



Accordo di collaborazione con ARPA FVG per un
progetto di ricerca e studio sedimentologico -
geochimico delle aree barenicole della laguna di
Marano e Grado
d.d. 20 aprile 2012



RELAZIONE FINALE

Responsabili scientifici:

Stefano Covelli
Giorgio Fontolan

Gruppo di lavoro:

Anelore Bezzi
Andrea Emili
Davide Martinucci
Elisa Pellegrini
Simone Pillon
Chiara Popesso

Il gruppo di lavoro del DMG:

Prof. Giorgio Fontolan (resp. scientifico) _____

Dott. Stefano Covelli (resp. scientifico) _____

Dott.ssa Annelore Bezzi

Dott. Andrea Emili

Dott. Davide Martinucci

Dott.ssa Elisa Pellegrini

Dott. Simone Pillon

Dott.ssa Chiara Popesso

Dipartimento di Matematica e Geoscienze (DMG)

Università degli Studi di Trieste

Comprensorio San Giovanni

Via Weiss, 2

34128 Trieste

tel. +39 040 558 2036 – fax. +39 040 558 2048

E-mail : fontolan@units.it; covelli@units.it

Foto di copertina: Antonella Triches

INDICE

PREMESSA	7
----------	---

PARTE I ATTIVITÀ IN AREE CAMPIONE

1. ATTIVITÀ IN AREE CAMPIONE **11**

1.1 Scelta delle aree campione	11
1.2 Attività di rilievo topografico	12
1.3 Rilievo della vegetazione, prelievo dei sedimenti e delle alofite e analisi di laboratorio	16
1.3.1 Rilievo della vegetazione	17
1.3.2 Prelievo delle specie alofile	17
1.4 Analisi di laboratorio	19
1.4.1 Preparazione dei campioni di sedimento	19
1.4.2 Preparazione dei campioni vegetali	20
1.4.3 Analisi granulometriche	21
1.4.4 Analisi dell'azoto e del carbonio nei sedimenti	22
1.4.5 Analisi del contenuto in mercurio nei sedimenti e nei vegetali	23
1.4.6 Analisi del contenuto in metilmercurio nei vegetali	24
1.4.7 Calcolo dei fattori di arricchimento (EF) e di bioconcentrazione (BF)	25
1.4.8 Elaborazioni statistiche	25

2. ASPETTI MORFOLOGICI, EVOLUTIVI, SEDIMENTOLOGICI E VEGETAZIONALI DELLE AREE CAMPIONE **27**

2.1 Morfologia ed evoluzione delle barene nelle aree campione	27
2.1.1 Area campione M1B	27
2.1.2 Area campione M2B	28
2.1.3 Area campione M3B	29
2.1.4 Area campione M4B	31
2.1.5 Area campione M5B	32
2.1.6 Area campione M6B	33
2.1.7 Area campione M7B	35
2.1.8 Area campione G1B	36

2.1.9 Area campione G2B	37
2.1.10 Area campione G3B	38
2.1.11 Area campione G4B	39
2.1.12 Area campione G5B	41
2.1.13 Area campione G6B	42
2.2 Rilievi fitosociologici e biomassa vegetale	44
2.3 Caratteristiche granulometriche dei sedimenti	45
2.4 Contenuto in carbonio e azoto dei sedimenti	46
3. IL MERCURIO NELLE AREE CAMPIONE	49
3.1 Il mercurio in Laguna di Marano e Grado: origine e distribuzione	49
3.2 Il mercurio nei sedimenti delle barene	51
3.3 Confronto fra le sequenze sedimentarie delle barene M5B e G1B	52
3.3.1 Profili dei radionuclidi, tassi di sedimentazione e geocronologia	52
3.3.2 Profili del mercurio	54
3.4 Il mercurio nelle alofite	55
3.5 Il metilmercurio nelle alofite	61
3.6 Fattore di arricchimento (EF) e fattore di bioconcentrazione (BF)	62
PARTE II ANALISI A MACROSCALA	
4. EVOLUZIONE MORFOLOGICA DELLE BARENE A MACROSCALA	67
4.1 Strumenti utilizzati	67
4.2 Metodo di analisi	69
4.3 Gli interventi antropici diretti	77
4.4 Analisi delle dinamiche in atto nei singoli bacini	82
4.4.1 Bacino di Lignano	83
4.4.2 Bacino di S. Andrea	85
4.4.3 Bacino di Buso	85
4.4.4 Bacino di Morgo	86
4.4.5 Bacino di Grado	87
4.4.6 Bacino di Primero	87

5. LA GESTIONE DELLE BARENE: REVISIONE BIBLIOGRAFICA	89
5.1 Introduzione	89
5.2 “Do nothing”	93
5.3 Tecniche per la gestione dei fenomeni erosivi e deposizionali	94
5.3.1 Piantumazione	94
5.3.2 Sedimentation fences (fascinate di sedimentazione)	97
5.3.3 Difesa dei margini	103
5.3.4 Tecniche che prevedono l’aggiunta di sedimento nel sistema	106
5.4 Creazione di nuove barene nel bacino o verso l’entroterra	113
5.4.1 Managed Realignment	113
5.4.2 L’abbandono controllato (forma alternativa di riallineamento)	113
5.4.3 Regulated Tidal Exchange (RTE) systems	116
5.4.4 Creazione di barene artificiali all’interno del bacino preesistente	119
6. LA GESTIONE DELLE BARENE: PRIME LINEE GUIDA PER LA LAGUNA DI MARANO E GRADO	121
6.1 Principi base	121
6.2 Individuazione delle criticità e degli elementi di forza	123
6.3 Strategie e tecniche possibili	125
6.3.1 Strategie di intervento	125
6.3.2 Applicazione ai contesti evolutivi individuati	127
6.4 La ricostruzione di barene	130
6.5 Riutilizzo di sedimenti contaminati da mercurio per il ripristino degli ambienti a barena	131
7. STRUTTURA DEI DATI	135
BIBLIOGRAFIA	145
ALLEGATI	
ALLEGATO 1: Classi vegetazionali rilevate	
ALLEGATO 2: Dati chimico-fisici relativi ai campioni d’acqua	

ALLEGATO 3: Mercurio in sedimenti e radici e metilmercurio nei vegetali

ALLEGATO 4: Mercurio e metilmercurio in fusti e foglie

ALLEGATO 5a: Frequenze delle classi granulometriche

ALLEGATO 5b: Classificazione granulometrica dei sedimenti

ALLEGATO 6: Azoto, carbonio totale e carbonio organico nei sedimenti

ALLEGATO 7: Percentuali di mercurio stoccato nei diversi organi della pianta

ALLEGATO 8: Fattore di arricchimento (EF)

ALLEGATO 9: Fattore di bioconcentrazione (BF)

TAVOLE

TAVOLA 1.1: Dinamica evolutiva delle barene 1990 – 2006 scala 1:10000

TAVOLA 1.2: Dinamica evolutiva delle barene 1990 – 2006 scala 1:10000

TAVOLA 1.3: Dinamica evolutiva delle barene 1990 – 2006 scala 1:10000

TAVOLA 1.4: Dinamica evolutiva delle barene 1990 – 2006 scala 1:10000

TAVOLA 2.1: Dinamica evolutiva delle barene 1954 – 1990 scala 1:10000

TAVOLA 2.2: Dinamica evolutiva delle barene 1954 – 1990 scala 1:10000

TAVOLA 2.3: Dinamica evolutiva delle barene 1954 – 1990 scala 1:10000

TAVOLA 2.4: Dinamica evolutiva delle barene 1954 – 1990 scala 1:10000

TAVOLA 3: Dinamica evolutiva delle barene a livello di gruppo 1954 – 2006 scala 1:25000

PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di illustrare l'attività svolta dal Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste in seguito all' *"Accordo di collaborazione per un progetto di ricerca e studio sedimentologico-geochimico delle aree barenicole della Laguna di Marano e Grado"*, stipulato in data 20 aprile 2012 con l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG).

Le attività svolte possono essere distinte in due parti fondamentali che si sono poste l'obiettivo dello studio delle barene, affrontandolo con approcci metodologici e scale di lavoro molto diverse.

Una prima parte del lavoro (PARTE I) riguarda infatti una serie di attività e analisi svolte in aree campione opportunamente scelte in Laguna di Marano e Grado con lo scopo di approfondire la conoscenze delle barene in merito a differenti aspetti, in particolare:

- rilievo morfologico e topografico (13 aree campione) con lo scopo di migliorare le conoscenze delle caratteristiche morfologiche ed evolutive delle barene;
- rilievi fitosociologici e della biomassa vegetale (5 aree campione) al fine di evidenziare i diversi sintaxa della vegetazione alofila, cioè gli areali di distribuzione delle unità vegetazionali, che si distinguono non tanto dalla presenza-assenza delle singole specie quanto, piuttosto, dalle differenti coperture delle specie dominanti, e questo con lo scopo di evidenziare le differenze tra le diverse barene;
- prelievo di campioni (5 aree campione) di specie alofile e di sedimento al fine di indagare l'accumulo del mercurio in alcune barene della laguna, attraverso l'analisi del metallo nella matrice sedimento e in campioni vegetali e con lo scopo di individuare eventuali differenze sito-specifiche tra le barene indagate e tra le specie alofile considerate in relazione a diversi parametri ambientali raccolti e disponibili.

La seconda parte del lavoro (PARTE II) affronta invece lo studio delle barene a livello di intera laguna, ponendosi come obiettivo in particolare la conoscenza degli aspetti morfoevolutivi su scala temporale estesa (ultimi 60 anni). Il punto di partenza di questa analisi è costituito da una "fotografia" dell'estensione delle barene in tre diversi momenti temporali, ottenuta grazie alla vettorializzazione delle loro superfici sulla base delle foto aeree del 1954, 1990, 2006. Le variazioni

nell'estensione delle superfici a barena analizzate attraverso un'analisi di tipo topologico in ambiente GIS e le evidenze di tipo morfologico, geografico e vegetazionale (ottenute grazie agli studi nelle aree campione e ai dati già disponibili sulla laguna) sono state utilizzate per costruire una casistica morfo-evolutiva, per individuare e quantificare le forzanti responsabili delle variazioni avvenute e proporre infine una prima serie di strategie d'intervento.

Parte integrante del lavoro è costituita da un geodatabase (denominato "DinamicaEvolutivaBarene") contenente le basi di dati utilizzate per l'analisi delle dinamiche evolutive, che può essere facilmente utilizzato per analisi e interrogazioni spaziali, e nello stesso tempo messo a confronto alla cartografia tematica già disponibile per la laguna. Esso rappresenta in questo modo un valido strumento di supporto nei processi decisionali e di pianificazione territoriale.

Le Tavole presentate a corredo della presente relazione costituiscono un esempio significativo di quanto sia possibile ricavare grazie al geodatabase ideato.

RINGRAZIAMENTI:

Si ringrazia per la fattiva e preziosa collaborazione:

- i tecnici del Dipartimento di Matematica e Geoscienze Mauro Bussi e Cristiano Landucci, che hanno eseguito le analisi di laboratorio;
- il personale dell'Arpa FVG in particolare il capitano Antonio Tortora, il Dott. Alessandro D'Aietti e il Dott. Alessandro Acquavita;
- il Dott. Luca Spizzamiglio, la Dott.ssa Elisa Petranich, la Dott.ssa Alisè Turitto, Mauro Colle Fontana per l'aiuto nel campionamento e nelle analisi di laboratorio;
- il Dott. Ivan Raddi, l'Ing. Taverna e il custode dell'Isola di S. Andrea Giovanni per aver agevolato le operazioni di rilievo e campionamento con il loro supporto logistico;
- il Dott. João Canário dell'IPMA I.P. - Portuguese Institute for Sea and Atmospheric Research di Lisbona (Portogallo) per le analisi del metilmercurio (MeHg) nei vegetali;
- il Dott. Leonardo Langone del CNR ISMAR di Bologna per la determinazione delle velocità di sedimentazione tramite analisi di radionuclidi a vita breve.

PARTE I

ATTIVITÀ IN AREE CAMPIONE

1. ATTIVITÀ IN AREE CAMPIONE

1.1 Scelta delle aree campione

Nelle fasi iniziali della presente ricerca sono state scelte 13 aree campione distribuite all'interno della Laguna di Marano e Grado, adatte a rappresentare le diverse tipologie di barene presenti (Fig. 1.1).

Nei primi 6 mesi del presente progetto è stata svolta un'attività sul campo comprendente:

- rilievi topografici e morfologici di dettaglio nelle aree campione (13 aree), alcune delle quali erano già state eseguite nell'ambito di progetti precedenti come dettagliato in seguito al par. 1.2;
- rilievi della vegetazione, prelievo delle specie alofile e del corrispettivo sedimento in 5 delle aree campione opportunamente selezionate tra quelle di partenza.

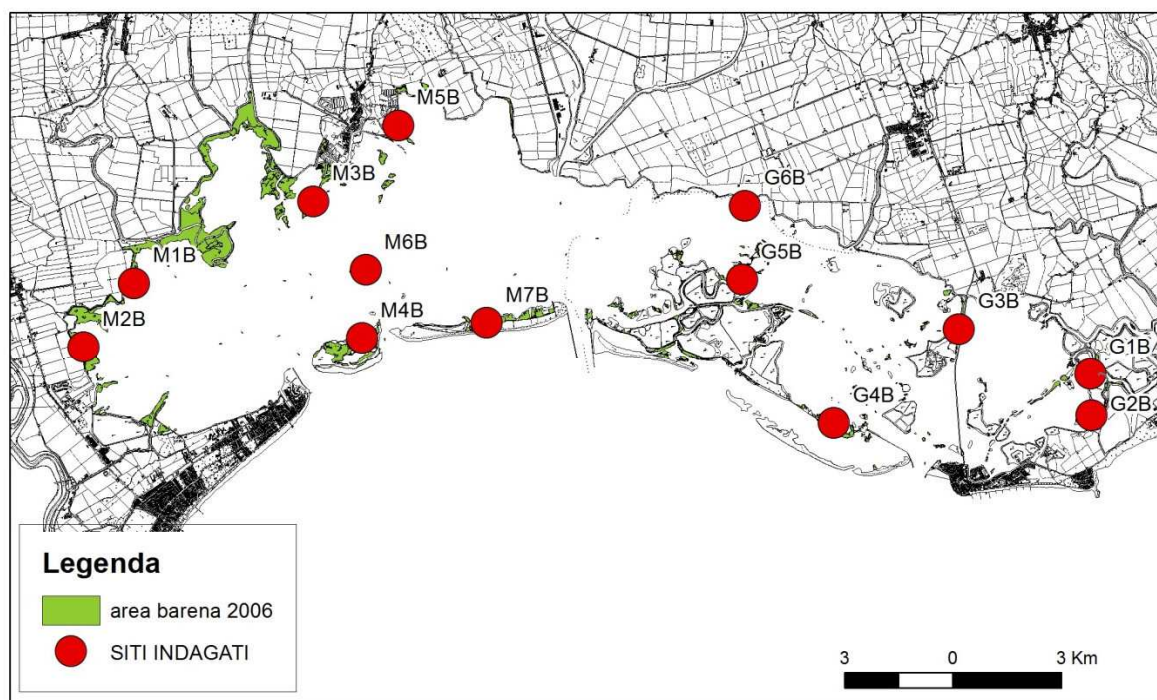


Figura 1.1 – Ubicazione delle aree campione.

1.2 Attività di rilievo topografico

Poiché uno degli obiettivi della ricerca è la caratterizzazione morfologica delle barene in parte già abbozzata durante il primo progetto svolto con ARPA - FVG durante il 2010, tra aprile e settembre 2012 sono stati effettuati una serie di sopralluoghi ricognitivi e di campagne di rilievo topografico e morfologico per rendere completa la descrizione delle 13 aree campione prescelte.

Per eseguire il rilievo topografico, che consta di transetti opportunamente tracciati in base alla morfologia della barena, è stata utilizzata una strumentazione diversa a seconda delle condizioni del luogo.

Stazione totale: la strumentazione utilizzata consta di una stazione totale con distanziometro digitale Zeiss modello Elta 3 e prisma montato su asta telescopica (Fig. 1.2). La stazione totale è stata posta sulla barena in un punto opportunamente scelto per garantire sufficienti condizioni di stabilità e visibilità. Da questo punto sono stati traggiati, come semplici differenze di angoli, punti noti quali elementi riconoscibili in carta, oppure (se posti a distanza inferiore ai 600m e raggiungibili a piedi o in barca) utilizzando il prisma. In ciascun caso è stato collimato un caposaldo di ubicazione e quota note, al quale riferire le differenze di quota registrate dallo strumento. Successivamente utilizzando il prisma montato su un'asta telescopica sono stati collimati una serie di punti lungo il profilo scelto a distanze variabili a seconda della morfologia più o meno accidentata.

Strumentazione GPS: sistema GPS Thales/Magellan Professional ProMark3, sistema differenziale a singola frequenza di tipo "post-processing". Una stazione denominata "Base" è stata posizionata sul caposaldo (Fig. 1.3), mentre l'altro apparecchio, denominato "Rover", è stato utilizzato per rilevare i punti del profilo oppure, in alcuni casi, per posizionare un punto stazione sulla barena stessa dal quale poi rilevare i punti del profilo col sistema stazione totale / prisma. Successivamente i dati sono stati elaborati in post-processing con il software GNSS Solutions, appositamente creato dalla Thales Navigation per gli apparecchi ProMark3. Inserendo i dati del caposaldo di riferimento e operando la correzione incrociata dei dati registrati dalla "base" e dal "rover", è possibile ottenere un errore di posizione centimetrico, sia orizzontale che verticale.



Figura 1.2 – Diverse fasi del rilievo con stazione totale: a sinistra stazione montata sul punto stazione, a destra rilievo dei punti del profilo con prisma montato su asta telescopica.

Le condizioni di rilievo delle barene sono state rese spesso difficili a causa degli scarsi battenti d'acqua nelle aree limitrofe, del substrato eccessivamente cedevole, delle quote poco elevate rispetto al livello del mare e della scarsità di caposaldi di riferimento; per questo motivo i profili non sono sempre di estensione o ubicazione ottimale rispetto a quanto progettato in fase preliminare alle uscite.

Per quel che riguarda le fasi di elaborazione, nel caso che il profilo sia stato eseguito con metodo GPS, successivamente alla correzione post-processing i punti rilevati sono stati esportati in formato ASCII come triplette di coordinate x, y, z nel sistema di coordinate UTM WGS84 fuso 33 chilometrico. Dopo essere stati convertiti nel sistema nazionale Gauss Boaga fuso Est attraverso il software CartLab 2, sono stati importati in ESRI ArcGis 10 dove sono stati trasformati in shapefile. Il profilo è poi stato esportato in Excel per la rappresentazione in sezione.

Per i profili eseguiti con la stazione totale, i punti rilevati sono stati trascritti su un foglio elettronico Excel dove sono state calcolate le distanze parziali da punto a punto e la quota sul l.m.m., ricavata per differenza rispetto a quella del caposaldo di riferimento. Successivamente la posizione del punto stazione è stata ricostruita in Autocad Map grazie alla collimazione di punti noti eseguita in campagna ed è stato così creato un sistema di coordinate fittizio incentrato sul punto stazione, nel

quale proiettare tutti i punti collimati. Dopo essere stati riportati nel sistema nazionale Gauss Boaga fuso Est i punti sono stati importati in ESRI ArcGis 10 dove sono stati trasformati in shapefile.

Per l'aggancio di quote e posizione è stata utilizzata la rete di caposaldi presente sull'argine di conterminazione, sulle isole e all'interno del bacino lagunare, rilevata nel 2005 dal Prof. Marchesini dell'Università di Udine (Protezione Civile & Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2005).



Figura 1.3 – Diverse fasi del lavoro di rilievo con l'utilizzo della strumentazione GPS (sito G6B).

Nella tabella seguente (Tab. 1.1) sono riportate le date in cui è stato eseguito il rilievo topografico e la strumentazione utilizzata. Per l'ubicazione delle aree campione si veda la figura 1.1 e/o la Tav. 3.

Tabella 1.1 – Elenco dei rilievi topografici eseguiti tra il 2009 e il 2012 e strumentazione utilizzata.

Sigla	Luogo	Data	Strumentazione utilizzata
G1B	Barbana	09-giu-10	Stazione totale
G2B	Sinuta	10-giu-10	Stazione totale
G3B	Canale Belvedere	14-giu-12	Stazione totale
G4B	Marina dei Manzi	12-lug-12	Stazione totale
G5B	Gran Chiusa	26-giu-12	Stazione totale
G6B	Mandragole	11-set-12	GPS
M1B	Valle Hierscel	19-nov-09	Stazione totale
M2B	Idrovora Lame	05-nov-09	Stazione totale
M3B	Canale di Marano	14-ott-10	Stazione totale
M4B	Bocca S. Andrea	30-sett-10	Stazione totale
M5B	Marano	17-ott-11	Stazione totale
M6B	Allacciante S. Andrea	23-ago-12	Stazione totale
M7B	Isola di S. Andrea	10-lug-12	Stazione totale

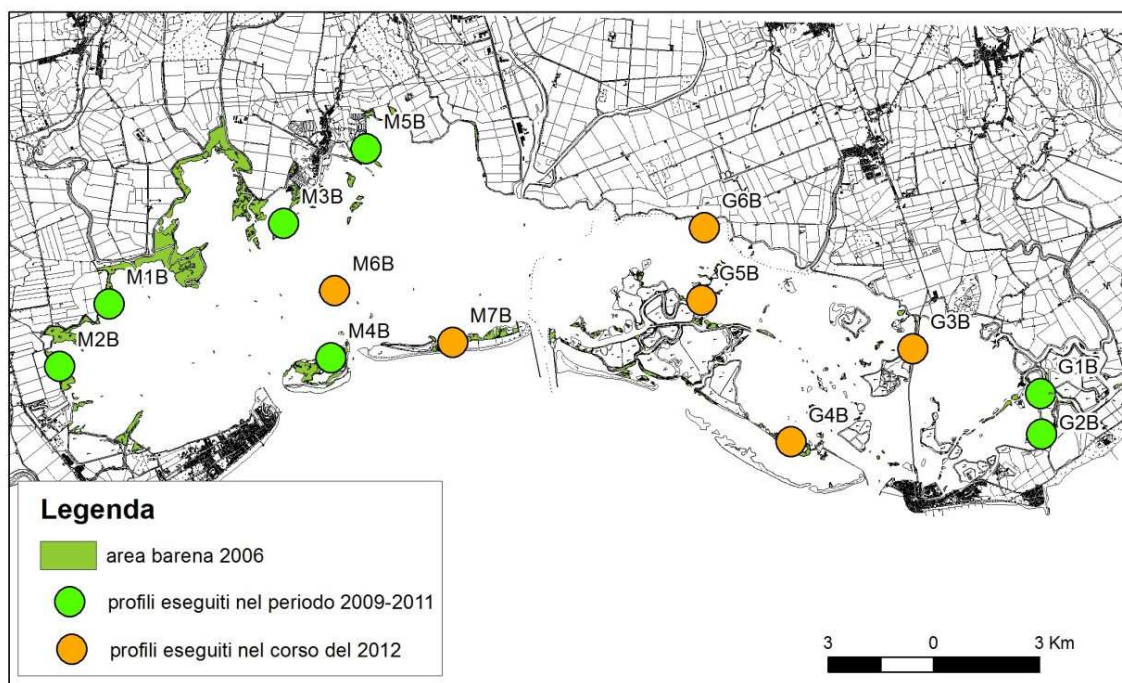


Figura 1.4 – Siti di indagine: periodo di realizzazione dei profili topografici.

1.3 Rilievo della vegetazione, prelievo dei sedimenti e delle alofite e analisi di laboratorio

Relativamente all'indagine sul ruolo delle barene come "reservoir" di mercurio e sull'eventuale accumulo del metallo nella vegetazione alofila, in base alla presenza di alcune specie target (si veda par.1.3.2), sono state individuate 5 aree campione scelte fra quelle già scelte per il rilievo topografico (Tab. 1.1). Le barene (G1B, G3B, G5B, M5B e M7B) sono ubicate approssimativamente lungo un transetto est-ovest (Fig. 1.5), che segue il gradiente decrescente di concentrazione del mercurio nei sedimenti lagunari, già messo in evidenza da studi precedenti sui sedimenti lagunari intertidali e subtidali (Acquavita et al., 2012).

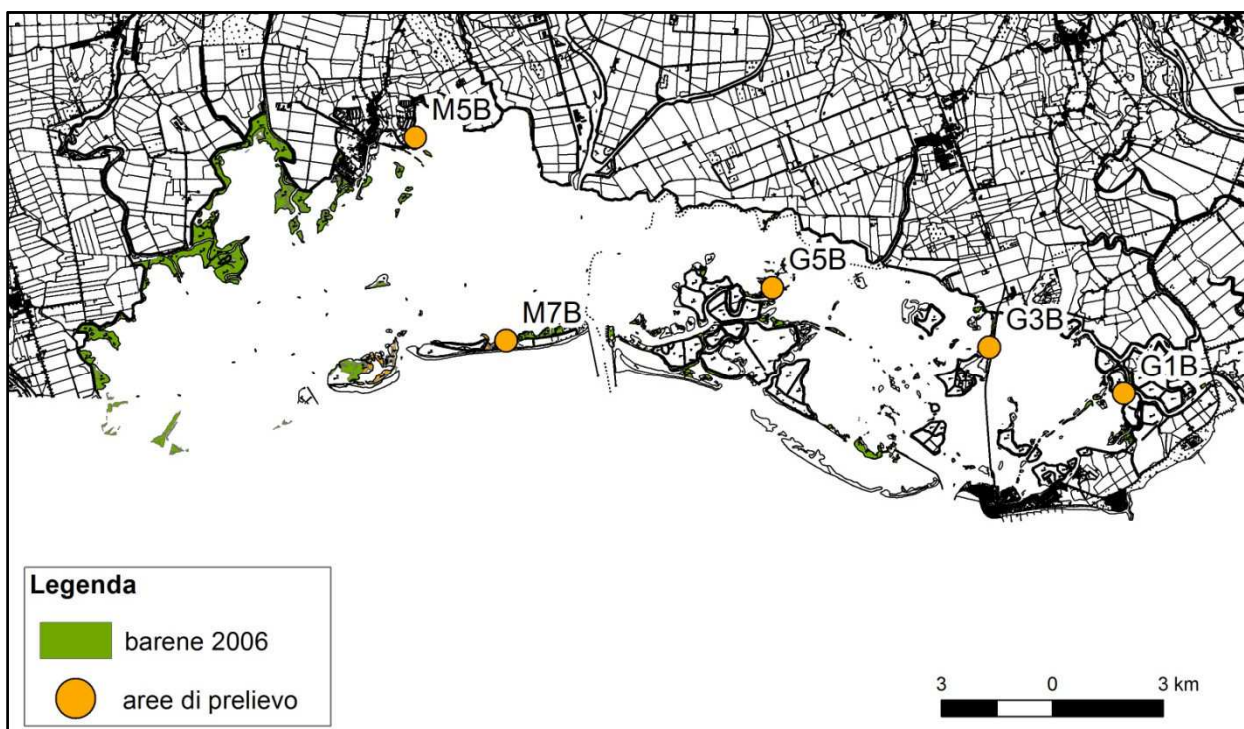


Figura 1.5 – Barene indagate nella Laguna di Marano e Grado

1.3.1 Rilievo della vegetazione

Nei siti di indagine sono stati eseguiti uno o più rilievi fitosociologici nell'area interessata dal campionamento, seguendo il metodo di Braun-Blanquet adattato da Pignatti (1953) al fine di assegnare il sintaxa corrispondente. La nomenclatura cui si è fatto riferimento è quella secondo Conti et al. (2005).

Delimitato il "popolamento elementare" (comunità vegetale omogenea) si è passati alla stesura dell'elenco floristico e all'assegnazione delle classi di copertura (metodo Braun-Blanquet) per stimare la dominanza-abbondanza di ciascuna specie.

Il rilievo fitosociologico ha permesso di caratterizzare dal punto di vista vegetazionale le barene indagate, laddove possibile, arrivando fino alla definizione dell'associazione vegetale e di fare delle considerazioni sulle variazioni percentuali di copertura delle singole specie nelle differenti situazioni.

1.3.2 Prelievo delle specie alofile

In ciascuna barena, in funzione della distribuzione delle specie vegetali considerate, sono stati individuati tre o più siti di campionamento, dei quali è stata rilevata la posizione utilizzando una "stazione totale" (vedi paragrafo 1.2).

In ciascun sito di campionamento, sono stati prelevati individui appartenenti a 3 diverse specie alofile (*Sarcornia fruticosa* (L.) A.J. Scott, *Limonium narbonense* Mill., *Atriplex portulacoides* L.) al fine di valutarne l'eventuale accumulo di mercurio in radici, fusti e foglie. Le tre specie vegetali sono state scelte in funzione della loro ampia diffusione nei sistemi a barena e perché già impiegate in studi simili in letteratura (Válega et al., 2008; Caçador et al., 2009; Coelho et al., 2009; Canário et al., 2010; Duarte et al., 2010).

Sono stati campionati tre individui per ciascuna specie. Le parti epigee (fusti e foglie) sono state preventivamente tagliate, raccolte e sigillate in sacchetti di nylon e riposte in contenitore refrigerato fino al ritorno in laboratorio. Il prelievo delle radici e del sedimento a esse associato è stato eseguito mediante carotaggio a mano per mezzo di una sgorbia, un carotatore semicilindrico particolarmente adatto al prelievo di suoli e sedimenti imbibiti e coesi come quelli di barena, fino ad una profondità di circa 45-50cm (Fig. 1.6).

Inoltre, dal punto di prelievo della carota, è stata raccolta l'acqua di foro risalente su cui sono state eseguite, con strumentazione portatile, le seguenti misure di campo: pH e potenziale Eh di ossidazione (Crison Instruments pH25), ossigeno disciolto (Crison Instruments oxi45P), temperatura e conducibilità (Crison Instruments CM35+).

Le carote di sedimento sono state sezionate in 3 livelli (Fig. 1.7), corrispondenti alle profondità di 0-5, 5-15 e 15-25cm: in ogni livello è stato misurato il potenziale redox tramite un elettrodo Eh portatile (Crison Instruments pH25). I campioni così ottenuti sono stati riposti e sigillati in sacchetti di plastica e conservati in borsa frigo per il successivo trasporto in laboratorio. Una volta in laboratorio, i campioni sono stati stoccati in cella frigorifera (4 °C) sino al momento dell'analisi.



Figura 1.6 - a) separazione della parte aerea di un esemplare di *Limonium narbonense*; b) prelievo della parte epigea tramite sgorbia; c) misura dell'ossigeno disciolto.



Figura 1.7 - Prelievo delle alofite mediante sgorbia (ai lati) e sezionamento delle carote (al centro).

1.4 Analisi di laboratorio

1.4.1 Preparazione dei campioni di sedimento

Il sedimento, separato dalle radici, è stato omogenizzato e suddiviso in quattro aliquote per l'analisi di: contenuto d'acqua, granulometria, mercurio, carbonio ed azoto totali (C_{tot} , N) e carbonio organico (C_{org}).



Figura 1.8 - Liofilizzatore *CoolSafe 55-4 SCANVAC*.

Le aliquote di sedimento per l'analisi granulometrica e per il metilmercurio sono riposte tal quali in camera fredda a 4°C fino al momento dell'analisi. Il sedimento destinato alle analisi del C_{tot} , C_{org} , N è stato congelato e liofilizzato. L'aliquota per l'analisi del mercurio totale è stata congelata e posta

in liofilizzatore per due giorni, polverizzata con un mortaio d'agata, omogenizzata e setacciata a 200 μm per eliminare eventuali residui vegetali e frammenti conchigliari. Il processo di liofilizzazione è stato eseguito a -53°C per almeno 24 ore (CoolSafe 55-4 SCANVAC; Fig. 1.8).

1.4.2 Preparazione dei campioni vegetali

La parte epigea delle alofite è stata suddivisa in due parti, separando le foglie basali dai fusti erbacei (eliminando le infiorescenze) per quanto riguarda la specie *Limonium narbonense* Mill., e i fusti legnosi dalle parti vegetative per le altre due specie *Sarcocornia fruticosa* (L.) A.J. Scott e *Atriplex portulacoides* L. Le radici (comprehensive di colletto per la specie *Limonium vulgare* Mill.) sono state separate manualmente dal sedimento.

Tutti i campioni sono stati lavati prima in acqua corrente, poi in acqua ultrapura (MilliQ, $\rho=18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}$) con un ultimo passaggio in bagno ad ultrasuoni per 7 minuti, al fine di staccare ed eliminare eventuali particelle residuali di sedimento (Fig. 1.9).



Figura 1.9 - Operazioni di pulitura delle radici delle alofite.

I campioni sono stati pesati freschi (per quantificare la biomassa), e secchi dopo congelamento e liofilizzazione. Una volta liofilizzati, i campioni sono stati triturati con un polverizzatore elettrico e setacciati su di un filtro a maglie di 250 μ m in modo da renderli omogenei per le successive analisi di laboratorio.

1.4.3 Analisi granulometriche

L'analisi granulometrica è stata portata a termine mediante un granulometro laser (*Malvern Mastersizer 2000*) in grado di eseguire le analisi sull'intervallo dimensionale 0,02 μ m - 2mm (Fig. 1.10).



Figura 1.10 - Granulometro laser Malvern Mastersizer 2000.

I campioni sono stati preparati per l'analisi aggiungendo 50mL di acqua distillata e 50mL di acqua ossigenata a 10 volumi, per eliminare la sostanza organica presente. Dopo decantazione per 24 ore, il sedimento è stato lavato con acqua distillata su di un filtro a maglie di 2mm, limite della sabbia grossa secondo la scala di Udden-Wentworth (1922), e di nuovo lasciato a decantare per altre 24 ore. Dalla soluzione, mantenuta in sospensione da un agitatore meccanico, sono stati prelevati 2mL di campione per l'analisi.

Lo strumento restituisce come risultato le percentuali di frequenza delle diverse classi granulometriche, espresse in scala ϕ (corrispondente a $-\log_2$ delle classi dimensionali in mm). Le classi di frequenza sono state accorpate seguendo la classificazione di Udden-Wentworth, distinguendo fra sabbia media, fine e molto fine, silt grosso, medio, fine e molto fine e argilla. Le percentuali complessive di sabbia, limo e argilla sono state utilizzate per la caratterizzazione del

sedimento anche secondo il diagramma triangolare di Shepard (1954). Inoltre, è stata calcolata la percentuale di pelite (argilla e silt fino ai $52\mu\text{m}$) secondo la classificazione di Kruit-Nota (1958).

La distribuzione delle classi granulometriche è stata descritta in termini di media, *sorting*, *skewness* e *kurtosis*, corrispondenti rispettivamente alla classe granulometrica più rappresentativa del campione, alla classazione, all'asimmetria della curva (verso classi più fini se positiva o grossolane se negativa) ed al parametro descrittivo sull'appuntimento della curva.

1.4.4 Analisi dell'azoto e del carbonio nei sedimenti

L'analisi è stata effettuata tramite l'analizzatore elementare *ECS 4010 Elemental Combustion System* (Costech) (Fig. 1.11).



Figura 1.11 - Analizzatore elementare Costech Instruments ECS 4010 Elemental Combustion System.

All'interno dello strumento, i campioni vengono bruciati in ambiente saturo di ossigeno a $975\text{ }^{\circ}\text{C}$ e la produzione dei gas di combustione viene misurata automaticamente. I prodotti della combustione passano in una camera di miscelazione per fluire successivamente, in tempi diversi a seconda del tipo di gas, in una colonna cromatografica dove avviene la lettura in termini di potenziale elettrico (mV), espresso come differenza rispetto al livello base del gas di trasporto utilizzato (He).

Per l'analisi del carbonio ed azoto totali sono stati pesati 10-15mg per campione in contenitori di stagno e introdotti direttamente nell'analizzatore. Per la determinazione del carbonio organico,

circa 10mg di campione sono stati posti in contenitori di argento e analizzati previa acidificazione per eliminare la frazione di carbonio inorganico del sedimento (Hedges e Stern, 1984).

L'acidificazione dei campioni per il carbonio organico è stata effettuata aggiungendo prima HCl in percentuale dell'1% e, dopo essiccazione in forno a 50 °C per 20 minuti, HCl al 18% per eliminare in modo definitivo il carbonio inorganico presente. Dopo un'ulteriore essiccazione in forno, i campioni sono stati introdotti nello strumento per l'analisi.

Il limite di rilevabilità dello strumento è dello 0,1% mentre la precisione e l'accuratezza sono inferiori allo 0,1%.

1.4.5 Analisi del contenuto in mercurio nei sedimenti e nei vegetali

Per l'analisi del mercurio è stato utilizzato l'analizzatore automatico di mercurio *Milestone DMA-80* (Fig. 1.12).

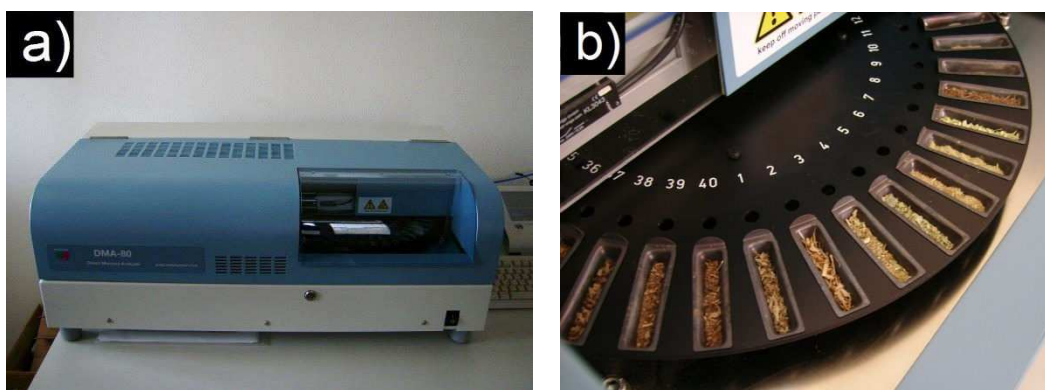


Figura 1.12 - a) analizzatore automatico Milestone DMA-80; b) particolare dell'autocampionatore.

Questo strumento permette di analizzare i campioni tal quali, evitando le fasi di mineralizzazione e solubilizzazione. Non richiede, inoltre, diluizioni in quanto il *range* di concentrazione del mercurio rilevato dalla doppia cella di lettura si attesta fra gli 0,005 e 1200ng.

Il campione viene riscaldato fino alla temperatura di 650°C e, tramite un flusso continuo di ossigeno, i prodotti della combustione vengono trasportati attraverso un catalizzatore dove le varie specie mercurifere vengono ridotte a Hg⁰. Il mercurio viene trasportato verso una trappola in oro dove viene trattenuto e concentrato con la formazione dell'amalgama. Successivamente, la trappola in

oro viene riscaldata a 900°C, rilasciando il Hg sotto forma di vapori che vengono misurati per via spettrofotometrica in un sistema a doppia cella (Fig. 1.13).

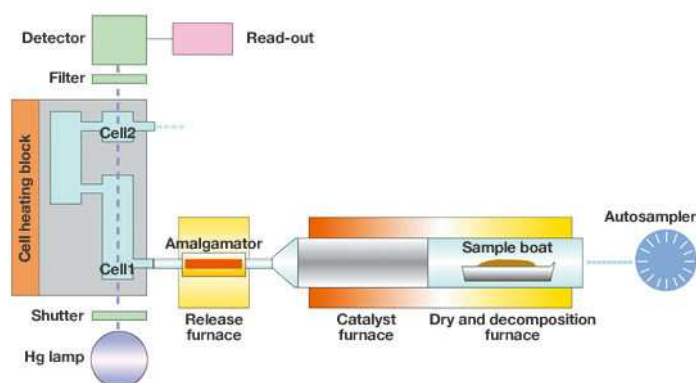


Figura 1.13 - Rappresentazione schematica del DMA-80.

1.4.6 Analisi del contenuto in metilmercurio nei vegetali

Le analisi per la determinazione del metilmercurio (MeHg) nei vegetali sono state eseguite dall'unità di ricerca del Dott. João Canário presso l'IPMA I.P. - Portuguese Institute for Sea and Atmospheric Research di Lisbona (Portogallo). E' stata impiegata una versione modificata della metodica proposta da Canário *et al.* (2006).

Il materiale vegetale, liofilizzato e macinato, è stato sottoposto ad un processo di solubilizzazione utilizzando una soluzione concentrata di HBr satura in CuSO₄. Il MeHg presente in soluzione è stato estratto in una soluzione di diclorometano (DCM) pre-concentrata in una soluzione leggermente alcalina di H₂S, riestratto in DCM e determinato mediante gas-cromatografia accoppiata alla spettrometria di fluorescenza atomica (GC-AFS).

I recuperi e la possibile formazione di artefatti sono stati valutati utilizzando la tecnica dello *spiking* dei campioni con soluzioni standard di Hg(II) e MeHg a differente concentrazione. I recuperi sono risultati compresi fra il 96 ed il 104% per tutti i campioni investigati, senza formazione di artefatti osservata. La precisione, espressa come deviazione standard relativa di 3 repliche, è risultata inferiore al 2,5% ($p < 0.05$).

I materiali certificati CRM-60 (*Lagarosiphon major*, aquatic plant), CRM-61 (*Plantihypnidium riparioides*, aquatic moss) e IAEA-140/TM (*Fucus sea plant homogenate*) sono stati utilizzati per

verificare l'accuratezza del metodo. I risultati ottenuti sono stati sempre compresi nell'intervallo di valori certificati.

1.4.7 Calcolo dei fattori di arricchimento (EF) e di bioconcentrazione (BF)

Per valutare l'arricchimento in mercurio nelle radici rispetto al mercurio presente nel sedimento, è stato applicato il fattore di arricchimento (EF), corrispondente al rapporto tra le concentrazioni tra i due comparti indagati. Questo fattore è stato calcolato mantenendo separati i tre diversi livelli di profondità campionati. Per valori di $EF > 1$, per i quali le concentrazioni di mercurio sono maggiori nelle radici rispetto alle concentrazioni misurate nel sedimento, vi è un arricchimento del metallo rispetto alla matrice inorganica.

$$EF = \frac{|Hg|_{radici}}{|Hg|_{sedimento}}$$

Il fattore di bioconcentrazione (BF) è stato calcolato basandosi sulla stessa formula del fattore di arricchimento (EF) confrontando, in questo caso, il contenuto di mercurio nelle parti aeree rispetto al contenuto rilevato nelle radici. Il fattore è stato applicato sia valutando l'eventuale arricchimento nel comparto foglie che nel comparto fusti.

$$BF = \frac{|Hg|_{fusto; foglie}}{|Hg|_{radici}}$$

1.4.8 Elaborazioni statistiche

La distribuzione dei dati è stata valutata applicando il test di Shapiro-Wilk e, laddove le variabili non erano distribuite normalmente, si è proceduti alla loro normalizzazione applicando la funzione logaritmica. Verificata la normalità, è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson e considerate le correlazioni significative (valore di $|r|$ prossimo a 1, e $p < 0,05$). Per valutare la significatività della differenza fra le medie delle diverse variabili considerate è stato applicato il test statistico ANOVA (Analisi della Varianza). Soddisfatte le condizioni di distribuzione normale dei dati, indipendenza fra campioni e omogeneità delle varianze dei gruppi, questo test consente di verificare se le medie di una variabile relativa a due o più campioni appartengono o no alla stessa popolazione. Nel caso in cui il fattore F ottenuto dal test sia superiore al fattore tabellare, si scarta l'ipotesi nulla della presenza di un'unica popolazione di dati, confermando quindi la presenza di una differenza

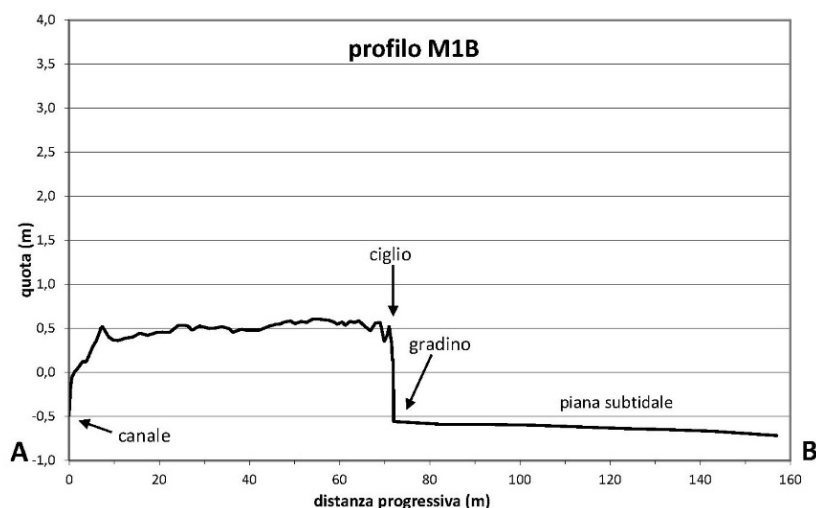
significativa di almeno uno dei gruppi rispetto agli altri. Al test è associato anche un livello di significatività, che per rifiutare l'ipotesi nulla dovrà essere inferiore al livello tabellare di 0,05.

2. ASPETTI MORFOLOGICI, EVOLUTIVI, SEDIMENTOLOGICI E VEGETAZIONALI DELLE AREE CAMPIONE

2.1 Morfologia ed evoluzione delle barene nelle aree campione

Vengono di seguito descritte le caratteristiche evolutive e morfologiche delle barene scelte come aree campione, desunte dalle informazioni ricavate dai rilievi topografici e morfologici eseguiti a partire dal 2009 (vedi dettaglio al cap. 1) e dall'analisi delle foto aeree (vedi cap.4).

2.1.1 Area campione M1B

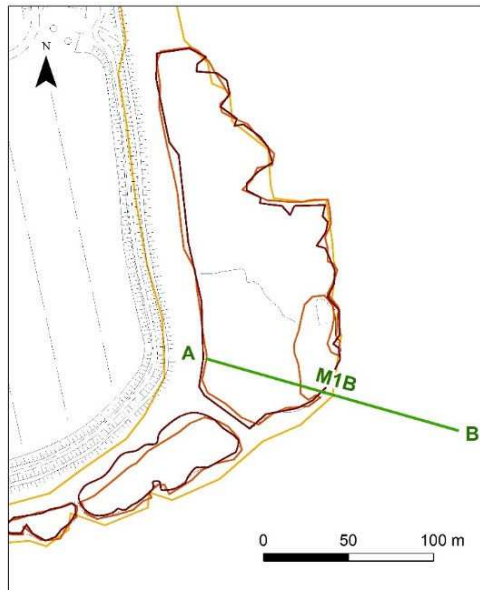


TIPOLOGIA: Barena di margine lagunare.

MORFOLOGIA: La barena è situata sul margine occidentale del bacino di Lignano a ridosso dell'argine di conterminazione, dal quale è separata da un canale di origine artificiale.

Ampia nel complesso 1,6ha è

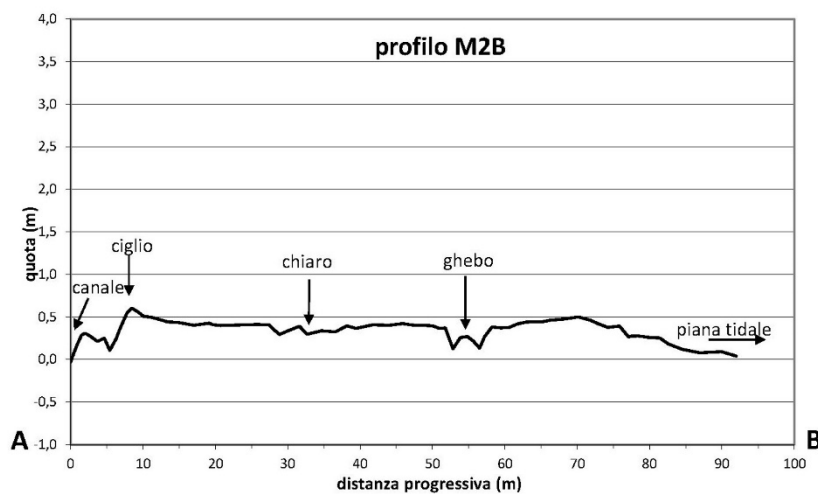
suddivisa in tre porzioni separate da piccoli canali, una delle quali di dimensioni molto superiori (1,3ha) rispetto alle altre due. I margini lungo terra sono delimitati dal canale rettilineo che segue l'argine di conterminazione e si presentano continui e regolari; quelli invece verso la laguna hanno un andamento più naturale con promontori e alcune insenature pronunciate. Non si nota la presenza di ghebi. Il profilo topografico eseguito sulla porzione di barene più estesa, ne descrive l'aspetto tabulare con quote piuttosto costanti che si attestano in media sui 0,50m sul l.m.m. Il margine rivolto alla laguna presenta un gradino molto pronunciato con un dislivello di circa 1m, che si raccorda direttamente al fondale lagunare costituito da una piana subtidale digradante dolcemente verso il centro del bacino.



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

EVOLUZIONE: La barena è soggetta a fenomeni erosivi, i più consistenti dei quali sono di origine antropica (escavo di un canale sul margine occidentale), avvenuto tra il 1954 e il 1990. Nello stesso periodo si è verificato anche l'approfondimento di alcune insenature (che potrebbe anche essere attribuibile all'azione antropica) e l'arretramento generalizzato dei margini. Nell'intervallo 1990-2006 i margini della barena sono rimasti invece essenzialmente inalterati, fatta eccezione del ricolmamento di una baia che si era aperta in precedenza (nel periodo 1954-1990).

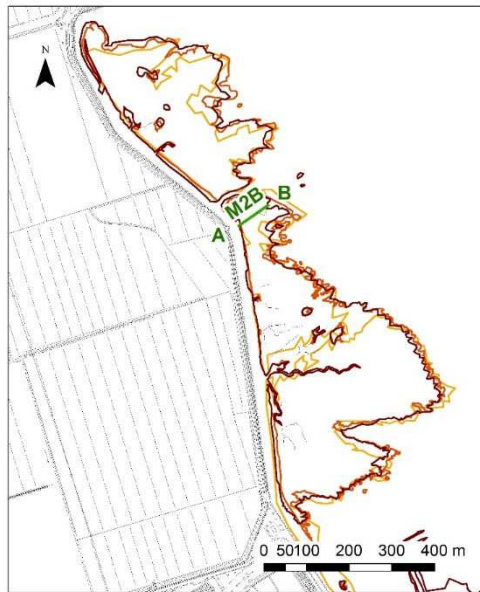
2.1.2 Area campione M2B



TIPOLOGIA: Barena di margine lagunare.

MORFOLOGIA: La barena, posizionata sul margine occidentale del bacino di Lignano a ridosso dell'argine di conterminazione e ampia nel complesso 25ha, è divisa in due parti principali separate da un

piccolo canale; i margini lungo terra, delimitati da un canale parallelo alla stessa, si mantengono continui e piuttosto regolari; l'altra sponda dei canali è costituita dall'argine di conterminazione. Al contrario lungo il margine orientale, si osserva un andamento a baie e promontori, estremamente articolato e particolarmente accentuato nei tratti rivolti a nord-est. Localmente la barena è frammentata in piccoli isolotti. Sono presenti numerosi chiari e una rete di ghebi a struttura dendritica ben sviluppata, che drenano i flussi mareali verso il canale posto parallelamente all'argine



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

di conterminazione. Sul lato laguna sono presenti alcuni rari ghebi molto più ridotti in lunghezza e dimensioni, che drenano verso la piana tidale.

In base ai dati ricavati dal profilo topografico, la barena presenta margini rialzati con quote in media di 0,5m sul l.m.m., mentre nella porzione centrale si presenta leggermente depressa con quote che si attestano in media sui 0,4m. Nella porzione centrale il profilo intercetta anche un chiaro e un piccolo ghebo. Il raccordo con i fondali lagunari, costituiti in quest'area da piane tidali (velme) si presenta graduale.

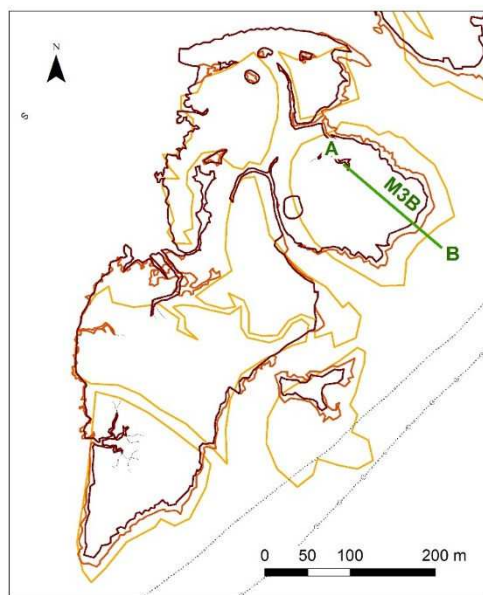
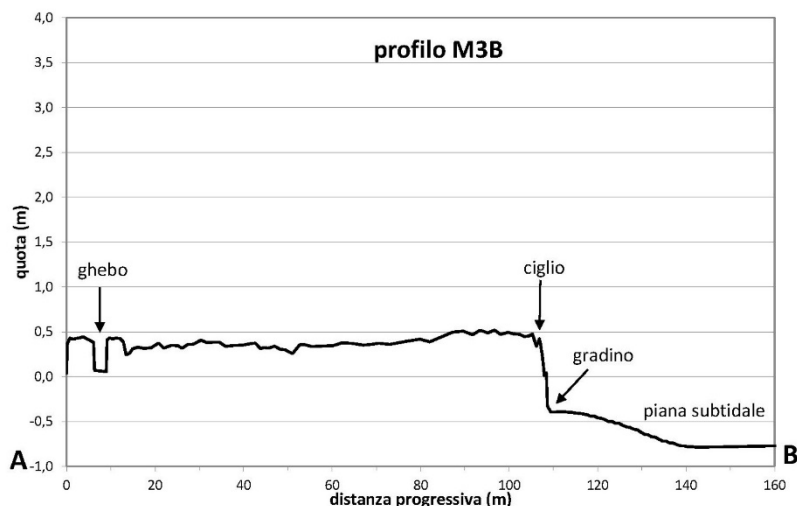
EVOLUZIONE: Questa barena mantiene in generale un bilancio positivo, anche in presenza di fenomeni erosivi

localizzati ben evidenti. Nella prima fase evolutiva, tra il 1954 e il 1990, la sua superficie è infatti aumentata nel complesso (+2.09ha): osservando l'immagine si nota il riempimento delle insenature e il rinsaldamento delle varie porzioni della barena originaria. Successivamente, tra il 1990 e il 2006, si riscontra una situazione di sostanziale equilibrio (soli +0,03ha). Più che altro si tratta di una redistribuzione del sedimento, che viene eroso nei margini maggiormente esposti, risospeso e trasportato dalle correnti nelle baie, dove si deposita. Tutto il margine orientale (esposto all'ondazione da Bora) mostra infatti una chiara tendenza erosiva che si esplica con vistosi arretramenti soprattutto in corrispondenza dei promontori.

2.1.3 Area campione M3B

TIPOLOGIA: Barena di delta endolagunare.

MORFOLOGIA: Questa grande barena è localizzata sul lato occidentale del canale di Marano e presenta un'ampiezza complessiva pari a 11,3ha, con una struttura estremamente articolata, costituita da un corpo principale di circa 11ha e uno secondario, molto più piccolo, nella parte orientale, dove è presente anche un casone. Il margine orientale è fortemente erosivo e presenta il tipico andamento a promontori e baie. Sul lato opposto il margine è molto articolato e presenta



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

profonde insenature. In pianta si possono osservare numerosi ghebi, che drenano sia verso est che verso ovest, e alcuni chiari.

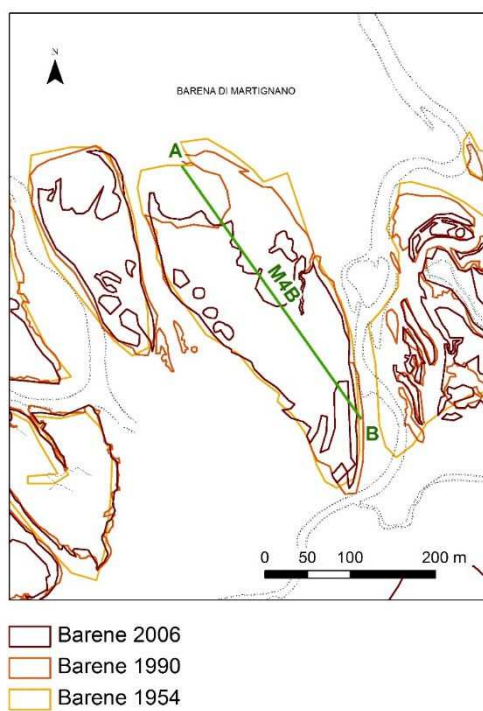
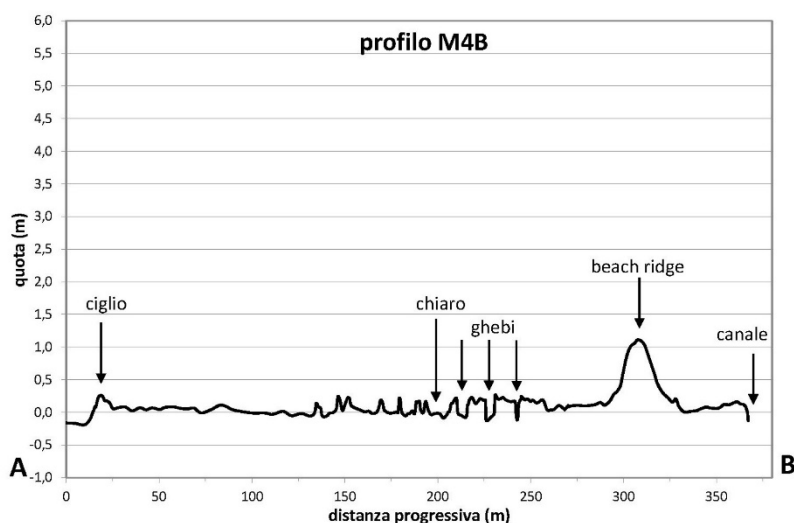
Dal profilo topografico si osserva che la barena presenta quote più elevate (in media 0,5m sul l.m.m.) nella porzione più orientale, dove il margine

presenta un doppio gradino e un rialzo di accumulo. Man mano che si procede verso ovest le quote si riducono attestandosi in media sui 0,35m sul l.m.m., fino ad incrociare la struttura meandriforme di un grande ghebo.

EVOLUZIONE: Nella prima fase evolutiva, tra il 1954 e il 1990, la barena è stata caratterizzata da un incremento poco rilevante della superficie (+0,6ha), che è però il risultato di evidenti variazioni planimetriche di segno opposto quali il rinsaldamento dei numerosi corpi che formavano la barena originaria e una forte riduzione della superficie della barena orientale; in questa fase si osserva anche un arretramento generalizzato dei margini orientali. Durante la seconda fase evolutiva, tra

il 1990 e il 2006, la barena assume un comportamento prevalentemente erosivo decisamente asimmetrico, anche se con un bilancio piuttosto contenuto (-0,7ha). Il margine orientale si erode e arretra più di quello occidentale, che localmente si espande, specie nella regione più settentrionale.

2.1.4 Area campione M4B



TIPOLOGIA: Barena di retrobarriera.

MORFOLOGIA: Collocata alle spalle dell'isola barriera di Martignano nei pressi della bocca tidale di S. Andrea, questa barena fa parte di un articolato sistema di morfologie costituito da forme relitte di sistemi di spiaggia, washover e

bocche tidali. Questo sistema oggi non è più attivo, in quanto escluso dai processi costieri in seguito all'espansione di nuovi banchi sabbiosi verso mare. La barena oggetto del rilievo topografico si allunga in direzione sud/est - nord/ovest ed è limitata da due canali secondari, di cui quello orientale è il più sviluppato e profondo.

In foto aerea sulla porzione meridionale è ben visibile la presenza di una morfologia relitta di forma arcuata costituita da una dorsale sabbiosa, mentre il margine settentrionale si raccorda con le velme della laguna e mostra un andamento piuttosto frastagliato, indice dei fenomeni di annegamento in atto. È presente una rete di

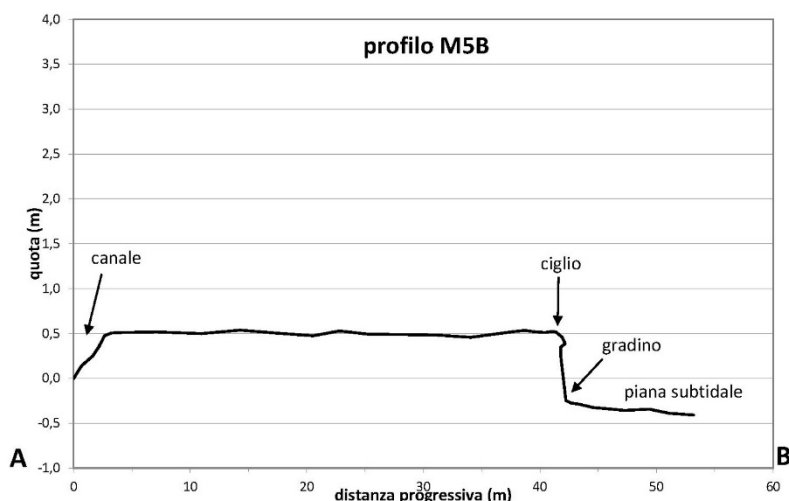
ghebi dendritici e meandriformi che si raccordano a un unico ghebo di dimensioni maggiori che defluisce nel canale secondario posto ad est. Sono invece molto diffusi ampi chiari di forma articolata.

Dal profilo topografico risulta evidente il cordone sabbioso presente a sud, che raggiunge 1,18m sul l.m.m.. Procedendo verso nord un'ampia area (circa 140m) presenta quote molto irregolari date dalla continua alternanza di aree emerse (con quote intorno ai 0,2- 0,4m) e di aree con quote molto

prossime allo zero altimetrico, costituite dai ghebi o da depressioni di forma irregolare, frequentemente allagate e prive di vegetazione (assimilabili quindi ai chiari). Un'ulteriore area depressa ampia circa 108m, con quote medie di 0,10m è limitata verso la laguna dalla presenza di un margine rialzato che si raccorda gradualmente con le velme adiacenti.

EVOLUZIONE: La tendenza evolutiva di questa barena è essenzialmente di tipo erosivo. Si rileva infatti un vistoso processo di annegamento che ha portato a una perdita di superficie nella porzione settentrionale sia nel periodo 1954-1900 (-0,9ha), che in maniera più accentuata (-1,5ha) nel 1990-2006. Nel periodo 1990-2006 l'annegamento ha interessato anche una vasta porzione della parte meridionale della barena, creando una stretta insenatura che si allunga da sud a nord, mentre i margini orientale e occidentale sono rimasti pressoché inalterati dal 1954 al 2006.

2.1.5 Area campione M5B



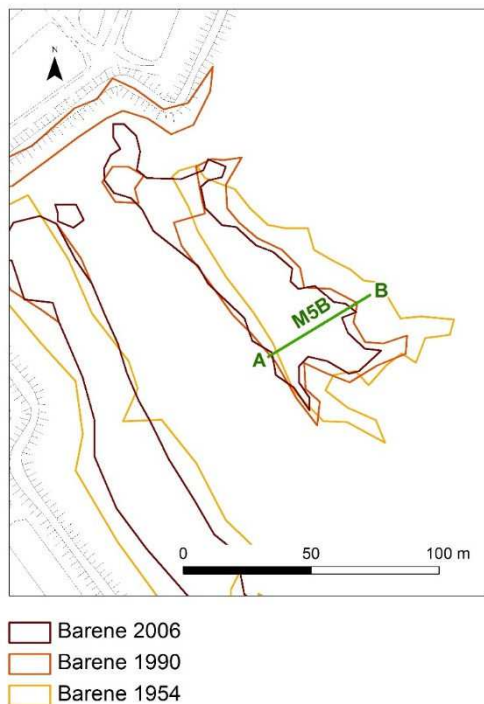
TIPOLOGIA: Barena di margine lagunare.

MORFOLOGIA: La barena si trova a est dell'abitato di Marano Lagunare, ha un'area complessiva pari a 0,3ha ed è situata in vicinanza dell'argine di conterminazione.

La morfologia del margine orientale mostra un

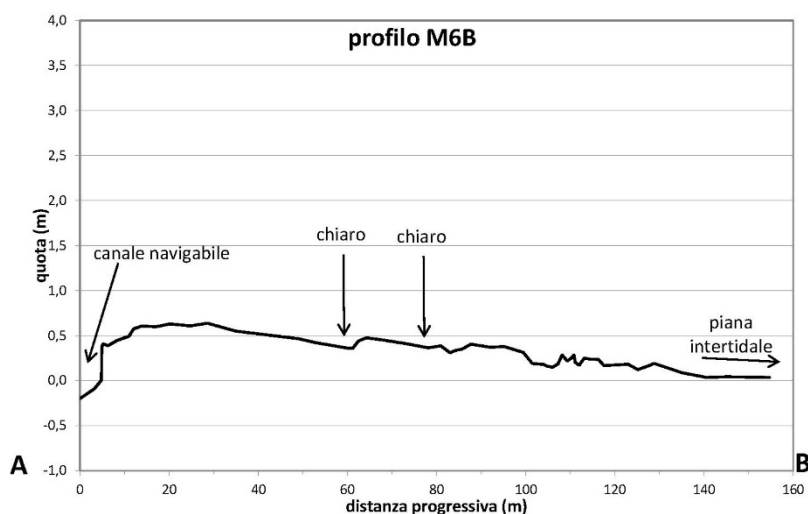
andamento sinuoso a baie e promontori, tipica dei margini di barena esposti all'azione del moto ondoso. A occidente il margine presenta invece un andamento rettilineo, probabilmente imputabile all'escavo di un canale di accesso alla vicina valle da pesca, attualmente non più esistente.

Il transetto topografico, eseguito nella porzione più meridionale della barena, ne mostra una forma tabulare priva di morfologie evidenti con quote intorno ai 0,45m sul l.m.m.. Il margine di transizione verso la piana di marea sul lato orientale è caratterizzato da un gradino verticale di circa 20cm, posto in corrispondenza allo zero altimetrico e con un'evidente sovraescavazione.



EVOLUZIONE: Lungo l'arco di tempo che intercorre tra il 1954 e il 2006 si è manifestata una chiara erosione sul lato orientale, maggiormente esposto al vento di Bora, con arretramenti in media di 0,3m all'anno per il periodo 1954-1990 e di 0,2m all'anno per il periodo 1990-2006. Nonostante la continua erosione del lato orientale, l'estensione totale della barena è rimasta pressoché costante: infatti la superficie della barena risultava essere pari a 0,39ha nel 1954, 0,29ha nel 1990 e 0,30ha nel 2006, grazie alla compensazione data da un fenomeno di accrescimento verso nord, in un'area più protetta dal moto ondoso.

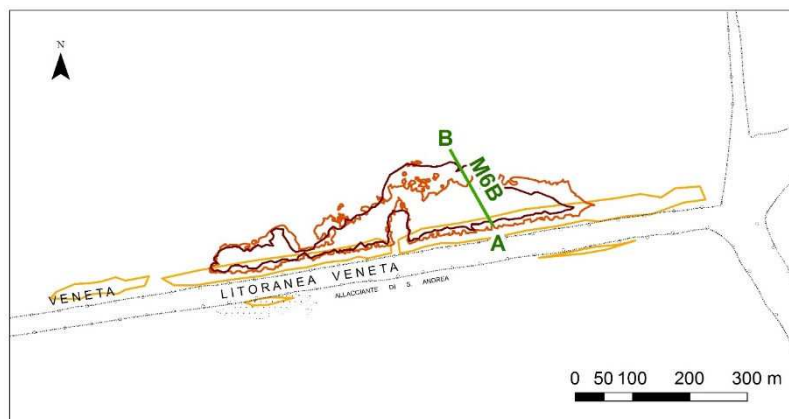
2.1.6 Area campione M6B



TIPOLOGIA: Barena di margine di canale.

MORFOLOGIA: La barena, con un'estensione totale di 3,6ha, è costituita da un unico corpo allungato situato lungo la porzione di canale navigabile appartenente alla Litoranea Veneta denominato Allacciante di S. Andrea. In pianta si osserva

un perimetro continuo, con alcune insenature: l'ampiezza è diversa nelle varie parti in relazione ai diversi tassi di espansione della vegetazione e di accumulo sedimentario. Sul lato meridionale, lungo il canale, il margine ha un andamento nel complesso rettilineo, ma caratterizzato da una fitta alternanza di piccole baie e promontori legata all'azione erosiva dell'ondazione prodotta dal transito dei natanti lungo il canale. Essa è testimoniata anche dalla presenza di due evidenti gradini di erosione. Nella porzione centrale si osserva una profonda insenatura, probabilmente di origine



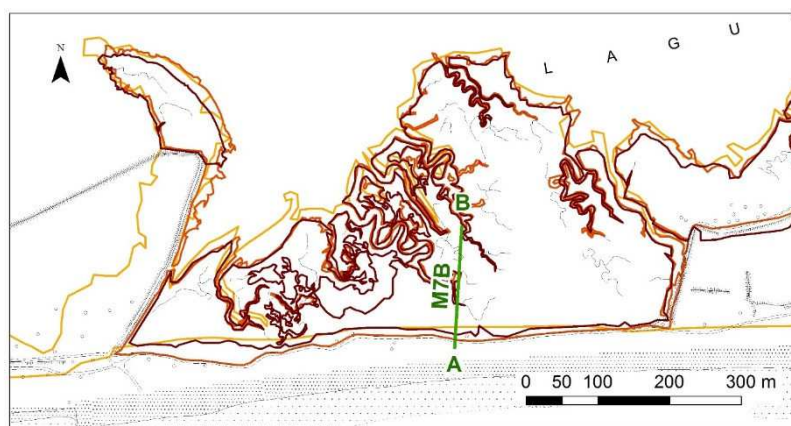
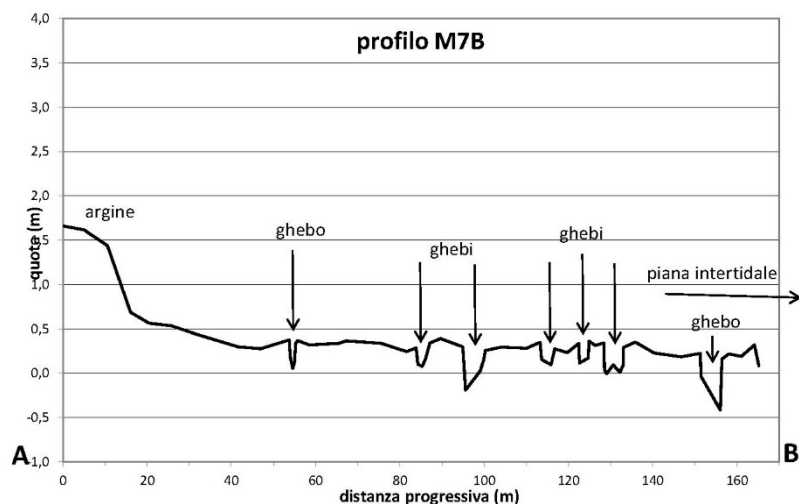
- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

antropica. Sul lato settentrionale il margine presenta in pianta un andamento più regolare e si raccorda in maniera graduale con la velma adiacente. Nella porzione centrale della barena sono presenti una serie di chiari di forma allungata abbastanza regolare.

Il transetto topografico mostra un gradino molto pronunciato con un dislivello di circa 0,40m sul lato canale e una porzione ampia circa 40m con quote molto elevate (in media oltre i 0,6m sul l.m.m.); segue una fascia caratterizzata dalla presenza di chiari e da ultimo un tratto con quote irregolari, ma comunque modeste (intorno ai 0,20m), limitato a nord da un breve rialzo che si raccorda gradualmente con la piana tidale.

EVOLUZIONE: L'origine della barena è molto probabilmente antropica. In seguito al dragaggio del canale il sedimento è stato scaricato sul bordo, formando una sottile striscia di sedimento emerso ben visibile nella foto aerea del 1954. Nella prima fase, compresa tra il 1954 e il 1990, il materiale scaricato a bordo canale è stato preso in carico e ridistribuito dall'azione del moto ondoso e delle correnti: si potrebbe dire che sia stato 'spalmato' su di un'area maggiore (+1,49ha), aumentando la sua stabilità. Successivamente, nel periodo compreso tra il 1990 e il 2006, è stato osservato un bilancio complessivo erosivo (-0,47ha), risultante da contemporanei fenomeni di accumulo ed erosione. Di fatto attualmente il margine della barena evolve in modo asimmetrico, perdendo sedimento sul lato che si affaccia sul canale, che viene investito dal moto ondoso prodotto dai natanti in transito. Parte del materiale risospeso si deposita sul margine retrostante, più protetto.

2.1.7 Area campione M7B



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

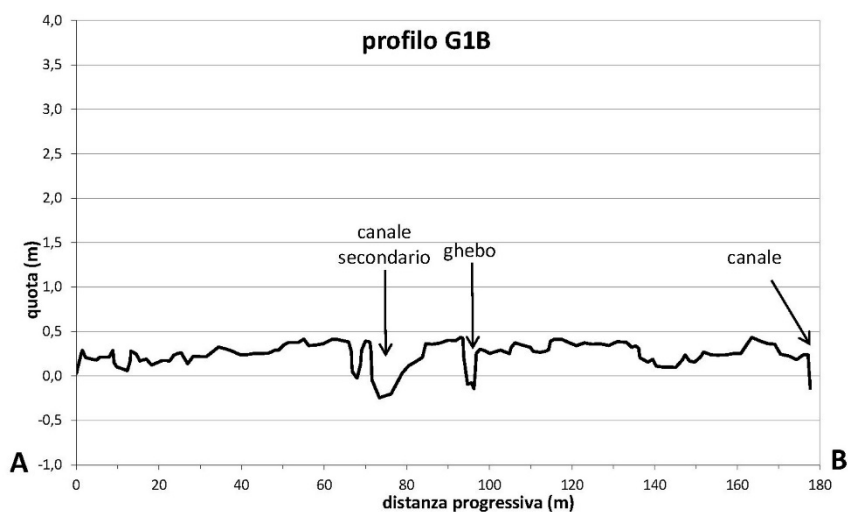
TIPOLOGIA: Barena di retrobarriera.

MORFOLOGIA: La porzione di barena presa in considerazione fa parte di un più esteso sistema di retrobarriera (13,6ha complessivi), sviluppatosi alle spalle dell'isola di S. Andrea. Essa presenta numerosi chiari e ghebi molto meandreggianti e profondi e si raccorda sul lato verso mare a un argine in sabbia e alla spiaggia. Dal profilo topografico, che si estende in direzione sud-nord, risulta evidente la struttura dell'argine artificiale che raggiunge la quota di 1,60m sul l.m.m..

La successiva vasta area a barena, ampia circa 120m, si attesta su quote piuttosto costanti (comprese tra 0,3m e 0,2m sul l.m.m.), anche se progressivamente digradanti verso i fondali lagunari a velme. Il profilo interseca più volte le anse dei ghebi, che presentano quasi sempre margini rialzati.

EVOLUZIONE: Questa barena mostra in generale un'erosione del margine sul lato lagunare evidente soprattutto durante il primo periodo (1954-1990), con arretramenti compresi tra 6 e 30m e in misura minore, nel secondo periodo (1990-2006), quando si manifesta anche un annegamento nelle porzioni centrali della barena, probabilmente imputabile a fenomeni di subsidenza/autocompattazione non sufficientemente compensati da apporti sedimentari (Fontolan et al. 2012).

2.1.8 Area campione G1B



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

TIPOLOGIA: Barena di margine di canale.

MORFOLOGIA: La zona presa in considerazione è composta da un gruppo di barene posizionate nel bacino di Primero, in un'area situata tra le valli da pesca "Frate Zuane" e "Verzelai". Esse si collocano in

uno dei pochi tratti in cui i canali lagunari del bacino di Primero non sono confinati dalla presenza delle arginature delle valli da pesca. Qui il flusso mareale, libero di espandersi, ha dato origine nel tempo a strutture simili a sistemi deltizi con formazione di barene racchiuse da canali secondari. Le porzioni occidentali di formazione più recente rivolte verso il bacino di Grado presentano margini frastagliati e sono ricche di chiari, quelle invece più interne seguono l'andamento lineare dei canali e degli argini delle valli da pesca.

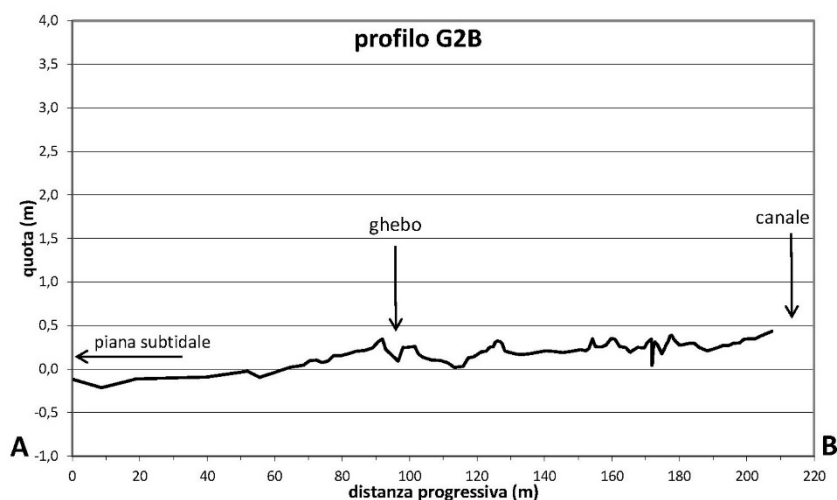
Il profilo topografico, effettuato per una lunghezza di circa 180m in direzione ovest-est, campiona diverse parti di questo complesso sistema. Nel corpo principale le

quote sono comprese tra 0,25m e 0,34m sul l.m.m. nei primi 20m di transetto (a partire dall'estremità orientale), e decrescono poi nei successivi 25m fino a quote di poco superiori al l.m.m., per tornare ad assestarsi intorno ai 0,30m fino all'estremità occidentale, dove si interseca un canale secondario. Al di là del canale secondario è presente una piccola barena con quote che raggiungono i 0,40m, limitata a sua volta dal meandro di un altro canale. Completa il profilo un corpo di barena per una lunghezza totale di circa 70m, che presenta una morfologia molto articolata con

quote molto variabili per la continua alternanza di piccoli chiari di forma tondeggiante e che rappresenta un'area di recente accrescimento.

EVOLUZIONE: Il gruppo di barene mostra un trend decisamente positivo nel periodo 1954-2006, con la creazione di diversi ettari di nuova barena. L'estensione misurata nel 1954 era pari a 0,24ha, nel 1990 mostrava un'evidente riduzione verso est, raggiungendo gli 0,18ha. Nell'ultimo periodo di riferimento (1990-2006) invece la sua superficie è aumentata verso sud-ovest, fino a raggiungere gli 0,22ha. Nella foto aerea del 2006 si nota inoltre un'ulteriore parte di barena in accrescimento verso ovest, che porta la superficie complessiva a un totale di 0,95ha.

2.1.9 Area campione G2B

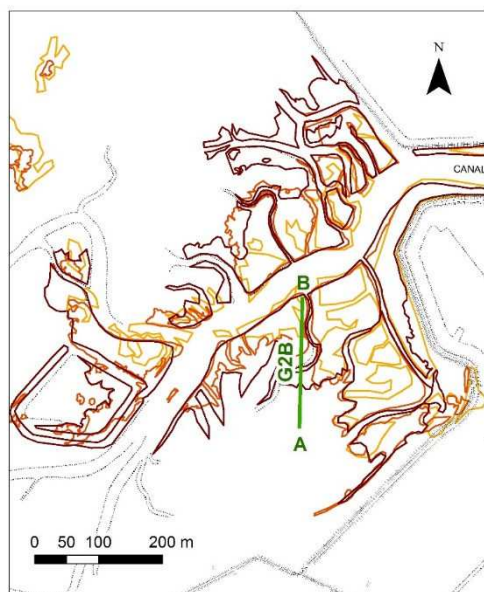


TIPOLOGIA: Barena di margine di canale.

MORFOLOGIA: Si tratta di un sistema in parte simile a quello del caso G1B, con barene sviluppate ai bordi di un canale principale, dal quale si diramano pochi ghebi meandreggianti. I margini si presentano quindi lineari

laddove le barene bordano i canali e i confini delle valli da pesca situate a est; sono invece irregolari e frastagliati sul lato di raccordo con le velme.

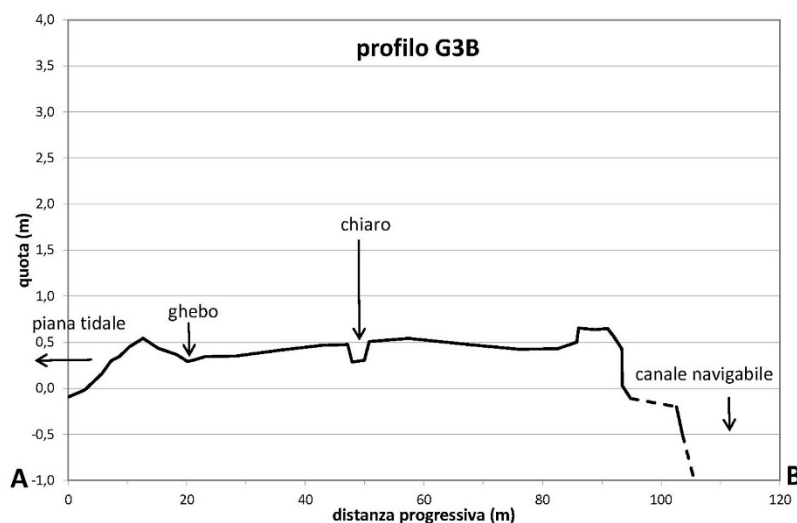
Il profilo topografico, che si estende in direzione nord sud, indica che una prima parte di barena compresa tra la velma e il ghebo di maggiori dimensioni presenta quote che aumentano in maniera graduale fino al margine del ghebo che si presenta più elevato (0,35m sul l.m.m.). Dopo il ghebo, la cui sezione asimmetrica tipica di un tratto a meandro è ben visibile nel profilo, si procede verso nord con un'area a barena con quote piuttosto modeste comprese tra 0,20 e 0,30m sul l.m.m.. Essa è frequentemente interessata dalla presenza di aree depresse (chiari) o ghebi di piccole dimensioni.



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

EVOLUZIONE: La storia di questo gruppo di barene è essenzialmente di tipo accrescitivo per il periodo considerato (1954-2006), nel quale si è passati da una superficie di 5,1ha nel 1954, a 9,25ha nel 1990, a 11,2ha nel 2006. Gli accrescimenti più significativi sono avvenuti sui margini lontani dal canale principale, laddove la barena si raccorda con la velma, ma anche in una piccola valle da pesca abbandonata posta all'estremità sud-occidentale di questo gruppo di barene.

2.1.10 Area campione G3B

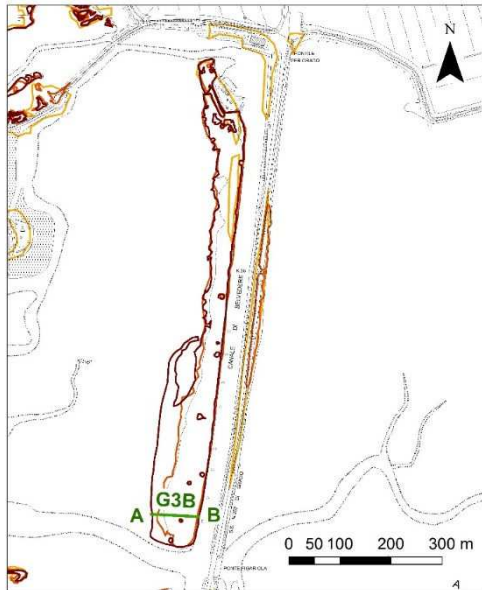


TIPOLOGIA: Barena di margine di canale.

MORFOLOGIA: La barena si presenta allungata in direzione nord-sud e il suo lato orientale costeggia il Canale Belvedere, canale che scorre parallelamente al terrapieno della strada statale che congiunge Grado ad Aquileia.

L'origine di questa barena è imputabile all'escavo e al riporto a lato dei sedimenti dragati dallo stesso canale.

La barena presenta una superficie tabulare interrotta da una serie di chiari allineati in direzione nord-sud. Dal profilo topografico eseguito in direzione ovest-est, nella parte più meridionale della barena, risulta evidente un margine ripido sul lato del canale Belvedere, con un gradino antistante posto a quota di circa -0,10m rispetto al l.m.m., una stretta porzione di velma (ampiezza circa 8m),



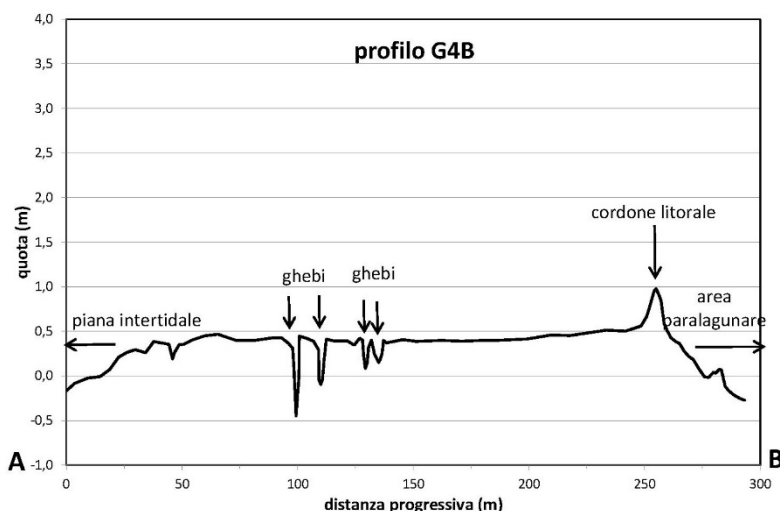
- Barena 2006
- Barena 1990
- Barena 1954

e una successiva rampa di raccordo che si collega al canale adiacente. In direzione opposta è presente un margine rilevato, fino a quota di 0,6m che rappresenta probabilmente l'area di maggior apporto dei sedimenti dragati. Oltre questo margine la barena ha un andamento tabulare, con quote che si attestano attorno ai 0,5m sul l.m.m., fino alla porzione centrale dov'è presente un chiaro ampio circa 4m. Oltre questa morfologia, procedendo verso ovest, le quote digradano dolcemente (fino a 0,34m sul l.m.m.) fino a un ghebo rettilineo con andamento nord-sud. La porzione di barena tra il ghebo e la piana tidale adiacente presenta un tipico margine rialzato (0,54m sul l.m.m.) che

successivamente digrada dolcemente con una piccola berma.

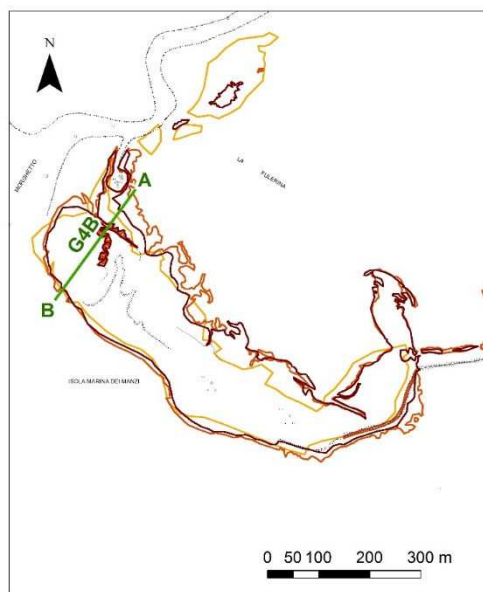
EVOLUZIONE: Questa barena, originata dai sedimenti dragati nel canale di Belvedere, come risulta evidente dal confronto delle foto aeree del 1954-1990, mostra un accrescimento nel periodo successivo, sicuramente naturale, sul lato occidentale, che compensa la debole erosione che si verifica su quello orientale. Il risultato complessivo è un incremento della superficie che dai 4,6ha nel 1990 è passata ai 5,78ha nel 2006.

2.1.11 Area campione G4B



TIPOLOGIA: Barena di retrobarriera.

MORFOLOGIA: La barena è essenzialmente composta da un corpo unico e si posiziona alle spalle dell'isola barriera denominata Marina dei Manzi, fronteggiata verso mare da un'area paralagunare originatasi in seguito alla



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

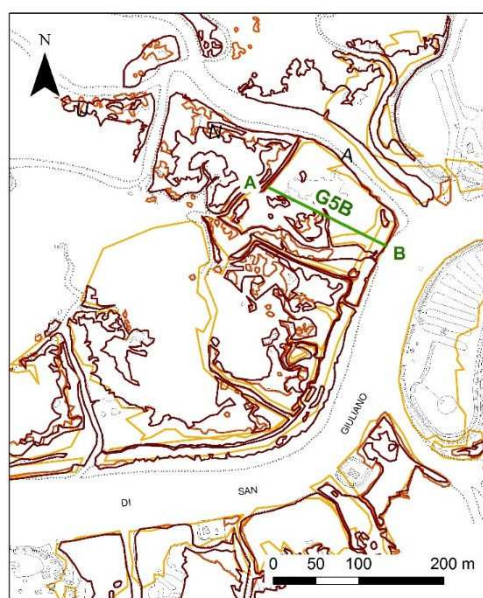
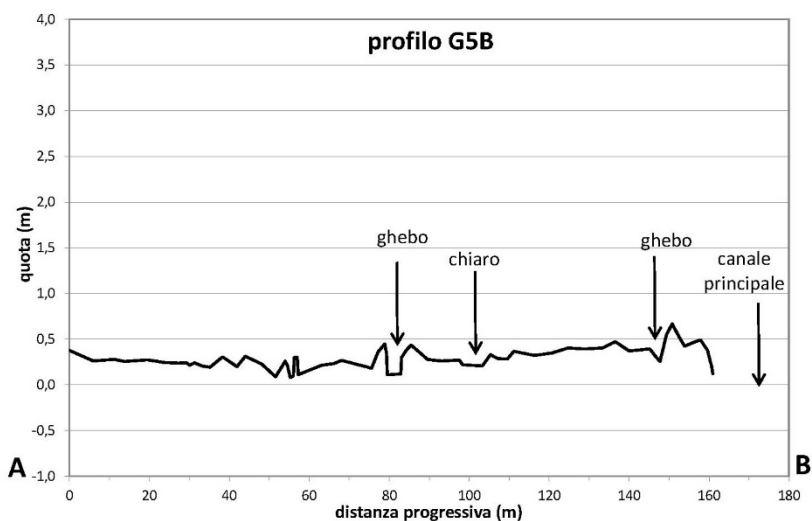
formazione dei banchi sabbiosi esterni (Banco d’Orio e del Tratauri). Il margine rivolto verso l’area paralagunare si presenta continuo e regolare con morfologie tipiche di spiaggia, mentre si mostra ben più frastagliato e irregolare quello orientato verso l’area lagunare. Tutta l’area a barena è solcata da profondi ghebi meandreggianti che drenano il riflusso di marea verso l’interno della laguna. Sono inoltre presenti cordoni litorali relitti, testimonianza dei processi litorali un tempo in atto nell’area.

Il profilo topografico attraversa l’intera ampiezza dell’isola in direzione nord/est sud/ovest presentando nell’ordine: una fascia di raccordo tra la velma e la

barena, a debole pendenza e morfologia debolmente accidentata a causa della vegetazione che la colonizza in maniera discontinua; un’ampia area leggermente depressa al centro (tipica conformazione della barena matura), che si attesta sui 0,4m sul l.m.m. ed è solcata dai profondi meandri dei ghebi che il profilo intercetta in più punti (evidenziandone bene anche la tipica sezione asimmetrica); un cordone litorale relitto che raggiunge quota di 1m; infine una stretta fascia di raccordo con la zona paralagunare dalla tipica morfologia di spiaggia.

EVOLUZIONE: Il margine sud-occidentale ha avuto un accrescimento nel periodo 1954-1990 e un lievissimo arretramento negli anni successivi (fino al 2006). Il margine nord-orientale invece ha subito un’evoluzione più complessa, con un vistoso accrescimento (tra il 1954-1990) nella parte più orientale e una decisiva erosione dei corpi distaccati di barena (a ovest, nello stesso periodo) che esistevano nel 1954 e di cui ora non è rimasto che qualche relitto. La parte restante del margine a nord-est ha subito un accrescimento tra il 1954-1990 e un arretramento tra il 1990-2006, ma solo nella parte più esposta al vento di Bora.

2.1.12 Area campione G5B



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

TIPOLOGIA: Barena di margine di canale.

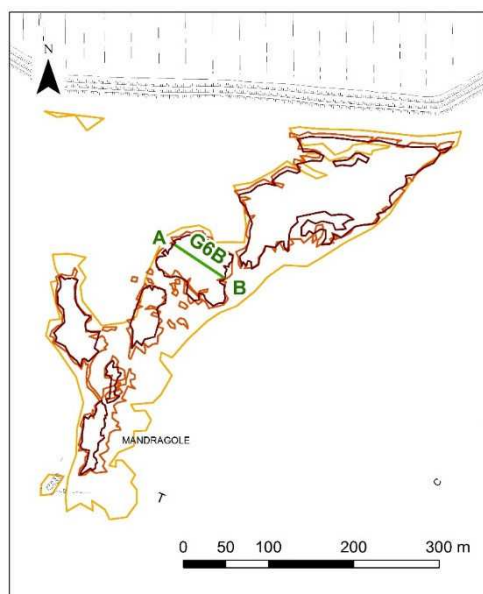
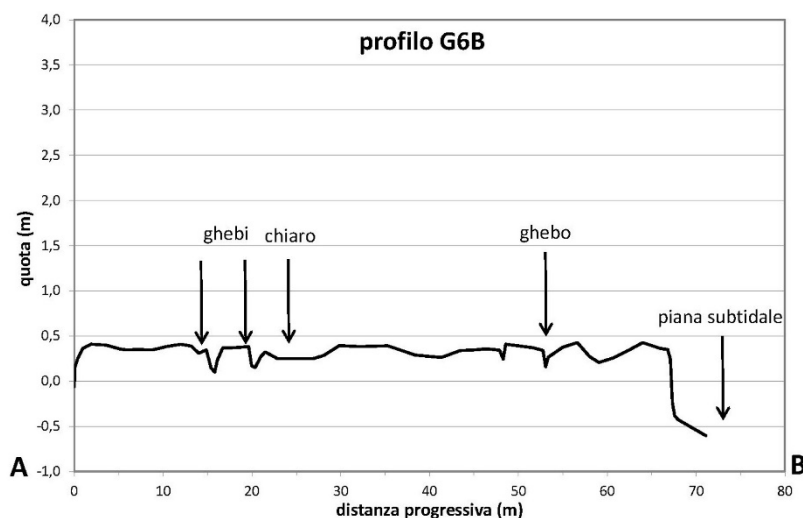
MORFOLOGIA: La barena, ampia 8,7ha, è situata nel bacino di Buso, più precisamente nell'area denominata Isole della Gran Chiusa e fa parte di un grande complesso di barene poste sul margine settentrionale del

canale di S. Giuliano, nel tratto compreso tra l'Isola di San Giuliano e la Valle del Mezzano. L'area un tempo era interessata da arginature per valli da pesca, testimoniate dalla presenza tutt'oggi visibile di morfologie di chiara origine antropica, come ghebi rettilinei e piccoli argini rilevati. Osservando il rilievo topografico, la barena presenta un margine piuttosto ripido e rilevato sul lato del canale, raggiungendo quote sui 0,70m sul l.m.m.. Procedendo verso l'interno della barena si nota un'area a quote digradanti comprese tra 0,50m e 0,30m circa sul l.m.m. Nella parte centrale il profilo intercetta un chiaro e numerosi ghebi dall'andamento tortuoso e meandreggiante. Sul lato occidentale la barena è

delimitata da un ghebo rettilineo, di probabile origine artificiale.

EVOLUZIONE: L'area presenta fasi alterne di erosione e accrescimento nei due periodi considerati (1954-1990 e 1990-2006). L'espansione avvenuta nell'ultimo periodo riguarda soprattutto la parte meridionale del complesso di barene (nella zona di raccordo con la velma verso nord), mentre l'area interessata dal rilievo topografico e dal campionamento risulta invece stabile nei periodi considerati.

2.1.13 Area campione G6B



- Barene 2006
- Barene 1990
- Barene 1954

TIPOLOGIA: Barena isolata.

MORFOLOGIA: Si tratta di un gruppo di barene allungato in direzione nord est – sud ovest adiacente all’argine di conterminazione, in un’area compresa tra la foce dell’Aussa Corno e quella del Natissa. Esso è costituito da sei corpi principali di diversa grandezza

per una superficie complessiva pari a 2,8ha; un’ulteriore isoletta di piccole dimensioni posta all’estremità meridionale è interamente occupata da manufatti antropici. I margini hanno un andamento alquanto irregolare, tranne che per il tratto più settentrionale che si affaccia su un canale rettilineo che scorre parallelo all’argine di conterminazione e che è di probabile origine artificiale.

Su queste barene si manifestano in maniera molto evidente i caratteri morfologici tipici dei sistemi soggetti ad annegamento ed erosione da moto ondoso: è parzialmente visibile un sistema articolato di ghebi che drena principalmente verso il margine nord occidentale,

ma che frequentemente attraversa i corpi barenali da parte a parte e si fonde in maniera indistinta con la diffusissima presenza di chiari, 2,8ha nel 2006) in un evidente processo progressivo di frammentazione. Molti piccoli corpi sono infatti ormai distaccati da quello principale.

Il profilo topografico è stato eseguito in direzione sud/est – nord/ovest sulla barena posta al centro del gruppo e ampia 0,44ha.

Procedendo da ovest verso est il margine della barena si eleva in maniera repentina a partire dall'adiacente velma e presenta il tipico ciglio lievemente rialzato (0,4m sul l.m.m.). La porzione centrale della barena, leggermente depressa, si mantiene a quote intorno al 0,3/0,35m. Il profilo intercetta numerosi ghebi di piccole dimensioni e alcuni chiari. Il margine sud-orientale si presenta anch'esso debolmente rialzato (0,42m la quota massima) e si chiude con un netto gradino erosivo con un dislivello di 0,75m. Una breve superficie inclinata si raccorda poi al fondale lagunare, posto a una quota di almeno -0,6m rispetto al l.m.m..

EVOLUZIONE: Lungo tutto il periodo esaminato (1954-1990) il gruppo di barene ha avuto una storia di erosione, che l'ha portato, da corpo unico che era (nel 1954 con un'ampiezza totale di 6ha) a suddividersi in tanti corpi minori con una perdita progressiva di area totale (3,44ha nel 1990 e 2,8ha nel 2006). Il fenomeno erosivo comprende un vistoso arretramento soprattutto del margine sud-orientale, la frammentazione dei corpi più grandi e la sparizione dei corpi di piccole dimensioni.

2.2 Rilievi fitosociologici e biomassa vegetale

La classe vegetazionale *Arthrocnemetea* Br.-Bl. et R. Tx. 1943 e la classe *Juncetea maritimi* Br.-Bl. 1952 sono risultate le classi vegetazionali maggiormente presenti negli ambienti a barena indagati (M5B, M7B, G1B, G3B, G5B) frammentate dalla presenza di popolamenti a *Salicornia* e *Spartina* localizzati nelle depressioni soggette a frequente sommersione (Allegato 1). Tali classi rientrano in quelle tipiche degli ambienti salini e sono assimilabili a quanto generalmente riscontrabile in simili aree del Mediterraneo. Inoltre, in Laguna di Marano e Grado, la vegetazione barenicola (Poldini et al., 1999) come quella sommersa (Boscutti et al., 2012) è del tutto simile a quella di altre situazioni lagunari non interessate da contaminazione da mercurio, suggerendo che, in questo contesto, il metallo non rappresenti un fattore selettivo, al contrario di quanto accade, invece, in altri contesti come le aree minerarie (Batty, 2005).

Per quanto riguarda la biomassa epigea (Allegato 4), la specie *L. narbonense* presenta i valori più bassi, sia per le foglie che per i fusti. *S. fruticosa*, invece, in accordo con quanto riportato da Canário et al. (2010) evidenzia i valori maggiori, in media 25,6g (foglie) e 16,1g (fusti). A livello radicale (Allegato 3), tutte e tre le specie presentano, per la quasi totalità dei casi, un valore maggiore di biomassa entro i primi 5cm di profondità e solo in pochi casi nel secondo livello, corrispondente ai 5-15cm (Tab. 2.1).

Tabella 2.1 - Peso fresco (in grammi) dei campioni vegetali

Specie	Foglie [g]	Fusto [g]	Radici [g]		
			0-5cm	5-15cm	15-25cm
<i>A. portulacoides</i>	17,8	13,9	3,8	1,6	0,4
<i>L. narbonense</i>	8,9	4,6	15,5	8,1	1,3
<i>S. fruticosa</i>	25,6	16,1	6,9	3,2	0,8

Nel primo livello ipogeo, la specie *L. narbonense* presenta i valori più elevati di biomassa, che si attestano mediamente attorno a 15,5g, dovuti probabilmente alla presenza di parte del colletto

radicale nella zona ipogea. In *S. fruticosa* i valori di biomassa risultano nettamente inferiori (6,9g) e ancora più basso è il valor medio nella terza specie, *A. portulacoides* (3,8g). Nel secondo livello si mantiene la differenza tra le specie, con valori medi di biomassa che si attestano a 8,1g in *L. narbonense*, 3,2g in *S. fruticosa* e 1,6g in *A. portulacoides*. Nell'ultimo livello le differenze tendono ad appiarsi, con valori di biomassa compresi fra 0,4 e 1,3g.

2.3 Caratteristiche granulometriche dei sedimenti

La maggior parte dei campioni prelevati nelle aree di indagine (M5B, M7B, G1B, G3B, G5B) ricade nella categoria del silt-sabbioso (Shepard, 1954), con 116 campioni su un totale di 135 (Fig. 2.1). Le classi silt e silt-argilloso caratterizzano i primi due livelli di alcuni campioni delle barene G1B, G5B e M5B. In alcuni campioni delle barene G3B e M7B, nel livello più profondo (15-25cm), la classe attribuita è quella della sabbia-siltosa ed in un solo caso (nella G3B) corrispondente alla sabbia (Allegato 5b).

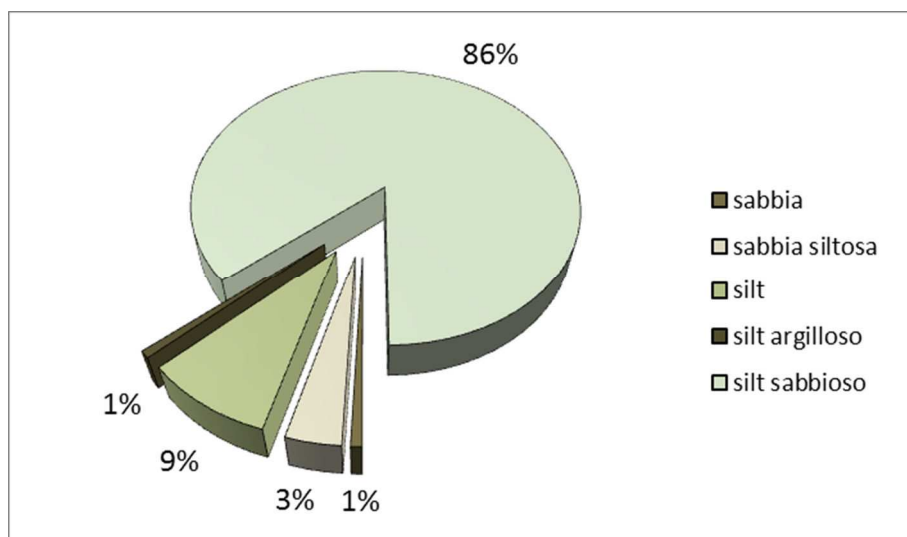


Figura 2.1 - Percentuali delle diverse classi granulometriche misurate nei campioni di sedimento

Fra le principali classi granulometriche (sabbia, silt e argilla) la classe più variabile è la sabbia (0,063-2mm) che varia fra 11,1% e 89,1%, seguita dal silt (9,6-79,4%). La percentuale di argilla tende a rimanere costante, attorno all'8% in tutti i campioni considerati.

L'elevata percentuale di campioni ascrivibili alla categoria del silt-sabbioso (86%) trova giustificazione nella modalità di campionamento e nell'individuazione di tre livelli ipogei definiti (0-5, 5-15 e 15-25cm). Infatti, questa scelta non ha consentito di suddividere il sedimento in funzione

delle sue caratteristiche fisiche, che in alcuni casi apparivano particolarmente evidenti, in quanto l'analisi era principalmente finalizzata alla verifica dell'esistenza di livelli preferenziali di assorbimento del mercurio da parte dei vegetali. Nessuna classe granulometrica risulta essere correlata alle concentrazioni di mercurio misurate nei campioni di sedimento.

2.4 Contenuto in carbonio e azoto dei sedimenti

Nei campioni di sedimento descritti al paragrafo precedente, i valori di azoto variano da un minimo dello 0,01% ad uno massimo dello 0,98%. Il contenuto in carbonio totale si attesta in media attorno a 7,02%, mentre la percentuale di carbonio organico presenta un valore medio di 3,4% (Allegato 6).

Il contenuto in carbonio organico, quindi, risulta piuttosto elevato se confrontato con quanto riscontrato nei sedimenti delle aree subtidali ed intertidali della Laguna di Marano e Grado (Acquavita et al., 2012; Covelli et al., 2012) e corrisponde a circa la metà del carbonio totale misurato.

Sebbene nei sedimenti lagunari si osservi un aumento dell'azoto con la profondità (Covelli et al., 2012), nei sedimenti di barena si osserva una tendenza opposta (Fig. 2.2). Infatti, i valori osservati nei tre livelli sono rispettivamente 0,53% (0-5cm), 0,30% (5-15cm) e 0,18% (15-25cm). Similmente, anche i valori del carbonio totale e del carbonio organico diminuiscono all'aumentare della profondità. Si osservano per il carbonio totale valori medi di 8,26% nel primo livello, 6,70% e 6,11% rispettivamente nel secondo e terzo livello di profondità; mentre per il carbonio organico i valori sono 5,38%, 3,01% e 1,82% rispettivamente per i livelli 0-5cm, 5-15cm e 15-25cm.

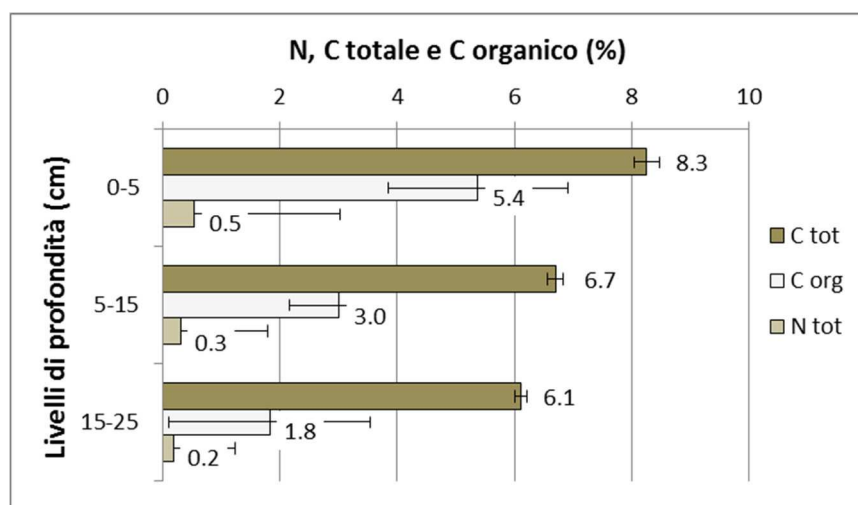


Figura 2.2 - Valori medi percentuali di azoto, carbonio totale e organico nei campioni di sedimento

L'assenza di un valore significativo dell'indice di correlazione di Pearson fra il contenuto in carbonio organico e la concentrazione di mercurio nei sedimenti indica che, nei campioni esaminati, sebbene la sostanza organica sia presente in percentuali rilevanti, essa non giochi un ruolo determinante nella complessazione ed accumulo del metallo nei sedimenti di queste barene.

3. IL MERCURIO NELLE AREE CAMPIONE

3.1 Il mercurio in Laguna di Marano e Grado: origine e distribuzione

Nella Laguna di Marano e Grado, la contaminazione da mercurio è da attribuirsi a due cause distinte (Covelli *et al.*, 2012): l'attività estrattiva del cinabro (HgS) perdurata per ben 500 anni nella miniera di Idrija in Slovenia e conclusasi definitivamente nel 1996 e gli sversamenti dell'impianto soda-cloro sito nel complesso industriale di Torviscosa.

Più di 5 milioni di tonnellate di roccia sono state escavate nella miniera di Idrija, di cui 144.000t di minerale (cinabro e Hg nativo). Di queste, si stima che circa il 27% sia stato disperso nell'ambiente (Gosar *et al.*, 1997).

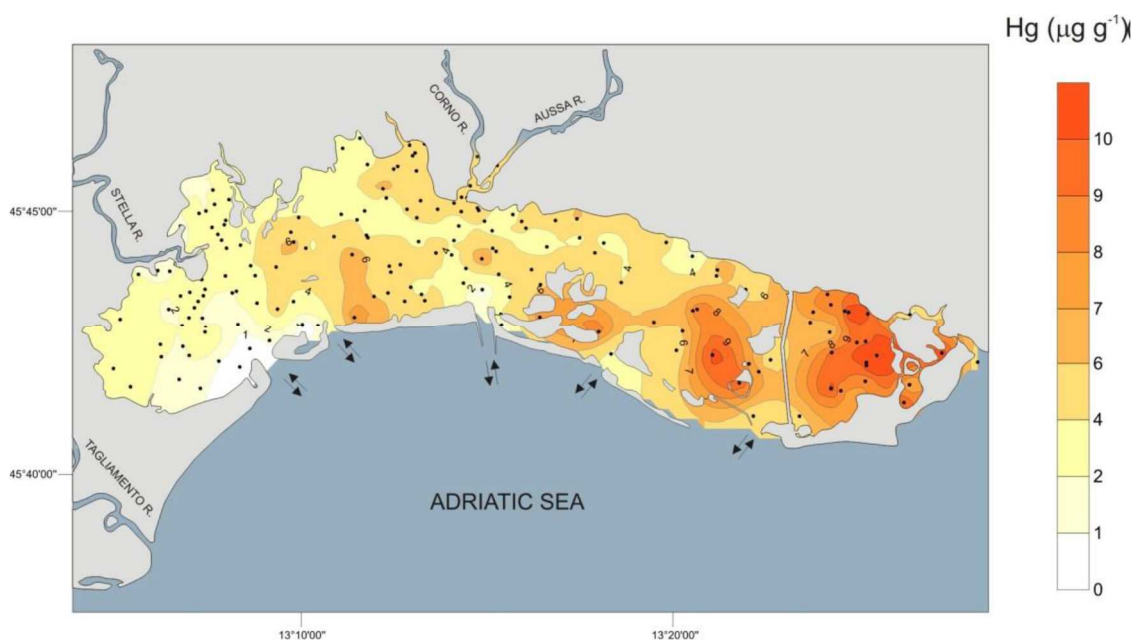


Figura 3.1 - Distribuzione del mercurio nei sedimenti superficiali intertidali e subtidali in Laguna di Marano e Grado (elaborazione su database storico da Acquavita *et al.*, 2012)

Il materiale detritico, proveniente dagli scarti di lavorazione della miniera ed ancora ricco in Hg, è stato depositato nel corso del tempo lungo le sponde del torrente Idrijca, affluente dell'Isonzo. Veicolato dall'Isonzo come particellato in sospensione, tale materiale è giunto sino alla foce (Gosar *et al.*, 1997) dove, per l'effetto combinato delle correnti lungoriva e dei flussi tidali, è stato disperso verso ovest, particolarmente durante gli eventi di piena (Faganeli *et al.*, 2003; Covelli *et al.*, 2006a;

Covelli *et al.*, 2007). In tal modo, il mercurio è entrato in Laguna, dove si è successivamente depositato al fondo a seguito della sedimentazione del materiale terrigeno particellato.

Il mercurio associato alle particelle fini in sospensione (preferibilmente di dimensioni $< 16\mu\text{m}$) viene anche disperso nel Golfo di Trieste per semplice azione dell'espansione della *plume* isontina sulle sottostanti acque marine e, per effetto del decremento della corrente, si accumula gradualmente al fondo (Covelli *et al.*, 2001).

Presso la foce dell'Isonzo, sono state rilevate concentrazioni di mercurio di due ordini di grandezza superiori (fino a $25\text{-}30\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) rispetto al *background naturale* stimato per l'area ($0,13 \pm 0,04\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Covelli *et al.*, 2006b), con un decremento esponenziale allontanandosi dalla foce (Faganeli *et al.*, 1999; Covelli *et al.*, 2001).

I sedimenti della Laguna di Marano e Grado, invece, presentano attualmente un livello di concentrazione da mercurio che si attesta, nel livello sedimentario più superficiale (0-1cm), nell'intervallo $0,68\text{-}9,95\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Acquavita *et al.*, 2012; Fig. 3.1).

Valutando gli inventari del mercurio nei sei sottobacini lagunari, calcolo che permette di valutare l'accumulo del metallo nel tempo, è stato stimato (per difetto) che l'ammontare di mercurio presente nei sedimenti è pari a non meno di 251 t, di cui ben 137 confinate nei sottobacini di Grado e Primero (Covelli *et al.*, 2012).

In aggiunta alla contaminazione dovuta all'attività mineraria, dal 1950 in poi è rilevabile nei sedimenti lagunari anche il contributo dell'attività industriale dell'impianto soda-cloro di Torviscosa. Si stima che, nei suoi 35 anni di attività, l'impianto abbia immesso in Laguna, prima delle opere di recupero e risanamento, circa 186t di Hg (Daris *et al.*, 1993) che rappresentano una percentuale localizzata e minoritaria rispetto al contributo dell'attività mineraria di Idrija.

Gli studi eseguiti sulla speciazione del mercurio nei sedimenti di fondo della Laguna di Marano e Grado hanno dimostrato che il mercurio in forma di cinabro, stabile e insolubile, è maggiormente presente alla foce dell'Isonzo e presso i lidi adiacenti, mentre nell'area centrale della Laguna il mercurio è associato alla componente fine del sedimento, adsorbito sulla superficie di materiali argillosi o complessato con colloidali e sostanza organica (Piani *et al.*, 2005). In prossimità della foce del Fiume Aussa-Corno, invece, più del 98% del Hg totale è legato a forme non cinabrifere, quale probabile conseguenza degli input industriali (Piani *et al.*, 2005).

3.2 Il mercurio nei sedimenti delle barene

Le concentrazioni di mercurio misurate nel sedimento delle 5 barene oggetto di questo studio variano da valori inferiori al limite di rilevabilità strumentale ($0,005\text{ng Hg}$, Milestone Srl) fino ad un massimo di $27\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ circa (Allegato 3). Tali valori risultano mediamente superiori allo Standard di Qualità Ambientale (SQA-MA) definito dal D.M. 8 novembre 2010, n. 260 che stabilisce in $0,3\text{mg kg}^{-1}$ s.s. il valore medio annuo da non superare per assicurare il “buono stato chimico” dei sedimenti ed in linea con quanto evidenziato dall’elaborazione dei dati storici sulla distribuzione del mercurio in Laguna di Marano di Grado da Acquavita et al. (2012) ($0,68\text{-}9,95\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ nel livello sedimentario più superficiale, 0-1cm).

In Figura 3.2 sono riportati i valori medi di concentrazione del mercurio nei sedimenti delle barene indagate, considerando tutti i siti di campionamento all’interno di ciascuna barena. Applicando il test per l’analisi della varianza (ANOVA), la differenza fra le concentrazioni medie di mercurio fra le diverse barene, risulta complessivamente significativa ($p<0,0001$). In particolare, risulta statisticamente significativa la differenza fra la barena G1B e la barena M5B.

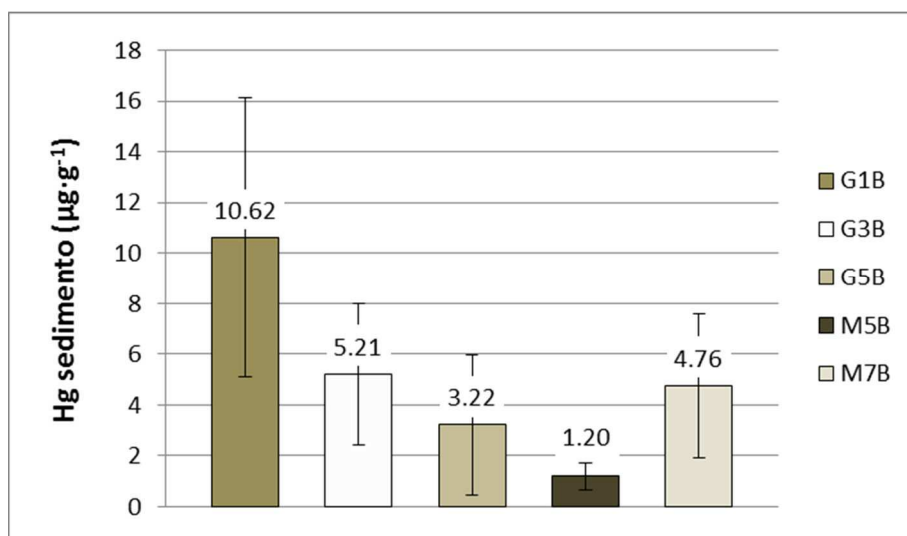


Figura 3.2: Contenuto medio in mercurio nei sedimenti delle barene indagate

La barena G1B è quella maggiormente contaminata, mentre la M5B presenta il minore contenuto del metallo, a conferma del gradiente di contaminazione est-ovest riportato da diversi autori (Brambati, 1997; Piani e Covelli, 2001; Piani et al., 2005). Infatti, la barena G1B è situata nel bacino di Primero e risente maggiormente della contaminazione storica del mercurio cinabrifero

proveniente dalla miniera di Idria (Marocco, 1995; Brambati, 1997; Piani e Covelli, 2001). La barena M5B, invece, si trova in prossimità di Marano Lagunare, adiacente alla gronda lagunare e lontana dalle bocche tidali.

Le differenze in termini di concentrazione del mercurio nel sedimento sono state indagate anche nei tre diversi livelli di profondità campionati (0-5, 5-15 e 15-25cm). L'intervallo di variazione delle concentrazioni di mercurio tende ad aumentare in funzione della profondità, passando da concentrazioni comprese tra valori prossimi allo zero e $9\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ circa nei primi 5cm, fino a $15\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ nel secondo livello e fino a $28\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a 25cm di profondità.

3.3 Confronto fra le sequenze sedimentarie delle barene M5B e G1B

Per quanto riguarda le barene M5B e G1B, un precedente studio di dettaglio (Covelli et al., 2012) ha permesso di stimare i tassi di sedimentazione a partire da un'analisi geocronologica. Inoltre, il prelievo di carote lunghe (1m di profondità) e l'analisi di dettaglio dei livelli sedimentari ha restituito per queste due barene dei profili di concentrazione del mercurio che permettono di valutare l'accumulo di questo metallo negli ultimi 200 anni.

3.3.1 Profili dei radionuclidi, tassi di sedimentazione e geocronologia

Il ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,3$ anni) è un isotopo radioattivo naturale appartenente alla serie di decadimento dell' ^{238}U , ampiamente utilizzato negli ultimi 40 anni come tracciante di processi sedimentari in ambiente acquatico su una scala temporale di 100-150 anni.

Accanto ai profili di attività del ^{210}Pb , sono spesso utilizzati per la datazione anche quelli del ^{137}Cs . In particolare, vengono considerati i picchi di attività corrispondenti ai periodi di massima immissione atmosferica e che dovrebbero corrispondere al materiale depositatosi rispettivamente nel 1963 e nel 1986. L'immissione del ^{137}Cs in atmosfera, infatti, è iniziata nei primi anni '50 con l'inizio degli esperimenti nucleari ed ha raggiunto i valori massimi negli anni 1954-58 e 1962. L'incidente alla centrale termonucleare di Chernobyl (aprile 1986) ha determinato un'ulteriore massiccia ricaduta a vasta scala sull'Europa.

In genere, il ^{137}Cs viene misurato per verificare i risultati ottenuti mediante l'utilizzo del ^{210}Pb . Infatti, se la profondità del picco di ^{137}Cs è in perfetto accordo con la profondità prevista attraverso il ^{210}Pb ,

il sedimento non è affetto da mescolamento e i tassi di sedimentazione forniti dai due radionuclidi sono attendibili.

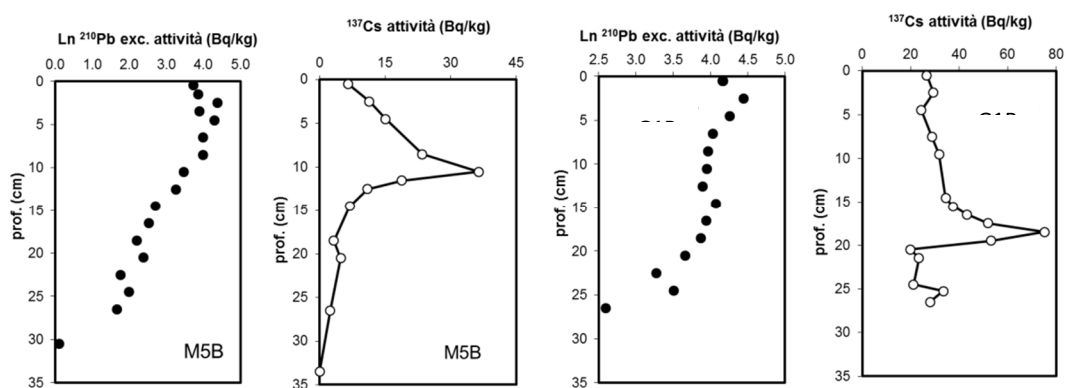


Figura 3.3: Profili di attività del ^{210}Pb (espresso come logaritmo naturale dell'attività in eccesso, cioè sottratto il background naturale) e del ^{137}Cs , espresse in Bq kg^{-1} .

I risultati (Fig. 3.3) evidenziano che la velocità di sedimentazione in M5B è rimasta piuttosto costante per quasi tutto il '900, aumentando repentinamente negli ultimi 10-20 anni. Tuttavia, non è chiaro da che cosa sia stato determinato questo aumento né quando questo si sia prodotto. Un aumento del tasso di accrezione potrebbe essere legato ad una maggiore frequenza degli eventi di annegamento della barena negli anni più recenti.

Per ricostruire cronologicamente la contaminazione da Hg ed altri metalli pesanti nei sedimenti della barena, Covelli et al. suggeriscono di utilizzare una velocità di sedimentazione media di $0,24\text{cm/anno}$ dai livelli basali della carota fino a 5cm di profondità, e un valore di $0,41\text{cm/anno}$ dalla profondità di 5cm fino alla superficie. In pratica, i 63cm di sequenza sedimentaria nella barena M5B corrisponderebbero agli ultimi 250-260 anni.

L'analisi dell'attività dei due radionuclidi nella successione sedimentaria della carota G1B, invece, hanno evidenziato il picco di ^{137}Cs , relativo a Chernobyl, a $18,5\text{cm}$ di profondità. A partire da questo dato, si può estrapolare una velocità di sedimentazione di circa $0,74\text{cm/anno}$ nel periodo 2010-1986 (Fig. 3.3). Il picco minore di ^{137}Cs a $25,5\text{cm}$ si riferisce probabilmente al 1963, per cui la velocità di sedimentazione tra il 1963 ed il 1986 sarebbe pari a $0,30\text{cm/anno}$. La velocità di sedimentazione nella porzione sommitale è cresciuta più del doppio negli ultimi 25 anni, similmente a quanto

riscontrato per la barena M5B. Estrapolando quest'ultima velocità fino alla profondità di 63cm si arriva ad un'età stimata per la carota G1B pari al 1802.

3.3.2 Profili del mercurio

I profili del Hg nelle carote M5B e G1B (Fig. 3.4) riflettono chiaramente la contaminazione da parte di questo metallo che, nella storia più recente, ha coinvolto l'intera Laguna di Marano e Grado.

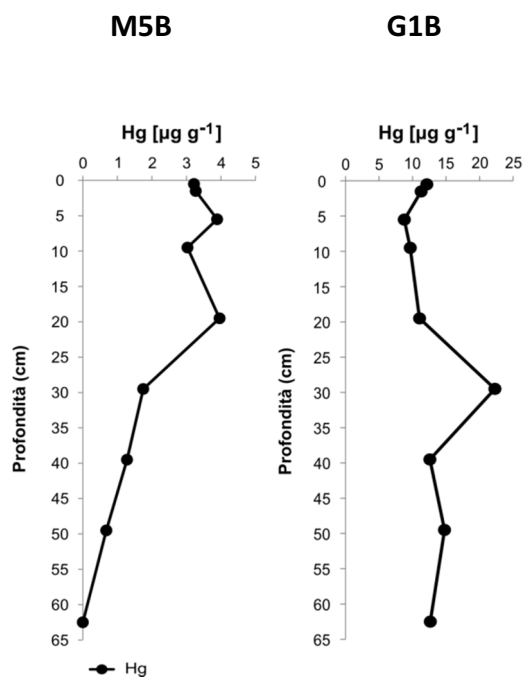


Figura 3.4: Profili verticali delle variazioni della concentrazione del Hg nel sedimento delle carote lunghe M5B e G1B.

Dal confronto tra i due profili, risultano evidenti due aspetti: il primo riguarda l'elevata concentrazione media del Hg nel sedimento di G1B ($13,7\mu\text{g g}^{-1}$) rispetto a quella presente nel sedimento di M5B ($2,60\mu\text{g g}^{-1}$), il che conferma la maggior contaminazione dei sedimenti da parte di questo metallo nel bacino di Primero. Il secondo aspetto riguarda, invece, la variazione della concentrazione del Hg con la profondità. In M5B, ad eccezione del picco massimo nel livello 19-20 cm ($3,96\mu\text{g g}^{-1}$), il Hg diminuisce con la profondità fino a raggiungere un valore inferiore al limite di rilevabilità nel fondo carota ($< 0,13\mu\text{g g}^{-1}$). Nella carota G1B, invece, il contenuto medio di Hg è di $13,7\mu\text{g g}^{-1}$ e la sua concentrazione tende ad aumentare con la profondità, con un valore massimo di $23,9\mu\text{g g}^{-1}$ nel livello 29-30cm.

Il sedimento della barena G1B, situata nel bacino di Primero e quindi nell'area gradese prossima alla sorgente fluviale isontina, risente maggiormente della contaminazione storica del Hg cinabifero proveniente dalla miniera di Idrija (Mattassi et al., 1991; Marocco, 1995; Brambati, 1996, Piani & Covelli, 2001) e presenta, quindi, le maggiori concentrazioni di Hg. L'età stimata per la carota G1B è di circa 200 anni (cfr 3.3.1) e, quindi, il fondo carota risulta antecedente all'età industriale ma successivo all'inizio dell'attività mineraria ad Idrija (1496 circa). Anche la carota prelevata a M5B presenta caratteristiche simili, tuttavia il profilo verticale del Hg (Fig. 3.4), presenta un valore di concentrazione nel livello basale (62-63cm) inferiore al limite di rilevabilità strumentale e corrispondente al *background* naturale stimato per l'area ($0,13\mu\text{g g}^{-1}$). Tale evidenza suggerisce che, in ragione della sua posizione, la barena M5B abbia iniziato a risentire della contaminazione da Hg a partire da tempi più recenti rispetto a quanto osservato per G1B.

3.4 Il mercurio nelle alofite

Le concentrazioni di mercurio rinvenute nelle parti aeree delle specie alofile indagate (Allegato 4) sono piuttosto contenute e variano fra valori inferiori al limite di rilevabilità strumentale e $0,14\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nelle radici (Allegato 3), invece, la variabilità risulta molto ampia ed i valori più elevati (fino a circa $121\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) sono stati riscontrati nel livello più profondo (15-25cm).

Il contenuto in mercurio nelle parti aeree è simile nelle tre specie e non si notano differenze significative. I valori più bassi misurati nel presente studio sono quelli dei fusti di *Limonium narbonense*, con un valore medio di $0,008\mu\text{g g}^{-1}$ e un valore massimo di $0,025\mu\text{g g}^{-1}$.

La presenza di un quantitativo maggiore di mercurio nelle foglie basali rispetto ai fusti erbacei in *L. narbonense* e nei fusti rispetto alle foglie in *S. fruticosa* e *A. portulacoides*, giustifica l'ipotesi di una bassa traslocazione del metallo all'interno della pianta. Si tratta, probabilmente, di un meccanismo di difesa che viene attuato dalla pianta per proteggersi dalla tossicità di questo elemento che viene, di conseguenza, trattenuto a livello radicale (Almeida et al., 2004; Coelho et al., 2009).

L'accumulo del mercurio nelle radici è stato descritto da molti autori: le concentrazioni rilevate raggiungono livelli anche di due-tre ordini di grandezza superiori rispetto alle concentrazioni misurate nelle parti epigee (Caçador et al., 2000; Canario et al., 2007; Coelho et al., 2009).

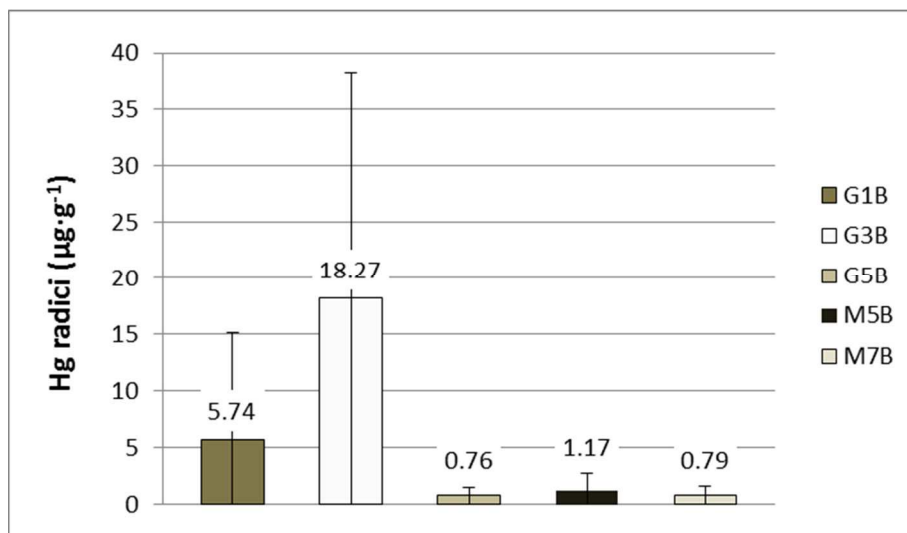


Figura 3.5: Contenuto medio di mercurio nelle radici nelle diverse barene

Se si confronta, fra le diverse barene, il contenuto medio di mercurio nelle radici (Fig. 3.5) risulta evidente lo scostamento della barena G3B (ed in minor misura della G1B) rispetto alle altre. La barena G3B presenta un valore medio di $18\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ circa, triplo rispetto a G1B ($5,74\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Le rimanenti barene presentano, invece, valori medi molto simili fra loro, nettamente inferiori rispetto alle due barene appena descritte: $0,76\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (G5B) $1,17\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (M5B) e $0,79\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (M7B).

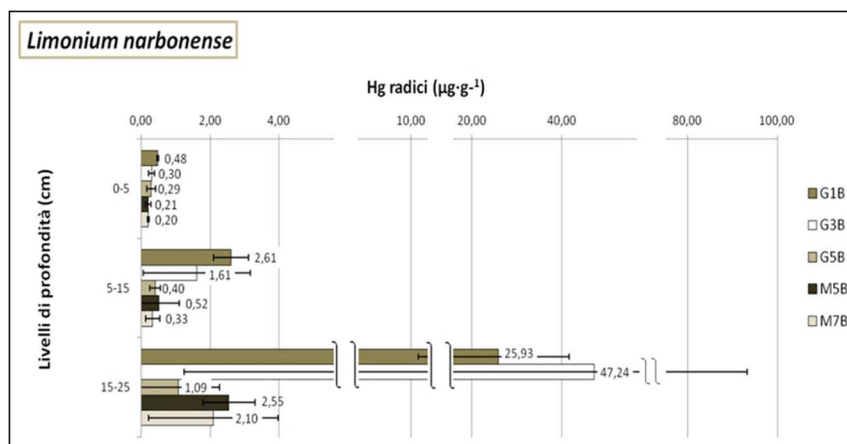
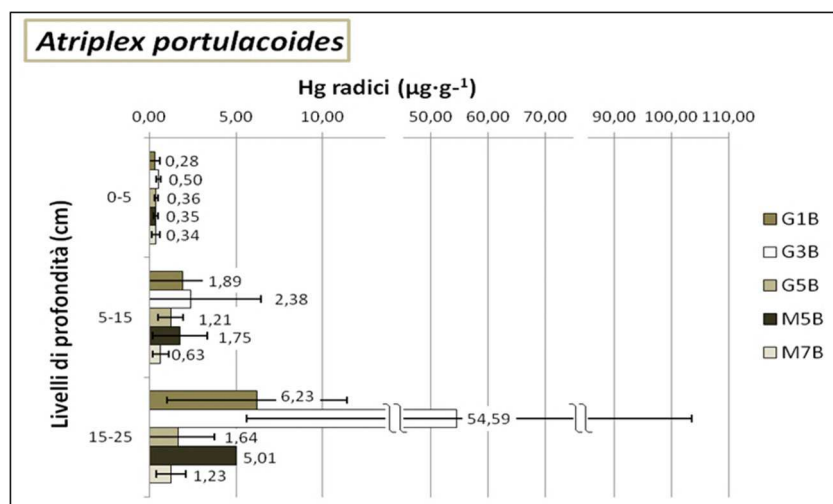
A livello radicale, è stato osservato un aumento del contenuto in mercurio all'aumentare della profondità, andamento rispettato per la quasi totalità dei campioni. Nel primo livello, il contenuto in mercurio nelle radici (compreso fra il limite di rilevabilità e $1,13\mu\text{g g}^{-1}$) risulta sensibilmente inferiore alla concentrazione del metallo nel sedimento, dove il valore massimo registrato si attesta attorno a $9\mu\text{g g}^{-1}$. Nel secondo livello, l'intervallo di variazione del mercurio nelle radici diviene più ampio e simile a quanto misurato nel rispettivo sedimento. Nelle radici si osservano valori massimi attorno a $11\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, mentre nel sedimento si raggiungono i $15\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nel livello più profondo (15-25cm), si osservano i valori più alti di mercurio nelle radici, alcuni dei quali particolarmente elevati, come nel caso della barena G3B che registra valori superiori a $60\mu\text{g g}^{-1}$ ed un massimo di circa $122\mu\text{g g}^{-1}$.

A tale proposito, in letteratura sono state riscontrate situazioni contrastanti: Castro *et al* (2009) non evidenziano accumuli nelle radici, mentre Canário *et al.* (2007), in accordo con i dati qui riportati, evidenziano un aumento della concentrazione di mercurio nelle radici con l'aumentare della profondità. Gli stessi Autori parlano di "livelli preferenziali" di accumulo del metallo, conseguenza

di due possibili cause: l'aumento della disponibilità del mercurio (e metilmercurio) con la profondità, oppure l'aumento dell'efficienza delle radici nell'assorbimento-rimozione del mercurio (e metilmercurio) dal sedimento. La seconda causa è forse la più plausibile, data la morfologia dell'apparato radicale dove l'assorbimento avviene a livello dei capillari radicali. Questi corrispondono alle radici più sottili, presenti nelle zone distali, che esplorano il terreno crescendo in profondità ed espandendosi lateralmente.

Dai risultati ottenuti, quindi, l'assorbimento di un maggior o minor quantitativo di mercurio risulta essere legato maggiormente al contesto generale dove sono inserite le singole barene, oppure allo specifico sito di campionamento, piuttosto che alla specie considerata.

Confrontando le concentrazioni nelle radici delle diverse specie, è evidente come la diversità tra le barene condizioni l'assorbimento a livello radicale. Questo è molto evidente nella barena G3B, dove si osservano valori elevati di mercurio nelle radici dell'ultimo livello per tutte e tre le specie, indistintamente (Fig. 3.6).



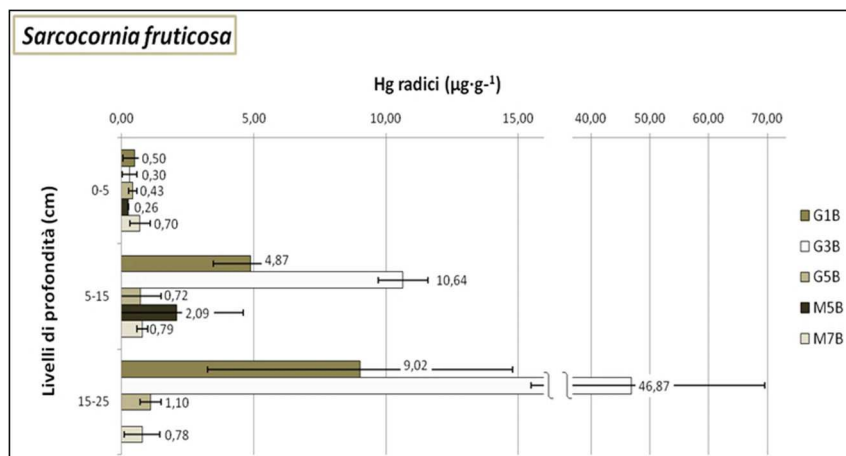


Figura 3.6: Concentrazioni di mercurio rilevate nelle diverse alofite

All'interno delle singole barene, si possono fare alcune considerazioni sul comportamento delle singole specie. Nel livello intermedio (5-15 cm), per tutte le barene esclusa la G5B, la specie *S. fruticosa* presenta la maggiore concentrazione di mercurio nelle radici. In G5B, invece, è *A. portulacoides* a presentare la concentrazione più elevata. Al contrario, nel livello più profondo di tutte le barene, *S. fruticosa* presenta sempre il minore contenuto in mercurio.

La distribuzione del mercurio nei vari organi della pianta (radici, fusto, foglie) è stata anche espressa in termini percentuali (Tab. 3.1). Nella specie *L. narbonense* le radici possono contenere fino al 99% del mercurio totale presente nella pianta. La specie *S. fruticosa* presenta una percentuale leggermente inferiore e piuttosto variabile a seconda delle barene, compresa in un intervallo che va da un minimo del 60% circa fino ad oltre il 96%. Nella specie *A. portulacoides*, invece, si osservano elevate percentuali di mercurio anche nelle parti aeree (fino ad oltre il 40%).

Tabella 3.1: Percentuali medie di mercurio nei diversi organi delle tre specie indagate

specie	% Hg foglie	% Hg fusto	% Hg radici
<i>Atriplex portulacoides</i>	15,3	18,4	66,3
<i>Limonium narbonense</i>	4,0	0,5	95,5
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	8,4	10,7	80,9

Complessivamente, nel comparto radici si passa da valori minimi attorno al 50% fino a valori del 90%; nei comparti fusti e foglie si riscontrano valori medi attorno al 18% e 15%, rispettivamente.

Studi precedenti (Castro *et al.*, 2009) hanno mostrato come, indipendentemente dalla specie vegetale, la maggior tendenza ad accumulare mercurio è associata alle zone meno contaminate. Al contrario, laddove le concentrazioni di mercurio nei sedimenti sono più elevate, le specie vegetali riescono a sequestrare il metallo in maniera molto più limitata.

Applicando l'indice di correlazione di Pearson, è stato ottenuto un valore abbastanza alto e significativo solo per le barene G1B ($r=0.747$, $p<0.001$) e G3B ($r=-0.603$, $p=0.001$), relativamente alla correlazione fra il contenuto in mercurio nel sedimento e nelle radici.

Nella barena G3B, a valori relativamente bassi di concentrazione del mercurio nel sedimento corrispondono valori elevati nelle radici; al contrario, nella G1B, si osserva l'esatto opposto (Fig.3.7). Escludendo le barene G1B e G3B dal *dataset*, si può osservare in M5B un comportamento analogo alla barena G3B (Fig. 3.8), ovvero a variazioni limitate del contenuto in mercurio nel sedimento corrisponde una variazione piuttosto ampia della concentrazione del metallo nelle radici. Le barene G5B ed M7B, invece, non sembrano presentare andamenti particolari.

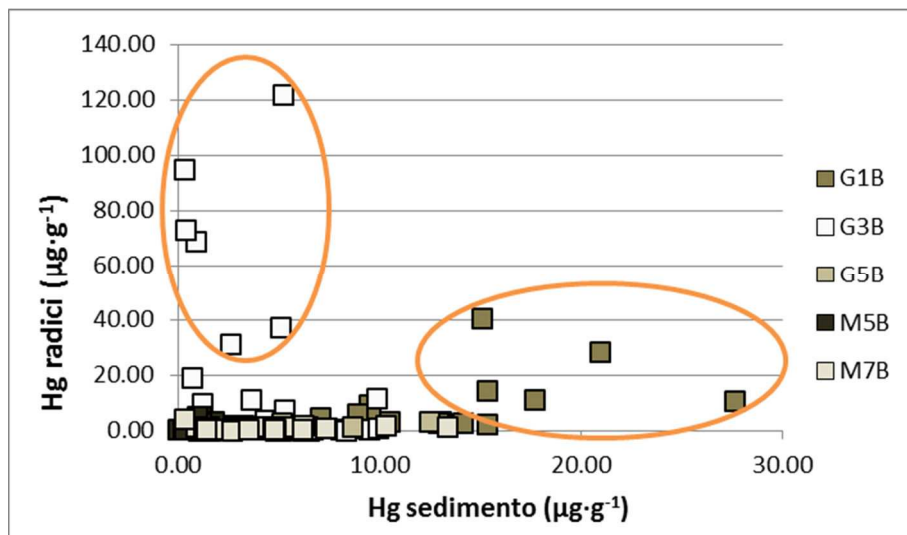


Figura 3.7: Relazione fra il contenuto in Hg nel sedimento e nelle radici (tutte le barene)

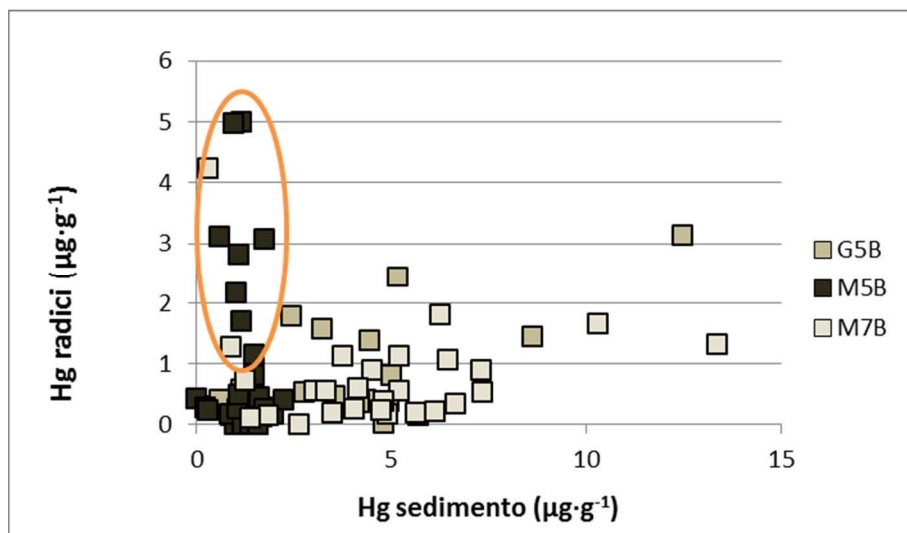


Figura 3.8: Relazione fra il contenuto in Hg nel sedimento e nelle radici (escluse le barene G1B e G3B)

Per verificare se la relazione tra mercurio nei sedimenti e nelle radici è maggiormente condizionata dalla specie, dalla barena o dal sito di campionamento, è stata effettuata un'analisi della varianza a due vie, in modo da confrontare contemporaneamente le differenze tra i siti e tra le specie. Dal risultato del test, la differenza tra i siti risulta significativa ($p=0,012$), mentre non lo è quella fra le diverse specie.

Infine, sono state cercate possibili correlazioni tra il mercurio nel sedimento e quello nelle radici per ciascun livello di profondità. Applicando l'indice di Pearson sui dati normalizzati, non sono emerse correlazioni significative.

Tali evidenze confermano quanto ipotizzato in precedenza, ovvero che il contenuto in mercurio nelle radici sia una funzione sito-specifica o legata alle modalità di assunzione del metallo da parte dei capillari radicali, piuttosto che dipendere dal contenuto del metallo nei sedimenti.

Bisogna, comunque, sottolineare che la presenza nei sedimenti delle barene di diverse forme di mercurio, caratterizzate da diversa solubilità (Bloom et al., 2003; Jonsson et al., 2012) potrebbe influenzare la disponibilità del metallo per quanto riguarda l'assorbimento da parte dei vegetali attraverso l'apparato radicale. Inoltre, l'alternanza di periodi di emersione e sommersione dipendenti dai cicli di marea gioca sicuramente un ruolo importante nel regolare le condizioni redox generali delle barene e, di conseguenza, la mobilità delle diverse specie chimiche associate ai processi ossidoriduttivi e di degradazione della sostanza organica.

3.5 Il metilmercurio nelle alofite

Il contenuto in metilmercurio (Allegati 3 e 4) è stato indagato nelle alofite delle barene G1B ed M5B, rispettivamente la barena più contaminata da mercurio e quella che presenta il minimo contenuto sedimentario del metallo.

I valori di metilmercurio dei livelli epigei si attestano entro un intervallo compreso tra 0,09 e 0,16ng·g⁻¹ per la barena M5B e tra 0,08 e 0,60ng·g⁻¹ in G1B. Nelle radici, tali valori variano da 0,002 a 0,2μg·g⁻¹ nella barena M5B e fra 0 e 0,5μg·g⁻¹ in G1B.

Nelle parti aeree, il metilmercurio rappresenta lo 0,53% del mercurio totale in G1B e lo 0,34% in M5B. Nelle radici, in entrambe le barene, il metilmercurio rappresenta in media il 4-5% del mercurio totale, con valori massimi del 9-10%. Complessivamente, quindi, le due barene presentano valori simili del metilmercurio nei vegetali.

Rispetto a quanto riportato da Acquavita et al. (2012) per i sedimenti delle piane intertidali della Laguna di Marano e Grado, i valori di metilmercurio riscontrati nelle radici delle alofite risultano notevolmente superiori. Infatti, nei sedimenti, il metilmercurio varia fra 0,47 e 7,85ng g⁻¹ e rappresenta, in media, solamente lo 0,08% del mercurio totale, con un valore massimo pari allo 0,31%.

A differenza di quanto osservato per il mercurio totale, le percentuali maggiori di metilmercurio si rilevano nei livelli più superficiali, ed in particolare nei primi 5cm. Questa evidenza avvalorava l'ipotesi di Canário *et al.*, (2010) secondo cui il metilmercurio, maggiormente assimilabile, viene traslocato più facilmente del mercurio inorganico all'interno delle radici. I dati da noi ottenuti, invece, contrastano con quanto osservato per le barene del Ria de Aveiro (Portogallo) da Valega et al. (2008), dove le percentuali di metilmercurio rispetto al mercurio totale, sempre nell'apparato radicale, corrispondono allo 0,7% in *A. portulacoides* ed allo 0,5% in *S. fruticosa*.

Dal confronto tra le diverse specie, invece, non si riscontrano differenze statisticamente significative, nonostante *A. portulacoides* presenti livelli medi di concentrazione di metilmercurio dimezzati rispetto alle concentrazioni delle altre due specie.

3.6 Fattore di arricchimento (EF) e fattore di bioconcentrazione (BF)

Considerando in maniera aggregata tutte le barene (Fig. 3.9), il fattore di arricchimento EF (adimensionale) presenta i valori maggiori nei livelli ipogei più profondi, andamento che si rileva per tutte e tre le specie indagate.

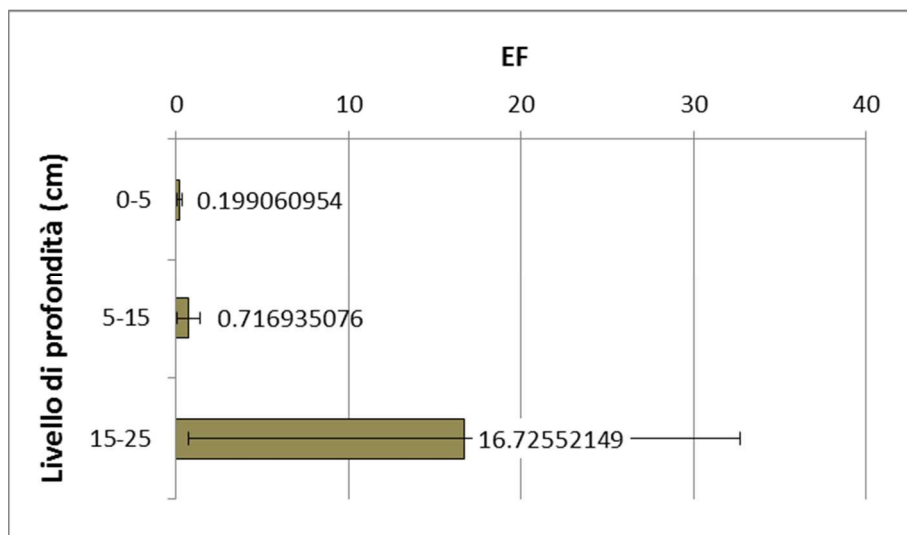


Figura 3.9: Valori medi di EF relativi ai livelli ipogei di tutti i campioni analizzati

I valori maggiori di EF (Allegato 8) si riscontrano nella barena G3B, caratterizzata da un notevole arricchimento del mercurio nelle radici rispetto al sedimento (EF medio=27). Non si osserva, invece, alcun arricchimento negli individui della barena G5B, dove il mercurio nel corrispondente sedimento è sempre maggiore del mercurio contenuto nelle radici (EF<1).

Valori di EF molto variabili nei livelli più profondi sono stati rilevati anche nello studio di Caetano *et al.* (2008) che sottolinea l'esistenza di livelli di profondità preferenziali per l'accumulo dei metalli. Gli stessi Autori riscontrano un diverso comportamento di assimilazione non solo in funzione della profondità, ma anche a seconda della specie indagata. Per questo motivo è stato valutato il comportamento delle singole specie, con l'intenzione di indagare eventuali differenze nell'accumulo del mercurio.

In tutte le barene, eccetto la G3B, la specie con maggior EF è *L. narbonense* (Fig. 3.10) che, quindi, sembra assimilare più facilmente il mercurio rispetto alle altre specie, in particolare nella barena

M7B. Nella barena G3B, invece, dove i valori di EF sono notevolmente più elevati rispetto alle altre barene, *L. narbonense* presenta i più bassi livelli di EF calcolato, mentre i più elevati sono quelli della specie *A. portulacoides*. Questo dato potrebbe trovare giustificazione nella presenza in G3B, rispetto alle altre barene, di quote più elevate (mediamente attorno agli 0,56 m sul l.m.m.) che permettono l'instaurarsi di condizioni più favorevoli alla specie *A. portulacoides* e limitanti per *L. narbonensis*.

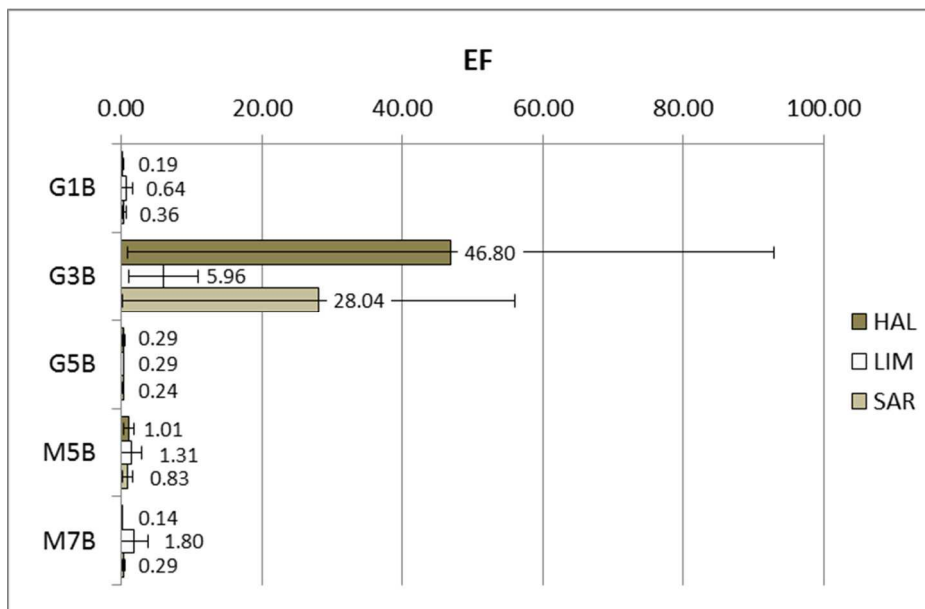


Figura 3.10: Valori medi di EF relativi alle diverse specie nelle barene indagate

Per quanto riguarda il fattore di bioconcentrazione (BF), non sono stati riscontrati valori superiori a 1 per cui nessuna delle tre specie vegetali può considerarsi bioaccumulatrice, data la limitata traslocazione del mercurio alle parti aeree. I valori riscontrati (Allegato 9) sono compresi fra lo 0 ed un massimo di 0,37 e 0,18, rispettivamente per il confronto del contenuto in mercurio tra fusti e radici e tra foglie e radici.

Per quanto riguarda i fusti (Fig. 3.11), i valori più elevati si riscontrano in *A. portulacoides*, mentre quelli più bassi in *L. narbonense*, prossimi allo zero. Per quanto riguarda le foglie (Fig. 3.12), invece, i valori risultano molto bassi e simili fra le diverse specie.

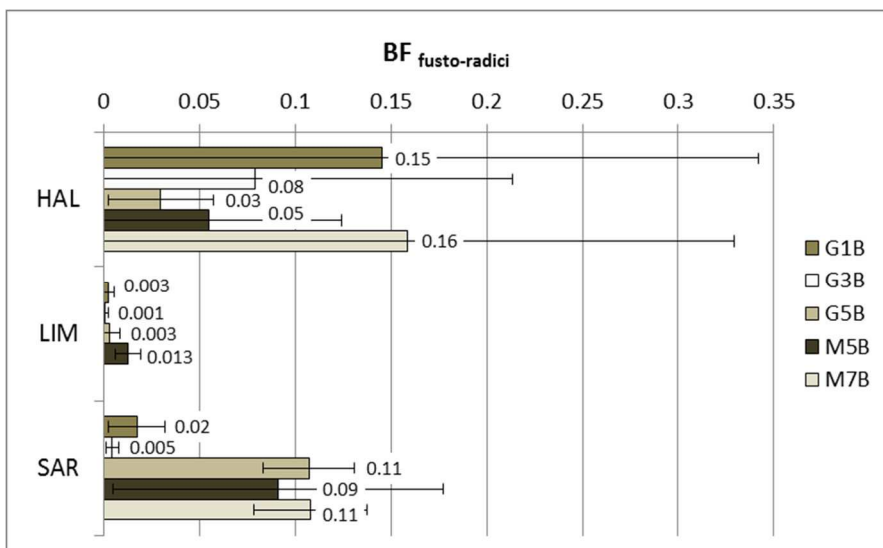


Figura 3.11: Valori di BF calcolati tra fusti e radici nelle alofite

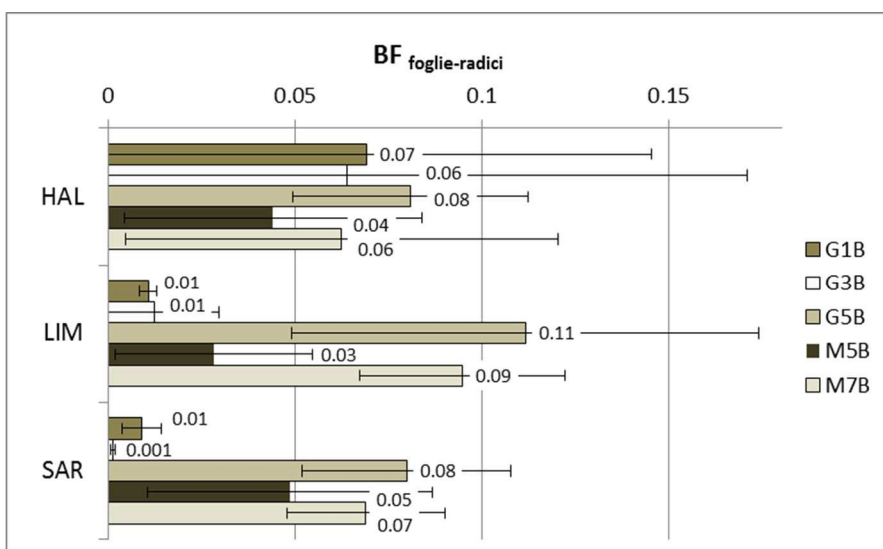


Figura 3.12: Valori di BF calcolati tra foglie e radici nelle alofite

PARTE II

ANALISI A MACROSCALA

4. EVOLUZIONE MORFOLOGICA DELLE BARENE A MACROSCALA

4.1 Strumenti utilizzati

Per verificare le tendenze evolutive in atto relativamente alle barene della Laguna di Marano e Grado ne è stata indagata l'evoluzione areale, supportata dall'utilizzo di tecniche di analisi topologica¹ del dato in ambiente GIS. Tale analisi è stata effettuata a partire dalle entità geometriche derivate mediante digitalizzazione delle sagome delle barene ricavate dalla fotointerpretazione di foto aeree e ortofoto digitali, uniche basi di dati disponibili per verificare quanto successo a partire dagli anni '50.

Le variazioni nell'estensione delle superfici a barena e le evidenze di tipo morfologico, geografico e vegetazionale ricavate da rilievi e sopralluoghi sul campo e dai dati cartografici disponibili (meglio descritti in seguito) sono state quindi utilizzate per costruire una casistica morfo-evolutiva e per individuare e quantificare le forzanti responsabili delle variazioni avvenute, a partire dalle quali proporre successivamente (vedi cap. 6) una prima serie di strategie d'intervento. La conoscenza dei fenomeni in atto è infatti cruciale ai fini della conservazione e dell'eventuale ripristino delle barene, per poter definire i corretti approcci gestionali e per minimizzare laddove possibile gli impatti antropici (escavazioni, interrimenti) sul bilancio sedimentario.

Alla base dell'analisi di seguito descritta vi è la digitalizzazione e strutturazione in livelli tematici delle barene già eseguita in precedenza dal nostro gruppo di lavoro (Fontolan et al., 2010).

Nello specifico, le entità geometriche di tipo poligonale che descrivono forma ed estensione delle barene, sono state organizzate in tre distinti livelli tematici (*feature class*) omogenei dal punto di vista del periodo storico delle foto aeree e ortofoto digitali a cui le attività di fotointerpretazione fanno riferimento:

¹ L'analisi topologica ha come oggetto di studio le relazioni reciproche esistenti tra le entità geometriche presenti in un determinato livello tematico (analisi di tipo "orizzontale") o su più livelli tematici (analisi di tipo "verticale"). Tali analisi mirano a evidenziare i rapporti di connessione, adiacenza, inclusione, continuità, intersezione o incidenza esistenti tra i diversi elementi spaziali.

- **Barene 1954**, tracciate sulla base delle foto aeree del 1954, volo GAI (scala nominale 1:35000). I fotogrammi sono custoditi presso il Dipartimento di Matematica e Geoscienze; l'area di interesse è costituita da 20 fotogrammi in B.N. 23x23cm, che sono stati scannerizzati e georiferiti in ambiente GIS nel sistema di coordinate di riferimento "Gauss-Boaga Fuso EST" sulla base della Carta Tecnica Regionale Numerica della Regione Friuli Venezia Giulia. L'elevata scala nominale, la scarsa nitidezza e la presenza del riflesso del sole, in molti casi hanno reso di difficile interpretazione le superfici a barena. Perciò, a supporto della foto-interpretazione si è utilizzata la cartografia storica fornita dal Centro di Rilievo, Cartografia ed Elaborazione CIRCE dell'Università IUAV di Venezia.
- **Barene 1990**, tracciate sulla base delle foto aeree del 1990: volo CGR lotto 10 Trieste per la redazione della Carta Tecnica Regionale (scala nominale 1:10000) fotogrammi a colori 23x23 cm, per un totale di 134, gentilmente concesse per la consultazione dalla Regione Friuli Venezia Giulia. Anch'esse sono state scannerizzate e georiferite in ambiente GIS nel sistema di coordinate di riferimento "Gauss-Boaga Fuso EST" sulla base della Carta Tecnica Regionale Numerica della Regione Friuli Venezia Giulia. Le morfologie di barena risultano evidenti e ben definite dato il buon dettaglio delle foto, la nitidezza e le condizioni meteorologiche favorevoli al momento dell'acquisizione.
- **Barene 2006**, tracciate sulla base delle ortofoto digitali a colori, volo 2006, disponibili in consultazione presso il Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente. Questo volo ha un'ottima risoluzione (0,3m pixel) e consente un buon riconoscimento delle morfologie. Per i casi dubbi si è ricorso a un confronto con il volo del 1990 e uscite in campo per il riscontro diretto.

A corredo sono state utilizzate anche le seguenti fonti:

- Cartografia storica in formato *raster* (georiferita nel sistema di coordinate di riferimento "Gauss-Boaga Fuso EST"): in particolare Foglio 40 III SE della Carta d'Italia 1951 "Lignano Sabbia d'Oro"; Foglio II SO 1949 "Porto Buso"; 40 II SE 1949 "Grado", tutte in scala 1:25000, fornite dal Centro di Rilievo, Cartografia ed Elaborazione CIRCE dell'Università IUAV di Venezia.
- Carta Tecnica Regionale Numerica, in formato DWG, scala nominale 1:5000, per un totale di 32 sezioni.

- Carta Idrografica della Laguna di Grado e Marano (Dorigo, 1966).
- Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado (Triches et al., 2011).
- Cartografia degli habitat della Laguna di Grado e Marano (Poldini et al., 2006).
- Carta Geologico Tecnica della Regione Friuli Venezia Giulia (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico, 2008).

4.2 Metodo di analisi

Grazie alla digitalizzazione della sagoma delle barene individuate mediante fotointerpretazione, si è potuto analizzarne l'evoluzione in termini di variazione areale nei due intervalli di tempo: 1954-1990 e 1990-2006.

La variazione complessiva avvenuta è però il risultato della somma algebrica di una serie di modificazioni più o meno grandi e di segno opposto: perdite e guadagni avvenute a scala più piccola, a livello di gruppo di barene, ma anche di singola barena. È proprio su questi fenomeni che si è concentrata la nostra analisi, per poter poi meglio comprendere e interpretare il fenomeno a vasta scala ossia di bacino e di intera laguna.

Le differenti tipologie di analisi effettuate sono descritte brevemente di seguito, mentre i risultati saranno poi discussi nel paragrafo 4.4.

Analisi per gruppi

Partendo dallo stato di fatto nel 2006 e in base alla loro distribuzione geografica le barene sono state suddivise in gruppi, in modo da poter realizzare analisi e confronti nel dettaglio di ciascun gruppo, secondo una metodologia già utilizzata nel precedente lavoro (Fontolan et al. 2010; 2012). Rispetto a quest'ultimo sono state apportate alcune modifiche consistenti in una ulteriore suddivisione dei gruppi (soprattutto nei bacini di Lignano), arrivando così ad identificare in totale 103 gruppi, la cui distribuzione è riportata in figura 4.1 (e nella Tavola 3). Essi sono stati identificati con una lettera (che indica il nome del bacino) e un numero progressivo.

Sui gruppi è stata realizzata un'analisi delle variazioni areali per il periodo 1954-1990, 1990-2006 e 1954-2006. Questo tipo di analisi consente di avere una visione del bilancio areale a scala di gruppo, di capire quali gruppi presentano tendenze erosive parziali (relative solo a uno dei due intervalli di tempo) o croniche (mantenute nei due intervalli di tempo) e di quantificarle.

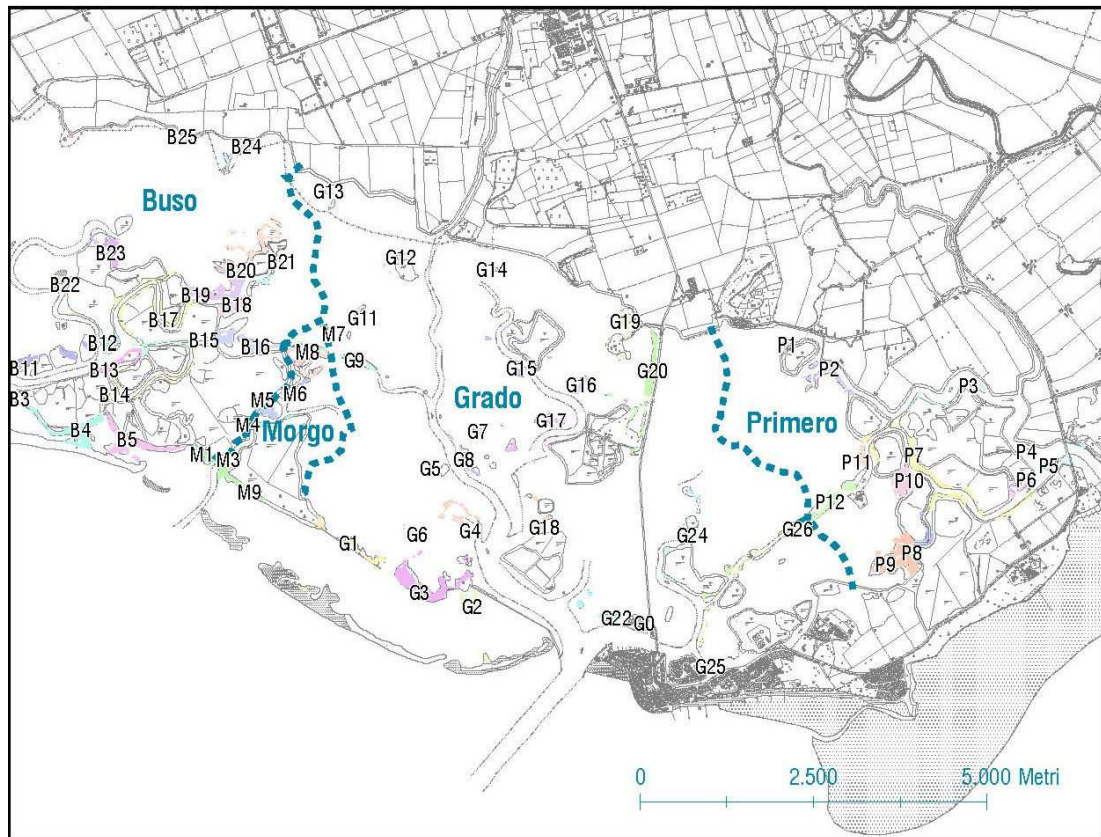
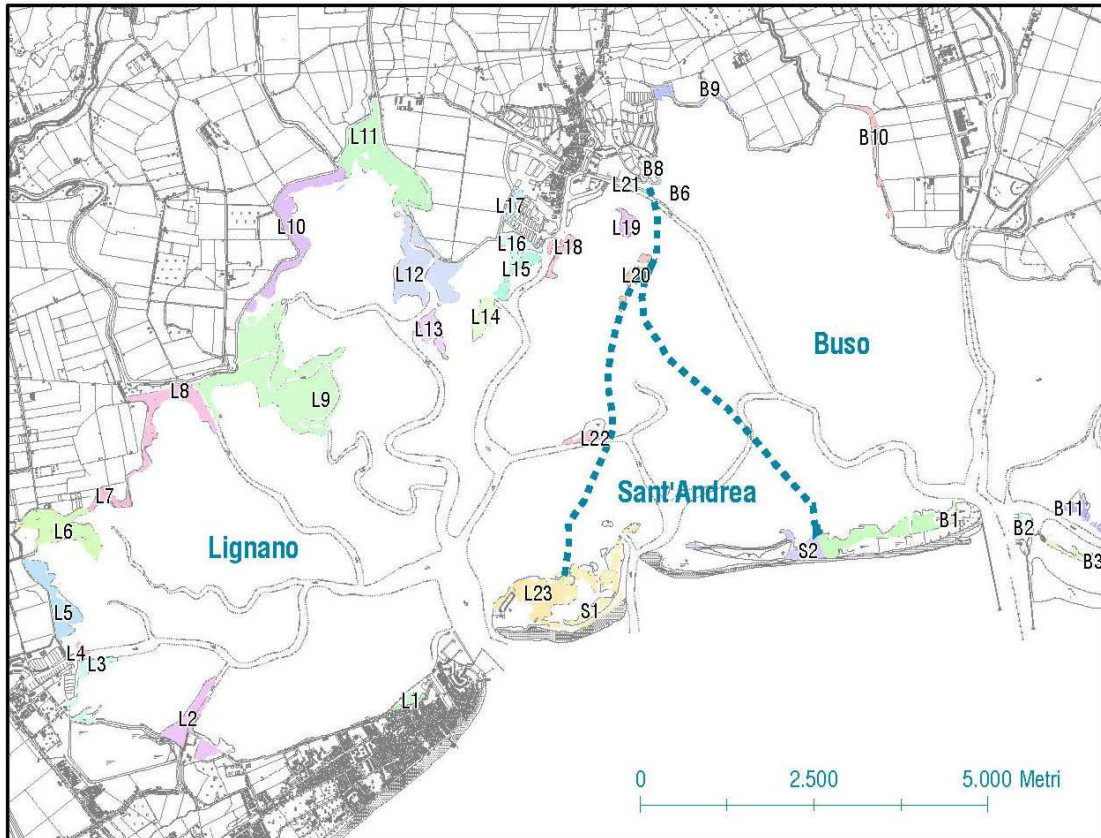


Figura 4.1 – Distribuzione dei 103 gruppi.

Analisi topologica delle superfici

Rispetto all'analisi presentata nel precedente lavoro, in questo caso è stato utilizzato un metodo di analisi topologica dei dati spaziali che ha permesso di evidenziare, per ciascuna barena, le aree rimaste stabili nel tempo, quelle erose e quelle accresciute (Fig. 4.2).

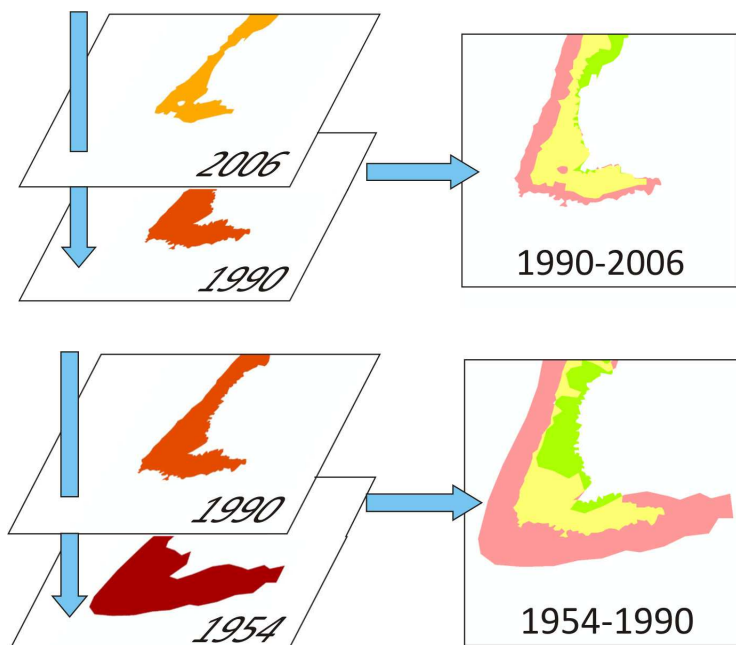


Figura 4.2 – Esempio di *overlay* topologico tra superfici di barene.

Si è ottenuta così una dettagliata cartografia in GIS per i due intervalli di tempo considerati, che permette di identificare con facilità la contemporanea presenza sia a scala di gruppo che di singola barena di fenomeni sia accrescitivi che erosivi. I livelli tematici (*feature class*) risultanti da tale analisi sono contenuti nel *geodatabase* all'interno del *feature dataset* "Evoluzione" e denominati rispettivamente "Superfici_1954_1990" e "Superfici_1990_2006".

Analisi topologica dei margini

Analizzando le relazioni topologiche esistenti tra poligoni adiacenti e archi comuni (che rappresentano rispettivamente le porzioni di barena e i margini), è stato possibile individuare i margini di barena sui quali agiscono le forzanti e che costituiscono quindi di fatto dei fronti di avanzamento o di arretramento (in dipendenza dalla forzante prevalente che vi agisce, Fig. 4.3).

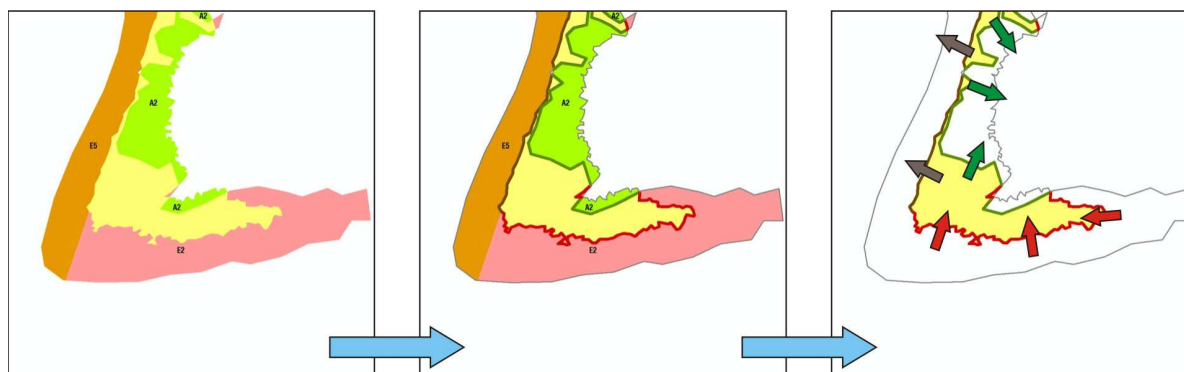


Figura 4.3 – Esempio di analisi topologica per l’individuazione dei fronti di avanzamento e arretramento.

I livelli tematici (*feature class*) risultanti da tale analisi sono contenuti nel *geodatabase* all’interno del *feature dataset* “Evoluzione” e denominati rispettivamente “Margini_1954_1990” e “Margini_1990_2006”.

Classificazione in differenti tipologie erosive e deposizionali


A ciascuna delle aree identificate grazie all’analisi topologica come soggetta a dinamiche evolutive (accrescimento o erosione) e ai relativi margini, è stata attribuita una tipologia di stile evolutivo associata a una forzante. Tale attribuzione è stata effettuata sulla base dei seguenti elementi desumibili dai dati a disposizione (secondo una metodologia già utilizzata da Fontolan et al. 2010, 2012):

- evidenze morfologiche relative ai margini della barena sia in pianta che in sezione, collocazione dell’area erosiva e deposizionale rispetto al complesso morfologico della barena,
- elementi legati al contesto geografico e fisiografico che possono essere considerati degli indicatori dei processi erosivi e deposizionali alla base delle differenti riposte evolutive, quali: l’esposizione rispetto ai venti dominanti e il *fetch* disponibile, la vicinanza alle sorgenti sedimentarie (foci fluviali endolagunari, bocche tidali), vicinanza di elementi legati all’attività umana (canali navigabili, manufatti, valli da pesca), posizione delle barene rispetto alle altre morfologie lagunari (canali, velme).

La classificazione in differenti tipologie erosivo – deposizionali legate a una particolare forzante, che viene utilizzata in questa fase del lavoro è quella già individuata da Fontolan et al. 2010, 2012) e




consta di 10 tipologie, 5 delle quali erosive (denominate E1, E2, E2, E3 E4, E5) e 5 accrescitive denominate A1, A2, A3 A4, A5), di seguito descritte:

Modifiche naturali o antropiche indotte

A1	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	neoformazione di barene, ampliamento di barene esistenti in aree di gronda lagunare
	<i>Forzante:</i>
	input fluviale
	<i>Descrizione:</i>
	<p>Tipico delle aree di gronda lagunare o di delta endolagunare. L'accrescimento avviene grazie agli apporti fluviali dal bacino scolante che vanno ad alimentare le aree più protette e prossime al margine lagunare. Si osserva l'ampliamento delle barene soprattutto in corrispondenza di baie e/o insenature protette e l'espansione della vegetazione tipica di ambienti dulcicoli o salmastri, la cui elevata produttività può contribuire in modo significativo ad aumentare il fenomeno accrezionale.</p>

A2	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	neoformazione di barene, ampliamento di barene esistenti
	<i>Forzante:</i>
	input mareale
	<i>Descrizione:</i>
	<p>Determinato dall'apporto di sedimento da parte delle correnti di marea. La sedimentazione avviene laddove le correnti tidali ricche di sedimento perdono velocità e quindi competenza: nelle barene di margine di canale sul lato di raccordo con la velma, alle biforcazioni dei canali di marea o presso brusche variazioni nella loro orientazione, dove i flussi fuoriescono dai canali in aree di espansione laterale (con strutture simili a ventagli deltizi). I margini coinvolti si presentano progredienti a debole pendenza.</p>

A3	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	neoformazione di barene
	<i>Forzante:</i>
	formazione di specchi d'acqua paralagunari protetti
	<i>Descrizione:</i> La vivace dinamica sedimentaria costiera dei sistemi a isola barriera che bordano la laguna verso mare ha determinato in tempi recenti la formazione di estesi banchi sabbiosi emersi, caratterizzati dalla tipica vegetazione di spiaggia. Tra essi e le isola barriera originarie si sono così formati degli specchi acquei protetti a carattere paralagunare. In questo contesto si assiste localmente all'instaurarsi di processi di sedimentazione di materiali fini o misti con formazione di nuove aree a barena.
A4	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	neoformazione e ampliamento di barene esistenti in aree un tempo arginate
	<i>Forzante:</i>
	input mareale in aree protette
	<i>Descrizione:</i> Questo fenomeno avviene in seguito alla riapertura di vecchie valli da pesca dismesse, che una volta riaperte al flusso di marea, sono tornate a far parte integrante del sistema lagunare. La presenza dei vecchi argini può favorire l'instaurarsi di regimi deposizionali determinando la formazione di nuove barene o l'ampliamento di quelle preesistenti.
E1	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	annegamento
	<i>Forzante:</i>
	subsidenza / deficit sedimentario
	<i>Descrizione:</i> Risultato dell'azione combinata di eustatismo, subsidenza regionale e auto-compattazione in presenza di scarsa sedimentazione, si traduce in un processo di annegamento localizzato o esteso. Il fenomeno interessa soprattutto le barene di retrobarriera e di margine di canale. Evidenze morfologiche: arretramento dei margini sul lato di raccordo con la velma, formazione di aree depresse nelle aree più interne, approfondimento o ampliamento di ghebi e chiari. I margini non presentano evidenti gradini di erosione.

E2	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	erosione dei margini / frammentazione
	<i>Forzante:</i>
	moto ondoso
	<i>Descrizione:</i>
<p>Si riscontra sui margini delle barene esposte ad ampi tratti di acque libere, nella direzione di provenienza dei venti dominanti. Il moto ondoso produce l'arretramento dei margini con formazione di scarpate erosive e/o fenomeni di sovraescavazione e scalzamento alla base. In pianta appare evidente un'evoluzione asimmetrica, con arretramento solo sul lato esposto al vento, spesso con una tipica alternanza di baie e promontori. Nei casi più gravi si produce la frammentazione delle barene e la scomparsa dei corpi di minori dimensioni.</p>	
E3	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	erosione dei margini / frammentazione
	<i>Forzante:</i>
	moto ondoso indotto dal transito di natanti
	<i>Descrizione:</i>
<p>Caratteristico delle barene situate ai lati dei canali navigabili, le quali subiscono nel corso del tempo una vistosa erosione del margine esposto al moto ondoso indotto dai natanti in transito. È un fenomeno diffuso in tutta la laguna, soprattutto lungo le principali vie di comunicazione acquee. Le manifestazioni morfologiche possono essere molti simili a quelle descritte per il caso E2 e nei casi più eclatanti portare a una notevole riduzione della barena in termini areali e alla sua frammentazione.</p>	
E4	
	<i>Stile evolutivo:</i>
	arretramento del margine / sommersione di sabbia / apertura di washover
	<i>Forzante:</i>
	dinamica costiera / moto ondoso
	<i>Descrizione:</i>
<p>Generato dai dinamismi costieri in casi di elevato trasporto lungo riva con migrazione delle bocche tidali o formazione di rotte di washover. Le modifiche dei corpi sabbiosi indotte dalla dinamica costiera possono determinare la distruzione di aree a barena soprattutto nell'ambiente di retrobarriera, attraverso progressivi o repentini eventi sia erosivi che deposizionali.</p>	

Modifiche antropiche dirette	
A5	
	<p>Incremento o creazione di barene per riporto di sedimenti dragati</p> <p>Azione antropica diretta che consiste nella creazione di nuove barene lungo i margini dei canali dragati, secondo una pratica tradizionalmente utilizzata in laguna. I sedimenti dragati venivano depositi lungo il margine del canale a creare accumuli in genere di forma allungata e successivamente liberi di evolvere. Alcune di esse si sono evolute in morfologie non del tutto dissimili da quelle naturali.</p>
E5	
	<p>Perdita di barene per interventi antropici diretti</p> <p>Consiste nell'eliminazione o completa trasformazione di porzioni o di interi corpi barenali. Le pratiche e le finalità riconducibili a questa tipologia sono diverse: bonifiche, costruzione di casse di colmata, riassetto degli argini di conterminazione, ampliamento di valli da pesca.</p>

4.3 Gli interventi antropici diretti

Il primo aspetto che è emerso con chiarezza già nel corso della prima fase del nostro studio è l'importanza degli interventi antropici diretti, che consistono nell'eliminazione di aree a barena attraverso escavi, bonifiche o altri interventi. L'analisi topologica effettuata e la dettagliata osservazione della cartografia e delle foto aeree disponibili ha consentito di individuare con ancora maggior precisione tutte le aree interessate da questo tipo di interventi, anche quelle di dimensioni minori.

Tali interventi, nel complesso, hanno portato alla sparizione di ben 147ha di barene nel periodo 1954-1990 e di 26ha per quello successivo (1990-2006).

Le isole barriera sono il luogo su cui si è focalizzata la maggior parte degli interventi con distruzione diretta delle barene nell'ultimo mezzo secolo.

Di seguito vengono riportate le tabelle dei più significativi interventi, divisi per gruppo di barene e bacino di afferenza, con la relativa quantificazione della superficie persa (espressa in ha); di ogni intervento, dove è stato possibile, viene riportato la data o l'intervallo di tempo in cui ricade l'intervento (compreso tra le annate oggetto dell'analisi), individuati mediante ricerca bibliografica e confronti tra ortofoto, aerofotogrammi e carte. Le misure areali sono state invece determinate con il GIS.

Nel bacino di Lignano (Tab. 4.1) le perdite sono state rilevanti soprattutto nel primo periodo di indagine (1954-1990 con 38,2ha complessivi) e la maggior parte è avvenuta per la creazione di darsene e aree portuali e per l'escavo di canali associati alla risistemazione degli argini dopo la mareggiata del 1966. Nel secondo periodo di riferimento (1990-2006) l'intervento più importante riguarda la costruzione di un impianto di acquacoltura sull'isola di Martignano.

Tabella 4.1 – Tabella che riassume gli interventi antropici relativi al bacino di Lignano nel periodo 1954-1990 e 1990-2006.

Codice gruppo	Anno intervento (dove esplicitato)	Intervento	Intervallo temporale	Ettari di barena persi a causa dell'intervento
L1	a) 1965 e succ. - ultimata prima del 1972 b) a partire dal 1975	a) scogliera darsena del Porto di Lignano b) porto turistico Lignano Terra Mare	1954-1990	-2,10
L2	dopo il 1972	Valle Pantani	1954-1990	-2,81

L3	Dopo il 1972	porto turistico di Aprilia marittima	1954-1990	-7,40
L7	lavori iniziati prima del '54 e ripresi dopo il '66	escavo canale per costruzione argini di conterminazione	1954-1990	-0,58
L8	Lavori iniziati prima del '54 e ripresi dopo il '66	escavo canale per costruzione argini di conterminazione	1954-1990	-1,56
L10	lavori iniziati prima del '54 e ripresi più intensivamente dopo il '66	escavo canale per costruzione argini di conterminazione	1954-1990	-3,10
L18	dopo il 1966	escavo Canale Marano	1954-1990	-2,35
L18	inizio prima del 1998	cassa di colmata porto di Marano	1990-2006	-3,95
L23		costruzione delle vasche per l'impianto di acquacoltura Almar, isola di Martignano	1990-2006	-13,60

Il bacino di S. Andrea (Tab. 4.2), nonostante le piccole dimensioni, è stato interessato da una vasta opera di bonifica durante il primo intervallo di tempo che ha coinvolto circa 31,7ha dell'isola barriera omonima. Dal 1990 in poi non si sono registrati ulteriori interventi se non di lieve entità e sempre relativi a lavori di riassetto realizzati sull'isola.

Tabella 4.2 – Tabella che riassume gli interventi antropici relativi al bacino di S. Andrea nel periodo 1954-1990.

Codice del gruppo di barene interessate	Anno intervento (dove esplicitato)	Intervento	Intervallo temporale	Ettari di barena persi a causa dell'intervento
S2	1978-1990	bonifica della parte occidentale dell'isola con colmamento delle parti a barena e costruzione valle da pesca	1954-1990	-31.7

Nel grande bacino di porto Buso (Tab. 4.3), secondo d'importanza in termini di estensione di barene, gli interventi antropici diretti sono stati di rilevante entità soprattutto nel periodo 1954-1990, nel quale sono state eliminate in tutto 50,1ha di superfici a barene. Una buona parte (ben 34ha) ha riguardato una bonifica realizzata nella porzione orientale dell'isola di S.Andrea e che fa parte di una serie di vasto interventi realizzati sull'isola e già citati nel precedente paragrafo. Per il tratto di isola che ricade all'interno del bacino di Buso si è avuta una grande trasformazione per ottenere aree agricole. Il resto degli interventi nel bacino riguarda la costruzione o l'ampliamento di valli da pesca o la realizzazione di piccole aree edificate. Nel secondo periodo (1990-2006) gli interventi si riducono

fortemente con la sola realizzazione di un tubodotto, l'ampliamento di una valle da pesca e un parziale riassetto degli argini di conterminazione lagunare per un totale di 4,25ha.

Tabella 4.3 – Tabella che riassume gli interventi antropici relativi al bacino di Buso nel periodo 1954-1990 e 1990-2006.

Codice del gruppo di barene interessate	Anno intervento (dove esplicitato)	Intervento	Intervallo temporale	Ettari di barena persi a causa dell'intervento
B1	1954-1966 Villa + podere, 1966-1990 valli in continuazione del podere della villa	bonifica ed arginatura	1954-1990	-33,36
B3	1954-1990	costruzione caseggiati nell'isola dell'Anfora	1954-1990	-0,70
B15	inizio 1965-fine 1968/1969	riassetto valli da pesca (chiusura Valle Noghera) e costruz casoni lungo la Litoranea Veneta	1954-1990	-0,20
B16	1954-1966 e ampliamento succ.	arginamento e costruzione casoni	1954-1990	-1,60
B17	1954-1966 e ampliamento succ.	valli da pesca e bonifiche	1954-1990	-4,10
B18	dopo 1966	costruzione valle da pesca e casoni	1954-1990	-2,00
B19	1954-1966	costruzione valle da pesca	1954-1990	-0,67
B20	dopo 1966	costruzione valle da pesca	1954-1990	-0,60
B22	dopo 1966	ampliamento valle da pesca	1954-1990	-0,80
B1	1990-1998	escavo canale	1990-2006	-1,50
B4	1990-1998	costruzione valle da pesca	1990-2006	-1,60
B9	1990-1998 e succ	riassetto argini	1990-2006	-0,40
B15	1998-2006	arginamenti	1990-2006	-0,20
B16	1990-1998 e succ	costruzione casoni e canali	1990-2006	-0,30
B21		costruzione casoni e valli	1990-2006	-0,40
B23		costruzione casoni e valli	1990-2006	-0,60

Nel bacino di Morgo (Tab. 4.4) gli interventi sono stati modesti, anche grazie alla piccola estensione del bacino stesso e si sono concentrati soprattutto nel periodo 1954-1990 con creazione di argini per conterminazione di valli da pesca, casoni e scavo di canali.

Tabella 4.4 – Tabella che riassume gli interventi antropici relativi al bacino di Morgo nel periodo 1954-1990.

Codice del gruppo di barene interessate	Anno intervento (dove esplicitato)	Intervento	Intervallo temporale	Ettari di barena persi a causa dell'intervento
M1	1966-1990	escavo canale a lato valle da pesca	1954-1990	-0,10
M3	1966-1990	riassetto valli da pesca e canali	1954-1990	-0,30
M4	1954-1966	riassetto argini	1954-1990	-0,40
M8	inizio prima del 1966	costruzione casoni con approdo	1954-1990	-0,17

Il bacino di Grado (Tab. 4.5) il 22% delle perdite complessive è imputabile ad interventi antropici diretti avvenuti durante il periodo 1954-1990 e costituiti soprattutto da interventi legati alla vallicoltura, ma anche due bonifiche per urbanizzazioni (isola della Schiusa e Volpera).

Tabella 4.5 – Tabella che riassume gli interventi antropici relativi al bacino di Grado nel periodo 1954-1990.

Codice del gruppo di barene interessate	Anno intervento (dove esplicitato)	Intervento	Intervallo temporale	Ettari di barena persi a causa dell'intervento
G1	1966-1990	costruzione impianto e imboscamento	1954-1990	-1,46
G3	1966-1990	casoni S Pietro Orio	1954-1990	-0,15
G16	1966-1990	escavo canale	1954-1990	-0,19
G17	1970-1972	recinzione Valle Isola Gorgo	1954-1990	-2,16
G18	1966-1990	costruzione strutture casoni e valli	1954-1990	-0,26
G19	1960	esecuzione terrapieno pontile Volpera	1954-1990	-0,37
G20	1954-1966	costruzione strutture e posti barca	1954-1990	-0,74

G21	1970-1972	arginamento Valle Isola Gorgo	1954-1990	-1,38
G25	1957-1960	tombamento Schiusa	1954-1990	-2,22
G26	1954-1966	ampliamento valle	1954-1990	-1,34

Per il bacino di Primero (Tab. 4.6) l'intervento antropico diretto rappresenta la voce più importante di perdita di barene per il periodo 1954-1990 con una perdita di superficie pari a 12ha, dovuta a sistemazioni stradali, piccoli interventi di urbanizzazione (campeggio di Primero) e ampliamento o sistemazioni degli argini delle valli da pesca, che occupano una buona parte dell'intero bacino.

Tabella 4.6 – Tabella che riassume gli interventi antropici relativi al bacino di Primero nel periodo 1954-1990 e 1990-2006.

Codice del gruppo di barene interessate	Anno intervento (dove esplicitato)	Intervento	Intervallo temporale	Ettari di barena persi a causa dell'intervento
P1	1966-1990	ampliamento valle	1954-1990	-0,80
P3	a) 1966 b) 1970	a) chiusura Valle Longal b) chiusura Valle Verzelai	1954-1990	-2,50
P5	1954-1966	costruzione ponte e campeggio Primero	1954-1990	-2,30
P7	a) 1966 b) 1970	a) chiusura Valle Longal b) chiusura Valle Verzelai	1954-1990	-2,70
P8	inizio prima del 1966	arginamenti valli da pesca	1954-1990	-0,30
P5	inizio tra 1990-1998	darsena Primero	1990-2006	-0,30
P9	1990-2003	arginatura valle da pesca + elettrodotto Barbana-terraferma	1990-2006	-0,29

Accanto agli interventi antropici diretti che hanno determinato l'eliminazione parziale o completa di superfici a barene sono stati individuati anche i casi in cui il sedimento dragato dai canali è stato utilizzato per costruire corpi sedimentari al bordo canale. Questi in alcuni casi si sono evoluti come vere e proprie barene (tipologia A5). Si tratta di una pratica molto meno significativa in termini quantitativi rispetto alla precedente: ha riguardato 7,4ha nel periodo 1954-1990 e soli 0,94ha in quello successivo, periodo nel quale il dragaggio dei canali è stato interrotto per motivi legati al riconoscimento normativo dello stato di inquinamento dei sedimenti lagunari.

4.4 Analisi delle dinamiche in atto nei singoli bacini

L'analisi effettuata ha consentito di tracciare un quadro abbastanza completo ed esaustivo delle tendenze evolutive in atto nell'intera area lagunare di Marano e Grado, a differenti scale di dettaglio.

Un primo e fondamentale approccio che riteniamo doveroso affrontare è quello di analizzare le tendenze evolutive in atto in ciascuno dei sei bacini che compongono la laguna: Lignano, S. Andrea, Buso, Grado, Morgo e Primero.

Raggruppando per bacino i risultati relativi all'analisi topologica si ottengono i dati riportati nelle tabelle 4.7 e 4.8. I fenomeni riscontrati vengono poi descritti nei sottoparagrafi successivi.

Tabella 4.7 – Tabella che riassume i risultati relativi all'analisi topologica per il periodo 1954-1990.

1954-1990	LIGNANO	S,ANDREA	BUSO	MORGO	GRADO	PRIMERO	Totale intera laguna
E1	-31,41	-11,25	-24,51	-1,28	-43,41	-9,60	-121,45
E2	-24,55	-1,43	-2,67	0,00	-8,66	-0,48	-37,79
E3	-7,18	0,00	-10,33	-1,85	-16,07	-9,47	-44,90
E4	0,00	-1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02
A1	70,32	0,00	6,51	0,00	0,00	0,00	76,83
A2	40,32	4,58	19,17	2,82	17,01	15,15	99,05
A3	19,07	6,61	13,20	0,47	3,90	0,00	43,24
A4	0,00	0,00	14,89	3,23	2,01	1,27	21,41
E5	-38,16	-31,81	-50,11	-1,24	-14,50	-12,01	-147,83
A5	1,70	0,00	0,72	0,00	4,70	0,28	7,40
Tot	30,11	-34,31	-33,12	2,27	-55,02	-14,85	-104,92
Tot netto²	66,57	-2,51	16,27	3,39	-45,22	-3,12	35,38

Tabella 4.8 – Tabella che riassume i risultati relativi all'analisi topologica per il periodo 1990-2006.

1990-2006	LIGNANO	S,ANDREA	BUSO	MORGO	GRADO	PRIMERO	Totale intera laguna
E1	-17,78	-9,20	-15,53	-2,21	-10,25	-4,43	-59,39
E2	-10,29	-0,30	-2,06	0,00	-2,27	-0,09	-15,01
E3	-3,91	0,00	-0,89	-0,60	-1,46	-1,49	-8,35
E4	0,00	-2,19	0,00	0,00	0,00	0,00	2,19

² Variazione totale della superficie di barena escluse le voci E5 e A5.

A1	16,53	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	18,55
A2	12,28	3,03	4,82	1,94	5,44	10,78	38,29
A3	0,00	2,13	3,44	1,81	0,36	0,00	7,74
A4	0,00	0,00	4,13	0,56	0,34	0,43	5,46
E5	-19,71	-0,43	-4,25	-0,45	-0,63	-1,13	-26,61
A5	0,81	0,00	0,01	0,00	0,12	0,00	0,94
Tot	-22,06	-6,96	-8,30	1,05	-8,37	4,06	-40,56
Tot netto²	-3,16	-6,52	-4,05	1,50	-7,86	5,20	-14,90

4.4.1. Bacino di Lignano

Per il bacino di Lignano in entrambi gli intervalli di tempo si è avuta una forte dominanza dei processi antropici diretti con 38ha eliminati nel primo periodo (1954-1990) e 20ha nel secondo (1990-2006).

Escludendo gli interventi antropici diretti (totale netto), l'evoluzione delle barene è passata da un regime fortemente accrescitivo (+1,85ha/anno) durante il primo periodo a uno debolmente erosivo (-0,20ha/anno) nel secondo. Durante il primo periodo infatti si assiste a una grande espansione delle barene legate all'input fluviale. Mentre i delta endolagunari hanno conservato quasi inalterata la loro forma ed estensione, rilevanti fenomeni accrescitivi si sono manifestati soprattutto per le barene di margine lagunare situate nelle baie protette tra i lobi deltizi, interessate dall'influsso delle acque dolci e dominate in genere dalla presenza del fragmiteto (tipologia A1). L'entità del fenomeno è andata però decrescendo nel secondo periodo. Una delle aree coinvolte è il lato orientale della Secca Muzzana (gruppo L11) dove l'accrescimento netto è stato pari a +21,13ha tra il 1954 e il 1990 soprattutto in conseguenza dell'arginamento e della bonifica di una vasta area a barena, realizzati nei primi anni '50. In seguito alla costruzione dell'argine di conterminazione le barene rimaste all'interno dello specchio lagunare si sono espanse sull'originaria piana di marea grazie al sedimento distribuito lungo alcuni canali lagunari, successivamente in parte interrati. Dopo il 1990 questa fase di espansione si è ridotta drasticamente (soli 4,55ha). Essa rappresenta infatti, in quanto parte emersa, il risultato più evidente e più facilmente quantificabile dell'apporto sedimentario fluviale, che attualmente si ridistribuisce su uno spazio di accomodamento maggiore rispetto al passato. Questa parte del bacino, infatti, presenta profondità più elevate verso la sua parte centrale, come riportato nella Carta Batimetrica della Laguna di Marano e Grado (Triches et al., 2011). Altri fenomeni accrescitivi riguardano la neoformazione di un'estesa area a barena (+18ha) davanti all'isola barriera di Martignano (gruppo L23), avvenuta successivamente all'accrescimento di nuovi banchi sabbiosi verso mare (quindi compresa nella categoria A3).

L'accrescimento indotto dai sedimenti trasportati ad opera delle correnti tidali (A2), è stato estremamente significativo in termini di aree coinvolte (+40,3ha nel periodo 1954-1990) ed ha spesso compensato fenomeni erosivi in atto negli stessi gruppi di barene dove si è manifestato, permettendo in molti casi (gruppi L1, L5, L14, L15, L17, L18, L22) di mantenere un bilancio complessivamente positivo.

Nel periodo più recente (1990-2006) tutti i fenomeni accrescitivi si sono fortemente ridimensionati: da un lato gli accrescimenti legati all'input fluviale (A1) hanno mantenuto, nelle aree più protette (gruppi L10, L11, L7, L8), una certa capacità far aumentare le superfici a barena, dall'altro quelli legati alle correnti tidali (A2) sono stati sufficienti a mantenere un bilancio positivo solo nel settore occidentale del bacino (gruppi L3, L5). Negli altri casi accrescimenti localizzati sono stati meno estesi delle corrispondenti aree erose, compensandole solo parzialmente

Per quel che riguarda le erosioni due sono i fenomeni importanti. In primo luogo a partire dagli anni '50 l'erosione dei margini o la frammentazione delle barene poste nella aree più centrali e/o esposte del bacino in corrispondenza di ampie superfici di acque libere (tipologia E2). In particolare le barene poste sul lato occidentale del bacino, mostrano una tipica morfologia "spurs and furrows", identificata da Allen (1993) come "erosione frontale generate da episodi di elevata energia del moto ondoso". L'arretramento del margini appare continuo dal 1954 a oggi e raggiunge valori massimi di 30m. In alcuni casi il sedimento eroso va a depositarsi nelle piccole insenature protette, a colmare parzialmente i ghebi o ad accrescere le aree poste sottovento, come osservato anche da Reed (1988), Day et al. (1998), e Rizzetto & Tosi (2011), in laguna di Venezia. In questo modo, come già detto, si compensa in parte la perdita in termini areali e si può determinare, se non vi sono ostacoli a impedirlo, una migrazione della barena.

Nel periodo successivo assume importanza un processo di annegamento (E1) a discapito delle barene poste sul lato interno dell'isola barriera di S. Andrea (gruppo L23): un complesso di barene sovrainposto a un'antica struttura di isola barriera, ora relegata in posizione retrostante rispetto alla spiaggia attuale.

L'erosione dovuta al transito dei natanti (E3) interessa le barene che bordano il canale della Litoranea Veneta (nella parte denominata Allacciante di S. Andrea corrispondente al gruppo L22) e il canale del porto di Marano Lagunare (gruppo L18) con un arretramento medio di 0,4m/anno (1954-2006) nel primo caso e di ben 1m/anno nel secondo con solo riferimento all'intervallo di

tempo 1990-2006, ossia dopo l'escavo del canale navigabile). In entrambe le aree si è avuta una certa espansione della barena sul lato opposto, secondo il fenomeno già precedentemente descritto, consentendo di ipotizzare una parziale rideposizione del sedimento eroso.

4.4.2 Bacino di S. Andrea

Esclusi gli interventi antropici diretti, le variazioni areali delle barene comprese all'interno del bacino di S. Andrea sono di contenuta entità pari a $-0,07\text{ha/anno}$ nel 1954-1990 e di $-0,41\text{ha/anno}$ nell'intervallo 1990-2006, determinate soprattutto da fenomeni di annegamento (E1) per le barene di retrobarriera, da processi legati alla dinamica costiera (E4) e in misura molto più contenuta a erosione indotta dal moto ondoso (E2).

Poiché la bocca di S. Andrea è l'unica non regimata della laguna (Fontolan et al., 2007), la sua naturale tendenza a migrare verso ovest in risposta all'elevato apporto sedimentario sul lato sopraflutto, fa sì che si registri una progressiva erosione e sparizione di barene ($-3,21\text{ha}$ per il gruppo S1 nel 1954–2006) sul lato sottoflutto della bocca stessa, legato ai processi costieri di erosione e deflazione e trasporto eolico, indicati sotto la voce di E4.

I fenomeni di annegamento (E1) si registrano soprattutto a carico delle barene di retrobarriera presenti nella porzione orientale dell'isola di Martignano (area campione M4B, nel gruppo S1), dove alla vecchia struttura a beach ridges (ben visibile nel relativo profilo topografico al par. 2.1.4) si affianca un'area a barena con ghebi e chiari, che durante il periodo più recente è stata interessata da una perdita di quota con degrado della vegetazione di barena e diffusione di *Spartina maritima*, tipica delle aree perennemente inondate.

4.4.3 Bacino di Buso

Nel bacino di Buso, secondo d'importanza in termini di estensione di barene, entrano in gioco diverse tipologie di fenomeni.

Esclusi gli interventi antropici diretti, la tendenza del bacino è simile a quella vista per il bacino di Lignano anche se con fenomeni quantitativamente più contenuti: trend debolmente accrescitivo per il 1954-1990 ($+0,42\text{ha/anno}$) e debolmente erosivo ($-0,25\text{ha/anno}$) per il 1990-2006. A complicare l'interpretazione dei fenomeni in questo bacino vi è la stretta interazione tra processi naturali e opere antropiche, essendo largamente presenti le aree lagunari adibite alla vallicoltura

sia tuttora in uso, sia abbandonate ma che conservano in parte le strutture arginali originarie o almeno parti di esse.

Il bilancio positivo del primo periodo va imputato all'accrescimento di superfici (legato probabilmente all'input fluviale, A1 pari a +6,51ha) nelle piccole baie protette a ovest della foce dell'Aussa-Corno, all'ampliamento delle barene in aree un tempo destinate a valli da pesca (A4 con +14,89ha) e alla formazione di barene nelle aree paralagunari alle spalle del banco d'Anfora (A3 con +13,20ha).

Tutti questi fenomeni si sono fortemente ridimensionati dopo il 1990, lasciando più spazio alle dinamiche erosive. Queste, già manifestatesi nel primo periodo, hanno assunto maggior importanza nel secondo.

I fenomeni più rilevanti del primo periodo appaiono essere quelli di annegamento (E1 con -24,51ha) e l'erosione indotta dal transito dei natanti (E3 con -10,33ha), che si è manifestata laddove le barene bordano i canali navigabili come ad esempio lungo il canale di San Giuliano – Litoranea Veneta. Ultimo in ordine di importanza il fenomeno dell'erosione da moto ondoso (E2 con -2,67ha), in quanto in questo bacino c'è poca presenza di barene con spazi acquei liberi. Fa eccezione il gruppo delle Mandragole (gruppo B24 dove è ubicato il caso studio G6B): barene isolate che mostrano vistosi fenomeni erosivi con arretramento dei margini e frammentazione per una commistione di annegamento ed erosione da moto ondoso (E1, E2). Pur essendo i fenomeni erosivi meno rilevanti nel secondo periodo rispetto al primo (E1 con -15,53ha, E2 con -2,06ha, E3 con -0,89ha) nel complesso la scarsità di aree di accrescimento determina un bilancio negativo, segno dell'instaurarsi di una situazione di deficit sedimentario, in cui gli apporti non riescono a compensare le erosioni.

4.4.4 Bacino di Morgo

Il bacino di Morgo viste le sue ridotte dimensioni presenta un'estensione di barene minima che però a partire dal 1954 è sempre andata aumentando. Escludendo gli interventi antropici diretti che sono stati di minima entità, il bacino mostra nel 1990-2006 una sostanziale situazione di debole accrescimento, anche se erosioni e accumuli tendono a prevalere a seconda della zona.

4.4.5 Bacino di Grado

Il bacino di Grado è quello che nel complesso ha avuto la più rilevante perdita di superfici a barena: sono andati infatti perduti nel complesso 63,4ha di barene pari al 41% della superficie presente nel 1954, di cui il 9% imputabile a interventi antropici diretti avvenuti soprattutto durante il periodo 1954-1990.

Escludendo gli interventi antropici il trend erosivo all'interno di questo bacino appare elevato per il periodo 1954-1990 con -1,26ha/anno e poi ridimensionato nel successivo con -0,49ha/anno.

I rilevanti fenomeni erosivi che si sono avuti durante il primo periodo hanno riguardato la sparizione di estese aree a barena soprattutto per le barene di margine di canale (la tipologia più abbondante nel bacino) e per quelle isolate. Molto diffusi e evidenti sono i fenomeni di annegamento (E1 con -43,41ha nel 1954-1990 e con -10,25ha nel 1990-2006), accompagnati nel primo periodo da una significativa erosione lungo i canali navigabili (E3 valutata per ben -16,07ha), fenomeno questo che si è fortemente ridotto nel secondo periodo (-1,46ha) soprattutto perché molte barene di margine di canale nel 1990 erano ormai scomparse.

Nel complesso la presenza di importanti vie d'acqua navigabili, di ampio spazi acquei liberi e la mancanza di apporti fluviali fanno sì che le differenti forzanti responsabili dei fenomeni erosivi, possano esplicarsi in maniera concomitante e a volte difficilmente distinguibile per questo bacino.

I fenomeni accrescitivi sono estremamente ridotti se si esclude l'incremento (A4 pari a +2,34ha) registrato all'interno degli argini di vecchie valli da pesca e alcune aree a sedimentazione lagunare anche queste ridottesi nel tempo (A2 con tassi di 0,47ha/anno nel primo periodo e di soli 0,12ha/anno nel secondo) a testimonianza di come all'interno di questo bacino gli apporti sedimentari e le aree dove la sedimentazione possa aver luogo sono di gran lunga insufficienti.

4.4.6 Bacino di Primero

Per il bacino di Primero, escludendo gli interventi antropici diretti che rappresentano la voce più importante di perdita di barene per il periodo 1954-1990, la tendenza evolutiva appare completamente a sé stante rispetto al resto della laguna: infatti un trend negativo (-0,09ha/anno) durante il periodo 1954-1990 è stato seguito nel 1990-2006 da uno positivo (+0,32ha/anno).

I fenomeni erosivi a carico delle barene di margine di canale (le uniche presenti all'interno di questo bacino) si manifestano come fenomeni di annegamento (E1) e di arretramento dei margini, legati al

transito di natanti o comunque all'elevata idrodinamicità all'interno dei tre canali principali del bacino (E3). Il loro corso è infatti quasi sempre confinato dagli argini delle valli da pesca.

L'aspetto più interessante di questo bacino sono tre apparati di barene (gruppi P9, P10, P11) estesi complessivamente per 24ha, localizzati in aree in cui i canali principali non sono bordati da argini. Qui le barene assumono una disposizione a ventaglio, incise da canali secondari che si dipartono da quello principale verso l'area di velma, a testimonianza di come qui il flusso delle corrente non più contenuto si espanda e diminuendo in velocità provochi la deposizione del sedimento. Questi gruppi di barene sono infatti interessati da importanti fenomeni di accrescimento che (dopo quelli dell'area di margine lagunare del bacino di Lignano) sono i più estesi di tutta la laguna.

5.LA GESTIONE DELLE BARENE: REVISIONE BIBLIOGRAFICA

5.1 Introduzione

Le descrizioni e classificazioni degli approcci e delle tecniche di gestione e ripristino delle barene (saltmarshes) reperibili in bibliografia sono molteplici ed interessano aree geografiche molto estese ed eterogenee, poiché tali ambienti sono molto comuni e diffusi nel mondo, soprattutto nelle zone a clima temperato (Fig. 5.1).

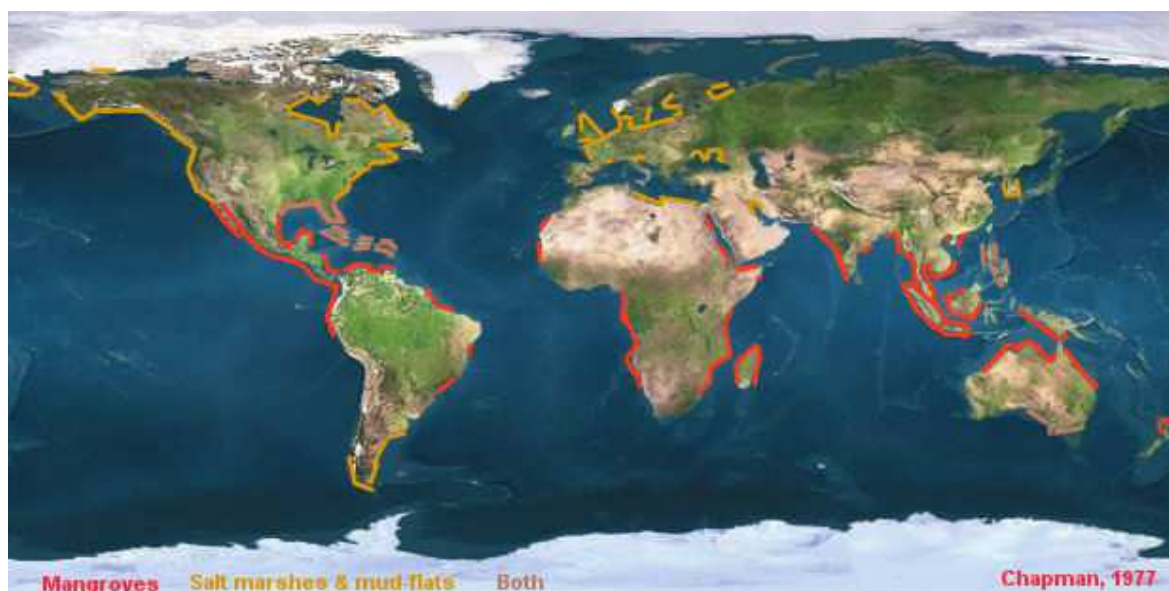


Figura 5.1 - Ubicazione delle maggiori aree umide e dei principali sistemi a barene e mangrovie nel mondo (Chapman, 1977). Da <http://www.coastsandreefs.net>.

Molto spesso si tratta di aree con caratteristiche geografiche e idrodinamiche molto diverse da quelle proprie della Laguna di Marano e Grado, oggetto di questo studio. Il modello di interventi gestionali che più si avvicina alle caratteristiche della nostra laguna è quello applicato in Laguna di Venezia, dove negli ultimi decenni si è intervenuti con una variegata gamma di tecniche e approcci.

Con il termine “*approccio*” o “*strategia*” si intende la tipologia di azione che si vuole intraprendere per limitare o eliminare le problematiche che affliggono un’area, con particolare riguardo alle finalità che si intendono perseguire.

Le “*tecniche di gestione e ripristino*”, invece, indicano gli interventi veri e propri, le azioni che agiscono direttamente sull’ambiente, in modo più o meno impattante.

Gli approcci che in genere vengono adottati per affrontare le problematiche relative alle barene possono essere così riassunti (Adnitt et al., 2007):

- a) Lasciare che la natura evolva in modo autonomo, senza alcun intervento (*Do Nothing*)
- b) Miglioramento o ripristino delle caratteristiche ecologiche
- c) Gestione dei fenomeni erosivi/deposizionali
- d) Promuovere la migrazione della linea di costa verso mare o verso terra
- e) Creare nuove barene (dove prima non esistevano).

Definito l’approccio di gestione, è necessario concentrarsi sulle azioni vere e proprie da intraprendere.

Considerando l’unicità di ogni sito, è fondamentale eseguire uno studio approfondito e specifico prima di scegliere gli interventi più idonei, che dovranno adattarsi il più possibile alla situazione presente e all’ambiente futuro che si vuole realizzare. Nella Tabella 1 sono riportati alcuni criteri, utili nella fase di scelta delle tecniche da impiegare.

Gli interventi possono essere più o meno impattanti e possono variare, a seconda delle situazioni e delle necessità, nel tempo e nello spazio. Negli ultimi anni si è sviluppata una filosofia più naturalistica e più attenta all’ambiente, che mira ad attuare strategie efficaci, ma poco impattanti. È inoltre importante svolgere una buona attività di monitoraggio. L’ideale sarebbe eseguire una serie di monitoraggi prima, durante e dopo la realizzazione di un intervento, per valutare l’intervento stesso e la sua efficacia.

Tabella 5.1 - Criteri da seguire per la scelta d'intervento (modificata da Colenutt, 2001).

Criterio	Indicazioni
Compatibilità	Non deve essere radicalmente diverso dagli schemi presenti di protezione delle aree adiacenti.
Effetti sui processi costieri	Non deve influenzare in modo negativo i processi costieri.
Effetti sull'uso della costa	L'uso della costa non deve essere modificato radicalmente o subire gravi restrizioni.
Effetti ambientali	Effetti a impatto ambientali minimo.
Implicazioni gestionali	L'attuale politica di gestione costiera non deve essere cambiata drasticamente.
Programma di costruzione	È necessario un programma con appropriate finestre ambientali.
Costi di progetto	Sostenibile nel rapporto costi – benefici.

In riferimento ai numerosi e diversificati interventi effettuati nella Laguna di Venezia Bonometto (1993) propone una lista di tipologie, realizzate con differenti finalità:

- *interventi di realizzazione di colmate artificiali alofile, in zone e condizioni in cui non preesistevano aree barenose e non appaiano prioritari gli obiettivi di riqualificazione naturalistica;*
- *interventi analoghi ai precedenti ma in aree di particolare valore geografico o ecosistemico, tali da richiedere specifici obiettivi di riqualificazione naturalistica e funzionale;*
- *interventi in aree in cui preesistevano sistemi barenosi, oggi in tutto o in gran parte eliminati a seguito dei dinamismi indotti dall'attività umana;*
- *interventi in aree con sistemi di barene tuttora estesi nei quali i dinamismi geomorfologici naturali sono fortemente alterati o compromessi;*
- *interventi in aree barenose tuttora in equilibrio, almeno parziale o potenziale, con i dinamismi geomorfologici in atto, soggette a processi erosivi dovuti ad impatti aggressivi recenti.*

Oggi giorno le tecniche applicabili sono molto numerose. Una prima distinzione può essere fatta fra tecniche ingegneristiche e tecniche morbide.

Tecniche Ingegneristiche:

Spesso coincidenti con le tecniche più vetuste, sono decisamente impattanti e poco attente all'aspetto naturalistico. Consistono in opere di protezione costiera e strutture fisse, come muri e rivestimenti, che risultano spesso poco vantaggiose dal punto di vista ambientale e nel rapporto costi/benefici. Raramente risultano efficaci nel ridurre i processi erosivi e spesso si trovano in evidente contrasto con i processi naturali. Hanno, di frequente, bisogno di costose riparazioni e modifiche strutturali, necessarie per garantire la protezione costiera prevista.

Di fatto si tratta di strutture fisse, spesso progettate senza tener conto delle aspettative evolutive e per questo motivo tali opere non sempre sono in grado di accogliere le modificazioni ambientali derivanti dalle variazioni climatiche e dall'innalzamento del livello del mare.

Tecniche Morbide:

Queste tecniche, sviluppatesi negli ultimi anni, sono meno impattanti di quelle puramente ingegneristiche e permettono un'evoluzione più naturale degli ambienti trattati, presentando spesso dei vantaggi nel rapporto costi/benefici. Tali pratiche puntano alla risoluzione o alla mitigazione delle problematiche costiere mediante azioni che non mirano al confinamento dei processi naturali, bensì al loro utilizzo guidato e che tendono a condurre l'evoluzione del sistema nella direzione prescelta.

Tabella 5.2 - Alcune delle principali tecniche di gestione e intervento (modificata da Adnitt et al., 2007).

a) Non intervenire e lasciare che la natura evolva autonomamente
▪ Do Nothing
b) Tecniche atte a migliorare le caratteristiche ecologiche
▪ Piantumazione ▪ Controllo e gestione dell'inquinamento ▪ Gestione degli input/drenaggio di acque dolci ▪ Gestione degli accessi
c) Tecniche atte alla gestione dei fenomeni erosivi e deposizionali
▪ Piantumazione ▪ Fascinate o altre tecniche per favorire la sedimentazione ▪ Frangiflutti ▪ Ricarica di sedimento

<ul style="list-style-type: none">▪ Controllo delle sorgenti▪ Altre tecniche di gestione dei fenomeni erosivi
d) Tecniche atte alla creazione di nuove barene nel bacino o verso l'entroterra
<ul style="list-style-type: none">▪ Managed realignment▪ Regulated tidal Exchange systems▪ Creazione di barene artificiali

Nei paragrafi successivi saranno descritte le principali tecniche d'intervento (Tab. 5.2) secondo quanto riportato da vari Autori (Bettinetti et al., 1995; Cecconi et al., 1998; Colenutt, 2001; Bonometto, 2003; Adnitt et al., 2007), limitando il campo agli aspetti fisici (punti a,c, d della Tab. 5.2) e tralasciando in massima parte quelli strettamente ecologici.

5.2 "Do nothing"

Gli ambienti lagunari in generale e le barene in particolare sono in costante evoluzione. Le variazioni di superficie, di quota e di posizionamento all'interno dei sistemi lagunari sono legate a variazioni climatiche e ambientali, come ad esempio alla risalita del livello del mare, che può portare alla migrazione delle barene verso la costa.

Le barene si formano, evolvono e si erodono in continuazione. Si possono osservare contemporaneamente barene di neoformazione, barene in evoluzione e barene mature che si modificano di continuo per mantenersi in equilibrio dinamico con il sistema costiero.

Questa evidenza viene però spesso accettata con difficoltà, nel tentativo di mantenere ambienti che sono naturalmente dinamici in una specie di immobilità evolutiva, negando loro la possibilità di trovare un nuovo equilibrio, necessario per la loro sopravvivenza. Inoltre, l'urbanizzazione spesso impedisce la migrazione dei sistemi costieri, che così faticano ulteriormente a reagire e ad adattarsi alle nuove condizioni ambientali.

In determinate situazioni, lasciare che la natura evolva in modo autonomo è fondamentale, perché ogni intervento potrebbe rivelarsi inutile o addirittura dannoso. Quando le condizioni al contorno sono favorevoli e consentono alle barene di evolvere rispettando un equilibrio dinamico la scelta più corretta può essere proprio quella di non intervenire.

5.3 Tecniche per la gestione dei fenomeni erosivi e deposizionali

Una serie di tecniche mira a favorire la deposizione del sedimento, provocando intenzionalmente la riduzione della velocità di corrente e prolungando il periodo di sedimentazione durante un ciclo tidale. L'obiettivo è quello di far depositare la maggior quantità possibile di sedimenti fini che vengono trasportati dall'alta marea nelle aree di interesse dove, mediante strutture apposite, l'acqua viene rallentata favorendo la deposizione del sedimento. I tassi di deposizione sono controllati principalmente dalle interazioni tra le velocità delle correnti di marea e la copertura vegetale.

Altre tecniche mirano invece a proteggere il margine delle barene dal moto ondoso diretto e dalle correnti che provocano erosione.

Le differenti tecniche saranno descritte nei paragrafi che seguono.

5.3.1 Piantumazione

Una delle tecniche più comuni e più utilizzate (quasi sempre in combinazione con altre pratiche) è la piantumazione o la semina di specie alofile, caratteristiche degli ambienti lagunari, in particolare quelli delle aree topograficamente più basse e quindi più frequentemente inondate dalla marea come quelle appartenenti al genere *Spartina*.

Anche se è sempre preferibile, quando possibile, che la ricolonizzazione avvenga in modo naturale, piuttosto che attraverso il trapianto artificiale, questa pratica è molto diffusa ed ha lo scopo di limitare l'erosione nelle zone in cui non cresce vegetazione o in quelle dove la superficie delle barene risulta temporaneamente denudata, in seguito a malattie e/o condizioni ecologiche avverse. In alcuni di questi casi può essere utile trapiantare nuovi esemplari per stabilizzare le zone più deboli.

La presenza della vegetazione determina un doppio vantaggio: ha un effetto stabilizzante sulla barena e arricchisce l'ambiente dal punto di vista ecologico. Il primo effetto viene ottenuto limitando l'azione erosiva del moto ondoso e delle correnti tidali; gli steli rallentano le correnti, mentre le radici generano un'azione stabilizzante (specie lungo i margini delle barene). La densità della vegetazione influenza la distribuzione e la densità dell'apparato radicale, inoltre condiziona il passaggio delle acque sopra la barena durante le alte maree. Il groviglio delle radici e degli steli aiuta

a stabilizzare il substrato al di sotto dell'interfaccia acqua – sedimento, inoltre promuove l'accumulo dei sedimenti coesivi, intrappola i detriti e dissolve i nutrienti introdotti da ogni ciclo tidale.

Attraverso questa tecnica si può ottenere un aumento delle quote campagna delle barene e delle velme adiacenti. Affinché tale pratica abbia successo devono essere presenti determinate condizioni fisiche e biologiche

Le piante devono essere posizionate in luoghi idonei per la loro sopravvivenza e crescita (con una altezza topografica adeguata), abbastanza protetti dalle onde e dalle correnti tidali; in caso contrario sarà opportuno proteggere artificialmente le porzioni da vegetare (almeno nelle prime fasi).

Alcune considerazioni risultano necessarie per la scelta dell'intervento più adeguato:

- Qual è la storia della barena e come essa tenderà ad evolvere?
- Se la barena è in erosione, quanto è rapido tale processo?
- Qual è la probabilità di sopravvivenza delle piante?
- La quota e la pendenza del substrato che si vuole vegetare sono adeguate per garantire la sopravvivenza delle piante?
- La salinità, l'idrologia e il tipo di substrato presenti sono adatti per il tipo di vegetazione che si vorrebbe ottenere?

Le piante selezionate per la piantumazione devono essere scelte fra quelle che costituiscono l'insieme naturale specifico di quell'ambiente, per evitare l'inserimento di piante esotiche o troppo competitive che potrebbero comprometterne la biodiversità. L'ideale sarebbe prendere sementi o esemplari dalle barene vicine, per ridurre al minimo le differenze genetiche.

La valutazione per la scelta della/e specie da utilizzare deve tener conto dell'azione combinata del moto ondoso e delle correnti di marea, della quota del piano campagna e del conseguente tempo di immersione (idroperiodo), della disposizione della rete dei ghebi che porta e rimuove il sedimento, l'acqua e i nutrienti, dei valori medi di salinità e delle caratteristiche del substrato che condizionano la salute e la crescita delle piante.

Monitoraggio prima dell'intervento:

- Mappatura topografica della zona intertidale (barene e velme); con buona accuratezza (migliore di ± 10 mm, con intervalli di *contour* di 100 mm).
- Misurazioni della variazione nell'altezza delle onde, in relazione al clima, alle stagioni, al regime tidale e in relazione all'altezza dell'ipotetica superficie da vegetare, indicatore per definire il numero delle inondazioni per anno e il periodo di sommersione. Misurazione della quota delle aree occupate dalle piante nelle barene circostanti, per piantare quelle nuove a una quota corretta.
- Mappatura della vegetazione delle barene adiacenti e lista completa delle specie per la scelta di specie compatibili e adatte al luogo.
- Misurazione della salinità delle acque e analisi del substrato, incluse le variazioni stagionali.
- Informazioni sull'uso del suolo dei terreni adiacenti che possono creare disturbi alle piante (es. flussi di inquinanti, dai pascoli o dai campi).
- Misura dei livelli di inquinamento e dei nutrienti presenti nelle acque, successiva proposta di un suolo adatto per ridurre la mortalità delle piante (eventuali fertilizzanti o altri ausili per migliorare il substrato).

Monitoraggio dopo l'intervento:

- Misura del tasso percentuale di piante sopravvissute, vigore delle piante e copertura vegetale; uso di foto aeree per valutare la diffusione delle piante.
- Esecuzione di una nuova mappatura della vegetazione, per valutare eventuali variazioni nella biodiversità e per determinare il successo dell'intervento.
- Mappatura topografica della barena e della velma, misure di accrescimento verticale.
- Misure ripetute ogni anno, finché non si sviluppa una vegetazione stabile.

In Laguna di Venezia è stata anche sperimentata la stabilizzazione della fascia intertidale mediante fanerogame marine. Questo tipo di intervento è stato effettuata nella fascia intertidale di alcune barene artificiali, lungo i ghebi naturali soggetti a erosione, o sulle velme, con lo scopo di incrementare la percentuale di sedimento trattenuta. A questo scopo è stata utilizzata la specie *Zostera noltii*, presente già spontaneamente nelle velme e lungo i ghebi. Anche in condizioni sfavorevoli come nelle barene costruite di recente o in aree sottoposte a erosione, il reimpianto di questa specie su una superficie sufficientemente ampia può generare condizioni favorevoli alla stabilizzazione dei fondali, e al loro auto-sostentamento.

5.3.2 Sedimentation fences (fascinate di sedimentazione)

Originariamente, questa tecnica è stata impiegata in Olanda e Germania, in contesti tipicamente erosivi delle porzioni intertidali. Tuttavia, in seguito a numerose sperimentazioni, è emerso che questa pratica risulta efficace solo in contesti caratterizzati da un trend sedimentario accrezionale, mentre appare inefficace in aree caratterizzate da un trend erosivo, se non viene abbinata ad altri interventi.

Le strutture impiegate per questa tecnica sono essenzialmente costituite da ostacoli che rallentano il passaggio dell'acqua, facilitando la deposizione del sedimento in sospensione.

Tali strutture possono essere di due tipi:

Brushwood groyne fencing (Pennelli permeabili)

Generalmente sono formati da una doppia fila (due file parallele) di pali, che vengono infissi nella velma, con una spaziatura di circa 3m e distanziati tra loro con intervalli di 6m. Possono essere orientati in modo vario ma solitamente si predilige un'orientazione normale alla linea di costa. Come riempimento tra i pali si possono utilizzare diversi materiali: ramaglie di salice, rivestimento geotessile e paglia (Fig. 5.2).

Tali strutture minimizzano l'azione delle onde, rallentano le correnti e favoriscono la sedimentazione, inoltre ritardano il riflusso della marea. Le velocità dei flussi di marea diminuiscono in seguito all'effetto di stagnazione e l'erosione prodotta dal moto ondoso si riduce; come risultato si ottiene la deposizione della frazione fine in sospensione.



Figura 5.2 - *Brushwood groyne fencing*. Da www.erosee.org.

Questa tecnica può essere applicata in più fasi successive. Ad esempio, per la creazione di aree a barena, si possono identificare tre fasi: inizialmente viene costruito un recinto per ridurre la turbolenza e per accrescere la sedimentazione; quando la quota del sedimento accumulato è sufficiente, viene scavato un primo sistema di drenaggio per fare in modo che l'aerazione dei sedimenti migliori e che si creino le condizioni per lo sviluppo della vegetazione pioniera (prima fase). Simultaneamente, viene costruito un secondo recinto davanti al primo che andrà a svolgere la stessa funzione del primo (seconda fase). Se tutto funziona a dovere, la barena dovrebbe formarsi e avanzare verso mare; se necessario, la barena può essere protetta da un terzo recinto (terza fase).

Strutture simili sono state sperimentate nella laguna di Venezia, nella barena prospiciente all'aeroporto di Tessera (il caso studio è riportato nel box sottostante), ottenendo ottimi risultati in termini di sedimentazione, avanzamento della linea di riva e manutenzione limitata.

CASO STUDIO:

BARENA PRESSO L'AEROPORTO DI TESSERA, LAGUNA DI VENEZIA (da Scarton et al., 2000)

Tra il 1994 e il 1997, Scarton et al (2000) hanno studiato gli effetti sull'accumulo del sedimento e sull'attecchimento della vegetazione, prodotti dall'installazione di un campo di sedimentazione (area recintata) in una piana di marea in prossimità dell'aeroporto Marco Polo di Tessera a Venezia. Il margine lagunare in questione era caratterizzato da due piccole insenature naturali, simili rispetto all'esposizione al vento e alle onde, con una lunghezza di circa 140m e una larghezza di 60m e una profondità media del fondale tra i -0,1 e -0,2m sul l.m.m..

Il campo è stato costruito in una di queste baie, nel maggio del 1994, seguendo le indicazioni di Boumans et al. (1997). Esso consisteva in due file parallele di pali di legno contenenti diversi strati di fasci di vegetazione. Lungo ogni fila erano stati posizionati 95 pali, spazati di 1,5m, infissi nel sedimento per 1,2m e sporgenti dal fondale per 1m. La lunghezza totale della recinzione era di circa 140m. I fasci di vegetazione erano costituiti da rami e steli di salice e pioppo legati in fasci di circa 25cm di diametro e 3m di lunghezza. Ogni livello consisteva in due file di fasci, che trovavano posto tra gli allineamenti dei pali. Erano stati collocati una media di tre livelli di fasci, assicurati con un cavo di nylon. Questa struttura permetteva il facile passaggio dell'acqua e del sedimento sospeso, mitigando significativamente l'energia del moto ondoso (Boumans et al., 1997).

Dopo l'intervento la variazione nel tempo nell'altezza della superficie del fondale è stata misurata con una tavola di sedimentazione SET, uno strumento di alta precisione ($\pm 0,2$ cm) appositamente sviluppato per misurare variazioni di quota in zone umide e acque basse (più o meno di 30cm di profondità, Boumans & Day, 1993). Due stazioni SET sono state installate in posizioni casuali nella

piana di marea dietro alla recinzione e altre due in un'area adiacente priva di recinzione dalle quali sono state effettuate le misure a una cadenza trimestrale tra giugno 1994 e novembre 1997.

Nonostante alcuni danni alle strutture e la forte ondata provocati da una tempesta alla fine dell'ottobre del 1996, complessivamente è stato misurato un accumulo di 5,7cm di sedimento in 28 mesi, comparato con i - 0,7cm misurati nelle vicine piane tidali non protette. L'analisi della granulometria non ha mostrato sostanziali differenze tra il sedimento depositato all'interno del recinto e quello nella zona non protetta. Per quanto riguarda la vegetazione, essa ha mostrato un trend di attecchimento maggiore rispetto a quello nell'area non protetta con insediamento di un maggior numero di specie. Il maggior accumulo di sedimento è stato attribuito alla diminuzione della forza d'onda, alla riduzione della risospensione e al miglioramento del consolidamento della superficie (Anderson et al., 1981; Nagai et al., 1984; Ward et al., 1984; Shybayama et al., 1986; Boumans et al., 1997).

Questo studio ha dimostrato l'importanza dei campi di sedimentazione nell'incrementare i tassi deposizionali e nella protezione dei bordi delle barene dall'erosione causata dalle tempeste.

Sedimentation polders

Sono veri e propri recinti di grandi dimensioni (Fig. 5.3). In particolare, il metodo "Schleswig-Holstein", utilizzato in Olanda e Germania, prevede la chiusura di una certa ampiezza di barena insieme a un'ampiezza simile di velma verso mare, mediante la costruzione di una recinzione perimetrale (fino a 400m²).

Vengono scavati dei canali con uno schema regolare in tutto il polder per raccogliere il sedimento che si accumula depositandosi sulle sponde tra i canali. Alcuni varchi nelle recinzioni, lungo la linea verso mare, permettono alle maree di scorrere all'interno del reticolo di canali, scavati all'interno dell'area, che vengono mantenuti per controllare il flusso delle maree e la deposizione sedimentaria. I canali principali vengono scavati perpendicolarmente alla costa, mentre le trincee vengono scavate parallele.

I canali principali consentono un rapido trasporto dei flussi di marea, ancora carichi di sedimento, verso la barena; in questo modo la sedimentazione può avvenire in prossimità della barena anziché nella zona *offshore*.

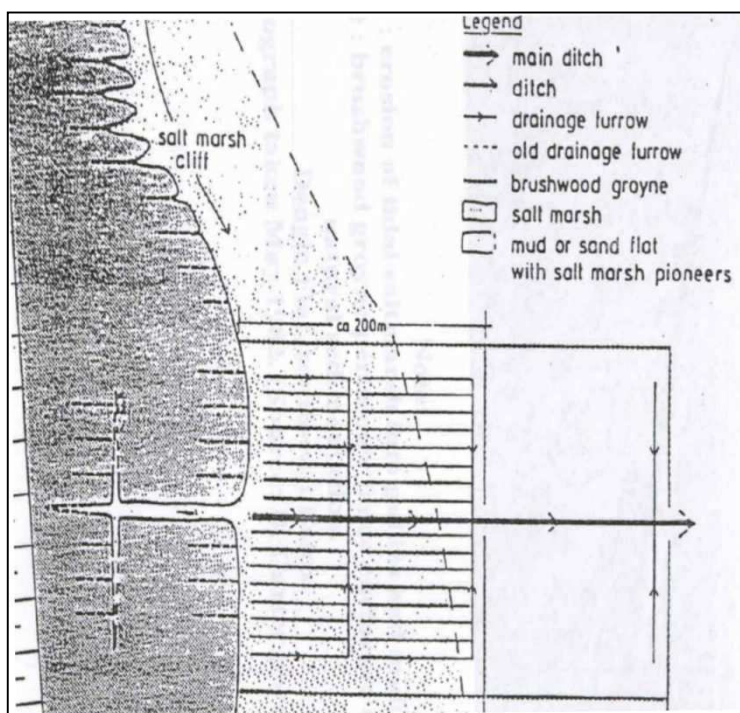


Figura 5.3 - Sedimentation polders (da Colenutt, 2001).

Questa tecnica prevede una re-escavazione periodica dei canali e delle trincee e il posizionamento del sedimento escavato nelle zone intercanale. In questo modo il livello topografico generale aumenta nel tempo, creando una nuova superficie topografica.

Queste strutture producono però un forte impatto ambientale, durante e in seguito alla loro costruzione e in alcuni casi possono generare rischi per la navigazione durante l'alta marea.

In contesti erosivi inoltre le canalizzazioni possono costituire vie d'erosione preferenziale, producendo l'asportazione del sedimento raccolto che, preso in carico dalle correnti, può essere trasportato sulle porzioni emerse della barena, provocando danni e/o la morte delle piante, o in mare aperto. Con la perdita del sedimento o di parti della recinzione, tali strutture diventano inefficaci o inutili e il materiale deposto viene eroso. Localmente, tali strutture possono incrementare in modo significativo l'azione erosiva delle correnti nelle zone adiacenti ai recinti. Se la sedimentazione è troppo rapida, può verificarsi il soffocamento degli invertebrati bentonici che popolano la zona intertidale.

Frangiflutti in massi

La posa di frangiflutti in massi con lo scopo di favorire i processi di sedimentazione si è rivelata nel tempo poco vantaggiosa, specie se applicata da sola in contesti erosivi. Attualmente viene usata accoppiata ad altre tecniche di minor impatto e dimensioni, ma si tratta di una tecnica in declino, anche perché negli ultimi anni la scelta degli interventi si è spostata verso soluzioni meno ingegneristiche e più in armonia con i processi naturali. I frangiflutti intervengono in modo diretto sull'energia delle onde: la riducono, permettendo lo sviluppo di nuovi profili stabili. A volte combinati con interventi di ricarica *foreshore*, o con la piantumazione, possono essere posizionati in prossimità o in corrispondenza del livello di bassa marea, per proteggere la maggior parte del profilo intertidale e proteggerlo dalle correnti tidali. In questo modo la circolazione dei sedimenti tra la barena e la velma può avvenire senza ostacoli, inoltre il profilo intertidale è in grado di rispondere alle variazioni a breve termine dell'energia delle onde. Necessitano di poca manutenzione rispetto ad altre tecniche, anche se è necessario monitorarli per valutarne la stabilità, e in alcuni casi con il passare del tempo, può rendersi necessaria la loro ri-orientazione.

Strutture in geotessile

In alternativa ai frangiflutti, possono essere impiegati dei tubi in materiale geotessile, riempiti in situ, che presentano un minor impatto ambientale, costi contenuti e minori difficoltà di posizionamento e di costruzione. Posizionati direttamente sul fondale, svolgeranno le stesse funzioni dei recinti o dei frangiflutti, proteggendo l'area e facilitando l'accumulo del materiale fine. Il loro posizionamento è piuttosto semplice e permette, anche in un secondo momento, la modifica di queste strutture anche nell'altezza, mediante la sistemazione successiva di nuovi elementi sopra a quelli già esistenti. I geotubi hanno una vita media di 20 anni, possono essere composti da un tubo interno e uno esterno, riempiti con sedimenti provenienti da dragaggi. Il tubo esterno può essere fatto di poliestere, ricoperto da un involucro di polipropilene che lo protegge dagli ultravioletti, che possono deteriorarne il materiale. Esistono anche dei materiali geo-tessili biodegradabili, rivestiti con polietilene o con tessuto geotessile a maglie aperte, come materiali di riempimento possono essere utilizzate delle giovani piantine.

Alghe artificiali e setti fluttuanti

Queste strutture (Fig. 5.4 e 5.5) sono costituite da buzzoni (segmenti cilindrici di tessuto biodegradabile come fibre di cocco o juta) posti sul fondo, sui quali sono fissate in un caso delle fettucce in polipropilene galleggianti e ricadenti, nell'altro una serie di setti costituiti da sacchetti mobili, anch'essi biodegradabili, appesantiti e fissati per mezzo di una corda legata a pali di legno. Queste "alghe" hanno lo scopo di intercettare i sedimenti in sospensione nell'acqua e di farli posizionare nei bassi fondali (Comune di Venezia 2001, progetto LIFE Natura 1999).

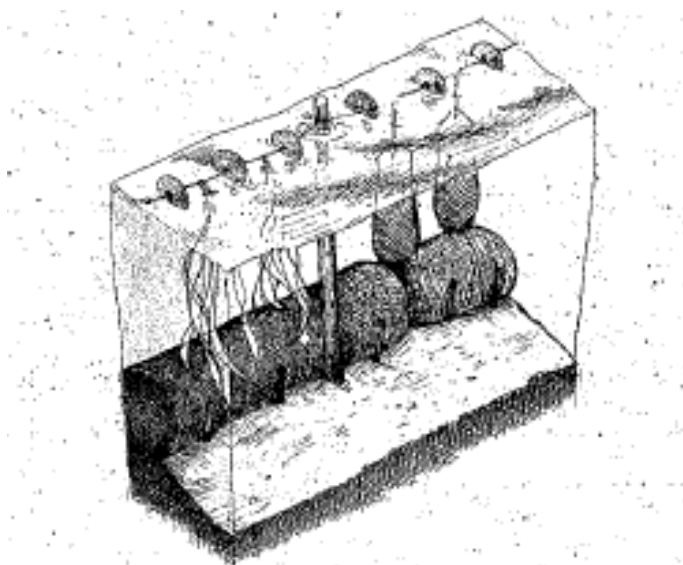


Figura 5.4 - Alghe artificiali e setti fluttuanti (Comune di Venezia 2001, progetto LIFE Natura 1999)



Figura 5.5 - Alghe artificiali (Consorzio Venezia Nuova 2002)

5.3.3 Difesa dei margini

In molti casi può essere necessario difendere in modo diretto i margini in erosione attraverso l'utilizzo di tecniche diverse.

Palificate

La posa di palificate a elementi contigui, con lo scopo di difendere e consolidare il margine della barena prima che se ne verifichi il crollo ed il successivo asporto, è una tecnica tradizionale molto utilizzata nelle lagune del Nord Adriatico. Queste strutture vengono posizionate in aderenza ai bordi delle barene, seguendo le rientranze maggiori e rettificando i margini se troppo frammentati. La quota sommitale della palificata è di circa 30 cm sul livello medio del mare, cioè uguale o leggermente superiore a quella della barena. Eventuali spazi tra palificata e margine barenale esistente, vengono colmati mediante il riporto di materiale idoneo, prelevato dai bassifondi antistanti o dai canali adiacenti. Tale materiale deve essere deposto in modo da non incrementarne il contenuto d'acqua iniziale, attraverso compattazione, per quanto possibile, per evitarne il dilavamento.

Secondo Bonometto (2003) l'utilizzo generalizzato di palizzate è costosissimo in termini economici, ma anche in termini ambientali: le palificate tradizionali respingono l'onda anziché assorbirne l'energia, generando delle riflessioni che tendono a scavare e scalzare la base, provocando affossamenti e processi erosivi nelle aree antistanti i margini di barena. Inoltre, le palizzate impediscono i processi d'infiltrazione d'acqua, bloccando i dinamismi naturali e l'evoluzione autonoma dei margini trattati.

Bonometto (2003) propone, quindi, una serie di accorgimenti per migliorare la resa di queste tecniche, evitando il posizionamento diretto delle strutture sul margine di barena, ma lasciando una distanza piuttosto ampia tra il margine della barena e la palizzata, creando una zona di "acque calme", in grado di favorire i processi di sedimentazione.

Materassi, burghe e buzzoni

Sono strutture tubolari, di sezione rettangolare nel caso dei materassi e cilindrica per le burghe e buzzoni (Fig. 5.6 e 5.7), riempite di materiali diversi e posizionate sul fondo o sui bordi barenali, in allineamenti singoli o plurimi, appaiati o sovrapposti. In base al riempimento la sezione di burghe e dei buzzoni può anche essere lenticolare. Queste strutture possono essere composte da materiali

diversi, ad esempio i contenitori possono essere realizzati in fibre organiche (vegetali o lana), oppure in poliestere; mentre i riempimenti possono essere costituiti da terre o da sedimenti analoghi a quelli dei siti di posizionamento. Questi elementi si introducono nell'ambiente naturale in modo più armonico, proponendo dei profili più simili a quelli naturali, rimodellando i bordi e assorbendo, almeno in parte, l'energia delle onde frangenti. Utilizzando burghe e buzzoni con materiali di contenimento biodegradabili e riempiti di sedimenti simili a quelli del sito, è possibile ricreare o favorire processi di riformazione spontanea dei margini. Inoltre queste strutture possono anche essere vegetate, favorendo i processi di ricolonizzazione (Bonometto, 2003).

Queste strutture sono state utilizzate con buon successo in Laguna di Venezia in un intervento di carattere sperimentale attuato nell'ambito di un Progetto "Life natura 1999" (Comune di Venezia, 2001). Nell'intervento di protezione e recupero le burghe sono state utilizzate nelle aree più esposte all'erosione, posizionandole a breve distanza dal margine di barena; in questo modo si sono create le condizioni favorevoli anche alla deposizione del sedimento a carico dell'acqua permeata, la cui forza è stata smorzata dalle burghe stesse. Sono le cosiddette "acque calme" (Bonometto, 2003), zone interposte tra le burghe e il margine barenicolo. I buzzoni invece sono stati utilizzati in aree a erosione meno intensa, in cui i margini della barena erano caratterizzati da un profilo digradante verso la velma antistante. Le strutture sono state poste direttamente a ridosso del margine della barena, riempite con materiali degradabili di varia natura, zolle vegetate e, nella parte inferiore, pietrame che ne garantisce la stabilità.



Figura 5.6 - Burghe, laguna di Venezia (da www.salve.it).



Figura 5.7 - Buzzoni, laguna di Venezia (da www.salve.it).

Barriere frangiflutti galleggianti

Un metodo alternativo per la protezione del margine di barena dall'erosione è quello delle barriere frangiflutti galleggianti (Saccomani, 2009). Esse dissipano per riflessione e per assorbimento l'energia del moto ondoso e per parziale frangimento dell'onda incidente. Non possono essere utilizzate indistintamente ma solo quando le condizioni meteomarine sono caratterizzate da periodi d'onda incidenti medi minori di 4 secondi. Queste condizioni (a eccezione di forti tempeste) si possono ritrovare in baie e zone lacustri dove la lunghezza dell'area di generazione del moto ondoso (fetch) non superi i 3-5km. L'applicabilità dei frangiflutti galleggianti dipende anche da altri fattori quali il grado di esposizione, il profilo batimetrico, la presenza di isole oltre la zona di fetch, l'ampiezza delle maree, l'intensità delle correnti, la possibilità di formazione di ghiaccio, le condizioni meteo marine annuali e stagionali, la frequenza e intensità delle tempeste e il grado di protezione richiesto (Gaithwaite, 1988).

McCartney (1985) ha individuato le principali caratteristiche a favore di questi interventi: ridotti costi e velocità di installazione, manutenzione e disinstallazione, durabilità nel tempo, ridotto impatto ambientale. Ne esistono di differente tipologia tra cui i "mat" (tappeti a intreccio) spesso utilizzati nel Regno Unito che possono essere costituiti da intrecci di copertoni usati, riempiti di poliuretano. Anche se sono molto economici e di facile manutenzione gli svantaggi sono numerosi:

scarsa durabilità nel tempo, perdita di galleggiabilità (causa perdita di aria all'interno della camera d'aria), ridotta applicabilità (solamente nei casi dove le onde hanno $H < 1$ m e $T < 3$ sec). In più sono soggetti all'accumulo di rifiuti. In alternativa i "box" (cassoni) e i "pontoon" (pontoni): prefabbricati in calcestruzzo a unico o doppio modulo oppure realizzati sottoforma di passerelle pedonabili (due tubolari collegati da una struttura reticolare discontinua). Sono più vantaggiose rispetto ai mat per la loro maggiore durabilità (50 anni di vita), la loro versatilità (possono essere usate come passerelle pedonabili e banchine di attracco), la possibilità di formare diverse configurazioni interconnettendo più moduli, la maggiore efficienza nell'attenuazione del moto ondoso incidente.

Tutte le tipologie di frangiflutti galleggianti vengono installate mediante l'ancoraggio al fondo con cavi o pali infissi nel fondale. Il parametro fondamentale di cui tener conto durante la fase di progettazione è il coefficiente di trasmissione (rapporto tra l'altezza d'onda trasmessa e l'altezza d'onda incidente), il quale risulta essere strettamente dipendente dal valore del rapporto tra la larghezza della struttura e la lunghezza d'onda.

Ostriche e mitili

Nell'estuario del Delaware (New Jersey, U.S.A.) alcuni ricercatori hanno testato l'efficacia di molluschi usati come frangiflutti naturali (www.delawareestuary.org). Sistemati lungo i margini di barena o poco distanti da essi, all'interno di sacchi di juta oppure semplicemente seminati, assorbono l'energia d'onda e intrappolano il sedimento, riducono l'erosione dei banchi, proteggono le barene. I molluschi inoltre filtrano l'acqua, sequestrando il carbonio e vari altri nutrienti per fertilizzare le piante colonizzatrici, incrementando e facilitando la loro crescita e stabilizzazione. Dopo soli 21 mesi dalla loro messa in opera si è riscontrata una rilevante deposizione di sedimento fine (riscontrando anche che essa era proporzionale alla densità dei mitili) e una buona crescita e nascita delle specie alofile nonché dei mitili stessi. Pur essendo stati evidenziati i suddetti vantaggi, non si dovrebbe tralasciare che questi tipi di molluschi possono diffondersi con facilità e invadere molto rapidamente le aree circostanti, alterando i delicati equilibri esistenti.

5.3.4 Tecniche che prevedono l'aggiunta di sedimento nel sistema

La tipologia e le caratteristiche fisiche dei materiali normalmente impiegati nelle opere di ripristino ambientale, sono strettamente collegate all'ipotesi di successo nella colonizzazione degli stessi da parte della vegetazione, che influenza fortemente la stabilizzazione del nuovo ambiente.

Tipicamente vengono utilizzati sedimenti fini provenienti dai dragaggi (silt e argille) piuttosto che i materiali sabbiosi, perché più adatti al tipo di vegetazione di questi ambienti.

I benefici del “riciclo” dei sedimenti dragati sono elevati: oltre a sostanziali vantaggi socio – economici, questo sistema consente di mantenere questi sedimenti all’interno del bilancio sedimentario, aumentando la quantità di sedimento disponibile per i processi di trasporto e accumulo.

Ogni intervento deve essere progettato con cura, concentrando l’attenzione sull’intero ambito morfologico sul quale si va a intervenire, che va opportunamente studiato in fase di pianificazione.

Ricarica intertidale:

Questa pratica può rivelarsi di estrema importanza, specie in situazioni critiche, in quanto può fornire una soluzione sostenibile oppure, nei casi meno fortunati, può procurare altro tempo utile sia per nuove indagini che per altre operazioni.

Lo scopo principale consiste nel ridurre il deficit sedimentario e nel ripristinare lo scambio sedimentario tra velme e barene, mediante la creazione di una nuova linea di costa auto – sostenibile, nelle zone soggette a erosione. Viene così prodotto l’innalzamento artificiale dell’area intertidale e sub-tidale, mediante l’importazione di nuovo sedimento (meglio se fine), ad esempio proveniente dai dragaggi, fino al raggiungimento di una quota soglia oltre la quale la vegetazione può naturalmente svilupparsi e crescere.

Quest’attività può rivelarsi però alquanto onerosa e logisticamente complessa. Inoltre, recuperare materiali idonei può risultare complicato in determinati contesti. I sedimenti utilizzati devono essere infatti i più simili possibile a quelli costituenti la piana tidale esistente, in genere fini e coesivi. Per la loro natura di sedimenti fini, essi creano notevoli difficoltà durante il loro posizionamento e la loro deposizione, possibile peraltro solo in determinati contesti. Nelle fasi successive al loro posizionamento necessitano inoltre di molto tempo per consolidarsi e raggiungere un equilibrio stabile, mediante l’espulsione dell’acqua che contengono. La velma creata artificialmente diventa stabile solo al termine della fase di consolidamento e dopo la sua colonizzazione da parte di microrganismi.

Questa tecnica richiede tempi di realizzazione piuttosto lunghi, durante i quali è necessario proteggere l’area ricaricata dalle onde e dalle maree, specie durante la deposizione e la

consolidazione dei sedimenti. Esiste anche il rischio che il materiale di ricarica venga disperso e ridistribuito al di fuori dell'area d'interesse; questo potrebbe comportare un aumento nella concentrazione dei sedimenti sospesi, con tutte le conseguenze del caso: eccessiva torbidità, problemi alla navigazione, soffocamento degli invertebrati e dei microrganismi.

L'apporto di sedimenti può essere effettuato nelle seguenti applicazioni tecniche:

- Ricarica di un sito da bonificare, prima di eseguire un riallineamento.
- Ricarica diretta di una barena esistente, per aumentare la sua quota in modo che sia possibile la colonizzazione da parte delle piante.
- Posizionamento di sedimento nella zona sub-tidale, o ricarica in colonna d'acqua, per ridurre la tendenza erosiva dei margini intertidali.
- Posizionamento *foreshore* per favorire la dissipazione dell'energia delle onde, ridurre l'erosione e/o per accrescere l'input sedimentario disponibile nel sistema lagunare.

Esistono diversi metodi di rilascio e distribuzione del sedimento:

Posizionamento foreshore diretto:

È il metodo più rapido. Si modifica la morfologia della barena e delle velme incrementando la quantità di sedimento disponibile, grazie al pompaggio di materiale nella zona di ricarica mediante differenti approcci.

Un primo metodo è rappresentato dalla cosiddetta (*Dispersione ad arcobaleno, rainbow discharging*) che viene solitamente utilizzata in contesti molto ristretti; il materiale (composto fangoso) viene sparato da una draga), in modo da ricoprire tutta l'area di ricarica (Fig. 5.8). Questo metodo risulta efficace lungo le coste caratterizzate da onde a bassa energia e piccole ampiezze di marea, anche se presenta molti limiti: la possibilità di accesso per le navi impiegate dipende dalla batimetria dei fondali; le condizioni necessarie per l'utilizzo delle imbarcazioni limitano il quantitativo di materiale a bordo e infine, il rapporto della mistura sedimento – acqua determina la gittata massima di posizionamento.

Il metodo del *Pipeline discharge* consiste nel pompaggio di materiale mediante una serie di tubazioni, che collegano la zona di dragaggio con quella di ricarica. Possono essere pompati grandi volumi di sedimento in tempi relativamente brevi; quindi questa tecnica è adatta nei contesti che

richiedono grandi ricariche sedimentarie. Se utilizzata a una scala inferiore e su distanze relativamente piccole, può essere una valida opzione in termini di costi – benefici, in quanto non ha costi di gestione ed evita lo stoccaggio o il trasporto del materiale al sito di ricarica mediante imbarcazioni. Le distanze di pompaggio e i possibili disturbi alla navigazione, ne possono però limitare l'impiego; inoltre per sostenere il rifornimento dell'intero profilo della barena e della zona intertidale, le tubazioni devono essere posizionate permanentemente all'interno dello stesso sistema di barena o, in alternativa, devono essere ripetutamente spostate. Uno dei vantaggi derivante dallo scarico di sedimento mediante una condotta, è il controllo potenziale del volume scaricato e dell'esattezza del luogo di scarico. Resta il problema dei tempi di consolidazione dei materiali, che può generare episodi di ri-sospensione del sedimento.



Figura 5.8 - Dispersione ad arcobaleno (Adnitt et al., 2007).

In molti casi, in relazione alla natura dei materiali coinvolti (in particolare per i materiali fini), è possibile che si renda necessaria la creazione di strutture di contenimento, permanenti o temporanei, per evitare lo spostamento del sedimento dalla zona di ricarica.

Posizionamento foreshore, posizionamento indiretto (Ricarica lenta o “Trickle charging”):

Prevede l'introduzione di nuovo materiale sedimentario e la sua ridistribuzione, attraverso l'energia del sistema naturale. Più precisamente, consiste in una lenta ricarica delle zone d'interesse attraverso il posizionamento del sedimento in un'unica zona, o in più punti (sulla costa o nella zona sub – tidale). Questi accumuli sedimentari saranno poi risospesi e presi in carico dalle correnti, che li distribuiranno in modo naturale lungo tutta la costa.

È importante identificare il/i punto/i più corretto/i per il posizionamento del materiale di ricarica, ed è quindi fondamentale conoscere in modo approfondito la batimetria costiera e l'andamento delle correnti.

Il vantaggio derivante da questo approccio è la formazione del tutto naturale di un nuovo profilo costiero, che sarà caratterizzato da una maggiore stabilità rispetto a un profilo creato artificialmente, e che diventerà parte integrante del sistema di barena (o di velma).

Il difetto principale del metodo sono i tempi di ricarica, estremamente lunghi se paragonati al posizionamento diretto mediante pompaggio.

Inter-tidal trickle charge (Ricarica lenta intertidale):

Richiede il posizionamento strategico nella zona intertidale di piccole quantità di sedimento, raccolte in piccoli cumuli, posizionati nel modo più appropriato per consentirne lo smantellamento naturale da parte delle correnti (Fig. 5.9). In alternativa vengono posizionati dei banchi di sedimenti in "contenitori" posizionati in corrispondenza delle bocche di marea, alti quasi quanto il livello di bassa marea. Il sedimento viene portato verso le aree da ricaricare in modo naturale, sfruttando le correnti di marea entranti. Il sistema reagisce in modo naturale all'input sedimentario, creando un nuovo equilibrio morfologico, senza la necessità di periodi artificiali di consolidamento, perché la sedimentazione è completamente naturale. La presenza di acque poco profonde e basse velocità di corrente e la dissipazione dell'energia delle correnti e delle onde indotta dalla vegetazione di barena sono fattori che favoriscono la sedimentazione.

Trickle charge via the water column (Ricarica lenta attraverso la colonna d'acqua):

Questa tecnica prevede l'immissione di sedimenti diluiti direttamente nella colonna d'acqua (sedimenti in sospensione). Il materiale deve essere introdotto gradualmente, per evitarne lo sprofondamento immediato e la concentrazione in un punto del fondale. Per questo motivo è necessario diluire preventivamente il sedimento, introducendo tanta acqua quanto è il sedimento da rilasciare e distribuendo il tutto mediante una draga mobile. La diluizione del sedimento favorisce la creazione di turbolenze nella zona di scarico, che aiutano la distribuzione dei sedimenti di ricarica su aree maggiori, rispetto a quella interessata dal trasporto prodotto esclusivamente dalle correnti tidali. Una variante della tecnica è l'"agitation dredging": il materiale viene mobilitato dal sito di dragaggio mediante un'azione idraulica (es. iniezione d'acqua). Questo processo utilizza grandi

volumi d'acqua concentrati in getti a bassa pressione, applicati direttamente alla superficie di sedimentazione; questo flusso erode il sedimento e forma una miscela acqua – sedimento sospeso. I sedimenti fangosi vengono presi in carico dalla corrente e si concentrano in un livello più denso e turbolento, posto al di sopra del fondale. Se la turbolenza non viene mantenuta il livello a densità maggiore si espande e si riduce in altezza. Il regime naturale delle maree disperde il materiale risospeso dal sito di dragaggio, in questo modo i sedimenti a grana fine entrano nel ciclo tidale di deposizione e risospensione e vengono trasportati e deposti su una vasta area.

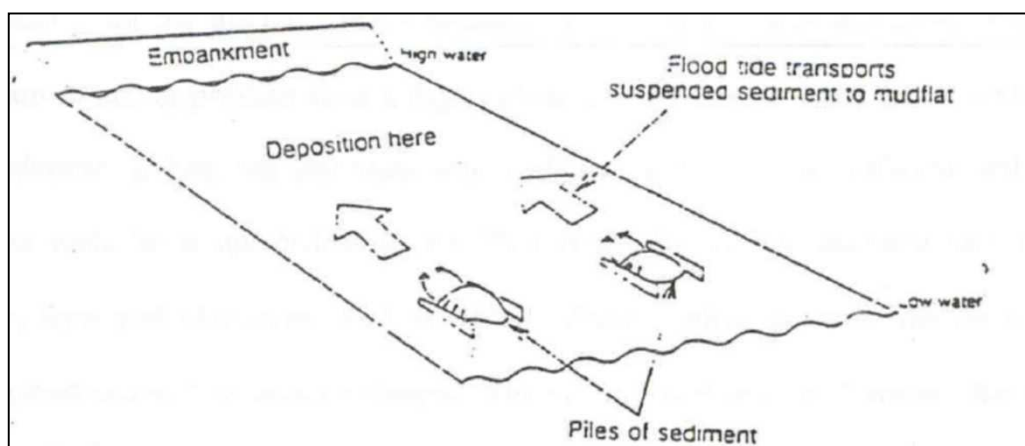


Figura 5.9 - Inter-tidal trickle charge (Colenutt, 2001).

L'uso di sedimenti fini (limo e silt) è il più adatto per il tipo di ricarica che si vuole effettuare in quanto i sedimenti fini costituiscono il sedimento tipico delle aree di ricarica e permettono una ricolonizzazione più rapida da parte della flora e fauna autoctoni.

Esso però comporta anche numerose problematiche, in quanto può venir facilmente risospeso e quindi l'area di destinazione finale non è così facilmente prevedibile. Ciò può portare conseguenze di natura ecologica, con rischi per gli esseri viventi e per le barene circostanti (ad esempio il soffocamento della vegetazione).

In Inghilterra, per evitare le problematiche connesse all'uso dei sedimenti fini, viene spesso proposto l'utilizzo di materiali più grossolani, più facili da manipolare e posizionare e con un comportamento idraulico più facilmente prevedibile e controllabile; essi sono inoltre meglio drenati e difficilmente alterabili e sono anche più resistenti in presenza di forti accumuli di sale. Tuttavia contengono pochi nutrienti, necessari alla vita e allo sviluppo della vegetazione e modificano l'ambiente, trattandosi di materiali estranei al sistema.

Effetti Positivi:

- Aumento dell'attenuazione delle onde e protezione dei margini costieri;
- Agevolazione nello sviluppo di nuove barene;
- Espansione degli habitat di interesse;
- Aumento delle popolazioni di flora e fauna selvatica;
- Utilizzo vantaggioso dei materiali di dragaggio.

Monitoraggio:

Prima di attuare una di queste tecniche è necessario conoscere a fondo il sistema in esame e i processi che lo caratterizzano, al fine di compiere la scelta più adatta e posizionare gli apporti sedimentari corretti.

È necessario disporre delle seguenti informazioni di partenza:

- L'analisi storica delle mappe e delle foto aeree, per determinare i tassi di erosione della barena;
- Mappe topografiche della barena e della piana fangosa;
- Misure relative alle onde e al regime tidale;
- Analisi dei sedimenti autoctoni, proprietà e curve granulometriche;
- Analisi sulle proprietà e delle curve granulometriche dei sedimenti di ricarica;
- Modellazione delle correnti, delle onde e del trasporto sedimentario;
- Studio delle comunità degli invertebrati marini;
- Analisi relative alla presenza di inquinanti nel sito e nel materiale di ricarica.

È probabile che in seguito alla ricarica si verifichino diversi e importanti cambiamenti; pertanto è consigliabile un monitoraggio attento e continuo nelle prime fasi, la frequenza del monitoraggio può essere ridotta con il passare del tempo, in base alle modificazioni ottenute nel sito, e in base ai dati acquisiti dal monitoraggio.

5.4 Creazione di nuove barene nel bacino o verso l'entroterra

5.4.1 Managed Realignment

Anche detta '*managed retreat*' o '*set back*', questa tecnica prevede il riposizionamento verso terra di eventuali protezioni e linee di difesa a mare, o la restituzione all'azione della marea di aree precedentemente bonificate; questo si traduce nello spostamento della linea di costa e dei sistemi lagunari verso l'entroterra, con la creazione di nuove barene.

Questo tipo di intervento può essere realizzato in contesti erosivi, in cui le difese costiere impediscono il naturale movimento di compensazione verso terra. Se accompagnata ad altre misure e condotta con criterio, questa tecnica permette la creazione di un nuovo ambiente intertidale. È evidente come sia quanto necessario lo studio accurato dell'area e una pianificazione minuziosa siano indispensabili, al fine di evitare danni su grande e piccola scala (non è semplicemente una tecnica, ma piuttosto una modificazione di uno o più ecosistemi).

Lo spostamento della linea di difesa costiera verso terra, prevede la costruzione di una seconda linea di difesa, o la presenza di una difesa naturale più arretrata, in modo da promuovere la creazione di un nuovo ambiente di barena e piana fangosa nell'area compresa tra le due linee difensive.

Inizialmente, per evitare variazioni troppo brusche, la linea di difesa più avanzata non viene eliminata completamente, l'operazione di rimozione parziale o completa può avvenire solo al termine del processo. Nella maggior parte dei casi, le aree che vengono restituite al mare sono state bonificate in precedenza, alcune possono presentare una riduzione di quota derivante dai processi di bonifica, pertanto localmente può essere necessario collocare nuovi sedimenti (provenienti ad esempio dai dragaggi), per creare le condizioni adatte alla realizzazione del nuovo habitat.

Questo metodo non è applicabile ovunque, ma solo in determinati contesti, non è ovviamente attuabile in zone di produzione o residenziali o con infrastrutture.

5.4.2 L'abbandono controllato (forma alternativa di riallineamento)

È una tecnica alternativa al *Managed realignment*, più adatta alle aree in cui esiste un rilievo naturale, o comunque una zona più elevata, che svolge il ruolo di difesa, senza la necessità di costruirne una.

Tabella 5.3 - Considerazioni per determinare l' idoneità di un sito al Managed realignment (Adnitt et al., 2007).

Punti chiave nella selezione di un sito adatto al Managed realignment	
Prisma Tidale	Un certo volume d'acqua entra ed esce ad ogni ciclo di marea. Questo si modificherà con l'aumento dell'area intertidale e potrebbe agire sul bilancio netto di sedimentazione/erosione.
Morfologia	L'area verrà riportata ad uno stato quasi - naturale per far sì che si comporti come un sistema naturale.
Storia del sito	Il sito o parte di esso è stato una barena in passato? Se così fosse, le condizioni sarebbero più favorevoli per la formazione di nuove barene.
Suoli	Quanto sono stati modificati gli antichi sedimenti di barena? La storia dell'uso del suolo è molto importante.
Elevazione della superficie	Il sito è abbastanza elevato da permettere la vita alla vegetazione di barena? Di solito ci sono problemi derivanti dalla compattazione e dal dewatering. Le terre separate dal mare da lungo tempo possono avere delle quote troppo basse.
Gradiente superficiale	La zonazione della barena, in base alle specie vegetali (da quelle pioniere a quelle tipiche delle barene mature), è legata alla quota ed al tempo di sommersione.
Sedimenti	Le barene sono caratterizzate da sedimenti abbastanza fini. In alcuni casi le pratiche agrarie possono introdurre sedimenti più grossolani, che se presenti in concentrazioni troppo elevate aumentano in modo inopportuno il drenaggio del terreno, rendendolo inadatto allo scopo.
Rete delle canalizzazioni	I canali naturali presentano delle strutture complesse. Si dibatte per capire se sia meglio tracciarli artificialmente o lasciare che si formino naturalmente.
Idraulica Tidale	Canali principali di marea (ebb / flood) e velocità delle correnti. Controllano l'entità della breccia da aprire nelle difese a mare.
Posizione della breccia	È importante che non si apra nella direzione prevalente delle onde, per evitare un'erosione eccessiva.
Budget Sedimentario	C'è abbastanza sedimento disponibile per la formazione e lo sviluppo di nuove barene?

Si consente l'espansione verso terra dell'ambiente intertidale, con il conseguente abbandono di campi e pascoli all'azione dei processi mareali, che dovrebbero portare alla formazione di nuove barene. Quando le barene di neoformazione diventano stabili la difesa a valle può essere parzialmente o totalmente rimossa.

Le barene che si creano con questa tecnica hanno un aspetto diverso dal normale, spesso appaiono poco naturali, in parte perché costituite da sedimenti consolidati in seguito a processi di drenaggio antecedenti. Sono caratterizzate da quote maggiori, piante morte (tipicamente terrestri), strutture di confine dei campi e morfologie anomale dei margini.

L'approccio di questa tecnica differisce dal *do nothing* perché ogni azione, in questo caso, deve essere studiata, pianificata e monitorata regolarmente nel tempo. Ci sono numerosi aspetti da valutare per capire se l'applicazione del riallineamento è un'opzione valida per un determinato sito (Tab. 5.3).

È necessario raccogliere una serie di dati di partenza per definire un possibile modello/predizione degli effetti del riallineamento, nell'area di applicazione e nell'intero sistema coinvolto.

Sono indispensabili le informazioni riguardanti:

- indagini topografiche del sito e delle barene adiacenti;
- indagini batimetriche;
- monitoraggio delle correnti e del trasporto dei sedimenti in sospensione;
- monitoraggio biologico.

Effetti Potenziali:

- In prossimità di estuari, esiste il rischio che l'erosione aumenti in seguito all'aumento del prisma tidale (correnti più rapide).
- Perdita a breve termine delle aree di pascolo, nell'intervallo tra la morte delle piante terrestri e la colonizzazione dell'ambiente da specie di barena.
- Perdita di zone con habitat terrestre.
- Creazione di barene e piane fangose.
- Creazione delle condizioni necessarie affinché il sistema risponda in modo naturale alle variazioni dei processi.
- Aumento degli habitat costieri.

Monitoraggio:

Il monitoraggio ha un ruolo fondamentale per le implementazioni e per la fase post-progettuale, soprattutto per quel che riguarda l'impatto dell'intervento e i risultati ottenuti. Partendo da questi dati, il progetto originale può essere modificato o compensato in alcune parti, per risolvere o contenere reazioni impreviste o negative del sistema.

In alcuni casi il monitoraggio può portare allo sviluppo di nuovi progetti, necessari per comprendere meglio il sistema e fornire nuove soluzioni più adatte per gli scopi prefissi.

Attività di monitoraggio:

- Indagini topografiche
- Monitoraggio dei tassi di accrezione della zona intertidale
- Monitoraggio dell'erosione nella zona intertidale
- Monitoraggio delle correnti
- Monitoraggio dell'erosione della difesa
- Monitoraggio ecologico

5.4.3 Regulated Tidal Exchange (RTE) systems

Questa tecnica prevede l'inondazione controllata, con acque salmastre, di zone precedentemente protette. Differisce dal riallineamento, in quanto non si abbattono o modificano le protezioni costiere, ma si utilizzano dei sistemi di tubi e chiuse. L'RTE può essere particolarmente valido in due scenari: quando è previsto che le difese rimangano al loro posto, o nelle prime fasi di una strategia di riallineamento a lungo termine (vi sono pochi esempi in Inghilterra, parecchi in Olanda, Germania e U.S.A.).

Come per il riallineamento, questa tecnica non serve esclusivamente alla gestione di una o più barene, ma piuttosto a generare o espandere nuovi habitat intertidali.

Il metodo RTE necessita di tempi molto lunghi e produce una lenta modificazione delle aree interessate, che da zone protette e adibite a diversi usi, vengono convertite in aree di barena e/o di piana fangosa. Mediante l'uso di tubi e chiuse si permette l'ingresso, regolare e controllato, di acque marine, che lentamente trasformano le suddette aree dal punto di vista geomorfologico e biologico.

Esistono numerose pratiche atte a gestire e controllare il flusso delle acque saline entranti, che si diversificano in base alla tipologia del sito e dell'obiettivo finale: alcune sono più indicate per la creazione delle barene, altre per la creazione di piane fangose.

Alcuni esempi:

- Può essere utilizzato un canale sotterraneo aperto, privo di chiuse a mare. Le acque di marea fluiscono e rifluiscono a ogni ciclo di marea (finché il livello “interno” si mantiene intorno al livello medio di bassa marea). Una variazione del metodo, consiste nella creazione, verso terra, di bordi ripidi ai lati del canale, per impedire lo straripamento dell’acqua dal canale, creando una zona perennemente allagata.
- Si può utilizzare un canale con una chiusa manuale, che permette l’ingresso dell’acqua durante l’alta marea fino al livello desiderato, e il suo rilascio quando lo si ritiene opportuno.
- Possono essere utilizzate delle chiuse auto-regolate (*Self regulating tide gates, SRTs*): grazie a galleggianti mobili, permettono l’ingresso dell’acqua durante l’alta marea, fintanto che il galleggiante non arriva a un determinato livello, a quel punto le paratie si chiudono automaticamente. Quando la marea si ritira, le paratie si riaprono automaticamente permettendo alle acque, precedentemente raccolte, di tornare in mare.
- Si possono utilizzare delle chiuse elettroniche: si aprono e si chiudono elettronicamente in base alle variazioni verticali del livello delle acque costantemente monitorate da sensori di pressione. Generalmente vengono aperte per brevi periodi a ogni ciclo di marea.

La programmazione degli schemi di inondazione è fondamentale per la buona riuscita dell’intervento. È necessario garantire un determinato scambio d’acqua, e un tasso di accrezione sufficiente in base all’innalzamento previsto del livello del mare.

In linea di massima, i siti caratterizzati da un numero di inondazioni inferiore a 450-500/anno tendono a trasformarsi in barene, mentre quelli con un numero di inondazioni tra 450-600/anno tendono a diventare delle piane fangose.

Il sito potenziale deve possedere determinate caratteristiche:

- Deve essere presente un’opera di difesa, ad esempio una diga a mare, entro la quale può essere fatto passare un tubo o un canale e una chiusa a mare.
- L’inondazione dell’area non deve costituire un rischio per persone, animali e attività (nel caso contrario devono essere predisposti dei sistemi di difesa).

- L'area deve essere in qualche modo connessa al mare per ricevere l'input necessario di acque marine. L'ingresso dell'acqua permette anche l'ingresso dei sedimenti in sospensione (accumulo).
- Il sito non può possedere una quota inferiore a 0,1m al di sotto del livello massimo di alta marea.
- Il suo intervallo di marea può essere al massimo di 3m.
- I materiali che compongono il substrato non devono essere facilmente erodibili, nè permeabili.
- Le pendenze non devono superare 1-6%, perché influiscono sul rapporto barene/piane fangose. (Minore è la pendenza, maggiore sarà la capacità di dissipazione dell'energia, ma se le superfici sono troppo piatte il drenaggio è scarso o inesistente).

Questa tecnica viene ampiamente utilizzata negli schemi di riallineamento a lungo termine, ad esempio nei casi in cui non tutte le aree devono essere allagate contemporaneamente.

Mediante l'RTE è possibile eseguire una pianificazione a più tappe e suddividere i siti in più parti, permettendo l'allagamento di piccole aree per minimizzare l'impatto e creare le condizioni di transizione più favorevoli, per poi rimuovere completamente l'ostacolo in un secondo momento.

In questi casi non è necessario costruire nuove opere di difesa, il che rende questo metodo un'alternativa più economica rispetto al riallineamento vero e proprio.

L'RTE ha dei vantaggi simili a quelli derivanti dalla ricarica sedimentaria e dal riallineamento, con il vantaggio aggiunto di un maggior grado di controllo sui processi idrogeologici. Si può pianificare il tipo di risultato che si vuole ottenere, incoraggiando lo sviluppo del sito verso una particolare direzione (barena o piana fangosa) mediante il controllo dei volumi in gioco.

Di solito questa tecnica viene utilizzata in aree molto piccole, rispetto a quelle interessate dai riallineamenti, in quanto la capacità idraulica di sfioro di tubi e canali, non è lontanamente paragonabile a quella derivante dalla rimozione di una difesa costiera.

Gli effetti potenziali si riconducono a quelli esposti per il riallineamento.

Monitoraggio:

Per gran parte simile a quello che deve essere effettuato per un'opera di riallineamento:

- monitoraggio della topografia;

- monitoraggio della vegetazione;
- monitoraggio degli invertebrati e dei vertebrati;
- monitoraggio dei livelli delle acque;
- monitoraggio della salinità;
- monitoraggio delle variazioni della vegetazione e degli invertebrati.

5.4.4 Creazione di barene artificiali all'interno del bacino preesistente

Molte delle tecniche precedentemente descritte, in particolare quelle relative alle ricariche sedimentarie vengono utilizzate per la creazione di nuove barene all'interno dei bacini lagunari o nelle aree estuarili.

La creazione di barene artificiali, mediante l'impiego di sedimenti provenienti dai dragaggi, è una tecnica ampiamente utilizzata ad esempio nella laguna di Venezia.

L'intervento consiste in termini generali nella creazione di un'area di contenimento, con pali ravvicinati posti a intervalli il più possibile costanti, ricoperti da materiale geotessile, all'interno dei quali vengono pompati i sedimenti di dragaggio fino al raggiungimento del livello medio di alta marea. In questo modo vengono create ampie aree intertidali, dove la vegetazione tipica delle barene può attecchire e svilupparsi.

Questa tecnica presenta alcuni difetti: spesso queste aree sono caratterizzate, specie nelle prime fasi, da fenomeni di compattazione e consolidamento che si traducono in elevati tassi di subsidenza.

In alcuni casi i sedimenti impiegati mostrano densità maggiori rispetto a quelli "naturali" e possono contenere alte percentuali di sabbia e pochi nutrienti, pertanto in alcuni casi è necessario arricchire i sedimenti con materiale organico, per favorire la crescita della vegetazione.

Nei primi interventi, le conterminazioni venivano realizzate secondo il metodo tradizionalmente utilizzato nelle valli di Comacchio, con una doppia fila di pali di legno a interasse di circa 0,5m con interposte fascine di ramaglie.

Successivamente sono state realizzate conterminazioni più solide, costituite da pali di legno accostati e dotati, sul lato interno, di una parete filtrante in rete idraulica o geotessuto, allo scopo di trattenere i sedimenti in sospensione e permettere contemporaneamente il libero flusso dell'acqua.

Per favorire la trasformazione delle barene artificiali in ambienti morfologicamente ed ecologicamente il più possibile simili a quelli morfologici lagunari, è necessario eseguire degli interventi mirati.

In particolare, a seconda dello stato di conservazione, dovranno essere eseguiti lavori di adeguamento, rinforzo e naturalizzazione, secondo quattro principali modalità di intervento (Cecconi et al., 1998):

- ripristino o ricostruzione della parete filtrante, nel caso in cui questa risulti danneggiata o collassata. In caso di ricostruzione, la nuova palificata dovrà essere realizzata, parallela a quella precedente, all'interno della barena, rimuovendo la palificata più vecchia. In questo modo l'integrità della barena viene preservata e la porzione non più conterminata evolve in velma.
- nel caso di barene particolarmente esposte al moto ondoso, che presentano porzioni in erosione e in arretramento, è possibile ricostruire la fascia adiacente alla conterminazione, attraverso il posizionamento di sabbia, tout venant o gabbioni in rete metallica riempiti di materiale lapideo lungo la conterminazione, al suo interno; premurandosi di isolare tali materiali dal fondale, mediante il posizionamento di geotessuto sul fondale;
- nelle barene che hanno subito, a seguito di assestamenti e compattazione del materiale, una riduzione della quota si dovrà prevedere un nuovo versamento di materiale su tutta la superficie, fino a raggiungere la quota desiderata (+0,5/+0,6 m s.m.m, secondo Cecconi, 1998). Lo stesso intervento può essere impiegato nelle barene in cui la colonizzazione vegetale risulta difficoltosa; in questi casi, la quantità di sedimento dovrà essere contenuta per evitare il soffocamento delle piante già esistenti;
- nelle barene con scarsa presenza di chiari e ghebi si può intervenire aprendo dei varchi nella conterminazione, creando così una "scomenzera" (termine in dialetto veneziano per indicare un invito scavato dall'uomo perché le correnti, procedendo naturalmente per erosione, diano luogo al tracciato di un nuovo canale), affidando alle onde e alle alte maree il compito di incidere la superficie della barena e di creare chiari e ghebi.

6. LA GESTIONE DELLE BARENE: PRIME LINEE GUIDA PER LA LAGUNA DI MARANO E GRADO

6.1 Principi base

Fino a oggi in Laguna di Marano e Grado non sono ancora stati attuati interventi gestionali e/o di protezione e ripristino delle barene, ma tra gli obiettivi gestionali del “Piano di Gestione del SIC / ZPS Laguna di Marano e Grado” di recente pubblicazione è indicata la “conservazione e ricostruzione di barene”.

L’analisi condotta nel presente studio, unitamente a quanto già noto grazie agli studi precedenti (Triches et al. 2011, Fontolan et al. 2010, 2012), consente di delineare un quadro complessivo abbastanza esaustivo in merito alla situazione morfoevolutiva delle barene nella laguna di Marano e Grado e di formulare quindi una serie di linee guida al fine di programmare e progettare eventuali interventi di ripristino e salvaguardia.

A tale scopo si riportano di seguito una serie di considerazioni conclusive tratte dalle analisi eseguite che possono essere assunte, allo stato delle conoscenze attuali, quali principi base ai quali le linee guide gestionali devono far riferimento:

1. **Evoluzione del bacino lagunare:** Le lagune sono entità in continua evoluzione la cui esistenza e mantenimento nel tempo è il risultato di un equilibrio dinamico tra innalzamento relativo del livello del mare (risultato dell’azione combinata di eustatismo e subsidenza locale) e apporto sedimentario. I due processi lavorano in direzioni opposte: il primo tende a trasformare le lagune in aree marine privandole delle loro peculiarità morfologiche; l’apporto sedimentario invece (qualora sia consistente) tende a interrare completamente le lagune. I segnali evolutivi riscontrati nella laguna, le caratteristiche geografiche e geologiche e i dati morfobatimetrici finora raccolti fanno ritenere che la laguna sia attualmente in una fase di tendenza all’annegamento. Da un lato infatti nell’Alto Adriatico è in atto una forte tendenza all’innalzamento del livello del mare. A questo vanno aggiunti gli scarsi apporti solidi fluviali (quasi tutti i fiumi che sfociano in laguna sono di risorgiva), anche se relativamente ad essi mancano dati completi e aggiornati. Inoltre le tendenze evolutive

riscontrate quali l'interrimento dei canali, la perdita di superfici a barena e la tendenza all'approfondimento dei fondali lagunari a bassa profondità (0- -0.5m), rappresentano una manifestazione della tendenza complessiva all'annegamento da parte del bacino lagunare. Se questa tendenza non è contrastabile nella sua globalità, è invece possibile e necessario controllarne e limitarne gli effetti.

2. **Differenziazione delle barene:** differente collocazione fisiografica, origine e caratteri morfologici fanno sì che le barene, pur presentando caratteri comuni, non siano riconducibili a un modello unico e quindi necessitino di interventi e strategie gestionali sito-specifiche.
3. **Distruzione delle barene:** la rilevante scomparsa delle barene verificatasi dal 1954 al 2006 a scala di intera laguna va in buona parte attribuita a interventi antropici diretti, che consistono nell'eliminazione di aree a barena in seguito a bonifiche, creazione di casse di colmata, chiusura di valli da pesca, costruzione di argini di conterminazione ecc. .
4. **Tendenza evolutiva delle barene:** I processi erosivi e deposizionali che coinvolgono le barene si esplicano in maniera diversa sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, a seconda della forzante in atto e delle caratteristiche locali del bacino. Escludendo gli interventi antropici diretti la quantificazione delle altre forzanti ha consentito di individuare tra le prime cause l'annegamento per subsidenza e deficit sedimentario, il moto ondoso naturale, il moto ondoso indotto dai natanti. Dall'analisi è però emerso che non esiste una tendenza evolutiva univoca all'interno di ciascuno dei sei bacini che compongono la laguna. In ciascuno di essi assumono importanza forzanti diverse anche in ragione di un diverso assetto morfologico, delle pratiche di utilizzo e delle modifiche antropiche intervenute nel corso del tempo. Accanto ai fenomeni erosivi sono stati individuati anche importanti segnali di "resilienza morfologica" del sistema, con ampliamento delle superfici a barena sia nelle aree di apporto fluviale (esempio foci dello Stella, secca di Muzzana), sia in quelle dove la morfologia lagunare consente l'instaurarsi di condizioni protette, adatte alla sedimentazione e quindi alla formazione o all'ampliamento delle superfici a barena.
5. **Complessità morfologica del bacino:** la presenza di una rete di canali principali e secondari, di velme e isole nei singoli bacini, assieme a quella di strutture antropiche (valli da pesca) ne determina la complessità morfologica, che tende a favorire i processi di sedimentazione locali e quindi la preservazione delle barene.

6. **Processi di dinamica costiera:** la vivace dinamica costiera che agisce sulle isole barriera e sui banchi esterni determina comportamenti di segno opposto sull'evoluzione delle barene a essi associate, con erosioni localizzate, ma anche accrescimenti nei bacini paralagunari di recente formazione.
7. **Barene di origine antropica:** La barena G3B, la cui genesi è da ricondurre alla pratica (in uso un tempo) del riporto del materiale di dragaggio dei canali al bordo degli stessi, nel caso specifico il Canale Belvedere nel bacino di Grado, non si discosta dalle "barene naturali" per quel che riguarda la vegetazione ivi presente. Si può quindi ipotizzare che nel medio e lungo periodo una eventuale barena artificiale, se costituita in modo opportuno, dovrebbe evolvere, dal punto di vista vegetazionale, verso tipologie convergenti con quelle dell'ecosistema naturale nel quale è collocata.

6.2 Individuazione delle criticità e degli elementi di forza

Con l'obiettivo di individuare in modo corretto aree, priorità e modalità di intervento gestionale delle barene è in primo luogo necessario definire una serie di elementi utili, la cui analisi può rappresentare una prima fase all'interno di un processo decisionale lungo e complesso. Esso coinvolge necessariamente anche altre tematiche di tipo ambientale, economico e sociale che esulano dallo scopo del presente lavoro.

Di seguito vengono descritti alcuni di questi elementi ponendo l'accento (vista la natura della presente ricerca) sugli aspetti sedimentologici e morfologici, i quali andranno adeguatamente integrati con quelli biologici.

Per molti di essi le informazioni complete sono disponibili e interrogabili nel geodatabase, la cui struttura è dettagliatamente presentata nel capitolo 7. In ciascuno dei punti affrontati di seguito è quindi riportato il riferimento ai dati contenuti nel geodatabase o alle altre fonti.

- A. **Verifica della cronicità del fenomeno erosivo:** è opportuno verificare che il fenomeno erosivo sia in atto da lungo tempo, in questo modo vanno esclusi i fenomeni temporanei che possono essere attribuiti a cause accidentali o a fluttuazioni naturali.

FONTI DEL DATO

GEODATABASE: confronto della tendenza erosiva di ciascuna barena o di ciascun gruppo di barene, nei due intervalli di tempo considerati.

- B. **Valutazione dell'intensità del fenomeno erosivo:** l'intensità del fenomeno erosivo è un elemento base per la stesura di una lista di priorità di intervento, in quanto andranno ovviamente privilegiati gli interventi in aree in cui il processo erosivo si sviluppa in maniera molto intensa e tale da mettere a repentaglio in tempi brevi la conservazione di un intero gruppo di barene.

FONTI DEL DATO
GEODATABASE: superficie persa in percentuale dal 1954 al 2006 per gruppo di barene.

- C. **Riconoscimento della presenza di aree deposizionali:** va verificata la presenza di aree di accrescimento che compensano in tutto o in parte i fenomeni erosivi. La contemporanea presenza di aree erosive e deposizionali permette di distinguere i gruppi di barene che mostrano una certa capacità di adattarsi alle modifiche in atto. La mancanza totale di aree di deposizione mette invece in evidenza una situazione di deficit sedimentario o di idrodinamismo troppo elevato, che non consentono il mantenimento di un equilibrio dinamico.

FONTI DEL DATO
GEODATABASE: individuazione delle aree stabili, erose e guadagnate nei due intervalli di tempo.

- D. **Individuazione della tipologia erosiva o deposizionale:** individuare nello specifico le differenti tipologie erosive e accrescitive secondo la classificazione proposta nel presente lavoro (si veda cap. 4) può essere un valido ausilio (come vedremo meglio al paragrafo 6.3) per scegliere le strategie e le tecniche da adottare caso per caso.

FONTI DEL DATO
GEODATABASE: individuazione delle forzanti attribuite a ciascuna area persa o guadagnata e della forzante prevalente di ciascun gruppo.

- E. **Individuazione della tipologia di margini:** identificare nello specifico di ciascun barena i margini erosivi e quelli deposizionali rappresenta un elemento importante per l'individuazione localizzata delle aree di intervento e la scelta delle tecniche di intervento da adottare.

FONTI DEL DATO
GEODATABASE: individuazione dei margini stabili, in erosione e in avanzamento.

- F. **Individuazione dei gradi di libertà del sistema a barena:** la presenza di elementi rigidi (quali argini di conterminazione, argini di valli da pesca, canali navigabili) può limitare la possibilità di migrare della barena in risposta al mutare delle condizioni ambientali o al protrarsi delle attuali tendenze erosive.

FONTI DEL DATO
CARTOGRAFIA CGT DELLA REGIONE FVG, CARTA BATIMETRICA DELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO: individuazione dei manufatti antropici e dei canali principali all'interno del bacino lagunare.

- G. **Individuazione della batimetria delle aree adiacenti:** la presenza di diverse categorie batimetriche e morfologiche (piana subtidale, piana tidale, canale) nelle aree adiacenti ai margini delle barene sui quali si vuole intervenire, influisce sulle dinamiche di scambio sedimentario con la barena e condiziona fortemente le possibilità e le scelte di intervento.

FONTI DEL DATO
CARTA BATIMETRICA DELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO: individuazione della batimetria nelle aree adiacenti ai margini delle barene.

6.3 Strategie e tecniche possibili

6.3.1 Strategie di intervento

In un contesto evolutivo come quello della Laguna di Marano e Grado sono diverse le strategie e le tecniche di intervento che possono essere proposte. Di seguito si riassumono le caratteristiche principali di ciascuna di esse.

Do nothing

Se la barena è in una situazione tale da poter rispondere al mutare delle condizioni ambientali adattandosi e modificandosi a sua volta, la scelta di “non intervenire” (*do nothing*) può essere la più appropriata. In molti casi lasciare che i processi evolvano in modo autonomo è fondamentale, perché invece ogni intervento potrebbe rivelarsi inutile, o peggio dannoso.

Favorire la sedimentazione locale

I processi morfogenetici responsabili della formazione delle barene possono essere attivati e accelerati. Esistono numerose tecniche che mirano a ridurre la velocità delle correnti tidali alle quali è associato un certo carico sedimentario. Mediante tale azione è possibile prolungare il periodo di sedimentazione durante un ciclo tidale, con l'obiettivo di far depositare la maggior quantità possibile di sedimenti fini. Questi vengono trasportati dall'alta marea nelle aree di interesse dove, mediante strutture apposite, il riflusso viene rallentato, favorendo la loro deposizione. Possibili tecniche sono la piantumazione di specie alofite adatte, l'uso di deflettori o barriere di varia natura e materiali.

Aumentare la disponibilità di sedimento

Nei casi in cui, per differenti motivi, gli apporti sedimentari siano scarsi è possibile scegliere di intervenire con apporti di sedimento, ad esempio ricavati dal dragaggio dei canali nel bacino stesso. Nel caso, meno auspicabile, di sedimenti di provenienza esterna al bacino andrà posta particolare attenzione alla loro tipologia.

La ricarica di sedimento potrà essere di tipo diretto ossia riguardare direttamente l'area di barena, o "indiretta" in aree adiacenti, sfruttando le correnti di flusso per la redistribuzione del sedimento. Le tecniche possibili sono molteplici e la loro scelta dipende molto dalle condizioni locali.

Proteggere i margini

Nel caso di azione erosiva ben individuata e direzionale possono essere utilizzate tecniche di protezione dei margini della barena. Si tratta di tecniche utilizzate in maniera tradizionale da molto tempo nelle lagune. Tra le più usate sono file di pali infissi nel suolo con disposizioni diverse. Negli ultimi anni si è cercato di evitare le problematiche indotte da questo tipo di difese quali la riflessione del moto ondoso e la conseguente sovra escavazione del fondale adiacente, utilizzando altre tecniche. Possibili alternative sono costituite da strutture in grado di adattarsi alla morfologia del terreno, come le "burghe", o da difese distaccate che hanno lo scopo di creare una zona ad acque calme davanti al margine della barena. A seconda della tipologia e profondità del fondale adiacente (velma, piana subtidale o canale) e dell'energia del moto ondoso, esiste una vasta gamma di tipologie e materiali impiegabili, che va dalle fascinate in materiale legnoso alle difese galleggianti.

6.3.2 Applicazione ai contesti evolutivi individuati

In base alle differenti tipologie erosive individuate e descritte al capitolo 4 è possibile definire una rosa di strategie e di tecniche, che è possibile adottare per la tutela e il ripristino delle barene.

Lo schema di lavoro proposto, che associa a ogni tipologia erosiva differenti approcci e tecniche gestionali, viene descritto di seguito e riassunto in tabella 6.1:

E1 Annegamento indotto da subsidenza e deficit sedimentario

Questo stile evolutivo è generato da un insieme di forzanti: risalita del livello del mare, scarsa sedimentazione, alti tassi di auto-compattazione e subsidenza regionale che si traducono in subsidenza localizzata e deficit sedimentario, provocando l'annegamento localizzato o completo della barena.

Una volta verificata la reale necessità di intervento e quindi scartata la probabilità che le tendenze erosive in atto siano "cicliche" o occasionali e che in aree adiacenti non vi siano aree interessate da processi inversi (cosa che in realtà si verifica raramente nei casi in cui questa tipologia di forzante è la prevalente), è necessario agire sulla causa del problema e quindi aumentare l'apporto sedimentario.

Nel caso in cui il problema si manifesti in aree interne alla barena stessa sarà probabilmente difficile e poco opportuno intervenire con apporti diretti di sedimento in quanto troppo impattanti, soprattutto se nell'area sono presenti associazioni vegetali tipiche di barena bassa (come popolamenti a spartina). Potrà essere più facilmente scelta l'opzione di una ricarica sedimentaria in aree adiacenti (ricarica indiretta).

Nel caso si appuri che all'interno dello stesso gruppo di barene vi siano aree in accrescimento, che possano far ipotizzare un certo apporto sedimentario è possibile intervenire per favorire in qualche modo i processi tidali di deposizione. Ciò può essere realizzato ad esempio con opere di difesa distaccate di diverso tipo o, nel caso le batimetrie lo consentano, con piantumazioni.

E2 Arretramento dei margini o frammentazione indotta da moto ondoso

Questo stile erosivo si riscontra sui margini delle barene esposte ad ampi tratti di acque libere nella direzione di provenienza dei venti dominanti (soprattutto la bora, ma anche scirocco e libeccio). L'erosione è generata dall'azione del moto ondoso, che produce l'arretramento dei margini esposti

e la frammentazione delle barene. Questa tipologia è in genere caratterizzata da un'erosione asimmetrica e localizzata che coinvolge solo alcuni margini.

In molti casi si è verificato che a un significativo arretramento sul lato esposto al vento corrisponde la presenza di significative aree di accrescimento del margine sottovento, o in aree protette adiacenti con un parziale colmamento di ghebi e chiari. Nel primo caso ne risulta una migrazione della barena, con un bilancio tra aree erose e aree accresciute pressoché nullo. In questi casi, una volta appurata la mancanza di elementi rigidi o aree profonde che possono limitare i gradi di libertà, una scelta opportuna può essere quella del “non intervento” (*do nothing*) in quanto la barena ha mostrato di essere in grado di mantenere un proprio equilibrio dinamico.

La presenza invece di elementi rigidi che ne limitano l'adattamento o in presenza di un bilancio nel complesso significativamente negativo, una delle strategie adottabili può essere la protezione localizzata dei margini, con strutture difensive aderenti o distaccate, scelte anche in base alle batimetrie.

Alternative utilizzate sono le difese adattabili alla morfologia del terreno come le “burghe”, o le difese distaccate che hanno lo scopo di creare una zona ad acque calme davanti al margine della barena. Esiste una vasta gamma di tipologie e materiali, che va dalle fascinate in materiale legnoso alle difese galleggianti, impiegabili a seconda della tipologia e profondità del fondale adiacente (velma, piana subtidale o canale) e dell'energia del moto ondoso.

Se le batimetrie dell'area adiacente sono troppo profonde le difese possono infatti indurre riflessione e sovraescavazione. In questi casi può essere più utile un ripascimento dell'area subtidale soprattutto se si è verificato che l'area adiacente sia stata anch'essa soggetta a fenomeni di erosione

E3 Arretramento dei margini per moto ondoso generato da natanti

Questo stile si distingue dal precedente, perché la forzante è rappresentata dal moto ondoso generato dal transito di natanti lungo i canali lagunari navigabili. È perciò evidente che tale tipologia si sviluppa esclusivamente nelle barene adiacenti ai canali lagunari, dove i margini esposti al moto ondoso sul lato canale, mostrano un arretramento progressivo nel tempo. Le manifestazioni morfologiche possono essere molti simili a quelle appena descritte per il caso E2.

Anche il processo decisionale può quindi essere molto simile. In presenza di aree deposizionali che compensino adeguatamente quelle erosive, l'adozione della strategia del “non intervento” può

essere senz'altro opportuna, con le limitazioni già esposte per la tipologia E2. In questo caso inoltre gioca a favore di questa scelta anche il fatto che l'erosione è legata a una forzate più localizzata, che tende a perdere di efficacia a una certa distanza dalla sua origine.

Nei casi di bilancio fortemente negativo o di impossibilità di adattamento del sistema, per presenza di elementi antropici o morfologici che ne limitino il grado di libertà, possono essere utilizzate protezioni dei margini in aderenza o distaccate.

E4 Erosione / arretramento dovuta a processi di dinamica costiera

Questo stile evolutivo viene generato da particolari dinamiche costiere (come meglio dettagliato al capitolo 4) e nella Laguna di Marano e Grado è stato riscontrato in un solo caso (presso la bocca tidale di S. Andrea). Trattandosi di dinamiche evolutive molto rapide e dipendenti da fattori esterni all'ambito lagunare propriamente detto, è necessario che esse vengano garantite nel loro massimo grado di libertà, senza interventi che possano modificare o irrigidire la dinamica costiera.

E5 Eliminazione delle barene per interventi antropici diretti

Non si tratta di un vero e proprio stile evolutivo, ma piuttosto di azioni antropiche dirette (bonifiche, creazione di casse di colmata, chiusura di valli da pesca, costruzione di argini di conterminazione), che determinano l'eliminazione di porzioni o di interi corpi barenali. È evidente che in questo caso vi sia una necessità di maggior tutela a livello di gestione territoriale per evitare ulteriori perdite.

Tabella 6.1 –Tabella che associa a ogni tipologia erosiva differenti approcci e tecniche gestionali.

Tipologia erosiva	Strategie	Tecniche possibili
E1	<ul style="list-style-type: none"> – Do nothing – Aumentare la disponibilità di sedimento – Favorire la sedimentazione locale 	<ul style="list-style-type: none"> – Ricarica di sedimento diretta o indiretta in aree adiacenti – Protezioni distaccate con creazione di aree ad "acque calme" – Piantumazioni
E2	<ul style="list-style-type: none"> – Do nothing – Proteggere i margini dal moto ondoso diretto 	<ul style="list-style-type: none"> – Lasciare migrare la barena – Protezioni in aderenza – Protezione distaccate con creazione di aree ad "acqua calme" – Protezioni "soft" (fascinate, buzzoni) – Protezioni soffolte

E3	<ul style="list-style-type: none"> – Do nothing – Proteggere i margini dal moto ondoso diretto 	<ul style="list-style-type: none"> – Lasciare migrare la barena – Protezioni in aderenza – Protezione distaccate con creazione di aree ad “acqua calme” – Protezioni “soft” (fascinate, buzzoni)
E4	<ul style="list-style-type: none"> – Do nothing 	
E5	<ul style="list-style-type: none"> – Impedire lo sviluppo di ulteriori interventi antropici diretti 	<ul style="list-style-type: none"> – Vincoli alla pianificazione territoriale

Ciascuna delle tecniche proposte richiede un attento studio morfodinamico, idrodinamico e vegetazionale prima dell’eventuale intervento e un monitoraggio nella fase successiva.

6.4 La ricostruzione di barene

La ricostruzione integrale di aree a barena può, in linea di principio, essere ritenuto un intervento positivo per la salvaguardia delle dinamiche morfologiche e idrauliche della laguna. Tuttavia, si pone l’esigenza di valutare le priorità e modalità di intervento, per la localizzazione e costruzione di nuovi sistemi di barene, non solo in considerazione delle stesse quali aree emerse a beneficio degli habitat, ma anche quali entità morfologiche con un fondamentale ruolo per il bilancio sedimentario e il mantenimento della laguna.

L’area d’intervento più idonea va valutata caso per caso tenendo conto delle condizioni morfologiche e idrodinamiche del bacino.

Riportiamo di seguito alcune indicazioni utili:

- La ricostruzione deve riguardare in preferenza aree dove le barene erano già presenti nel passato.
- È preferibile che la ricostruzione avvenga in aree già costituite da piane tidali (tra 0 e -0,5m).
- L’area di sversamento deve rispettare il più possibile la morfologia preesistente senza interrompere canali o ghebi e modificare il flusso e riflusso mareale.
- La collocazione del sedimento deve rispettare il più possibile le caratteristiche morfologiche funzionali delle barene, che già esistono in aree adiacenti o all’interno di quel bacino.
- Le quote massime (da prevedere dopo che è avvenuto una naturale prima compattazione) devono essere comprese tra 0,40 e 0,50m sul l.m.m..

- Di particolare interesse risulta essere la pratica tradizionale di collocare i sedimenti dragati dai canali lungo i bordi degli stessi; essa infatti in alcuni casi sembra aver dato risultati positivi in termini morfologici e funzionali (barene a lato del canale di Belvedere, barena a lato dell'Allacciante di S. Andrea).
- Non vanno previste protezioni rigide se non lungo i canali lagunari a intensivo transito di natanti, dove la tecnica più idonea va però adeguatamente individuata e progettata, in modo da evitare quanto più possibile gli effetti perturbativi tipicamente indotti dalle opere rigide (erosione per riflessione del moto ondoso).

6.5 Riutilizzo di sedimenti contaminati da mercurio per il ripristino degli ambienti a barena

L'attività di ricerca condotta sul mercurio nelle barene della Laguna di Marano e Grado ha permesso innanzitutto di quantificare il livello di contaminazione di questo metallo in questi ambienti. Nei sedimenti delle barene indagate, il mercurio risulta essere costantemente superiore allo Standard di Qualità Ambientale (SQA-MA) definito dal D.M. 8 novembre 2010 n. 260 (0,3mg/kg) per il raggiungimento del buono stato chimico. Tuttavia, i valori di concentrazione rilevati risultano in accordo con quanto riscontrato nei sedimenti delle piane tidali e rispecchia il loro gradiente decrescente di concentrazione est-ovest, già evidenziato quale diretta conseguenza degli apporti mercuriferi storici di origine isontina. Le barene, quindi, si presentano dal punto di vista del contenuto in mercurio assimilabili alle circostanti piane tidali, confermando una continuità tra i due sub-ambienti relativamente ai processi di sedimentazione e di accumulo del metallo.

La movimentazione di sedimenti anossici provenienti dal dragaggio dei canali lagunari e il loro eventuale ricollocamento a costruzione di ambienti a barena comporta la riossigenazione di tali materiali ed il conseguente cambiamento delle condizioni redox del sistema. Inoltre, le barene sono soggette a periodiche sommersioni ed emersioni, in conseguenza dei cicli di marea. Queste circostanze possono avere delle importanti conseguenze per quanto riguarda il ciclo biogeochimico del metallo, che andrebbero approfondite per completare il quadro conoscitivo in merito ai fattori che condizionano la mobilità del mercurio in questi ambienti. Un'analisi di tipo speciativo, atta a meglio definire le possibili forme in cui il mercurio è presente nei sedimenti delle barene, potrebbe

fornire ulteriori conoscenze sulla frazione del metallo più disponibile, indipendentemente dal quantitativo di mercurio totale presente. Inoltre, un'indagine di dettaglio sull'attività batterica e in particolare sui processi metabolici associati alla trasformazione del mercurio in metilmercurio sarebbe auspicabile per comprendere in che condizioni e in che misura le barene possono divenire siti attivi per la metilazione.

Per quanto riguarda le specie vegetali che colonizzano le barene, non è stata riscontrata alcuna anomalia nelle classi vegetazionali presenti. La vegetazione barenicola della Laguna di Marano e Grado è assimilabile a quella tipica degli ambienti salini del Mediterraneo e del tutto simile a quella di altri ambienti lagunari non contaminati dal mercurio, priva di apparenti fenomeni di selezione delle specie dovuti alla presenza del metallo in concentrazioni anomale.

Le specie alofile indagate hanno mostrato una tendenza ad accumulare il mercurio (ed il metilmercurio), particolarmente per quanto riguarda l'apparato radicale che si è dimostrato essere un sito di accumulo preferenziale per queste specie chimiche, con contenuti di mercurio e metilmercurio che risultano anche di due ordini di grandezza superiori a quanto riscontrabile nel sedimento. Scarsa, invece, è risultata la traslocazione del metallo dalle parti ipogee a quelle aeree (fusti e foglie). La vegetazione alofila, quindi, potrebbe svolgere un ruolo di stabilizzazione per quanto riguarda la mobilità del metallo in questi ambienti, confinando il mercurio alle parti ipogee. In conclusione, quindi, si possono elencare le seguenti osservazioni:

- Il riutilizzo di sedimenti contaminati da mercurio per la ricostruzione di ambienti a barena, se operato in aree omogenee dal punto di vista del livello di contaminazione, andrebbe a creare ambienti simili a quelli già presenti naturalmente in Laguna.
- La vegetazione alofila che colonizza gli ambienti a barena, ed evolve con il maturare di questi, tende ad accumulare il metallo nelle proprie radici, svolgendo un apparente ruolo di stabilizzazione, mentre risulta scarsa la traslocazione verso le parti epigee (fusti e foglie) e quindi il trasferimento al di fuori del "sistema sedimento".

Questi ambienti, soprattutto nella Laguna di Marano e Grado, risultano ancora poco studiati soprattutto per quanto concerne la contaminazione da mercurio e i processi naturali che intervengono determinandone la sua eventuale mobilità. Pertanto, in conseguenza della grande varietà di questi ambienti e dell'oscillare delle condizioni ossiche ed anossiche cui sono sottoposti,

diversi approfondimenti possono essere suggeriti e auspicabilmente messi in opera per completare il quadro conoscitivo relativo a questa problematica ambientale. Uno su tutti, ad esempio, la valutazione, per via sperimentale, della mobilità del Hg dal sedimento proveniente dal dragaggio dei canali e successivamente utilizzato per la creazione di un "sito pilota" (barena ripristinata o artificiale), considerando gli aspetti legati alla speciazione del metallo ed alla sua rimobilizzazione all'interfaccia acqua-sedimento. Potrebbero inoltre essere valutati gli effetti dell'esposizione all'aria (ossigenazione) del sedimento in merito alla mobilità delle specie mercurifere e dei processi di metilazione e/o di demetilazione che interesserebbero il "sito pilota", seguendone la sua naturale evoluzione nel tempo dalla messa a dimora del sedimento fino alla sua colonizzazione da parte della vegetazione alofila.

7. STRUTTURA DEI DATI

Le basi di dati utilizzate per l'analisi delle dinamiche evolutive delle barene e la relativa rappresentazione cartografica, sono state strutturate all'interno di un apposito geodatabase.

Nello specifico, all'interno del geodatabase denominato "DinamicaEvolutivaBarene.mdb", sono stati creati tre distinti feature dataset ("Barene", "Evoluzione" e "Indagini") che organizzano al loro interno (in modo coerente dal punto di vista dei contenuti) le feature class relative a:

- Sagoma delle barene digitalizzata con riferimento agli anni 1954, 1990 e 2006.
- Evoluzione della sagoma delle barene ed individuazione delle forzanti negli intervalli di tempo 1954-1990 e 1990-2006.
- Evoluzione dei margini di barena e individuazione delle forzanti negli intervalli di tempo 1954-1990 e 1990-2006.
- Rilievo topografico delle sezioni di barena e localizzazione dei punti di prelievo delle alofite.
- Sintesi a livello di gruppi di barene dei principali indicatori utilizzati per il calcolo del bilancio evolutivo.

Di seguito vengono presentati in modo dettagliato struttura e contenuti del geodatabase.

<i>Archiviazione e strutturazione dei dati:</i>	Geodatabase
<i>Ambiente:</i>	ESRI ArcGIS (v10.0)
<i>Formato:</i>	Personal Geodatabase (.mdb)
<i>Denominazione:</i>	DinamicaEvolutivaBarene.mdb
<i>Sistema di coordinate di riferimento:</i>	Gauss-Boaga Fuso EST (Monte_Mario_Italy_2) Projection: Transverse_Mercator False_Easting: 2520000,000000 False_Northing: 0,000000 Central_Meridian: 15,000000 Scale_Factor: 0,999600 Latitude_Of_Origin: 0,000000 Linear Unit: Meter GCS_Monte_Mario Datum: D_Monte_Mario

<i>Feature dataset</i>	<i>Descrizione</i>
Barene	Raggruppa le <i>feature class</i> contenenti la digitizzazione delle sagome delle barene in diverse soglie storiche: anni 1954, 1990 e 2006

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Superfici_1954	Polygon	Contiene le entità geometriche di tipo poligonale che descrivono la sagoma delle barene riferita all'anno 1954
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
id_gruppo	Short Integer	Codice identificativo del gruppo di barene
bacino1954	Text	Denominazione del bacino nel 1954
idg1954	Text	Codice identificativo del gruppo di barene e del bacino nel 1954
anno	Short Integer	Anno di riferimento delle sagome delle barene
IdgObj54	Text	Codice identificativo della barena, del gruppo, del bacino e dell'anno di rilievo.
Shape_Lenght	Double	Perimetro dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape_Area	Double	Superficie dell'entità geometrica (campo di sistema)

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Superfici_1990	Polygon	Contiene le entità geometriche di tipo poligonale che descrivono la sagoma delle barene riferita all'anno 1990
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
id_gruppo	Short Integer	Codice identificativo del gruppo di barene
bacino1990	Text	Denominazione del bacino nel 1990
idg1990	Text	Codice identificativo del gruppo di barene e del bacino nel 1990
Anno	Short Integer	Anno di riferimento delle sagome delle barene
IdgObj90	Text	Codice identificativo della barena, del gruppo, del bacino e dell'anno di riferimento.
Shape_Lenght	Double	Perimetro dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape_Area	Double	Superficie dell'entità geometrica (campo di sistema)

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Superfici_2006	Polygon	Contiene le entità geometriche di tipo poligonale che descrivono la sagoma delle barene riferita all'anno 2006
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
id_gruppo	Short Integer	Codice identificativo del gruppo di barene
Bacino2006	Text	Denominazione del bacino nel 2006
Idg2006	Text	Codice identificativo del gruppo di barene e del bacino nel 2006

Anno	Short Integer	Anno di riferimento delle sagome delle barene
IdgObj06	Text	Codice identificativo della barena, del gruppo, del bacino e dell'anno di riferimento.
Shape_Lenght	Double	Perimetro dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape_Area	Double	Superficie dell'entità geometrica (campo di sistema)

Feature dataset	Descrizione
Evoluzione	Raggruppa le <i>feature class</i> utilizzate per l'analisi e la rappresentazione delle dinamiche evolutive a livello di barene e gruppi di barene (superfici e margini) negli intervalli temporali 1954-1990 e 1990-2006

Feature class	Entity	Descrizione
Margini_1954_1990	Polyline	Contiene le entità geometriche di tipo lineare che descrivono i margini di barena ed i processi che su di essi agiscono, nell'intervallo di tempo 1954-1990 e i margini tra porzioni di barena che si sono modificate nel medesimo intervallo di tempo. Tali margini sono derivati da una serie di analisi topologiche eseguite a livello di perimetro e di superficie delle barene nel 1954 e nel 1990 e sul relativo confronto.
Field name	Data Type	Descrizione
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
LEFT_FID	Long Integer	Identificativo univoco dell'entità geometrica di tipo poligonale presente a sinistra della polilinea che rappresenta il margine di barena. Il valore "-1" indica l'assenza di poligono.
RIGHT_FID	Long Integer	Identificativo univoco dell'entità geometrica di tipo poligonale presente a destra della polilinea che rappresenta il margine di barena. Il valore "-1" indica l'assenza di poligono.
L_Stato	Text	Condizione evolutiva della barena o porzione di barena a sinistra del margine. I valori presenti sono: (-) Erosione / Perdita (=) Stabilità (+) Accrescimento / Incremento La mancanza di valore indica l'assenza di un poligono a sinistra del margine.
L_idg	Text	Codice identificativo del gruppo di barene al quale appartiene la barena o porzione di barena a sinistra del margine
L_Bacino	Text	Nome del bacino al quale appartiene la barena o porzione di barena a sinistra del margine
L_F_54_90	Text	Forzante/i che hanno determinato la condizione evolutiva della barena o porzione di barena a sinistra del margine nell'intervallo di tempo 1954-1990
L_Area	Long Integer	Superficie della barena o porzione di barena a sinistra del margine

R_Stato	Text	Condizione evolutiva della barena o porzione di barena a destra del margine. I valori presenti sono: (-) Erosione / Perdita (=) Stabilità (+) Accrescimento / Incremento La mancanza di valore indica l'assenza di un poligono a destra del margine
R_idg	Text	Codice identificativo del gruppo di barene al quale appartiene la barena o porzione di barena a destra del margine
R_bacino	Text	Nome del bacino al quale appartiene la barena o porzione di barena a destra del margine
R_F_54_90	Text	Forzante/i che hanno determinato la condizione evolutiva della barena o porzione di barena a destra del margine nell'intervallo di tempo 1954-1990
R_Area	Long Integer	Superficie della barena o porzione di barena a destra del margine
Lenght	Long Integer	Lunghezza del margine
L_Ireg_Idx	Double	Indice di irregolarità morfologica ³ del poligono rappresentante la barena o porzione di barena a sinistra del margine.
R_Ireg_Idx	Double	Indice di irregolarità morfologica ⁴ del poligono rappresentante la barena o porzione di barena a destra del margine.
Shape_Lenght	Double	Lunghezza del margine (campo di sistema)
Sintesi	Text	Contiene la definizione sintetica della situazione evolutiva del margine che può essere utilizzata per la tematizzazione del dato. I valori presenti sono: (Accrescimento) Margine di accrescimento dovuto a modifiche naturali o antropiche indotte (Erosione) Margine soggetto ad erosione dovuta a modifiche naturali o antropiche indotte

³ Indice che ha lo scopo di descrivere l'irregolarità morfologica del poligono paragonandone superficie e perimetro a quello di un cerchio delle medesime dimensioni. Tale indice viene calcolato con la seguente formula:

$$S_i = \frac{L_i}{2\sqrt{\pi A_i^c}}$$

Dove

S_i Indice di irregolarità morfologica della barena o porzione di barena

L_i Perimetro della barena o porzione di barena

A_i^c Superficie della barena o porzione di barena

Più il valore si avvicina ad "1" più il poligono presenta una morfologia regolare.

⁴ Vedi "nota 1"

	(Incremento)	Margine di avanzamento dovuto a modifiche antropiche dirette
	(Perdita)	Margine di arretramento dovuto a modifiche antropiche dirette
	(Stabilità)	Margine tra due barene o porzioni di barena stabili
	(Margine esterno)	Margine esterno che separa barene o porzioni di barena dall'acqua
	(Non significativo)	Margini che per la loro ridotta estensione non risultano significativi ai fini dell'indagine

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Margini_1990_2006	Polyline	Contiene le entità geometriche di tipo lineare che descrivono i margini di barena ed i processi che su di essi agiscono, nell'intervallo di tempo 1990-2006 e i margini tra porzioni di barena che si sono modificate nel medesimo intervallo di tempo. Tali margini sono derivati da una serie di analisi topologiche eseguite a livello di perimetro e di superficie delle barene nel 1990 e nel 2006 e sul relativo confronto.
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
LEFT_FID	Long Integer	Identificativo univoco dell'entità geometrica di tipo poligonale presente a sinistra della polilinea che rappresenta il margine di barena. Il valore "-1" indica l'assenza di poligono.
RIGHT_FID	Long Integer	Identificativo univoco dell'entità geometrica di tipo poligonale presente a destra della polilinea che rappresenta il margine di barena. Il valore "-1" indica l'assenza di poligono.
L_Stato	Text	Condizione evolutiva della barena o porzione di barena a sinistra del margine. I valori presenti sono: (-) Erosione / Perdita (=) Stabilità (+) Accrescimento / Incremento La mancanza di valore indica l'assenza di un poligono a sinistra del margine.
L_idg	Text	Codice identificativo del gruppo di barene al quale appartiene la barena o porzione di barena a sinistra del margine
L_Bacino	Text	Nome del bacino al quale appartiene la barena o porzione di barena a sinistra del margine
L_F_9_060	Text	Forzante/i che hanno determinato la condizione evolutiva della barena o porzione di barena a sinistra del margine nell'intervallo di tempo 1990-2006

L_Area	Long Integer	Superficie della barena o porzione di barena a sinistra del margine
R_Stato	Text	Condizione evolutiva della barena o porzione di barena a destra del margine. I valori presenti sono: (-) Erosione / Perdita (=) Stabilità (+) Accrescimento / Incremento La mancanza di valore indica l'assenza di un poligono a destra del margine
R_idg	Text	Codice identificativo del gruppo di barene al quale appartiene la barena o porzione di barena a destra del margine
R_bacino	Text	Nome del bacino al quale appartiene la barena o porzione di barena a destra del margine
R_F_90_060	Text	Forzante/i che hanno determinato la condizione evolutiva della barena o porzione di barena a destra del margine nell'intervallo di tempo 1990-2006
R_Area	Long Integer	Superficie della barena o porzione di barena a destra del margine
Lenght	Long Integer	Lunghezza del margine
L_ireg_idx	Double	Indice di irregolarità morfologica ⁵ del poligono rappresentante la barena o porzione di barena a sinistra del margine.
R_ireg_idx	Double	Indice di irregolarità morfologica ⁶ del poligono rappresentante la barena o porzione di barena a destra del margine.
Shape_Lenght	Double	Lunghezza del margine (campo di sistema)
Sintesi	Text	Contiene la definizione sintetica della situazione evolutiva del margine che può essere utilizzata per la tematizzazione del dato. I valori presenti sono: (Accrescimento) Margine di accrescimento dovuto a modifiche naturali o antropiche indotte (Erosione) Margine soggetto ad erosione dovuta a modifiche naturali o antropiche indotte (Incremento) Margine di avanzamento dovuto a modifiche antropiche dirette (Perdita) Margine di arretramento dovuto a modifiche antropiche dirette (Stabilità) Margine tra due barene o porzioni di barena stabili (Margine esterno) Margine esterno che separa barene o porzioni di barena dall'acqua

⁵ Vedi "nota 1"

⁶ Vedi "nota 1"

		(Non significativo) Margini che per la loro ridotta estensione non risultano significativi ai fini dell'indagine
--	--	--

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Superfici_1954_1990	Polygon	Contiene le entità geometriche di tipo poligonale che descrivono le barene o porzioni di barena ed i processi che su di essi agiscono, nell'intervallo di tempo 1954-1990. Tale livello è stato generato tramite overlay topologico tra le feature class "Superfici_1954" e "Superfici_1990".
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
Stato	Text	Condizione evolutiva della barena o porzione di barena. I valori presenti sono: (-) Erosione / Perdita (=) Stabilità (+) Accrescimento / Incremento
idg	Text	Codice identificativo del gruppo di barene al quale appartiene la barena o porzione di barena
Bacino	Text	Nome del bacino al quale appartiene la barena o porzione di barena
F_54_90	Text	Forzante/i che hanno determinato la condizione evolutiva della barena o porzione di barena nell'intervallo di tempo 1954-1990
Area	Long Integer	Superficie della barena o porzione di barena
Perimetro	Long Integer	Lunghezza del perimetro della barena o porzione di barena
Irreg_Indx	Double	Indice di irregolarità morfologica ⁷ della barena o porzione di barena
Shape_Lenght	Double	Lunghezza del perimetro della barena o porzione di barena (campo di sistema)
Shape_Area	Double	Superficie della barena o porzione di barena (campo di sistema)

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Superfici_1990_2006	Polygon	Contiene le entità geometriche di tipo poligonale che descrivono le barene o porzioni di barena ed i processi che su di essi agiscono, nell'intervallo di tempo 1990-2006. Tale livello è stato generato tramite overlay topologico tra le feature class "Superfici_1990" e "Superfici_2006".

⁷ Vedi "nota 1"

<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
Stato	Text	Condizione evolutiva della barena o porzione di barena. I valori presenti sono: (-) Erosione / Perdita (=) Stabilità (+) Accrescimento / Incremento
idg	Text	Codice identificativo del gruppo di barene al quale appartiene la barena o porzione di barena
Bacino	Text	Nome del bacino al quale appartiene la barena o porzione di barena
F_90_06	Text	Forzante/i che hanno determinato la condizione evolutiva della barena o porzione di barena nell'intervallo di tempo 1990-2006
Area	Long Integer	Superficie della barena o porzione di barena
Perimetro	Long Integer	Lunghezza del perimetro della barena o porzione di barena
Irreg_Indx	Double	Indice di irregolarità morfologica ⁸ della barena o porzione di barena
Shape_Lenght	Double	Lunghezza del perimetro della barena o porzione di barena (campo di sistema)
Shape_Area	Double	Superficie della barena o porzione di barena (campo di sistema)

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Superficie_max_1954_2006	Polygon	Contiene le entità geometriche di tipo poligonale che descrivono la superficie massima occupata dai gruppi di barene nell'intervallo di tempo 1954-2006
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
Idg_tot	Text	Codice identificativo del gruppo di barene
Shape_Lenght	Double	Lunghezza del perimetro della barena o porzione di barena (campo di sistema)
Shape_Area	Double	Superficie della barena o porzione di barena (campo di sistema)

<i>Feature dataset</i>	<i>Descrizione</i>
Indagini	Raggruppa le <i>feature class</i> relative ai rilievi topografici delle sezioni delle barene ed alla localizzazione dei punti di prelievo delle alofite

⁸ Vedi "nota 1"

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Siti_indagine	Point	Contiene le entità geometriche di tipo puntuale relative alla localizzazione delle aree campione per il prelievo delle alofite ed il rilievo topografico dei profili delle barene.
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
prof_top	Date	Data in cui è stato eseguito il rilievo topografico della sezione di barena
Cod_sez	Text	Codice identificativo della sezione ed area di indagine
Loc	Text	Toponimo (indicativo) della località in cui è stata rilevata la sezione di barena

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Punti_sezione	Point	Contiene le entità geometriche di tipo puntuale derivate da rilievo topografico della sezione di barena
<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
Cod_sez	Text	Codice identificativo della sezione ed area di indagine
X	Double	Coordinata in "X" del punto di sezione nel sistema di coordinate Gauss-Boaga fuso EST
Y	Double	Coordinata in "Y" del punto di sezione nel sistema di coordinate Gauss-Boaga fuso EST
Z	Double	Coordinata "Z" del punto di sezione (valore di quota riferito allo "0" della rete trigonometrica nazionale IGM42)

<i>Feature class</i>	<i>Entity</i>	<i>Descrizione</i>
Prelievo_alofite	Point	Contiene le entità geometriche di tipo puntuale che individuano i punti di prelievo delle alofite

<i>Field name</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
OBJECTID	Object Id	Identificativo univoco dell'entità geometrica (campo di sistema)
Shape	Geometry	Entità geometrica (campo di sistema)
Sigla	Text	Codice identificativo del punto di prelievo
Cod_sez	Text	Codice identificativo della sezione ed area di indagine

<i>Table</i>	<i>Descrizione</i>	
Sintesi_Gruppi	Tabella di sintesi dei principali indicatori utilizzati per il calcolo del bilancio evolutivo a livello di gruppi di barene	
<i>Field</i>	<i>Data Type</i>	<i>Descrizione</i>
Idg	Text	Codice identificativo del gruppo di barene
Bacino	Text	Nome del bacino
Area_54	Double	Superficie complessiva del gruppo di barene nel 1954
Area_90	Double	Superficie complessiva del gruppo di barene nel 1990

Area_06	Double	Superficie complessiva del gruppo di barene nel 2006
Dif_54_90	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-1990
E5_54_90	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-1990 dovuto a forzante "E5" (perdita di barene per interventi antropici diretti)
A5_54_90	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-1990 dovuto a forzante "A5" (incremento o creazione di barene per riporto di sedimenti dragati)
Dif_54_90sa	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-1990 al netto degli interventi antropici diretti (E5, A5)
Fp_54_90	Text	Forzante/i prevalenti nell'intervallo di tempo 1954-1990, ovvero la/le forzanti alle quali è dovuta la maggior variazione di superficie a livello di gruppo di barene.
Dif_90_06	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1990-2006
E5_90_06	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1990-2006 dovuto a forzante "E5" (perdita di barene per interventi antropici diretti)
A5_90_06	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1990-2006 dovuto a forzante "A5" (incremento o creazione di barene per riporto di sedimenti dragati)
Dif_90_06sa	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1990-2006 al netto degli interventi antropici diretti (E5, A5)
Fp_90_06	Text	Forzante/i prevalenti nell'intervallo di tempo 1990-2006, ovvero la/le forzanti alle quali è dovuta la maggior variazione di superficie a livello di gruppo di barene.
Dif_54_06	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-2006
Dif_54_06sa	Double	Variazione di superficie del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-2006 al netto degli interventi antropici diretti (E5, A5)
Prc_54_06sa	Double	Variazione percentuale di superficie (rispetto al 1954) del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-2006 al netto degli interventi antropici diretti (E5, A5)
Rateo	Double	Variazione di superficie calcolata in numero di ettari per anno (rispetto al 1954) del gruppo di barene nell'intervallo di tempo 1954-2006 al netto degli interventi antropici diretti
AnnoScomp	Double	Anno di ipotetica scomparsa della barena calcolato sulla base di un trend lineare di variazione areale tra il 1954 ed il 2006, ipotizzando che in prospettiva futura esso rimanga costante.

BIBLIOGRAFIA

- ACQUAVITA, A., COVELLI, S., EMILI, A., BERTO, D., FAGANELI, J., GIANI, M., HORVAT, M., KORON, N. & RAMPAZZO, F., 2012. *Mercury in the sediments of the Marano and Grado Lagoon (northern Adriatic Sea): Sources, distribution and speciation*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 113: pp. 20-31.
- ADNITT, C., BREW, D., COTTLE, R., HARDWICK, M., JOHN, S., LEGGETT, D., MCNULTY, S., MEAKINS, N. & STANILAND, R., 2007. *Saltmarsh management manual*. Joint Defra / Environment Agency Flood and Coastal Erosion Risk Management R&D Programme.
- ALLEN, J.R.L., 1993. *Muddy alluvial coasts of Britain: field criteria for shoreline position and movement in the recent past*. Proceedings of the Geologists' Association, 104, 4: pp. 241-262.
- ALMEIDA, C.M.R., MUCHA, A.P. & VASCONCELOS, M.T.S.D., 2004. *Influence of the sea rush *Juncus maritimus* on metal concentration and speciation in estuarine sediment colonized by the plant*. Environmental Science and Technology, 38: pp. 3112-3118.
- ANDERSON, F.E., BLACK, L., WATLING, L.E., MOOK, W. & MAYER, L.M., 1981. *A temporal and spatial study of mud flat erosion and deposition*. Journal of Sedimentary Petrology, 51: pp. 729-736.
- BATTY, LC., 2005. *The potential importance of mine sites for biodiversity*. Mine Water and the Environment, 24: pp. 101-103
- BETTINETTI, A., MATTAROLO, F. & SILVA, P., 1995. *Reconstruction of saltmarshes in the Venice Lagoon*. In: E. Özhan (ed.) Proc. MEDCOAST 94 Conf., 22-27 October 1995, pp. 921-935, Tarragona, Spain.
- BLOOM, N.S., PREUS, E., KATON, J. & HILTNER, M., 2003. *Selective extractions to assess the biogeochemically relevant fractionation of inorganic mercury in sediments and soils*. Analytica Chimica Acta 479: pp. 233-248.
- BONOMETTO, L., 2003. *Analisi e classificazione funzionale delle "barene" e delle tipologie di intervento sulle barene*. Comune di Venezia, 232 pp.
- BOSCUTTI, F., FRANCESCATO, C. & CASOLO, V., 2102. *Carte di distribuzione delle fanerogame sommerse della Laguna di Grado e Marano*. Università degli Studi di Udine, Commissario delegato per l'emergenza socio-economico ambientale determinatasi nella Laguna di Marano Lagunare e Grado (www.commissariodelegatolagunafvg.it/att_studi_02.aspx).
- BOUMANS, R.M. & DAY, J.W.JR, 1993. *High precision measurements of sediment elevation in shallow coastal areas using a sedimentation-erosion table*. Estuaries, 16: pp. 375-380.
- BOUMANS, R.M.J., DAY, J.W., KEMP, G.P. & KILGEN, K., 1997. *The effect of intertidal sediment fences on wetland surface elevation, wave energy and vegetation establishment in two Louisiana coastal marshes*. Ecological Engineering, 9: pp. 37-50.
- BRAMBATI, A., 1997. *Metalli pesanti nelle lagune di Marano e Grado. Piano di studi finalizzato all'accertamento di sostanze persistenti nelle Lagune di Marano e Grado ed al loro risanamento*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione Regionale dell'Ambiente, Servizio dell'Idraulica. Trieste: pp. 175.

- CAÇADOR, I., VALE, C., & CATARINO, F., 2000. *Seasonal variation of Zn, Pb, Cu and Cd concentrations in the root-sediment system of Spartina maritima and Halimione portulacoides from Tagus estuary salt marshes*. Marine Environmental Research, 49(3): pp. 279-290.
- CAÇADOR, I., CAETANO, M., DUARTE, B. & VALE, C., 2009. *Stock and losses of trace metals from salt marsh plants*. Marine Environmental Research, 67(2): pp. 75-82.
- CAETANO, M., VALE, C., CESÁRIO, R. & FONSECA, N., 2008. *Evidence for preferential depths of metal retention in roots of salt marsh plants*. Science of the Total Environment, 390: pp. 466-474.
- CANÁRIO, J., CAETANO, M. & VALE, C., 2006. *Validation and application of an analytical method for monomethylmercury quantification in aquatic plant tissues*. Analytica Chimica Acta, 580(2): pp. 258-262.
- CANÁRIO, J., CAETANO, M., VALE, C. & CESÁRIO, R., 2007. *Evidence for Elevated Production of Methylmercury in Salt Marshes*. Environmental Science and Technology, 41: pp. 7376-7382.
- CANÁRIO, J., VALE, C., POISSANT, L., NOGUEIRA, M., PILOTE, M. & BRANCO, V., 2010. *Mercury in sediments and vegetation in a moderately contaminated salt marsh. (Tagus Estuary, Portugal)*. Journal of Environmental Sciences, 22(8): pp. 1151-1157.
- CASTRO, R., PEREIRA, S., LIMA, A., CORTICEIRO, S., VÁLEGA, M., PEREIRA, E., DUARTE, A. & FIGUEIRA, E., 2009. *Accumulation, distribution and cellular partitioning of mercury in several halophytes of a contaminated salt marsh*. Chemosphere, 76(10): pp. 1348-1355.
- CECCONI, G., CODATO, F., NASCIMBENI, P. & MATTAROLO, F., 1998. *Valore ambientale delle barene artificiali*. Quaderni Trimestrali del Consorzio Venezia Nuova, 1.
- CHAPMAN, V.J., 1977. *Wet Coastal Ecosystems*. Amsterdam, Elsevier: 440p.
- COELHO, J.P., PEREIRA, M.E., DUARTE, A.C. & PARDAL, M.A., 2009. *Contribution of primary producers to mercury trophic transfer in estuarine ecosystems: Possible effects of eutrophication*. Marine Pollution Bulletin, 58(3): pp. 358-365.
- COLENTT, A., 2001. *Saltmarsh management techniques, a review*. New Forest District Council, Coast Protection Group: 29 p.
- COMUNE DI VENEZIA, 2001 (a cura di). *Progetto LIFE Natura 1999 -Barene- Protezione e recupero con tecniche di ingegneria naturalistica*. Tipografica Salvagno, Venezia: p.13.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA, 2002. *Palude dei Laghi, Progetto Life Natura 1999*. Quaderni Trimestrali del Consorzio Venezia Nuova 2, 02.
- CONTI, F., ABBATE, G., ALESSANDRINI, A. & BLASI, C., 2005. *An annotated check-list of the italian vascular flora*. Palombi ed. Roma.
- COVELLI, S., FAGANELI, J., HORVAT, M. & BRAMBATI, A., 2001. *Mercury contamination in sediments of coastal sediments as the result of long-term cinnabar activity (Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea)*. Applied Geochemistry 16: pp. 541-558.
- COVELLI, S., PIANI, R., KOTNIK, J., HORVAT, M., FAGANELI, J. & BRAMBATI, A., 2006. *Behaviour of Hg species in a microtidal deltaic system: The Isonzo River mouth (northern Adriatic Sea)*. Science of the Total Environment, 368(1): pp. 210-223.

- COVELLI, S., PIANI, R., ACQUAVITA, A., PREDONZANI, S. & FAGANELI, J., 2007. *Transport and dispersion of particulate Hg associated with a river plume in coastal Northern Adriatic environments*. Marine Pollution Bulletin, 55: pp. 436-450.
- COVELLI, S., LANGONE, L., ACQUAVITA, A., PIANI, R. & EMILI, A., 2012. *Historical flux of mercury associated with mining and industrial sources in the Marano and Grado Lagoon (northern Adriatic sea)*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 113: pp. 7-19.
- DARIS, F., PINI, C., MATASSI, G. & BRISOTTO, R., 1993. *Distribuzione del mercurio nei sedimenti e nei prodotti ittici delle Lagune di Grado e Marano. Atti del Convegno "Il mercurio nelle Lagune di Grado e Marano: Aspetti Igienico-Sanitari"*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia: pp. 24-45.
- DAY, J.W.JR., RISMONDO, A., SCARTON, F., ARE, D. & CECCONI, G., 1998. *Relative Sea Level Rise and Venice Lagoon Wetlands*. Journal of Coastal Conservation, 4: pp. 27-34.
- DORIGO, L., 1966. La carta idrografica della Laguna di Grado e Marano. Magistrato delle Acque – Ufficio Idrografico, Venezia.
- DUARTE, B., CAETANO, M., ALMEIDA, P.R., VALE, C. & CAÇADOR, I., 2010. *Accumulation and biological cycling of heavy metal in four salt marsh species, from Tagus estuary (Portugal)*. Environmental Pollution, 158(5): pp. 1661-1668.
- FAGANELI, J., HORVAT, M., COVELLI, S., FAJON, V., LOGAR, M., LIPEJ, M. & CERMELI, B., 2003. *Mercury and methylmercury in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea)*. Science of the Total Environment, 304: pp. 315-326.
- FONTOLAN, G., BEZZI, A., FACHIN, G. & PILLON, S., 2010. *Contributo alla definizione delle condizioni idromorfologiche di riferimento per la laguna di Grado e Marano, area campione bacino di Marano*. Rapporto Tecnico 2-2010 per Commissario Delegato per l'emergenza nella Laguna di Marano e Grado: 75 pp.
- FONTOLAN, G., PILLON, S., DELLI QUADRI, F. & BEZZI, A., 2007. *Sediment storage at tidal inlets in northern Adriatic lagoons: ebb-tidal delta morphodynamics, conservation and sand use strategies*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 75 (1-2): pp. 261-277
- FONTOLAN, G., BEZZI, A., FACHIN, G. & PILLON, S., 2010. *Le trasformazioni ambientali della Laguna di Grado e Marano*. Rapporto Tecnico 1-2010 per ARPA FVG: 75 pp.
- FONTOLAN, G., PILLON, S., BEZZI, A., VILLALTA R., LIPIZER, M., TRICHES A. & DAIETTI A., 2012. *Human impact and the historical transformation of saltmarshes in the Marano and Grado Lagoon, northern Adriatic Sea*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 113: pp. 41-56.
- FRENKEL, A. & ASHKENAZI, M., 2008. *Measuring urban sprawl: how can we deal with it?* Environment and Planning B: Planning and Design 35, 1: pp. 56–79.
- GAITHWAITE, J., 1988. *Practical aspects of floating breakwater design*. Bulletin AIPCN n°63: pp. 31-49.
- GÈHU, J.M., COSTA, M., SCOPPOLA, A., BIONDI, E., MARCHIORI, S., PERIS, J.B., FRANCK, J., CANIGLIA, G. & VERI, L., 1984a. *Essai synsystematique et synchorologique sur les vegetations littorale italiennes dans un but conservatoire*. Documents Phytosociologiques, NS 8: pp. 394-471.

- GOSAR, M., PIRC, S. & BIDOVEC, M., 1997. *Mercury in the Idrijca River sediments as a reflection of mining and smelting activities of the Idrija mercury mine*. Journal of Geochemical Exploration, 58(2): pp. 125-131.
- HEDGES, J.I. & STERN, J.H., 1984. *Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids In: sediments, sediment trap materials and plankton*. Limnology and Oceanography 29.
- JONSSON, S., SKYLLBERG, U., NILSSON, M.B., WESTLUND, P., SHCHUKAREV, A., LUNDBERG, E. & BJÖRN, E., 2012. *Mercury Methylation Rates for Geochemically Relevant Hg(II) Species in Sediments*. Environmental Science and Technology, 46: pp. 11653-11659.
- MAROCCO, R., 1995. *Sediment distribution and dispersal in northern Adriatic lagoons (Marano and Grado paralic system)*. Giornale di Geologia, 57: pp. 77-89.
- MCCARTNEY, B.L., 1985. *Floating breakwater design*. Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, 111 (2): pp. 304-318.
- NAGAI, T., YAMAMOTO, T. & FIGUEROA, L., 1984. *A laboratory experimentation on the interactions between water waves and soft clays beds*. Coastal Engineering in Japan, 27: pp. 279–291.
- NOTA, D.J.G, 1958. *Sedimentation auf dem West-Guyana Schelf*. Geologische Rundschau, 47: pp. 167-177.
- PIANI, R. & COVELLI, S., 2001. *Contributo antropico di metalli pesanti e ¹³⁷Cs nei sedimenti del bacino di Buso (Laguna di Marano e Grado, Italia settentrionale)*. Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica, 77: pp. 169-177.
- PIANI, R., COVELLI, S. & BIESTER, H., 2005. *Mercury contamination in Marano Lagoon (Northern Adriatic sea, Italy): source identification by analyses of Hg phases*. Applied Geochemistry, 20: pp. 1546-1559.
- PIGNATTI, S., 1953. *Introduzione allo studio fitosociologico della pianura veneta orientale con particolare riguardo alla vegetazione litoranea*. Arch. Bot., 4: pp. 265-329.
- POLDINI, L., VIDALI, M. & FABIANI, M.L., 1999. *La vegetazione del litorale sedimentario del Friuli-Venezia Giulia (NE Italia) con riferimenti alla regione alto-adriatica*. Studia Geobotanica, 17: pp. 3-68.
- POLDINI, L., ORIOLO, G., VIDALI, M., TOMASELLA, M., STOCH, F. & OREL, G., 2006. *Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia. Strumento a supporto della valutazione d'impatto ambientale (VIA), ambientale strategica (VAS) e d'incidenza ecologica (VIEc)*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direz. Centrale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio valutazione impatto ambientale, Univ. Studi Trieste – Dipart. Biologia, <http://www.regione.fvg.it/ambiente.htm>
- PROTEZIONE CIVILE & REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 2005. *Indagine sullo stato degli argini della bassa pianura tra le foci del Tagliamento e del Timavo, con particolare riferimento all'arco lagunare*, Trieste: 117p.
- REED, D.J., 1988. *Sediment dynamics and deposition in a retreating coastal marsh*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 26, pp. 67e79.
- RIZZETTO, F. & TOSI, L., 2011. *Aptitude of modern salt marshes to counteract relative sea-level rise, Venice Lagoon (Italy)*. Geology, 39 (8): pp. 755-758.

- SACCOMANI, C., 2009. *Studio sperimentale, su modello fisico, dell'efficienza di frangiflutti galleggianti*. - Tesi di laurea, Università di Pisa: pp. 95.
- SCARTON, F., DAY, J.W.JR, RISMUNDO, A., CECCONI, G. & ARE, D., 2000. *Effects of an intertidal sediment fence on sediment elevation and vegetation distribution in a Venice (Italy) lagoon saltmarsh*. *Ecological Engineering*, 16: pp. 223–233.
- SHEPARD, F.P., 1954. *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: pp. 151-158.
- SHYBAYAMA, T., TAKIKAWA, H., HORIKAWA, K., 1986. *Mud transport due to waves*. *Coastal Engineering in Japan*, 29: pp. 151–161.
- TRICHES, A., PILLON, S., BEZZI, A., LIPIZER, M., GORDINI, E., VILLALTA R., FONTOLAN G. & MENCHINI G., 2011. *Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado*. Arti Grafiche Friulane, Imoco spa (UD): 39 pp. + 5 Maps.
- VÁLEGA, M., LILLEBØ, A.I., PEREIRA, M.E., DUARTE, A.C. & PARDAL, M.A., 2008. *Long-term effects of mercury in a salt marsh: Hysteresis in the distribution of vegetation following recovery from contamination*. *Chemosphere*, 71(4): pp. 765-772.
- WARD, L.G., KEMP, W.M. & BOYNTON, W.R., 1984. *The influence of waves and seagrass communities on suspended particulate in an estuarine embayment*. *Marine Geology*, 59: pp. 85–103.
- WENTWORTH, CK., 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. *Journal of Geology*, 30: pp. 377-392.

SITOGRAFIA

www.coastsandreefs.net

www.delawareestuary.org

www.salve.it

www.erosee.org

Elenco degli Allegati

ALLEGATO 1: Classi vegetazionali rilevate

ALLEGATO 2: Dati chimico-fisici relativi ai campioni d'acqua

ALLEGATO 3: Mercurio in sedimenti e radici e metilmercurio nei vegetali

ALLEGATO 4: Mercurio e metilmercurio in fusti e foglie

ALLEGATO 5a: Frequenze delle classi granulometriche

ALLEGATO 5b: Classificazione granulometrica dei sedimenti

ALLEGATO 6: Azoto, carbonio totale e carbonio organico nei sedimenti

ALLEGATO 7: Percentuali di mercurio stoccato nei diversi organi della pianta

ALLEGATO 8: Fattore di arricchimento (EF)

ALLEGATO 9: Fattore di bioconcentrazione (BF)

Allegato 1

Barena G1B

La vegetazione rilevata sulla barena G1B rientra nella classe *Arthrocnemetea* Br.-Bl. et R. Tx. 1943. Dal rilievo riportato in Tabella A1. si nota la dominanza di *Limonium narbonense*, seguito da *Sarcocornia fruticosa*. Anche la graminacea *Puccinellia festuciformis* svolge un ruolo importante nella caratterizzazione fitosociologica, essendo specie caratteristica e differenziale di associazione. Per questi motivi si ritiene che la vegetazione rilevata ricada all'interno dell'associazione *Puccinellio festuciformis-Arthrocnemetum fruticosi* (Br.-Bl. 1928) Géhu 1976 (Poldini *et al.*, 1999).

Specie come *Salicornia* sp. e *Spartina maritima* penetrano occasionalmente dalle zone limitrofe più depresse. La presenza di *Elytrigia atherica* e *Aster tripolium* può indicare un'attività passata di rimaneggiamento del sedimento o in generale di intervento antropico.

Specie	Classi di copertura
Caratteristiche e differenziali di associazione	
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	3
<i>Puccinellia festuciformis</i> (Host)Parl.	2
Caratteristiche e differenziali di sub-alleanza	
<i>Limonium narbonense</i> Mill.	4
<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Delile)Ung.-Sternb.	1
Caratteristiche di ordine	
<i>Atriplex portulacoides</i> L.	1
Caratteristiche di classe	
<i>Salicornia</i> sp.	+
<i>Suaeda maritima</i> (L.)Dumort.	+
Compagne	
<i>Spartina maritima</i> (Curtis)Fernald	+
<i>Juncus maritimus</i> Lam.	+
<i>Aster tripolium</i> L.	+
<i>Elytrigia atherica</i> (Link)Kerguélen ex Carreras Martínez	r
<i>Inula crithmoides</i> L.	1

Tabella A1: Rilievo fitosociologico dell'area campionata nella barena G1B

Barena G3B

La classe vegetazionale della zona campionata è *Arthrocnemetea* Br.-Bl. et R. Tx. 1943. Rispetto alla barena G1B aumenta lievemente la presenza di *Sarcocornia fruticosa* a scapito di *Puccinellia festuciformis* (Tab. A2). Le variazioni in termini di presenza e copertura delle specie rispetto alla barena G1B sono comunque minime e per questo è stata attribuita la stessa associazione, ovvero *Puccinellio festuciformis-Arthrocnemetum fruticosi* (Br.-Bl. 1928) Géhu 1976 (Poldini *et al.*, 1999).

Specie	Classi di copertura
Caratteristiche e differenziali di associazione	
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	4
<i>Puccinellia festuciformis</i> (Host)Parl.	2
Caratteristiche e differenziali di sub-alleanza	
<i>Limonium narbonense</i> Mill.	4
<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Delile)Ung.-Sternb.	r
Caratteristiche di ordine	
<i>Atriplex portulacoides</i> L.	1
Caratteristiche di classe	
<i>Salicornia</i> sp.	+
<i>Suaeda maritima</i> (L.)Dumort.	+
Compagne	
<i>Spartina maritima</i> (Curtis)Fernald	+
<i>Juncus maritimus</i> Lam.	+
<i>Aster tripolium</i> L.	+
<i>Elytrigia atherica</i> (Link)Kerguélen ex Carreras Martínez	
<i>Inula crithmoides</i> L.	+
<i>Atriplex prostrata</i> Boucher ex DC.	r

Tabella A2: Rilievo fitosociologico dell'area campionata nella barena G3B

Barena G5B

Dal rilievo effettuato (Tab. A3), pur riscontrando i caratteri della classe *Arthrocnemetea* Br.-Bl. et R. Tx. 1943, similmente alle precedenti due barene indagate (G1B e G3B), la presenza della specie *Artemisia caerulescens* fa sì che l'associazione da attribuire alla cenosi sia quella di *Limonio narbonensis-Artemisietum caerulescentis* Horvatić 1933, non molto comune negli ambienti a barena (Poldini *et al.*, 1999).

Specie	Classi di copertura
Caratteristiche di associazione	
<i>Limonium narbonense</i> Mill.	3
<i>Artemisia caerulescens</i> L.	+
Caratteristiche di sub-alleanza	
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	3
<i>Puccinellia festuciformis</i> (Host)Parl.	1
Compagne	
<i>Spartina maritima</i> (Curtis)Fernald	+
<i>Salicornia</i> sp.	r
<i>Suaeda maritima</i> (L.)Dumort.	1
<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Delile)Ung.-Sternb.	
<i>Juncus maritimus</i> Lam.	1
<i>Aster tripolium</i> L.	+
<i>Elytrigia atherica</i> (Link)Kerguélen ex Carreras Martínez	+
<i>Atriplex portulacoides</i> L.	+
<i>Inula crithmoides</i> L.	1

Tabella A3: Rilievo fitosociologico dell'area campionata nella barena G5B

Barena M5B

Dal rilievo fitosociologico (Tab. A4) si nota un aumento in copertura di *Juncus maritimus*, fatto che permette l'attribuzione fitosociologica alla classe *Juncetea maritimi* Br.-Bl. 1952. Diminuisce la copertura di *Limonium narbonense* e di *Sarcocornia fruticosa*, e si nota l'introggressione di *Phragmites australis*, non presente nelle altre barene trattate. L'associazione vegetale che si ritiene possa rappresentare la comunità descritta dal rilievo effettuato è *Limonio narbonensis-Puccinellietum palustris* (Pignatti, 1966) Géhu et Scopp. 1984.

Specie	Classi di copertura
Caratteristiche e differenziali di associazione	
<i>Puccinellia festuciformis</i> (Host)Parl.	1
<i>Limonium narbonense</i> Mill.	3
Caratteristiche e differenziali di sub-alleanza	
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	1
<i>Aster tripolium</i> L.	1
Compagne	
<i>Suaeda maritima</i> (L.)Dumort.	+
<i>Artemisia caerulescens</i> L.	
<i>Spartina maritima</i> (Curtis)Fernald	
<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Delile)Ung.-Sternb.	1
<i>Juncus maritimus</i> Lam.	2
<i>Atriplex portulacoides</i> L.	2
<i>Inula crithmoides</i> L.	+
<i>Atriplex prostrata</i> Boucher ex DC.	
<i>Phragmites australis</i> (Cav.)Trin. ex Steud. s.l.	1

Tabella A4: Rilievo fitosociologico dell'area campionata nella barena M5B

Barena M7B

L'ultima barena oggetto di studio ricade nella classe *Juncetea maritimi* Br.-Bl. 1952. Rispetto alla barena M5B aumenta ulteriormente la copertura di *Juncus maritimus* andando a delineare caratteri vicini a quelli tipici dell'associazione *Puccinellio festuciformis-Juncetum maritimi* (Pignatti, 1953) Géhu et Scopp. 1984 (Tab. A5).

Specie	Classi di copertura
Differenziali di associazione	
<i>Juncus maritimus</i> Lam.	3
<i>Atriplex portulacoides</i> L.	+
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	2
<i>Limonium narbonense</i> Mill.	2
Caratteristiche di ordine	
<i>Aster tripolium</i> L.	+
Compagne	
<i>Salicornia</i> sp.	+
<i>Suaeda maritima</i> (L.) Dumort.	+
<i>Artemisia caerulescens</i> L.	+
<i>Spartina maritima</i> (Curtis) Fernald	
<i>Puccinellia festuciformis</i> (Host) Parl.	
<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Delile) Ung.-Sternb.	+
<i>Inula crithmoides</i> L.	+

Tabella A5: Rilievo fitosociologico dell'area campionata nella barena M7B

Allegato 2

Cod. Barena	Cod. Individuo	Eh (mV)	pH	T (°C)	Oss (mg·l ⁻¹)	Ec (μS·cm ⁻¹)
G1B	HAL1	15	6,54	30	4,4	58,6
G1B	HAL2	-74	6,6	30	4,7	57,8
G1B	HAL3	-60	6,67	30	nd	52,7
G1B	LIM1	nd	nd	nd	nd	nd
G1B	LIM2	30	7,5	32	nd	52,1
G1B	LIM3	-47	6,5	32	4	62,2
G1B	SAR1	nd	nd	nd	nd	nd
G1B	SAR2	29	7,56	35	nd	53,3
G1B	SAR3	-34	6,5	27	nd	61,3
G3B	HAL1	26	6,44	20	1,7	54,8
G3B	HAL2	68	6,88	21	2,1	50
G3B	HAL3	66	6,6	21	2,1	27
G3B	LIM1	-50	6,46	20	2,4	61,5
G3B	LIM2	-11	6,46	20	1,4	73,5
G3B	LIM3	-64	6,63	20	1	66
G3B	SAR1	85	6,64	21	2,5	60
G3B	SAR2	-3	6,54	20	1,9	72,4
G3B	SAR3	-74	6,7	20	1,1	59,3
G5B	LIM1	-351	6,47	28	nd	53,4
G5B	LIM2	-70	6,75	30	nd	52,6
G5B	LIM3	3	7,19	33	nd	44,4
G5B	SAR1	-283	6,47	28	nd	57,4
G5B	SAR2	-370	6,9	30	nd	49,3
G5B	SAR3	13	6,96	34	nd	46,7
G5B	HAL2	-125	7,35	32	nd	36,6
G5B	HAL3	10	6,6	34	nd	49,3
G5B	HAL1	23	6,6	28	nd	54,4
M5B	HAL1	-23	6,25	20	3,4	61,9
M5B	HAL2	-5	6,2	21	3,2	59,2
M5B	HAL3	nd	nd	nd	nd	nd
M5B	LIM1	8	6,2	20	5	67,7
M5B	LIM2	35	6,2	20	3,8	56,2
M5B	LIM3	-9	6,34	24	5,4	63,1
M5B	SAR1	3	6,23	20	2,2	66
M5B	SAR2	-6	6,32	21	4,3	46,7
M5B	SAR3	nd	nd	nd	nd	nd
M7B	LIM1	5	6,7	30	1,6	53,4
M7B	LIM2	-75	6,6	29	2,8	58,9
M7B	LIM3	nd	nd	nd	nd	nd
M7B	SAR1	-33	6,79	30	2,5	52,1
M7B	SAR2	-90	6,69	29	4,3	58,5

Cod. Barena	Cod. Individuo	Eh (mV)	pH	T (°C)	Oss (mg·l⁻¹)	Ec (μS·cm⁻¹)
M7B	SAR3	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>
M7B	HAL1	-50	6,67	29	4,1	51,4
M7B	HAL2	-70	6,67	29	2,6	57,8
M7B	HAL3	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>

Allegato 3

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	Hg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Hg sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici (%)	Biomassa radicale (g)	Eh sedimento (mV)	Contenuto acqua (%)
M5B	HAL1	0-5	0,445	1,605	0,0213	4,8	3,3560	49	20,05
M5B	HAL1	5-15	0	0,995	nd	nd	0,1820	23	27,36
M5B	HAL1	15-25	nd	1,430	nd	nd	0,1013	31	17,51
M5B	HAL2	0-5	0,425	0	0,0276	6,5	6,4182	60	16,26
M5B	HAL2	5-15	2,175	1,015	0,1217	5,6	6,6061	53	28,24
M5B	HAL2	15-25	5,005	1,130	nd	nd	0,1451	49	19,14
M5B	HAL3	0-5	0,180	0,855	0,0126	7,0	1,8404	78	17,19
M5B	HAL3	5-15	3,065	1,745	nd	nd	0,0841	49	28,32
M5B	HAL3	15-25	nd	1,520	nd	nd	nd	72	27,62
M5B	LIM1	0-5	0,295	0,215	0,0126	4,3	5,8037	18	17,95
M5B	LIM1	5-15	1,160	1,480	0,0654	5,6	4,7949	61	22,90
M5B	LIM1	15-25	1,700	1,140	0,0831	4,9	3,5045	42	18,02
M5B	LIM2	0-5	0,185	1,980	0,0113	6,1	14,0766	50	13,78
M5B	LIM2	5-15	0,405	2,225	0,0368	9,1	31,0077	89	19,63
M5B	LIM2	15-25	3,120	0,600	0,1917	6,1	3,2599	73	20,02
M5B	LIM3	0-5	0,135	1,680	0,0023	1,7	3,6614	80	22,71
M5B	LIM3	5-15	0	1,160	nd	nd	0,7889	54	24,52
M5B	LIM3	15-25	2,815	1,090	nd	nd	0,2286	45	24,83
M5B	SAR1	0-5	0,270	1,745	0,0217	8,0	5,7297	30	22,65
M5B	SAR1	5-15	0,805	1,465	0,0368	4,6	2,4844	57	24,74
M5B	SAR1	15-25	0	1,360	nd	nd	0,8083	28	19,99
M5B	SAR2	0-5	0,260	1,045	0,0111	4,3	5,4764	9	15,00
M5B	SAR2	5-15	4,980	0,950	nd	nd	0,3229	9	27,66
M5B	SAR2	15-25	nd	0,995	nd	nd	0,0842	70	18,29
M5B	SAR3	0-5	0,235	0,275	0,0097	4,1	9,7101	51	18,13
M5B	SAR3	5-15	0,490	1,070	0,0126	2,6	15,4955	77	19,70
M5B	SAR3	15-25	0	1,580	nd	nd	0,6551	-284	20,12
G1B	HAL1	0-5	0,605	8,835	0,0232	3,8	2,6932	83	16,72
G1B	HAL1	5-15	4,705	7,055	0,1589	3,4	6,5113	97	17,13
G1B	HAL1	15-25	10,870	17,675	nd	nd	0,3225	42	15,47
G1B	HAL2	0-5	0	6,455	nd	nd	1,9797	38	13,65
G1B	HAL2	5-15	0,540	8,920	nd	nd	1,4307	24	15,99
G1B	HAL2	15-25	1,595	9,840	nd	nd	0,4664	-40	12,98
G1B	HAL3	0-5	0,235	2,405	0,0047	2,0	1,2115	-75	13,94
G1B	HAL3	5-15	0,410	5,110	nd	nd	0,4458	-112	14,30
G1B	HAL3	15-25	nd	6,110	nd	nd	nd	-254	18,16

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	Hg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Hg sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici (%)	Biomassa radicale (g)	Eh sedimento (mV)	Contenuto acqua (%)
G1B	LIM1	0-5	0,510	8,040	0,0236	4,6	5,9857	48	14,82
G1B	LIM1	5-15	3,055	10,500	0,1597	5,2	5,8107	166	16,55
G1B	LIM1	15-25	40,475	15,095	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,8228	66	19,63
G1B	LIM2	0-5	0,445	6,460	0,0247	5,5	6,7465	-30	13,49
G1B	LIM2	5-15	2,715	14,120	0,1369	5,0	9,0066	17	25,11
G1B	LIM2	15-25	9,245	9,490	0,4797	5,2	6,0868	63	19,24
G1B	LIM3	0-5	0,480	9,475	0,0315	6,6	30,8041	8	13,29
G1B	LIM3	5-15	2,055	15,315	0,1588	7,7	25,5695	-7	16,73
G1B	LIM3	15-25	28,075	20,955	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,5599	-63	19,00
G1B	SAR1	0-5	0	4,880	0	0	6,7964	84	11,63
G1B	SAR1	5-15	3,275	13,010	0,1871	5,7	5,7017	73	19,37
G1B	SAR1	15-25	10,315	27,635	0,4985	4,8	1,4225	55	22,27
G1B	SAR2	0-5	0,845	7,350	0,0915	10,8	1,5566	-10	15,19
G1B	SAR2	5-15	5,490	9,520	<i>nd</i>	<i>nd</i>	1,4468	-5	22,60
G1B	SAR2	15-25	14,025	15,340	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,9607	71	15,11
G1B	SAR3	0-5	0,655	5,415	0,0326	5,0	6,8141	-105	13,69
G1B	SAR3	5-15	5,855	8,880	0,2287	3,9	1,7506	-98	20,88
G1B	SAR3	15-25	2,715	12,880	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,3716	-116	18,91
G3B	HAL1	0-5	0,590	7,290	<i>nd</i>	<i>nd</i>	6,6991	33	20,52
G3B	HAL1	5-15	0	8,320	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,9770	103	18,89
G3B	HAL1	15-25	0,050	6,210	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,3192	96	22,02
G3B	HAL2	0-5	0,350	5,500	<i>nd</i>	<i>nd</i>	9,4397	54	28,69
G3B	HAL2	5-15	0,060	5,080	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,9766	95	18,31
G3B	HAL2	15-25	94,800	0,280	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,0244	96	12,08
G3B	HAL3	0-5	0,550	6,560	<i>nd</i>	<i>nd</i>	3,2855	32	19,74
G3B	HAL3	5-15	7,080	5,280	<i>nd</i>	<i>nd</i>	1,6908	90	20,39
G3B	HAL3	15-25	68,910	0,850	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,2269	84	12,65
G3B	LIM1	0-5	0,400	6,430	<i>nd</i>	<i>nd</i>	24,6901	102	24,90
G3B	LIM1	5-15	0,690	6,460	<i>nd</i>	<i>nd</i>	6,2141	25	27,21
G3B	LIM1	15-25	121,810	5,170	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,1969	45	18,78
G3B	LIM2	0-5	0,260	9,470	<i>nd</i>	<i>nd</i>	39,7045	50	16,76
G3B	LIM2	5-15	3,410	4,320	<i>nd</i>	<i>nd</i>	6,5786	72	26,13
G3B	LIM2	15-25	19,040	0,660	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,3133	70	11,96
G3B	LIM3	0-5	0,240	6,200	<i>nd</i>	<i>nd</i>	9,2995	63	29,88
G3B	LIM3	5-15	0,740	5,450	<i>nd</i>	<i>nd</i>	3,3441	40	23,93
G3B	LIM3	15-25	0,870	9,880	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,3050	38	23,70
G3B	SAR1	0-5	0,030	6,170	<i>nd</i>	<i>nd</i>	6,5073	84	25,23
G3B	SAR1	5-15	11,470	9,820	<i>nd</i>	<i>nd</i>	1,5803	70	28,84
G3B	SAR1	15-25	36,860	5,050	<i>nd</i>	<i>nd</i>	2,2458	50	27,52
G3B	SAR2	0-5	0,580	6,950	<i>nd</i>	<i>nd</i>	5,2850	133	26,34

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	Hg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Hg sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici (%)	Biomassa radicale (g)	Eh sedimento (mV)	Contenuto acqua (%)
G3B	SAR2	5-15	9,620	1,200	nd	nd	1,5706	45	21,39
G3B	SAR2	15-25	72,870	0,330	nd	nd	0,0515	35	17,66
G3B	SAR3	0-5	0,280	5,640	nd	nd	10,5990	100	25,88
G3B	SAR3	5-15	10,840	3,620	nd	nd	0,7039	47	23,49
G3B	SAR3	15-25	30,870	2,590	nd	nd	0,1755	52	20,46
G5B	HAL1	0-5	0,480	3,540	nd	nd	6,0199	32	13,51
G5B	HAL1	5-15	1,450	8,610	nd	nd	1,0360	65	18,96
G5B	HAL1	15-25	3,130	12,470	nd	nd	0,5099	57	12,22
G5B	SAR1	0-5	0,590	1,150	nd	nd	17,2935	-22	17,50
G5B	SAR1	5-15	1,580	3,220	nd	nd	7,4961	-4	18,74
G5B	SAR1	15-25	1,380	4,450	nd	nd	0,3218	-260	30,66
G5B	LIM1	0-5	0,150	0,870	nd	nd	22,4383	-158	12,86
G5B	LIM1	5-15	0,560	1,430	nd	nd	4,4380	-110	18,93
G5B	LIM1	15-25	2,450	5,160	nd	nd	0,0874	-340	25,67
G5B	HAL2	0-5	0,310	0,490	nd	nd	0,6353	-160	20,74
G5B	HAL2	5-15	1,790	2,420	nd	nd	0,0788	-240	23,18
G5B	HAL2	15-25	nd	0,920	nd	nd	nd	-358	21,48
G5B	SAR2	0-5	0,430	1,220	nd	nd	9,3820	-13	17,94
G5B	SAR2	5-15	0,540	2,740	nd	nd	0,9438	-71	20,81
G5B	SAR2	15-25	nd	1,480	nd	nd	nd	-335	27,13
G5B	LIM2	0-5	0,310	1,480	nd	nd	11,7045	-2	20,62
G5B	LIM2	5-15	0,260	1,580	nd	nd	2,3541	-1	22,49
G5B	LIM2	15-25	0,410	4,320	nd	nd	0,7225	-317	24,11
G5B	HAL3	0-5	0,290	0,750	nd	nd	4,9017	48	21,82
G5B	HAL3	5-15	0,380	4,180	nd	nd	1,1153	-35	20,18
G5B	HAL3	15-25	0,150	5,700	nd	nd	0,2491	-147	20,92
G5B	SAR3	0-5	0,280	1,930	nd	nd	10,7228	-1	15,84
G5B	SAR3	5-15	0,030	4,810	nd	nd	1,5318	34	17,12
G5B	SAR3	15-25	0,820	4,990	nd	nd	0,1199	-187	25,57
G5B	LIM3	0-5	0,410	0,590	nd	nd	17,8306	-5	13,61
G5B	LIM3	5-15	0,390	1,390	nd	nd	5,1161	53	27,01
G5B	LIM3	15-25	0,400	4,940	nd	nd	0,2151	-315	20,55
M7B	HAL1	0-5	0,260	4,030	nd	nd	3,7103	80	22,26
M7B	HAL1	5-15	0,190	5,630	nd	nd	1,0340	39	34,78
M7B	HAL1	15-25	1,650	10,290	nd	nd	1,4376	-80	24,66
M7B	SAR1	0-5	0,570	5,180	nd	nd	2,9818	-10	17,25
M7B	SAR1	5-15	0,900	4,490	nd	nd	2,6669	-132	24,24
M7B	SAR1	15-25	1,060	6,430	nd	nd	0,6019	-148	27,55
M7B	LIM1	0-5	0,180	4,910	nd	nd	26,7002	32	23,53
M7B	LIM1	5-15	0,340	6,630	nd	nd	9,9197	2	21,96

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	Hg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Hg sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg radici (%)	Biomassa radicale (g)	Eh sedimento (mV)	Contenuto acqua (%)
M7B	LIM1	15-25	1,330	13,350	nd	nd	1,1366	62	22,94
M7B	HAL2	0-5	0,600	4,150	nd	nd	0,5684	64	14,23
M7B	HAL2	5-15	1,130	5,200	nd	nd	1,0610	30	22,07
M7B	HAL2	15-25	1,810	6,230	nd	nd	0,3554	-111	21,21
M7B	SAR2	0-5	0,390	4,790	nd	nd	4,6240	22	11,82
M7B	SAR2	5-15	0,900	7,310	nd	nd	2,0872	-192	12,17
M7B	SAR2	15-25	1,270	0,880	nd	nd	1,7709	-156	11,76
M7B	LIM2	0-5	0,240	4,720	nd	nd	5,5862	-6	14,60
M7B	LIM2	5-15	0,530	7,320	nd	nd	2,2786	-77	16,66
M7B	LIM2	15-25	0,720	1,250	nd	nd	1,3270	-76	14,80
M7B	HAL3	0-5	0,160	1,840	nd	nd	4,7690	50	23,06
M7B	HAL3	5-15	0,560	3,020	nd	nd	1,2920	29	19,61
M7B	HAL3	15-25	0,220	6,120	nd	nd	0,7228	-164	20,38
M7B	SAR3	0-5	1,130	3,730	nd	nd	0,9418	-80	18,63
M7B	SAR3	5-15	0,560	3,300	nd	nd	1,5431	-92	13,06
M7B	SAR3	15-25	0	2,640	nd	nd	0,6970	-97	10,96
M7B	LIM3	0-5	0,190	3,490	nd	nd	8,2000	50	16,02
M7B	LIM3	5-15	0,120	1,370	nd	nd	3,9772	30	19,04
M7B	LIM3	15-25	4,240	0,280	nd	nd	1,4516	9	14,18

Allegato 4

Cod. Barena	Cod. Individuo	Comparto	Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg %	Biomassa epigea (g)
M5B	HAL1	fo	0,020	nd	nd	46,3604
M5B	HAL1	fu	0,030	0,00012	0,4	23,2710
M5B	HAL2	fo	0,045	0,00015	0,3	33,2392
M5B	HAL2	fu	0,020	nd	nd	15,2573
M5B	HAL3	fo	0,040	0,00009	0,2	18,6188
M5B	HAL3	fu	0,035	0,00016	0,5	14,7533
M5B	LIM1	fo	0,055	0,00009	0,2	3,8432
M5B	LIM1	fu	0,010	nd	nd	5,9283
M5B	LIM2	fo	0,040	0,00009	0,3	1,6550
M5B	LIM2	fu	0,010	nd	nd	3,0307
M5B	LIM3	fo	0	nd	nd	0,5530
M5B	LIM3	fu	0,020	0,00011	0,6	3,4302
M5B	SAR1	fo	0,020	nd	nd	51,2771
M5B	SAR1	fu	0,065	0,00012	0,2	17,4458
M5B	SAR2	fo	0,020	nd	nd	58,9542
M5B	SAR2	fu	0,025	nd	nd	21,7296
M5B	SAR3	fo	0,020	nd	nd	72,2602
M5B	SAR3	fu	0,020	nd	nd	13,1307
G1B	HAL1	fo	0,055	0,00021	0,4	12,0927
G1B	HAL1	fu	0,115	0,00012	0,1	12,5395
G1B	HAL2	fo	0,030	0,00025	0,8	3,1955
G1B	HAL2	fu	0,030	0,00019	0,6	2,0282
G1B	HAL3	fo	0,050	0,00041	0,8	3,4188
G1B	HAL3	fu	0,120	0,00036	0,3	5,1863
G1B	LIM1	fo	0,120	0,00060	0,5	3,7900
G1B	LIM1	fu	0,020	0,00015	0,8	4,0068
G1B	LIM2	fo	0,050	0,00032	0,6	4,1723
G1B	LIM2	fu	0,025	0,00021	0,8	4,8719
G1B	LIM3	fo	0,125	0,00023	0,2	4,4093
G1B	LIM3	fu	0,010	0,00012	1,2	2,2241
G1B	SAR1	fo	0,035	0,00008	0,2	18,3173
G1B	SAR1	fu	0,055	0,00023	0,4	11,5404
G1B	SAR2	fo	0,030	0,00018	0,6	10,0000
G1B	SAR2	fu	0,040	0,00021	0,5	11,2374
G1B	SAR3	fo	0,045	nd	nd	4,8162
G1B	SAR3	fu	0,105	0,00025	0,2	5,5137
G3B	HAL1	fo	0,040	nd	nd	27,6341
G3B	HAL1	fu	0,050	nd	nd	19,9535
G3B	HAL2	fo	0,050	nd	nd	20,3621
G3B	HAL2	fu	0,040	nd	nd	21,2529
G3B	HAL3	fo	0,070	nd	nd	25,8171
G3B	HAL3	fu	0,050	nd	nd	10,1845
G3B	LIM1	fo	0,020	nd	nd	15,2459
G3B	LIM1	fu	0	nd	nd	2,5328

Cod. Barena	Cod. Individuo	Comparto	Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MeHg %	Biomassa epigea (g)
G3B	LIM2	fo	0,030	nd	nd	22,4447
G3B	LIM2	fu	0,020	nd	nd	3,4381
G3B	LIM3	fo	0,020	nd	nd	14,9130
G3B	LIM3	fu	0	nd	nd	7,1056
G3B	SAR1	fo	0,030	nd	nd	48,4470
G3B	SAR1	fu	0,070	nd	nd	24,4566
G3B	SAR2	fo	0,020	nd	nd	23,7320
G3B	SAR2	fu	0,040	nd	nd	18,2569
G3B	SAR3	fo	0,020	nd	nd	24,0727
G3B	SAR3	fu	0,110	nd	nd	27,5599
G5B	HAL1	fo	0,080	nd	nd	14,1882
G5B	HAL1	fu	0,090	nd	nd	16,9253
G5B	SAR1	fo	0,060	nd	nd	3,6074
G5B	SAR1	fu	0,140	nd	nd	8,9750
G5B	LIM1	fo	0,080	nd	nd	9,2804
G5B	LIM1	fu	0,010	nd	nd	6,4973
G5B	HAL2	fo	0,090	nd	nd	21,8891
G5B	HAL2	fu	0,100	nd	nd	17,1702
G5B	SAR2	fo	0,040	nd	nd	15,6347
G5B	SAR2	fu	0,060	nd	nd	12,3075
G5B	LIM2	fo	0,060	nd	nd	4,9301
G5B	LIM2	fu	0	nd	nd	12,4132
G5B	HAL3	fo	0,030	nd	nd	3,6447
G5B	HAL3	fu	0,010	nd	nd	1,9442
G5B	SAR3	fo	0,040	nd	nd	8,5396
G5B	SAR3	fu	0,030	nd	nd	17,5786
G5B	LIM3	fo	0,030	nd	nd	15,3593
G5B	LIM3	fu	0	nd	nd	2,3567
M7B	HAL1	fo	0,030	nd	nd	17,4908
M7B	HAL1	fu	0,070	nd	nd	19,0714
M7B	SAR1	fo	0,060	nd	nd	18,3083
M7B	SAR1	fu	0,120	nd	nd	19,0866
M7B	LIM1	fo	0,060	nd	nd	21,5583
M7B	LIM1	fu	0	nd	nd	3,6018
M7B	HAL2	fo	0,020	nd	nd	15,4415
M7B	HAL2	fu	0,030	nd	nd	18,0521
M7B	SAR2	fo	0,040	nd	nd	8,6357
M7B	SAR2	fu	0,080	nd	nd	10,8628
M7B	LIM2	fo	0,060	nd	nd	4,7463
M7B	LIM2	fu	0	nd	nd	4,3555
M7B	HAL3	fo	0,040	nd	nd	3,5796
M7B	HAL3	fu	0,110	nd	nd	11,0277
M7B	SAR3	fo	0,050	nd	nd	17,6183
M7B	SAR3	fu	0,050	nd	nd	21,4040
M7B	LIM3	fo	0,100	nd	nd	6,2714
M7B	LIM3	fu	0	nd	nd	2,5255

Allegato 5a

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello Profondità (cm)	Frequenze a 1/2 phi [con phi= - log2 (diametro in mm)]																										
			-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	>11,0	0	4,25
M5 B	HAL 1	0-5	0,0	0,0	0,3	1,9	2,6	2,3	2,4	3,2	4,5	5,6	6,6	7,6	8,6	9,3	9,5	8,8	7,5	5,8	4,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,1	0,4	0,4	4,3
M5 B	HAL 1	5-15	0,0	0,0	0,7	2,2	3,1	3,2	3,2	3,7	4,4	5,1	5,7	6,4	7,5	8,3	8,6	8,2	7,2	6,0	4,7	3,5	2,5	2,0	1,8	1,5	0,6	0,6	3,6
M5 B	HAL 1	15-25	0,0	0,0	0,6	2,4	3,0	2,7	2,6	2,8	3,2	3,5	4,0	4,8	6,1	7,3	8,2	8,4	8,0	7,2	6,2	5,1	4,0	3,3	3,0	2,4	1,3	1,3	2,5
M5 B	HAL 2	0-5	0,0	0,0	0,5	1,9	2,6	2,5	2,6	3,6	5,2	6,4	7,1	7,8	8,7	9,5	9,5	8,6	7,0	5,2	3,7	2,5	1,6	1,3	1,2	0,9	0,3	0,3	4,5
M5 B	HAL 2	5-15	0,0	0,0	1,0	2,6	3,4	3,4	3,4	3,6	4,1	4,5	5,1	6,2	7,6	8,8	9,3	8,8	7,6	6,1	4,5	3,1	2,1	1,6	1,5	1,2	0,4	0,4	3,3
M5 B	HAL 2	15-25	0,0	0,0	0,3	2,0	2,5	2,0	1,5	1,6	2,0	2,7	3,7	5,0	6,6	8,2	9,2	9,3	8,7	7,7	6,5	5,3	4,2	3,5	3,3	2,7	1,4	1,4	2,4
M5 B	HAL 3	0-5	0,0	0,3	1,9	3,2	3,5	3,2	3,0	3,4	4,2	5,0	5,8	6,6	7,6	8,5	8,9	8,5	7,3	5,7	4,1	2,8	1,9	1,5	1,4	1,1	0,4	0,4	3,7
M5 B	HAL 3	5-15	0,0	0,0	1,1	3,1	3,9	3,5	3,1	3,4	4,0	4,4	5,0	6,0	7,4	8,7	9,2	8,7	7,5	6,0	4,5	3,2	2,2	1,7	1,6	1,3	0,5	0,5	3,2
M5 B	HAL 3	15-25	0,0	0,0	0,9	2,9	3,8	3,5	3,1	3,1	3,2	3,3	3,7	4,6	6,1	7,8	8,9	9,2	8,7	7,5	5,9	4,3	2,9	2,2	2,0	1,6	0,7	0,7	2,3
M5 B	SAR 1	0-5	0,0	0,0	0,9	2,4	2,8	2,6	2,8	3,7	4,8	5,6	6,1	6,9	8,1	9,2	9,6	8,8	7,3	5,6	4,0	2,7	1,8	1,4	1,4	1,1	0,4	0,4	3,9
M5 B	SAR 1	5-15	0,0	0,1	1,2	2,8	3,5	3,4	3,2	3,2	3,4	3,7	4,4	5,6	7,3	8,7	9,4	9,0	7,9	6,4	4,9	3,5	2,4	1,9	1,8	1,4	0,6	0,6	2,8
M5 B	SAR 1	15-25	0,0	0,0	0,2	1,6	2,3	2,0	1,8	2,1	2,7	3,3	4,1	5,2	6,6	8,1	9,1	9,3	8,8	7,8	6,5	5,1	3,8	3,1	2,9	2,4	1,2	1,2	2,6
M5 B	SAR 2	0-5	0,0	0,0	0,9	2,2	2,7	2,7	2,9	3,9	5,2	6,2	7,1	8,1	9,2	9,8	9,5	8,2	6,4	4,7	3,3	2,2	1,4	1,1	1,1	0,9	0,3	0,3	4,6
M5 B	SAR 2	5-15	0,6	1,6	3,0	3,9	3,9	3,4	3,1	3,3	3,8	4,2	4,7	5,6	6,9	7,9	8,3	7,8	6,8	5,6	4,4	3,3	2,3	1,8	1,7	1,3	0,6	0,6	3,0
M5 B	SAR 2	15-25	0,0	0,0	0,6	2,1	2,7	2,5	2,4	2,7	3,1	3,7	4,4	5,4	6,6	7,7	8,4	8,5	8,0	7,1	6,1	4,9	3,7	3,1	2,8	2,3	1,3	1,3	2,8
M5 B	SAR 3	0-5	0,0	0,1	1,1	2,0	2,2	2,0	2,2	3,1	4,2	5,0	5,7	6,7	8,1	9,5	10,4	10,1	8,7	6,5	4,4	2,7	1,7	1,3	1,2	1,0	0,3	0,3	3,6
M5 B	SAR 3	5-15	0,0	0,0	0,7	2,4	3,3	3,4	3,4	3,7	4,0	4,3	4,8	6,0	7,7	9,2	9,9	9,4	8,1	6,2	4,4	2,9	1,8	1,4	1,3	1,1	0,4	0,4	3,1

Cod. Barena		Cod. Individuo	Livello Profondità (cm)	Frequenze a 1/2 phi [con phi= - log2 (diametro in mm)]																										
				-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	>11,0	0	4,25
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
G1B	LIM	1	5-15	0,0	0,0	0,3	2,2	3,2	2,8	2,2	2,4	3,3	4,6	5,9	6,9	7,8	8,3	8,5	8,3	7,5	6,4	5,1	3,8	2,8	2,4	2,3	2,0	0,9	3,8	
G1B	LIM	1	15-25	0,0	0,0	0,0	1,3	2,3	1,9	1,4	1,7	3,0	5,1	6,9	7,9	8,2	8,2	8,2	8,1	7,7	6,9	5,7	4,4	3,1	2,6	2,5	2,1	1,0	4,4	
G1B	LIM	2	0-5	0,0	0,0	0,3	2,0	3,1	3,3	3,5	4,1	5,2	6,3	7,2	8,0	8,7	9,0	8,7	7,6	6,2	4,7	3,4	2,4	1,7	1,4	1,4	1,2	0,5	4,6	
G1B	LIM	2	5-15	0,0	0,0	0,2	1,8	2,6	2,6	2,5	3,0	3,9	5,0	6,2	7,2	8,1	8,7	8,8	8,4	7,5	6,2	4,8	3,5	2,5	2,0	2,0	1,7	0,8	4,0	
G1B	LIM	2	15-25	0,0	0,0	0,6	2,1	2,5	1,9	1,6	2,3	3,9	5,8	7,1	7,6	7,7	7,8	7,9	7,7	7,3	6,5	5,4	4,1	2,9	2,3	2,2	1,8	0,8	4,6	
G1B	LIM	3	0-5	0,0	0,0	0,2	2,1	3,2	3,2	2,8	2,8	3,2	4,0	5,1	6,5	7,9	9,0	9,4	8,9	7,7	6,2	4,8	3,5	2,6	2,2	2,1	1,7	0,8	3,3	
G1B	LIM	3	5-15	0,0	0,0	0,1	1,4	2,6	2,7	2,4	2,2	2,6	3,7	5,1	6,5	7,7	8,8	9,5	9,5	8,8	7,4	5,7	3,9	2,7	2,1	2,1	1,7	0,8	3,3	
G1B	LIM	3	15-25	0,0	0,0	0,0	1,2	2,1	1,9	1,4	1,5	2,4	4,0	5,7	7,1	8,0	8,5	8,8	8,8	8,4	7,5	6,1	4,6	3,3	2,7	2,6	2,2	1,0	3,7	
G1B	SAR	1	0-5	0,0	0,0	0,1	1,6	2,4	2,0	1,6	1,9	2,8	4,1	5,5	6,8	8,0	9,0	9,6	9,4	8,5	7,0	5,4	3,9	2,8	2,3	2,3	1,9	0,9	3,5	
G1B	SAR	1	5-15	0,0	0,0	0,0	1,1	2,0	1,8	1,5	1,9	3,1	4,7	6,2	7,4	8,4	9,2	9,5	9,1	8,1	6,9	5,4	4,0	2,8	2,2	2,2	1,8	0,8	4,0	
G1B	SAR	1	15-25	0,0	0,0	0,0	1,3	2,3	1,9	1,5	1,9	3,2	5,0	6,5	7,4	8,0	8,5	8,7	8,6	7,9	6,8	5,5	4,1	3,0	2,5	2,4	2,0	1,0	4,2	
G1B	SAR	2	0-5	0,0	0,0	0,0	0,6	1,5	1,4	1,3	1,9	2,9	4,2	5,8	7,5	9,3	10,7	11,3	10,3	8,7	6,7	4,8	3,3	2,2	1,8	1,8	1,5	0,6	3,7	
G1B	SAR	2	5-15	0,0	0,0	0,1	1,4	2,2	1,8	1,5	1,8	2,8	4,4	6,1	7,5	8,6	9,1	9,2	8,7	7,8	6,7	5,4	4,1	3,0	2,5	2,4	2,0	1,0	3,9	
G1B	SAR	2	15-25	0,0	0,0	0,0	0,8	2,0	1,8	1,6	2,4	4,4	6,7	8,0	8,2	7,9	7,6	7,4	7,1	6,7	6,1	5,3	4,3	3,2	2,7	2,6	2,1	1,0	5,1	
G1B	SAR	3	0-5	0,0	0,0	0,0	0,7	1,7	1,8	1,8	2,3	3,2	4,4	5,7	7,3	9,1	10,7	11,10	10,7	8,9	6,6	4,4	2,8	1,8	1,5	1,5	1,2	0,5	3,6	
G1B	SAR	3	5-15	0,0	0,0	0,0	1,2	2,6	2,5	2,1	2,2	3,2	4,5	5,9	7,2	8,5	9,6	10,0	9,5	8,3	6,6	4,8	3,4	2,3	1,9	1,8	1,5	0,6	3,8	
G1B	SAR	3	15-25	0,0	0,0	0,0	1,0	2,1	1,9	1,5	1,8	2,8	4,4	6,0	7,1	7,9	8,7	9,2	9,4	8,8	7,5	5,8	4,1	2,8	2,3	2,2	1,8	0,8	3,8	
M7B	HAL	1	0-5	0,0	0,0	0,7	2,4	3,1	3,0	3,0	3,9	5,3	6,9	8,3	9,3	10,1	10,2	9,4	7,8	5,8	3,8	2,3	1,4	0,9	0,7	0,8	0,6	0,1	5,3	
M7B	HAL	1	5-15	0,0	0,0	0,9	2,9	3,7	3,1	2,5	2,9	4,0	5,3	6,5	7,8	8,9	9,4	9,2	8,3	6,8	5,3	3,8	2,6	1,8	1,4	1,3	1,1	0,4	4,2	
M7B	HAL	1	15-25	0,0	0,4	2,4	4,2	4,6	4,0	3,4	3,6	4,6	5,6	6,4	6,8	7,0	7,1	7,1	6,9	6,2	5,3	4,2	3,1	2,2	1,7	1,6	1,2	0,5	4,1	
M7B	HAL	2	0-5	0,0	0,0	0,8	2,2	2,6	2,3	2,4	3,6	5,1	6,4	7,6	8,8	9,8	10,2	9,6	8,1	6,3	4,5	3,0	2,0	1,3	1,1	1,1	0,9	0,3	4,9	

Cod. Barena		Cod. Individuo		Livello Profondità (cm)		Frequenze a 1/2 phi [con phi= - log2 (diametro in mm)]																										
						-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	>11,0	4,25	
						%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
M7	LIM	3	5-15	0,0	0,2	1,2	2,4	3,4	4,3	4,9	5,3	5,7	6,4	7,3	7,9	8,1	7,9	7,6	6,9	5,8	4,5	3,2	2,2	1,4	1,1	1,1	1,1	0,9	0,3	0,3	4,7	
M7	LIM	3	15-25	0,0	0,0	0,0	0,7	4,0	7,6	8,9	7,2	5,1	4,7	5,5	6,2	6,3	6,4	6,6	6,7	6,3	5,4	4,1	2,8	1,8	1,3	1,2	1,2	0,9	0,3	0,3	3,5	
G5B	HAL	1	0-5	0,0	0,1	1,5	3,1	3,7	3,5	3,4	3,7	4,1	4,5	5,0	6,0	7,4	8,7	9,3	9,0	7,8	6,0	4,3	2,8	1,8	1,4	1,3	1,1	0,4	0,4	3,2		
G5B	HAL	1	5-15	0,0	0,1	1,6	4,0	4,8	4,3	3,7	3,8	4,2	4,8	5,3	6,0	6,7	7,4	7,7	7,5	6,8	5,8	4,6	3,3	2,3	1,8	1,6	1,3	0,6	0,6	3,4		
G5B	HAL	1	15-25	0,0	0,0	0,0	0,4	0,9	0,8	0,9	1,7	3,3	5,4	7,0	7,7	7,9	8,1	8,5	8,7	8,5	7,8	6,6	5,0	3,5	2,6	2,3	1,8	0,7	0,7	4,5		
G5B	HAL	2	0-5	0,0	0,0	0,3	1,5	2,0	1,8	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5	4,6	6,4	8,8	10,9	11,10,	10,8,8	6,2	4,0	2,6	2,0	1,9	1,6	0,7	0,7	2,3			
G5B	HAL	2	5-15	0,0	0,0	0,1	1,1	1,6	1,5	1,6	2,1	2,9	3,5	4,3	5,4	7,1	9,1	10,10,	10,10,	10,8,2	6,1	4,1	2,8	2,2	2,1	1,7	0,8	0,8	2,7			
G5B	HAL	2	15-25	0,0	0,0	0,0	0,9	1,7	1,9	2,2	3,0	3,9	4,6	5,2	6,1	7,5	9,0	9,9	9,8	8,9	7,3	5,4	3,8	2,6	2,1	2,0	1,6	0,7	0,7	3,3		
G5B	HAL	3	0-5	0,0	0,4	1,6	2,6	3,0	2,9	3,1	3,8	4,7	5,5	6,4	7,5	8,7	9,4	9,3	8,3	6,7	5,0	3,5	2,3	1,5	1,2	1,2	0,9	0,3	0,3	4,1		
G5B	HAL	3	5-15	0,0	0,1	1,5	2,9	3,4	3,1	2,9	3,3	4,1	4,9	5,8	7,1	8,4	9,3	9,3	8,5	7,0	5,4	3,9	2,7	1,9	1,5	1,4	1,1	0,4	0,4	3,7		
G5B	HAL	3	15-25	0,0	0,0	0,8	2,3	2,8	2,7	2,5	2,9	3,6	4,3	5,0	5,9	7,1	8,4	9,3	9,4	8,7	7,3	5,6	3,8	2,5	1,8	1,6	1,3	0,5	0,5	3,2		
G5B	SAR	1	0-5	0,0	0,0	0,5	1,9	2,4	2,3	2,4	3,0	3,8	4,4	5,1	6,2	7,8	9,4	10,10,	10,8,8	6,9	4,8	3,2	2,1	1,6	1,5	1,2	0,4	0,4	3,3			
G5B	SAR	1	5-15	0,0	0,0	0,2	1,1	1,5	1,6	1,9	2,8	3,9	5,0	6,2	7,4	8,8	9,9	10,10,	9,8	8,5	6,6	4,8	3,2	2,1	1,6	1,5	1,2	0,4	0,4	3,9		
G5B	SAR	1	15-25	0,0	0,0	0,1	1,1	1,9	2,2	2,6	3,3	4,1	4,8	5,5	6,5	7,9	9,2	10,10,	9,8	8,7	6,9	5,0	3,3	2,2	1,7	1,6	1,2	0,5	0,5	3,5		
G5B	SAR	2	0-5	0,0	0,0	0,5	1,9	2,3	1,9	1,6	1,9	2,5	3,3	4,1	5,3	7,2	9,4	11,11,	10,10,	8,2	5,6	3,5	2,2	1,7	1,6	1,3	0,5	0,5	2,6			
G5B	SAR	2	5-15	0,0	0,0	0,3	1,5	2,1	2,2	2,6	3,1	3,5	3,7	4,3	5,4	7,1	8,8	10,10,	10,10,	7,7	5,7	4,0	2,7	2,1	1,9	1,5	0,6	0,6	2,7			
G5B	SAR	2	15-25	0,0	0,0	0,4	1,9	2,9	3,3	3,6	4,2	4,7	5,1	5,6	6,3	7,5	8,7	9,3	9,0	7,8	6,1	4,4	2,9	1,9	1,5	1,4	1,1	0,4	0,4	3,6		
G5B	SAR	3	0-5	0,0	0,0	0,2	1,5	2,2	2,6	3,0	3,6	4,3	4,8	5,3	6,3	7,7	9,2	10,10,	9,7	8,3	6,4	4,6	3,1	2,1	1,7	1,6	1,2	0,4	0,4	3,4		
G5B	SAR	3	5-15	0,0	0,0	0,9	2,1	2,6	2,6	2,8	3,5	4,5	5,5	6,6	7,9	9,2	9,8	9,6	8,5	6,9	5,2	3,7	2,5	1,6	1,3	1,2	1,0	0,3	0,3	4,2		
G5B	SAR	3	15-25	0,0	0,0	0,7	2,2	2,7	2,5	2,4	2,8	3,4	3,8	4,2	5,0	6,4	8,0	9,4	9,9	9,4	8,0	6,0	4,2	2,8	2,1	1,9	1,5	0,6	0,6	2,7		
G5B	LIM	1	0-5	0,0	0,0	0,2	1,3	2,0	2,1	2,3	2,9	3,6	4,2	5,0	6,1	7,7	9,4	10,10,	10,9,5	7,4	5,1	3,2	2,0	1,6	1,5	1,2	0,4	0,4	3,2			

Cod. Barena		Cod. Individuo	Livello Profondità (cm)																										
			Frequenze a 1/2 phi [con phi= - log2 (diametro in mm)]																										
			-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	>11,0	0	4,25
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
G5B	LIM	1	5-15	0,0	0,0	0,5	1,5	2,0	2,0	2,3	3,2	4,5	5,9	7,2	8,5	9,5	10,1	9,9	8,9	7,3	5,5	3,8	2,4	1,5	1,2	1,1	0,9	0,2	4,6
G5B	LIM	1	15-25	0,0	0,0	0,5	1,8	2,5	2,5	2,7	3,5	4,4	4,9	5,1	5,8	7,1	8,5	9,6	9,7	8,8	7,1	5,1	3,3	2,1	1,6	1,5	1,2	0,5	3,3
G5B	LIM	2	0-5	0,0	0,0	0,2	1,5	1,9	1,8	1,8	2,4	3,0	3,5	4,1	5,0	6,7	8,8	10,1	11,0	10,0	8,4	6,0	3,9	2,5	2,0	1,9	1,5	0,6	2,6
G5B	LIM	2	5-15	0,0	0,0	0,0	0,8	1,4	1,4	1,5	2,0	2,7	3,5	4,4	5,7	7,5	9,5	10,1	11,0	10,0	8,2	6,0	4,1	2,8	2,2	2,0	1,6	0,6	2,8
G1B	LIM	2	15-25	0,0	0,0	0,1	1,1	1,7	1,9	2,0	2,6	3,5	4,5	5,5	6,8	8,4	9,9	10,0	10,0	9,2	7,0	4,8	3,1	1,9	1,5	1,4	1,1	0,4	3,5
G5B	LIM	3	0-5	0,0	0,0	0,6	1,9	2,4	2,3	2,3	2,6	3,1	3,5	3,9	4,8	6,4	8,6	10,0	11,0	10,0	8,3	5,8	3,7	2,4	1,8	1,7	1,3	0,4	2,5
G5B	LIM	3	5-15	0,0	0,4	1,9	3,3	4,0	4,2	4,7	5,7	6,8	7,2	7,2	7,3	7,6	8,0	7,8	6,9	5,5	4,0	2,6	1,6	1,0	0,8	0,7	0,6	0,1	4,6
G5B	LIM	3	15-25	0,0	0,0	0,7	1,9	2,6	3,1	4,0	5,1	6,2	6,5	6,5	6,6	7,3	8,2	8,8	8,5	7,3	5,6	3,8	2,4	1,5	1,2	1,1	0,9	0,2	4,1
G3B	HAL	1	0-5	0,0	0,0	0,5	2,2	2,8	2,5	2,3	2,5	3,2	4,2	5,2	6,1	7,0	8,1	8,8	8,9	8,2	7,0	5,5	4,1	3,0	2,5	2,4	2,0	1,0	3,3
G3B	HAL	1	5-15	0,0	0,0	0,1	1,2	1,8	1,6	1,4	1,6	2,2	3,3	4,8	6,3	7,8	8,9	9,6	9,7	9,1	7,8	6,3	4,6	3,3	2,7	2,5	2,1	1,0	3,1
G3B	HAL	1	15-25	0,0	0,0	0,2	1,4	1,8	1,5	1,4	1,9	2,8	3,8	4,9	6,0	7,2	8,5	9,4	9,5	9,0	7,8	6,3	4,8	3,5	2,8	2,6	2,1	0,9	3,1
G3B	HAL	2	0-5	0,0	0,0	0,4	1,6	2,2	2,3	2,6	3,6	4,9	6,1	7,1	8,0	8,9	9,6	9,5	8,6	7,0	5,3	3,7	2,5	1,7	1,4	1,3	1,1	0,4	4,5
G3B	HAL	2	5-15	0,0	0,0	0,1	1,8	4,1	4,9	3,9	2,4	1,9	2,5	3,8	5,1	6,2	7,3	8,4	9,0	9,0	8,1	6,5	4,7	3,2	2,4	2,2	1,7	0,7	2,5
G3B	HAL	2	15-25	0,0	0,0	0,0	6,8	19,8	27,8	22,7	10,2	1,8	0,0	0,5	1,3	1,2	0,8	0,8	1,0	1,2	1,1	0,9	0,7	0,4	0,3	0,3	0,2	0,0	0,3
G3B	HAL	3	0-5	0,0	0,0	0,2	1,5	2,1	2,2	2,3	2,9	3,6	4,4	5,3	6,5	8,0	9,3	10,0	9,8	8,6	6,8	5,0	3,4	2,3	1,8	1,8	1,4	0,6	3,4
G3B	HAL	3	5-15	0,0	0,0	0,3	1,6	2,6	2,7	2,7	3,0	4,1	5,6	6,9	7,7	8,0	8,3	8,4	8,0	7,2	6,1	4,8	3,6	2,5	2,0	1,8	1,5	0,6	4,4
G3B	HAL	3	15-25	0,0	0,0	0,0	5,0	17,6	24,3	15,8	4,2	0,2	0,5	2,0	2,7	2,7	2,7	3,1	3,4	3,4	3,2	2,7	2,1	1,5	1,1	0,9	0,6	0,2	1,3
G3B	SAR	1	0-5	0,0	0,0	0,1	1,0	1,7	1,8	2,1	2,9	4,0	5,2	6,2	7,3	8,4	9,6	10,0	9,6	8,2	6,4	4,6	3,2	2,2	1,8	1,7	1,4	0,5	4,0
G3B	SAR	1	5-15	0,0	0,0	0,3	1,9	2,4	2,0	2,0	2,6	3,5	4,4	5,3	6,3	7,3	8,3	8,9	8,9	8,2	7,1	5,7	4,3	3,1	2,5	2,3	1,9	0,9	3,4
G3B	SAR	1	15-25	0,0	0,0	0,1	1,2	2,3	2,5	2,3	2,4	3,4	5,2	7,0	7,8	7,9	8,1	8,0	7,6	6,7	5,5	4,2	3,0	2,4	2,2	1,7	1,4	0,7	4,5
G3B	SAR	2	0-5	0,0	0,0	0,2	1,5	2,5	2,8	3,0	3,6	4,7	5,8	6,7	7,3	7,9	8,4	8,5	8,1	7,2	5,9	4,6	3,3	2,3	1,9	1,7	1,4	0,6	4,3

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello Profondità (cm)	Frequenze a 1/2 phi [con phi= - log2 (diametro in mm)]																									
			-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	>11,0	0
G3B	SAR 2	5-15	0,0	0,0	0,6	2,1	3,2	3,7	4,0	4,4	4,9	5,8	6,7	7,1	7,2	7,2	7,2	7,0	6,5	5,7	4,6	3,5	2,6	2,1	1,9	1,5	0,6	4,3
G3B	SAR 2	15-25	0,0	0,0	2,7	10,2	15,5	14,5	8,9	4,0	2,7	3,3	3,8	3,7	3,5	3,6	3,7	3,8	3,6	3,6	3,2	2,6	2,0	1,6	1,4	1,2	0,5	2,1
G3B	SAR 3	0-5	0,0	0,0	0,7	2,0	2,4	2,3	2,7	3,5	4,5	5,4	6,4	7,4	8,2	8,7	8,7	8,0	7,0	5,7	4,5	3,4	2,5	2,0	1,9	1,5	0,6	4,1
G3B	SAR 3	5-15	0,0	0,0	0,1	1,4	3,2	4,2	4,0	3,4	3,2	3,8	5,1	6,4	7,5	8,4	8,9	8,7	7,8	6,5	5,1	3,7	2,7	2,1	1,9	1,5	0,5	3,3
G3B	SAR 3	15-25	0,0	0,0	0,1	1,5	2,8	3,3	3,0	2,6	2,6	3,2	4,3	5,4	6,5	7,6	8,5	9,0	8,7	7,8	6,4	4,8	3,4	2,7	2,5	2,1	0,9	2,7
G3B	LIM 1	0-5	0,0	0,0	0,2	1,5	2,3	2,6	3,0	3,9	4,9	5,8	6,6	7,4	8,3	9,1	9,3	8,7	7,4	5,7	4,1	2,8	1,9	1,5	1,5	1,2	0,4	4,2
G3B	LIM 1	5-15	0,0	0,0	0,2	1,5	2,2	2,3	2,5	3,0	3,7	4,5	5,3	6,3	7,4	8,4	9,0	9,0	8,3	7,1	5,6	4,1	2,9	2,3	2,2	1,8	0,8	3,4
G3B	LIM 1	15-25	0,0	0,0	0,3	1,6	2,2	1,9	1,5	1,9	3,5	6,1	8,6	9,5	8,9	8,0	7,4	7,0	6,6	5,9	5,0	3,9	2,9	2,5	2,3	1,8	0,7	5,5
G3B	LIM 2	0-5	0,0	0,0	0,2	1,2	1,9	2,2	2,6	3,5	4,8	6,2	7,5	8,5	9,2	9,6	9,4	8,6	7,1	5,3	3,7	2,5	1,7	1,4	1,4	1,1	0,4	4,8
G3B	LIM 2	5-15	0,0	0,0	0,1	1,2	2,2	2,5	2,6	2,9	3,6	4,8	6,1	7,2	7,9	8,4	8,8	8,7	8,0	6,8	5,3	3,9	2,8	2,2	2,0	1,6	0,6	3,9
G3B	LIM 2	15-25	0,0	0,0	0,0	2,7	8,4	12,1	11,0	7,0	3,8	3,2	4,0	4,6	4,6	4,5	4,7	4,8	4,8	4,5	3,9	3,2	2,4	2,0	1,8	1,4	0,6	2,6
G3B	LIM 3	0-5	0,0	0,0	0,2	1,2	1,9	2,1	2,6	3,8	5,3	6,8	7,9	8,7	9,3	9,6	9,3	8,3	6,6	4,9	3,4	2,3	1,6	1,3	1,3	1,1	0,4	5,1
G3B	LIM 3	5-15	0,0	0,0	0,1	1,1	1,8	1,9	1,9	2,3	3,1	4,4	5,9	7,2	8,3	9,1	9,4	9,1	8,2	7,0	5,5	4,1	2,9	2,3	2,1	1,6	0,6	3,8
G3B	LIM 3	15-25	0,0	0,0	0,2	1,8	2,9	2,9	2,5	2,3	2,6	3,5	4,5	5,4	6,3	7,3	8,2	8,6	8,4	7,7	6,4	5,0	3,7	3,1	2,9	2,4	1,2	2,9

Allegato 5b

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	parametri statistici										Curva di frequenza				
			Mz	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62,5 mm)	silt (62,5-2 μm)	argilla (< 2 mm)	Classificazione		sabbia (2000-53 mm)	pelite (< 53 mm)	Classificazione	
			phi	phi			μm	μm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
M5B	HAL1	0-5	5,62	2,28	-0,07	1,07	622	18,8	22,8	70,9	6,3	silt sabbioso	27,1	72,9	pelite sabbiosa		Nota (1958)
M5B	HAL1	5-15	5,62	2,54	-0,08	1,02	676	18,0	25,5	66,0	8,5	silt sabbioso	29,1	70,9	pelite sabbiosa		
M5B	HAL1	15-25	6,17	2,73	-0,14	1,05	672	11,6	20,8	65,2	13,9	silt sabbioso	23,4	76,6	pelite sabbiosa		
M5B	HAL2	0-5	5,45	2,24	-0,08	1,06	647	21,1	25,3	69,4	5,3	silt sabbioso	29,8	70,2	pelite sabbiosa		
M5B	HAL2	5-15	5,48	2,51	-0,15	1,01	704	18,1	26,1	67,2	6,8	silt sabbioso	29,4	70,6	pelite sabbiosa		
M5B	HAL2	15-25	6,57	2,53	-0,10	1,20	628	10,0	14,6	70,4	15,0	silt argilloso	17,0	83,0	pelite sabbiosa		
M5B	HAL3	0-5	5,33	2,56	-0,14	1,02	889	20,3	27,9	65,8	6,3	silt sabbioso	31,6	68,4	pelite molto sabbiosa		
M5B	HAL3	5-15	5,47	2,58	-0,15	1,02	733	18,0	26,4	66,3	7,3	silt sabbioso	29,6	70,4	pelite sabbiosa		
M5B	HAL3	15-25	5,77	2,70	-0,21	1,01	698	13,4	23,9	66,6	9,5	silt sabbioso	26,2	73,8	pelite sabbiosa		

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)		parametri statistici							argilla (< 2 mm)	sabbia (2000-53 mm)	Classificazione	pelite (< 53 mm)	Classificazione	Curva di frequenza
		Mz	phi	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62,5 mm)	silt (62,5-2 μm)						
M5B	SAR1	0-5	5,49	2,36	-0,11	1,06	697	19,5	25,5	68,4	6,1	silt sabbioso	29,4	70,6	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	SAR1	5-15	5,59	2,62	-0,17	1,05	771	16,1	24,6	67,2	8,2	silt sabbioso	27,5	72,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	SAR1	15-25	6,44	2,48	-0,10	1,15	588	10,7	15,9	70,6	13,5	silt sabbioso	18,5	81,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
M5B	SAR2	0-5	5,31	2,24	-0,08	1,07	695	23,1	26,7	68,6	4,8	silt sabbioso	31,2	68,8	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M5B	SAR2	5-15	5,16	2,89	-0,18	0,95	1289	20,4	30,9	61,5	7,7	silt sabbioso	33,9	66,1	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	SAR2	15-25	6,19	2,64	-0,11	1,07	660	12,1	19,8	67,1	13,2	silt sabbioso	22,6	77,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	SAR3	0-5	5,68	2,25	-0,16	1,08	748	16,7	21,8	72,7	5,5	silt sabbioso	25,5	74,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	SAR3	5-15	5,50	2,44	-0,17	1,03	681	17,5	25,3	68,6	6,1	silt sabbioso	28,4	71,6	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	SAR3	15-25	5,90	2,69	-0,18	1,06	697	12,9	22,2	67,0	10,8	silt sabbioso	24,6	75,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	LIM1	0-5	5,53	2,48	-0,13	1,03	773	18,1	25,8	67,3	6,9	silt sabbioso	29,3	70,7	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)										Curva di frequenza			
		parametri statistici					sabbia (2000-62,5-2 μm)						argilla (< 2 mm)		sabbia (2000-53 mm)
Mz	So	Sk	Kg	C	Md	silt (62,5-2 μm)	%	argilla (< 2 mm)	%	Classificazione	%	pelite (< 53 mm)	%	Nota (1958)	
phi	phi	μm	μm	μm	μm	%	%	%	%	Shepard (1954)	%	%	%		
M5B	LIM1	5-15	5,57	2,71	-0,18	1,08	891	16,0	24,9	66,5	8,6	27,7	72,3	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	LIM1	15-25	6,20	2,55	-0,11	1,10	599	12,1	18,8	68,9	12,3	21,6	78,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	LIM2	0-5	5,22	2,49	-0,04	0,95	687	24,9	31,9	61,8	6,3	36,1	63,9	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M5B	LIM2	5-15	5,31	2,71	-0,17	0,93	802	18,8	29,4	63,3	7,2	32,4	67,6	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	LIM2	15-25	6,26	2,58	-0,14	1,11	616	11,2	18,5	68,8	12,7	21,1	78,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	LIM3	0-5	5,06	2,65	-0,14	0,93	906	23,6	32,5	61,6	5,8	36,1	63,9	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	LIM3	5-15	5,38	2,74	-0,19	0,93	809	17,3	28,8	63,3	7,8	31,4	68,6	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M5B	LIM3	15-25	5,85	2,88	-0,19	1,02	783	12,6	23,7	63,9	12,4	25,8	74,2	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G1B	HAL1	0-5	6,11	2,39	-0,07	1,11	580	13,6	17,9	71,8	10,3	21,5	78,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
G1B	HAL1	5-15	6,01	2,45	-0,07	1,13	646	14,7	19,2	70,9	9,9	23,1	76,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica ,

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)		parametri statistici										Curva di frequenza		
		Mz	phi	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62.5 mm)	silt (62.5-2 μm)	argilla (< 2 mm)	Classificazione	sabbia (2000-53 mm)		pelite (< 53 mm)	Classificazione
		phi	phi					μm	μm	%	%	%	%	%	%	Nota (1958)
G1B	HAL1	15-25	5,92	2,57	-0,06	1,07	739	16,0	21,5	68,1	10,4	silt sabbioso	25,6	74,4	pelite sabbiosa	leptocurtica molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	HAL2	0-5	6,45	2,12	-0,01	1,16	475	11,5	11,5	77,6	10,9	silt	14,6	85,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
G1B	HAL2	5-15	6,38	2,28	0,02	1,05	478	12,3	13,4	74,0	12,6	silt sabbioso	17,2	82,8	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	HAL2	15-25	6,36	2,40	-0,04	1,07	519	12,0	15,6	71,7	12,8	silt sabbioso	19,2	80,8	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	HAL3	0-5	6,38	2,05	-0,02	1,15	444	12,0	11,1	79,4	9,4	silt	14,5	85,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
G1B	HAL3	5-15	6,30	2,32	-0,02	1,11	534	12,6	14,6	73,8	11,7	silt sabbioso	18,3	81,7	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	HAL3	15-25	6,33	2,27	0,01	1,01	467	12,5	14,4	73,5	12,1	silt sabbioso	18,6	81,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	LIM1	0-5	5,98	2,23	-0,04	1,09	519	15,1	18,0	73,7	8,3	silt sabbioso	22,1	77,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	LIM1	5-15	5,92	2,53	-0,06	1,08	632	15,6	21,1	68,5	10,4	silt sabbioso	24,9	75,1	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	LIM1	15-25	6,18	2,38	0,00	1,07	538	14,3	16,6	72,1	11,3	silt sabbioso	21,1	78,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	parametri statistici										argilla (< 2 mm)	sabbia (2000-53 mm)	Classificazione	pelite (< 53 mm)	Classificazione	Curva di frequenza
			Mz	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62.5 mm)	silt (62.5-2 μm)	phi	Shepard (1954)						
G1B	LIM2	0-5	5,31	2,35	-0,03	1,05	628	23,7	27,9	65,9	6,2	32,5	67,5	Nota (1958)	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica			
G1B	LIM2	5-15	5,81	2,43	-0,05	1,06	602	16,8	21,7	69,3	9,0	25,7	74,3	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica			
G1B	LIM2	15-25	5,94	2,47	-0,02	1,04	659	16,4	20,8	69,3	9,9	25,4	74,6	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica			
G1B	LIM3	0-5	5,81	2,51	-0,10	1,10	621	15,7	21,6	69,1	9,3	24,9	75,1	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica			
G1B	LIM3	5-15	6,08	2,37	-0,10	1,16	568	13,4	17,7	73,0	9,4	21,0	79,0	pelite sabbiosa	molto mal classata, asimmetrica negativa, leptocurtica			
G1B	LIM3	15-25	6,33	2,36	-0,04	1,12	526	12,3	14,5	73,6	11,9	18,2	81,8	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, leptocurtica			
G1B	SAR1	0-5	6,16	2,36	-0,06	1,17	585	13,5	16,5	73,3	10,2	20,1	79,9	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, leptocurtica			
G1B	SAR1	5-15	6,14	2,28	-0,02	1,12	517	14,2	16,1	74,1	9,8	20,0	80,0	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, leptocurtica			
G1B	SAR1	15-25	6,15	2,37	-0,02	1,10	538	14,2	17,1	72,0	10,9	21,2	78,8	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica			
G1B	SAR2	0-5	6,09	2,04	-0,02	1,16	455	14,3	13,9	78,3	7,8	17,6	82,4	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, leptocurtica			
G1B	SAR2	5-15	6,18	2,34	-0,01	1,14	563	14,2	16,0	73,2	10,8	19,9	80,1	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, leptocurtica			

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)										Curva di frequenza				
		parametri statistici					sabbia (2000-62.5 mm)	silt (62.5-2 μm)	argilla (< 2 mm)	Classificazione Shepard (1954)	sabbia (2000-53 mm)		pelite (< 53 mm)	Classificazione		
Mz	So	Sk	Kg	C	Md	%	%	%	%	%	%	%	%			
phi	phi	μm	μm	μm	μm	%	%	%	Shepard (1954)	%	%	Nota (1958)				
G1B	SAR2	15-25	6,04	2,40	0,07	0,96	485	16,7	19,7	68,7	11,6	silt sabbioso	24,8	75,2	pelite sabbiosa	simmetrica , leptocurtica
G1B	SAR3	0-5	5,96	2,05	-0,07	1,18	472	15,0	16,0	77,5	6,5	silt	19,6	80,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G1B	SAR3	5-15	5,94	2,27	-0,07	1,16	527	15,3	18,2	73,7	8,1	silt sabbioso	22,0	78,0	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
G1B	SAR3	15-25	6,21	2,28	-0,05	1,12	506	13,1	15,5	74,6	9,9	silt sabbioso	19,3	80,7	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
M7B	HAL1	0-5	5,07	2,09	-0,10	1,07	681	27,3	28,4	68,4	3,1	silt sabbioso	33,7	66,3	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	HAL1	5-15	5,41	2,40	-0,10	1,11	701	21,0	25,4	68,6	6,0	silt sabbioso	29,6	70,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	HAL1	15-25	5,07	2,77	-0,08	0,94	911	25,6	32,8	60,1	7,1	silt sabbioso	36,9	63,1	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	HAL2	0-5	5,32	2,18	-0,07	1,12	689	23,4	25,4	69,9	4,6	silt sabbioso	30,3	69,7	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
M7B	HAL2	5-15	5,57	2,28	-0,11	1,04	601	18,7	23,3	71,2	5,5	silt sabbioso	27,4	72,6	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M7B	HAL2	15-25	5,86	2,52	-0,14	0,99	494	14,1	21,8	69,0	9,2	silt sabbioso	24,9	75,1	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa ,

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)											Curva di frequenza				
		parametri statistici					sabbia (2000-62.5 mm)		silt (62.5-2 μm)		argilla (< 2 mm)			sabbia (2000-53 mm)		Classificazione	
Mz	So	Sk	Kg	C	Md	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
phi	phi	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
																	Nota (1958)
M7B	HAL3	0-5	4,85	2,03	-0,14	1,03	743	30,3	31,1	66,9	2,1	silt sabbioso	36,3	63,7	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica	
M7B	HAL3	5-15	5,52	2,41	-0,15	1,00	635	18,0	25,5	68,6	6,0	silt sabbioso	29,1	70,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica	
M7B	HAL3	15-25	4,75	2,31	-0,11	0,93	752	31,2	35,1	61,3	3,6	silt sabbioso	39,3	60,7	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica	
M7B	SAR1	0-5	5,17	2,17	-0,10	1,09	643	25,1	27,1	68,9	3,9	silt sabbioso	32,0	68,0	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica	
M7B	SAR1	5-15	5,19	2,37	-0,05	1,00	668	25,3	29,9	64,8	5,3	silt sabbioso	34,6	65,4	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica	
M7B	SAR1	15-25	5,71	2,56	-0,09	0,96	611	16,6	25,4	65,7	9,0	silt sabbioso	29,1	70,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica	
M7B	SAR2	0-5	4,96	2,09	-0,10	1,07	675	28,9	29,6	67,5	3,0	silt sabbioso	34,9	65,1	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica	
M7B	SAR2	5-15	5,27	2,61	-0,10	0,96	702	21,7	29,3	63,8	6,9	silt sabbioso	33,1	66,9	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica	
M7B	SAR2	15-25	5,33	2,66	-0,11	0,78	525	19,6	31,1	61,3	7,6	silt sabbioso	33,9	66,1	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , platicurtica	
M7B	SAR3	0-5	5,02	2,04	-0,06	1,10	623	29,0	28,8	67,8	3,4	silt sabbioso	34,4	65,6	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica ,	

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	parametri statistici										Curva di frequenza			
			Mz	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62.5 mm)	silt (62.5-2 μm)	argilla (<2 mm)	Classificazione		sabbia (2000-53 mm)	pelite (<53 mm)	Classificazione
			phi	phi				μm	μm	%	%	%	%	%	%	Nota (1958)
M7B	SAR3	5-15	5,16	2,35	-0,04	0,94	557	25,8	30,2	64,7	5,1	silt sabbioso	34,8	65,2	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	SAR3	15-25	4,50	2,62	0,29	0,75	493	61,6	49,7	44,1	6,2	sabbia siltosa	52,7	47,3	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica positiva , platicurtica
M7B	LIM1	0-5	5,07	2,20	-0,09	1,05	701	26,6	29,3	67,0	3,8	silt sabbioso	34,1	65,9	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	LIM1	5-15	5,61	2,38	-0,08	1,02	671	18,4	24,7	68,3	7,0	silt sabbioso	29,0	71,0	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	LIM1	15-25	5,47	2,51	-0,05	0,95	661	20,7	27,7	65,0	7,3	silt sabbioso	32,0	68,0	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	LIM2	0-5	5,21	2,13	-0,09	1,16	839	25,2	25,8	70,5	3,7	silt sabbioso	31,0	69,0	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
M7B	LIM2	5-15	5,07	2,70	-0,09	0,96	1098	25,7	33,0	60,6	6,4	silt sabbioso	36,8	63,2	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
M7B	LIM2	15-25	3,76	2,51	0,61	0,81	582	157,3	62,7	32,8	4,5	sabbia siltosa	64,4	35,6	pelite molto sabbiosa	sabbiosa molto mal classata , molto positiva , platicurtica
M7B	LIM3	0-5	5,01	2,13	-0,14	1,10	749	26,6	28,1	68,8	3,1	silt sabbioso	33,0	67,0	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
M7B	LIM3	5-15	4,97	2,41	-0,03	0,94	802	29,9	33,7	61,5	4,8	silt sabbioso	38,4	61,6	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica ,

mesocurtica

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)		parametri statistici										Curva di frequenza		
		Mz	phi	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62.5 mm)	silt (62.5-2 μm)	argilla (< 2 mm)	Classificazione Shepard (1954)	sabbia (2000-53 mm)		pelite (< 53 mm)	Classificazione
		phi	phi					μm	μm	%	%	%	%	%	%	Nota (1958)
M7B	LIM3	15-25	4,97	2,52	0,03	0,75	485	30,9	38,2	56,3	5,6	silt sabbioso	41,7	58,3	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , platicurtica
G5B	HAL1	0-5	5,36	2,54	-0,17	0,99	809	18,9	27,6	66,3	6,0	silt sabbioso	30,9	69,1	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	HAL1	5-15	5,22	2,77	-0,12	0,91	819	21,4	31,3	61,1	7,7	silt sabbioso	34,7	65,3	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	HAL1	15-25	6,33	2,13	0,02	0,93	400	12,3	13,3	75,8	10,9	silt	17,8	82,2	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt
G5B	HAL2	0-5	6,29	2,24	-0,17	1,29	597	10,9	15,2	76,0	8,8	silt	17,5	82,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	HAL2	5-15	6,30	2,21	-0,11	1,20	537	11,4	14,5	75,9	9,6	silt	17,3	82,7	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	HAL2	15-25	6,05	2,28	-0,08	1,09	493	13,6	18,2	72,9	9,0	silt sabbioso	21,5	78,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G5B	HAL3	0-5	5,28	2,38	-0,12	1,06	874	22,3	27,5	67,3	5,2	silt sabbioso	31,7	68,3	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	HAL3	5-15	5,39	2,48	-0,13	1,08	811	20,1	26,1	67,6	6,3	silt sabbioso	29,9	70,1	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	HAL3	15-25	5,83	2,45	-0,16	1,05	682	14,6	21,8	70,5	7,7	silt sabbioso	25,0	75,0	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa ,

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)											Curva di frequenza			
		parametri statistici					sabbia (2000-62,5 mm)		silt (62,5-2 μm)		argilla (<2 mm)			sabbia (2000-53 mm)		pelite (<53 mm)
Mz	So	Sk	Kg	C	Md	%	%	%	%	%	%	Shepard (1954)	%	%	Nota (1958)	
G5B	SAR1	0-5	5,82	2,30	-0,15	1,12	643	15,1	20,5	72,7	6,8	silt sabbioso	23,8	76,2	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	SAR1	5-15	5,90	2,12	-0,06	1,09	538	15,7	17,9	75,4	6,7	silt	21,8	78,2	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt
G5B	SAR1	15-25	5,86	2,24	-0,11	1,07	530	15,1	19,9	72,9	7,2	silt sabbioso	23,5	76,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	SAR2	0-5	6,13	2,21	-0,19	1,30	645	12,2	15,9	76,8	7,3	silt	18,6	81,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	SAR2	5-15	6,04	2,36	-0,14	1,13	597	12,9	18,9	72,4	8,7	silt sabbioso	21,6	78,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	SAR2	15-25	5,51	2,40	-0,12	0,99	632	18,5	26,1	67,5	6,4	silt sabbioso	29,6	70,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	SAR3	0-5	5,73	2,32	-0,12	1,04	591	16,1	22,2	70,7	7,1	silt sabbioso	25,6	74,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	SAR3	5-15	5,44	2,28	-0,09	1,10	696	20,8	24,5	70,0	5,5	silt sabbioso	28,8	71,2	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G5B	SAR3	15-25	5,99	2,49	-0,19	1,11	670	12,6	20,5	70,6	8,9	silt sabbioso	23,2	76,8	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	LIM1	0-5	5,93	2,20	-0,15	1,13	566	14,0	18,5	74,8	6,7	silt sabbioso	21,7	78,3	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa ,

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)										Curva di frequenza				
		parametri statistici					sabbia (2000-62.5 mm)		silt (62.5-2 μm)		argilla (< 2 mm)		sabbia (2000-53 mm)		pelite (< 53 mm)	
Mz	So	Sk	Kg	C	Md	%	%	%	%	%	Shepard (1954)	%	%	Nota (1958)		
G5B	LIM1	5-15	5,57	2,11	-0,06	1,07	624	20,0	21,9	73,1	5,0	silt sabbioso	26,6	73,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G5B	LIM1	15-25	5,76	2,37	-0,15	1,02	637	15,3	22,8	70,1	7,0	silt sabbioso	26,1	73,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G5B	LIM2	0-5	6,20	2,25	-0,16	1,22	590	11,6	16,2	75,3	8,5	silt	18,8	81,2	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	LIM2	5-15	6,31	2,13	-0,09	1,18	480	11,5	13,4	77,5	9,1	silt	16,2	83,8	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , leptocurtica
G1B	LIM2	15-25	5,93	2,12	-0,11	1,13	543	14,7	17,6	76,1	6,3	silt	21,1	78,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	LIM3	0-5	6,02	2,34	-0,22	1,19	662	12,2	18,7	73,7	7,6	silt sabbioso	21,2	78,8	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica
G5B	LIM3	5-15	4,72	2,36	-0,05	0,92	892	35,5	38,2	58,6	3,2	silt sabbioso	42,8	57,2	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G5B	LIM3	15-25	5,29	2,31	-0,09	0,92	668	22,7	30,1	65,0	4,8	silt sabbioso	34,3	65,7	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica
G3B	HAL1	0-5	6,04	2,54	-0,10	1,11	657	13,6	20,2	68,9	11,0	silt sabbioso	23,5	76,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica
G3B	HAL1	5-15	6,40	2,30	-0,06	1,17	551	11,4	13,4	75,0	11,7	silt sabbioso	16,4	83,6	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica ,

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)		parametri statistici										Curva di frequenza		
		Mz	phi	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62.5 mm)	silt (62.5-2 μm)	argilla (< 2 mm)	Classificazione	sabbia (2000-53 mm)		pelite (< 53 mm)	Classificazione
		phi	phi					μm	μm	%	%	%	%	%	%	Nota (1958)
G3B	HAL1	15-25	6,38	2,34	-0,08	1,13	575	11,3	14,7	73,3	12,0	silt sabbioso	17,9	82,1	pelite sabbiosa	leptocurtica molto mal classata, simmetrica, leptocurtica
G3B	HAL2	0-5	5,52	2,23	-0,05	1,07	623	20,5	23,8	70,3	5,9	silt sabbioso	28,4	71,6	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica
G3B	HAL2	5-15	5,84	2,71	-0,22	1,04	593	12,3	21,6	68,2	10,2	silt sabbioso	24,1	75,9	pelite sabbiosa	molto mal classata, asimmetrica negativa, mesocurtica
G3B	HAL2	15-25	2,00	1,34	0,40	2,56	672	263,9	89,1	9,6	1,2	sabbia	89,5	10,5	sabbia pelitica	mal classata, molto positiva, molto leptocurtica
G3B	HAL3	0-5	5,91	2,30	-0,10	1,13	592	14,8	19,3	72,8	7,9	silt sabbioso	22,7	77,3	pelite sabbiosa	molto mal classata, asimmetrica negativa, leptocurtica
G3B	HAL3	5-15	5,74	2,41	-0,03	1,03	603	18,2	22,7	69,0	8,3	silt sabbioso	27,1	72,9	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica
G3B	HAL3	15-25	3,46	2,60	0,72	0,82	661	233,6	67,6	28,0	4,4	sabbia siltosa	68,9	31,1	pelite molto sabbiosa	sabbiosa molto mal classata, molto positiva, platocurtica
G3B	SAR1	0-5	5,89	2,19	-0,05	1,10	516	15,8	18,8	73,6	7,5	silt sabbioso	22,8	77,2	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica
G3B	SAR1	5-15	6,09	2,46	-0,08	1,10	626	13,5	19,0	70,3	10,7	silt sabbioso	22,4	77,6	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica
G3B	SAR1	15-25	6,00	2,40	-0,02	1,03	544	15,6	19,4	70,6	10,0	silt sabbioso	23,9	76,1	pelite sabbiosa	molto mal classata, simmetrica, mesocurtica

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	parametri statistici										argilla (< 2 mm)	sabbia (2000-53 mm)	Classificazione	pelite (< 53 mm)	Classificazione	Curva di frequenza
			Mz	So	Sk	Kg	C	Md	sabbia (2000-62.5 mm)	silt (62.5-2 μm)	Shepard (1954)	%						
G3B	SAR2	0-5	5,66	2,39	-0,03	1,02	580	18,7	24,1	68,0	7,9	28,3	71,7	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica			
G3B	SAR2	5-15	5,45	2,60	-0,01	0,95	663	21,9	28,8	62,6	8,6	33,1	66,9	pelite molto sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica			
G3B	SAR2	15-25	4,00	2,74	0,57	0,77	622	134,0	58,5	34,8	6,7	60,6	39,4	pelite molto sabbiosa	sabbiosa molto mal classata , molto positiva , platicurtica			
G3B	SAR3	0-5	5,69	2,44	-0,04	1,06	670	18,5	23,5	68,0	8,4	27,6	72,4	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica			
G3B	SAR3	5-15	5,69	2,54	-0,12	1,02	563	16,1	23,3	68,1	8,6	26,5	73,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica			
G3B	SAR3	15-25	6,16	2,55	-0,14	1,08	571	11,8	19,1	69,2	11,7	21,9	78,1	pelite sabbiosa	molto mal classata , asimmetrica negativa , mesocurtica			
G3B	LIM1	0-5	5,58	2,30	-0,06	1,04	593	19,3	24,1	69,3	6,5	28,3	71,7	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica			
G3B	LIM1	5-15	6,02	2,43	-0,08	1,07	585	13,9	19,8	70,2	10,0	23,1	76,9	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica			
G3B	LIM1	15-25	5,94	2,39	0,07	1,05	606	18,6	19,0	70,7	10,2	24,5	75,5	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica			
G3B	LIM2	0-5	5,57	2,17	-0,02	1,06	559	20,4	22,7	71,4	6,0	27,4	72,6	pelite sabbiosa	molto mal classata , simmetrica , mesocurtica			
G3B	LIM2	5-15	5,95	2,37	-0,05	1,05	546	15,3	19,9	71,0	9,1	23,8	76,2	pelite sabbiosa	molto mal classata , mesocurtica			

Allegato 6

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	N (%)	Ctot (%)	Corg (%)
M5B	HAL1	0-5	0,69	8,70	7,06
M5B	HAL1	5-15	0,42	6,78	3,31
M5B	HAL1	15-25	0,22	3,28	1,64
M5B	LIM1	0-5	0,65	9,24	7,39
M5B	LIM1	5-15	0,40	6,51	2,14
M5B	LIM1	15-25	0,23	3,79	1,48
M5B	SAR1	0-5	0,68	9,82	0,25
M5B	SAR1	5-15	0,43	6,89	0,18
M5B	SAR1	15-25	0,22	3,68	2,21
M5B	HAL2	0-5	0,91	12,04	10,93
M5B	HAL2	5-15	0,48	7,08	5,57
M5B	HAL2	15-25	0,20	3,70	2,02
M5B	LIM2	0-5	0,92	12,45	11,16
M5B	LIM2	5-15	0,45	6,77	5,06
M5B	LIM2	15-25	0,21	3,76	2,05
M5B	SAR2	0-5	0,87	11,24	10,30
M5B	SAR2	5-15	0,47	6,59	5,10
M5B	SAR2	15-25	0,21	3,68	2,08
M5B	HAL3	0-5	0,69	9,75	7,77
M5B	HAL3	5-15	0,51	7,44	5,64
M5B	HAL3	15-25	0,24	4,16	2,57
M5B	LIM3	0-5	0,67	9,01	7,01
M5B	LIM3	5-15	0,40	6,16	4,33
M5B	LIM3	15-25	0,23	4,13	2,44
M5B	SAR3	0-5	0,66	9,43	7,34
M5B	SAR3	5-15	0,48	7,35	5,30
M5B	SAR3	15-25	0,27	4,81	2,96
G3B	HAL1	0-5	0,26	6,64	2,70
G3B	HAL1	5-15	0,16	5,77	1,56
G3B	HAL1	15-25	0,19	5,81	1,83
G3B	LIM1	0-5	0,45	7,74	4,90
G3B	LIM1	5-15	0,23	5,80	2,35

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	N (%)	Ctot (%)	Corg (%)
G3B	LIM1	15-25	0,10	6,16	0,98
G3B	SAR1	0-5	0,31	6,76	3,20
G3B	SAR1	5-15	0,22	5,93	2,24
G3B	SAR1	15-25	0,12	6,19	1,25
G3B	HAL2	0-5	0,49	8,30	5,10
G3B	HAL2	5-15	0,13	6,19	1,12
G3B	HAL2	15-25	0,01	10,31	0,12
G3B	LIM2	0-5	0,41	8,20	4,33
G3B	LIM2	5-15	0,16	6,30	1,58
G3B	LIM2	15-25	0,05	8,33	0,53
G3B	SAR2	0-5	0,29	6,91	3,38
G3B	SAR2	5-15	0,11	6,93	1,24
G3B	SAR2	15-25	0,05	8,38	0,61
G3B	HAL3	0-5	0,36	6,97	3,53
G3B	HAL3	5-15	0,17	6,80	1,79
G3B	HAL3	15-25	0,02	9,97	0,20
G3B	LIM3	0-5	0,43	7,80	4,40
G3B	LIM3	5-15	0,17	6,14	1,62
G3B	LIM3	15-25	0,17	6,27	1,41
G3B	SAR3	0-5	0,30	6,38	2,78
G3B	SAR3	5-15	0,17	6,90	1,54
G3B	SAR3	15-25	0,15	6,60	1,27
G1B	HAL1	0-5	0,24	7,52	2,66
G1B	HAL1	5-15	0,17	6,74	1,79
G1B	HAL1	15-25	0,12	6,57	1,28
G1B	LIM1	0-5	0,29	8,15	3,27
G1B	LIM1	5-15	0,23	7,33	2,50
G1B	LIM1	15-25	0,13	6,25	1,26
G1B	SAR1	0-5	0,28	7,72	2,96
G1B	SAR1	5-15	0,22	7,33	2,44
G1B	SAR1	15-25	0,15	6,55	1,48
G1B	HAL2	0-5	0,25	7,25	2,53
G1B	HAL2	5-15	0,16	6,92	1,65
G1B	HAL2	15-25	0,13	6,96	1,32
G1B	LIM2	0-5	0,44	8,14	4,53
G1B	LIM2	5-15	0,23	6,40	2,30

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	N (%)	Ctot (%)	Corg (%)
G1B	LIM2	15-25	0,11	6,68	1,14
G1B	SAR2	0-5	0,30	6,96	2,90
G1B	SAR2	5-15	0,17	6,57	1,74
G1B	SAR2	15-25	0,09	6,71	0,96
G1B	HAL3	0-5	0,23	7,22	2,14
G1B	HAL3	5-15	0,18	7,19	1,67
G1B	HAL3	15-25	0,14	6,95	1,40
G1B	LIM3	0-5	0,33	7,40	3,56
G1B	LIM3	5-15	0,15	6,26	1,50
G1B	LIM3	15-25	0,13	6,15	0,54
G1B	SAR3	0-5	0,32	7,52	3,34
G1B	SAR3	5-15	0,24	6,99	2,48
G1B	SAR3	15-25	0,16	6,52	1,48
G5B	HAL1	0-5	0,50	7,26	4,90
G5B	HAL1	5-15	0,32	5,85	3,65
G5B	HAL1	15-25	0,14	4,14	1,17
G5B	LIM1	0-5	0,46	6,73	4,43
G5B	LIM1	5-15	0,45	6,63	4,52
G5B	LIM1	15-25	0,32	5,52	3,27
G5B	SAR1	0-5	0,53	7,67	5,17
G5B	SAR1	5-15	0,38	6,38	4,26
G5B	SAR1	15-25	0,29	5,12	3,04
G5B	HAL2	0-5	0,35	5,61	2,76
G5B	HAL2	5-15	0,33	5,64	2,37
G5B	HAL2	15-25	0,31	5,18	2,53
G5B	LIM2	0-5	0,38	5,82	3,23
G5B	LIM2	5-15	0,36	5,28	3,18
G5B	LIM2	15-25	0,38	5,40	3,36
G5B	SAR2	0-5	0,45	6,22	4,01
G5B	SAR2	5-15	0,35	5,25	3,06
G5B	SAR2	15-25	0,42	6,18	3,69
G5B	HAL3	0-5	0,76	9,58	6,89
G5B	HAL3	5-15	0,49	6,92	4,24
G5B	HAL3	15-25	0,32	5,32	3,28
G5B	LIM3	0-5	0,62	8,32	6,38
G5B	LIM3	5-15	0,64	9,11	6,81

Cod. Barena	Cod. Individuo	Livello profondità (cm)	N (%)	Ctot (%)	Corg (%)
G5B	LIM3	15-25	0,40	6,70	4,26
G5B	SAR3	0-5	0,69	8,60	6,45
G5B	SAR3	5-15	0,50	7,25	5,02
G5B	SAR3	15-25	0,30	5,08	3,44
M7B	HAL1	0-5	0,74	8,32	6,27
M7B	HAL1	5-15	0,48	6,02	4,20
M7B	HAL1	15-25	0,25	5,55	2,68
M7B	LIM1	0-5	0,76	9,42	7,27
M7B	LIM1	5-15	0,31	6,33	3,22
M7B	LIM1	15-25	0,15	5,90	1,61
M7B	SAR1	0-5	0,61	7,69	6,83
M7B	SAR1	5-15	0,30	6,17	3,45
M7B	SAR1	15-25	0,16	5,79	1,76
M7B	HAL2	0-5	0,80	9,28	8,01
M7B	HAL2	5-15	0,34	5,80	3,59
M7B	HAL2	15-25	0,15	6,25	1,60
M7B	LIM2	0-5	0,69	8,13	6,70
M7B	LIM2	5-15	0,19	6,75	2,56
M7B	LIM2	15-25	0,02	10,29	0,71
M7B	SAR2	0-5	0,77	8,84	7,51
M7B	SAR2	5-15	0,20	6,76	2,45
M7B	SAR2	15-25	0,08	7,95	1,16
M7B	HAL3	0-5	0,98	10,99	8,72
M7B	HAL3	5-15	0,37	9,78	4,80
M7B	HAL3	15-25	0,37	6,12	4,34
M7B	LIM3	0-5	0,77	9,98	8,69
M7B	LIM3	5-15	0,21	7,64	2,50
M7B	LIM3	15-25	0,09	7,94	0,96
M7B	SAR3	0-5	0,58	8,11	6,44
M7B	SAR3	5-15	0,16	8,05	2,06
M7B	SAR3	15-25	0,06	8,24	0,79

Allegato 7

Cod. Barena	Cod. Individuo	Hg stoccato (%)		
		Foglie	Fusto	Radici
M5B	HAL1	29,7	22,4	47,9
M5B	HAL2	7,6	1,6	90,8
M5B	HAL3	40,3	27,9	31,8
M5B	LIM1	1,6	0,4	98,0
M5B	LIM2	0,3	0,1	99,6
M5B	LIM3	0,0	5,7	94,3
M5B	SAR1	18,0	19,9	62,2
M5B	SAR2	24,8	11,4	63,8
M5B	SAR3	12,5	2,3	85,3
G1B	HAL1	1,8	3,8	94,4
G1B	HAL2	5,7	3,6	90,6
G1B	HAL3	13,6	49,4	37,1
G1B	LIM1	0,8	0,1	99,0
G1B	LIM2	0,2	0,1	99,6
G1B	LIM3	0,7	0,0	99,3
G1B	SAR1	1,9	1,8	96,3
G1B	SAR2	1,3	1,9	96,8
G1B	SAR3	1,3	3,5	95,2
G3B	HAL1	18,2	16,4	65,4
G3B	HAL2	13,5	11,3	75,2
G3B	HAL3	5,7	1,6	92,7
G3B	LIM1	0,8	0,0	99,2
G3B	LIM2	1,7	0,2	98,1
G3B	LIM3	5,7	0,0	94,3
G3B	SAR1	1,4	1,6	97,0
G3B	SAR2	2,1	3,2	94,8
G3B	SAR3	2,5	15,5	82,0
G5B	HAL1	20,4	17,7	61,9
G5B	HAL2	23,4	4,2	72,4
G5B	HAL3	25,0	33,5	41,5
G5B	LIM1	10,8	0,9	88,3
G5B	LIM2	6,1	0,0	93,9

Cod. Barena	Cod. Individuo	Hg stoccato (%)		
		Foglie	Fusto	Radici
G5B	LIM3	4,7	0,0	95,3
G5B	SAR1	0,9	5,2	93,9
G5B	SAR2	10,6	12,5	76,9
G5B	SAR3	8,5	13,1	78,4
M7B	HAL1	9,7	24,8	65,5
M7B	HAL2	10,2	17,9	72,0
M7B	HAL3	4,8	40,4	54,8
M7B	LIM1	11,8	0,0	88,2
M7B	LIM2	7,5	0,0	92,5
M7B	LIM3	7,1	0,0	92,9
M7B	SAR1	13,5	28,2	58,3
M7B	SAR2	4,8	12,2	83,0
M7B	SAR3	22,7	27,6	49,7

Allegato 8

Cod. Barena	Cod. Individui	EF (radici-sedimento)		
		0-5 cm	15-25 cm	15-25 cm
M5B	HAL1	0,28	0,00	0,00
M5B	HAL2	<i>nd</i>	2,14	4,43
M5B	HAL3	0,21	1,76	0,00
M5B	LIM1	1,37	0,78	1,49
M5B	LIM2	0,09	0,18	5,20
M5B	LIM3	0,08	0,00	2,58
M5B	SAR1	0,15	0,55	0,00
M5B	SAR2	0,25	5,24	0,00
M5B	SAR3	0,85	0,46	0,00
G1B	HAL1	0,07	0,67	0,61
G1B	HAL2	0,00	0,06	0,16
G1B	HAL3	0,10	0,08	0,00
G1B	LIM1	0,06	0,29	2,68
G1B	LIM2	0,07	0,19	0,97
G1B	LIM3	0,05	0,13	1,34
G1B	SAR1	0,00	0,25	0,37
G1B	SAR2	0,11	0,58	0,91
G1B	SAR3	0,12	0,66	0,21
G3B	HAL1	0,08	0,00	0,01
G3B	HAL2	0,06	0,01	338,57
G3B	HAL3	0,08	1,34	81,07
G3B	LIM1	0,06	0,11	23,56
G3B	LIM2	0,03	0,79	28,85
G3B	LIM3	0,04	0,14	0,09
G3B	SAR1	0,00	1,17	7,30
G3B	SAR2	0,08	8,02	220,82
G3B	SAR3	0,05	2,99	11,92
G5B	HAL1	0,14	0,17	0,25
G5B	SAR1	0,51	0,49	0,31
G5B	LIM1	0,17	0,39	0,47
G5B	HAL2	0,63	0,74	<i>nd</i>
G5B	SAR2	0,35	0,20	0,00
G5B	LIM2	0,21	0,16	0,09

Cod. Barena	Cod. Individui	EF (radici-sedimento)		
		0-5 cm	15-25 cm	15-25 cm
G5B	HAL3	0,39	0,09	0,03
G5B	SAR3	0,15	0,01	0,16
G5B	LIM3	0,69	0,28	0,08
M7B	HAL1	0,06	0,03	0,16
M7B	SAR1	0,11	0,20	0,16
M7B	LIM1	0,04	0,05	0,10
M7B	HAL2	0,14	0,22	0,29
M7B	SAR2	0,08	0,12	1,44
M7B	LIM2	0,05	0,07	0,58
M7B	HAL3	0,09	0,19	0,04
M7B	SAR3	0,30	0,17	0,00
M7B	LIM3	0,05	0,09	15,14

Allegato 9

Cod. Barena	Cod. Individuo	BF (foglie-radici)	BF (fusto-radici)
M5B	HAL1	0,090	0,135
M5B	HAL2	0,018	0,008
M5B	HAL3	0,025	0,022
M5B	LIM1	0,052	0,010
M5B	LIM2	0,032	0,008
M5B	LIM3	0,000	0,020
M5B	SAR1	0,056	0,181
M5B	SAR2	0,008	0,010
M5B	SAR3	0,083	0,083
G1B	HAL1	0,010	0,021
G1B	HAL2	0,042	0,042
G1B	HAL3	0,155	0,372
G1B	LIM1	0,008	0,001
G1B	LIM2	0,012	0,006
G1B	LIM3	0,012	0,001
G1B	SAR1	0,008	0,012
G1B	SAR2	0,004	0,006
G1B	SAR3	0,015	0,034
G3B	HAL1	0,188	0,234
G3B	HAL2	0,002	0,001
G3B	HAL3	0,003	0,002
G3B	LIM1	0,000	0,000
G3B	LIM2	0,004	0,003
G3B	LIM3	0,032	0,000
G3B	SAR1	0,002	0,004
G3B	SAR2	0,001	0,001
G3B	SAR3	0,001	0,008
G5B	HAL1	0,047	0,053
G5B	SAR1	0,051	0,118
G5B	LIM1	0,076	0,009
G5B	HAL2	0,086	0,000
G5B	SAR2	0,082	0,124
G5B	LIM2	0,184	0,000

Cod. Barena	Cod. Individuo	BF (foglie-radici)	BF (fusto-radici)
G5B	HAL3	0,110	0,037
G5B	SAR3	0,106	0,080
G5B	LIM3	0,075	0,000
M7B	HAL1	0,043	0,100
M7B	SAR1	0,071	0,142
M7B	LIM1	0,097	0,000
M7B	HAL2	0,017	0,025
M7B	SAR2	0,047	0,094
M7B	LIM2	0,121	0,000
M7B	HAL3	0,128	0,351
M7B	SAR3	0,089	0,089
M7B	LIM3	0,066	0,000