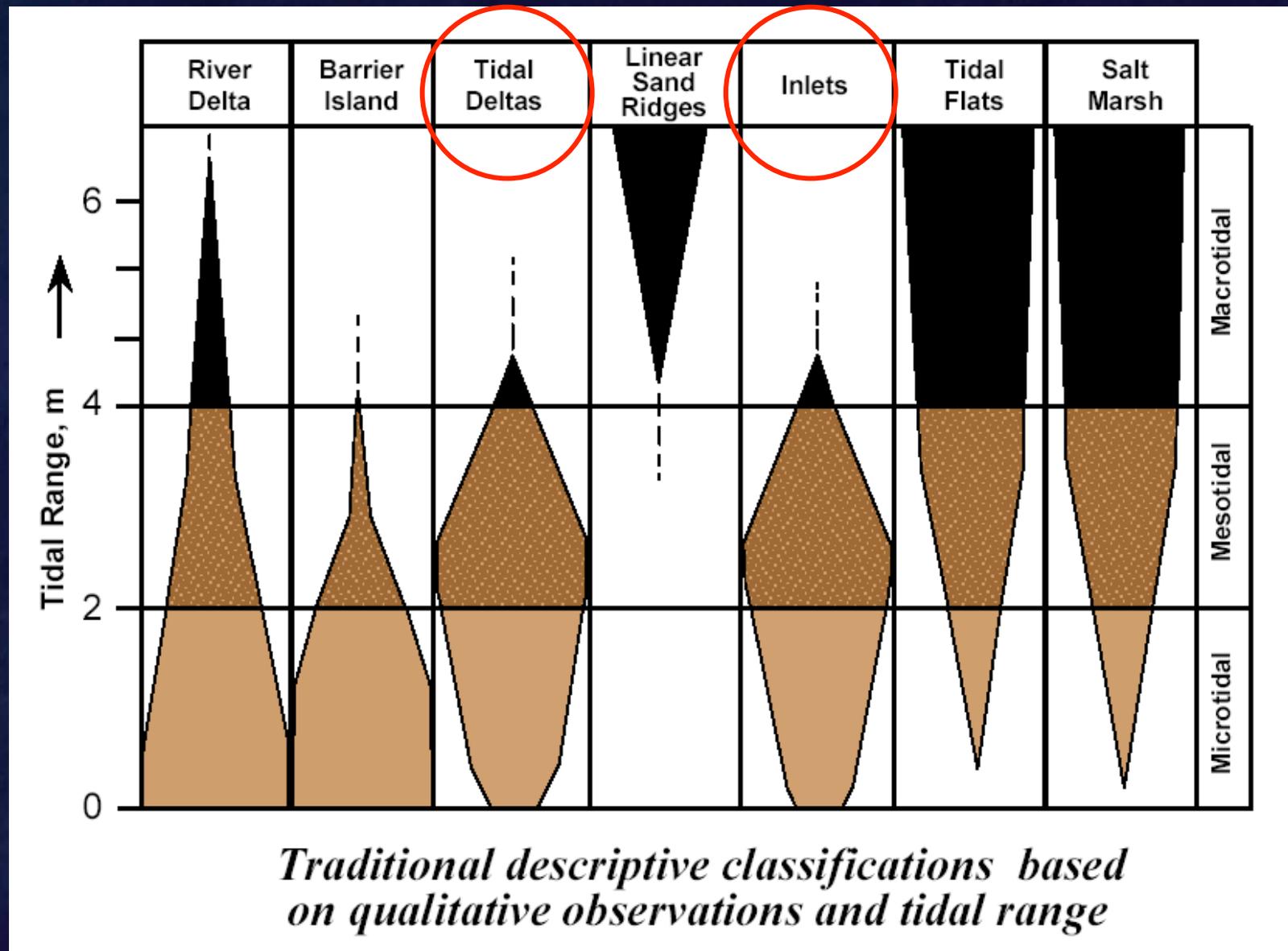


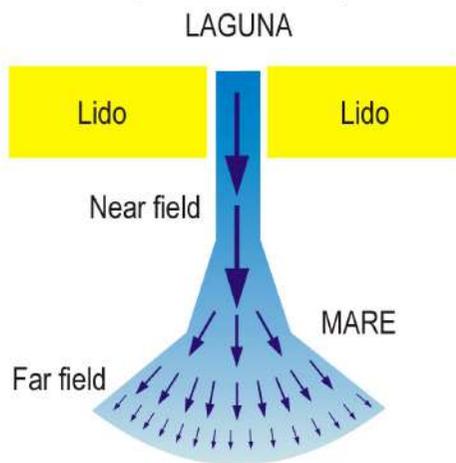
LE BOCCHE TIDALI



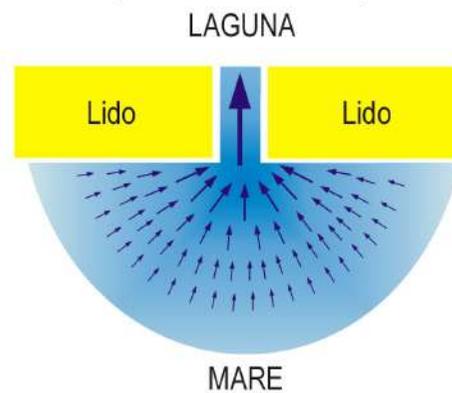


Caratteristiche idrodinamiche

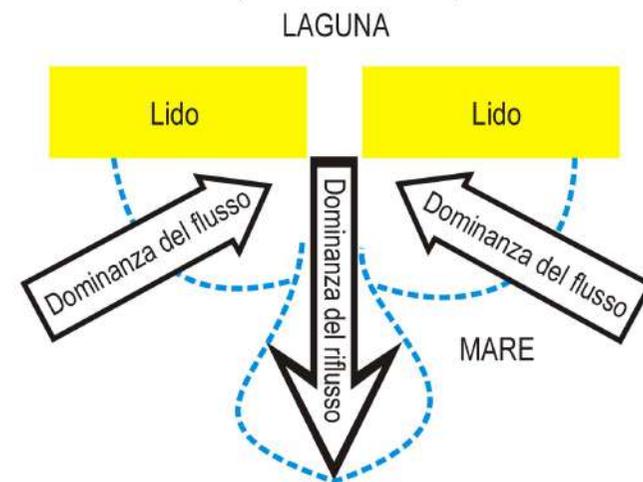
**A. Schema idrodinamico
(marea calante)**



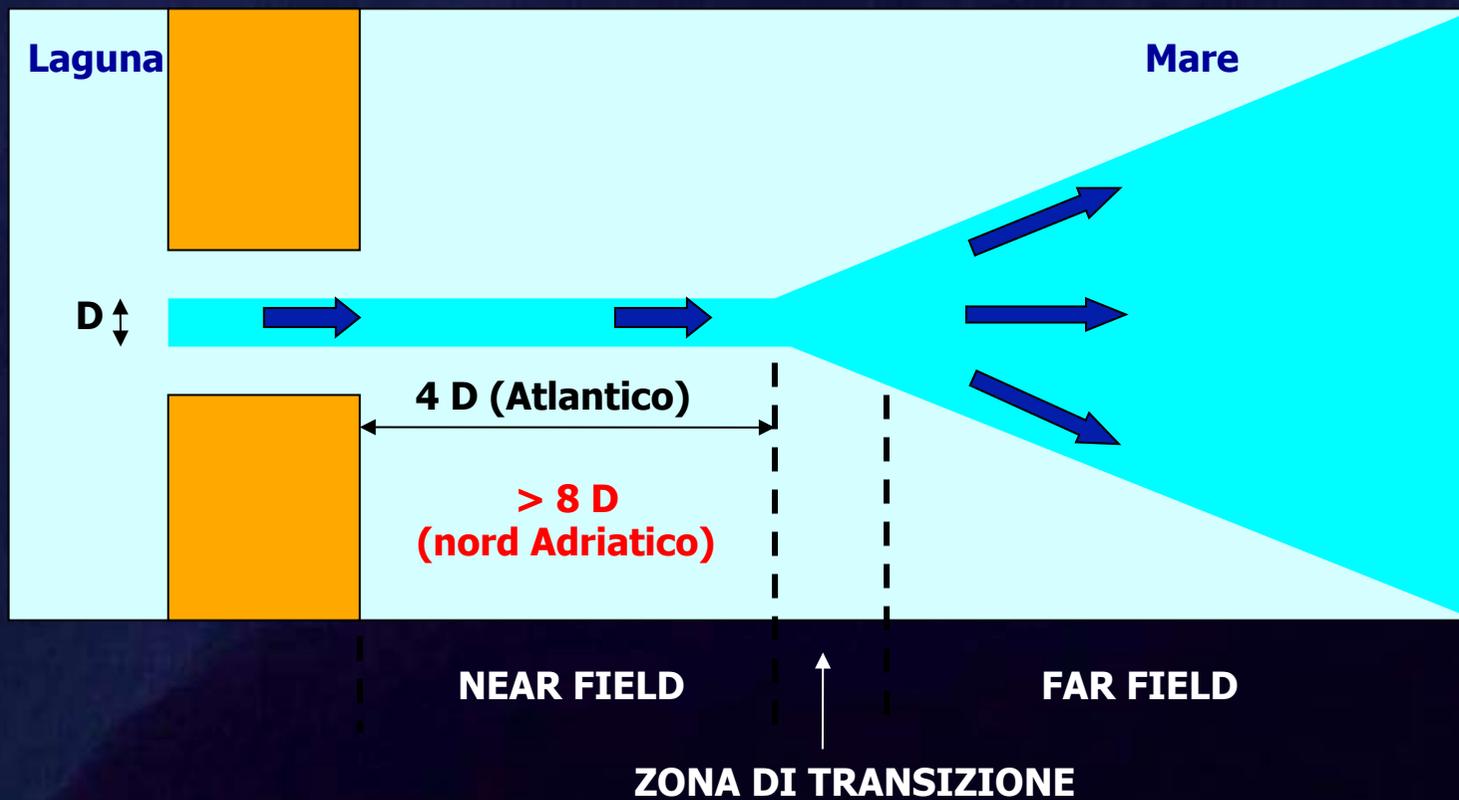
**B. Schema idrodinamico
(marea montante)**

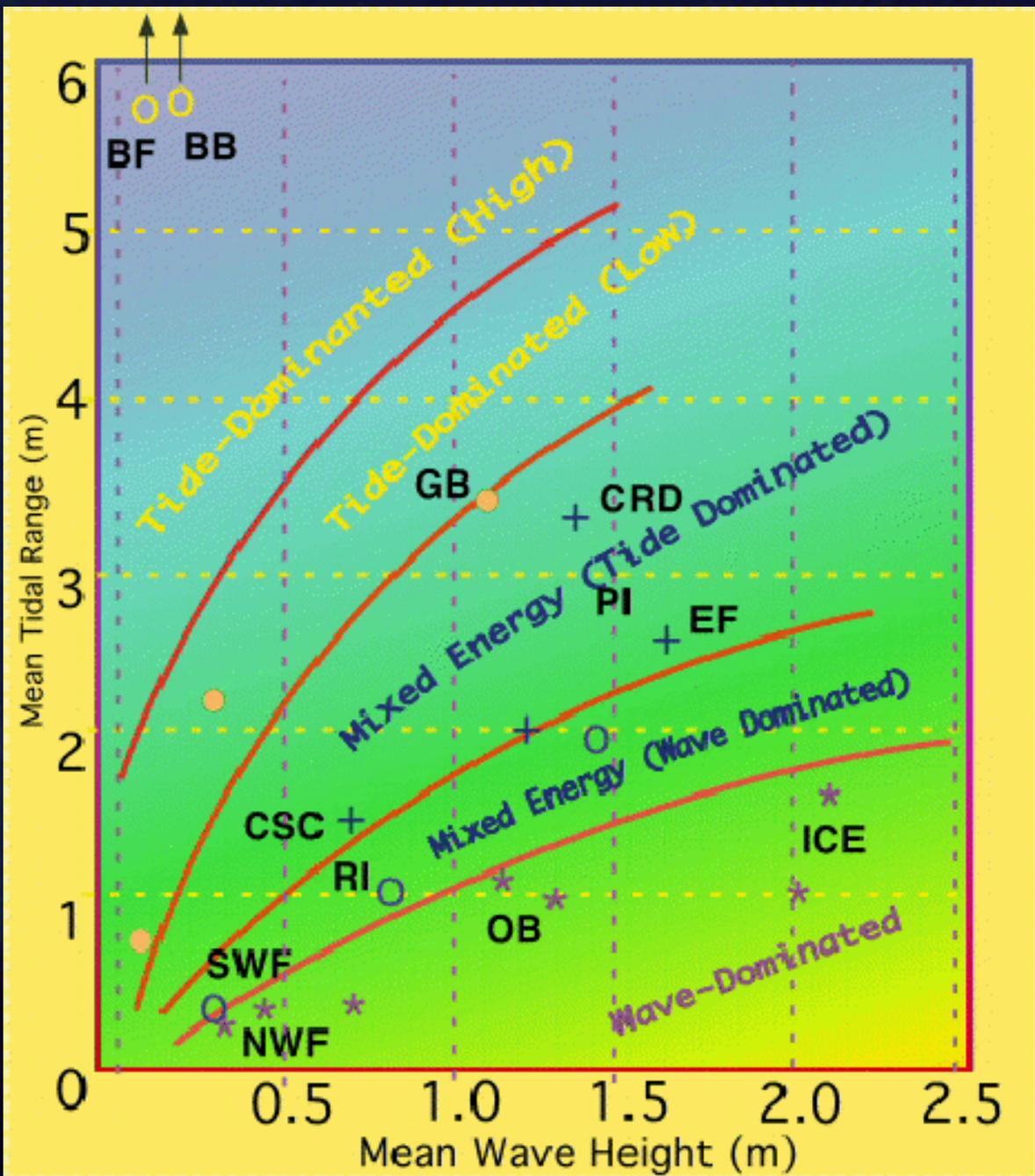


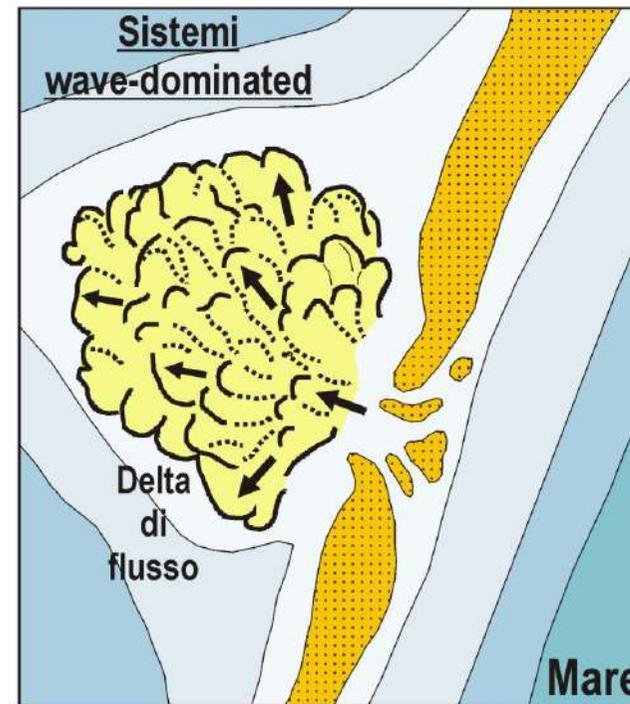
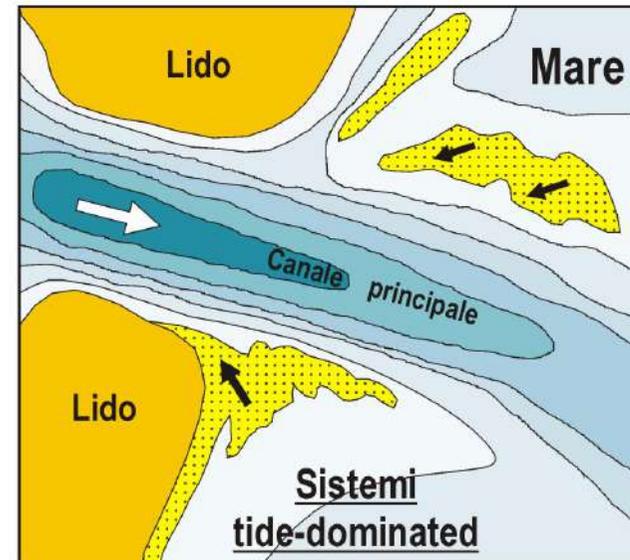
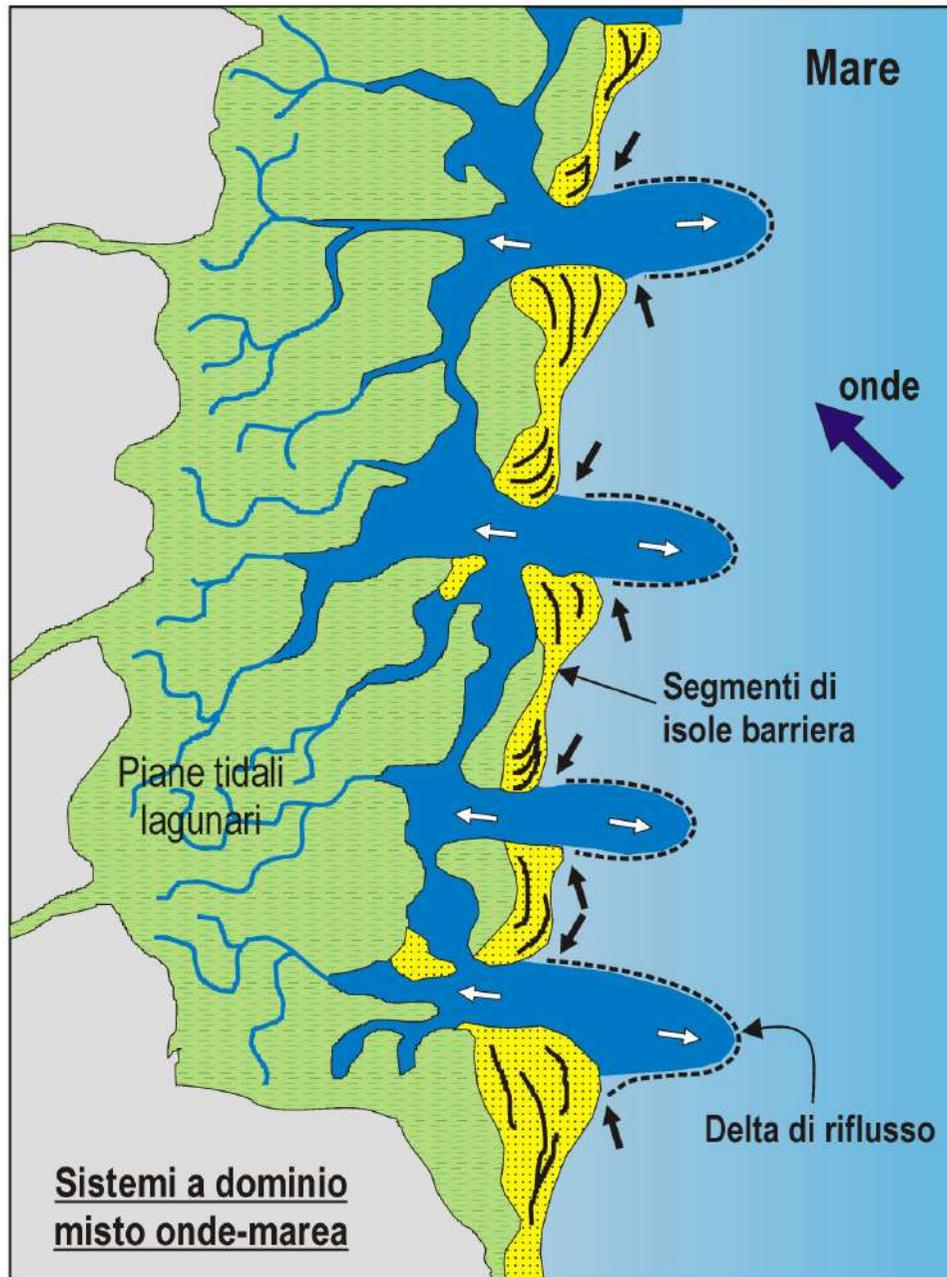
**C. Schema idrodinamico composito
(flusso-riflusso)**



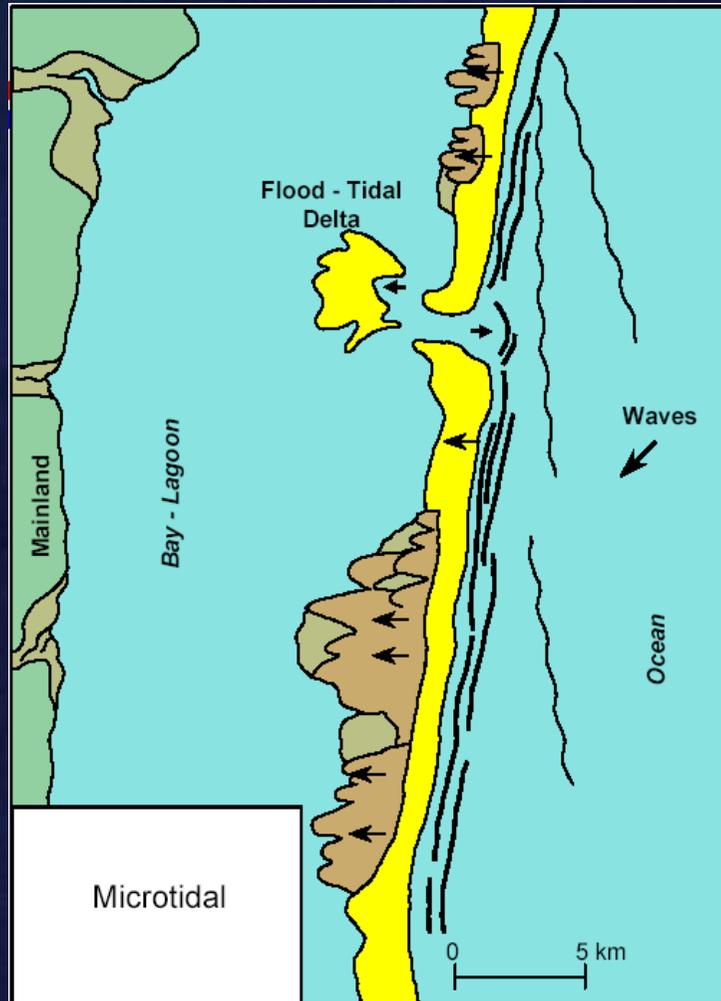
SCHEMA DELL'AREA DI BOCCA E DELLE DIVERSE ZONE DEL FLUSSO







DOMINIO MICROTIDALE



Caratteristiche morfologiche

- lidi lineari e stretti
- sistemi "aperti" baia-laguna
- piane tidali e barene irregolari
- frequenti washover durante le mareggiate
- formazione di breccie 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*



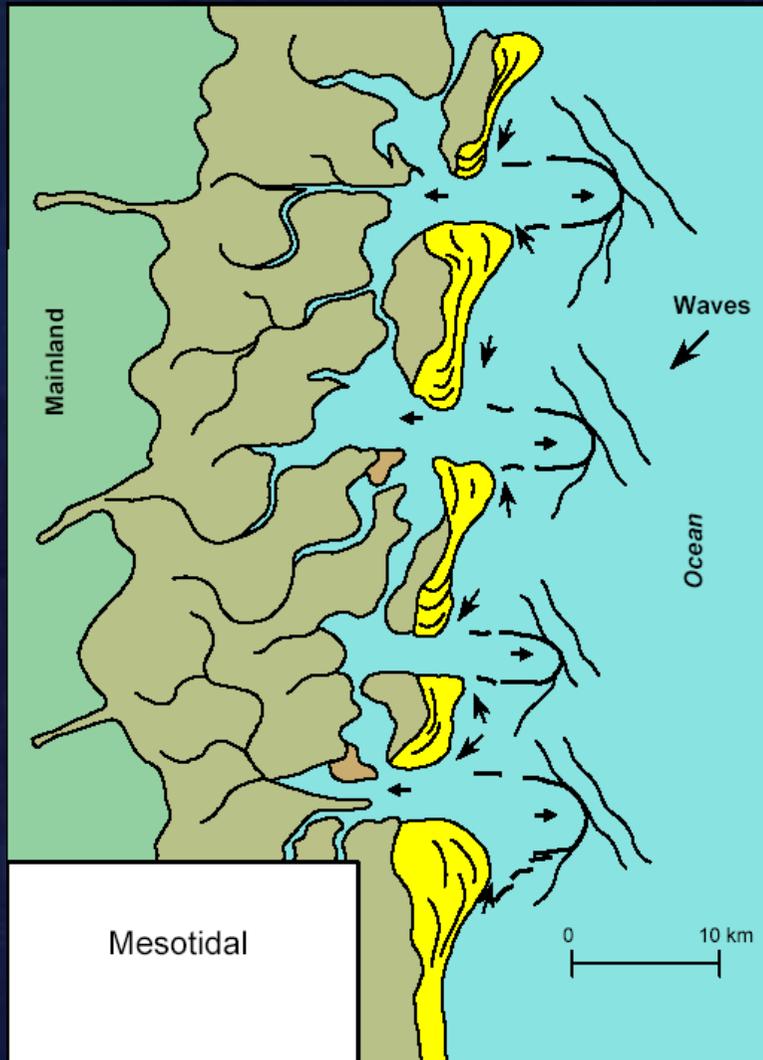
Esempio di formazione di brecce e washover dopo un uragano
Matagorda Island, Texas



Breccia in occlusione e washover multipli
Delta del Po



DOMINIO MESOTIDALE

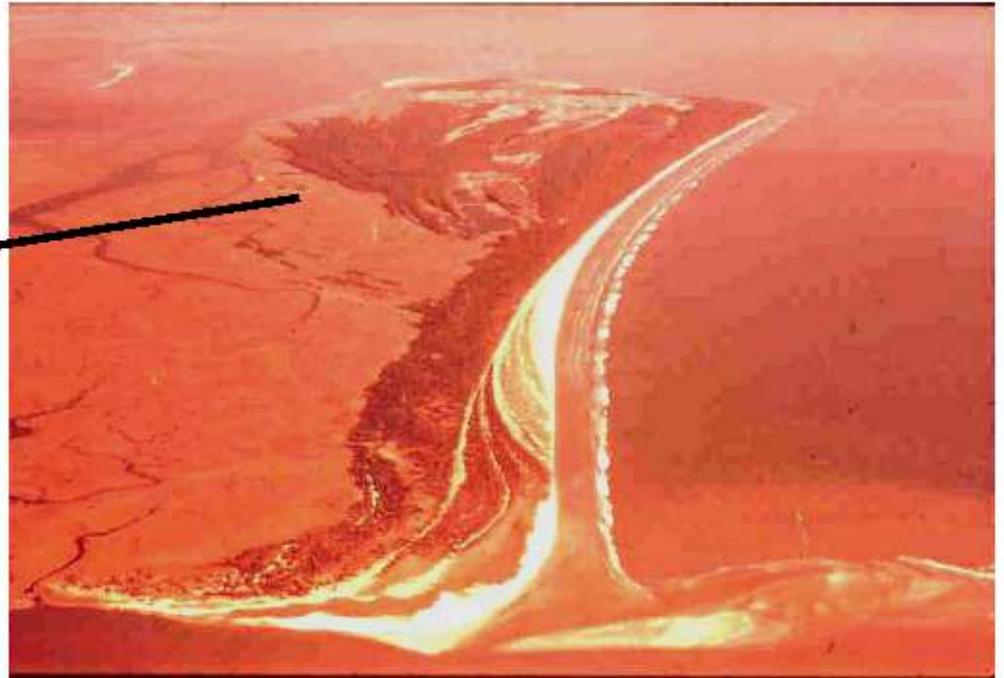


Caratteristiche morfologiche

- 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

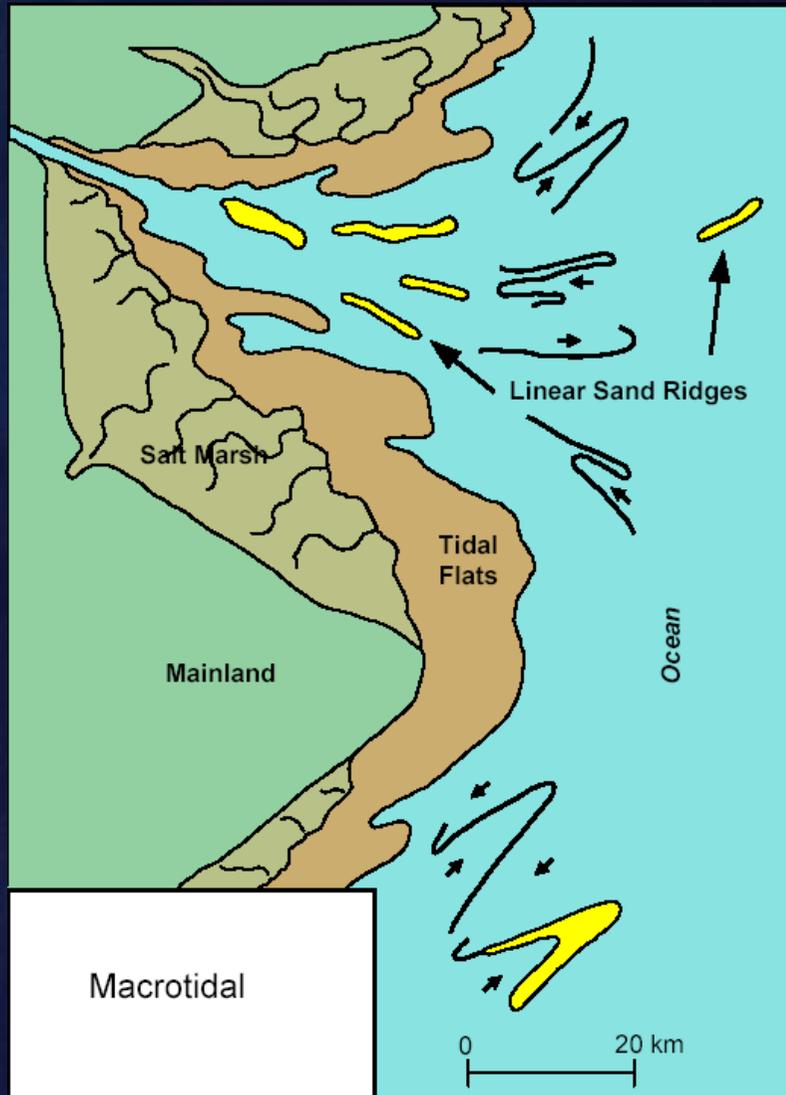


Beach ridge barrier islands, tidal inlets, and salt marshes of the Georgia coast



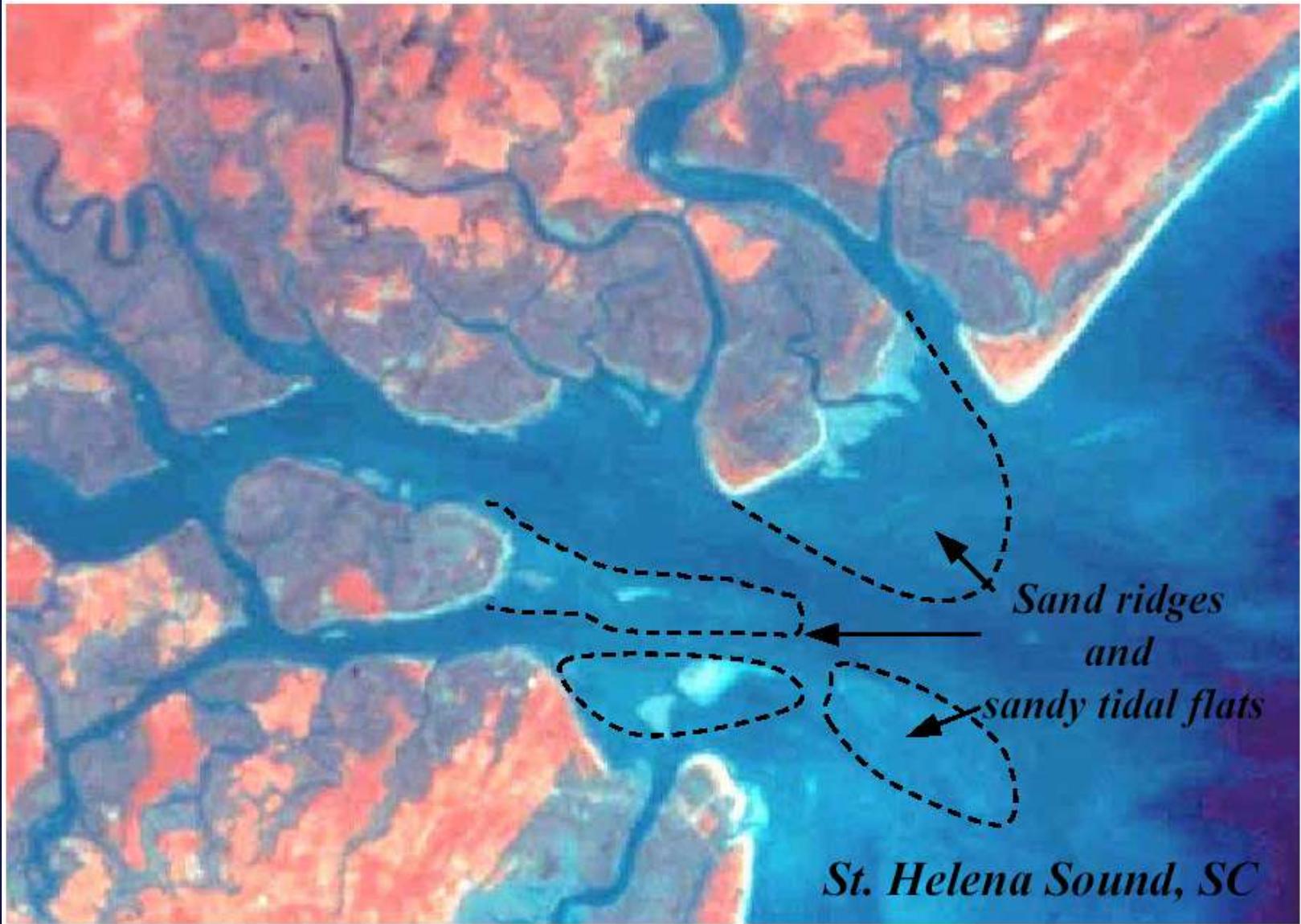
*Dewees, Capers and Price Islands,
South Carolina*

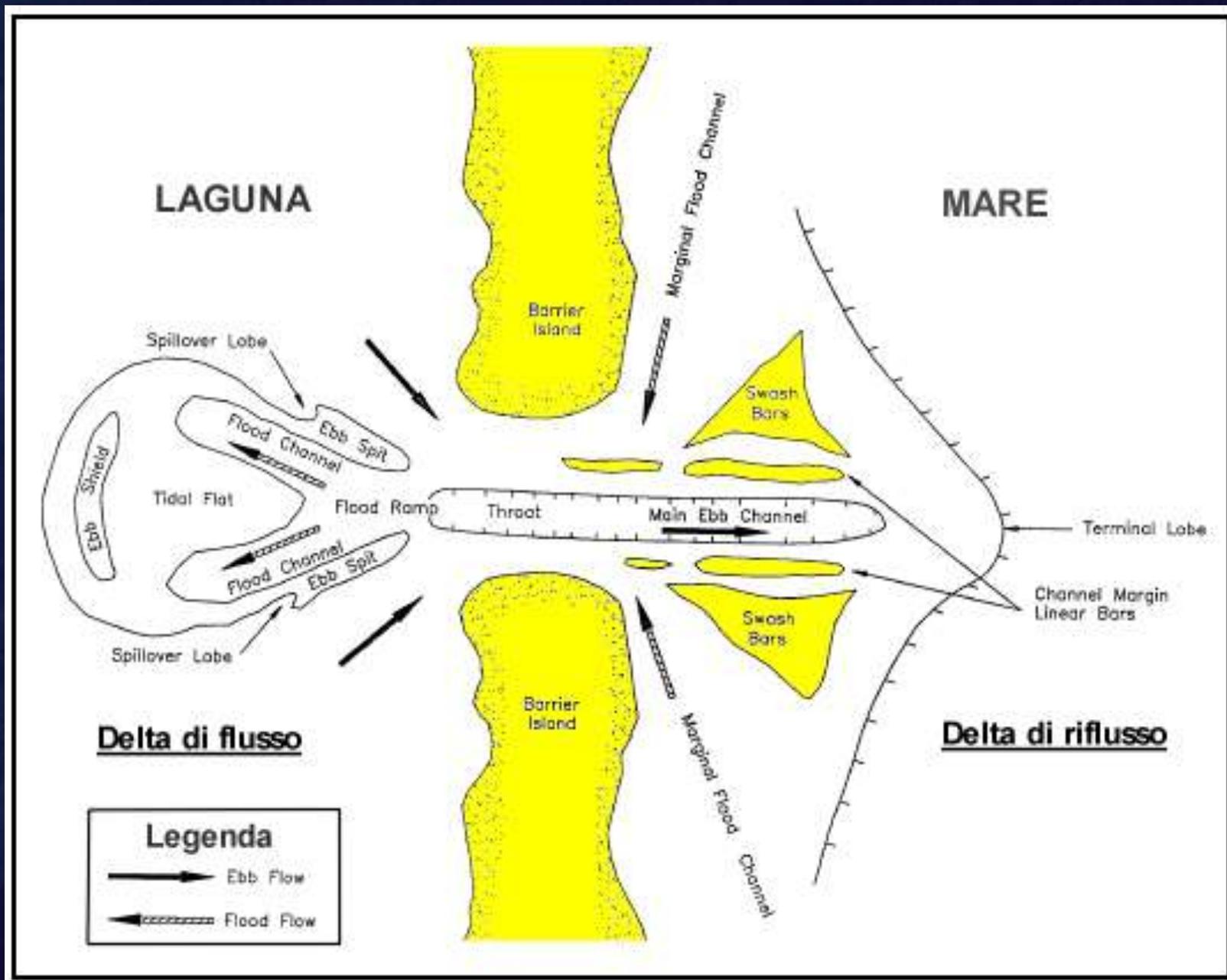
DOMINIO MACROTIDALE



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





IL DELTA DI FLUSSO (FLOOD TIDAL DELTA)

Shinnecock Flood Shoal



Spillover Lobe

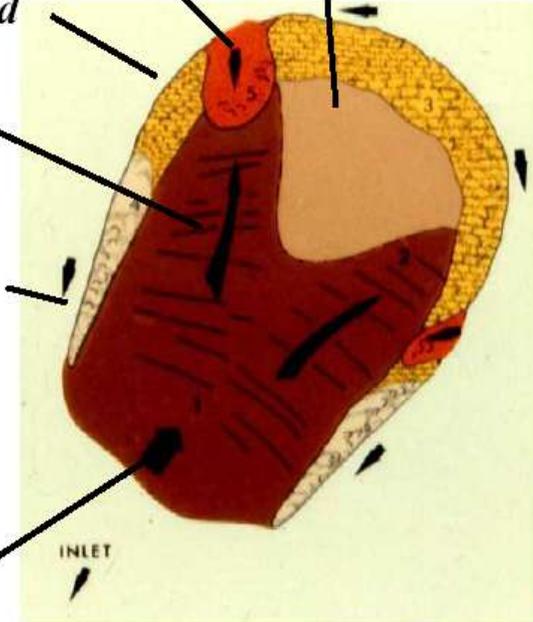
Tidal Flat

Ebb Shield

Flood Channel

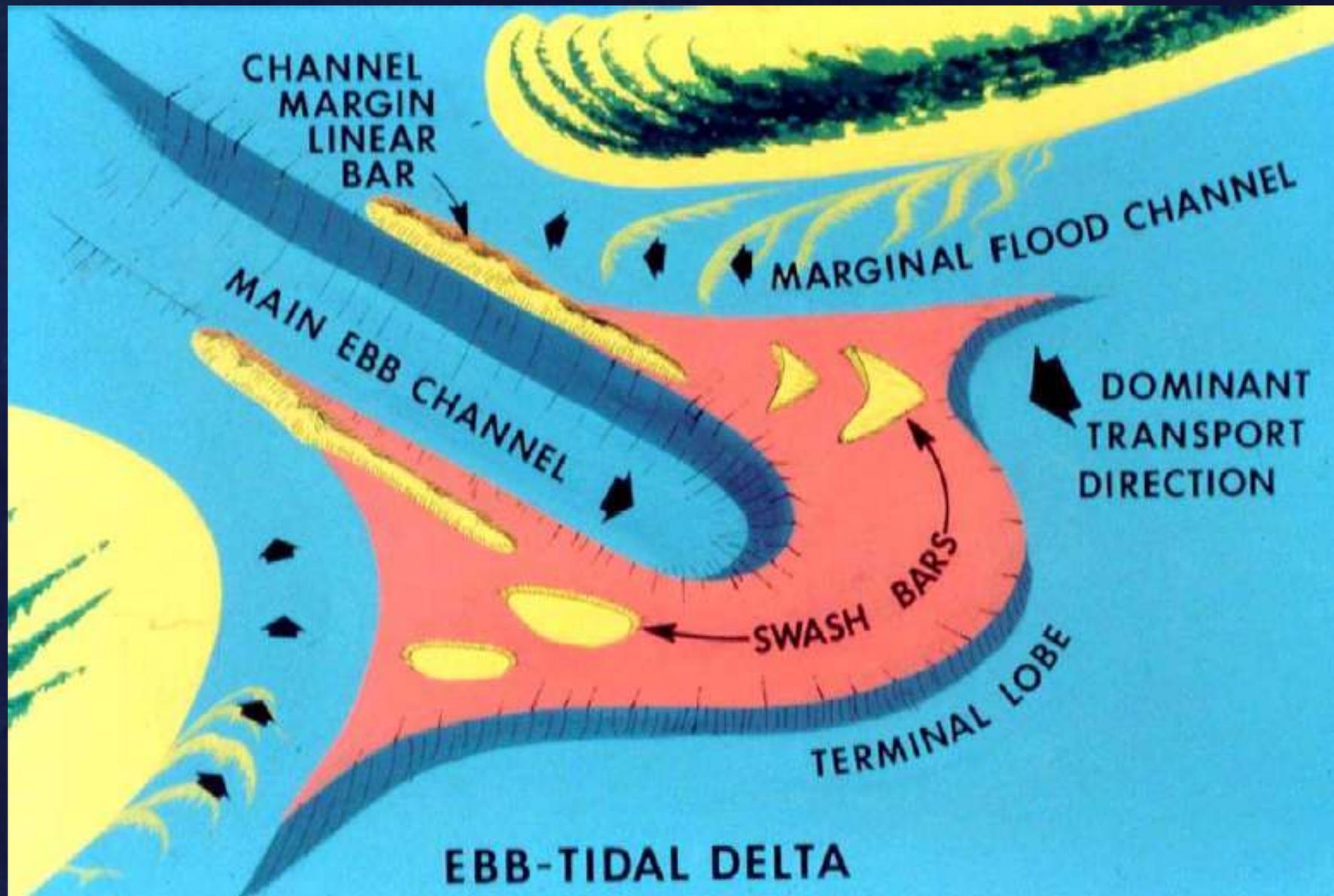
Ebb Spit

Flood Ramp

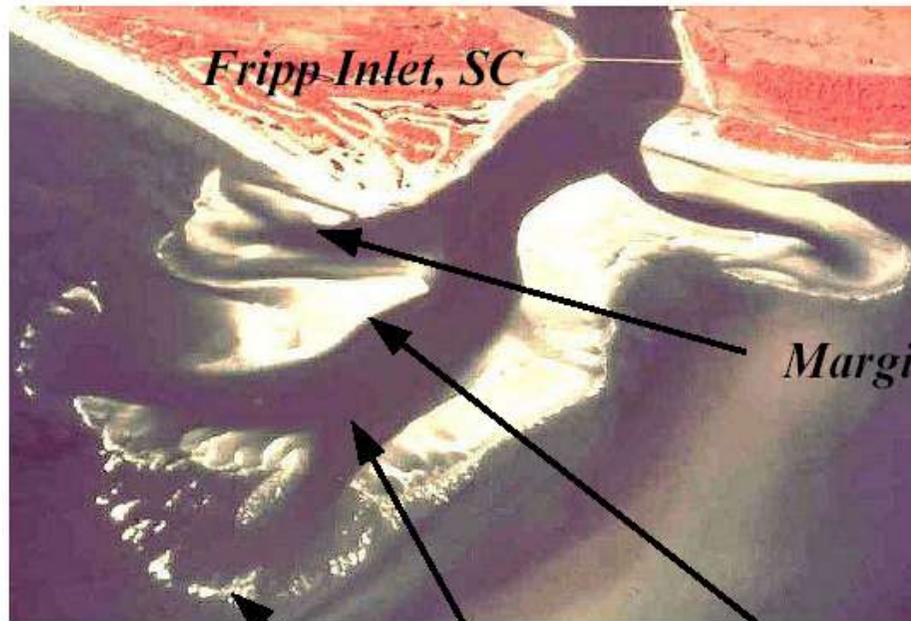


Idealized Flood Shoal

IL DELTA DI RIFLUSSO (EBB TIDAL DELTA)



Modello di un delta di riflusso (HAYES,1980)



Marginal Flood Channel

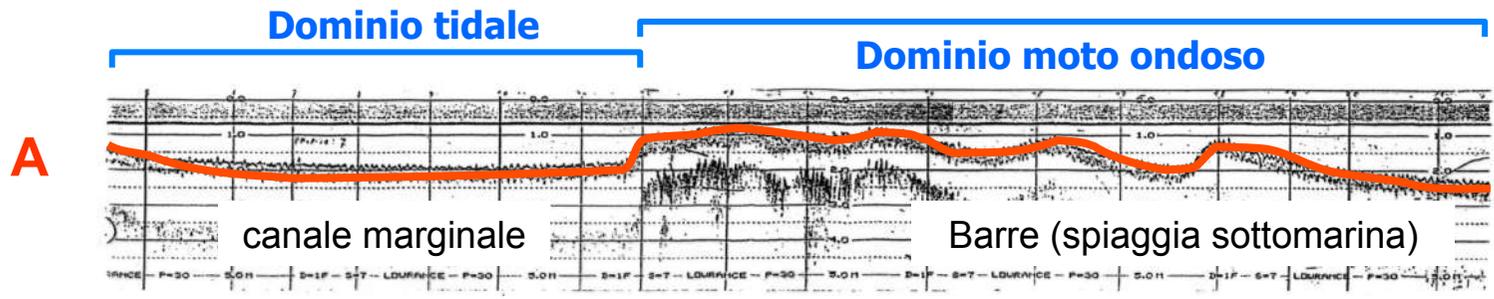
Swash Bars

Main Ebb Channel

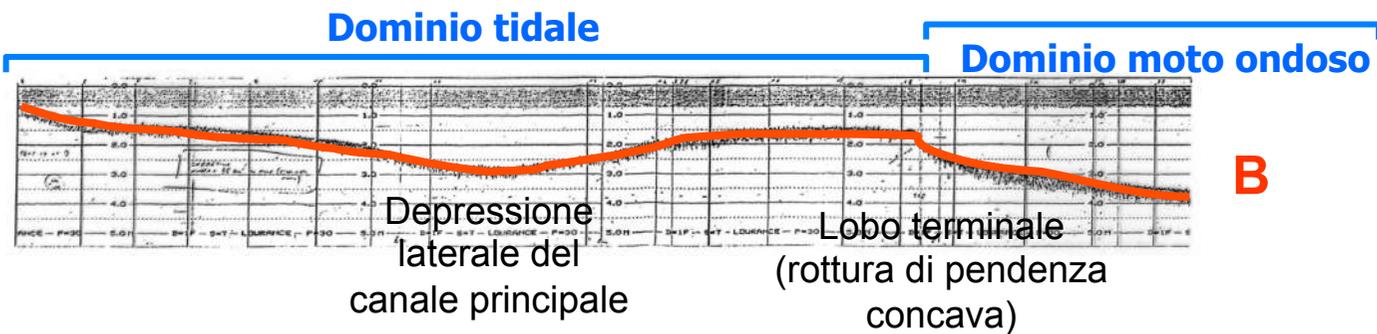
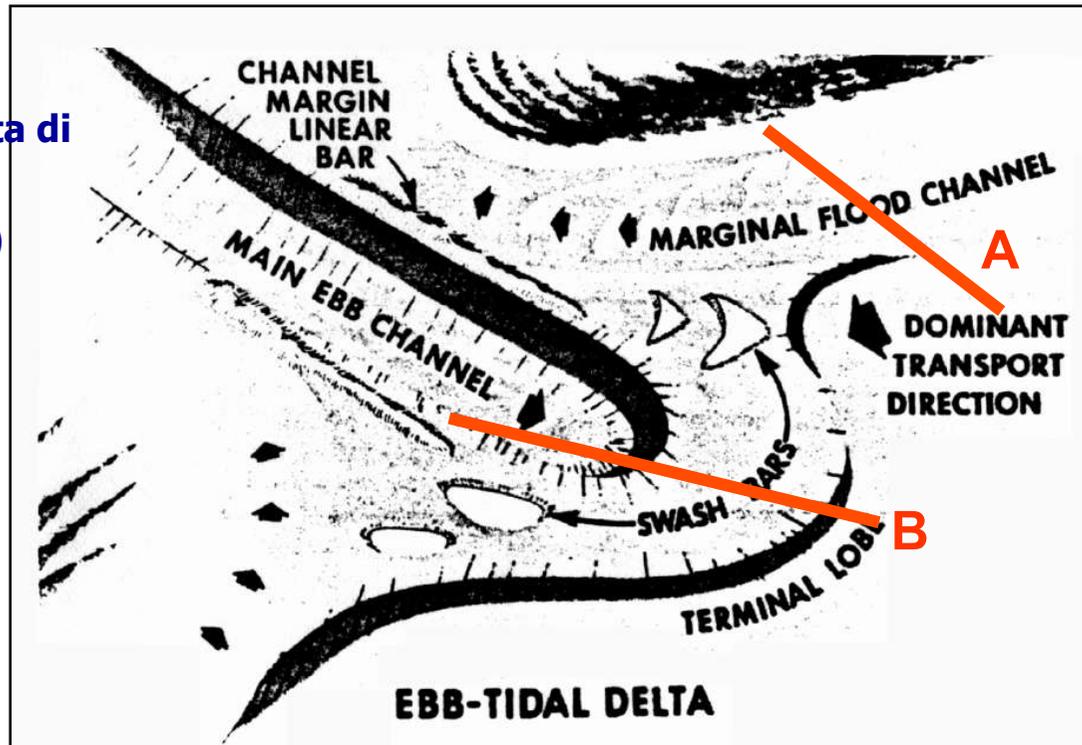
Terminal Lobe



Channel Margin Linear Bar

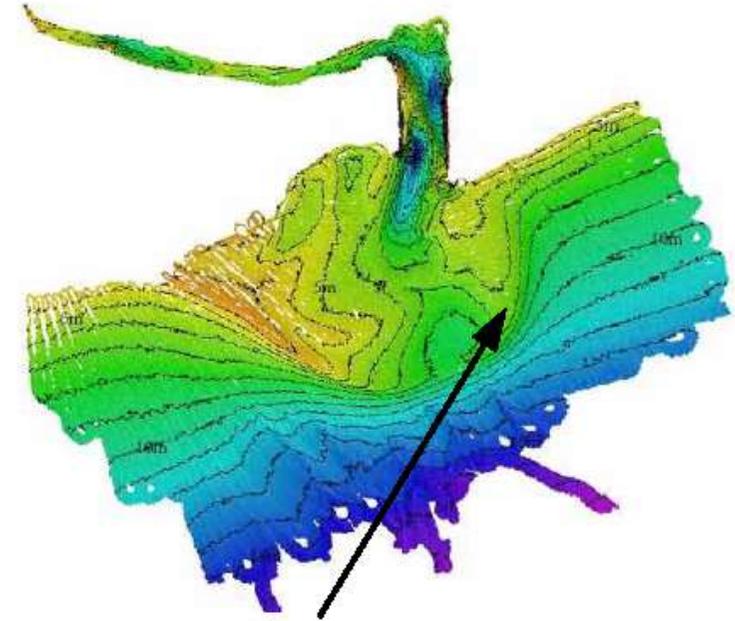


Modello di un delta di riflusso (HAYES,1980)

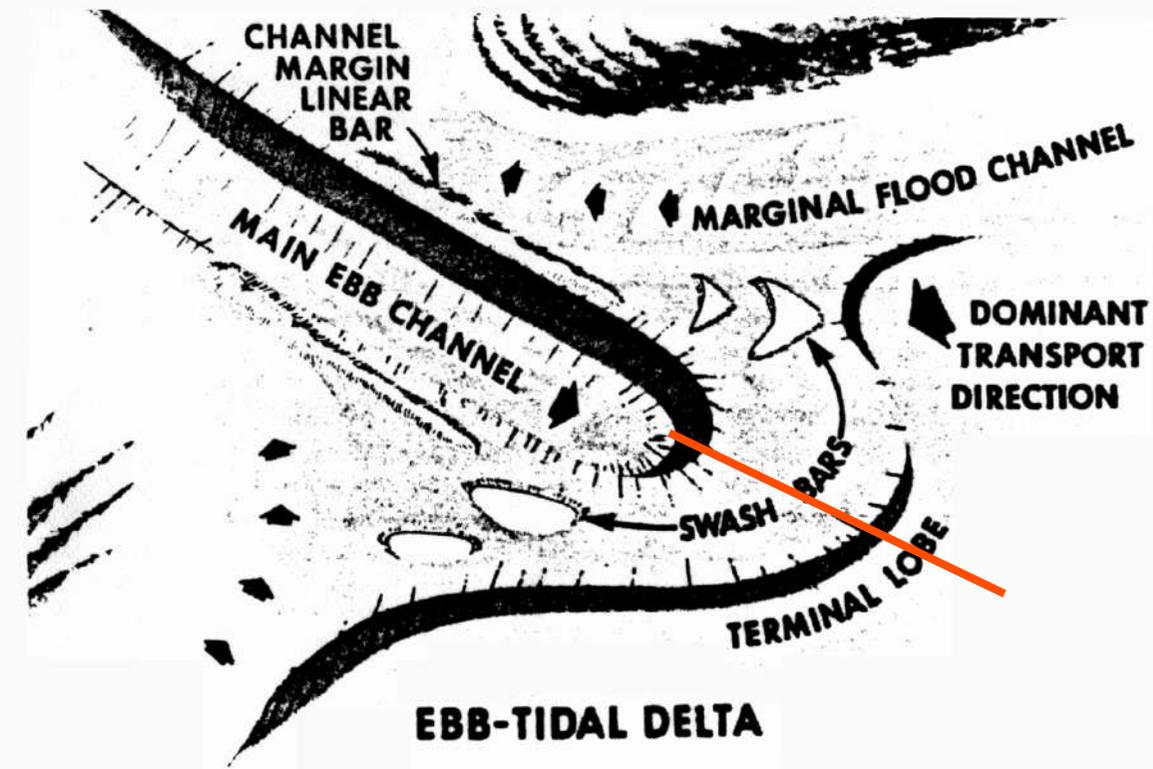




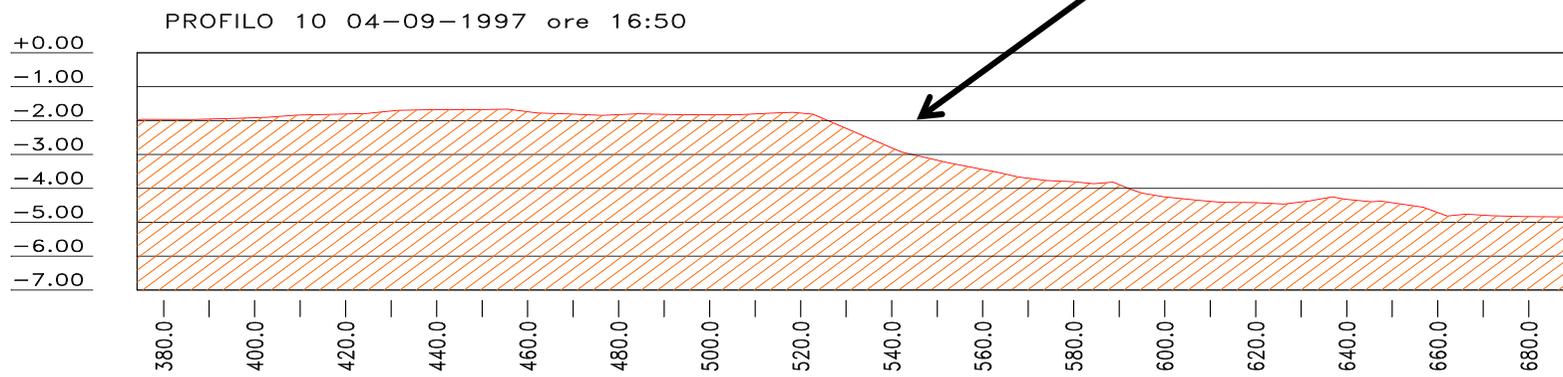
IL DELTA DI RIFLUSSO



*Ebb shoal
Shinnecock Inlet*



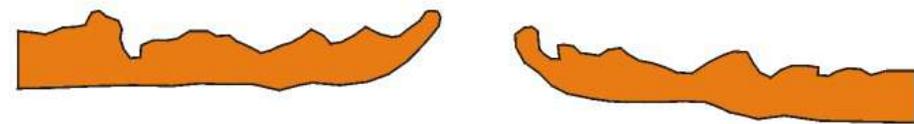
Rottura di pendenza concava in corrispondenza del lobo terminale



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

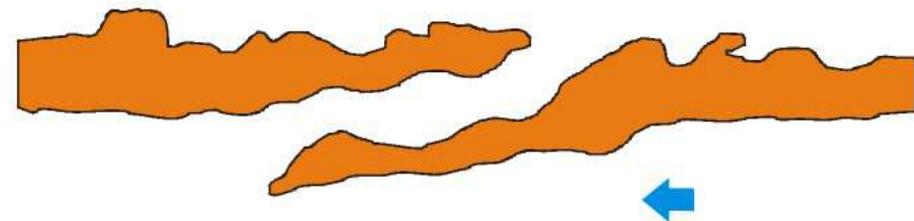
(da Lynch-Blosse & Kumar, 1976)

TIPO DI OFFSET (sfasamento)

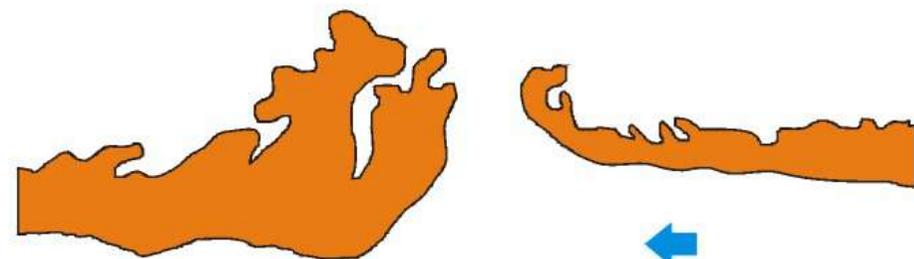


1. Rettilineo

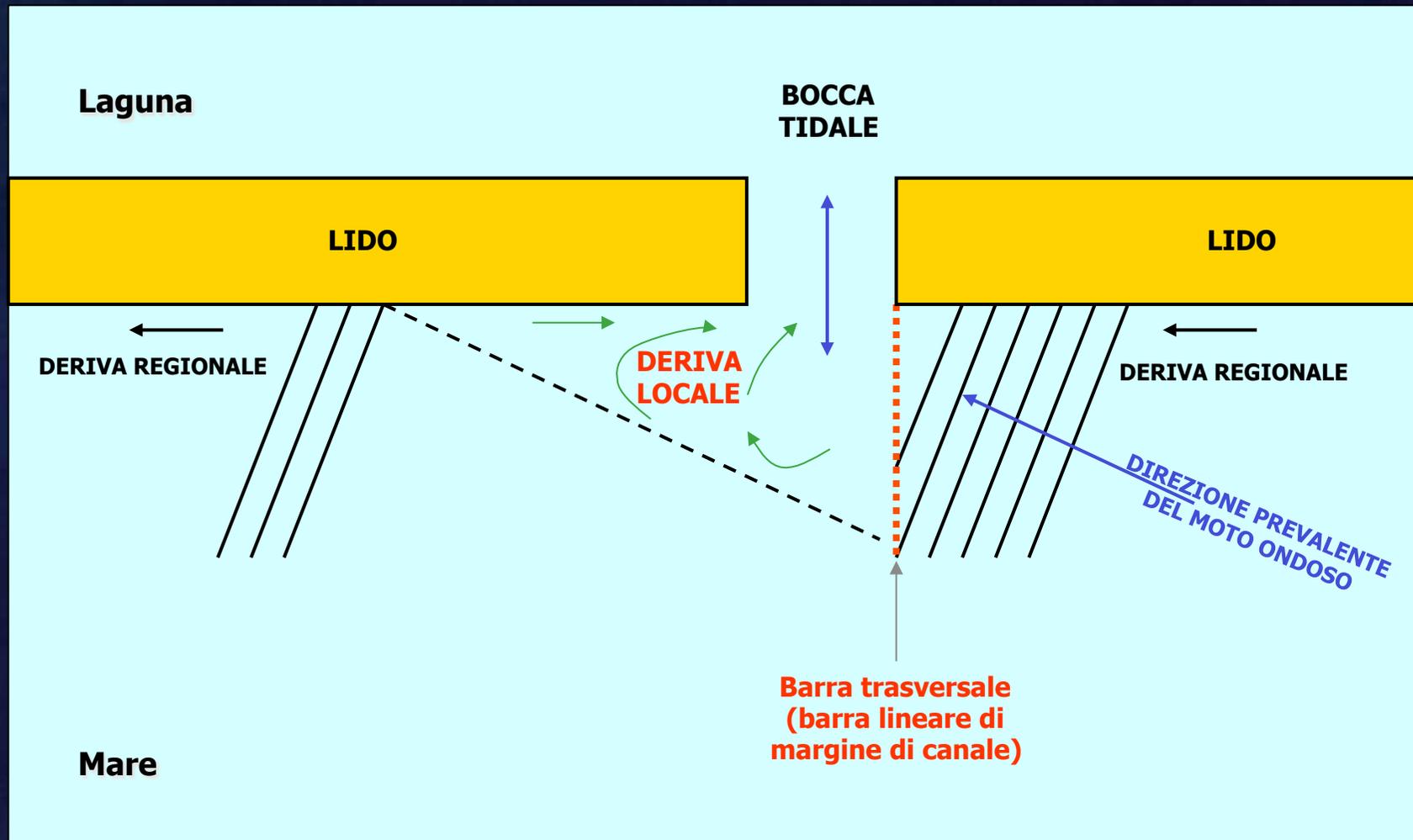
← Deriva litoranea



2. Up-drift



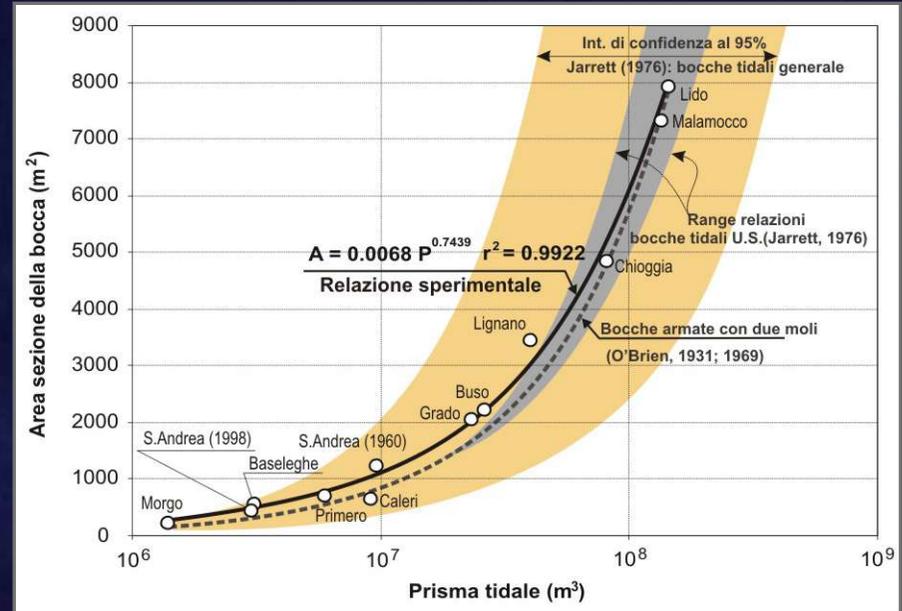
3. Down-drift



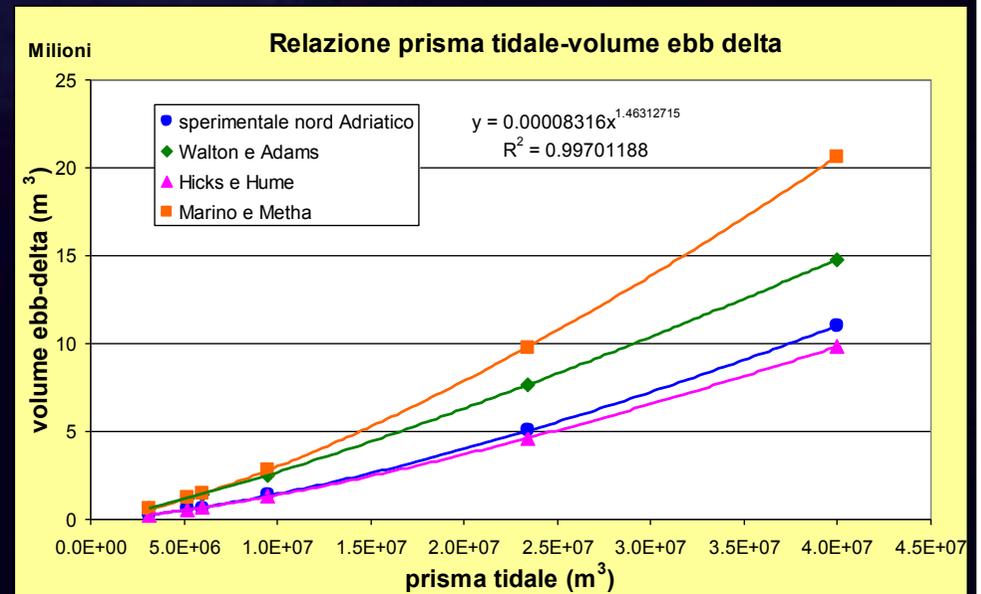
Creazione di una deriva locale inversa e
 modello di crescita di un lido sfasato sottoflutto
 (*DOWNDRIFT OFFSET*)



BOCCHIE TIDALI NATURALI ED ARMATE



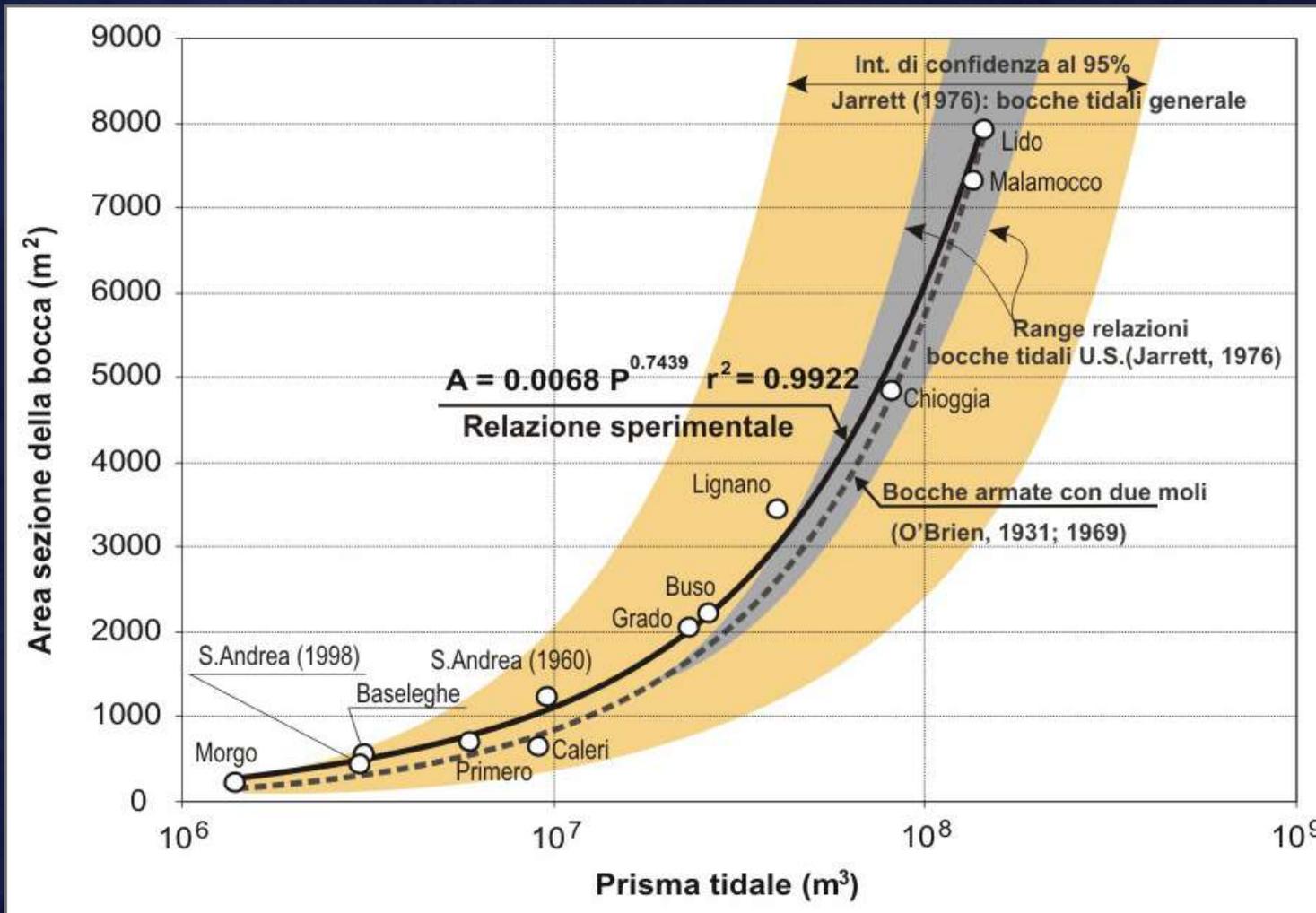
Relazioni di letteratura e sperimentali



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)

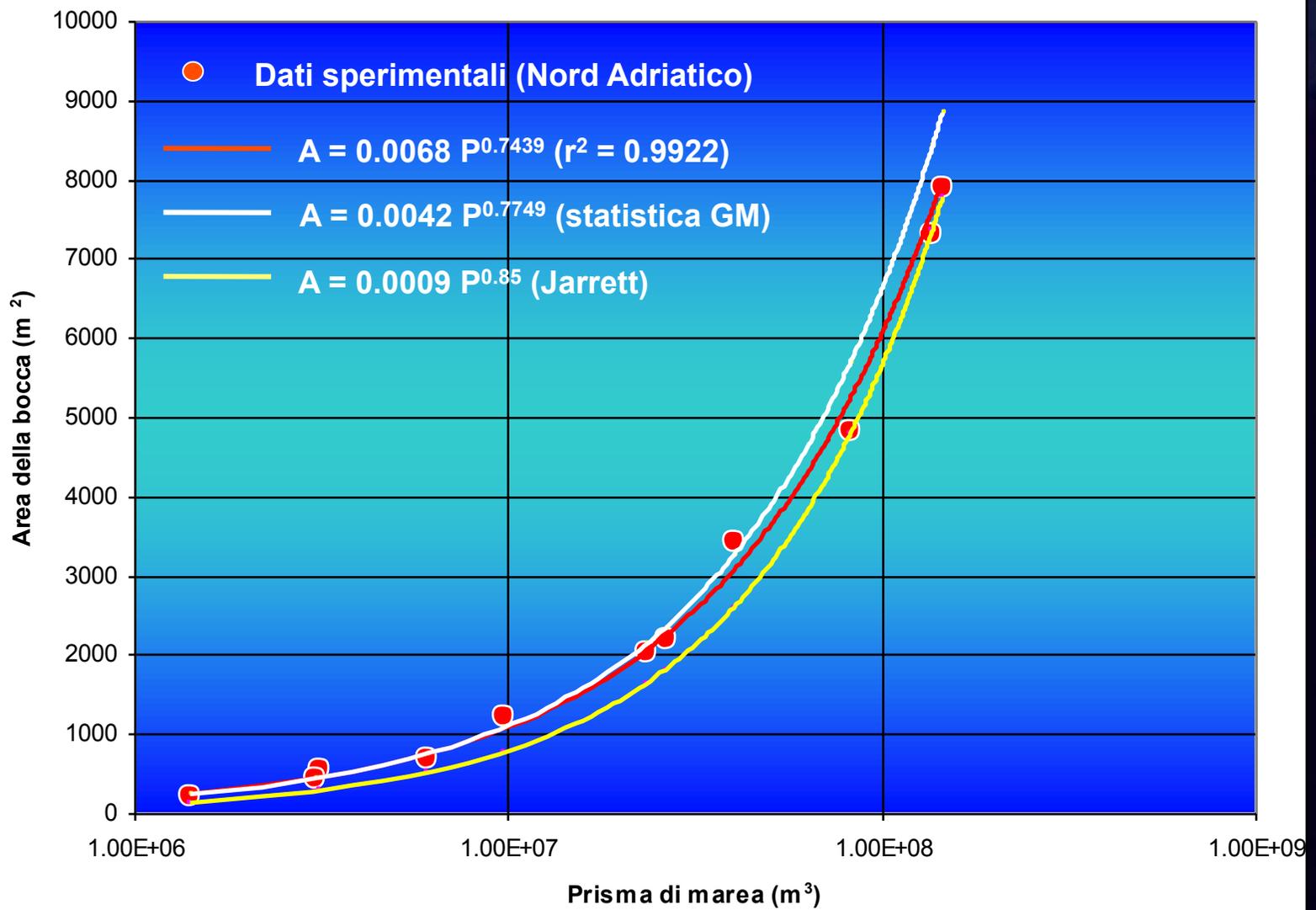
$$A = 0.0009 P^{0.85} \text{ (Jarrett)}$$

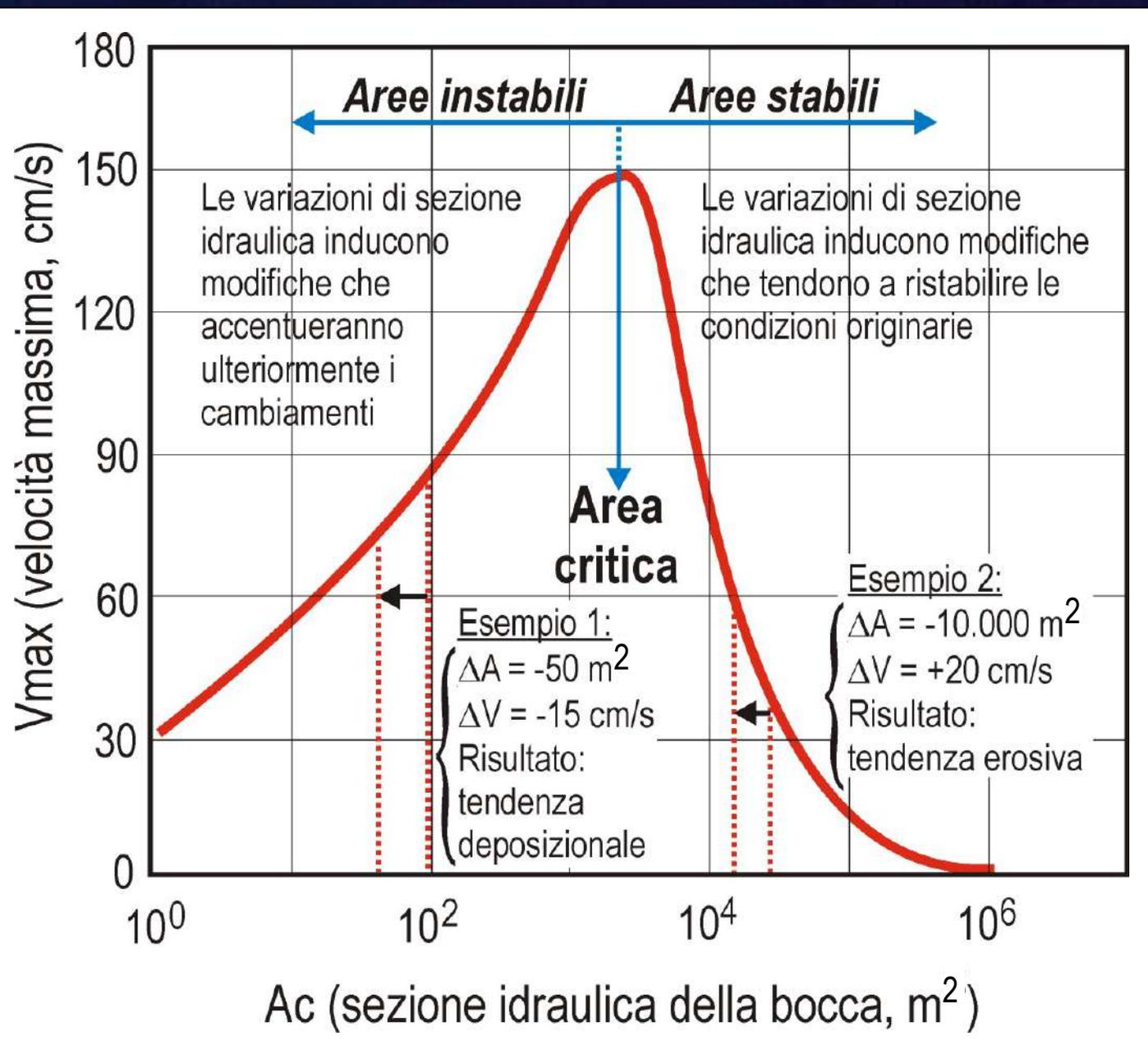
$$A = 0.0068 P^{0.7439}$$

Nord Adriatico

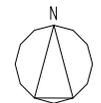
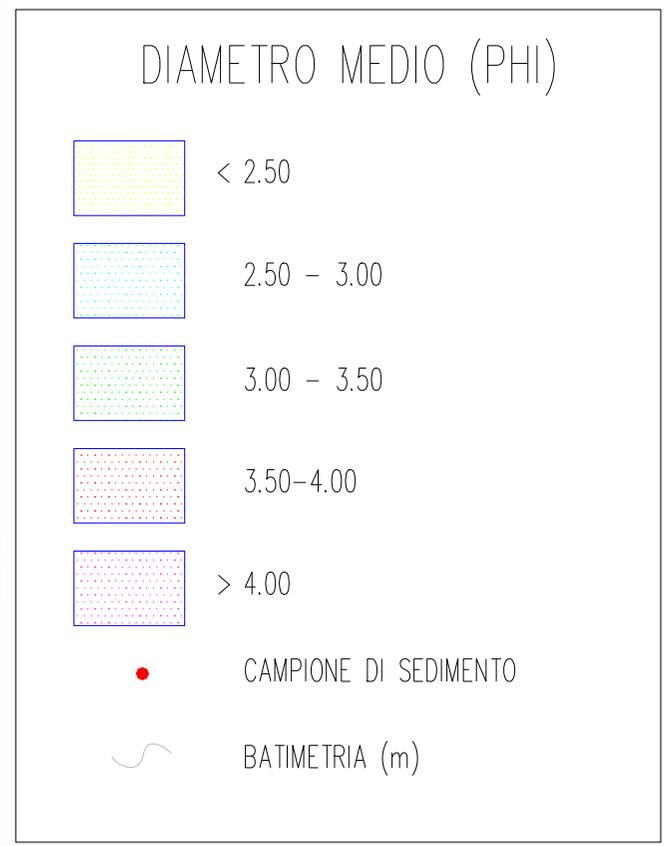
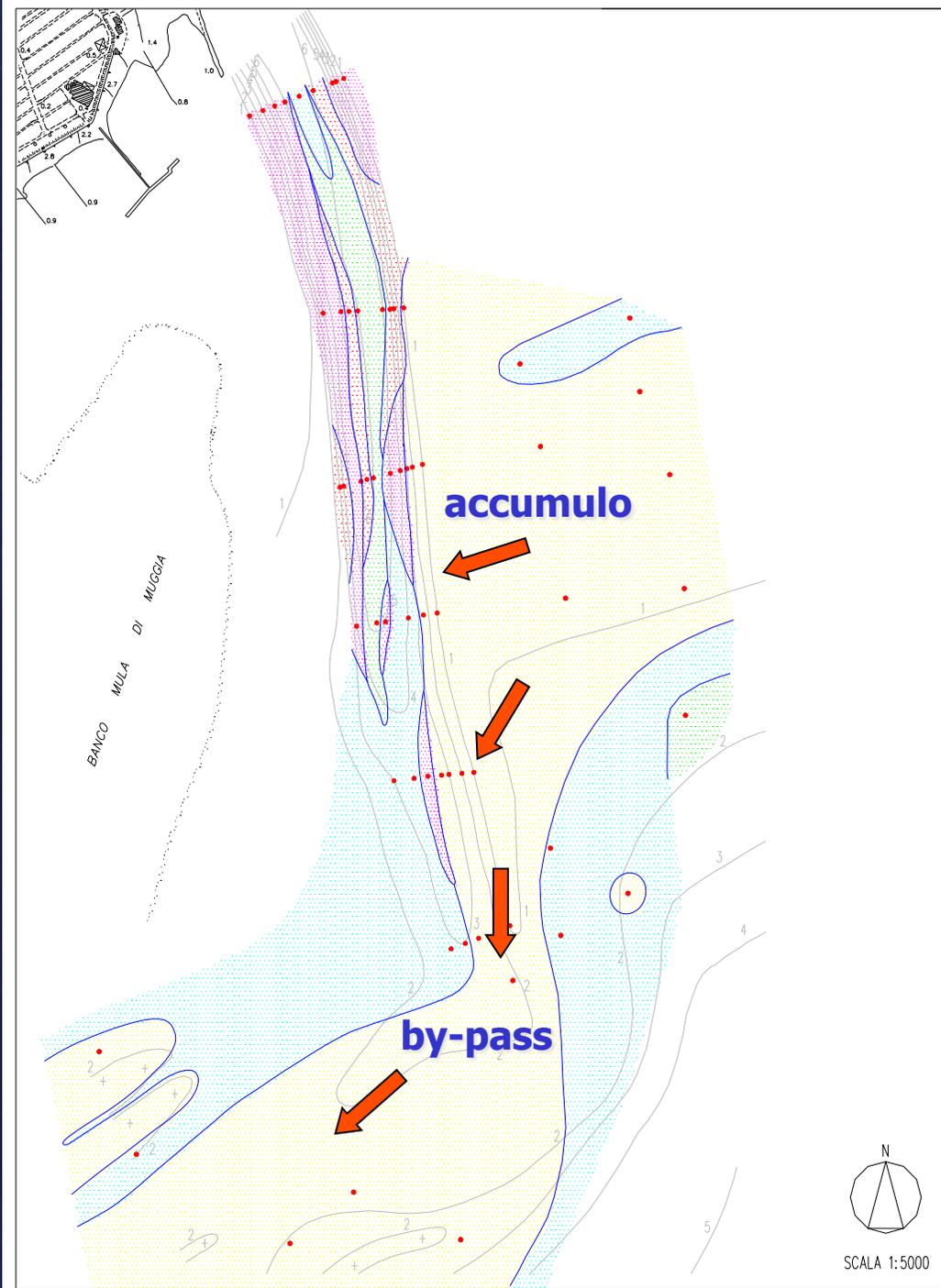
$$A = 0.0042 P^{0.7749}$$

Lagune di Grado e Marano)

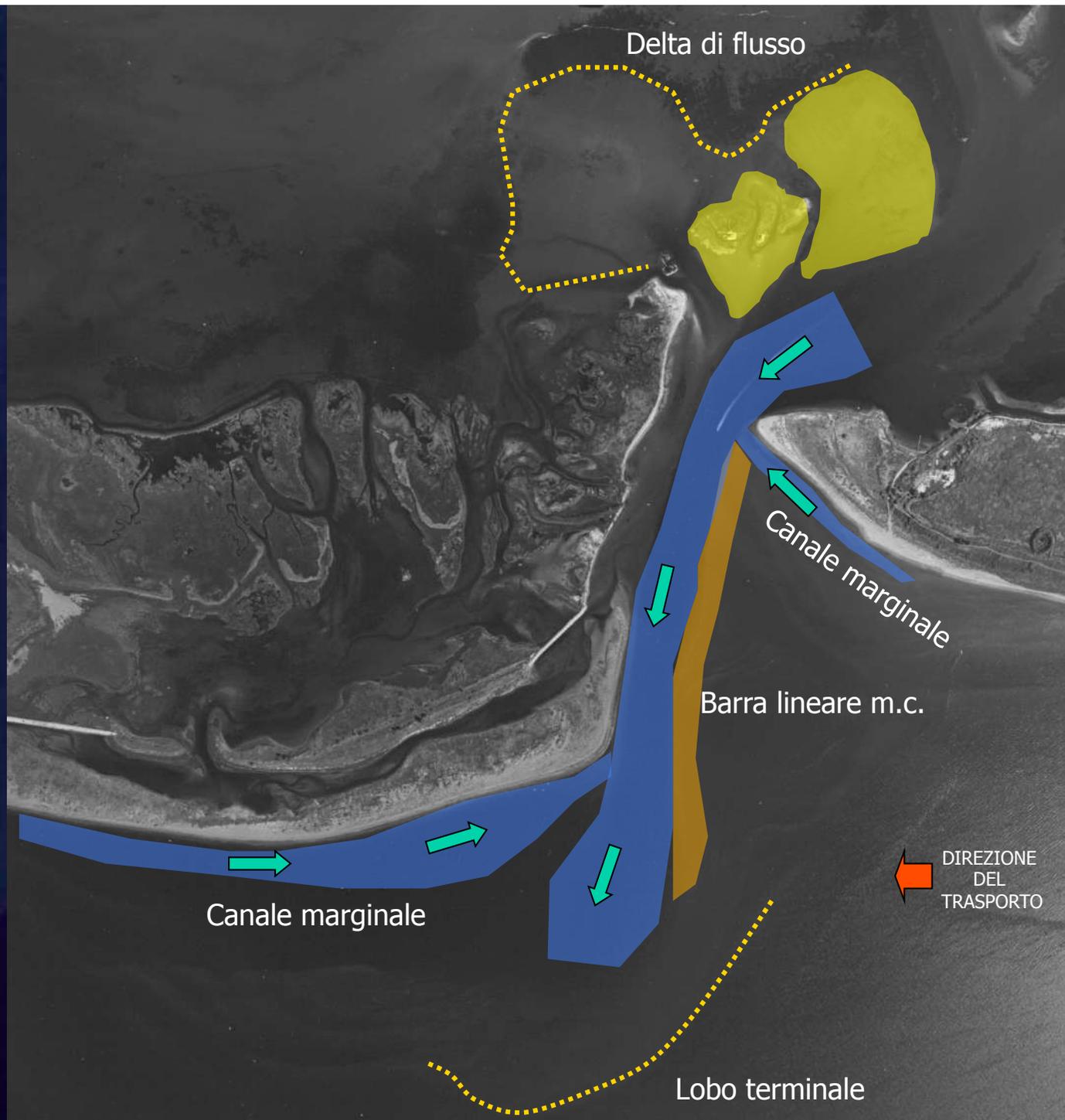


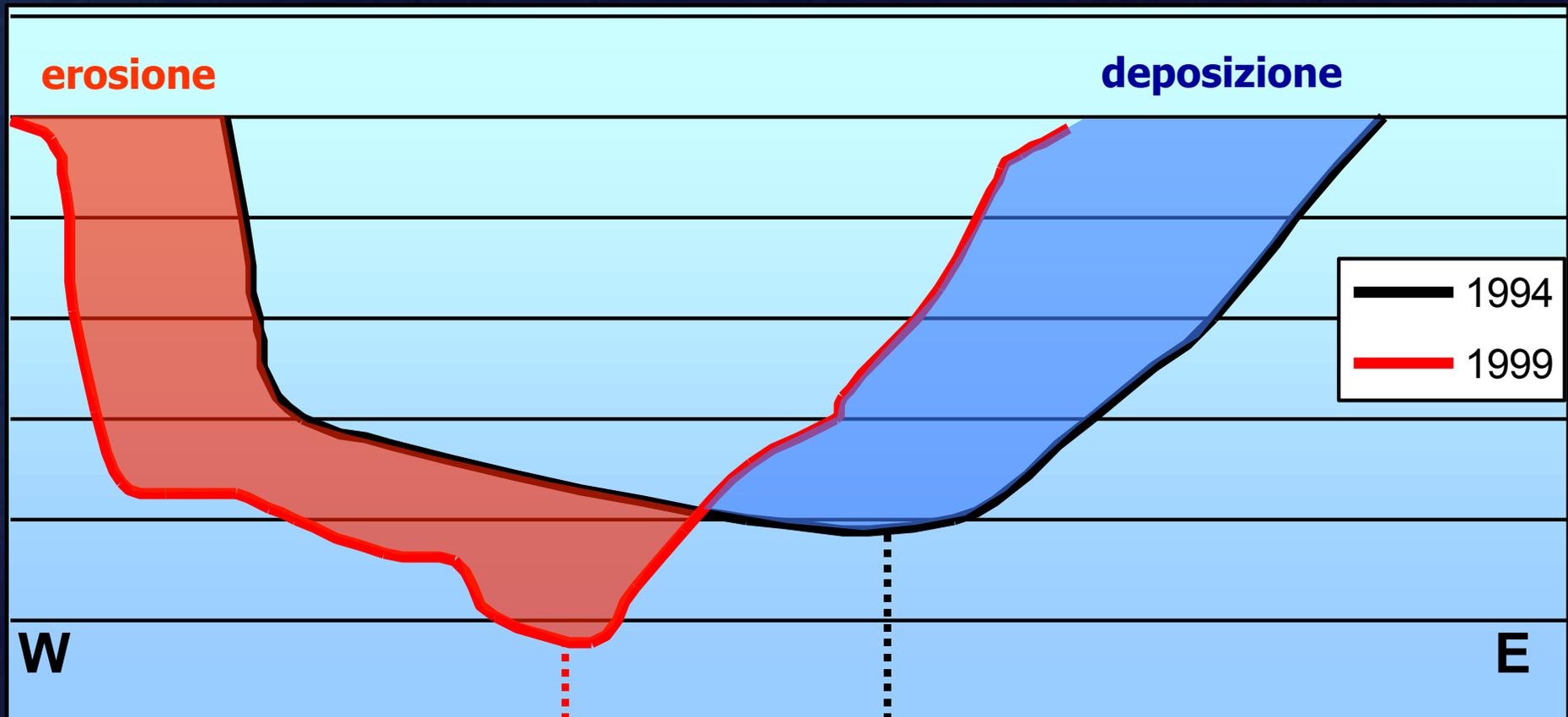






SCALA 1:5000

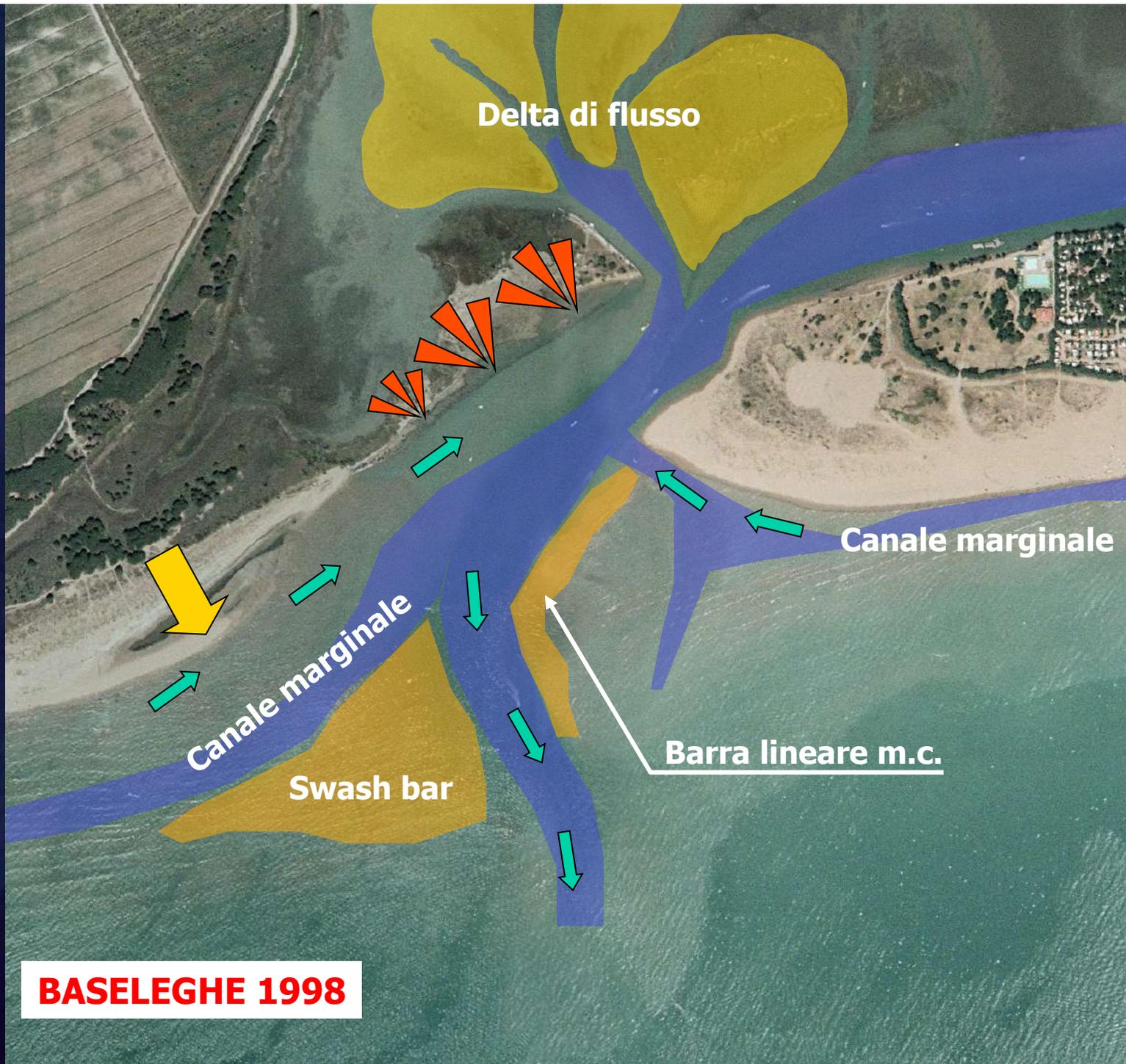




MIGRAZIONE DELL'ASSE

BILANCIO SEDIMENTARIO 1994-1999

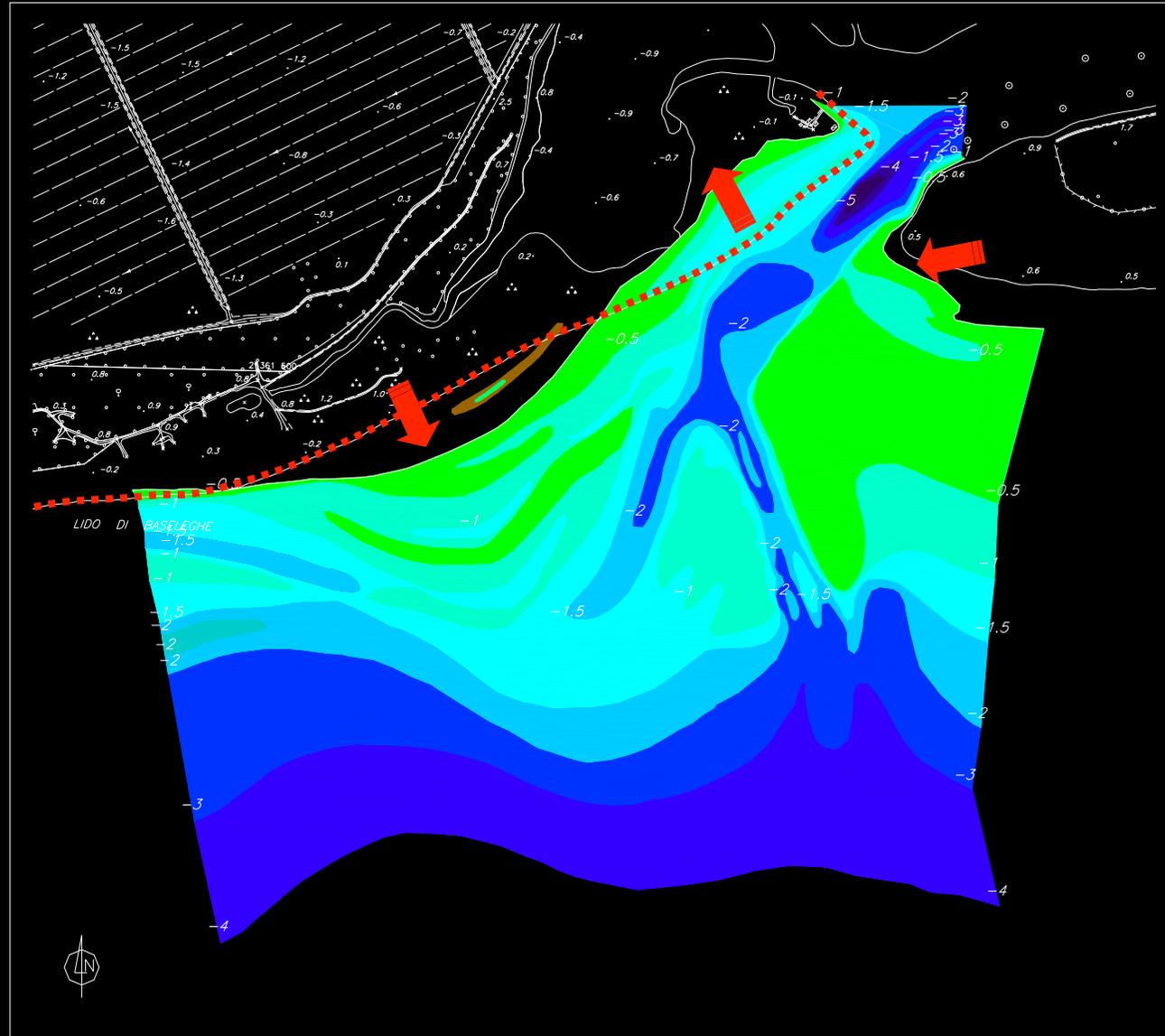
Accumulo netto di sedimenti all'interno del canale = 20.000 m³





BASELEGHE 2012

CARTA BATIMETRICA della BOCCA TIDALE di BASELEGHE



LEGENDA (profondità in metri)

| | | | |
|---|---|---|-------|
| -4 profondità |  | -1.5,-2 | |
|  | 0.5,0 |  | -2,-3 |
|  | 0,-0.5 |  | -3,-4 |
|  | -0.5,-1 |  | -4,-5 |
|  | -1,-1.5 |  | -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.

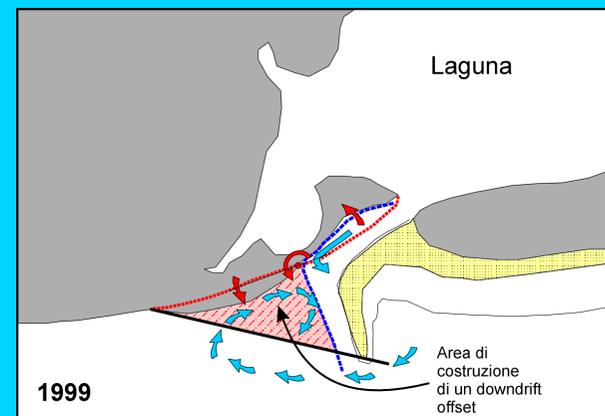
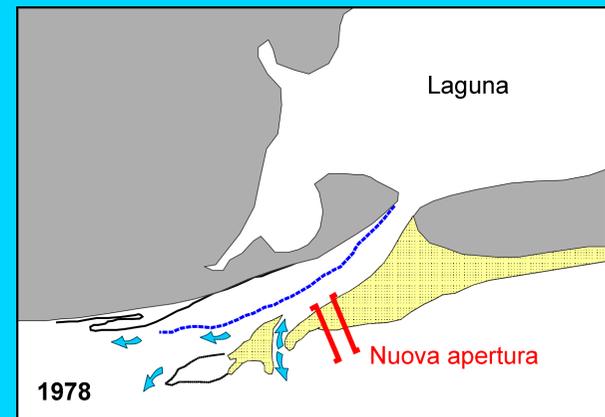
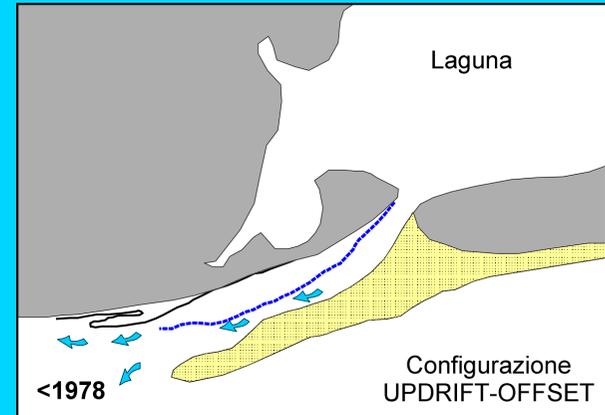


BARRA LINEARE DI MARGINE CANALE (Baseleghe lato est)



**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)

BRECCIA



Goro 1998 (Delta del Po)

Apertura (breccia) breaching - washover



Manzi 1978 (Laguna di Grado)

Ampliamento del flood-delta (Flood-dominated phase)



Le Cree 1954 (Laguna di Grado)

Costruzione del delta di riflusso (forme trasversali di contrasto)

- swash bar
- lobo terminale

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



Le Cree 1995 (Laguna di Grado)

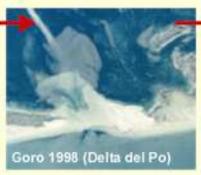
Costruzione del delta di riflusso (forme longitudinali)

- barra lineare di margine canale
- canali marginali

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



Manzi 1995 (Laguna di Grado)



Manzi 1998 (Laguna di Grado)

Chiusura con conservazione della canalizzazione e del ventaglio di esondazione



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)



Primero 1991 (Laguna di Grado)

configurazione "straight" (rettilenea - simmetrica)

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



Le Cree 1998 (Laguna di Grado)

configurazione "up-drift offset" (sfasamento supraflutto)

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



Baseleghe 1978 (Laguna di Caorle)



Caieri 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**

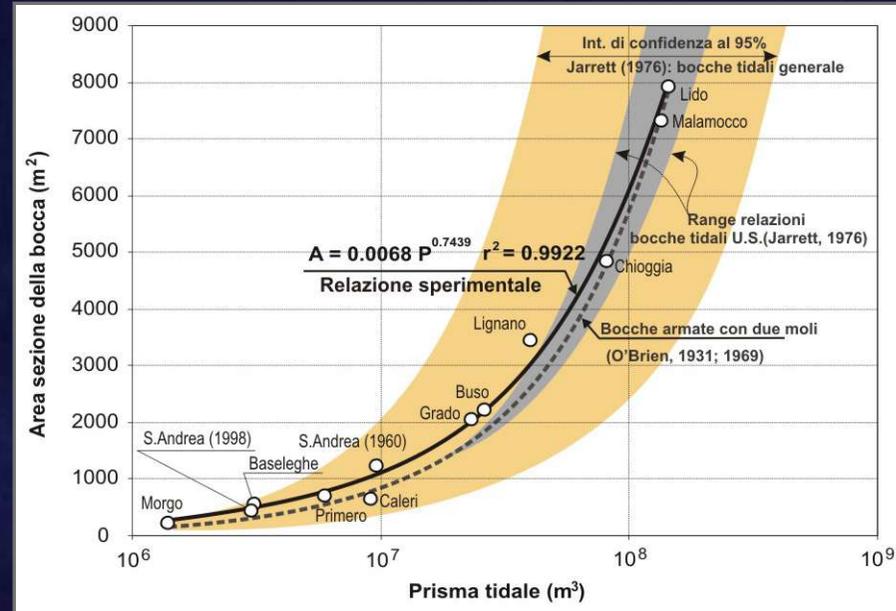
AREA DI STUDIO



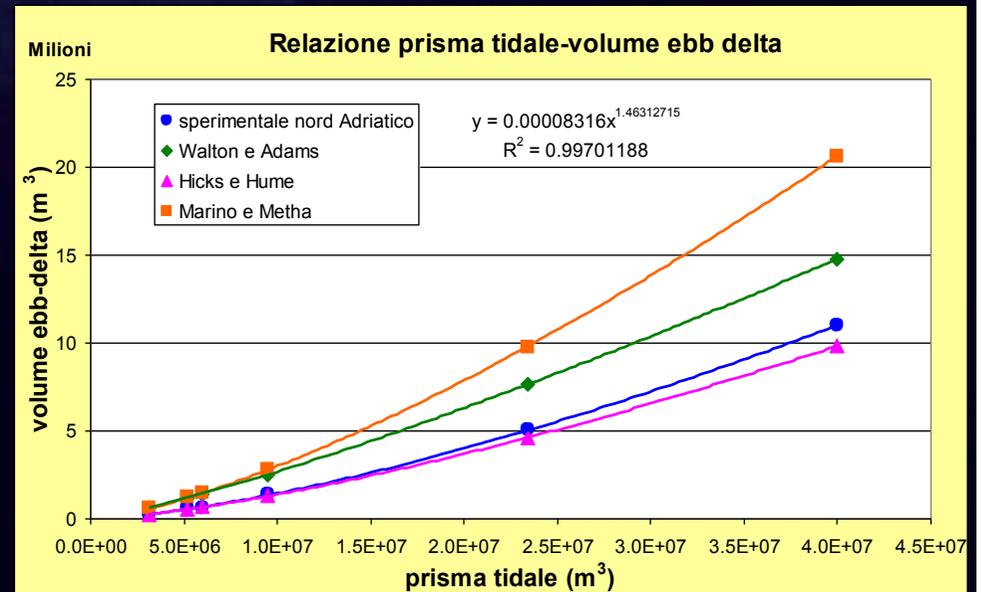
STRATEGIE DI GESTIONE:

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

BOCCHIE TIDALI NATURALI ED ARMATE



Relazioni di letteratura e sperimentali



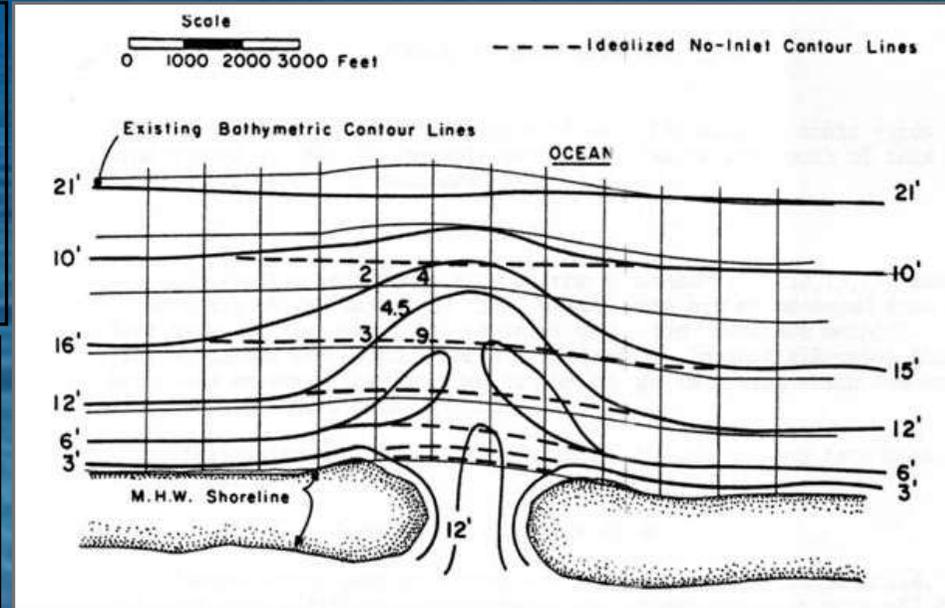
Metodo di identificazione dell'ebb-delta

➤ **Metodo del residuale** (Residual Method, RM)

Il principio del Residual Method si basa sul calcolo della differenza tra l'assetto batimetrico reale e quello ideale – privo del delta – secondo la metodologia proposta da Walton & Adams, 1976

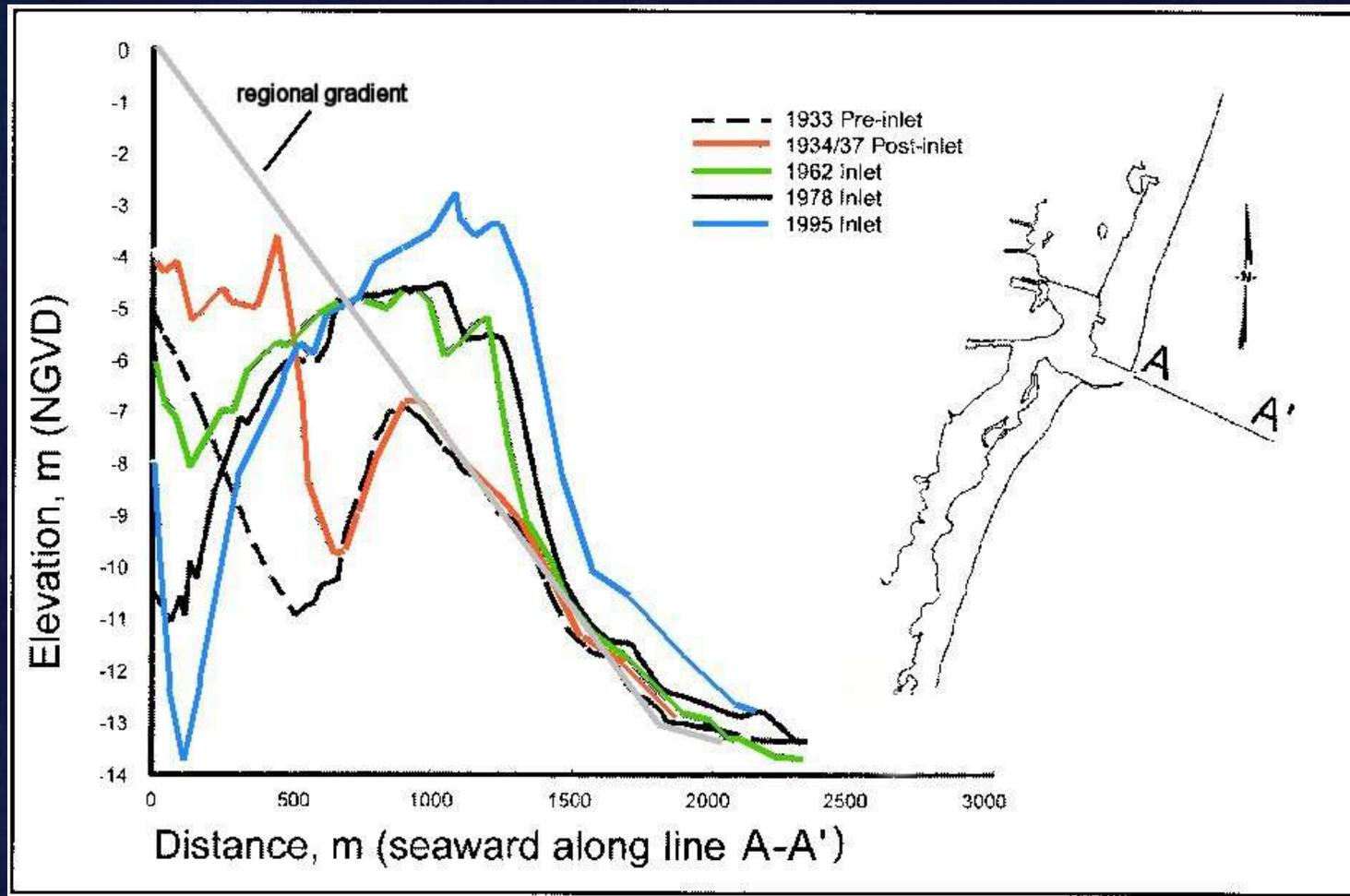
Identificazione del deposito di ebb-delta attraverso la differenza tra la mappa della morfologia reale (elaborata digitalmente in forma di TIN e GRID) e la morfologia virtuale, priva di apparato deltizio, ricavata applicando procedure di TSA

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



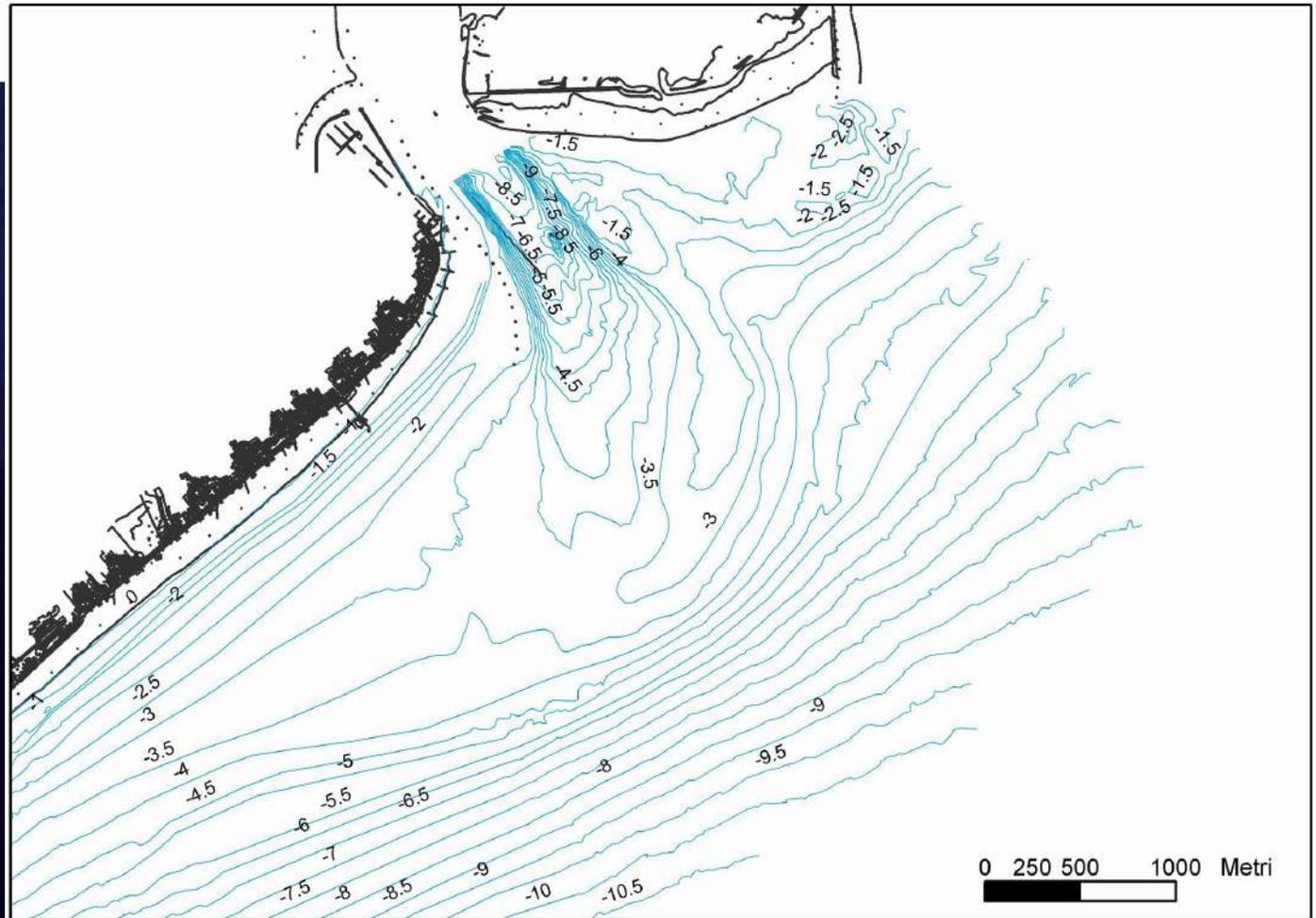
- **I fase:** Metodo manuale (W.A.)
- **II fase:**
 - 4 profili laterali
 - 2 profili laterali
 - Detrending totale – utilizzo di tutti i profili disponibili
- **III fase:** costruzione di una griglia regolare di punti, opportunamente dimensionata

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:

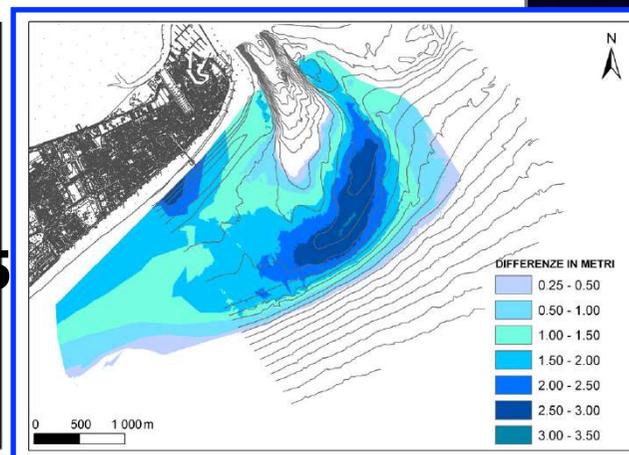
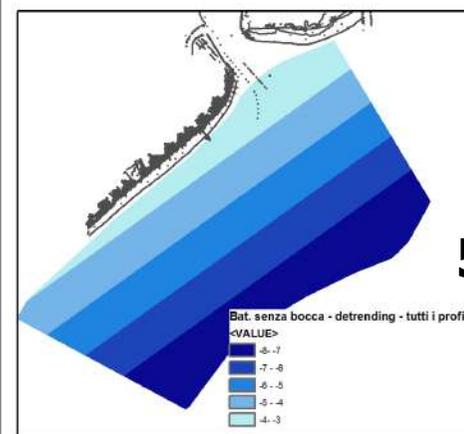
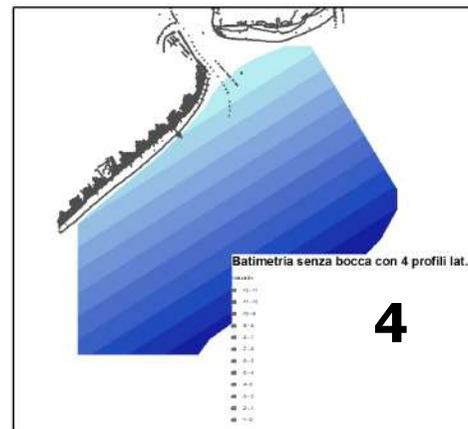
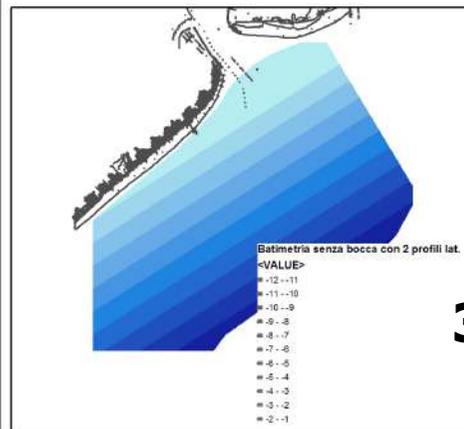
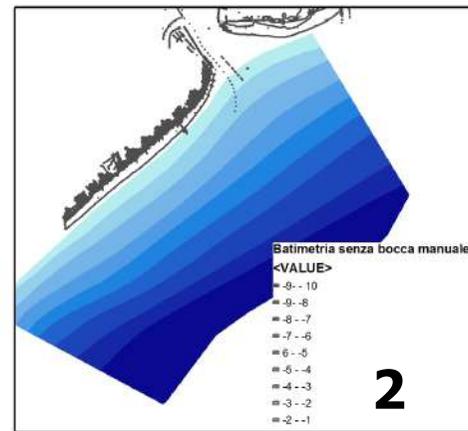
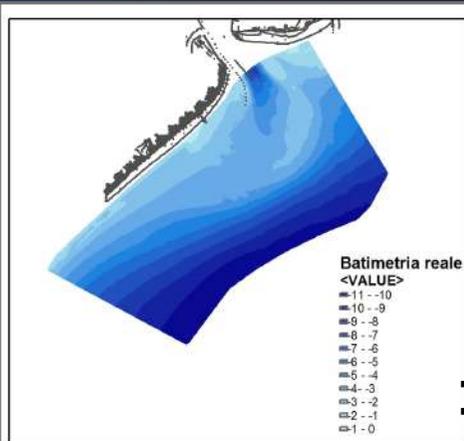
2 – elaborazione manuale

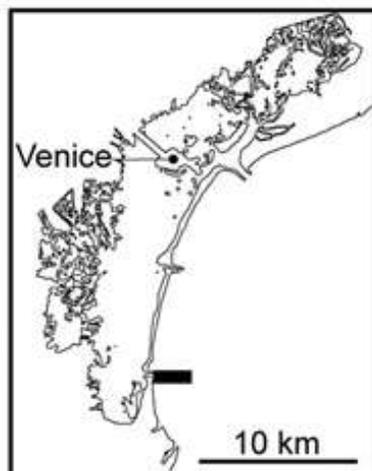
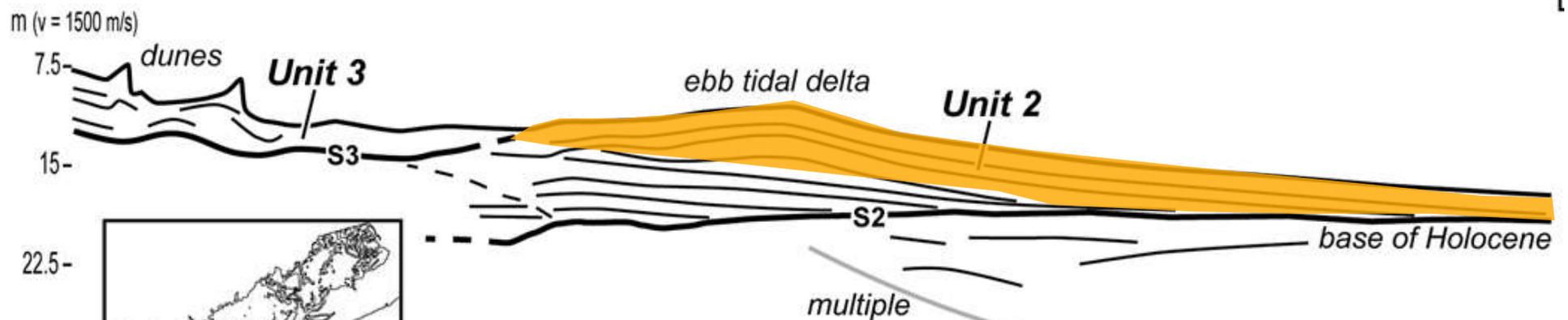
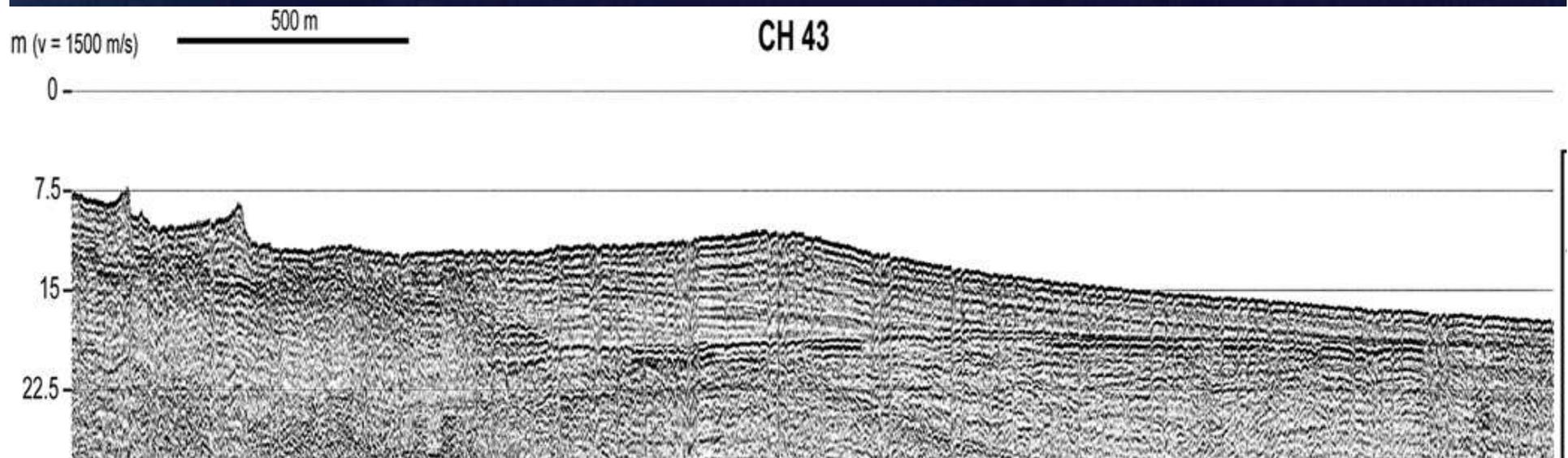
Metodi automatici:

3 – 2 profili laterali

4 – 4 profili laterali

5 – utilizzo di tutti i profili disponibili

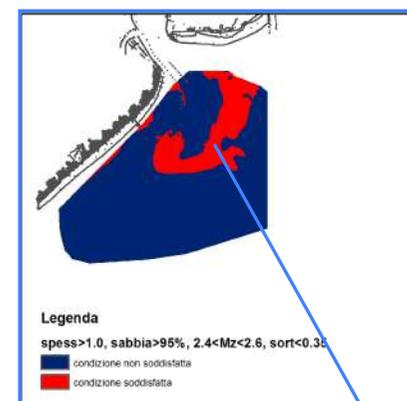
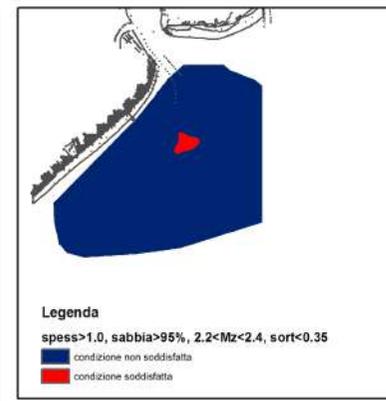
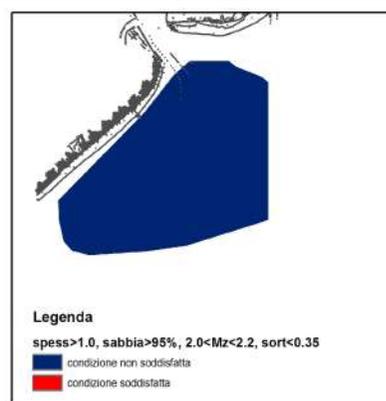
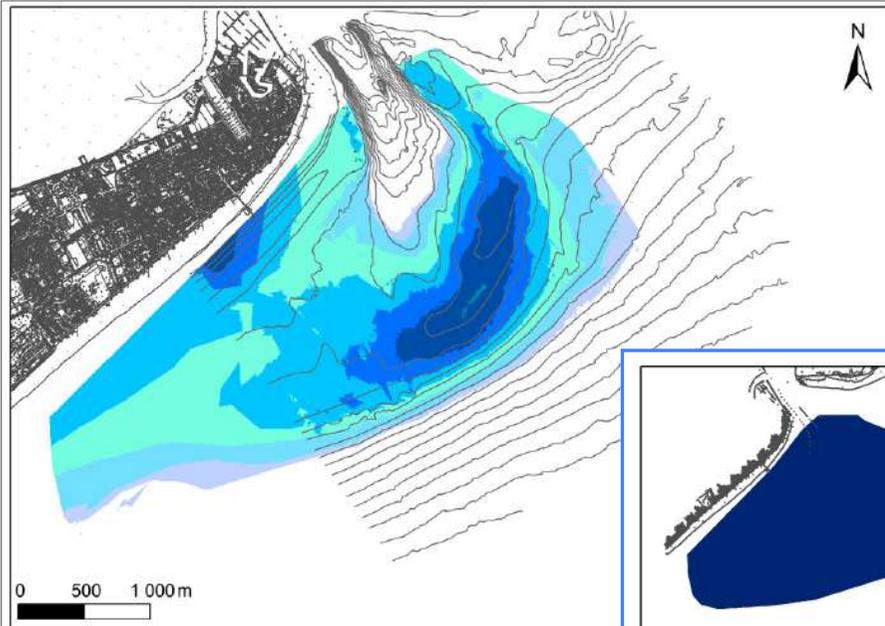




Esempio del corpo deposizionale di ebb-tidal delta di Chioggia
(da Zecchin et al., 2008)

SEDIMENTOLOGIA

GIS – interrogazioni al database

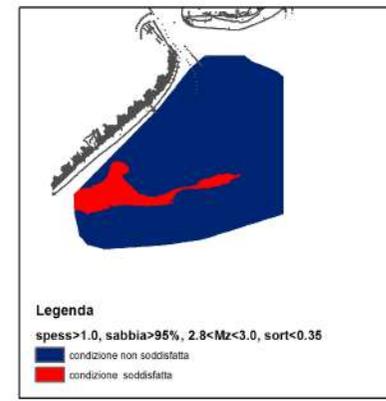
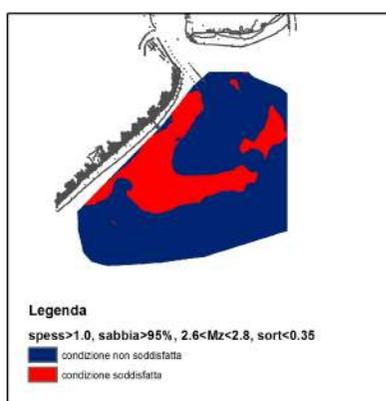
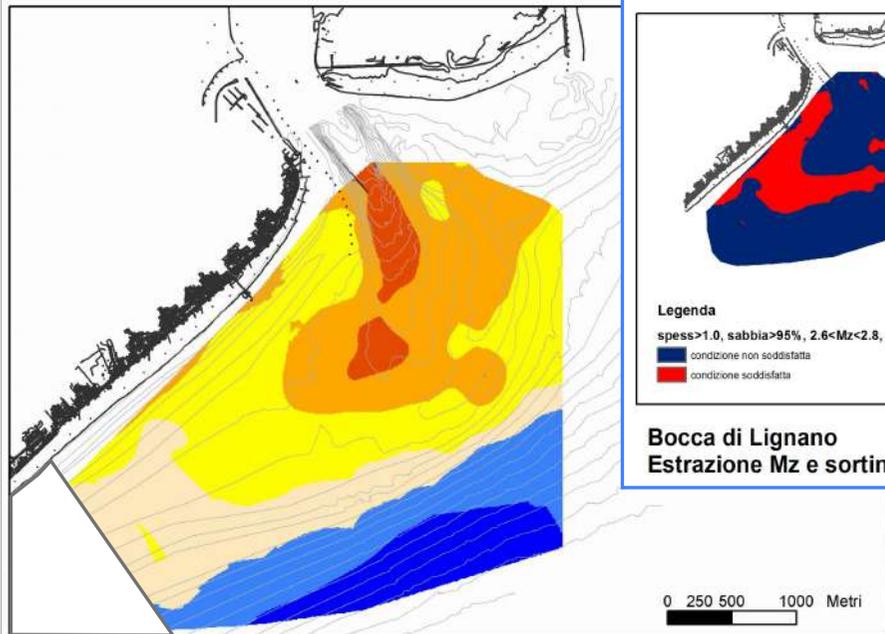


ca. 2.700.000 m³

Spessore > 1m

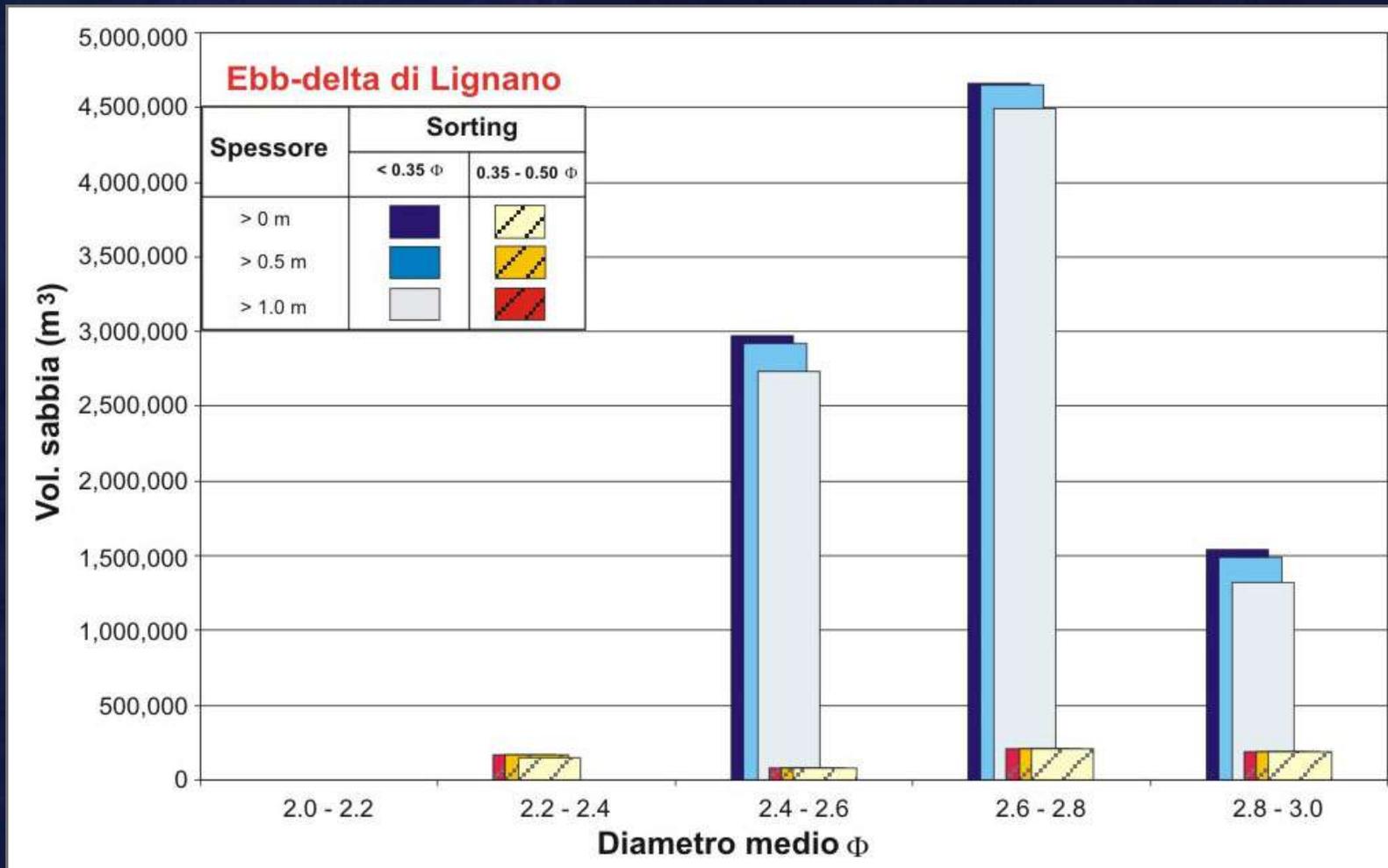
**Diametro medio:
2.4 < Mz < 2.6 Φ**

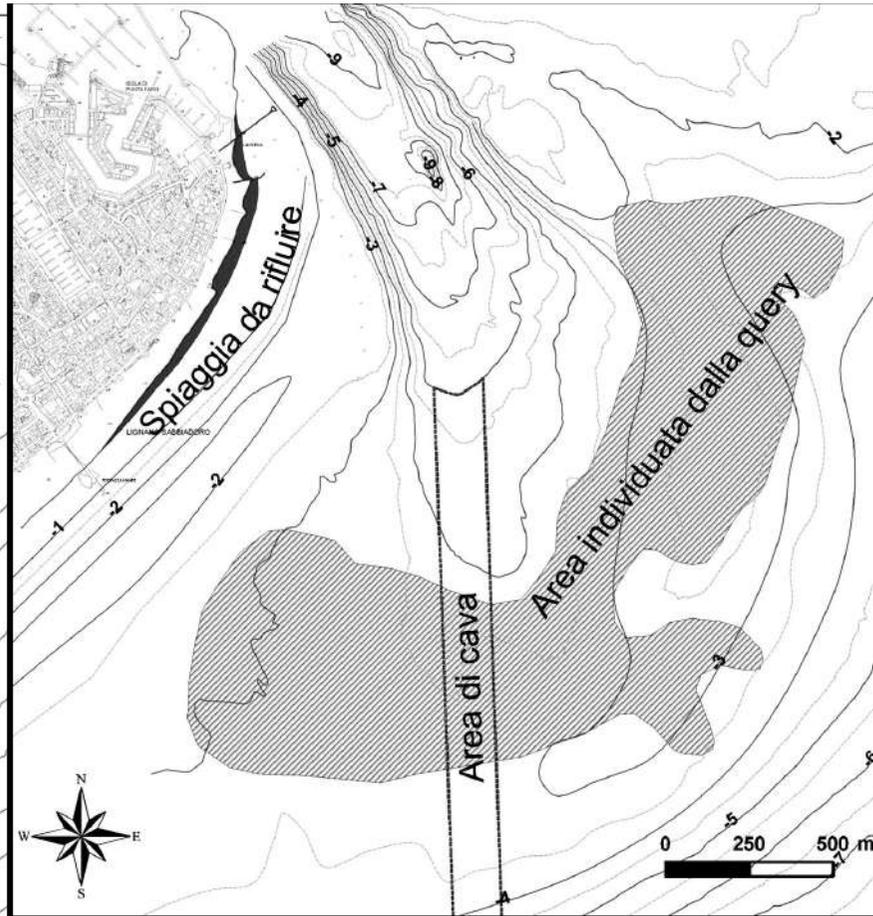
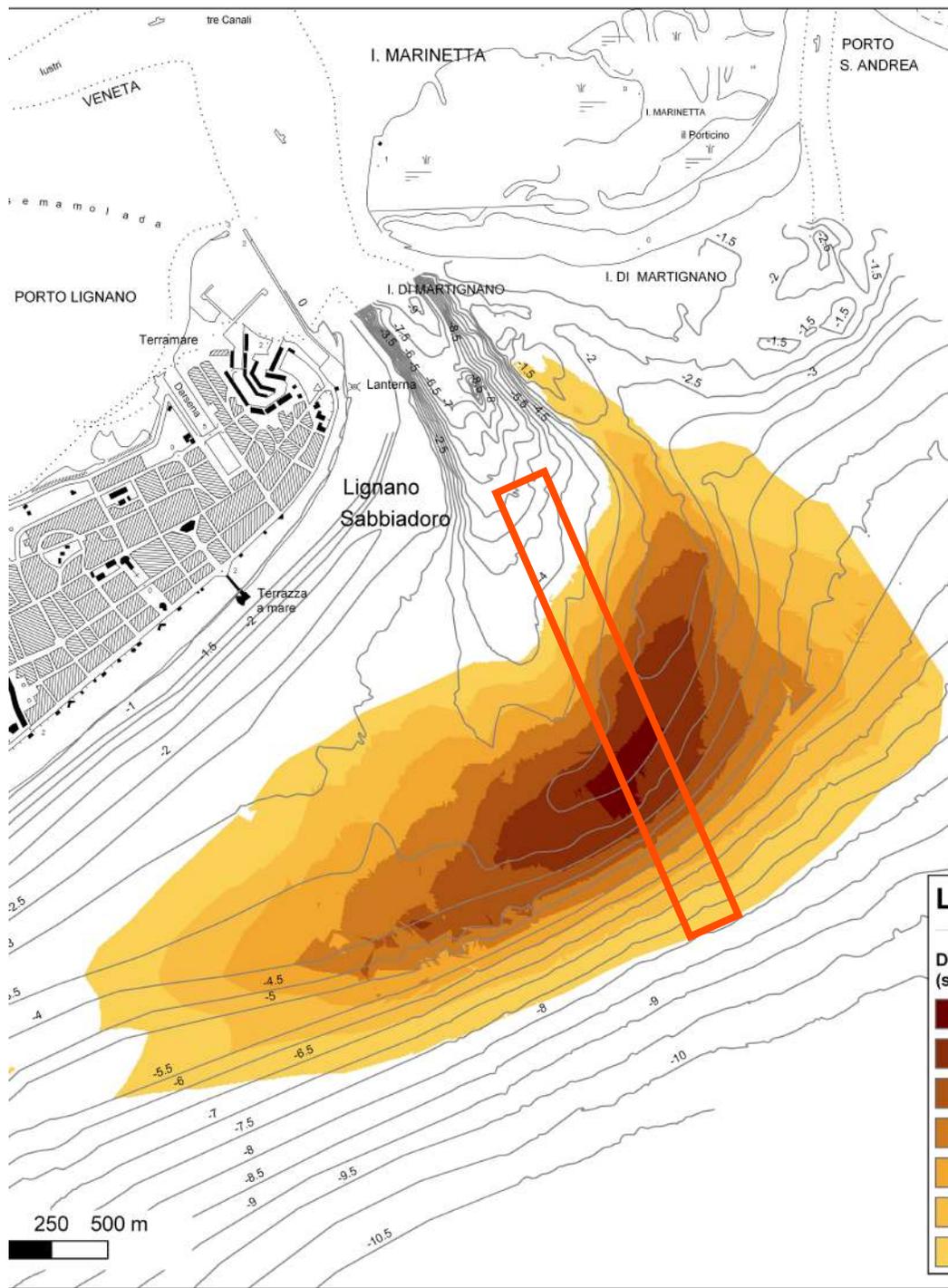
Sorting < 0.35 Φ



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

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





Legenda

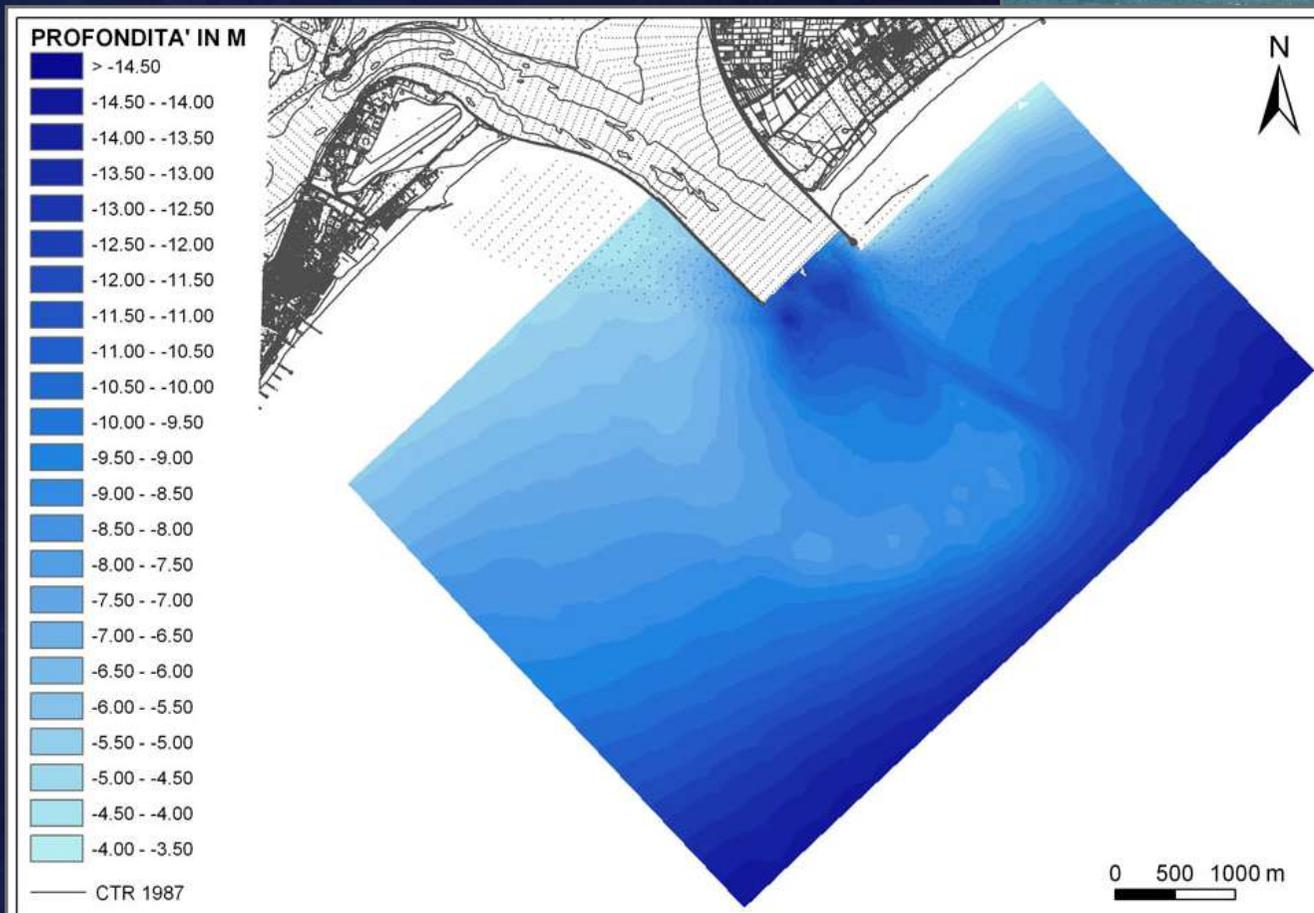
Batimetria

Deposito potenziale (spessore in m)

| | |
|--|--------------|
| | da 3.5 a 4.0 |
| | da 3.0 a 3.5 |
| | da 2.5 a 3.0 |
| | da 2.0 a 2.5 |
| | da 1.5 a 2.0 |
| | da 1.0 a 1.5 |
| | da 0.5 a 1.0 |

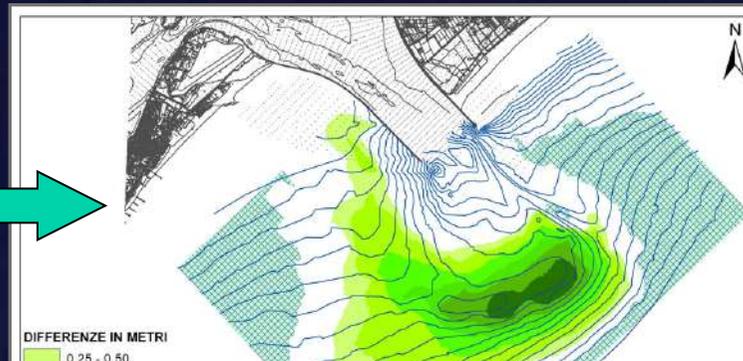
Piano di escavazione per un ripascimento di ca. 100.000 mc

BOCCE CON MOLI FORTEMENTE AGGETTANTI: BOCCA DI PORTO DI LIDO

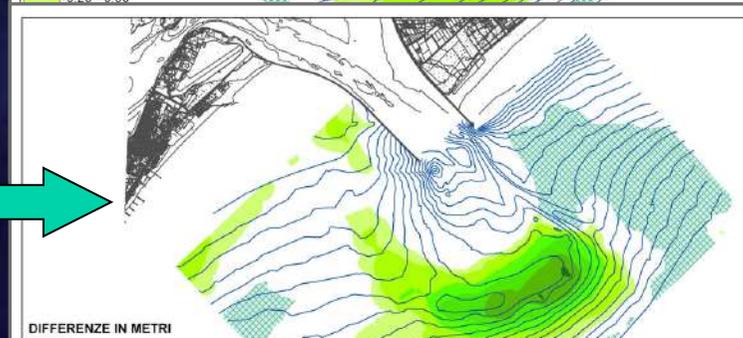


TEST GEOSTATISTICI E CALCOLO DELL'ANOMALIA VOLUMETRICA

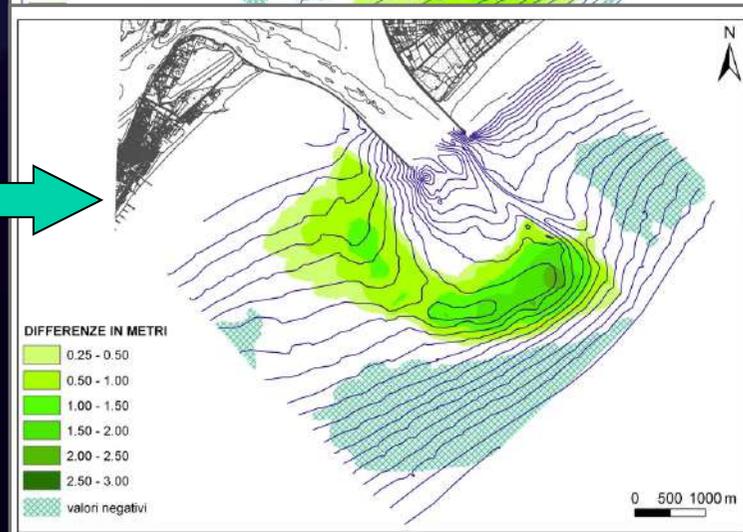
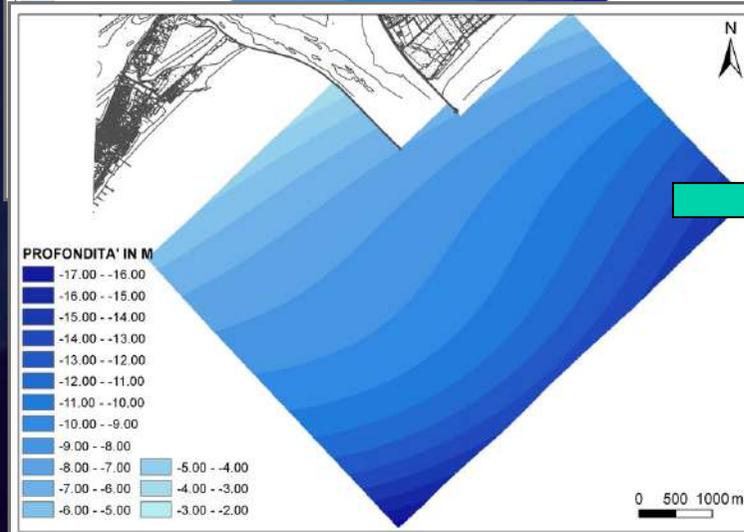
1° ordine



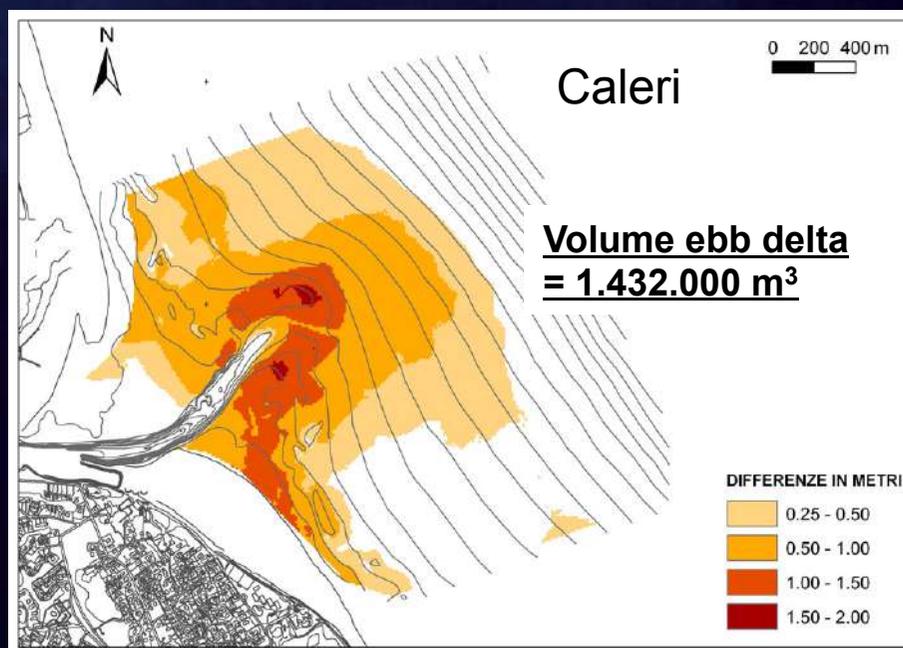
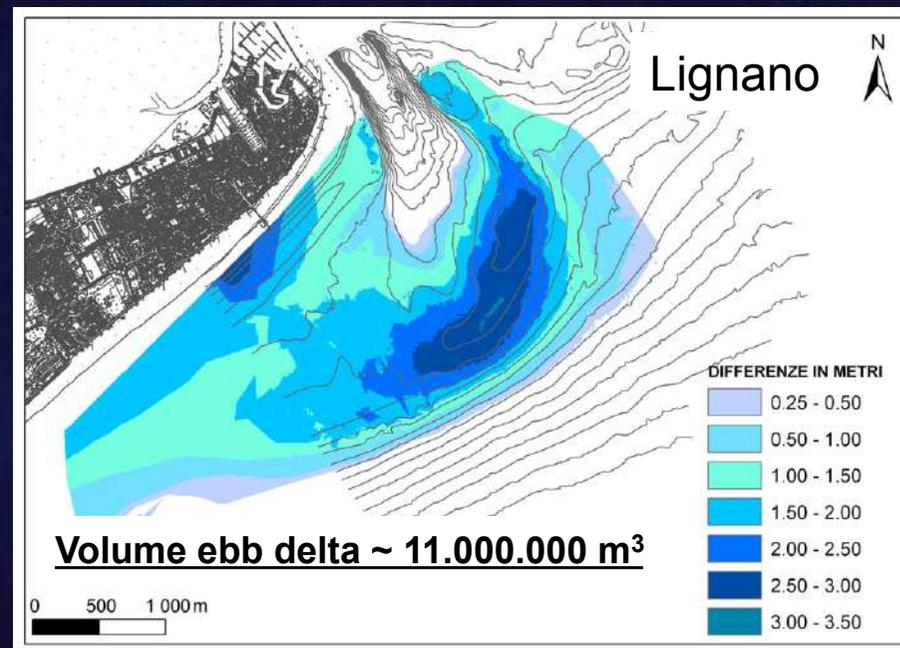
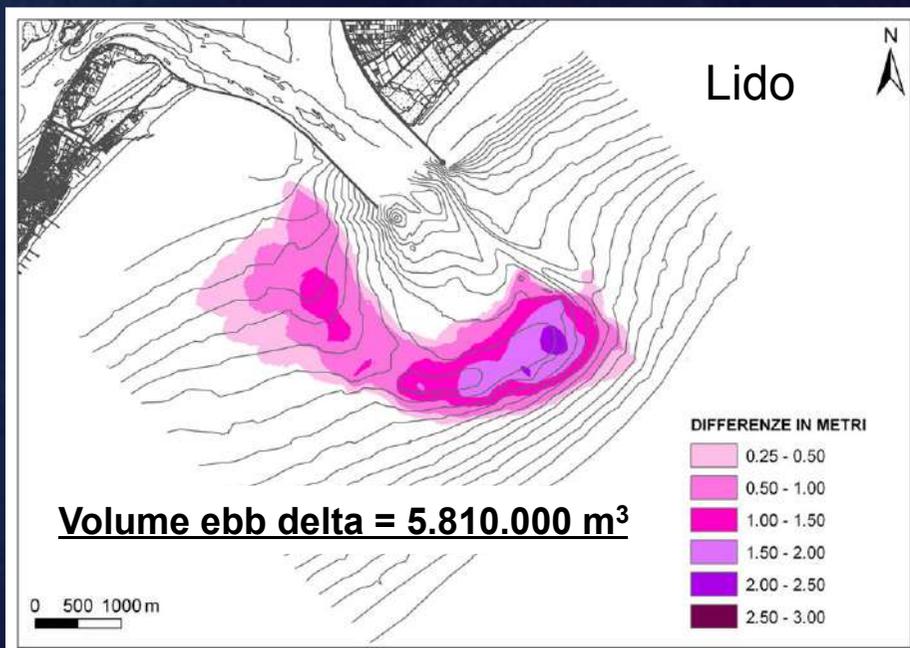
2° ordine



3° ordine

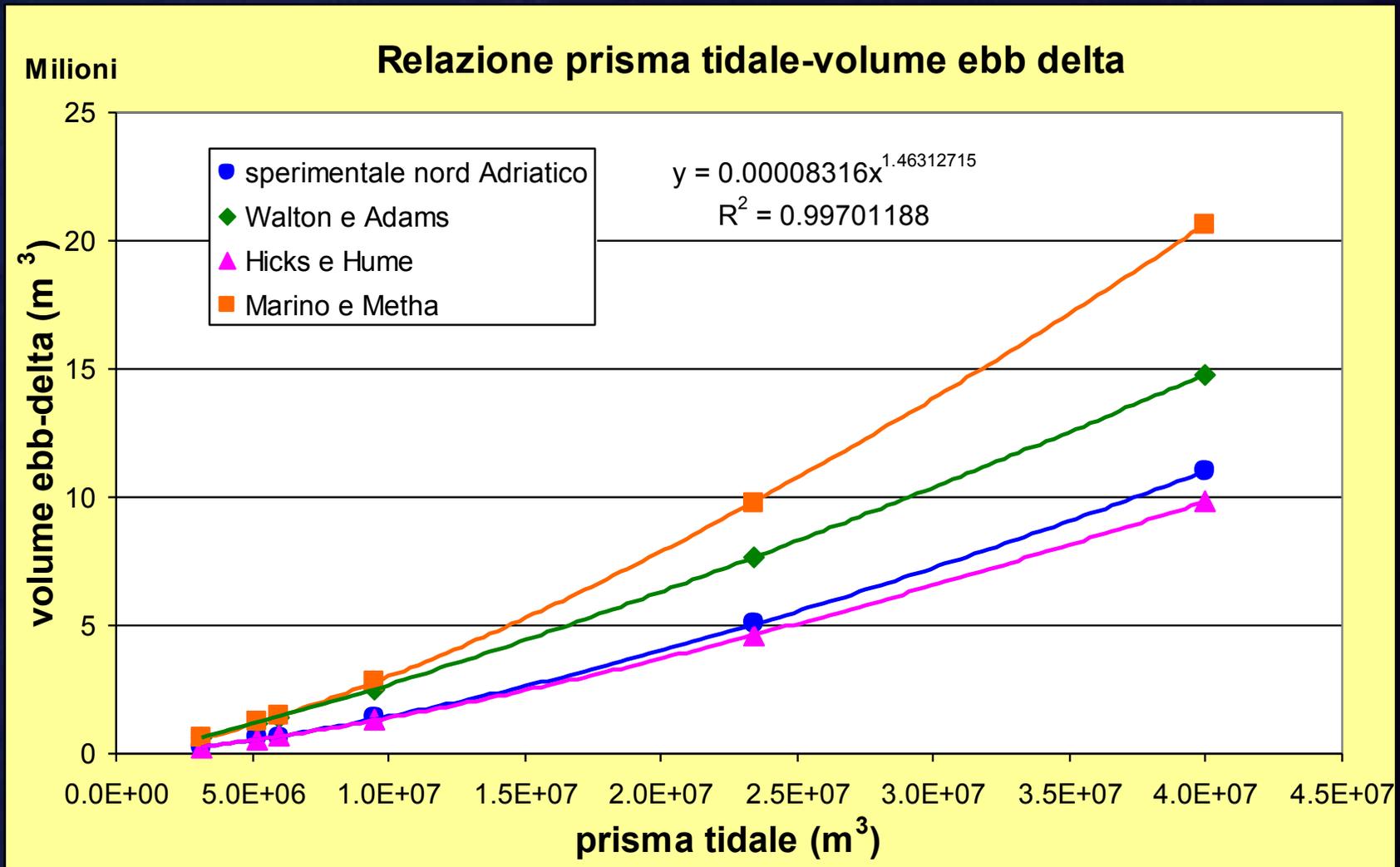


RISULTATI DEL CALCOLO VOLUMETRICO



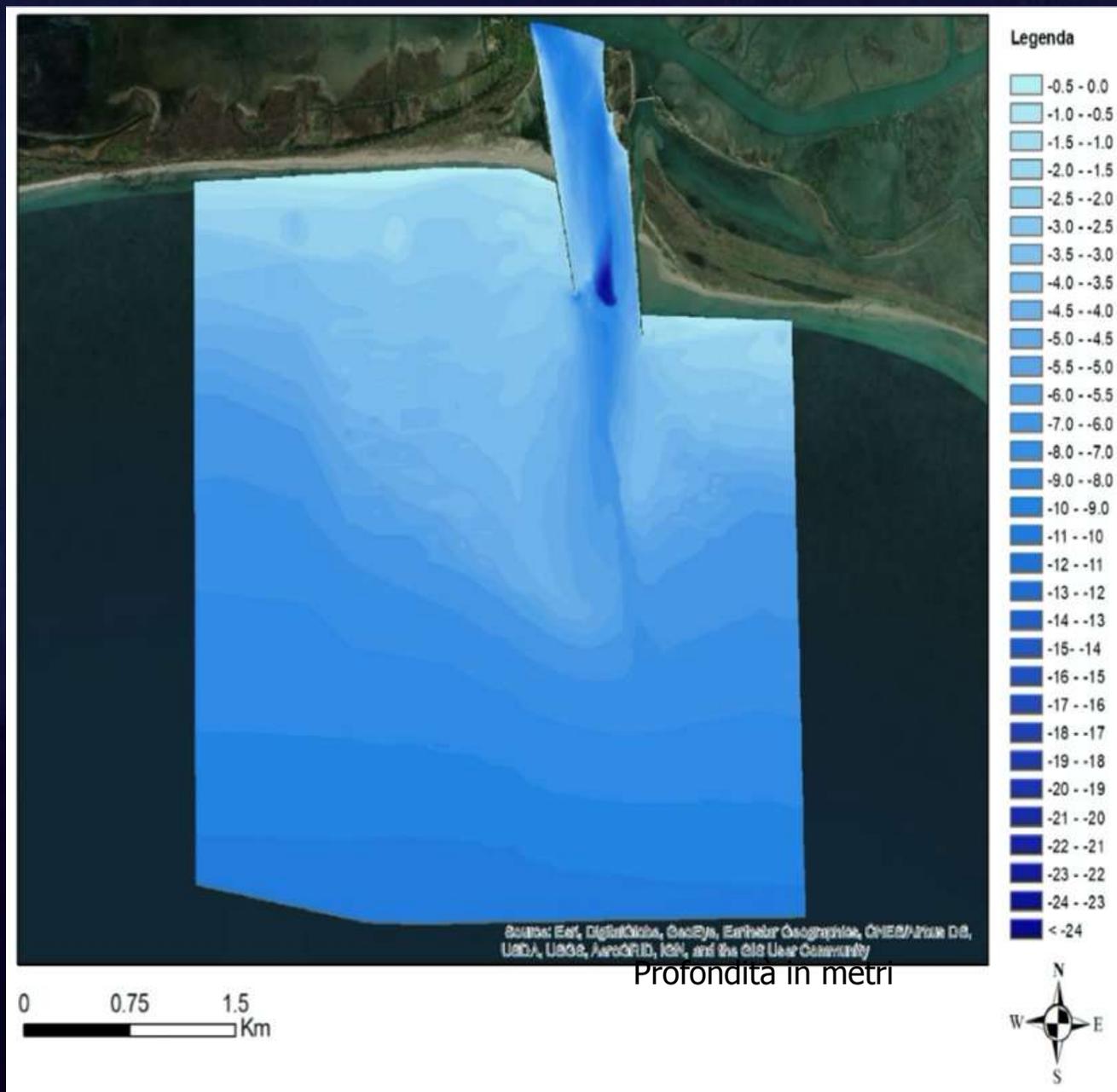
BOCCHE NATURALI SENZA ARMATURE

Volume di equilibrio del delta di riflusso



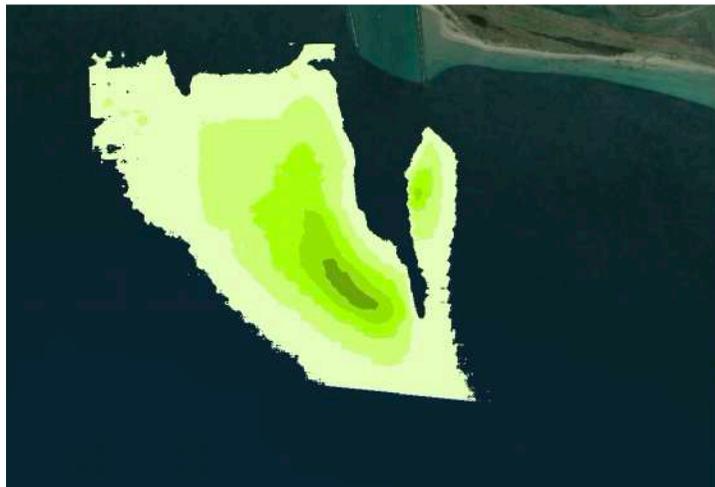
ESEMPIO APPLICATIVO

DTM della
bocca
lagunare di
Porto Buso

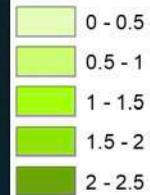


Volume del delta (residuale da detrending II ordine)

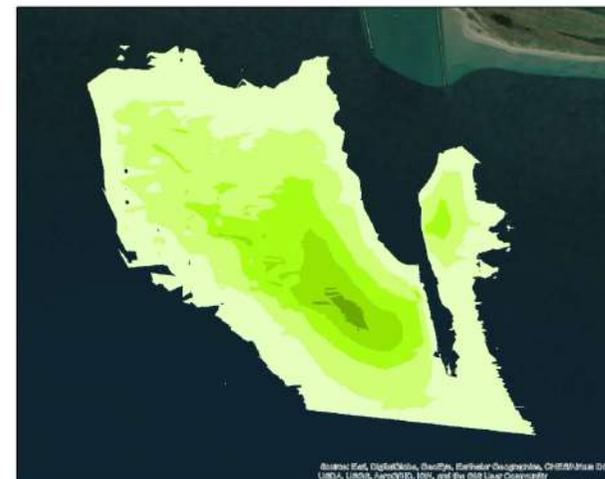
Volume deposito 2006
= 2.262.565 m³



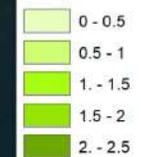
Legend



Volume deposito 2019
= 2.587.128 m³



Legend



0 250 500
m

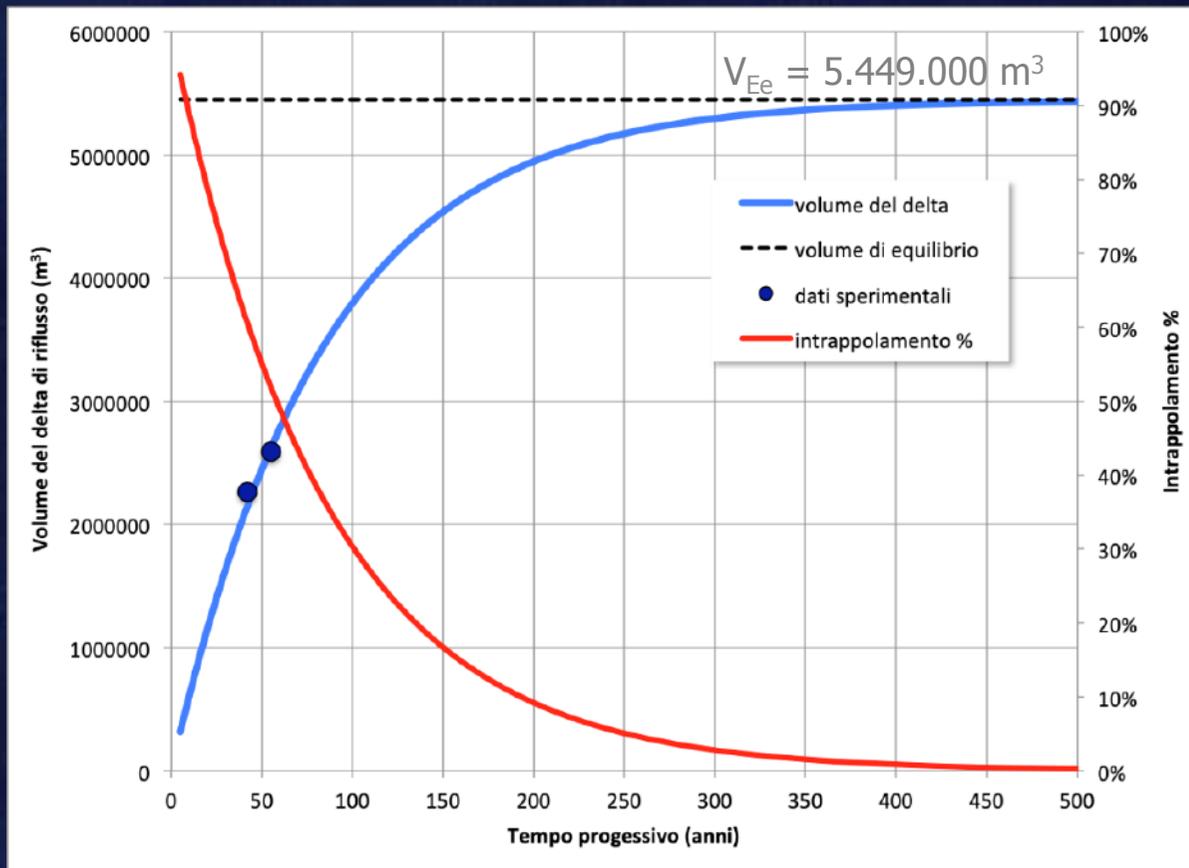
Spessori sedimentari in metri

0 250 500
m

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

