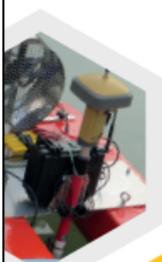


Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara



# CARTOGRAFIA NUMERICA



## MONITORAGGIO MORFOLOGICO DEL TERRITORIO FERRARESE

21 FEBBRAIO 2020

ore 9.30  
FERRARA  
CASTELLO ESTENSE - Sala Consiliare

[www.bonificaferrara.it](http://www.bonificaferrara.it)

Nel campo dell'ingegneria del territorio un segmento molto importante ed in costante crescita è quello della cartografia numerica. Il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, nel quadro degli enti che si occupano della gestione del territorio, ha scelto di investire considerevoli risorse per la conoscenza dell'assetto morfologico e altimetrico del territorio, in rapporto con le proprie reti di impianti e canali.

Le tecnologie di rilevamento e quelle di gestione dati geografici sono state sviluppate e potenziate con attenzione alle nuove risorse tecnologiche disponibili (software GIS per la gestione dati, portale web per la cartografia numerica, strumentazione GPS, laser scanner, sistemi di rilevamento a comando remoto).

Queste attività e le esperienze tecniche accumulate sono condivise a diversi livelli con gli enti convenzionati al SITL (Sistema Informativo Territoriale del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara). Le sinergie fra enti territoriali hanno prodotto e continuano a produrre nuove banche dati condivise, ottimizzando le risorse disponibili e diffondendo informazioni che oggi assumono una valenza ancor maggiore che nel passato, alla luce dei problemi creati dai cambiamenti climatici.

## Programma

- ore 9.30**  
**Presentazione**  
**Dott. Franco Dalle Vacche**  
*Presidente del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara*  
**Ing. Stefano Farina**  
*Direttore del Settore Lavori Pubblici, Pianificazione Territoriale, Mobilità - Provincia di Ferrara*
- ore 10.00**  
**Introduzione ai nuovi strati cartografici del Sistema Informativo Territoriale Locale del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (dato catastale d'impianto, altimetria, permeabilità dei suoli, cartografie storiche)**  
**Dott. Ing. Alessandro Bondesan**  
*Capo Settore Sistema Informativo Geografico del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara*
- ore 10.20**  
**La nuova carta altimetrica vettoriale ad equidistanza 0,5 m**  
**Dott. Nicola Astolfi**  
*Settore Sistema Informativo Geografico Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara*
- ore 10.40**  
**La conoscenza altimetrica della rete idrografica e del territorio ferrarese riferita al livello medio mare di Porto Garibaldi**  
**Dott. Ing. Alberto Pellegrinelli**  
*Dipartimento di Ingegneria Università di Ferrara*
- ore 11.00**  
**coffee break**
- ore 11.20**  
**Recenti sviluppi della cartografia di base regionale**  
**Dott. Ing. Stefano Olivucci**  
*Responsabile Basi Dati Topografiche RER*
- ore 11.40**  
**Implementazione digitale e aggiornamento della carta della permeabilità dei suoli del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara**  
**Dott.ssa Geol. Dimitra Rapti**  
*Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra Università di Ferrara, New Energies And environment*
- ore 12.00**  
**Dibattito**

# Implementazione digitale e aggiornamento della carta della permeabilità dei suoli del Consorzio di Bonifica, Pianura di Ferrara

*dott.ssa Geol. Dimitra Rapti*

*New Energies And environment – spinoff UniFe*  
Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Università di Ferrara

**protocollo di lavoro**

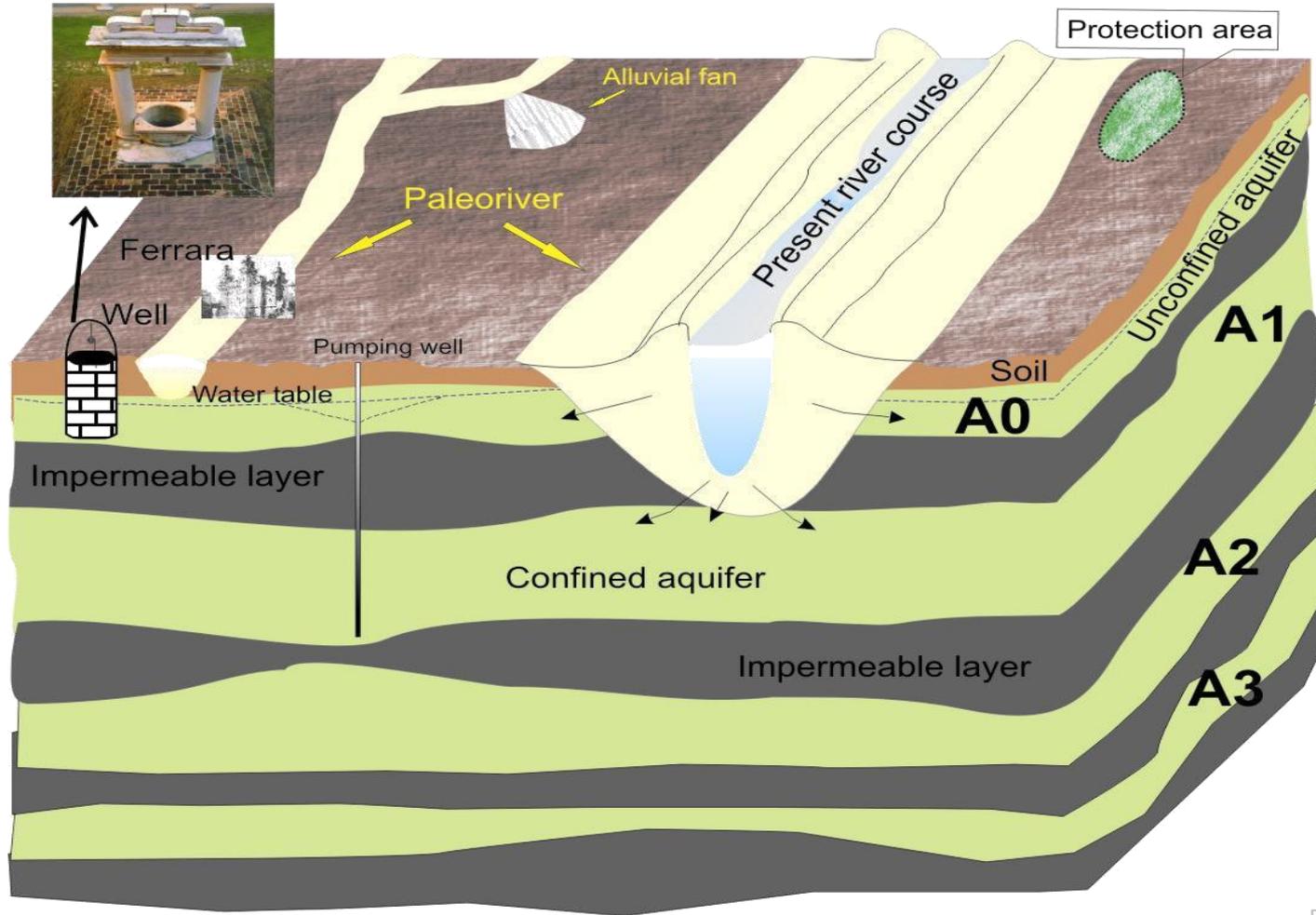
**permeabilità intrinseca dei suoli**

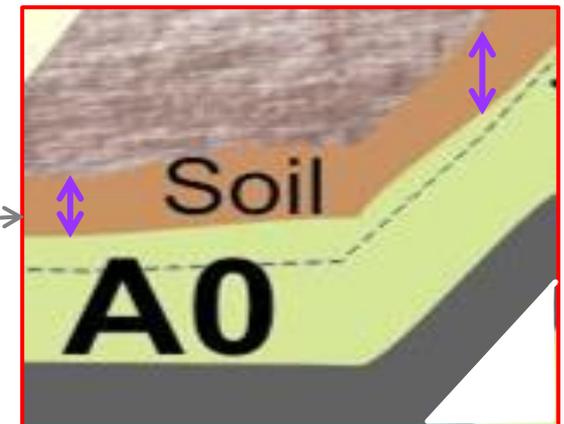
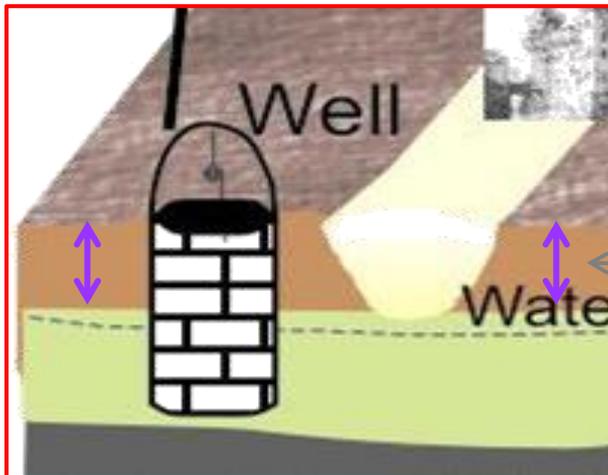
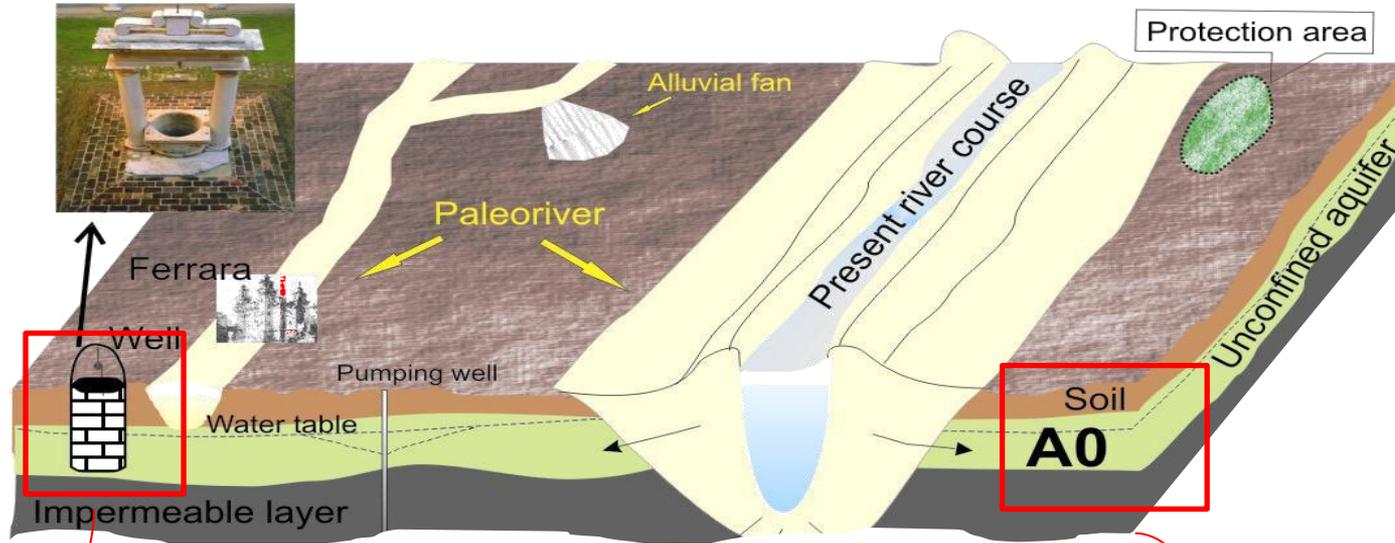
**parametri idraulici e geotecnici**

**vulnerabilità degli acquiferi**

**Le convenzioni, accordi e collaborazioni scientifiche in atto sul Sistema Informativo Territoriale Locale coinvolgono persone qualificate producendo reciproci risparmi ed ottimizzando risorse**

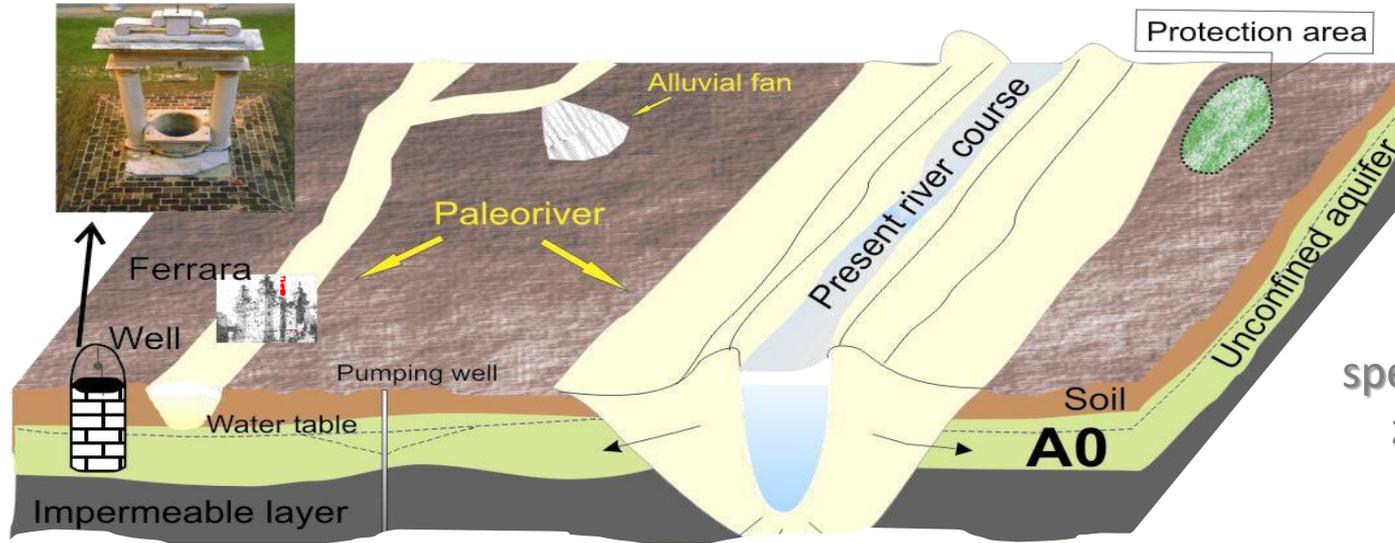




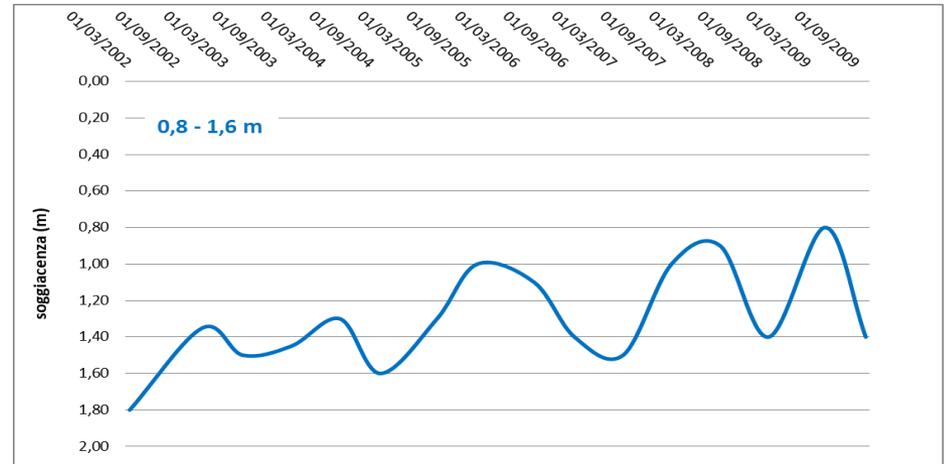
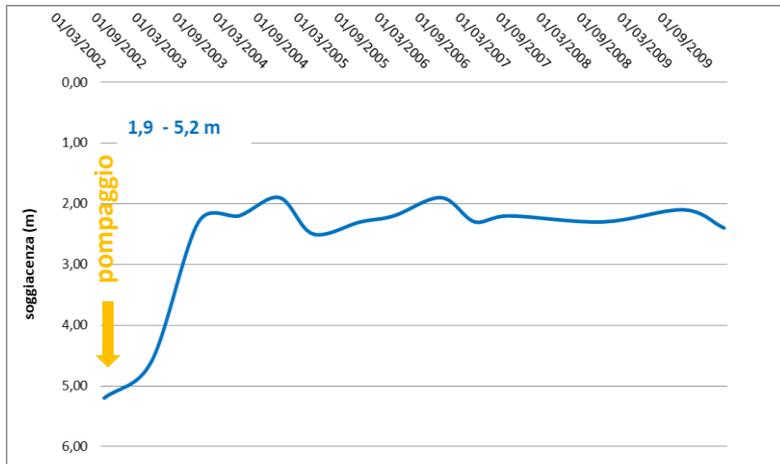


zona non satura

spessore permeabilità → propagazione contaminanti



spessore della  
zona non  
satura



# la permeabilità intrinseca

strumento per la gestione  
e pianificazione  
territoriale

*agricolo*

*idraulico*

*urbanistico*

**1.** la carta della Permeabilità (Consorzio di Bonifica) si è basata sulla **Carta Litologica** della Provincia (1982)

**2.** basata su classificazioni granulometriche dei terreni (Associazione Nazionale Bieticoltori database)

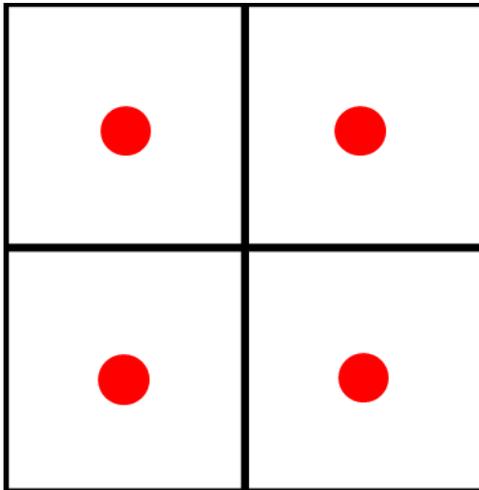
**3.** distribuzione geometrica dei punti di campionamento

*4-6 punti omogeneamente distribuiti su un'area di qualche ettaro*



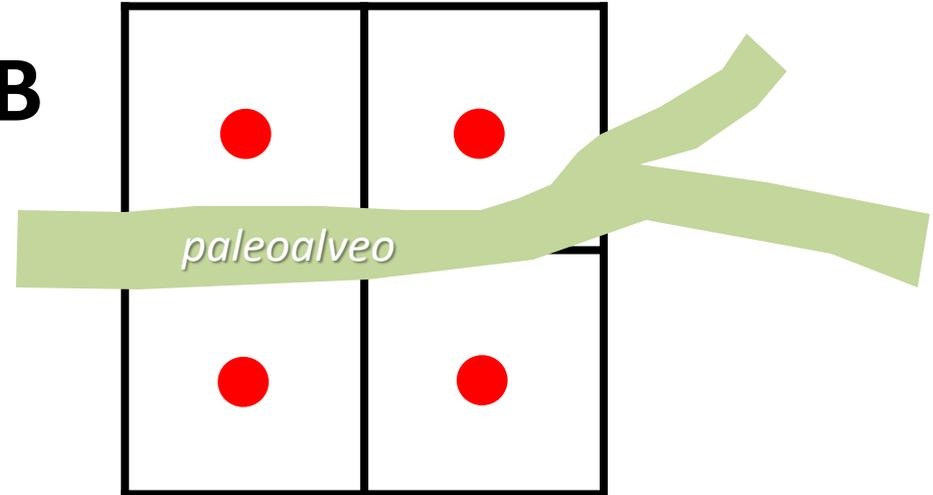
**non tiene conto dell'evoluzione geomorfologica**

**A**

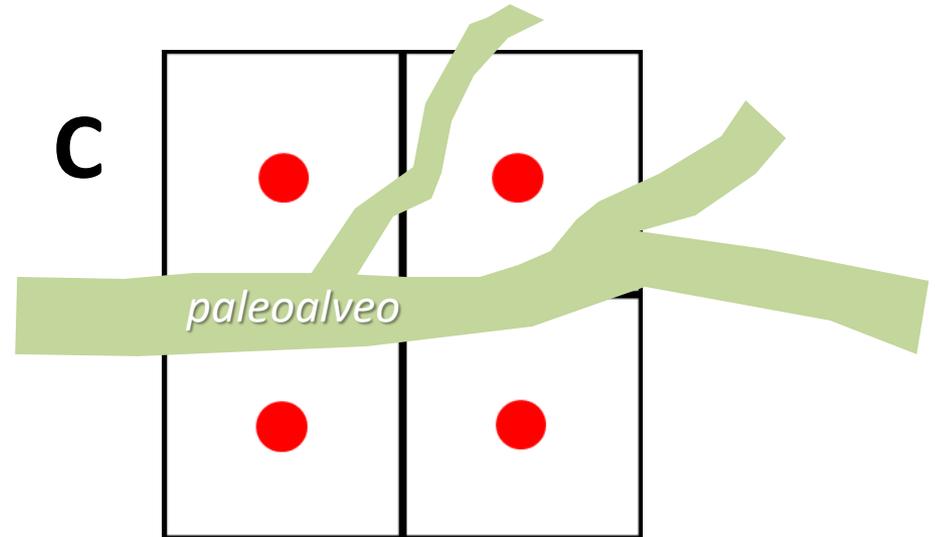


*criticità I*

**B**



**C**



**1.** la carta della Permeabilità (Consorzio di Bonifica) si è basata sulla **Carta Litologica** della Provincia (1982)

**2.** basata su classificazioni granulometriche dei terreni (Associazione Nazionale Bieticoltori database)

**3.** distribuzione geometrica dei punti di campionamento

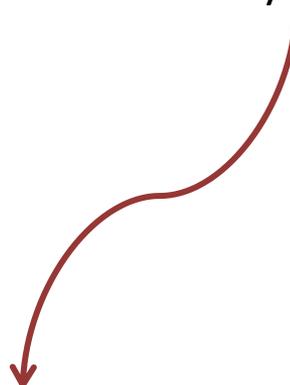
*4-6 punti omogeneamente distribuiti su un'area di qualche ettaro*



**non tiene conto dell'evoluzione geomorfologica**

**4.** profondità d'indagine: **80 cm**

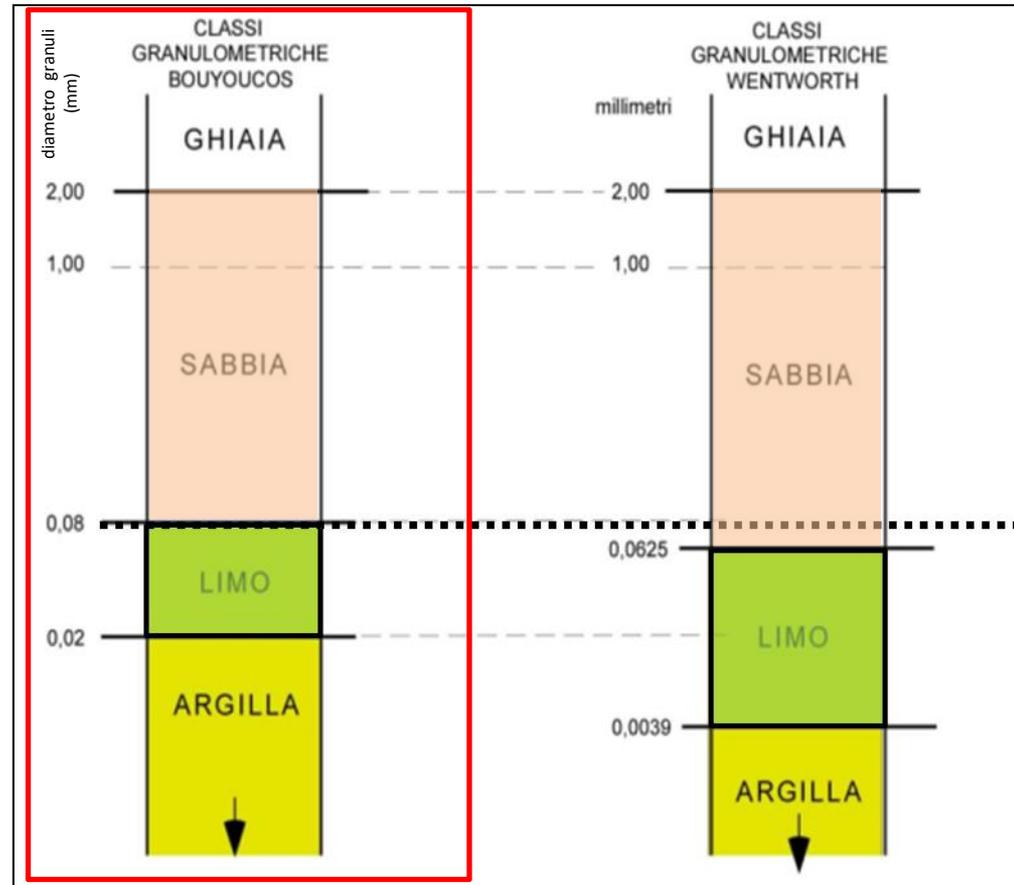
**5. Classificazione tessiturale**  
*Utilizzata il metodo di Bouyoucos*



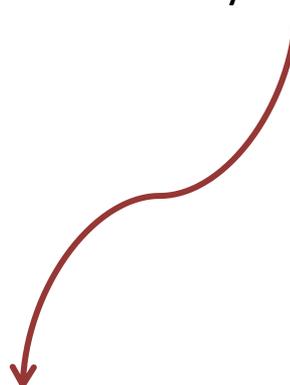
**sovrastima della frazione  
argillosa  
e  
sottostima sabbia e limo**

***criticità II***

Confronto tra  
classificazione Bouyoucos e Wentworth



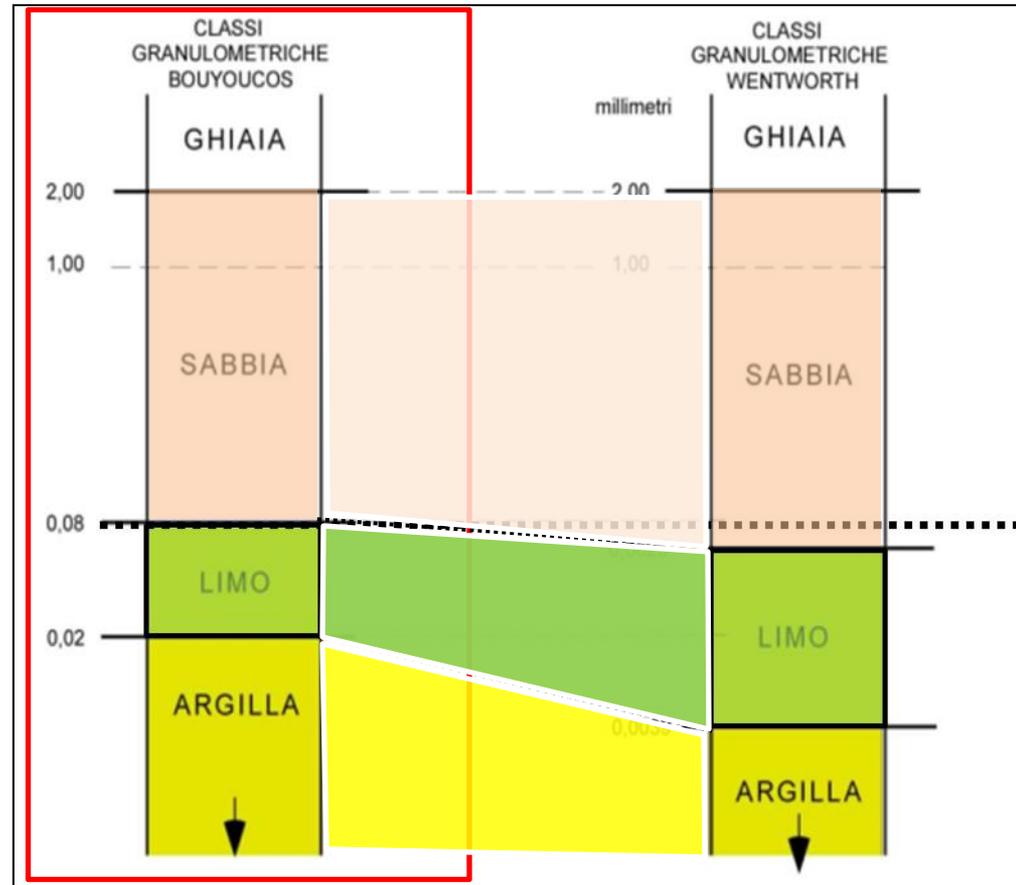
**5.** Classi granulometriche:  
*tramite il metodo di Bouyoucos*



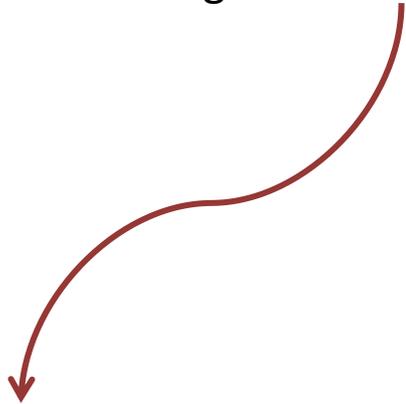
**sovrastima della frazione  
argillosa  
e  
sottostima sabbia e limo**

***criticità II***

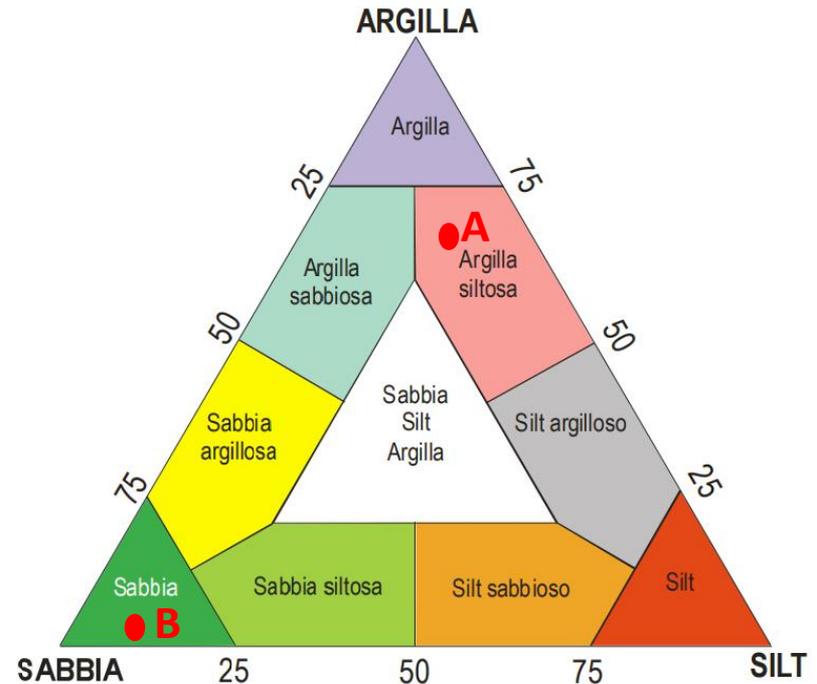
confronto tra  
classificazione Bouyoucos e Wentworth



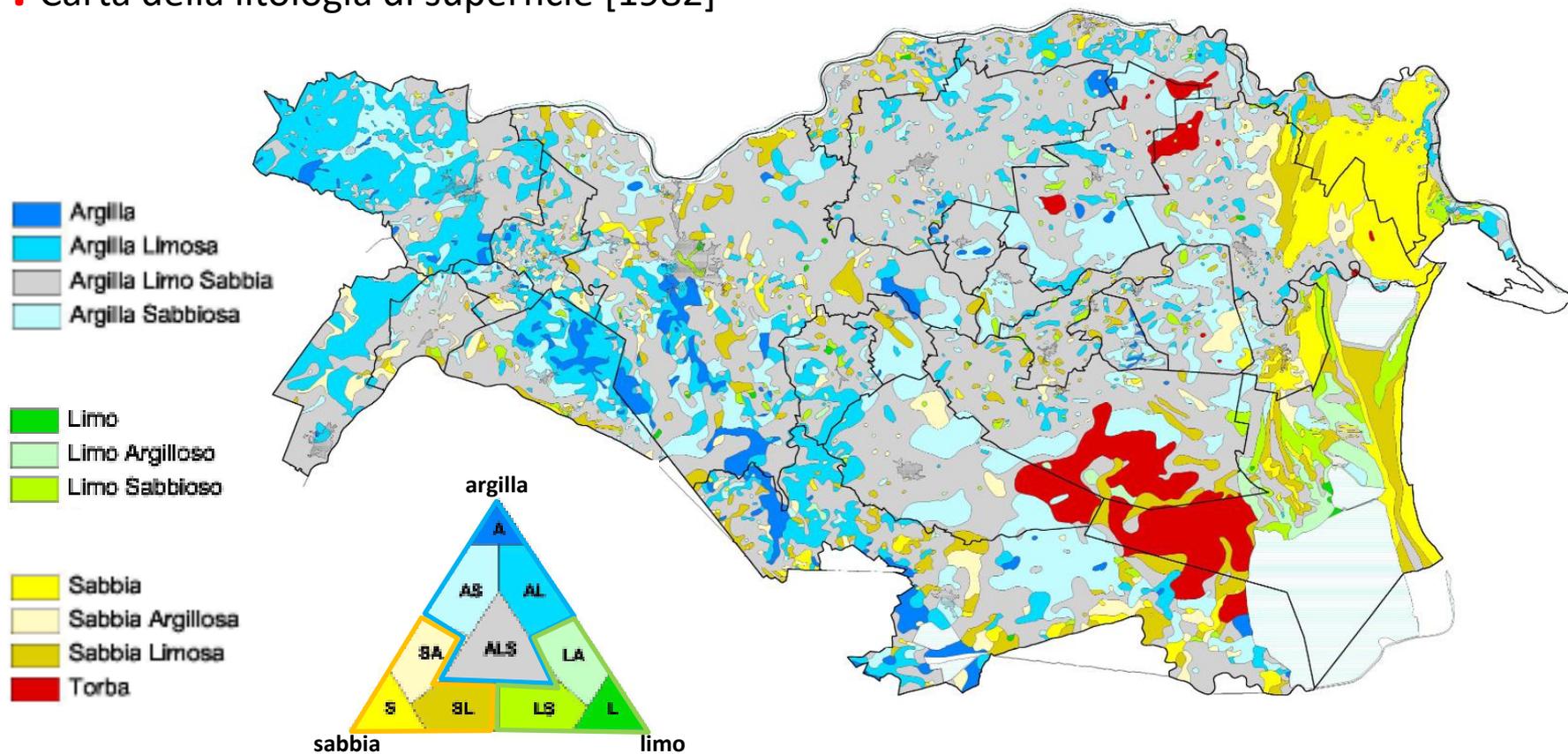
**6.** I dati sono plottati su diagramma di Shepard (1954)



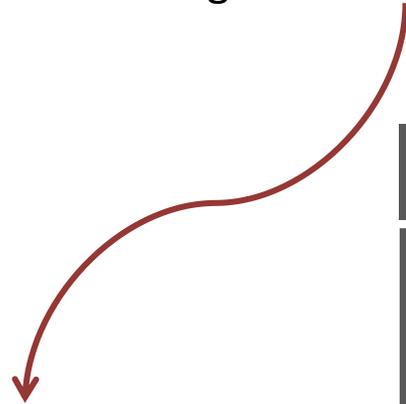
**Classificazione tessiturale**



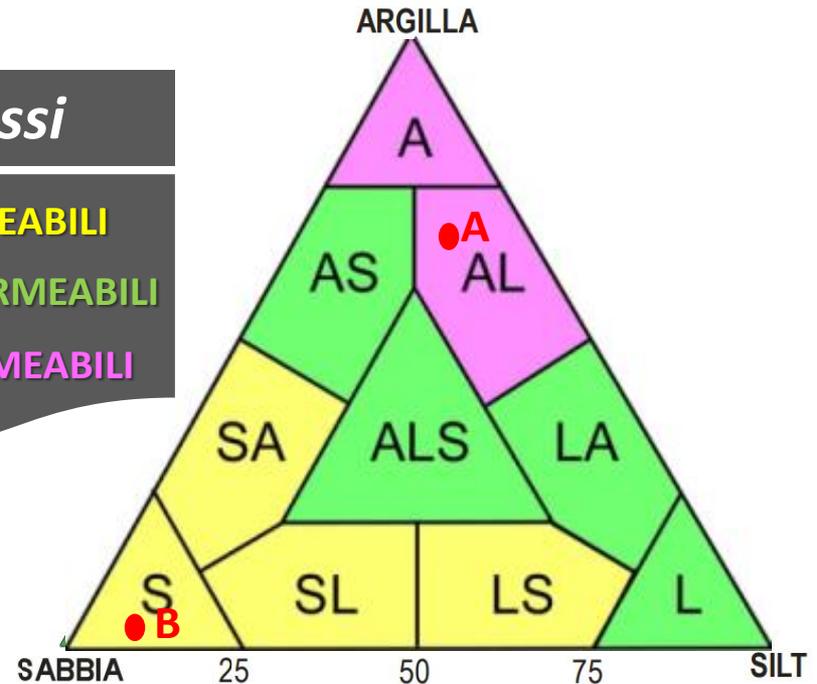
**7.** Carta della litologia di superficie [1982]



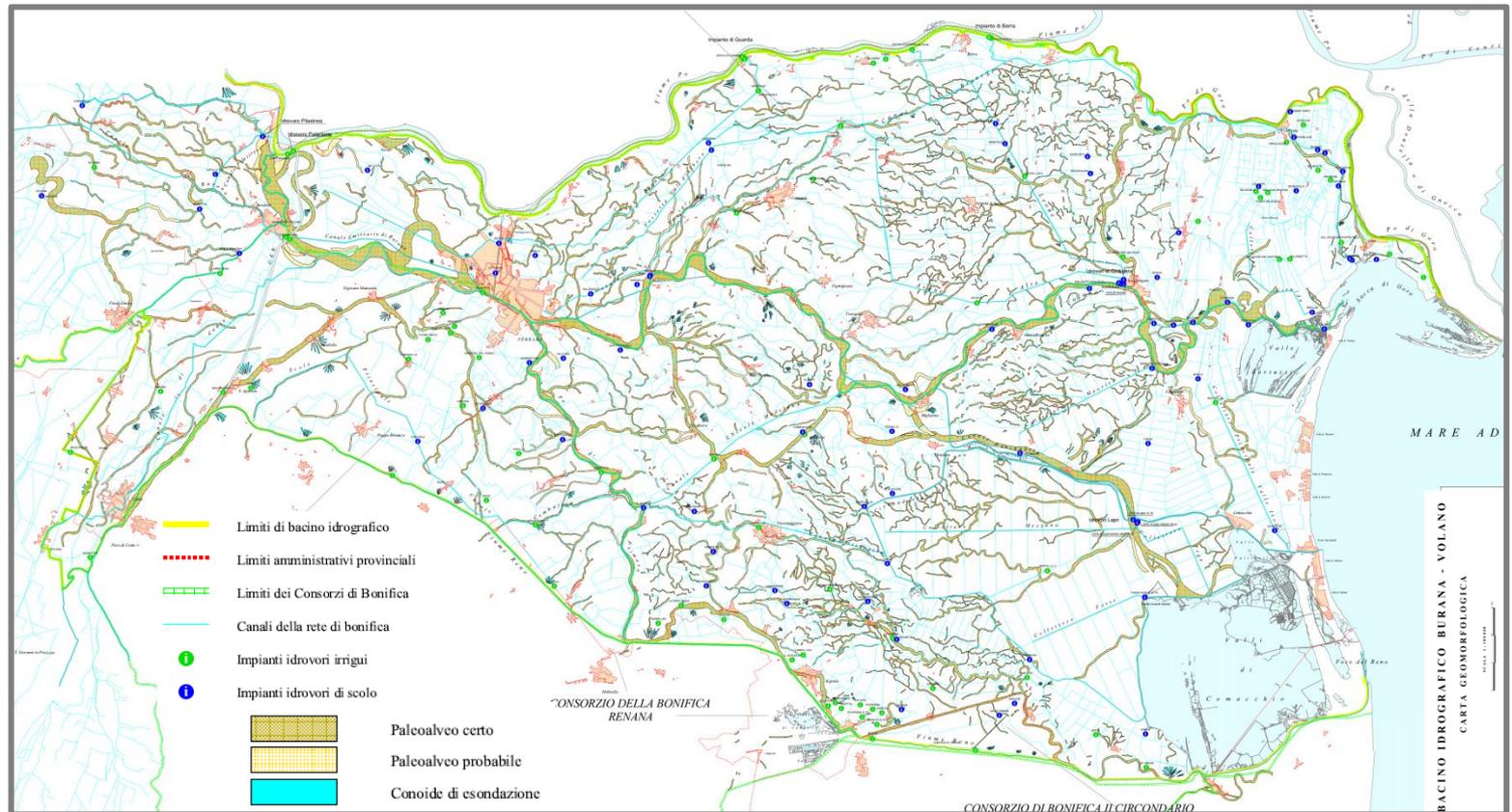
**8.** I dati sono plottati su diagramma di Shepard (1954)



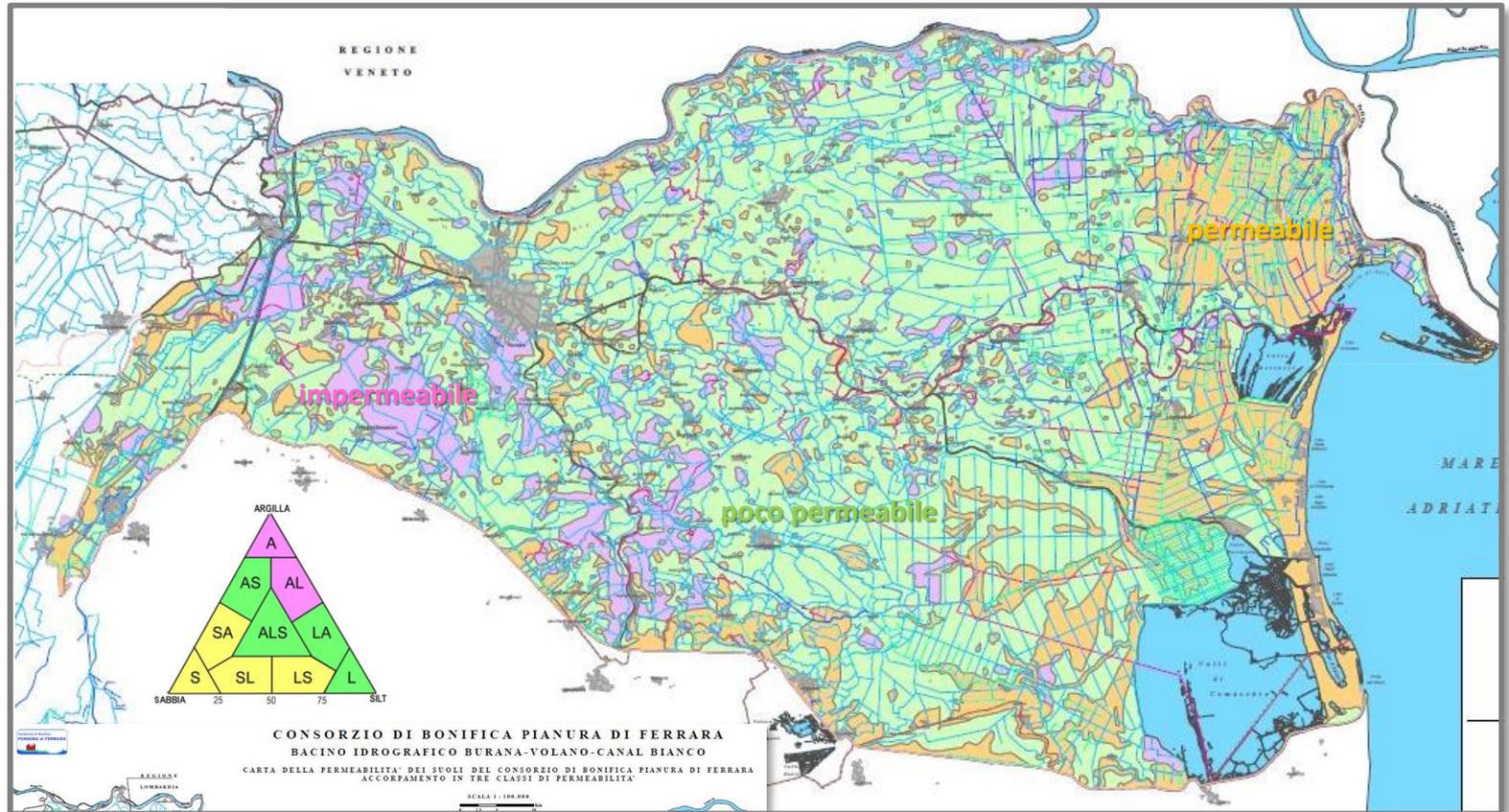
**Classificazione tessiturale  
e  
Stima grado di permeabilità**



## 9. Carta geomorfologica [2008]



**10.** Carta della permeabilità [2014]

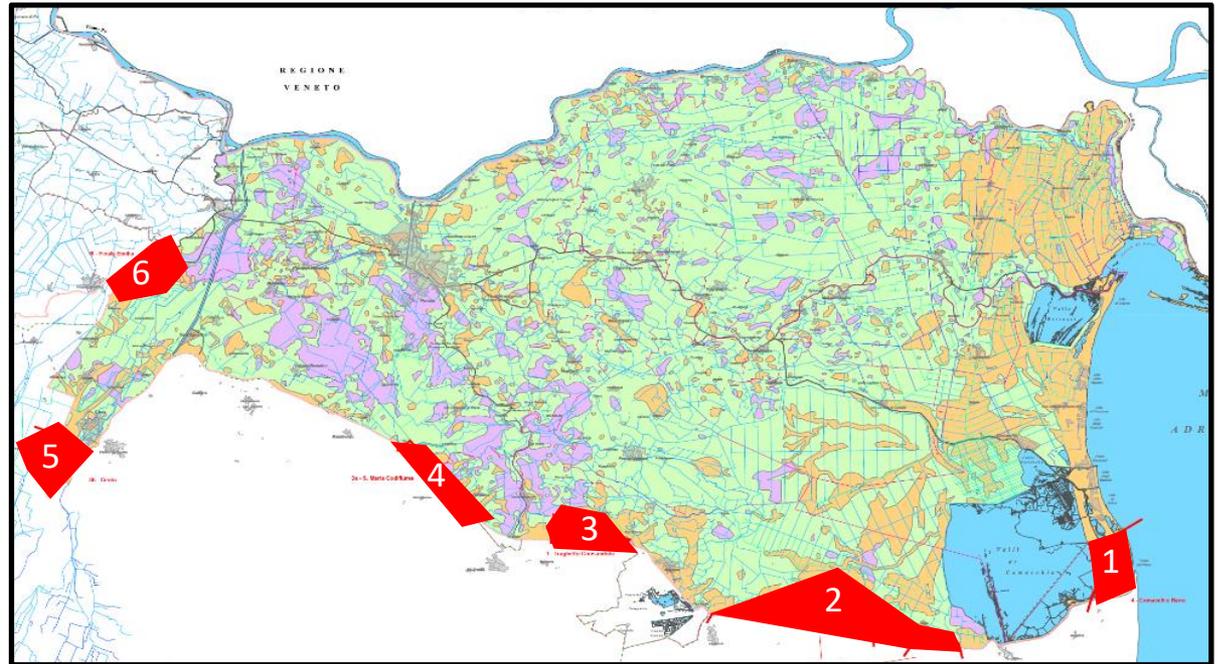


## scelta delle test aree

critério

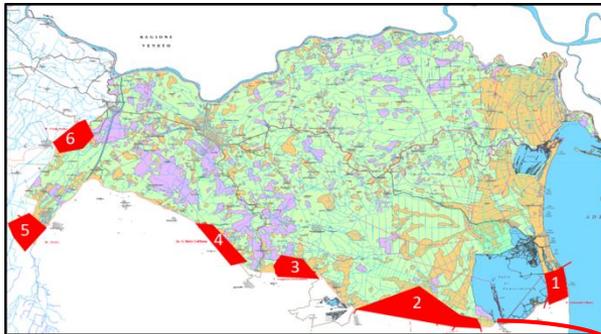


- ✓ minor disponibilità di dati
- ✓ ambiente deposizionale  
alta, media e bassa  
pianura ferrarese

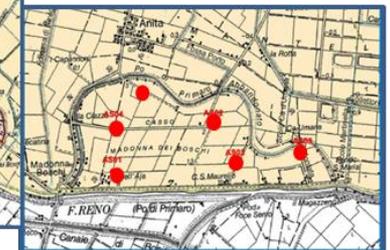
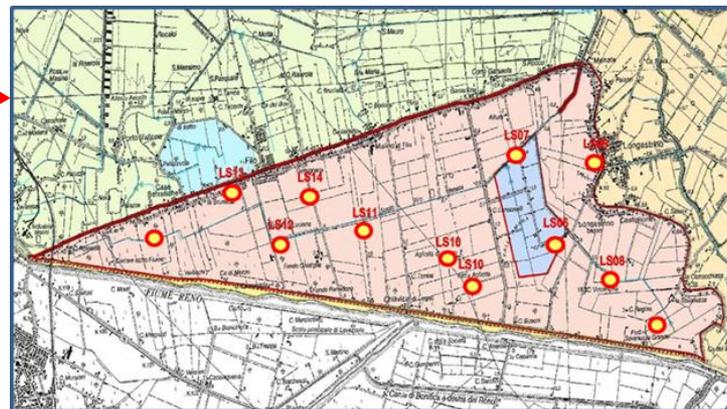


**RICERCA**

**bibliografica**



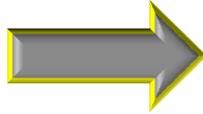
**rete di  
monitoraggio**



- carte storiche
- fotoaeree
- carta geomorfologica
- carte uso suolo
- sondaggi
- penetrometrie
- Idrogeologia
- .....

**RICERCA**

bibliografica



**INDAGINI IN SITU**

67 sondaggi



*profondità massima: 200 cm*



**RICERCA**

bibliografica



**INDAGINI IN SITU**

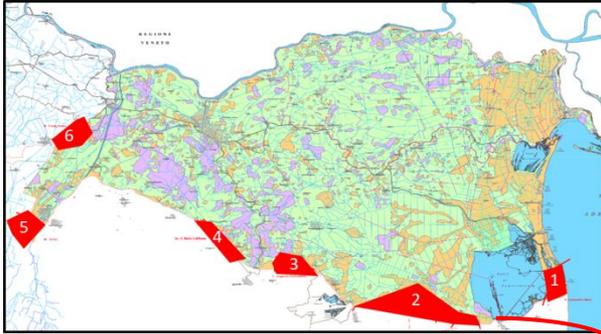
67 sondaggi



**ANALISI IN LABORATORIO**

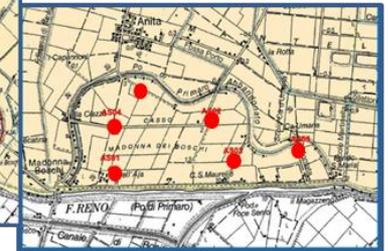
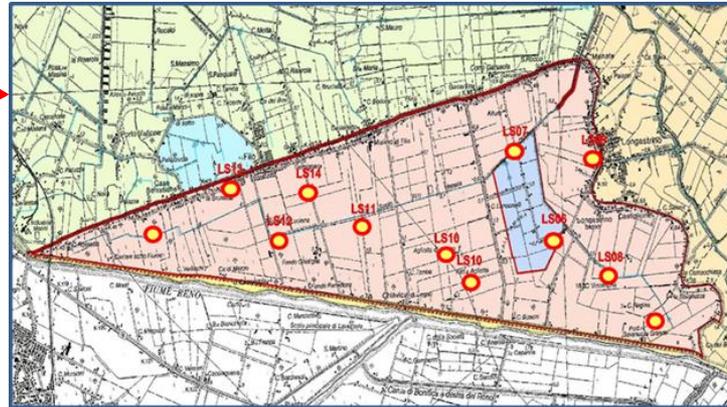
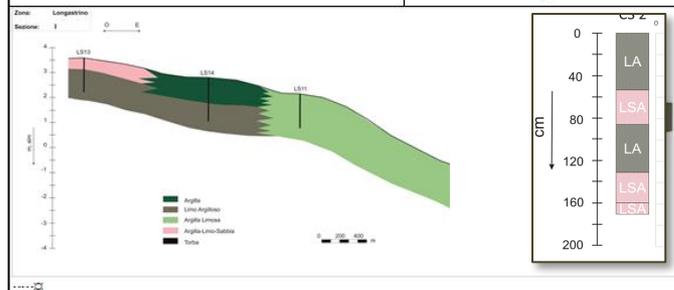
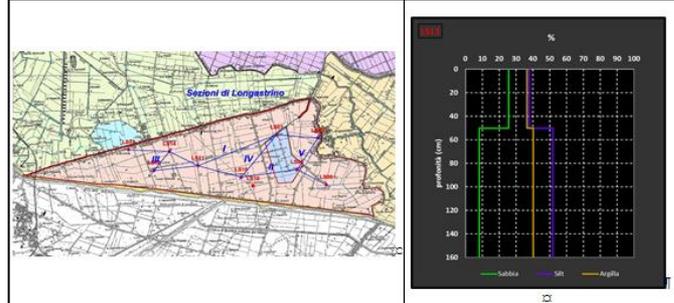
150 campioni:  
analisi granulometriche e  
% di sostanza organica



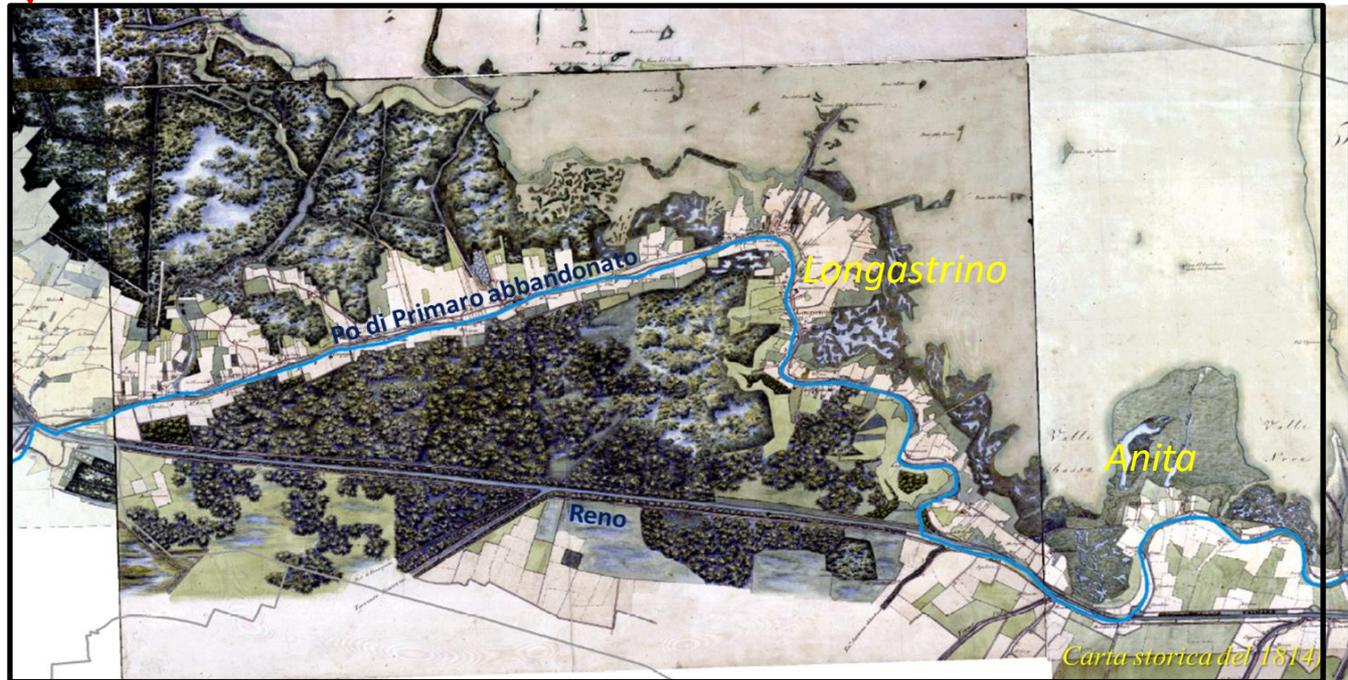
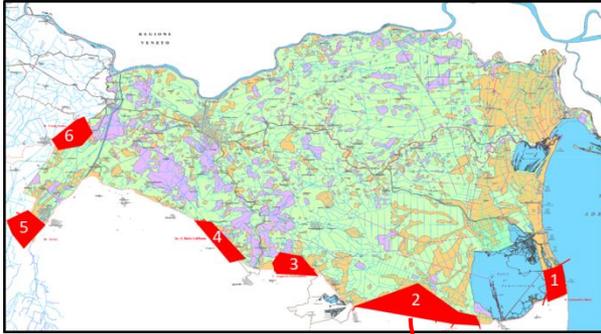


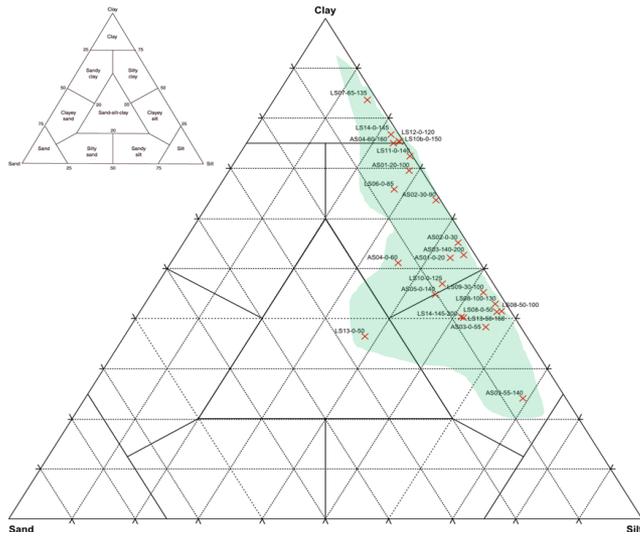
Carta della Permeabilità del territorio del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara  
Responsabile: prof. Dimitra Rapti (cpr@unife.it)  
Collaboratori: Elena Satin, Filippo Molteni, Carlo Di Giacomo, Umberto Tessari

Longastrino: LS13 (argilla-limo-sabbia / limo-argilloso)

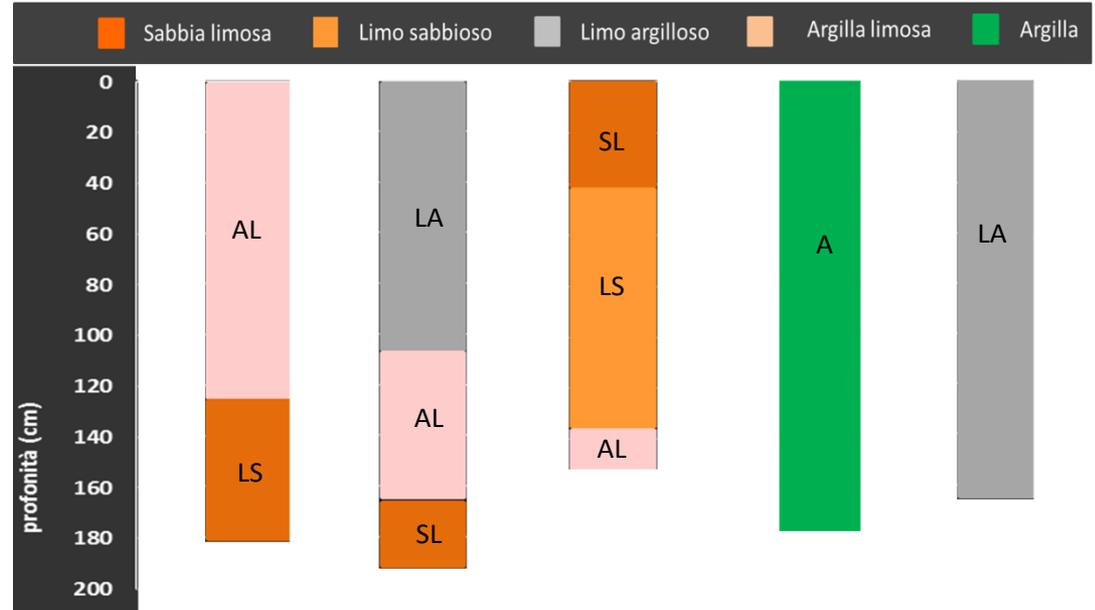


organizzazione dei dati

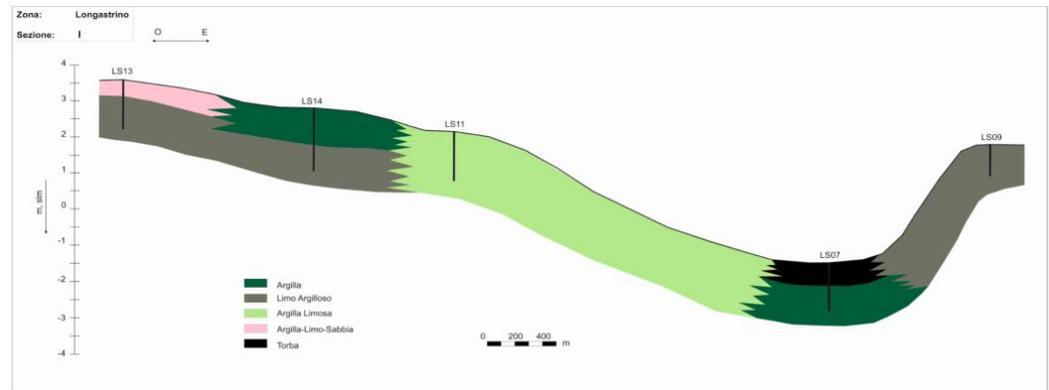
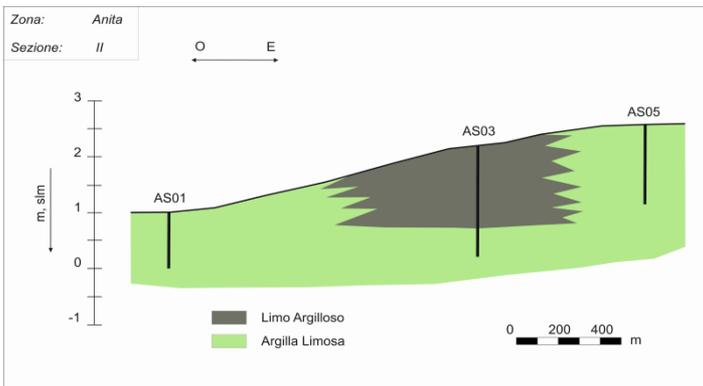
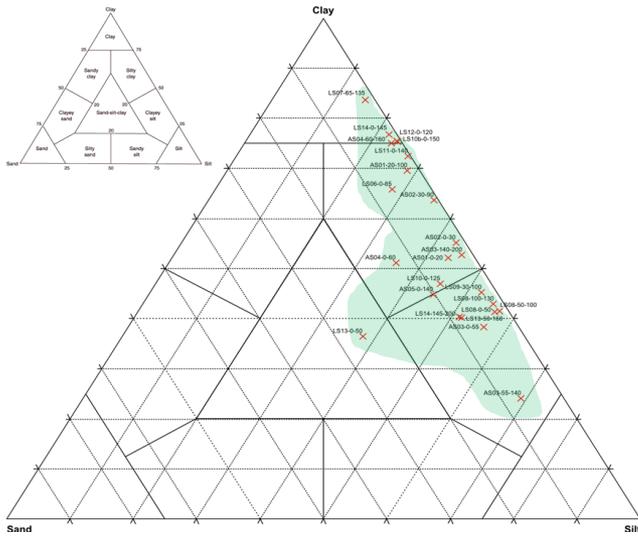




classi tessiturali

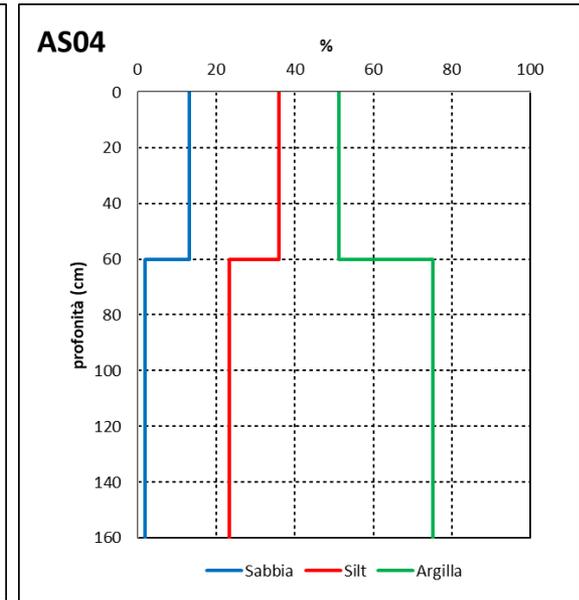
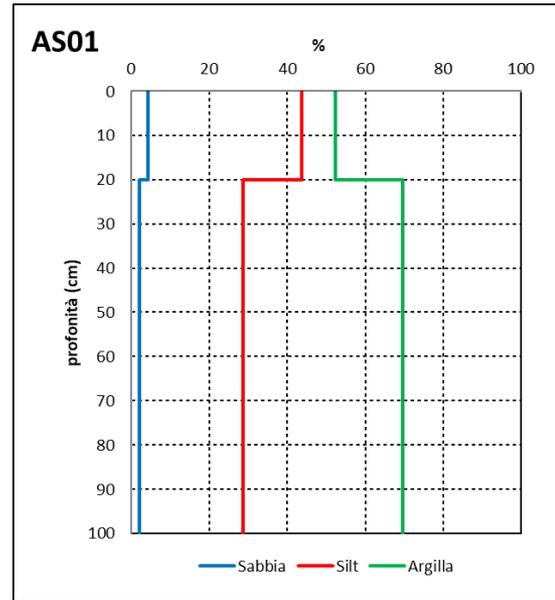
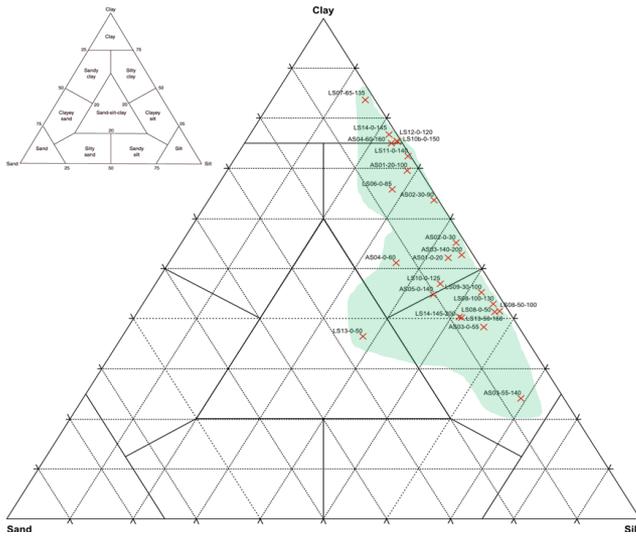


colonna tessiturale di ogni punto di campionamento

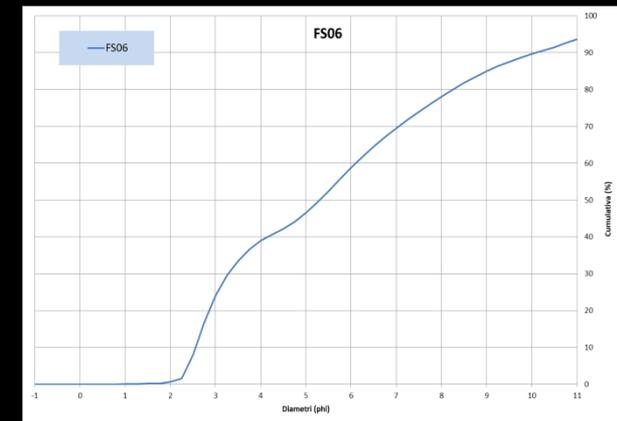
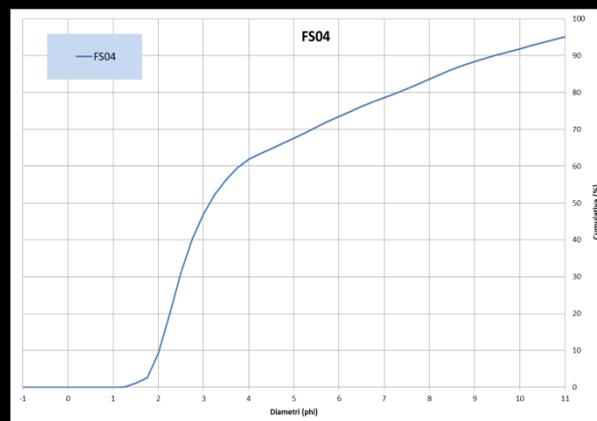
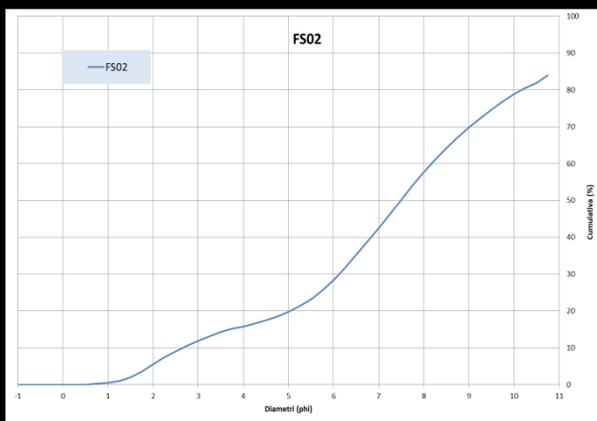


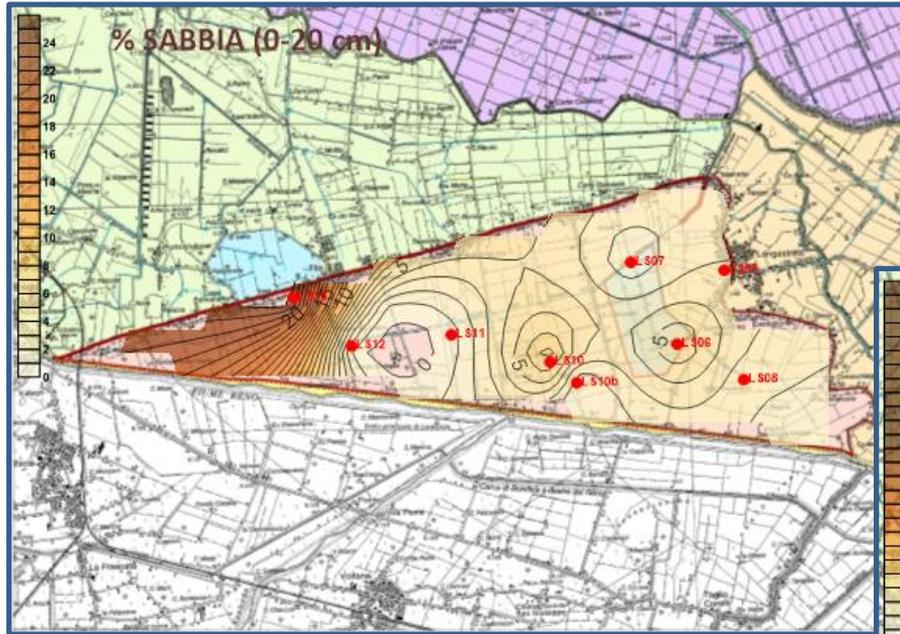
architettura della zona non satura

## tessitura vs profondità

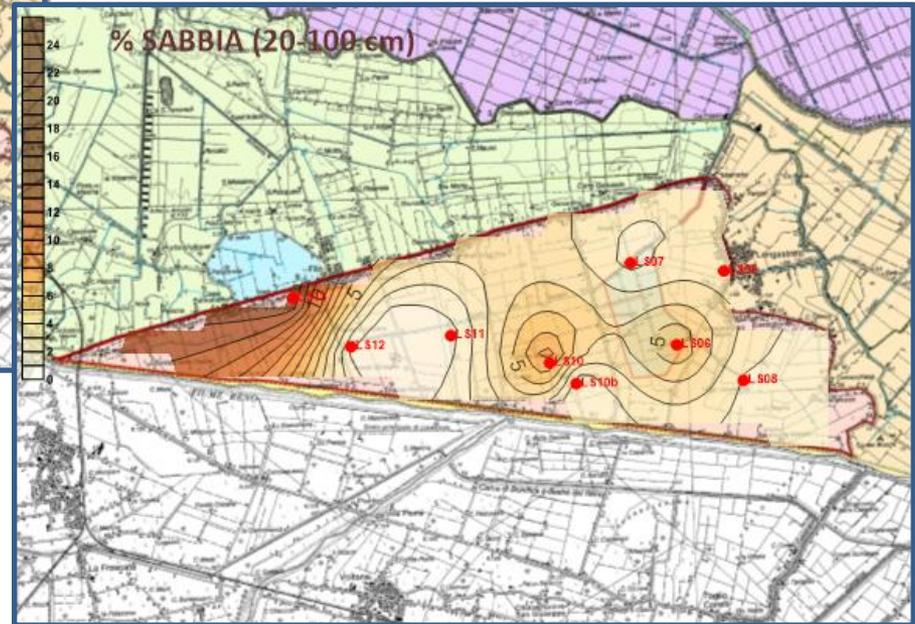


## curve granulometriche cumulative



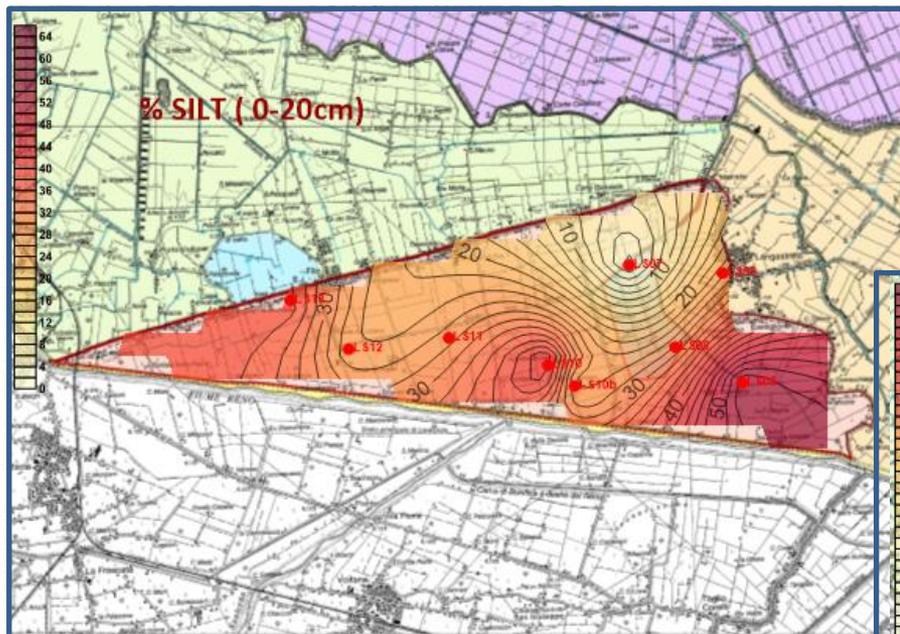


**% sabbia**

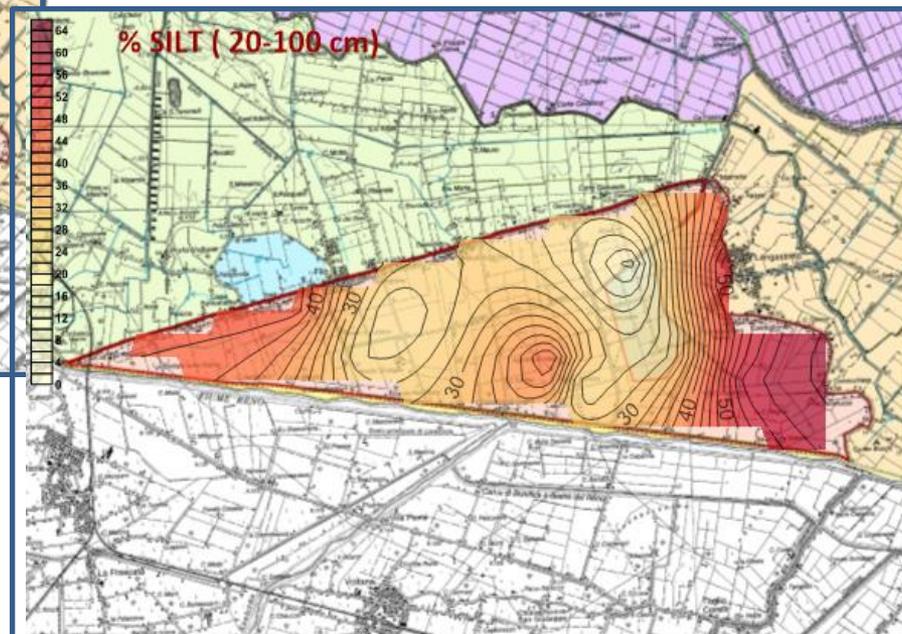


**0 - 20 cm**

**20 - 100 cm**

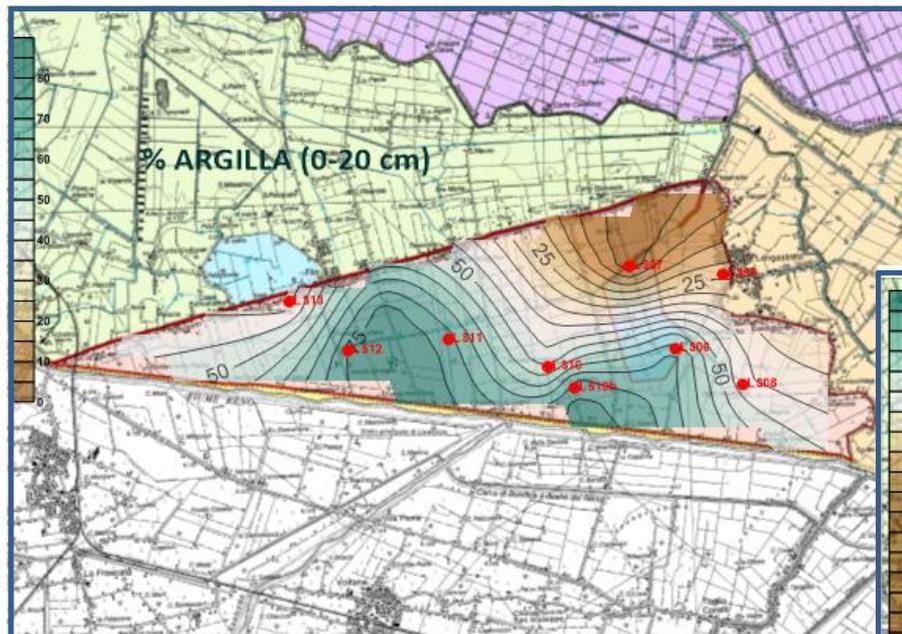


**% limo**

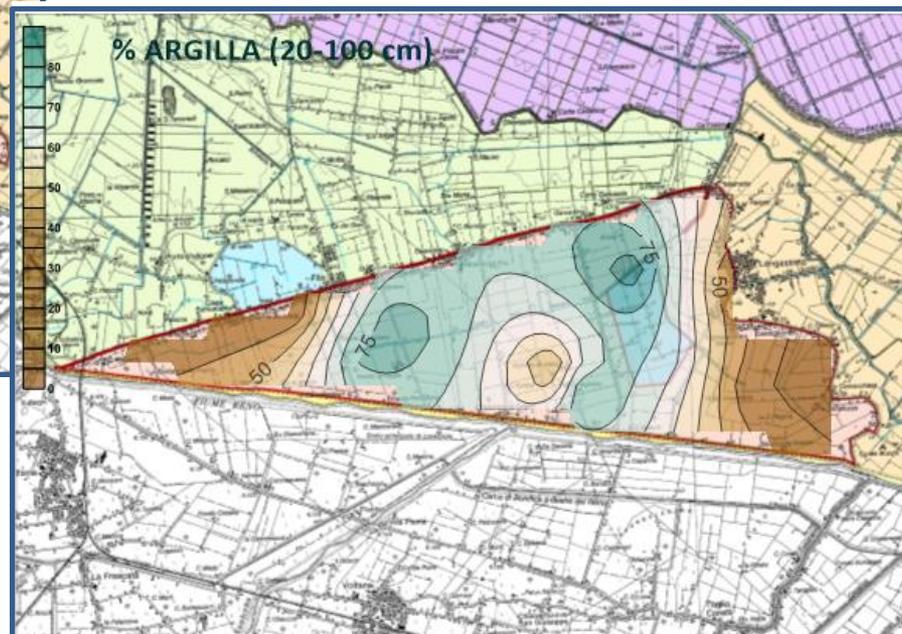


**0 - 20 cm**

**20 - 100 cm**

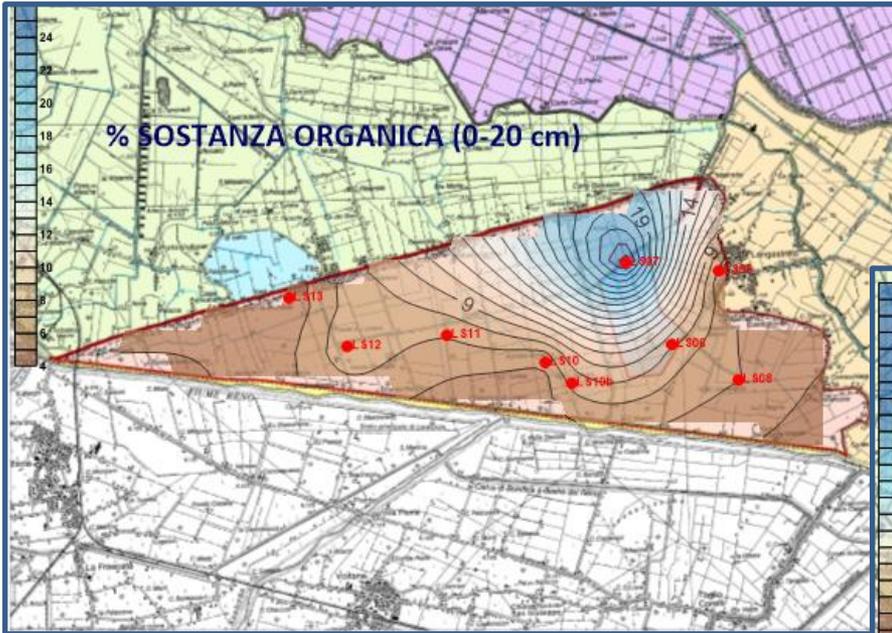


**% argilla**

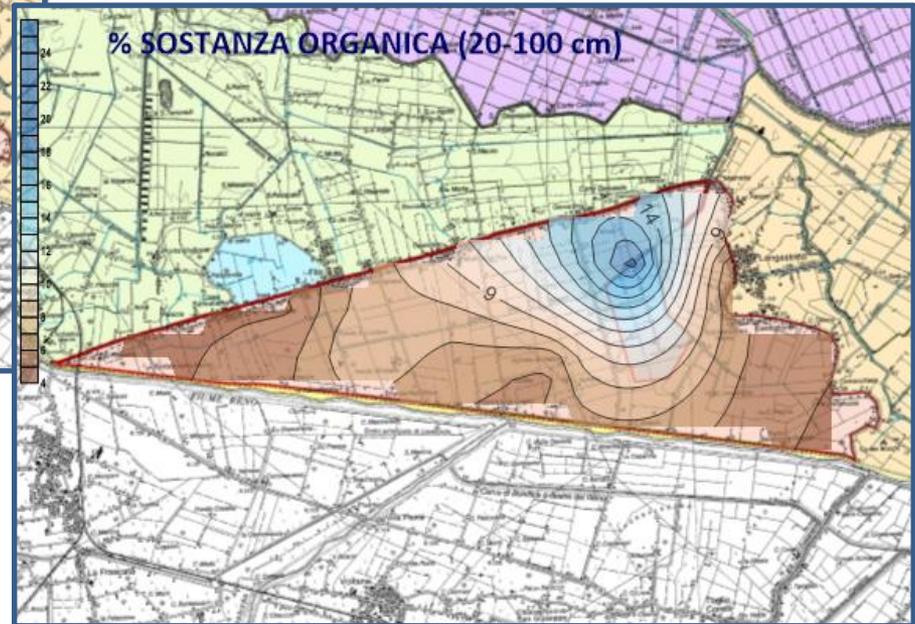


**0 - 20 cm**

**20 - 100 cm**

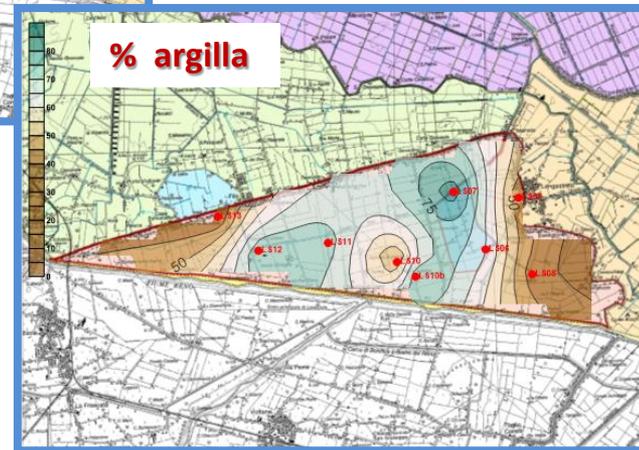
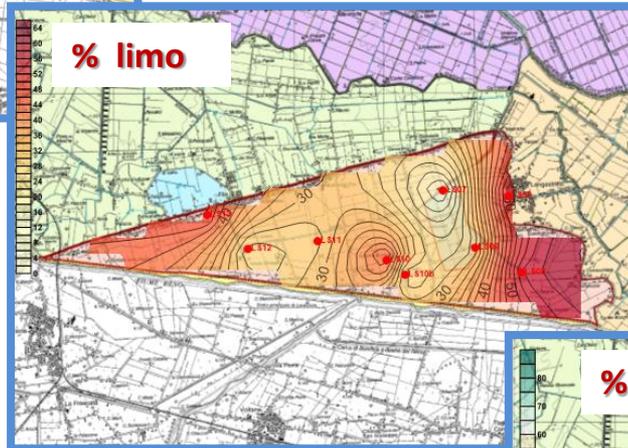
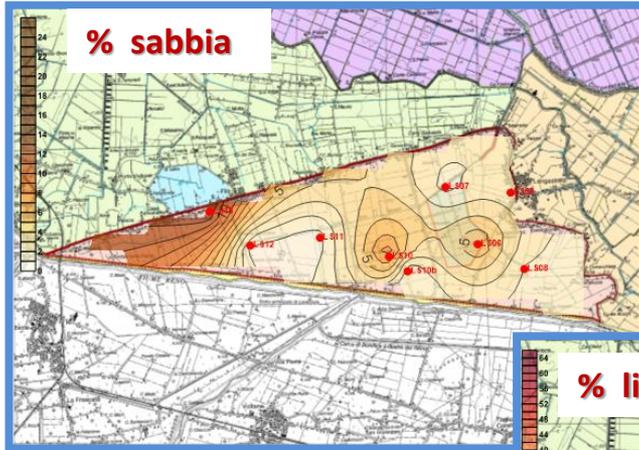


**% sostanza organica**



**0 - 20 cm**

**20 - 100 cm**



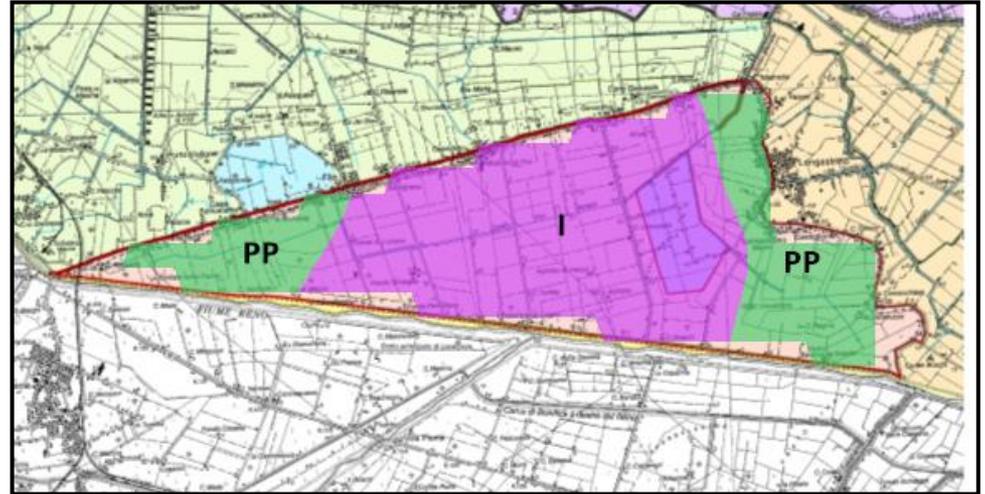
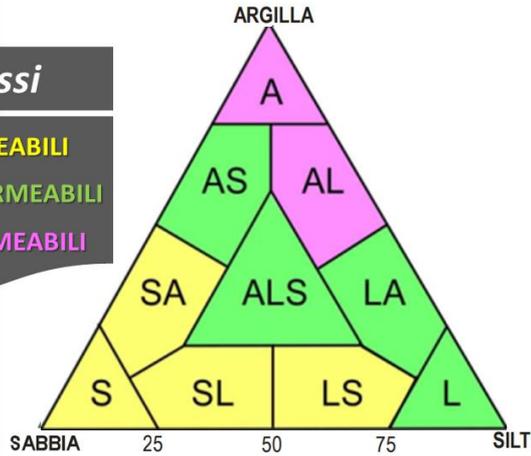
media pesata

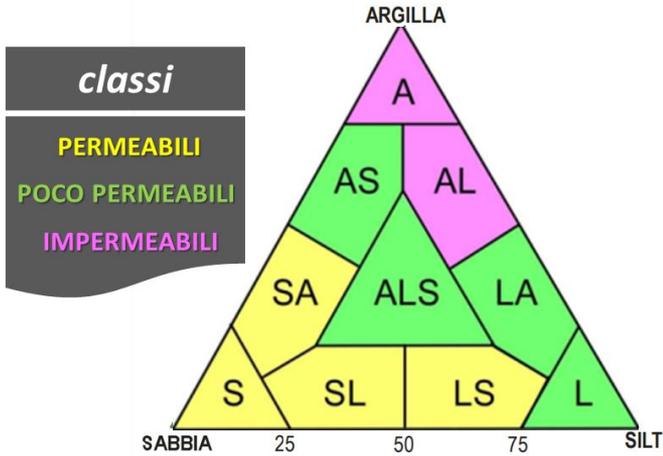
*classi*

**PERMEABILI**

POCO PERMEABILI

IMPERMEABILI



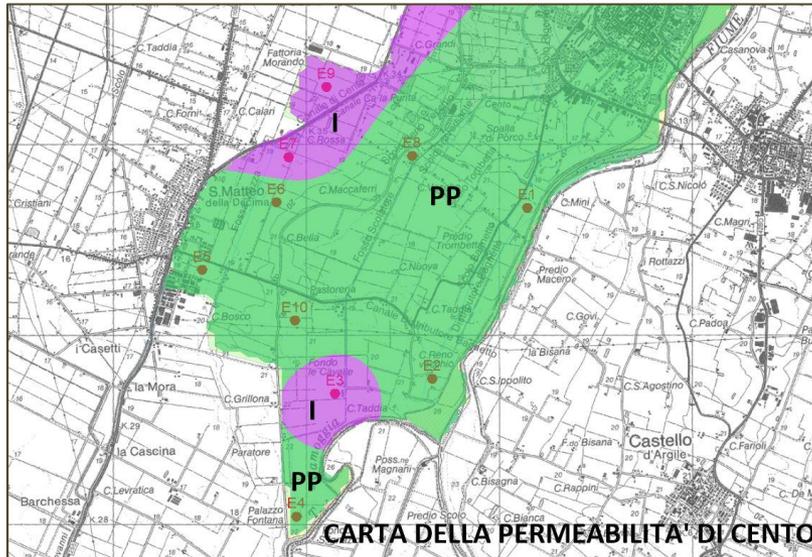
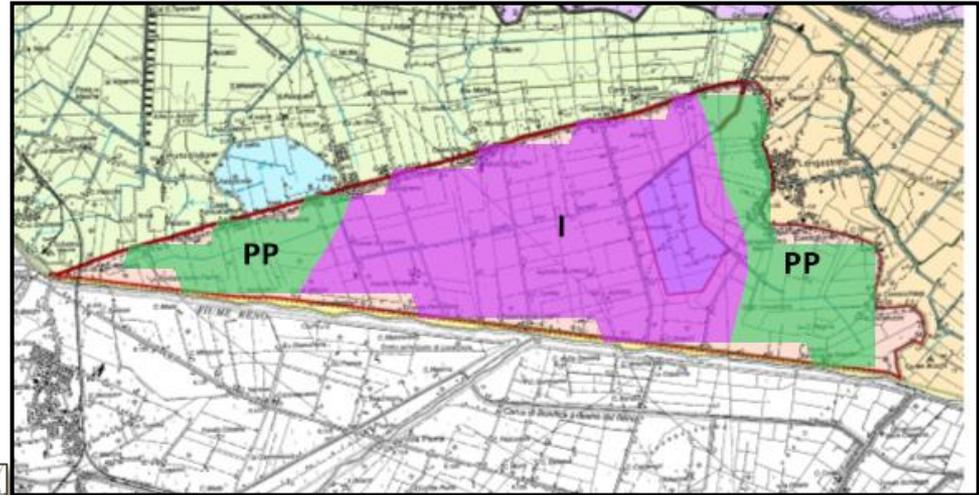


**classi**

**PERMEABILI**

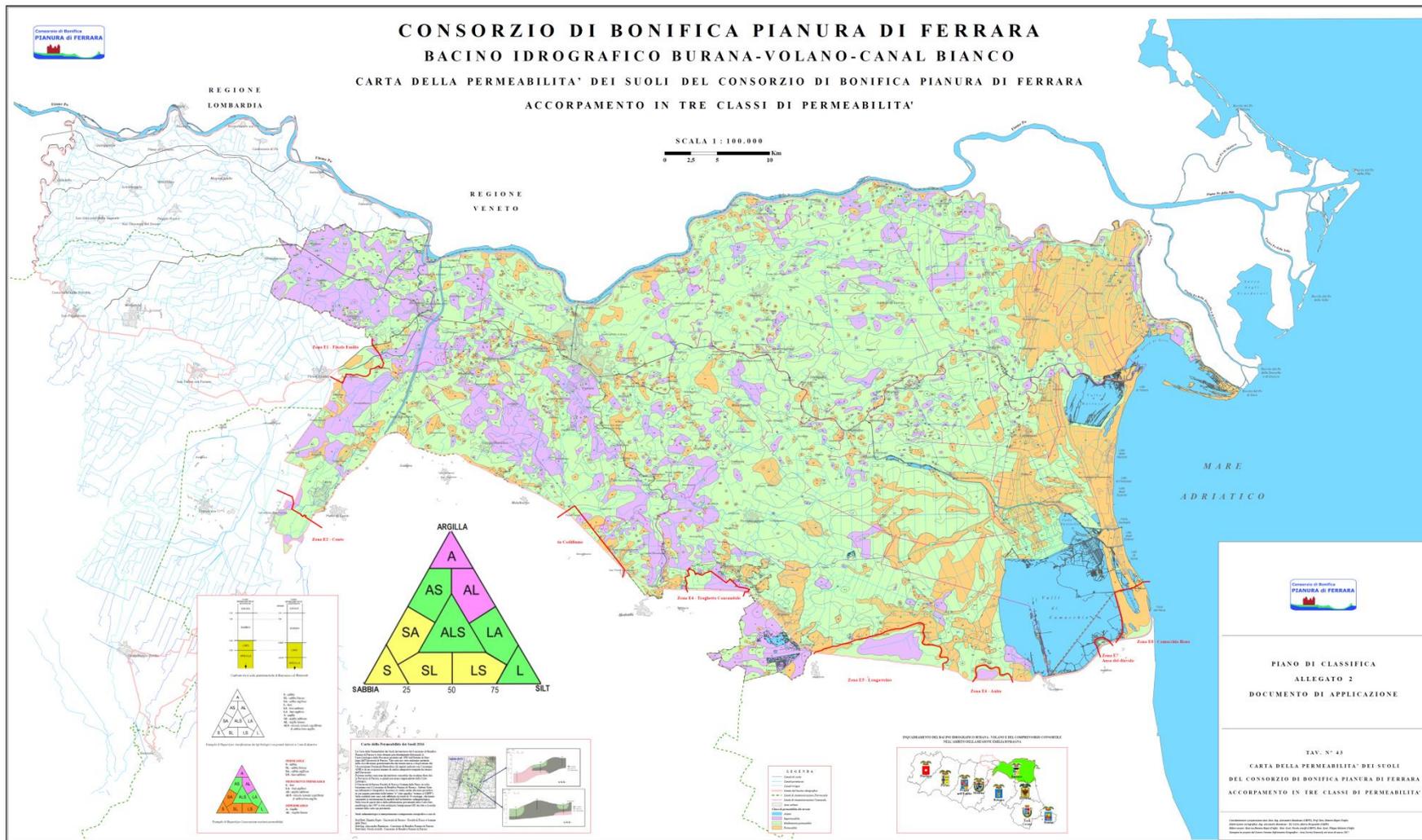
**POCO PERMEABILI**

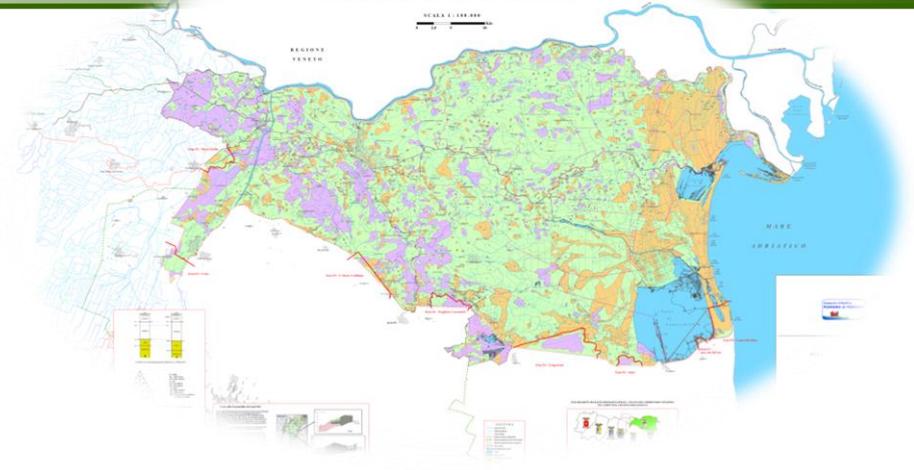
**IMPERMEABILI**



**CARTA DELLA PERMEABILITA' DI CENTO**







# *ulteriori approfondimenti applicativi*

*..... permeabilità*

*..... risalita capillare*

*..... potenziale di ritiro e rigonfiamento*

*..... vulnerabilità acquiferi*

Vukovic e Soro (1992)

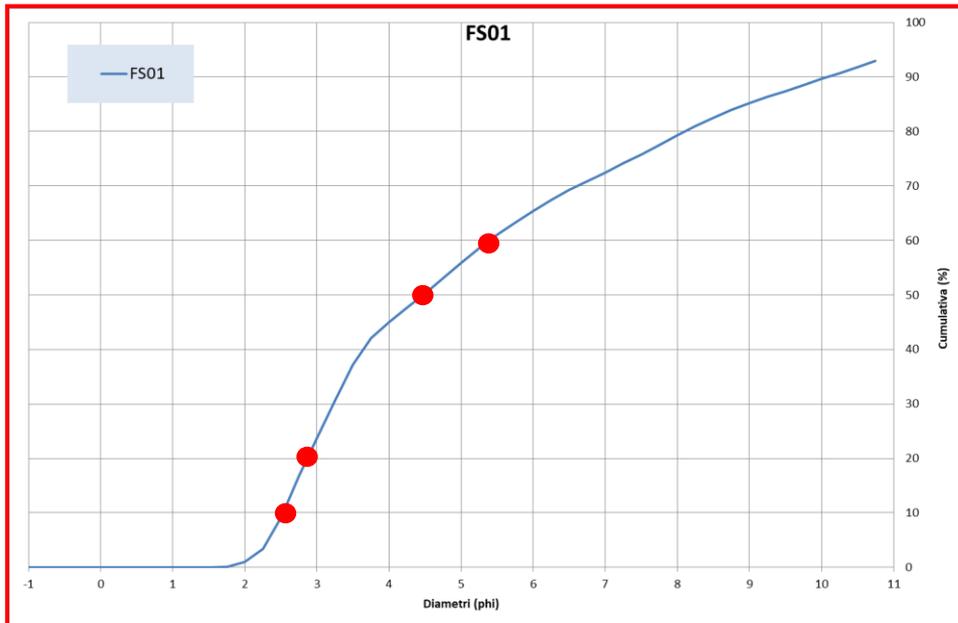
$$K = \frac{g}{v} \times C \times f(n) \times d_e^2$$

$K$  = permeabilità;  
 $g$  = accelerazione di gravità;  
 $v$  = viscosità cinematica;  
 $C$  = coefficiente di cernita;  
 $f(n)$  = funzione della porosità;

$$n = 0.255 \times (1 + 0.83U)$$

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$d_e$  = effettivo diametro dei granuli



tramite metodi empirici

Slitcher (1898)

$$K = \frac{g}{v} \times 1 \times 10^{-2} n^{3.287} d_{10}^2$$

Terzaghi (1964)

$$K = \frac{g}{v} \times C_t \times \left( \frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right) d_{10}^2$$

Alyamani & Sen (1993)

$$K = 1300 \times ((I_0 + 0.025(d_{50} - d_{10}))^2$$

Hazen (1892)

$$K = \frac{g}{v} \times 6 \times 10^{-4} (1 + 10(n - 0.26)) d_{10}^2$$

Kozeny-Carman (1956)

$$K = \frac{g}{v} \times 8.3 \times 10^{-3} \left( \frac{n^3}{(1 - n)^2} \right) d_{10}^2$$

U.S. Bureau of Reclamation USBR (1992)

$$K = \frac{g}{v} \times 4.8 \times d_{20}^{0.3} \times d_{20}^2$$

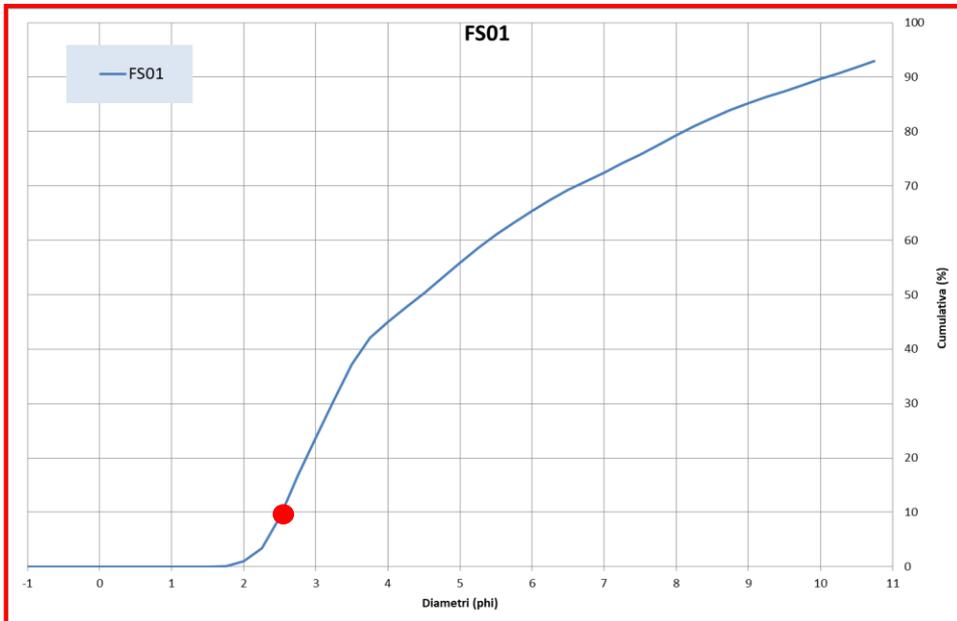
Breyer (1998)

$$K = \frac{g}{v} \times 6 \times \log \frac{500}{U} d_{10}^2$$

dell'altezza di risalita  
capillare  $h_c$  (in cm)

$$h_c = \frac{C_s}{e \cdot D_{10}}$$

<i>Terreno</i>	$D_{10}$ (mm)	$h_c$ (m)
Ghiaia	0,82	0,05
Sabbia	0,11	0,80
	0,02	2,40
Limo	0,006	3,60
Argilla	0,001	>10,0

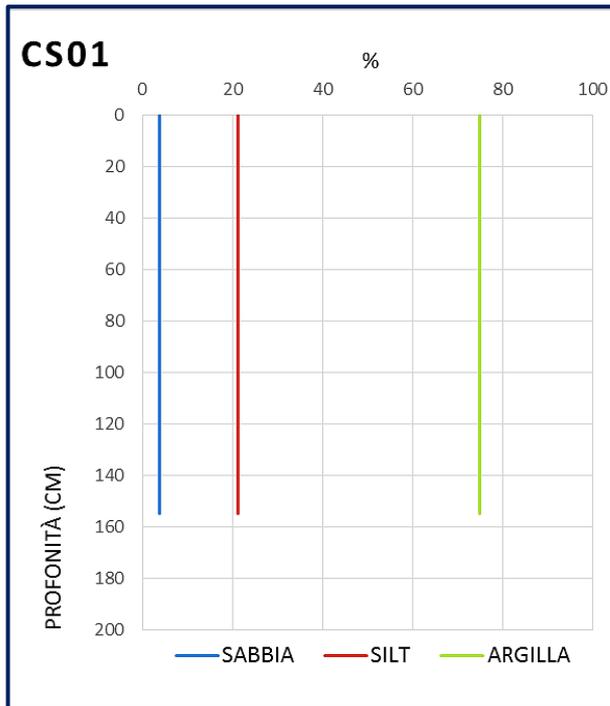


$e$ : l'indice dei vuoti

$D_{10}$ : è il diametro efficace (in cm)

$C_s$ : costante empirica, dipendente dalla forma dei grani e dalle impurità delle superfici (0.1 e 0.5 cm<sup>2</sup>)

**argille soggette a  
fenomeni di ritiro e  
rigonfiamento**



*ricerca in collaborazione con prof.ssa M. Ghirotti e dott.ssa E. Satin*

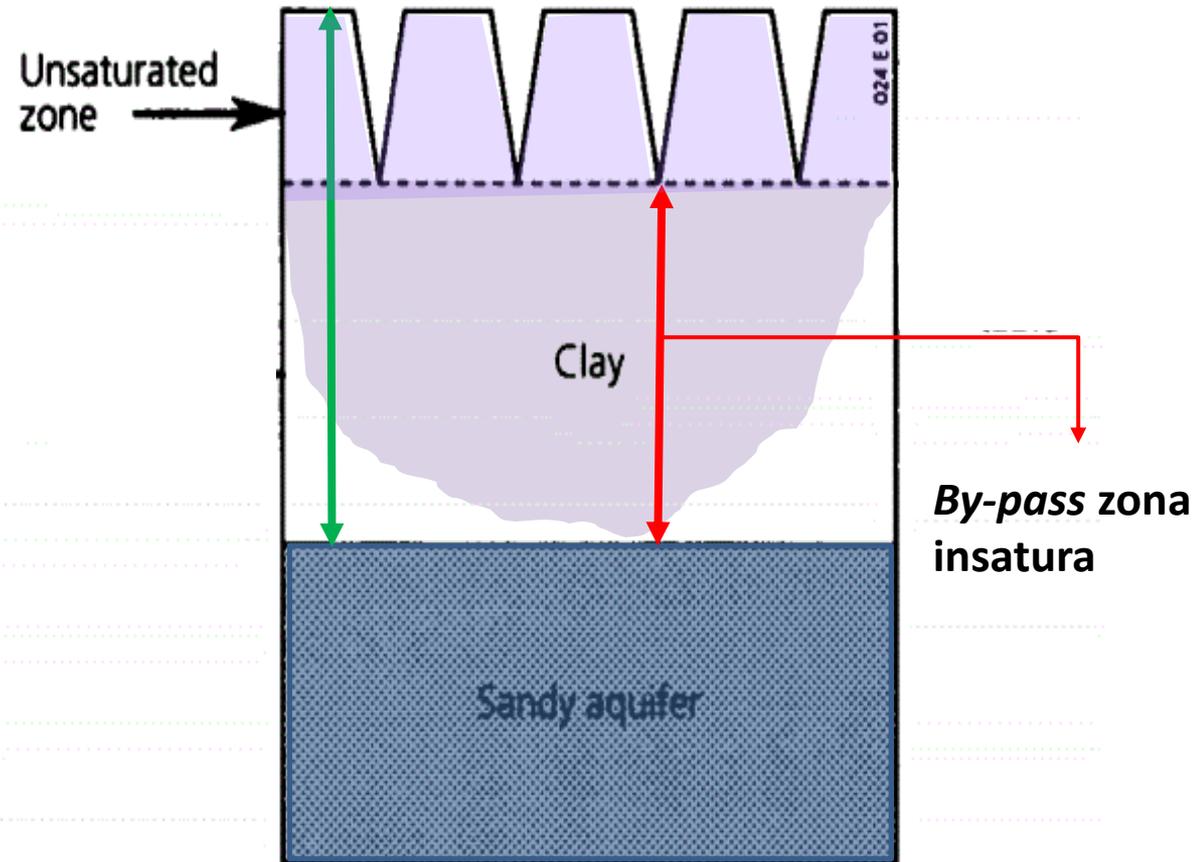
**VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI**

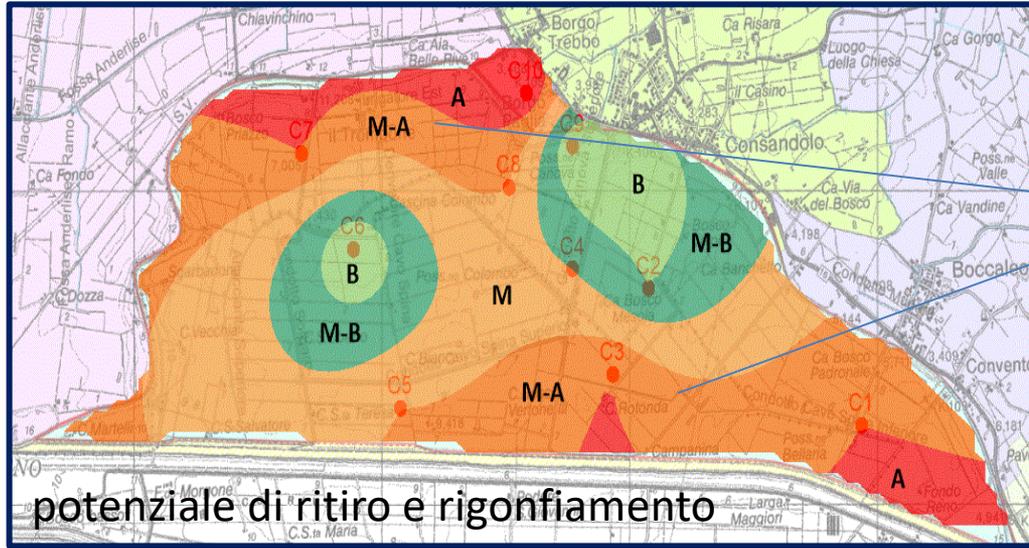
**ALL'INQUINAMENTO:**

bisogna considerare lo sviluppo di  
**permeabilità secondaria per  
fessurazione nella zona non  
satura**



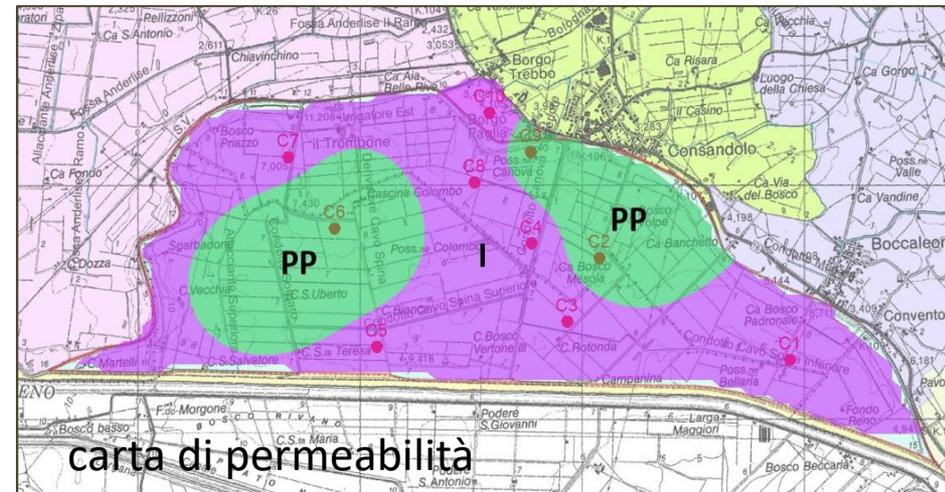
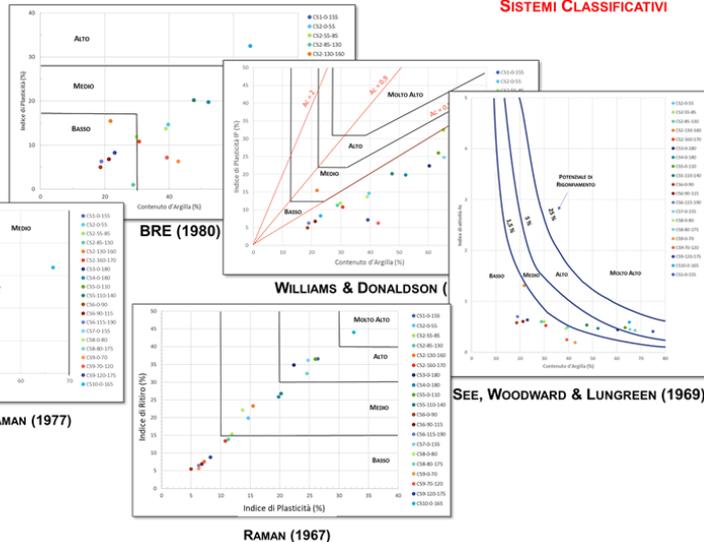
**fessurazioni possono  
rappresentare una via  
preferenziale di lisciviazione delle  
acque e dei contaminanti**





possibile formazione  
di permeabilità  
secondaria per  
fessurazione

- Contenuto d'argilla (%)
- Limite liquido (%)
- Limite di ritiro (%)
- Indice di ritiro (%)
- Indice di plasticità (%)
- Indice d'attività



# Implementazione digitale e aggiornamento della carta della permeabilità dei suoli del Consorzio di Bonifica, Pianura di Ferrara

*responsabili*

Dimitra Rapti

Alessandro Bondesan

*hanno collaborato*

Elena Satin

Filippo Molteni

Carlo Di Giacomo

Nicola Astolfi

Umberto Tessari

*si ringraziano*

Riccardo Caputo e Monica Ghirotti per le utili discussioni

