuati 34 vibrocarotaggi. Sugli spezzoni delle carote è stata misurata la suscettività magnetica; in seguito gli spezzoni sono stati aperti, descritti, fotografati e redatti i log stratigrafici. Infine sono state effettuate 90 analisi granulometriche e 2 datazioni radiometriche. I carotaggi sono archiviati nella carototeca refrigerata di CNR-ISMAR di Bologna.

CAMPAGNA AR08

Nell'ambito della collaborazione tra Arpa Ingegneria Ambientale e CNR-ISMAR di Bologna sulle tematiche della ricerca di depositi sabbiosi sommersi utili al ripascimento costiero sono stati individuati, sui profili sismoacustici dell'archivio di CNR-ISMAR di Bologna, 10 siti dove effettuare vibrocarotaggi. Sugli spezzoni delle carote è stata misurata la suscettività magnetica; in seguito gli spezzoni sono stati aperti, descritti, fotografati. Non avendo trovato un riscontro interessante in contenuto in sabbia nei campioni, non sono state effettuate ulteriori analisi. I carotaggi sono archiviati nella carototeca refrigerata di CNR-ISMAR di Bologna.

CAMPAGNA NAD12

Nel maggio del 2012 sono stati acquisiti da CNR-ISMAR di Bologna, durante la campagna oceanografica NAD12 che si è svolta a bordo della N/O Urania, 1028 km di profili sismici e copertura totale di batimetria multibeam dell'area RER_A1 e RER_A0 per un totale di 105 km².

CAMPAGNA AS14

Tra il settembre e l'ottobre 2014 sono stati acquisiti da CNR-ISMAR di Bologna, durante la campagna oceanografica AS14 che si è svolta a bordo della N/O Urania, 1506 km di profili sismici e copertura multibeam dell'area RER_C3 per un totale di 120 km² 11 vibrocarotaggi, 6 nell'area RER_A e 4 nell'area RER_C3 ed uno nell'area RER_H.

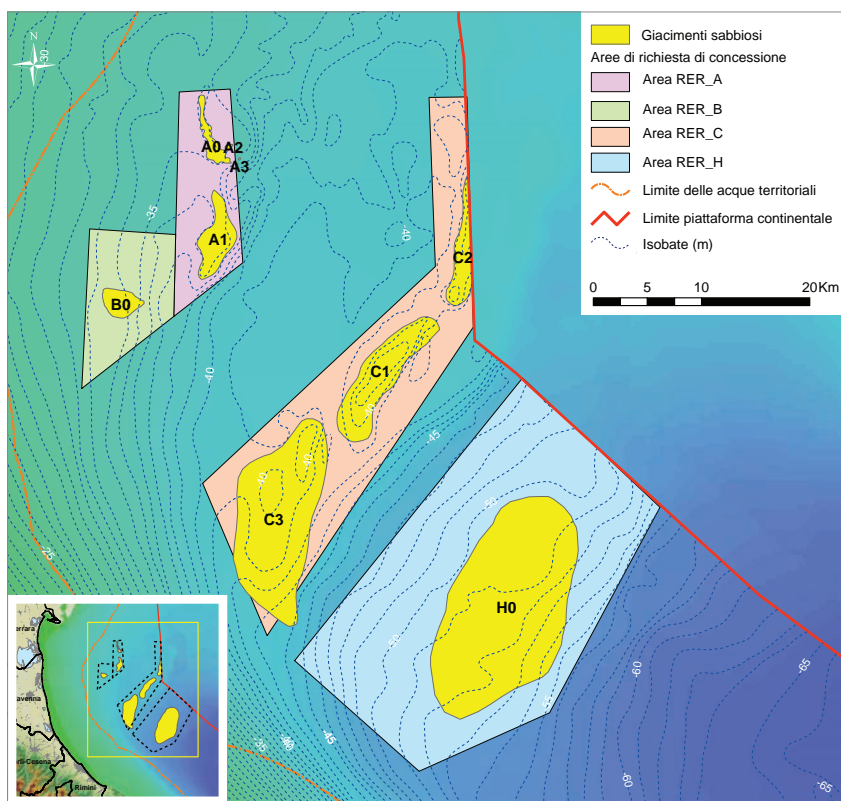
3.2 ARCHITETTURA DEL GEODATABASE IN_SAND

L'architettura del geodatabase **in_Sand** che compone il nucleo centrale del Sistema Informativo Sabbie Offshore è stata definita durante alcuni incontri, in cui sono state delineate le esigenze tecniche e operative della Regione E-R ed è stata analizzata la fruibilità dei dati ai fini della progettazione degli interventi di ripascimento delle spiagge con sabbie sottomarine.

Nel bacino adriatico le conoscenze geologiche della piattaforma continentale sono già state raccolte nel progetto di cartografia geologica dei mari italiani e fungono da base dati per questo tipo di prodotti applicativi.

L'architettura del modello dati è stata prodotta da CNR-ISMAR ed è stata via via aggiornata con la raccolta e l'analisi dei dati geologici, geofisici e geognostici sopra descritti. La versione finale è stata discussa con le strutture operative regionali Arpa, il Servizio Difesa Suolo, Costa e Bonifica (SDSCB). Il modello dati viene rappresentato tramite un diagramma UML (*Unified Modeling Language*), schematizzato nelle [figure 8, 9 e 11](#) e si compone di: Feature class, Object class e Relationship class. Le Feature class sono organizzate nei seguenti Feature dataset: CARTOGRAFIA_DI_BASE, LINEE_GEOFISICHE, BATIMETRIA, CAMPIONI, DEPOSITI_SABBIOSI. Il Geodatabase, reso opportunamente fruibile con prodotti open source, è stato infine popolato informatizzando i dati pregressi in linea con la Direttiva Europea INSPIRE (2007/2/CE ratificata con D.lgs. 32/2010) e inserendo i dati della nuova acquisizione prodotti in WGS84 (o ETRS89).

Come previsto dalla Direttiva INSPIRE, a ciascun livello cartografico vengono affiancati i metadati, che contengono altre identificazioni quali: tipo di dato, intervallo temporale, origine, proprietà, qualità, processi di elaborazione. Considerando che molti dati contenuti in questo geodatabase sono accessibili solo agli uffici tecnici regionali, la loro fruibilità sarà regolata da una specifica Data Policy.



[Fig. 7] Suddivisione in Aree e Giacimenti: Area RER_A: Giacimento A0, A1, A2, A3; Area RER_B: Giacimento B0; Area RER_C: Giacimenti C1, C2, C3; Area RER_H: Giacimento H0.

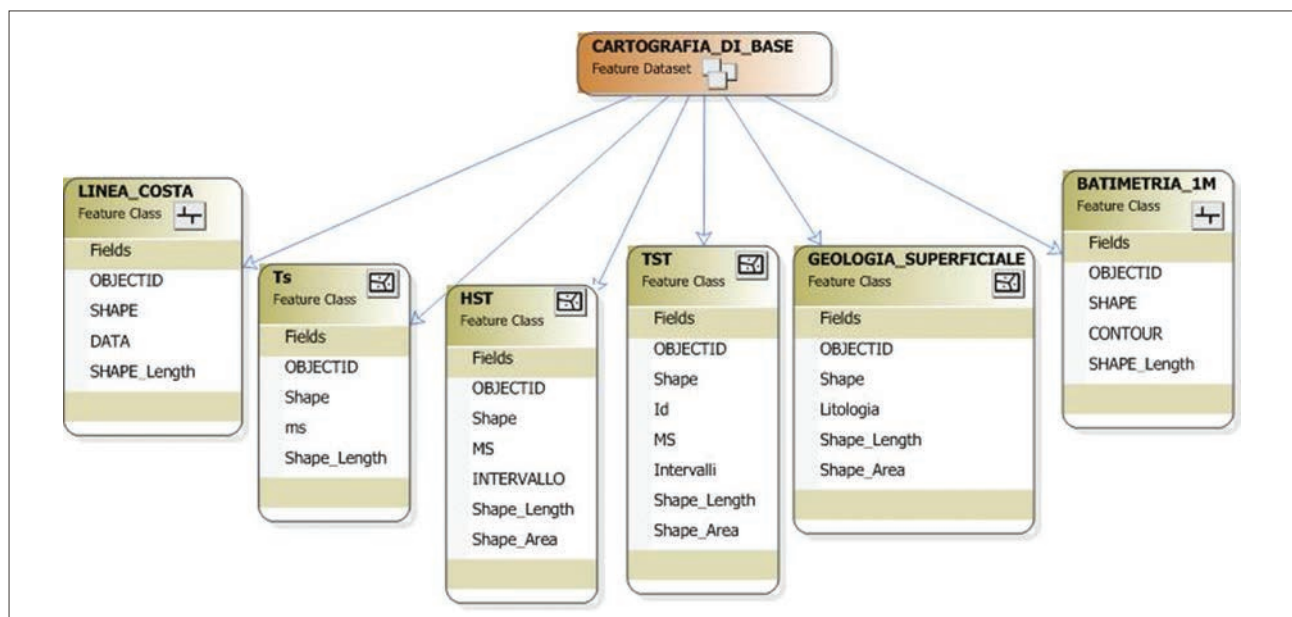
3.2.1 Feature Dataset: CARTOGRAFIA_DI_BASE

Contiene gli strati informativi utili all'inquadramento geologico, stratigrafico e batimetrico dei giacimenti estrapolati dai fogli della Carta Geologica dei Mari Italiani per il bacino Adriatico a scala 1:250.000. (Foglio NL33-10 RAVENNA).

Si compone di 6 Feature class: LINEA_COSTA, Ts, HST, TST, GEOLOGIA_SUPERFICIALE e BATIMETRIA_1m.

Geometria: astratta

[Fig. 8] Rappresentazione del modello logico relativo al Feature dataset: Cartografia di Base.



3.2.1.1. Feature Class: LINEA_COSTA

Contiene la linea di costa elaborata dalla Regione ER.

Geometria: polilinee

3.2.1.2. Feature Class: Ts

Contiene poligoni e polilinee che rappresentano la carta strutturale della superficie di trasgressione. Le tabelle degli attributi delle polilinee contengono i valori espressi in millisecondi degli spessori, quelle dei poligoni gli intervalli degli spessori divisi in classi variabili.

Geometria: poligoni

3.2.1.3. Feature Class: HST

Contiene poligoni e polilinee che rappresentano gli spessori dei depositi di stazionamento alto tardo-quadernari. Le tabelle degli attributi delle polilinee contengono i valori espressi in millisecondi degli spessori, quelle dei poligoni gli intervalli degli spessori divisi in classi di 2 millisecondi.

Geometria: poligoni

3.2.1.4. Feature Class: TST

Contiene poligoni e polilinee che rappresentano gli spessori dei depositi dei sistemi trasgressivi. Le tabelle degli attributi delle polilinee contengono i valori espressi in millisecondi degli spessori, quelle dei poligoni gli intervalli degli spessori divisi in classi di 5 millisecondi fino a 70 millisecondi.

Geometria: poligoni

3.2.1.5. Feature Class: GEOLOGIA_SUPERFICIALE

Contiene poligoni rappresentanti corpi geologici che affiorano o subaffiorano - sul fondo marino, con particolare attenzione a quelli originati durante le fasi dell'ultima fluttuazione eustatica tardo-quadernaria. Il campo "Geologia" nella tabella degli attributi contiene il codice che identifica il tipo di affioramento:

tp1 – complesso trasgressivo e/o paralico costituito in prevalenza da peliti e peliti sabbiose laminate.

tp2 – complesso trasgressivo e/o paralico costituito da lenti sabbiose.

hs1 – sistemi di stazionamento alto, depositi di prodelta e piattaforma interna.

hs2 – sistemi di stazionamento alto, depositi di spiaggia.

ls – sistemi di caduta e stazionamento basso, depositi continentali costituiti da argille e sabbie di piana alluvionale.

Geometria: poligoni

3.2.1.6. Feature Class: **BATIMETRIA_1M**

Contiene le isobate spaziate ogni metro, ottenute integrando la batimetria acquisita ed elaborata da CNR ISMAR per la cartografia geologica dei mari italiani alla scala 1:250.000 e la batimetria relativa alla fascia costiera acquisita ed elaborata da RER.

Geometria: polilinee

3.2.2 Feature Dataset: **BATIMETRIA**

La batimetria fornisce uno strumento di controllo per la verifica dei volumi dragati all'interno dell'area di intervento, oltre che uno strumento di analisi morfologica dei giacimenti.

Il Feature dataset contiene la Feature class: BATIMETRIA_SB.

Geometria: astratta

3.2.2.1. Feature Class: **BATIMETRIA_SB**

Contiene le isobate con spaziatura di 1 m derivate dall'interpretazione e successivo contouring manuale dei dati batimetrici Single-beam acquisiti tramite Echosauder DESO 20 lungo le tracce di navigazione all'interno delle aree dove vengono individuati i depositi sabbiosi.

Geometria: polilinee

3.2.3 Feature Dataset: **LINEE_GEOFISICHE**

Contiene i tracciati della navigazione e le immagini dei profili sismici acquisiti che hanno consentito la mappatura dei giacimenti sabbiosi. Sono specificati il nome della linea di navigazione, la campagna di acquisizione e il tipo di strumento utilizzato.

Il Feature dataset contiene la Feature class: LINEE_DI_NAVIGAZIONE.

Geometria: astratta

3.2.3.1. Feature Class: **LINEE_DI_NAVIGAZIONE**

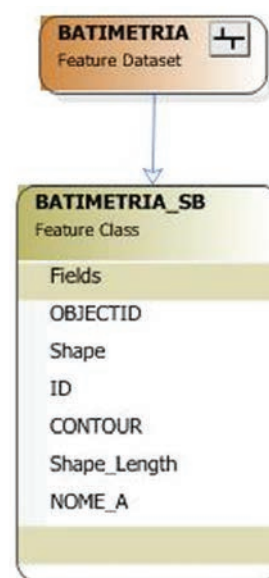
Contiene i tracciati della navigazione dei profili sismici acquisiti allo scopo di individuare depositi sabbiosi in piattaforma. Sono specificati il nome della linea di navigazione, la campagna di acquisizione e il tipo di strumento utilizzato.

Geometria: polilinee

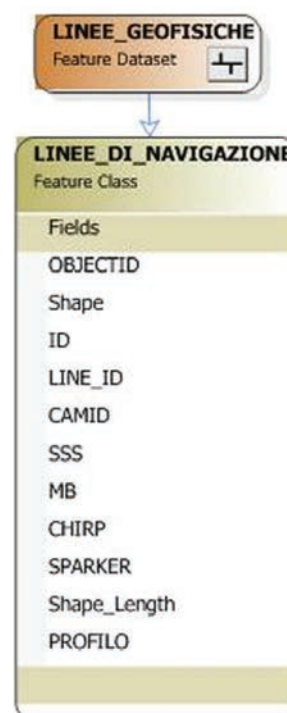
3.2.4 Feature Dataset: **CAMPIONI**

Contiene la posizione geografica dei campioni rappresentati come punti nella Feature class CAMPIONI. Questa a sua volta è relazionata alle seguenti tabelle: GRANSIZE, C14, SUSCI, FOTO, LOGLITO.

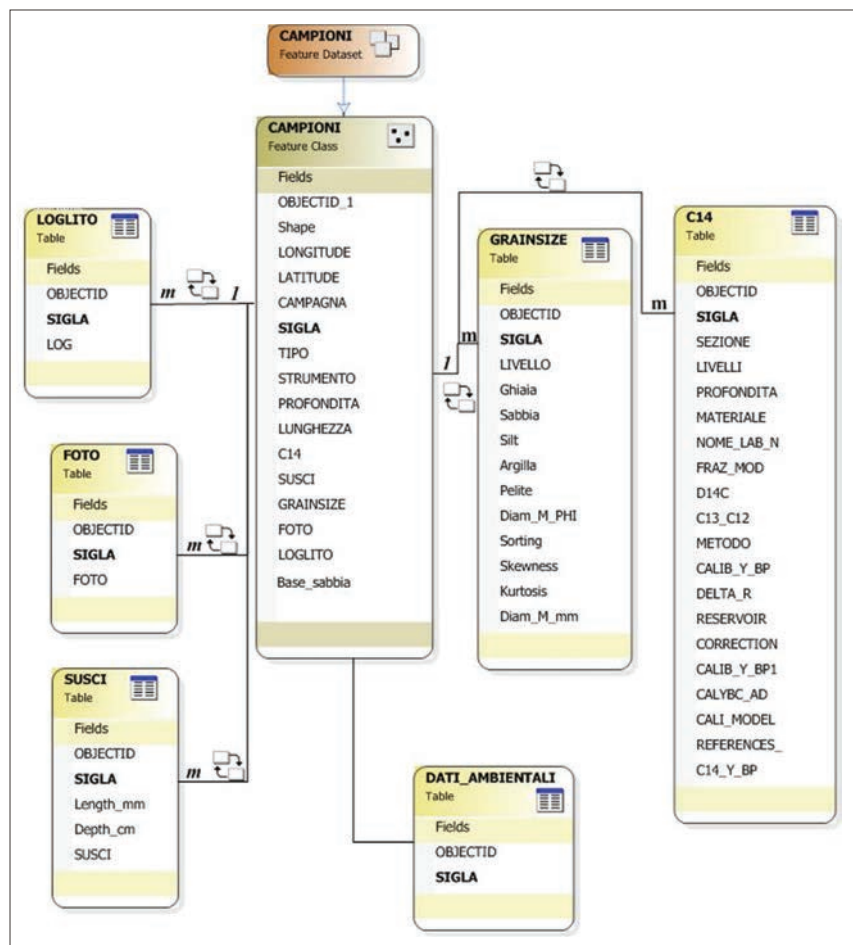
Geometria: astratta



[Fig. 9] Schema del modello logico dei dati relativo al Feature dataset: BATIMETRIA.



[Fig. 10] Schema del modello logico dei dati relativo al Feature dataset: LINEE_GEOFISICHE.



[Fig. 11] Schema del modello logico dei dati relativo al Feature dataset CAMPIONI e ai dati ad essi correlati.

3.2.4.1. Feature class: CAMPIONI

Rappresenta la posizione esatta dei campioni prelevati, la sigla, la campagna in cui sono stati raccolti, il tipo di campione e il codice dello strumento utilizzato, la profondità dell'acqua, la lunghezza della carota, profondità in carota della base delle sabbie espressa in cm, il tipo di analisi effettuate (C14, Grain Size, Log Litologici, Foto).

Geometria: punti

3.2.4.2. Object class: GrainSize

Tabella che riporta la distribuzione di popolazioni granulometriche in termini di percentuale di ghiaia, sabbia, silt, argilla e pelite e di parametri statistici dimensionali ottenuti seguendo le applicazioni di Folk e Ward (1957).

3.2.4.3. Object class: C14

Tabella che riporta le informazioni relative alle datazioni effettuate nei depositi trasgressivi.

3.2.4.4. Object class SUSCI

Tabella che esprime la misura della suscettività magnetica dei sedimenti e offre una possibilità di correlazione speditiva tra carote in aree tra loro confrontabili.

3.2.4.5. Object class: **LOGLITO**

Contiene le immagini (immagazzinate nel campo raster della tabella) dei log litologici, che possono essere visualizzati in ambiente GIS.

3.2.4.6. Object class: **FOTO**

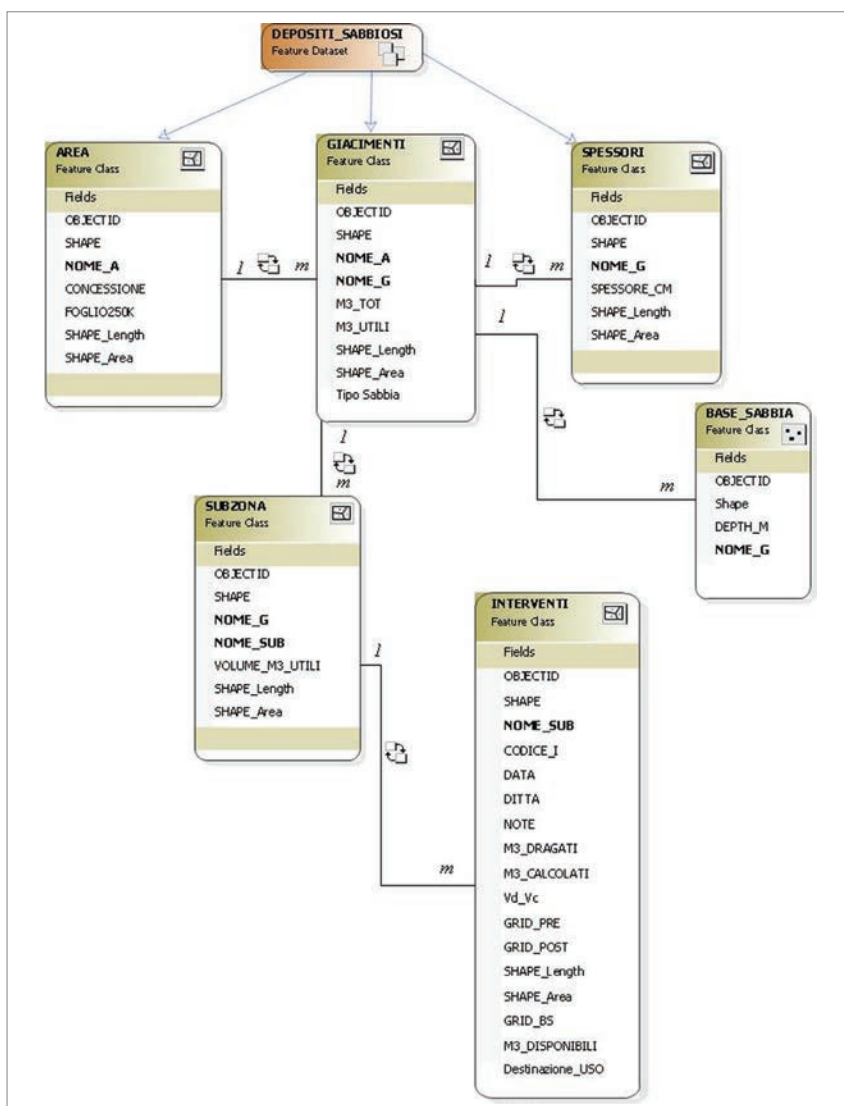
Contiene le foto (immagazzinate nel campo raster della tabella) delle carote, che possono essere visualizzati in ambiente GIS.

3.2.5 Feature Dataset: **DEPOSITI SABBIOSI**

Contiene le informazioni spaziali relative alle aree dove sono stati individuati potenziali depositi sabbiosi. Tutti questi elementi rappresentano i dati chiave per la gestione del giacimento stesso e per la generazione di strumenti di controllo delle operazioni di dragaggio e il successivo ripascimento dei siti costieri.

Il dataset contiene le Feature class: AREA, GIACIMENTI, SPESSORI, BASE_SABBIA, SUBZONA, INTERVENTI.

Geometria: astratta



[Fig. 12]
Rappresentazione del modello dati relativo al Feature dataset: DEPOSITI_SABBIOSI.

3.2.5.1. Feature class: AREA

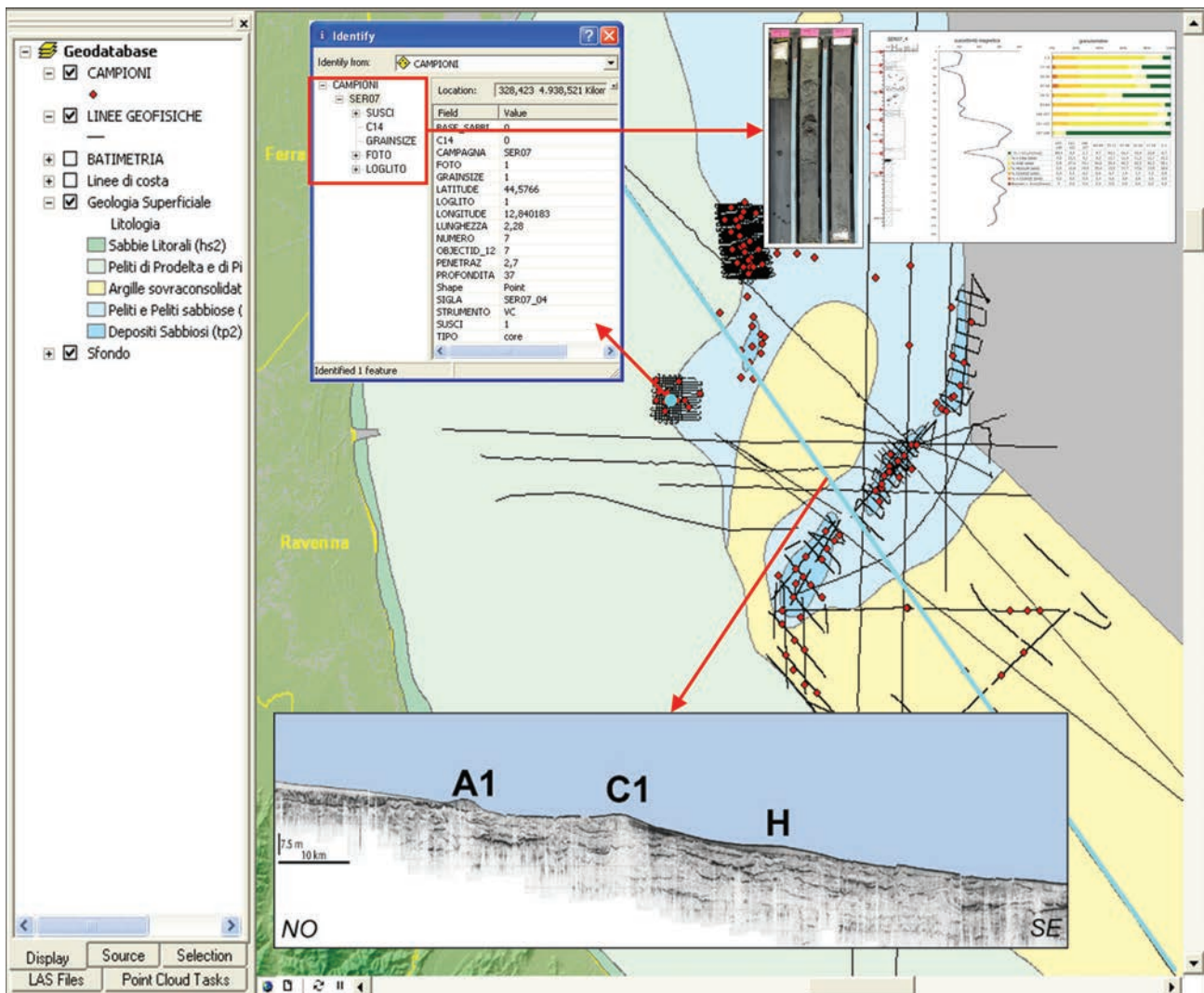
Contiene il poligono che rappresenta l'area in cui sono stati individuati giacimenti sabbiosi e per cui sono state richieste e/o date le concessioni di intervento. Vengono specificati il nome dell'area (Nome_A), con un identificativo per ogni Regione (es RER_A, Regione Emilia- Romagna_A; RV_A Regione del Veneto_A etc.) la concessione e il foglio geologico alla scala 1:250.000 in cui l'area è inclusa. Le aree sono state nominate mantenendo le lettere che erano state scelte durante le prime campagne di ricerca geofisiche e geognostiche ovvero area: RER_A, RER_B, RER_C, RER_H, RER_I.

3.2.5.2. Feature class: GIACIMENTI

Contiene i poligoni che rappresentano i giacimenti sabbiosi individuati nelle aree. Per ogni giacimento, vengono specificati il nome del giacimento, il volume in m³ di sabbia totale e il volume in m³ di sabbia utile al rispascimento e una sigla che identifica il tipo di sabbia.

[Fig. 13]

Esempio dei dati contenuti nel geodatabase: foto carotaggio, log stratigrafico e della suscettività magnetica, granulometrie, profilo sismico ad alta risoluzione.



3.2.5.3. Feature class: SPESSORI

Contiene i poligoni che rappresentano gli spessori di sabbia del giacimento, suddivisi in classi espresse in cm.

3.2.5.4. Feature class: BASE_SABBIA

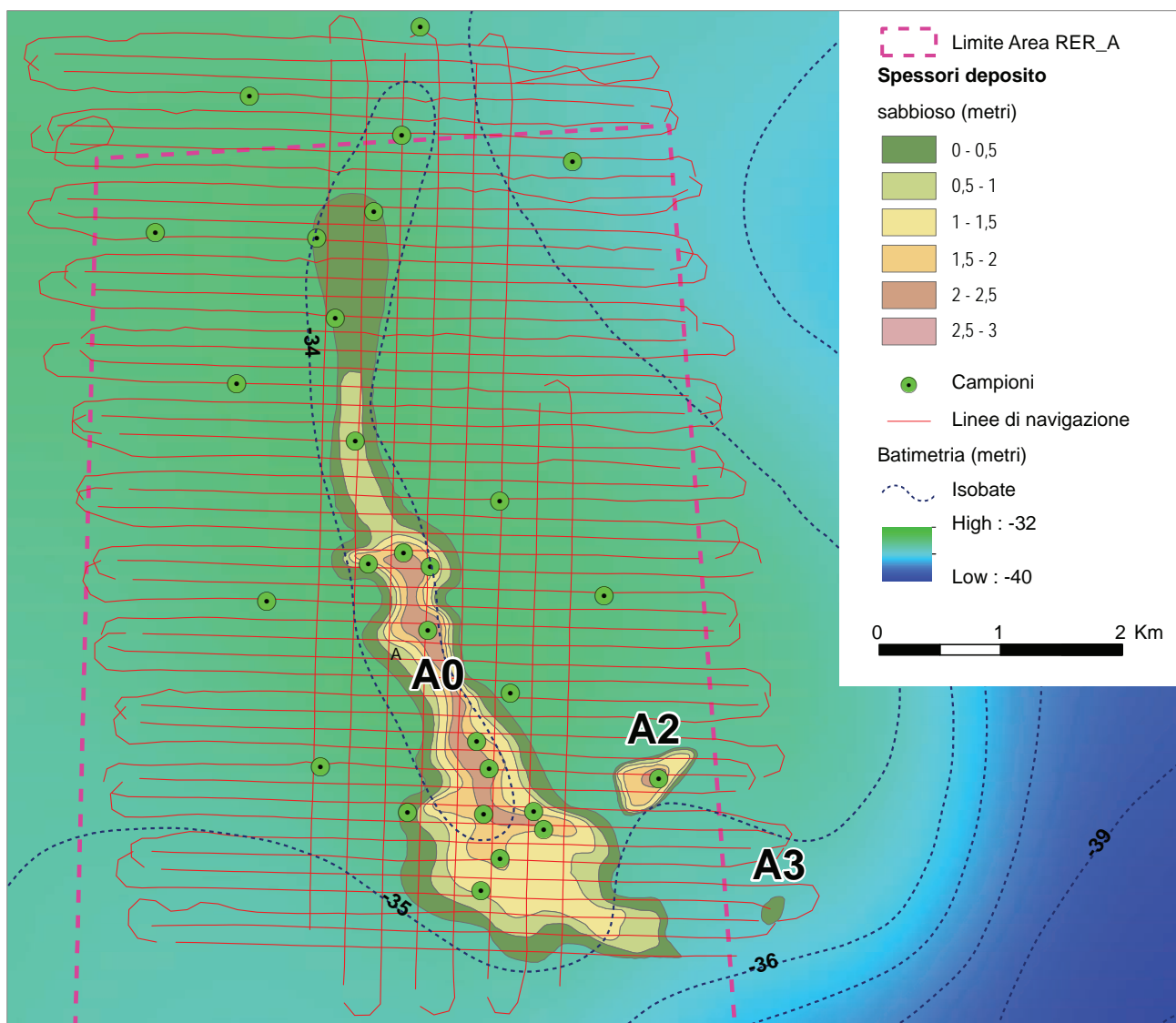
È costituita dai punti che rappresentano la profondità della base della sabbia derivanti dall'interpretazione dei profili sismici CHIRP Sonar [figura 4]. L'estrazione della profondità della base della sabbia dai profili è stata fatta utilizzando il software SeisPrho (Gasperini & Stanghellini, 2009), digitalizzando la base del deposito interpretata dalla facies sismica e dalla conferma dei vibrocarotaggi. L'unità di misura è espressa in metri.

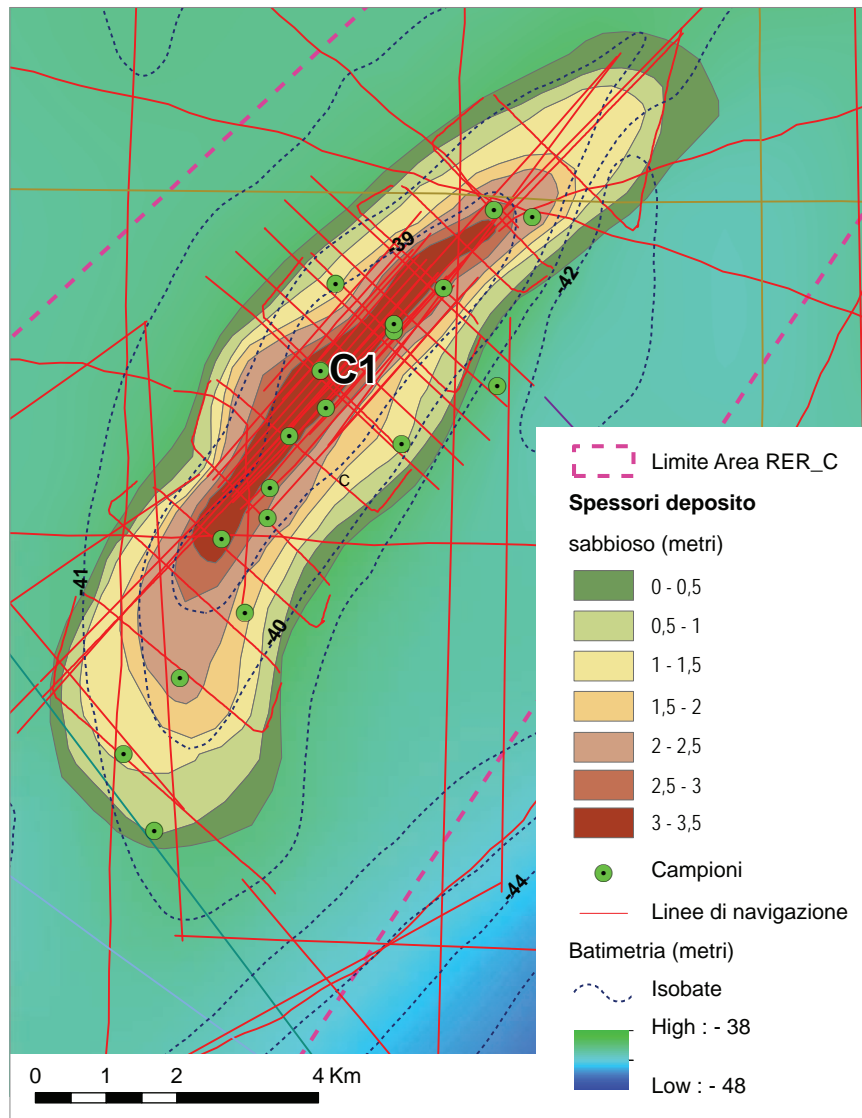
3.2.5.5. Feature class: SUBZONA

Contiene i poligoni in cui viene suddiviso il giacimento in base alle sue caratteristiche morfologiche e stratigrafiche. L'area minima della subzona viene definita secondo standard dimensionali

[Fig. 14]

Spessori dei depositi sabbiosi dei giacimenti RER_A0, RER_A2, RER_A3 dell'Area A. In figura sono anche riportate le tracce dei profili sismoacustici (Linee_di_navigazione) e dei siti di carotaggio (Campioni).





[Fig. 15]
Spessore del deposito sabbioso del giacimento RER_C1 dell'Area RER_C. In figura sono anche riportate le tracce dei profili sismoacustici (Linee di navigazione) e dei siti di carotaggio (Campioni).

legati al volume minimo di sabbia prelevabile e al limite fisico di operatività della draga. Per ogni subzona vengono specificati il nome della subzona, il nome del giacimento in cui è inclusa e il volume di sabbia utile da prelevare. Per giacimenti con caratteristiche omogenee la subzona coincide col giacimento.

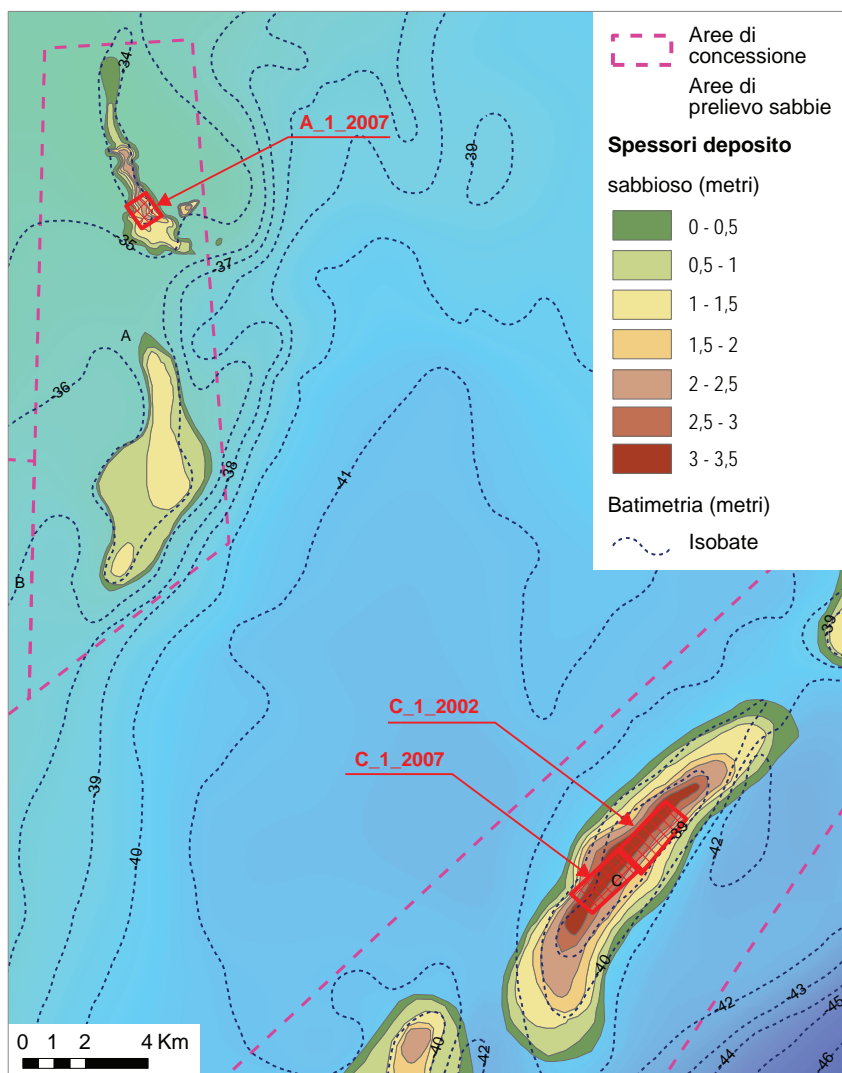
3.2.5.6. Feature class: INTERVENTI

Si riferisce al poligono che rappresenta l'area di prelievo della sabbia all'interno della subzona stabilita. Ad oggi sono stati eseguiti tre interventi di prelievo di sabbia offshore in Regione Emilia-Romagna, in particolare due dal giacimento RER_C1 nel 2002 e nel 2007 ed uno dal giacimento RER_A0 sempre nel 2007 [figura 16].

3.2.6 Database: Contenuti normativi

Come anticipato nel paragrafo 3, una delle problematiche evidenziate nel corso dei Progettoni 1 e 2, è stata l'assenza di una normativa specifica sull'uso di questo tipo di risorse e, in particola-

Nome del campo	Tipo	Limitazioni	Definizione
NOME_SUB	String	Nessuna	nome della subzona
CODICE_I	String	Nessuna	codice dell'intervento
DATA	Date	Nessuna	data di esecuzione dell'intervento di dragaggio
DITTA	String	Nessuna	ditta esecutrice
M3_DRAGATI	Double	Nessuna	volume di sabbia dragato secondo quanto comunicato dalla ditta esecutrice
M3_CALCOLATI	Double	Nessuna	volume di sabbia dragato calcolato dall'ente di controllo tramite operazioni GIS algebriche sui dati batimetrici multibeam acquisiti prima e dopo l'intervento di dragaggio
Vd_Vc	Double	Nessuna	rapporto tra volume dragato e volume calcolato (Vc_Vd) che fornisce un parametro di valutazione di attendibilità dei dati forniti dalla ditta esecutrice
M3_RIMASTI	Double	Nessuna	volume di sabbia rimasto nel deposito dopo il dragaggio derivato dal calcolo dei volumi tra la superficie che rappresenta la base della sabbia e la batimetria multibeam post dragaggio
GRID_PRE	String	Nessuna	nome del GRID pre-intervento utilizzato per il calcolo di controllo dei volumi dragati
GRID_POST	String	Nessuna	nome del GRID post-intervento utilizzato per il calcolo di controllo dei volumi dragati
GRID_BS	String	Nessuna	nome del GRID che rappresenta la base della sabbia per ogni singolo intervento
M3_DISPONIBILI	Double	Nessuna	volume di sabbia disponibile per il prossimo intervento
Destinazione_USO	String	Nessuna	destinazione d'uso della sabbia ai fine del ripascimento costiero (spiaggia emersa, spiaggia sommersa ecc.)



[Tabella 2]
Contenuto della Feature class INTERVENTI.

[Fig. 16]
Localizzazione degli Interventi di prelievo sabbie eseguiti sui Giacimenti A0 e C1 rispettivamente negli anni 2002 (C_1_2002) e 2007 (A_1_2007, C_1_2007).

re, sulla possibilità di un loro sfruttamento esclusivo da parte delle regioni. Per fare un po' di ordine su questo tema, nell'ambito del progetto EU SHAPE (2010-2013), è stata realizzata una ricerca e una raccolta della normativa vigente relativa agli usi delle risorse marine, alla loro gestione e all'esecuzione di interventi a mare o nella fascia costiera.

In particolare, sono stati acquisiti norme, accordi e regolamenti a livello internazionale, europeo, nazionale, regionale e locale, inerenti lo sfruttamento dei depositi di sabbie sottomarine utilizzate per i ripascimenti. Tutti i documenti sono stati catalogati, informatizzati e geolocalizzati ed è stato creato un apposito geodatabase collegato ad **in_Sand**.

Per ciascuna norma sono state estratte, ed inserite nel database, le principali informazioni relative all'area di riferimento della norma, alla tematica, e ai principali collegamenti con l'uso della risorsa sabbia. I documenti ufficiali sono stati archiviati in catalogo (in formato PDF) in modo da essere accessibili via link alle pagine web di riferimento:

- <http://eur-lex.europa.eu> (livello europeo),
- <http://www.gazzettaufficiale.it> o <http://www.normattiva.it/> (livello nazionale);
- <http://demetra.regione.emilia-romagna.it/al/> (livello Regione Emilia-Romagna).

Il database 'NORMÈ' è costituito da uno schema strutturato in due tabelle connesse fra loro dal campo "codice norma".

I contenuti della tabella "NORME" sono:

- livello di competenza: Internazionale, Europeo, Nazionale, Regionale;
- codice della norma: Tipologia norma - anno -numero;
- eventuale protocollo della norma o integrazione successiva;
- data di approvazione;
- ente che ha approvato la norma;
- ambito di interesse;
- titolo ufficiale della norma;
- titolo ufficiale in lingua Inglese;
- descrizione sintetica della normativa;
- eventuali note relative alla norma;
- codice della norma precedente;
- ratifica nazionale delle normative internazionali o europee;
- elenco sintetico degli articoli utili all'ambito dei giacimenti sottomarini;

- elenco sintetico degli allegati alla norma utili all'ambito dei giacimenti sottomarini;
- link al documento ufficiale della norma in formato PDF;
- link al sito internet ufficiale in cui è pubblicata la normativa;
- secondo link di riferimento alla normativa;
- citazione bibliografica di documenti pubblici in cui è riportata la normativa.

I contenuti della tabella "ARTICOLI e ALLEGATI" sono:

- codice della norma: Tipologia norma - anno -numero;
- capitolo della norma;
- elenco (riportato su più record) degli articoli inerenti l'applicazione ai giacimenti di sabbie sottomarine;
- titolo di ogni articolo;
- elenco dei commi, su più record, riferiti allo stesso articolo;
- descrizione del testo dell'articolo/Comma in riferimento allo sfruttamento dei sedimenti sottomarini.

L'analisi dei documenti raccolti ha confermato il 'gap' normativo nonostante lo sfruttamento di tali risorse, ai fini del ripascimento, sia una pratica attuata da diversi anni. Uno degli aspetti ancora da chiarire, per esempio, è legato alla possibilità di ottenere una concessione esclusiva per lo sfruttamento dei depositi da parte delle regioni prospicienti il tratto di fondale in cui siano state individuate le sabbie. In questo senso la Regione Emilia-Romagna, nel 2007, ha fatto un tentativo di richiesta di concessione ma, ad oggi, non è pervenuta risposta da parte dei ministeri competenti, non essendo stati chiariti i vari aspetti normativi insiti nella richiesta.

4. Applicazioni del geodatabase in_Sand

4.1 CALCOLO DEI VOLUMI

La funzionalità del Geodatabase, finalizzato alla gestione dei depositi sabbiosi in piattaforma, è stata testata realizzando un prototipo dell'area di intervento di prelievo sabbie A0_1_2007 [figure 16 e 17].

La scelta dell'area è conseguente alla massima disponibilità di dati in termini di rilievi batimetrici multibeam ad alta risoluzione e di rilievi geofisici di tipo CHIRP Sonar.

Nell'area A è stato calcolato: il volume utile totale del giacimento A0 e il volume di sabbia dragata e di sabbia residua, quindi potenzialmente disponibile nell'area di intervento A0_1_2007.

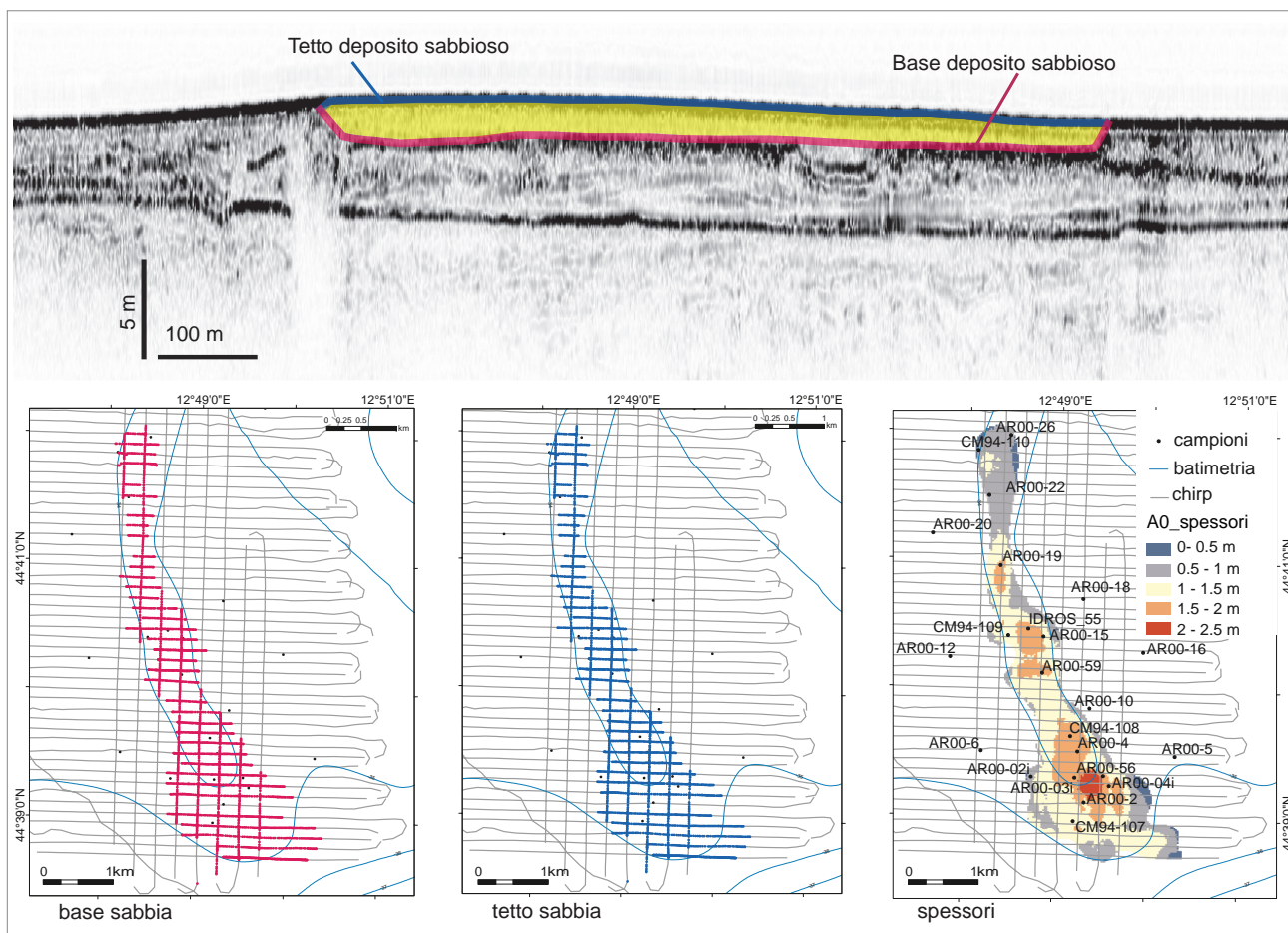
4.1.1 Esempio di calcolo dello spessore totale del deposito sabbioso e calcolo del volume sabbioso

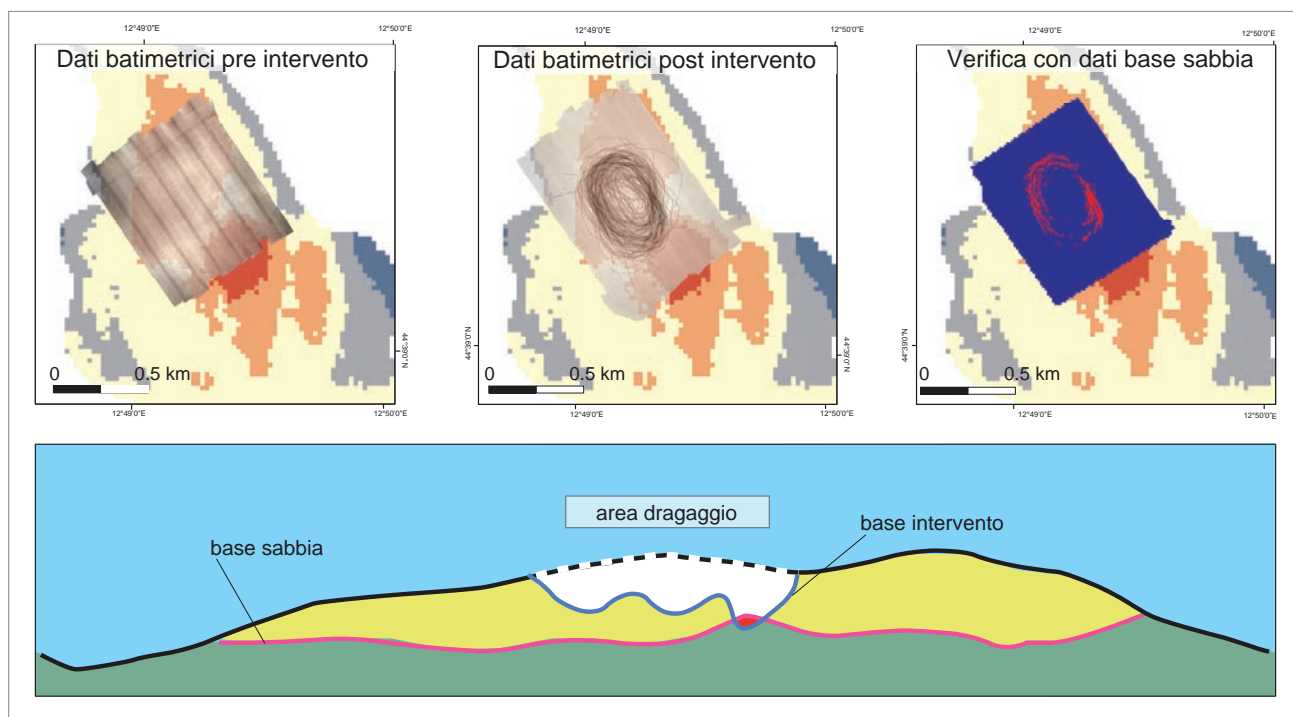
Nel Giacimento A0 sono state digitalizzate, sui profili Chirp sonar, le superfici di tetto e base della sabbia, utilizzando il software SeisPrho (Gasperini et. al, 2009). Attraverso l'elaborazione in GIS dei dati digitalizzati si sono ricavate le rispettive superfici tridimensionali e, per differenza, si sono ricavati gli spessori e i volumi dell'intero deposito sabbioso A0 [figura 17].

Nell'area d'intervento A0_1_2007, sono stati acquisiti due rilievi multibeam, nelle fasi di pre e post dragaggio, che hanno permesso il calcolo automatico, per semplice differenza tra raster, dei volumi della sabbia prelevata e di quella ancora disponibile nel deposito dopo il dragaggio. [figura 18].

Questa procedura GIS mette in evidenza le zone in cui le operazioni di dragaggio hanno superato il limite della base sabbia, lasciando aree completamente prive di sabbia utile. Infine, il valore calcolato del volume dragato viene registrato nella feature class "Intervento", nel campo denominato "M3_calcolato", e confrontato con il valore comunicato dalla ditta esecutrice iscritto nel campo

[Fig. 17] Procedura per il calcolo degli spessori del deposito RER_A0: digitalizzazione della superficie di base sabbia, del tetto e calcolo degli spessori.





“M3_dragato”. Il rapporto tra i due valori si trova nel campo “Vc/Vd” che fornisce un parametro di valutazione di attendibilità dei dati forniti dalla ditta esecutrice.

[Fig. 18] Calcolo dei volumi di sabbia dragata nell'area di intervento RER_A0_1_2007.

Per utilizzare questo strumento è necessario disporre di modelli digitali ad alta risoluzione del fondale, realizzati con rilievi multibeam. È importante sottolineare che, nonostante l'acquisizione e l'elaborazione di questi dati possa sembrare poco economica, essi forniscono una qualità delle informazioni tale da permettere uno sfruttamento più corretto e vantaggioso del giacimento. La comparazione di dati pre e post intervento permette inoltre il controllo inconfutabile dei quantitativi di sedimento prelevati dalla draga, diventando strumento utile per verificare in modo indipendente la buona esecuzione dell'intervento di dragaggio (vedi paragrafo successivo).

4.2 VERIFICHE DEI SITI POST – INTERVENTO

Il geodatabase in_Sand offre la possibilità di eseguire efficacemente valutazioni post-intervento finalizzate a comprendere gli esiti dei prelievi e a definire la condizione del giacimento per un possibile successivo sfruttamento. Tali analisi si sono rivelate particolarmente utili per valutare se i dragaggi siano stati adeguati, in termini di recupero, e se siano state rispettate le prescrizioni di scavo fornite alle ditte appaltatrici.

Anche questo tipo di valutazione si basa sull'analisi dei rilievi batimetrici ad alta risoluzione pre e post intervento, possibilmente acquisiti con tecnica 'multibeam'.

Un esempio della procedura da adottare per gli scopi suddetti è fornito dallo studio condotto sui dati relativi agli interventi effettuati dalla Regione Emilia-Romagna nel 2002 e 2007, nei quali il prelievo di sabbia è stato circoscritto ai giacimenti denominati RER_C1 e RER_A0.

Lo studio si è avvalso di molti dati già disponibili in in_Sand e dei nuovi dati acquisiti da CNR-ISMAR nell'ambito di proprie attività di ricerca, tra il 2012 e il 2014, ovvero:

- dati batimetrici 'multibeam' eseguiti sulle singole aree, prima e dopo le attività di dragaggio, che permettono una ricostruzione 3D ad alta risoluzione del fondale e il calcolo dei volumi estratti.
- mappe degli spessori sabbiosi, derivate dall'analisi ed elaborazione delle indagini geofisiche e dei carotaggi.

È stata quindi messa a punto una procedura di analisi così articolata:

- calcolo del volume totale di sabbia potenzialmente disponibile (V_t) nell'area di intervento, sottraendo alla superficie del fondale (pre-intervento) la superficie basale della sabbia.
- calcolo del volume di sabbia utile nell'area (V_u), che si ottiene sottraendo al volume totale quello corrispondente ad un 'franco' di 50 cm di sabbie, che è stato definito dalla Regione Emilia-Romagna come 'spessore di sicurezza' da lasciare inalterato al fine di garantire il ripopolamento bentonico post intervento.
- calcolo dei volumi dragati (V_d), ottenuto dalla differenza dei dati batimetrici tridimensionali pre e post intervento.
- calcolo degli indici rappresentativi dello sfruttamento del giacimento:
 - volume residuo (V_r)= $V_u - V_d$
 - percentuale di sfruttamento (%d)= $V_d \cdot 100 / V_u$.
 - sfruttamento areale (m)= $V_d / \text{superficie dragata}$
- analisi qualitativa/quantitativa e valutazioni finali.

Le principali osservazioni emerse dalle analisi dei dati relativi ai due 'progetti 1 e 2', riguardano sia le modalità di sfruttamento dei giacimenti che la loro efficacia e sono così sintetizzabili:

- Irregolarità del dragaggio. I corridoi di dragaggio sono generalmente spazati in modo disomogeneo, si osservano zone più intensamente sfruttate e altre dove i passaggi della draga sono molto radi (vedi immagini 18B e 19). Le morfologie residue sono frastagliate con alternanze di solchi e creste che potrebbero rendere difficoltose le attività con strumentazione a traino.
- Sedimenti 'residui' rilevanti. In molte zone, lo spessore del sedimento dragato è compreso tra 0.5 e 1 metri, quindi molto inferiore alla potenza dei giacimenti che in queste aree supera generalmente i 3 metri.

- Indici di sfruttamento non ottimali: l'indice di sfruttamento areale $V_d/\text{superficie dragata}$ è compreso tra 0.5 e 0.9 m e la percentuale di sfruttamento ($V_d \cdot 100/V_u$) è variabile dal 22% al 39%.

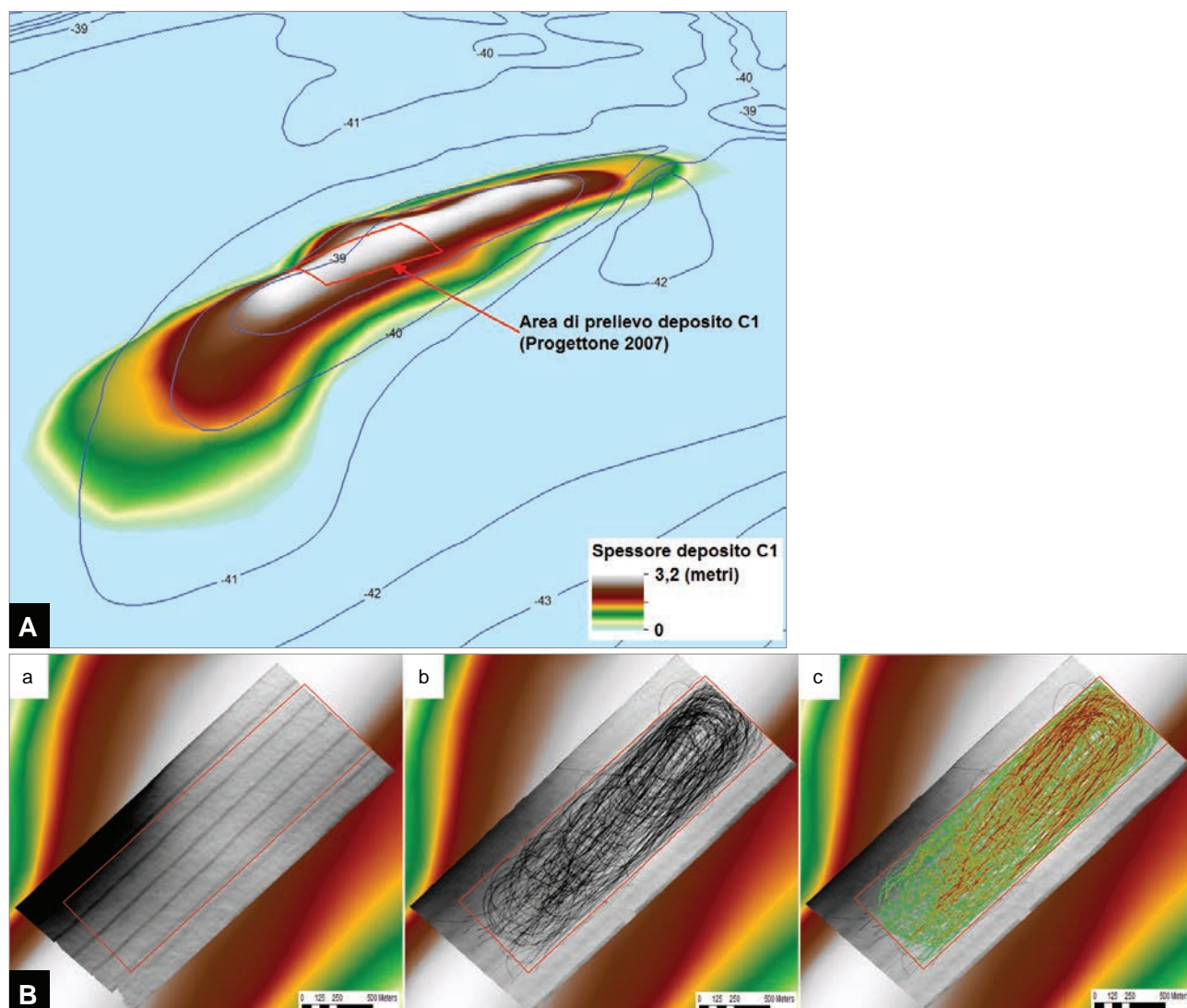
Tali risultati hanno evidenziato quindi la necessità di migliorare le tecniche e le procedure di sfruttamento dei depositi al fine di migliorare la capacità di recupero delle sabbie e di garantire l'utilizzo totale della risorsa utile. Ciò ha già consentito alla RER di effettuare richieste più stringenti sulle modalità di esecuzione dei dragaggi per il 'Progettone 3' del 2016 e di riconsiderare le aree già dragate come siti di potenziale sfruttamento per il futuro.

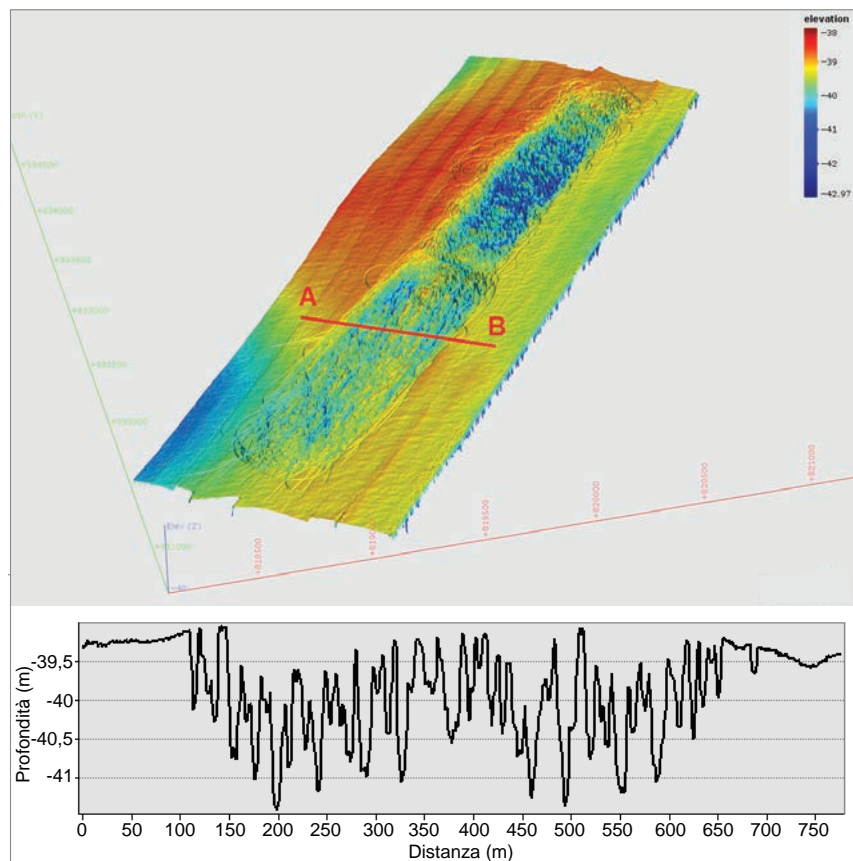
I dati acquisiti a distanza di alcuni anni dagli interventi offrono inoltre una conferma che l'idrodinamica in corrispondenza dei giacimenti è estremamente debole e la sedimentazione è ridotta o assente. I depositi, infatti, mantengono l'impronta inalterata dei dragaggi, come si evince dai rilievi multibeam effettuati dal CNR nel 2012 e 2014.

[Fig. 19]

[A] Spessore del deposito sabbioso C1 e ubicazione dell'area di prelievo sabbie nel 2007.

[B] Dettaglio dei rilievi multibeam pre-intervento (a), post-intervento (b) e della superficie raster derivata dal calcolo degli spessori dragati (c).



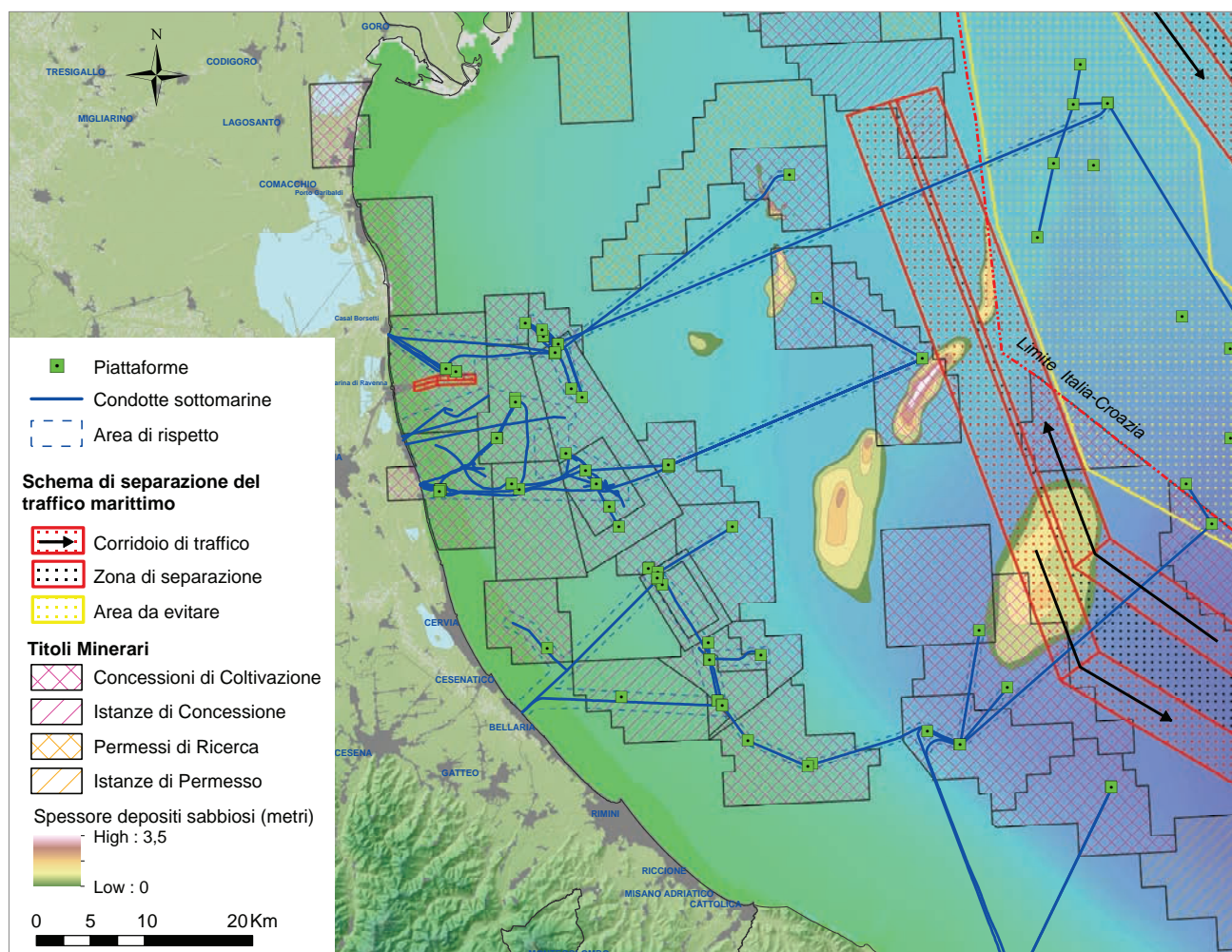


[Fig. 20]
Visualizzazione tridimensionale del rilievo multibeam dell'area di prelievo del deposito C1 (2002 e 2007) ed esempio di sezione trasversale (Profilo A-B).

4.3 ANALISI DELLE INTERFERENZE CON ALTRI USI DEL MARE

Un ulteriore contributo di **in_Sand** è quello di favorire l'analisi dell'interferenza con le aree di tutela ambientale e dei conflitti con gli altri usi del mare. Lo strumento è quindi un supporto essenziale sia per la Marine Strategy (*Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino, 2008/56/CE recepita in Italia con il d.lgs. n. 190 del 13 ottobre 2010*) sia per la redazione dei piani di gestione dello spazio marittimo che dovranno essere elaborati dagli stati membri entro marzo 2021, come stabilito dalla dir. EU 2014/89. Per anticipare gli obiettivi posti dalla direttiva, la Regione Emilia-Romagna ha creato un geodatabase regionale dell'uso antropico del mare (denominato **in_Sea**) (Lorito et al., 2012 a e b), che, per la parte relativa allo sfruttamento della risorsa sabbia si interfaccia con il geodatabase **in_Sand**.

L'utilizzo integrato dei due strumenti ha già evidenziato alcune possibili criticità legate alla compresenza dei diversi usi del mare, dei fondali e del sottofondo marino. Come si può osservare dalla **figura 21**, infatti, i depositi sabbiosi sottomarini, insistono in una zona prossima al limite della piattaforma continentale italiana in cui sono presenti infrastrutture per lo sfruttamento del gas dal sottosuolo (condotte sottomarine, pozzi e piattaforme) nonché i cor-



ridoi per il transito delle grandi navi commerciali. I giacimenti A0 e A1, in particolare sono interessati dall'attraversamento di condotte sottomarine rispettivamente per il collegamento delle piattaforme Naomi-Pandora con Garibaldi C e Ivana-K (piattaforma Croata) con Garibaldi C. La conoscenza della posizione esatta di queste condotte è quindi indispensabile nella definizione del piano di sfruttamento di questi depositi, che dovrà essere organizzato in modo da evitare qualsiasi interferenza con tali infrastrutture.

[Fig. 21] Usi del mare nell'area antistante le coste dell'Emilia-Romagna.

4.4 APPLICAZIONE DELLO STRUMENTO IN_SAND NELLA PREPARAZIONE DEI PROGETTI DI RIPASCIMENTO

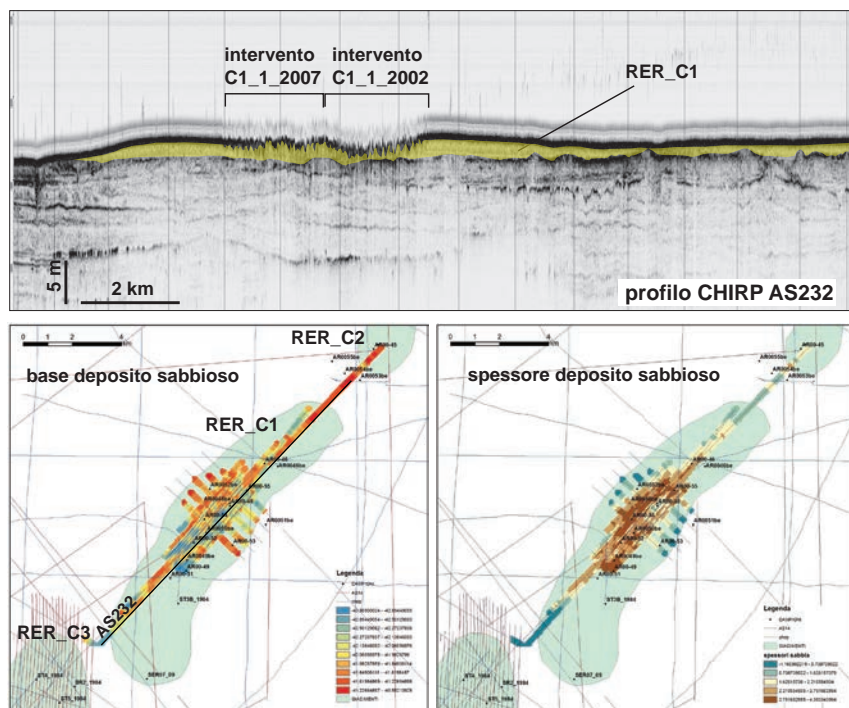
In Adriatico le informazioni geologiche riassunte nelle sei carte superficiali pubblicate nel progetto Carografia Geologica dei Mari Italiani a scala 1:250000 (2011), sono risultate fondamentali per l'individuazione e la caratterizzazione dei giacimenti e per la costruzione di un sistema informativo come quello illustrato. Ma la ricerca sull'evoluzione recente della piattaforma adriatica non si è mai fermata e molti nuovi dati sono stati acquisiti e resi disponibili

per implementare il geodatabase **in_Sand** (come ad esempio i dati della campagna ASCI14). Le nuove tecnologie per l'acquisizione di dati in mare hanno permesso di caratterizzare meglio le morfologie del fondale e l'architettura dei depositi sedimentari presenti in piattaforma. I rilievi batimetrici multi fascio, (mutibeam), hanno fornito immagini tridimensionali del fondale marino sempre più dettagliate mentre i rilievi geofisici Chirp sonar, sistema acustico che permette di ricostruire la geometria tridimensionale dei corpi sabbiosi e delle loro coperture con una risoluzione verticale a volte decimetrica, sono risultati indispensabili per migliorare la conoscenza delle cubature di sabbia disponibili. Attraverso l'aggiornamento di **in_Sand** nell'area RER_C1, è stato possibile, in breve tempo, monitorare lo stato del giacimento ed impostare le basi del nuovo progetto esecutivo ("Progettone 3"). La miglior definizione della complessa morfologia della base del deposito sabbioso, che si pensava essere tabulare, sarà indispensabile per indirizzare le attività di dragaggio in modo più efficiente. Nella **figura 22** si può infatti vedere come la base del deposito ed i relativi spessori siano distribuiti nell'area coperta dai nuovi dati e la sezione acquisita attraverso il Chirp sonar AS232 evidenzia le geometrie interne del deposito.

È importante comprendere come sia necessario dotarsi di strumenti idonei alla progettazione degli interventi di dragaggio, all'esecuzione e al monitoraggio degli stessi. È inoltre necessario verificare e valutare la qualità dei dati disponibili e dei livelli informativi che possono essere realizzati attraverso l'elaborazione dei dati stessi, quali ad esempio: modelli digitali dei fondali e delle altre superfici importanti per caratterizzare i depositi sabbiosi.

[Fig. 22]

Nuovi dati acquisiti nella campagna ASCI14 utilizzati per implementare **in_Sand** e contribuire ad una miglior caratterizzazione del giacimento RER_C1. In alto il profilo Chirp sonar dove sono evidenti i dragaggi effettuati negli anni 2002 e 2007, mentre nella mappa di sinistra sono riportati i dati relativi alla base del deposito sabbioso, in quella di destra gli spessori del deposito sabbioso.

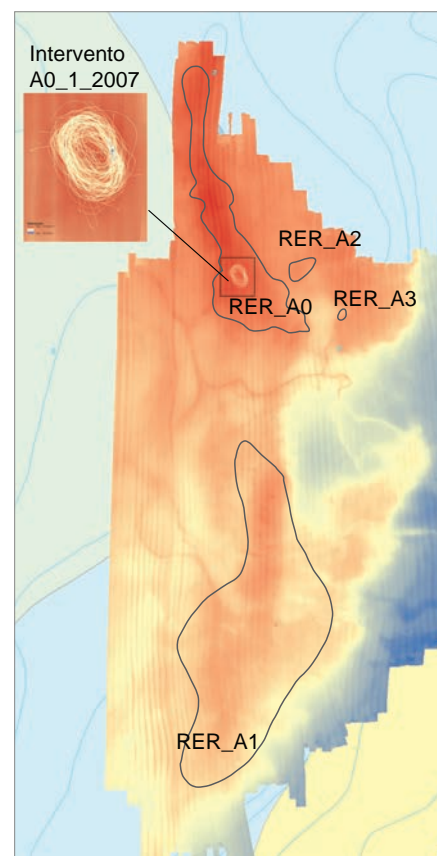
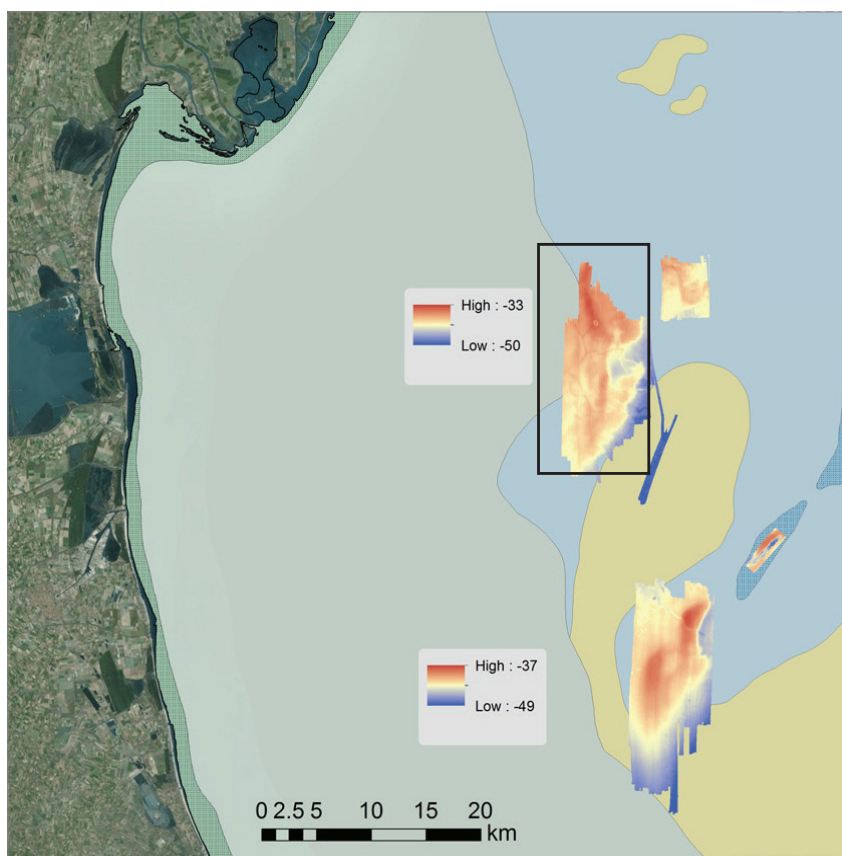


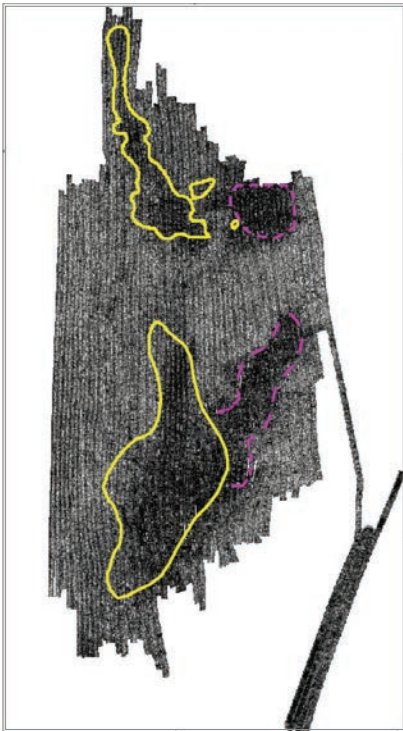
5 Aggiornamento delle banche dati

Una volta messo a punto uno strumento come **in_Sand** è importante che la banca dati venga costantemente aggiornata con i dati di nuova acquisizione, e con quelli relativi al monitoraggio degli interventi. Nuovi rilievi geofisici effettuati al largo delle coste della Regione Emilia-Romagna nella primavera del 2012 e nell'autunno 2014 dal CNR-ISMAR hanno messo in evidenza la complessità morfologica dei depositi di barriera-laguna trasgressivi all'interno dei quali sono stati individuati i giacimenti sabbiosi in oggetto. Un articolato sistema di canali e cordoni costieri relitti caratterizza i depositi trasgressivi della porzione assiale del bacino adriatico [figura 23]. Nell'area dove nel 2001 era stato individuato il deposito RER_A e dove nel 2007 era stata effettuato un intervento di dragaggio (A0_1_2007) i nuovi dati geofisici e geognostici acquisiti durante la campagna NAD12 e ASC14 hanno contribuito a migliorare le conoscenze dell'intero deposito. Le attività sperimentali continuano sia sui depositi già noti che in aree ancora non ben studiate. Infatti nel 2014 si è potuto acquisire un grigliato di dati nuovi ad est dell'area RER_A dove si ipotizza che vi possano essere delle barre fluviali dell'antica piana alluvionale glaciale. Qui saranno indirizzate nuove campagne geognostiche per poter confermare la presenza di sabbia compatibile con il litorale da ricaricare.

[Fig. 23]

Aree dove sono stati acquisiti nuovi dati di batimetria multibeam e sismoacustici (Chirp sonar). In dettaglio a sinistra il rilievo multibeam acquisito nell'area che comprende il deposito RER_A. Nel riquadro in alto le tracce del dragaggio effettuato per l'intervento A0_1_2007.





[Fig. 24]

Dato di backscatter acquisito con il multibeam della n/O Urania nella campagna NAD12. In giallo i giacimenti conosciuti dell'area RER_A mentre le aree tratteggiate in viola presentano la stessa risposta dei depositi sabbiosi ma non sono stati ancora indagati in dettaglio.

Le nuove metodologie permettono di acquisire oltre alla batimetria anche il dato di backscatter ovvero la quantità di energia acustica che viene riflessa al sonar dopo che ha avuto una complessa interazione con il fondale. Per dare un riferimento molto semplificato il fondale fangoso ha una risposta di backscatter debole, mentre i depositi più grossolani una risposta più forte. Questa informazione può essere utilizzata per comprendere il tipo di substrato e, nel nostro caso, anche per indirizzare nuove indagini geognostiche. Infatti una prima immagine di backscatter dell'area RER_A ci ha permesso di individuare alcune aree dove si registrava una risposta simile a quella dei giacimenti sabbiosi già conosciuti [figura 24].

Tutti questi nuovi dati permetteranno, da un lato di produrre un prototipo molto più preciso per il calcolo dei volumi nei giacimenti dall'altro di ampliare le conoscenze con nuove indagini geognostiche in tutte le aree già indagate.

La sinergia tra enti di ricerca e strutture tecniche regionali sarà assolutamente necessaria per una corretta gestione delle risorse presenti nei mari italiani.

Acronimi

- FC** - Feature class
- GIS** - Geographic information system
- GDB** - Geodatabase
- HST** - highstand systems tract
- LGM** - Last Glacial Maximum
- Rs** - ravinement surface
- TS** - trasgressive surface
- TST** - trasgressive systems tract
- UML** - Unified Modeling Language
- Vd** - volume dragato
- Vr** - volume residuo
- Vt** - Volume totale
- Vu** - volume utile

Glossario

CNR ISMAR: Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Scienze Marine

Data policy: set di linee guida per garantire una adeguata gestione dell'informazione digitale. Le linee guida possono stabilire per esempio: diritti di citazione, security, data quality e privacy.

EU SHAPE: Shaping an Holistic Approach to Protect the Adriatic Environment . E' un progetto IPA Adriatic Cross Border Co-operation initiative.

Feature class: una raccolta di figure geografiche con la stessa geometria (punti, linee o poligoni), con gli stessi attributi e con lo stesso sistema spaziale di riferimento. Le feature all'interno di una feature class devono essere omogenee, ovvero avere la stessa geometria.

Feature dataset: un raggruppamento di feature class che condividono lo stesso sistema spaziale di riferimento e le cui feature ricadono in un'area geografica comune. Un feature dataset può raggruppare feature class con geometrie differenti.

Geodatabase: un database o struttura di file usato in primo luogo per memorizzare, dati spaziali e non. I geodatabase contengono geometrie, sistemi spaziali di riferimento, attributi e regole di comportamento per i dati. I geodatabase possono essere memorizzati come IBM DB2, IBM Informix, Oracle, Microsoft Access, Microsoft SQL Server, and PostgreSQL relational database management systems, o in sistemi di file come nel caso dei file geodatabase. Il geodatabase è un formato nativo di ArcGIS.

Direttiva INSPIRE: la direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007, ha istituito INSPIRE (acronimo di INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe) con lo scopo di rendere omogenee e condivisibili, all'interno dell'Unione europea, le informazioni georeferenziate di carattere ambientale, affinché queste siano di supporto alle politiche ambientali o per ogni altra attività che possa avere ripercussioni sull'ambiente.

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Metadati: Descrizioni formali delle caratteristiche dei dati, ad esempio dell'origine, del contenuto, della struttura, della validità, dell'attualità, del grado di precisione, dei diritti di utilizzazione, delle possibilità di accesso o dei metodi di elaborazione.

Object class: una raccolta di dati non spaziali dello stesso tipo o classe. In un geodatabase, mentre gli oggetti spaziali (feature) vengono raggruppati in feature class, gli oggetti non spaziali vengono raggruppati in object class.

Raster: formato dati per rappresentare modelli di fenomeni continui e immagini.

Relationship class: un'entità in un geodatabase che contiene informazioni sulle relazioni. Una relationship class è visibile in ArcCatalog o in un contents view.

RITMARE: la Ricerca Italiana per il MARE. E' uno dei Progetti Bandiera del Programma Nazionale della Ricerca finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca.

SDSCB: Servizio Difesa Suolo, Costa e Bonifica.

SGSS: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Sistema Informativo Geografico (GIS): struttura di tipo informatico efficace per organizzare, archiviare, analizzare, rappresentare l'informazione geografica, quella cioè relativa a fenomeni spazialmente referenziati e interconnessi. Le strutture fisiche e le loro posizioni sono definite da dati geometrici (punti, linee, aree, superfici, volumi), associati a classificazioni e ad attributi (valori).

UML: (Unified Modeling Language) è un linguaggio di modellazione visuale per analizzare, specificare, visualizzare e documentare lo sviluppo di documenti di un sistema software Object-Oriented. E' lo standard utilizzato nell'ingegneria del Software per descrivere un sistema informatico che consente ai vari ruoli, sviluppatore, tester, analista etc, di comunicare tramite lo stesso linguaggio.

Bibliografia

Aguzzi M., De Nigris N. Fabi G., Manoukian S., Preti M. & Tedeschi R. (2011) - Monitoraggio morfologico di aree al largo della costa Emiliano Romagnola da cui è stata prelevata la sabbia utilizzata per il ripascimento del litorale regionale.

Amorosi A., Severi P., Roveri M., Correggiari A., Preti M., Tomassetti C., Tarocco P., Colalongo M.L., Pasini G., Vaiani S.C., Fusco F., Marchesini L., Spadafora E., Cibir U., Zuffa G.G. & Dinelli E., (1999) - Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 223 Ravenna, pp. 144. Cattaneo e Trincardi, 1999.

Belknap D.F. & Kraft (1981) - Preservation potential of transgressive coastal lithosomes on the U.S. Atlantic shelf. *Mar. Geol.*, 42: 429-442.

Cattaneo A., Correggiari A., Taviani M. & Trincardi F., (2001) - Sedimentologic expression of the late-Quaternary ravinement surface in the Adriatic Sea, Italy, *International Association of Sedimentology*, 21th Meeting, Davos, Switzerland.

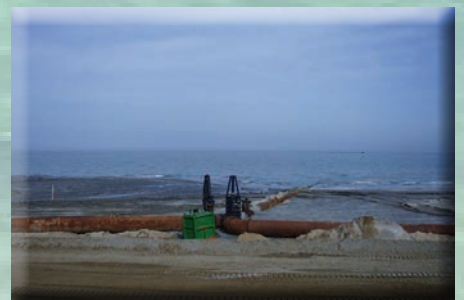
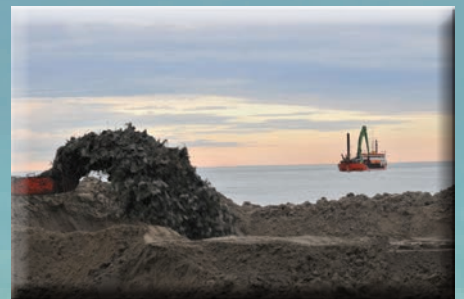
Colantoni P., Galignani P. & Lenaz R., (1979) - Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic continental shelf. *Marine Geology*, 33: 41-50.

Colantoni P., Preti M. & Villani B., (1990) - Sistema deposizionale e linea di riva olocenica sommersi in Adriatico e al largo di Ravenna. *Giornale di Geologia*, 52: 1-18.


- Correggiari A., Field M.E. & Trincardi F., (1996a) - Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf. In: De Batist, M., Jacobs, P. (Eds.), *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Geological society special publication, 117: 155-169.
- Correggiari A., Roveri M. & Trincardi F., (1996b) - Late-Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea. In: *Late-Glacial and early Holocene climatic and environmental changes in Italy*. *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9: 697-704.
- Correggiari A., Trincardi F., Langone L. & Roveri M., (2001) - Styles of failure in heavily-sedimented highstand prodelta wedges on the Adriatic shelf. *Journal of Sedimentary Research*, 71: 218-236.
- Correggiari A., Cattaneo A. & Trincardi F., (2005a) - Depositional patterns in the Late-Holocene Po delta system. In: *Bhattacharya J.P., Giosan L. (Eds.), Concepts, Models and Examples*, *SEPM Special Publication*, 83: 365-392.
- Correggiari A., Cattaneo A. & Trincardi F. (2005b) - Depositional the modern Po Delta system: Lobe switching and asymmetric prodelta growth. *Marine Geology*, 222-223: 49-74.
- Correggiari A., Remia A. & Foglini F., (2007) - Progetto di caratterizzazione dei depositi sabbiosi sommersi presenti sulla piattaforma alto adriatica potenzialmente sfruttabili come cave di prestito per il ripascimento costiero - Primo SAL stato avanzamento lavori.
- Correggiari A., Remia A., Gallerani A. & Foglini F., (2009) - Attivita' di supporto tecnico-scientifico finalizzato alla ricerca di corpi sedimentari sabbiosi sottomarini da utilizzare per il ripascimento delle spiagge. Relazione finale.
- Correggiari A., Foglini F., Remia A. & Campiani E., (2011) - Convenzione tra RER-SGSS e ISMAR CNR, Sede di Bologna per la realizzazione di un software finalizzato alla gestione dei depositi di sabbia sottomarini ed implementazione della relativa banca dati. Struttura Geodatabase finalizzato alla gestione dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma continentale. Il SAL. Febbraio 2011.
- Correggiari A., Aguzzi M., Foglini F., Gallerani A. & Remia A., (2011) - Research of marine sand resources for beach nourishment: an applied result of Geological Map of the Adriatic Sea (1:250000). *Marine Research at CNR, Volume Mare Dipartimento Terra Ambiente del CNR*, pp.19.
- Correggiari A., Aguzzi M., Remia A e Preti M., (2011). Caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico Settentrionale utilizzabili per il ripascimento costiero. *Studi costieri*, 19:11-31.
- Correggiari A., Cattaneo A., Carrà D., Penitenti D., Preti M. & Trincardi F., (2002) - Offshore sand for beach restoration: North Adriatic shelf examples. In: *Erosion littorale en Méditerranée occidentale: dynamique, diagnostic et remèdes*. *CIESM Workshop Series n. 18*, p. 79-82, Monaco. www.ciesm.org/publications/Tanger02.pdf.
- Correggiari A., Perini, L., Foglini, F., Remia, A., Gallerani, A., Campiani E., Luciani P. & Calabrese L., (2012) - Research and exploitation of shelf marine sand deposit for coastal renourishment: geodatabase guidelines from Emilia-Romagna experience.,"7th EUREGEO, Bologna Italy June 12-15th 2012,347-348,2012,Proceedings vol. 1.
- Correggiari A., Remia A., Foglini F., Grande V., Nicoletti L., Perini L., Piazza R. & Bertaggia R., (2013) - Research and exploitation of shelf marine sand deposit for coastal nourishment: geodatabase guidelines from northern Adriatic Shelf experience presentato a SHAPE Shaping an Holistic Approach to Protect the Adriatic Environment between coast and sea IPA Project - Final meeting Lignano 16-17th Oct 2013.

- Fischer A. G., (1961) - Stratigraphic record of transgressive seas in the light of sedimentation on Atlantic coast of New Jersey: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., 45: 1656-1666.
- Gasparini L. & Stanghellini G. (2009) - SEISPRHO: An interactive computer program for processing and interpretation of high-resolution seismic reflection profiles. In: Computers & Geosciences, vol. 35 (7) pp. 1497 - 1507.
- Grande V., Proietti R., Fogliani F., Remia A., Correggiari A., Paganelli D., Targusi M., Franceschini G., La Valle P., Berducci M.T., La Porta B., Lattanzi L., Lisi I., Maggi C., Loia M., Pazzini A., Gabellini M. & Nicoletti L., (2015) - Sistema Informativo per il monitoraggio ambientale della risorsasabbia offshore nei progetti di protezione costiera: geodatabase env_Sand. ISPRA, Manuali e Linee guida, 127/2015: 63 pp.
- IDROSER Spa, (1985) - Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del Mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione. A cura di Preti M., Villani B. e Colantoni P.. Bologna, Ottobre 1985.
- IDROSER Spa, (1990) - Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del Mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione. 2° Campagna di ricerca. A cura di Preti M., Villani B. e Colantoni P. Bologna, Ottobre 1990.
- In_Sand Sistema informativo Sabbie Offshore Rapporto tecnico online, (2012) - <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/sistemainformativo-per-la-gestione-dei-depositi-di-sabbia-sommersi>.
- Lorito S, Luciani P, Calabrese L. & Perini L., (2012a) - Mare ...Istruzioni per l'uso vs.2.0 (2012a) Servizio geologico, sismico e dei suoli – Regione Emilia Romagna.
- Lorito S., Luciani P., Calabrese L. & Perini L., (2012b) - «The sea use geodatabase of Emilia-Romagna region », in Atti del 7° European Congress on REgional GEOscientific Cartography and Information Systems (EUREGEO), Bologna, 12-15 Giugno 2012.
- Penland S., Boyd R. & Suter J. R., (1988) - Transgressive depositional systems of the Mississippi delta plain: a model for barrier shoreline shelf sand evolution. Journal of Sedimentary Petrology, 58 (6): 932-949.
- Preti M., (2011) - I due interventi di ripascimento con sabbie sottomarine realizzati in Emilia-Romagna nel 2002 e nel 2007. Studi Costieri, 19: 7-9.
- Simonini R., Della Casa S., Massamba N'Siala G., Martino M.P. & Prevedelli D., (2011) - Monitoraggio dell'intervento di ripascimento del 2007. Monitoraggio degli effetti dell'estrazione di sabbie sulla comunità macrozoobentoniche di fondali pelitici (area A, Adriatico Settentrionale) tramite un disegno beyond-BACI. Studi costieri, 19:125-135.
- Storms J.E.A., Weltje G.J., Tierra G.J., Cattaneo A. & Trincardi F., (2008) - Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to Early Holocene evolution of barrier-lagoon systems on the northern Adriatic shelf (Italy), Quaternary ScienceReviews, 27, 1107-1123.
- Swift D.J.P., (1975) - Barrier-island genesis: evidence from the central Atlantic shelf: Eastern U.S.A., Sedimentary Geology, 14: 1-43. Sanders e Kumar, 1975.
- Trincardi F., Correggiari A. & Roveri M., (1994) - Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: The Adriatic Semienclosed Basin. Geo-Marine Letters, 14: 41-51.





Una pubblicazione a cura di

 **servizio geologico
sismico e dei suoli**

Viale della Fiera 8
40127 Bologna
Tel: +39 0515274792
E-mail: segrgeol@regione.emilia-romagna.it
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia>



CNR-ISMAR

www.ismar.cnr.it

ISBN 978-88-8186-012-8