



Cartografia numerica e moderni strumenti di rilevamento per misurare  
un territorio che cambia

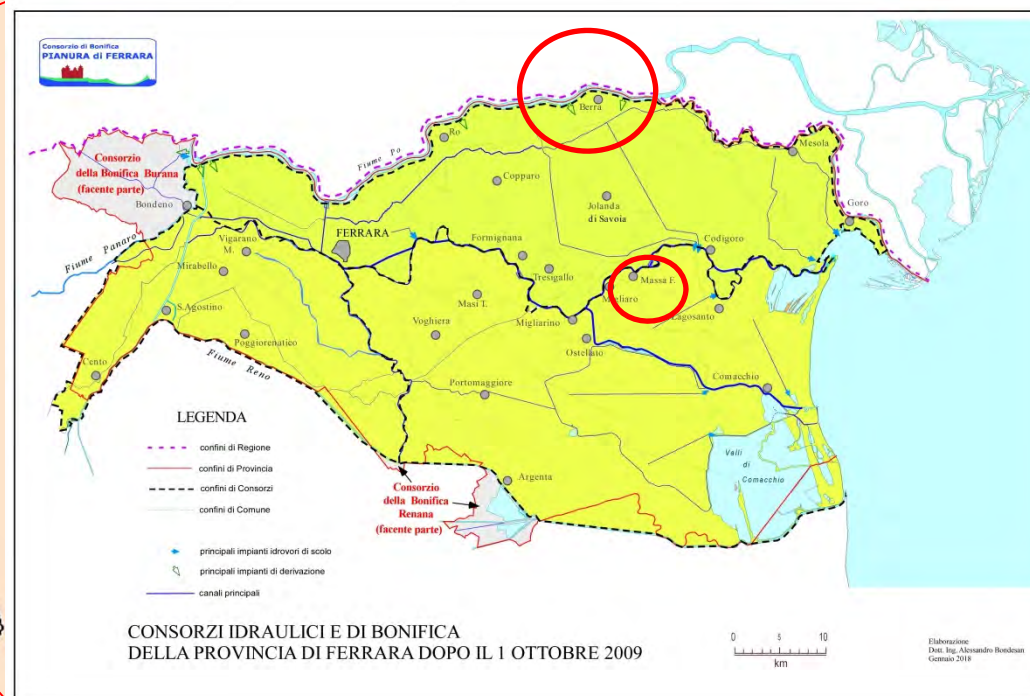
*ING. ALESSANDRO BONDESAN*  
*CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA*

**CICLO LEZIONI «ACQUA, UNA RISORSA SEMPRE PIU' PREZIOSA»**

**14 OTTOBRE 2022**

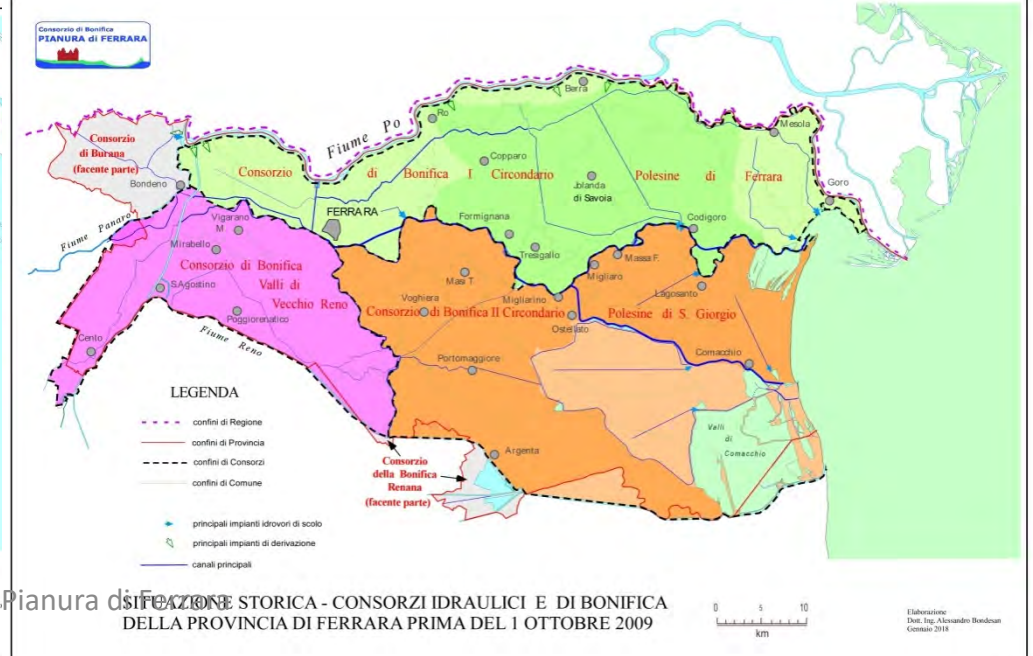
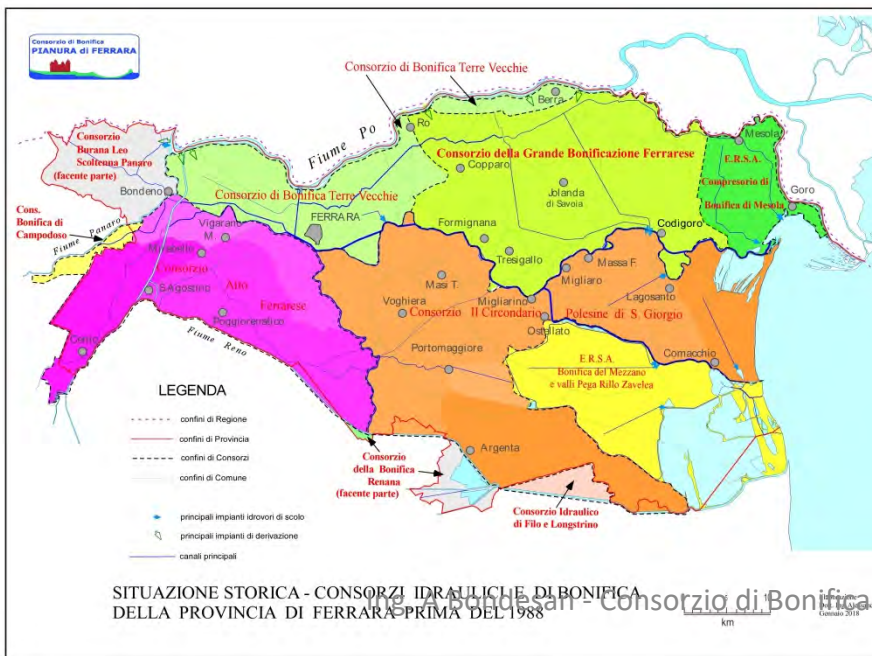
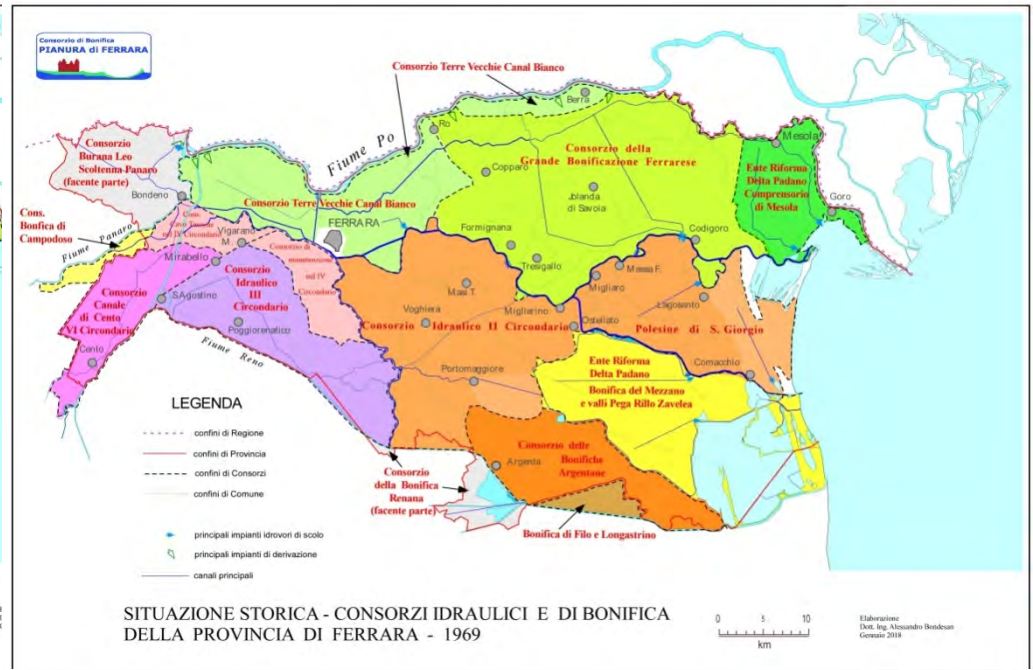
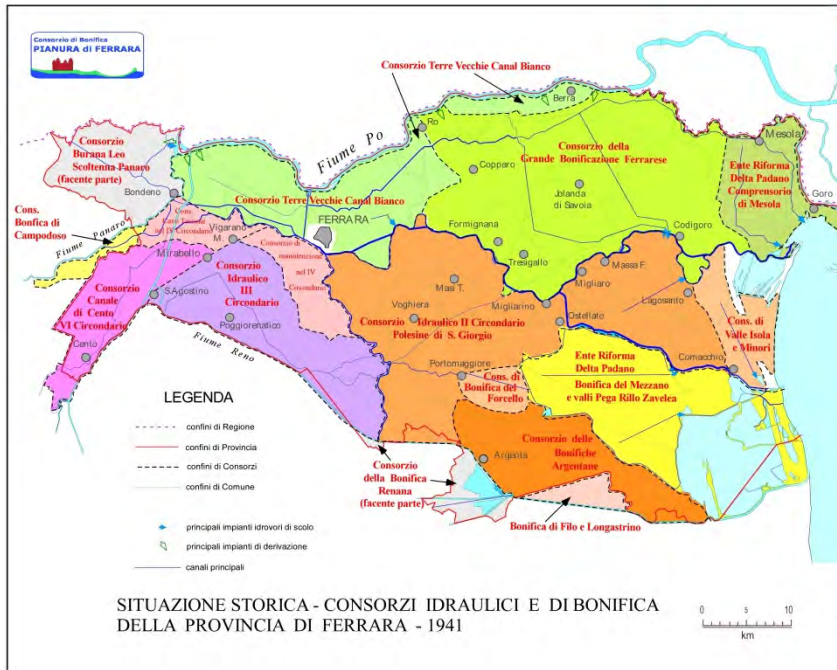
**Superficie CBPF 256.733 ha; 4208 km di canali**

**Oltre 160 impianti idrovori – 1510 milioni di mc acqua sollevata**





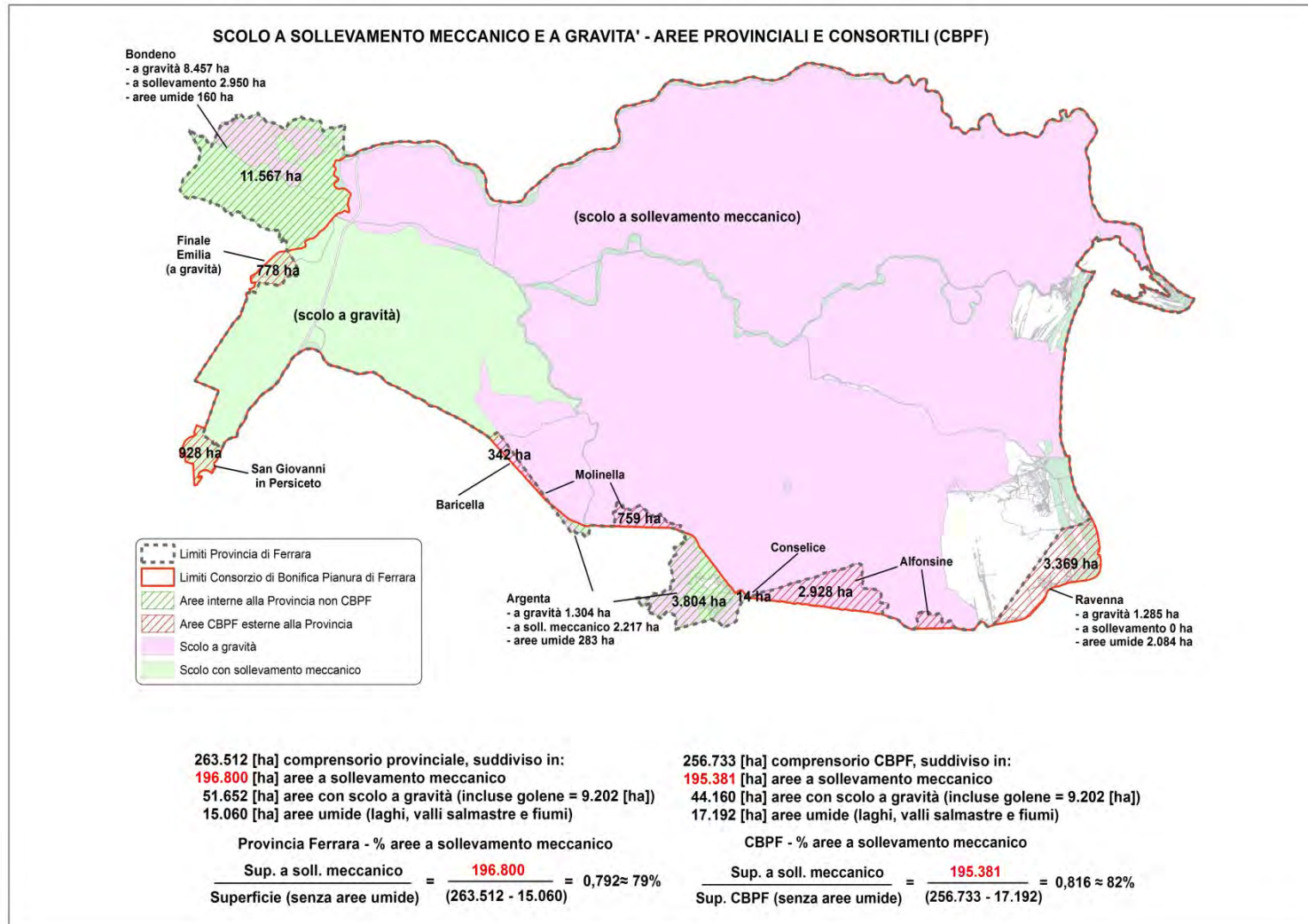




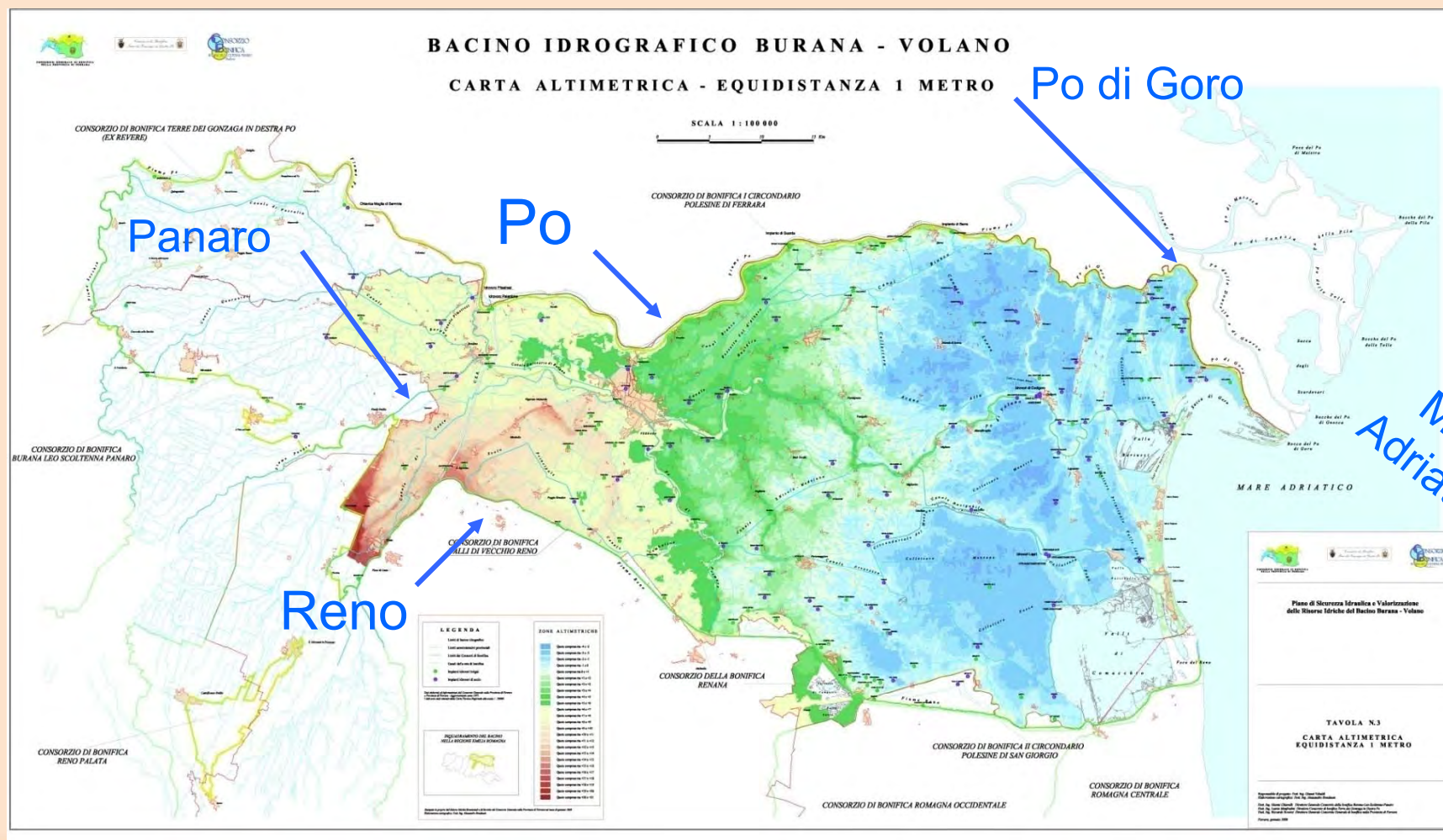


## Il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara incontra il mondo professionale dei Geometri

Strumentazione di rilevamento e cartografia numerica in utilizzo al Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara



# Caratteristiche del Comprensorio





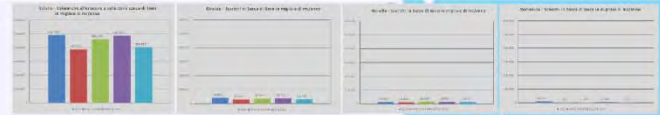




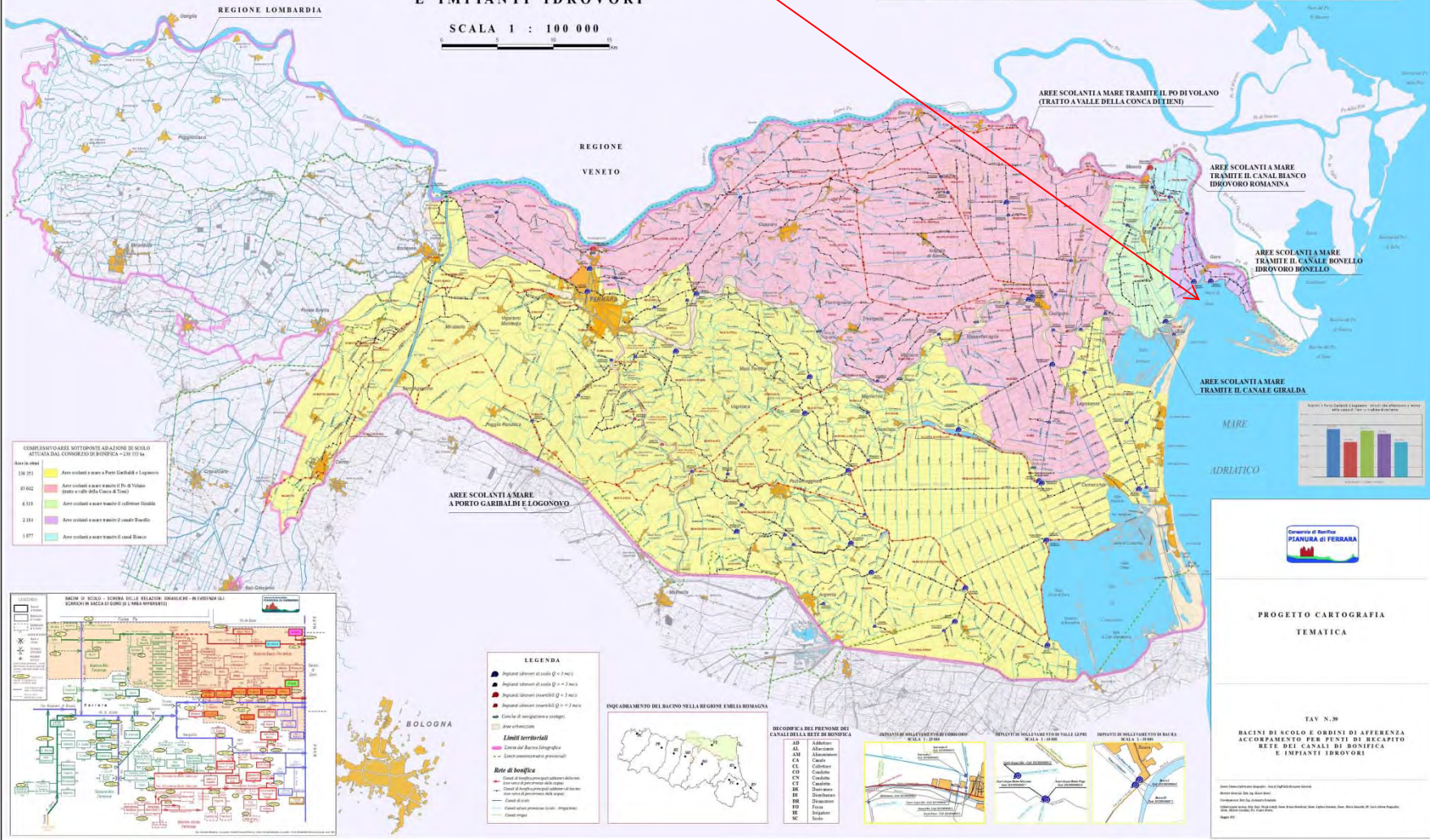


# CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

## BACINI DI SCOLO E ORDINI DI AFFERENZA ACCORPAMENTO PER PUNTI DI RECAPITO RETE DEI CANALI DI BONIFICA E IMPIANTI IDROVORI

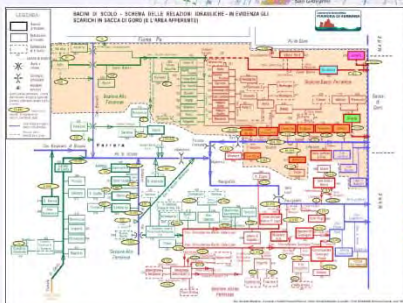


SCALA 1 : 100 000



COMPRESIVE AREE SOTTOPOSTE AD AZIONE DI SCOLO ATTUALE DAL CONSORZIO DI BONIFICA - 210 113 ha

Aree (ha)	Descrizione
136 351	Aree scolanti a mare a Porto Garibaldi e Logonovo
37 602	Aree scolanti a mare a mare di Po di Volano (entro e oltre il Canal Bianco)
4 139	Aree scolanti a mare tramite il canale Giralda
2 184	Aree scolanti a mare tramite il canale Bonello
1 977	Aree scolanti a mare tramite il canale Bianco

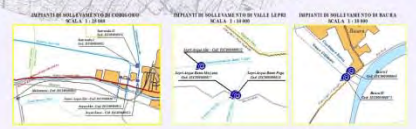


- LEGENDA**
- Puntuali idrovori di scolo Q = 1 mc/s
  - Puntuali idrovori di scolo Q = 2 mc/s
  - Puntuali idrovori invertebrati Q = 3 mc/s
  - Puntuali idrovori invertebrati Q = 7 mc/s
  - Canali di navigazione e pompaggio
  - Area urbanizzate
- Linee idrovoristiche**
- Canali di Bonifica
  - Canali amministrativi provinciali
- Note di bonifica**
- Canali di scolo propri del Consorzio di Bonifica
  - Canali di scolo propri di altri Consorzi di Bonifica
  - Canali di scolo propri di altri enti
  - Canali di scolo propri di altri enti
  - Canali di scolo propri di altri enti
  - Canali di scolo propri di altri enti



ACCORDIA DEL PERIODO DEI  
CANALI DELLA RETE DI BONIFICA

AD	Adriatico
AL	Alghero
AM	Alghero
CA	Cagliari
CL	Cagliari
CO	Cagliari
CR	Cagliari
CS	Cagliari
DI	Di
DO	Di
FE	Ferrara
GE	Genova
MC	Matera
ME	Messina
MI	Milano
MO	Modena
NA	Napoli
NO	Novara
OR	Oristano
OT	Oristano
PA	Palermo
PR	Parma
RA	Ravenna
RE	Reggio Emilia
RM	Roma
SA	Salerno
SI	Siena
SP	Sardegna
SR	Sardegna
SS	Sardegna
SV	Sardegna
TA	Taranto
TE	Teramo
TR	Taranto
TS	Trento
TU	Torino
UD	Udine
VA	Verona
VC	Vercelli
VE	Venezia
VI	Verona
VN	Venezia
VR	Verona
VS	Venezia
VT	Viterbo
VO	Voghera
VV	Vibo Valentia



PROGETTO CARTOGRAFIA  
TEMATICA

TAV. N. 29  
BACINI DI SCOLO E ORDINI DI AFFERENZA  
ACCORPAMENTO PER PUNTI DI RECAPITO  
RETE DEI CANALI DI BONIFICA  
E IMPIANTI IDROVORI

Consorzio di Bonifica  
Pianura di Ferrara  
Via S. Maria Maddalena, 10 - 44018 Ferrara (FE)  
Tel. 0532/421111 - Fax 0532/421112  
E-mail: info@cbpferrara.it  
www.cbpferrara.it



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

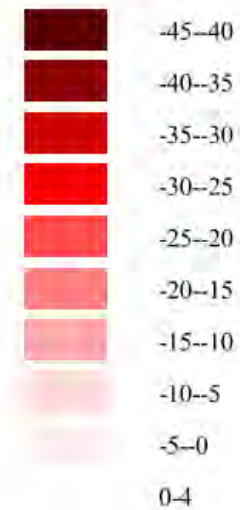
-  Limiti di bacino idrografico
-  Limiti amministrativi provinciali
-  Limiti dei Consorzi di Bonifica
-  Canali della rete di bonifica
-  Impianti idrovori irrigui
-  Impianti idrovori di scolo

*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 Vimari).  
Pubblicazione dati: maggio 2007*

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



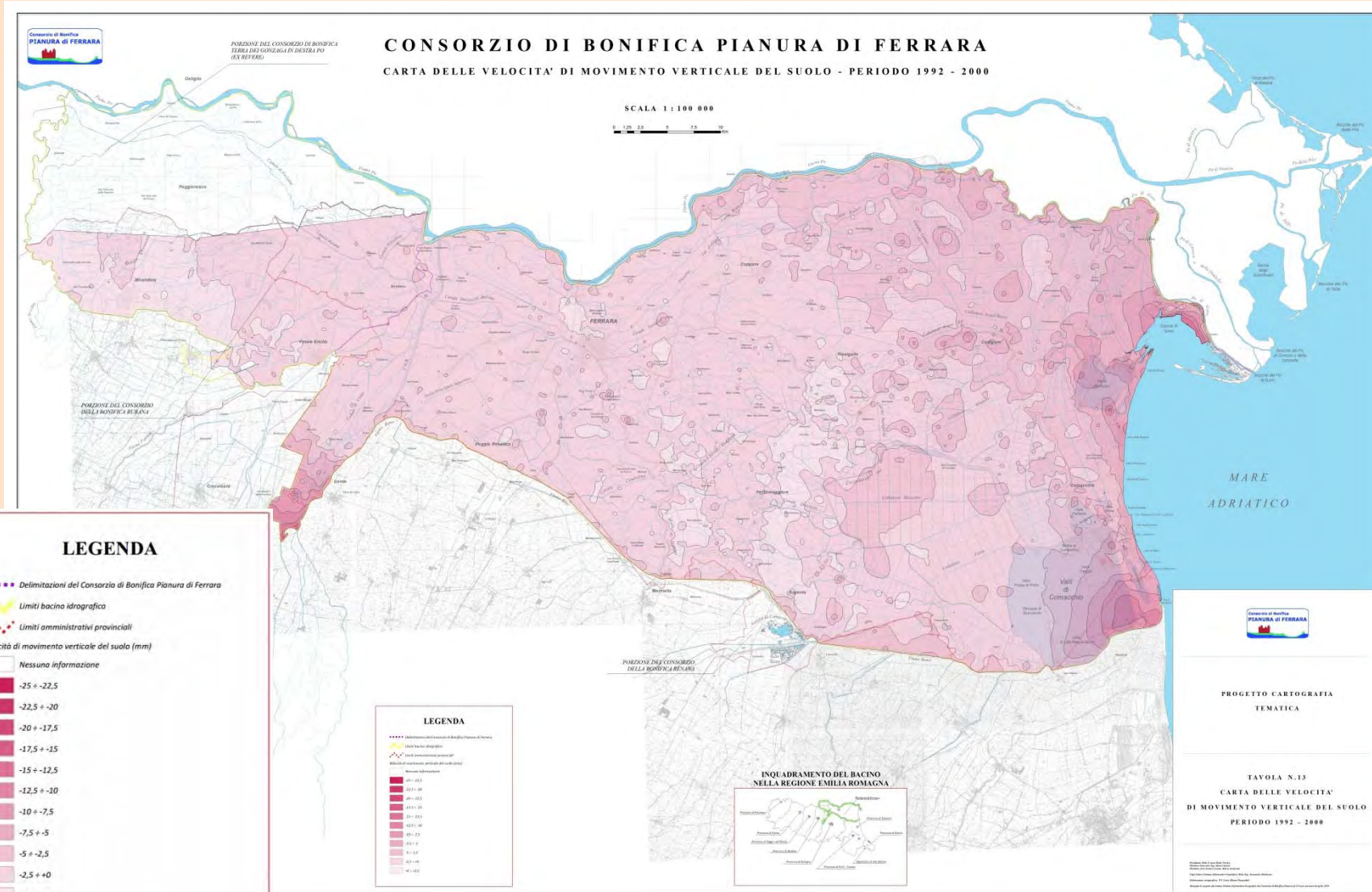
*La legenda riporta il range di valori rilevati nell'area della Regione Emilia Romagna*

### INQUADRAMENTO DEL BACINO NELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA



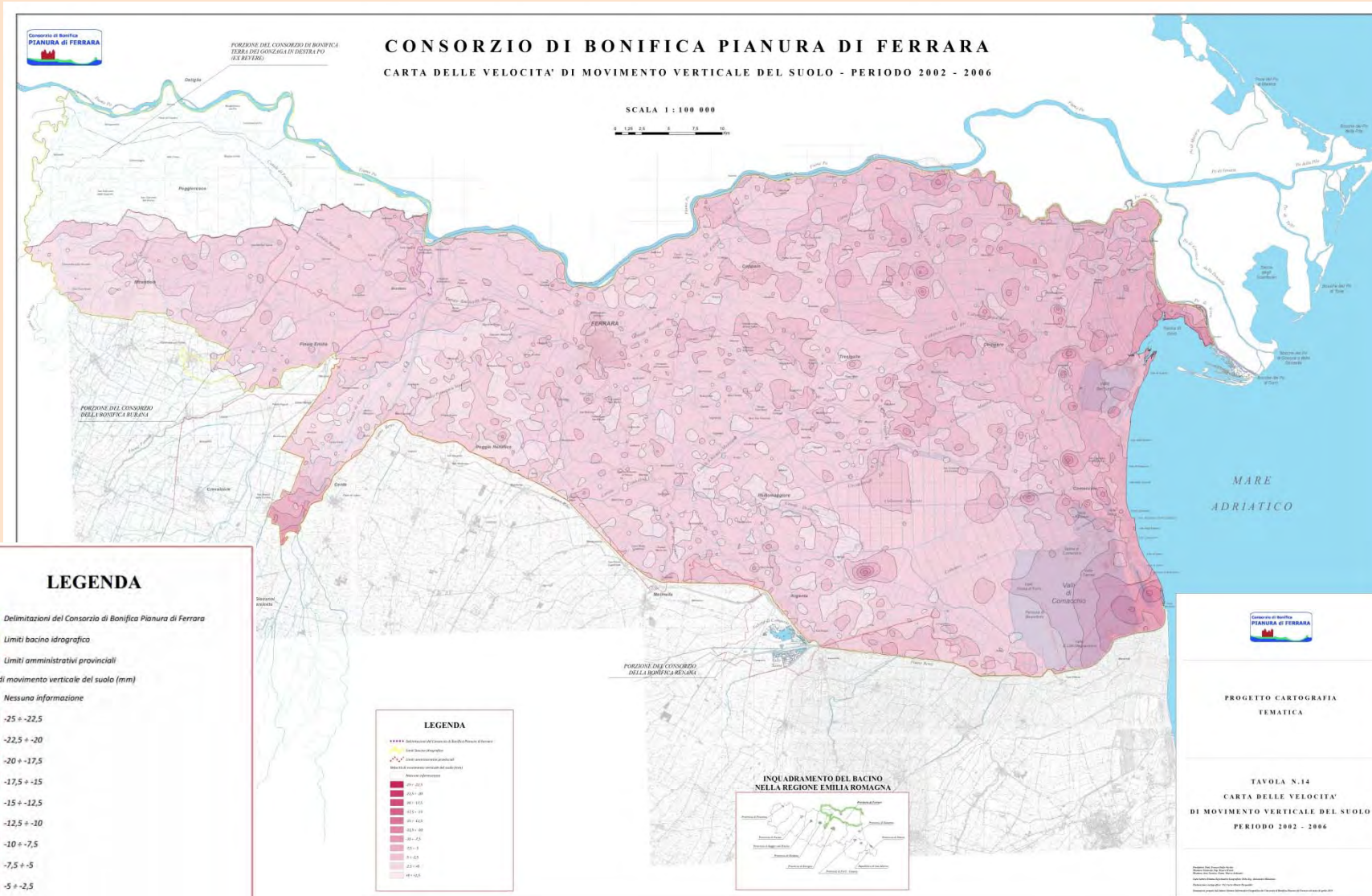
# La subsidenza ha distribuzione omogenea?

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)

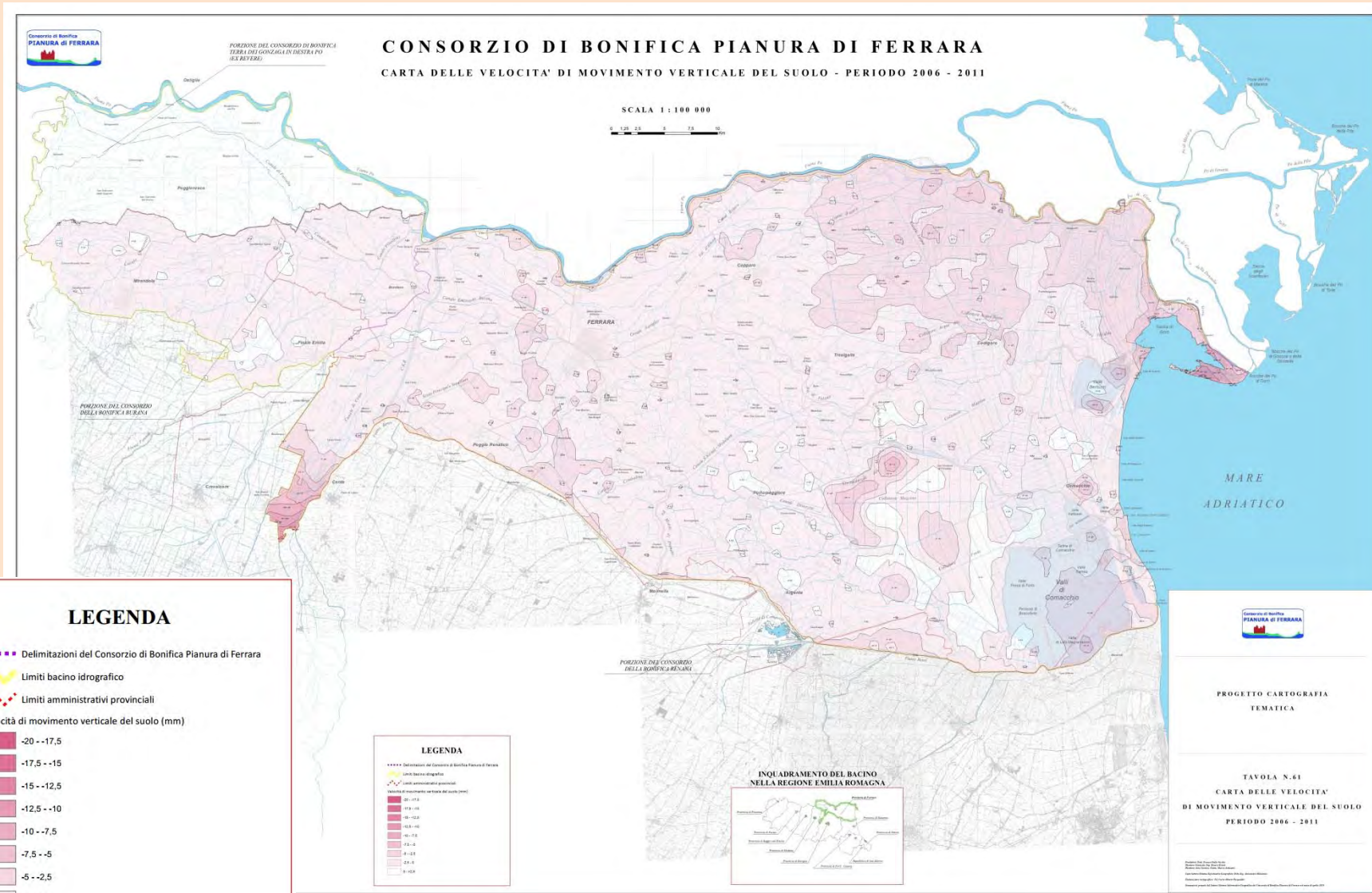




## Cartografie relative allo studio della subsidenza del territorio ferrarese (2002 – 2006)

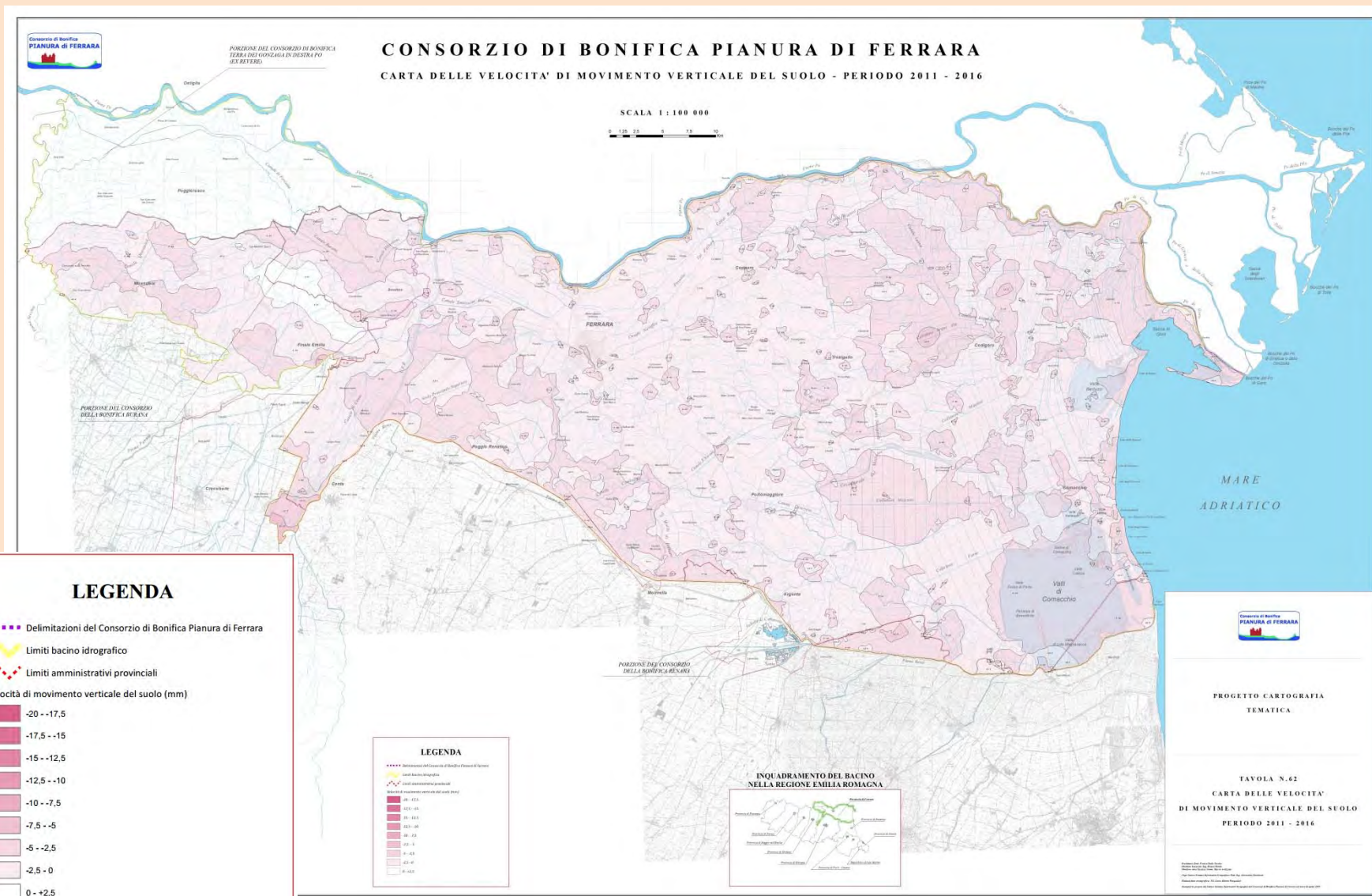


# Cartografie relative allo studio della subsidenza del territorio ferrarese (2006 – 2011)





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



**Velocità di abbassamento del suolo 1999-2005**

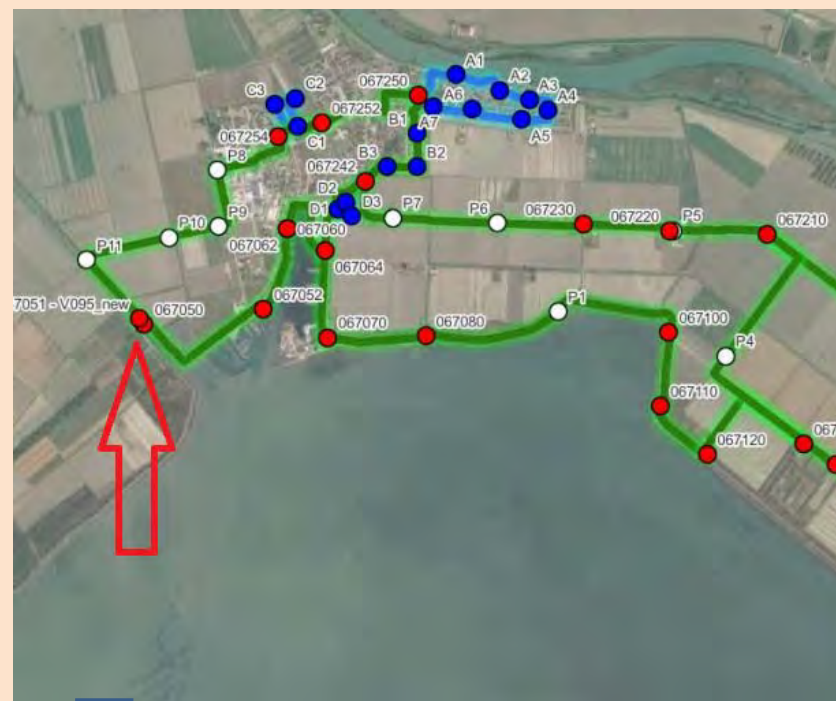
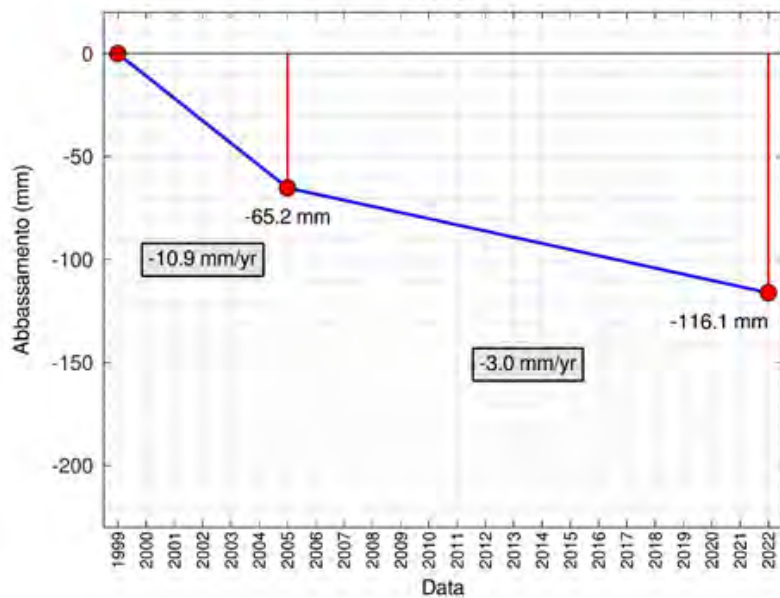




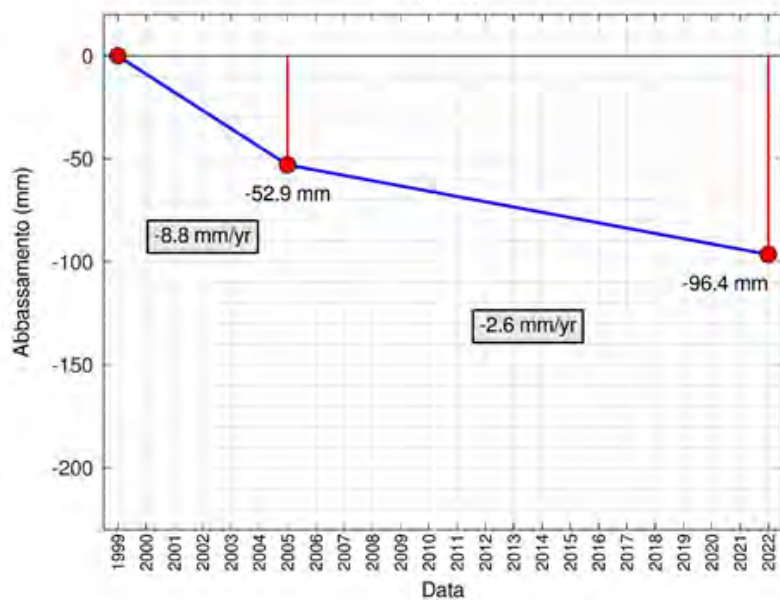
### Velocità di abbassamento del suolo 2005-2022



**Abbassamento verticale del caposaldo  
067050**



**Abbassamento verticale del caposaldo  
067060**

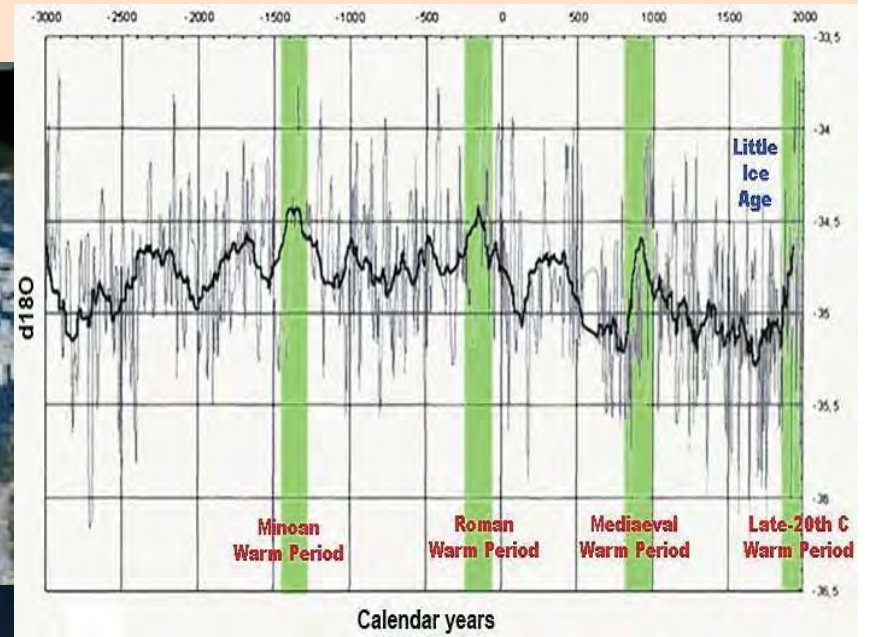




100 ANNI DI GRANDI CAMBIAMENTI: COME STA OGGI IL NOSTRO TERRITORIO?



## 3 - EUSTATISMO



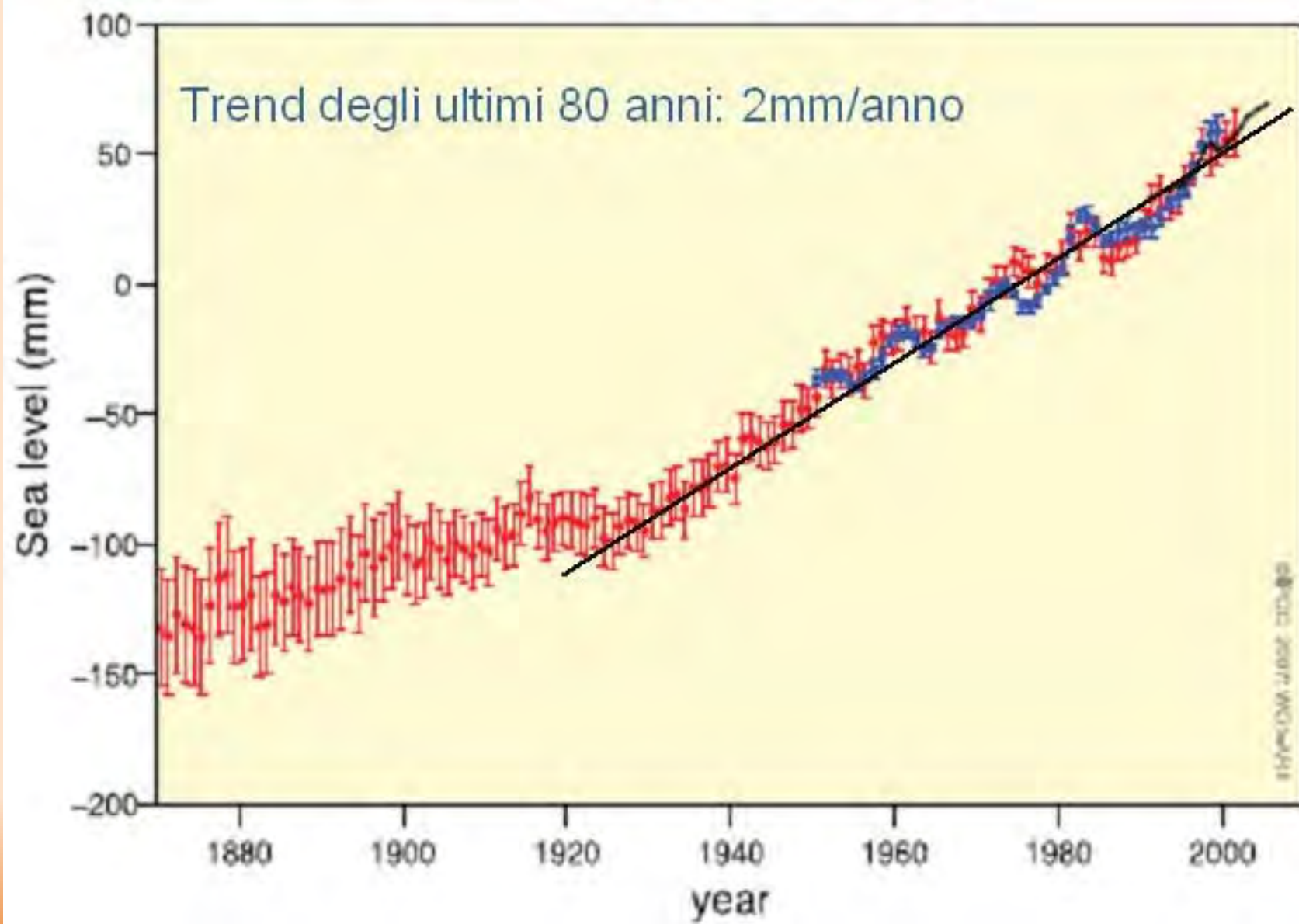
COME STA OGGI  
IL NOSTRO TERRITORIO?

Riscaldamento globale  
Dati IPCC  
Intergovernmental Panel on  
Climate Change



IPCC AR4

## GLOBAL MEAN SEA LEVEL



## 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

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

Quaternary Science Reviews 158 (2017) 29–43

Contents lists available at ScienceDirect

**Quaternary Science Reviews**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/quascirev](http://www.elsevier.com/locate/quascirev)

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>d</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, SSPI, 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> Leski 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 Rahmstorf (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, posing a threat to 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 coastal areas that will be affected by marine ingression due to global climate change.

**1. Introduction**

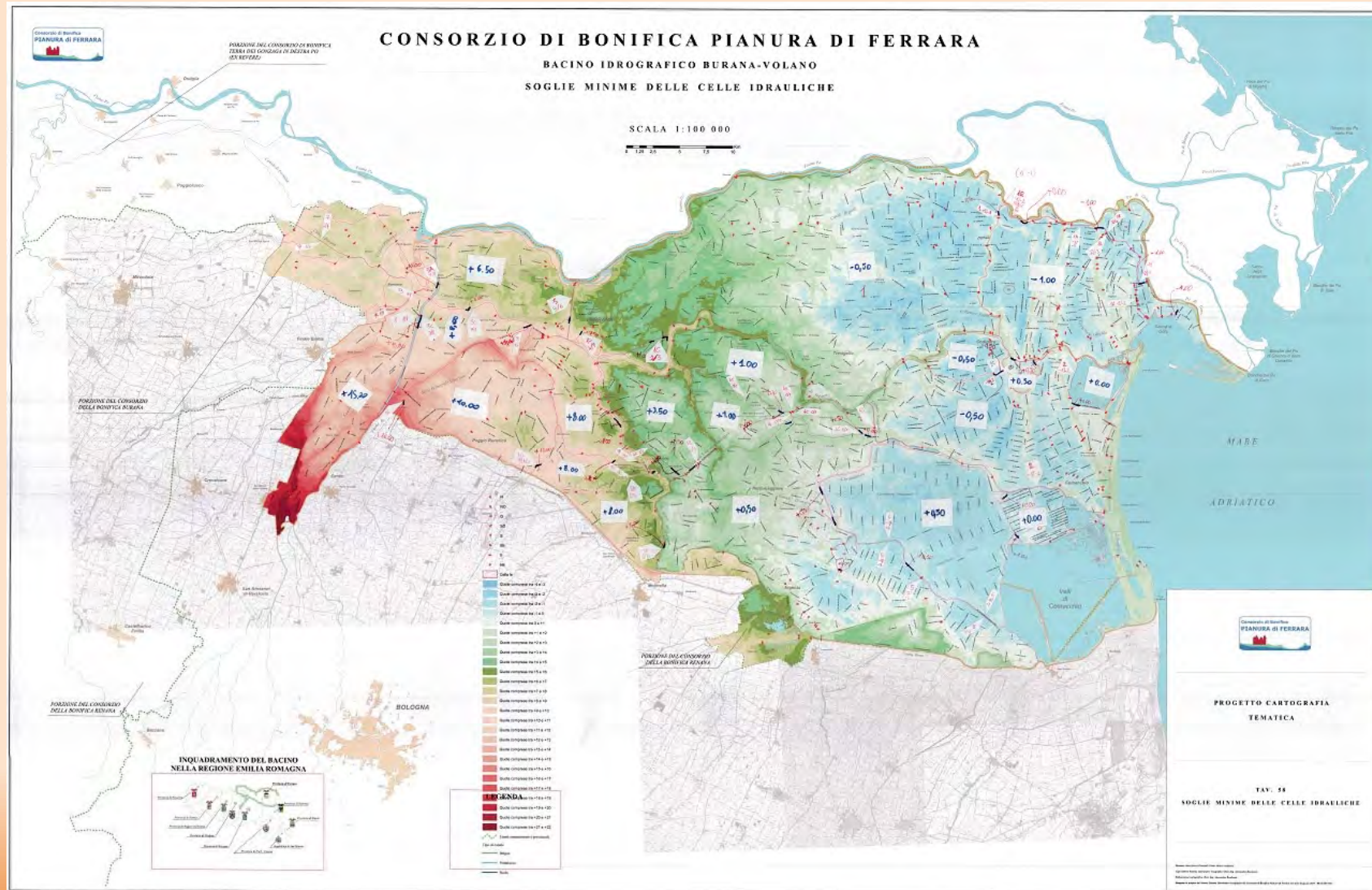
The recent report on global climate change has warned countries on the risk induced by sea-level rise. Instrumental and observational data show that in the past two centuries global sea level has risen at faster rates than in the last two or three millennia (Veermer and Rahmstorf, 2009; Church and Woodworth, 2013). The recent report on global climate change has warned countries on the risk induced by sea-level rise. 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 Rahmstorf, 2009; Church and Woodworth, 2013).

**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?

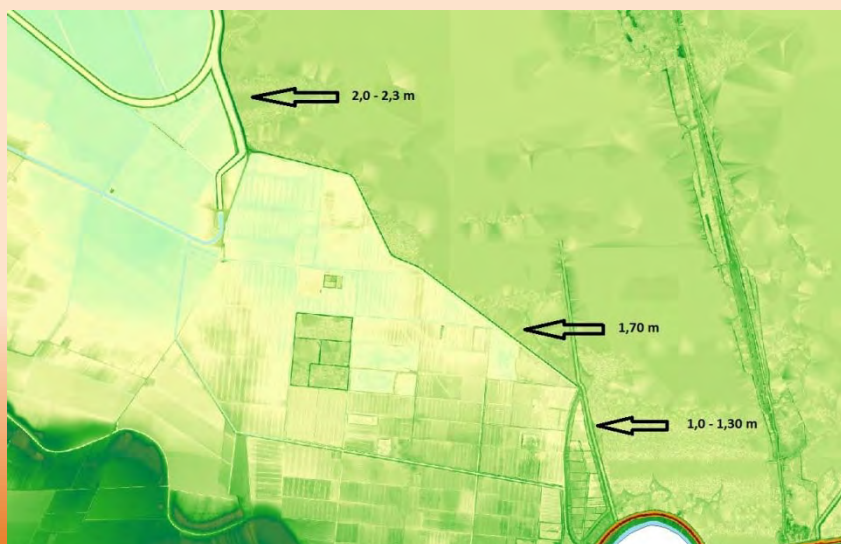
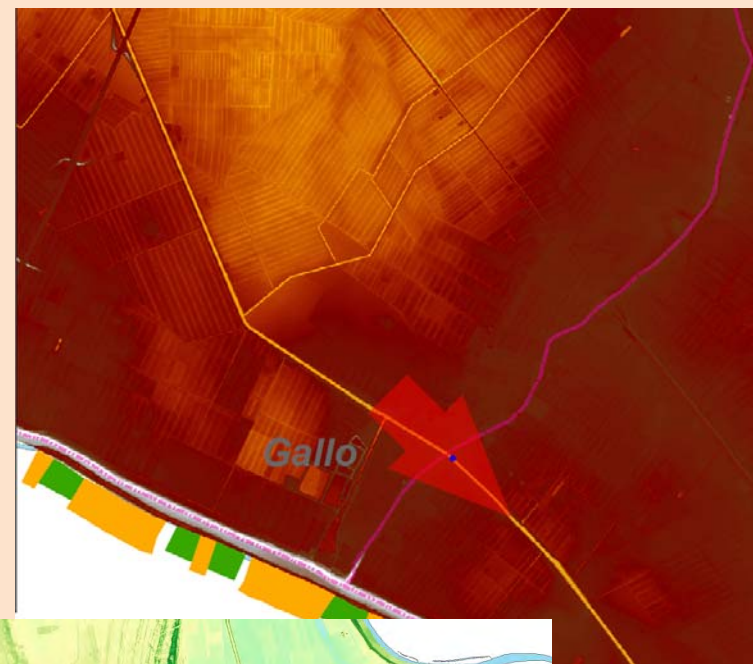
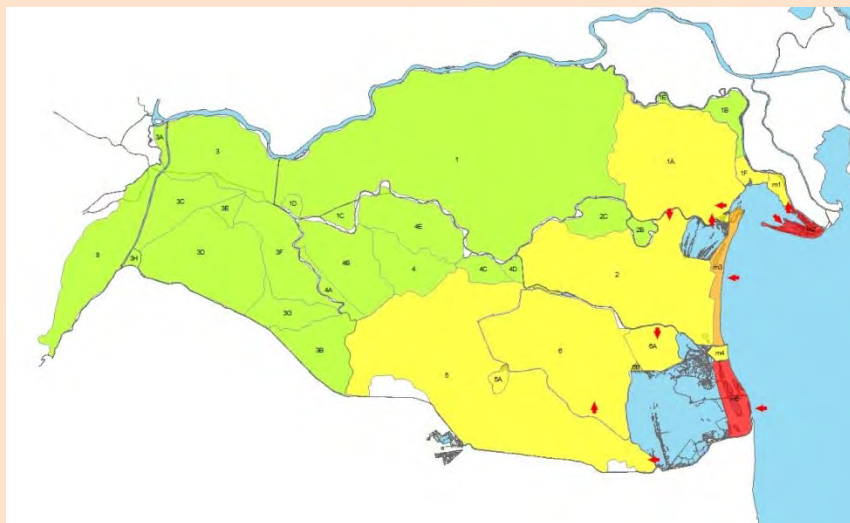


Ing. Alessandro Bondesan - Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara

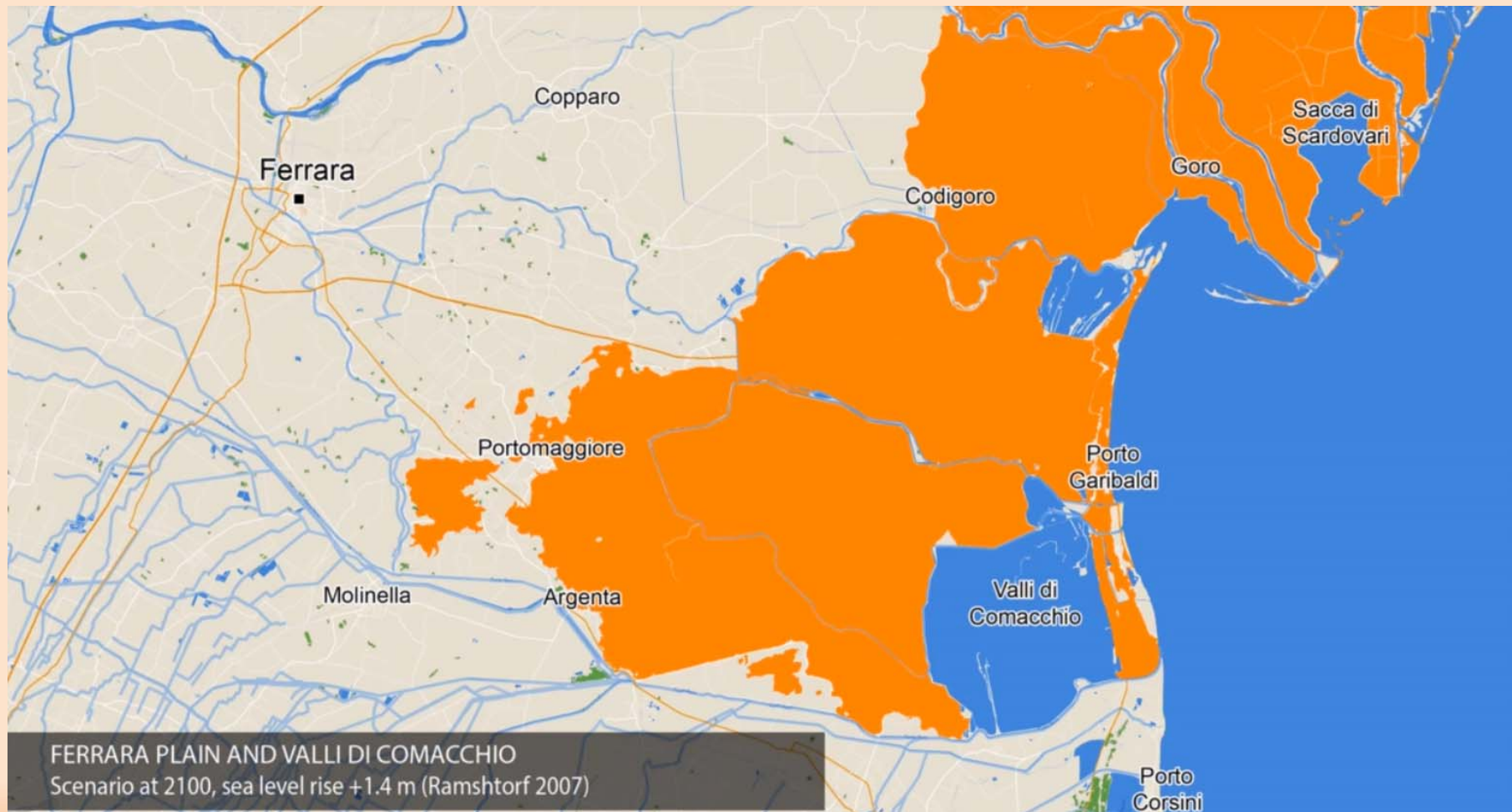
Seminario “La difesa del territorio da inondazioni ed erosione”  
Bologna, 11 settembre 2019



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









FERRARA PLAIN AND VALLI DI COMACCHIO  
Scenario at 2100, sea level rise +1.4 m (Ramshtorf 2007) and river dikes failure



# 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, quasi 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.

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

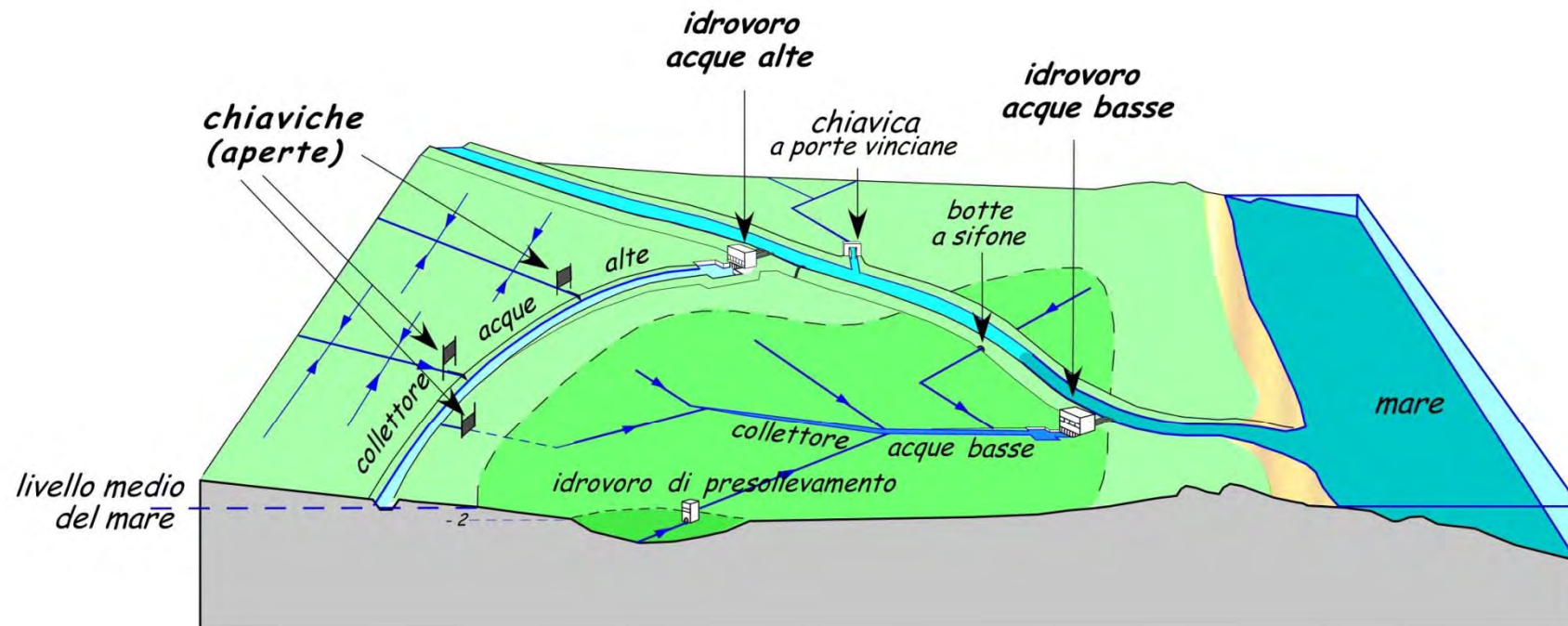


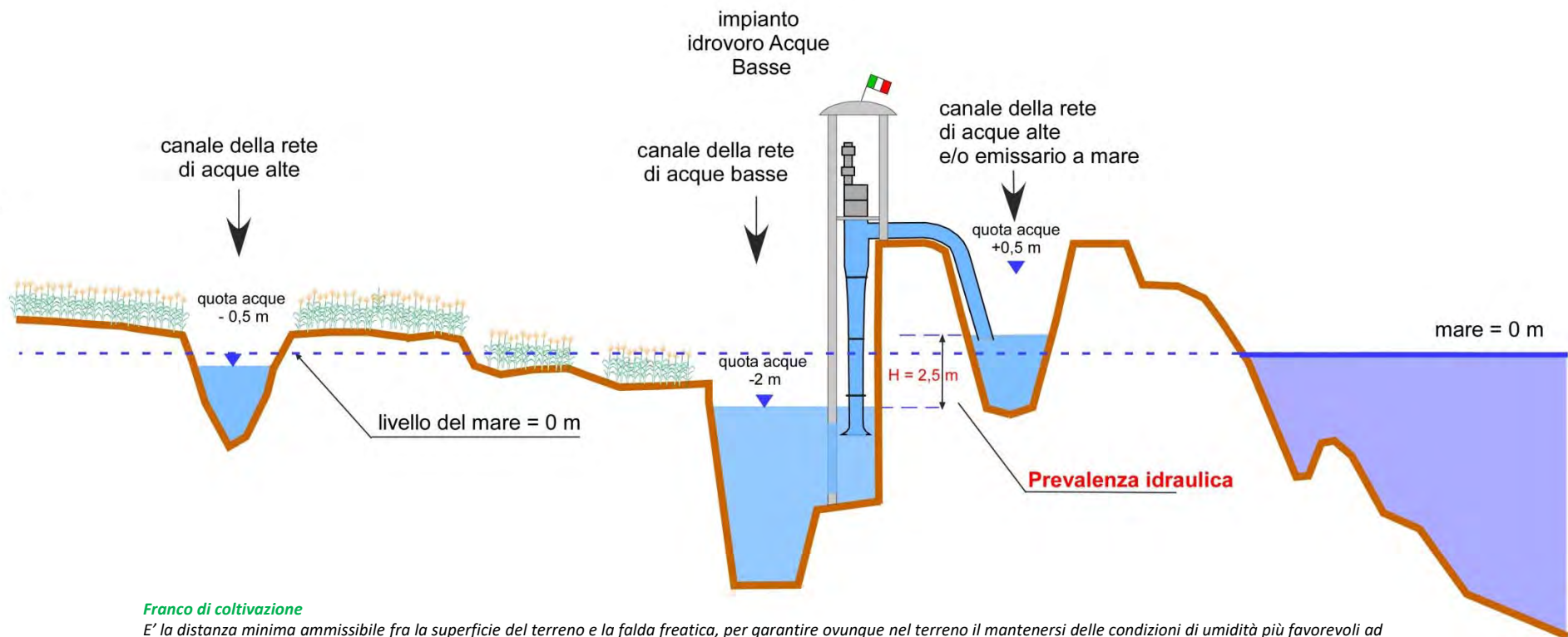
## 4 - SUBSIDENZA ED EUSTATISMO QUANTO COSTANO?



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

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





#### **Franco di coltivazione**

*E' 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**

*E' 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**

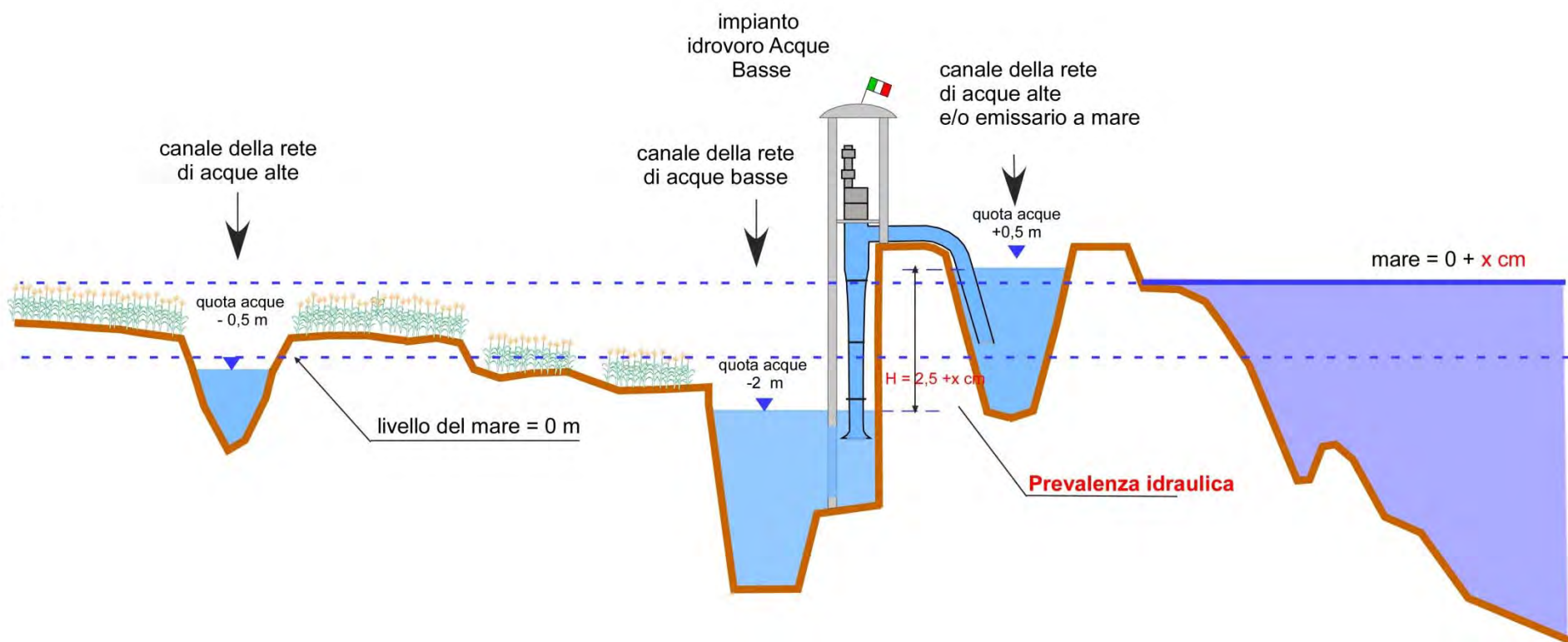
*E' il livello al quale devono essere mantenute le acque nella vasca di aspirazione delle idrovore perché il profilo liquido nei canali corrisponda al franco di bonifica.*

#### **Zero di valle**

*E' 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

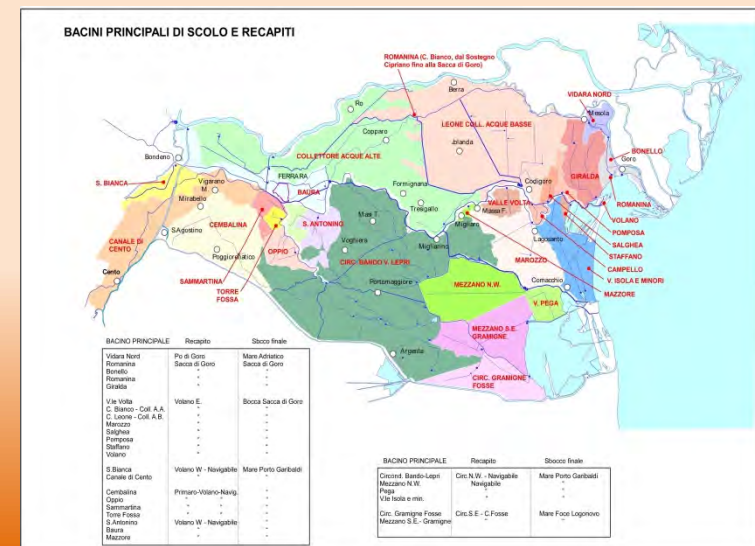
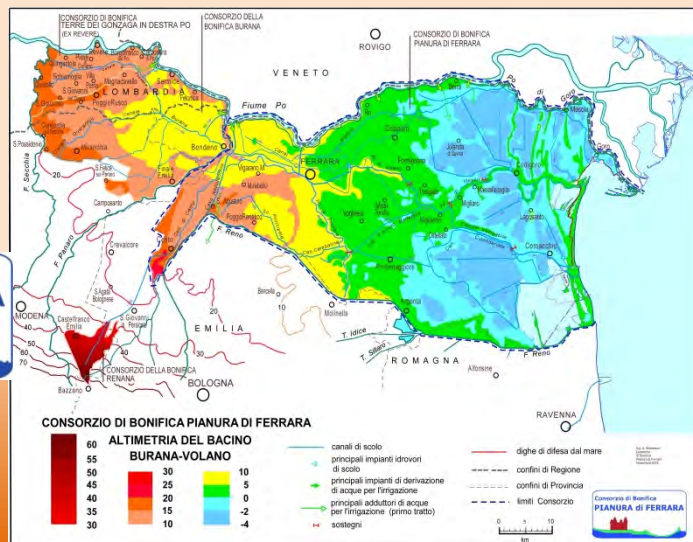
$$E_0 = m \cdot g \cdot h = 1.257 \cdot 10^9 \text{ [kg]} \cdot 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \cdot 4,42 \text{ m} = 54.541 \cdot 10^9 \text{ [kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\text{]} = 15,150 \times 10^6 \text{ Kwh}$$

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

$E_1 - E_0 = (15,150 - 15,493) \cdot 10^6 \text{ KWh} = 1,233 \cdot 10^9 \text{ J} = 342.444 \text{ KWh}$  (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:

$6 \cdot 10^6 \text{ €} \cdot 0,0226 = 135.600 \text{ €}$  (AGGIUNTIVI ANNUI !) pari a oltre 1 milione di euro in energia elettrica di onere aggiuntivo cumulato nei prossimi dieci anni, (la spesa per lo scolo era  $3,9 \cdot 10^6 \text{ €}$  prima dell'aumento dovuto alla guerra).

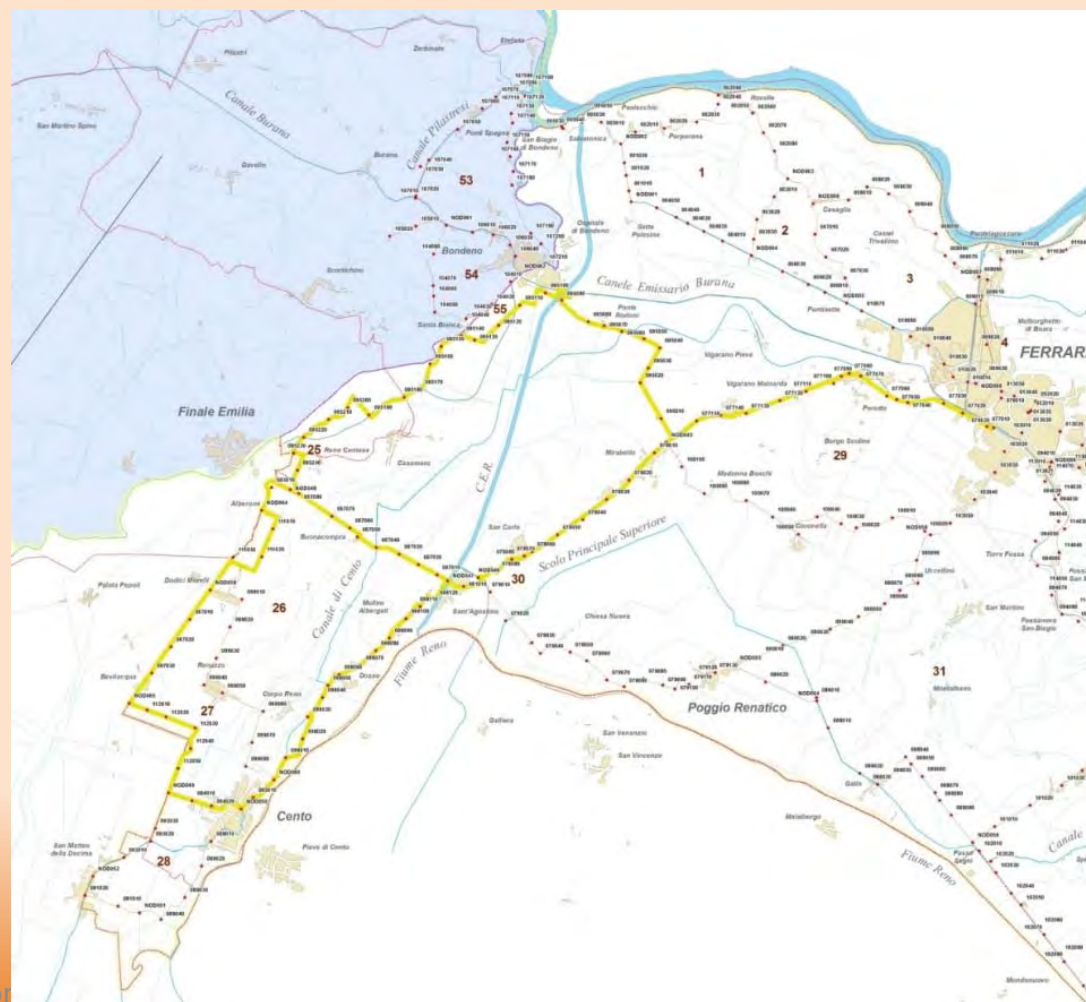
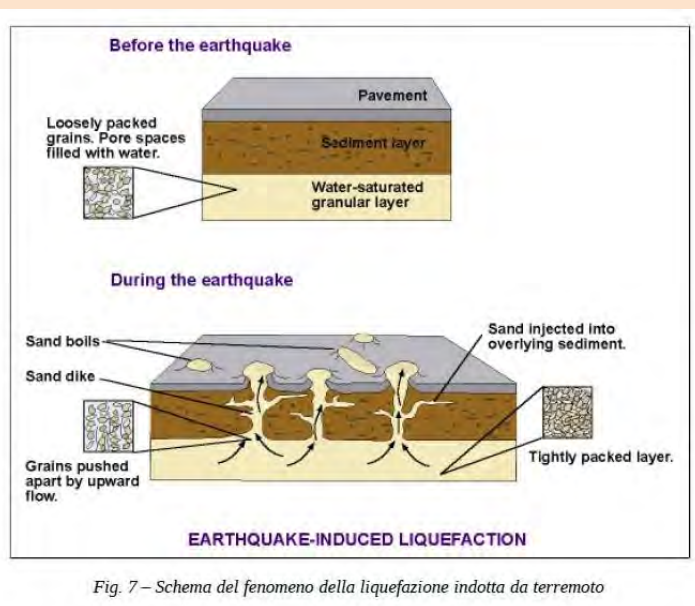
La spesa annua in energia elettrica per le attività di bonifica

## (Lavori di Ingegneria del Territorio) - Revisione della rete dei caposaldi a seguito degli eventi sismici del maggio 2012

Approfondimenti scientifici sui fenomeni geologici prodotti dal terremoto del maggio 2012.

Magnitudo 6.1 registrata il 20 maggio ore 4,03, con epicentro Finale Emilia. Altra scossa di magnitudo 5,8 il 29 alle 9,00.

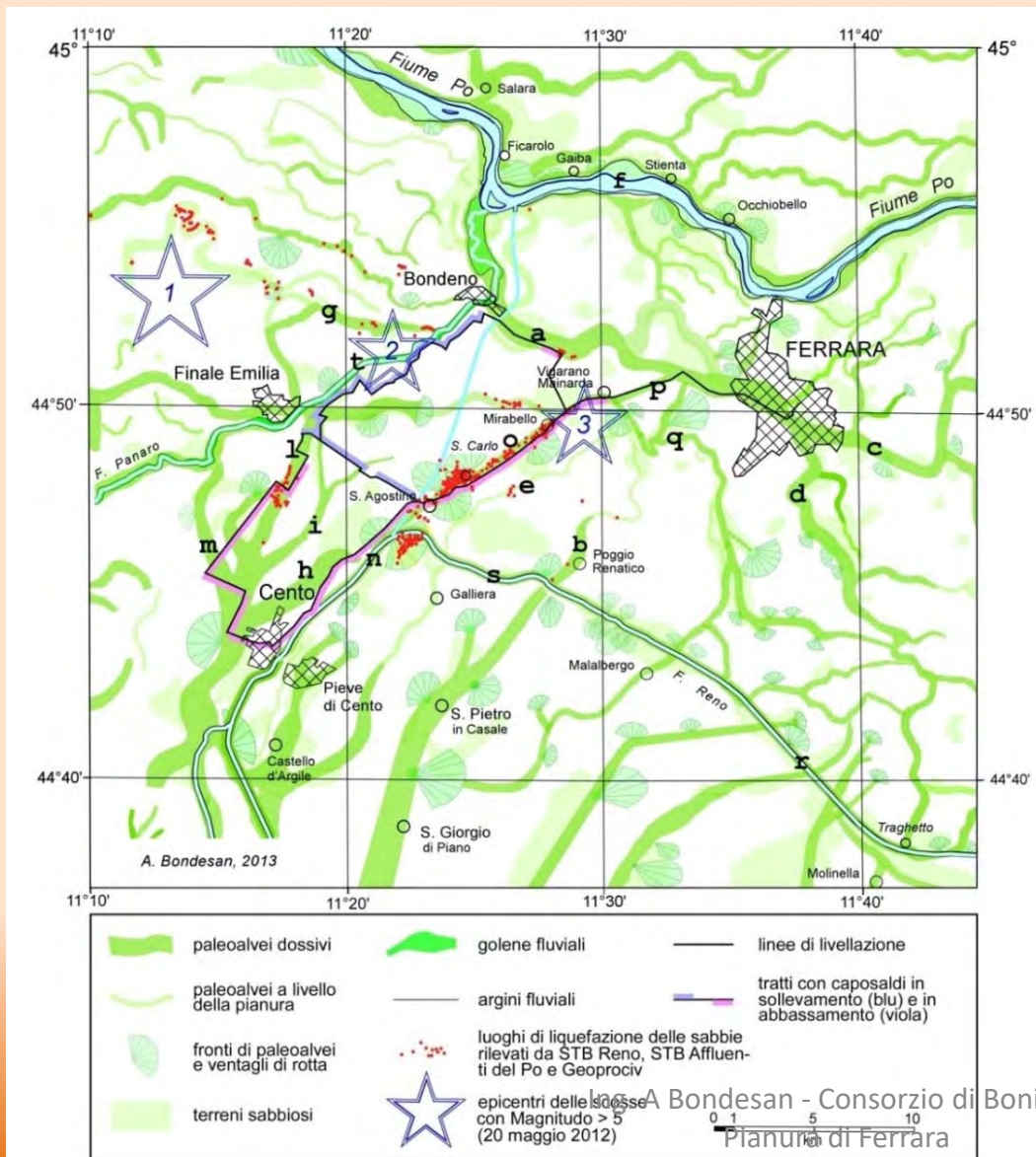
Danni agli impianti idrovori della bonifica – oltre 13 mld €





# Revisione della rete dei caposaldi a seguito degli eventi sismici del maggio 2012

Analisi degli effetti , pubblicazione nel 2015 articolo sulla rivista Remote Sensing of Environment: CBPF, Unife e INGV - (Prof. R. Caputo – Ing. A. Pellegrinelli – Prof. P. Russo - Ing. A. Bondesan)



Ing. A. Bondesan - Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara



Approfondimenti sui fenomeni geologici prodotti dal terremoto del maggio 2012 – Articolo scientifico con CBPF, Unife Ingegneria e INGV. Interferometria SAR (radar ad apertura sintetica) – variazioni di quota

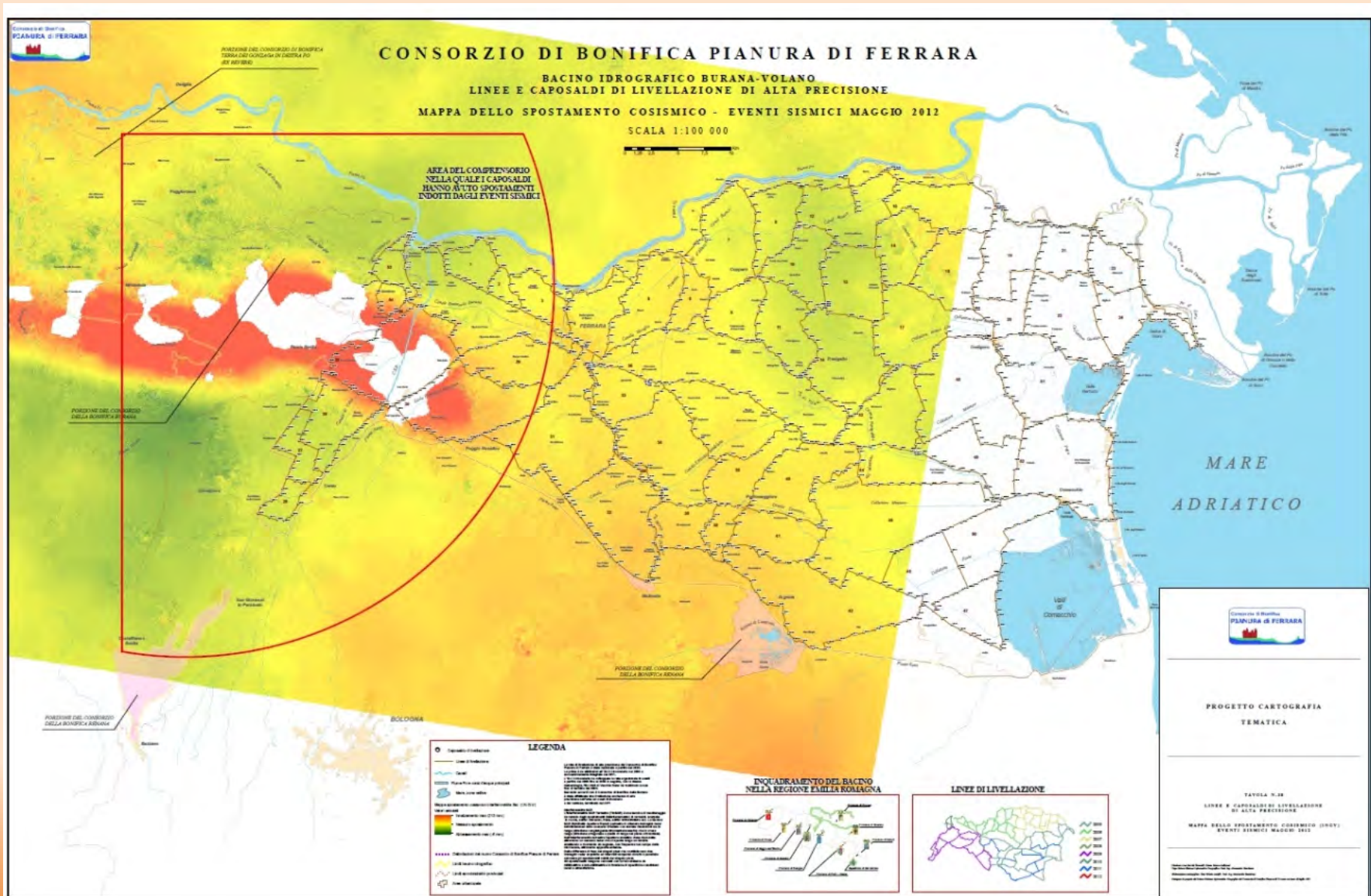


Fig. A. Bonedesi - Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara





(Lavori di Ingegneria del Territorio -  
Revisione della rete dei caposaldi a  
seguito degli eventi sismici del maggio  
2012)

Approfondimenti scientifici sui fenomeni  
geologici prodotti dal terremoto del  
maggio 2012 – San Carlo



Niigata 1964

zio di Bonifica  
rata

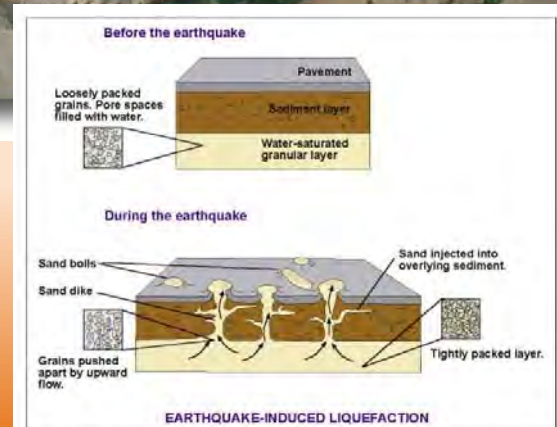


Fig. 7 - Schema del fenomeno della liquefazione indotta da terremoto



## Monitoraggio del territorio

- Confini
- Forme dei canali
- Pendenze dei terreni
- Scelte di strategia idraulica





**Problema: le quote del terreno**

**Soluzione: misurazione dei dislivelli**



### **Livello Chézy**

Livello a cannocchiale usato per livellazioni di precisione; ha il cannocchiale mobile su un piano orizzontale in quanto fissato, mediante collari cilindrici, a una traversa che può ruotare intorno a un asse verticale; la livella è montata direttamente sul cannocchiale

### **Formula di Chézy**

Esprime la velocità media  $U$  di una corrente in moto uniforme nei canali a pelo libero: dove  $\chi$  è un coefficiente sperimentale che tiene conto della scabrezza delle pareti e del fondo,  $R$  il raggio idraulico del canale e  $I$  la pendenza del fondo. Conoscendo la sezione  $A$  del canale è possibile calcolare la portata .  $U = \chi A \text{ rad } (R)$

Livello digitale – Attraversamento fiume Panaro – 82 m – Dy 0,1 mm



SOKKIA SDL1X

- Precisione : **0.2 mm per Km**
- Messa a fuoco automatica della stadia (codice a barre)

TOPCON DL-101

- Precisione : **0.4 mm per Km**
- Messa a fuoco manuale della stadia





Problema: posizione geografica

Soluzione: Bussola Barbanti (1801)



Le bussole topografiche sono costituite da una scatola quadrata, o circolare, con cerchio azimutale graduato ed un ago magnetico imperniato al centro, munite di cannocchiale o altro strumento di collimazione per consentire la determinazione dell'Azimut, o orientamento magnetico, di un particolare rispetto al punto d osservazione. La scatola di custodia della bussola è un parallelepipedo in mogano la cui parte è coperta da un vetro e da coperchio in legno che scorre entro le scanalature laterali. L'ago, lungo 10 cm, è graduato. Nel telaio della bussola, su due lati ortogonali sono inserite due livelle a direzione ortogonali. La scatola di legno è sorretta da un sostegno a nocella sopra un gambo con foro centrale, verticale, conico, per l'alloggiamento dello strumento su un treppiede di legno privo di viti di regolazione, con innesto troncoconico. Su uno dei lati è montato un cannocchiale, girevole intorno ad un asse orizzontale, con un semplice crocicchio di collimazione ed un semicerchio mobile insieme al cannocchiale, graduato dei due sensi da  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , lo zero rivolto in basso. Un filo a piombo, appeso al centro del semicerchio, consente di leggere gli angoli di inclinazione.

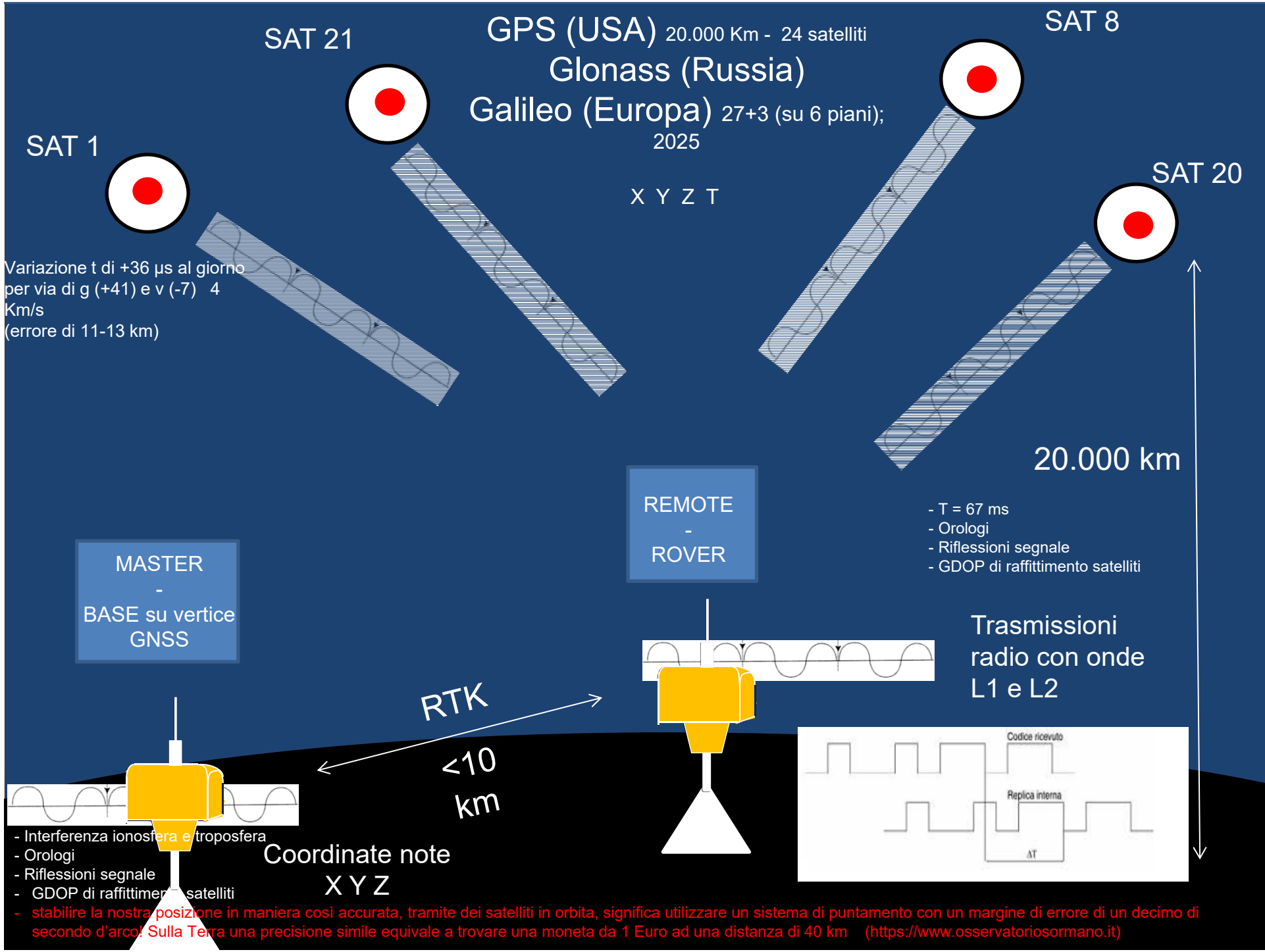
(tratto da «La cartografia in Italia: nuovi metodi e nuovi strumenti dal Settecento ad oggi»)

**- Arrivano i rinforzi -**

**A cosa servono i satelliti artificiali? Che utilizzo ne può fare un ente territoriale?  
Possono essere sostituiti con aerei o droni? Costi?**

- **Tipologia Landsat (ortofotomosaici per usi tipografici; uso reale del suolo; infrarosso per sofferenza idraulica; allagamenti)**
- **Tipologia Lidar (Light Detection And Ranging) rilevamento piano altimetrico DSM - DTM**
- **Interferometrici (monitoraggio sismico) Interferometria SAR (radar ad apertura sintetica) – micro variazioni di quota del terreno**
- **GNSS (rilevamento piano altimetrico in tempo reale RTK o NRTK)**







## *Teoria della relatività ristretta applicata al rilevamento GPS*

*Un satellite della costellazione GPS si sposta ad una velocità di  $3,8 \text{ Km/s}$  rispetto al tecnico rilevatore*

*Per la teoria della relatività ristretta, un orologio in movimento procede più lentamente di un orologio in quiete*

*Il fattore di Lorentz vale  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-(3,8/299792)^2}} = 1,000\,000\,000\,080\,33$*

*Il tempo di una giornata (86400 s) sul satellite ha quindi una durata pari a:*

$$t = \gamma \cdot 86\,400 \text{ s} = 86\,400,000\,006\,940\,5 \text{ s}$$

*Pertanto la differenza rispetto ad una giornata a terra vale:*

$$\Delta t = (\gamma - 1) \cdot 86\,400 \text{ s} = 0,000\,006\,940\,5 \text{ s} \cong 7 \mu\text{s}$$

*Ciò si traduce in un errore di:*

$$\Delta t \cdot c = 7 \mu\text{s} \cdot 299\,792 \text{ Km/s} = 2,081 \text{ Km} \cong 2,1 \text{ Km}$$



Ma non tutti i luoghi sono facilmente raggiungibili con un GNSS

Passerella telescopica per rilevamento completo (sponde – fondo)





Passerella telescopica per rilevamento completo (sponde – fondo)





# Passerelle telescopiche per rilevamento completo (sponde – fondo) con GNSS centimetrico



Ing. A. Bondesan - Consorzio di Bonifica  
Pianura di Ferrara



Problema: le lunghezze

Soluzione: il raggio laser (Light Detection and Ranging)



Costituita da una serie di 40 barrette in acciaio a sezione quadrata di 8 mm di lato e lunghezza unitaria pari a 81 cm, la catena distesa si sviluppa per una lunghezza complessiva di 32,42 m ( pari a 100 piedi francesi ).

### Catena di Berge

Agli estremi delle due barrette sono collocate due maniglie di tensione, che concorrono alla definizione della lunghezza totale dello strumento, essendo questa misura fra i segni posti su apposite piastrelle entro le maniglie stesse. Per l'esecuzione delle misure di distanza con la catena di Berge, così come tutti gli strumenti analoghi, era necessario l'impiego di almeno tre operatori, dei quali, due provvedevano a distendere il longimetro lungo il tratto da misurare ed apporlo in tensione, mentre al terzo era attribuito il compito della registrazione delle misure per singola campata. Per il trasporto la catena era racchiusa in una cassetta e piegata in cinque strati o barrette. L'esemplare è di proprietà dell' I.G.M., conservato a Firenze.

(tratto da «La cartografia in Italia: nuovi metodi e nuovi strumenti dal Settecento ad oggi»)

## Il laser Scanner 3D per il rilevamento del territorio

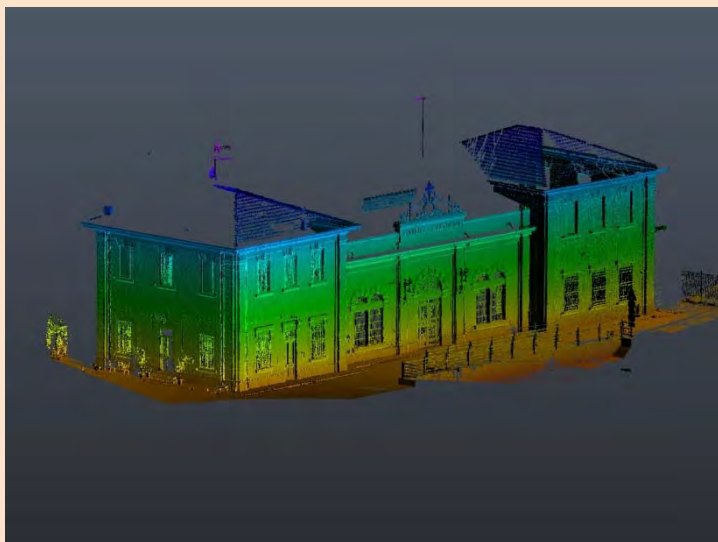


Ing. A Bondesan - Consorzio di bonifica  
Pianura di Ferrara



## Il laser Scanner 3D per il rilevamento del territorio

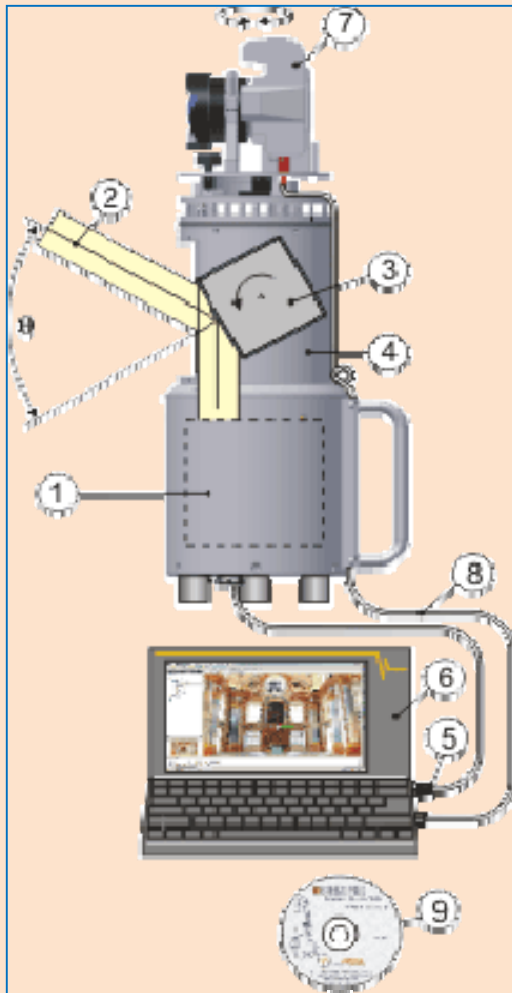
Utilizzato per la parte non immersa dei canali  
Distanze misura 330-150 m – 30.000 punti/s



Il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara dal 2013 si è dotato di una strumentazione topografica Laser Scanner, che consente di eseguire rilevamenti piano - altimetrici ambientali e, nello specifico, delle canalizzazioni consortili. Questo strumento consente di effettuare rilevamenti in zone di difficile accesso grazie all'utilizzo del raggio laser.

I Laser Scanner del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, sono il modello Topcon GLS 1500, e Riegl Z390; sono scanner TOF.

Ing. A Bondesan - Consorzio di Bonifica  
Pianura di Ferrara



Laser Scanner TOF - Si calcola la distanza misurando il tempo di andata e ritorno dell'impulso laser inviato (2). La tecnologia a tempo di volo permette di generare la nuvola di punti tramite il calcolo del tempo impiegato dal raggio laser a percorrere la distanza dell'emettitore al soggetto colpito e viceversa. Sapendo che la velocità di propagazione del fascio laser è pari a quella della luce, conoscendo l'angolo verticale e orizzontale dell'emissione del raggio, è possibile definire le coordinate del punto misurato.

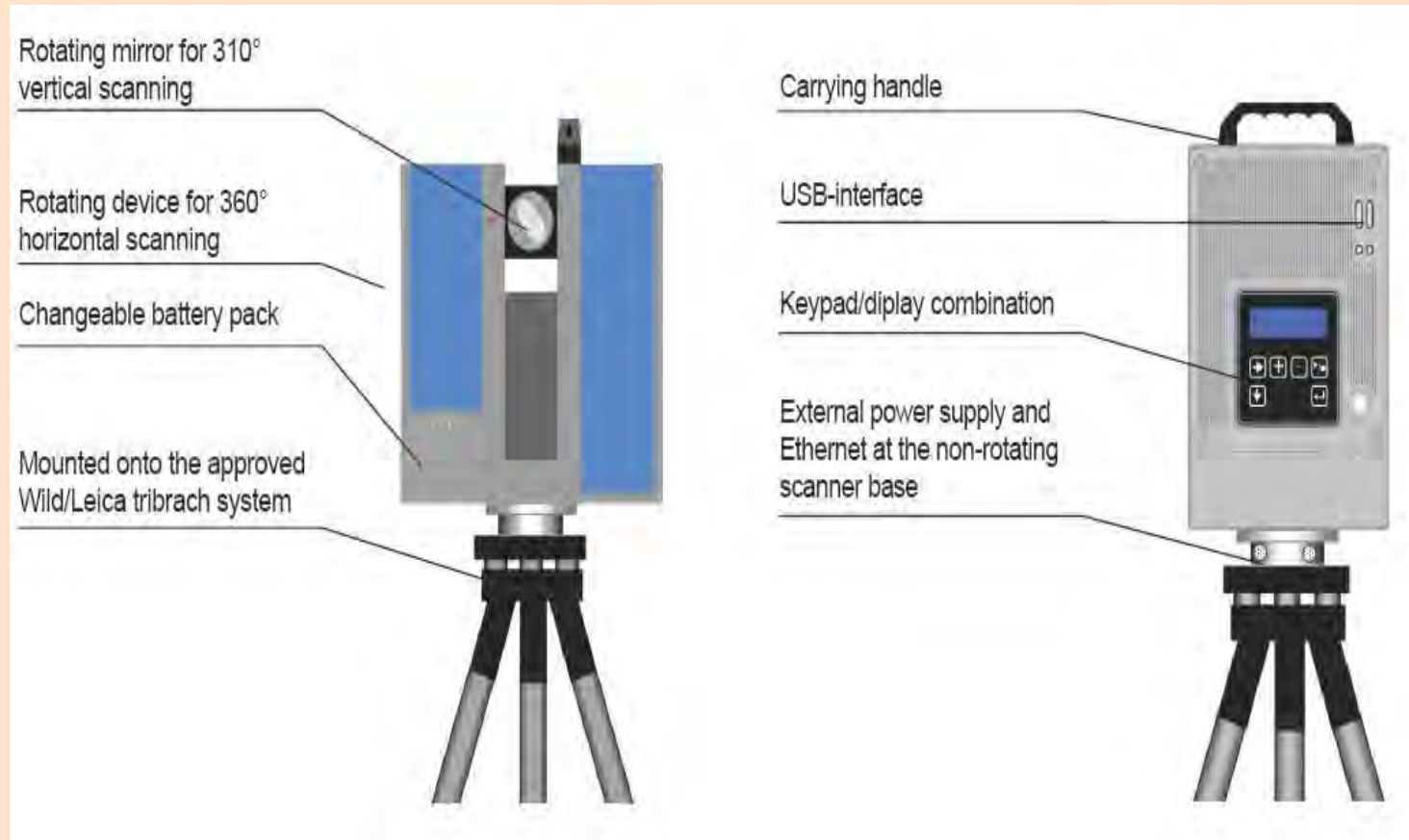
Uno specchio devia il raggio nel piano verticale per effettuare la scansione verticale (3) mentre la rotazione della testa dello strumento nel piano orizzontale (4) consente la scansione orizzontale. A ogni impulso corrisponde una posizione angolare azimutale e zenitale per fornire per ogni riflessione ricevuta una tripletta di coordinate Alfa, Teta e Distanza.

Sono strumenti delicati e per la riparazione bisogna inviarli a centri ad alta tecnologia.

I Laser Scanner a triangolazione si basano sull'acquisizione da parte di un sensore IR di un pattern di punti infrarossi. Sono molto maneggevoli e facilmente utilizzabili per la scansione di elementi di ridotte dimensioni.







I Laser Scanner a differenza di fase (PS = Phase Sincronization); sono strumenti indicativamente più rapidi ma meno precisi dei TOF per le distanze superiori ai 100 m. Gli strumenti che combinano il TOF con la differenza di fase (PS = Phase Shift) sono definiti “scanner distanziometrici o ranging scanner”



Rilevamento del fondale dei canali di bonifica mediante il natante drone dotato di sonar e GPS, sviluppato dal Consorzio di Bonifica in collaborazione con la ditta SI2G di Ancona e TE.MA. di Faenza



ondesan - Co  
Pianura d...





- Miglioramenti effettuati in aprile - maggio 2016
- Eliche intubate nello scafo: una per ciascuno scafo
  - Propulsione elettrica
  - 4-8 h di autonomia in funzione della velocità
  - Velocità fino a 25 km/h
  - Elettronica e batterie accolte all'interno degli scafi

Obiettivi: risparmio del costo per ora di rilevamento, diminuzione rischi a carico del personale, aumento della precisione del rilevamento



Ing. A Bondesan - Consorzio di Bonifica  
Pianura di Ferrara

## Problema: il rilevamento della profondità



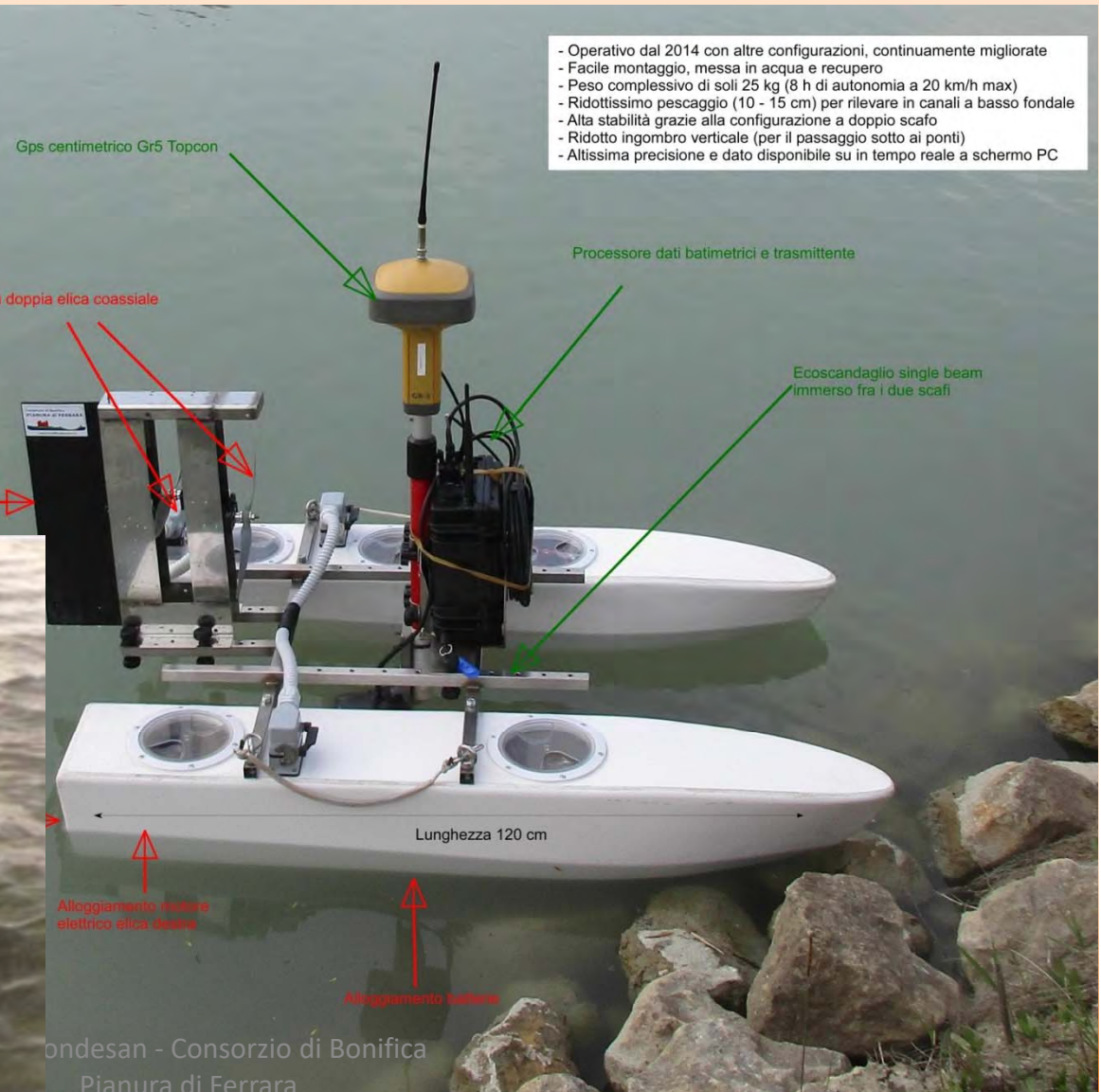
Aprile 1925 - Grande Bonificazione Ferrarese]

Propulsione n.1 - aerea con doppia elica coassiale

Timone per propulsione aerea



Scandaglio Magnaghi (1924)





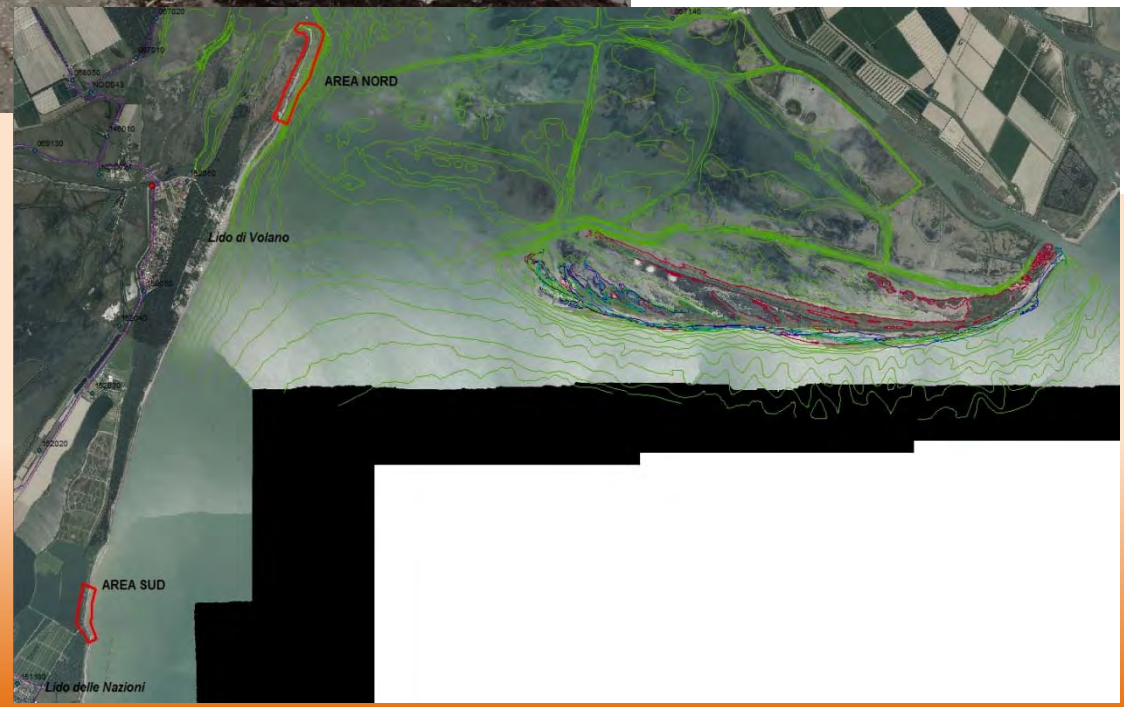
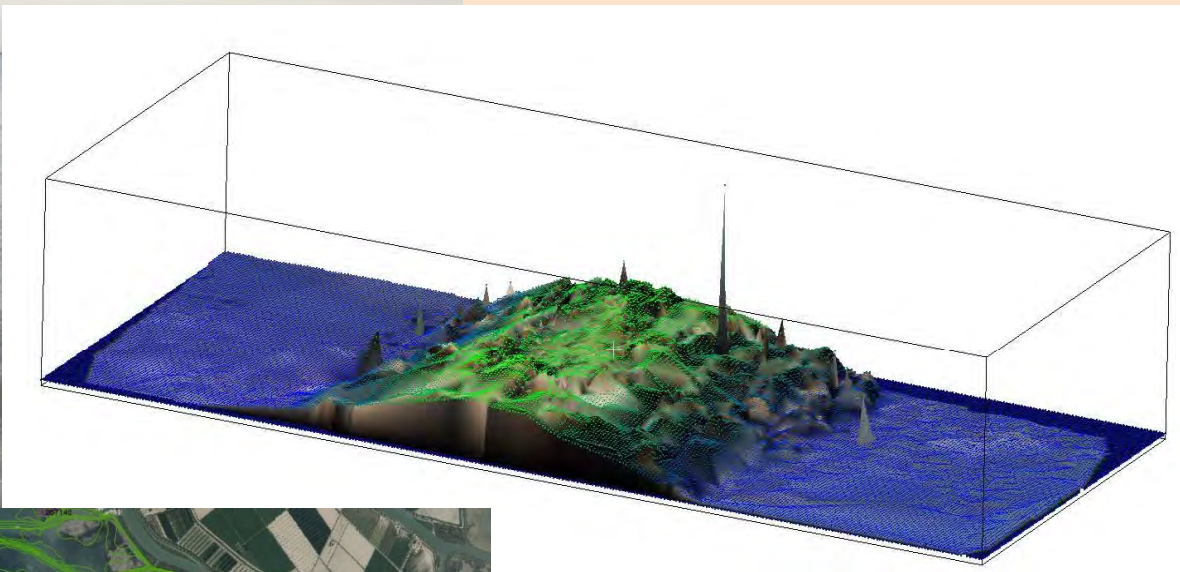


Ing. A Bondesan - Consorzio di Bonifica  
Pianura di Ferrara





# Rilievo combinato: laser Scanner 3D & natante batimetrico radiocomandato



















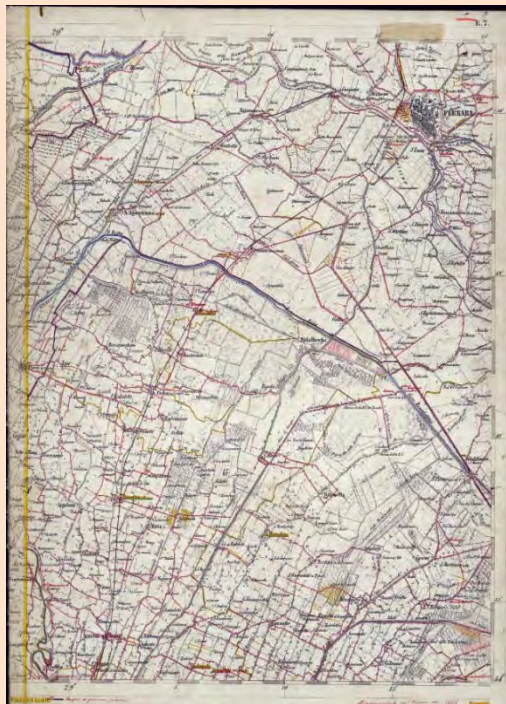


Queste sono due foto aeree? Trovare le differenze...





Carta topografica della Lombardia, Veneto e Italia centrale - 1876 - 1:75.000



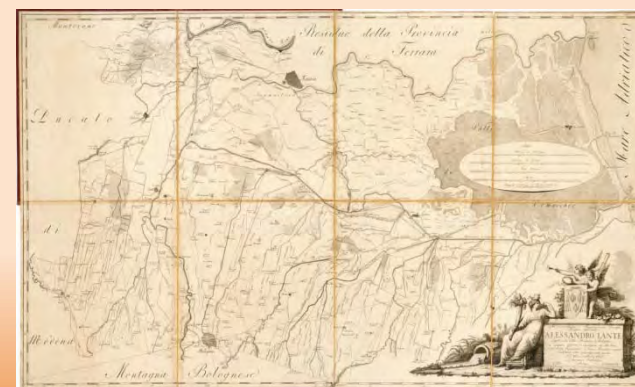
Carta idrografica del Regno d'Italia - 1880 - 1:100.000



Provincia di Ferrara, E. Scanavini 1899 - 1:80.000



Carta topografica de' lavori idraulici svolti fino al 1816 - 1:106.531



In

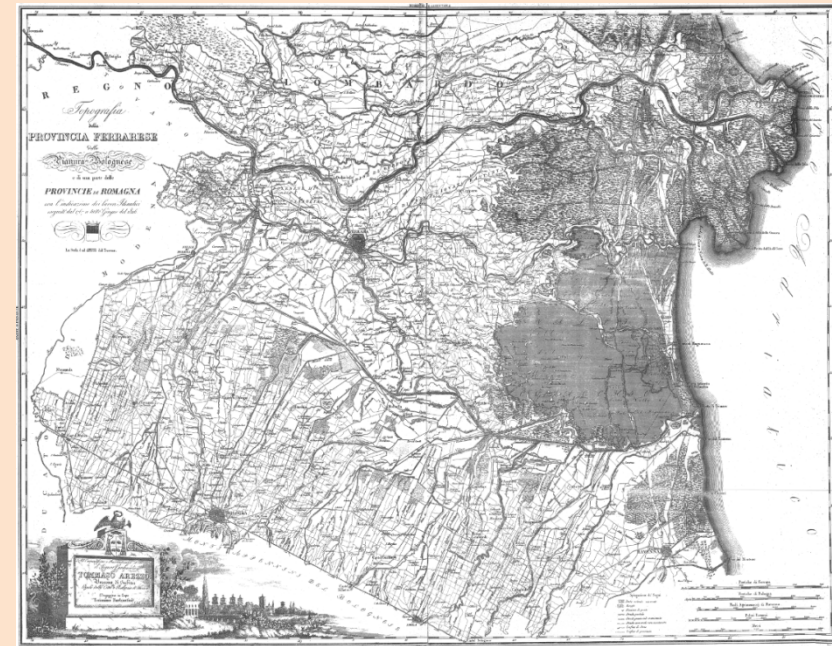
di Ferrara



Tuscany and Papal State  
1841-1843 – 1:5000



Tommaso Barbantini – 1836 -  
1:128.000



Carta IGM «Primo impianto»  
(Samson Flamsted)  
Riportata in Gauss-Boaga dal  
Prof. Giovanni Boaga  
1893 – 1:25.000

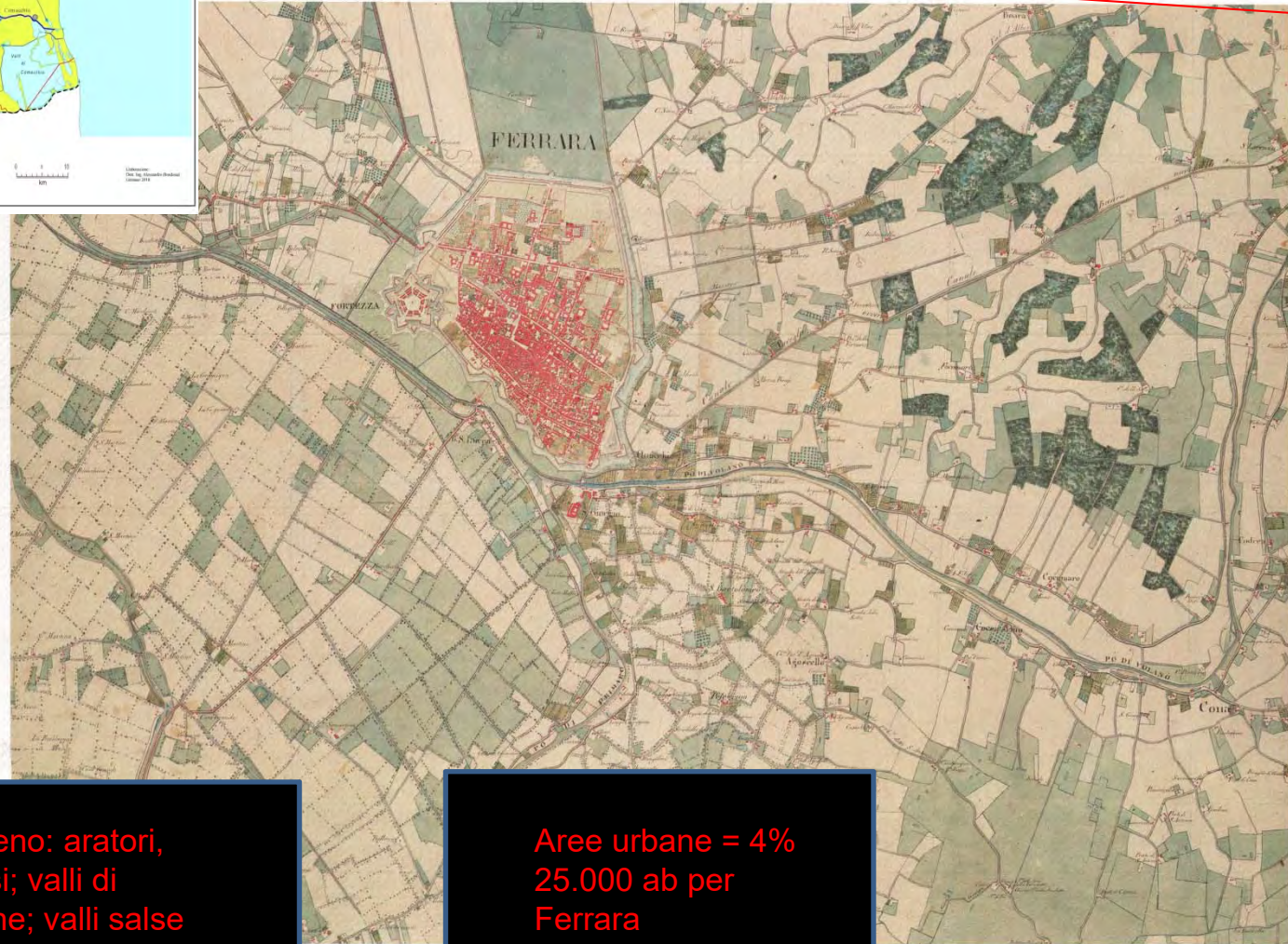
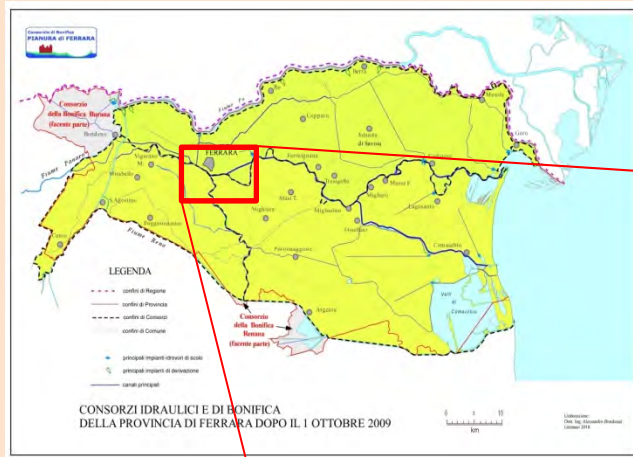
Carta IGM «Primo impianto»  
(Samson Flamsted)  
1907-1912 – 1:25.000

- Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara





Massima cura nella rappresentazione degli ostacoli, del tipo di terreno e dell'edificato



14 diversi tipi di terreno: aratori, case; prati sortumosi; valli di alghe giunchi e canne; valli salse ove si pesca; orti (giallo); valli zappative (verde e punti verde scuro); etc.

Aree urbane = 4%  
25.000 ab per  
Ferrara  
Oggi ne ha circa  
100.000

2D





Comacchio aveva poco più di 5000 ab. - Isolata fino al 1825



***“I progressi della Scienza Geografica sono disgraziatamente dovuti a una causa terribile, la guerra, che spinge a conoscere i territori che poi distrugge...”***

***•Le guerre infatti sono senza dubbio quelle che perfezionano la geografia assai più che le congetture dei geografi”***

**Antonio Rizzi Zannoni (Geografo 1736-1814)**

Contatti:

Ing. Alessandro Bondesan

[alessandro.bondesan@bonificaferrara.it](mailto:alessandro.bondesan@bonificaferrara.it) , 0532/218265

Ferrara, via Mentana 3

