



# 100 ANNI DI GRANDI CAMBIAMENTI: COME STA OGGI IL NOSTRO TERRITORIO?

*ING. ALESSANDRO BONDESAN*  
*CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA*

**100 ANNI DI BONIFICA MODERNA A FERRARA – LA SCOPERTA DI SPINA E LE ALTRE IMPRESE UMANE CHE HANNO CAMBIATO VOLTO AL TERRITORIO**



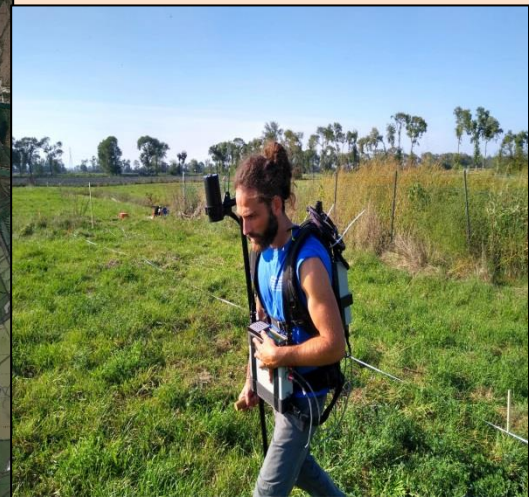
ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Nell'ambito delle attività di ricerca condotte dalla Cattedra di Etruscologia dell'Università di Bologna, che prevedono nell'area di Spina ricognizioni di superficie, prospezioni geofisiche e rilievi da drone, il Consorzio di Bonifica ha offerto supporto in diverse modalità:

- Fornitura di cartografia e materiale d'archivio
- Rilievo GPS sul campo
- Supporto tecnico-logistico

Prof. Andrea Gaucci





## 100 ANNI DI GRANDI CAMBIAMENTI: COME STA OGGI IL NOSTRO TERRITORIO?

Come si fa a dare informazioni tangibili su eventi riguardanti l'evoluzione del territorio? Tangibili significa misure, cronologie, evoluzioni morfologiche su un ampio spazio territoriale e campo temporale. Per il passato ci aiutano le cartografie storiche, per il futuro, le previsioni scientifiche basate sui modelli climatici e i loro effetti sull'equilibrio terra-acqua. Toccare con mano significa avere dati attendibili, certo... ma soprattutto di facile interpretazione.

### **Ecco sei domande:**

- 1 – Com'è cambiato il territorio nel passato?
- 3 – Le variazioni future asseconderanno le tendenze del passato?
- 4 – Subsidenza ed eustatismo, quali sono oggi i valori di velocità?
- 5 – I movimenti verticali del suolo, sono distribuiti in modo omogeneo o ci sono picchi?
- 6 – Subsidenza ed eustatismo, quanto ci costano?

100 ANNI DI GRANDI CAMBIAMENTI: COME STA OGGI IL NOSTRO TERRITORIO?



## 2 - SUBSIDENZA

## AZIONE DEL UOMO NEL TEMPO

Diminuzione del trasporto solido fluviale

Prelievi liquidi e gas dal sottosuolo

Si sono ottenuti livelli sempre più elevati di difesa

Ha finito per irrigidire morfologia e assetto idraulico







Ma esiste ancora la subsidenza nel nostro territorio? Si può dare una misura comprensibile del fenomeno?



## Subsidenza

Quali sono le cause? Quantità annua? E' distribuita in modo omogeneo?

### LEGENDA

-  Limiti di bacino idrografico
-  Limiti amministrativi provinciali
-  Limiti dei Consorzi di Bonifica
-  Canali della rete di bonifica
-  Impianti idrovori irrigui
-  Impianti idrovori di scolo

*I dati di subsidenza sono stati ottenuti sulla base di analisi interferometrica radar, effettuata tramite la tecnica del Permanent Scatterers sviluppata e brevettata dal Politecnico di Milano. La realizzazione è a cura della Struttura di Ingegneria Ambientale di ARPA Regione Emilia Romagna.*

*Referenti per la Regione Emilia Romagna:  
Dott. Giuseppe Bortone, Direttore Generale Ambiente, Difesa del Suolo e della Costa;  
Ing. Vinicio Ruggeri, Responsabile del Servizio Pianificazione di Bacino e della Costa,  
Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile.*

*Responsabile del progetto:  
Dott. Flavio Bonsignore, ARPA, Ingegneria Ambientale.  
Consulenza scientifica del DISTART, Alma Mater Studiorum  
Università di Bologna (Prof. Gabriele Bitelli e Prof. Luca Vittuari).  
Pubblicazione dati: maggio 2007*

### VALORI IN MM/ANNO DI VELOCITA' VERTICALE DEL SUOLO



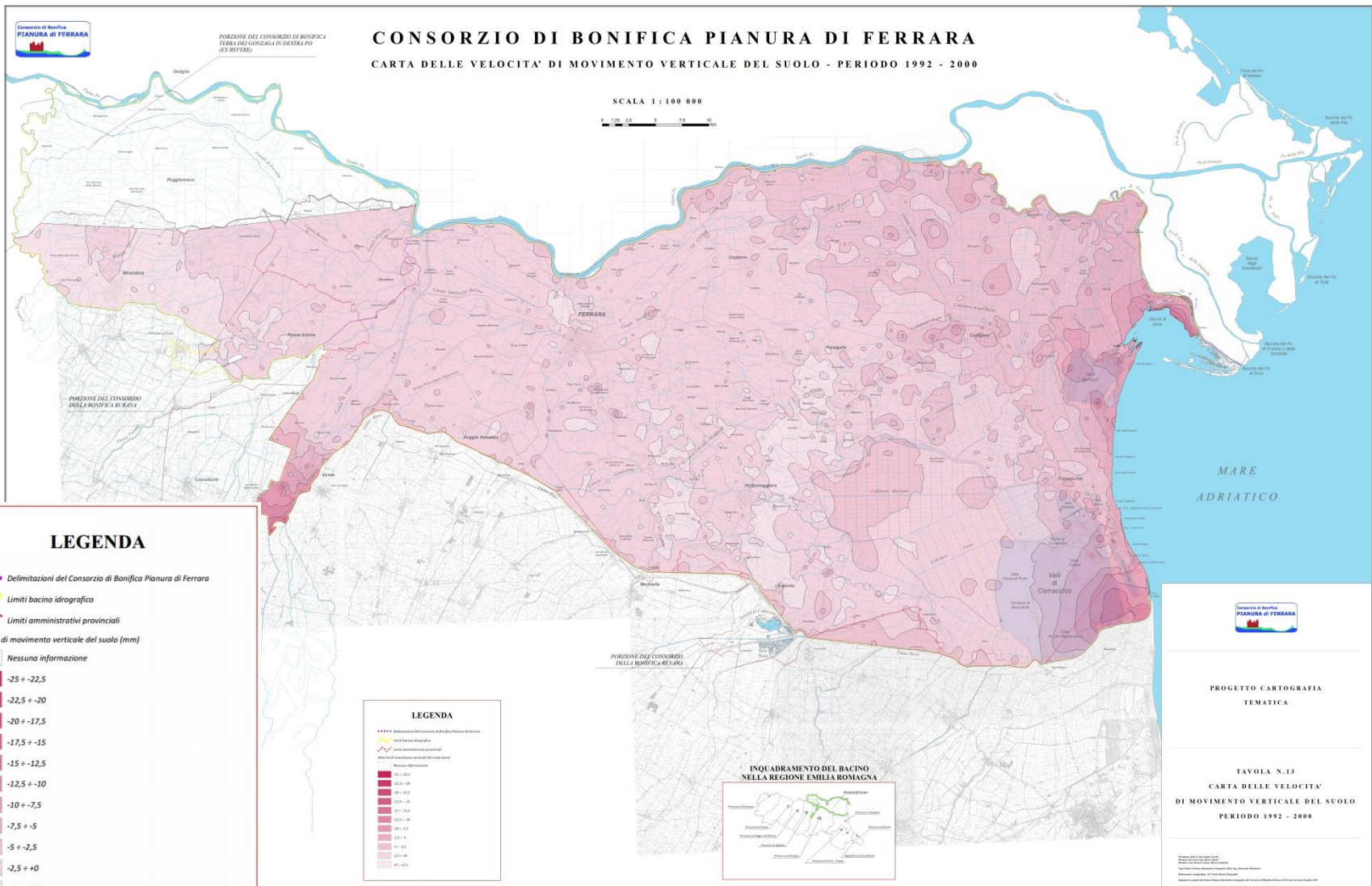
*La legenda riporta il range di valori rilevati nell'area della Regione Emilia Romagna*

### INQUADRAMENTO DEL BACINO NELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

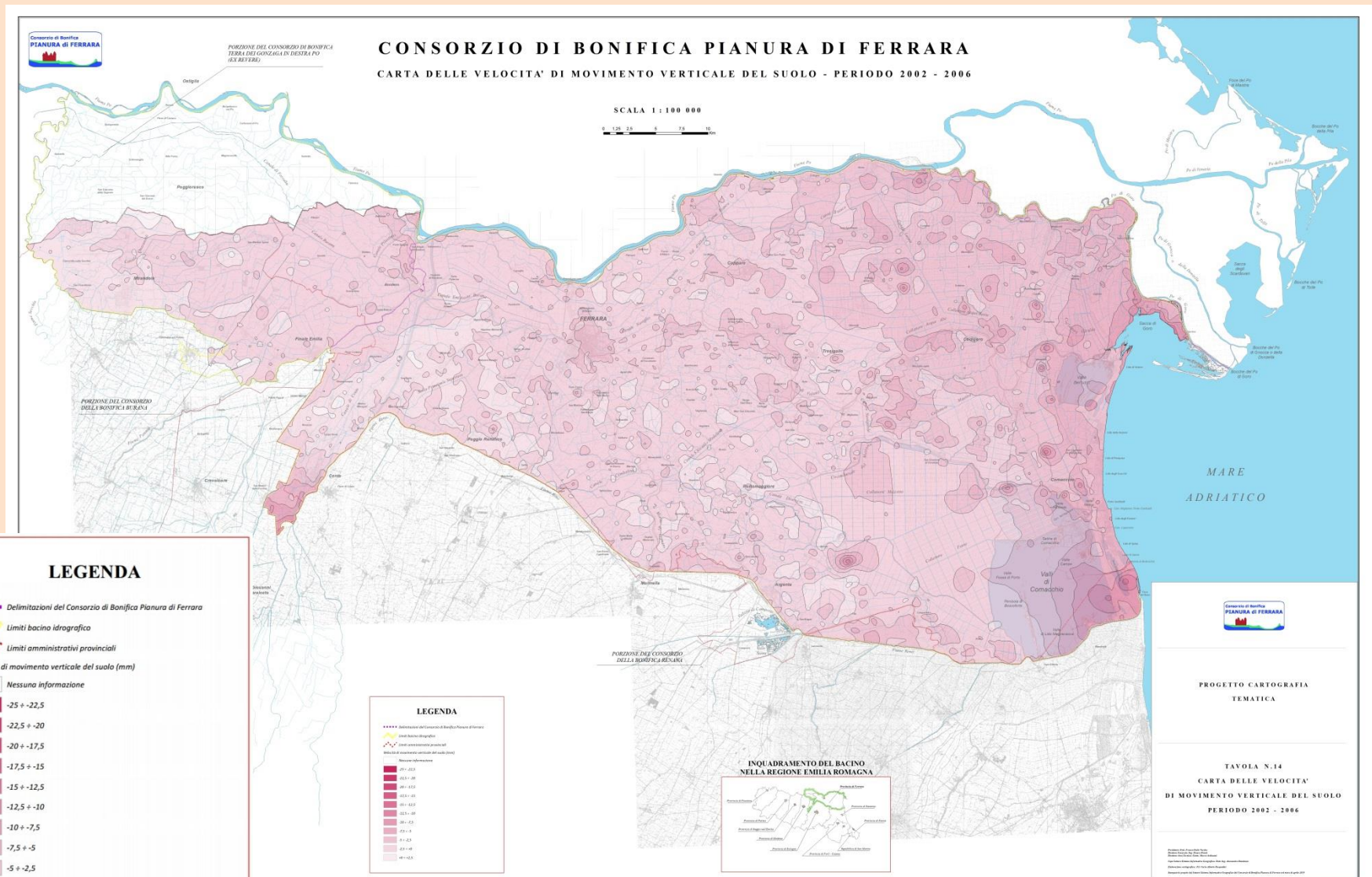


# La subsidenza ha distribuzione omogenea?

Cartografie relative allo studio della subsidenza del territorio ferrarese (1992 – 2000) - I dati sono sulla base di analisi interferometrica radar (Permanent Scatters del Politecnico di Milano – realizzazione ARPA RER)

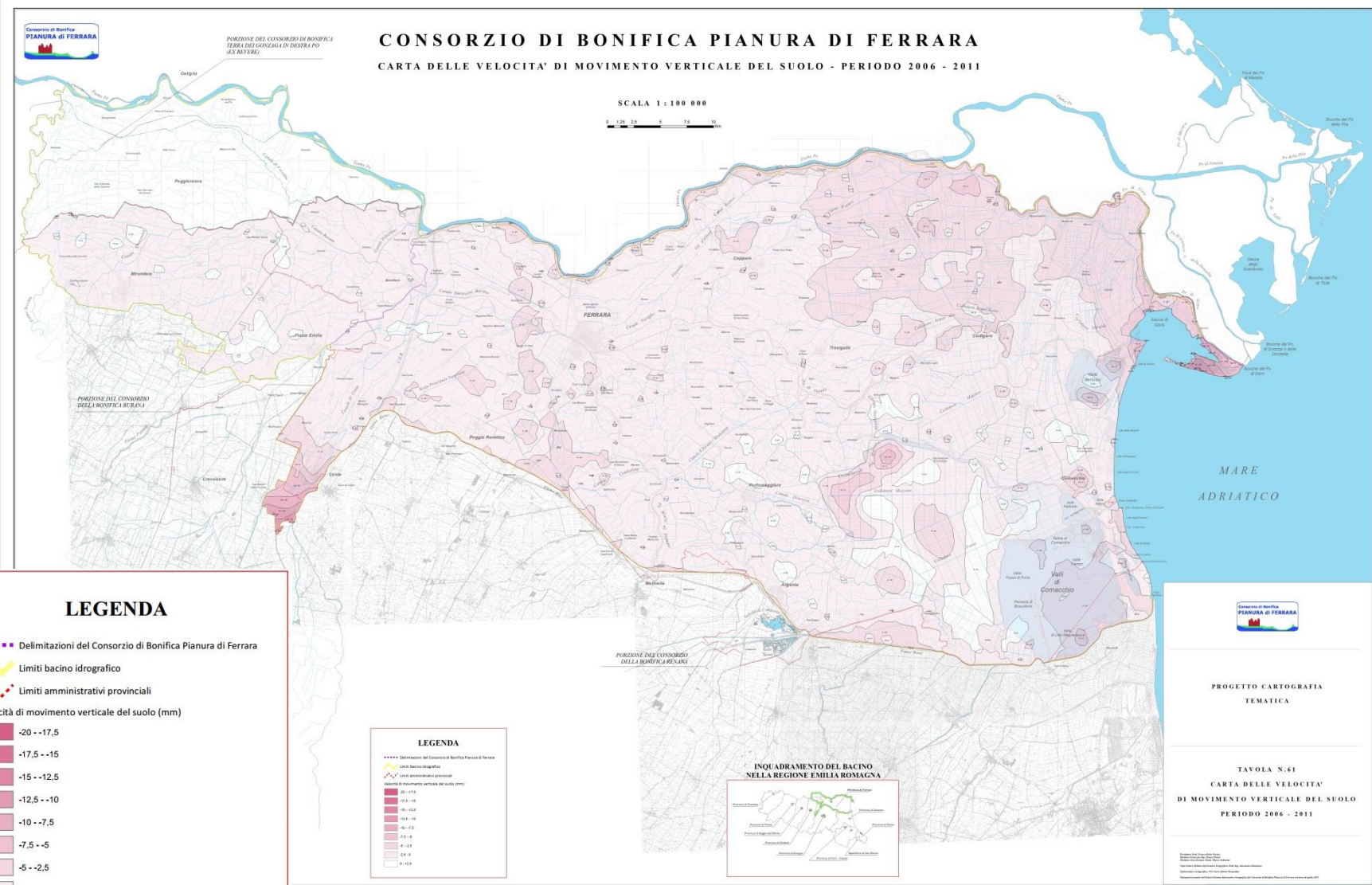


# Cartografie relative allo studio della subsidenza del territorio ferrarese (2002 – 2006)

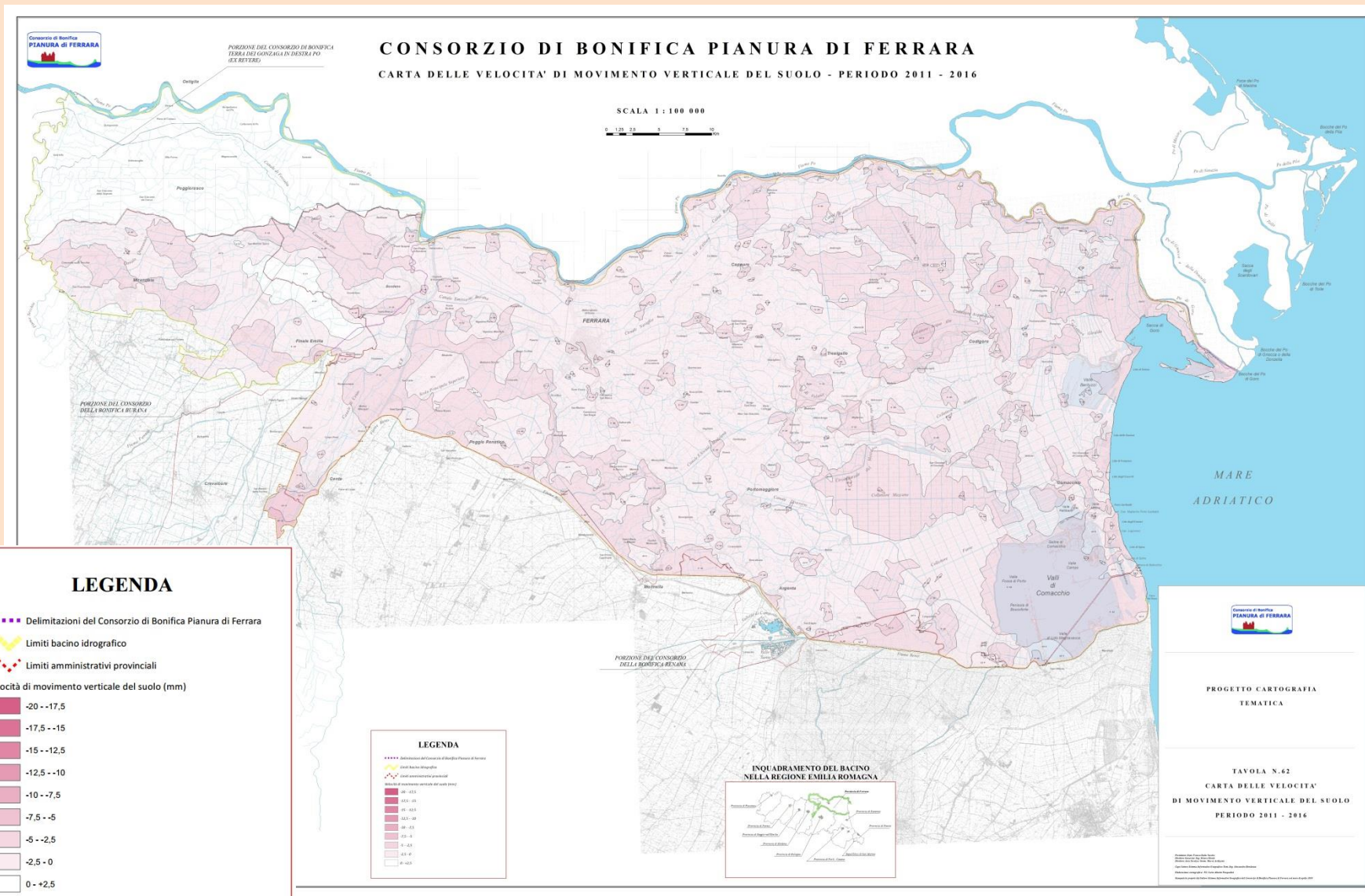




# Cartografie relative allo studio della subsidenza del territorio ferrarese (2006 – 2011)



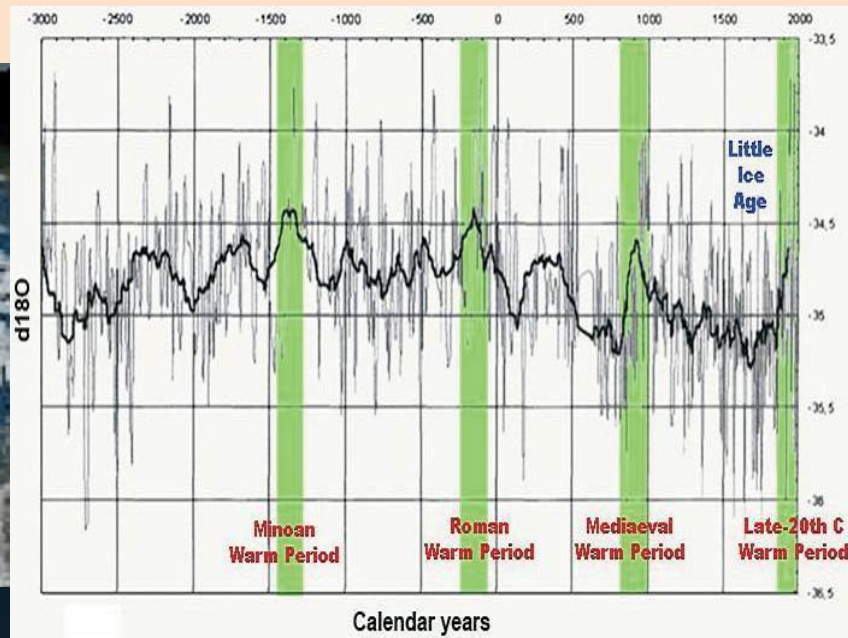
# Cartografie relative allo studio della subsidenza del territorio ferrarese (2011 – 2016)



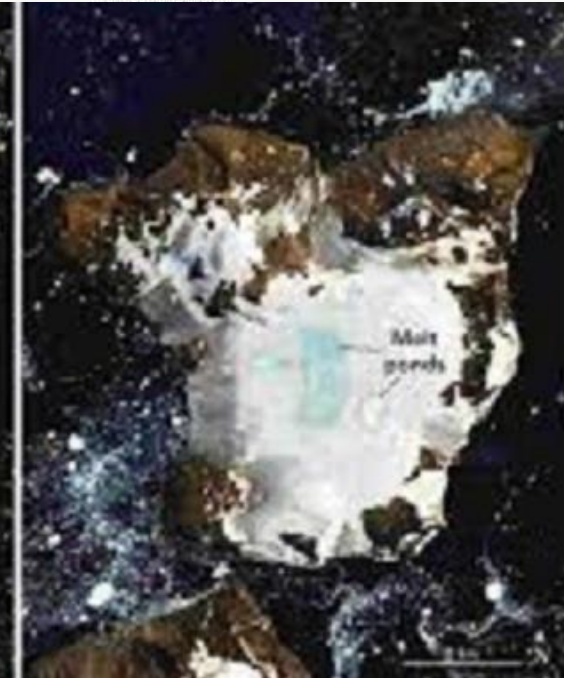
100 ANNI DI GRANDI CAMBIAMENTI: COME STA OGGI IL NOSTRO TERRITORIO?



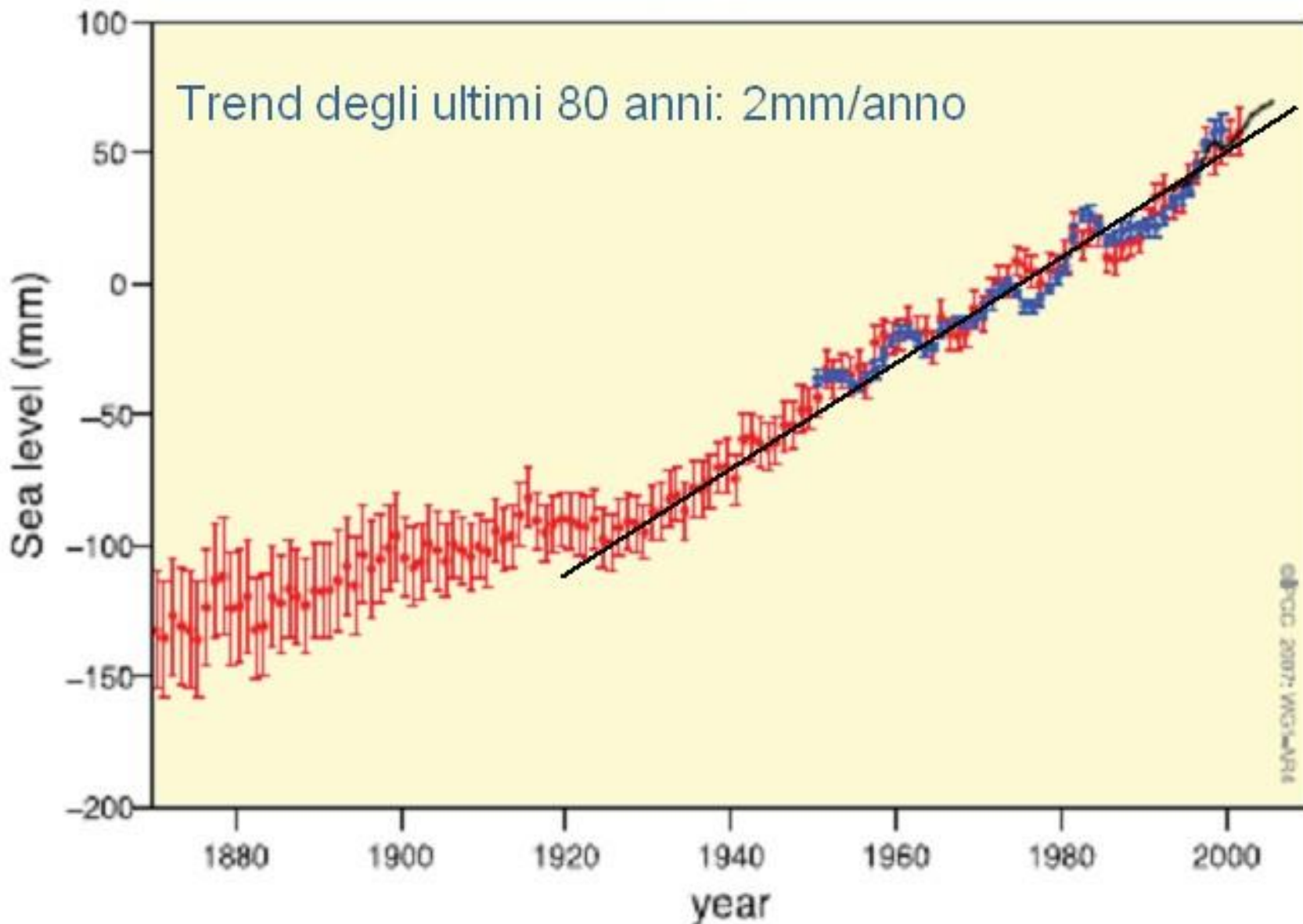
## 3 - EUSTATISMO



COME STA OGGI  
IL NOSTRO TERRITORIO?



Riscaldamento globale  
Dati IPCC  
Intergovernmental Panel on  
Climate Change



## 2 – EUSTATISMO

### Scenari all'anno 2100

Innalzamento relativo del mare pari a:

- 0,97 m (IPCC 2013)
- 1,4 m (Ramshtorf 2007)
- 1,4 m + cedimento protezioni a mare



### Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100



F. Antonioli <sup>a,\*</sup>, M. Anzidei <sup>b</sup>, A. Amorosi <sup>c</sup>, V. Lo Presti <sup>a</sup>, G. Mastronuzzi <sup>d</sup>, G. Deiana <sup>e</sup>, G. De Falco <sup>f</sup>, A. Fontana <sup>g</sup>, G. Fontolan <sup>h</sup>, S. Lisco <sup>d</sup>, A. Marsico <sup>d</sup>, M. Moretti <sup>d</sup>, P.E. Orrù <sup>e</sup>, G.M. Sannino <sup>a</sup>, E. Serpelloni <sup>b</sup>, A. Vecchio <sup>i</sup>

<sup>a</sup> ENEA, SSPT, Roma, Italy

<sup>b</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy

<sup>c</sup> Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, University of Bologna, Italy

<sup>d</sup> Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, University "Aldo Moro", Bari, CONISMA, Italy

<sup>e</sup> Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, University of Cagliari, CONISMA, Italy

<sup>f</sup> IAMC-CNR Oristano, Italy

<sup>g</sup> Dipartimento di Geoscienze, University of Padova, Conisima, Italy

<sup>h</sup> Dipartimento di Matematica e Geoscienze, University of Trieste, CONISMA, Italy

<sup>i</sup> Lesia Observatoire de Paris, Section de Meudon 5, France

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 1 August 2016

Received in revised form

13 December 2016

Accepted 27 December 2016

##### Keywords:

Relative sea-level rise

Marine flooding

Climate change

2100 Coastline scenario

#### ABSTRACT

We depict the relative sea-level rise scenarios for the year 2100 from four areas of the Italian peninsula. Our estimates are based on the Ramshtorf (2007) and IPCC-AR5 reports 2013 for the RCP-8.5 scenarios ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) of climate change, adjusted for the rates of vertical land movements (isostasy and tectonics). These latter are inferred from the elevation of MIS 5.5 deposits and from late Holocene sea-level indicators, matched against sea-level predictions for the same periods using the glacio-hydro-isostatic model of Lambeck et al. (2011). We focus on a variety of tectonic settings: the subsiding North Adriatic coast (including the Venice lagoon), two tectonically stable Sardinia coastal plains (Oristano and Cagliari), and the slightly uplifting Taranto coastal plain, in Apulia. Maps of flooding scenarios are shown on high-resolution Digital Terrain Models mostly based on Lidar data. The expected relative sea-level rise by 2100 will change dramatically the present-day morphology, possibly affecting 5500 km<sup>2</sup> of coastal plains at elevations close to present-day sea level.

The subsequent loss of land will impact the environment and local planners and decision makers to take into account these scenarios for a long time. Our method developed for the Italian coast can be applied worldwide in other coastal areas affected by marine ingression due to global climate change.

#### 1. Introduction

Instrumental and observational data show that in the past two centuries global sea level has risen at faster rates than in the last two or three millennia (Veermer and Ramshtorf, 2009; Church

The recent report on global climate change (IPCC, 2013) has warned countries on the risk induced by global warming must be seriously considered. This is particularly true for coastal areas, where vulnerability and flooding hazard in the future will increase. The recent report on global climate change (IPCC, 2013) has warned countries on the risk induced by global warming must be seriously considered. This is particularly true for coastal areas, where vulnerability and flooding hazard in the future will increase. The recent report on global climate change (IPCC, 2013) has warned countries on the risk induced by global warming must be seriously considered. This is particularly true for coastal areas, where vulnerability and flooding hazard in the future will increase.

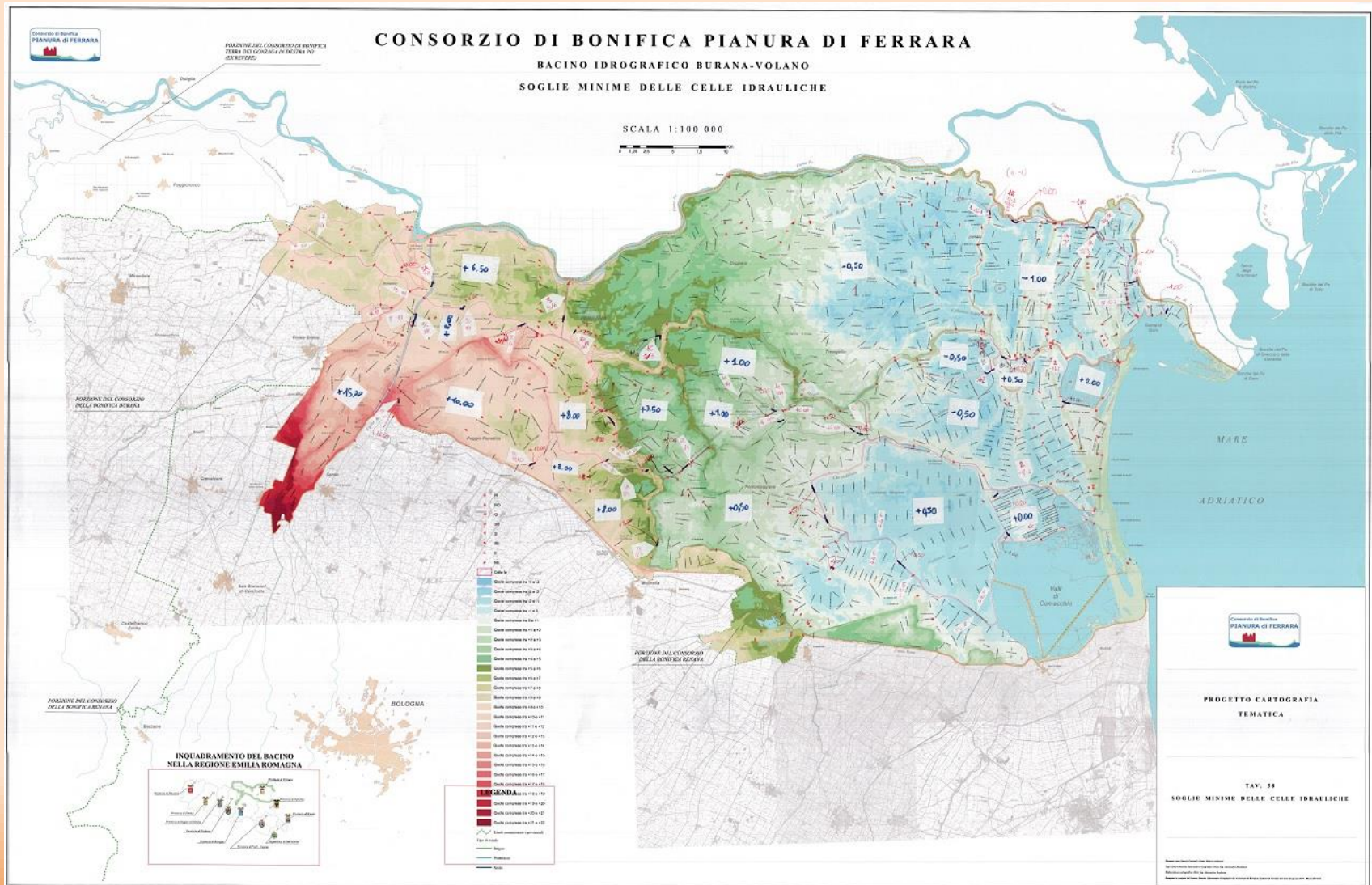
Seminario “La difesa del territorio da inondazioni ed erosione”  
Bologna, 11 settembre 2019

L'importanza della quota in un territorio sotto il livello del mare

DELTAMED  
FONDAZIONE CA' VENDRAMIN  
CONSORZIO DI BONIFICA DELTA DEL PO  
CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA  
CONSORZIO DI BONIFICA VENETO ORIENTALE  
PARCO REGIONALE VENETO DEL DELTA DEL PO



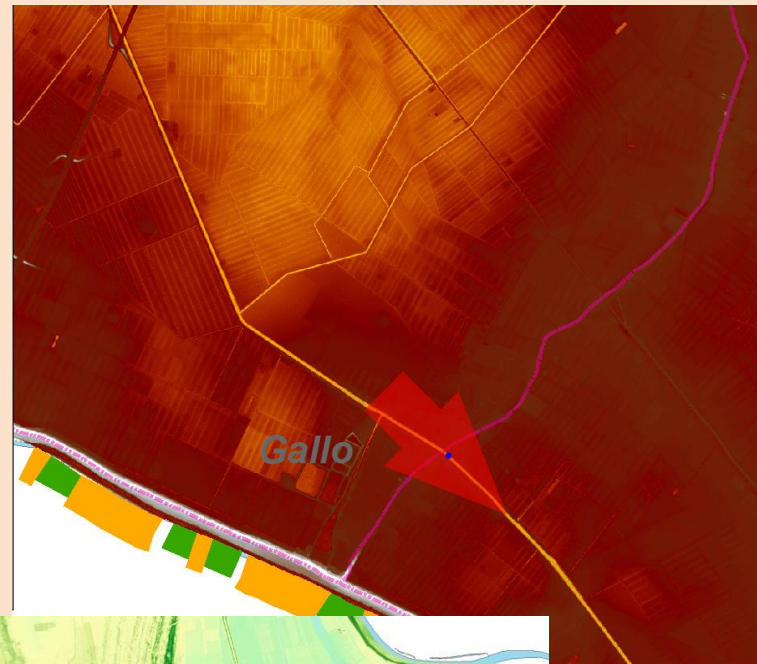
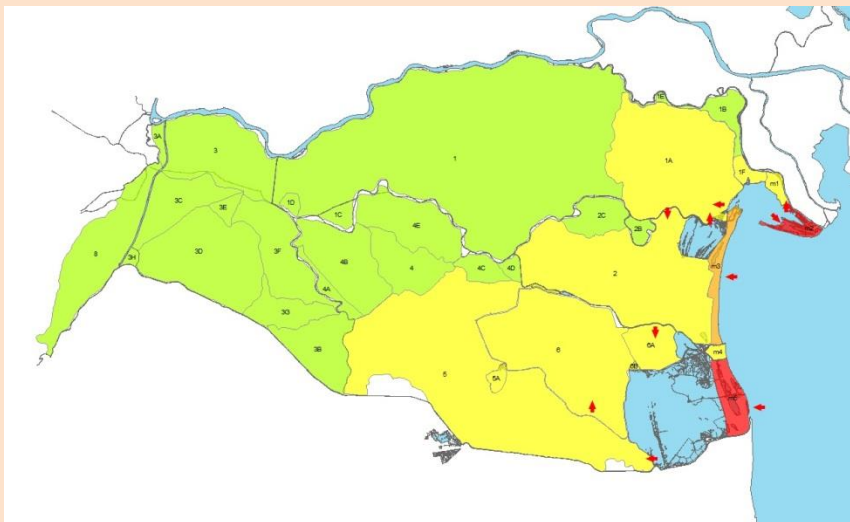
EUSTATISMO - Il territorio ferrarese è particolarmente fragile – oltre il 44% sotto il livello medio marino - Subsidenza ed eustatismo – quali possono essere gli effetti?



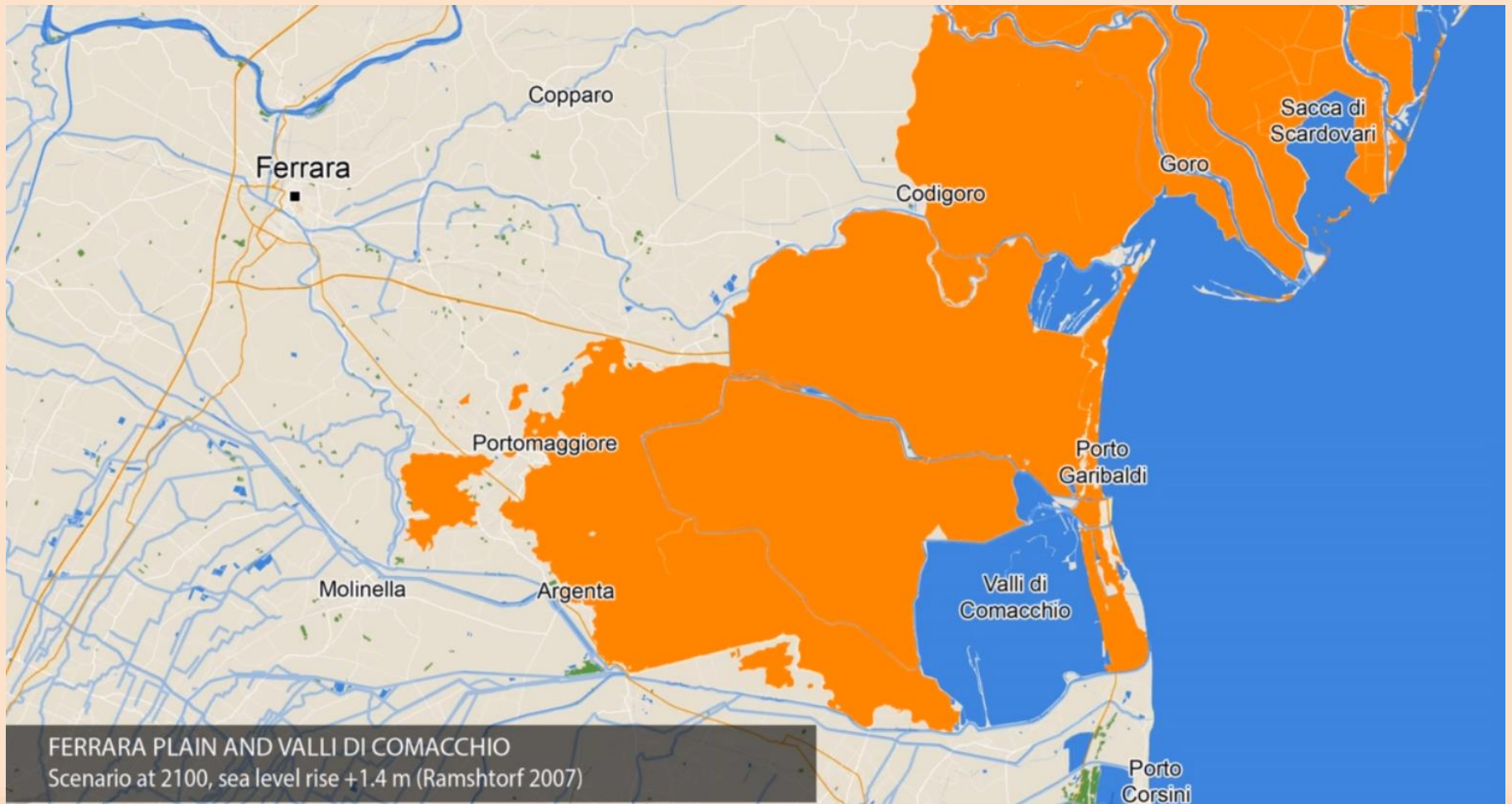
# Seminario “La difesa del territorio da inondazioni ed erosione” Bologna, 11 settembre 2019



L'importanza della quota in un territorio sotto il livello del mare









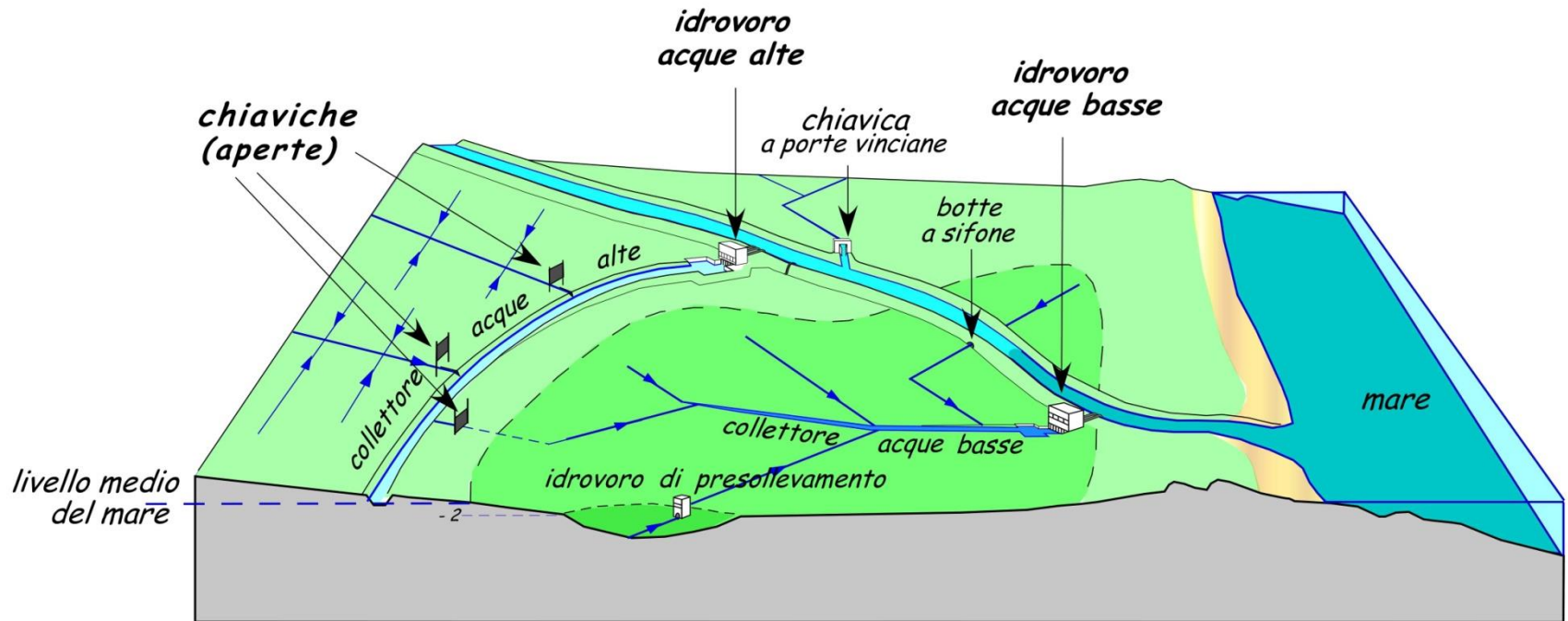
100 ANNI DI GRANDI CAMBIAMENTI: COME STA OGGI IL NOSTRO TERRITORIO?

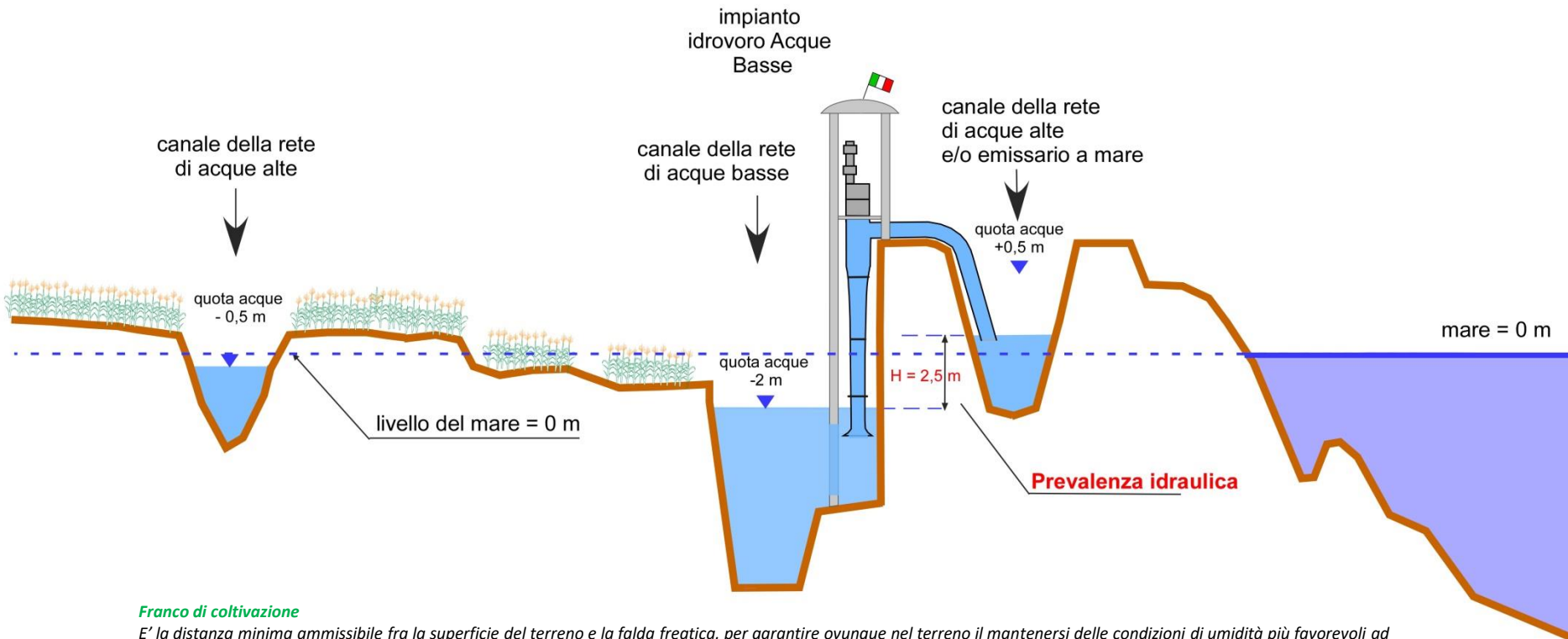


## 4 - SUBSIDENZA ED EUSTATISMO QUANTO COSTANO?

## 4 – Subsidenza ed eustatismo – Quanto ci costano?

### GESTIONE IDRAULICA DI UN TERRITORIO - RETE DI SCOLO





### Franco di coltivazione

È la distanza minima ammissibile fra la superficie del terreno e la falda freatica, per garantire ovunque nel terreno il mantenersi delle condizioni di umidità più favorevoli ad ogni singola coltura. In Italia si adottano normalmente i seguenti valori: prati naturali e cereali 50 – 60 cm; mais 70 cm; colture legnose 1 m.

### Franco di bonifica

È il dislivello che in tempo normale deve esistere fra la superficie del terreno e l'acqua nei fossi.

Il franco di bonifica è in genere superiore di 30 – 40 cm rispetto al franco di coltivazione, essendo di tale misura l'abbassamento che la falda freatica subisce per effetto dei fossi drenanti, rispetto alla maggiore elevazione della falda stessa in mezzeria fra due fossi contigui.

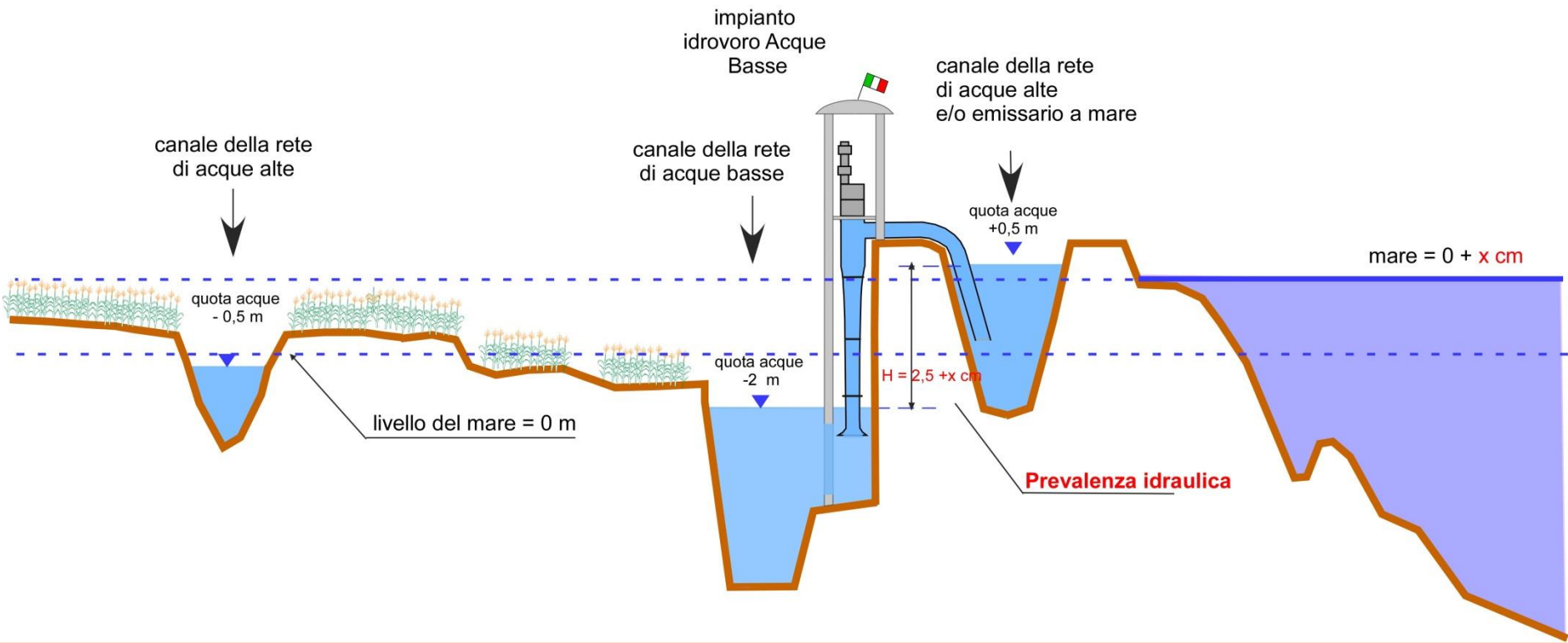
### Zero di bonifica

È il livello al quale devono essere mantenute le acque nella vasca di aspirazione delle idrovore perché il profilo liquido nei canali corrisponda al franco di bonifica.

### Zero di valle

È il livello minimo alla bocca di aspirazione della pompa, adottato per lo stacco delle pompe in grado di garantire il mantenimento dello zero di bonifica nei terreni circostanti l'area drenata dall'impianto.

Al di sotto di questo livello si ritiene inutile il funzionamento delle pompe perché l'abbassamento già ottenuto nella falda freatica è sufficiente a garantire il franco di coltivazione. Un'ulteriore abbassamento del livello dell'acqua nella rete porterebbe ad un franco di coltivazione eccessivo, con conseguenza di carenza d'acqua agli apparati radicali delle piante.



# 4 - Subsidenza ed eustatismo, quanto ci costano?

## Energia per scolo acque

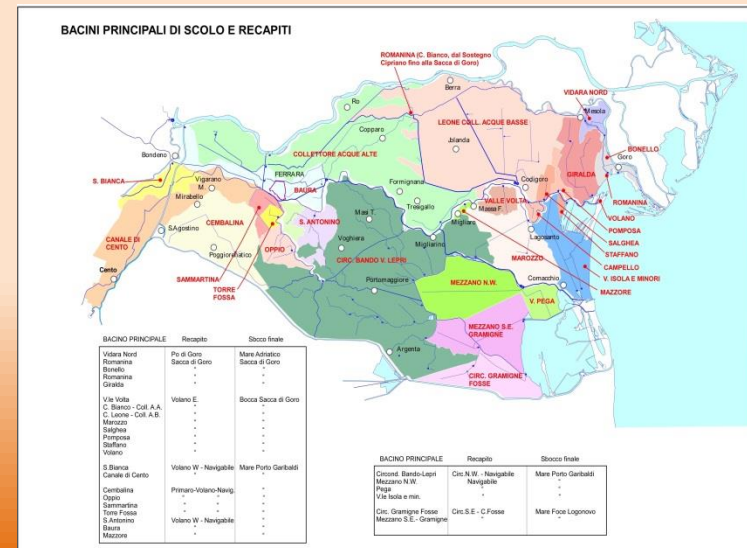
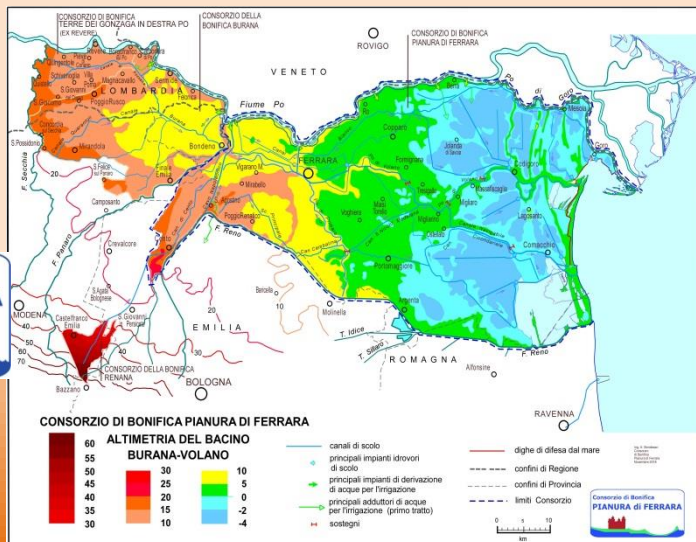
$$E_0 = m \cdot g \cdot h = 1.257 \cdot 10^9 \text{ [kg]} \cdot 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \cdot 4,42 \text{ m} = 54.541 \cdot 10^9 \text{ [kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\text{]} = 15,150 \times 10^6 \text{ Kwh}$$

Facendo variare di + 10 cm il dislivello fra territorio e la quota del mare si avrà:

$$E_1 = m \cdot g \cdot (h+dh) = 1.257 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (4,42+0,1) \text{ m} = 55.774 \cdot 10^9 \text{ J} = 15,493 \times 10^6 \text{ Kwh}$$

Ultimi 10 anni di registrazione (2009-2019) del mareografo Gari: +9,4 cm rispetto al Datum nazionale

Supponiamo si verifichi un ulteriore +10 cm nei prossimi 10 anni (e che il fenomeno si arresti), quali saranno gli oneri nei successivi 10 anni?



## Effetti di subsidenza ed eustatismo

Superficie a sollevamento meccanico ha ~ 198.000 (su 256.715 ha totali) Costo unitario €/ha annuo ~ 27

$E_1 - E_0 = (15,150 - 15,493) \cdot 10^6 = 1.233 \cdot 10^9 \text{ J} = 342.444 \text{ Kwh}$  (energia in più richiesta)

Con una variazione percentuale di energia pari a  $\Delta E\% = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \cdot 100 = 2,26 \%$

Aumento degli oneri di sollevamento per lo scolo

Variazione onere annuo =  $3,917 \cdot 10^6 \text{ €} \cdot 0,0226 = 88.535 \text{ €}$ , pari a circa 0,89 milioni di euro in energia elettrica di onere aggiuntivo cumulato nei prossimi dieci anni.



# Le sei risposte

1 – Com'è cambiato il territorio nel passato?

Avanzamento progressivo della linea di costa

3 – Le variazioni future asseconderanno le tendenze del passato?

No, siamo di fronte ad un cambiamento epocale, (se ne sono verificati altri nel passato).

E' necessario cambiare alcune strategie per difenderci dall'ingressione del mare e del cuneo salino.

4 – Subsidenza ed eustatismo, quali sono oggi i valori di velocità?

Subsidenza tra i 2 e i 7 mm/anno – Eustatismo 100 mm negli ultimi 10 anni (non distribuito linearmente dal punto di vista temporale)

5 – I movimenti verticali del suolo, sono distribuiti in modo omogeneo o ci sono picchi?

Sono distribuiti in modo disomogeneo, maggiore abbassamento sulla costa

6 – Subsidenza ed eustatismo, quanto ci costano a Ferrara?

Oltre un milione di euro in energia elettrica in 10 anni.

Contatti:

Ing. Alessandro Bondesan  
alessandro.bondesan@bonificaferrara.it , 0532/218265  
Ferrara, via Mentana 3

Tecnici:

Geom. Bruno Desiderati  
Dott. Nicola Astolfi  
Geom. Michele Cavallini  
Geom. Stefano Giordani  
Ing. Yuri Taddia  
P.I. Carlo Alberto Pasqualini  
P.A. Cesare Orsoni