

# ***Il sistema costiero Nord Adriatico e la Provincia di Venezia***

**Fabio Trincardi**

**ISMAR CNR**

[direttore@ismar.cnr.it](mailto:direttore@ismar.cnr.it)  
[f.trincardi@ismar.cnr.it](mailto:f.trincardi@ismar.cnr.it)

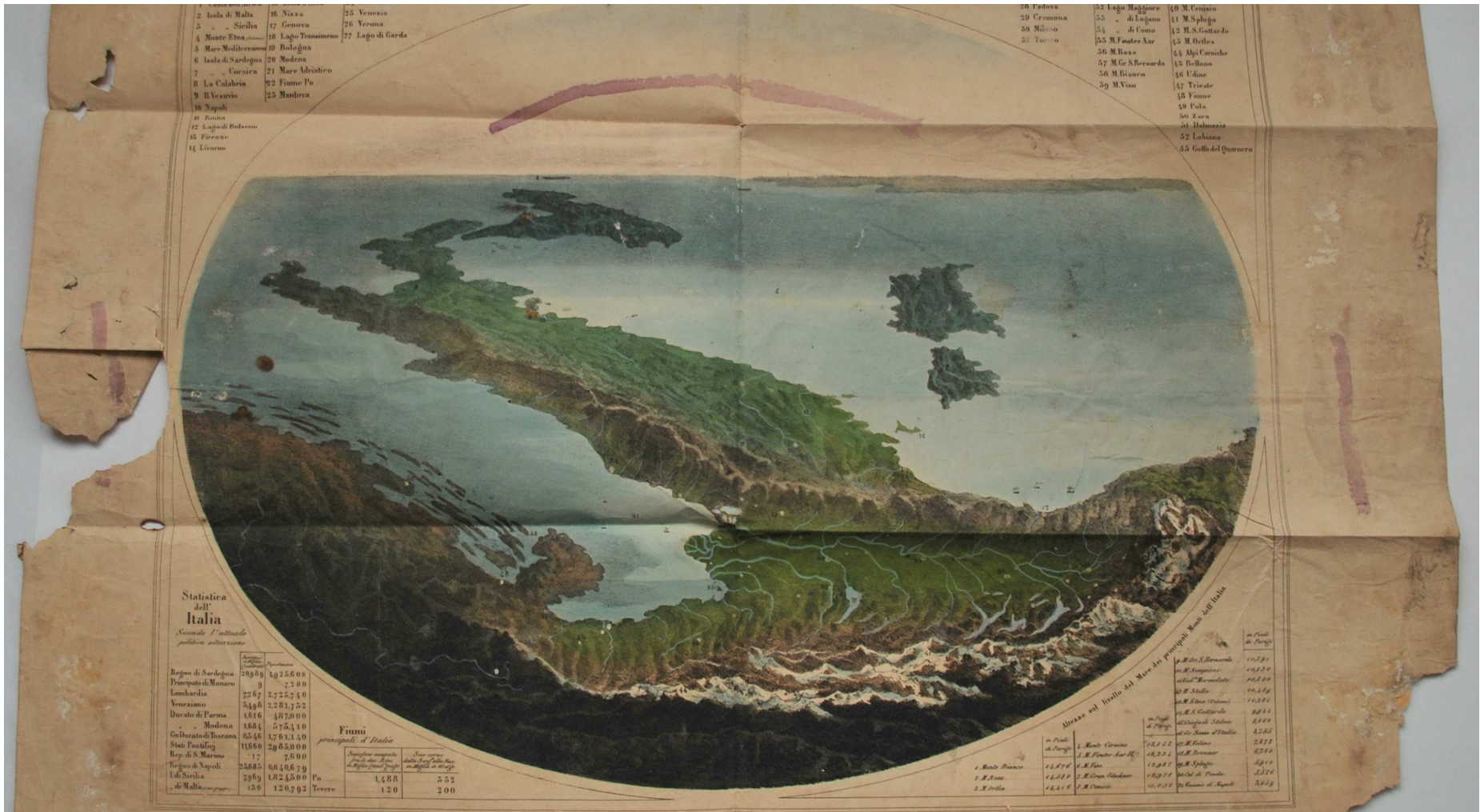
*Venerdi 15 giugno 2012 Provincia di Venezia*

*L'Atlante geologico della provincia di Venezia: strumento di sviluppo del  
territorio*

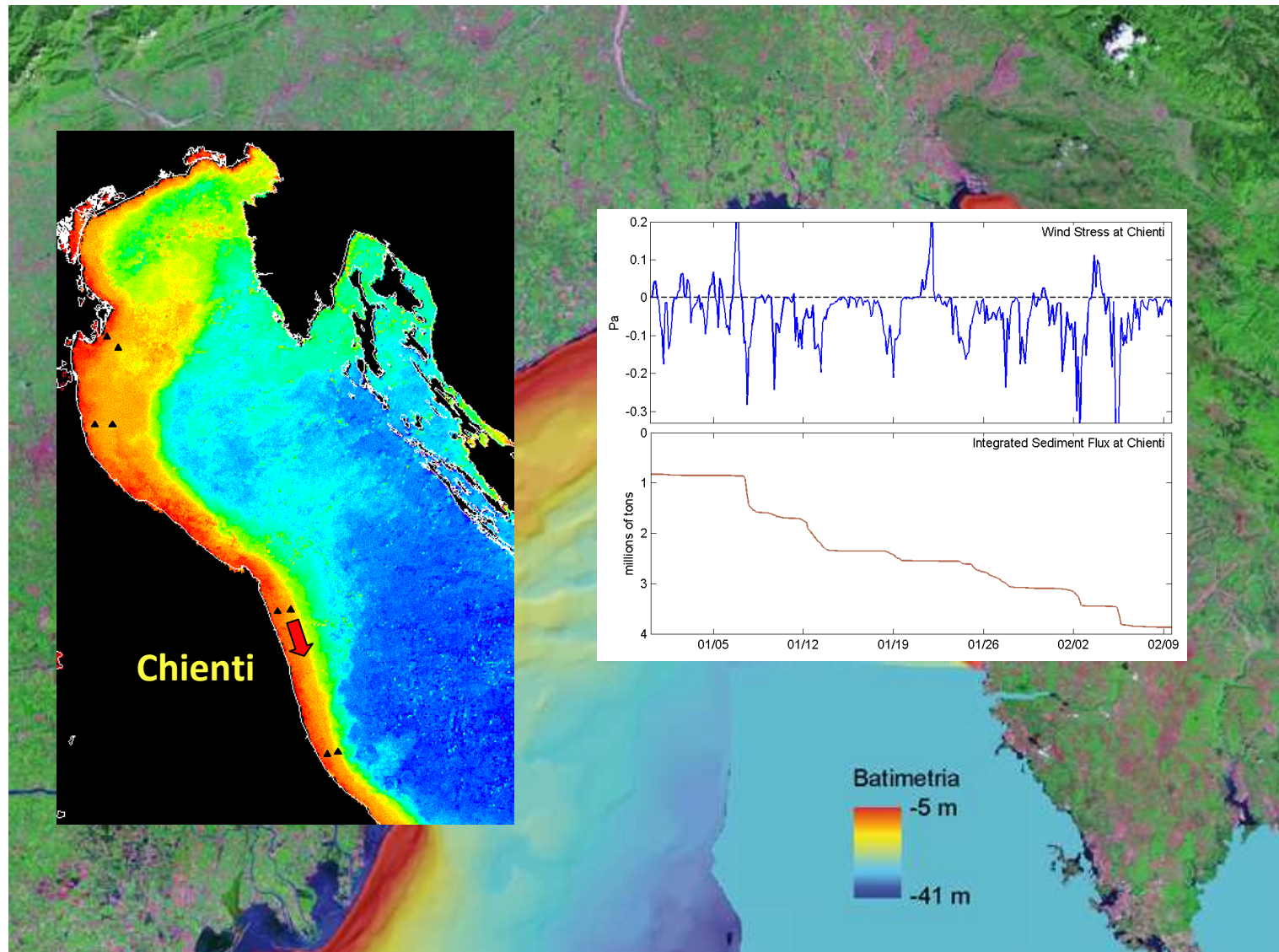


# Outline

## 1. Una visione dal mare



# The North Adriatic coast



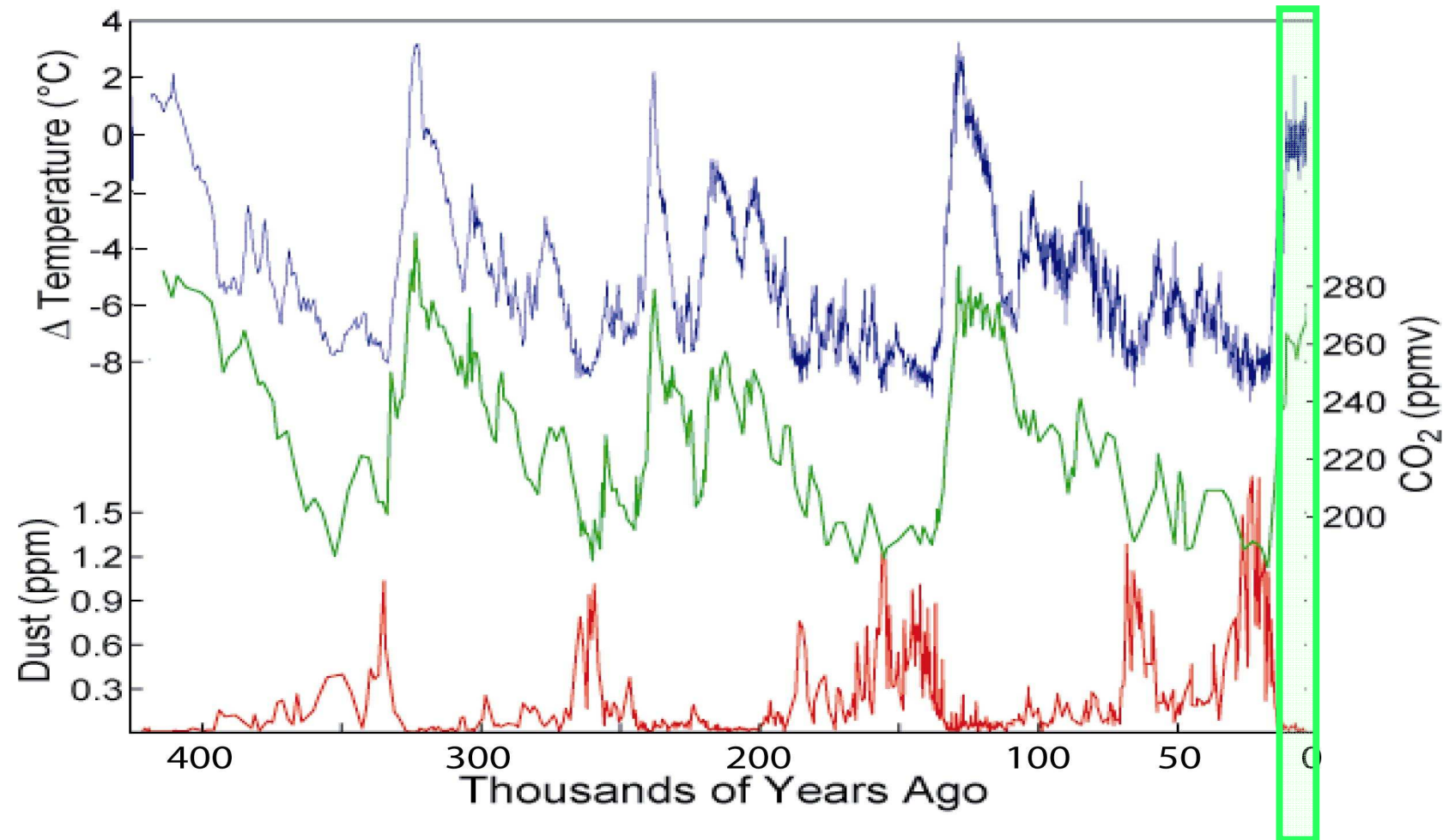
*ISMAR-CNR - DTM from cruises VE04 e VE05 on R/V Urania. A. Correggiari, unpublished*

# Outline

1. Una visione dal mare
- 2. Le variazioni eustatiche**
3. La subsidenza
4. Gli impatti antropici (alcuni esempi)
5. La cartografia geologica delle aree costiere
6. Ricerche future



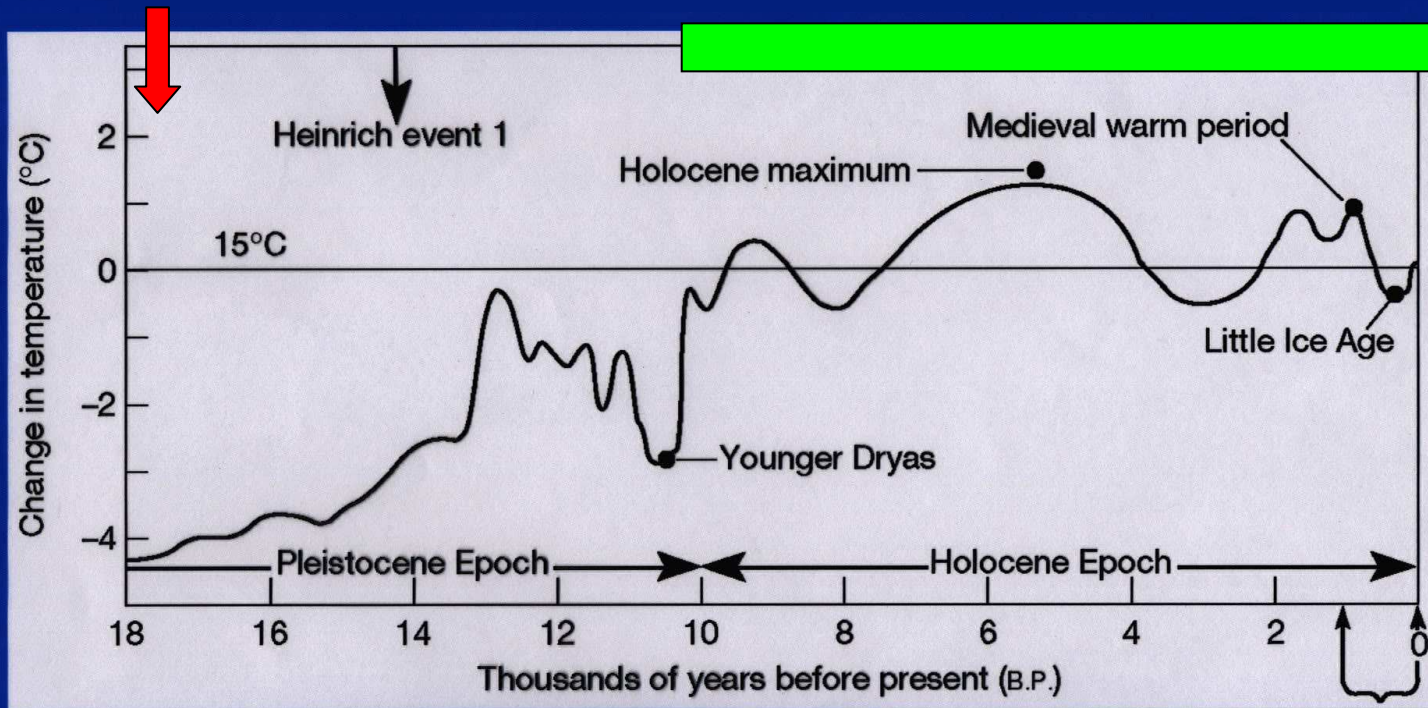
## I cicli glaciali: asimmetrici e con interglaciali brevi





**Glacial  
Time**

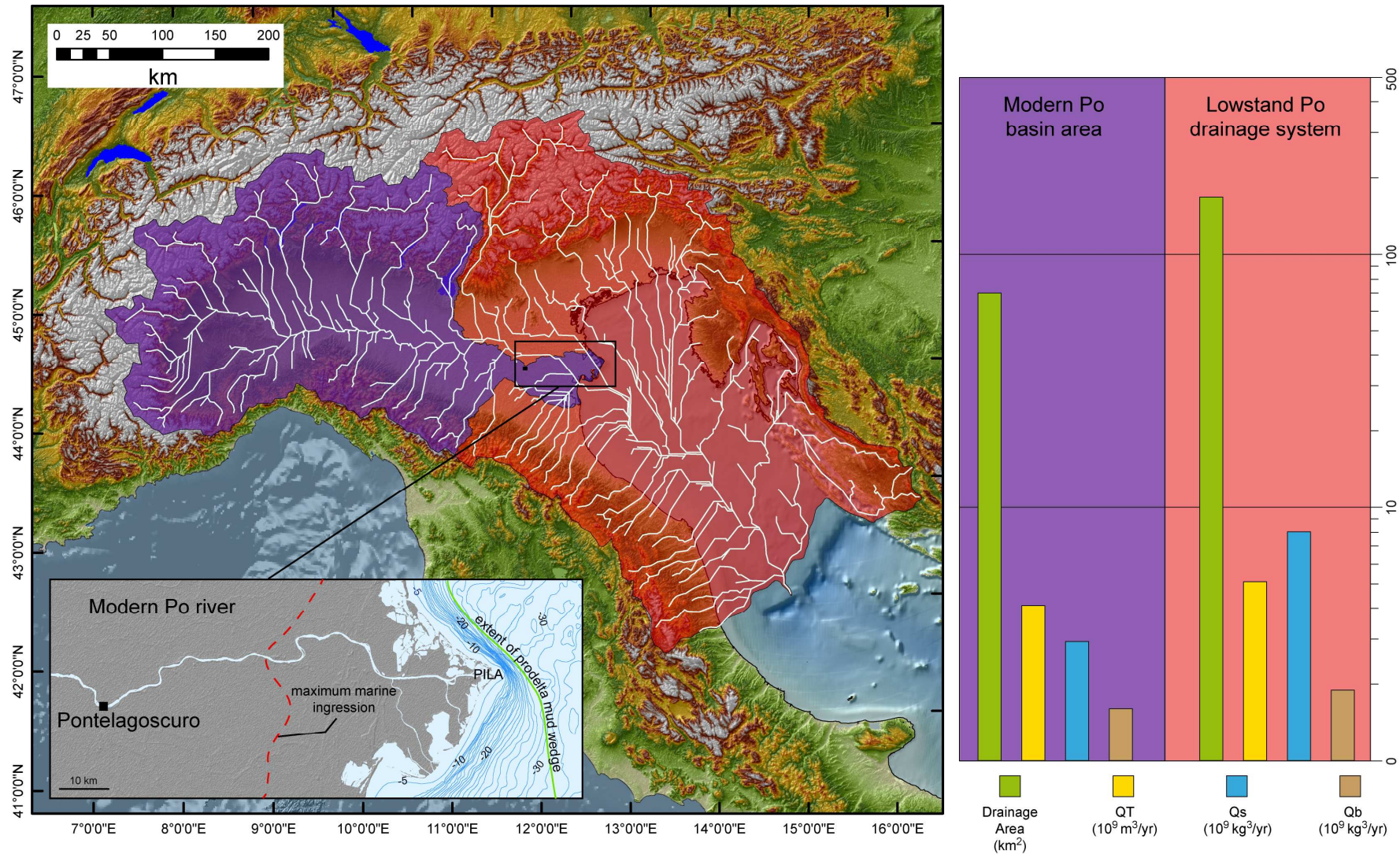
**Modern Interglacial**



**L'ultima deglaciazione non è stata monotonica  
Comportamento non lineare del sistema clima**

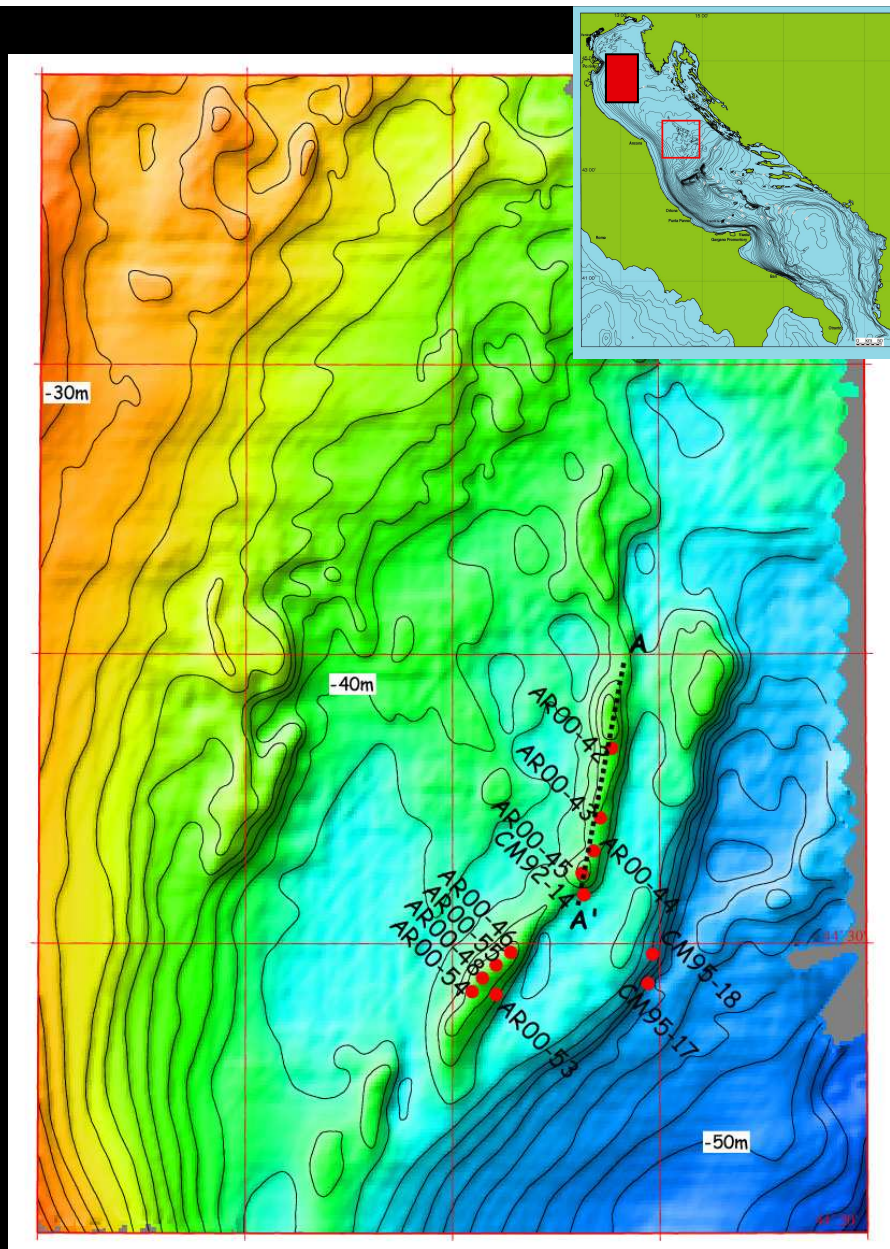


## Risalita eustatica post-LGM e fluttuazioni degli apporti fluviali

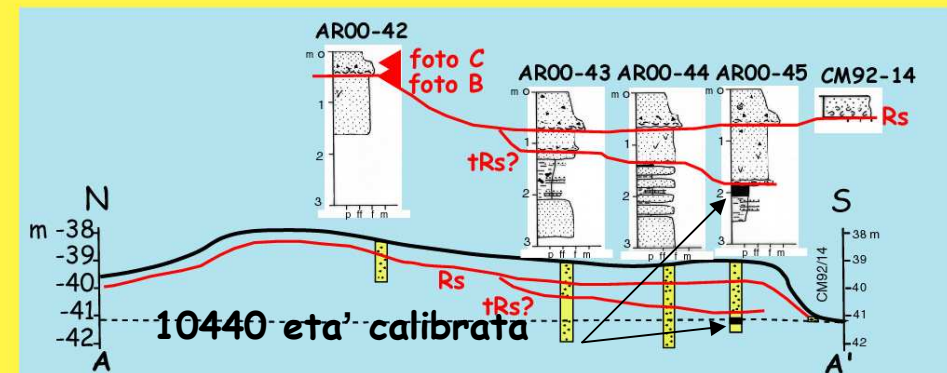


**Maselli et al., 2011, Marine Geology**





## Barrier-lagoon system drowned Ca. 10.000 years BP



superficie di rimaneggiamento  
**foto C** faune di ambiente marino aperto  
**foto B** faune di ambiente salmastro



■ a. salmastro

■ a. marino acqua bassa

■ a. marino

bi = *Bittium reticulatum*  
 ce = *Cerastoderma glaucum*  
 lo = *Loripes lacteus*

ch = *Chamelea gallina*  
 ma = *Macrocallista chione*  
 gl = *Glycymeris insubricus*  
 o = others

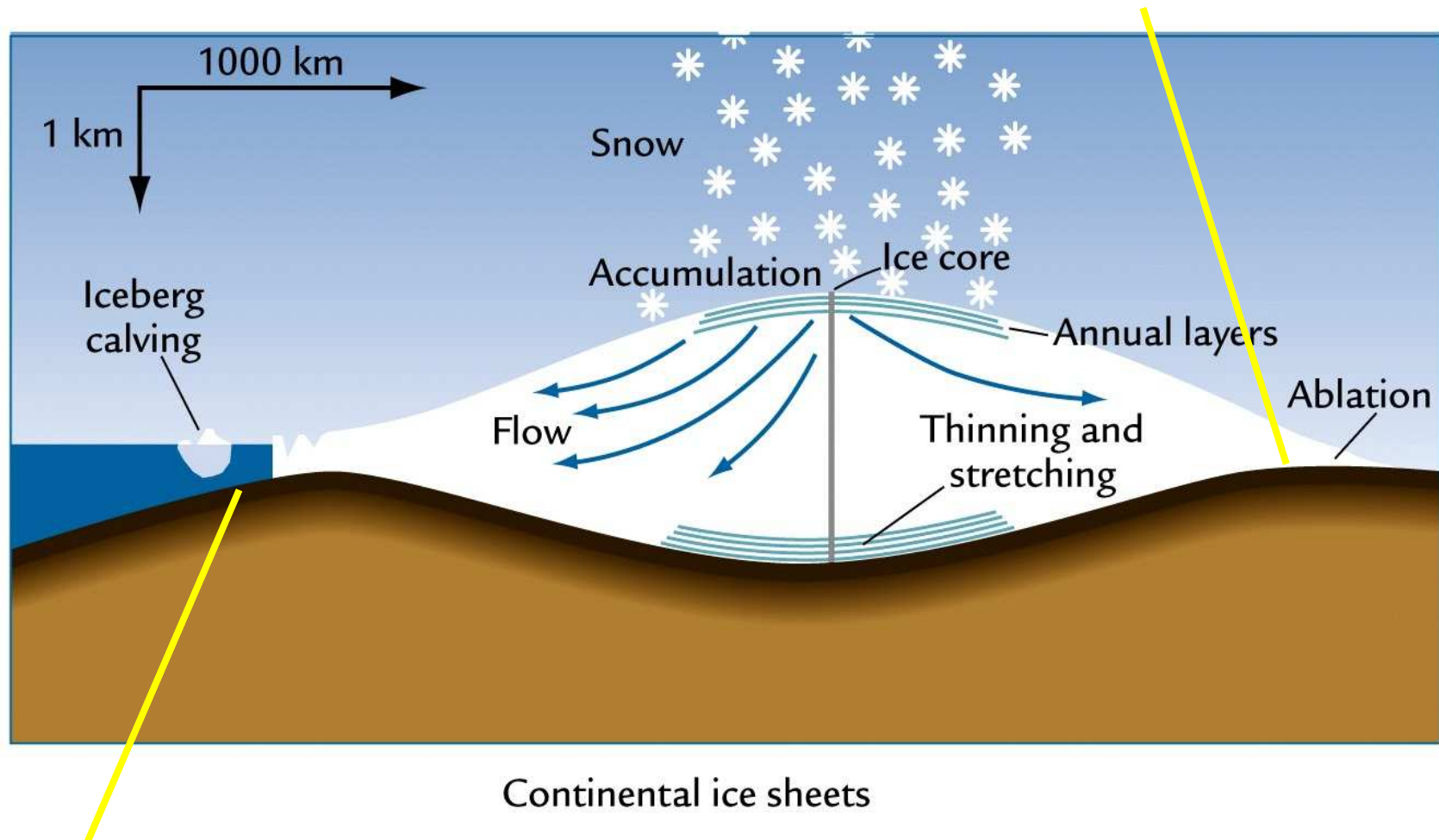
op = *Chlamys opercularis*  
 o = others





**West  
Antarctica  
and  
Greenland  
ice sheets  
are  
equivalent  
to a sea  
level rise of  
about 5-6 m**

## ICE “GROUNDED” ABOVE SEA LEVEL (MORE STABLE)



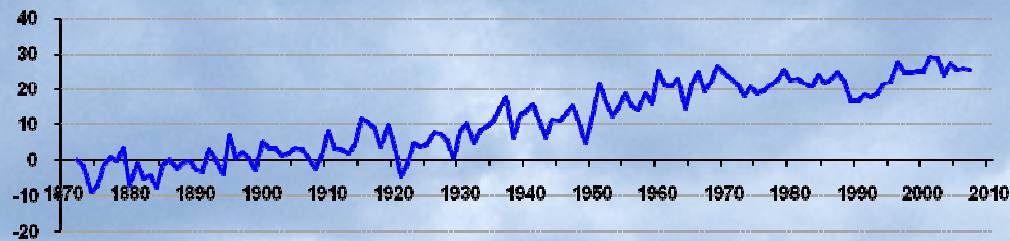
## ICE “GROUNDED” BELOW SEA LEVEL (UNSTABLE)



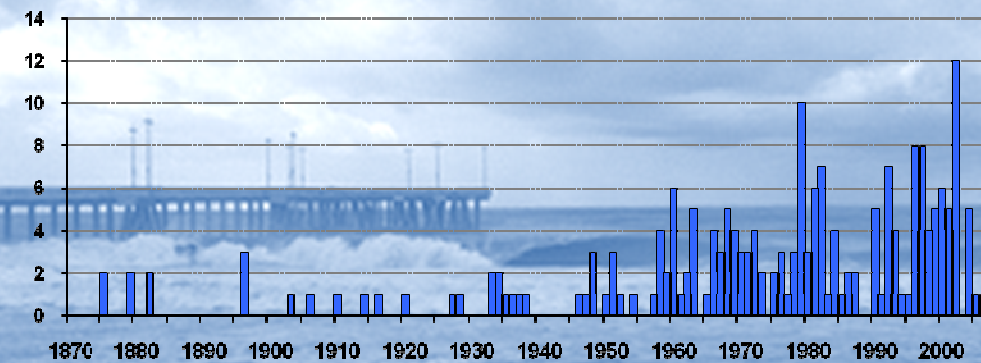
# **EFFECTS of SEALEVEL RISE**

- **Destruction of coastal wetlands**
- **Inundation and erosion of beaches and barrier islands**
- **Saltwater intrusion**
- **Flooding**
  - **higher base for storm surges**
  - **shrinking of beaches makes ocean front more vulnerable**
  - **drainage reduction (need to pump water; New Orleans)**
  - **rise water table and flood basements**

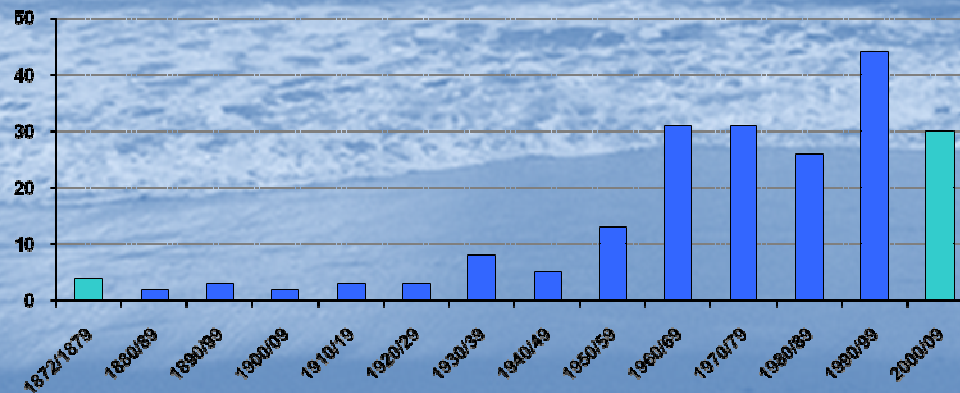
# High water in Venice



Mean sea level in Venice  
1872-2007



Annual number of  
high water events ( $\geq 110$  cm)  
1872-2007



Decadal number of  
high water events ( $\geq 110$  cm)  
1872-2007

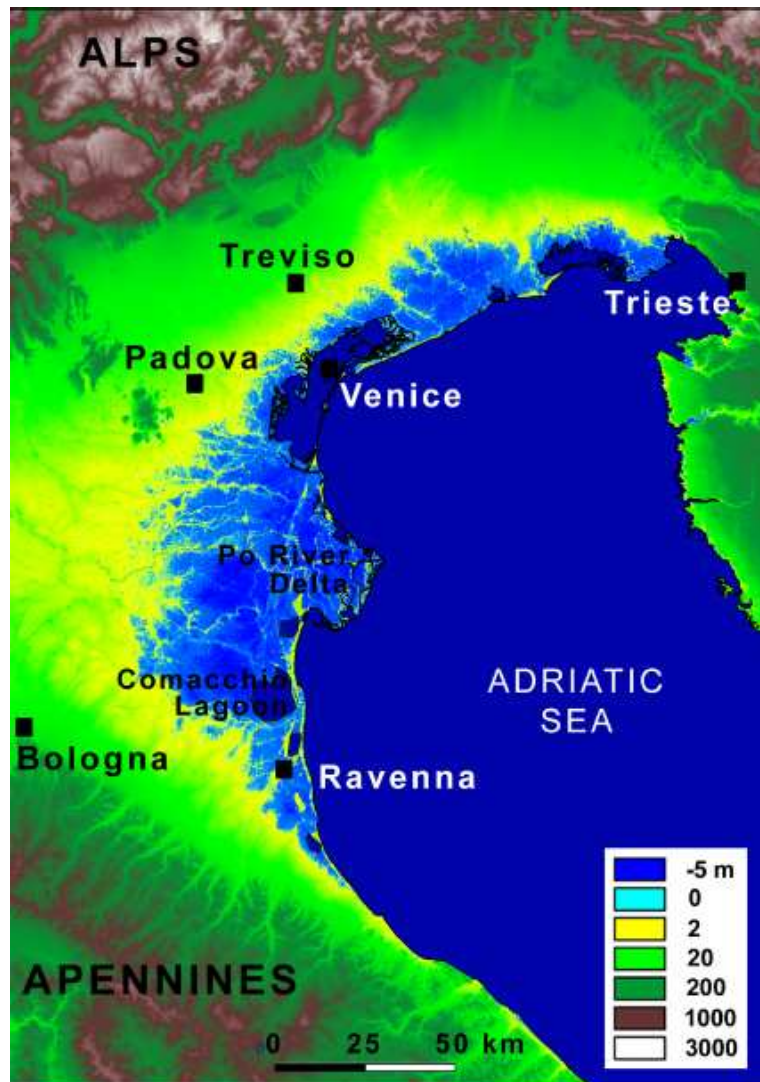
(data from ICPSM-Venice Municipality)



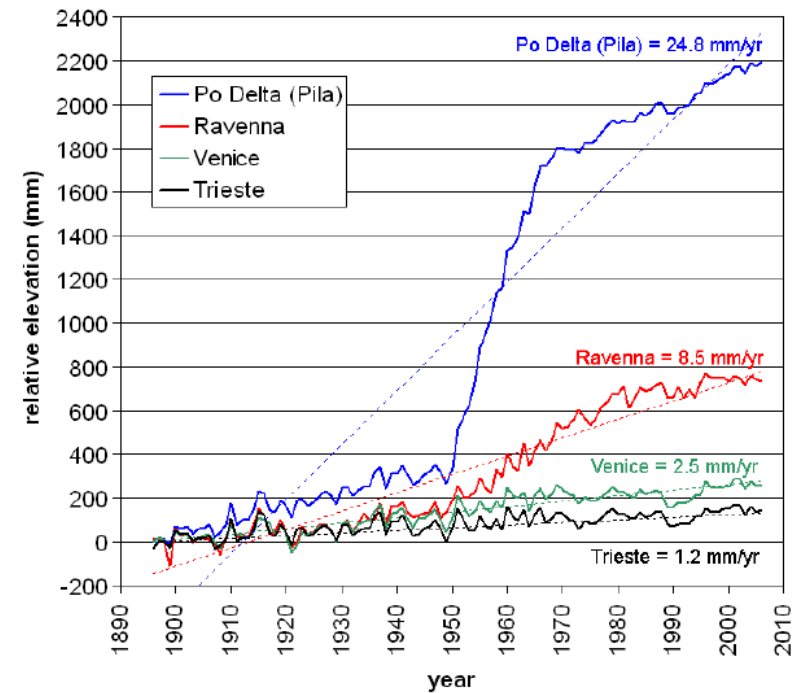
# Outline

1. Una visione dal mare
2. Le variazioni eustatiche
- 3. La subsidenza**
4. Gli impatti antropici (alcuni esempi)
5. La cartografia geologica delle aree costiere
6. Ricerche future

# Assetto morfologico della costa Nord Adriatica e RSLR



DEM della regione Nord Adriatica

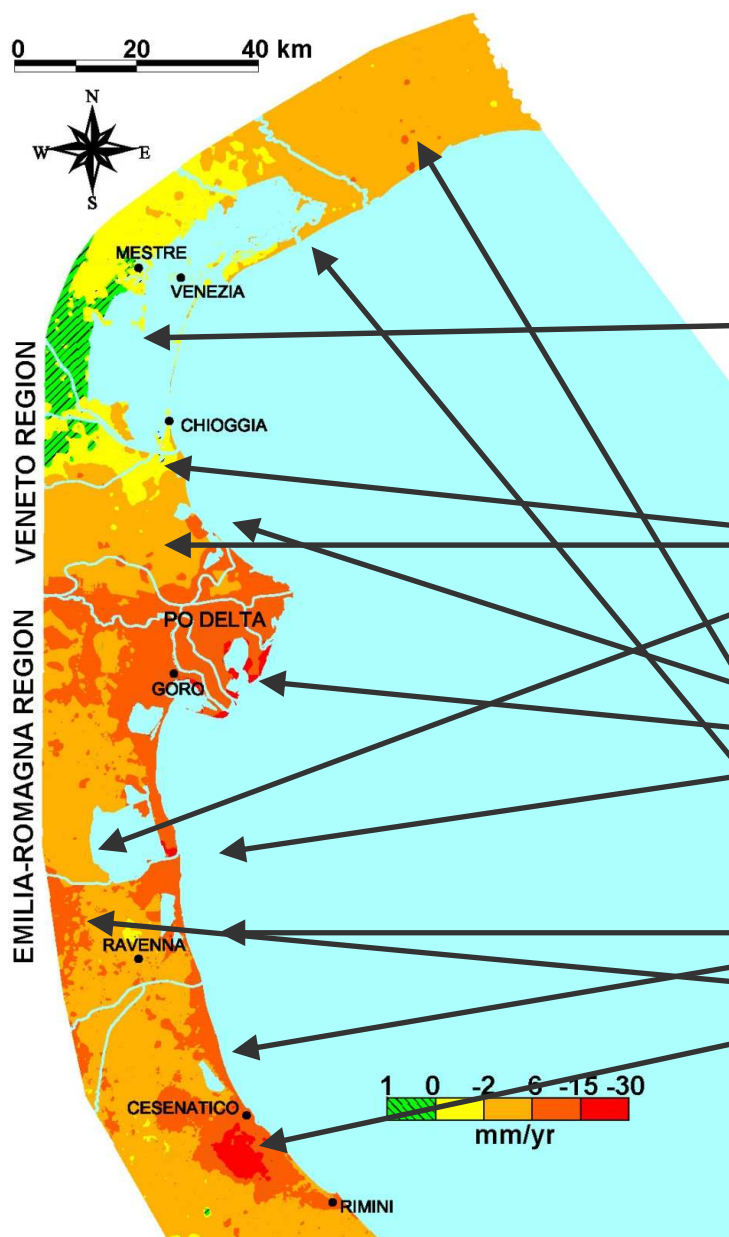


Livello medio mare a Trieste, Venezia, e Ravenna dal 1896 al 2006.

La serie del Po delta è stata ricostruita integrando dati di livellazione e di interferometria SAR.



## Causes of the observed displacements



tectonics

oxidation of reclaimed peatlands

residual natural consolidation

development of deep gas reservoirs

groundwater withdrawal

Map of the displacement rates (mm/yr) in the northern Adriatic coastland obtained by Persistent Scatterer Interferometry on ERS-1/2 images over the 1992-2000 period. Negative values mean land subsidence

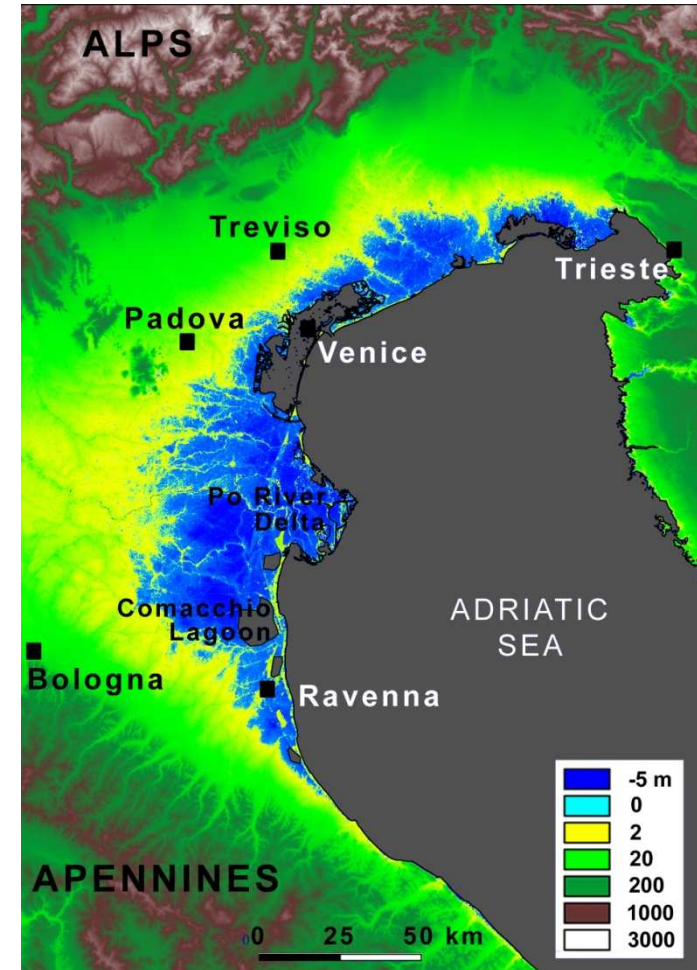


# ORIGIN AND EFFECTS of SUBSIDENCE

- TECTONIC (THERMAL, FLEXURAL)
- SEDIMENT LOAD
- SEDIMENT COMPACTION
- PEAT DECOMPOSITION
- WATER WITHDRAWAL
- HYDROCARBON DEVELOPMENT

IN DETAIL SUBSIDENCE IS

- PATCHY ON SHORT DISTANCE
- NOT UNIFORM IN TIME

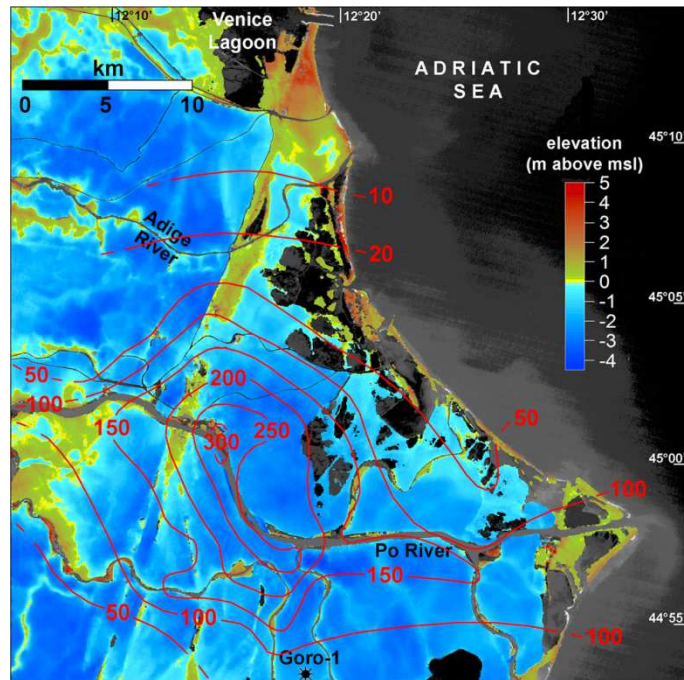


DEM of the North Adriatic coast

from Bitelli, Bonsignore, Carbognin, Ferretti, Strozzi, Teatini, Tosi, Vittuari, 2010, Proc. of EISOLS

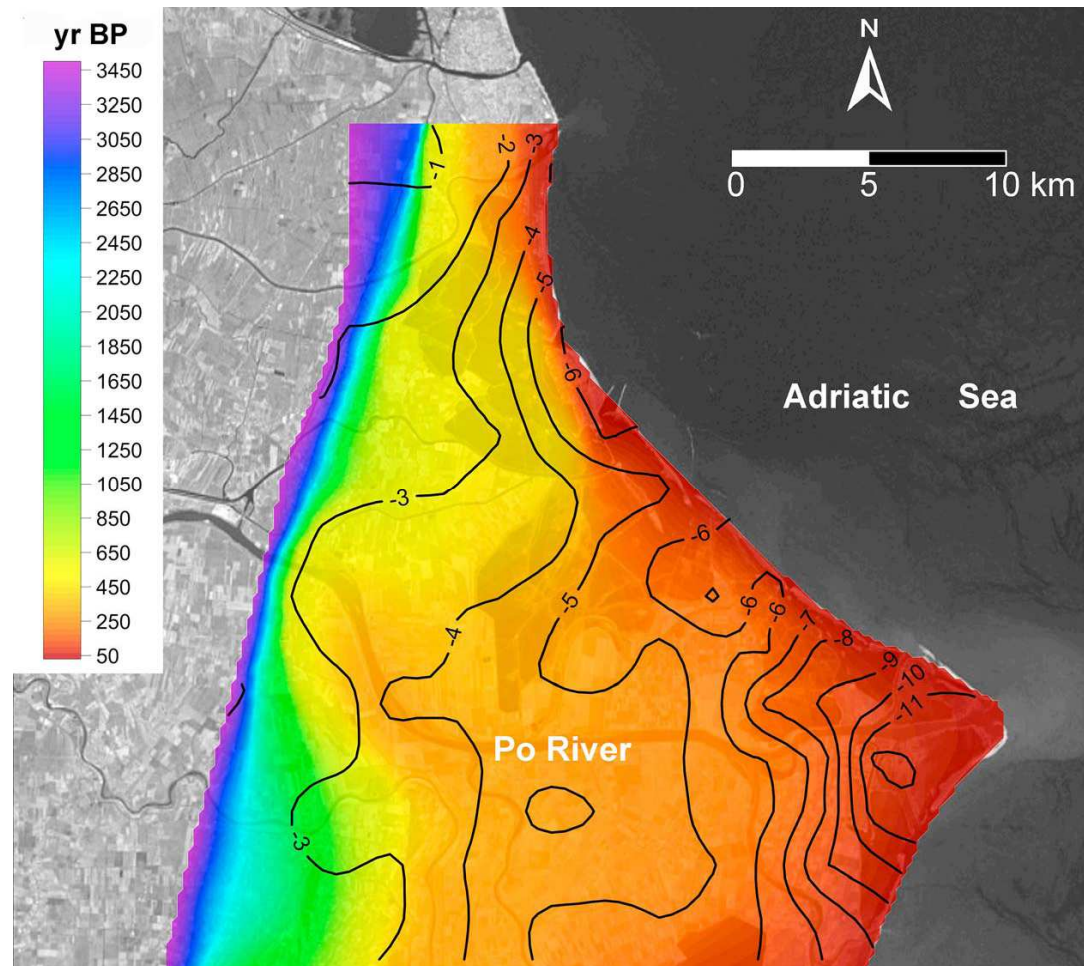
## PO DELTA SINKING in response to:

large withdrawals of  
methane-rich groundwater



Land subsidence rates (black contour lines, mm/yr) measured in the period from 1950 to 1957 superposed to DEM (color map)

Late-Holocene compaction

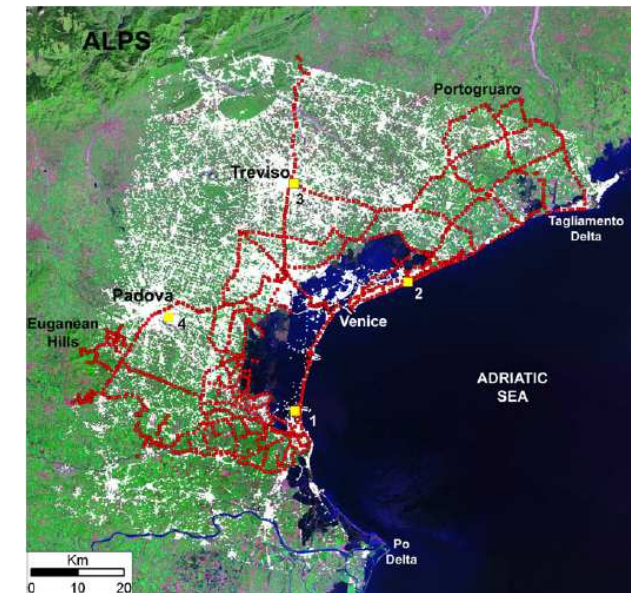
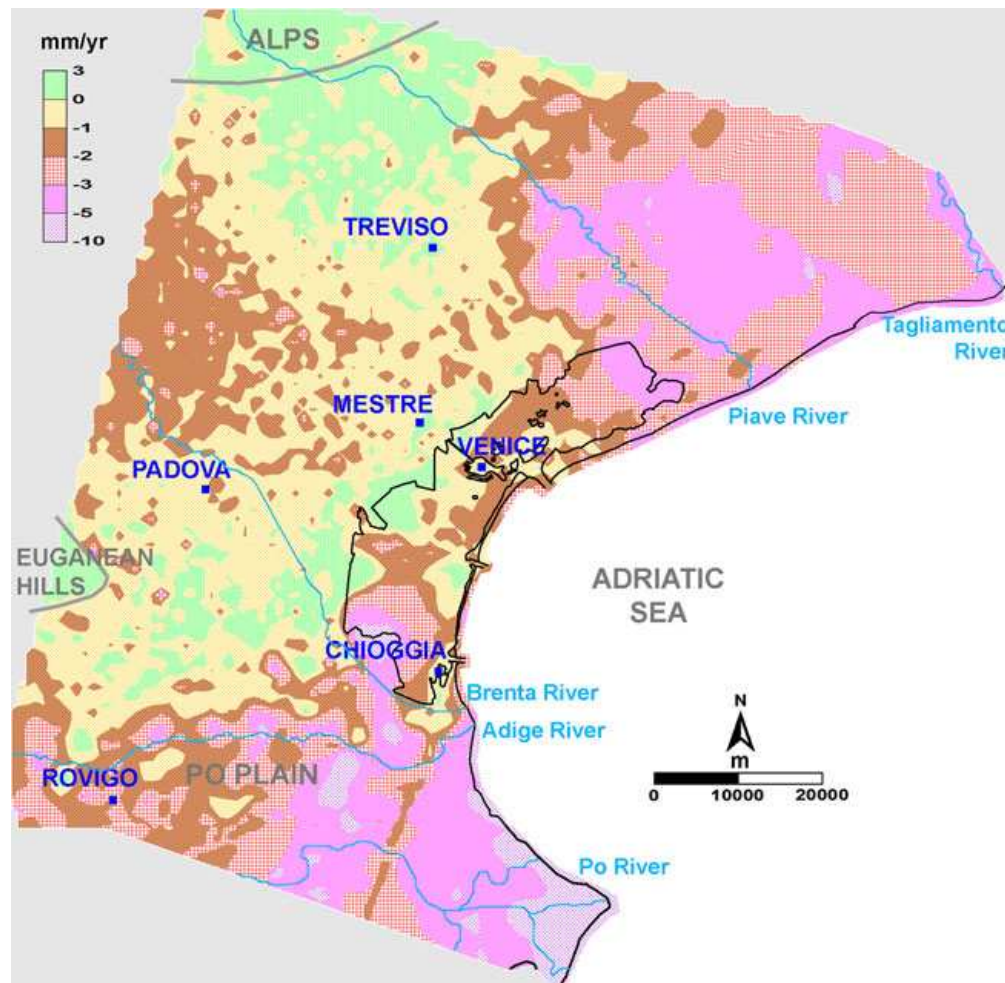


Subsidence rate (black contour lines, mm/yr) over the 1992–2000 period as provided by the Persistent Scatterer Interferometry (PSI) superposed to formation age of the modern delta (color map, year B.P)

Modified from Teatini, Tosi, Strozzi, 2011, JGR

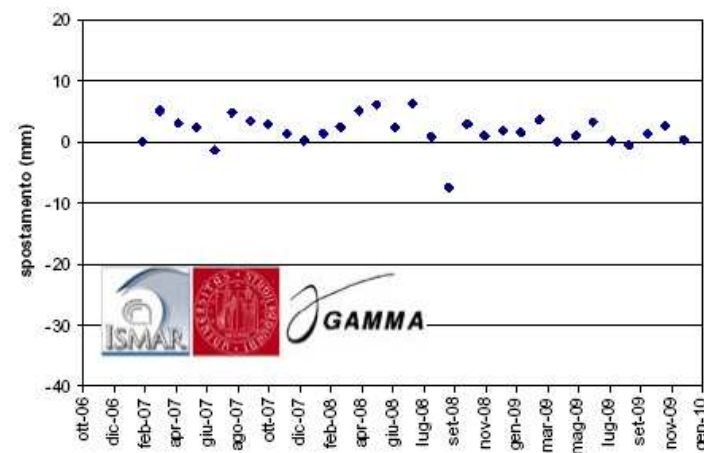
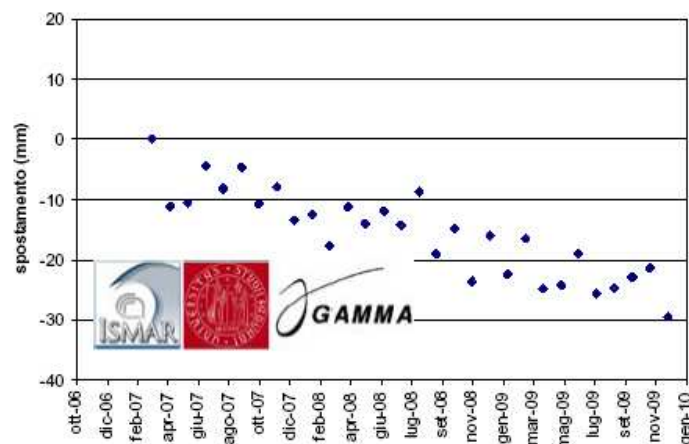


# Analisi dei movimenti del suolo nella pianura veneta orientale



Mappa dei movimenti del suolo (mm/anno) nella pianura veneta orientale (1992-2002) ottenuta integrando le tecniche di interferometria SAR con livellazioni e GPS. Nel riquadro a destra la rete integrata per il monitoraggio dei movimenti del suolo: rosso, capisaldi di livellazione; giallo, stazioni GPS; bianco riflettori persistenti

# Analisi della componente “profonda” in ambienti particolari

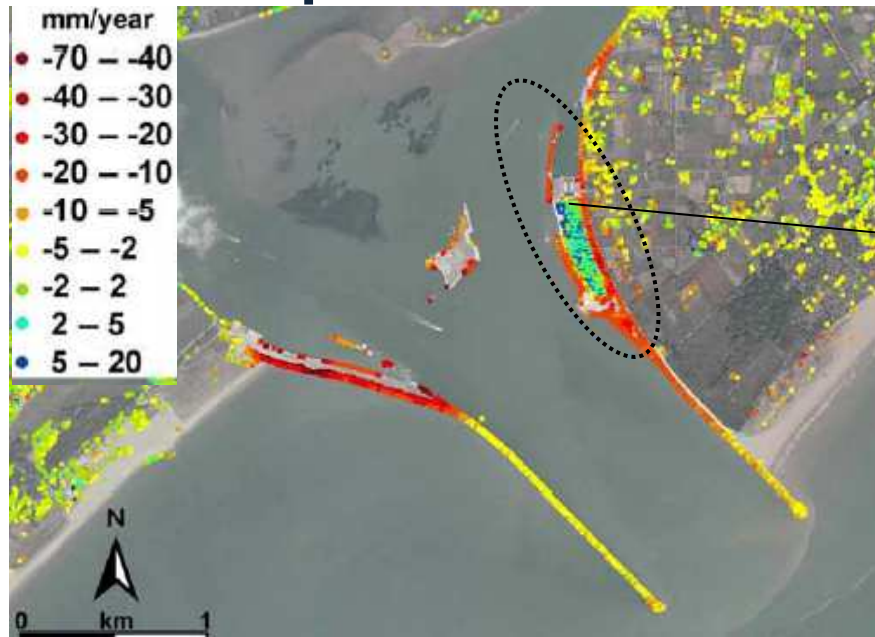


... i riflettori artificiali permettono di misurare la componente regionale del bacino lagunare in quanto sono fondati a 8 m di profondità.

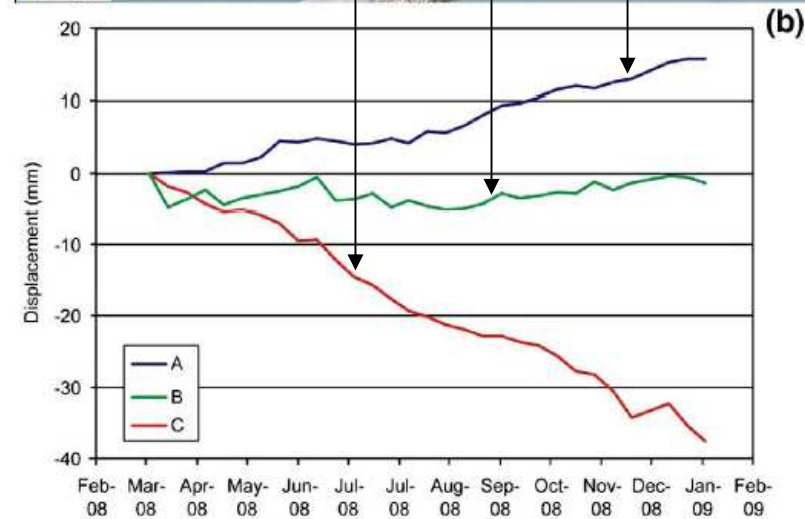
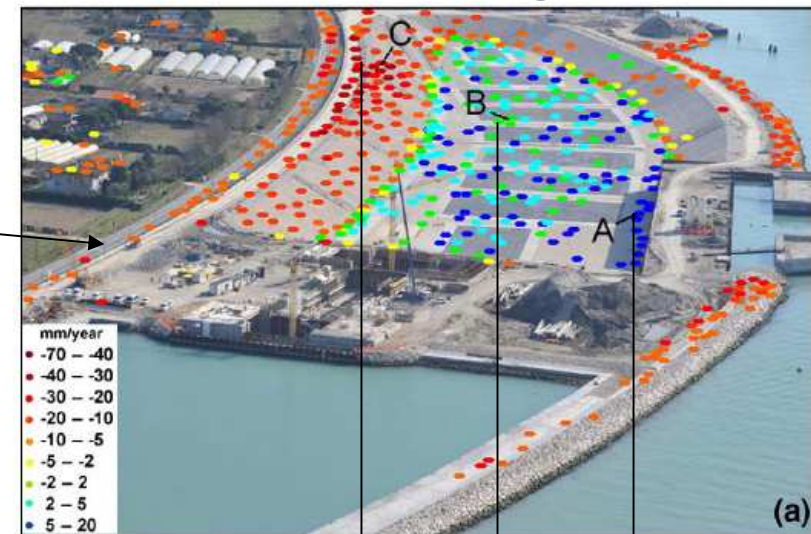
... risvolti geologici ma anche applicativi ...



# Analisi degli effetti delle compattazioni indotte in siti di particolare interesse ambientale/strategico



Velocità medie del suolo nella Bocca di Lido misurate nel 2008-2009 attraverso l'analisi interferometrica su immagini TerraSAR-X. Valori negativi sono gli abbassamenti quelli positivi i sollevamenti



- a) Dettaglio dei movimenti medi misurati in corrispondenza della “tura” (porto-canale).
- b) Serie temporale di 3 PS (frequenza di acquisizione: 11 giorni).

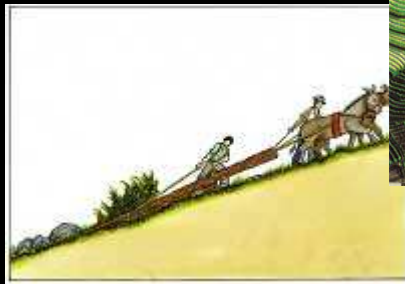
# Outline

1. Una visione dal mare
2. Le variazioni eustatiche
3. La subsidenza
- 4. Gli impatti antropici (alcuni esempi)**
5. La cartografia geologica delle aree costiere
6. Ricerche future



## **“Contradictory” anthropogenic impacts**

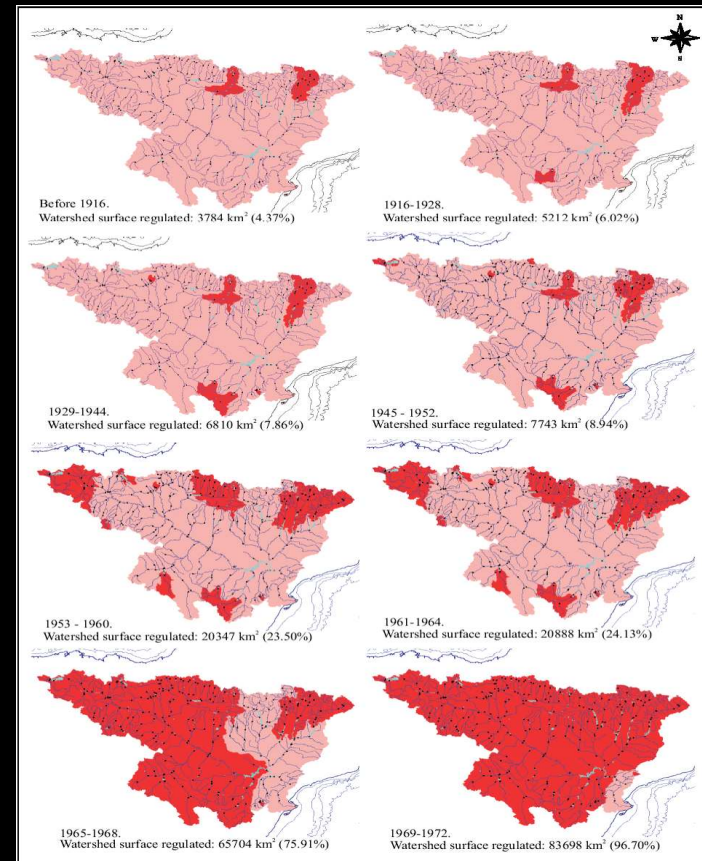
**Pre-industrial time:  
Increase of soil erosion  
(50% more sediment  
than 2000 years BP)**



### **Enhanced erosion:**

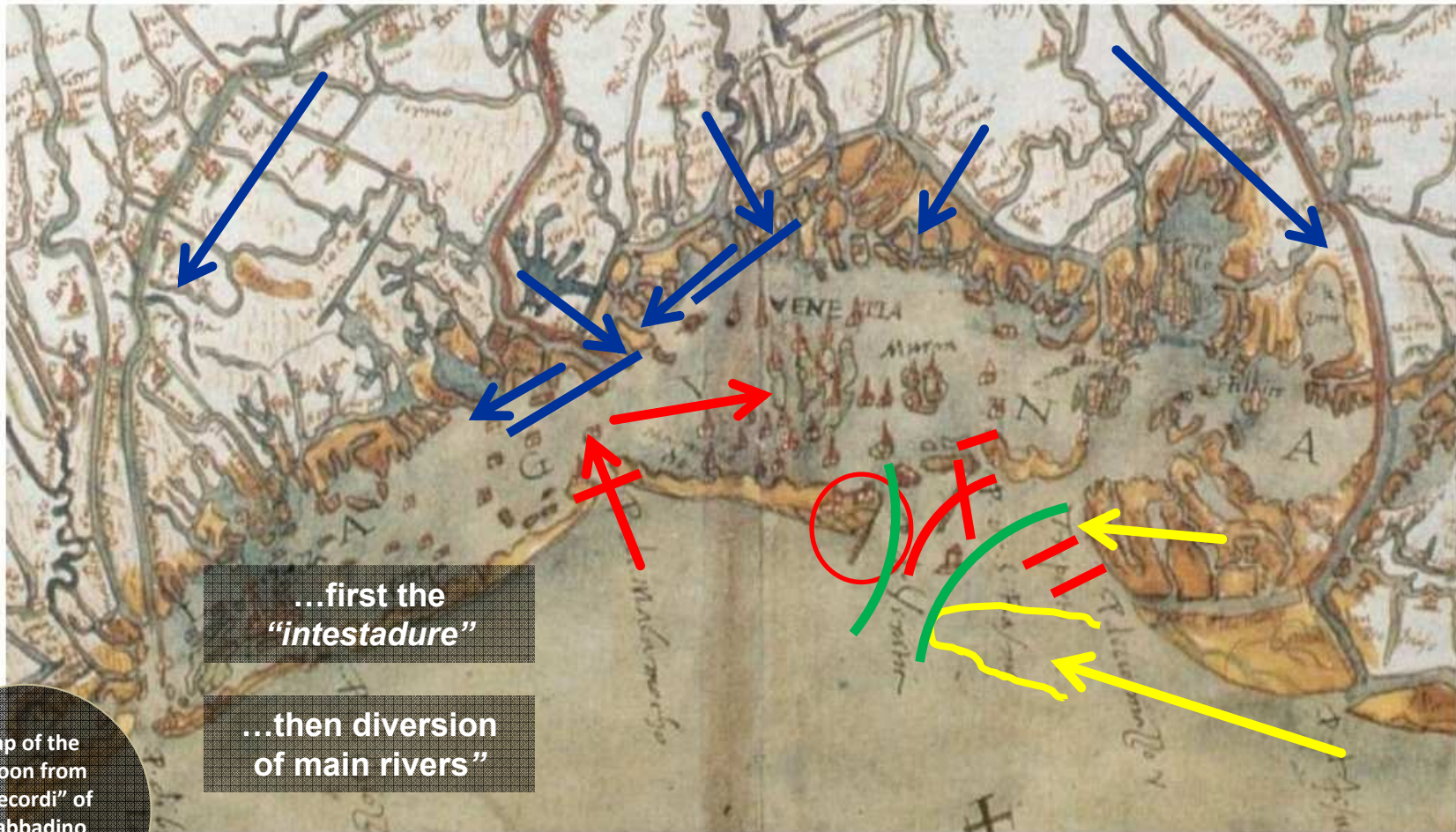
- deforestation
- excavation
- agriculture
- urbanization

**Industrial time:  
Reduction of yield because of  
Dams (30% less sediment than  
50 years ago)**



**Dams construction in the Ebro catchment (1916-72)**

# Long-term impacts on the Venice lagoon



...first the  
"intestadure"

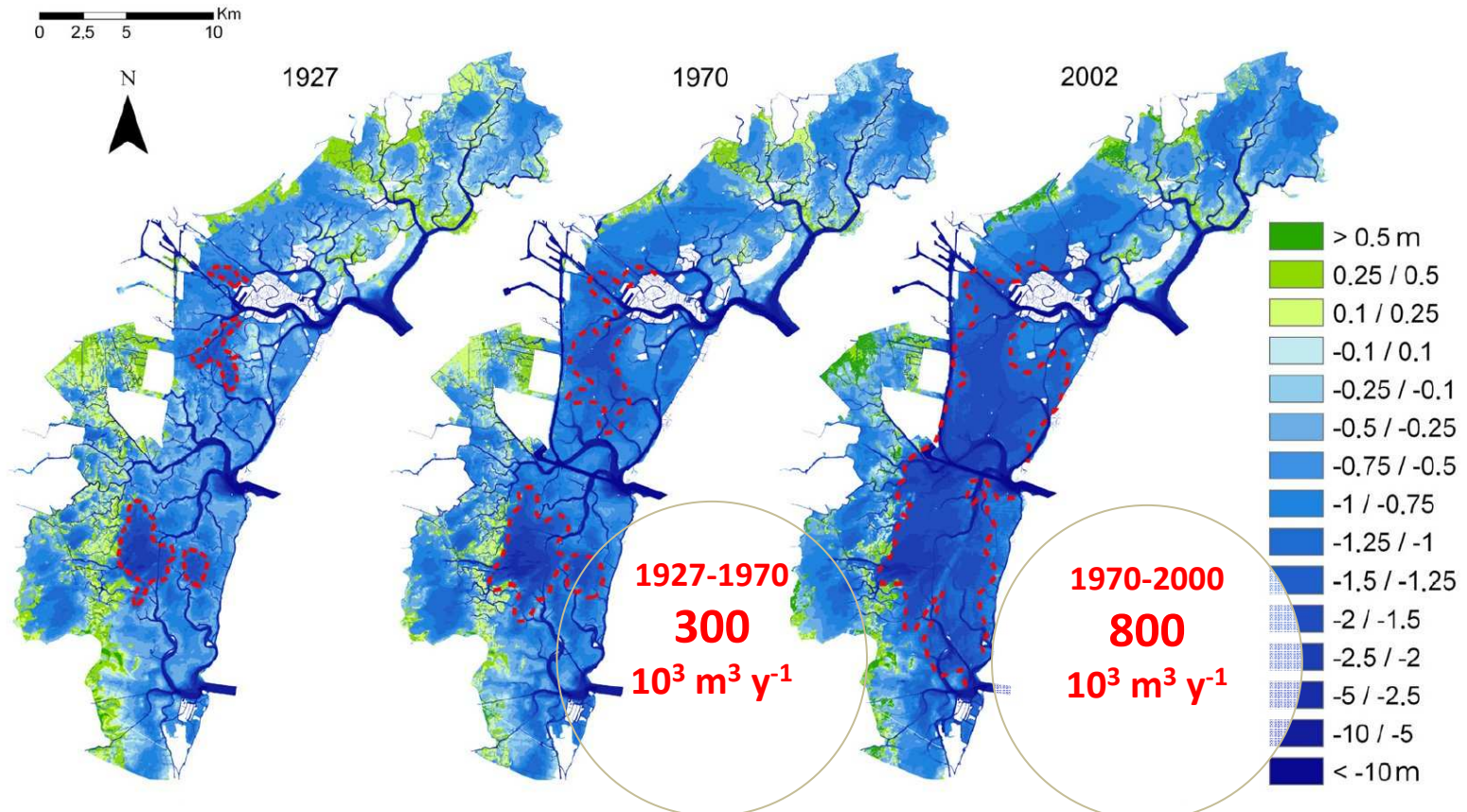
...then diversion  
of main rivers"

Map of the  
Lagoon from  
"arrecordi" of  
C.Sabbadino  
(sec XVI)



# Deepening of lagoon

## Managing wake wash from high-speed vessels



**Fig. 3.** Colour-shaded bathymetric maps of Lagoon of Venice (from left to right: 1927, 1970; 2002). Dotted red line indicates migration of  $-1.2 \text{ m}$  contour line, showing an overall increase in depth (progressively darker blue colour). Emergent areas are indicated in green. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

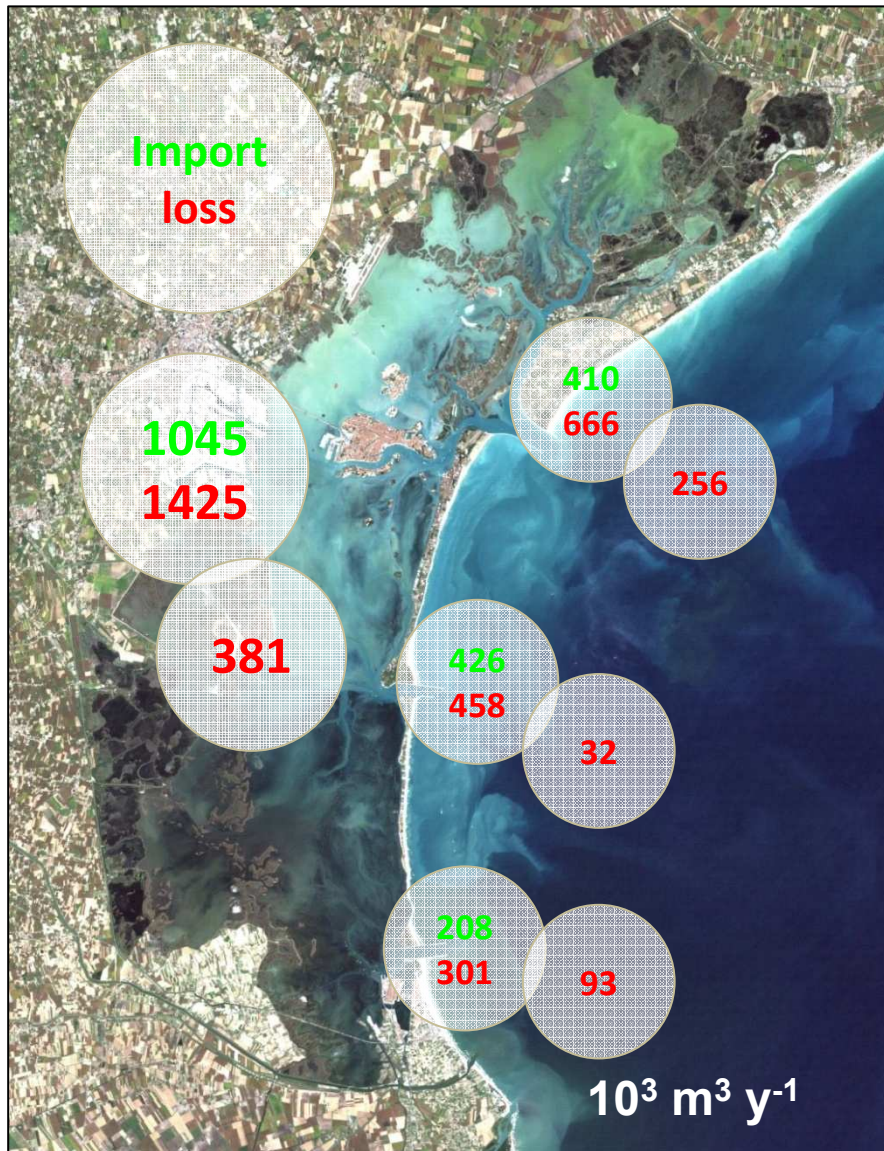
**Changes in bathymetry 1927-1970-2000; Sarretta et al., 2011**



**Salt-marsh loss (erosion)  
reflects:  
increased wave motion &  
enhanced salinity**







## Sedimentary budget

according to integration of time series of solid flux

### Scientific questions:

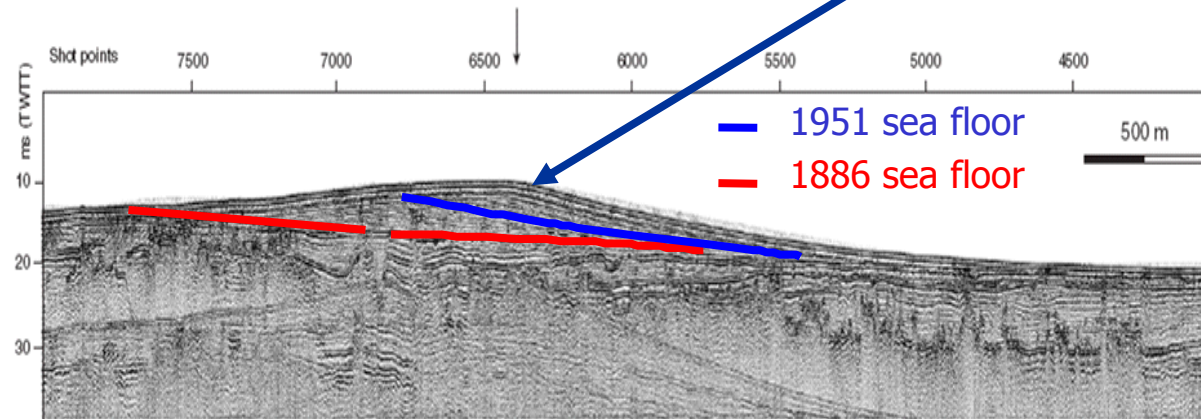
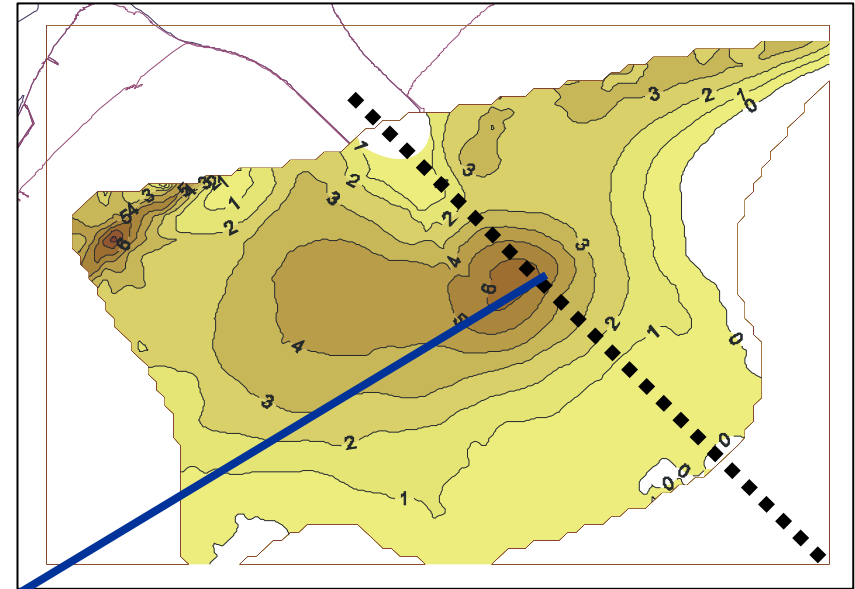
- Is the difference with the net loss estimated by bathymetric changes a sign of a recent change in the rate of erosion?
- Why is the net loss of Malamocco so small with respect to the other inlets?
- How does the longshore transport interact with the fluxes at the inlet?

Defendi et al. 2010. *Continental Shelf Research* Vol. 30, 883-893

## Study of the deposition on the ebb-tidal delta

Tosi et. al. (CNR-ISMAR)

**Large amounts of sediments are accumulating in the ebb-tidal delta**



**Seismic profile shows the ebb tidal delta architecture**



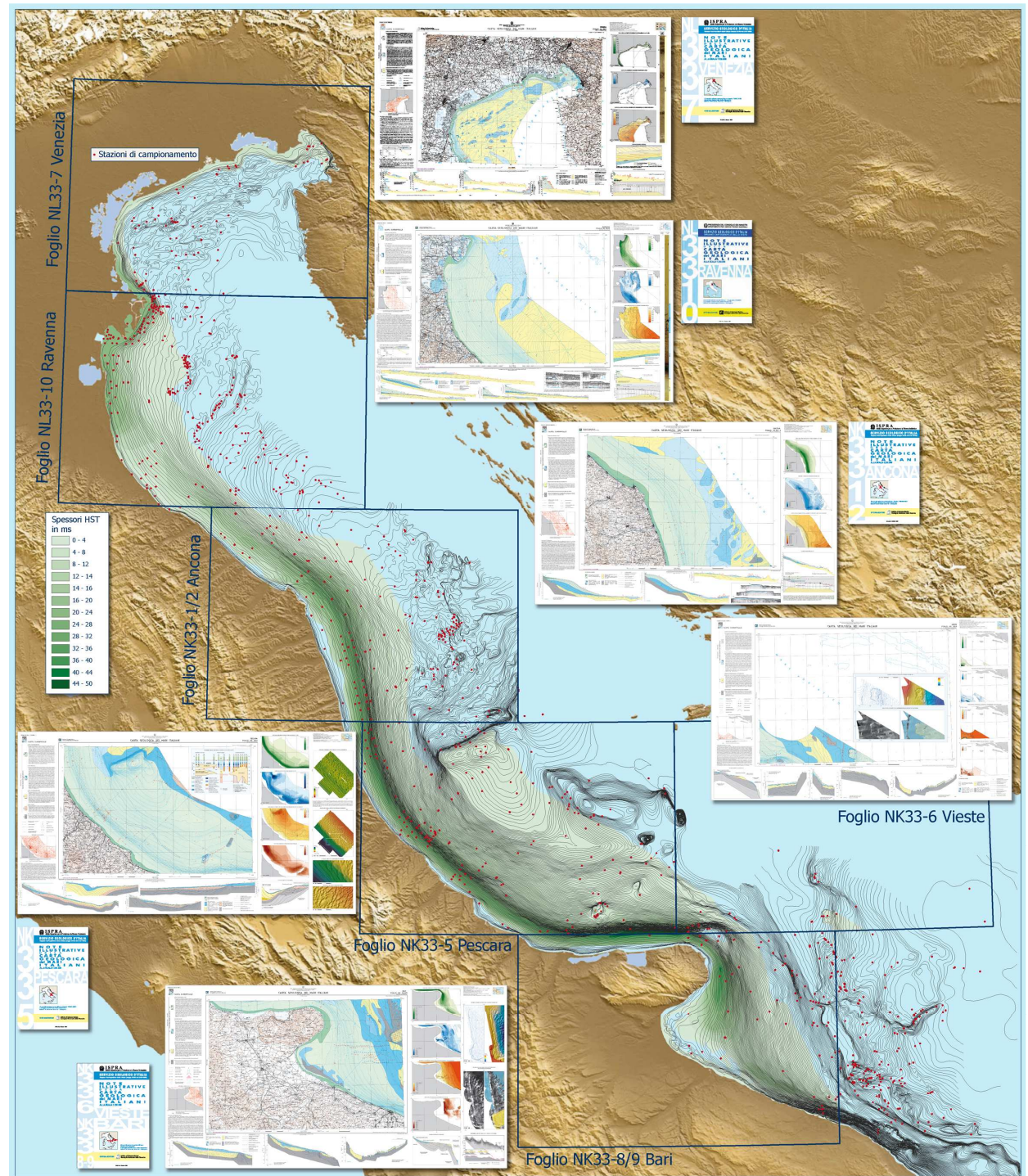
# Outline

1. Una visione dal mare
2. Le variazioni eustatiche
3. La subsidenza
4. Gli impatti antropici (alcuni esempi)
- 5. La cartografia geologica delle aree costiere**
6. Ricerche future

# LA CARTA GEOLOGICA

Distribuzione dei  
depositi in  
affioramento o sub-  
affioramento

Conoscenza  
“ufficiale” del  
territorio  
sottomarino







# CARTA SUPERFICIALE

**Descrizione della carta**  
La carta rappresenta la geologia superficiale della laguna di Venezia e del suo delta. È basata su dati geologici, geomorfologici e geofisici raccolti durante le campagne di studio condotte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dall'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Ambienti Geologici (INAG). La scala della carta è 1:50.000. La cartografia è stata realizzata con l'uso di dati satellitari e di rilievi topografici.

**Legenda**  
La cartografia utilizza i colori per distinguere le diverse unità geologiche e geomorfologiche. I colori sono: Verde per le aree alluvionali recenti, Giallo per le aree alluvionali antiche, Blu per le acque, e Grigio per le aree urbanizzate. Le linee nere rappresentano i confini amministrativi e i confini delle diverse unità geologiche.

**Scale**  
La scala della carta è 1:50.000. La scala grafica è indicata in metri e chilometri.

**Coordinate**  
La cartografia è riferita al sistema di coordinate UTM (Universal Transverse Mercator) con la proiezione di Gauss-Krüger.

**Descrizione della carta**  
La carta rappresenta la geologia superficiale della laguna di Venezia e del suo delta. È basata su dati geologici, geomorfologici e geofisici raccolti durante le campagne di studio condotte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dall'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Ambienti Geologici (INAG). La scala della carta è 1:50.000. La cartografia è stata realizzata con l'uso di dati satellitari e di rilievi topografici.

**Legenda**  
La cartografia utilizza i colori per distinguere le diverse unità geologiche e geomorfologiche. I colori sono: Verde per le aree alluvionali recenti, Giallo per le aree alluvionali antiche, Blu per le acque, e Grigio per le aree urbanizzate. Le linee nere rappresentano i confini amministrativi e i confini delle diverse unità geologiche.

**Scale**  
La scala della carta è 1:50.000. La scala grafica è indicata in metri e chilometri.

**Coordinate**  
La cartografia è riferita al sistema di coordinate UTM (Universal Transverse Mercator) con la proiezione di Gauss-Krüger.

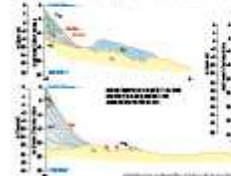
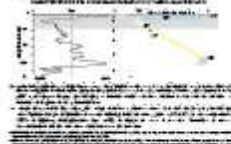


**Descrizione della carta**  
La carta rappresenta la geologia superficiale della laguna di Venezia e del suo delta. È basata su dati geologici, geomorfologici e geofisici raccolti durante le campagne di studio condotte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dall'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Ambienti Geologici (INAG). La scala della carta è 1:50.000. La cartografia è stata realizzata con l'uso di dati satellitari e di rilievi topografici.

**Legenda**  
La cartografia utilizza i colori per distinguere le diverse unità geologiche e geomorfologiche. I colori sono: Verde per le aree alluvionali recenti, Giallo per le aree alluvionali antiche, Blu per le acque, e Grigio per le aree urbanizzate. Le linee nere rappresentano i confini amministrativi e i confini delle diverse unità geologiche.

**Scale**  
La scala della carta è 1:50.000. La scala grafica è indicata in metri e chilometri.

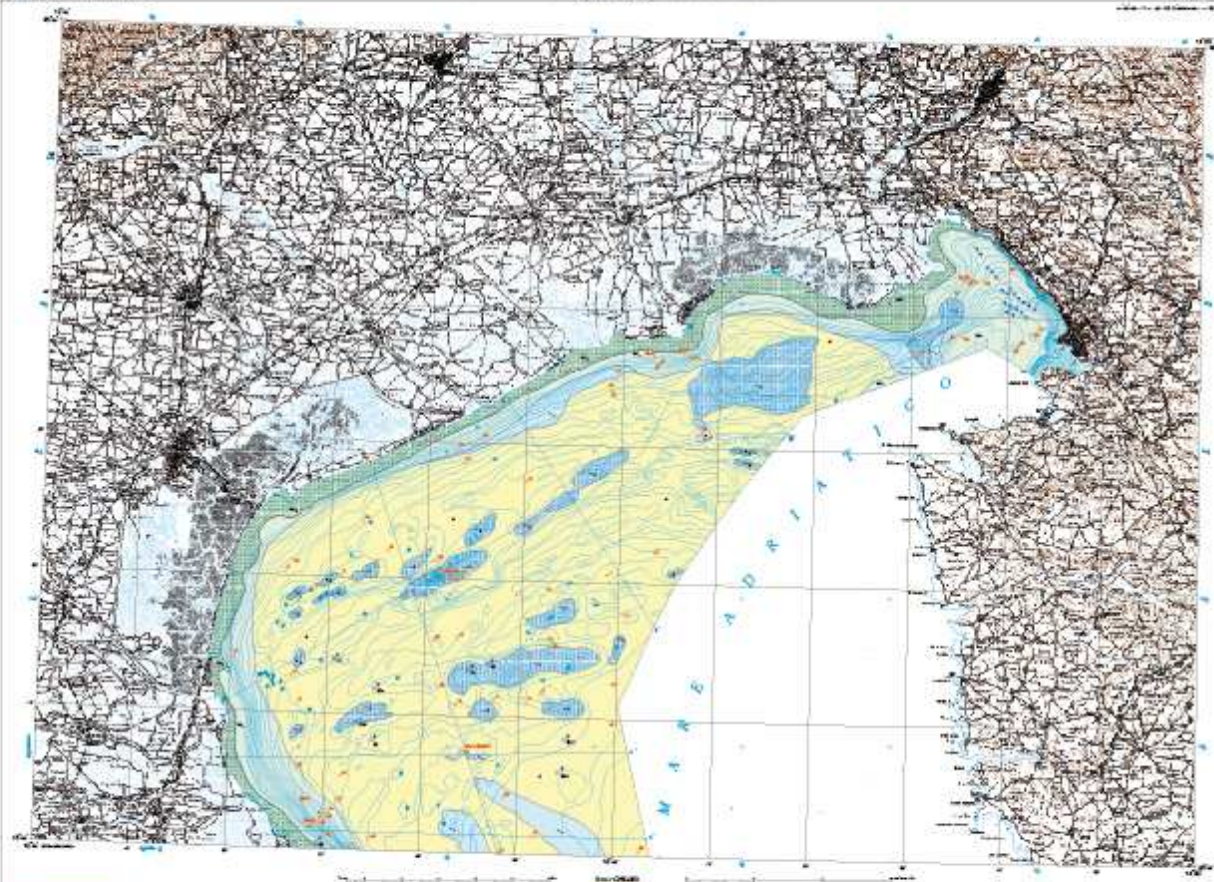
**Coordinate**  
La cartografia è riferita al sistema di coordinate UTM (Universal Transverse Mercator) con la proiezione di Gauss-Krüger.



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**  
Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Ambienti Geologici

## CARTA GEOLOGICA DEI MARI ITALIANI

**VENETIA**  
FOLIO 36-38-7

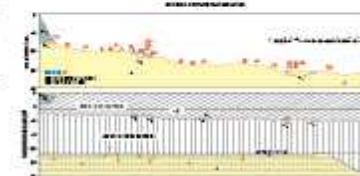
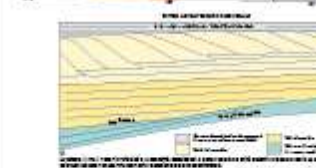
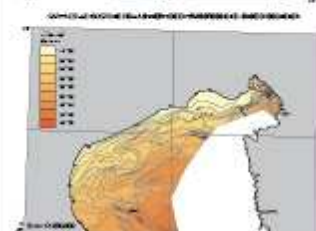
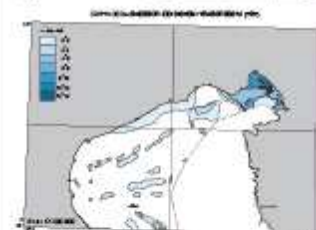
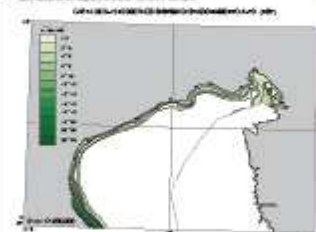


**Descrizione della carta**  
La carta rappresenta la geologia superficiale della laguna di Venezia e del suo delta. È basata su dati geologici, geomorfologici e geofisici raccolti durante le campagne di studio condotte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dall'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Ambienti Geologici (INAG). La scala della carta è 1:50.000. La cartografia è stata realizzata con l'uso di dati satellitari e di rilievi topografici.

**Legenda**  
La cartografia utilizza i colori per distinguere le diverse unità geologiche e geomorfologiche. I colori sono: Verde per le aree alluvionali recenti, Giallo per le aree alluvionali antiche, Blu per le acque, e Grigio per le aree urbanizzate. Le linee nere rappresentano i confini amministrativi e i confini delle diverse unità geologiche.

**Scale**  
La scala della carta è 1:50.000. La scala grafica è indicata in metri e chilometri.

**Coordinate**  
La cartografia è riferita al sistema di coordinate UTM (Universal Transverse Mercator) con la proiezione di Gauss-Krüger.



# Ricordando che le sabbie trasgressive non sono una risorsa rinnovabile ...

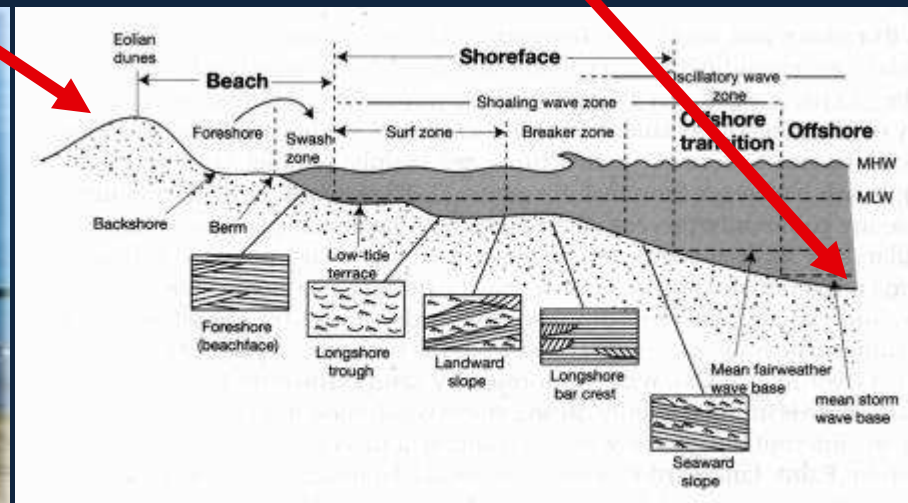
Volume totale di sabbia fine  
tra -20 m e -90 m

ca.  $240 \times 10^6 \text{ m}^3$

Volume totale di silt grossolano:

ca.  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$

come ripascimento della  
spiaggia sommersa distale



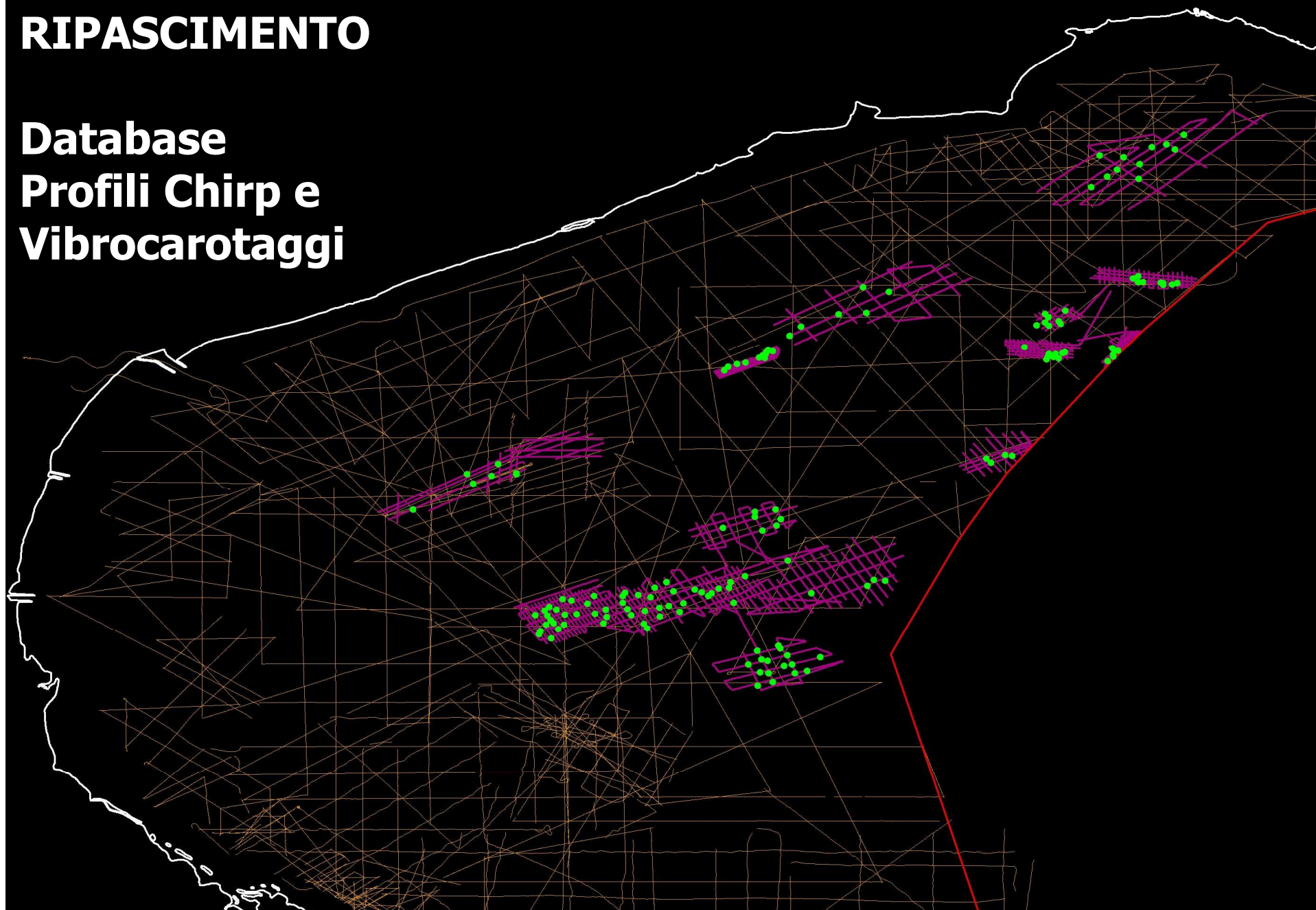
*A. Correggiari, unpublished*





# LA RICERCA DI SABBIE PER IL RIPASCIMENTO

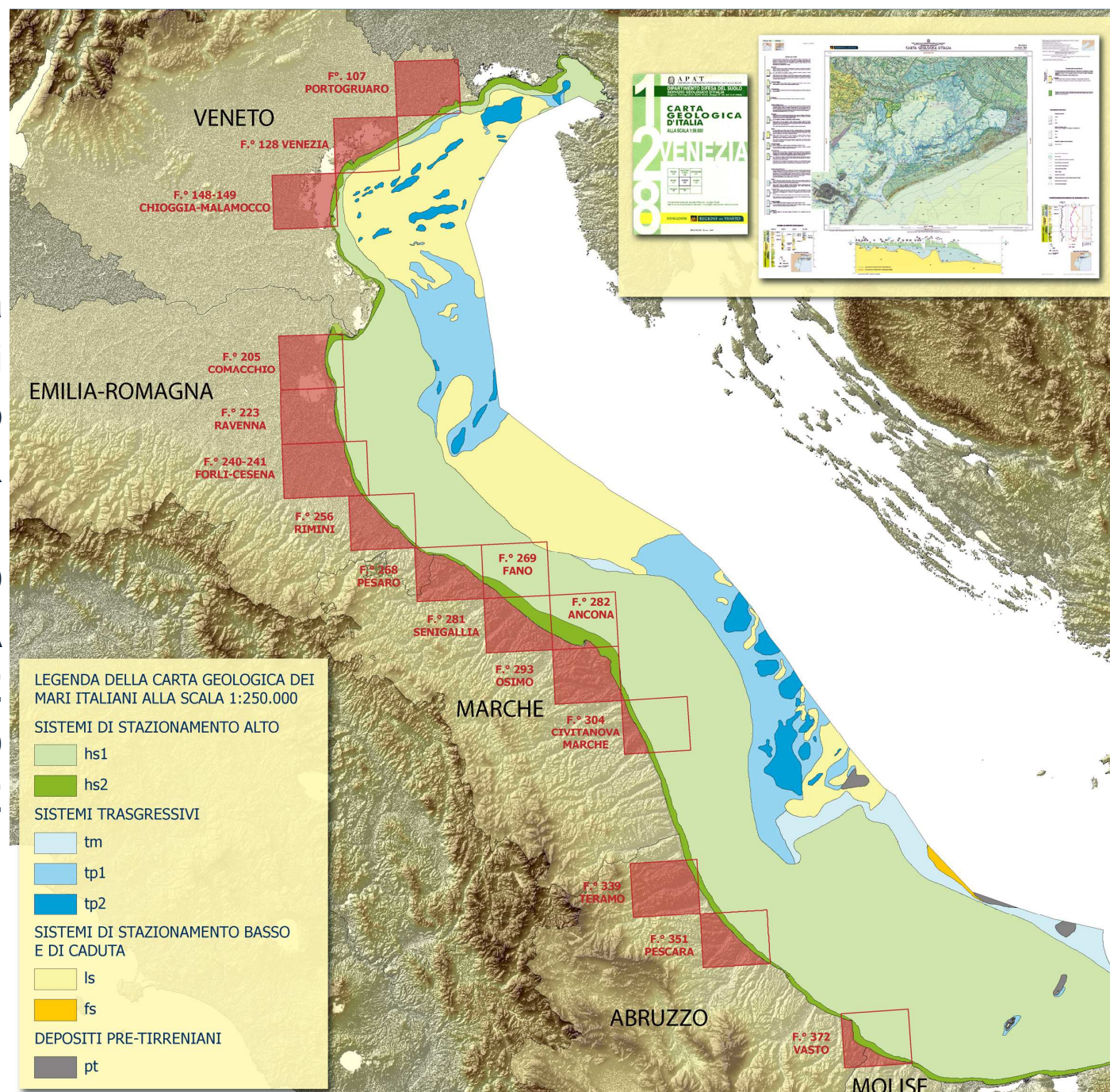
**Database  
Profili Chirp e  
Vibrocarotaggi**





I Fogli a scala  
1:50.000 a cui  
ha collaborato  
ISMAR

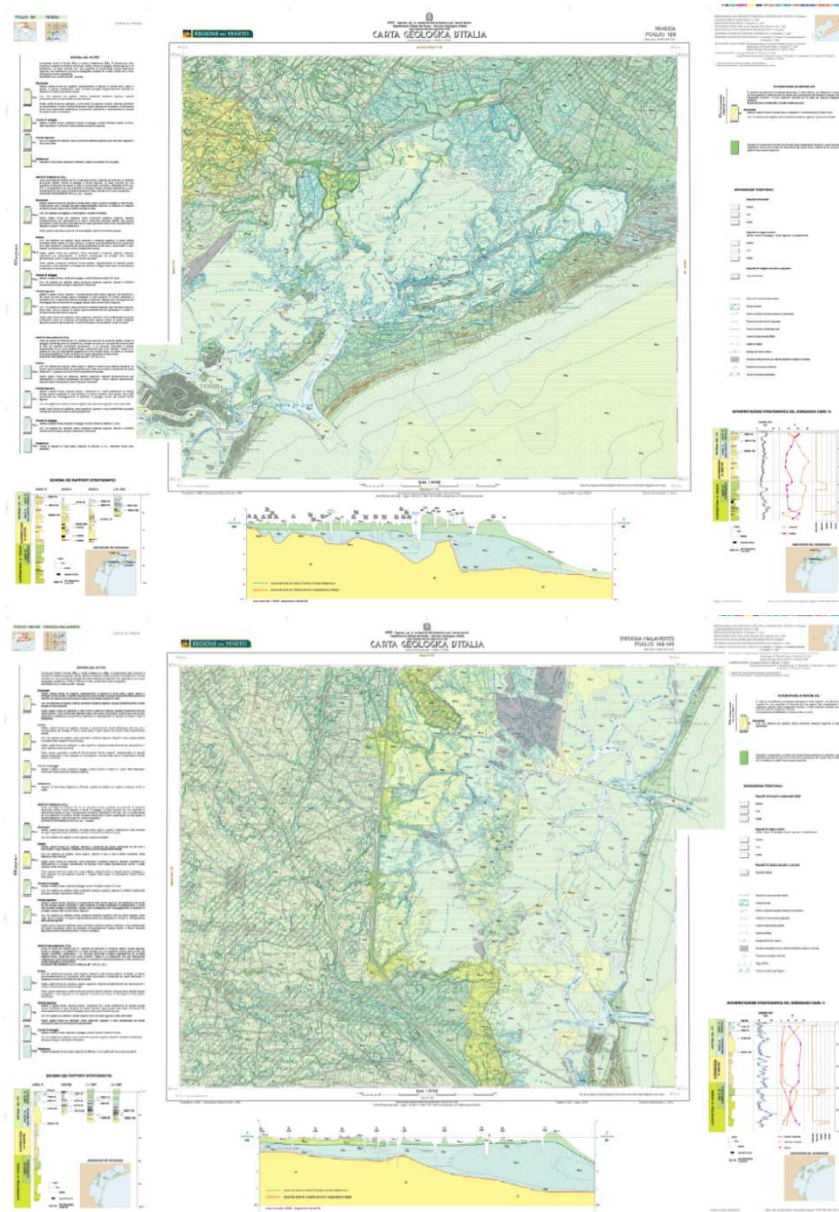
**VENETO**  
**EMILIA-ROMAGNA**  
**MARCHE**  
**ABRUZZO**  
**MOLISE**





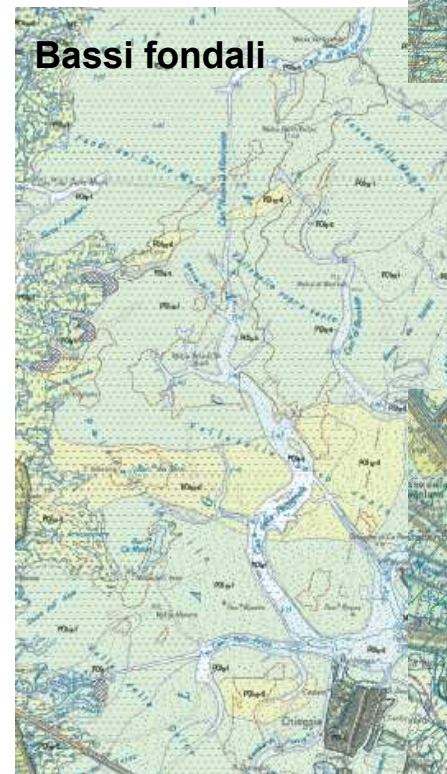
# Cartografia Geologica

... complessità degli ambienti costieri e di transizione



La nuova carta geologica riporta 13 unità:

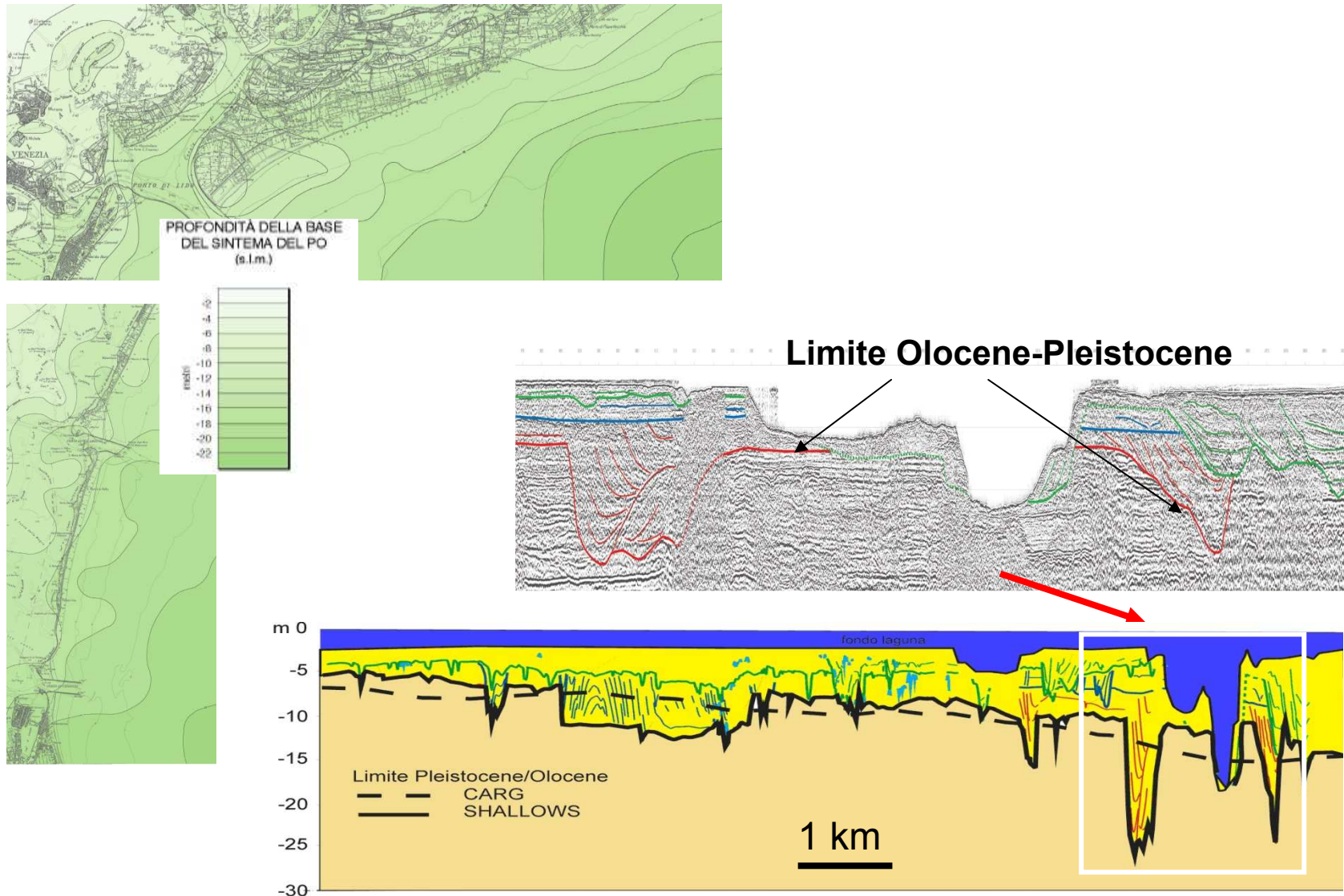
- 12 oloceniche,
- 1 pleistocenica.





## Livelli stratigrafici “guida”

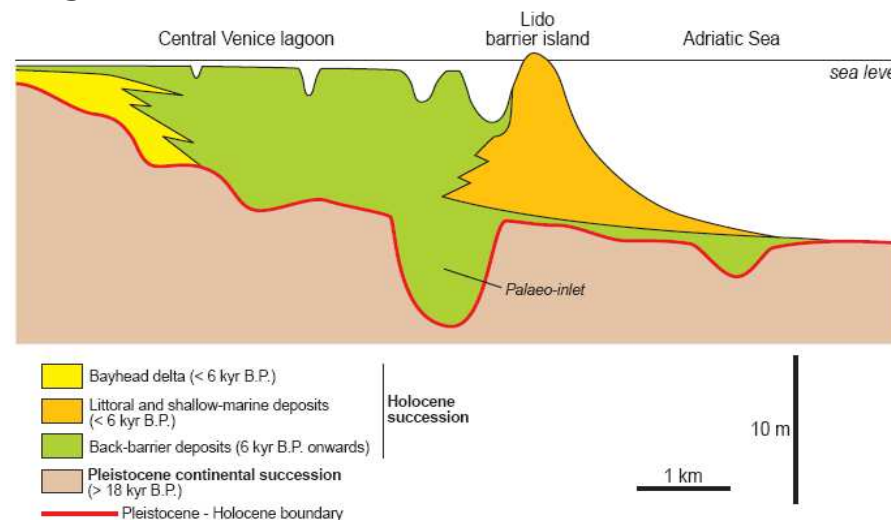
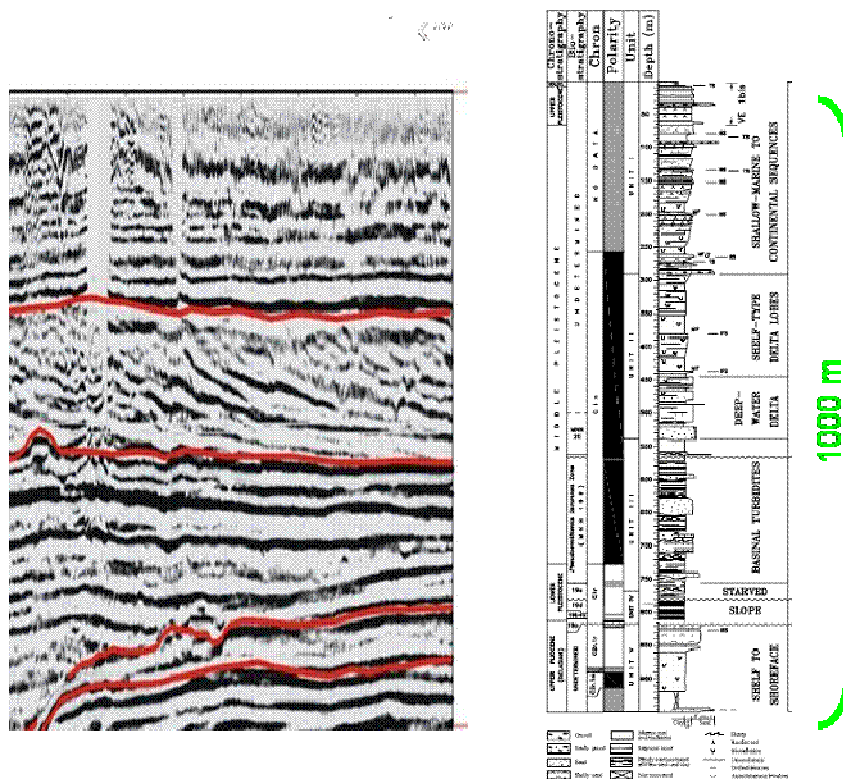
Mappa del “limite” Pleistocene-Olocene, ovvero della profondità alla quale spesso si rinviene l’argilla sovra-consolidata nota come “caranto”



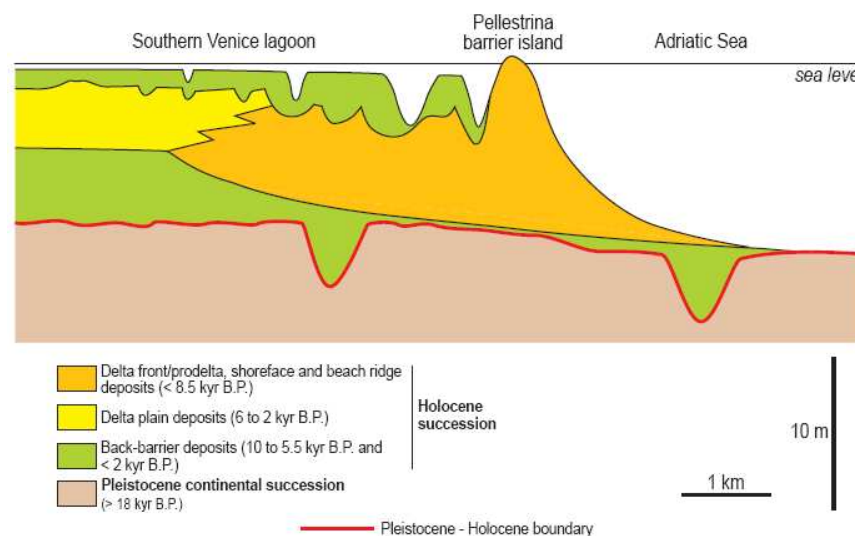


# Assetto ed architettura della serie Quaternaria

## Modello geologico della serie olocenica nella laguna centrale



## Modello geologico della serie olocenica nella laguna meridionale

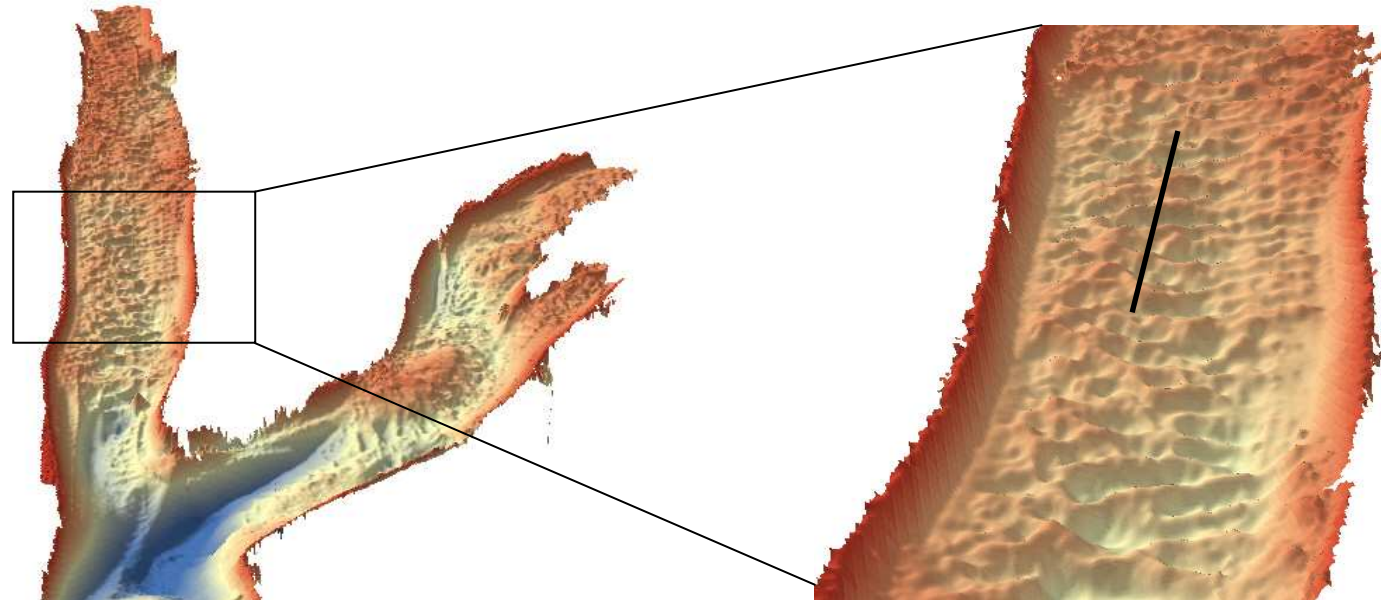


- Ricostruzione dell'architettura della serie Quaternaria.
- Analisi delle discontinuità e delle sequenze.
- Modelli di evoluzione geologica dell'area costiera e loro accoppiamento con quelli del settore di pianura e marino.
- Modelli idrogeologici

# Outline

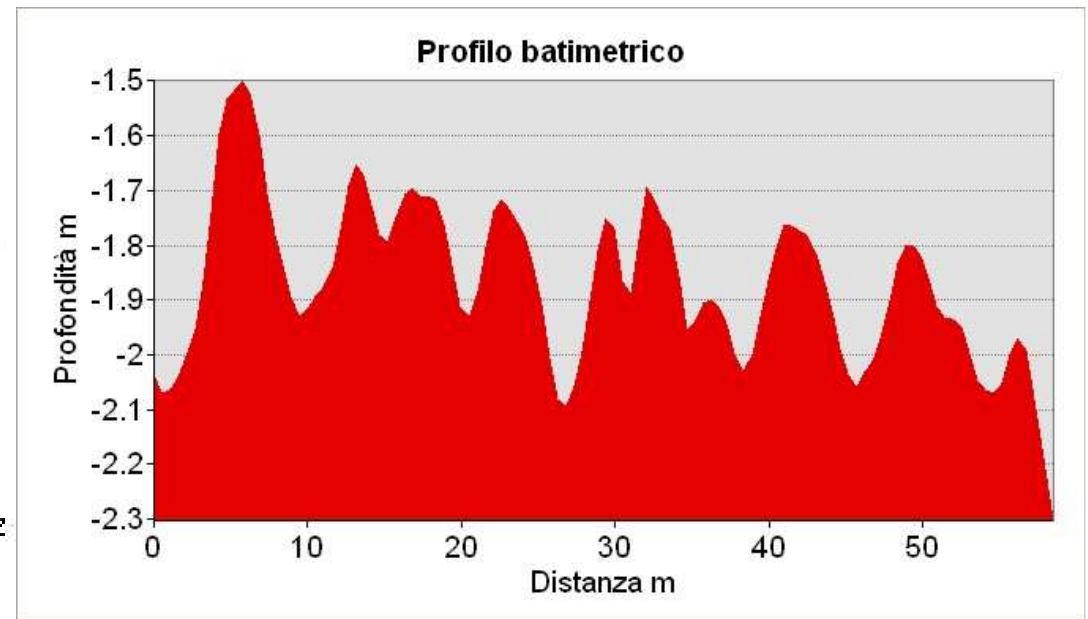
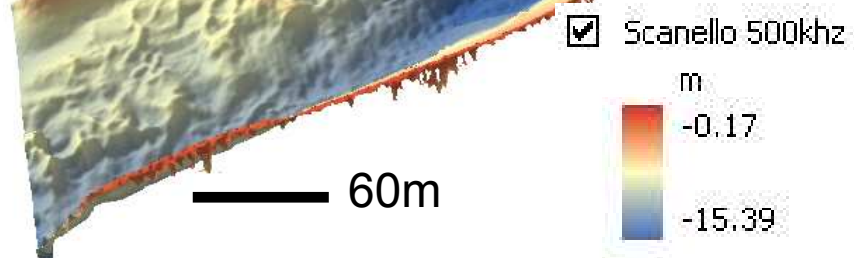
1. Una visione dal mare
2. Le variazioni eustatiche
3. La subsidenza
4. Gli impatti antropici (alcuni esempi)
5. La cartografia geologica delle aree costiere
- 6. Ricerche future**



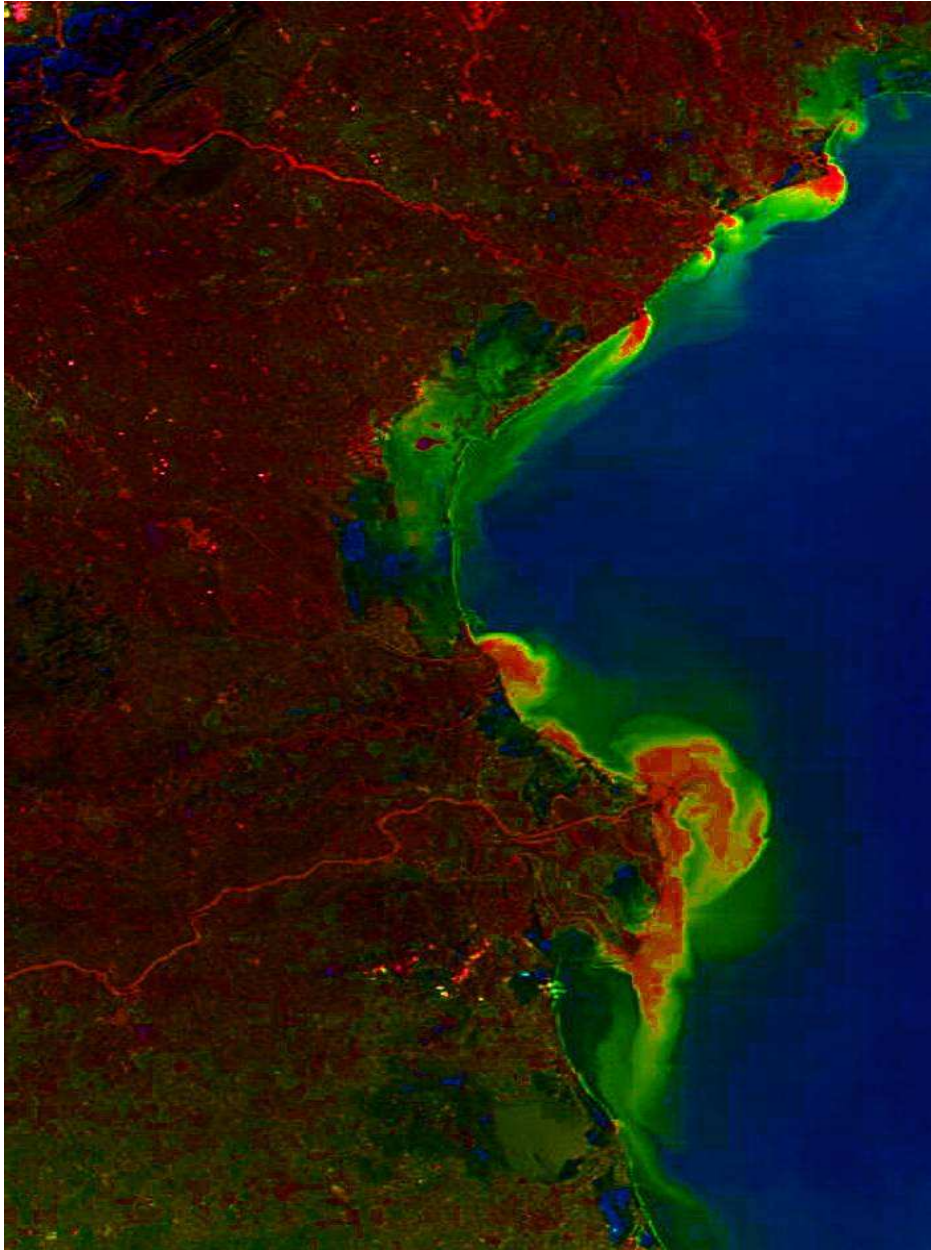


GeoSwath  
500 kHz

DTM 0.5m



Madricardo et al., unpublished



**It is crucial to set up strategies of REA to "events"**

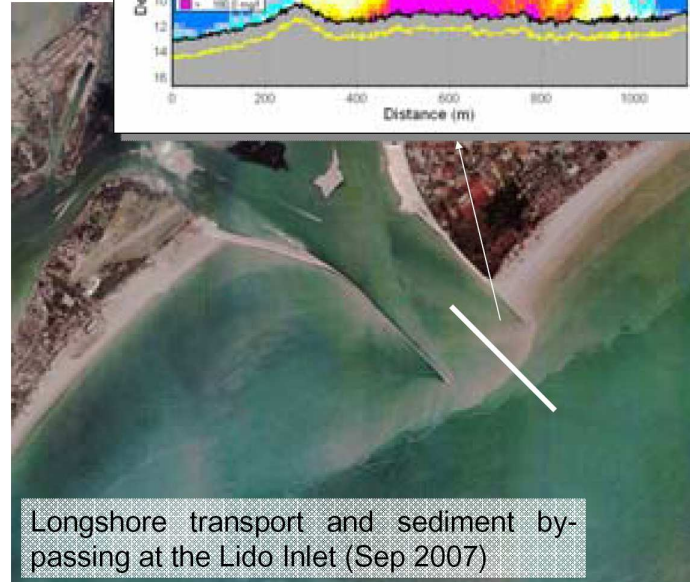
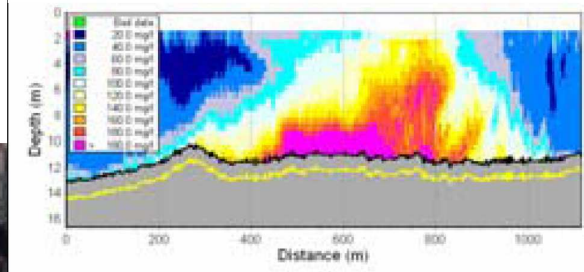
- “predict” their evolution (on scales of hours to weeks)**
- optimize field activities (like water or sediment sampling)**
- monitor their long-lasting impact (sediment column)**



# Interactions between tidal fluxes and longshore currents on the sediment transport

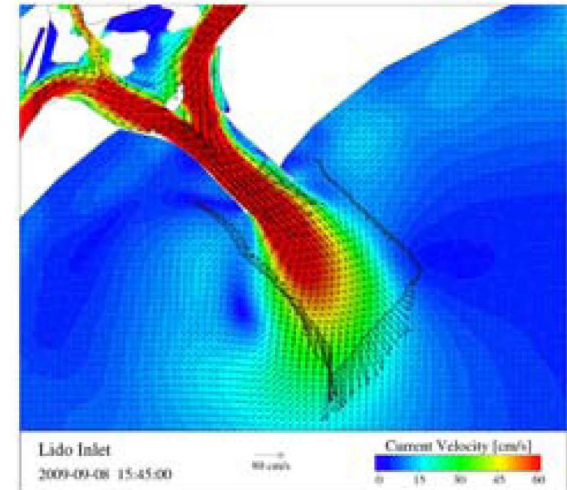
Integrazione tra  
geomorfologia  
geofisica  
studio di processi  
e  
modellistica  
numerica

Cross-section of the longshore transport belt during a storm with NE wind (Nov2006)

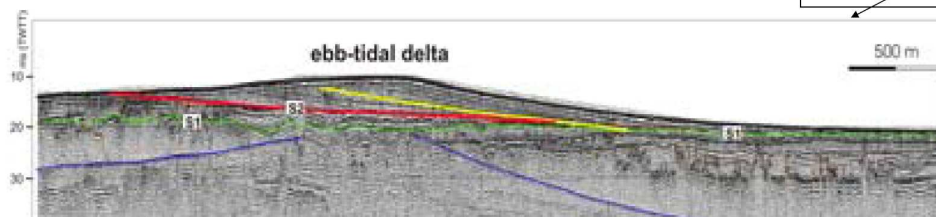
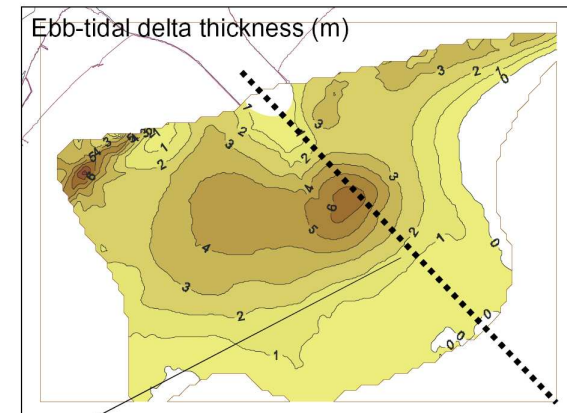


Longshore transport and sediment bypassing at the Lido Inlet (Sep 2007)

The interactions between tidal fluxes through the inlets and longshore currents are fundamental in the exchange of suspended particle matter (SPM) between the lagoon and the open sea, the barrier islands, as well as flood- and ebb-tidal deltas.

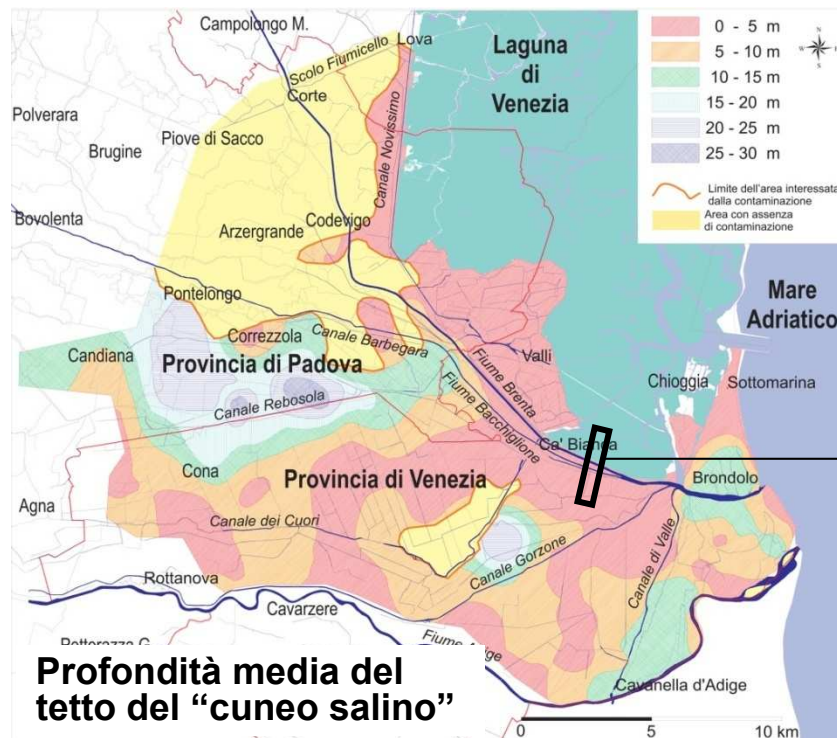


Combining circulation models (colors and light arrows) with high-resolution measurements (thick arrows) and SPM around inlets.

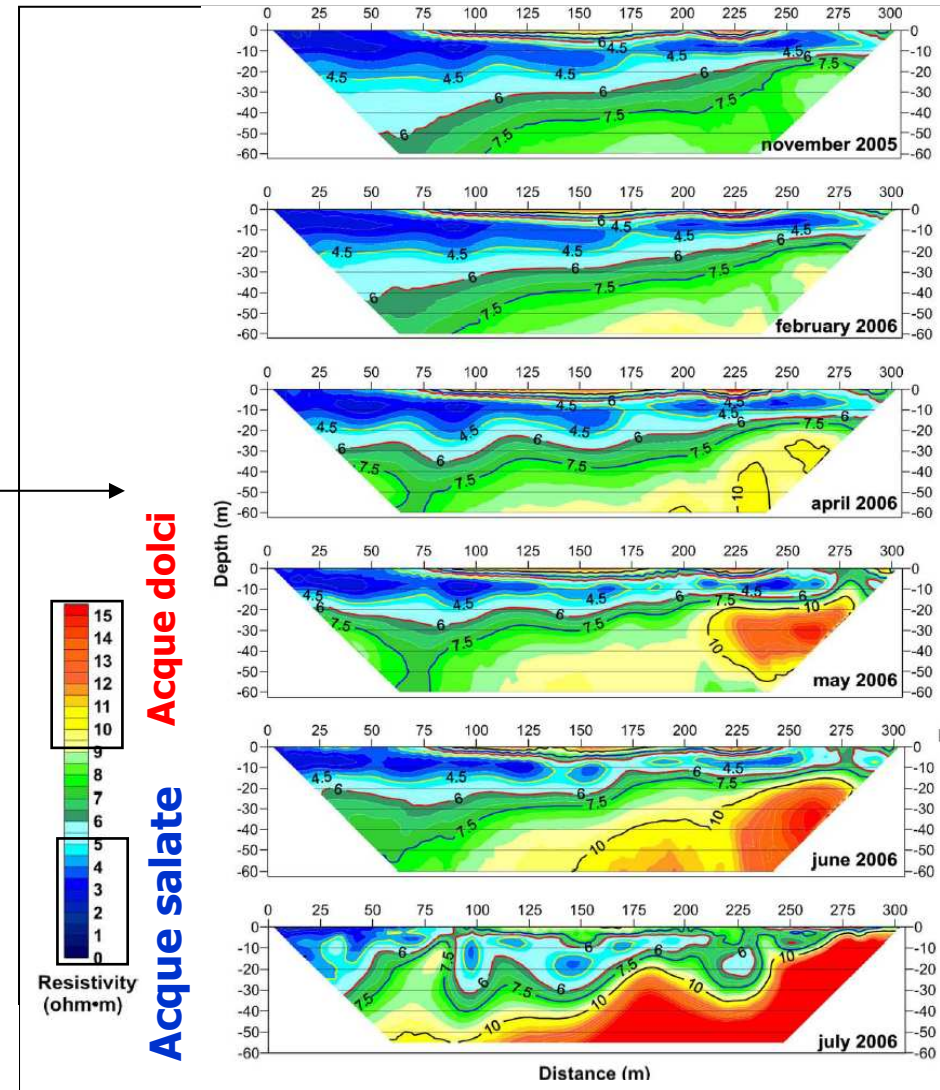


Seismic profile showing the ebb tidal delta architecture

# Caratterizzazione degli acquiferi, analisi degli scambi acque superficiali/sotterranee, rapporti acque marine/continentali (ingressione del cuneo salino)



Variabilità stagionale della contaminazione salina





# Conclusioni



- Serve conoscenza “ufficiale” del territorio
- Serve conoscenza “condivisa”
- Serve ricerca scientifica e non “solo” monitoraggio
- Approccio olistico come base per le “decisioni”