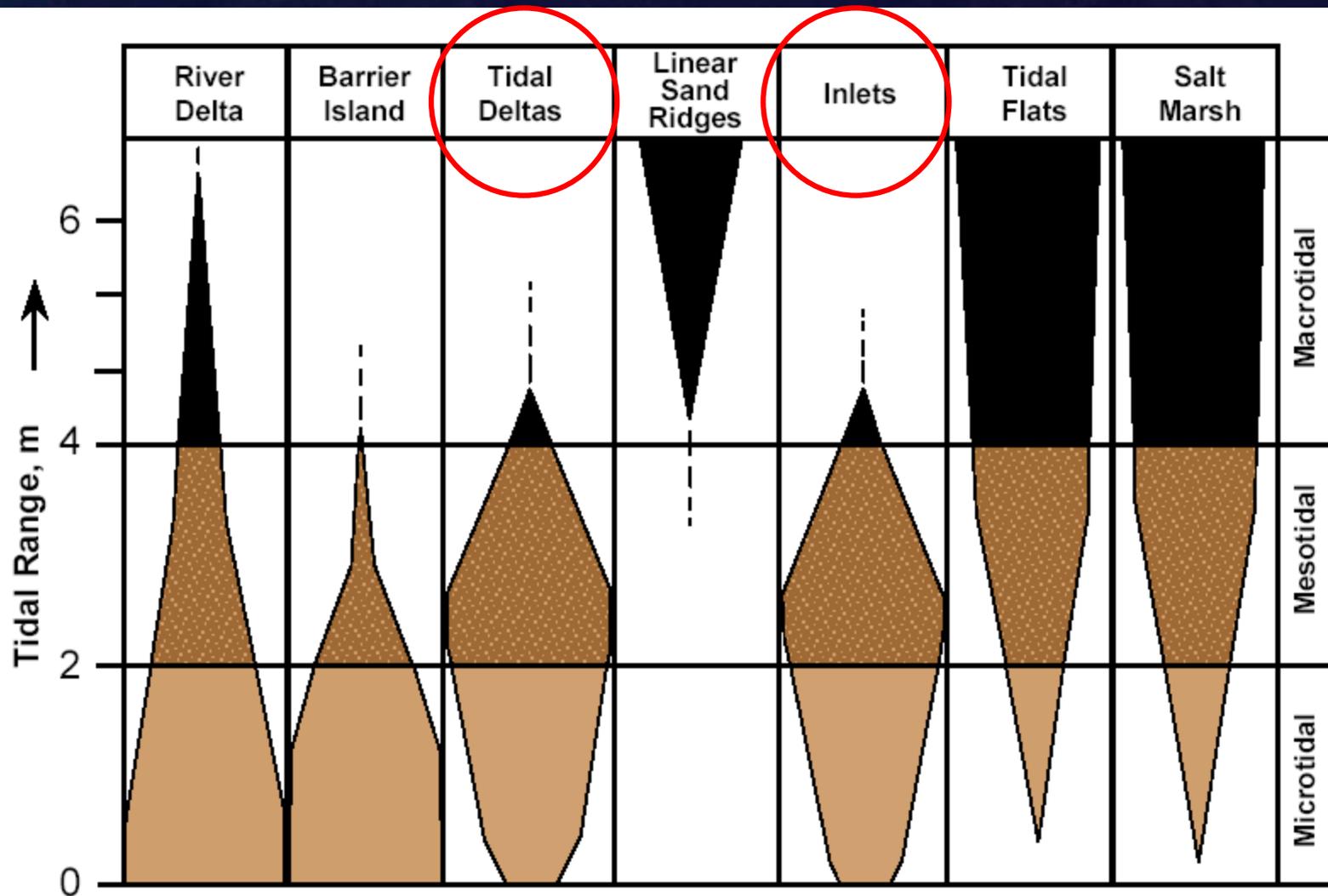


LE BOCCHE TIDALI

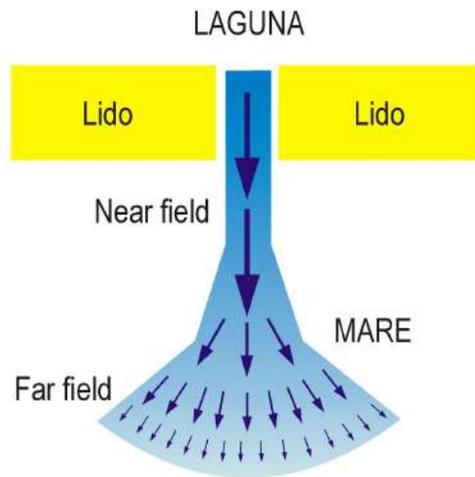




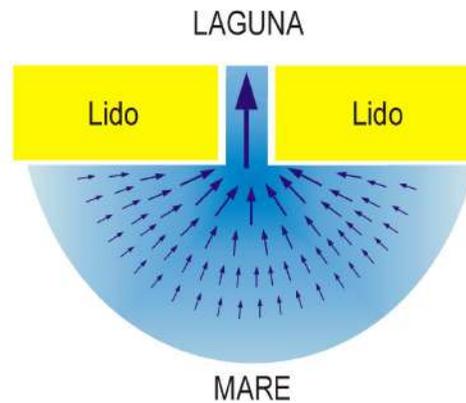
Traditional descriptive classifications based on qualitative observations and tidal range

Caratteristiche idrodinamiche

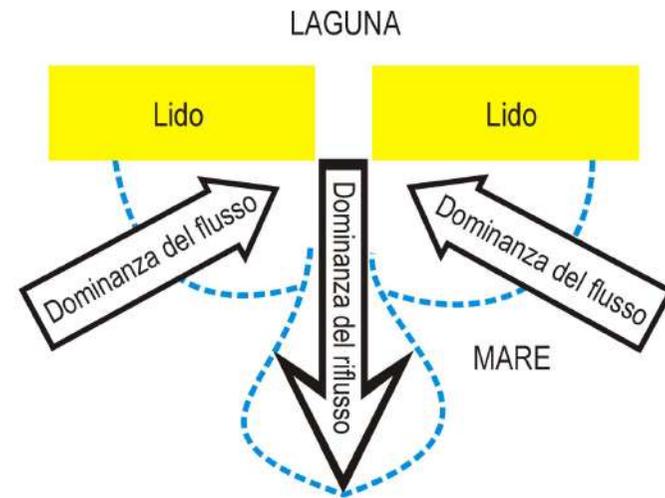
**A. Schema idrodinamico
(marea calante)**



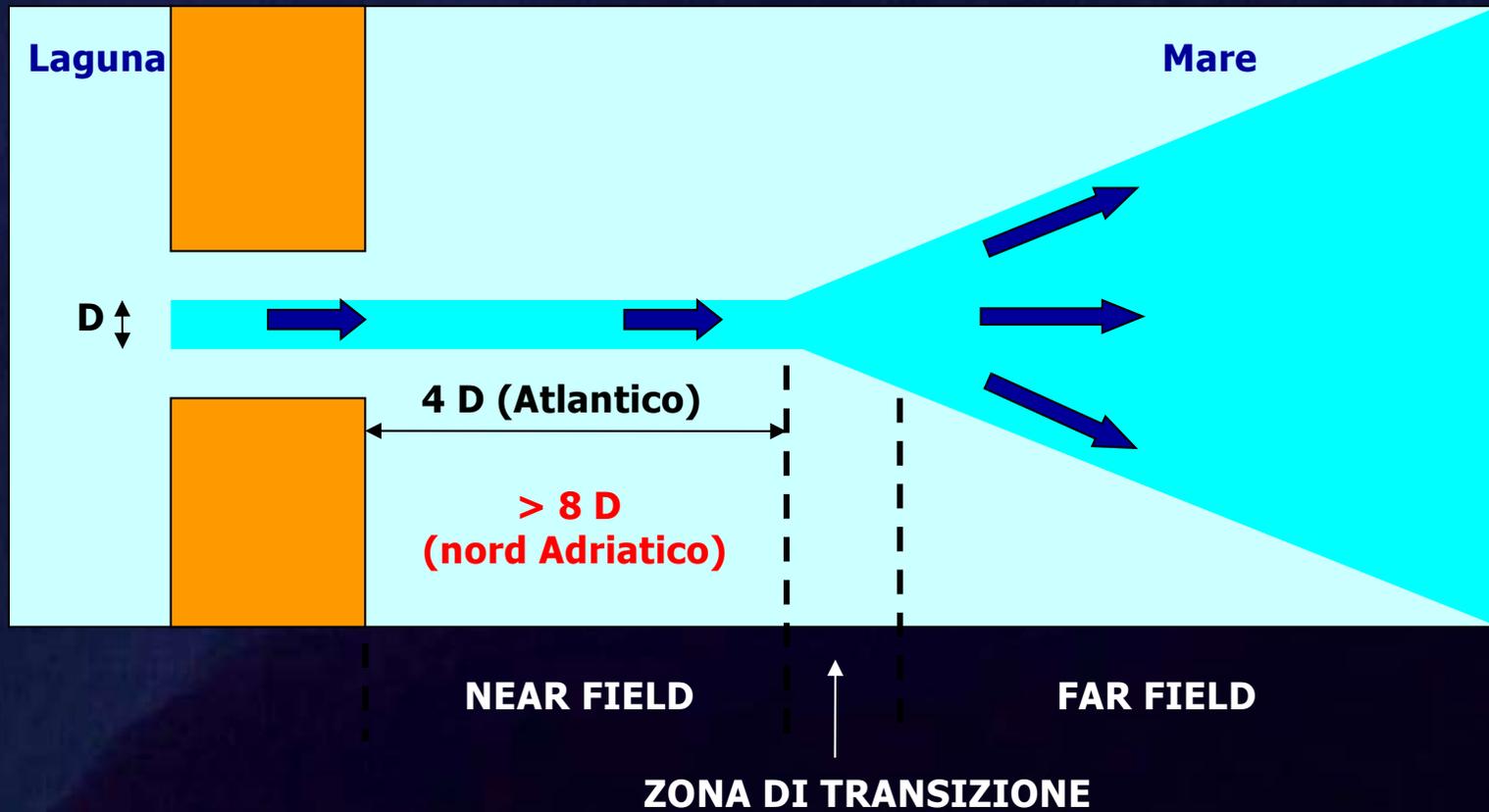
**B. Schema idrodinamico
(marea montante)**

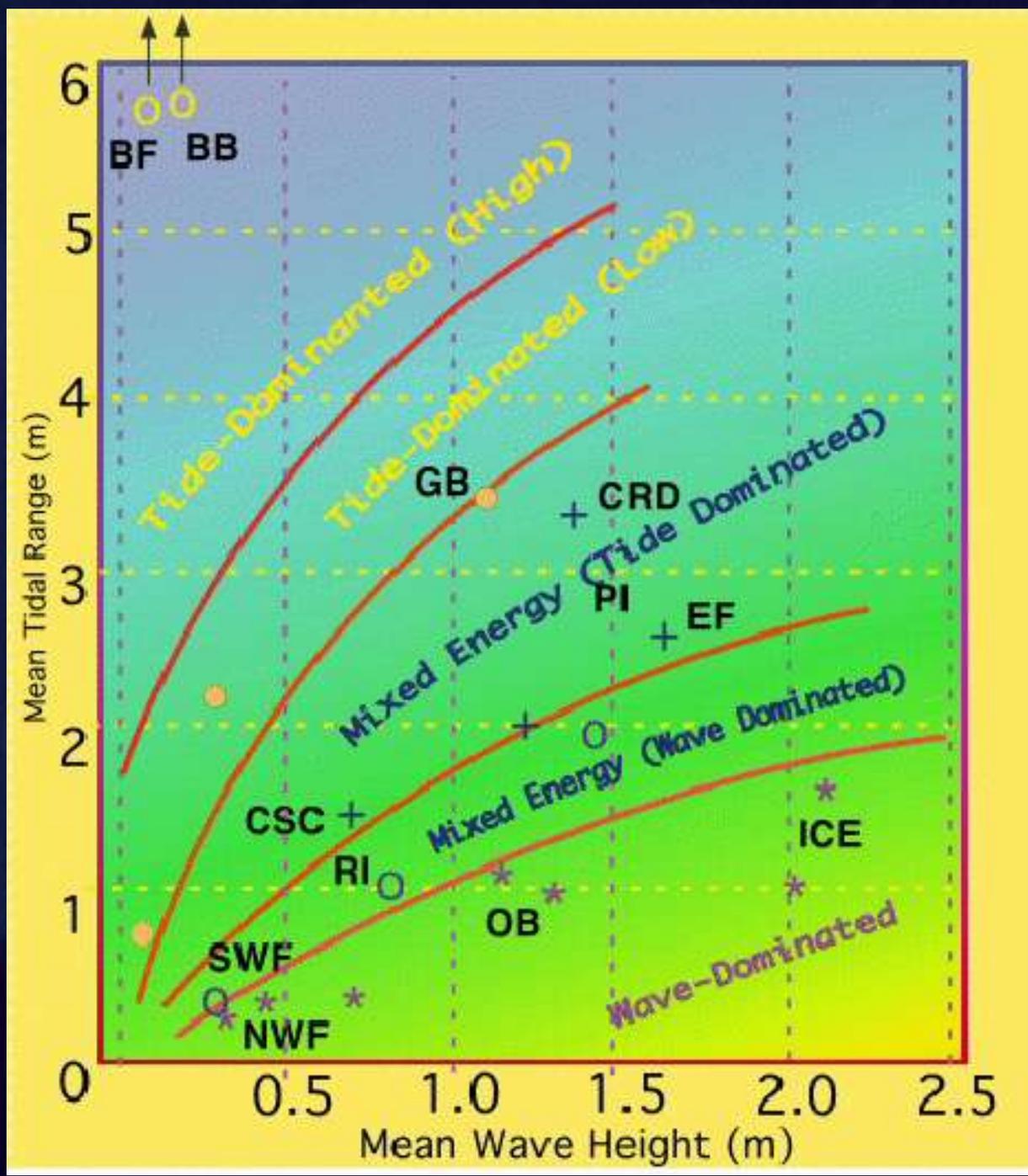


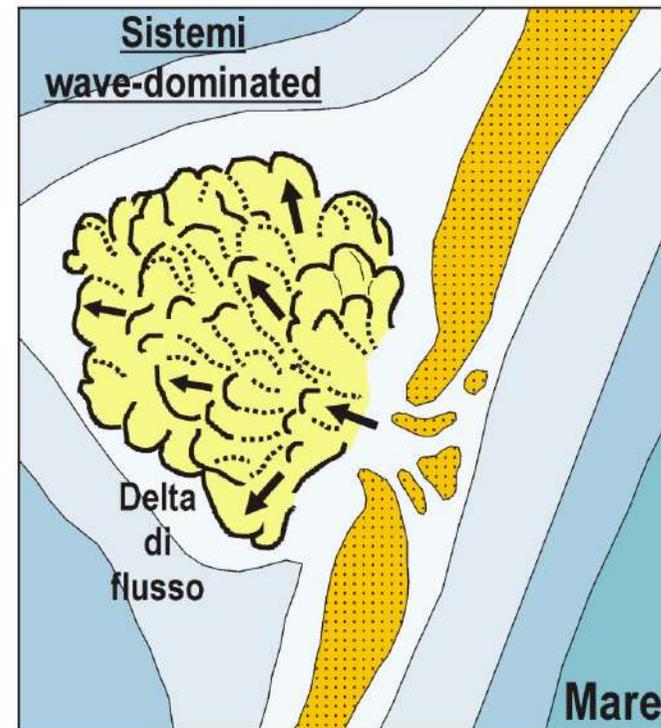
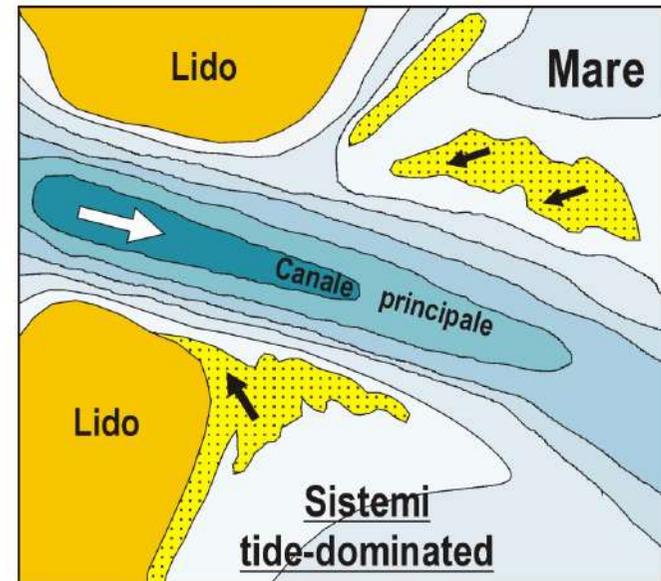
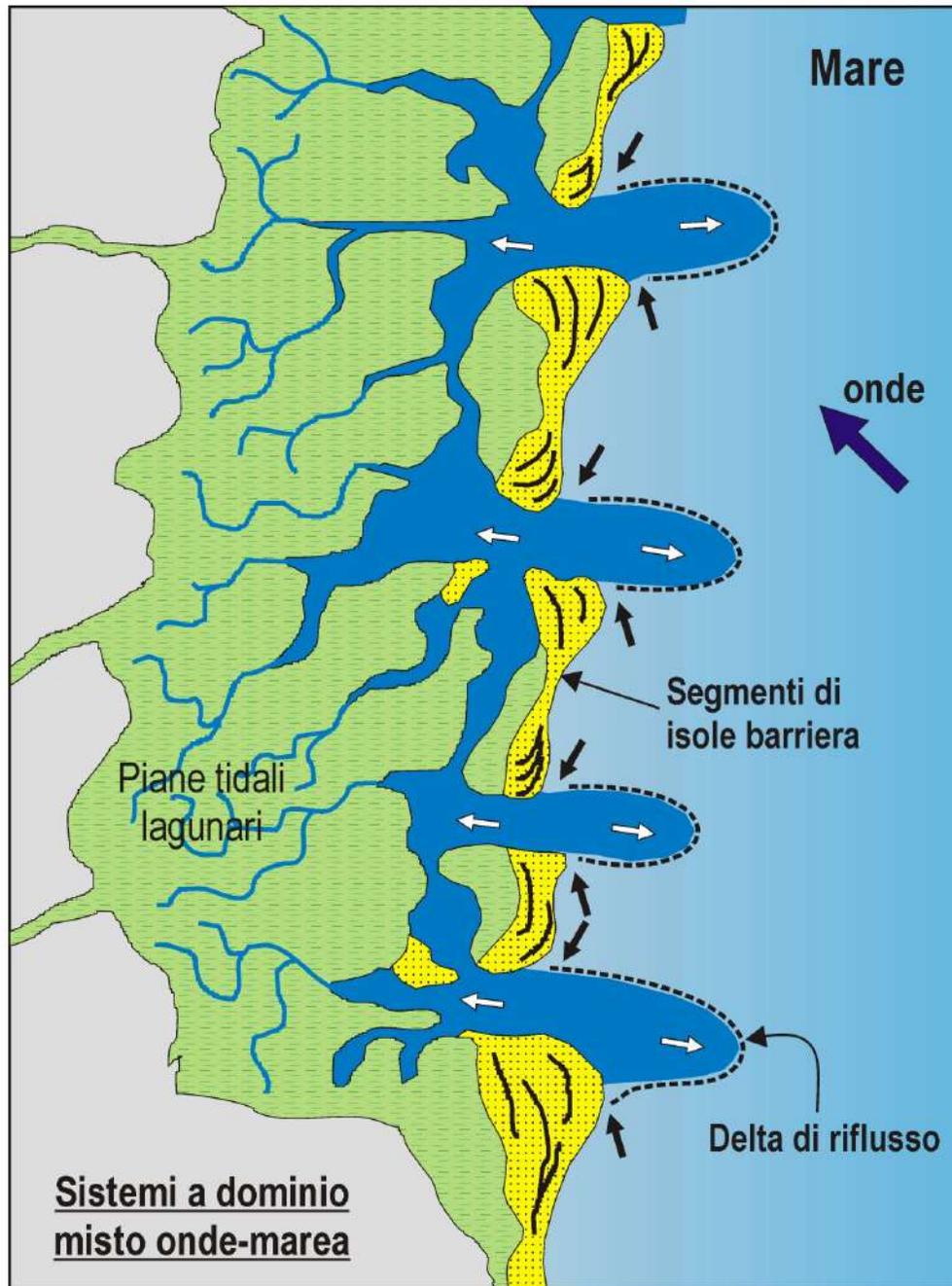
**C. Schema idrodinamico composito
(flusso-riflusso)**



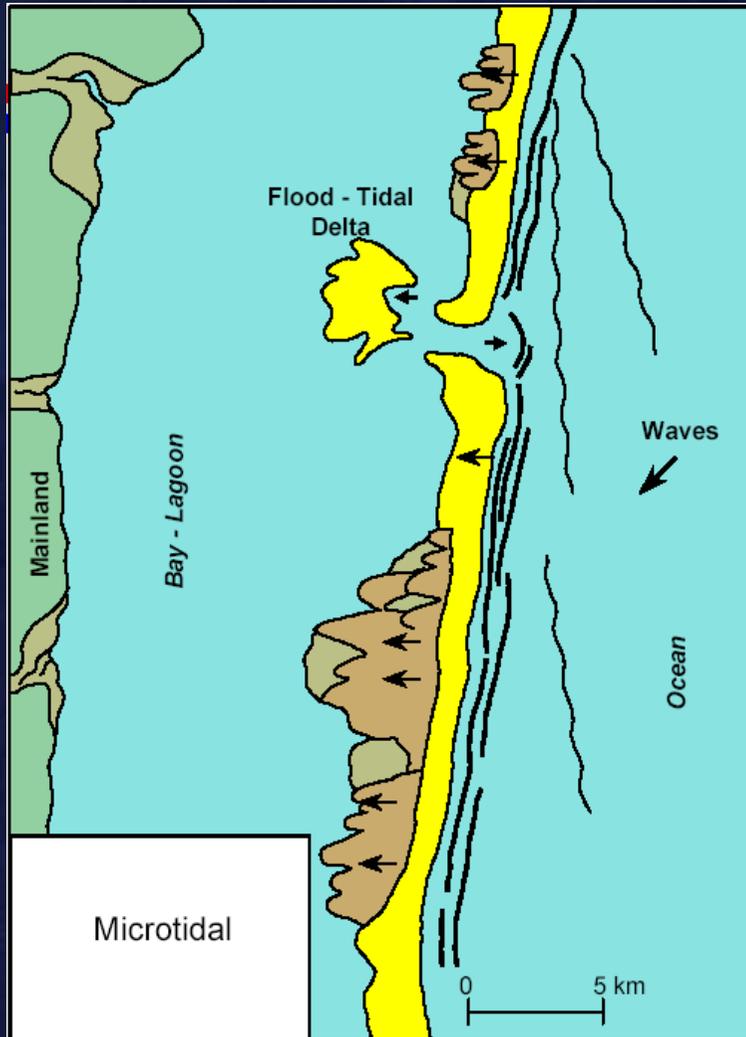
SCHEMA DELL'AREA DI BOCCA E DELLE DIVERSE ZONE DEL FLUSSO







DOMINIO MICROTIDALE



Caratteristiche morfologiche

- lidi lineari e stretti
- sistemi "aperti" baia-laguna
- piane tidali e barene irregolari
- frequenti washover durante le mareggiate
- formazione di brecce durante le mareggiate
- migrazione delle bocche non stabilizzate
- accumuli flood intertidali
- accumuli ebb sommersi
- accumuli lineari generati dalla bocca

*Shinnecock Inlet,
September 2000*

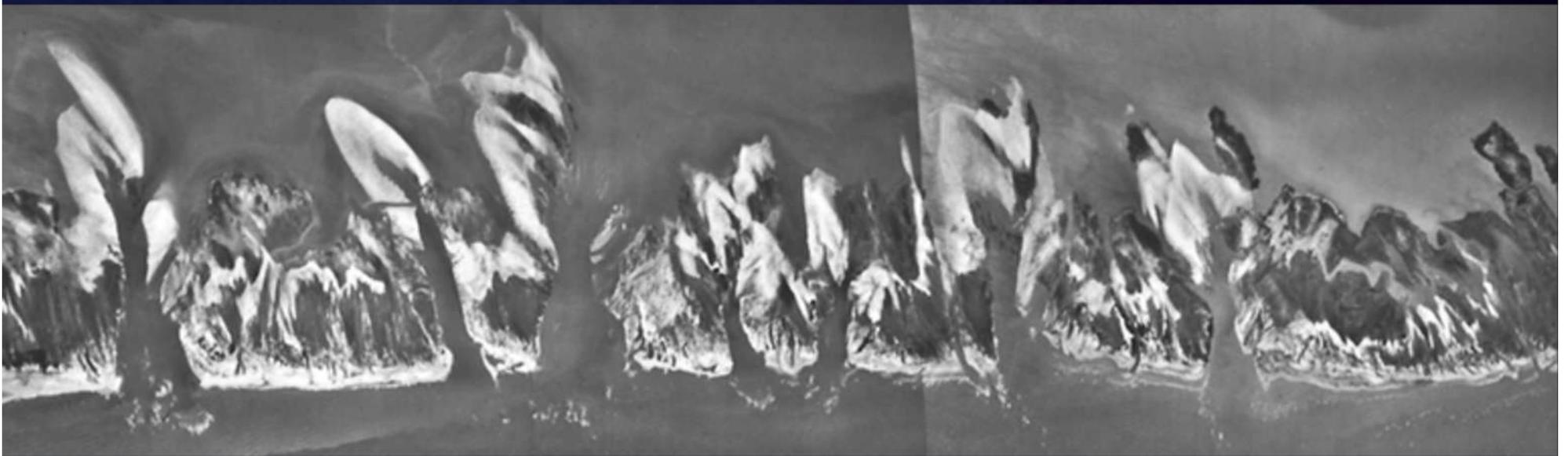
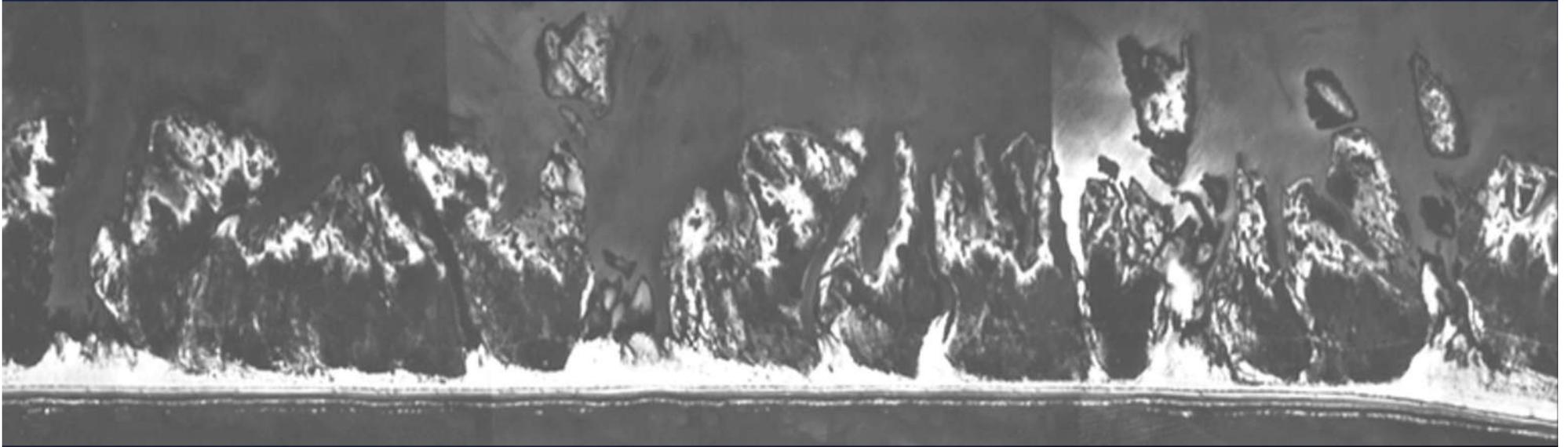


*Shinnecock Inlet,
September 1938*





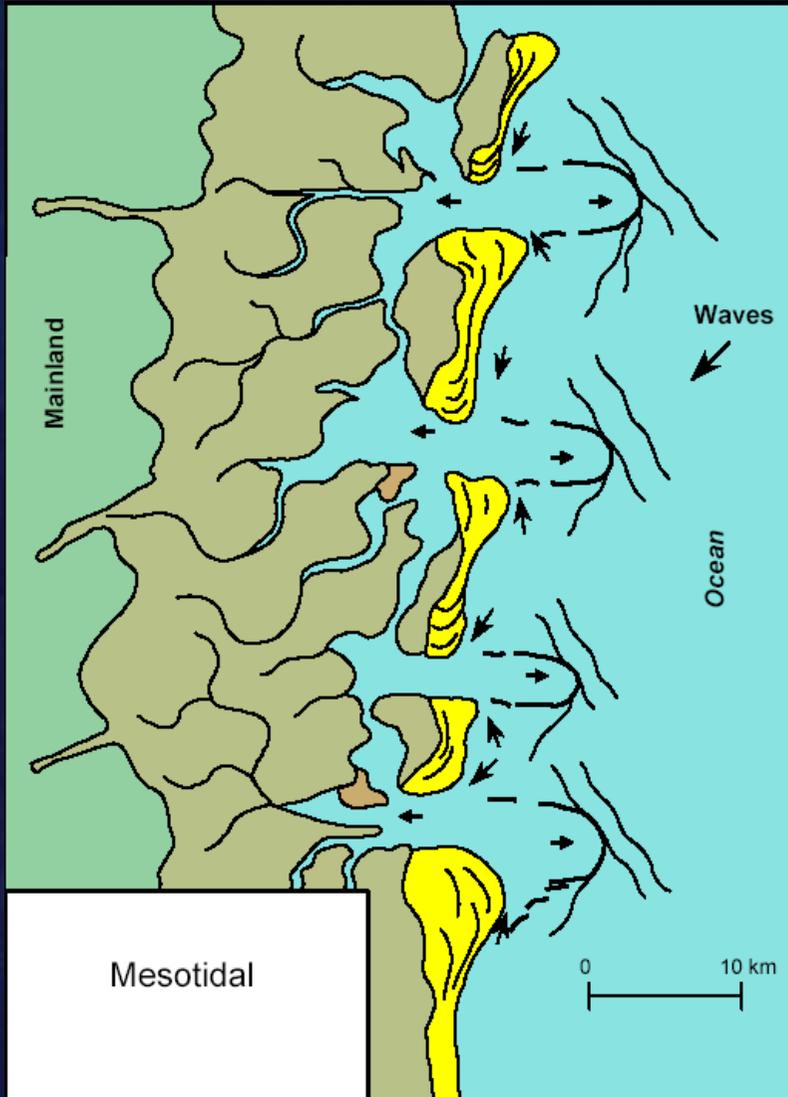
Esempio di formazione di brecce e washover dopo un uragano
Matagorda Island, Texas



Breccia in occlusione e washover multipli
Delta del Po



DOMINIO MESOTIDALE



Caratteristiche morfologiche

- ampie barriere a beach ridge
- piane tidali e barene ben sviluppate
- bocche profonde e fisse
- progradazione verso mare delle barriere
- bassifondi da sorgenti interne
- ampi volumi di ebb delta
- minimi volumi di flood delta
- by-pass sedimentario all'esterno del delta

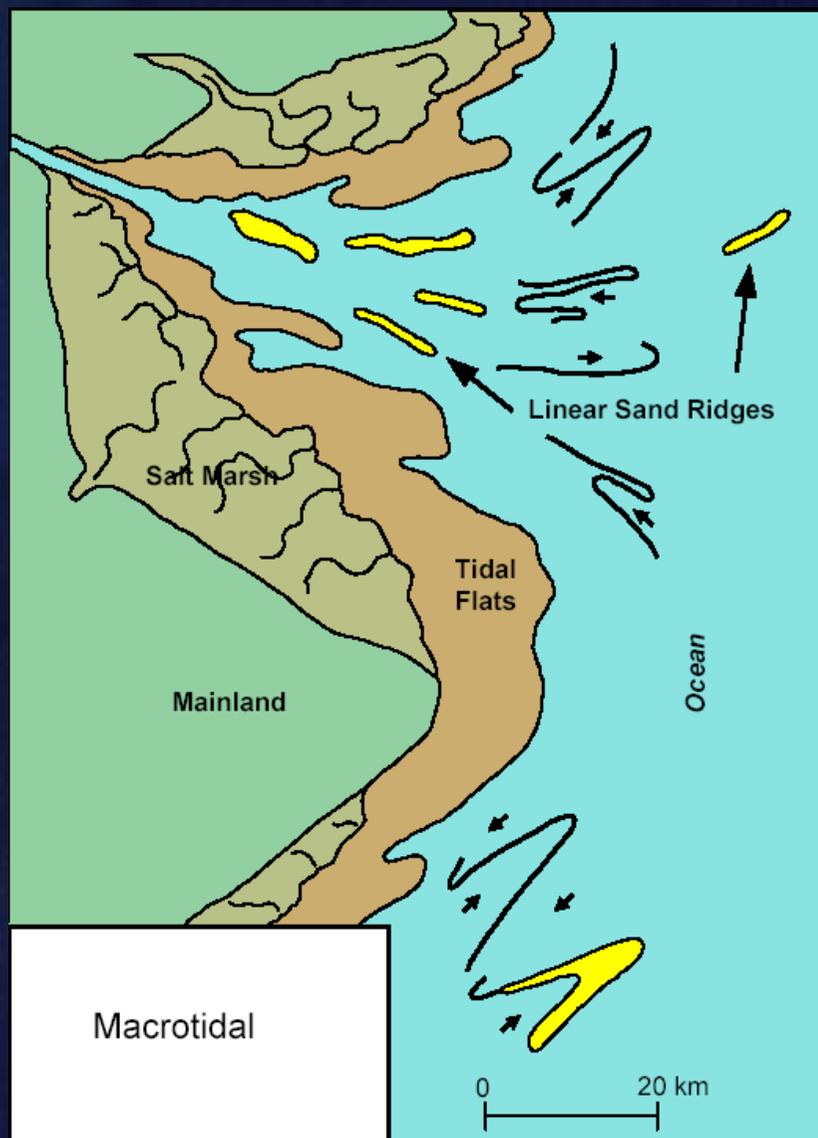


Beach ridge barrier islands, tidal inlets, and salt marshes of the Georgia coast



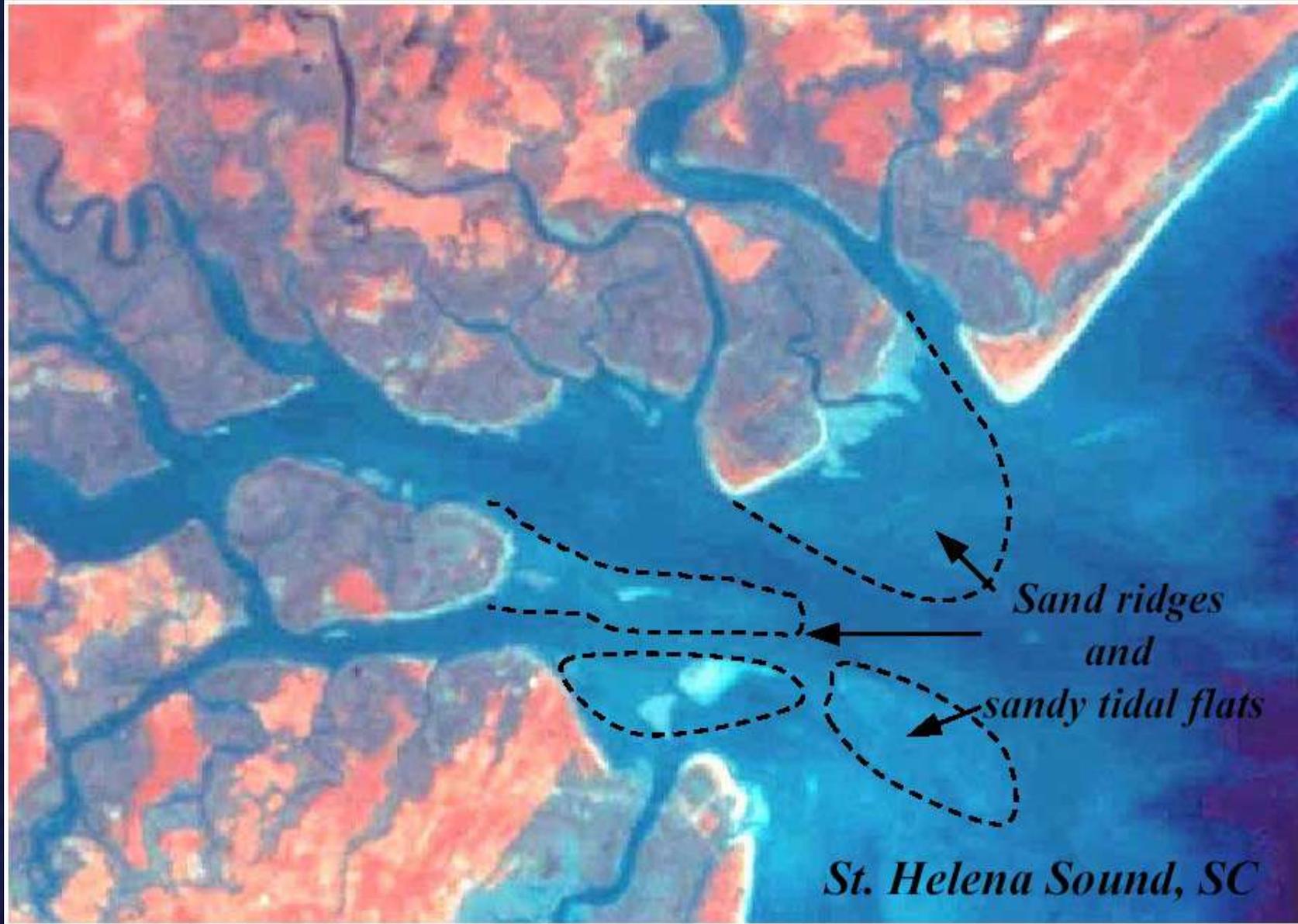
*Dewees, Capers and Price Islands,
South Carolina*

DOMINIO MACROTIDALE



Caratteristiche morfologiche

- baie ad ampia rientranza
- piane tidali e marsh ben sviluppate
- aperture in corrispondenza di delta fluviali a dominio mareale
- sviluppo di sand ridges lineari
- scarsa formazione di barriere



*Sand ridges
and*

sandy tidal flats

St. Helena Sound, SC



Sand ridges multiple, nella parte intertidale bassa. Lucinda, Queensland, AUSTRALIA

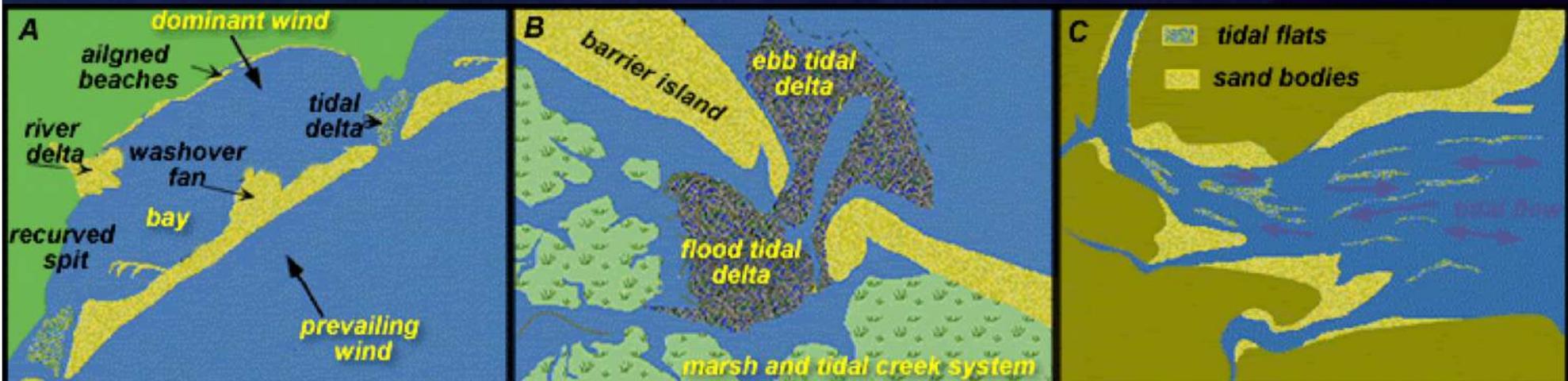
SINTESI:

Classificazione morfologica basata sul regime idrografico

Microtidale

Mesotidale

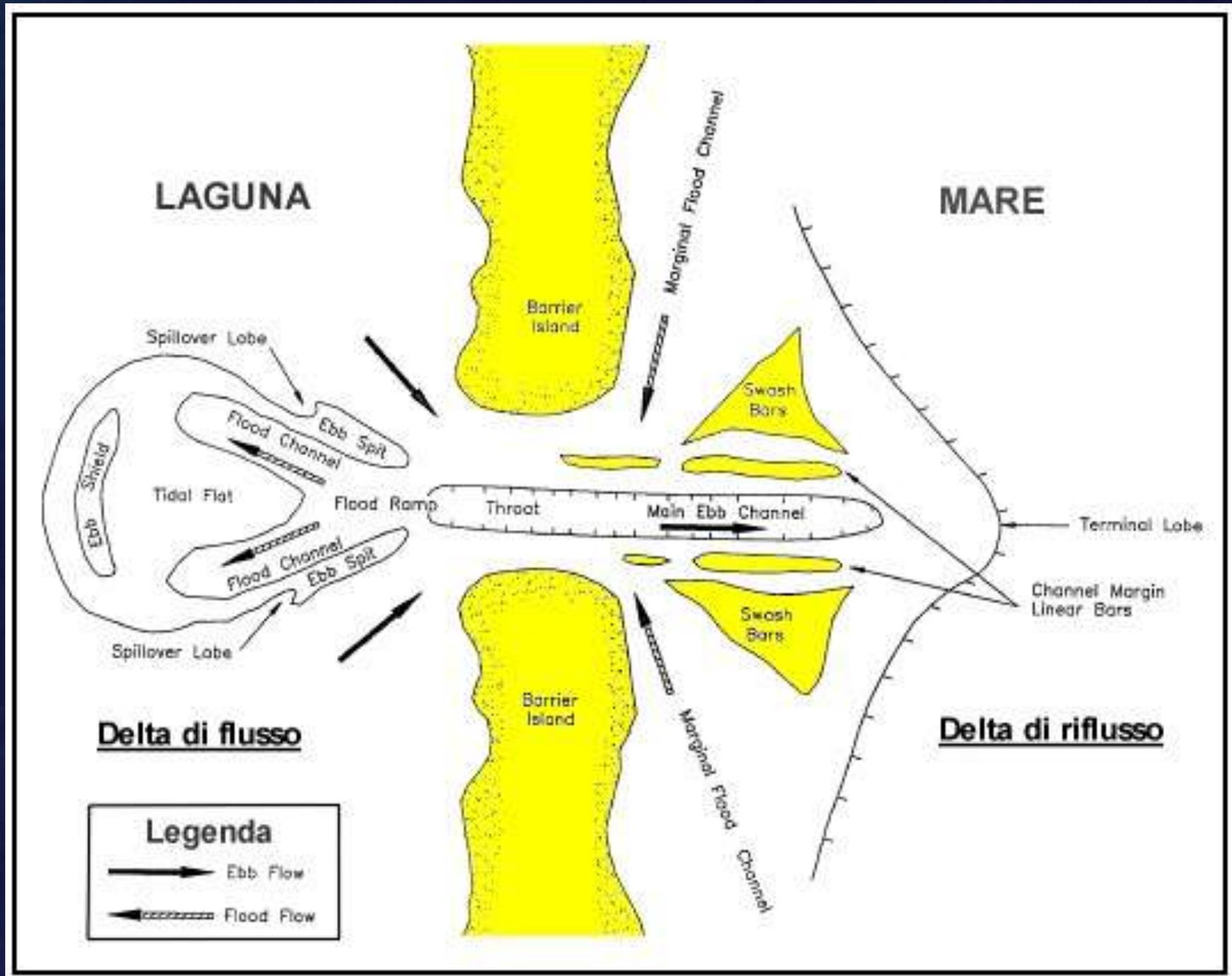
Macrotidale



LE STRUTTURE DEPOSIZIONALI:

Flood Tidal Delta – Ebb Tidal Delta





IL DELTA DI FLUSSO (FLOOD TIDAL DELTA)

Shinnecock Flood Shoal



Spillover Lobe

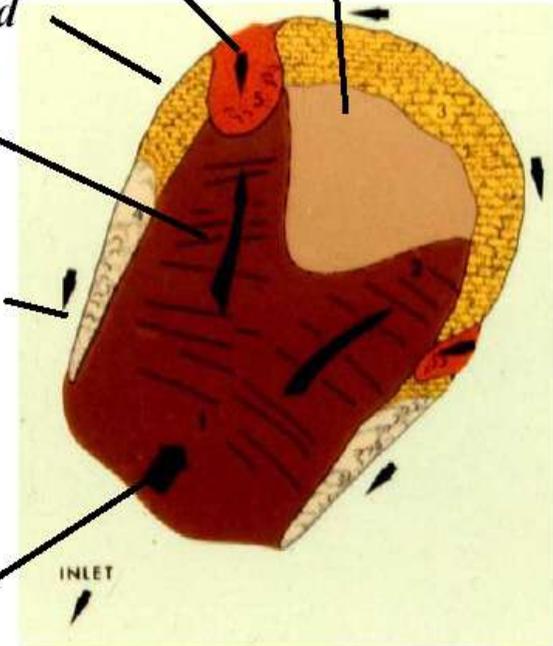
Tidal Flat

Ebb Shield

Flood Channel

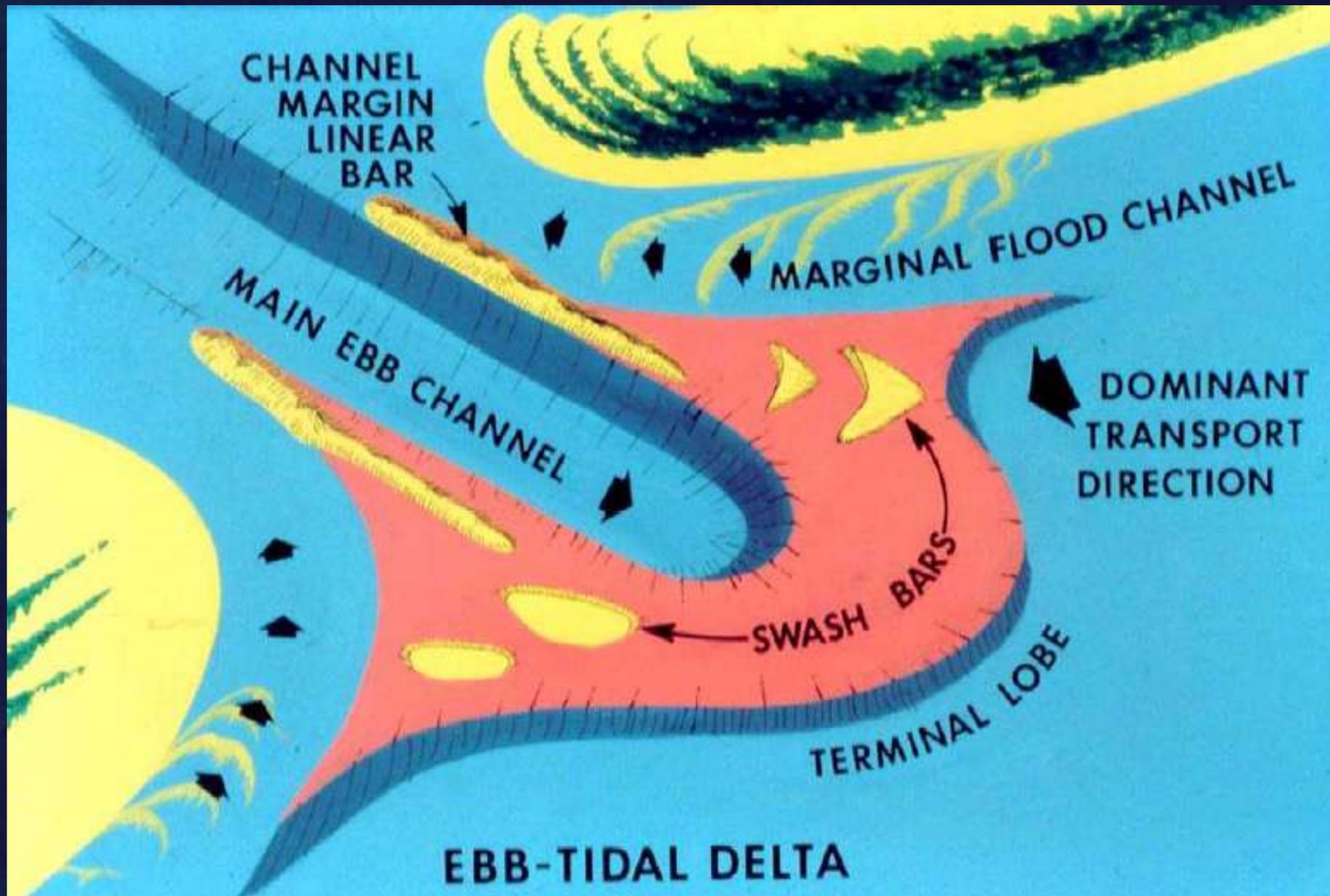
Ebb Spit

Flood Ramp

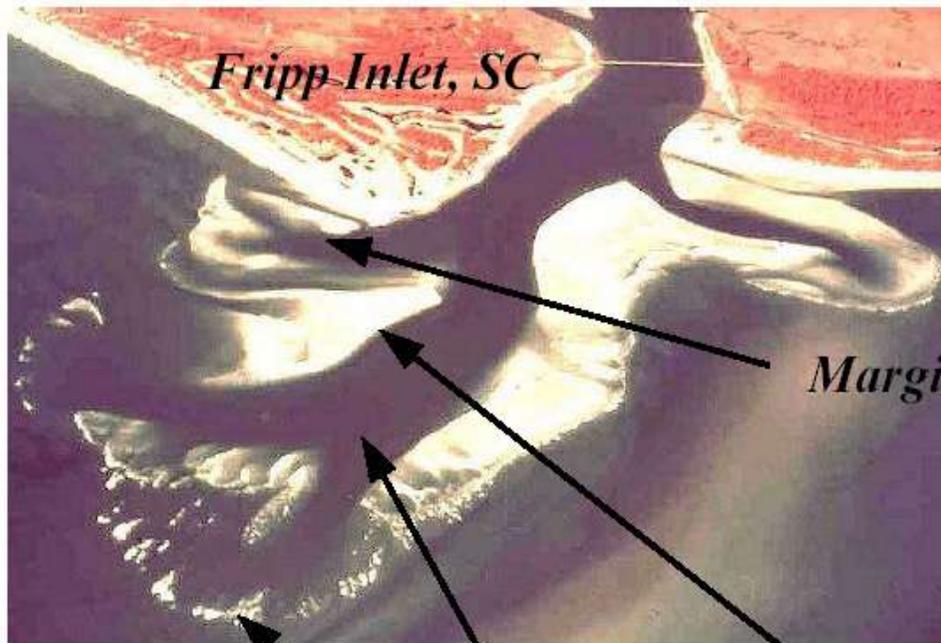


Idealized Flood Shoal

IL DELTA DI RIFLUSSO (EBB TIDAL DELTA)



Modello di un delta di riflusso (HAYES,1980)



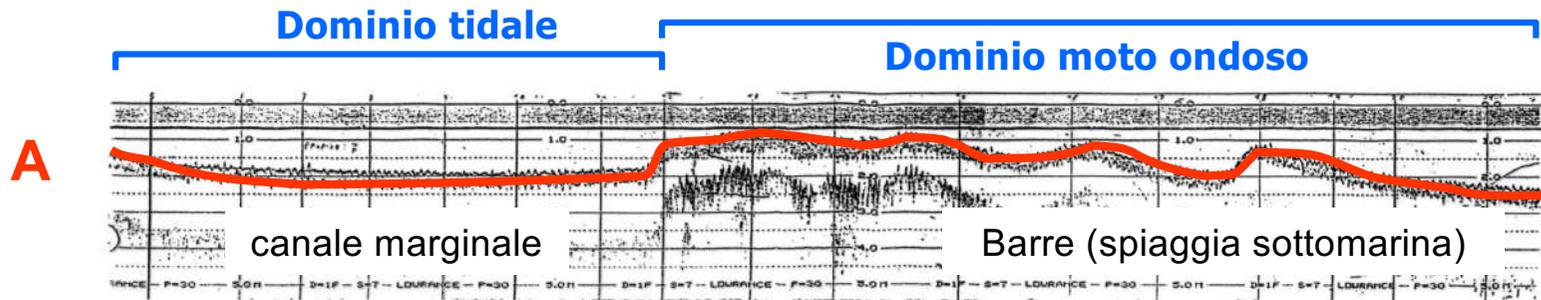
Marginal Flood Channel

Swash Bars

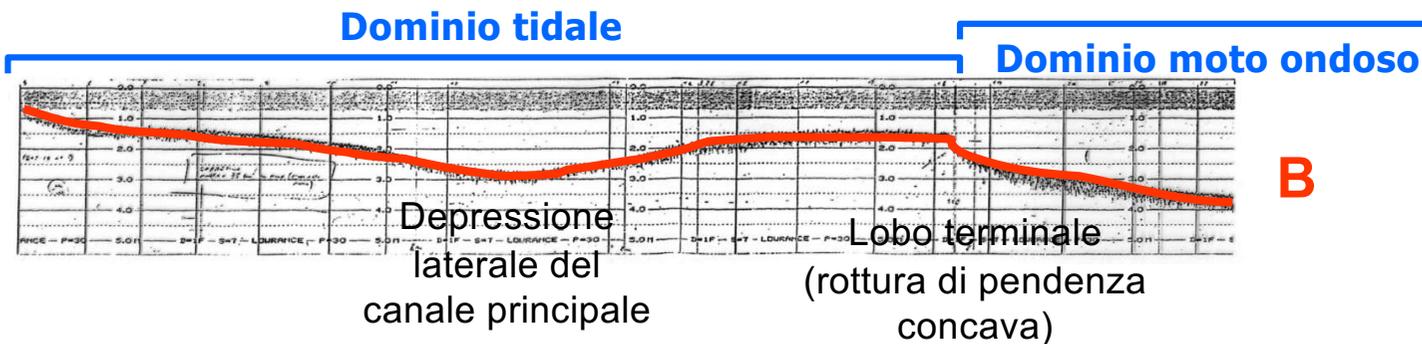
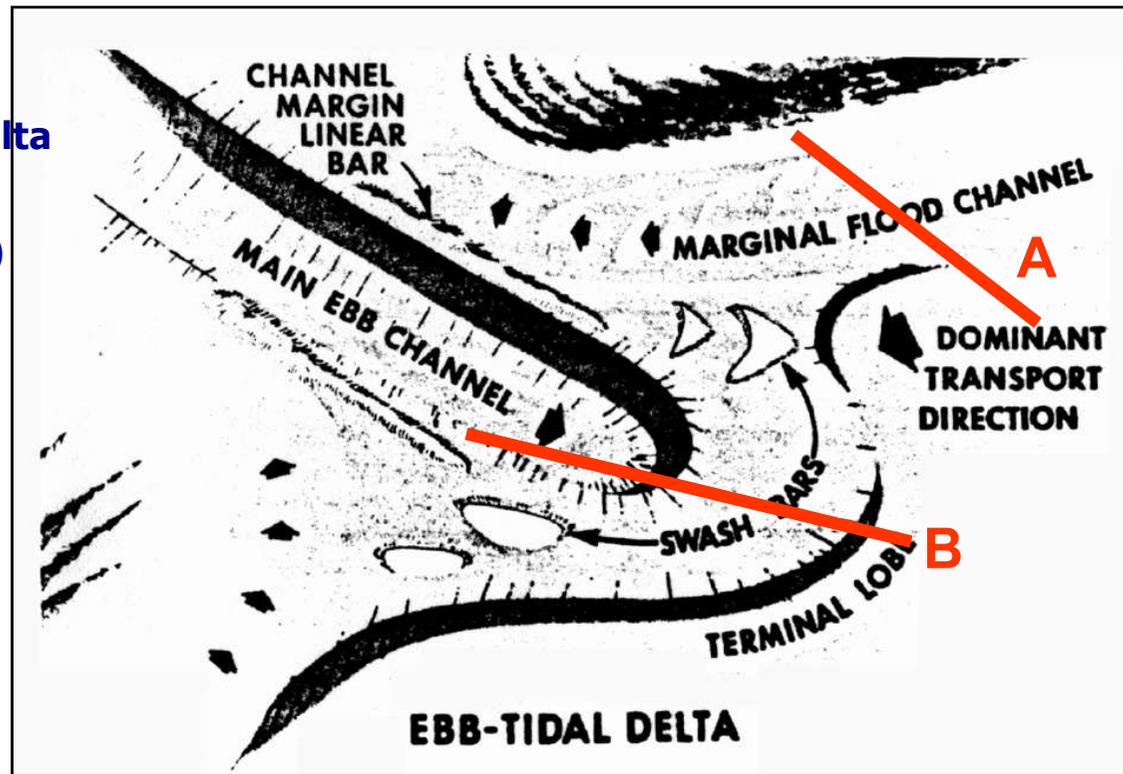
Main Ebb Channel

Terminal Lobe

Channel Margin Linear Bar

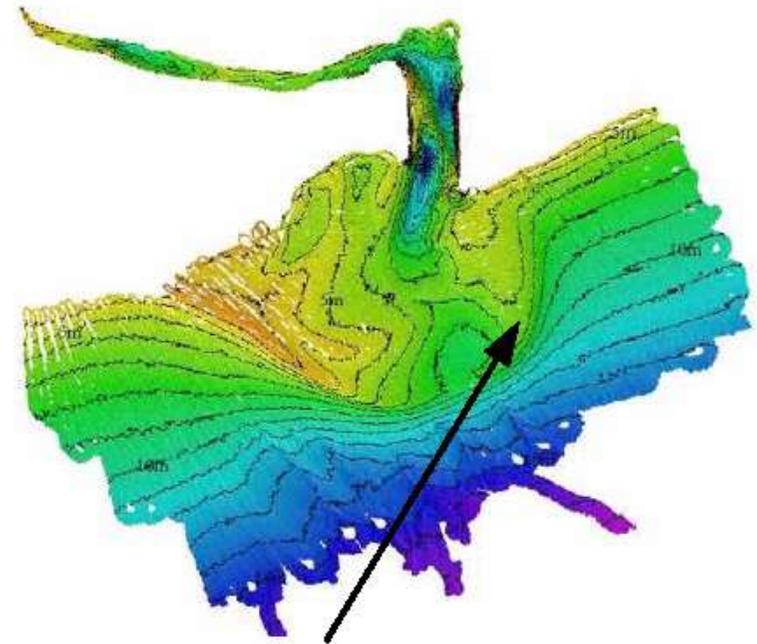


Modello di un delta di riflusso (HAYES,1980)





IL DELTA DI RIFLUSSO

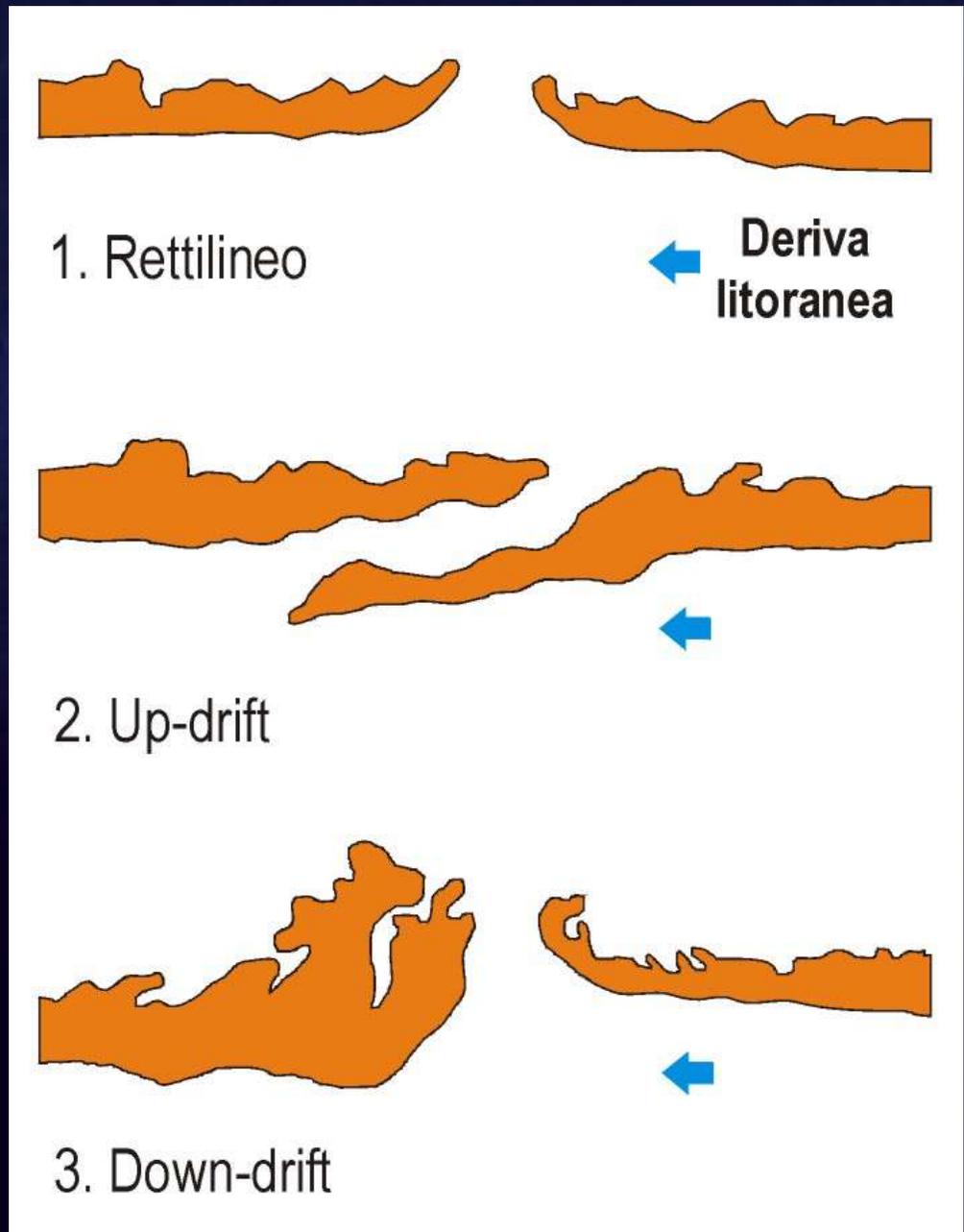


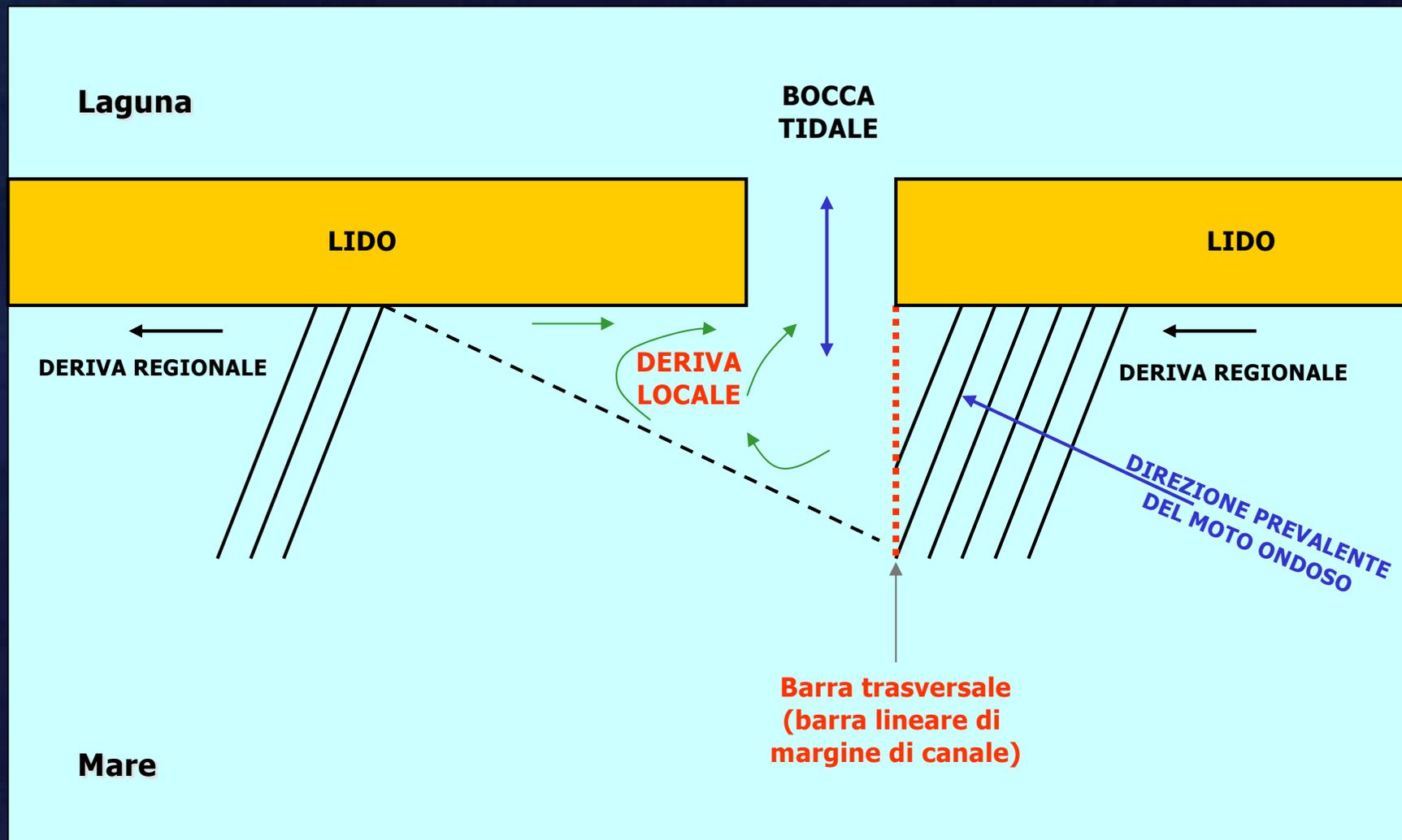
*Ebb shoal
Shinnecock Inlet*

Diversi tipi di configurazione di bocche tidali sulla base dello sfasamento tra i lidi adiacenti

(da Lynch-Blosse & Kumar, 1976)

TIPO DI OFFSET (sfasamento)

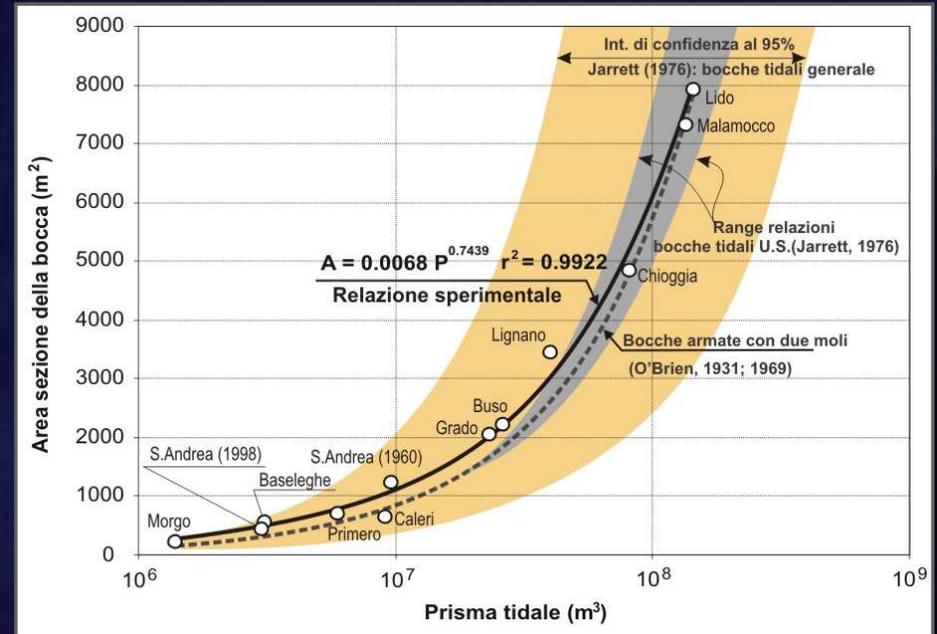




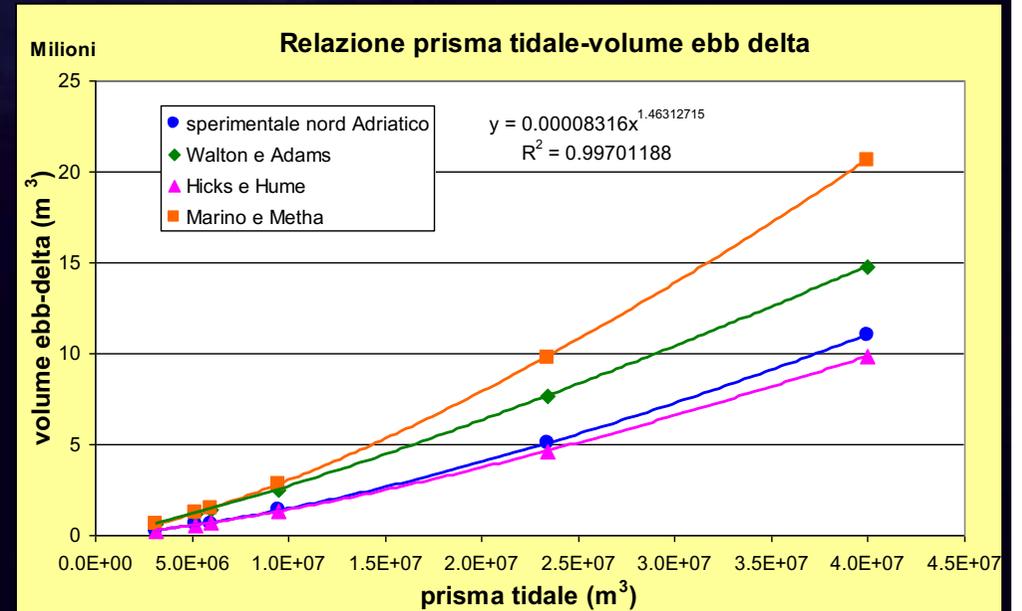
Creazione di una deriva locale inversa e
 modello di crescita di un lido sfasato sottoflutto
 (*DOWNDRIFT OFFSET*)



BOCCHE TIDALI NATURALI ED ARMATE



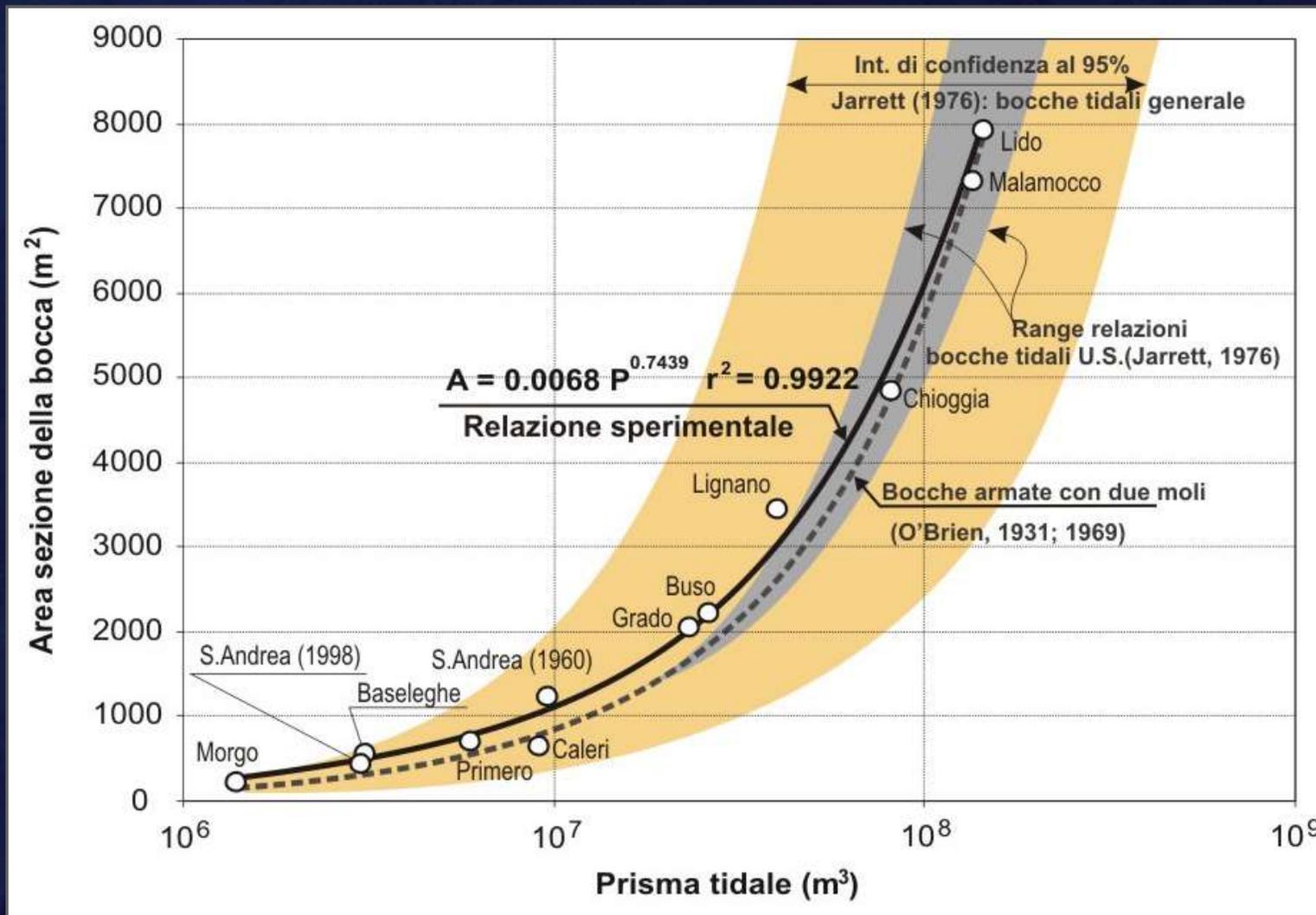
Relazioni di letteratura e sperimentali



Le condizioni di equilibrio

Relazione tra prima di marea e sezione idraulica della bocca

$$A = c P^n \text{ (O'Brien, 1931)}$$



Erroneamente, vengono spesso usati criteri deterministici, in base alle formule note in letteratura. L'esempio più eclatante è dato dalla casistica delle bocche degli USA fornita da Jarrett (1976), in base alla quale la relazione P-A è fornita da:

$$A = 0.0009 P^{0.85} \text{ (Jarrett, 1976)}$$

La formula di Jarrett è molto simile e produce risultati praticamente identici rispetto all'indicazione fornita da O'Brien (1969), 38 anni dopo la formulazione generale della relazione P-A:

$$A = 0.00075 P^{0.86} \text{ (O'Brien, 1969)}$$

Il concetto "chiave" è che gran parte delle bocche tidali sono regolate da intescambi mareali con carattere semidiurno. In questo modo, flusso e riflusso intervengono regolarmente ogni 6 h e 13 min. (=22380 sec).

Se un prisma tidale è ad es. pari a $2.238 \cdot 10^6$ mc ed un altro è 10 volte superiore è chiaro che a parità di tempo di invaso (o svaso) saranno necessarie due distinte aperture, affinché sia garantito il totale afflusso d'acqua all'interno del bacino lagunare con portata di 100 mc/s e 1000 mc/s rispettivamente.

La relazione P-A va quindi attentamente valutata caso per caso:

BOCCA	P (m ³)	A (m ²)	Jarrett	GM	NA
Primero	6.00E+06	696	520	751	750
Grado	2.34E+07	2045	1652	2156	2063
Morgo	1.40E+06	215	151	243	254
Buso	2.63E+07	2216	1825	2360	2250
S.Andrea 1960	9.70E+06	1232	782	1090	1071
Lignano	4.00E+07	3438	2606	3267	3074
SA-1999	3.12E+06	559	298	452	461
Lido 1984	1.45E+08	7916	7788	8861	8012
Alberoni 1984	1.36E+08	7320	7375	8432	7639
Chioggia 1984	8.20E+07	4840	4797	5697	5243
Baseleghe	3.04E+06	435	292	444	452

Laguna di
Grado e Marano

Laguna di
Venezia

Laguna di Caorle

Dati sperimentali
(Nord Adriatico)

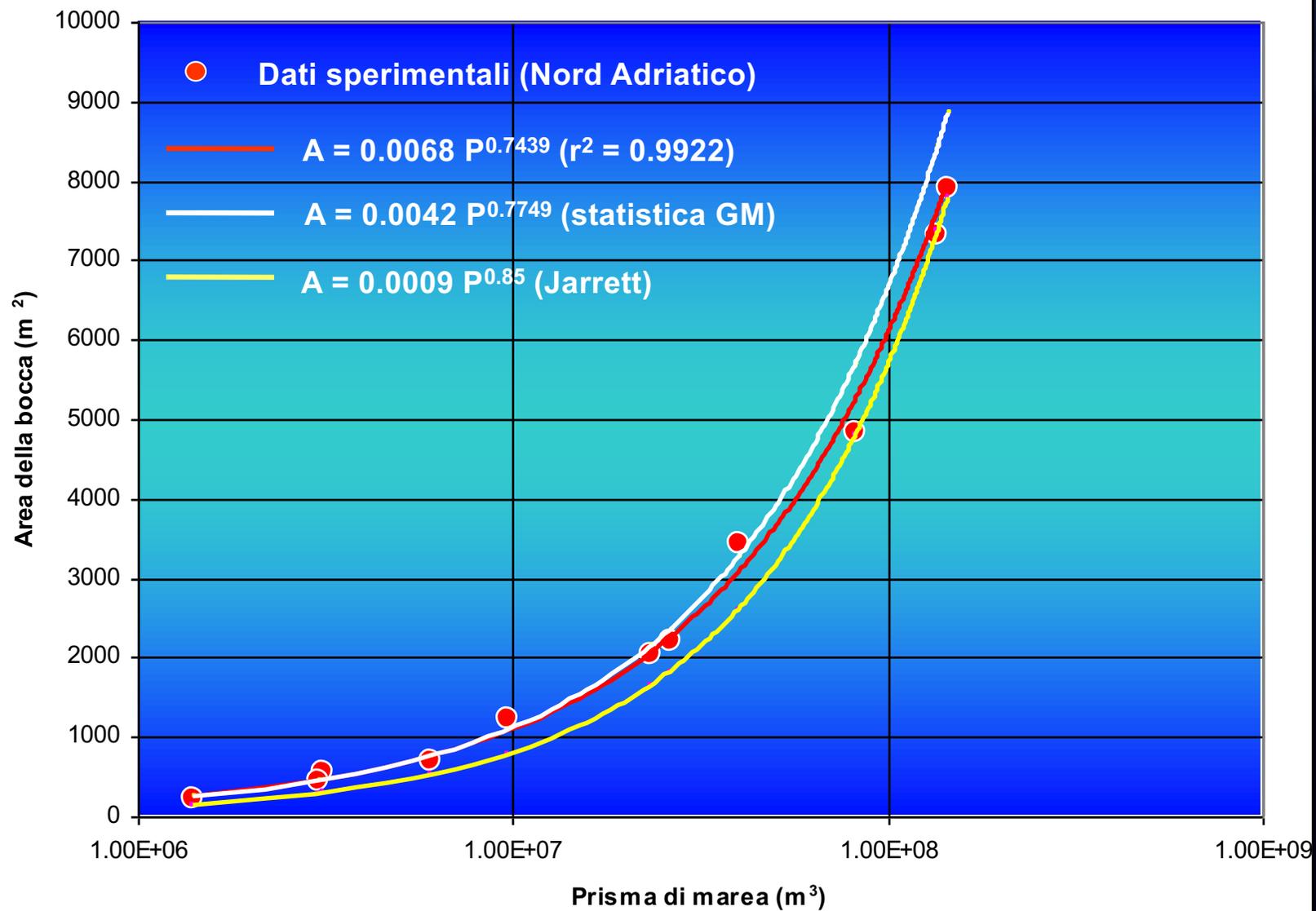
$$A = 0.0009 P^{0.85} \text{ (Jarrett)}$$

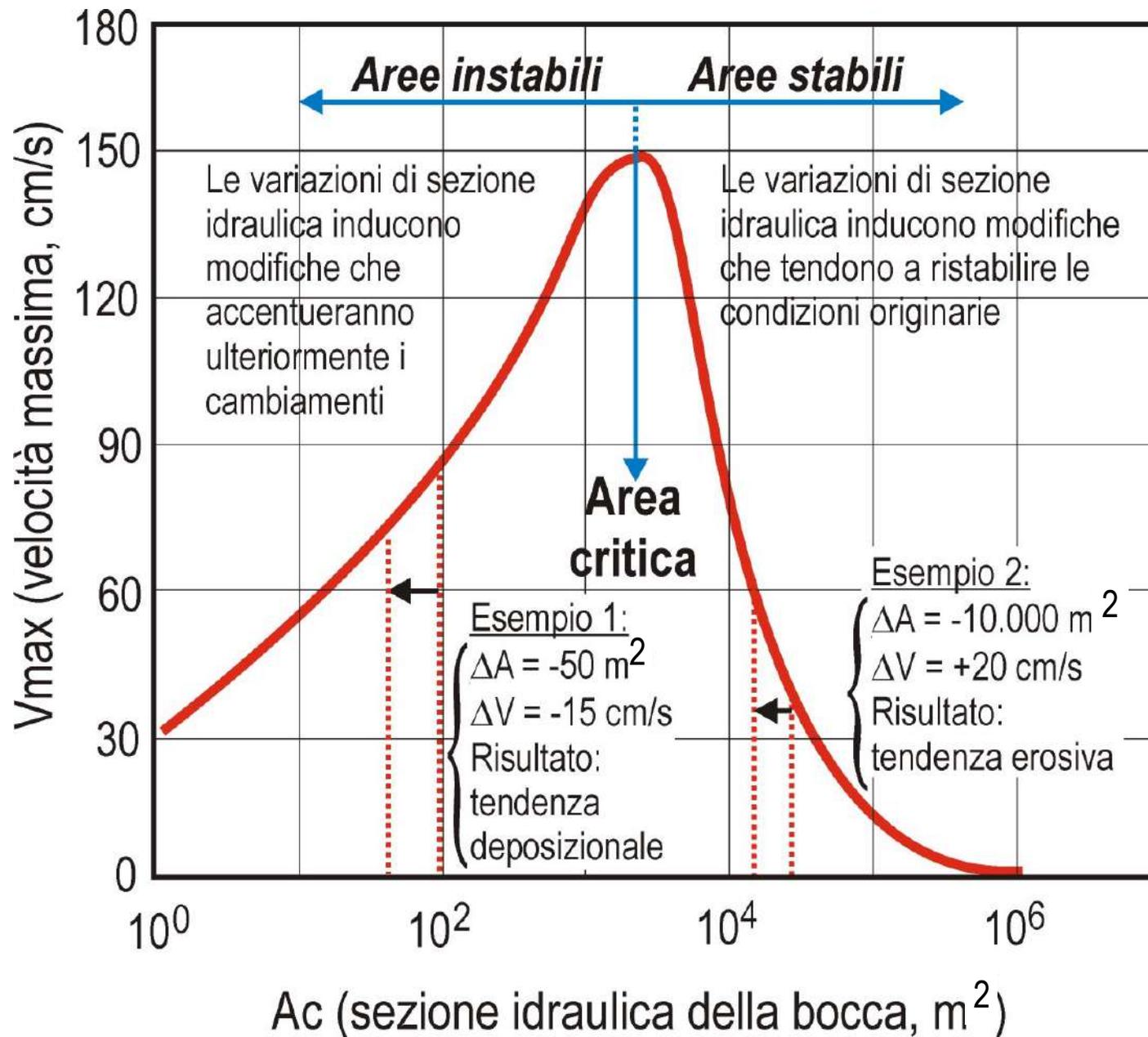
$$A = 0.0068 P^{0.7439}$$

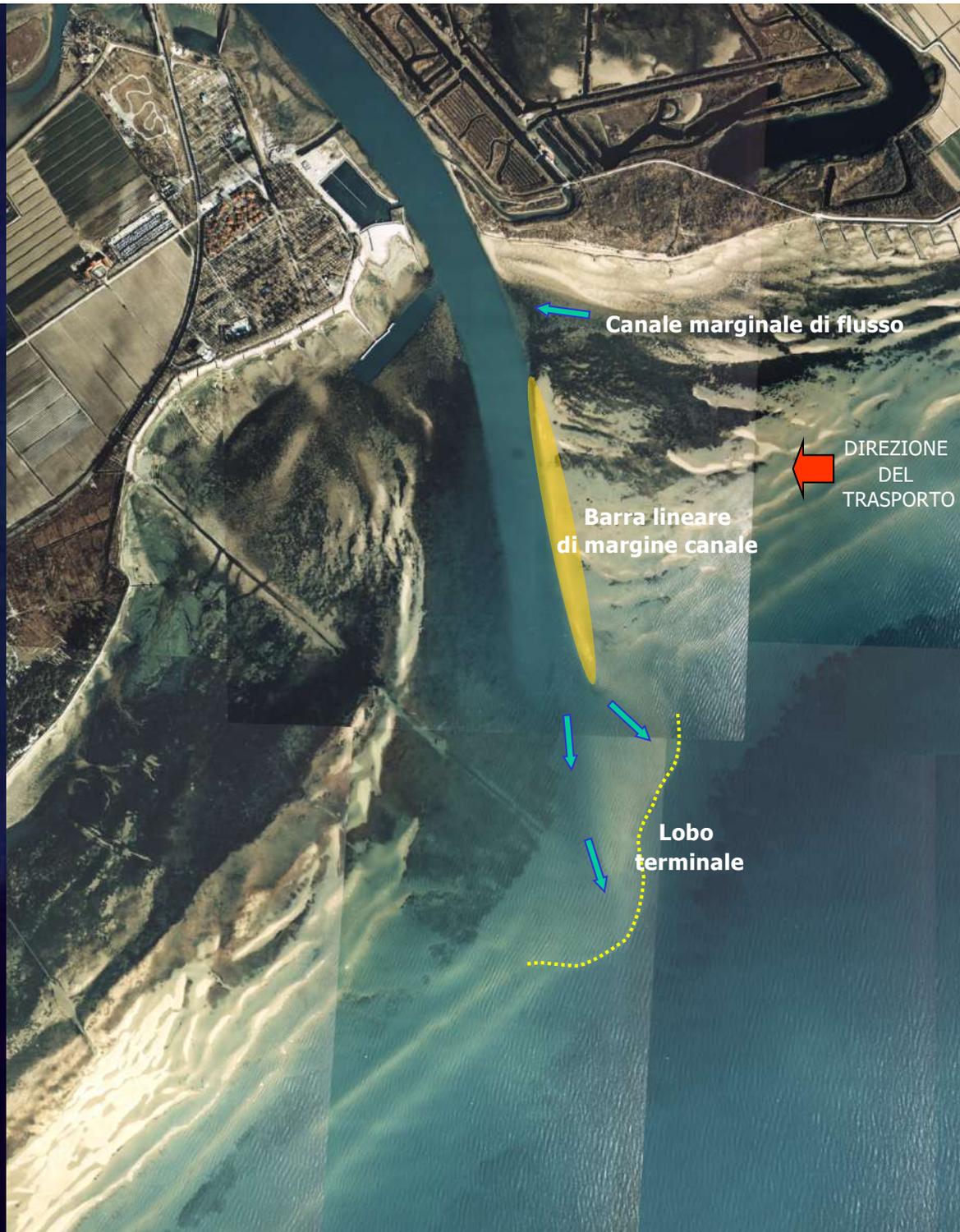
Nord Adriatico

$$A = 0.0042 P^{0.7749}$$

Lagune di Grado e Marano)





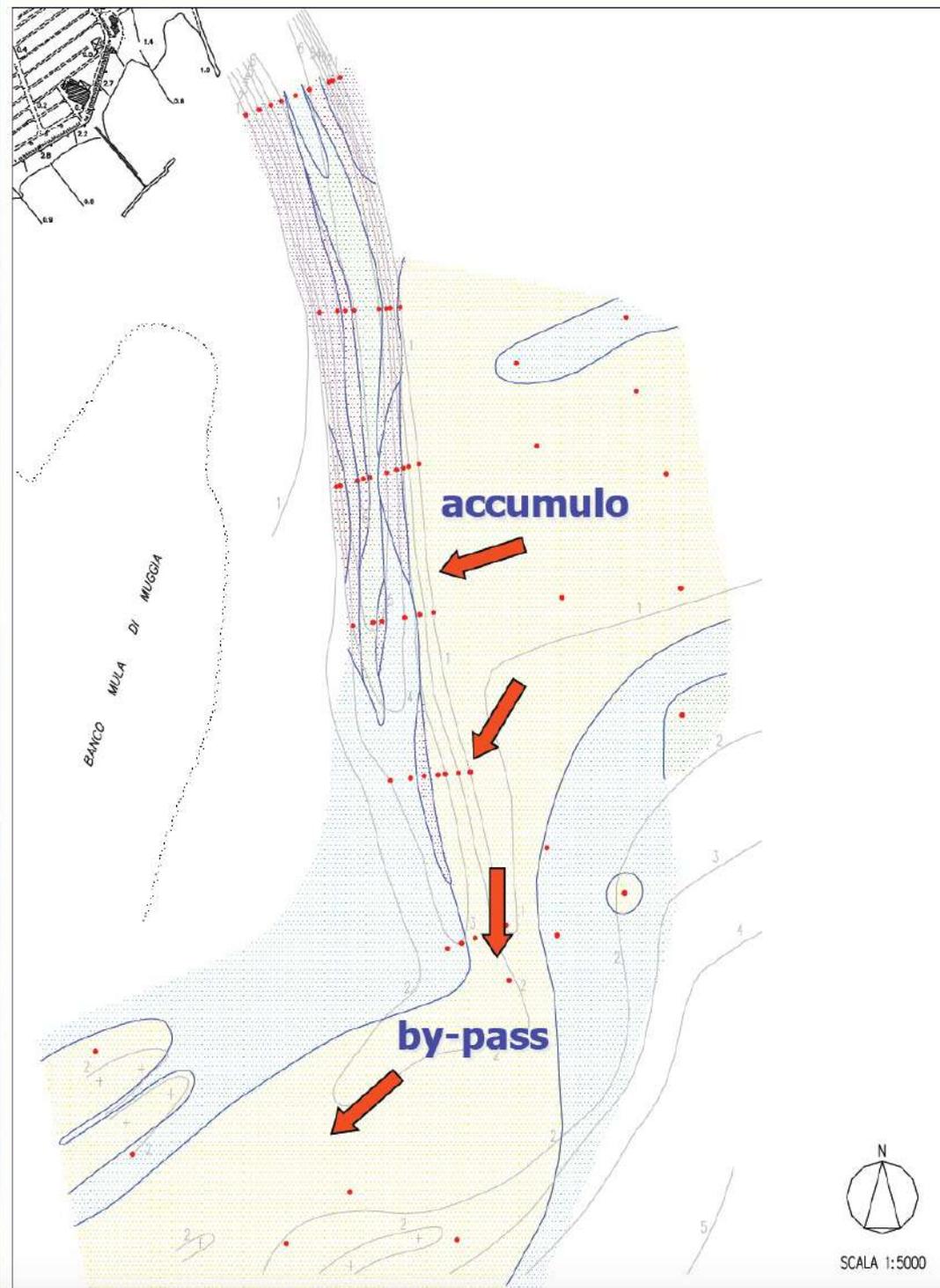


Canale marginale di flusso

DIREZIONE DEL TRASPORTO

Barra lineare di margine canale

Lobo terminale



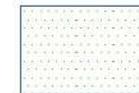
DIAMETRO MEDIO (PHI)



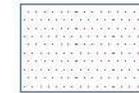
< 2.50



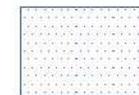
2.50 - 3.00



3.00 - 3.50



3.50 - 4.00



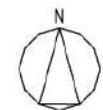
> 4.00



CAMPIONE DI SEDIMENTO



BATIMETRIA (m)



SCALA 1:5000

0 125 250 375 m

IQA

Bocca di S.Andrea (Laguna di Marano)



0 125 250 375 m

Delta di flusso

Canale principale di riflusso

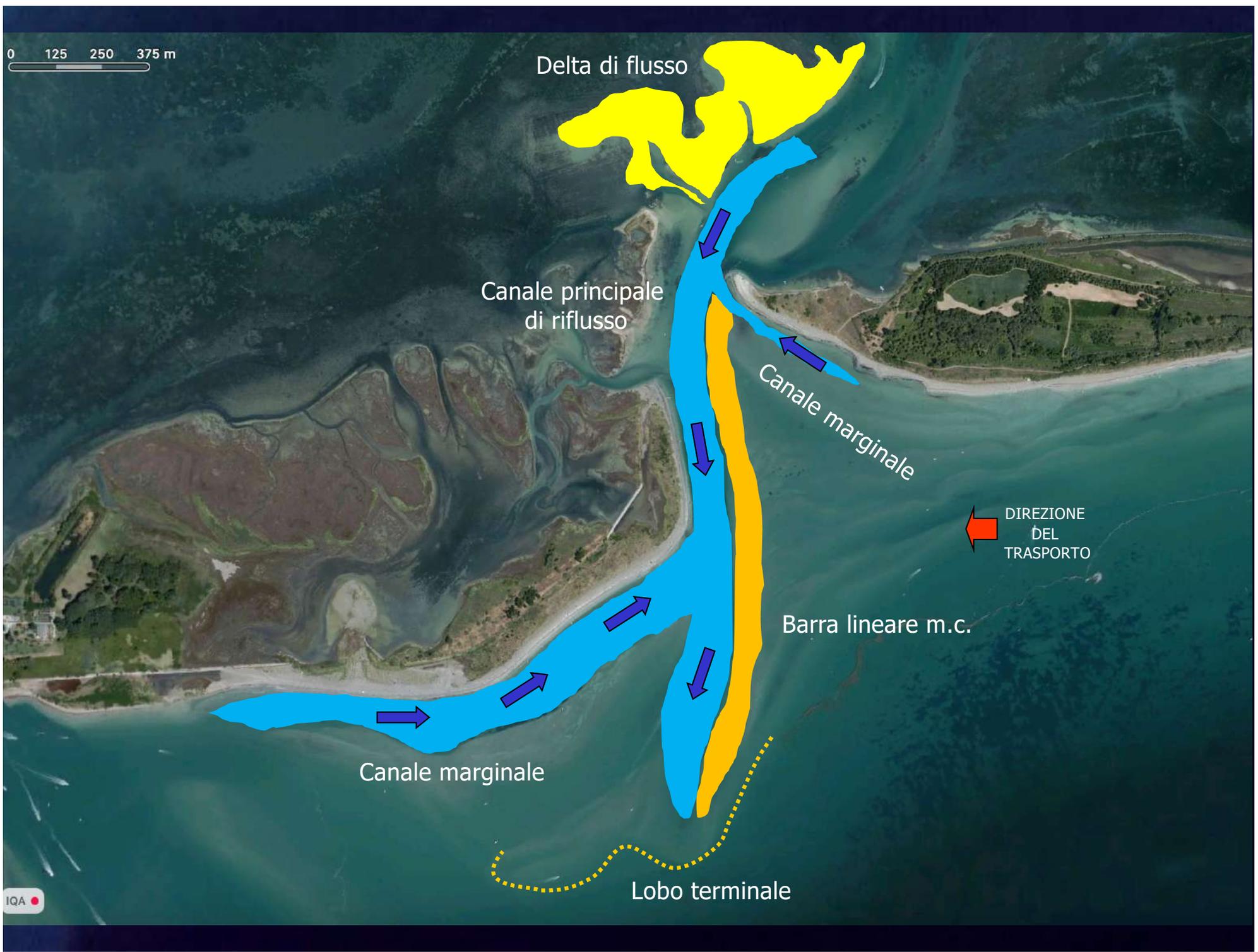
Canale marginale

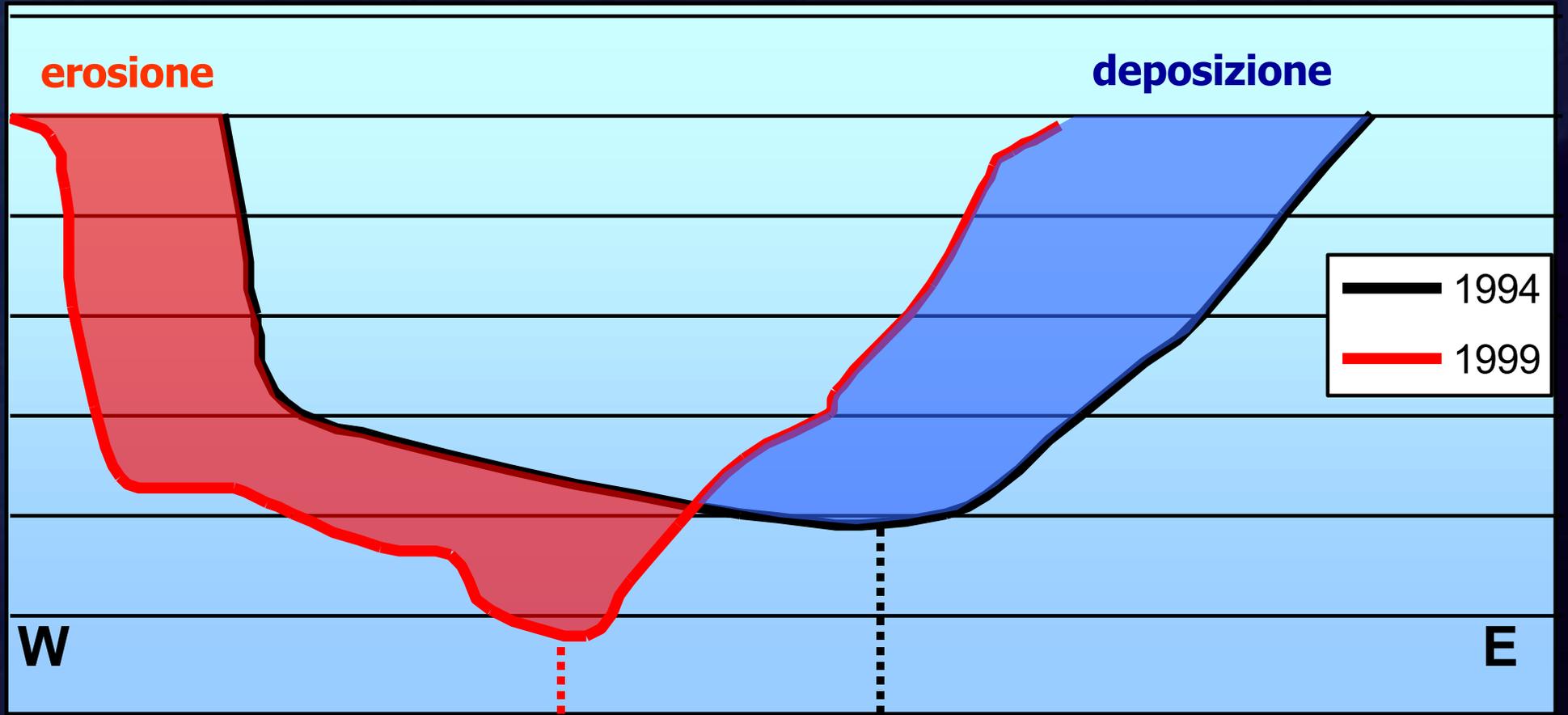
DIREZIONE DEL TRASPORTO

Barra lineare m.c.

Canale marginale

Lobo terminale

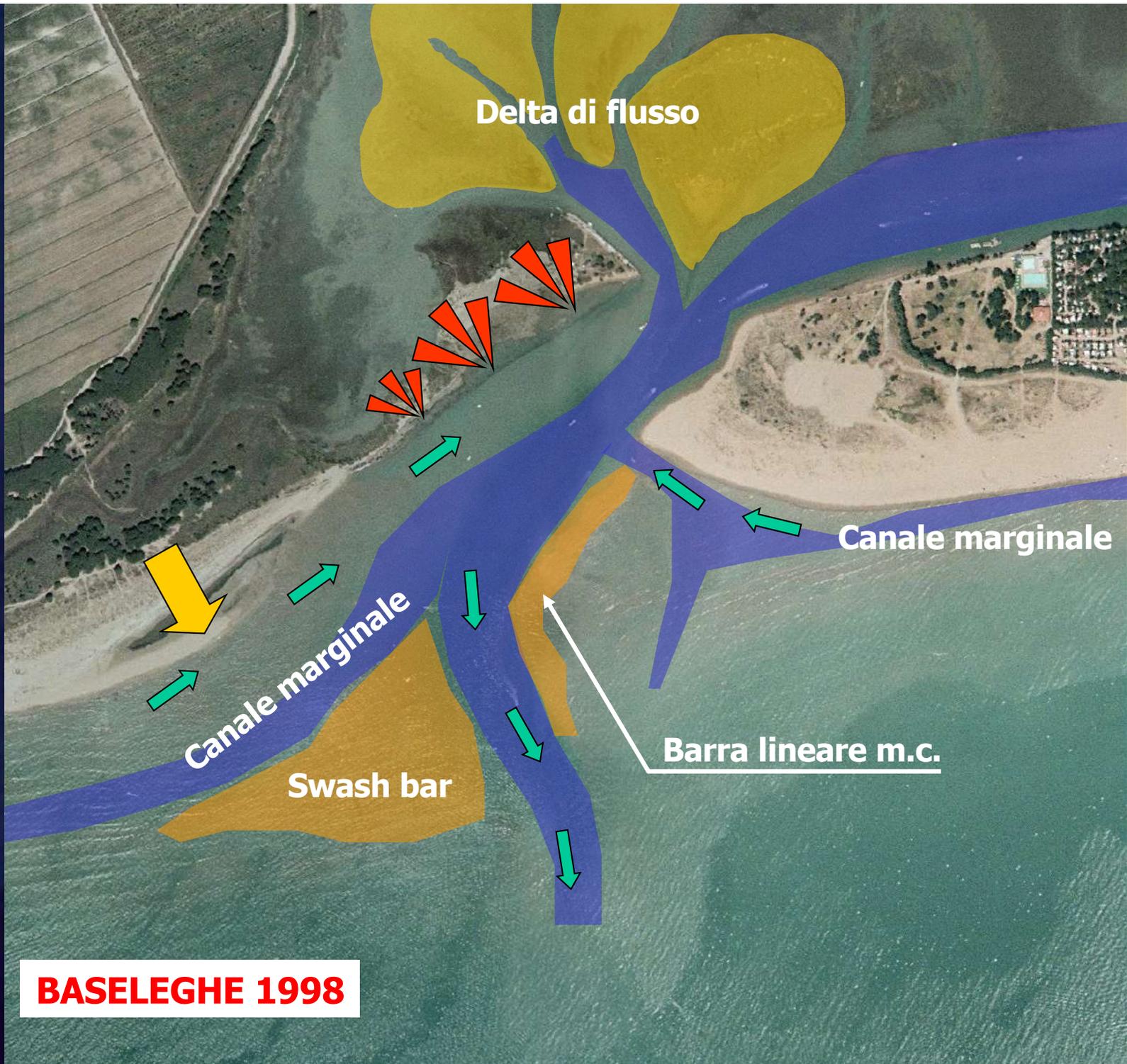




MIGRAZIONE DELL'ASSE

BILANCIO SEDIMENTARIO 1994-1999

Accumulo netto di sedimenti all'interno del canale = 20.000 m³

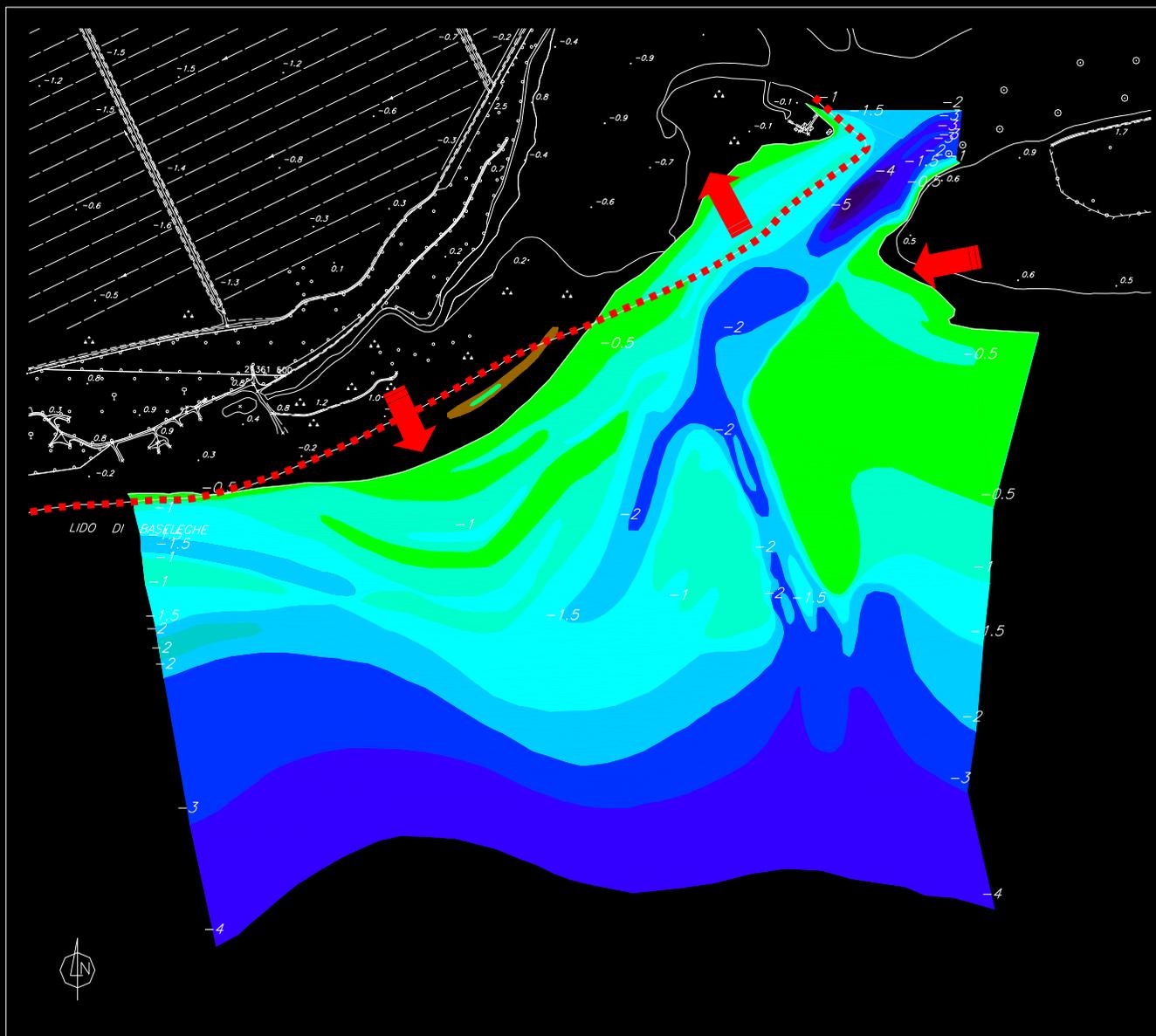


BASELEGHE 1998



BASELEGHE 2012

CARTA BATIMETRICA della BOCCA TIDALE di BASELEGHE



LEGENDA (profondità in metri)

-4 profondità		-1.5,-2
		-2,-3
		-3,-4
		-4,-5
		-5,-6

 linea di riva attuale

 linea di riva CTR-1983

 Tendenza della linea di riva

I rilievi batimetrici e topografici sono stati eseguiti a fine luglio '99. Tutte le quote sono riferite al livello medio mare di Trieste. Le posizioni sono invece riferite a due caposaldi ubicati sulla spiaggia di Valle Vecchia, rilevati mediante sistema DGPS.

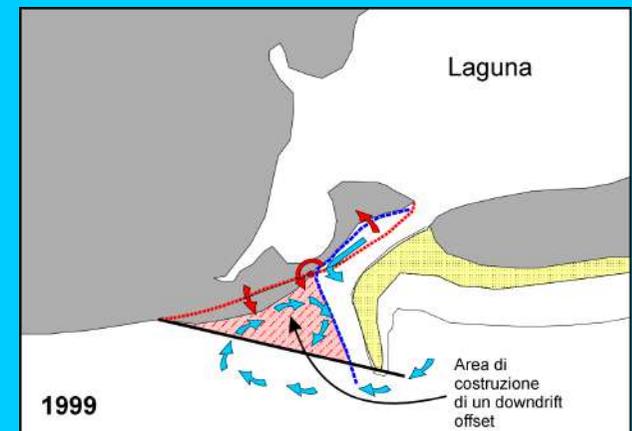
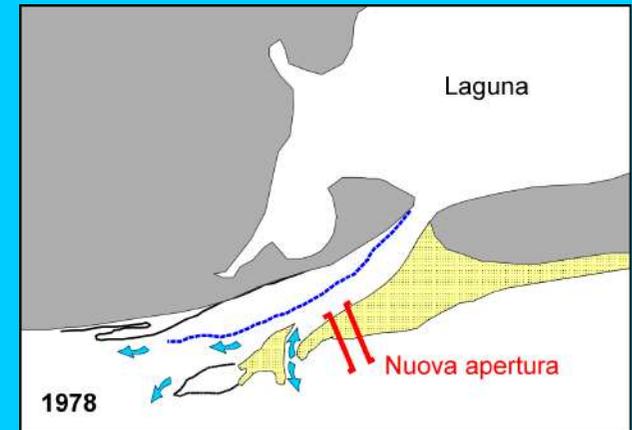
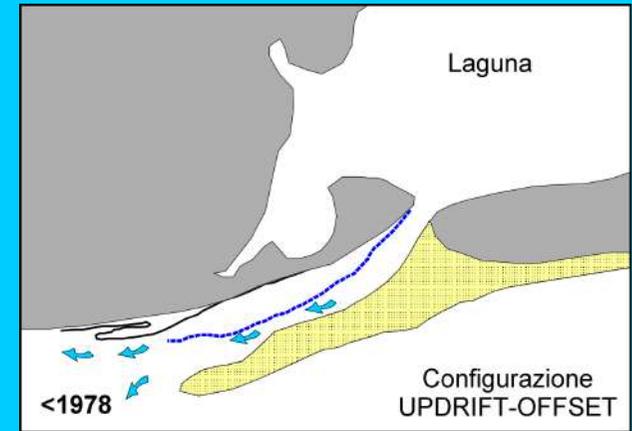
0  200 400
m

BARRA LINEARE DI MARGINE CANALE (Baseleghe lato est)



**Fenomeni erosivi sul lato sottoflutto (Baseleghe lato ovest)
E' evidente lo smantellamento del breakwater difensivo**





FRAMMENTAZIONE

APERTURA

CHIUSURA



Macia 1995 (Laguna di Grado)
Washover multipli convergenti (frammentazione trasversale)



bocca secondaria di Goro 1998 (Delta del Po)
Allargamento della breccia (frammentazione laterale)



Primero 1991 (Laguna di Grado)
configurazione "straight" (rettilinea - simmetrica)

BRECCIA



Goro 1998 (Delta del Po)
Apertura (breccia) breaching - washover



Manzi 1978 (Laguna di Grado)
Ampliamento del flood-delta (Flood-dominated phase)

Costruzione del delta di riflusso (forme trasversali di contrasto)

- swash bar
- lobo terminale



Le Cree 1954 (Laguna di Grado)

- Aumento dell'estroflessione del canale di riflusso verso mare
- Formazione di forme di contrasto legate al trasporto longshore

Costruzione del delta di riflusso (forme longitudinali)

- barra lineare di margine canale
- canali marginali



Le Cree 1995 (Laguna di Grado)

BOCCA TIDALE (ebb-dominated)



Porto Levante 1978 (Delta del Po)



Goro 1998 (Delta del Po)



Goro 1998 (Delta del Po)

Modalità di suturazione

chiusura con distruzione del ventaglio di esondazione e conservazione delle uncinature laterali

Chiusura con conservazione della canalizzazione e del ventaglio di esondazione



Manzi 1995 (Laguna di Grado)



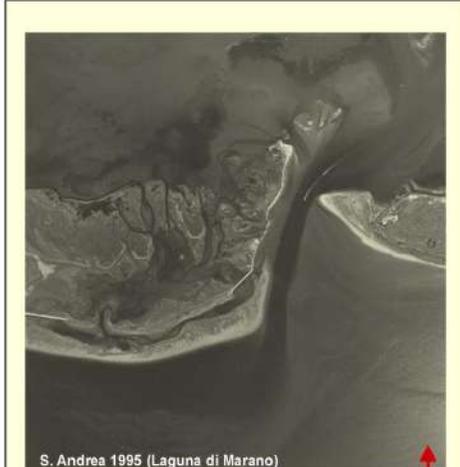
Manzi 1998 (Laguna di Grado)



Le Cree 1978 (Laguna di Grado)

Riattivazione flood-delta (washover)

Le fasi di riattivazione non obliterano il delta di riflusso. Solo in questo caso è possibile identificare la sequenza degli eventi; viceversa, se la riattivazione avviene durante le fasi giovanili di sviluppo del varco, le forme di esondazione si sovrappongono alle precedenti.



S. Andrea 1995 (Laguna di Marano)
configurazione "down-drift offset" (sfasamento sottoflutto)

Migrazione del canale ($E_{long} > E_{tidale}$)

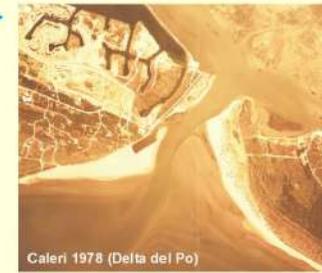
Deriva locale inversa ($E_{long} \leq E_{tidale}$)



Le Cree 1998 (Laguna di Grado)
configurazione "up-drift offset" (sfasamento supraflutto)

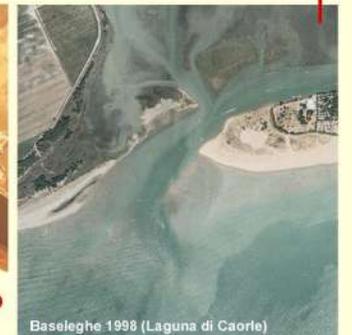


Baseleghe 1978 (Laguna di Caorle)



Caleri 1978 (Delta del Po)

accrescimento sottoflutto "effetto down-drift"



Baseleghe 1998 (Laguna di Caorle)

**ESEMPIO DI PROCEDURA GEOSTATISTICA
PER LA VALUTAZIONE DEL POTENZIALE
DI ACCUMULO DI DEPOSITI SABBIOSI
NELLE BOCCHE TIDALI NORD ADRIATICHE**

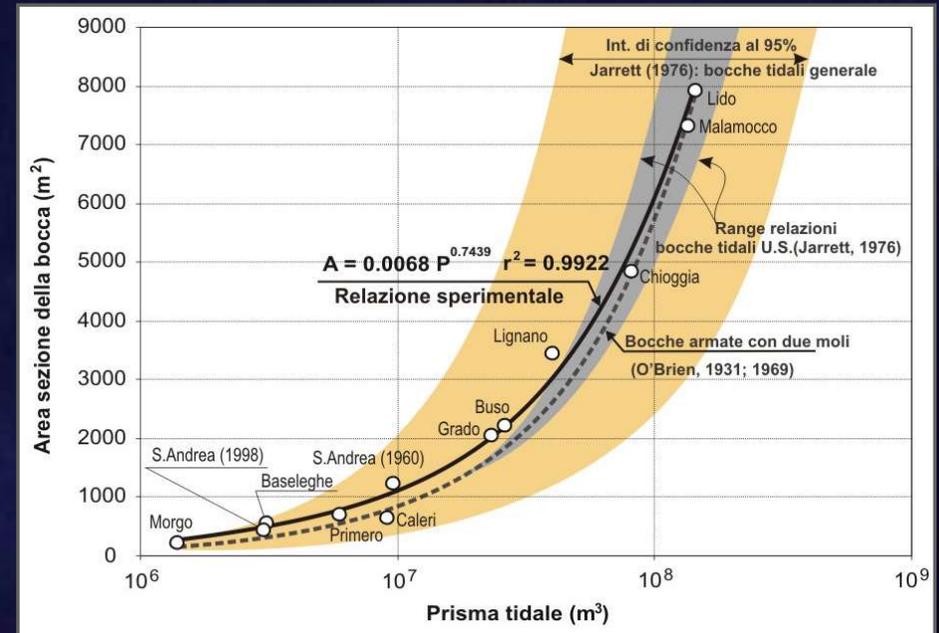
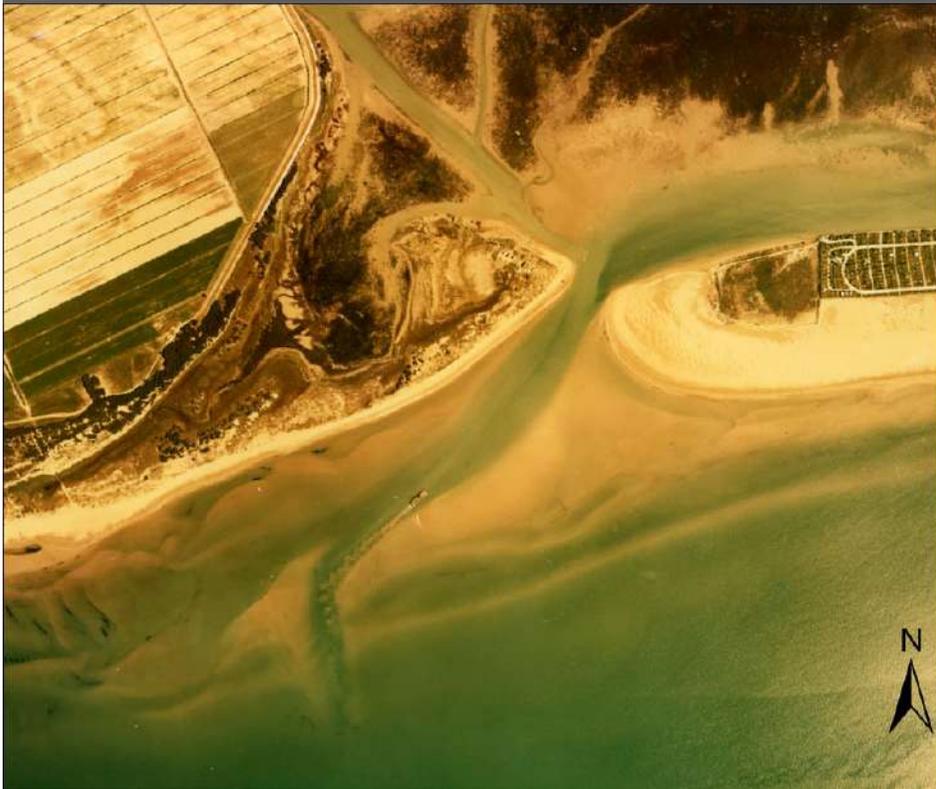
AREA DI STUDIO



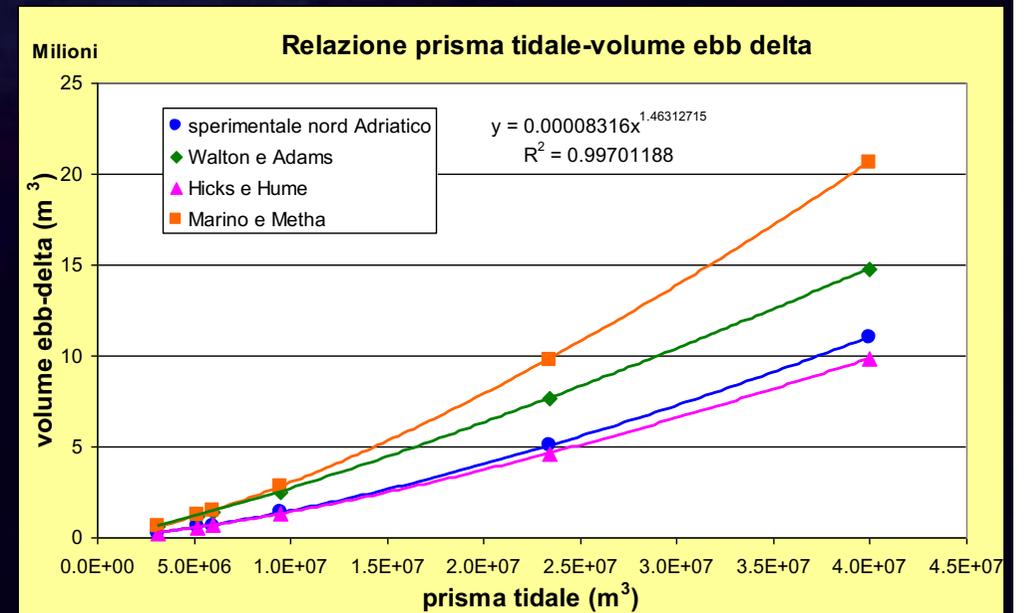
STRATEGIE DI GESTIONE:

- **MANTENIMENTO PASSO NAVIGABILE**
- **UTILIZZO DEI DEPOSITI SABBIOSI**
 - Stima del volume di ebb delta
 - Granulometria
 - Geodatabase dei depositi sabbiosi utilizzabili ai fini del ripascimento

BOCCE TIDALI NATURALI ED ARMATE



Relazioni di letteratura e sperimentali



Metodo di identificazione dell'ebb-delta

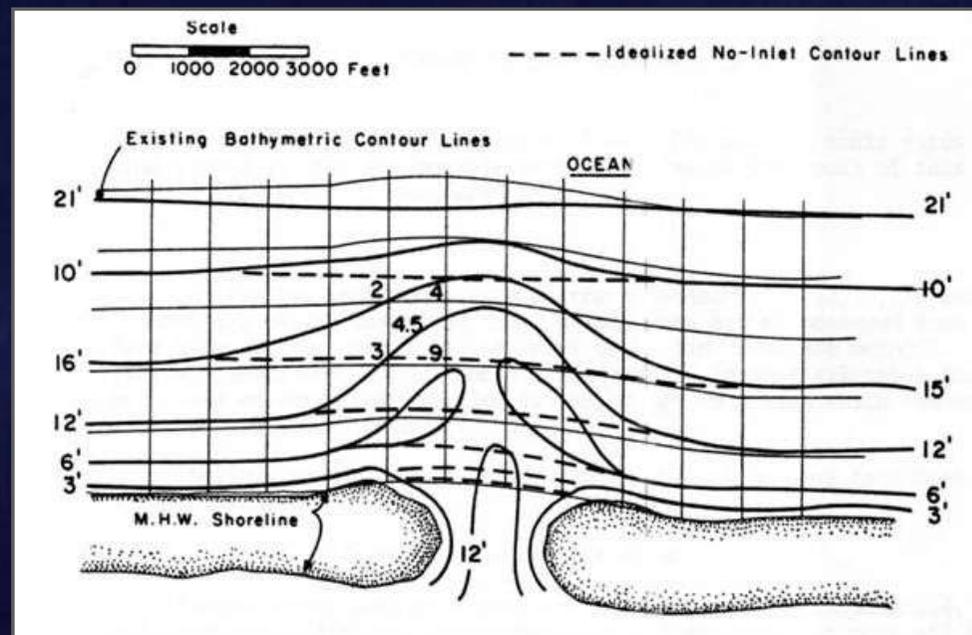
Metodo del residuale (Walton & Adams, 1976)

Il principio del Residual Method si basa sul calcolo della differenza tra l'assetto batimetrico reale e quello ideale, privo del delta. Questa procedura veniva svolta manualmente, come da schema in figura.

Metodo semi-automatico (Fontolan et al., 2007)

Posso usare:

- 4 profili laterali
- 2 profili laterali
- Detrending totale – utilizzo di tutti i profili disponibili



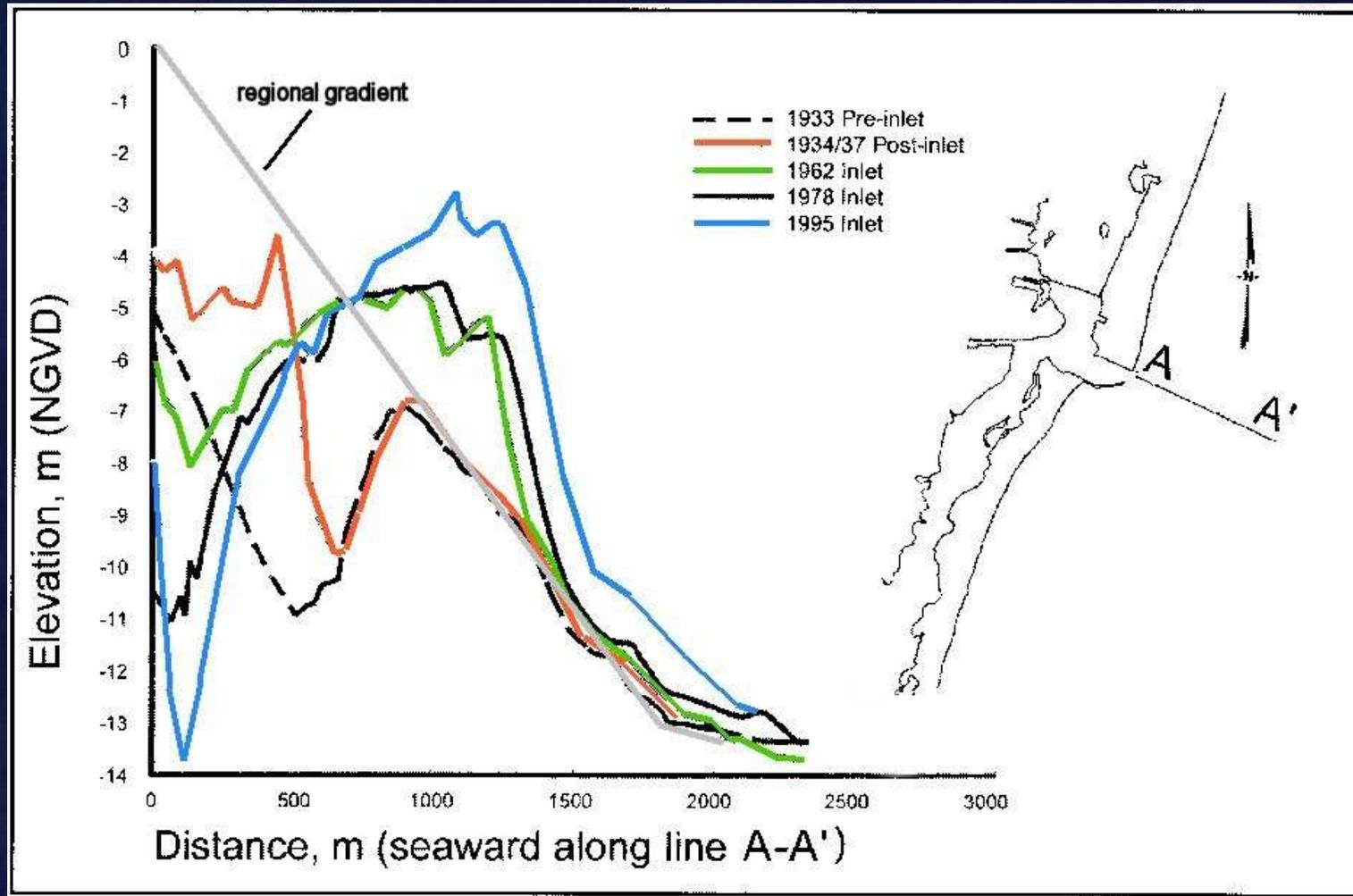
La creazione del trend regionale (ideale) avviene mediante →

TSA - Trend Surface Analysis

costruzione di una superficie polinomiale di ordine ennesimo (tendenza regionale) che interpola il set originario $x-y-z$

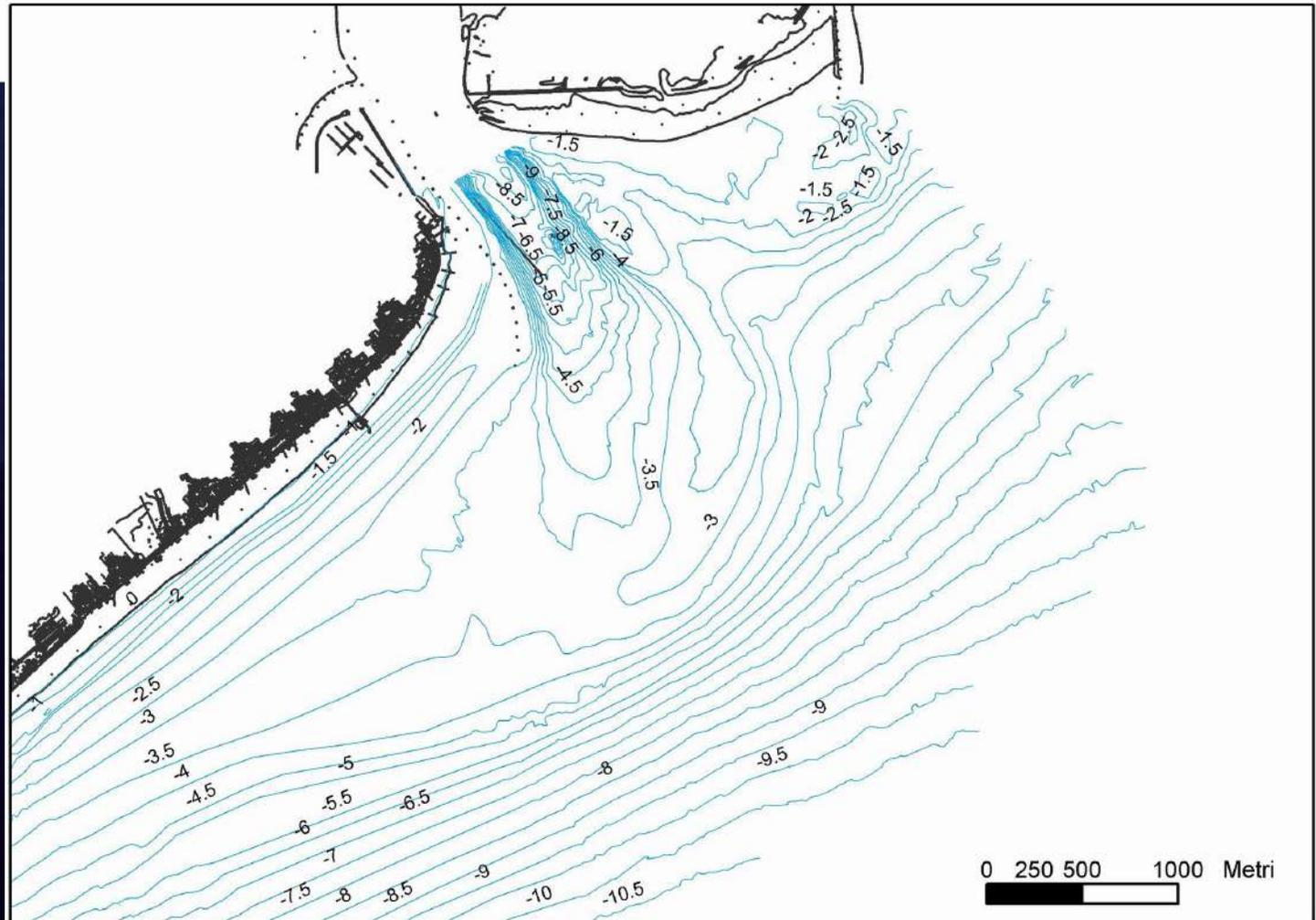
Identificazione del deposito di ebb-delta attraverso la differenza tra la mappa della morfologia reale (elaborata digitalmente in forma di TIN e GRID) e la morfologia virtuale, priva di apparato deltizio, ricavata applicando procedure di TSA

Identificazione bidimensionale dell'ebb-delta



Esempio grafico della costruzione del gradiente regionale secondo Stauble (1988).

Esempio di rilievo batimetrico per la
costruzione del modello morfologico del delta
di riflusso: **BOCCA DI LIGNANO**



Bocca tidale di Lignano: raster (GRID) della morfologia costiera in assenza dell'apparato tidale

1 – dati di partenza

Trend regionale virtuale:

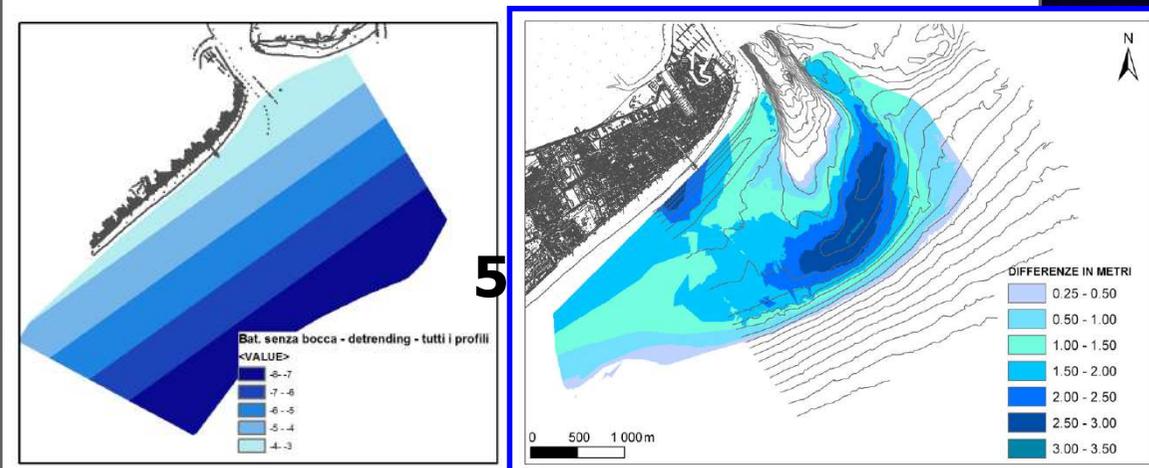
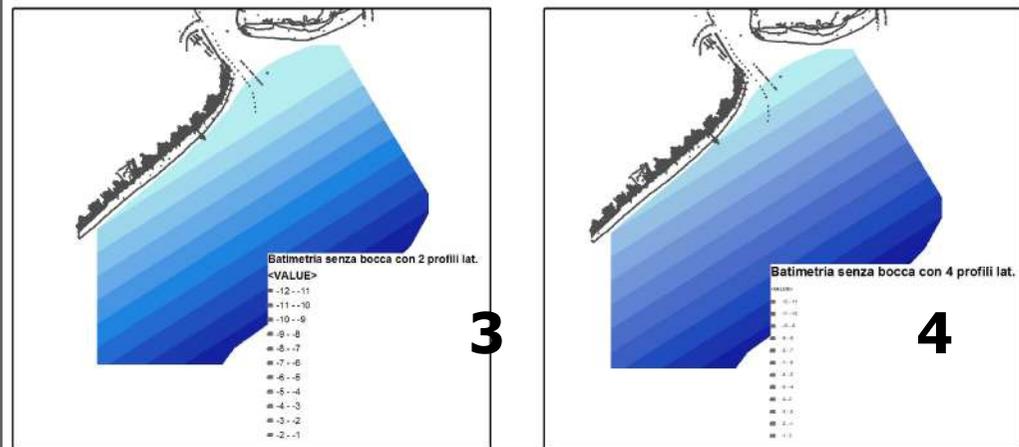
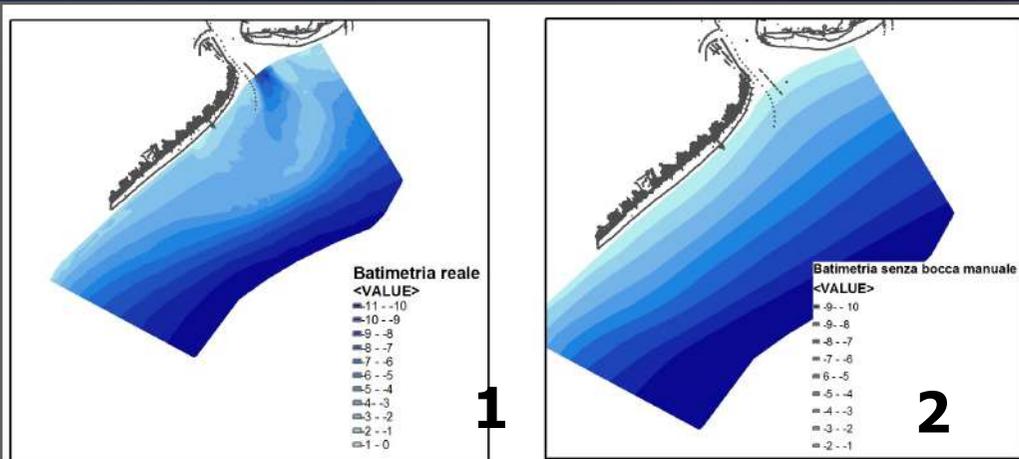
2 – elaborazione manuale

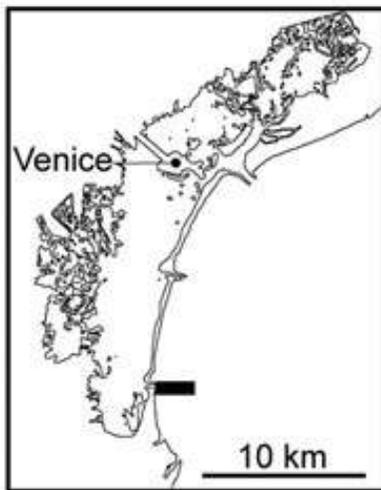
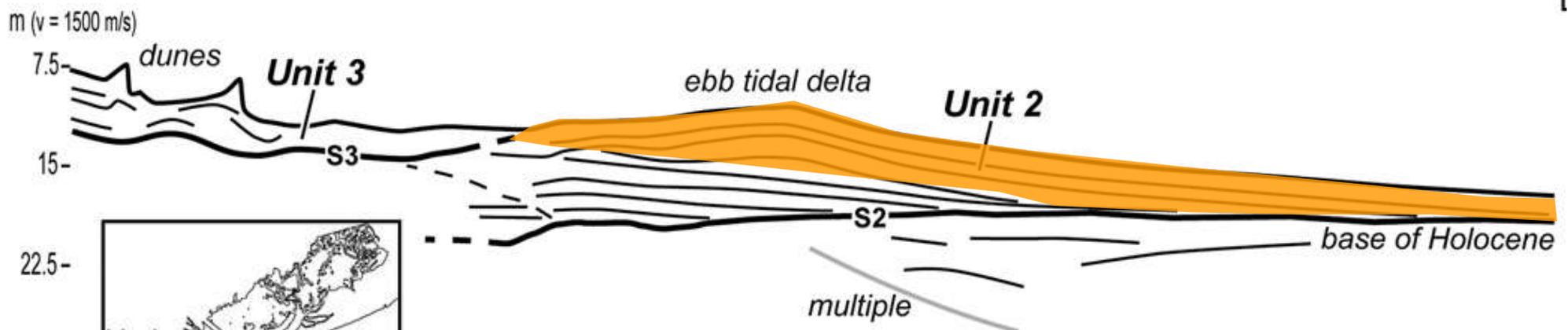
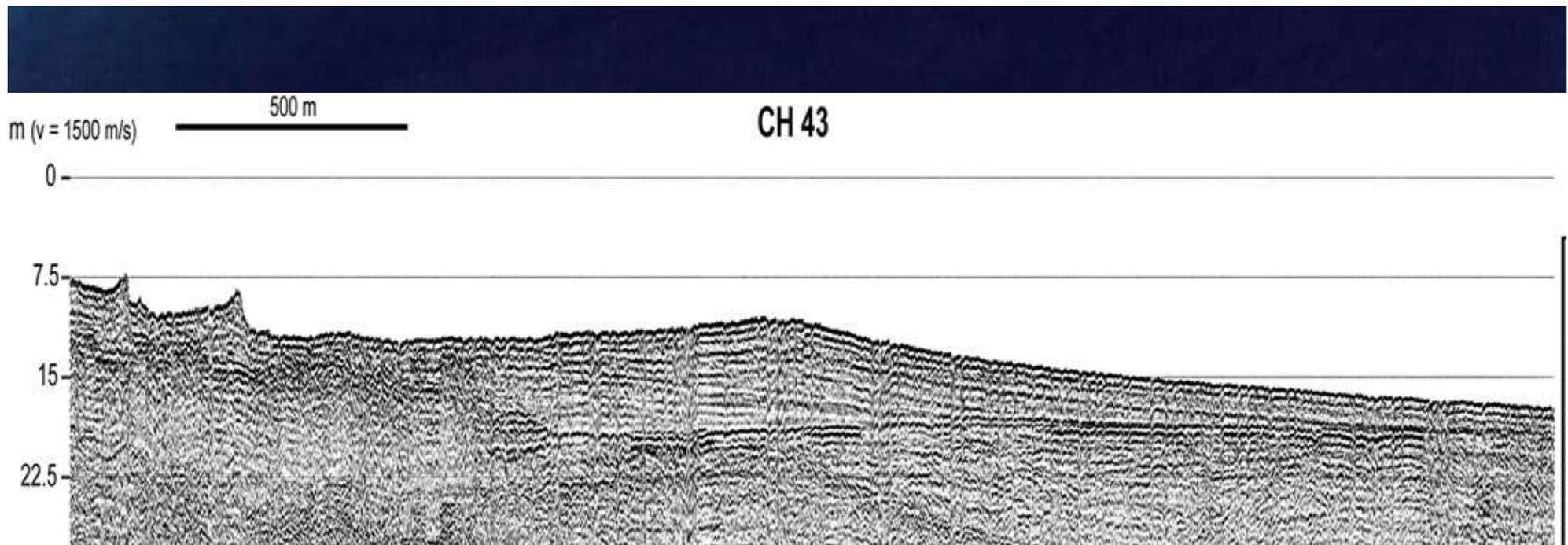
Metodi automatici:

3 – 2 profili laterali

4 – 4 profili laterali

5 – utilizzo di tutti i profili disponibili

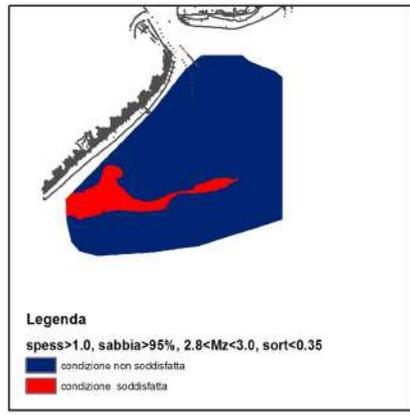
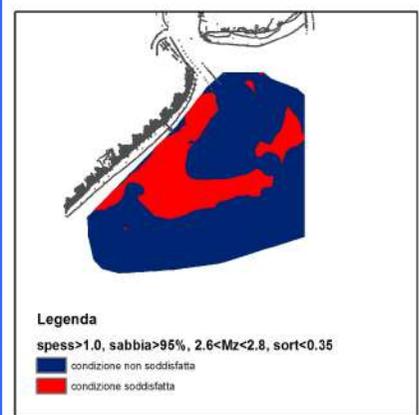
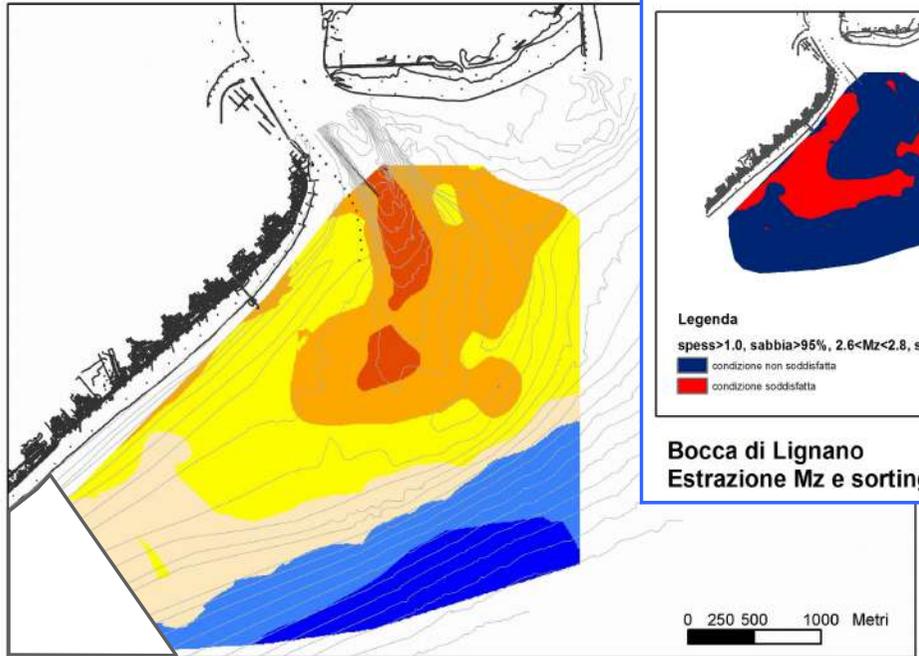
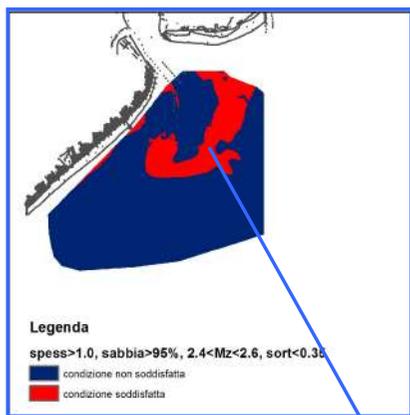
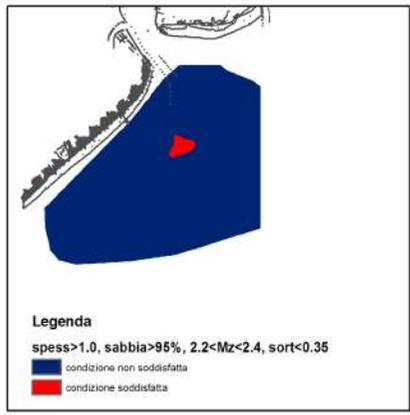
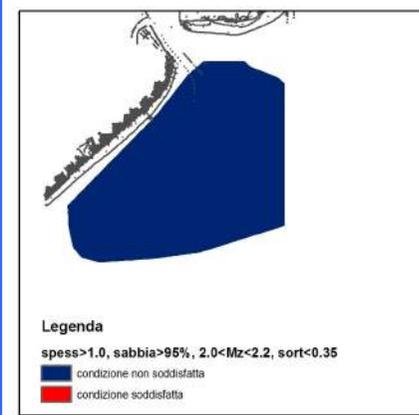
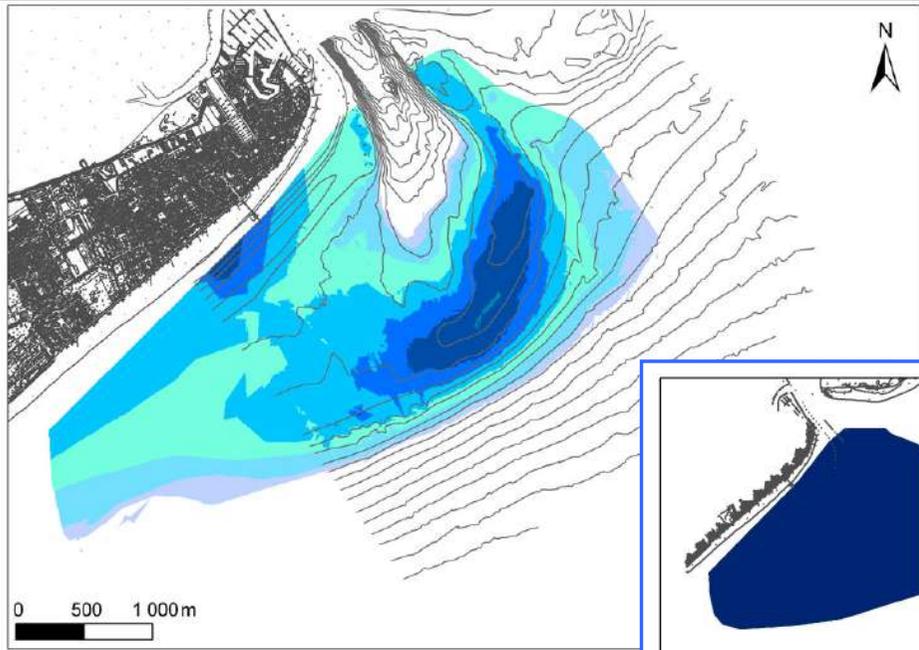




Esempio del corpo deposizionale di ebb-tidal delta di Chioggia (da Zecchin et al., 2008)

SEDIMENTOLOGIA

GIS – interrogazioni al database

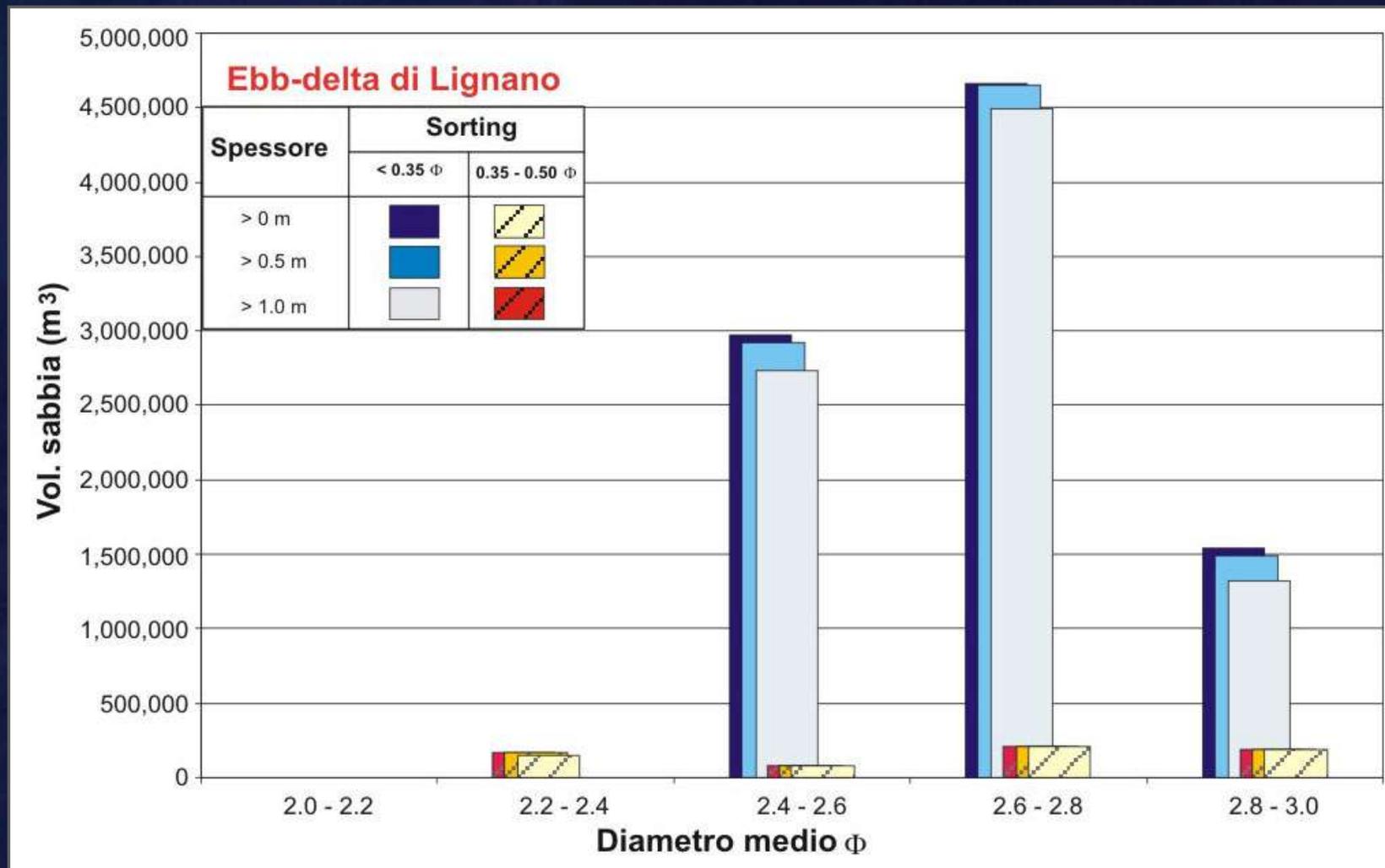


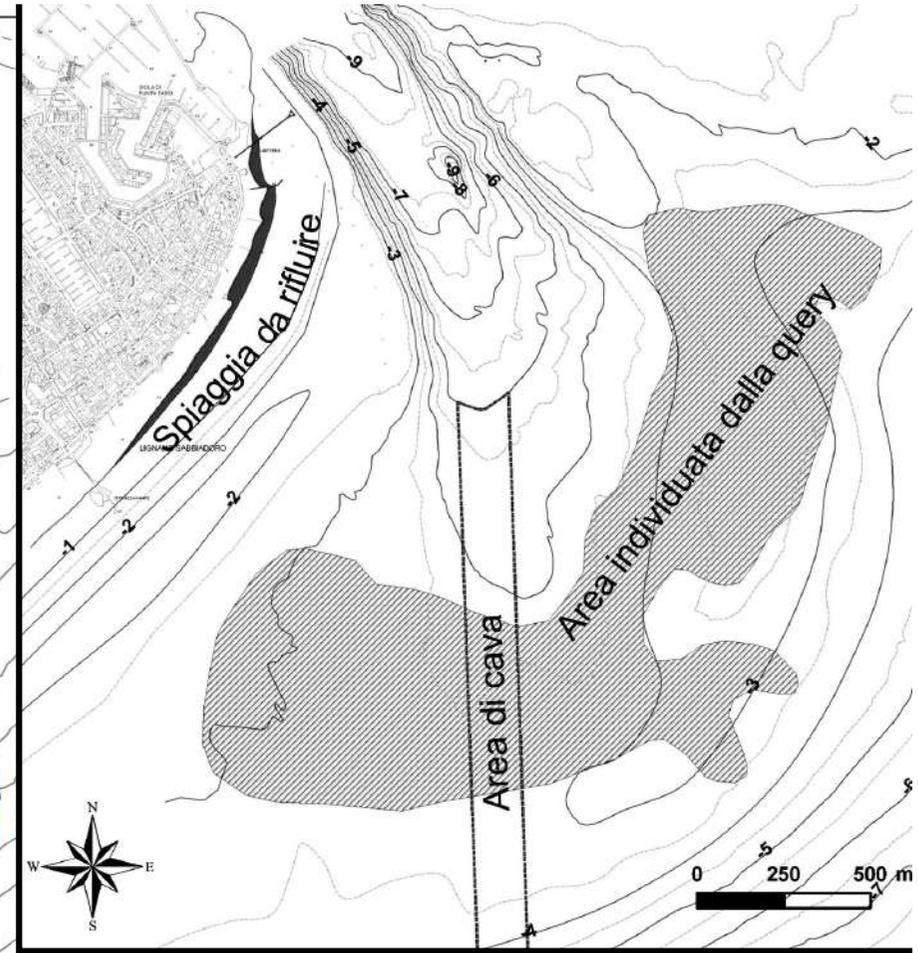
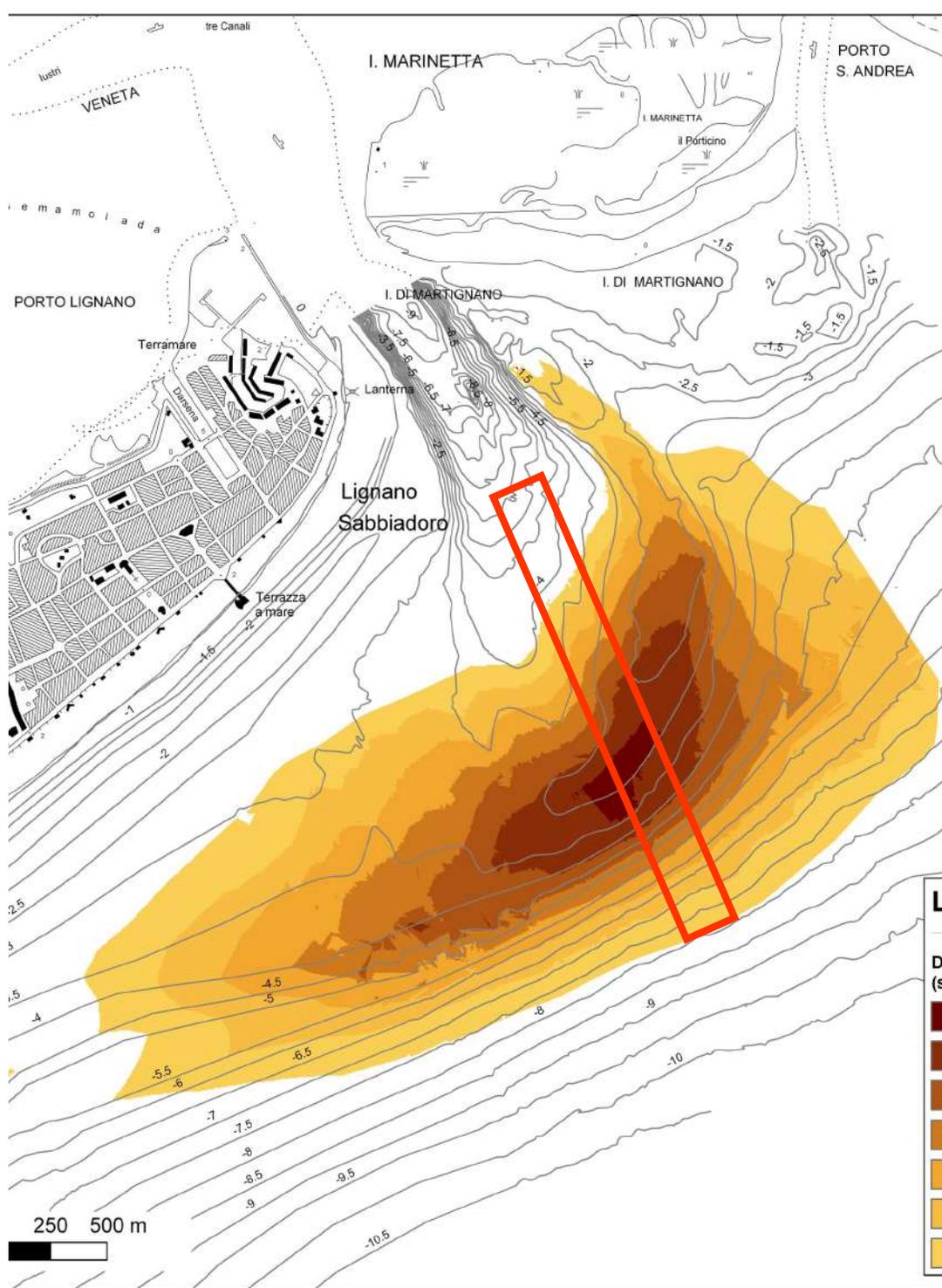
Bocca di Lignano
Estrazione Mz e sorting per sabbie > 95% e spessore > 1.0

ca. 2.700.000 m³

Spessore > 1m
Diametro medio: 2.4 < Mz < 2.6 Φ
Sorting < 0.35 Φ

VOLUME DEL DEPOSITO SABBIOSO IN FUNZIONE DEL DIAMETRO MEDIO E DEL SORTING





Legenda

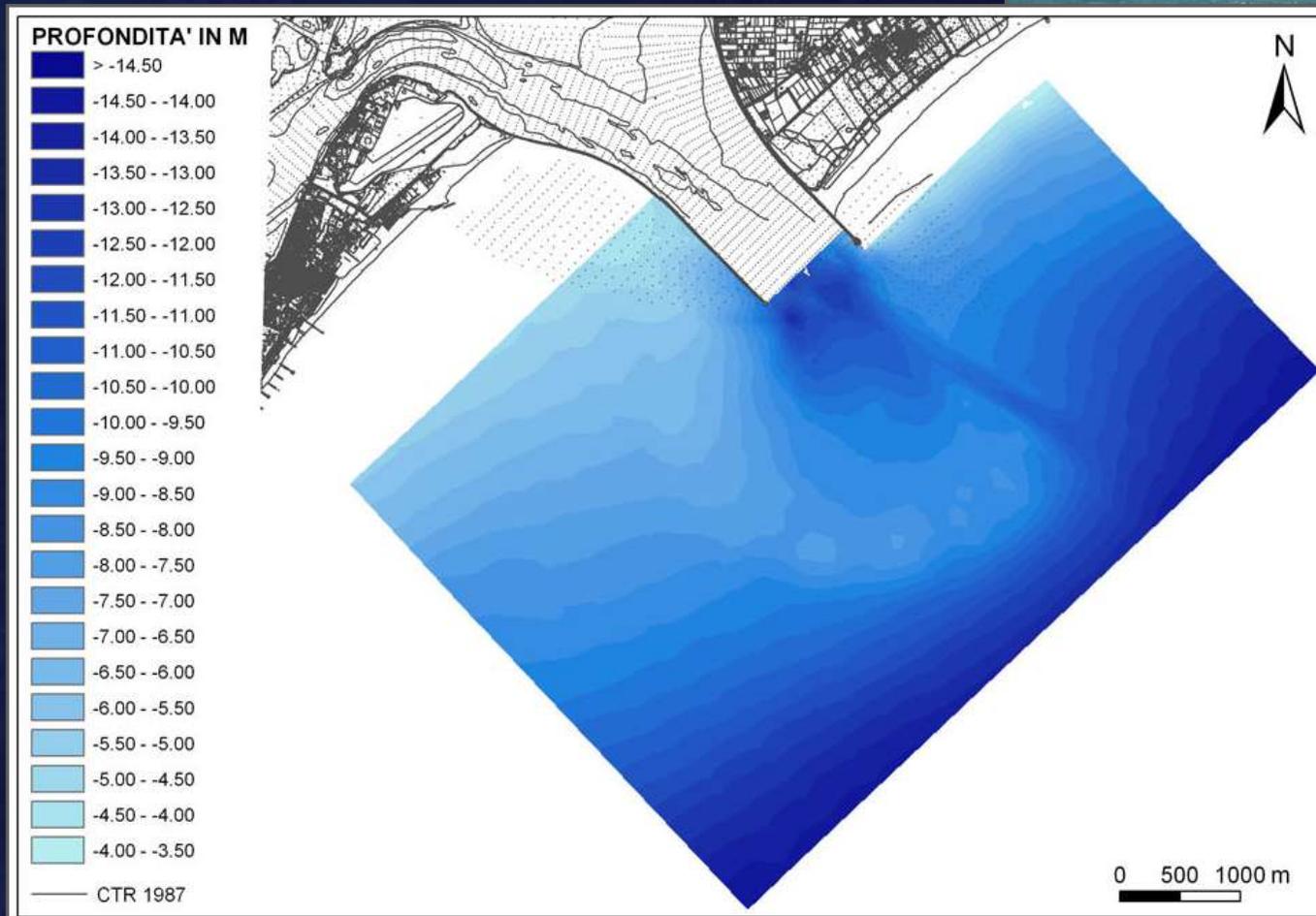
Batimetria

Deposito potenziale (spessore in m)

Dark Red	da 3.5 a 4.0
Red	da 3.0 a 3.5
Dark Orange	da 2.5 a 3.0
Orange	da 2.0 a 2.5
Light Orange	da 1.5 a 2.0
Yellow-Orange	da 1.0 a 1.5
Yellow	da 0.5 a 1.0

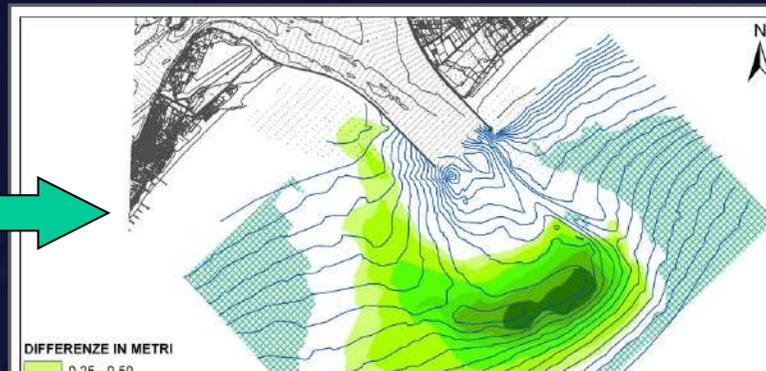
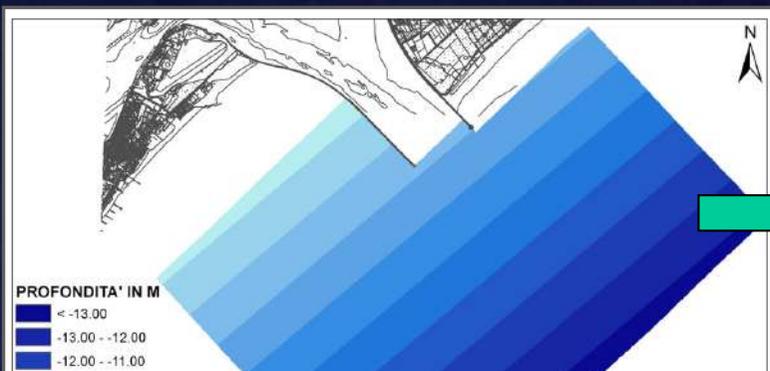
Piano di escavazione per un ripascimento di ca. 100.000 mc

BOCCE CON MOLLI FORTEMENTE AGGETTANTI: BOCCA DI PORTO DI LIDO

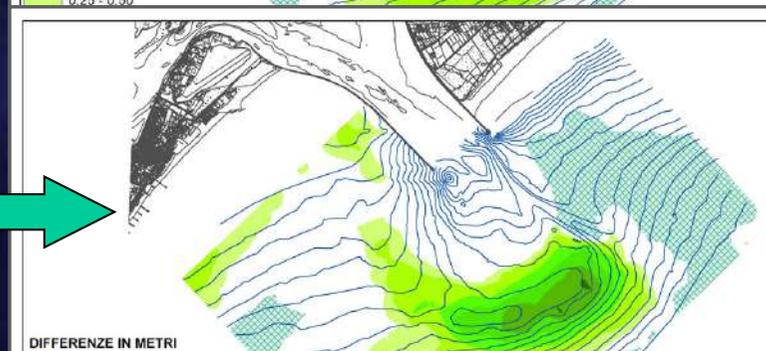
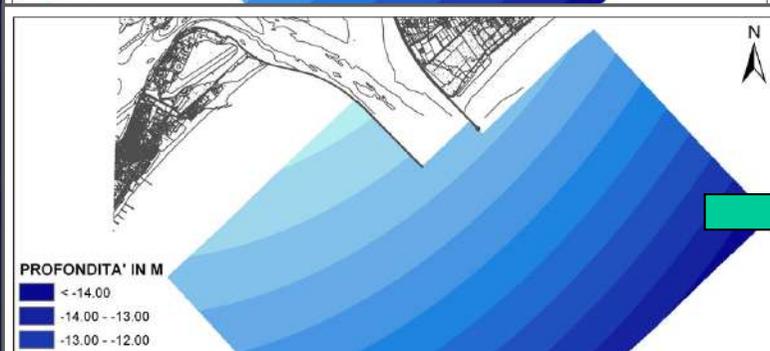


TEST GEOSTATISTICI E CALCOLO DELL'ANOMALIA VOLUMETRICA

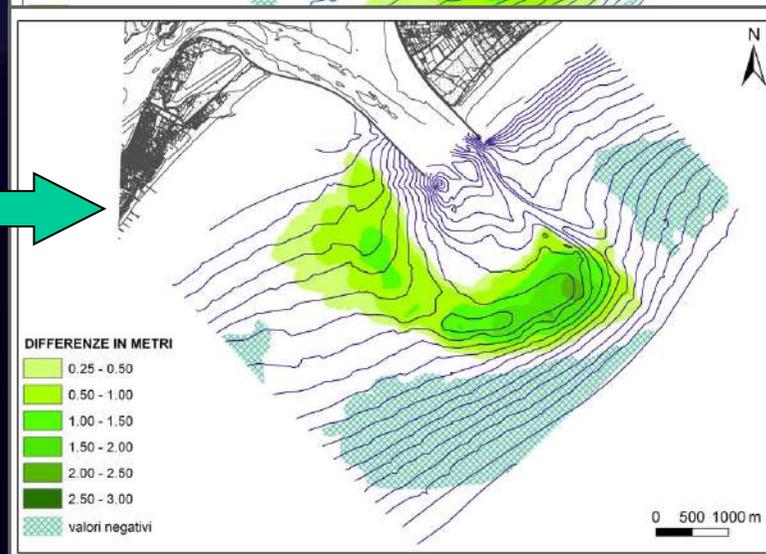
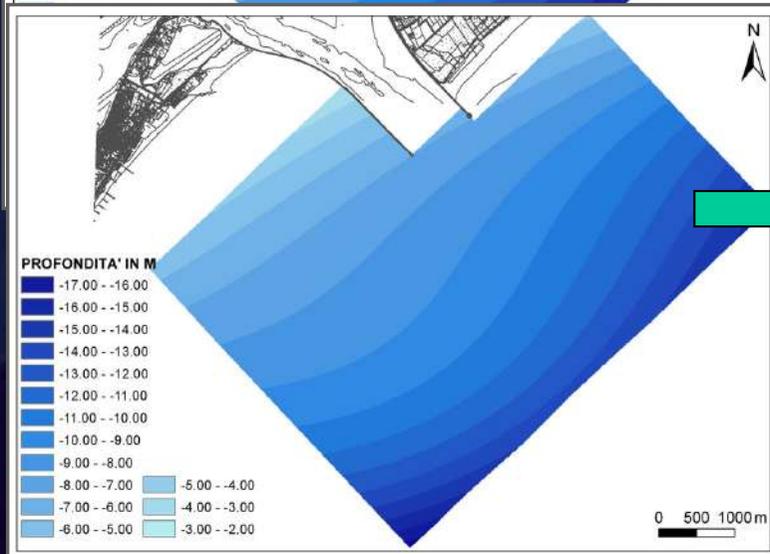
1° ordine



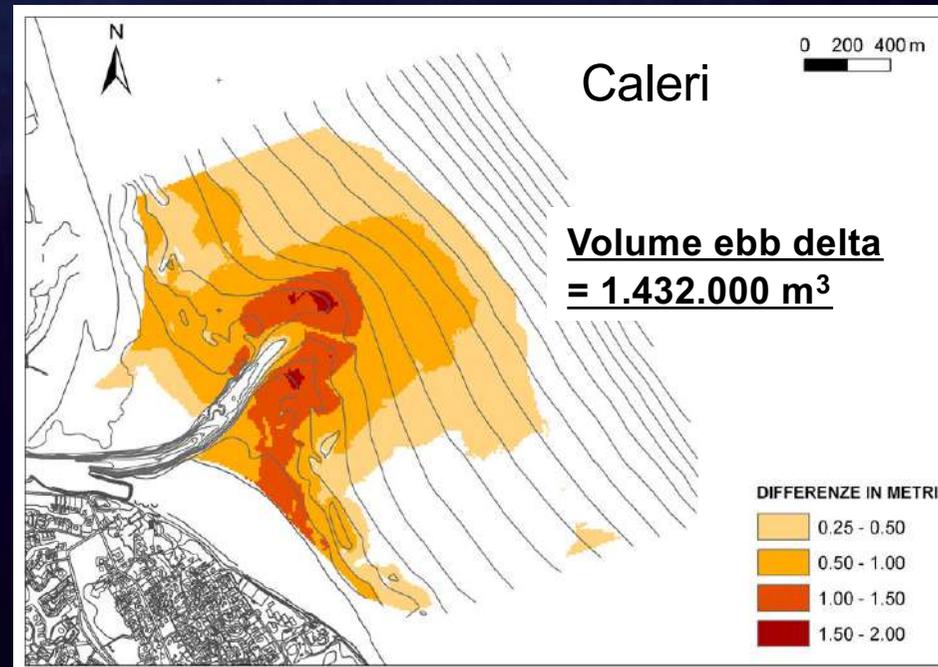
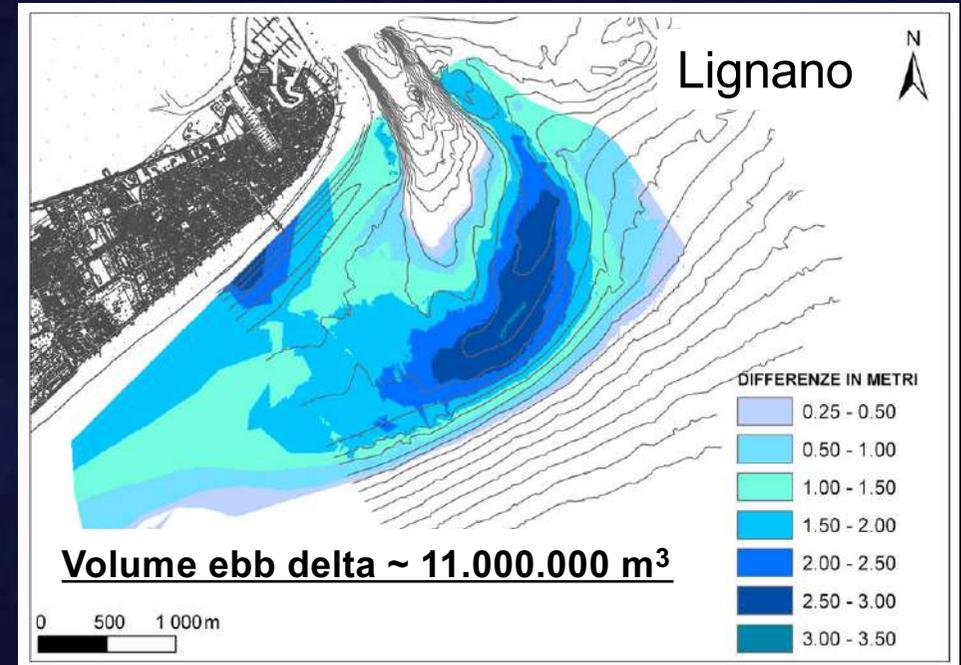
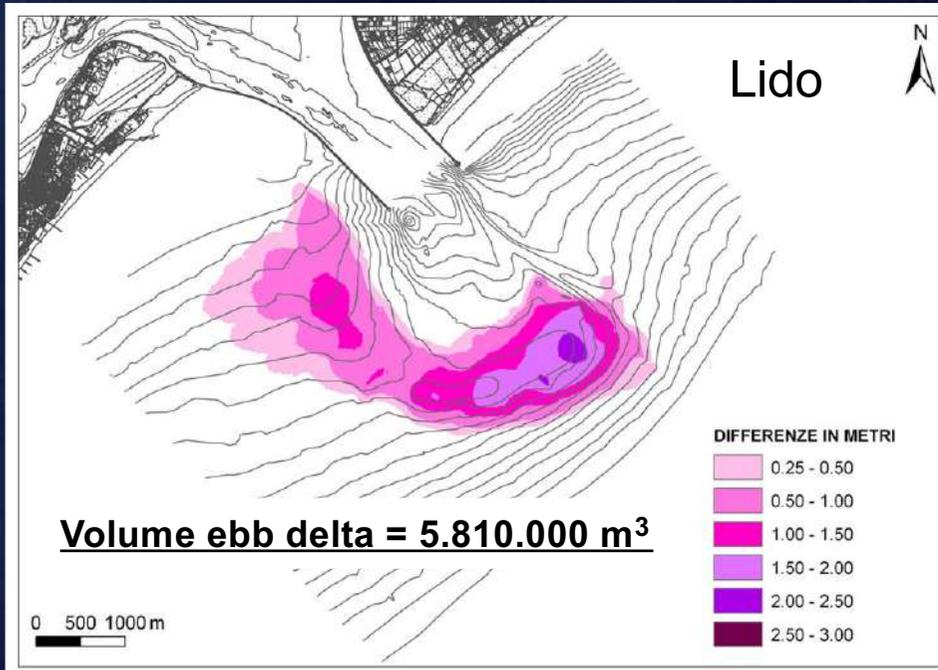
2° ordine



3° ordine

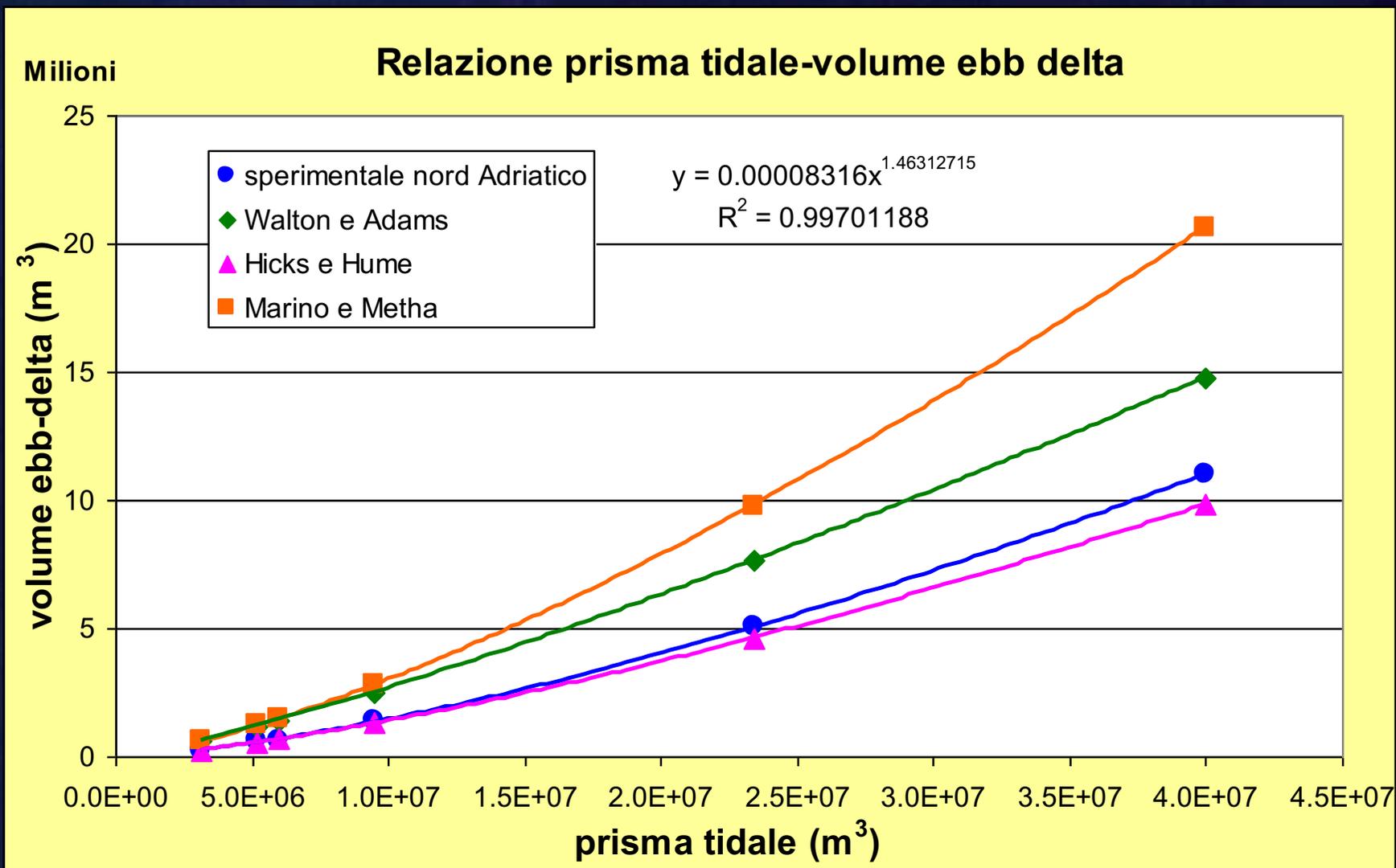


RISULTATI DEL CALCOLO VOLUMETRICO



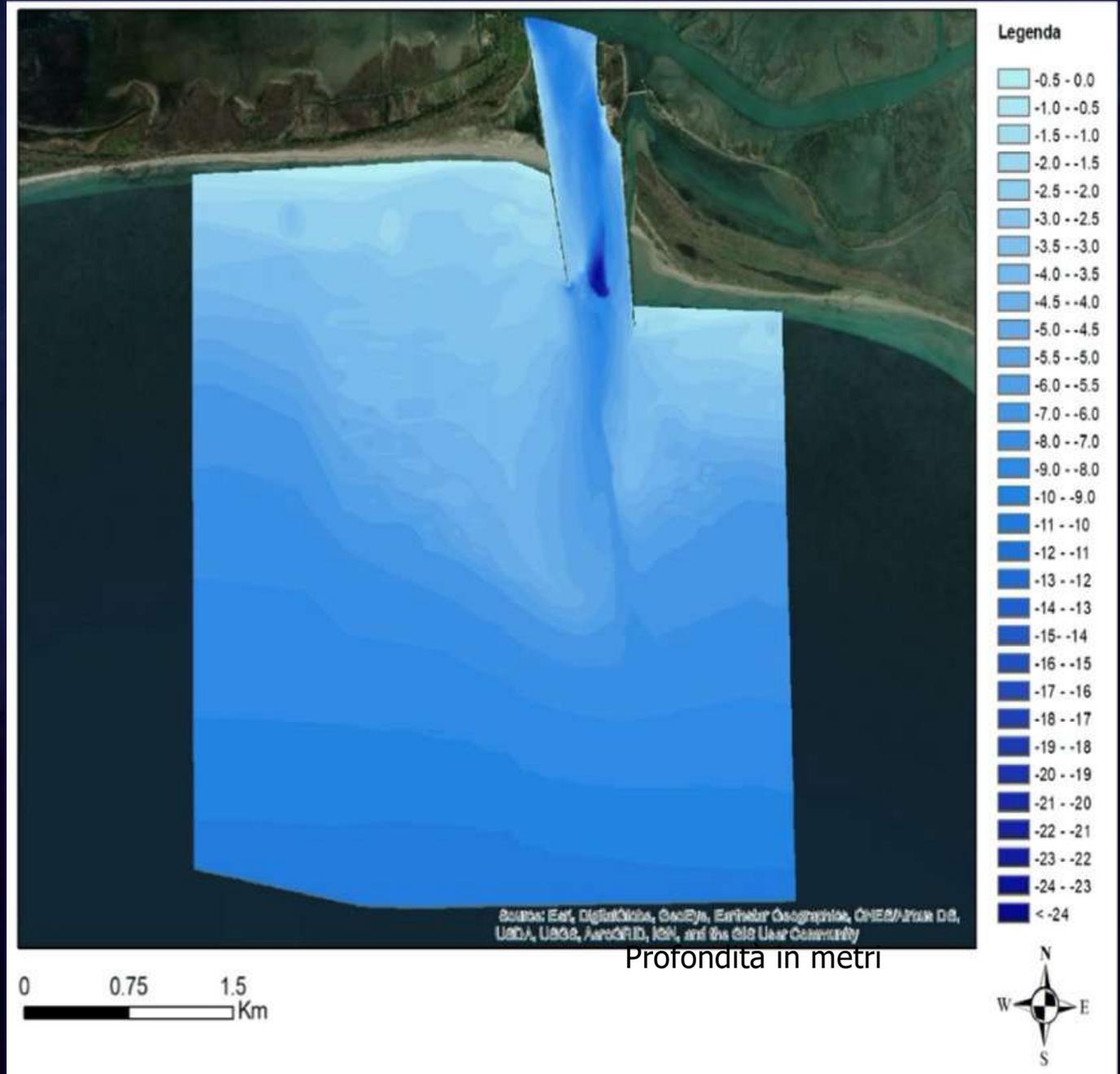
BOCCHE NATURALI SENZA ARMATURE

Volume di equilibrio del delta di riflusso



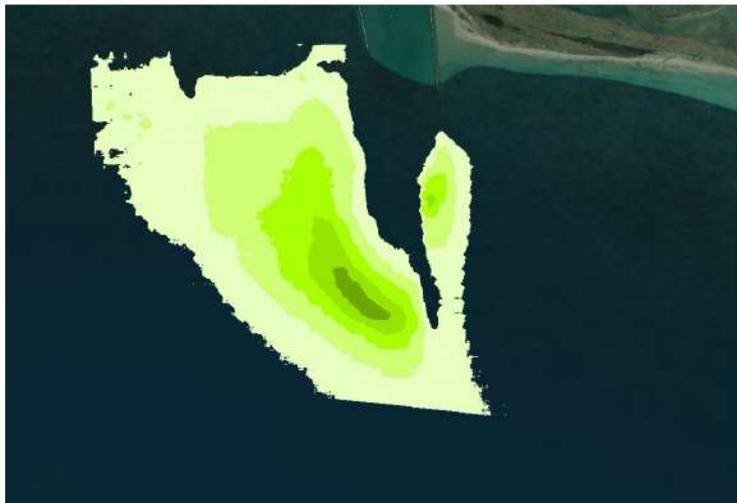
ESEMPIO APPLICATIVO

DTM della bocca lagunare di Porto Buso

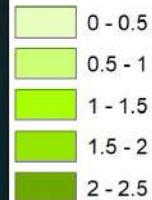


Volume del delta (residuale da detrending II ordine)

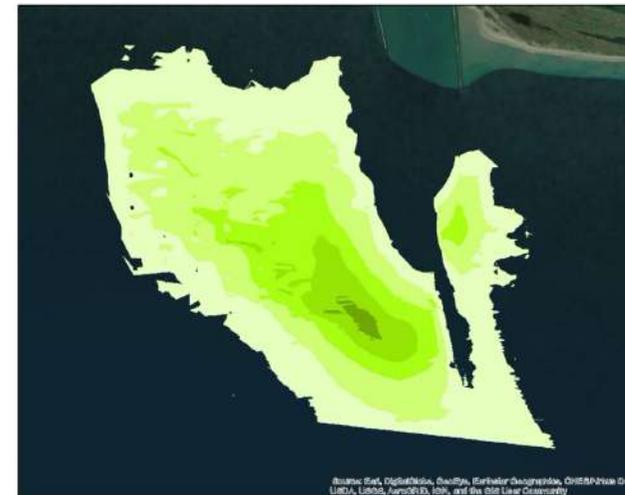
Volume deposito 2006
= 2.262.565 m³



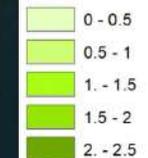
Legend



Volume deposito 2019
= 2.587.128 m³



Legend



0 250 500
m

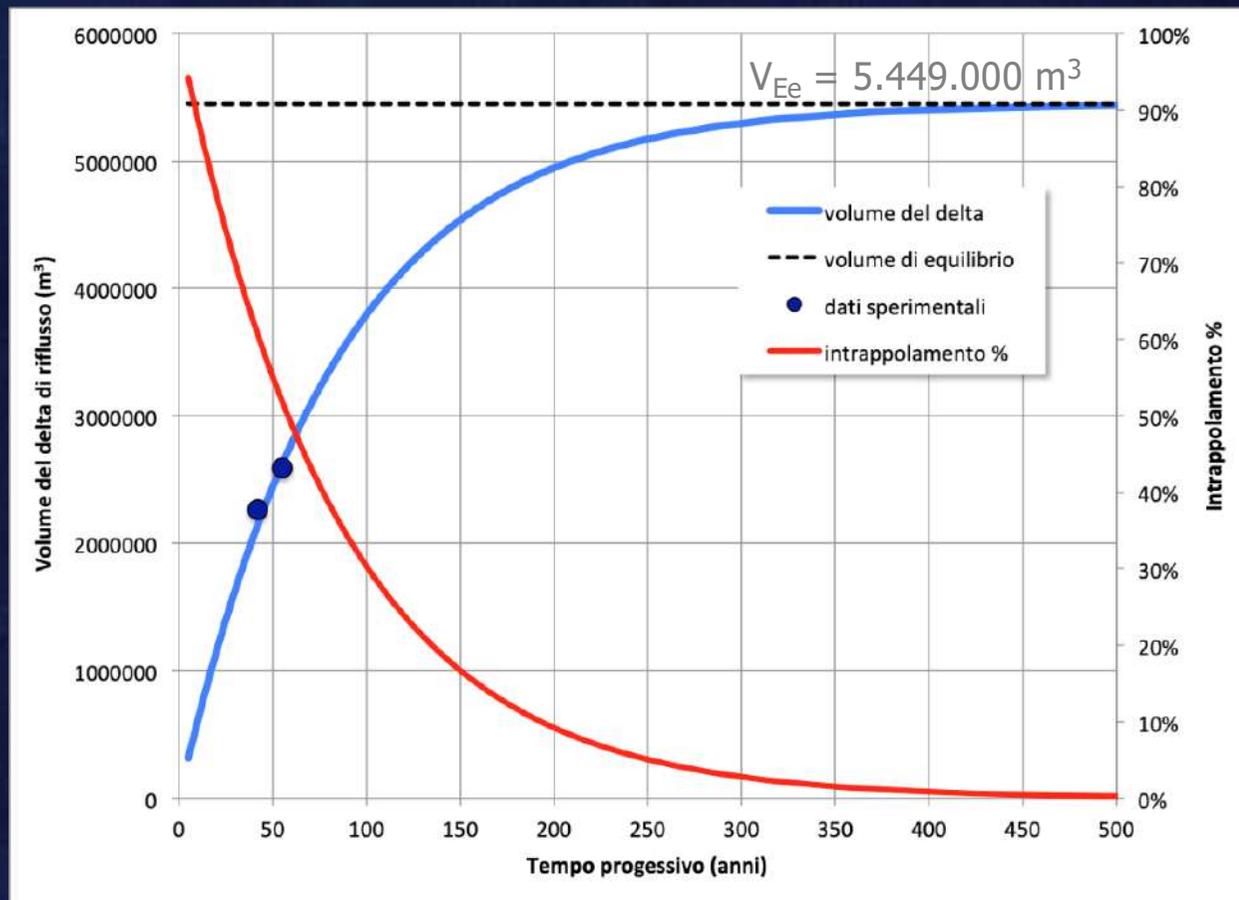
0 250 500
m

Spessori sedimentari in metri

IPOSTESI DI GESTIONE DEI SEDIMENTI

TIRM - Tidal Inlet
Reservoir Model
(Kraus, 2002)

$$V_E = V_{Ee} (1 - e^{-\alpha t}) \text{ con } \alpha = \frac{Q_{in}}{V_{Ee}}$$



Con:

V_E = volume del delta (al tempo t)

V_{Ee} = volume di equilibrio

t = tempo (dalla costruzione dell'armatura)

Q_{in} = flusso longshore



V_{Ee} = volume di equilibrio =
= 5.449.000 mc

t = tempo (dal 1964, anno di costruzione dell'armatura)

Q_{in} = flusso longshore =
ca. 65.000 mc

RISULTATO

32.000 mc/anno sono estraibili dal delta per eventuali ripascimenti senza rallentare di molto il raggiungimento dell'equilibrio della struttura, ipotizzato in 400-500 anni

