

## Caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico Settentrionale utilizzabili per il ripascimento costiero

Annamaria Correggiari<sup>1</sup>, Margherita Aguzzi<sup>2</sup>, Alessandro Remia<sup>1</sup> e Mentino Preti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Istituto di Scienze Marine Consiglio Nazionale delle Ricerche ISMAR - CNR Sede di Bologna  
via P. Gobetti, 101 - 40129 Bologna

<sup>2</sup> ARPA Direzione Tecnica - Via Largo Caduti del Lavoro, 6 - 40121 Bologna

E mail: anna.correggiari@bo.ismar.cnr.it, maguzzi@arpa.emr.it, mpreti@arpa.emr.it

### Riassunto

Il presente lavoro riporta i risultati ottenuti da ARPA in collaborazione con ISMAR-CNR di Bologna nell'ambito di campagne geognostiche e geofisiche condotte nel 2000 al largo della costa emiliano-romagnola. Le indagini hanno avuto lo scopo di individuare un'area idonea al prelievo di sabbia e di stimare i volumi di sabbia presenti da destinare al ripascimento delle spiagge in erosione per conto della Regione Emilia-Romagna nell'ambito di due progetti di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale regionale eseguiti nel 2002 e nel 2007.

Lo studio ha interessato quattro accumuli sabbiosi (A, B, C1 e C2) individuati in occasione di precedenti campagne di ricerca condotte in Adriatico settentrionale ad una distanza dalla costa compresa tra 45 e 55 km. I corpi sabbiosi in esame sono stati caratterizzati dal punto di vista sedimentologico (40 vibrocarotaggi) e stratigrafico sulla base di 360 km di profili sismici (Sub Bottom Profiler tipo Chirp Sonar).

Dal punto di vista morfologico, nelle aree A, C1 e C2 sono presenti tre rilievi allungati, mentre nell'area B si osserva solo un allargamento delle isobate. Nelle aree C1 e C2 le sabbie affiorano all'interfaccia acqua-sedimento, mentre nelle aree A e B, più vicine alla costa, è presente una copertura pelitica.

I quattro accumuli sabbiosi sono attribuibili a "reliqui d'erosione" di cordoni litorali trasgressivi originariamente più sviluppati, hanno forma geometrica lenticolare e sono costituiti prevalentemente da sabbie fini ben classate, sormontate da sabbie bioclastiche di *ravinement* a base erosiva.

In totale è stata stimata la presenza di 78 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia. Sono state scelte come aree di prelievo i dossi C1 e A. Il dosso C1 è stato sfruttato sia per l'intervento del 2002 che per quello del 2007, mentre il dosso A soltanto per quello del 2007.

**Parole chiave:** Ripascimento costiero, erosione costiera, depositi trasgressivi, cave sottomarine, Mare Adriatico settentrionale.

### Abstract

*Results of geophysical and sampling surveys carried on by ARPA RER and ISMAR CNR-Bologna offshore the Emilia-Romagna coast in 2000 are described in order to identify the potential borrow sites on the shelf and calculate the total available sand volume. Some consistent sand deposits were used in 2002 and 2007 to renourish Emilia-Romagna beaches naturally prone to intense erosion. This research focused on four sand deposits (named A, B, C1 e C2), previously identified in the Northern Adriatic shelf between 45 and 55 km offshore. Stratigraphy and sedimentology of the sand bodies identified were characterised with 40 vibrocores and 360 km of Chirp*

*Sonar Sub Bottom Profiler. Elongated transgressive sand ridges are evident in areas A, C1 and C2 while in area B sand deposit is capped by recent mud with little evidences in bathymetry. The four sand remnant deposits left from erosion of large transgressive coastal sand ridges, are characterised by sorted fine sand overlaid with a coarser ravinement unit with erosional base. The total amount of sand was estimated in 78 million of cubic metres. C1 area was chosen as borrow site for renourishment activities in 2002 and 2007, while area A was selected only for the 2007 dredge operation.*

**Keywords:** Beach nourishment, Beach erosion, transgressive deposits, offshore borrow sites, North Adriatic Sea.

## Introduzione

Lo sfruttamento di depositi sabbiosi sottomarini, per scopi edili o per il ripascimento delle spiagge in erosione, è ormai una pratica comune in diversi paesi europei come Gran Bretagna, Spagna, Olanda, Danimarca, Belgio e, più recentemente, Italia.

Al largo della costa della Regione Emilia-Romagna, accumuli sabbiosi sono stati individuati nel corso degli anni 80 e 90 con ricerche a grande scala (Colantoni et al., 1979; 1990; IDROSER SpA, 1985; 1990) condotte da ARPA Ingegneria Ambientale (ex Idroser) e ISMAR-CNR di Bologna (ex IGM-CNR).

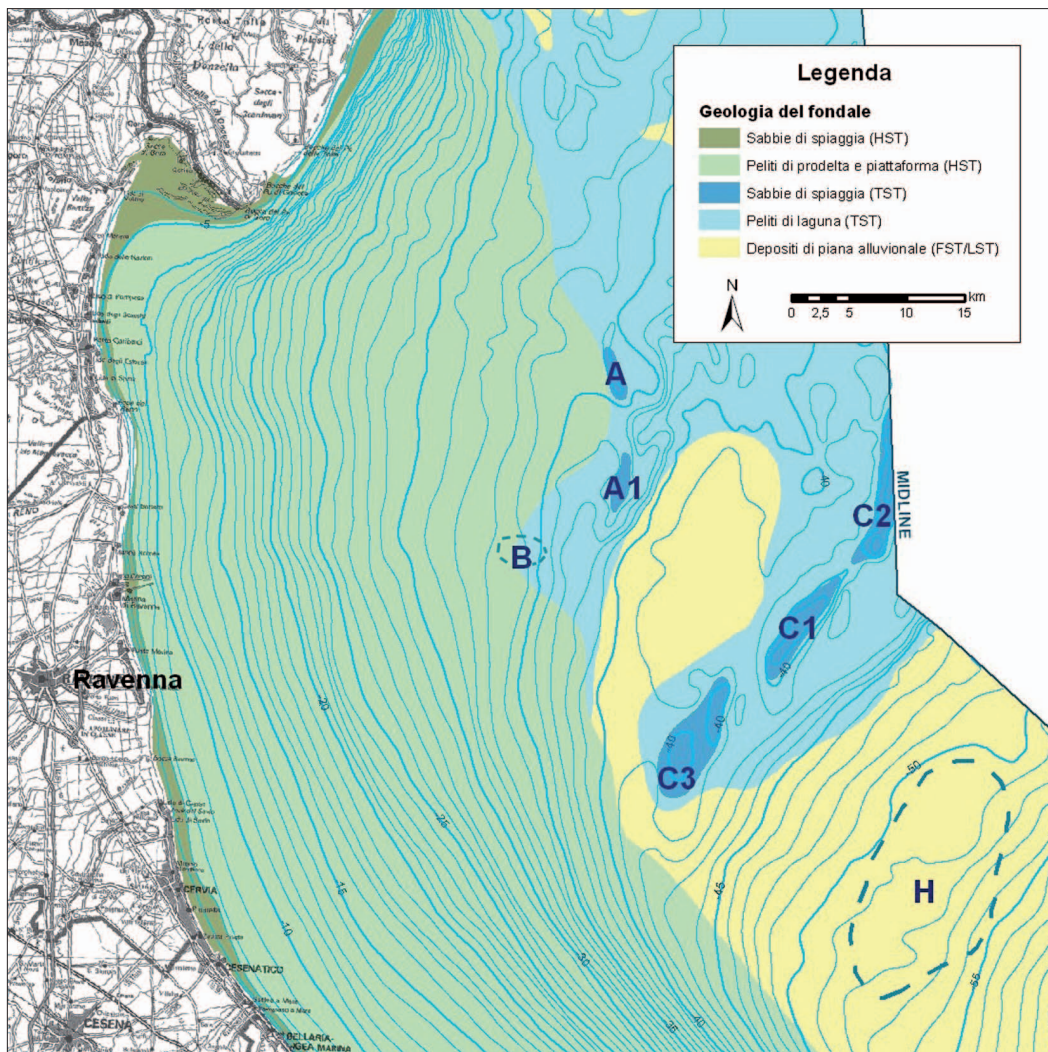


Figura 1 - Ubicazione delle aree A, A1, B, C1, C2, C3 e H sulla carta geologica della piattaforma nord adriatica (Foglio NL 33-10 RAVENNA a cura di Fabbri et al., 2001 modificato).

Nel 2000, quando la Regione Emilia-Romagna ha deciso di eseguire il primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine (Prete, 2002), gli accumuli sabbiosi individuati in precedenza sono stati sottoposti a rilievi di dettaglio al fine di individuare l'area più indicata per il prelievo della sabbia. A tal fine la Regione ha incaricato ARPA di eseguire apposite campagne di ricerca geofisica e geognostica.

Questo lavoro riporta i risultati ottenuti nell'ambito di queste campagne indirizzate su 4 aree collocate a una distanza dalla costa compresa tra 45 e 55 km, denominate convenzionalmente A, B, C1, C2 (Fig. 1). Successivamente, tra il 2007 e il 2008, nell'ambito delle attività previste dal progetto Europeo Beachmed-e e dal secondo intervento di ripascimento realizzato dalla Regione, sono state condotte ulteriori campagne di ricerca che hanno riguardato altre tre zone: il dosso A1, il dosso C3 e una nuova area, denominata H, individuata all'inizio del 2007 a partire da alcuni profili sismici tratti dall'archivio di ISMAR-CNR di Bologna. I dati relativi a questi ultimi studi sono in parte riportati nei rapporti tecnici prodotti per il Beachmed-e (2006) e in parte ancora in fase di elaborazione.

Nel presente elaborato è riportata la caratterizzazione di dettaglio degli accumuli sabbiosi presenti nelle aree indagate nel 2000 (A, B, C1 e C2), la stima, i volumi di materiale estraibili e la definizione delle aree di prelievo delle sabbie destinate agli interventi di ripascimento del litorale regionale del 2002 e del 2007.

### **Inquadramento geologico e stratigrafico**

Lo studio ha interessato la porzione settentrionale del bacino adriatico compresa tra la costa emiliano-romagnola e la linea di delimitazione della piattaforma continentale tra Italia e Croazia.

Il Mare Adriatico è caratterizzato da un regime microtidale con un'escursione di marea inferiore al metro e da una circolazione ciclonica di origine termoalina, che confina le acque a bassa salinità di origine fluviale sul lato occidentale del bacino (Malanotte-Rizzoli e Bergamasco, 1983). I venti dominanti in Adriatico sono la Bora da NE e lo Scirocco da SE.

Dal punto di vista geologico-strutturale, il bacino epicontinentale adriatico nel suo complesso rappresenta l'avanfossa plio-quadernaria della catena appenninica (Ori et al., 1986). Esso consiste in una piattaforma continentale molto ampia, con gradiente costante fino alla latitudine estesa di Ancona e di Zara, per poi evolvere in un bacino di scarpata "Depressione Meso-adriatica" al largo di Pescara (Fig. 2). Le massime profondità (>1000 m) si raggiungono a sud in corrispondenza della Fossa Adriatica, al largo della Puglia. Il fondale dell'Alto Adriatico è costituito da depositi di età tardo-quadernaria ed è caratterizzato da un gradiente notevolmente basso. I principali studi condotti su tali depositi sono quelli di Trincardi et al. (1994) e Correggiari et al. (1996 a,b; 2001; 2005 a, b; Cattaneo e Steel 2003) e quelli legati alla realizzazione della Carta Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000 (Fabbri et al., 2001). A questi lavori si deve, in particolare, la definizione dell'architettura deposizionale olocenica basata su dati di recente acquisizione e su lavori precedenti (Brambati et al., 1967; 1973; Colantoni et al., 1979; 1990; Idroser 1985; 1990) in cui vengono descritti i depositi trasgressivi costituiti da antichi cordoni litorali sommersi sui quali si focalizza questo studio (Fig. 1).

L'evoluzione della successione stratigrafica presente nella zona è strettamente legata alle fluttuazioni eustatiche tardo-quadernarie che, come dimostrato da calibrizioni in aree del Mediterraneo centrale (Fairbridge 1961; Antonioli et al., 2004; Lambeck et al., 2004; Fairbanks, 1990; Correggiari et al., 1996; Asioli et al., 2001), presentano un andamento piuttosto complesso.

Si distinguono tre fasi principali: i) un lungo periodo caratterizzato da un graduale e lento abbassamento del livello del mare e stazionamento basso (da 125.000-18.000 anni fa), ii) una rapida risalita del livello di base (da 18.000-5.500 anni fa) e iii) un finale stazionamento alto (5.500 anni fa-Attuale; Fairbanks, 1989; Catalano et al., 1995; Trincardi et al., 1996; Correggiari et al., 2001; Cattaneo et al., 2003; 2004; 2007).

Durante l'ultimo acme glaciale, 18.000 anni fa, quando il livello del mare si trovava 120 m al di sotto della quota attuale (Rizzini, 1974; Trincardi et al., 1994), l'Adriatico settentrionale era una pianura alluvionale e la linea di riva si trovava notevolmente più a sud rispetto alla posizione attuale. Il Po percorreva questa pianura raccogliendo le acque provenienti dal sistema fluviale carsico dei massicci orientali ed dai fiumi appenninici provenienti da ovest, per sfociare infine in mare all'altezza di Pescara.

Il sistema deposizionale deltizio e costiero connesso al fiume Po si sviluppava, così, sul bordo della Depressione Meso-adriatica, costituendo, assieme alle correlate successioni alluvionali prossimali, le unità di caduta (FST) e di stazionamento basso del livello del mare (LST; Fig. 1).

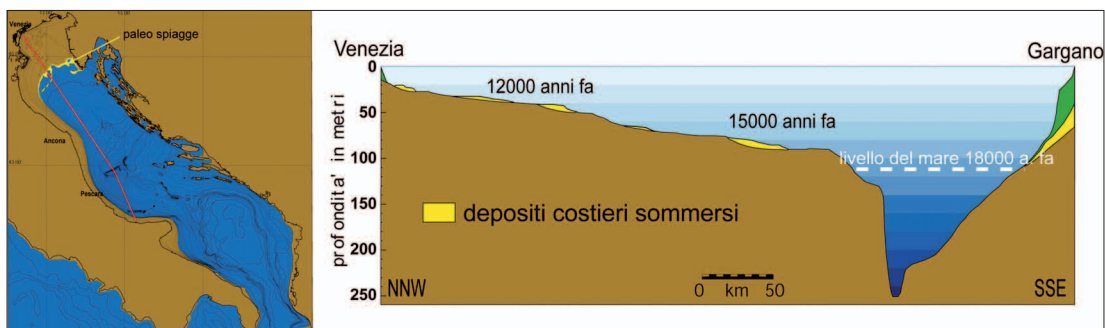
Superato l'acme glaciale, una rapida fase di risalita eustatica (TST) legata all'instaurarsi di condizioni climatiche temperate, ha portato alla migrazione verso terra di sistemi costieri di barriera-laguna. I depositi trasgressivi sono costituiti da una unità tabulare a base erosiva comprendente sabbie bioclastiche argillose poggianti su una complessa successione di depositi paralici aggradanti e prevalentemente argillosi (Colantoni et al., 1979; Trincardi et al., 1994; Correggiari et al., 1996 a, b; Amorosi et al., 1999; Cattaneo e Trincardi, 1999). Ricostruzioni stratigrafiche di sottosuolo eseguite in Pianura Padana, estese per alcune decine di chilometri verso terra, dimostrano che al culmine della trasgressione (6.000-5.500 anni fa) la posizione della linea di costa era decisamente più interna rispetto a quella attuale (Amorosi et al., 1999; Preti, 1999; Amorosi et al., 2003; 2005; Stefani, 2005; Bondesan et al., 1995).

La successiva fase di stazionamento alto (HST, Fig. 1) del livello del mare ha portato alla deposizione di unità progradanti prevalentemente fangose estese verso il largo per 35-40 km (Correggiari et al., 2001; 2005 a, b).

I cordoni litorali sommersi, argomento di questo studio, vengono definiti "relitti", perché rappresentano spiagge antiche (8-11.000 anni fa) depositate durante la migrazione verso terra della linea di riva ed in seguito annegate (Fischer, 1961; Penland et al., 1988; Swift, 1975; Sanders e Kumar, 1975). Generalmente, la conservazione di questi corpi sedimentari dipende strettamente dalla dinamica costiera, dal basso gradiente della piattaforma, dalle geometrie iniziali dei corpi sedimentari coinvolti e dalle modalità di risalita del livello del mare (Belknap e Kraft, 1981).

L'annegamento di questi sistemi riconosciuti al largo della costa regionale è avvenuto nell'ambito di un regime marino dominato dalle onde, in un periodo di risalita del livello del mare caratterizzato da un tasso di crescita di circa 10 mm/a. Questo tasso, anche se elevato rispetto ai valori attuali, non è abbastanza alto da poter essere considerato 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; Storm et al., 2008).

Dal punto di vista morfologico la presenza di questi corpi sedimentari viene percepita come rilievi allungati del fondale marino. In corrispondenza di questi dossi, al di sotto dell'unità tabulare a base erosiva costituita da sabbie bioclastiche, precedentemente menzionata, giacciono sabbie ben cernite di spiaggia sommersa inferiore. 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*). 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. Essa si presenta generalmente come una superficie erosiva associata a un lag conchigliare posto alla base di sabbie a loro volta ricche in bioclasti (Walker, 1992; Cattaneo e Steel, 2003; Nummendal et al., 1987).



**Figura 2 - Sezione morfologica della piattaforma adriatica tra Venezia e il Gargano. Nella mappa sono evidenziati in rosso la traccia di sezione ed in giallo i relitti di depositi sabbiosi riconducibili alle paleo spiagge sommerse di origine trasgressiva (età 12.000 anni B.P.) Nella sezione sono riportati in verde i depositi tardo olocenici di stazionamento alto HST ed in giallo quelli trasgressivi sabbiosi con le relative età radiometriche calibrate.**

## Materiali e metodi

### Campagna geofisica

Nell'Aprile 2000, con l'utilizzo della Nave Oceanografica Urania del CNR (Resp. A. Correggiari), sono stati acquisiti profili sismoacustici nelle aree A e B (Fig. 1). È stato utilizzato un Sub Bottom Profiler tipo Chirp Sonar con 16 trasduttori a bassa frequenza (2-7 kHz) montati in chiglia e un'unità di registrazione digitale che ha reso possibile l'acquisizione di profili sismoacustici di alta qualità. La tecnologia Chirp utilizza la trasmissione di un segnale a banda limitata, di durata temporale finita con "Modulazione di Frequenza Lineare", per cui gli impulsi incrementano il range dinamico del sistema di 20÷30 dB rispetto ai Sub-Bottom tradizionali. A differenza di questi ultimi, in cui la risoluzione è inversamente proporzionale alla lunghezza dell'impulso, la risoluzione di un Chirp è proporzionale alla larghezza di banda dell'impulso trasmesso. Pertanto la capacità del Chirp di trasmettere impulsi di lunga durata con una larghezza di banda ampia, si traduce in un'immagine sonar a più alta risoluzione (fino a 4 volte superiore a quella dei sistemi operanti nella stessa gamma di frequenze) e, a causa del significativo aumento di energia trasmessa, in un maggiore range dinamico del sonar.

Nell'area A sono stati effettuati 360 km di profili su una superficie di 50 km<sup>2</sup> (Tab. 1). Il grigliato di acquisizione è costituito da profili orientati est-ovest distanti l'uno dall'altro 150 m e da profili orientati nord-sud distanti 300 m.

Nell'area B sono stati eseguiti 160 km di profili geofisici a maglia quadrata con lato di 300 m, su una superficie di 25 km<sup>2</sup>.

Nelle aree C1, C2, oggetto di una successiva campagna geofisica commissionata da ARPA alla G.A.S. s.a.s. di Bologna, sono stati acquisiti profili sismoacustici Chirp Sonar, utilizzando uno strumento al traino con un minor numero di trasduttori. Sono stati raccolti profili per un totale di 110 km su una superficie di 131 km<sup>2</sup>. Il grigliato di acquisizione si presenta meno denso che nelle altre due aree ed è servito per inquadrare in modo preliminare i siti di carotaggio. Dal momento che le pessime condizioni meteorologiche hanno impedito l'acquisizione di profili di buona qualità, per la definizione di questa area sono stati utilizzati profili sismici di proprietà di ISMAR.

### Campagna geognostica

A partire dai risultati della campagna geofisica, è stata impostata la campagna geognostica con l'obiettivo di prelevare complessivamente 40 carote nelle quattro aree A, B, C1 e C2, distribuite come riportato nella Tabella 2.

La campagna geognostica è stata condotta direttamente da ARPA (Resp. M. Preti) che ha noleggiato il mezzo navale ed il carotiere e si è avvalsa di personale specializzato esterno e si è svolta in due fasi: la prima ha interessato le aree A e B, mentre la seconda le aree C1 e C2 e una piccola parte dell'area A dove occorreva completare il quadro d'indagine della prima fase.

Al fine di ricavare elementi indicativi sulla natura dei sedimenti superficiali dei dossi dell'area C1 si è deciso di effettuare, prima della campagna geognostica, il prelievo di 12 campioni con una benna. Per eseguire il lavoro è stata utilizzata la motonave oceanografica Daphne II dell'ARPA (resp. G. Montanari).

Nell'ambito delle operazioni a mare della campagna geognostica (AR2000), il posizionamento delle stazioni di campionatura è stato realizzato utilizzando un ricevitore GPS differenziale. Questo ricevitore GPS inter-

**Tabella 1 - Lunghezza dei profili sismoacustici acquisiti e superficie delle aree indagate durante la campagna geofisica eseguita nel 2000.**

Area	Superficie indagata (km <sup>2</sup> )	Lunghezza dei profili sismoacustici (km)
A	50	360
B	25	160
C1 - C2	131	110
<b>Totale</b>	<b>206</b>	<b>630</b>

**Tabella 2 - Vibrocarotaggi eseguiti durante la campagna geognostica effettuata nel 2000.**

Periodo	Area	vibrocarotaggi
Agosto-Settembre 2000	A	17
Agosto-Settembre 2000	B	9
Novembre 2000	A	2
Novembre 2000	C1-C2	12
	Tot.	40

facciato al sistema di navigazione NAVPRO ha permesso di raggiungere con precisione i siti di campionatura, individuati in precedenza tramite i profili geofisici acquisiti dall'Istituto di Geologia Marina.

Per le operazioni di carotaggio è stato utilizzato un vibrocarotiere AIMERS-MC LEAN con asta da 6 metri.

### Elaborazione dati e attività di laboratorio

Le attività di apertura delle carote, descrizione sedimentologica di dettaglio e di campionamento per le analisi granulometriche sono state effettuate presso il laboratorio di ISMAR- CNR di Bologna, mentre le analisi granulometriche sono state eseguite nel Laboratorio di Analisi Chimico - Agrarie ARPA di Faenza.

Le caratteristiche granulometriche sono state determinate seguendo le indicazioni riportate nel Decreto Ministeriale del 13 Settembre 1999 "Approvazione dei metodi ufficiali per l'analisi chimica del suolo" (Gazzetta Ufficiale serie generale n. 185 del 21 Ottobre 1999), con setacciatura ad umido per la frazione grossolana e tramite sedimentazione per la frazione fine (metodo della pipetta). È stata applicata la suddivisione ad 1 phi.

**Tabella 3 - Confronto tra le classi granulometriche della Scala Udden-Wentworth e quelle utilizzate da ARPA Ravenna. La zona grigia evidenzia la classe nella quale rientrano la maggioranza dei campioni prelevati nelle aree C1 e C2.**

ARPA Faenza	mm	Phi $\phi$	Udden-Wentworth size class	
<b>Ghiaia</b>	256	-8	Boulder	<b>Ghiaia</b>
	64	-6	Cobble	
	4	-2	Pebble	
			Granule	
<b>Sabbia molto grossa</b>	2.00	-1.0	Very coarse sand	<b>Sabbia grossolana</b>
	1.68	-0.75		
	1.41	-0.5		
	1.19	-0.25		
<b>Sabbia grossa</b>	1.00	0	Coarse sand	<b>Sabbia media</b>
	0.84	0.25		
	0.71	0.5		
	0.59	0.75		
<b>Sabbia media</b>	0.50	1.00	Medium sand	<b>Sabbia fine</b>
	0.42	1.25		
	0.35	1.5		
	0.30	1.75		
<b>Sabbia fine</b>	0.25	2.00	Fine sand	<b>Sabbia molto fine</b>
	0.210	2.25		
	0.177	2.5		
	0.149	2.75		
<b>Sabbia molto fine</b>	0.125	3.00	Very fine sand	<b>Silt</b>
	0.105	3.25		
	0.088	3.5		
	0.074	3.75		
<b>Limo grosso</b>	0.0625	4.00	Coarse silt	<b>Silt</b>
	0.05	4.25		
	0.044	4.5		
	0.037	4.75		
<b>Limo fine</b>	0.031	5.00	Medium silt	<b>Silt</b>
	0.02	6.00		
	0.0156	7.00		
	0.0078	8.00		
<b>Argilla</b>	0.0039	8.00	Very fine silt	<b>Argilla</b>
	0.002	9.00		
	0.0020	10.00		
	0.00098	11.00		
	0.00049	12.00		
	0.00024	13.00		
0.00012	14.00			
0.00006	14.00	Clay		

Tutte le analisi sono state effettuate dopo aver separato la componente organogena > 2 mm.

Le classi granulometriche utilizzate dal laboratorio ARPA di Faenza non sono quelle comunemente usate in sedimentologia, per questa ragione nella Tabella 3 vengono confrontate queste classi, solitamente usate per i suoli, con quelle impiegate per i sedimenti in generale (Scala di Udden-Wentworth). Si può notare come i tagli delle classi presentino delle differenze solo per il limite inferiore della sabbia molto fine ed il limite che separa il limo (silt) dall'argilla. Infatti la sabbia molto fine nella classificazione usata per i suoli contiene una frazione di silt grossolano se confrontata con la scala Udden-Wentworth.

I parametri che caratterizzano la distribuzione granulometrica ottenuti dalle curve di frequenza cumulativa, il granulo medio, il coefficiente di cernita e di asimmetria, risultano invece indipendenti dai tagli delle scale granulometriche usate.

Una fase di elaborazione fondamentale è stata quella di taratura dei dati geofisici con i dati geognostici. I carotaggi sono stati posizionati sui profili sismici e, tenendo conto del grado di compressione che i sedimenti subiscono normalmente in fase di campionatura, è stato possibile verificare la natura dei sedimenti e dare un'interpretazione stratigrafica ai riflettori osservati nei profili. Questa operazione ha permesso di ricostruire la geometria dei corpi sedimentari, di comprenderne i reciproci rapporti stratigrafici e di ottenere infine la mappa degli spessori degli accumuli sabbiosi.

Il calcolo dei volumi, effettuato con il *software Surfer 8* (prodotto da Golden Software), è stato approssimato utilizzando la griglia di dati estrapolati dalla mappa degli spessori che in un secondo tempo sono stati verificati con gli strumenti accessibili nel pacchetto ArcGIS di ESRI.

## Dati e interpretazioni

### Area A

#### Dati

L'area A è situata ad una distanza di 50 km circa dal porto di Ravenna (Figg. 1 e 3), in corrispondenza di un rilievo morfologico orientato N-S caratterizzato da dislivelli dell'ordine di 4 m.

La risoluzione che si ottiene con i profili Chirp Sonar consente di riconoscere nella porzione superiore dei profili corpi piano-convessi, generalmente simmetrici e canalizzati, di dimensioni variabili, in cui la facies sismica si presenta come semi-trasparente con un forte mascheramento del segnale, omogenea al suo interno, ma con una base mal definita (Fig. 4).

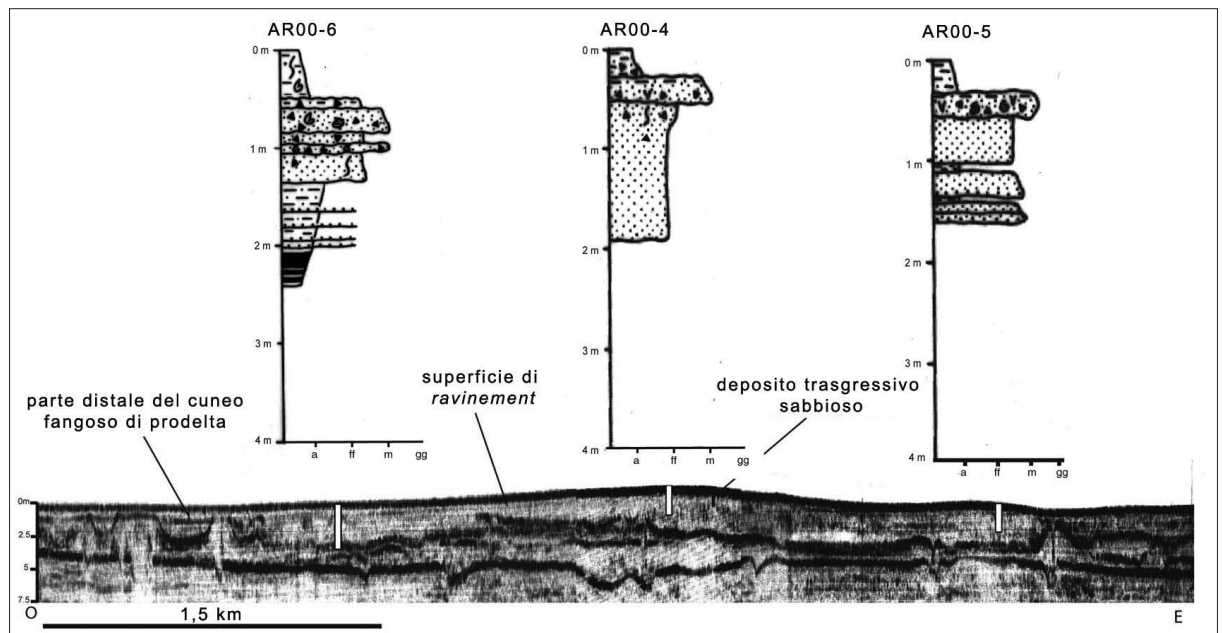
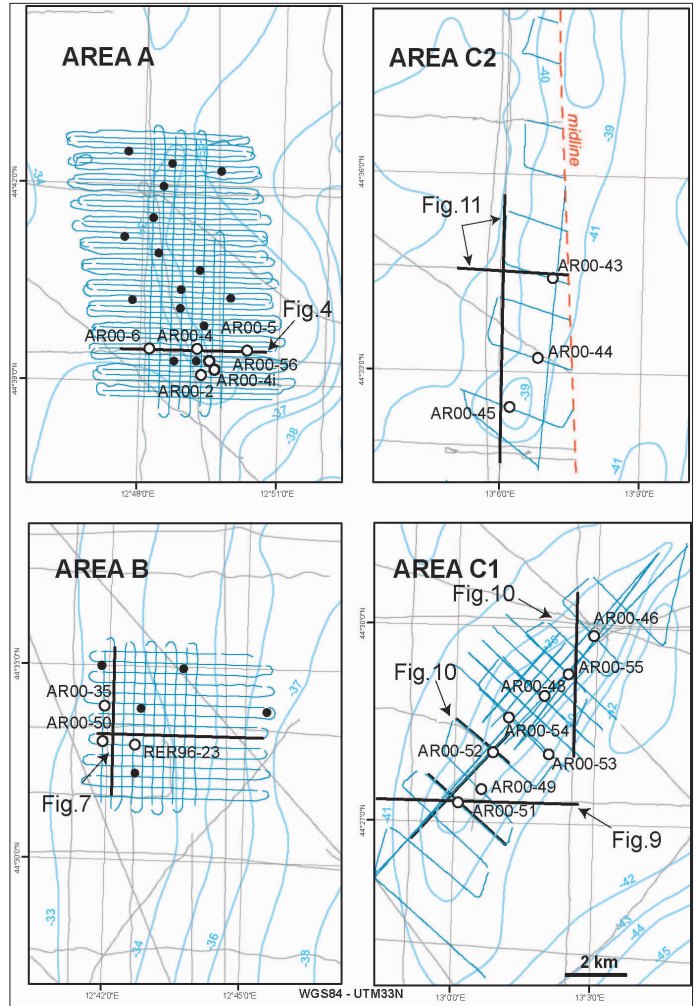
Nella porzione inferiore dei profili si osserva invece un'alternanza di facies sismiche trasparenti e riflettori molto evidenti.

I vibrocarotaggi hanno recuperato sezioni di sedimento di lunghezza compresa tra 1,5 e 4 m; nelle Figure 4 e 5 sono riportate le colonne stratigrafiche delle carote ritenute più rappresentative dell'area rilevata.

La carota AR00-2 (Fig. 5) è lunga circa 4 m e presenta, a partire dalla base, una iniziale tendenza *coarsening-upward* che evolve in *fining-upward* al tetto. La porzione inferiore è composta da argille basali che passano verso l'alto a sabbie fini contenenti a tratti argilla. Al tetto di queste sabbie, una superficie ero-

**Figura 3 - Ubicazione delle tracce dei profili sismici e dei carotaggi nelle quattro aree oggetto di studio. Sono evidenziati in nero i profili e con cerchi bianchi i carotaggi descritti nelle relative figure.**

**Figura 4 - Esempio di profilo Chirp Sonar (ARP32) nell'area A. Sono riportate le colonne stratigrafiche dei carotaggi ubicati sul profilo stesso.**



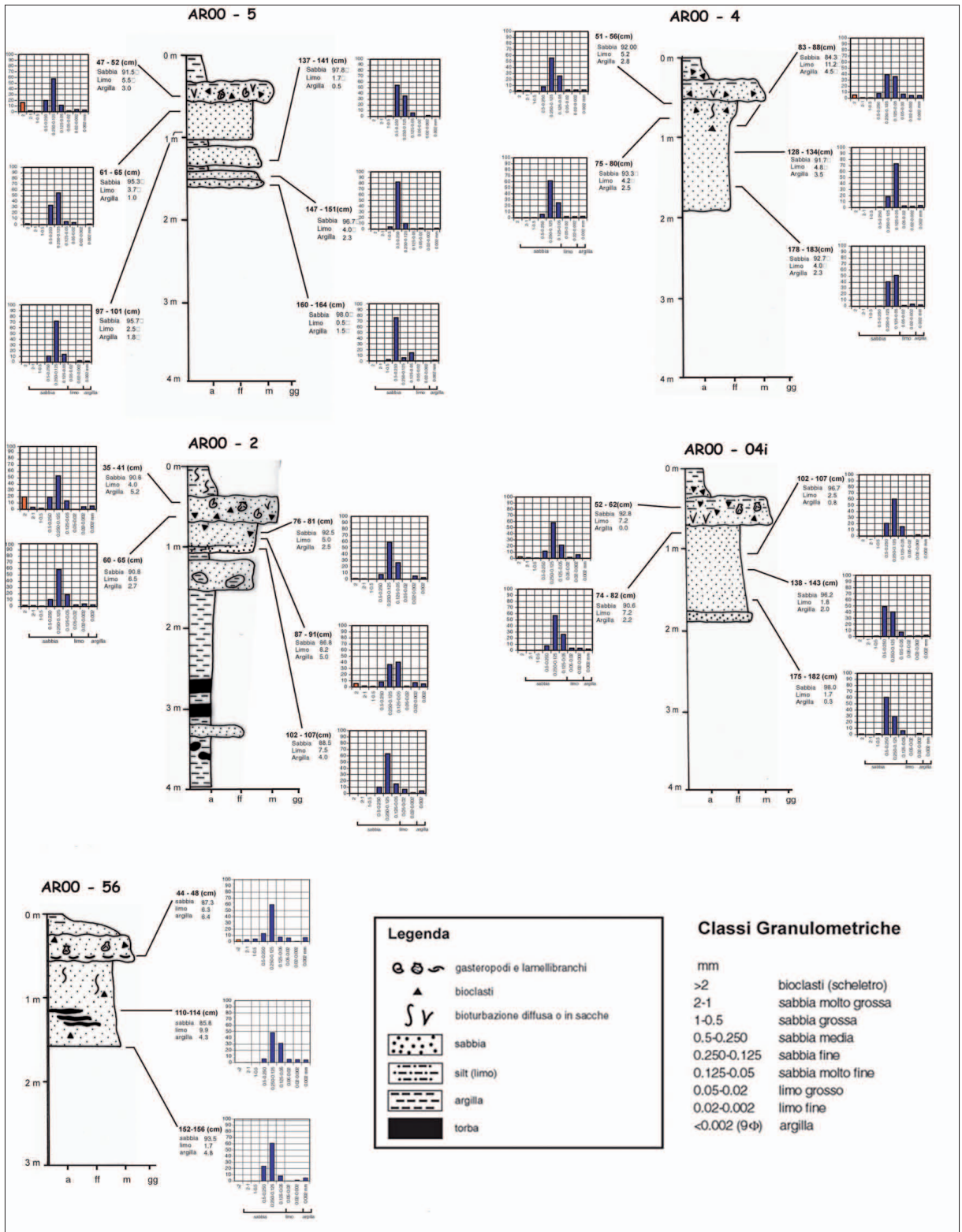


Figura 5 - Colonne stratigrafiche di alcuni carotaggi eseguiti nell'area A e istogrammi di frequenza relativi ai risultati delle analisi granulometriche eseguite su alcuni campioni prelevati dalle carote. Per ogni campione sono riportati i valori percentuali sul peso secco di sabbia, limo e argilla.



siva conchigliare rappresenta la base di sabbie medie bioclastiche. La successione è chiusa al tetto da argille siltose e sabbiose dello spessore di circa 30 cm.

Le carote AR00-4, AR00-4i, AR00-5, AR00-56 (Fig. 5) sono prevalentemente formate da sabbia e il recupero di sedimento è di 1,5 m e 2 m. La porzione inferiore della successione è costituita prevalentemente da sabbie fini che, in alcuni casi (AR00-05), si alternano a livelli argillosi. La porzione superiore delle carote è costituita da sabbie medie bioclastiche, con base erosiva conchigliare, chiuse al tetto da argille con spessore variabile tra 20 e 40 cm.

L'analisi granulometrica è stata condotta prevalentemente sulle sabbie collocate al di sotto della superficie erosiva posta alla base delle sabbie bioclastiche presenti nella porzione superiore delle carote.

Il sedimento è classificato tra le sabbie molto fini e le sabbie fini; solo in due siti sono state prelevate sabbie medie con diametro medio (Mz) tra 0,25-0,35 mm (carotaggi AR004i e AR005). Per quanto riguarda i valori della cernita, la maggior parte dei campioni di sabbia si può definire da discretamente a mediocrementemente classata secondo Folk e Ward (1957). L'asimmetria è quasi sempre positiva, ovvero le sabbie presentano costantemente una coda di sedimento fine (Fig. 6).

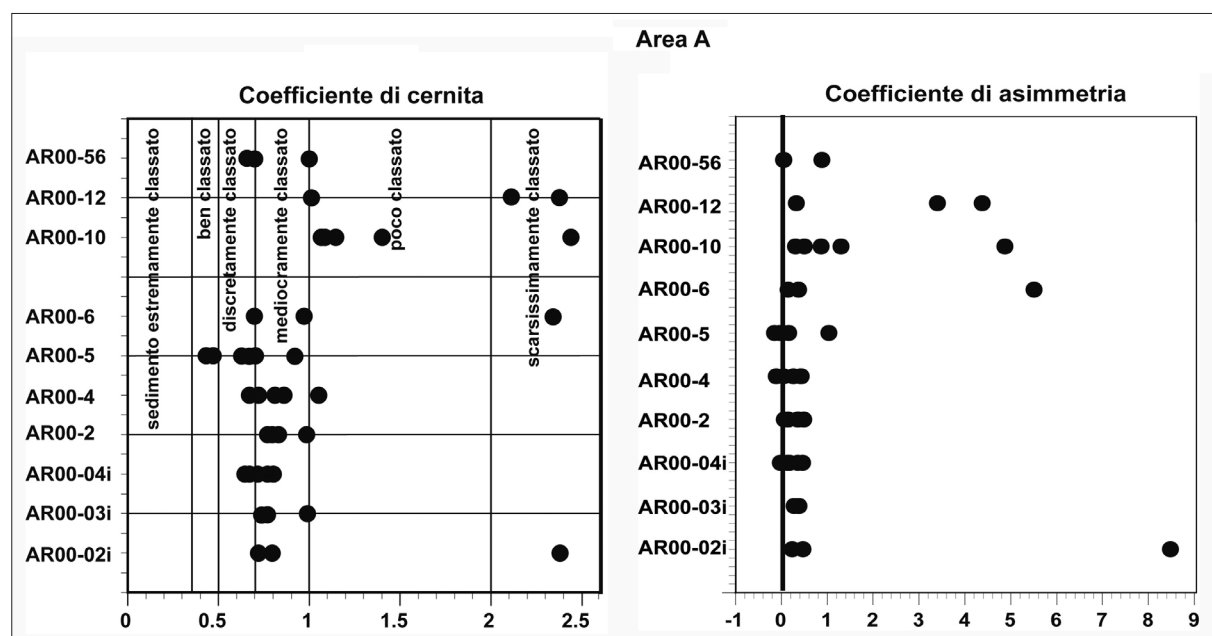


Figura 6 - Grafici dei valori di cernita e asimmetria dei campioni di sabbia prelevati dalle carote nell'area A.

### Interpretazione

La facies sismica semi-trasparente e con una base mal definita è attribuibile a sedimenti prevalentemente sabbiosi. L'alternanza di facies sismiche trasparenti e riflettori molto evidenti sono invece ascrivibili a depositi fini e a livelli torbosi. Nei profili Chirp Sonar si riconoscono quindi corpi piano-convessi, generalmente simmetrici e canalizzati, di dimensioni variabili, riconducibili a barre di foce e/o a canali distributori formati da sabbie che vanno a costituire apparati complessi in aree lagunari.

Nell'area A è stata riconosciuta una successione sedimentaria con tendenza trasgressiva costituita da argille lagunari basali e sabbie di spiaggia chiuse al tetto da argille siltose e sabbiose.

Le sabbie osservate nei vari sondaggi risultano del tutto simili tra loro nella struttura e nella tendenza generale. Le carote raccolte sono caratterizzate al tetto dalla presenza di un'unità a base erosiva e trend *fining-upward* costituita da sabbie bioclastiche. La base erosiva in questione rappresenta la superficie diacrona di *ravinement*, ovvero la superficie che accompagna la migrazione verso terra della barriera trasgressiva durante la risalita del livello del mare. Le sabbie o, piuttosto, i corpi sabbiosi che si trovano al di sotto della *ravinement* sono da considerarsi "relitti d'erosione" di apparati antichi di spiaggia originariamente più sviluppati in senso verticale.

I sedimenti fini che chiudono al tetto la successione e costituiscono un corpo sedimentario tabulare che ricopre rilievi e depressioni, rappresentano la parte più distale del cuneo fangoso di prodelta del Po.

### Area B

#### Dati

L'area B, situata ad una distanza di circa 30 km dalla costa e a 34 m di profondità (Figg. 1 e 3), non presenta una morfologia positiva evidente come le altre zone, ma le isobate si allargano a formare una morfologia piatta. Quest'area è stata scelta come zona di indagine sulla base di dati derivanti da studi stratigrafici condotti per la cartografia geologica marina, nell'ambito dei quali alcuni carotaggi avevano presentato intervalli sabbiosi di granulometria da media a fine (vedi carota RER96-23 Figg. 3 e 7).

Nei profili geofisici si osserva la presenza di un drappeggio trasparente dello spessore di circa un metro con base netta al di sopra di un corpo lenticolare caratterizzato da una facies sismica semi-trasparente piuttosto omogenea (Fig. 7). Nel profilo AR0024, orientato E-W, all'interno del corpo lenticolare alcuni riflettori

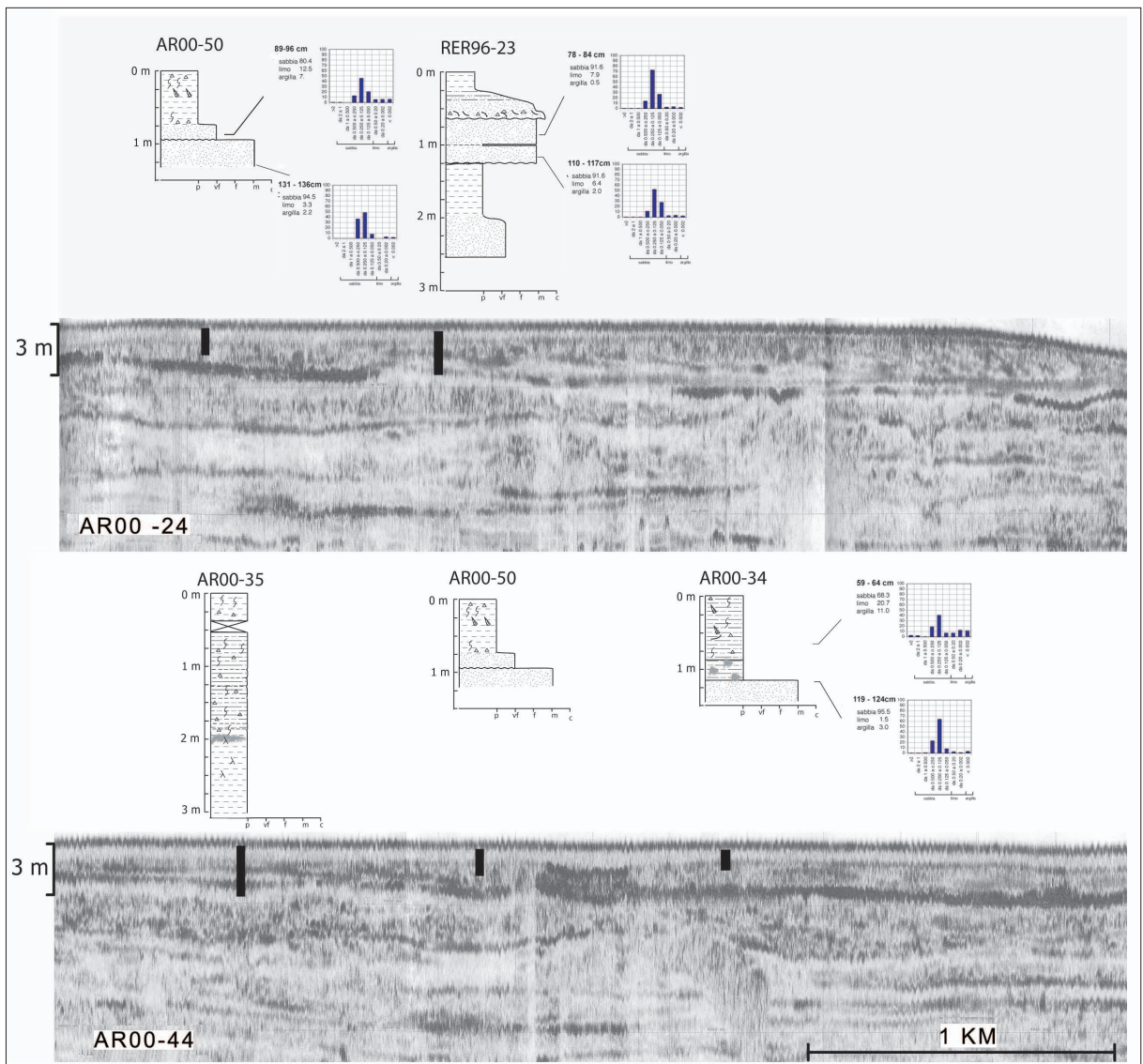


Figura 7 - Profili Chirp sonar (AR0024 e AR0044) nell'area B e carotaggi RER96-23, AR0034, AR00-35, AR00-50 posizionati sul profilo.

sismici descrivono una geometria clinostratificata ben visibile soprattutto alla base del corpo in questione al contatto con i depositi sottostanti di diversa natura.

Nel profilo AR0044, orientato N-S, il corpo lenticolare a facies semi-trasparente presenta un'estensione decisamente più limitata.

Nella porzione inferiore dei profili si osserva un'alternanza di facies sismiche trasparenti e riflettori molto evidenti.

I carotaggi eseguiti nel 2000 hanno recuperato sezioni di sedimento di lunghezza compresa tra 1,3 e 3,6 m, e solo due carote presentano sedimenti sabbiosi : AR00-34 e AR00-50 (Fig. 7).

La carota AR00-34, lunga circa 1,5 m, ha tendenza *fining-upward* e una successione composta da sabbie basali dello spessore di circa 25 cm sormontate da argille siltose, a tratti sabbiose con bioturbazioni, inclusioni di sostanza organica e conchiglie, continue fino al tetto.

Analogamente alla precedente, anche la carota AR00-50 ha tendenza *fining-upward*. La successione è composta da sabbie medie basali, passanti verso l'alto a peliti; il recupero del carotaggio è di circa 1,4 m. La porzione sabbiosa della carota consiste in 40 cm di sabbie da medie a fini contenenti rari bioclasti, separate, attraverso una superficie erosiva, da sovrastanti 30 cm di sabbie fini a tratti siltose, chiuse al tetto da un livello sabbioso molto ricco in tritume conchigliare. La porzione pelitica, che chiude la successione, è formata da silt e argilla fortemente bioturbati e ricchi in conchiglie; lo spessore è di 60 cm circa.

La carota AR00-35 (Fig. 7) è interamente formata da argille e da argille siltose. Il sondaggio recupera una sezione di sedimento lunga 3,4 m, costituita da una porzione basale argillosa, sovraconsolidata e diffusamente ossidata, contenente frustoli vegetali e sostanza organica in aumento verso l'alto; lo spessore è di 140 cm. Una superficie erosiva separa queste argille da sovrastanti alternanze di silt e argille, bioturbate, all'interno delle quali si osserva un aumento di bioclasti verso l'alto. Queste alternanze hanno uno spessore di circa 90 cm e sono sormontate da un intervallo siltoso, a base netta, spesso circa 50 cm, ricchissimo in bioturbazioni e resti conchigliari. La successione è chiusa al tetto da 60 cm di argilla lievemente siltosa contenente frammenti conchigliari e bioturbazioni concentrate nella parte superficiale.

L'analisi granulometrica eseguita sui livelli sabbiosi dei carotaggi AR00-34, AR00-50 e RER96-23 evidenzia la presenza di sabbie da fini a molto fini (Fig. 7). Il diametro medio è di 0,180 mm.

Le sabbie sono da discretamente a poco classate; il coefficiente di asimmetria, nella maggioranza dei casi positivo, evidenzia la presenza nella distribuzione di una coda di materiale fine (Fig. 8).

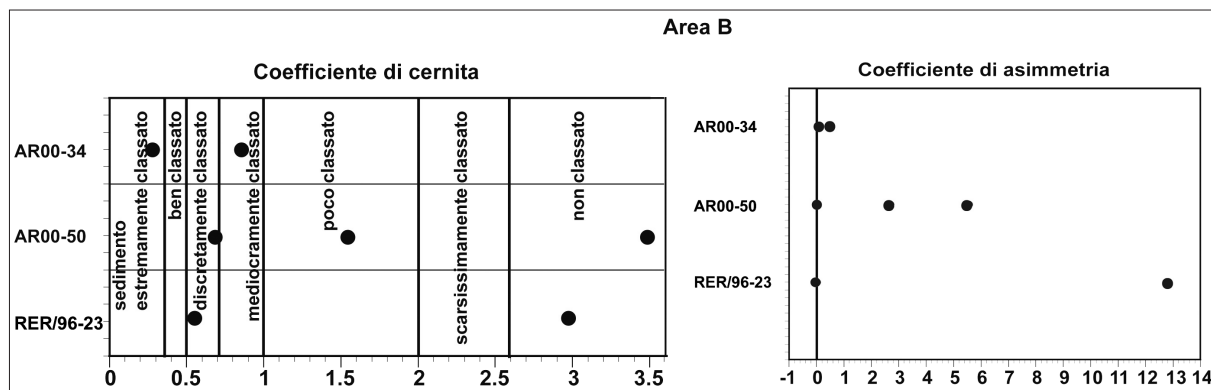


Figura 8 - Grafici dei valori di cernita e asimmetria dei campioni di sabbia prelevati nell'area B.

### Interpretazione

Il corpo lenticolare individuato a circa un metro di profondità dall'interfaccia acqua-sedimento presenta una facies sismica semi-trasparente tipica dei sedimenti sabbiosi (Fig. 7). La clinostratificazione immergente verso E, osservabile nel profilo AR0024, testimonia la progradazione del corpo sedimentario verso il largo. Nella sezione AR0044 la clinostratificazione non è visibile perché il profilo, orientato N-S, è perpendicolare all'immersione degli strati. Nella porzione inferiore la facies sismica, caratterizzata da riflettori molto evidenti, è attribuibile a sedimenti fini.

Le indagini geognostiche (Fig. 7) rilevano la presenza di uno strato di sedimenti fini superficiali: tutte le carote presentano al tetto argille e limi che nella parte più occidentale dell'area B raggiungono anche i 70 cm di spessore.

Anche nell'area B la successione sedimentaria ricostruita sulla base dei carotaggi presenta tendenza trasgressiva.

Le carote AR00-34 e AR00-50 raggiungono i soli 1,5 m di lunghezza e presentano sabbie di spiaggia basali sormontate da argille di prodelta.

La carota AR00-35 di maggiore spessore rispetto alle precedenti (oltre i 3 m), presenta alla base argille sovraconsolidate attribuibili a facies di piana alluvionale. Queste argille compatte sono sormontate da un intervallo di argille siltose di ambiente lagunare, all'interno del quale si osserva in entrambe le carote un aumento verso l'alto della percentuale siltosa e dei bioclasti.

## Aree C1 e C2

### Dati

Le aree C1 e C2 sono collocate su fondali compresi tra 41 e 38 m, circa 60 km al largo della costa emiliano-romagnola (Figg. 1 e 3), il dosso C2 si trova in corrispondenza della linea di delimitazione tra Italia e Croazia della piattaforma continentale, quindi in parte si estende su fondali di pertinenza non italiana.

In Figura 9 il profilo sismoacustico (subbottom 3.5 kHz) CM92-15 mette in evidenza la morfologia a dosso dell'area C1 ed al suo interno, a tre metri di profondità, è visibile un riflettore che delinea la base di una facies sismica semi-trasparente, con un forte mascheramento del segnale, omogenea al suo interno. La continuità laterale del riflettore di base e la natura omogenea e semi-trasparente di questo deposito definiscono un litosoma senza grande variabilità laterale. L'assetto interno appare estremamente omogeneo anche nei profili Chirp Sonar, dove è possibile osservare con chiarezza la chiusura della facies trasparente nel lato a mare dei due rilievi (Figg. 9 e 10). Una situazione del tutto analoga è stata riscontrata anche nell'area C2 (Fig. 11).

Nella zona C1 nessun carotaggio ha raggiunto la base del litosoma con facies sismica trasparente posta a 3 metri di profondità; i recuperi si aggirano sui 1,5 e 2 m e soltanto una carota (AR00-53) supera i 2 m di

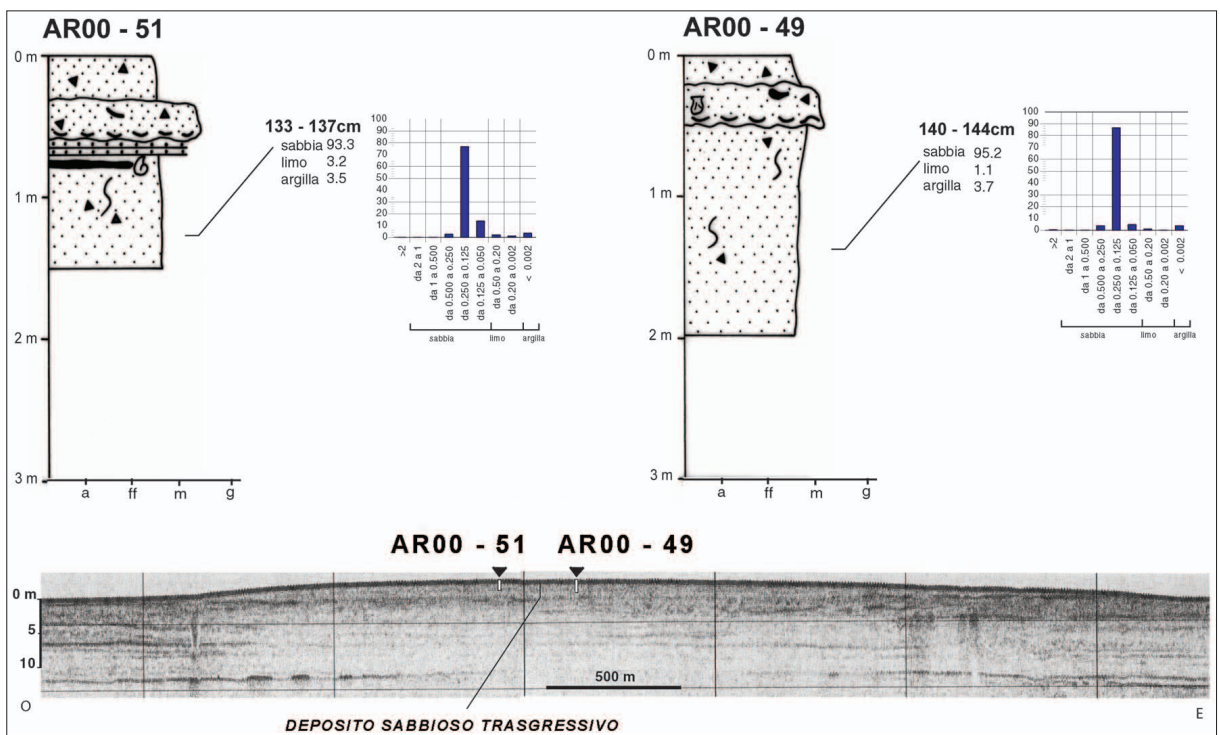


Figura 9 - Profilo Chirp sonar (CM92-15)acquisito nell'area C1.

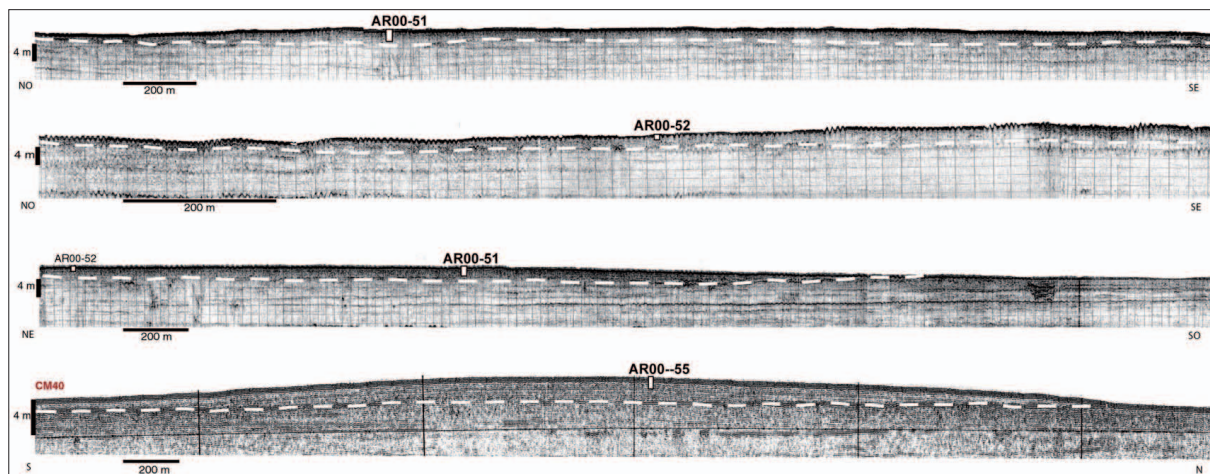


Figura 10 - Profili Chirp Sonar e Subbottom 3,5 kHz acquisiti nell'area C1. Il tratteggio delinea la base del corpo sabbioso.

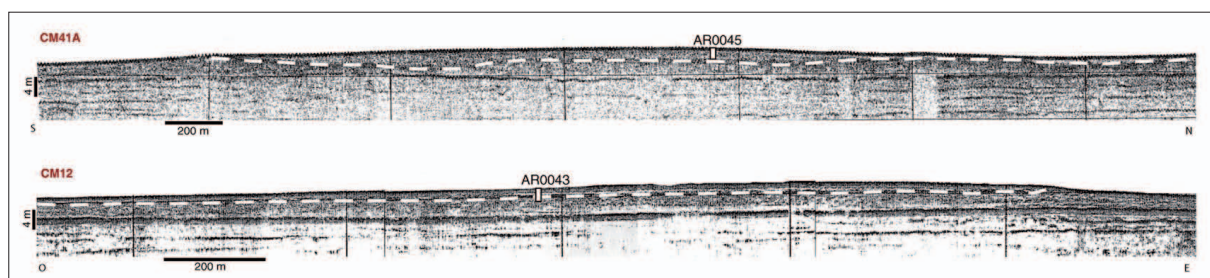


Figura 11 - Profili Chirp Sonar e Subbottom 3,5 kHz acquisiti nell'area C2. Il tratteggio delinea la base del corpo sabbioso.

lunghezza. Le carote AR00-46, AR00-55, AR00-48, AR00-54, AR00-52, AR00-49, AR00-51, (Fig. 12) sono interamente formate da sabbie. In generale, la porzione inferiore della successione portata alla luce è costituita da sabbie fini ben cernite, debolmente bioclastiche. Alla base della carota più lunga, la AR00-53, è presente un'alternanza di livelli argillosi e sabbie fini. La porzione superiore di tutte le carote è costituita da sabbie fini bioclastiche, con base erosiva conchigliare.

Nella Figura 12, le carote correlate nella sezione CC' evidenziano come il dosso C1 sia composto da sabbie omogenee, mentre nella sezione DD', perpendicolare alla sezione CC', il sondaggio AR00-53 permette di osservare come alla base del corpo sabbioso siano presenti alternanze di sabbie e sedimenti fini.

Nella zona C2 alcuni carotaggi si sono spinti al di sotto della base del litosoma sabbioso, recuperando anche 3 m di sedimento (Fig. 13).

Il sondaggio AR0045 è costituito da argille basali a *Cerastoderma* con intercalazioni torbose, sormontate da sabbie fini debolmente bioclastiche, chiuse al tetto da sabbie fini, ricche in bioclasti, con base erosiva conchigliare. Nelle argille basali è stato datato un livello torboso con il metodo del radiocarbonio (AMS) presso il Laboratorio di Livermore in California (Center for Accelerator Mass Spectrometer - Lawrence Livermore National Lab). L'analisi al  $^{14}\text{C}$  ha rilevato un'età di  $9280 \pm 40$  anni BP che, corretti in anni calendario (usando Radiocarbon Calibration Program rev. 4.3 Stuiver and Reimer, 1993) corrispondono ad un range 10488, 10440, 10429 anni BP.

La calibrazione è necessaria perchè la produzione di isotopo radiattivo del carbonio non è rimasto costante nel passato e ricavare un'età apparente dai valori del suo decadimento, senza confrontarlo con una cronologia indipendente (ad esempio la dendrocronologia), ci porterebbe ad ottenere dei risultati molto diversi dalla realtà.

Le carote AR0043 e AR0044 si spingono al di sotto della base del litosoma sabbioso raggiungendo i 3 m di profondità. Entrambi i sondaggi presentano sabbie, basali che passano verso l'alto ad argille con piccole

intercalazioni sabbiose, nella AR0043, e a vere e proprie alternanze di sabbia e argille nella AR0044. Superiormente la successione continua con sabbie fini debolmente bioclastiche, che presentano al tetto sabbie fini ricche in bioclasti con base erosiva conchigliare.

Allo scopo di inquadrare stratigraficamente i depositi sabbiosi, le sezioni AA' e BB' (Fig. 13) dell'area C2 correlano carotaggi relativi alla campagne del 2000 (codificati con il prefisso AR00) e carotaggi precedentemente eseguiti da ISMAR-CNR (CM92/14, CM95/18 e CM95/17).

I depositi lagunari datati nel carotaggio CM95-17 risultano essere più antichi, corrispondenti ad ambienti costieri depositatisi durante una fase precedente di risalita del livello marino.

Dal punto di vista granulometrico, tutti i carotaggi tranne uno (AR00-45) hanno recuperato sabbie fini da discretamente a ben classate con coefficiente di asimmetria nella maggioranza intorno allo zero o positivo (Figg. 12, 13 e 14). La frazione superiore ai 2 mm è interamente composta dai bioclasti (scheletro negli istogrammi) che formano il livello conchigliare (rs).

Nell'area C1 i valori del granulo medio sono più omogenei, i sedimenti sono ben classati ed i valori del coefficiente di asimmetria riportano una distribuzione debolmente positiva (Fig. 14). L'unico carotaggio ST3 bis raccolto nel 1984 nell'area C1, durante una precedente campagna effettuata da IDROSER S.p.A, aveva già evidenziato le stesse caratteristiche tessiturali (IDROSER, 1985).

Nell'area C2 il granulo medio presenta valori più variabili, i sedimenti sono discretamente classati ed i coefficienti di asimmetria sono positivi.

Dal confronto tra le due aree possiamo affermare che mediamente le caratteristiche tessiturali sono migliori nell'area C1.

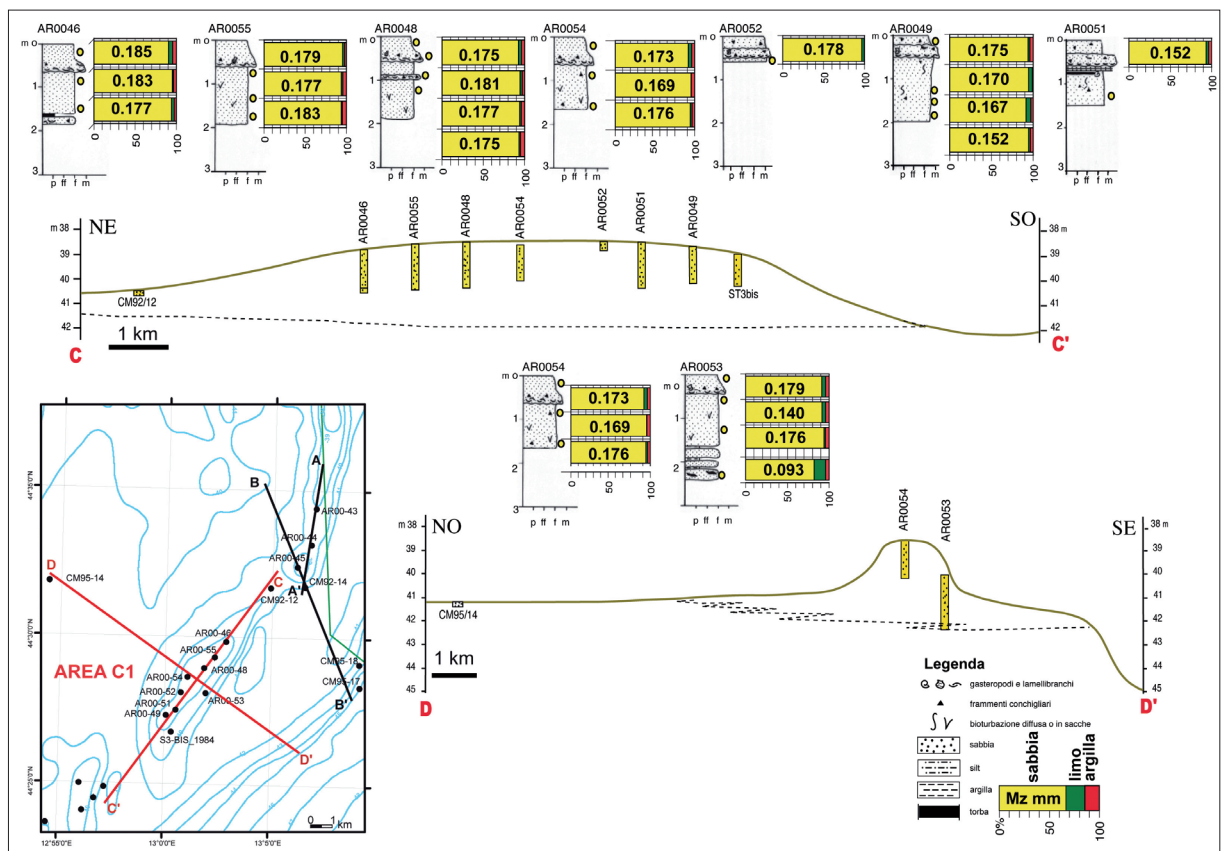


Figura 12 - Colonne stratigrafiche di alcuni carotaggi eseguiti nell'area C1. Diagrammi delle percentuali sul peso secco di sabbia, limo e argilla; è riportata in aggiunta la media grafica (Mz) in mm per ogni campione analizzato. CC' e DD': sezioni stratigrafiche ricostruite sulla base dei carotaggi. Nella mappa sono riportate le tracce delle due sezioni ricostruite, l'ubicazione dei carotaggi.

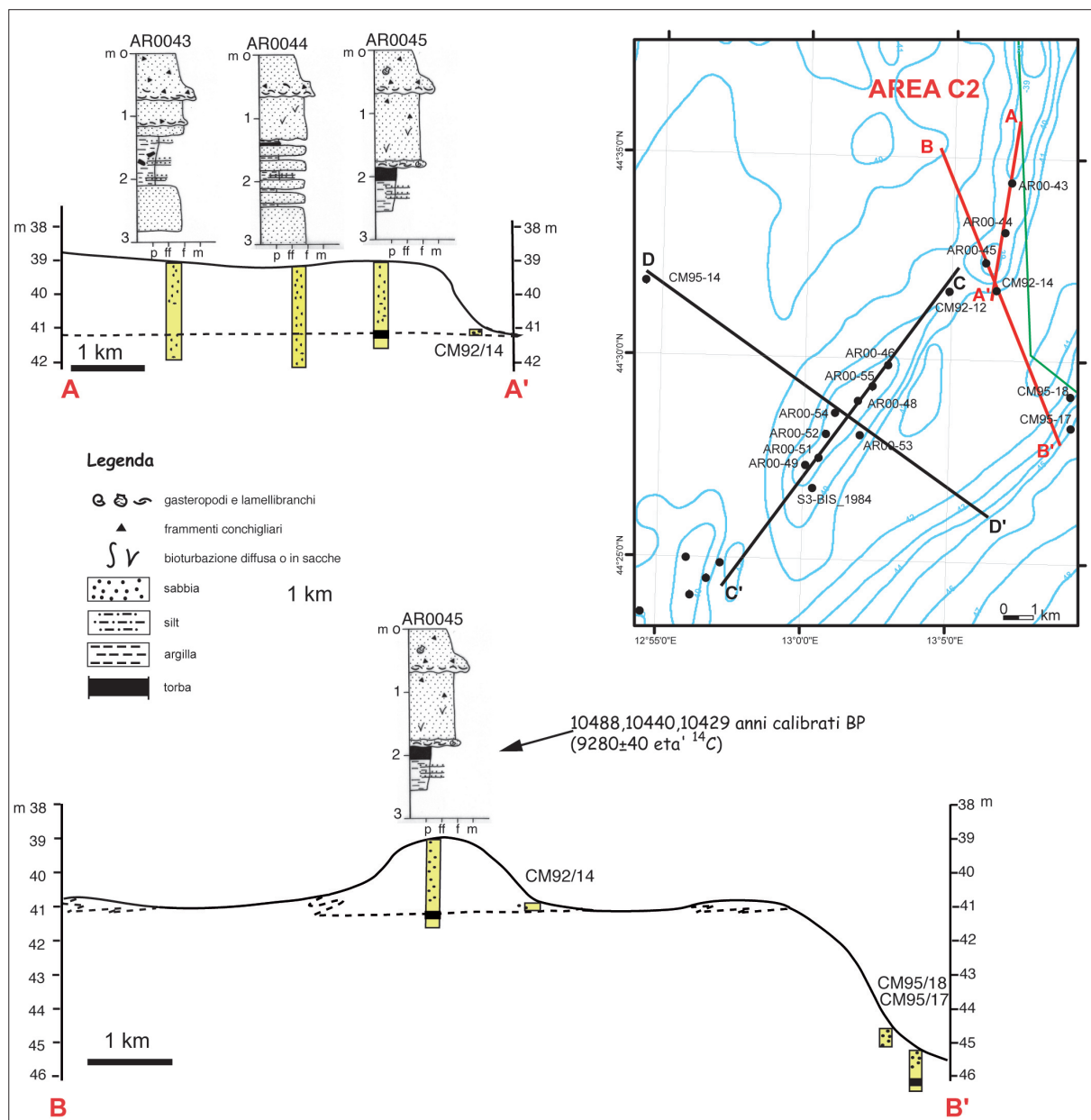


Figura 13 - Colonne stratigrafiche di alcuni carotaggi eseguiti nell'area C2. Datazione di un campione prelevato all'interno di un livello torboso nella carota AR0045. AA' e BB': sezioni stratigrafiche ricostruite sulla base dei carotaggi. Nella mappa sono riportate le tracce delle due sezioni e l'ubicazione dei carotaggi.

### Interpretazione

Con i profili sismoacustici acquisiti nelle aree C1 e C2 è stato possibile riconoscere preliminarmente la presenza di due accumuli sabbiosi e definirne la forma geometrica. Analogamente a quanto riscontrato nell'area A, in entrambe le aree la geofisica evidenzia la presenza di corpi piano-convessi, caratterizzati da una facies sismica semi-trasparente di natura sabbiosa, come confermato successivamente dalla geognostica, delimitata alla base (a tre metri di profondità) da un riflettore con continuità laterale. A differenza di quanto osservato nell'area A, la base ben definita e la litologia omogenea definiscono due litosomi senza grande variabilità laterale.

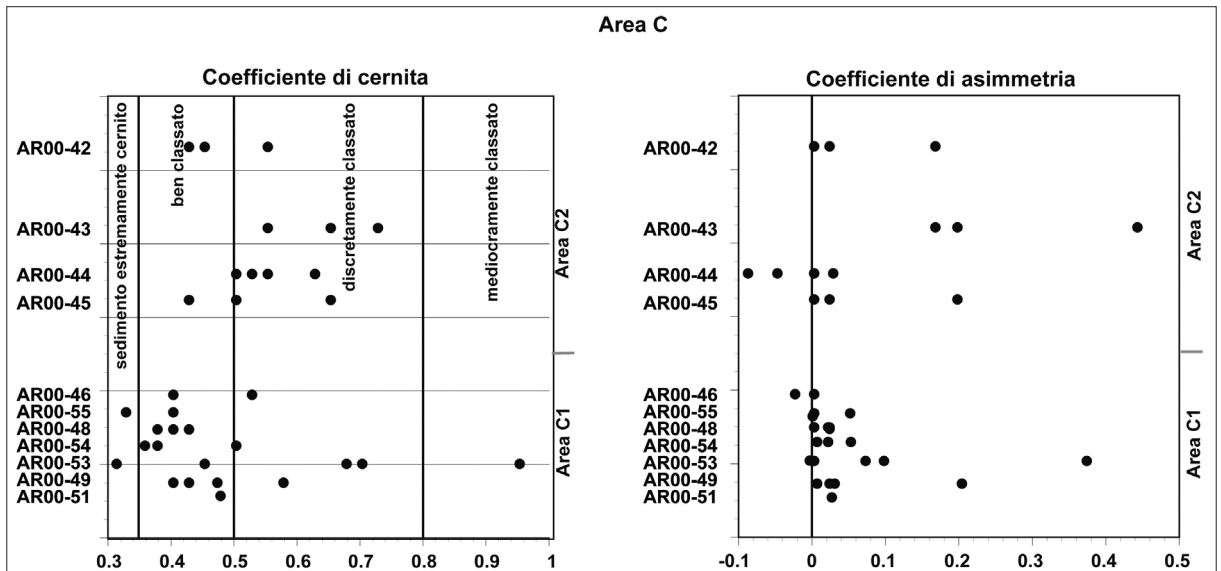


Figura 14 - Grafici dei valori di cernita e asimmetria presentati dei campioni prelevati nelle aree C1 e C2.

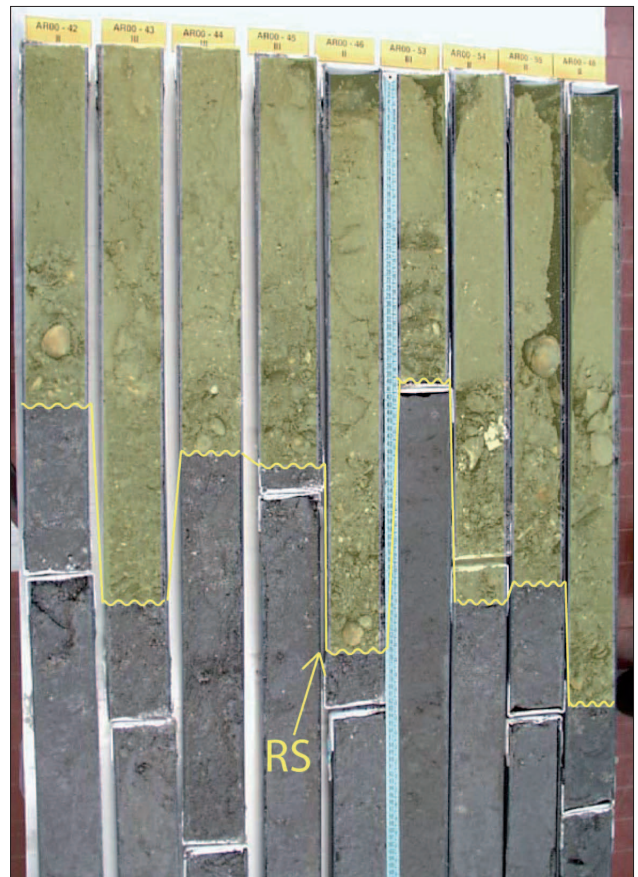
Attraverso le indagini geognostiche, nelle aree C1 e C2 è stata ricostruita una successione sedimentaria con tendenza trasgressiva costituita da argille lagunari basali, contenenti faune a Cerastoderma ed intercalazioni torbose, e sabbie fini e ben classate di spiaggia sommersa, chiuse al tetto da un'unità a base erosiva formata da sabbie bioclastiche.

Nell'area C2, le due carote (AR0043 e AR0044) spinte a maggiori profondità rispetto alle altre presentano alla base sabbie di ambiente continentale attribuibili a facies di riempimento di canale fluviale.

La superficie erosiva che separa le sabbie bioclastiche superficiali dalle sabbie fini sottostanti è del tutto analoga a quella osservata nell'area A ed è attribuibile alla superficie di *ravinement* (Fig. 15). Anche in questo caso, le sabbie che si trovano al di sotto della *ravinement* sono da considerarsi appartenenti a "relitti d'erosione" di apparati antichi di spiaggia, originariamente più sviluppati in senso verticale.

A causa della considerevole distanza che separa le aree C1 e C2 dal prodelta fangoso del Po, i sedimenti fini tardo-olocenici di stazionamento alto non ricoprono questi rilievi e, per questo motivo, le sabbie bioclastiche trasgressive affiorano all'interfaccia acqua-sedimento.

Figura 15 - Esempio di come appare la superficie di *ravinement* (la linea gialla) in alcune carote eseguite nelle aree C1 e C2. Con il colore giallo è evidenziata l'unità sabbiosa superficiale ricca in bioclasti. Al di sotto della superficie di *ravinement* si osservano le sabbie "relitte".





## Conclusioni

I dati raccolti a partire dagli anni 80 da Idroser davanti alla costa della Regione Emilia-Romagna e quelli derivanti dalle ricerche effettuate da ISMAR-CNR, Sede di Bologna, hanno portato all'individuazione di una serie di giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico settentrionale. Nel 2000 le ricerche di dettaglio condotte per l'individuazione dell'area di prelievo delle sabbie destinate al primo intervento di ripascimento regionale, si sono concentrate in particolare su 4 aree denominate convenzionalmente A, B, C1 e C2 (Fig. 1).

Sulla base dei profili sismoacustici e dei carotaggi è stata ricostruita la mappa degli spessori dei depositi sabbiosi riportata in Figura 16.

Nell'area A, a 34 m di profondità, la ricerca ha interessato un dosso sabbioso ricoperto da una coltre pelitica dello spessore di poche decine di centimetri. La mappa degli spessori (Fig. 16) evidenzia un depocentro nella parte meridionale dell'area A con una piccola appendice isolata ad est e, nella parte centrale, una stretta dorsale allungata. In direzione est-ovest il deposito sabbioso, con spessore superiore al metro, si restringe fino a 200 m in larghezza. Gli spessori in tutta l'area A, posta su fondali di 34 m, non superano mai i 2,5 m e in totale è stata stimata la presenza di un volume di sabbia pari a circa 4 milioni di m<sup>3</sup>, distribuito su una superficie di circa 5,5 km<sup>2</sup> (Fig. 16; Tab. 4).

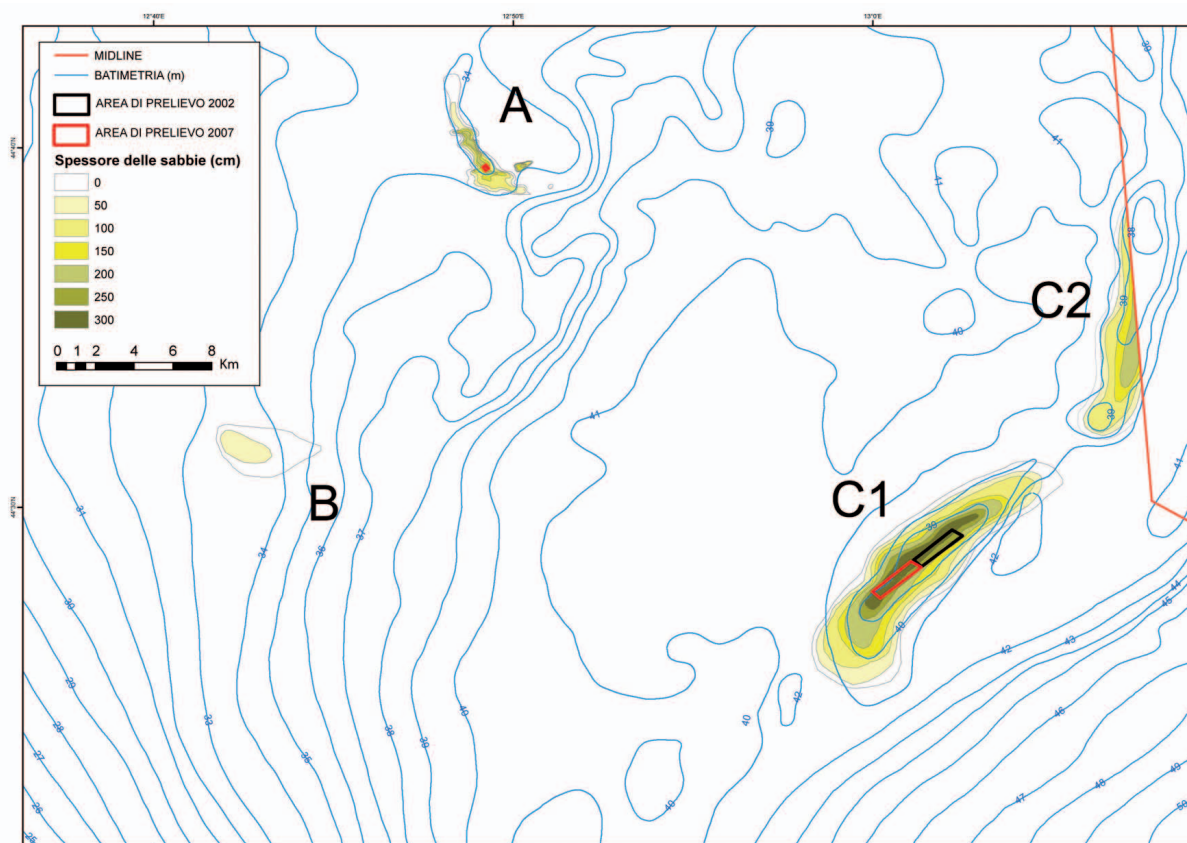


Figura 16 - Mappa degli spessori degli accumuli sabbiosi nelle aree A, B, C1 e C2.

Nell'area B, posta a 34 m di profondità, è stato individuato un livello di circa 1 m di sabbia fine, ricoperto da argille di prodelta che raggiungono lo spessore di 70 cm. Nell'area è stata stimata la presenza di 2,8 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia su una superficie di circa 7 km<sup>2</sup> (Fig. 16; Tab. 4)

I dossi C1 e C2 sono collocati a profondità comprese tra 38 e 41 m. Nell'area C1 si rilevano spessori maggiori (>3 m) che nell'area C2; quest'ultimo, inoltre, è posizionato in corrispondenza della linea di delimitazione della piattaforma continentale tra Italia e Croazia.

Nell'area C1 è stata stimata la presenza di 55 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia distribuita su circa 39 km<sup>2</sup> di superficie. La porzione del dosso C2 che ricade nei fondali di pertinenza italiana è estesa circa 16 km<sup>2</sup> e in essa sono presenti circa 14 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia (Fig. 16; Tab. 4).

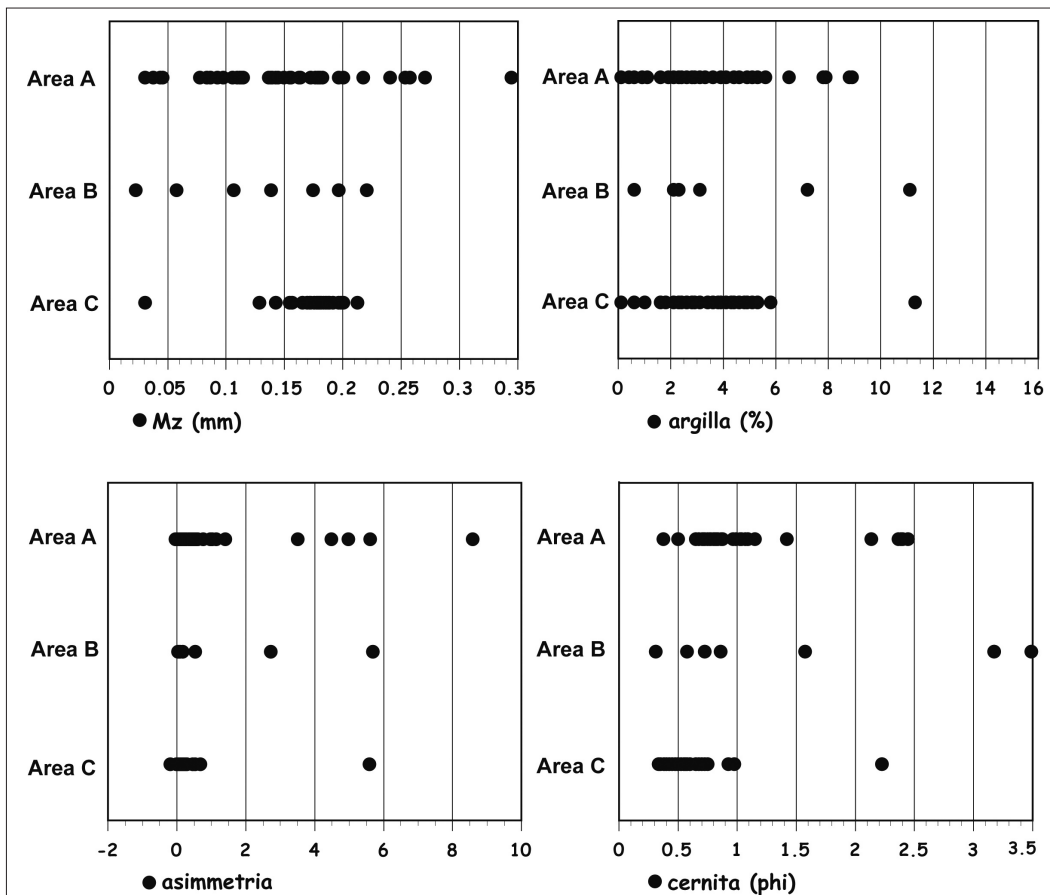
**Tabella 4 - Granulometria e volumi di sabbia presente ed estraibile. Estensione e distanza dalla costa dei giacimenti A, B, C1 e C2.**

Area	Mz (mm)	Classe granulometrica	Volume di sabbia presente (Mm <sup>3</sup> )	Volume di sabbia estraibile (Mm <sup>3</sup> )	Superficie del giacimento (km <sup>2</sup> )	Distanza dalla costa (km)
A	0,177	Sabbia fine	3,97	2,32	5,44	46
B	0,180	Sabbia fine	2,82	1,80	7,18	33
C1	0,171	Sabbia fine	55,18	39,53	39,09	57
C2	0,175	Sabbia fine	16,21	10,56	14,35	70
		Totale	78,18	54,21	-	-

L'analisi delle caratteristiche sedimentologiche e tessiturali (Fig. 17) delle sabbie presenti nei depositi transgressivi rinvenuti nelle aree appena descritte ha portato a privilegiare le aree C1 e A, ed in particolare la porzione centrale dei due dossi, come aree migliori per il prelievo di sabbia da destinare ai ripascimenti poi effettuati nel 2002 e nel 2007 (Fig. 16).

Le caratteristiche che hanno portato a privilegiare l'area C1 rispetto alle altre sono:

- il diametro medio (Mz) ha valori più omogenei rispetto a quello delle aree A e B ed è compreso fra 0,125 mm a 0,215 mm (Fig. 17);



**Figura 17 - Confronto dei parametri granulometrici e delle percentuali di argilla nelle aree considerate nell'indagine.**

- il contenuto in argilla non supera il 6% , ad esclusione di un campione, mentre nelle altre aree arriva anche all'11,5%;
- il coefficiente di asimmetria si mantiene su valori prossimi allo zero; il che significa la quasi assenza di code fini nella distribuzione granulometrica;
- il coefficiente di cernita presenta valori bassi e con scarsa variabilità.

Anche se la densità di dati nell'area C1 non è ottimale, dall'analisi delle caratteristiche granulometriche e delle geometrie del deposito si può evincere che:

- l'area C1 è quella che presenta un deposito sabbioso che si estende omogeneamente per una vasta area e non è drappeggiato da depositi argillosi di prodelta;
- le sabbie anche se fini sono ben classate e relativamente povere in matrice argillosa;
- lo spessore del deposito sabbioso raggiunge i 3 m.

Il corpo sabbioso dell'area A è stato scelto come area idonea al prelievo per i seguenti motivi:

- presenta una buona densità di dati;
- la cresta del dosso è alla profondità di soli 34 m;
- il dosso è relativamente prossimo alla costa regionale: 46 km;
- la granulometria delle sabbie ha valori superiori rispetto alle altre aree indagate: 0,18-0,22 mm;
- lo spessore del deposito sabbioso raggiunge i 2,5 m.

I valori del diametro medio ( $M_z$ ) delle sabbie individuate come cava di prestito a mare sono compatibili con i valori dei sedimenti di battigia e della spiaggia sommersa nei tratti tra Lido di Volano e Cesenatico e tra Cesenatico e Cattolica. Nel tratto della costa regionale più settentrionale sono riportati, per l'anno 1993, valori di  $M_z = 0.20$  mm alla battigia e  $M_z = 0.17$  mm a  $-1$  m; per il tratto più meridionale si riportano valori di  $M_z = 0.17$  mm sia alla battigia che ad un metro di profondità (AA. VV. IDROSER Spa, 1996).

In base alle considerazioni sopraesposte e considerando il volume di sabbia da prelevare previsto dai progetti d'intervento del 2002 e del 2007, sono state scelte due aree adiacenti di forma rettangolare collocate al centro del dosso C1, rispettivamente delle dimensioni di 2000 m per 500 m e di 1900 m per 500 m, e un'area posizionata sul dosso A, lunga 500 m e larga 380 m (Fig. 16).

Dall'area C1 sono stati estratti, circa 1.500.000 m<sup>3</sup> di sabbia che sono stati utilizzati per entrambi gli interventi di ripascimento, mentre dall'area A sono stati prelevati circa 200.000 m<sup>3</sup> di materiale nell'ambito del ripascimento del 2007 delle spiagge di Lido di Dante e Punta Marina.

Contributo ISMAR-CNR n. 1650

## Bibliografia

- 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., Cibin U., Zuffa G.G., Dinelli E. (1999) - *Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000*: Foglio 223 Ravenna, pp. 144.
- Amorosi A., Centineo M.C., Colalongo M.L., Pasini G., Sarti G., Vaiani S.C. (2003) - *Facies architecture and La test Pleistocene-Holocene Depositional History of the Po Delta (Comacchio Area), Italy*. The Journal of Geology, 111: 39-56.
- Amorosi A., Centineo M.C., Colalongo M.L., Fiorini F. (2005) - *Millennial-scale depositional cycles from Holocene of the Po plain, Italy*. Marine Geology, 222-223: 7-18.
- Antonioli F., Lambeck K., Amorosi A., Belluomini G., Correggiari A., Devoti S., Demuro S., Monaco C., Marocco R., Pagliarulo R., Orrù P., Silenzi S. (2004) - *CLIMEX Maps of Italy*. In: F. Antonioli, C. Margottini, G.B. Vai Eds, Litho-palaeoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes 1:1,000,000. Lac, Firenze, 23/14-15: 1567-1598.
- Asioli A., Trincardi F., Lowe J.J., Ariztegui D., Langone L., Oldfield F. (2001) - *Sub-millennial climatic oscillations in the Central Adriatic during the last deglaciation: paleoceanographic implications*. Quaternary Science Reviews, 20/11: 33-53.
- ARPA-Regione Emilia-Romagna (2001) - *Relazione Specialistica. Progetto esecutivo. Ricerca e individuazione dell'area di prelievo in mare. Intervento di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine*, pp. 43.
- ARPA-Regione Emilia-Romagna (2006) - *Relazione specialistica. Progetto esecutivo. Individuazione dell'area di*

- prelievo in mare. interventi di messa in sicurezza di taluni tratti critici del litorale emiliano-romagnolo, interessati da erosione e subsidenza, mediante ripascimento con sabbie sottomarine.* pp. 32.
- Belknap D.F. e Kraft (1981) - *Preservation potential of transgressive coastal lithosomes on the U.S. Atlantic shelf.* Mar. Geol., 42: 429-442.
- Brambati A. e Venzo G.A. (1967) - *Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste.* Studi Trentini Scienze Naturali, 44: 202-274.
- Brambati A., Bregant D., Lenardon G., Stolfa D. (1973) - *Transport and sedimentation in the Adriatic Sea.* Museo Friulano St. Nat., 20:1-160.
- Bondesan M., Favero V, Vinals M.J. (1995) - *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene.* quaternary international., 29-30: 105-110.
- BEACHMED-e (2006) - *Operazione Quadro Regionale, La gestione strategica della difesa dei litorali per uno sviluppo sostenibile delle zone costiere del Mediterraneo.* Sito internet: <http://www.beachmed.it>
- Catalano, R., Di Stefano, E., Infuso, S., Sulli, A., Vitale, F.P. and Vail, P.R. (1998) - *Sequence and systems tracts calibrated by high-resolution bio-chronostratigraphy: the central Mediterranean Plio-Pleistocene record.* In: Mesozoic-Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins, SEPM Spec. Publ., 60: 157-179.
- Cattaneo A. e Trincardi F. (1999) - *The late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning.* In: Bergman, K.M., Snedden, J.W. (Eds.), *Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic Analysis and sedimentologic Interpretation.* SEPM Special Publication, 64: 127-146.
- Cattaneo A e Steel R.J. (2003) - *Transgressive deposits: a review of their variability.* Earth Science Reviews 62: 187-228.
- Cattaneo A., Correggiari A., Langone L., Trincardi F. (2003) - *The Late-Holocene Gargano subaqueous delta, Adriatic shelf: sediment pathways and supply fluctuations.* Marine Geology, 193: 161-191.
- Cattaneo A., Trincardi F., Langone L. Asioli A. e Puig P. (2004) - *Clinoform generation on Mediterranean margins,* Oceanography, 17 4:104-117.
- Cattaneo A, Trincardi F, Asioli A, Correggiari A. (2007) - *The western adriatic shelf clinoform: Energy-limited bottomset.* Continental Shelf Research, 27 (3-4): 506-25.
- Colantoni P., Gallignani 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., Carra D., Penitenti D., Preti M. e Trincardi F. (2002) - *Offshore sand for beach restoration: North Adriatic shelf examples.* In *Erosion littorale en Méditerranée occidentale :dynamique, diagnostic et remèdes.* CIESM [www.ciesm.org/publications/Tanger02.pdf](http://www.ciesm.org/publications/Tanger02.pdf), Workshop n. 18: 79-82.
- 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.
- 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.
- Fabbi A., Argnani A., Bortoluzzi G., Correggiari A., Gamberi F., Ligi M., Penitenti D., Roveri M., e Trincardi F. (2001) - *Note Illustrative della Cartografia Geologica dei mari italiani scala 1:250.000: Foglio NL*

## 33-10 Ravenna.

- Fairbanks R.G. (1989) - *A 17,000-year glacio-eustatic sea level record-influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-sea circulation*. Nature, 342: 637-642.
- Fairbanks R.G. (1990) - *The age and origin of the Younger Dryas climate event in Greenland ice core*. Paleoceanography, 5: 937-948.
- Fairbridge R.W. (1961) *Eustatic changes in sea level*. In: *Physics and chemistry of the earth*, 4: 99-185 Fischer A.G. (1961) - *Stratigraphic record of transgressing seas in light of sedimentation on Atlantic coast of New Jersey*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 45: 1656-1666.
- 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.
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A. e Silenzi S. (2004) *Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs*. Quat.Sc. Rev., 23: 1567-1598.
- Malanotte Rizzoli P. e Bergamasco A. (1983) - *The dynamics of the coastal region of the northern Adriatic Sea*. Journal of Physical Oceanography, 13: 1105-1130.
- Nummendal D. e Swift D.J.P. (1987) - *Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous example*. In Nummendal D., Pilkey O.H., Howard S.D., (Eds.), *Sea level fluctuation and Coastal Evolution*. SEPM Special Publication, 41: 241-260.
- Ori, G.G., Roveri, M., Vannoni F. (1986) - *Plio-Pleistocene sedimentation in the Apenninic-Adriatic foredeep (Central Adriatic sea, Italy)*. In: Allen, P.A., Homewood, P., (Eds.), *Foreland Basins*. IAS Special Publication, 8: 183-198.
- 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. (1999) - *The Holocene transgression and the land-sea interaction south of the Po delta*. Giorn. Geol., 61.
- Preti M. (2002) - *Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna*. Studi costieri, 5: 107-134.
- Rizzini A. (1974) - *Holocene sedimentary cycle and heavy mineral distribution, Romagna-Marche coastal plain, Italy*. Sedimentary Geology, 11: 17-37.
- Sanders J.E. e Kumar N. (1975) - *Evidence of shoreface retreat and in-place "drowning" during Holocene submergence of barriers, shelf off Fire Island, New York*. Geol. Soc. Am. Bull. 86: 65-76.
- Stefani M. e Vincenzi S. (2005) - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. Marine Geology, 222-223: 19-48.
- Storms J.E.A., Weltje G.J., Terra 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 Science Reviews, 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.
- 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.
- Trincardi F., Cattaneo A., Asioli A., Correggiari A., Langone L. (1996) - *Stratigraphy of the late-Quaternary deposits in the central Adriatic basin and the record of short-term climatic events*. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 55: 39 - 70.
- Walker R.G. (1992) - *Facies models and modern stratigraphic concepts*. In: Walker R.G., Jans N.P. (Eds.), *Facies Models-Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada Publications: 1-14.

Ricevuto il 25/11/2009, accettato il 02/08/2010.