

G. Seminara
DICAT, Università di Genova

**Riflessioni di un idrodinamico
su Venezia
nel secolo dei cambiamenti climatici**

...cominciamo la nostra riflessione dalle conclusioni....

CONCLUSIONI TAVOLO TECNICO

Palazzo Chigi, 2 Novembre 2006

UTILI APPROFONDIMENTI DA CONDURRE IN PARALLELO ALLA REALIZZAZIONE DELLE OPERE MOBILI DOVREBBERO ESSERE FINALIZZATI

- 1) **ALL'INDIVIDUAZIONE DELLA MIGLIORE GESTIONE DELLA CHIUSURA PARZIALE O TOTALE DELLE OPERE MOBILI, NEI DIVERSI SCENARI CLIMATICI, IN MODO DA:**
 - *OTTIMIZZARE LA DIFESA DEI CENTRI ABITATI DALLE ACQUE ALTE*
 - *MINIMIZZARE L'IMPATTO SULLA PORTUALITA'*
 - *MINIMIZZARE L'IMPATTO AMBIENTALE*
- 2) **AL MIGLIORAMENTO DELLE CONOSCENZE NECESSARIE ALL'INDIVIDUAZIONE DI PROVVEDIMENTI ADEGUATI AL RECUPERO MORFOLOGICO ED AMBIENTALE DELLA LAGUNA**

Valori di crescita assoluta del livello del mare osservati negli ultimi decenni: IPCC 2007

Table SPM-1. Observed rate of sea level rise and estimated contributions from different sources. {5.5, Table 5.3}

Source of sea level rise	Rate of sea level rise (mm per year)	
	1961 – 2003	1993 – 2003
Thermal expansion	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Glaciers and ice caps	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Greenland ice sheet	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Antarctic ice sheet	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Sum of individual climate contributions to sea level rise	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Observed total sea level rise	1.8 ± 0.5^a	3.1 ± 0.7^a
Difference (Observed minus sum of estimated climate contributions)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

Table note:

^aData prior to 1993 are from tide gauges and after 1993 are from satellite altimetry.

Le previsioni di IPCC 2007

Cosa ci aspetta nel corso di questo secolo?

IPCC 2007 considera alcuni **possibili scenari**,
nessuno dei quali prevede l'adozione di iniziative
volte a diretti interventi sui fattori che controllano il clima

“no scenarios are included that explicitly assume implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change or the emissions targets of the Kyoto Protocol “

A1. A future world of:

- very **rapid economic growth**,
- **global population peaks in mid-century and declines thereafter**,
- **rapid** introduction of **new and more efficient technologies**.

Three subgroups: alternative directions of technological change in the energy system.

- **fossil intensive** (A1FI), **non-fossil energy sources** (A1T), **balance** of all sources (A1B)

A2. A very heterogeneous world.

- **Self reliance** and preservation of local identities.
- Fertility patterns converge very slowly, **continuously increasing population**.
- **Economic development is primarily regionally oriented**
- Economic **growth-technological change fragmented and slow**.

B1. A convergent world with:

- emphasis on **global solutions** to economic, social and environmental sustainability,
- the **same global population**, (peaks in mid-century and decline thereafter), as in A1
- **rapid change in economic structures** toward a service and information economy,
- with introduction of **clean and resource efficient technologies**.

B2. World in which the emphasis is on:

- **local solutions** to economic, social and environmental sustainability.
- continuously **increasing global population**, at a rate lower than A2,
- **intermediate levels of economic development**,
- **less rapid and more diverse technological change** than in the B1 and A1 storylines.

Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) ^a		Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant Year 2000 concentrations ^b	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Table notes:

^a These estimates are assessed using a single climate model, several Earth Models of Intermediate Complexity (EMICs), and a subset of Atmosphere-Ocean Global Circulation Models (AOGCMs).

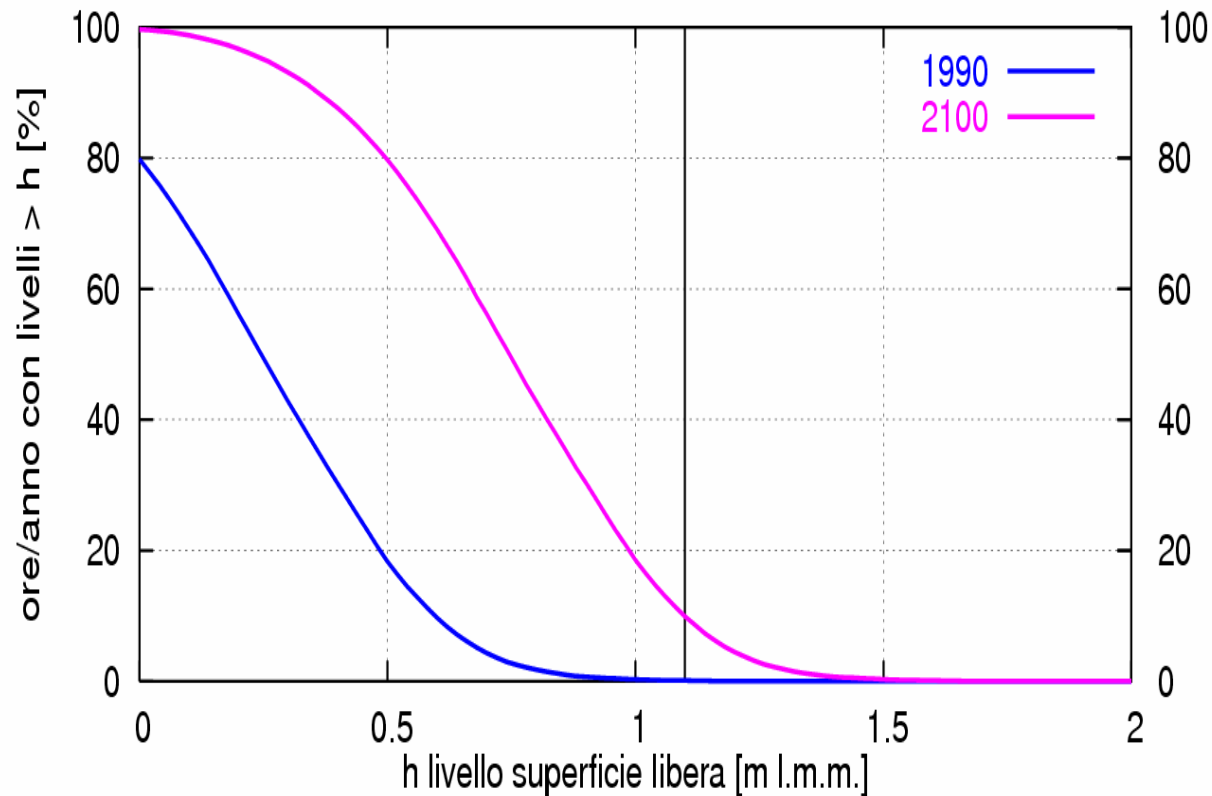
Best estimate : 0.39 m

Nel seguito esamineremo uno scenario di crescita di 39+ 11 =50 cm del livello relativo del mare nel 2100

Quali conseguenze per Venezia?

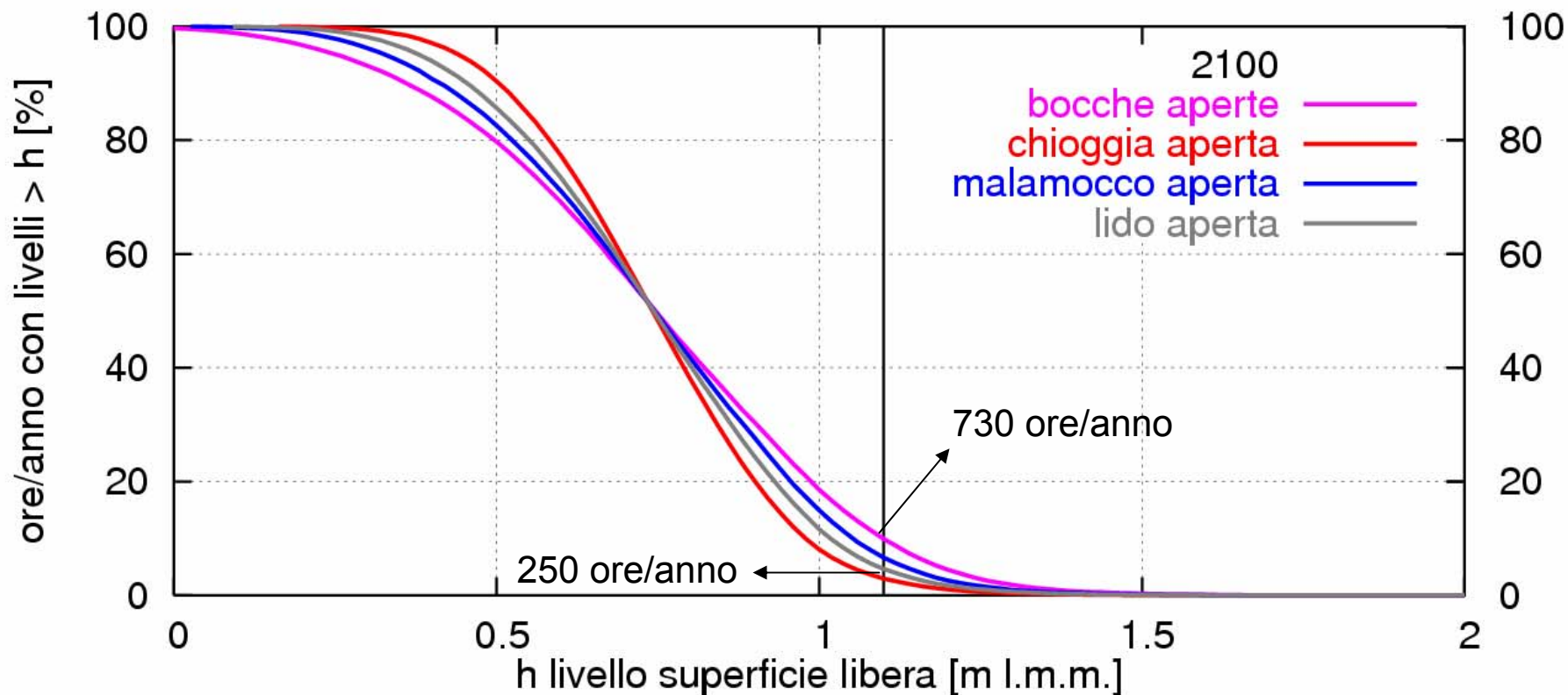
- Conseguenza sulle **acque alte** ?
 - in assenza di interventi.
 - in presenza di interventi
- Implicazioni per il **ricambio lagunare** ?
- Implicazioni per la **stabilità delle bocche**?
- Implicazioni per la **morfologia lagunare**?

Conseguenza sulle acque alte interventi di rialzo a 1,1 m

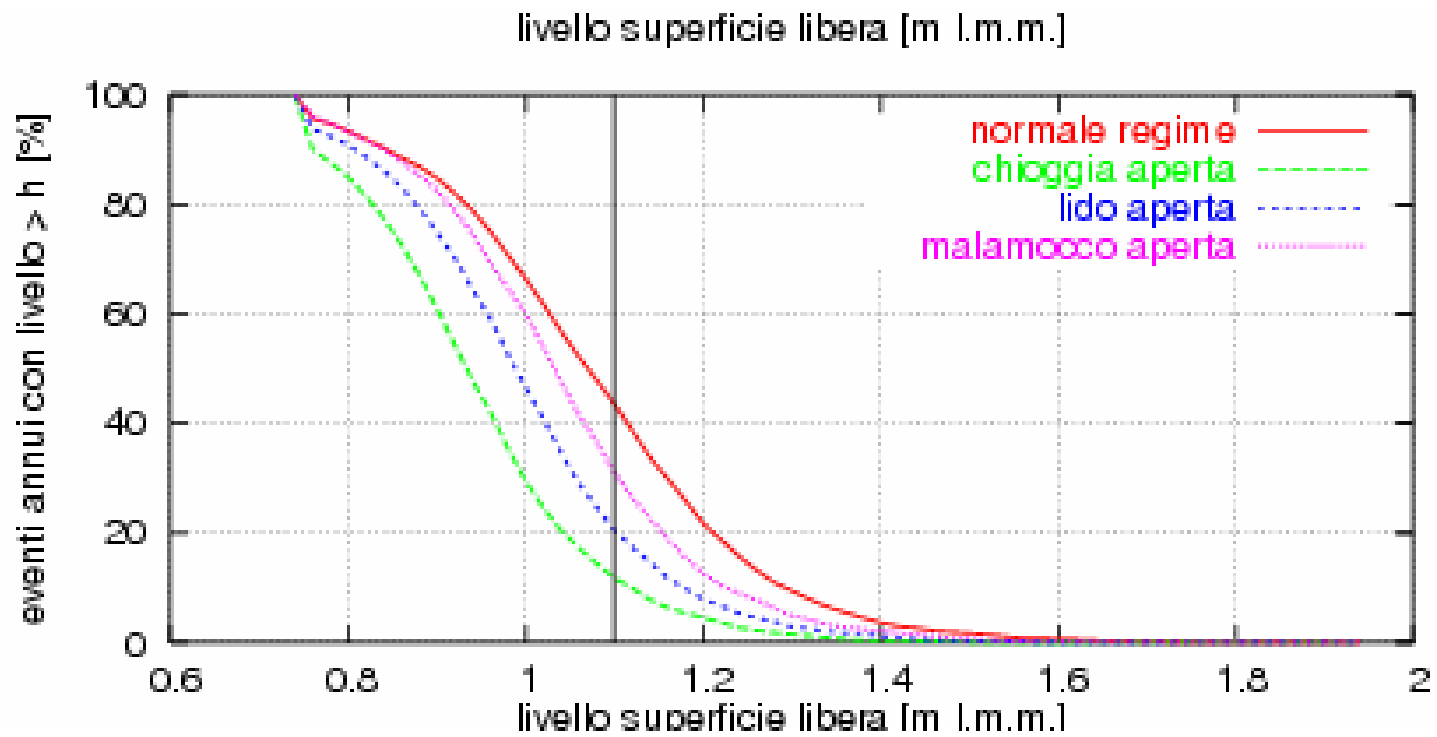


**Con gli eventi del 1994-1998, Venezia
sarebbe sommersa meno del 10% del tempo l'anno**

Conseguenza sulle acque alte interventi di rialzo a 1,1 m + paratoie mobili 1



Con gli eventi del 1994-1998 e Venezia difesa a 1,1 m, la chiusura di due paratoie su tre riduce considerevolmente il numero di ore all'anno in cui è necessario isolare la laguna



Chiusura di due paratoie

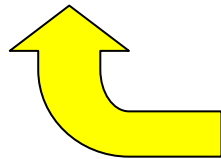
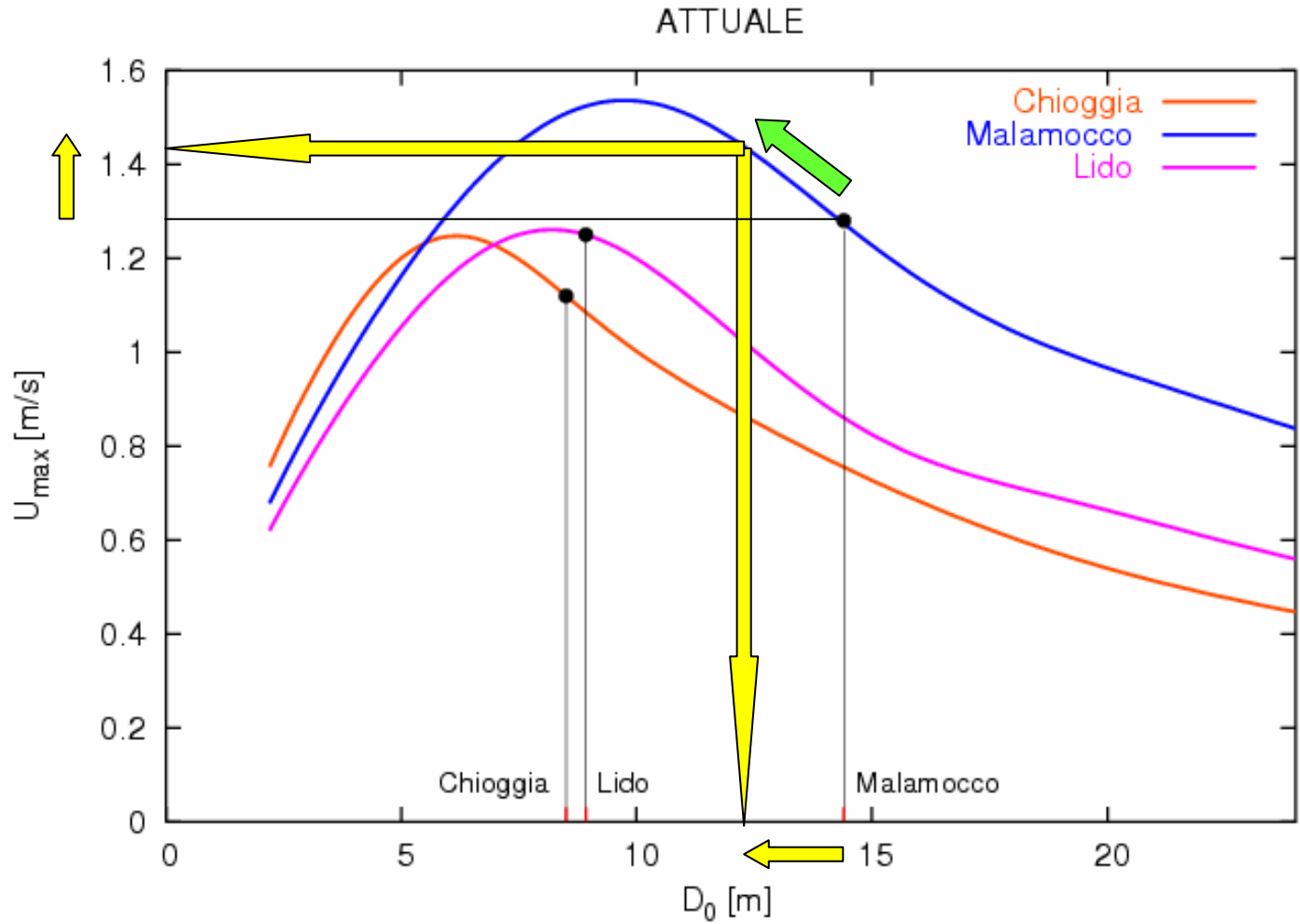
Implicazioni per la stabilità delle bocche?

***Le bocche
si trovano oggi in un regime
morfologicamente abbastanza
stabile***

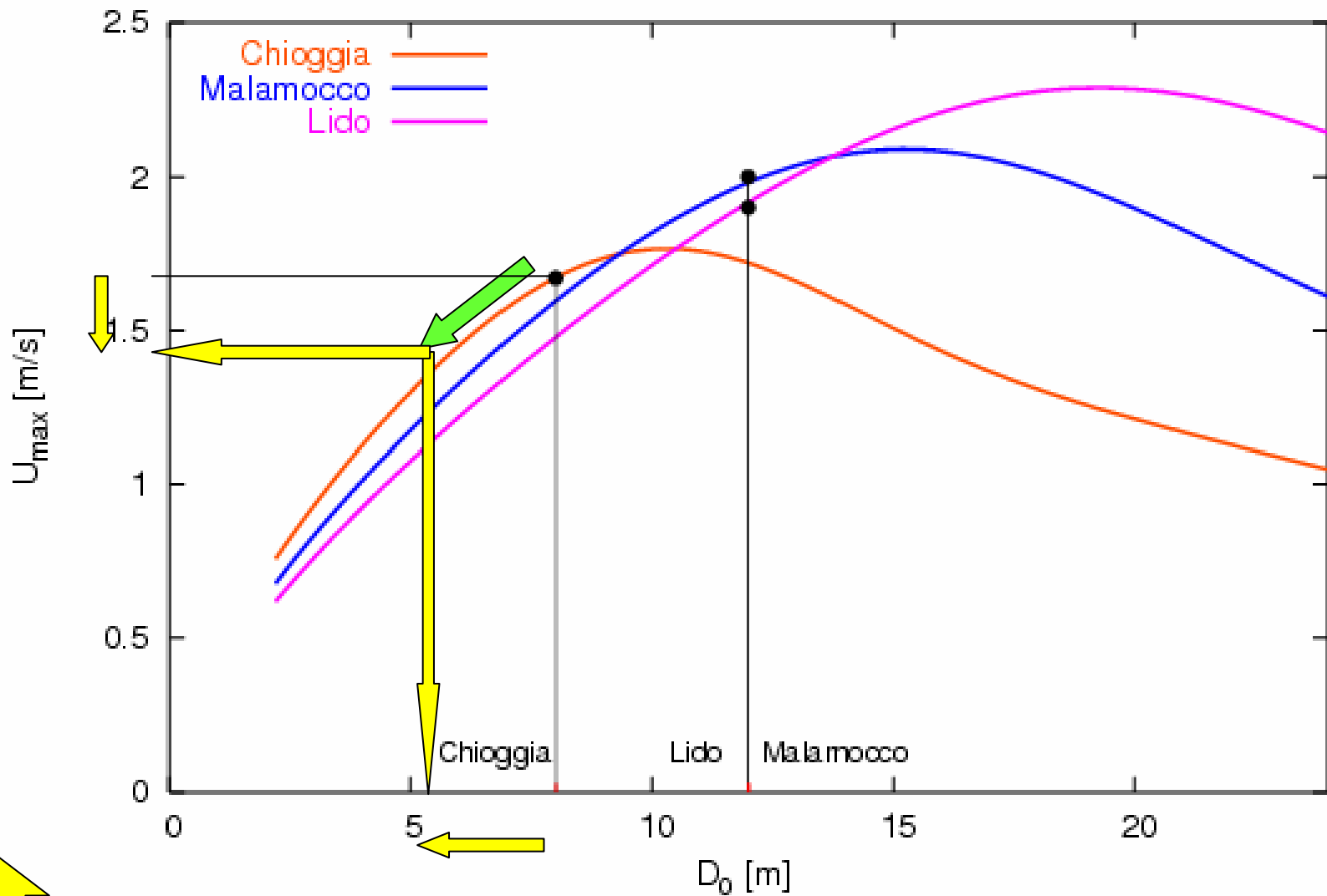
***Nei periodi di chiusura parziale
si spostano temporaneamente
nel regime instabile***

**Un
aumento
della
velocità**

**Dunque
la
tendenza
a far
regredire
il deposito**



**Una riduzione di
profondità
(deposito)
induce**



**Una
Riduzione
di
velocità...**

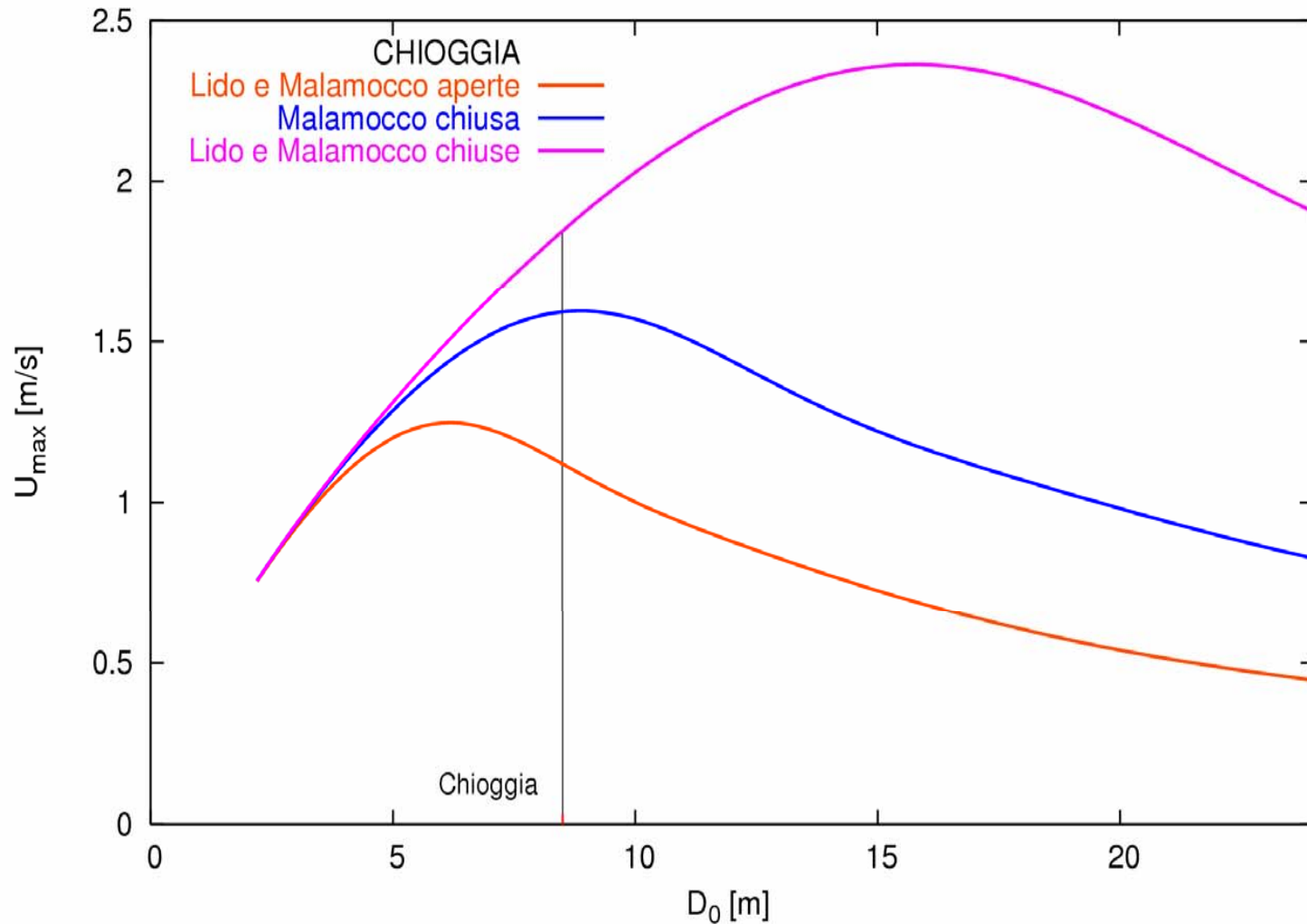
**Dunque
la
tendenza
ad
ulteriore
deposito**

**Una riduzione di
profondità
(deposito)
induce**

.....

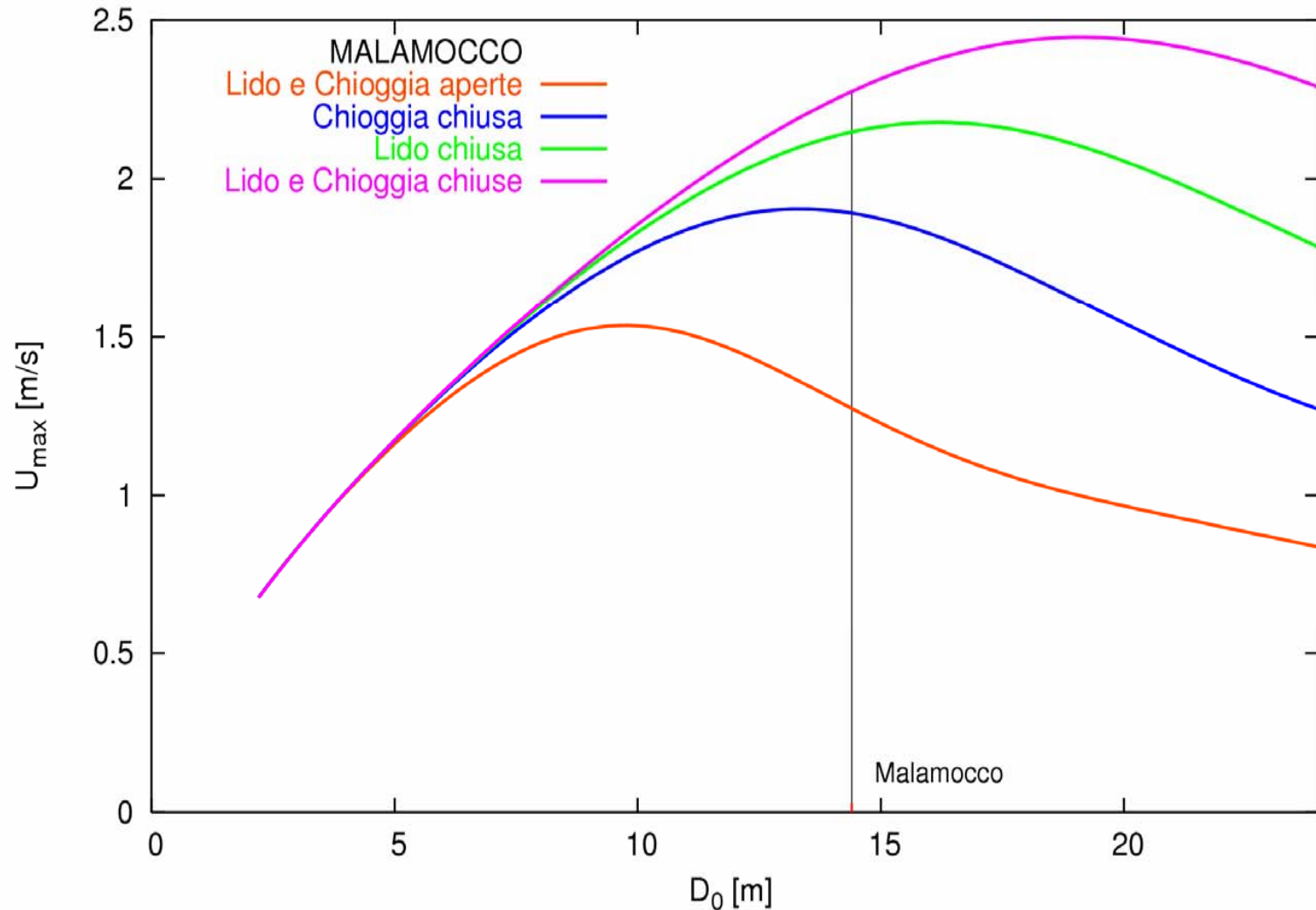
Implicazioni per la stabilità delle bocche?

Stabilità Chioggia



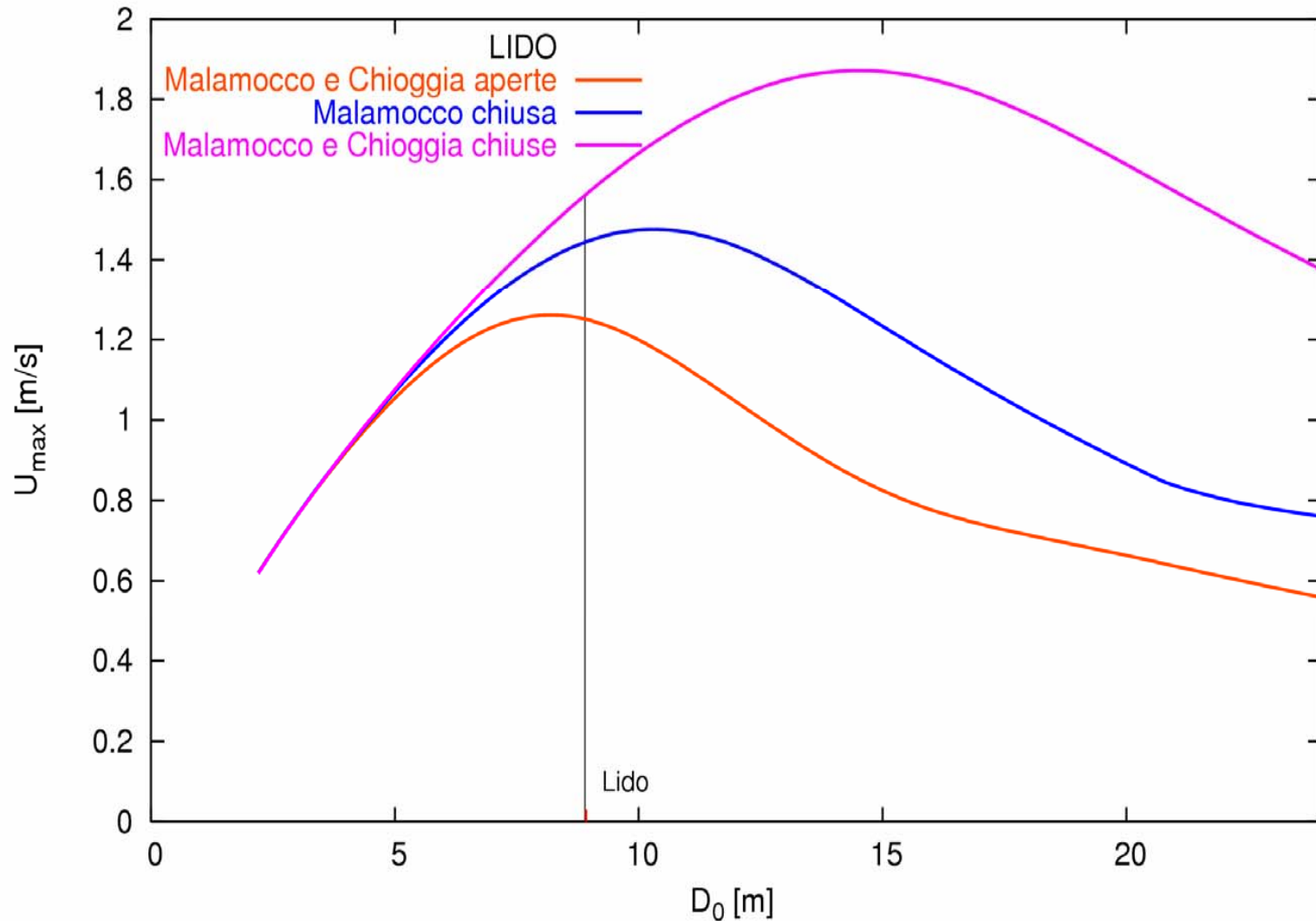
Implicazioni per la stabilità delle bocche?

Stabilità Malamocco

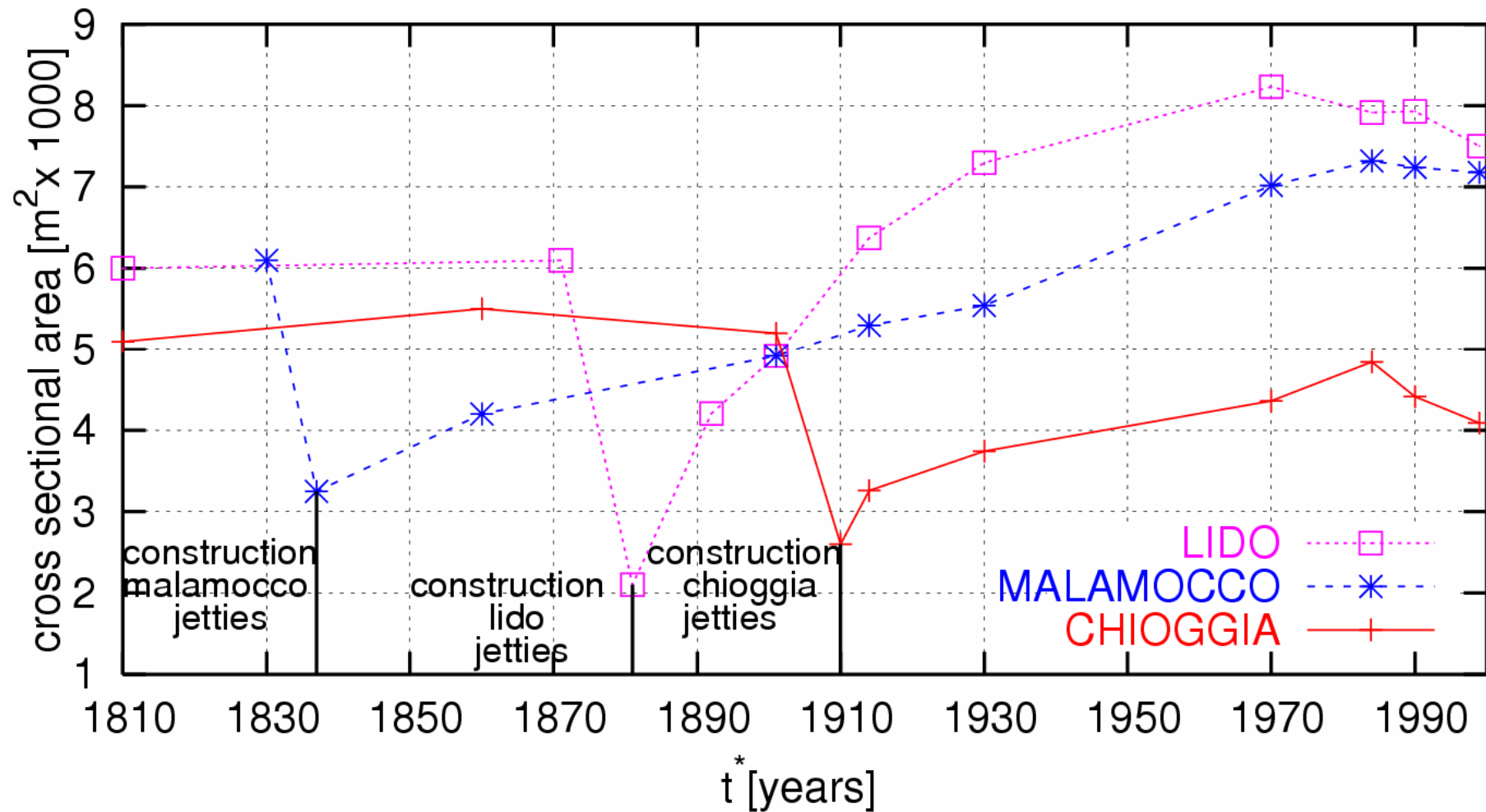


Implicazioni per la stabilità delle bocche?

Stabilità Lido



INLET CROSS SECTIONAL AREA



GS1 A glance at fig. 5 allows some general observations of relevance for the issue of inlet equilibrium.

i) Each of the curves expressing the dependence of the maximum speed at the inlet on the inlet flow depth displays a maximum: this is fairly reasonable as U_{max} tends to vanish both in the limit $D_0 \rightarrow 0$ and in the limit $D_0 \rightarrow \infty$. In fact, small depths enhance dissipation (recall that 2.12 b suggests that the frictional term depends on the inverse third power of flow depth) hence the function f in equation (3.1) decreases faster than D_0 as $D_0 \rightarrow 0$, whereas large flow depths imply low dissipations and the function f tends to the inviscid limit: $f \rightarrow \frac{1}{3} U_{max}^2$ with $d_1 \rightarrow 0$, as $D_0 \rightarrow \infty$.

iii) For the value of the tidal amplitude chosen to construct fig. 5 it appears that the maximum value of U_{max} is associated with a value of the inlet depth D_c smaller than the present value experienced by that inlet. This is an important observation. In fact, as pointed out by Marchi (1990), the branch of the curve corresponding to values of D smaller than D_c describe unstable conditions, as a reduction of the flow depth is there associated with a reduction of the flow speed, hence with a decreased sediment transport capacity which encourages deposition and a further reduction of the inlet depth. On the contrary, the branch of the curve corresponding to values of D larger than D_c describe stable conditions as a not too large reduction of the flow depth is associated with an increase of the flow speed and of the transport capacity. The Lido inlet appears to operate very close to the peak of the curve, hence the present results suggest that the danger of inlet siltation may be brought up by a relatively small reduction of the inlet depth. Indeed, the observations described below (fig. 7) do confirm that a tendency to siltation has already been experienced by both Lido and Chioggia inlets.

iv) The issue of inlet equilibrium is quite delicate, as departure from an equilibrium state arises from a complex dynamic balance between sediment supply to and sediment loss from the inlet. The latter balance will be given some attention in the next section. However, it is straightforward at this stage to examine the static equilibrium limit, a condition defined by the inability of tidal currents to transport (either in suspension or as bedload) the sediments available in the bed. These threshold conditions are obtained by stipulating that the maximum current speed must not exceed the critical speed for sediment motion defined by Shields criterion. The conditions for static equilibrium obtained following this approach are plotted in figure 5 for a realistic range of sediment sizes. The obvious observation arising from a comparison between the latter threshold conditions and the curves describing the dependence of the maximum inlet speed on inlet depth is the recognition that the present configuration of each of the Venice inlets is quite far from static equilibrium, which would require flow depths much larger than the present ones.

Implicazioni per la morfologia lagunare? 1

**La prima esigenza:
Capire l'oggi per poter prevedere il domani.**

Oggi:

- **la laguna si è approfondita considerevolmente rispetto alla laguna ottocentesca**
- **è scomparsa una frazione consistente delle aree barenali**



Alla fine del 1800 la **superficie del bacino lagunare aperta al flusso di marea non era molto diversa dall'attuale** (non vi erano le casse di colmata né altri imbonimenti, ma più estese valli da pesca arginate o semi arginate e saline).

La foto (archivio Alinari) mostra che **il fondale lagunare in bassa marea si prosciugava** .

La laguna oggi

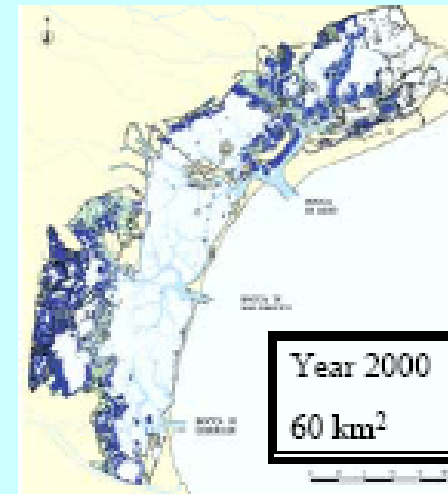
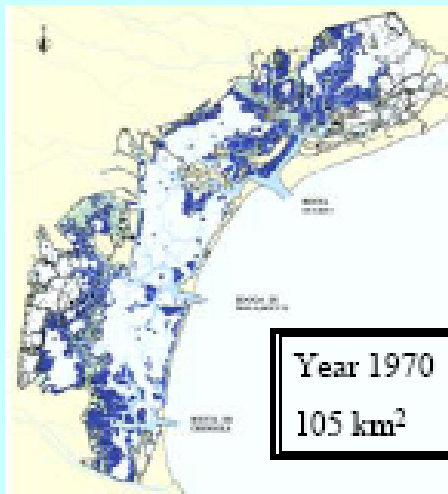
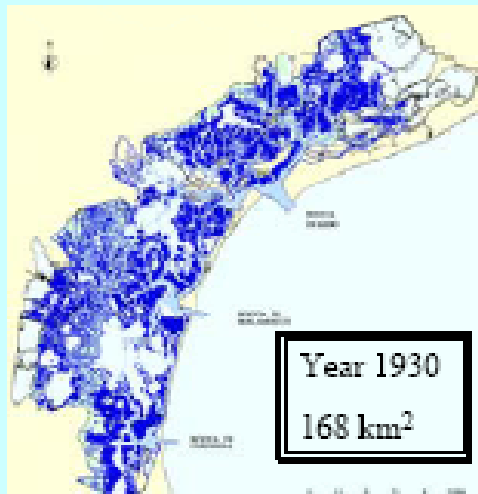
Anche in bassa marea permane una lama d'acqua media di almeno mezzo metro: quindi si stima che il **volume d'acqua che sovrasta i bassi fondali oggi sia almeno raddoppiato rispetto ad un secolo fa.**



Bassa marea del Gennaio 2002 Solo con una bassa marea eccezionale di circa $-0,7$ m si ripresenta oggi il consueto paesaggio di un secolo fa.

Anche i **rilievi batimetrici del 1930 e 1970 e 2000** ci confermano la situazione altimetrica dei bassifondali e così pure le **foto aeree del 1955**.

INTERTIDAL SURFACE² (-0.6 ÷ 0.0 M A.B.S.L.)



²Habitat Comunitario :1140

Quali affermazioni scientifiche possono
farsi oggi
sulle **cause di tali eventi**
sulla base dei

Risultati della Ricerca Corila?

Il primo fatto accertato:

**Lo scambio di sabbie fini alle bocche
NON è RESPONSABILE**

(Tambroni e Seminara, J. Geophysical Research, 2006)

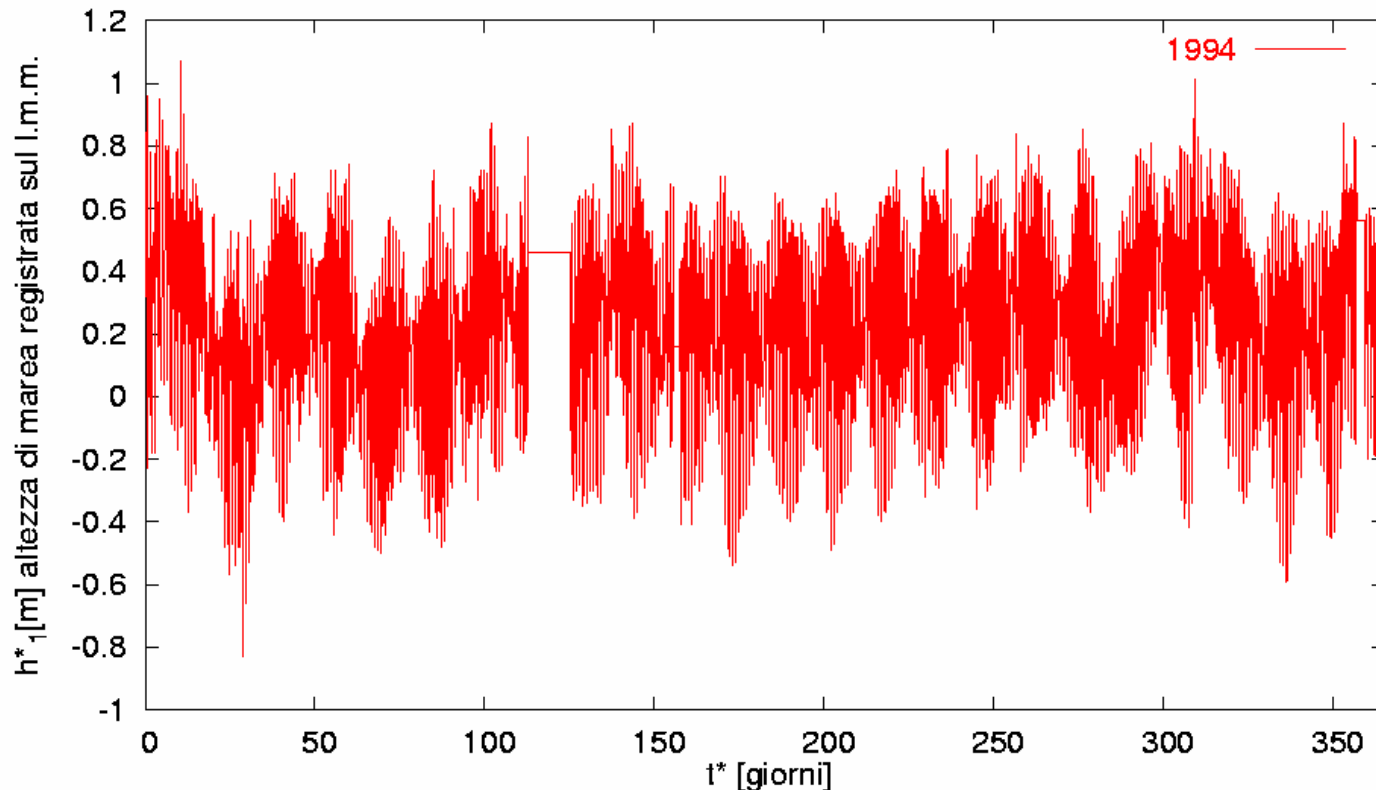
- i) **La capacità di trasporto di sabbie fini alle bocche è di un ordine di grandezza minore rispetto alla perdita di materiale dalla laguna**
- ii) **La sovraalimentazione da parte delle tempeste costiere induce deposito alle bocche**

BILANCIO DELLA PERDITA DI SABBIE A LUNGO TERMINE

Ipotesi:

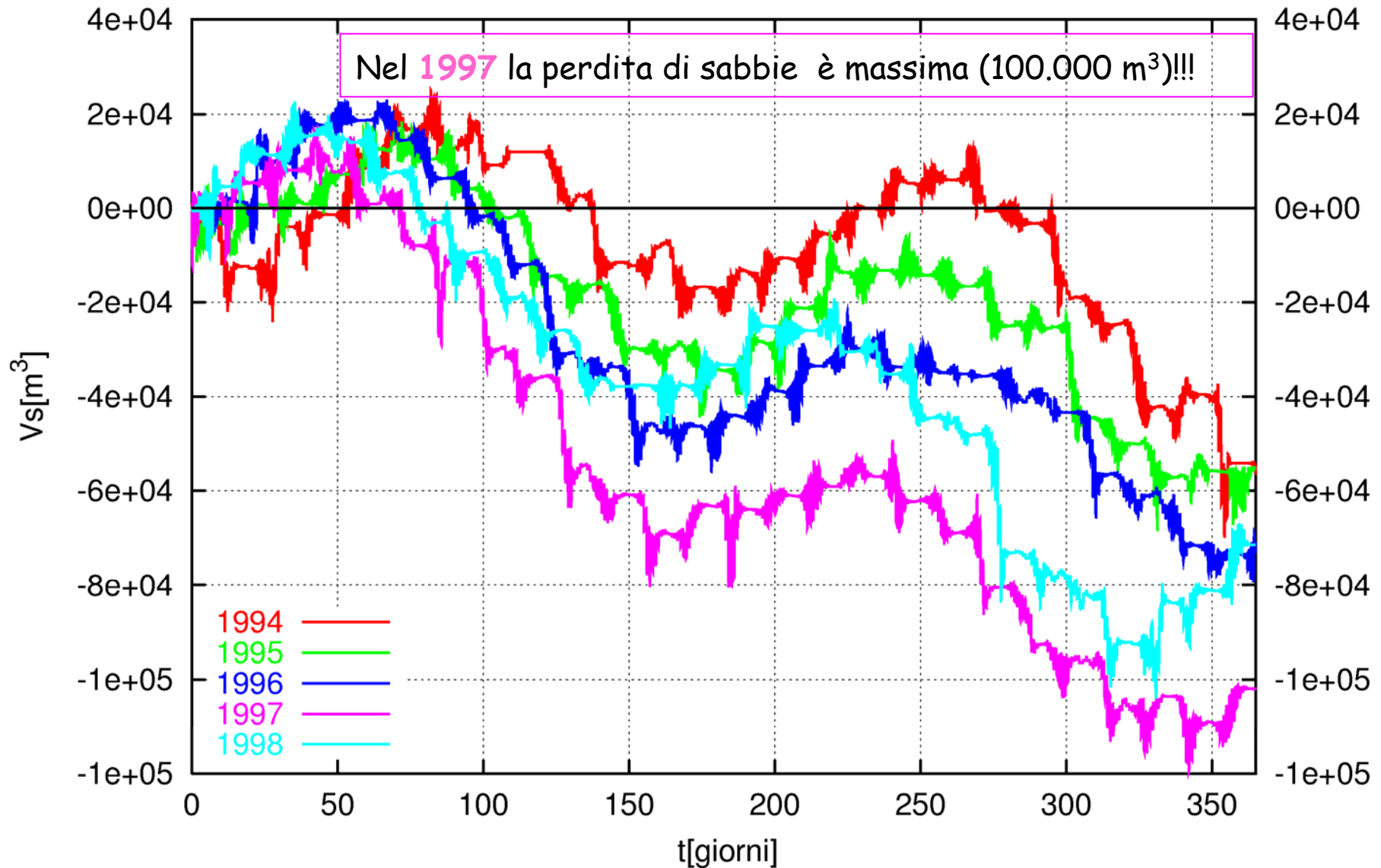
- Forzante all'imbocco: altezze di marea sul l.m.m. 1897 effettivamente registrate a PUNTA DELLA SALUTE dal 1994 al 1998 (Consorzio Venezia Nuova- Magistrato alle Acque).

- Portata solida determinata dalla capacità di trasporto locale.

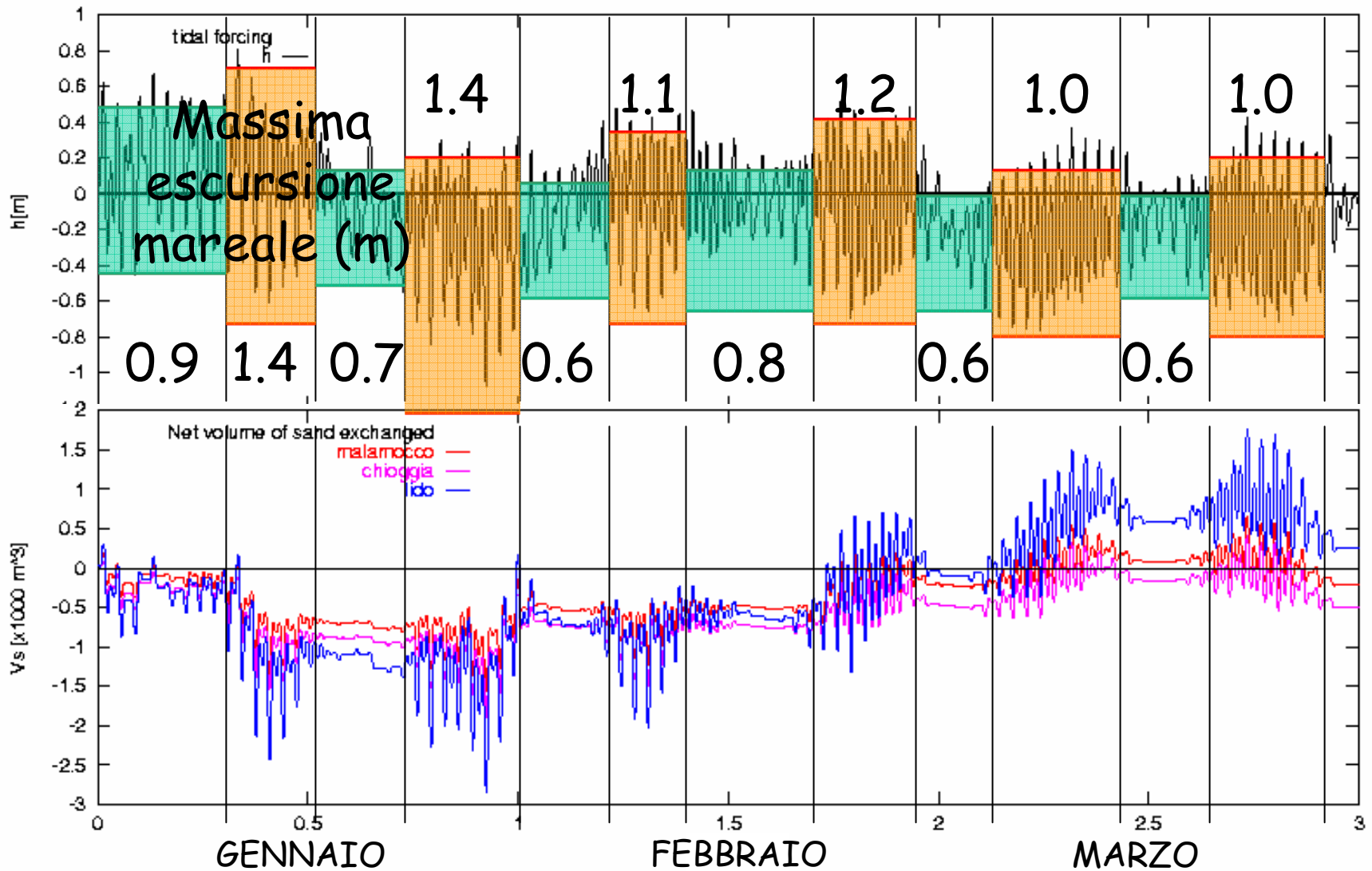


BILANCIO DELLA PERDITA DI SABBIE FINI

CONFRONTO BILANCIO NEGLI ANNI 1994-1998



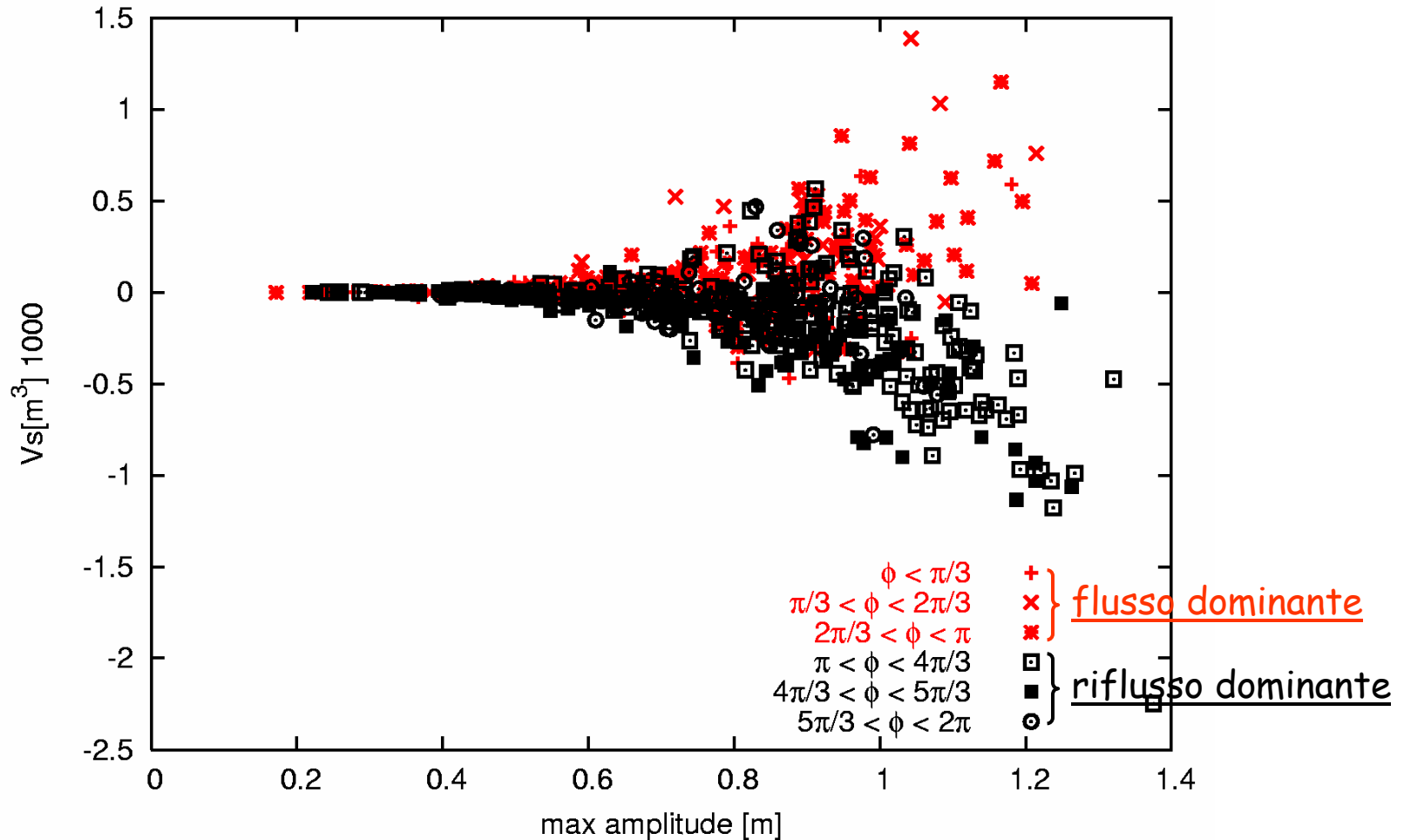
BILANCIO DELLA PERDITA DI SABBIE FINI



Rilevanti scambi di sedimenti si realizzano in corrispondenza di eventi estremi.

BILANCIO DELLA PERDITA DI SABBIE FINI

RUOLO DELLO SFASAMENTO FRA I e II ARMONICA DELLA MAREA FORZANTE



L'intensità del flusso netto di sedimenti scambiato ad ogni ciclo dipende sia dalla massima ampiezza che dallo sfasamento ϕ delle armoniche dell'onda di marea forzante.

Se risulta $0 < \phi < \pi$ lo scambio netto di sedimenti è positivo: flusso dominante !!

Il secondo fatto accertato:

**Lo scambio alle bocche di sedimenti finissimi
provenienti dall'erosione dei bassifondi e
la perdita di aree barenali**

E' CERTAMENTE RESPONSABILE

(Seminara, Accademia dei Lincei, 2002

Tambroni e Seminara, J. Geophysical Research, 2006)

per effetto

**i) dell'asimmetria del campo di moto
alle bocche nelle due fasi di flusso e riflusso
(Blondeaux, De Bernardinis e Seminara, 1982 !!!)**

**ii) dell'incapacità dei sedimenti finissimi di
depositare all'interno della laguna**

NON E' VERO INVECE

MA E' AFFERMAZIONE CHE COMPARE NELLA
VARIEGATA LETTERATURA CHE SI AVVALE SPESSO DEI
GIORNALI COME SEDE DI DIBATTITO (SCIENTIFICO?)

CHE LA FORMA (NON PIU' 'NATURALE')
DELLE BOCCHE
SAREBBE RESPONSABILE

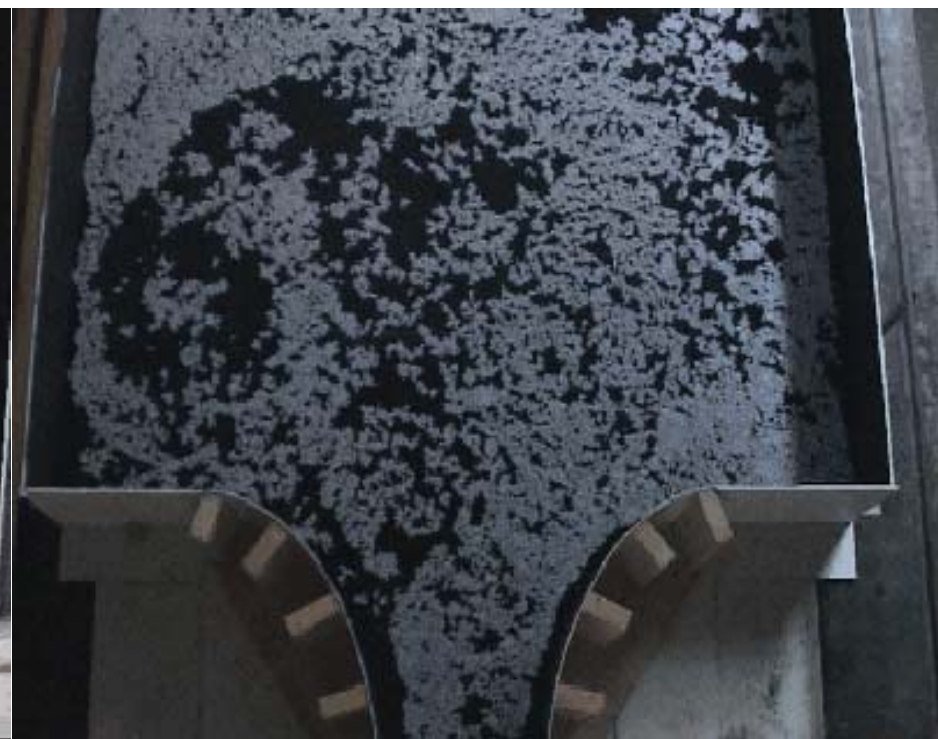
I'ASIMMETRIA è PRESENTE ANCHE
NELLE BOCCHE NATURALI
COM'E' CONFERMATO DA:

- OSSERVAZIONI **DI CAMPO** (STRETTO DI NARUTO)
- OSSERVAZIONI **DI LABORATORIO** (*Tambroni, Bolla
Pittaluga e Seminara, 2005*)

Asimmetria del campo di moto nella regione della bocca

Esperimenti: *Blondeaux, de Bernardinis e Seminara, 1982*

Tambroni, Bolla Pittaluga and Seminara, 2005



Che meccanismo conduce allora alla perdita di aree barenali?

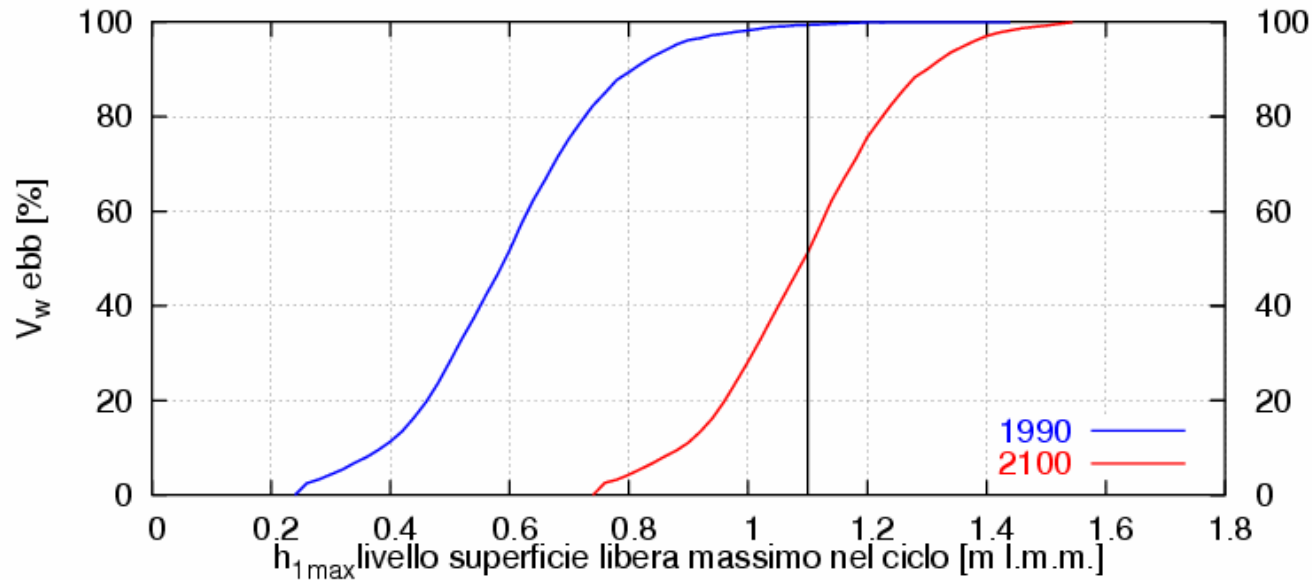
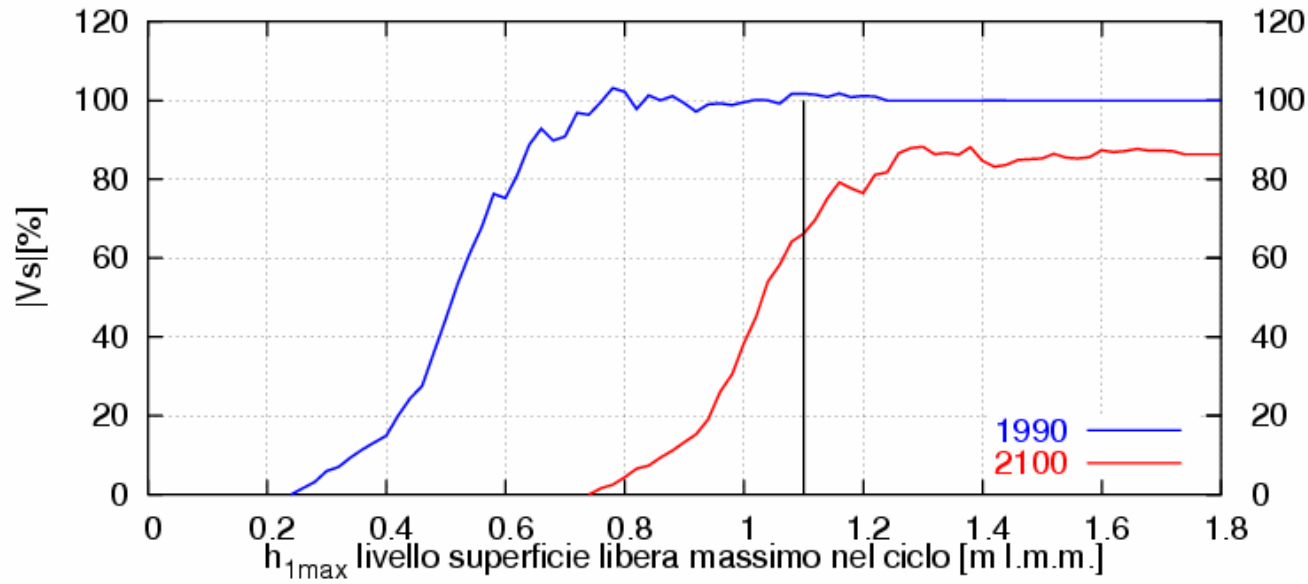
Il **meccanismo** (*Tambroni e Seminara, JGR 2006*):

- Sedimenti fini sono resi **disponibili:**
nei bassifondi da collasso dei margini delle barene, a causa di approfondimento dei bassifondi, moto ondoso, navigazione...
nelle barene da produzione di biomassa
- **Vento risospende** i sedimenti nei bassifondi
- **Le correnti mareali redistribuiscono i sedimenti:**
 - parte **deposita nei canali** e deve essere dragata
 - parte **deposita nelle barene**
 - parte, troppo fine per sedimentare, **raggiunge le bocche** e deposita in mare o è ridistribuito da correnti litoranee

Quale esito di questo processo ?

BILANCIO DELLA PERDITA DI SABBIE FINI

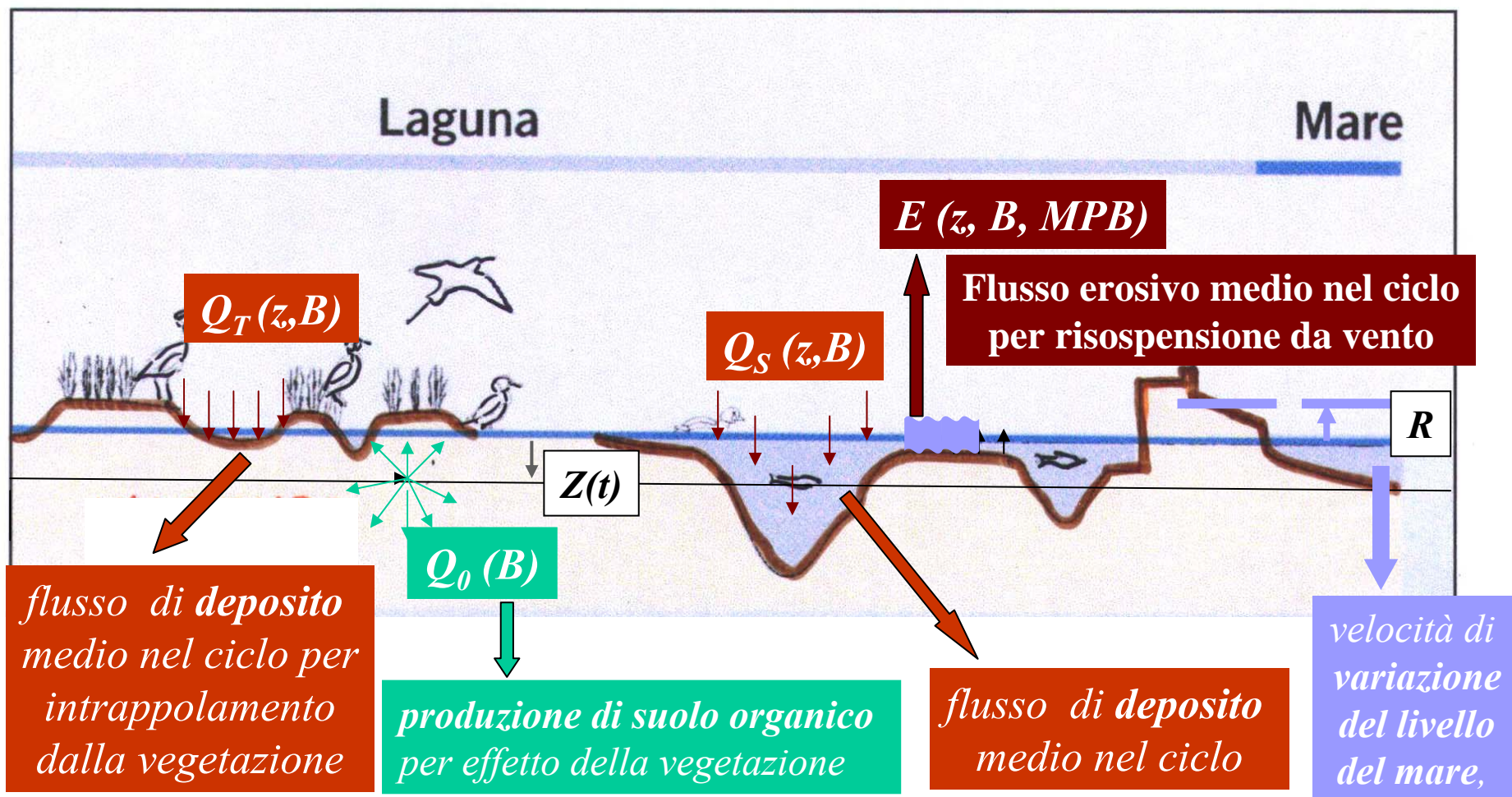
EFFETTO DELLA CHIUSURA DELLE BOCCHHE



Biologically-controlled multiple equilibria of tidal landforms and the fate of the Venice Lagoon. (*Geoph. Res. Letters*, 2007)

M. Marani, A. D'Alpaos, S. Lanzoni, L. Carniello e A. Rinaldo

B = media annuale della biomassa della vegetazione alofila



Evoluzione temporale della quota media $z(t)$ del fondo

$$\frac{dz}{dt} = Q_S(z, B) + Q_T(z, B) + Q_O(B) - E[z, B, MPB(z)] - R$$

MPB(z): microfitobentos funzione della profondità

$$Q_S(z, B) = 1/T \cdot \int_T C(z, B, t) w_s / \rho dt :$$

C(z, B, t) concentrazione media di sedimenti sulla colonna d'acqua

w_s velocità di sedimentazione

$$Q_T(z, B) = 1/T \int_T C(z, B, t) \alpha B^\beta / \rho_s dt$$

α, β dipendono da caratteristiche della vegetazione e del moto [Mudd et al, 2004]

$$Q_O(B) = \gamma B$$

comprende biomassa localizzata sotto e sopra il terreno [Randerson, 1979].

$$E(z, B, MPB) = 1 / \rho_s v \cdot (\tau - \tau_c) / \tau_c$$

τ tensione efficace dipendente da velocità del vento, fetch e vegetazione

τ_c tensione critica di erosione, dipende da presenza di biofilm polimerici stabilizzanti

$C(z,B,t)$, instantaneous sediment concentration, obtained by integrating the sediment continuity equation for the water column [Krone, 1987]

$$\frac{d[h(t) - z] \cdot C(z, B, t)}{dt} = -w_s \cdot C(z, B, t) - \alpha B^\beta \cdot C(z, B, t) + \tilde{C}_0(z, B, t) \cdot \frac{dh}{dt}$$

Instantaneous settling flux

Instantaneous trapping flux

Exchange of sediment platform-surrounding

$$\tilde{C}_0(z, B, t) = \begin{cases} C_0 & \text{when } \frac{dh}{dt} > 0 \\ C(z, B, t) & \text{when } \frac{dh}{dt} < 0 \end{cases}$$

When the flow is toward the platform it carries a fixed concentration, C_0 , representing sediment availability as a consequence of past sediment resuspension events and external sediment contributions (e.g. from rivers or from the sea),

When the flow is from the platform toward the surrounding, the outgoing concentration is the instantaneous concentration, $C(z,B,t)$.

Ma la concentrazione istantanea non dipende dalla risospensione?

Dinamica della vegetazione: il modello logistico di Levins (1969)

$$B = p d$$

B biomassa

p = percentuale di area vegetata

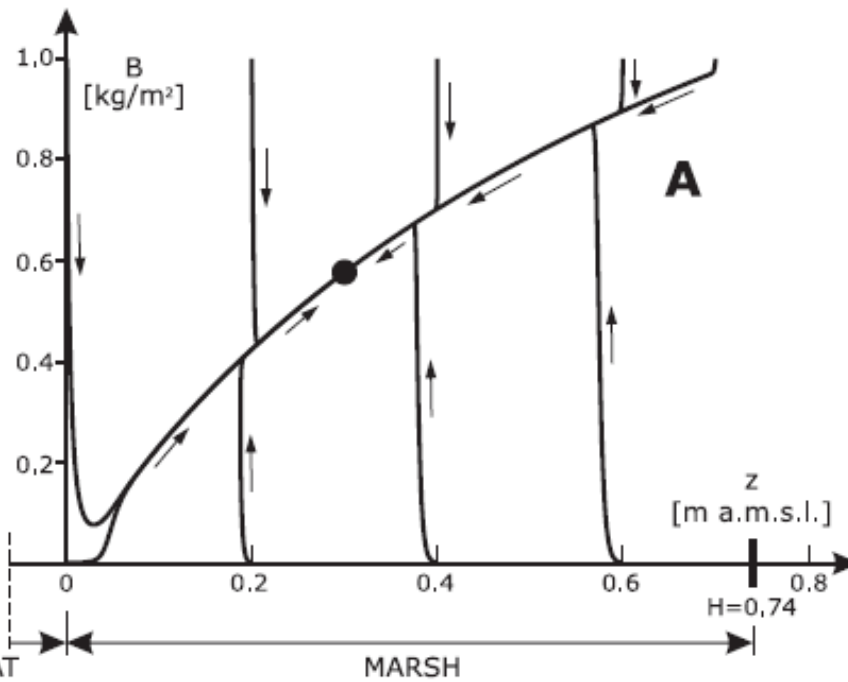
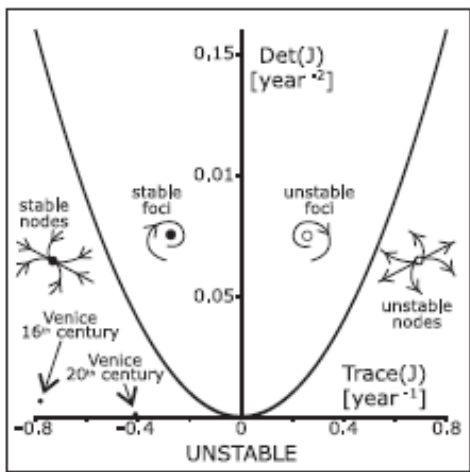
d = densità areale massima di biomassa

$$d \frac{dB}{dt} = r(z) B (1 - B/d) - m(z) B$$

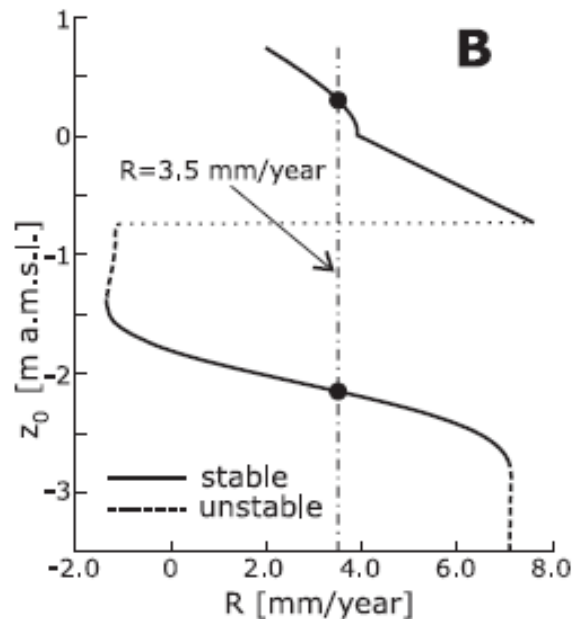
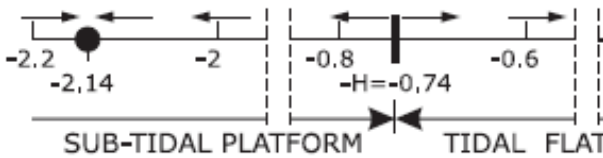
$r(z)$ *velocità di riproduzione dipendente dalla quota*

$m(z)$ *mortalità dipendente dalla quota*

$r(z)$ e $m(z)$ riflettono le risposte fisiologiche delle specie alofile alle condizioni ambientali (z surroga la saturazione del suolo)



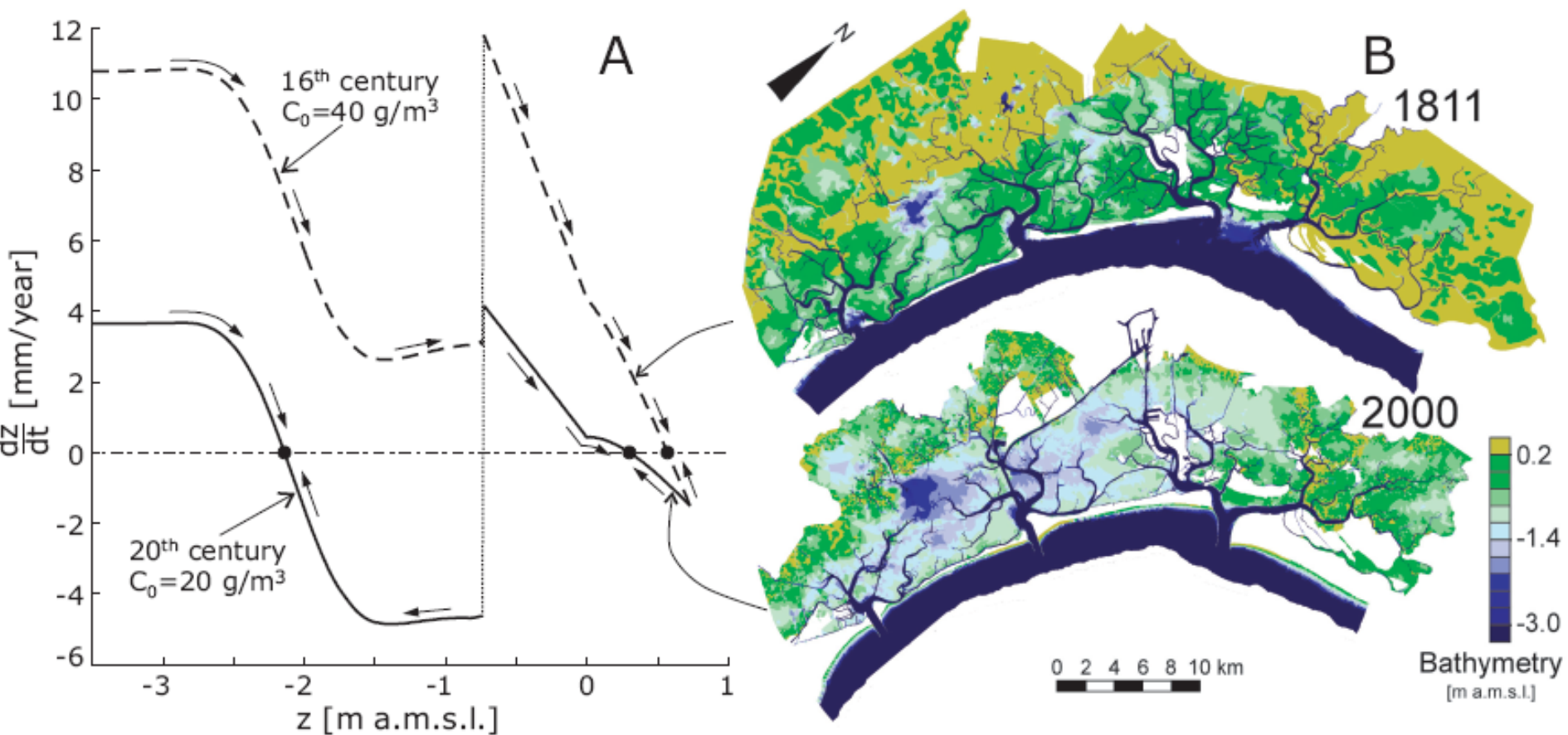
Two stable equilibria are present: A sub-tidal (i.e. permanently submerged) platform and a vegetated marsh.



- i) No equilibrium state exists for $R < -1.4$ mm/y: fast sea regression transforms tidal environment into terrestrial;*
- ii) for $R \geq -1.4$ mm/y sub-tidal platform stable equilibrium;*
- iii) 2nd vegetated marsh equilibrium for $2 \leq R < 3.9$ mm/year;*
- iv) $R \geq 3.9$ mm/y transition marsh - tidal-flat equilibrium;*
- v) $R \geq 7.2$ mm/year the sub-tidal equilibrium disappears,*
- vi) $R \geq 7.7$ mm/year all intertidal equilibria vanish.*

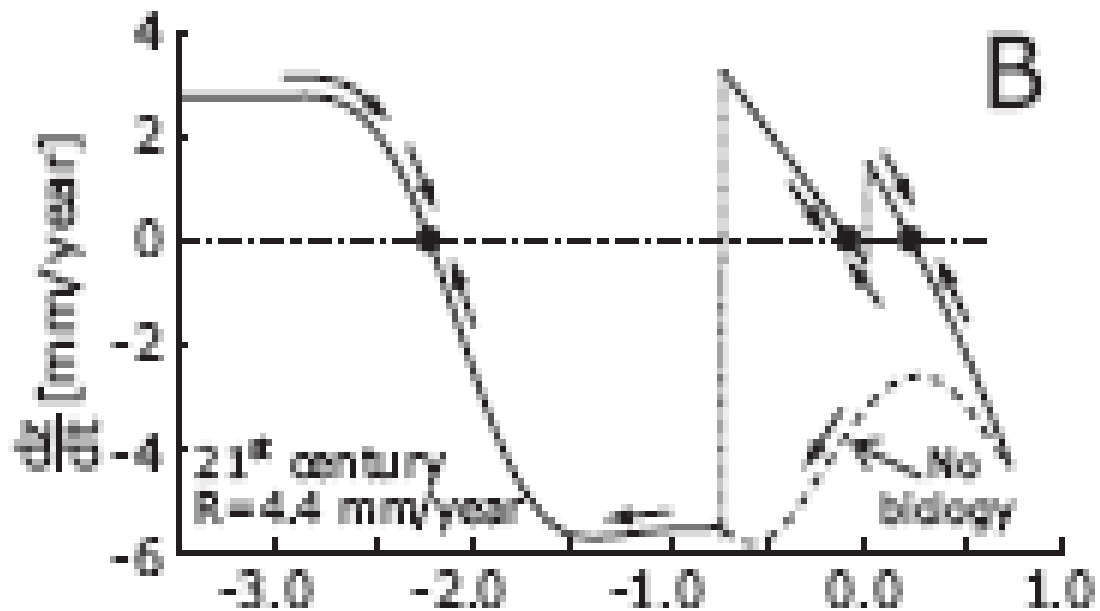
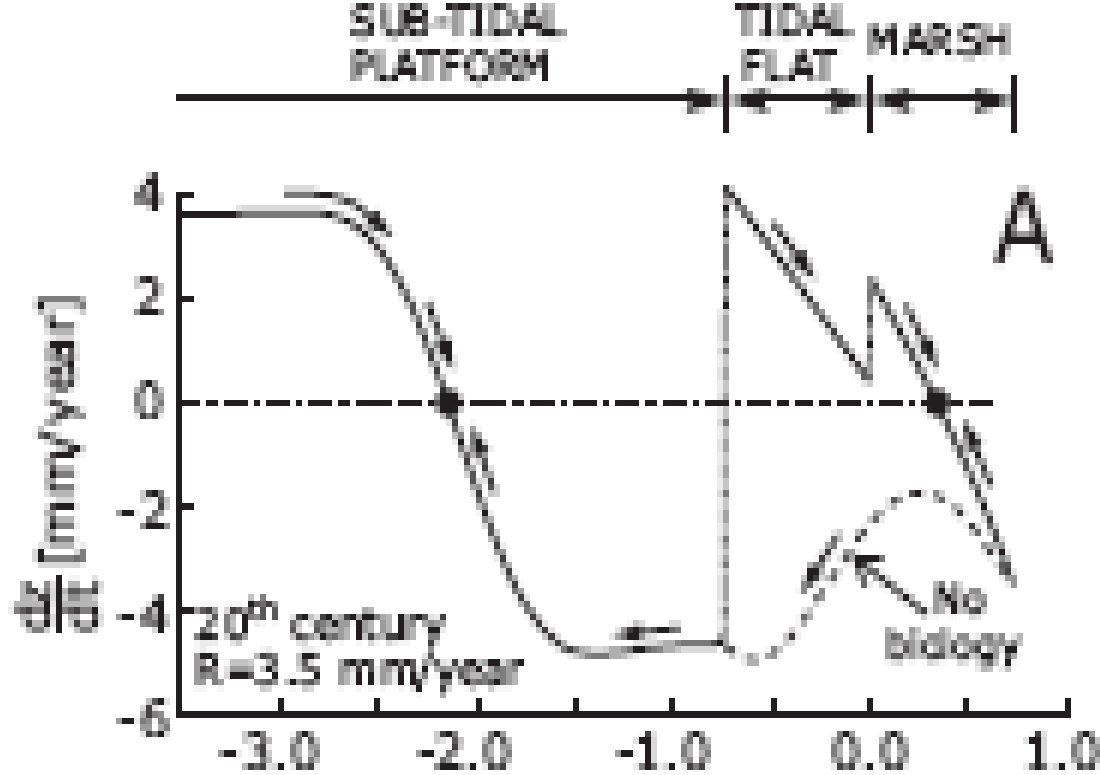
“The largely positive sediment balance of the Venice lagoon typical of pre-16th century conditions is represented here by assuming $C_0=40 \text{ g/m}^3$, compared to $C_0=20 \text{ g/m}^3$ characteristic of the 20th century case”

“The model shows that in the pre-16th century conditions deposition dominated over erosion and the lagoon tended toward a configuration dominated by high marshes, in which tidal flats and sub-tidal platforms were disappearing”



Tutto chiaro?

- i) Il modello parametrizza tutto ciò che non si sa ancora quantificare in C_0
- ii) E' necessario sviluppare il modello in modo da chiarire I meccanismi di scambio.
- iii) E' necessario esaminare il ruolo di possibili riimmersioni di sedimenti in laguna



The *vegetated marsh* stable equilibrium exists for $0 \leq R < 5.9$ mm/year

Three stable equilibria coexist for $3.9 \leq R < 5.9$ mm/year as a *stable tidal flat* equilibrium makes its appearance.

For $5.9 \leq R < 7.2$ mm/year the marsh equilibrium is no longer possible and only the sub-tidal platform and the tidal-flat equilibria coexist (not shown)

The multiple-species case

*Fig. 2C represents the 20th century scenario characterized by the **coexisting sub-tidal and marsh equilibria**.*

*Fig. 2D shows that salt-marsh accretion is unable to balance RSL rise for $R \geq 3.9$ mm/year: the system evolves towards a **stable tidal flat**.*

Hence, coastal marshes may not survive climatic changes in the next century as global rates of sea level rise are predicted in the range 0.8- 8.5 mm/year [IPCC, 2001].

