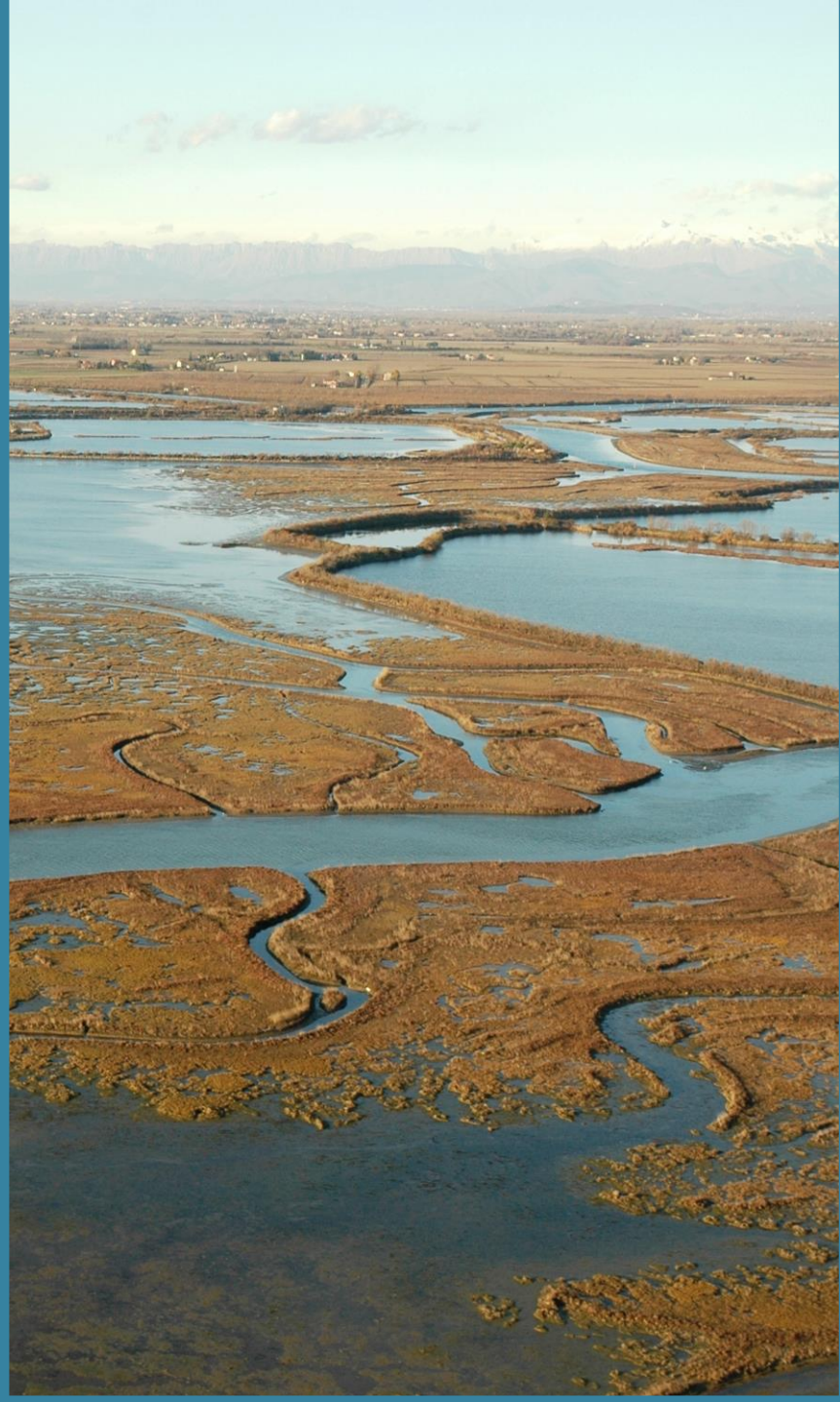


**ACCORDO DI  
COLLABORAZIONE CON  
ARPA FVG PER UN  
PROGETTO DI RICERCA E  
STUDIO  
SEDIMENTOLOGICO -  
GEOCHIMICO DELLE AREE  
BARENICOLE DELLA  
LAGUNA DI MARANO E  
GRADO  
D.D. 20 APRILE 2012**

*Palmanova 2 maggio 2013*





# BASE DI PARTENZA

STUDIO DELLE AREE BARENICOLE DELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO

- Adattamento dei sistemi lagunari all'innalzamento del livello del mare
- Migliorare la conoscenza degli aspetti morfologici ed evolutivi delle barene della Laguna di Marano e Grado a fini di tutela ambientale e gestione.
- Valutare il ruolo delle barene come reservoir di mercurio e come possibili sorgenti secondarie in relazione alla vegetazione alofila

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
Image © 2011 DigitalGlobe  
© 2011 Tele Atlas  
Image © 2011 GeoEye

Google earth

45°43'50.11"N 13°15'15.03"E elev -1 m

Alt 30.05 km

## PARTE I: STUDIO IN AREE CAMPIONE

rilievo topografico e  
morfologico

caratteristiche  
morfologiche

rilievo della  
vegetazione

caratteristiche  
vegetazionali

prelievo sedimento e  
alofite

bioaccumulo del  
mercurio

analisi di laboratorio

vettorializzazione  
delle barene anni  
1954, 1990, 2006

bilanci di bacino

## PARTE II: ANALISI A MACROSCALA

analisi quantitativa  
(superfici e margini)

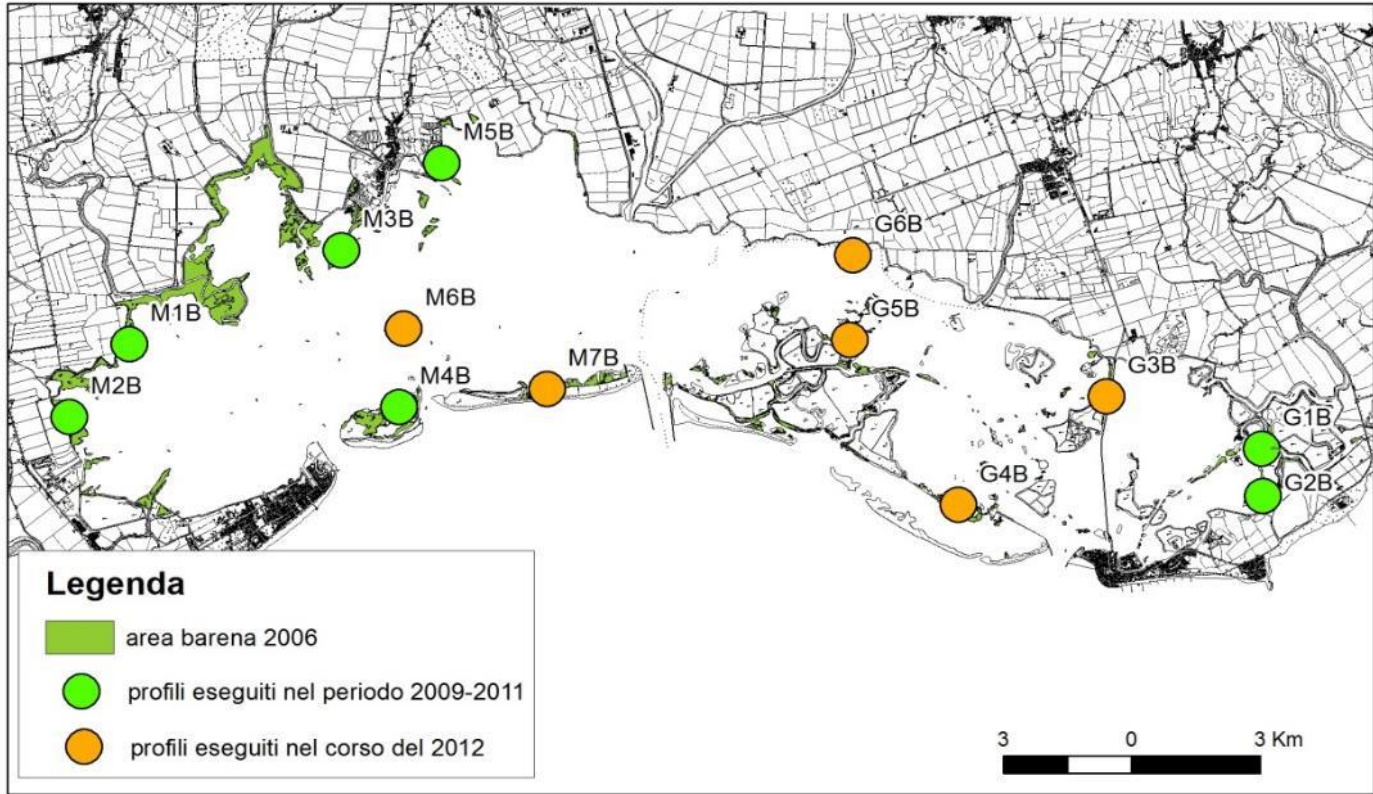
geodatabase

attribuzione delle  
forzanti

linee guida  
gestionali

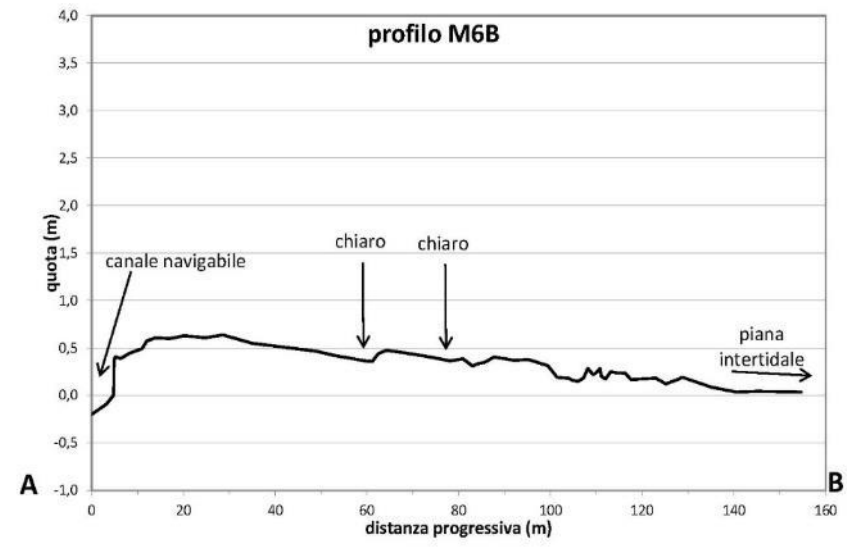
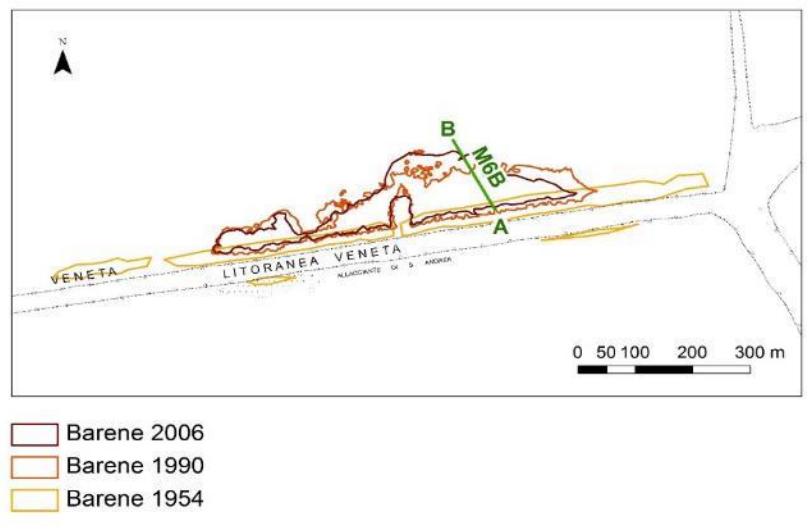


# PARTE I: STUDIO IN AREE CAMPIONE



Realizzazione di transetti topografici di dettaglio in aree individuate come “casi studio”

# RILIEVI TOPOGRAFICI





# RILIEVI MORFOLOGICI NELLE AREE CAMPIONE: RISULTATI

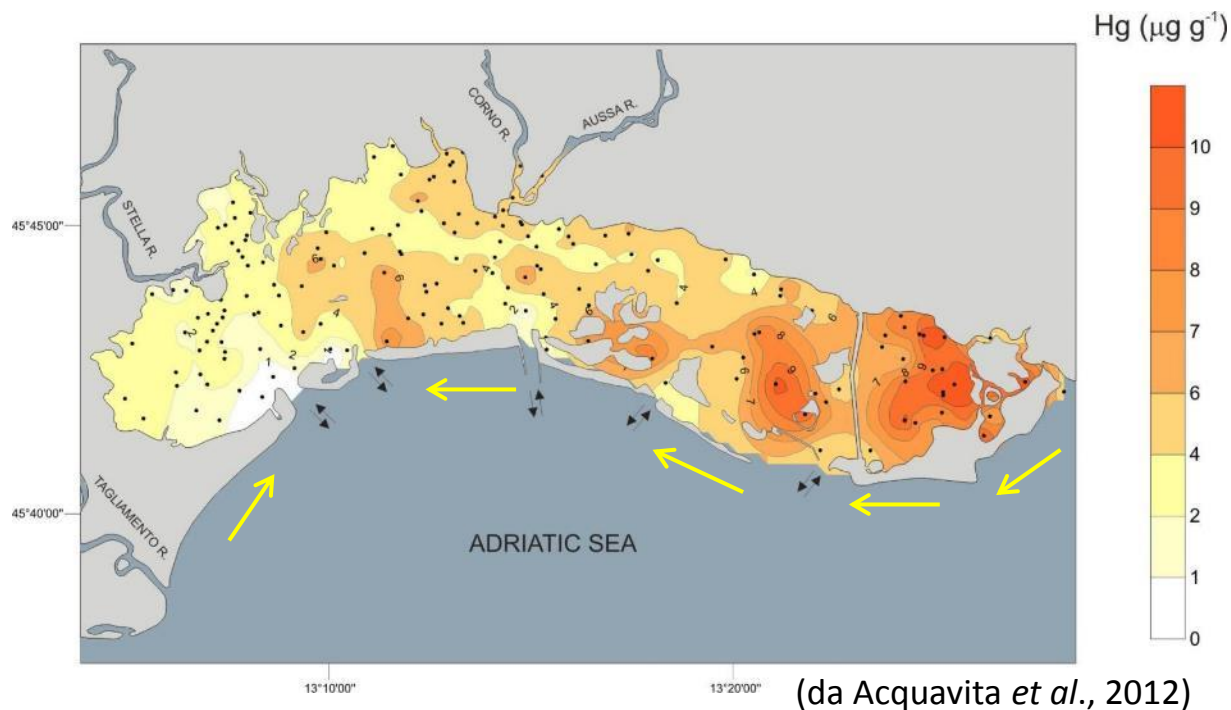
- Quota della superficie della barena
- Morfologia (ghebi, chiari)
- Morfologia dei margini
- Transizione barena – velma



# IL MERCURIO NEI SEDIMENTI LAGUNARI

## LE FONTI:

- Attività mineraria di Idria (Slovenia) → 35.000 ton disperse in 500 anni di attività (Gosar *et al.*, 1997)



- Impianto soda-cloro di Torviscosa → 186 ton in 35 anni (Daris *et al.*, 1993)

# SCOPI DEL LAVORO

- Valutazione del contenuto in mercurio (Hg) nei sedimenti ed in alcune specie alofile degli ambienti a barena.
- Individuazione di eventuali differenze sito-specifiche in relazione a parametri chimico-fisici.
- Indagine preliminare sulla presenza del metilmercurio (MeHg) in alcuni campioni vegetali.



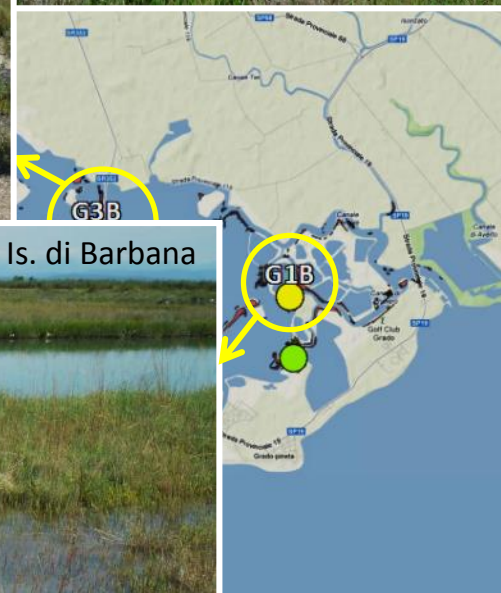
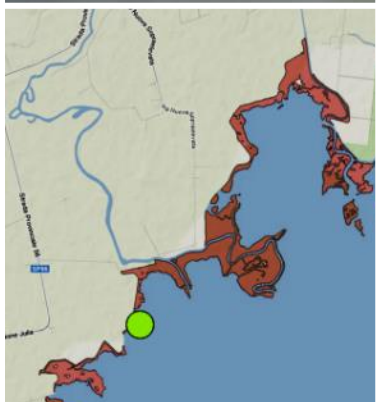
Barena di Marano



Is. della Gran Chiusa



Canale Belvedere



Isola di S. Andrea



Is. di Barbana





# LE SPECIE INDAGATE

*Limonium narbonense* Mill.



*Sarcocornia fruticosa* (L.) J.A. Scott



*Atriplex portulacoides* L.





# IL CAMPIONAMENTO

- Individuazione dei siti
- Rilievo fitosociologico  
(Braun Blanquet adattato da Pignatti 1953)
- Rilievo topografico

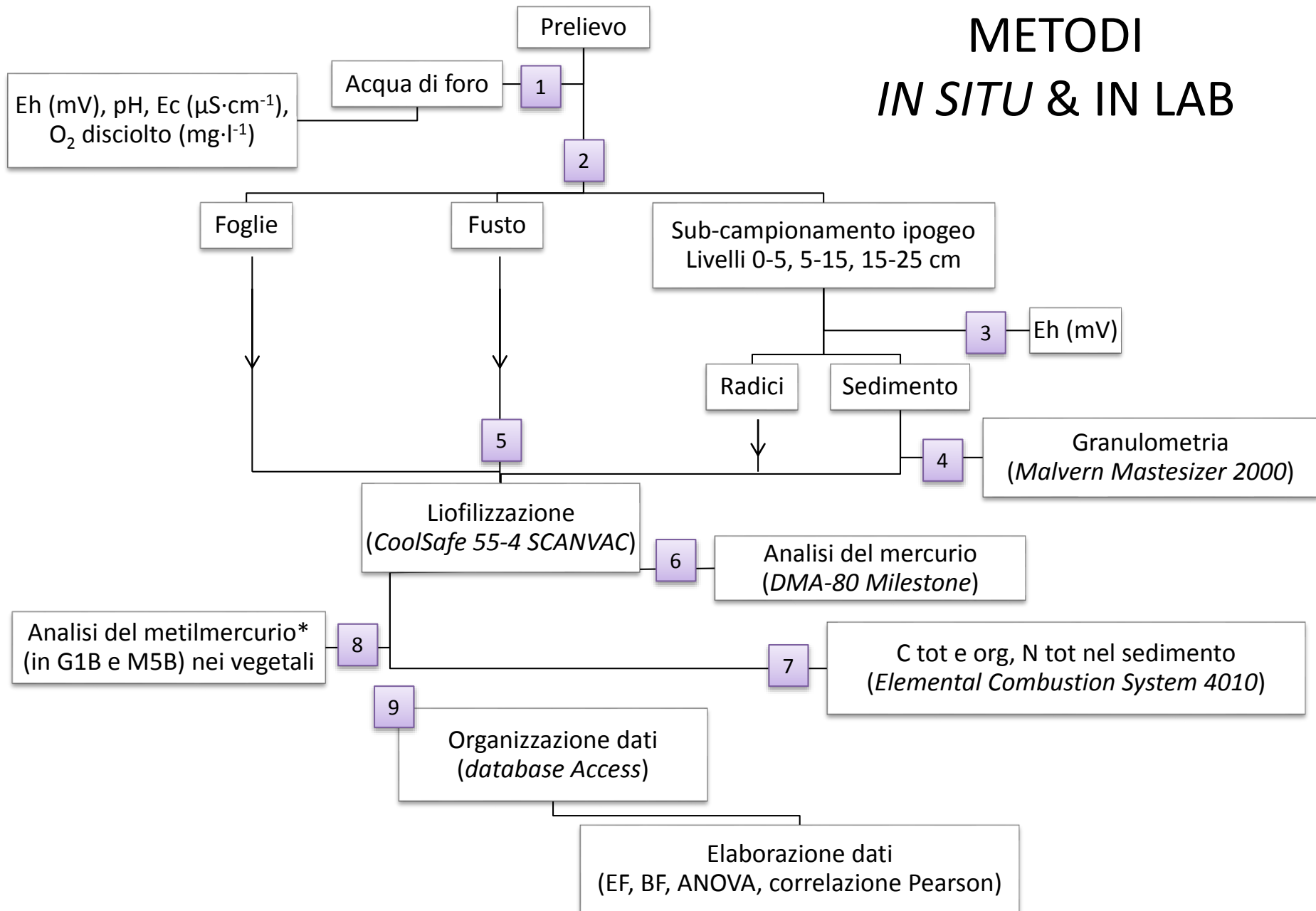


Barena M5B presso Marano



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

# METODI IN SITU & IN LAB



\* Eseguite dall'unità di ricerca del Dr. J. Canário presso l'IPMA I.P., Portuguese Institute for Sea and Atmospheric Research di Lisbona



# RISULTATI: PARAMETRI CHIMICO-FISICI

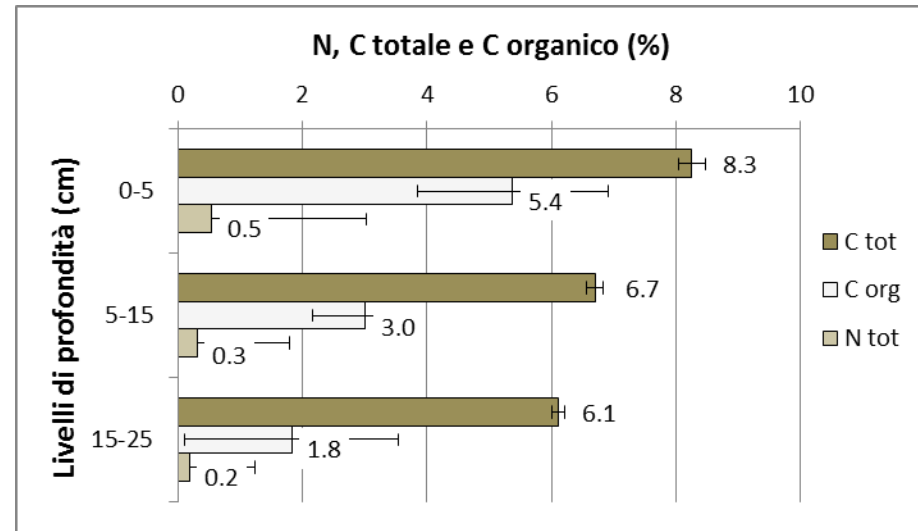
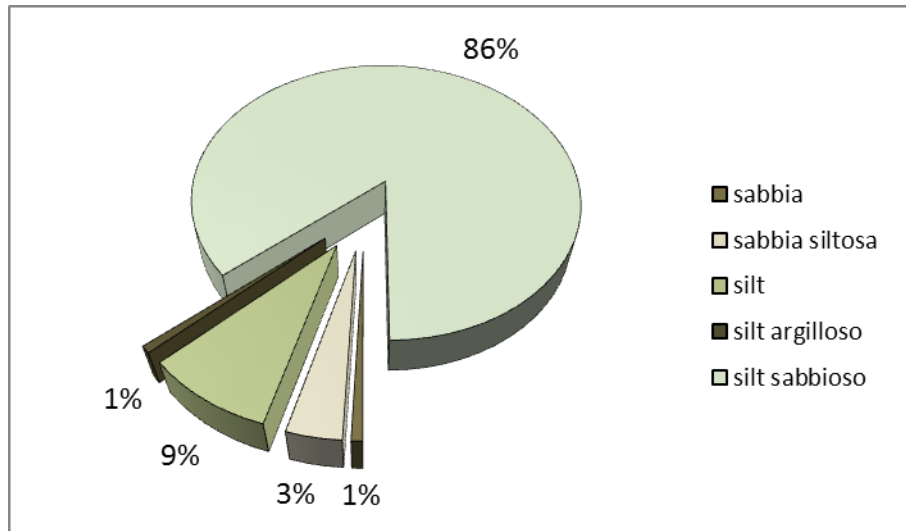
- Ec, pH ed ossigeno disciolto presentano valori simili nelle diverse barene
- Eh misurato nell'acqua variabile nelle diverse barene ma anche nei diversi siti
- Eh nel sedimento molto variabile (Cazzin *et al.*, 2009)
  - valori più bassi nel livello profondo

**Valore medio di Eh (mV) nei tre livelli sedimentari**

Livello	G1B	G3B	G5B	M5B	M7B
0-5 cm	5	72	-31	47	22
5-15 cm	17	65	-34	52	-40
15-25 cm	-20	63	-245	14	-85

# RISULTATI: GRANULOMETRIA E SOSTANZA ORGANICA

- Silt sabbioso preponderante (G3B e M7B più grossolane in profondità, G1B, G5B e M5B più fini in superficie) ma influenzato dalle modalità di subcampionamento delle carote.
- C org corrisponde, mediamente, al 50 % del C totale, ed è discretamente più elevato rispetto ai sedimenti lagunari.
- C tot, C org e N tot diminuiscono con la profondità.



Valori medi ( $\pm$  std) nei tre livelli sedimentari



# RISULTATI: RILIEVO FITOSOCIOLOGICO

2 classi vegetazionali:

- *Arthrocnemetea* Br.-Bl. et R. Tx. 1943 in G1B (Is. di Barbana) G3B (Canale Belvedere) e G5B (Is. della Gran Chiusa)
- *Juncetea maritimi* Br.-Bl. 1952 in M5B (Marano) e M7B (Is. di S. Andrea)



Classe *Arthrocnemetea* Br.-Bl. et R. Tx. 1943  
Barena *Le Mandragole*

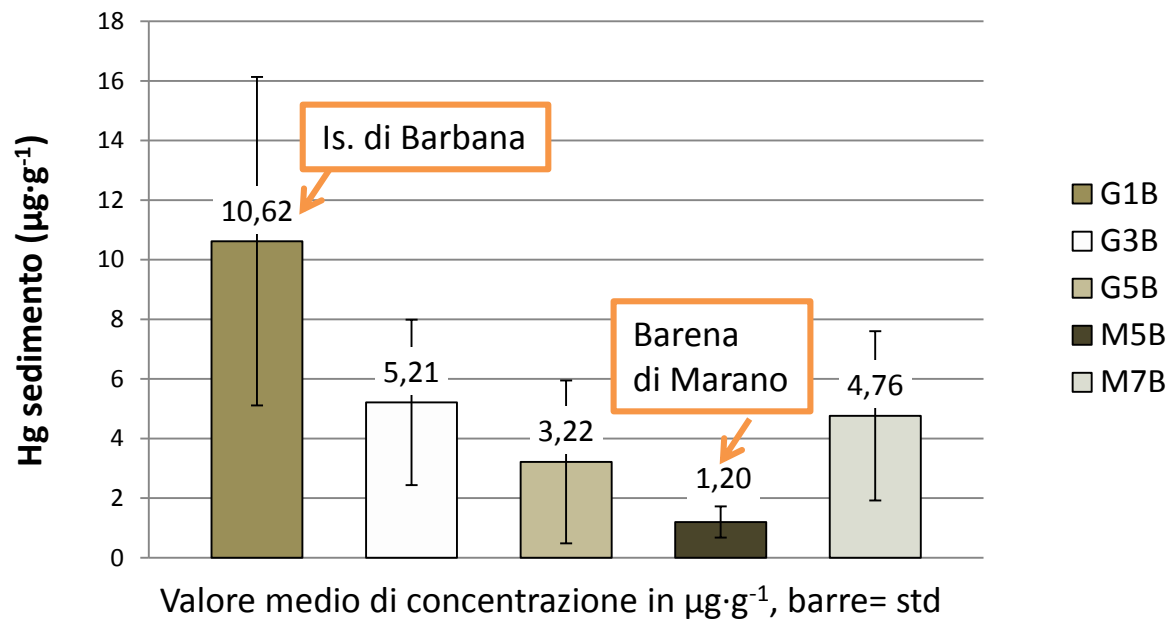


Classe *Juncetea maritimi* Br.-Bl. 1952  
Barena *Marina dei Manzi*

Mercurio **non** agisce come fattore selettivo

# RISULTATI: MERCURIO NEL SEDIMENTO

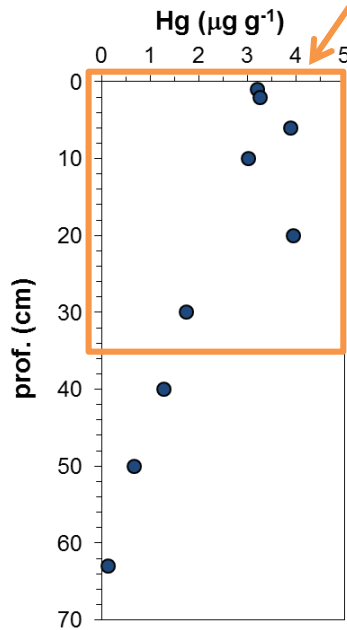
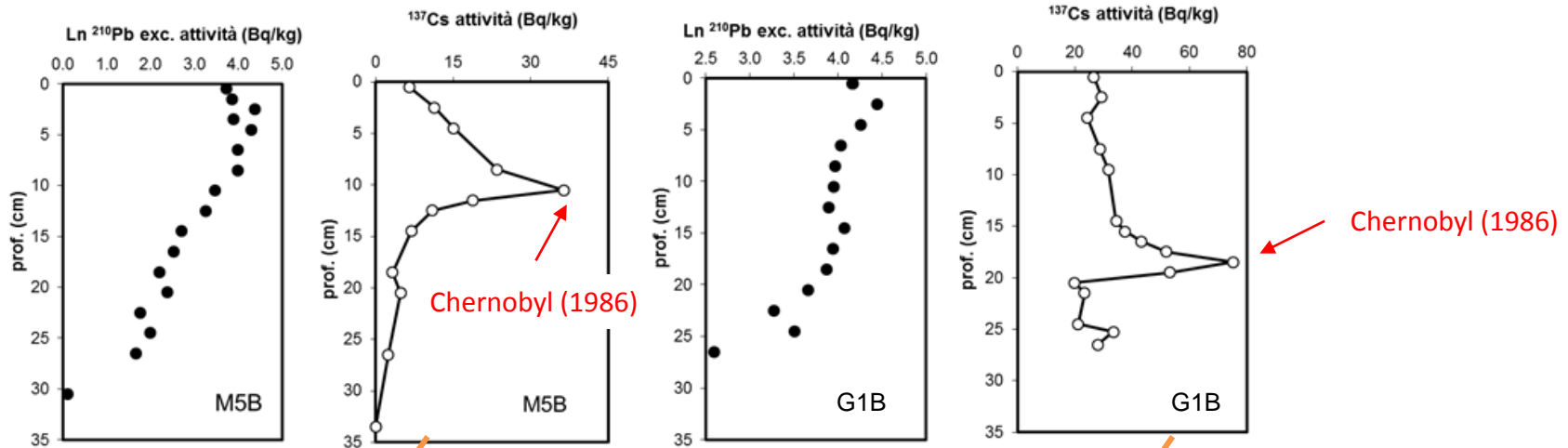
- Le concentrazioni di Hg nei sedimenti differenziano in modo significativo le barene (ANOVA,  $p < 0,0001$ ):



- Hg da circa  $0,2$  a  $9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (0-5 cm), fino a  $15 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (5-15 cm) e fino a  $27 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (15-25 cm).
- SQA Hg  $0,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (D.M. 260, 8 nov 2010)
- Concentrazione nei sedimenti lagunari (0-1 cm):  $0,68$ - $9,95 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Acquavita *et al.* 2012)



# Profili di concentrazione del Hg e tassi di sedimentazione ( $^{210}\text{Pb}$ e $^{137}\text{Cs}$ )

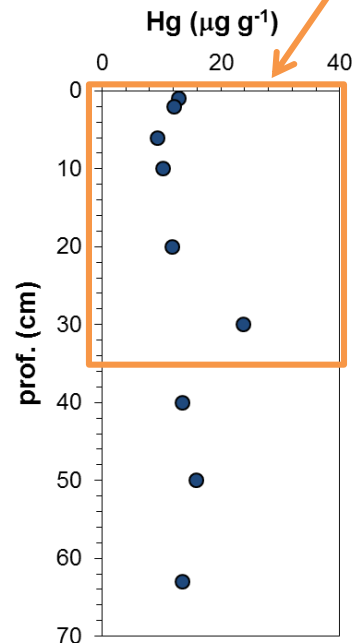


M5B - Marano

## Tassi di sedimentazione

	$S_{^{210}\text{Pb}}$	$S_{^{137}\text{Cs}}$
	$\text{cm y}^{-1}$	$\text{cm y}^{-1}$
0-5 cm	0.41	0.48
> 5 cm	0.24	

(Covelli *et al.*, 2012)



G1B - Is. Barbana

## Tassi di sedimentazione

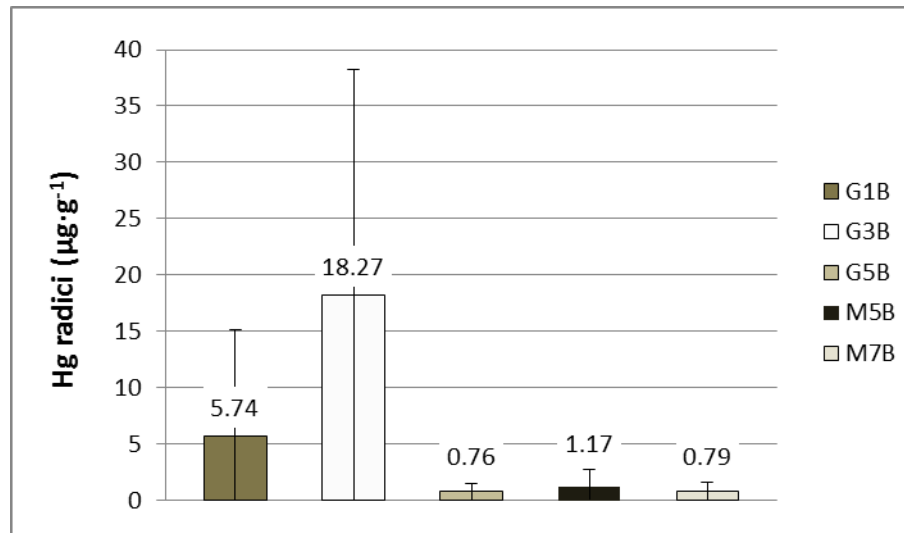
	$S_{^{210}\text{Pb}}$	$S_{^{137}\text{Cs}}$
	$\text{cm y}^{-1}$	$\text{cm y}^{-1}$
0-18.5 cm	0.63	0.74
18.5-25 cm		0.30

# RISULTATI: MERCURIO NELLE ALOFITE

- Le concentrazioni di Hg nelle parti aeree sono contenute ( $< \text{Iod} - 0,14 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e simili per le 3 specie.
- Nelle radici, variabilità più ampia e valori di Hg più elevati (fino a  $122 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

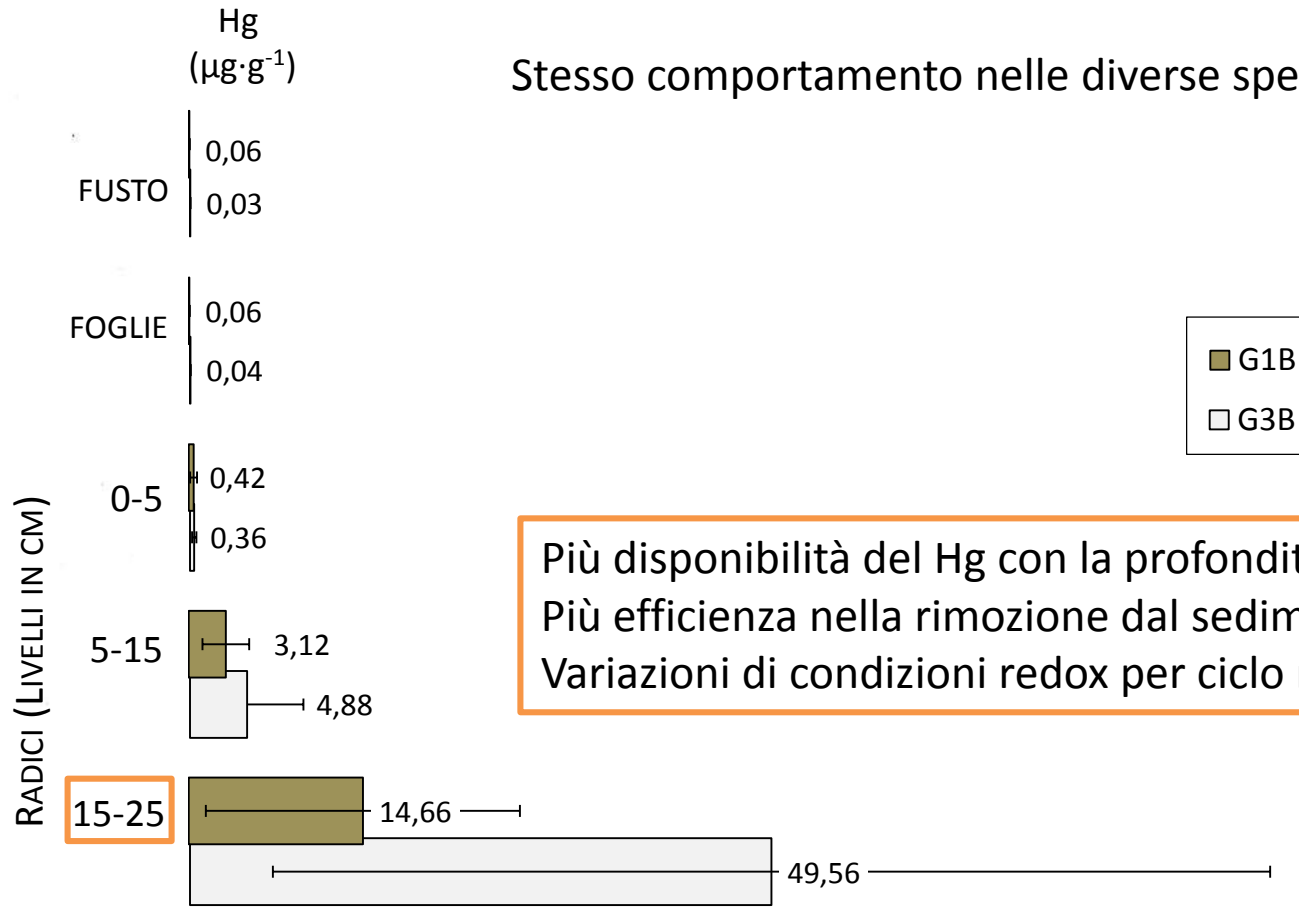
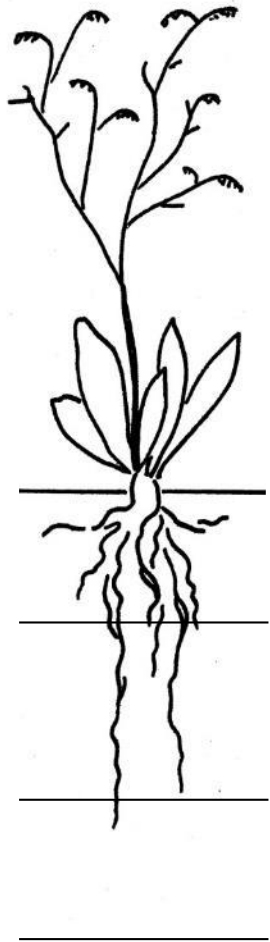


Bassa traslocazione del metallo all'interno della pianta («strategia di tolleranza»)



Contenuto medio di Hg nelle radici di ciascuna barena

# MERCURIO NELLE ALOFITE



Stesso comportamento nelle diverse specie

Più disponibilità del Hg con la profondità ?  
Più efficienza nella rimozione dal sedimento ?  
Variazioni di condizioni redox per ciclo mareale ?

Concentrazione media di Hg in  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  nelle tre specie



# FATTORE DI ARRICCHIMENTO (EF)

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

EF medio (liv. 0-5 cm) = 0,20

EF medio (liv. 5-15 cm) = 0,72

EF medio (liv. 15-25 cm) = 16,73

EF maggiori in G3B, no arricchimento in G5B (Eh sed negativo)!

# FATTORE DI BIOCONCENTRAZIONE (BF)

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

BF medio (fusto/radici) = 0,052

BF medio (foglie/radici) = 0,054

# RISULTATI: MERCURIO NELLE ALOFITE

Percentuali medie di Hg nei diversi organi delle tre specie indagate

<b>specie</b>	<b>% Hg foglie</b>	<b>% Hg fusto</b>	<b>% Hg radici</b>
<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

# RISULTATI: MERCURIO NELLE ALOFITE

- Differenze significative tra siti (ANOVA,  $p < 0,0121$ ), come tra le barene, ma non tra le diverse specie indagate



Le tre specie adottando una «strategia di tolleranza» al mercurio simile e condividono le stesse condizioni ecologiche



1. *Limonium narbonense* Mill.
2. *Sarcocornia fruticosa* (L.) A.J.Scott
3. *Atriplex portulacoides* L.

Barena Le Mandragole (G6B)



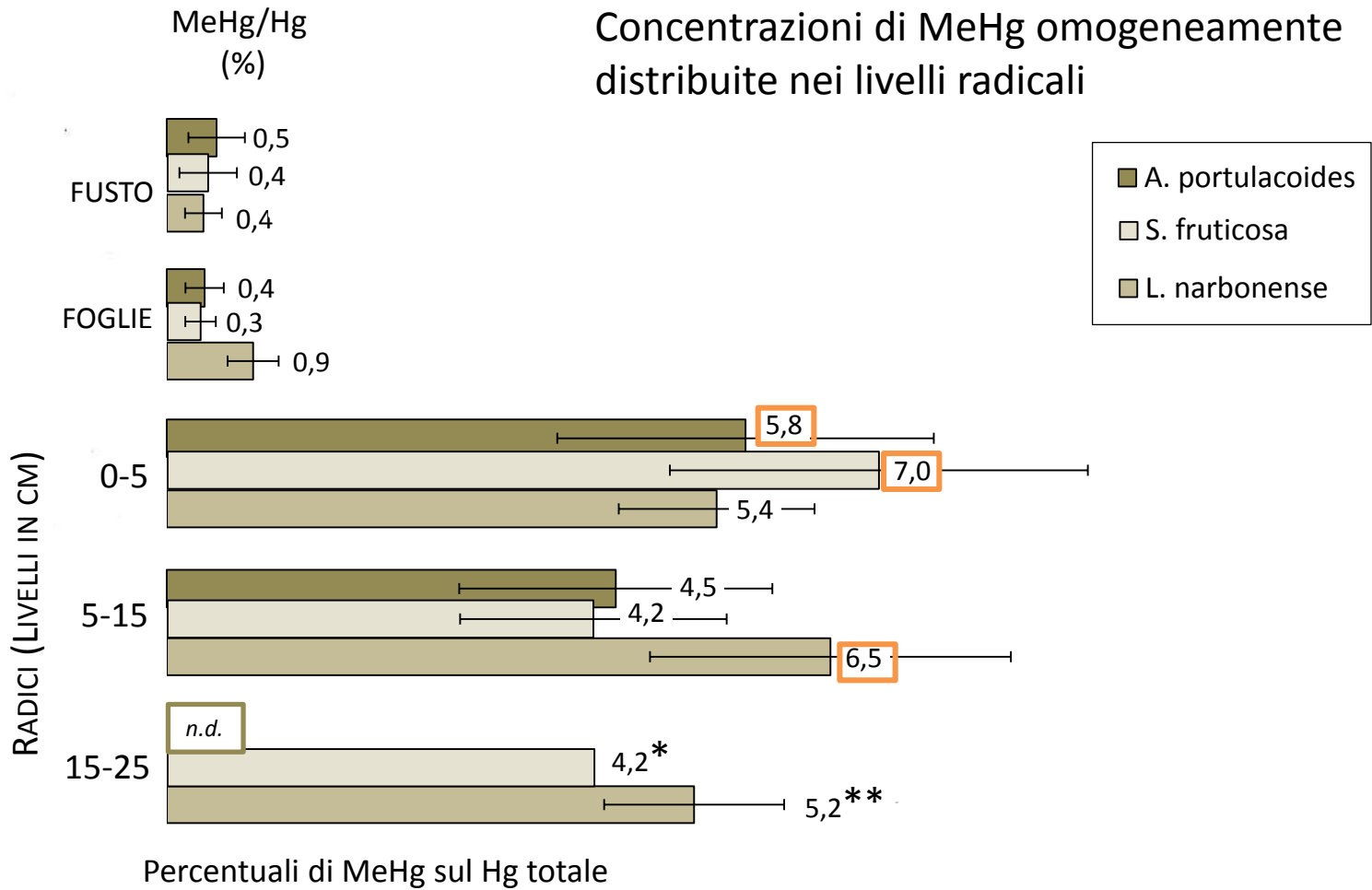
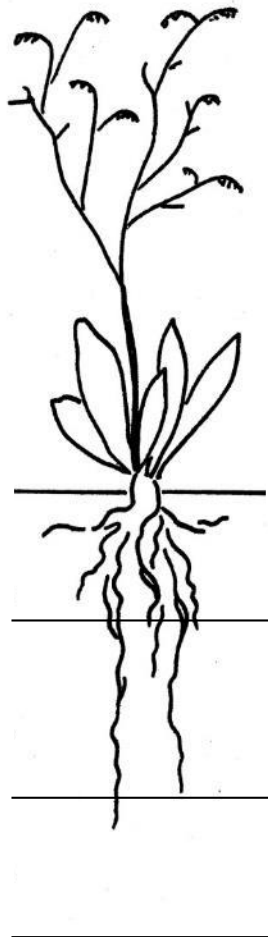
# METILMERCURIO NELLE ALOFITE

- Concentrazioni simili nelle due barene indagate (Is. di Barbana, G1B e Marano, M5B)

MeHg nei vegetali:  
parti aeree: 0,09-0,16 ng·g<sup>-1</sup>  
radici: 0-0,5 µg·g<sup>-1</sup>  
% MeHg nelle radici:  
valore medio: 5,1%  
valore massimo: 10,8%

- Metilmercurio nei sedimenti lagunari: 0,47-7,85 ng·g<sup>-1</sup> (Acquavita *et al.*, 2012)
- Il metilmercurio rappresenta in media lo 0,08% del mercurio totale nel sedimento, fino a valori massimi percentuali pari a 0,31% (Acquavita *et al.*, 2012)

# METILMERCURIO NELLE ALOFITE



\* Misura su un solo campione

\*\* Misura su due campioni



# CONCLUSIONI

- Le concentrazioni di mercurio nel sedimento delle barene confermano il gradiente est-ovest rilevato nei sedimenti intertidali
- Le tre specie vegetali indagate presentano un arricchimento in mercurio nel livello più profondo delle radici
  - Strategia di tolleranza del metallo
- Tutte e tre le specie non traslocano il mercurio alle parti aeree
- Maggior mobilità (e bioaccumulo) del metilmercurio nelle radici ma bassissima traslocazione alle parti aeree
  - interazioni specifiche con tessuti vegetali (lignina dello xilema e strati suberificati)

# PROPOSTE FUTURE

Individuazione di altre specie



*Juncus maritimus* Lam.



*Spartina maritima* (Curtis) Fernald

Analisi del metilmercurio nei sedimenti

Studi sulla speciazione del mercurio ed effetto cicli di marea su condizioni redox e metilazione → «barene sperimentali»



Barena di Canale Belvedere (G3B)

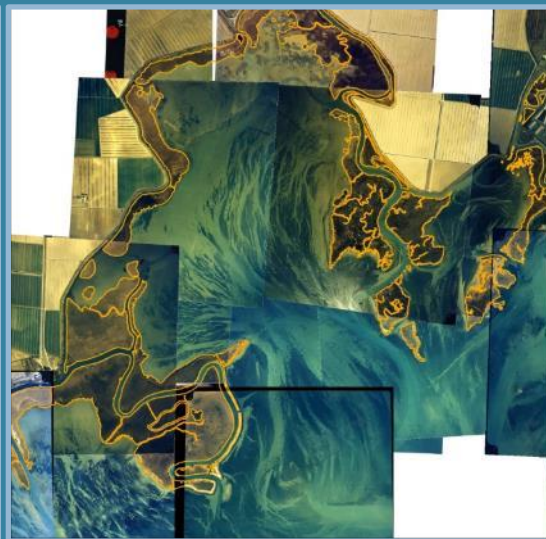


## PARTE II: ANALISI A MACROSCALA

- Vettorializzazione dei contorni delle barene dalle foto aeree 1954, 1990, 2006



1954



1990



2006

# INDIVIDUAZIONE DI TIPOLOGIE EROSIVE / DEPOSIZIONALI

## PARAMETRI MORFOLOGICI E GEOGRAFICI

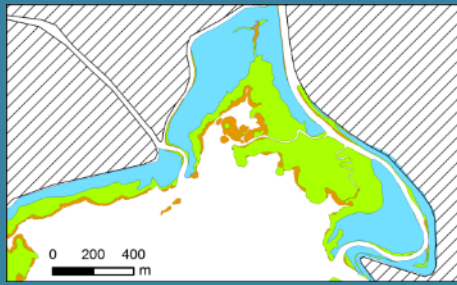
## FORZANTI

- modalità evolutiva (accrescimento arretramento)
- morfologia dei margini in pianta e in sezione
- tipo di vegetazione
- posizione rispetto a elementi morfologici significativi naturali o antropici
- variazione relativa del livello del mare
- moto ondoso generato da vento
- moto ondoso generato dal transito di natanti
- dinamica costiera
- apporto fluviale
- apporto da parte delle correnti di marea

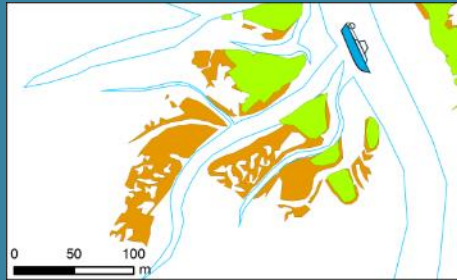


# ACCRESCIIMENTO

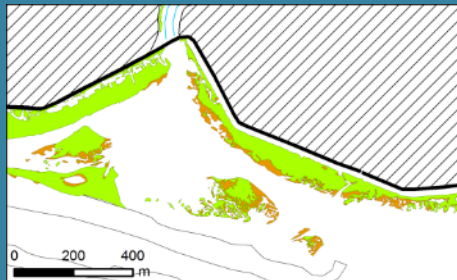
# EROSIONE



**A1 input  
fluviale**



**A2 input  
lagunare**

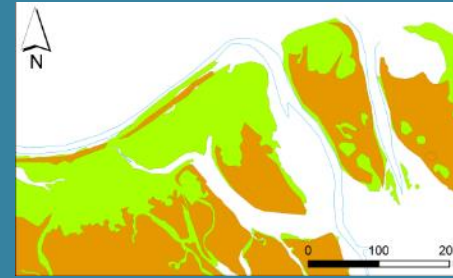


**A3 aree  
paralagunari  
recenti**

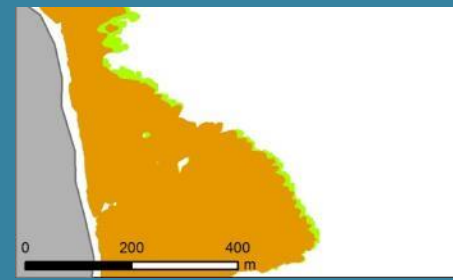


**A4 aree di ex  
valle da pesca**

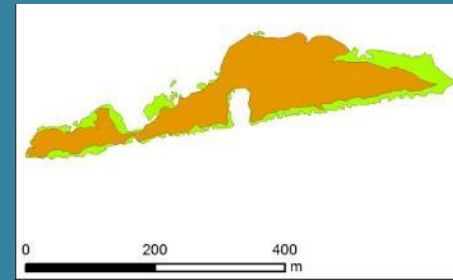
**A5 riporto di sedimenti dragati**



**E1 annegamento**



**E2 moto ondoso**



**E3 moto ondoso  
da natanti**



**E4 dinamica  
costiera**

**E5 interventi antropici diretti**



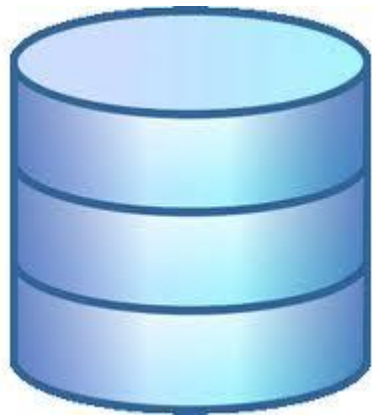
SINGOLA BARENA

↳ GRUPPI DI BARENE

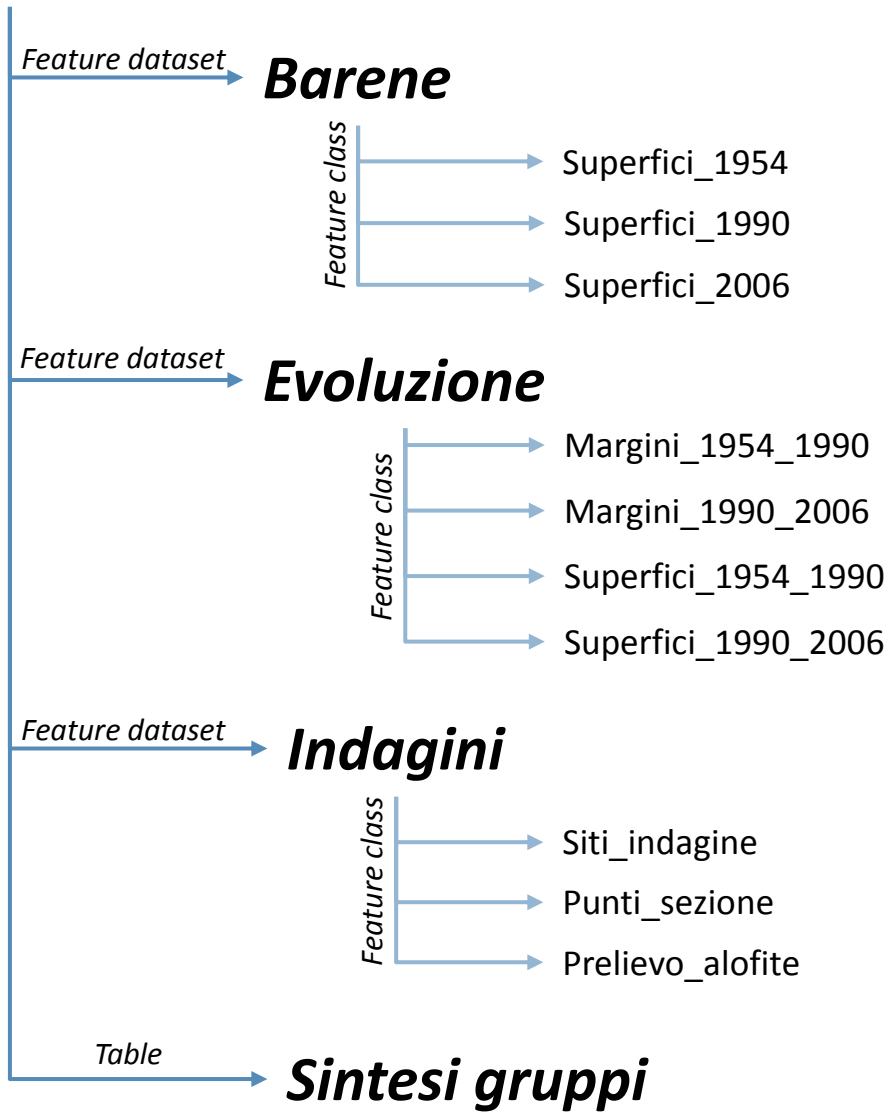
↳ BACINO

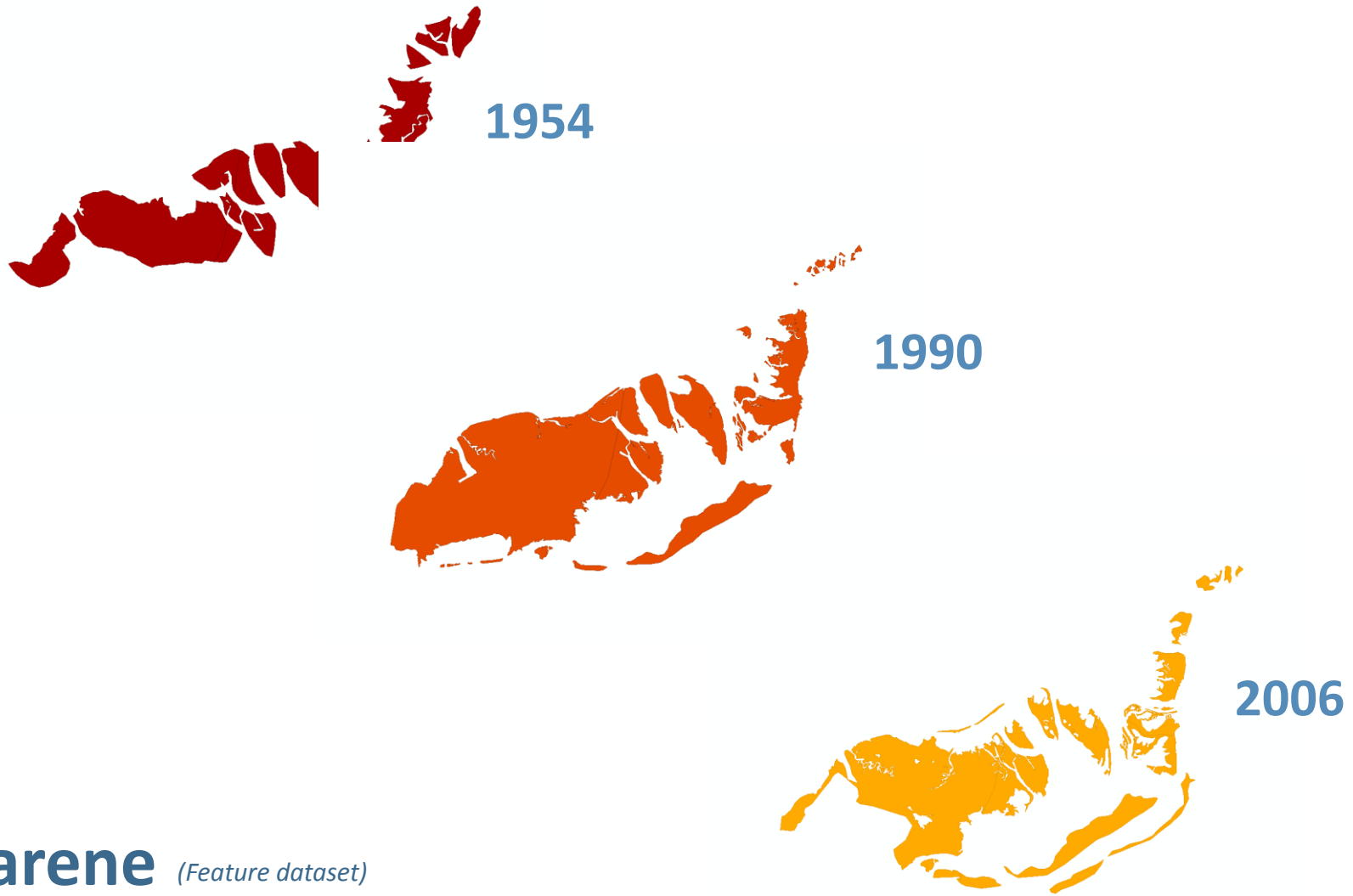
↳ INTERA LAGUNA

## Dinamica Evolutiva Barene.mdb



Personal Geodatabase  
(ESRI ArcGIS)

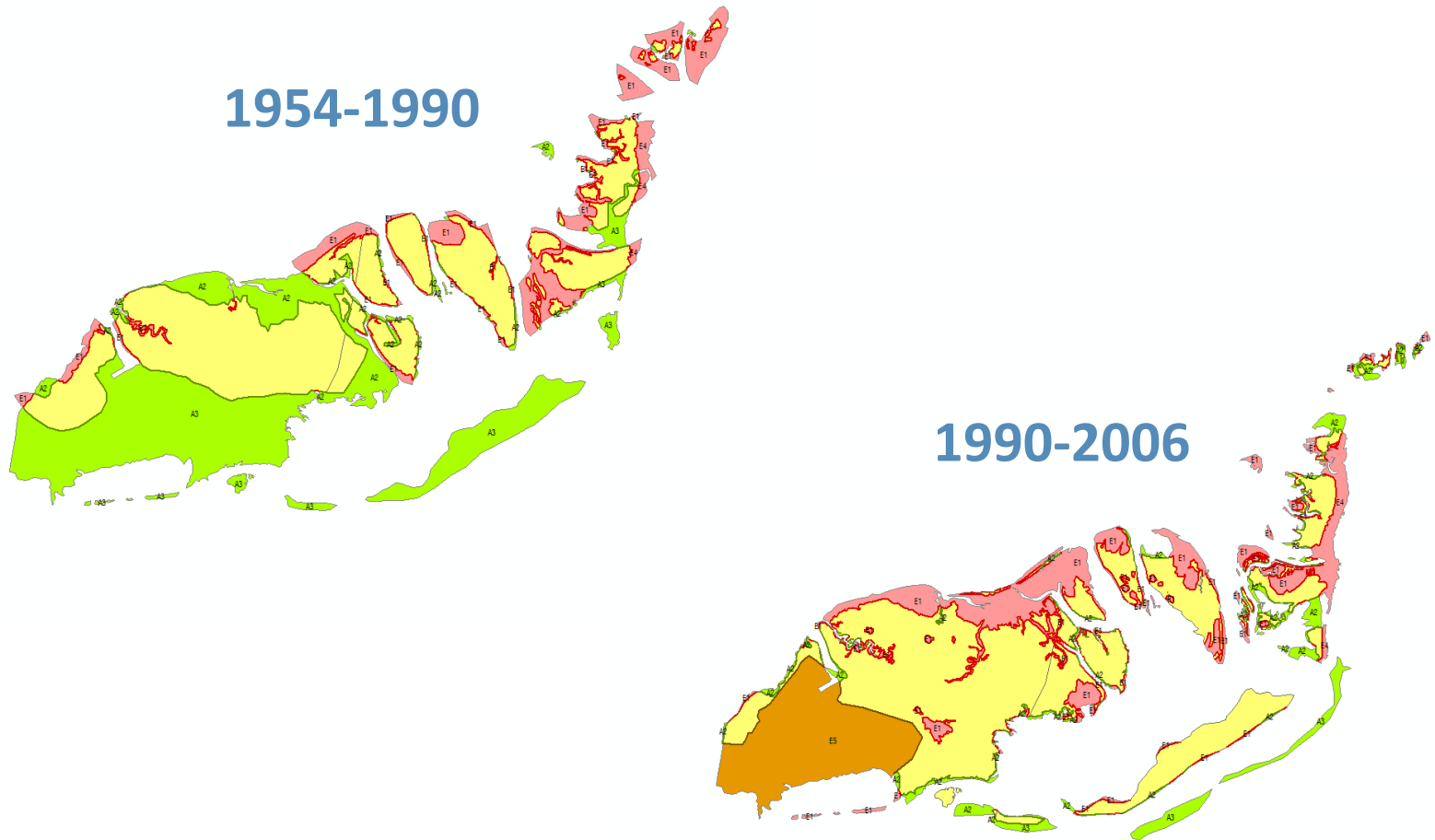




## Barene (Feature dataset)

Raggruppa le *feature class* contenenti la digitalizzazione delle sagome delle barene in diverse soglie storiche

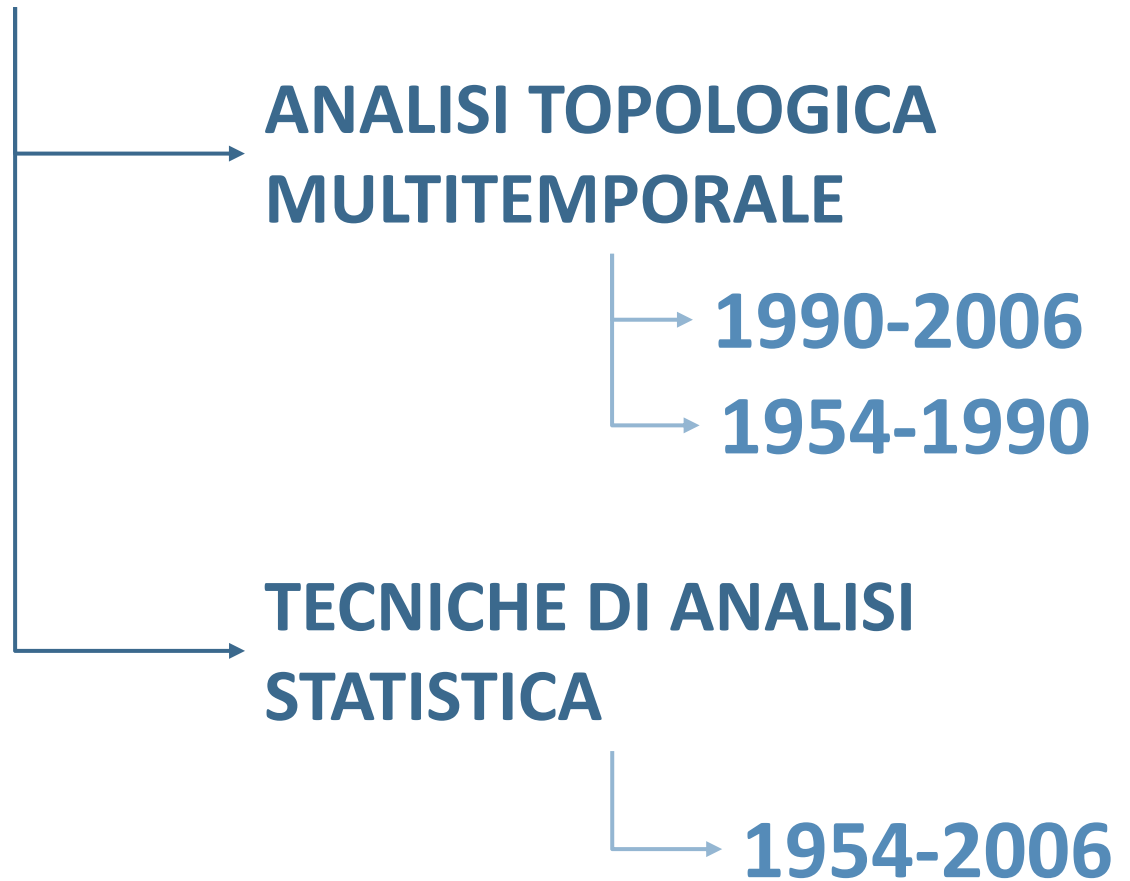




## Evoluzione *(Feature dataset)*

Raggruppa le *feature class* utilizzate per l'analisi quantitativa 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

## *Analisi quantitativa delle dinamiche evolutive*



## ANALISI TOPOLOGICA MULTITEMPORALE

L'analisi delle **relazioni reciproche** esistenti tra le entità geometriche (barene e porzioni di barene) nello **spazio** e nel **tempo**.

**SPAZIO**



rapporti di connessione, adiacenza, inclusione, continuità, intersezione o incidenza

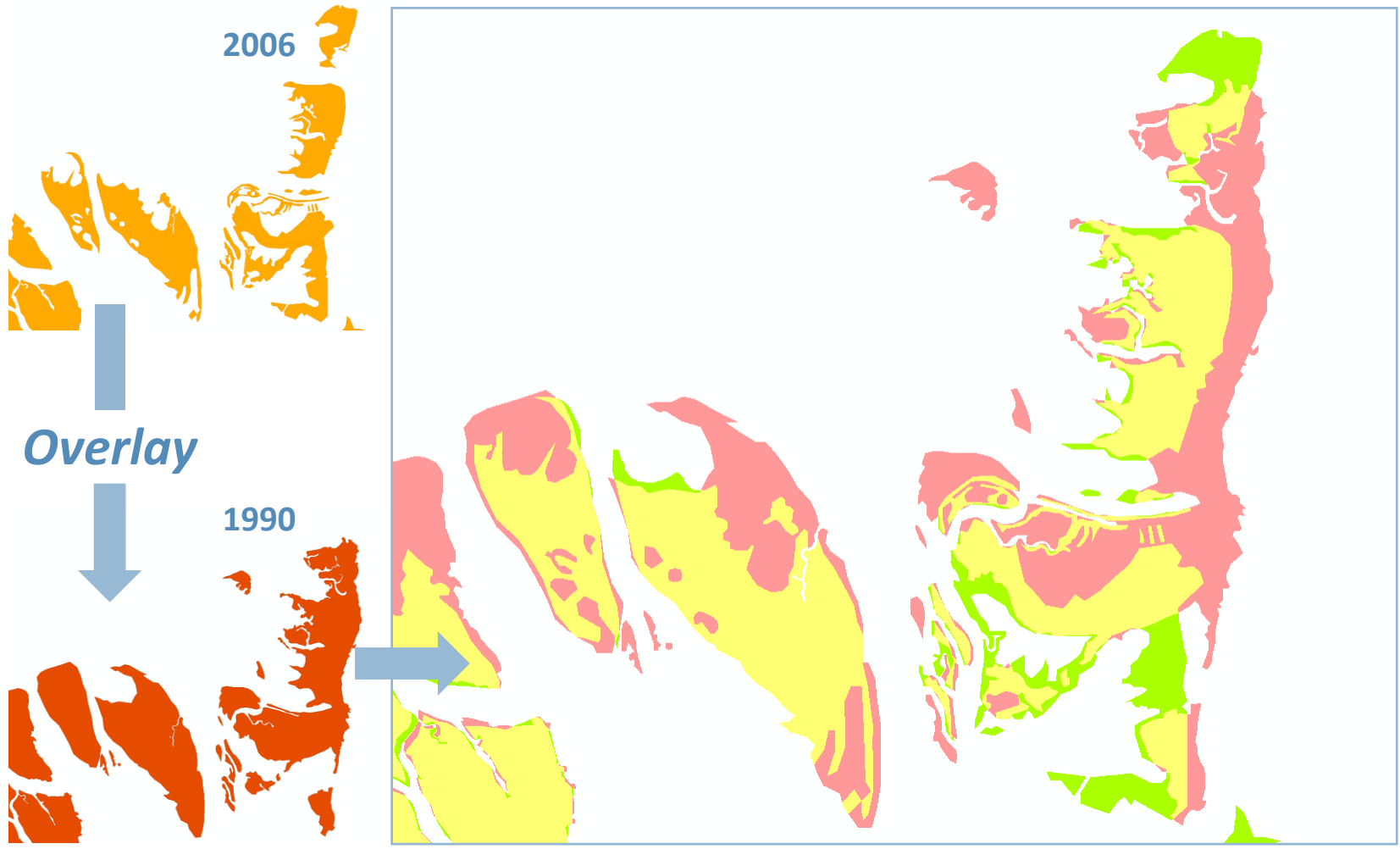
**TEMPO**



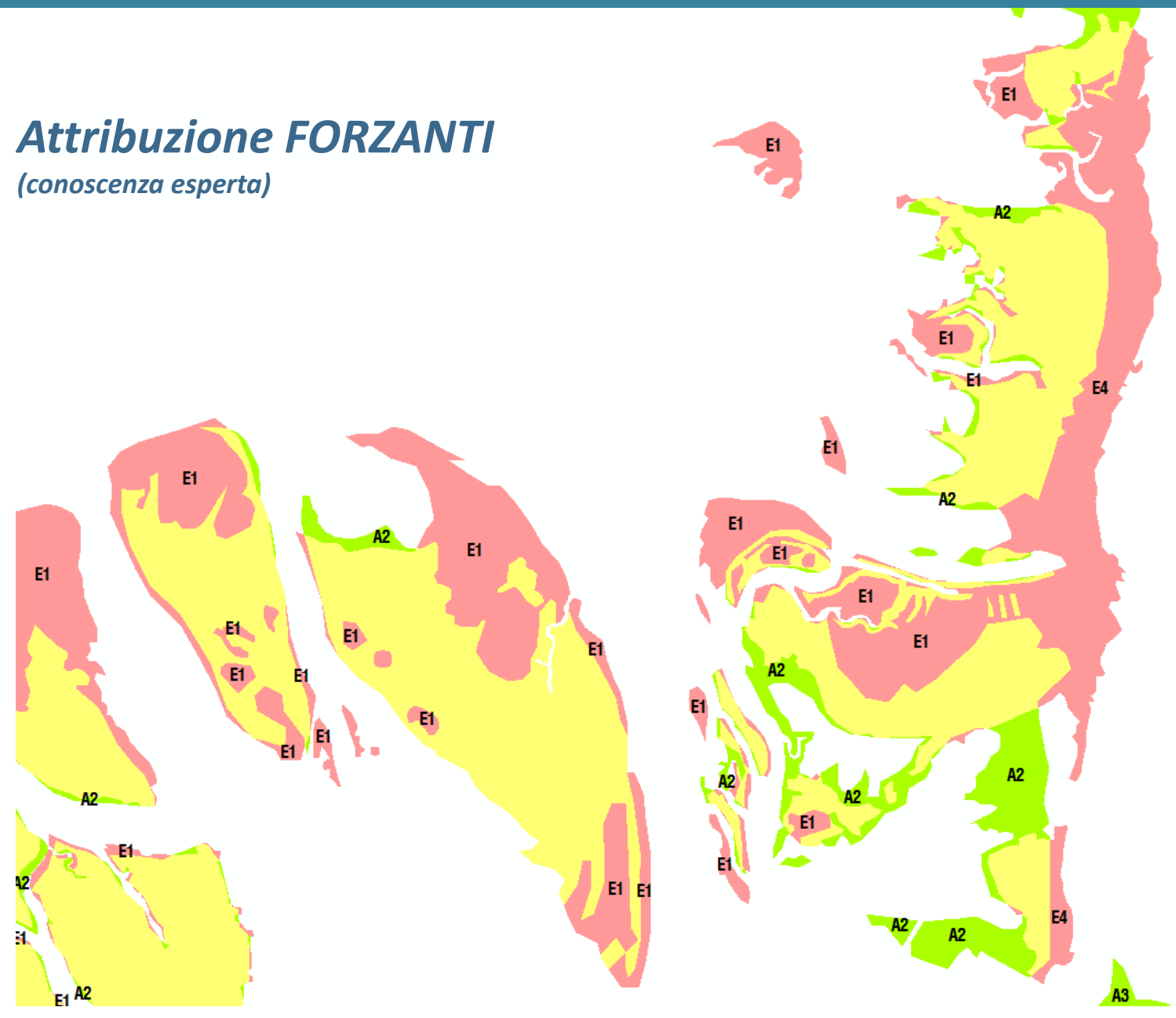
Trasformazione o stabilità



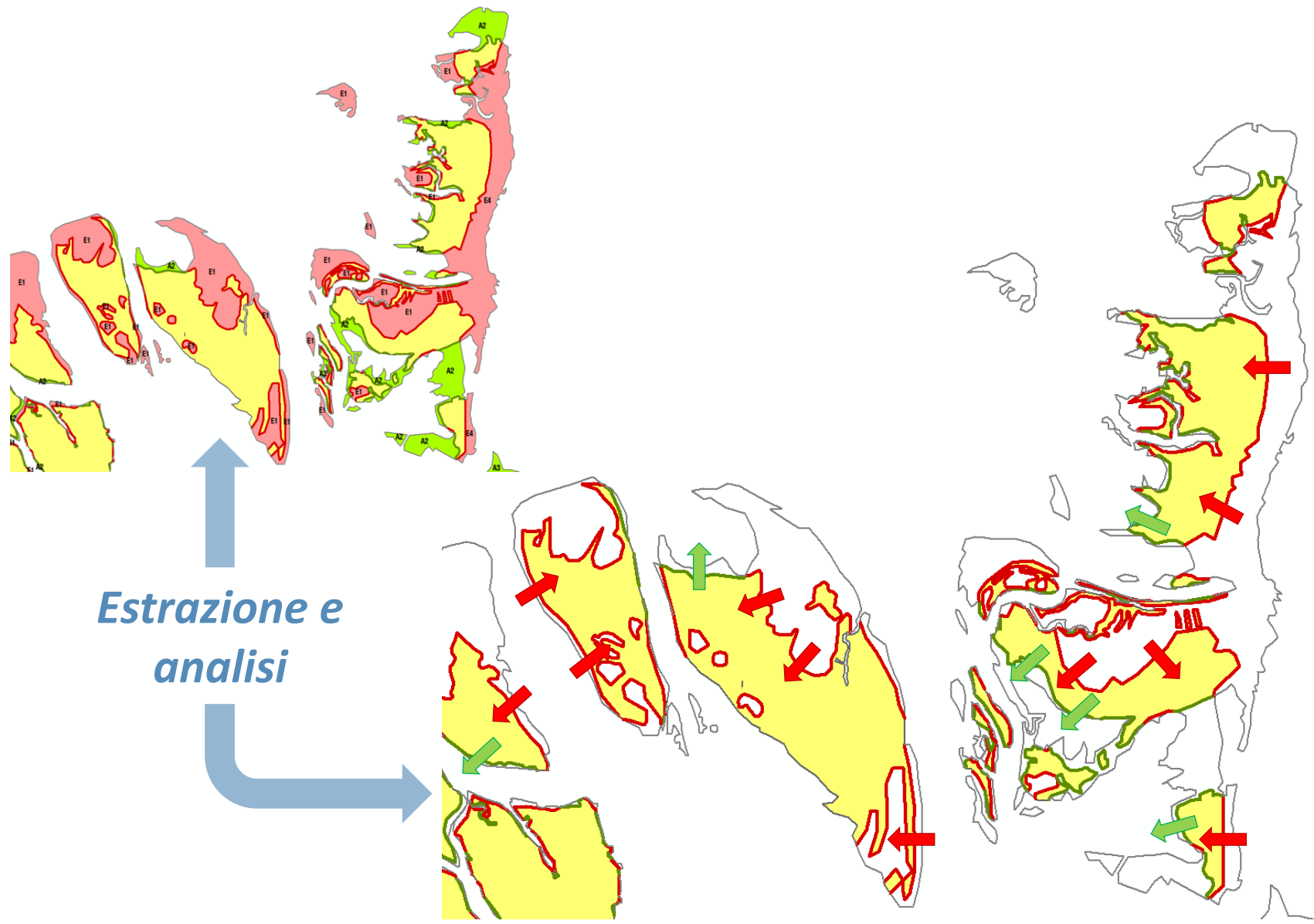
### *Analisi topologica multitemporale delle SUPERFICI*



## Attribuzione FORZANTI *(conoscenza esperta)*



## Analisi topologica multitemporale dei MARGINI





# I DATI E LA LORO STRUTTURA

## Indagini (Feature dataset)

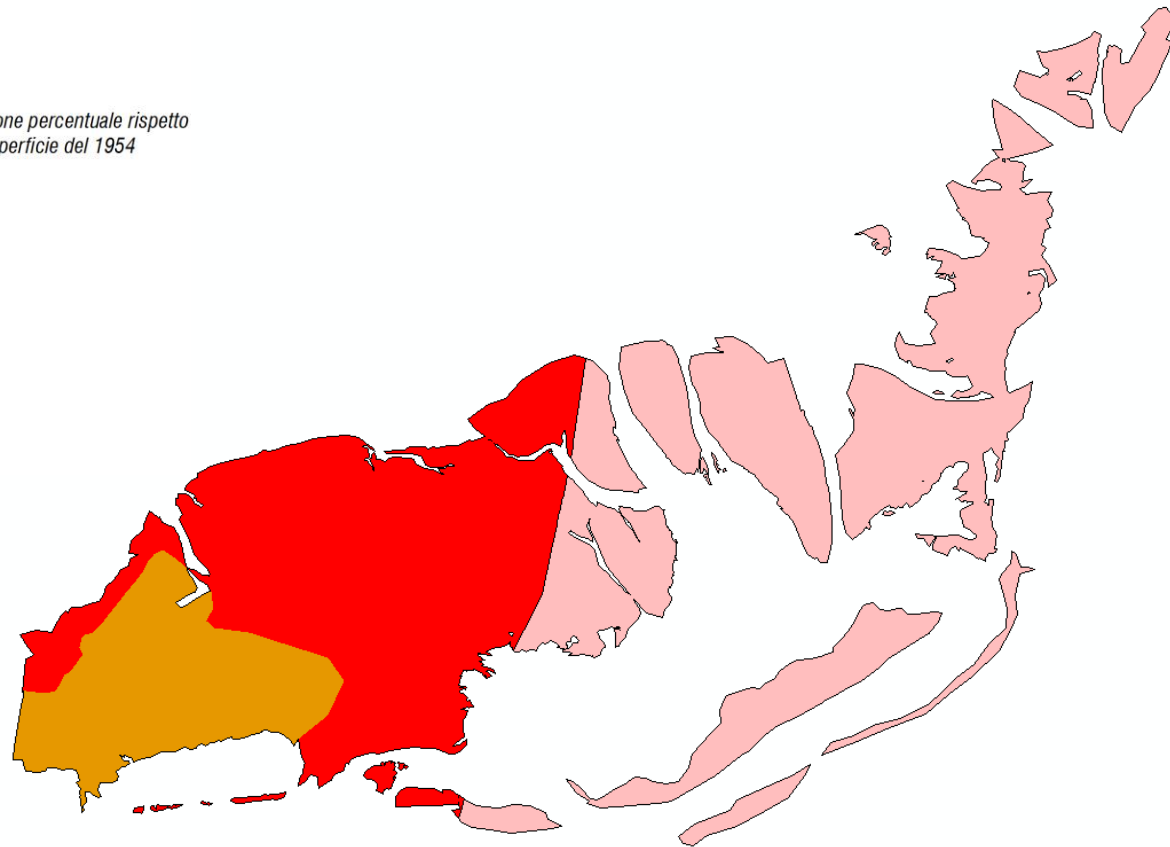
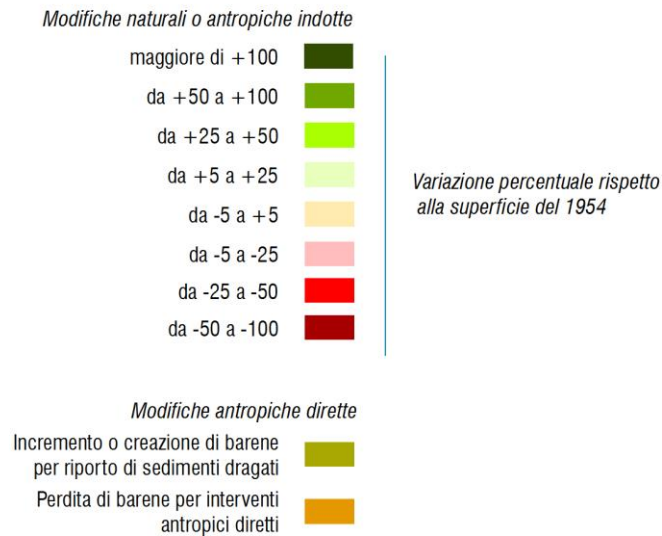
Raggruppa le *feature class* relative ai rilievi topografici delle sezioni delle barene ed alla localizzazione dei punti di prelievo delle alofite



## Sintesi gruppi (Table)

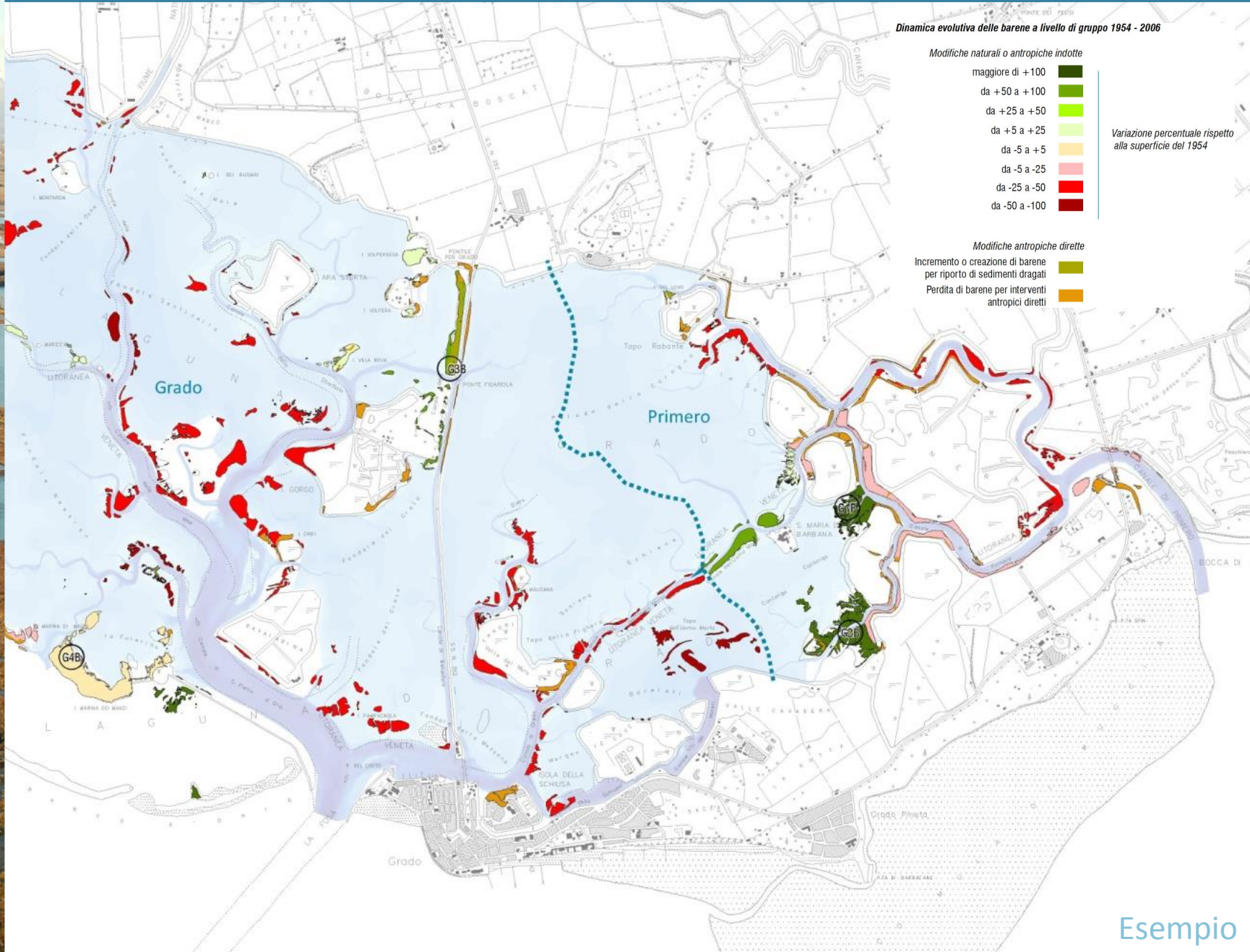
Tabella di sintesi dei principali indicatori utilizzati per il calcolo del bilancio evolutivo a livello di gruppi di barene.

### Dinamica evolutiva delle barene a livello di gruppo 1954 - 2006



# I DATI E LA LORO STRUTTURA

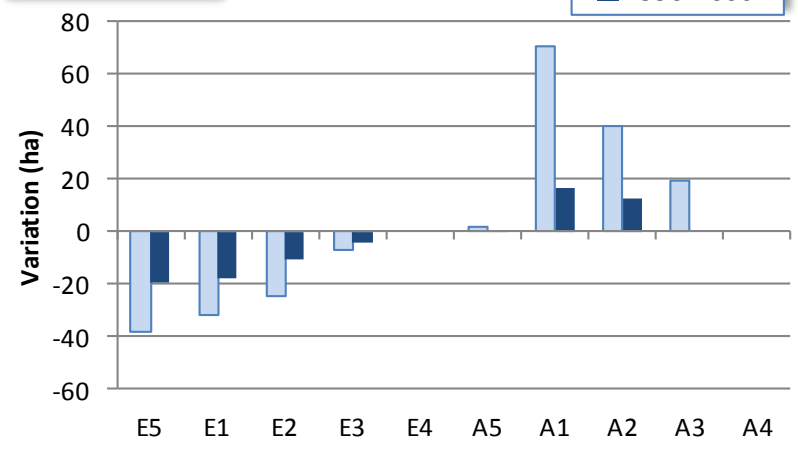
# Sintesi gruppi (Table)



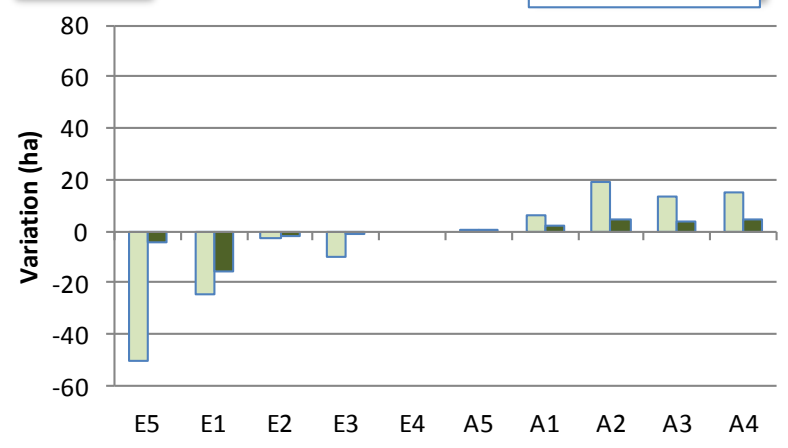


# BILANCIO DEI BACINI

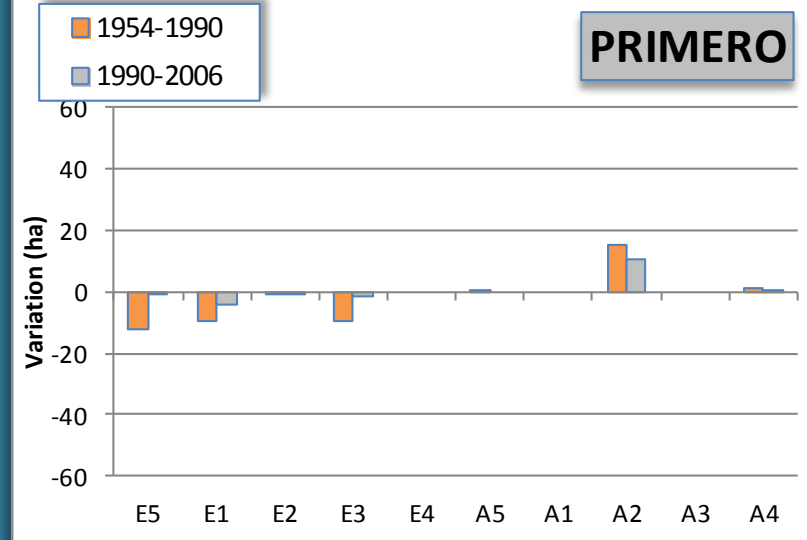
## LIGNANO



## BUSO

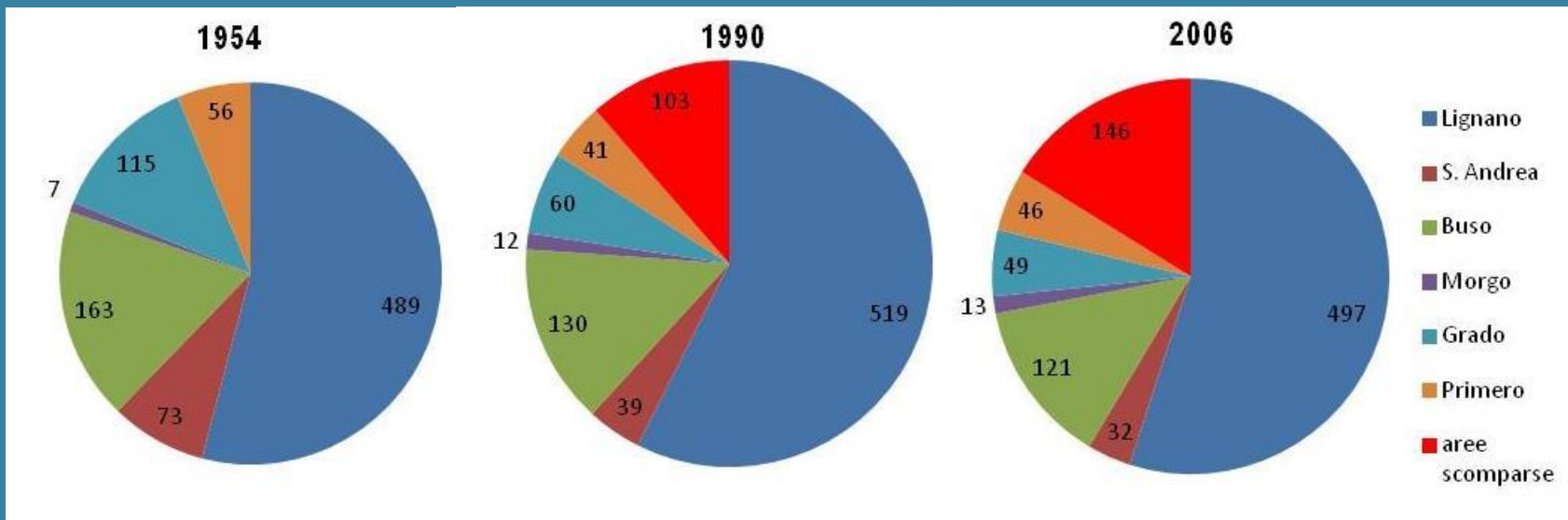


## PRIMERO





## Evoluzione delle barene



904 ha

-16%

760 ha

# ASPETTI GESTIONALI: CONSIDERAZIONI DI BASE

- LA LAGUNA È IN FASE DI ANNEGAMENTO
- LE BARENE NON SONO TUTTE UGUALI
- GLI INTERVENTI ANTROPICI DIRETTI GIOCANO UN RUOLO DI PRIMO PIANO
- CONVIVONO DIFFERENTI PROCESSI EROSIVI E DEPOSIZIONALI
- COMPLESSITÀ MORFOLOGICA DEI BACINI
- BARENE DI ORIGINE ANTROPICA

# STRATEGIE D'INTERVENTO

- DO NOTHING
- FAVORIRE LA SEDIMENTAZIONE
- AUMENTARE LA DISPONIBILITÀ DI SEDIMENTO
- PROTEGGERE I MARGINI



# INDIVIDUAZIONE CRITICITÀ ED ELEMENTI DI FORZA

- CRONICITÀ DEL FENOMENO EROSIVO
- INTENSITÀ DEL FENOMENO EROSIVO
- PRESENZA DI AREE DEPOSIZIONALI
- INDIVIDUAZIONE DELLA TIPOLOGIA EROSIVO DEPOSIZIONALE
- INDIVIDUAZIONE DELLA TIPOLOGIA DEI MARGINI
- GRADI DI LIBERTÀ DEL SISTEMA
- BATIMETRIA DELLE AREE ADIACENTI



# STRATEGIE D'INTERVENTO E TIPOLOGIE EROSIVE

Tipologia erosiva	Strategie	Tecniche possibili
E1 annegamento	<ul style="list-style-type: none"><li>- Do nothing</li><li>- Aumentare la disponibilità di sedimento</li><li>- Favorire la sedimentazione locale</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ricarica di sedimento diretta o indiretta in aree adiacenti</li><li>- Protezioni distaccate con creazione di aree ad "acque calme"</li><li>- Piantumazioni</li></ul>
E2 onde da vento	<ul style="list-style-type: none"><li>- Do nothing</li><li>- Proteggere i margini dal moto ondoso diretto</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lasciare migrare la barena</li><li>- Protezioni in aderenza</li><li>- Protezione distaccate con creazione di aree ad "acque calme"</li><li>- Protezioni soffolte</li><li>- Protezioni soft</li></ul>
E3 onde da natanti	<ul style="list-style-type: none"><li>- Do nothing</li><li>- Proteggere i margini dal moto ondoso diretto</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lasciare migrare la barena</li><li>- Protezioni in aderenza</li><li>- Protezione distaccate con creazione di aree ad "acque calme"</li><li>- Protezioni "soft" (fascinate, buzzoni)</li></ul>
E4 dinamica costiera	<ul style="list-style-type: none"><li>- Do nothing</li></ul>	
E5 antropico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Impedire lo sviluppo di ulteriori interventi antropici diretti</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vincoli alla pianificazione territoriale</li></ul>

# GRAZIE DELL'ATTENZIONE



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRIESTE  
Dipartimento di Matematica & Geoscienze (DMG)



STUDIO DELLE AREE BARENICOLE DELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO



**Responsabili scientifici:**  
Stefano Covelli  
Giorgio Fontolan

**Gruppo di lavoro:**  
Annelore Bezzi  
Andrea Emili  
Davide Martinucci  
Elisa Pellegrini  
Simone Pillon  
Chiara Popesso