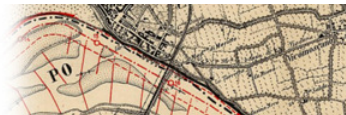




Autorità di bacino del fiume Po

Bacino di rilievo nazionale



Regione Lombardia



Regione Emilia-Romagna

Verifiche di stabilità in condizioni sismiche dell'argine destro del Po nei comuni classificati sismici in zona 3 nel tratto compreso tra Boretto (RE) e Ro (FE)

Parma, 11 aprile 2012

Risultati delle indagini per la definizione del modello stratigrafico e idrogeologico

Giulia Biavati, Luca Martelli, Silvia Rosselli, Paolo Severi

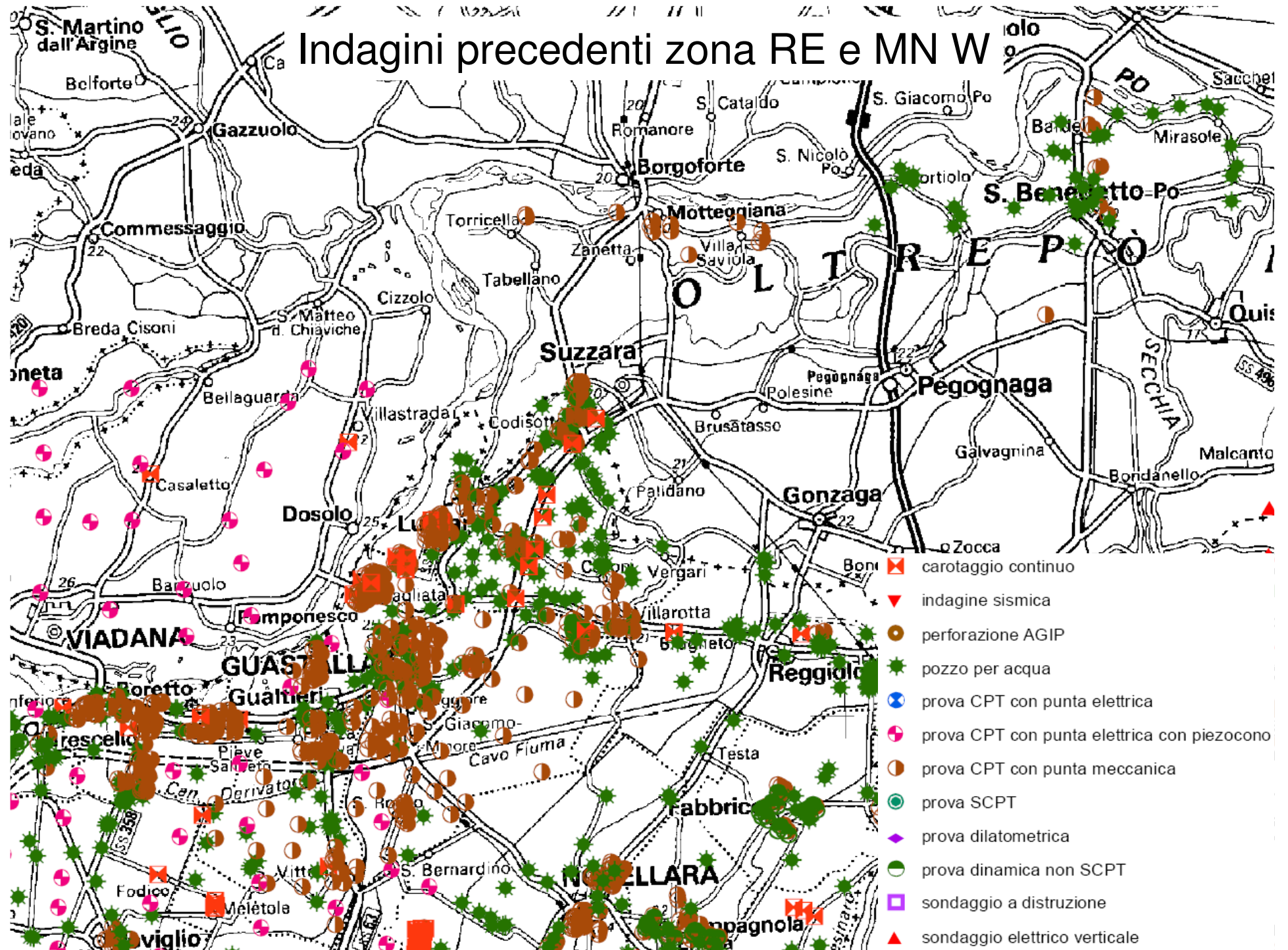


Regione Emilia-Romagna

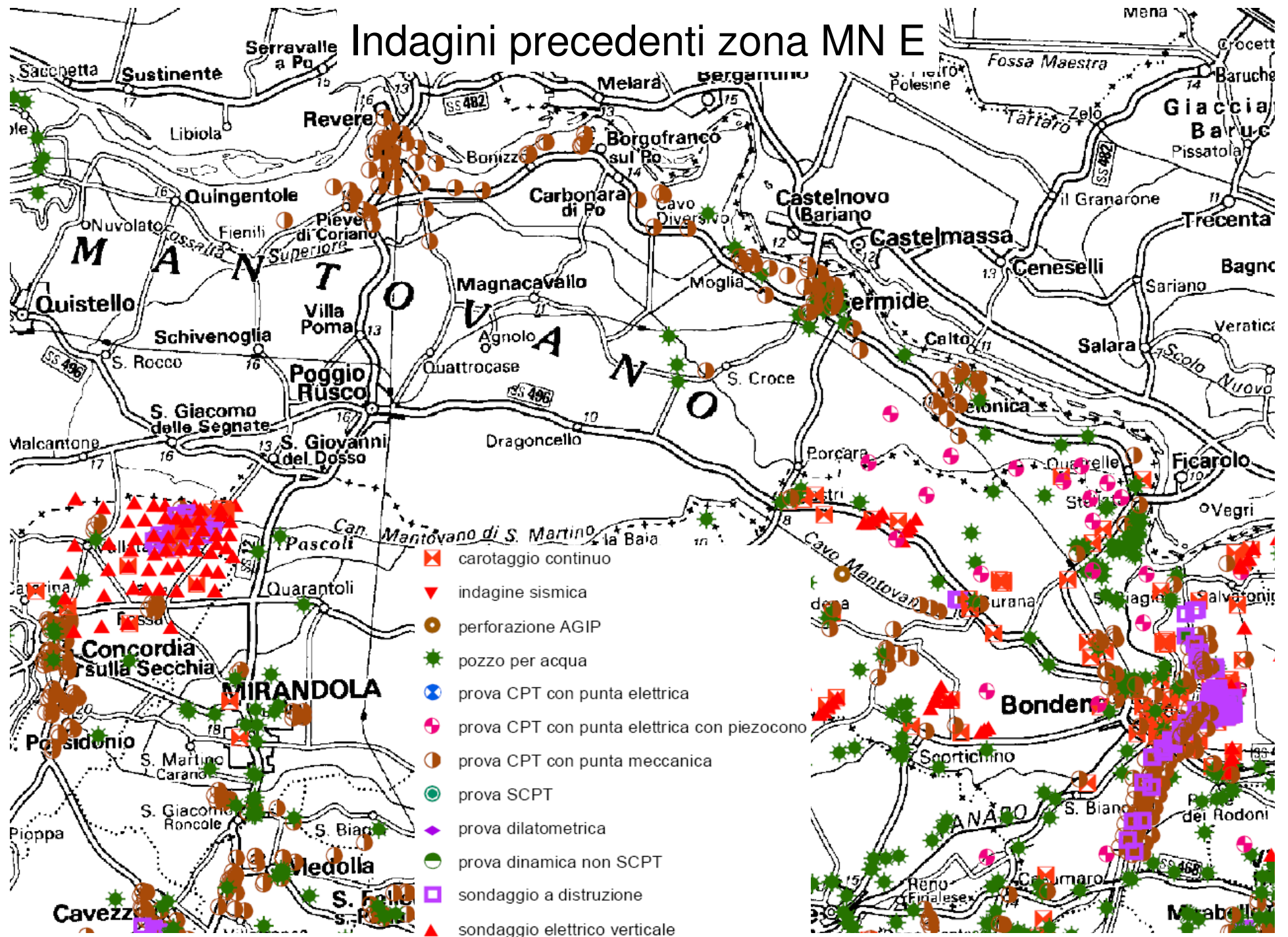


servizio geologico
sismico e dei suoli

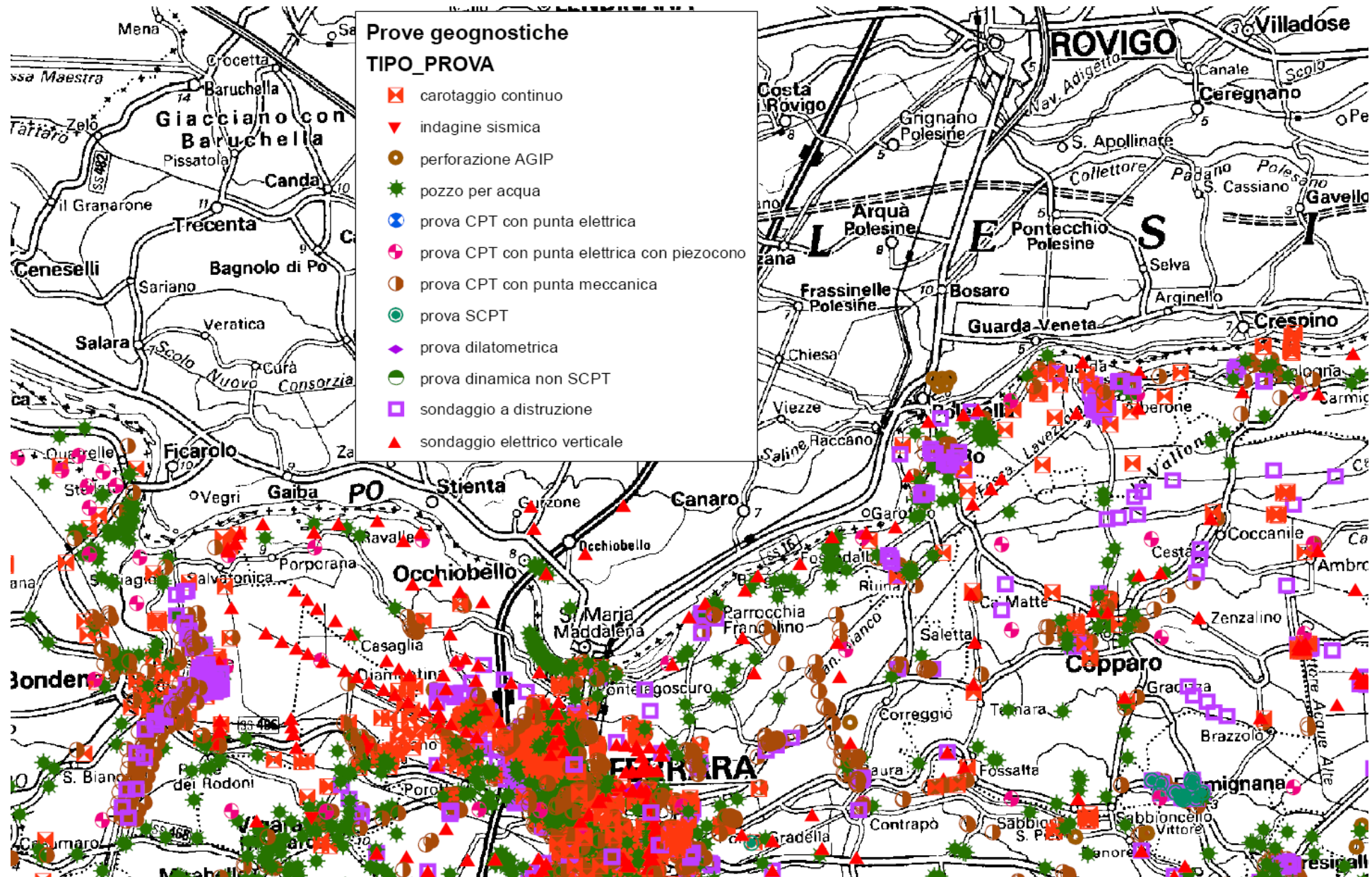
Indagini precedenti zona RE e MN W



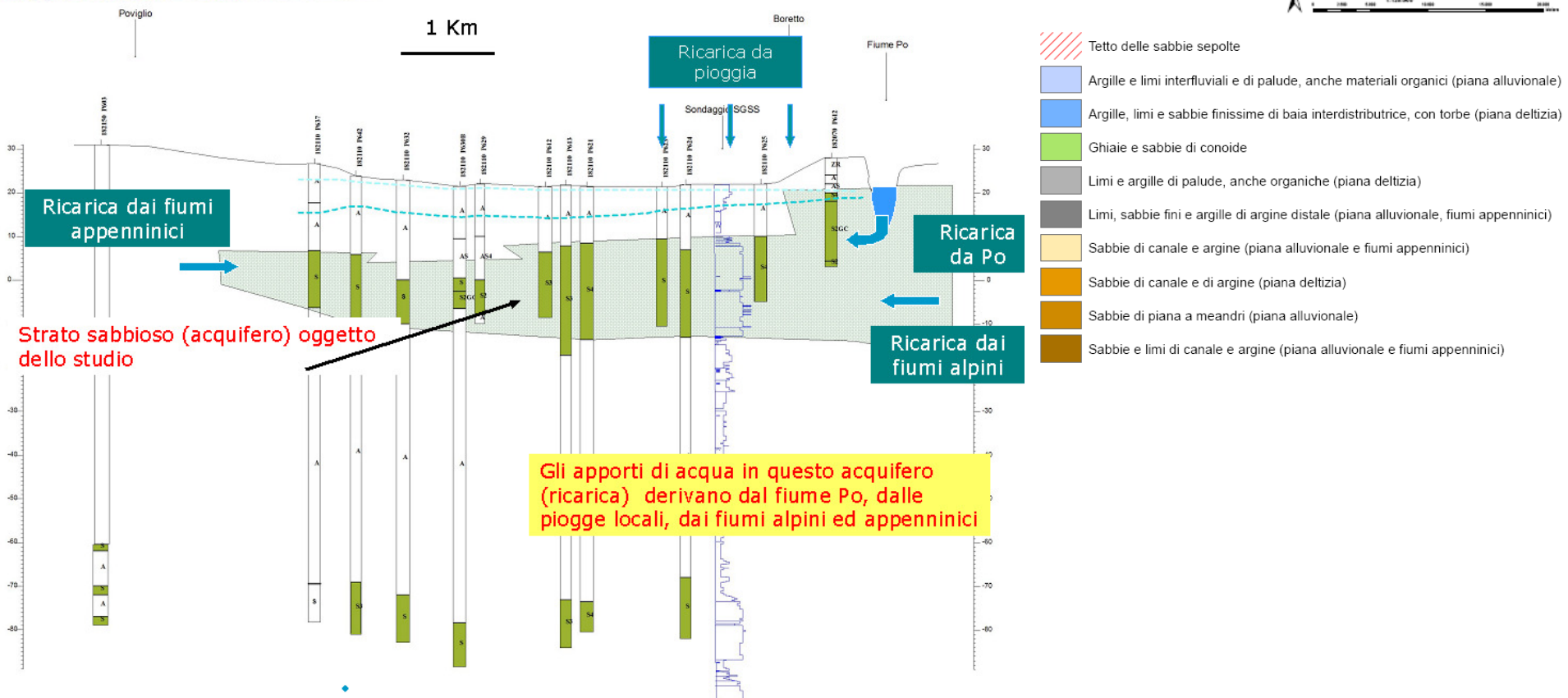
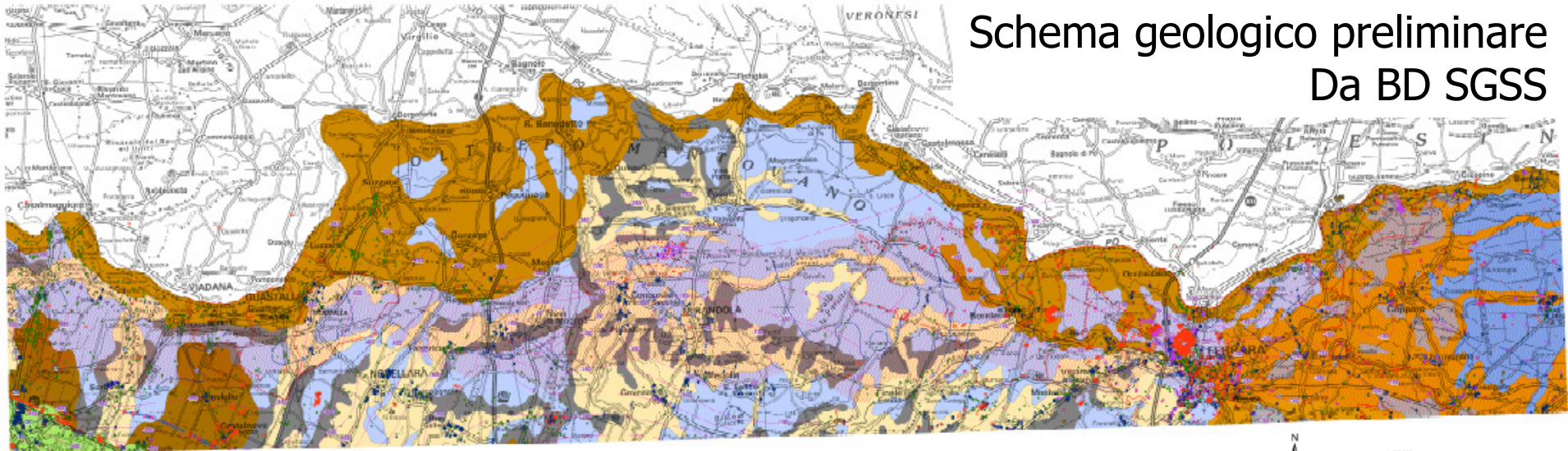
Indagini precedenti zona MN E

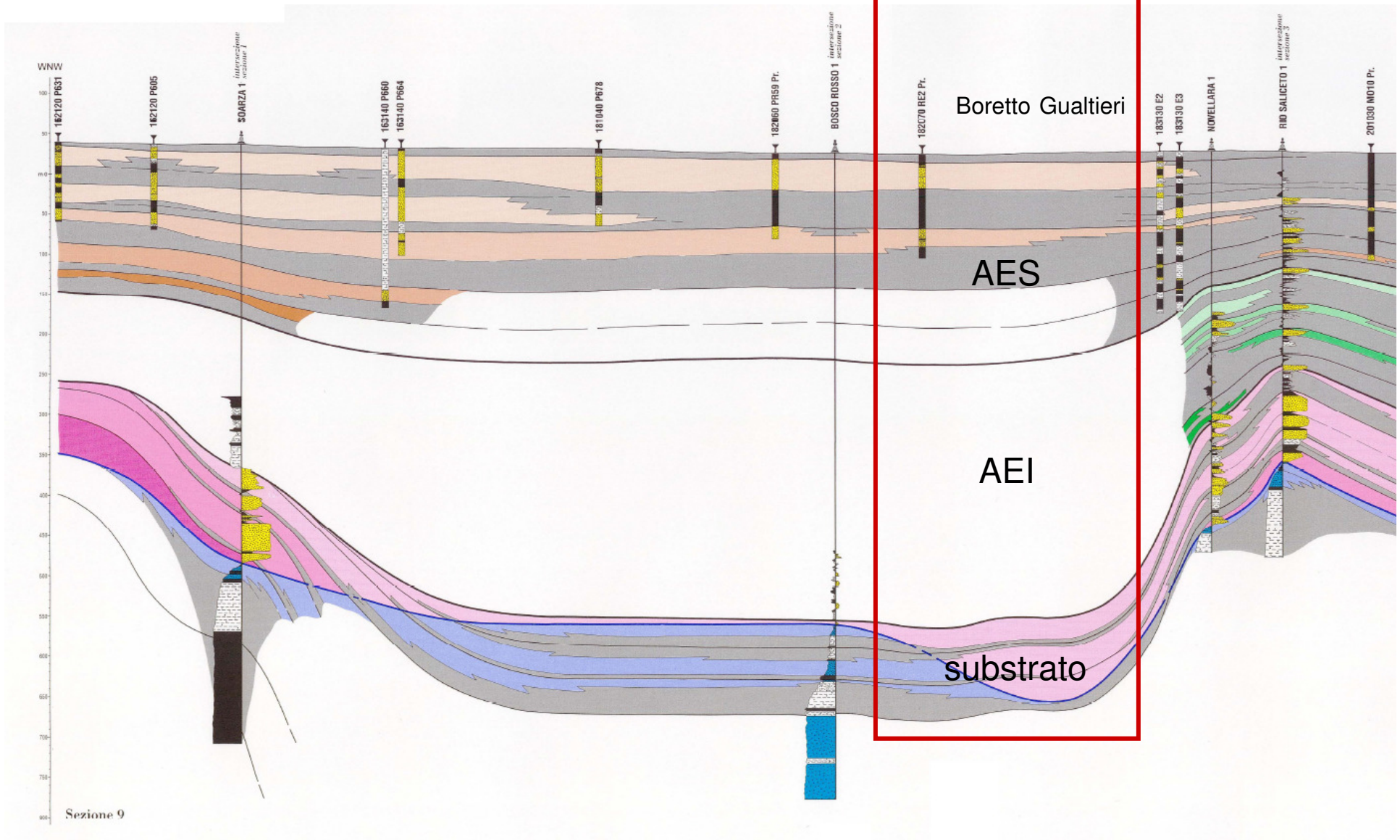


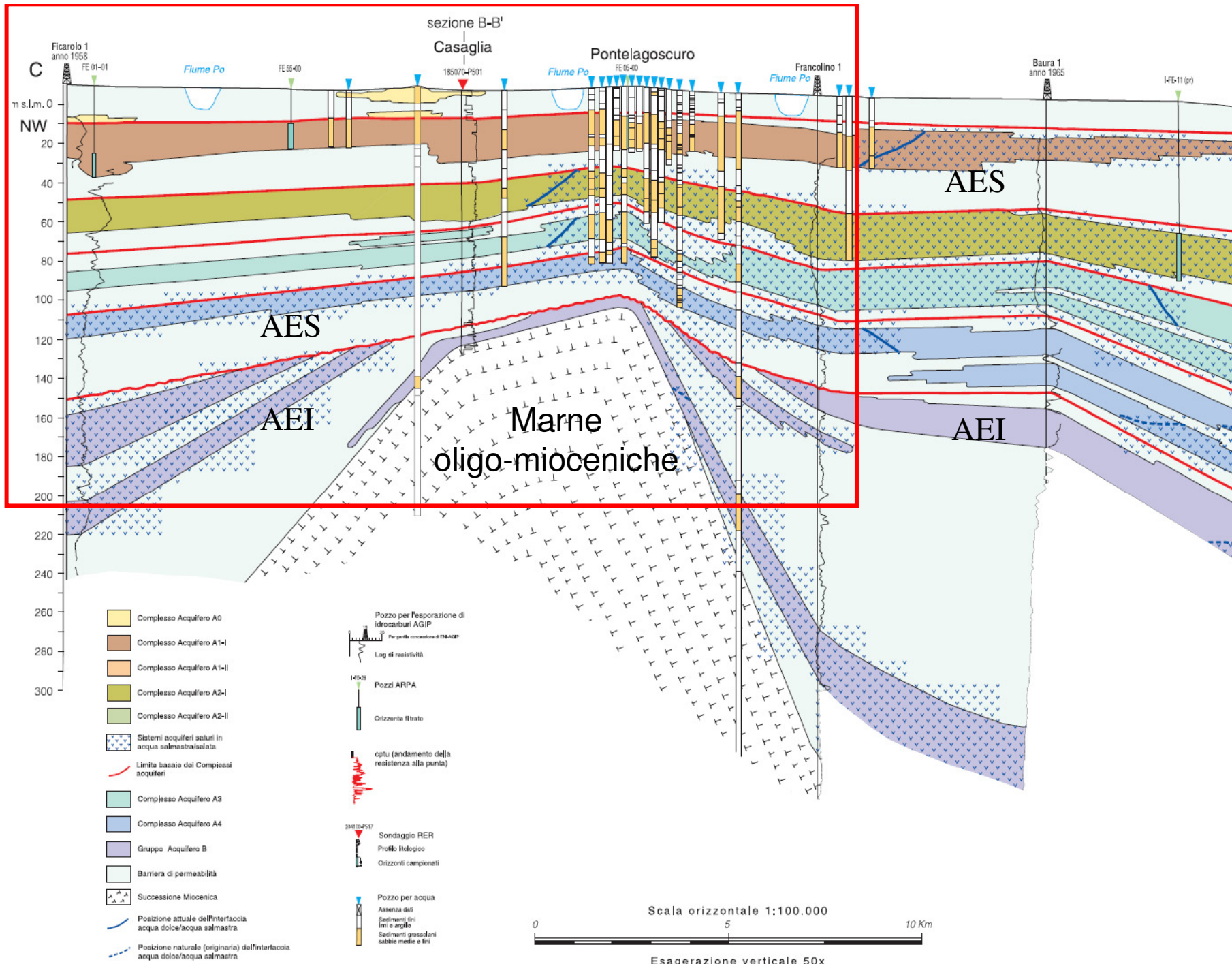
Indagini precedenti zona FE



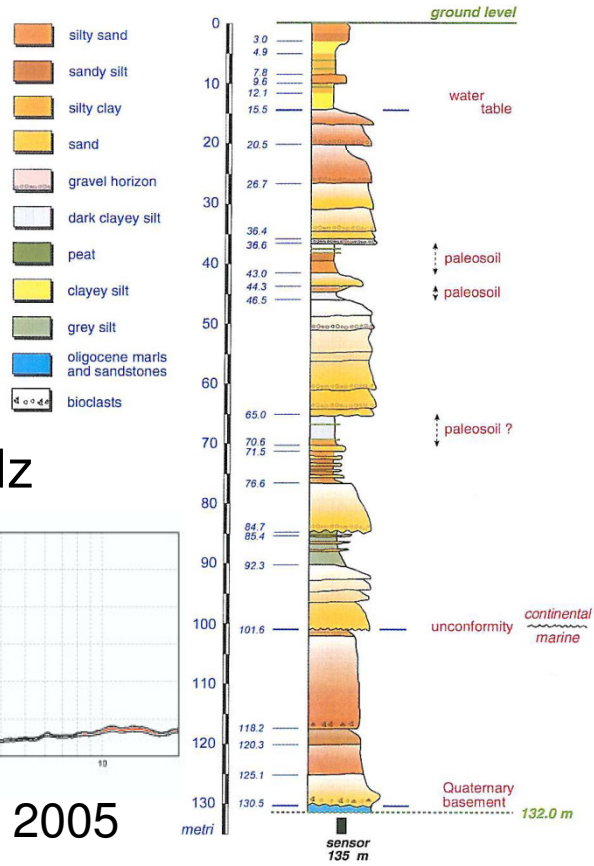
Schema geologico preliminare Da BD SGSS



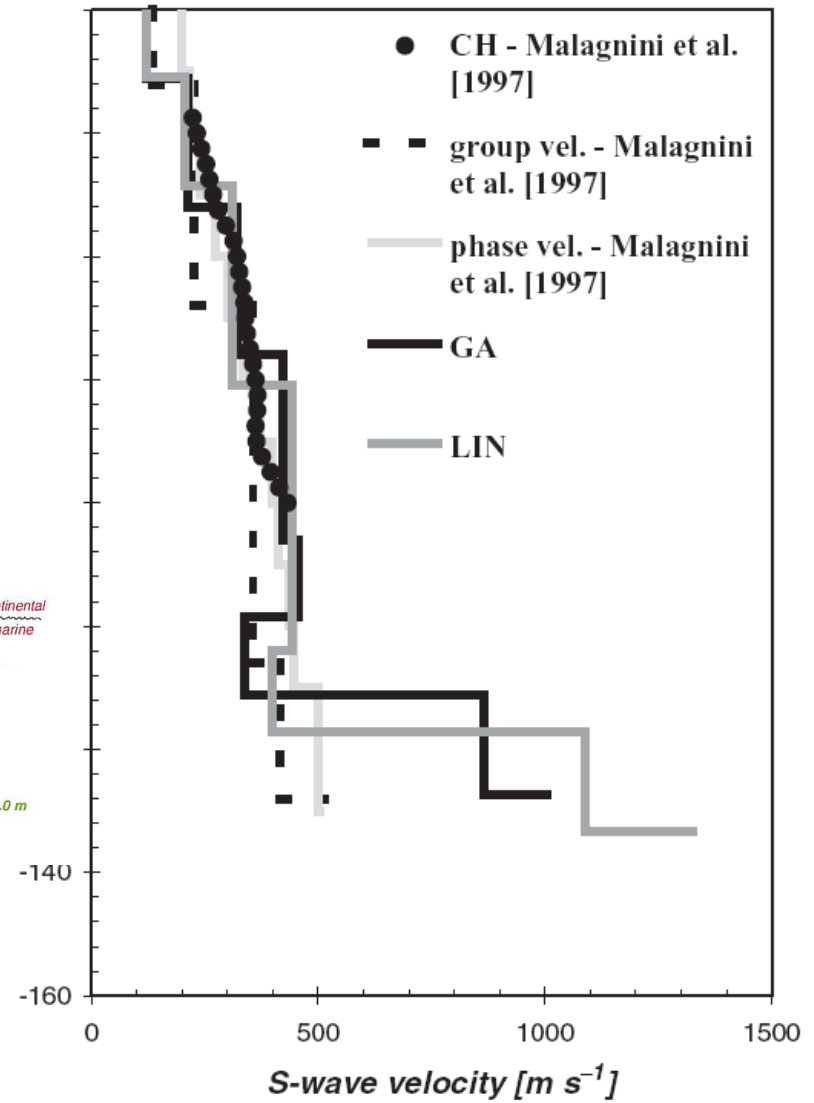
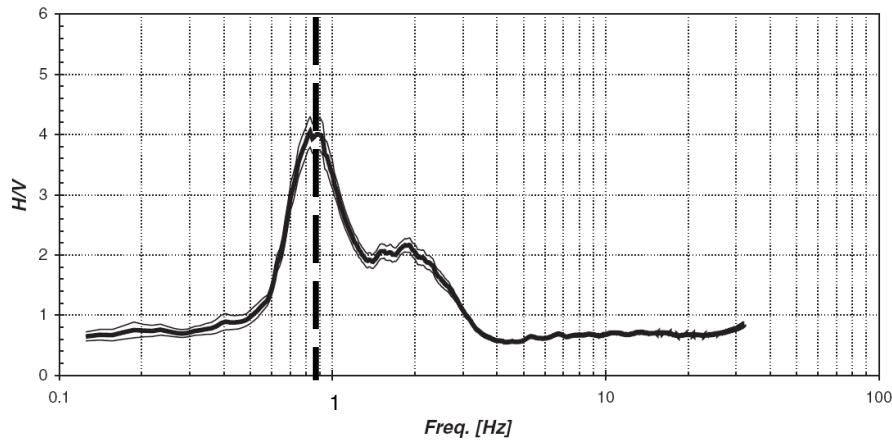
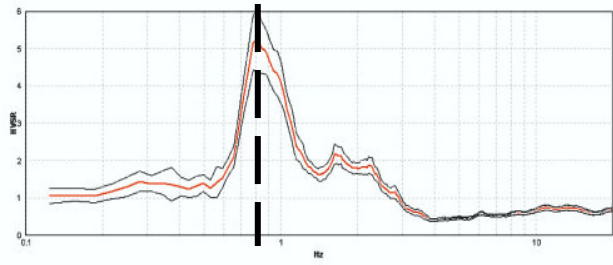




Casaglia (FE)

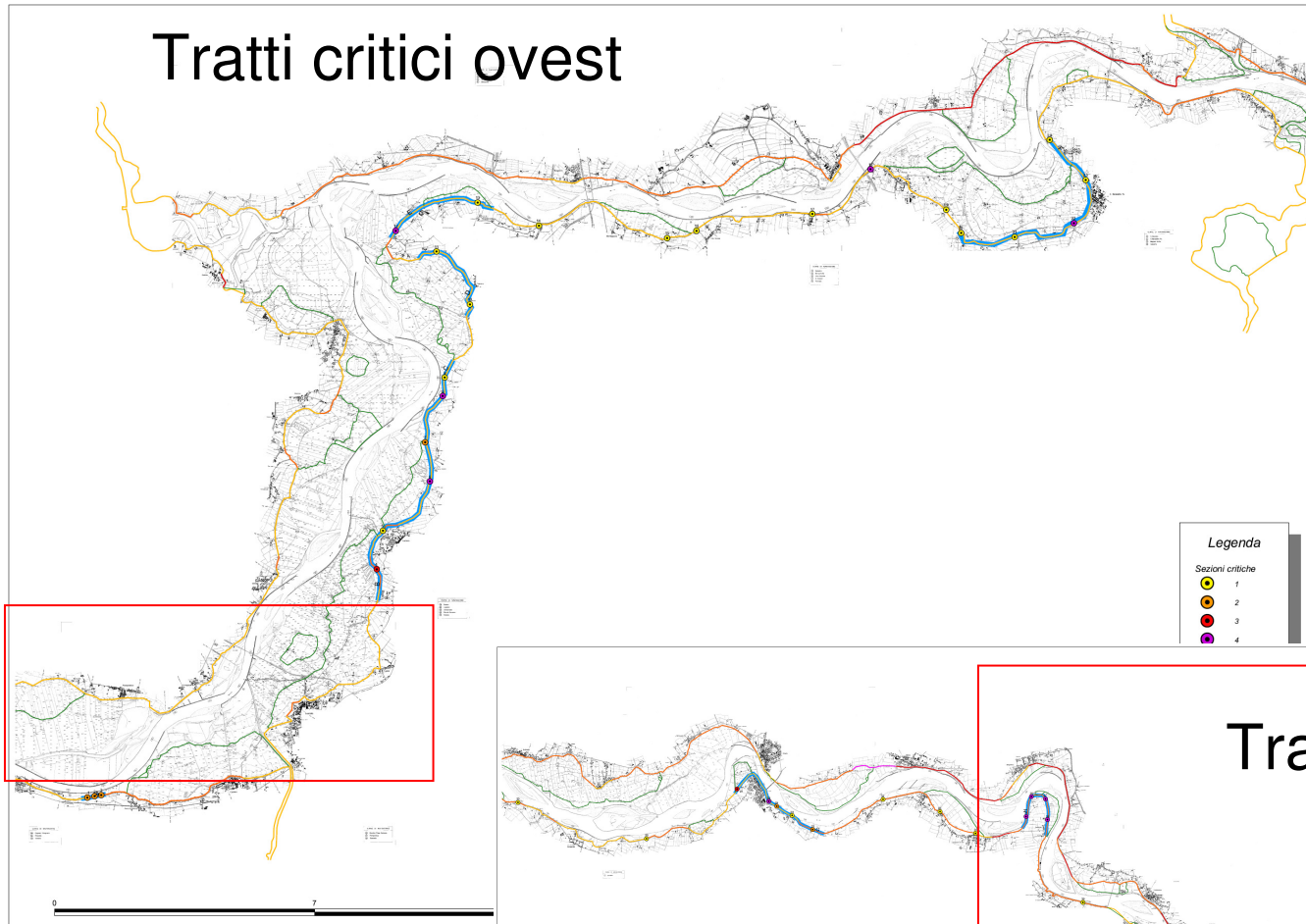


$$F_0 = 0,85-0,9 \text{ Hz}$$



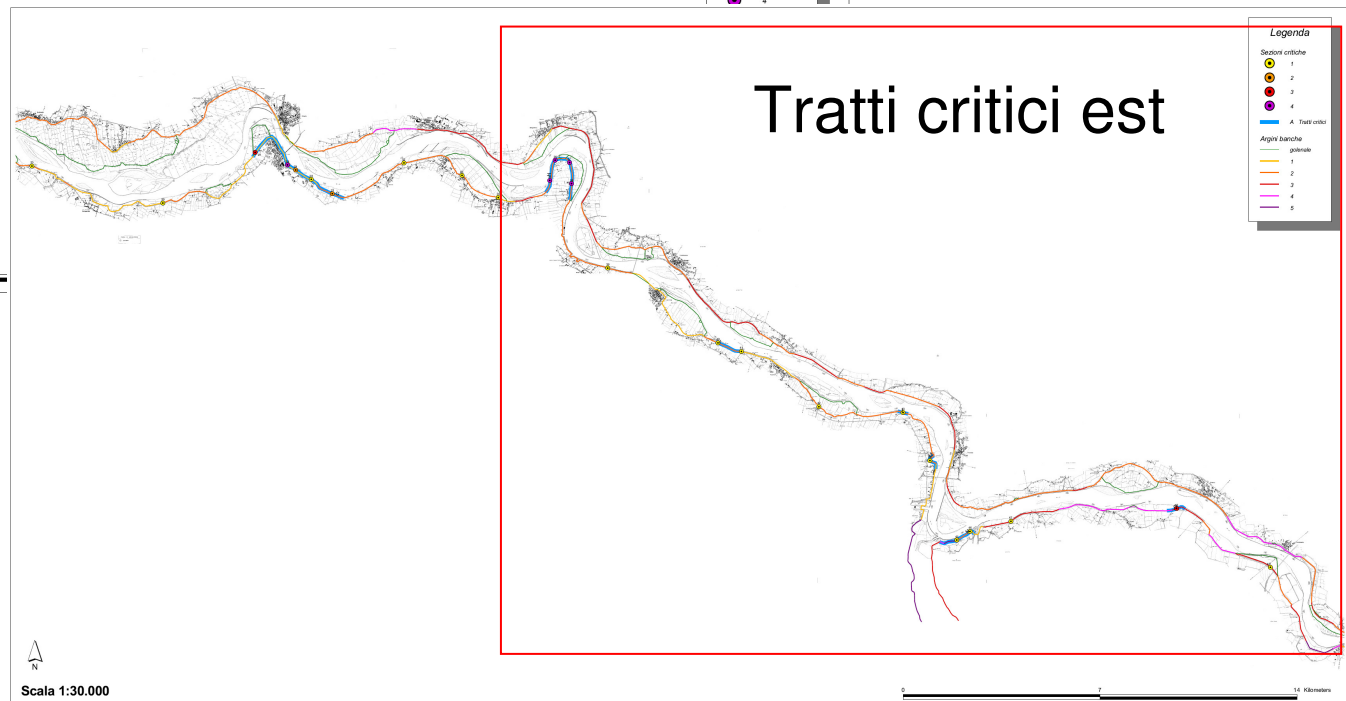
da Picozzi e Albarello, 2007

Tratti critici ovest

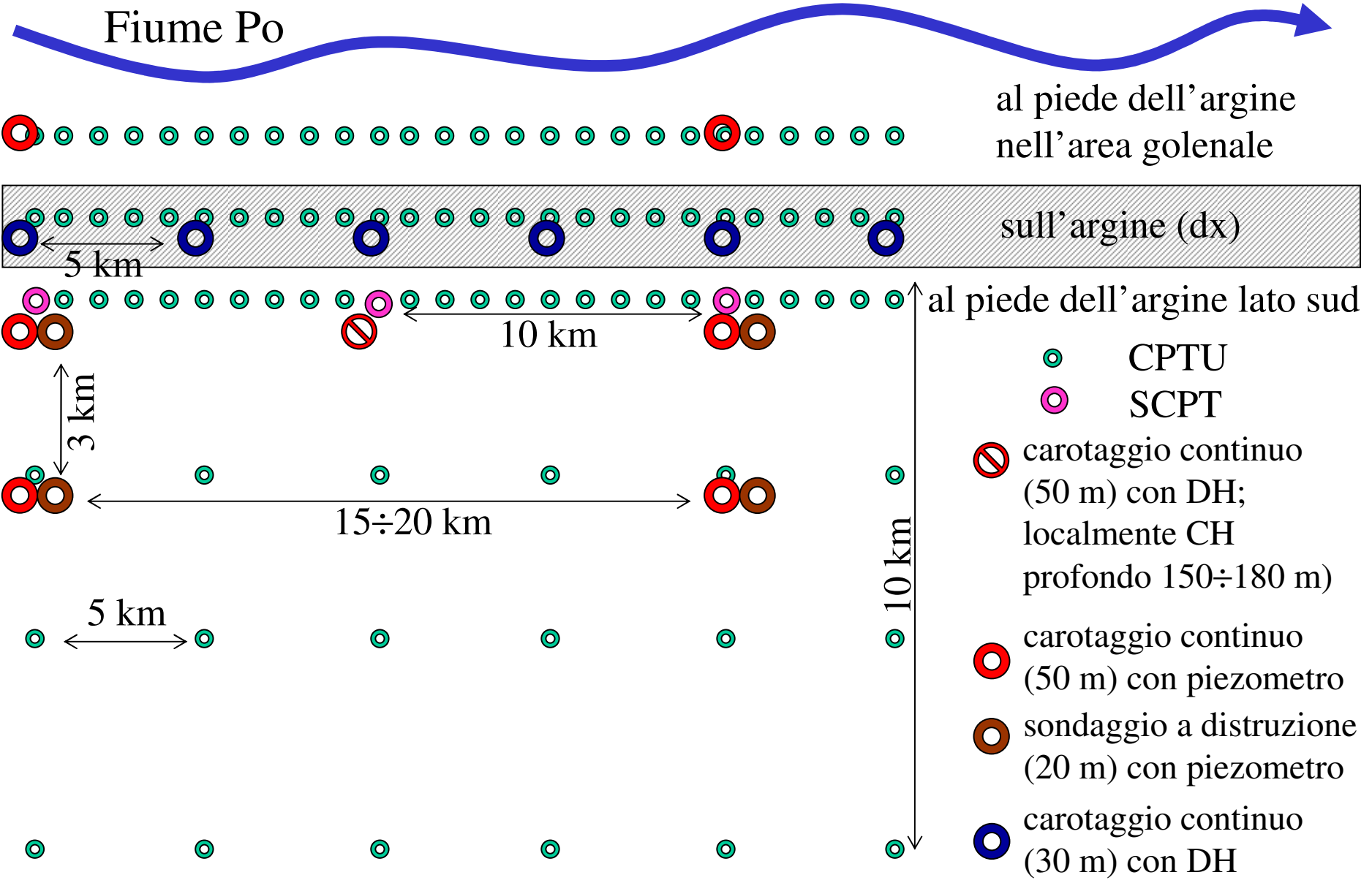


Dati AdB Po
e AIPO

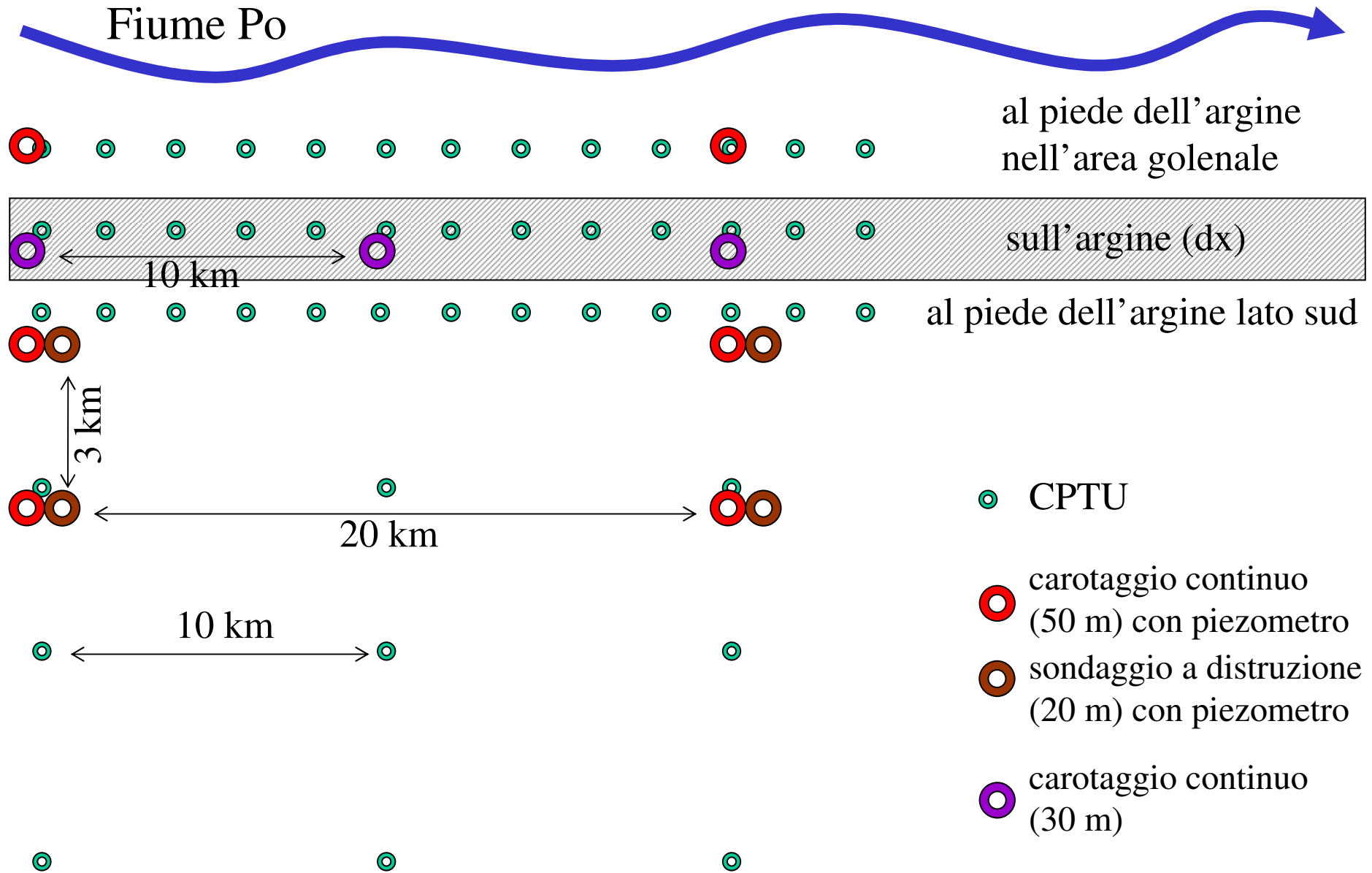
Tratti critici est

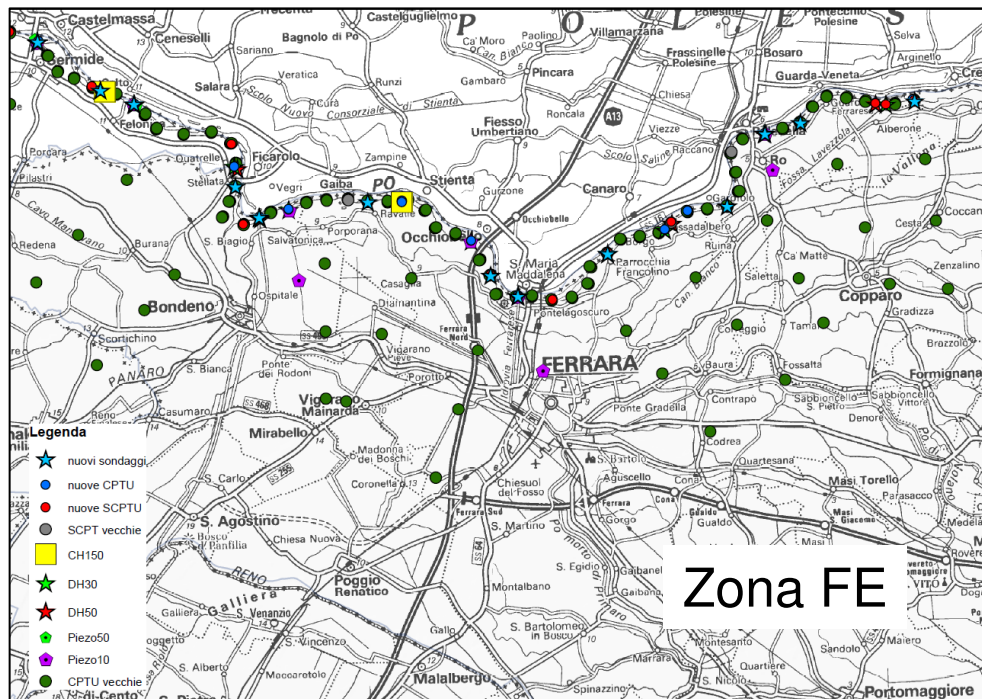
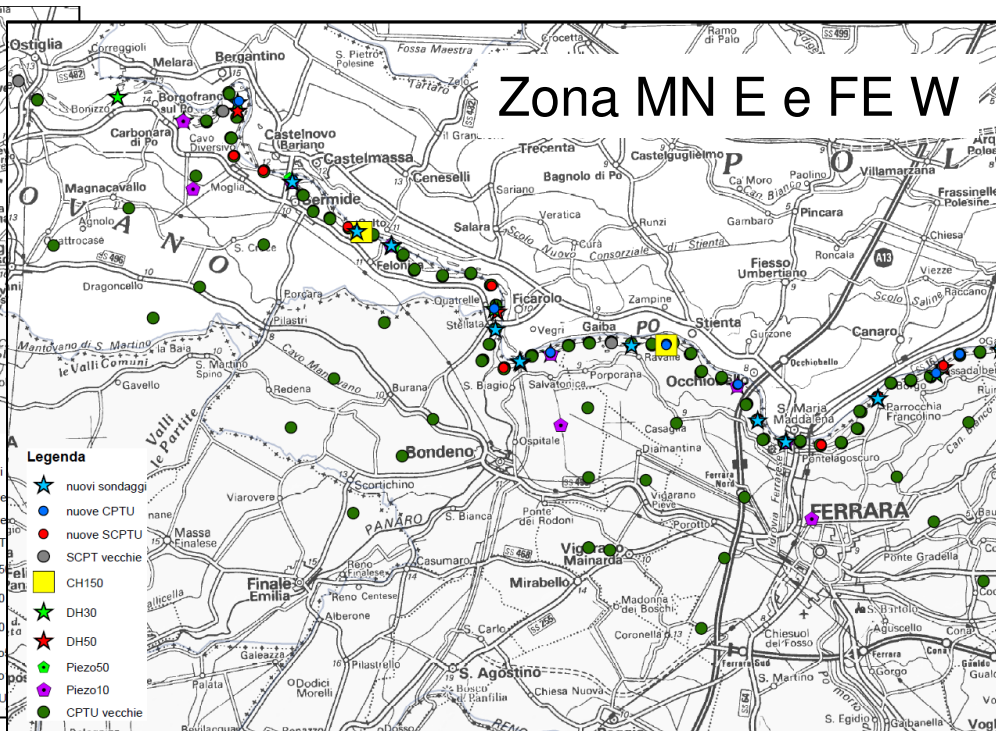
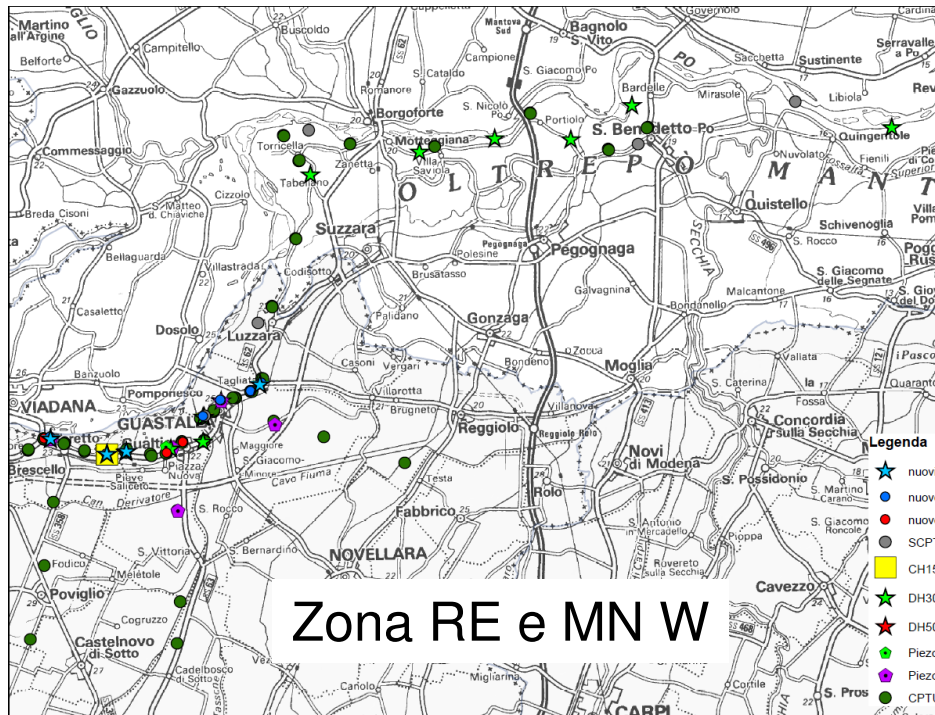


Schema maglia prove nei 9 comuni soggetti a verifiche (~ 90 km)



Schema maglia prove nei comuni non soggetti a verifiche (~ 60 km)





Ubicazione nuove indagini geotecniche in sito

I NUOVI DATI

I campagna di prove in sito (2010-2011)

24 sondaggi con piezometri 50 m

16 sondaggi con piezometri 10 m

28 (20) sondaggi con DH 30 m

6 sondaggi con DH 50 m

3 coppie di sondaggi 150 m + CH

302 (255) CPTU

10 (5) SCPT

400 misure HVSR stazione singola
(Provv. MN est e FE)

Per l'interpretazione:

98 sezioni trasversali

9 sezioni longitudinali

Poco significativi, ai fini del modello geologico, i 3 profili sismici con MASW e ReMi e i 10 profili di resistività elettrica

Il campagna di prove in sito (2011-2012), tutte nei 9 comuni soggetti a verifiche;
ancora in corso le prove geofisiche in foro

5 coppie di piezometri Casagrande (H variabile tra 3 e 11 m)

3 sondaggi con DH 30 m

7 sondaggi con DH 50 m

1 sondaggio con DH 70 m

1 coppia di sondaggi 75 m + CH

1 tripletta di sondaggi 70 m + CH

32 CPTU

20 SCPTU

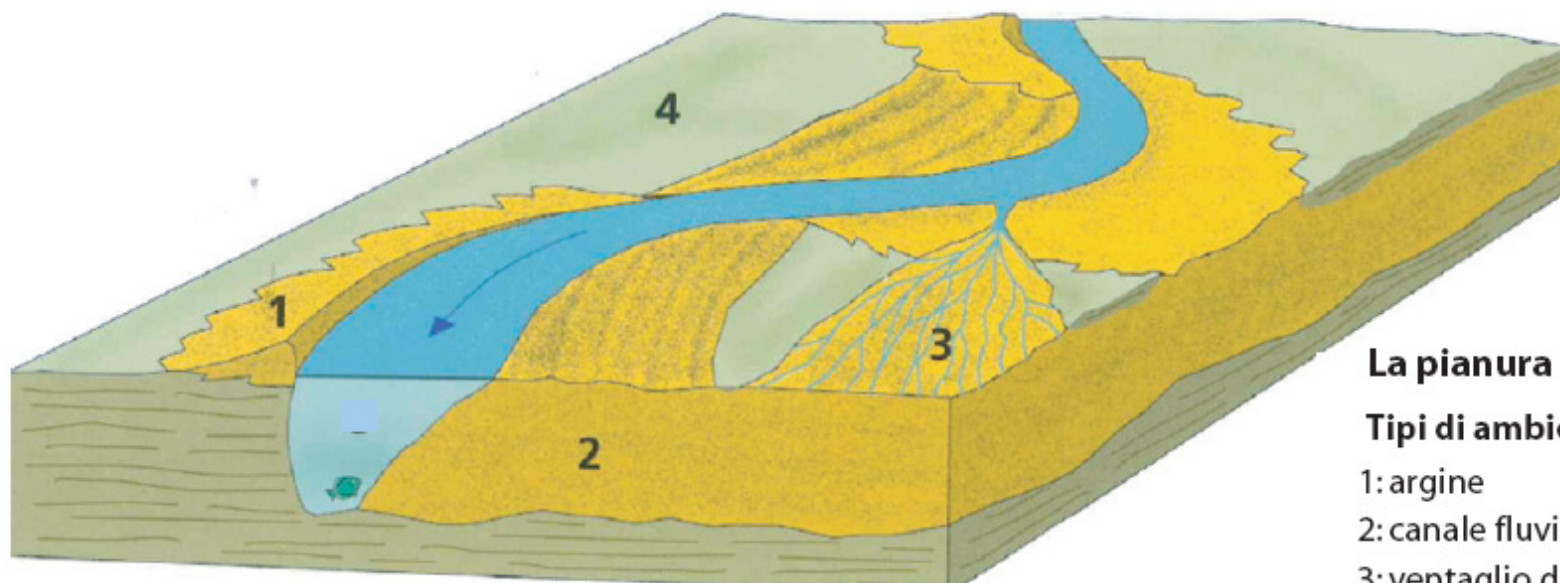
400 misure HVSR stazione singola
(Provv. MV ovest e FE)

+ 1 array a Boretto (lab. AIPO)

Saranno effettuati anche altri 10 DH a 30 m e 1 DH a 50 m in sondaggi della campagna precedente

Sia durante la prima che la seconda campagna di indagini in sito sono stati raccolti campioni per analisi di laboratorio (analisi coordinate da AIPO)

Schema di riferimento per l'interpretazione degli ambienti deposizionali

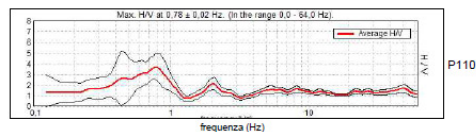
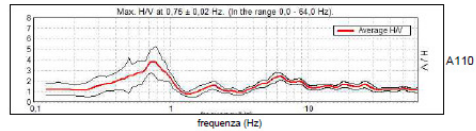


La pianura alluvionale

Tipi di ambiente e deposito

- 1: argine
- 2: canale fluviale
- 3: ventaglio di rotta
- 4: piana inondabile

esempio di schede delle sezioni



Indagini reali
progetto "V
dell'argine c

- Sondag con pie.
- Sondag Cross F
- Sondag Down F
- Sondag Down F
- ▲ CPTU
- ▲ SCPT
- ▲ Punto d HVSR (
- ▲ Punti di HVSR (
- Profilo s con Ref
- Tomogr
- Traccia

Banca dati I
Emilia-Rom

- Penetr con pur
- Penetr con pur
- Penetr con pie
- Pozzo y
- Sondag con log

- LEGENDA I
- Ar* - Corp
 - Alternanze sabbie limo con possibil
 - A - Depos
 - B - Depos
 - Alternanze i proporzioni centimetrici sabbiosi o a
 - C - Depos
 - Argille e lim
 - Talora pres
 - Locali inter
 - D - Depos
 - D2 - Depo
 - limi sabbiosi
- Limite litolog
- ▼ Livello falda



A21/1

LEGENDA PROFILO

Ar* - Corpo arginale.

Alternanze di materiali di riporto (sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi con possibile presenza di ciottoli e laterizi).

A - Depositi di canale fluviale.

Sabbie da fini e molto fini a grossolane, talora ghiaia e sabbia limosa.

B - Depositi di argine e rotta fluviale.

Alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose in proporzioni variabili. Presenti anche livelli da centimetrici a decimetrici francamente sabbiosi o argillosi.

C - Depositi di piana inondabile.

Argille e limi, limi argillosi e argille limose.

Talora presente sostanza organica e torba*

Locali intercalazioni di limo sabbioso.

D - Depositi golenali

D1 - Depositi prevalentemente costituiti da limi, limi argillosi.

D2 - Depositi costituiti da sabbie fini e limi sabbiosi.

Deposito antropico

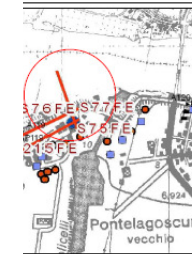
C1 Campione di sostanza organica per datazione

Limite litologico certo, incerto o presunto

▼ Livello falda freatica da CPTU

▼ Livello falda freatica da piezometro

Proiezione punto di misura HVSR - UNISI



Realizzate per il
Verifiche sismiche
destro del Fiume Po"

iggi attrezzato
ezometro

iggi con prova
Hole (150m)

iggi con prova
Hole (30m)

iggi con prova
Hole (50m)

iggi con prova
Hole (100m)

iggi con prova
Hole (150m)

iggi con prova
Hole (200m)

iggi con prova
Hole (250m)

iggi con prova
Hole (300m)

iggi con prova
Hole (350m)

iggi con prova
Hole (400m)

iggi con prova
Hole (450m)

iggi con prova
Hole (500m)

iggi con prova
Hole (550m)

iggi con prova
Hole (600m)

iggi con prova
Hole (650m)

iggi con prova
Hole (700m)

iggi con prova
Hole (750m)

iggi con prova
Hole (800m)

iggi con prova
Hole (850m)

iggi con prova
Hole (900m)

iggi con prova
Hole (950m)

iggi con prova
Hole (1000m)

iggi con prova
Hole (1050m)

iggi con prova
Hole (1100m)

iggi con prova
Hole (1150m)

iggi con prova
Hole (1200m)

iggi con prova
Hole (1250m)

iggi con prova
Hole (1300m)

iggi con prova
Hole (1350m)

iggi con prova
Hole (1400m)

iggi con prova
Hole (1450m)

iggi con prova
Hole (1500m)

iggi con prova
Hole (1550m)

iggi con prova
Hole (1600m)

iggi con prova
Hole (1650m)

A PROFILO

ro arginale. Alternanze di materiali

(sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi

limosi con possibile presenza di

laterizi).

siti di canale fluviale.

siti di argine e rotta fluviale. Alternanze

sabbiosi e sabbie limose in proporzioni

Presenti anche livelli da centimetrici a

decimetrici francamente sabbiosi o argillosi.

siti di piana inondabile. Argille e limi

Argille e limi. Talora presente

organica e torba *

Intercalazioni di limo sabbioso.

antropico

litologico certo, incerto o presunto

livello falda freatica da piezometro (febr-apr.

scala orizz. 1:2000
scala vert. 1:400

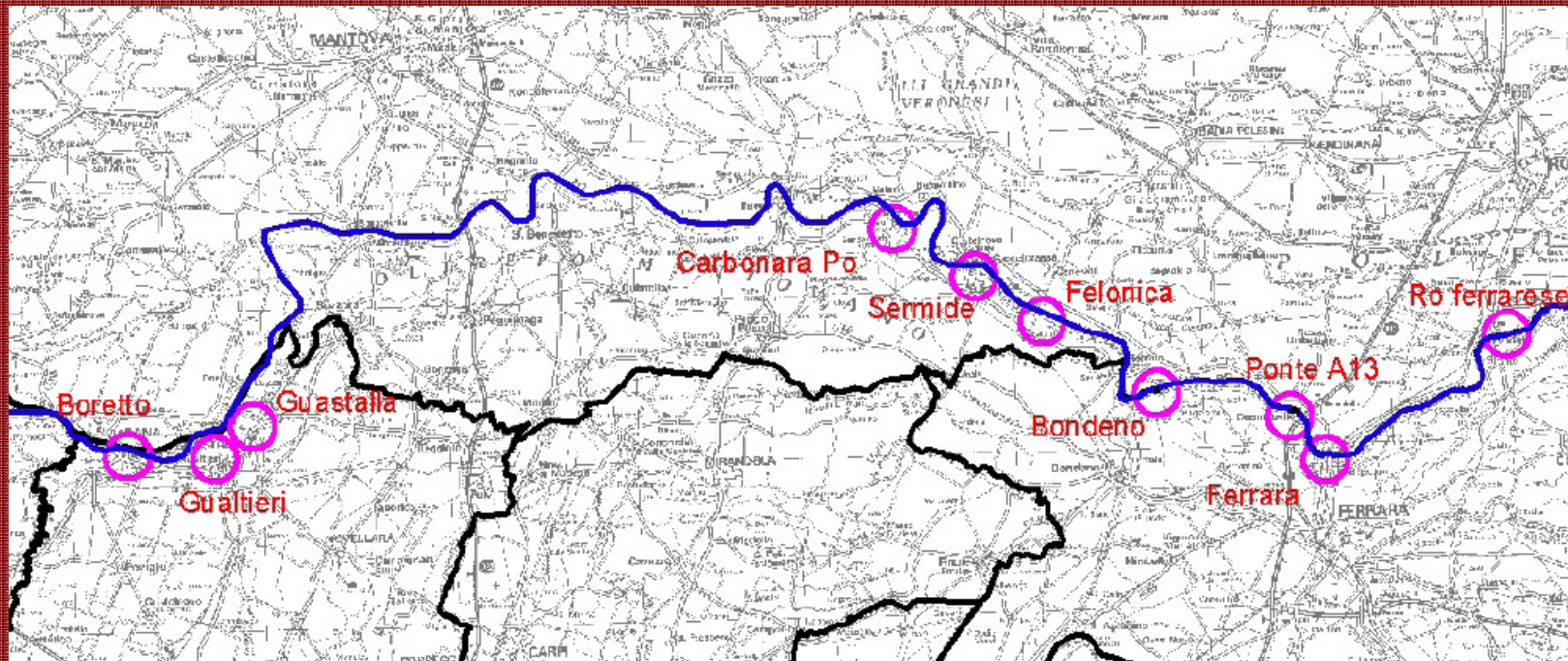
scala orizz. 1:2000
scala vert. 1:2000

ETTOMETRICHE 0 100 100

QUOTE S.L.M. 11.22

Durante le campagne di acquisizione di dati geognostici sono stati installati numerosi piezometri strumentati con sonde per la lettura oraria di livello temperatura e conducibilità elettrica.

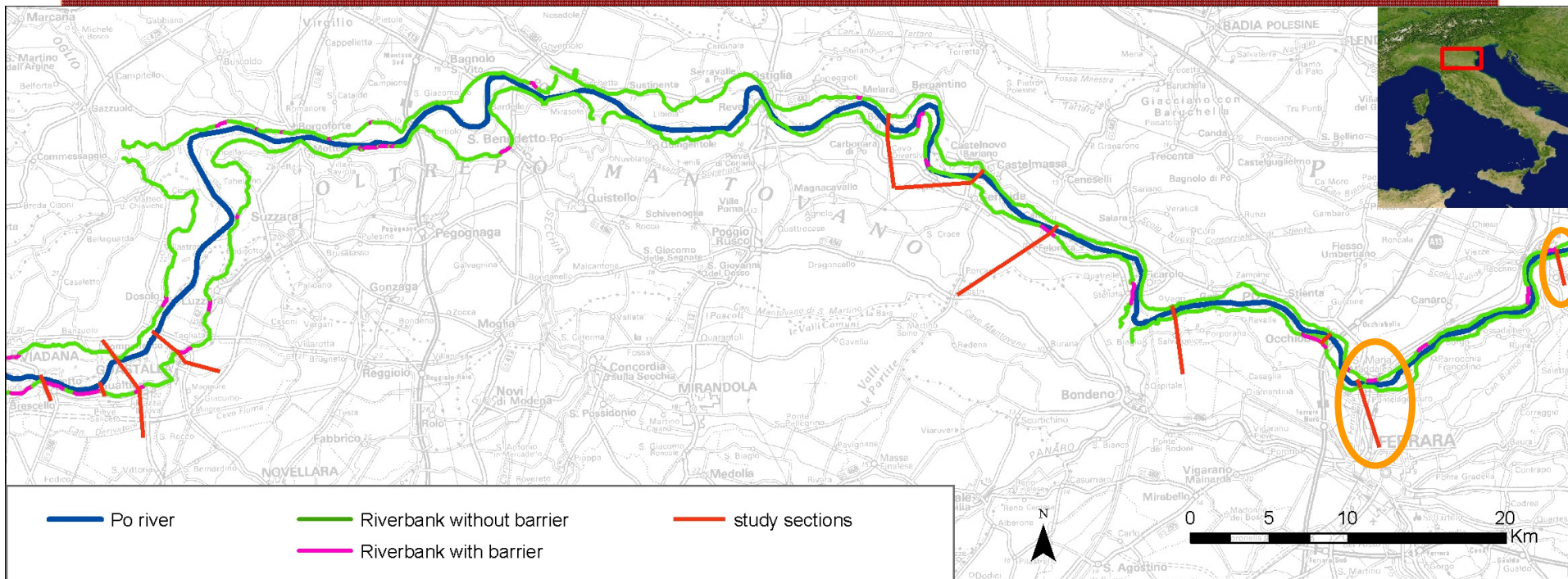
I piezometri permettono il monitoraggio dell'acquifero freatico e del primo acquifero confinato in prossimità dell'argine e a 3 km circa a sud dell'argine



- **freatico (fiume – falda - piogge)**
- **confinato (fiume - falda)**
- **confronto freatico/confinato se stessa verticale**
- **confronto quote argine con livello fiume**
- **conducibilità elettrica (salinità)**

**Grazie ad una collaborazione con ARPA Idro-Meteo –Clima
disponibilità di :**

- un modello idraulico per la definizione delle quote idrometriche del Po,**
- dati delle precipitazioni e dell' infiltrazione efficace**



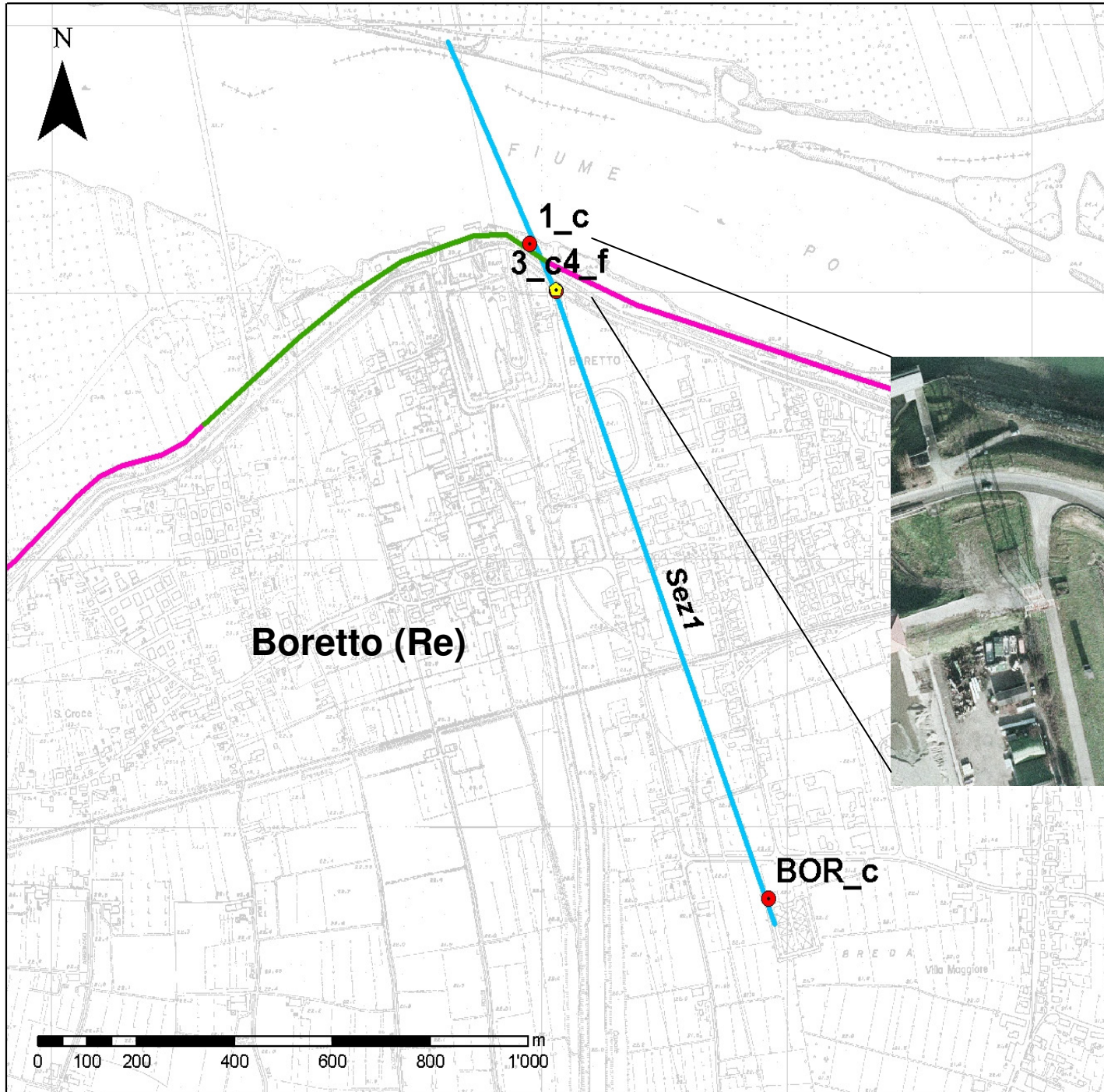
LEGENDA

Piezometri

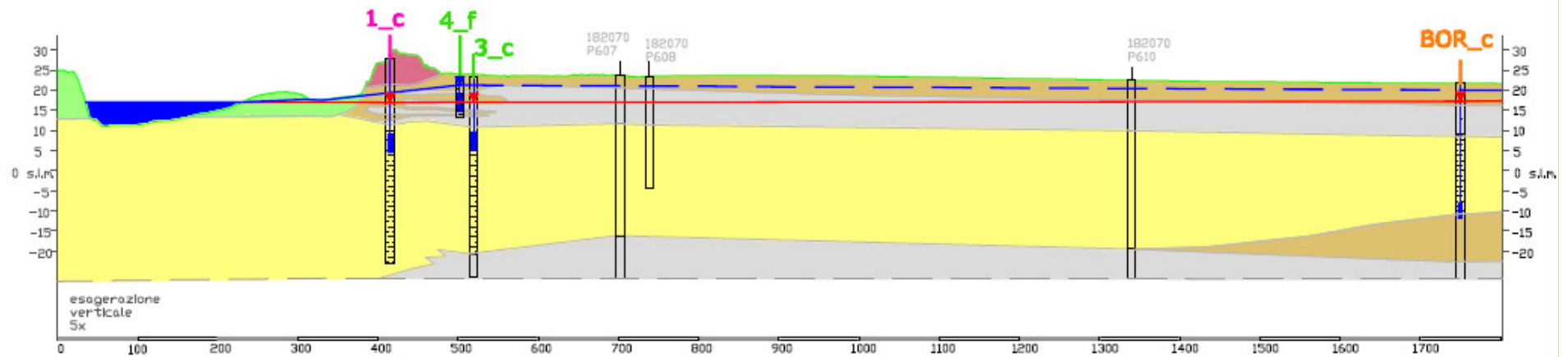
- acquifero confinato (_c)
- ◆ acquifero freatico (_f)

Argini

- non diaframmati
- diaframmati

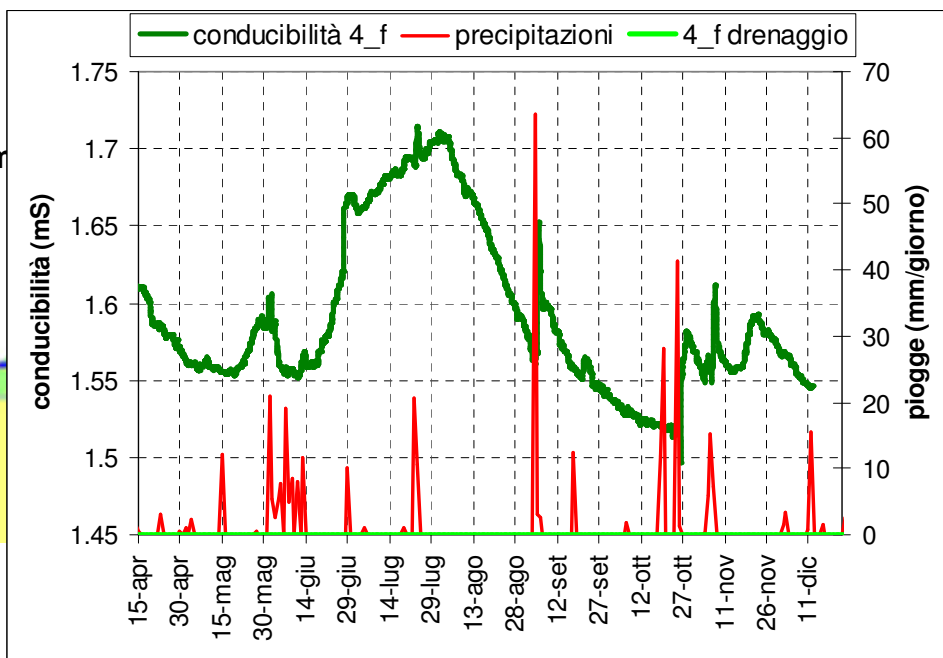
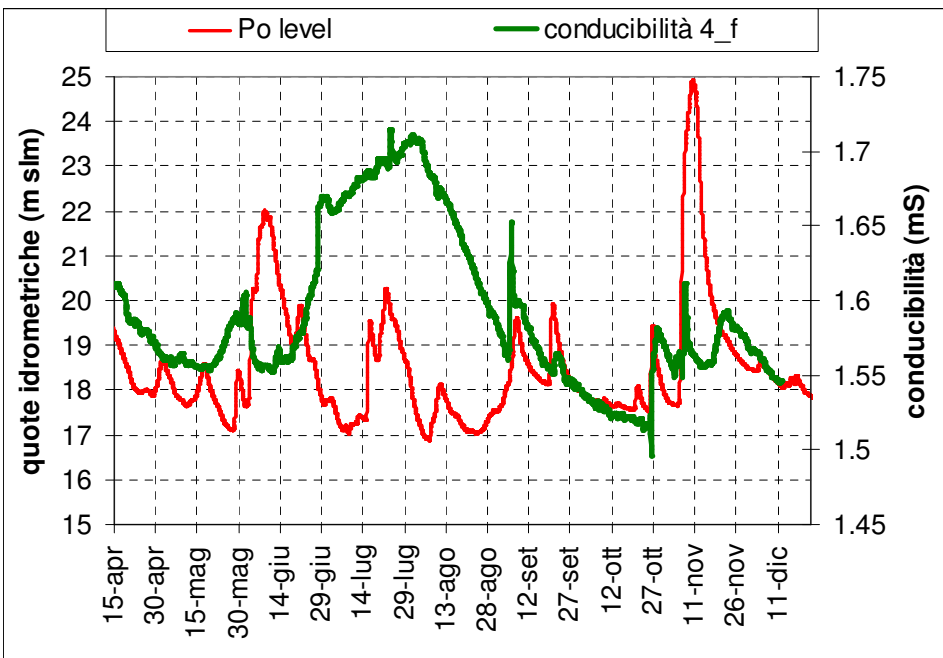
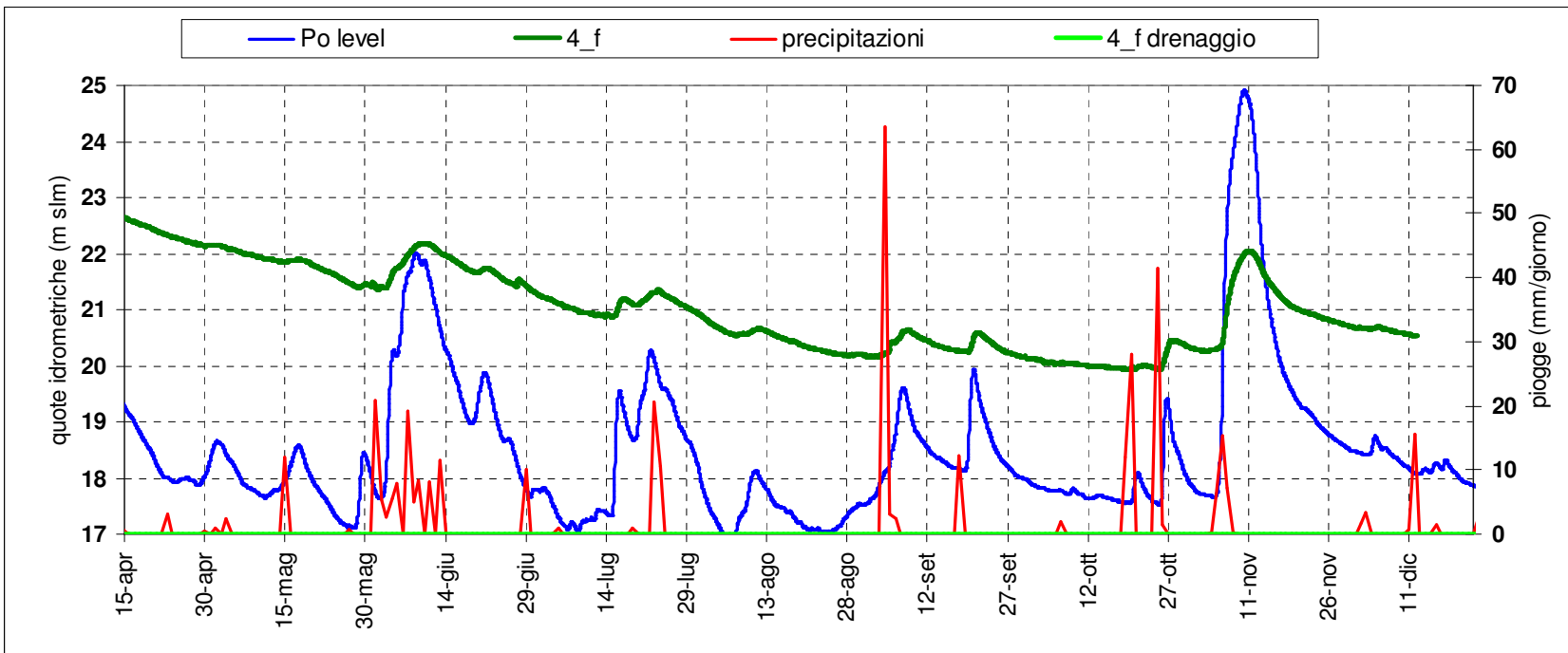


SEZIONE 1

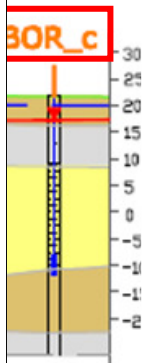
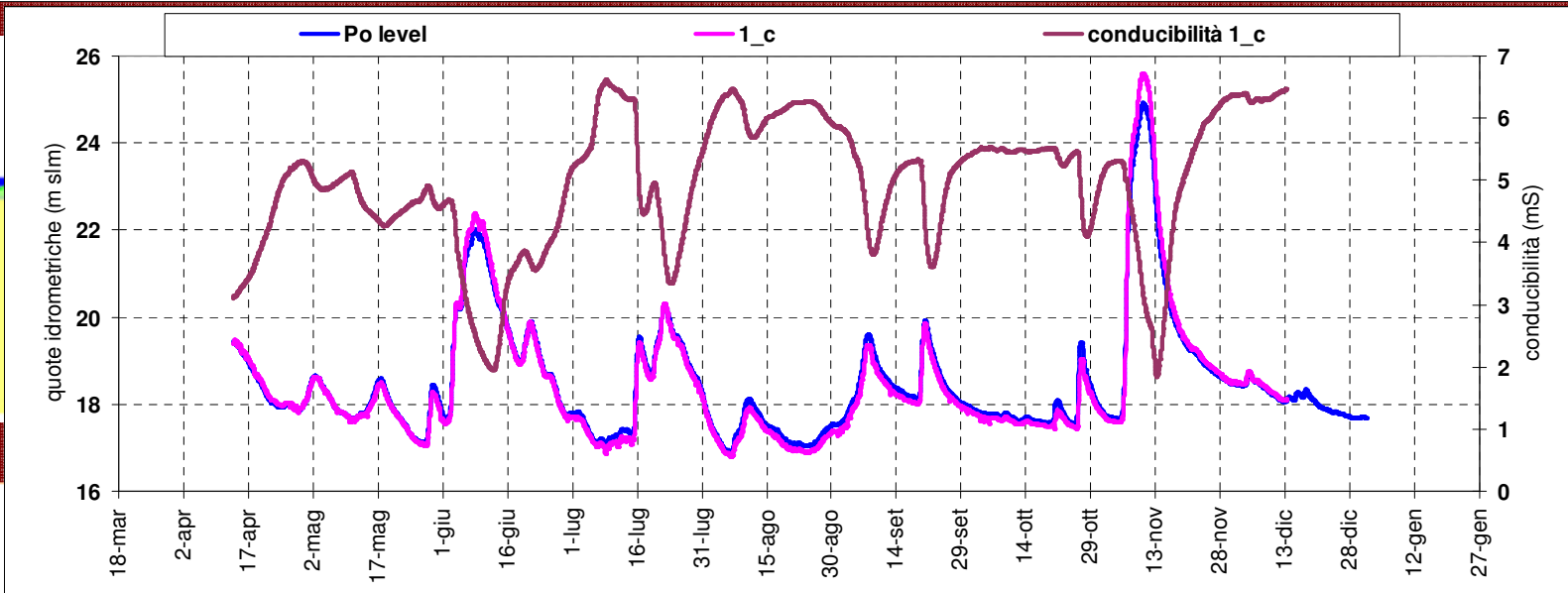
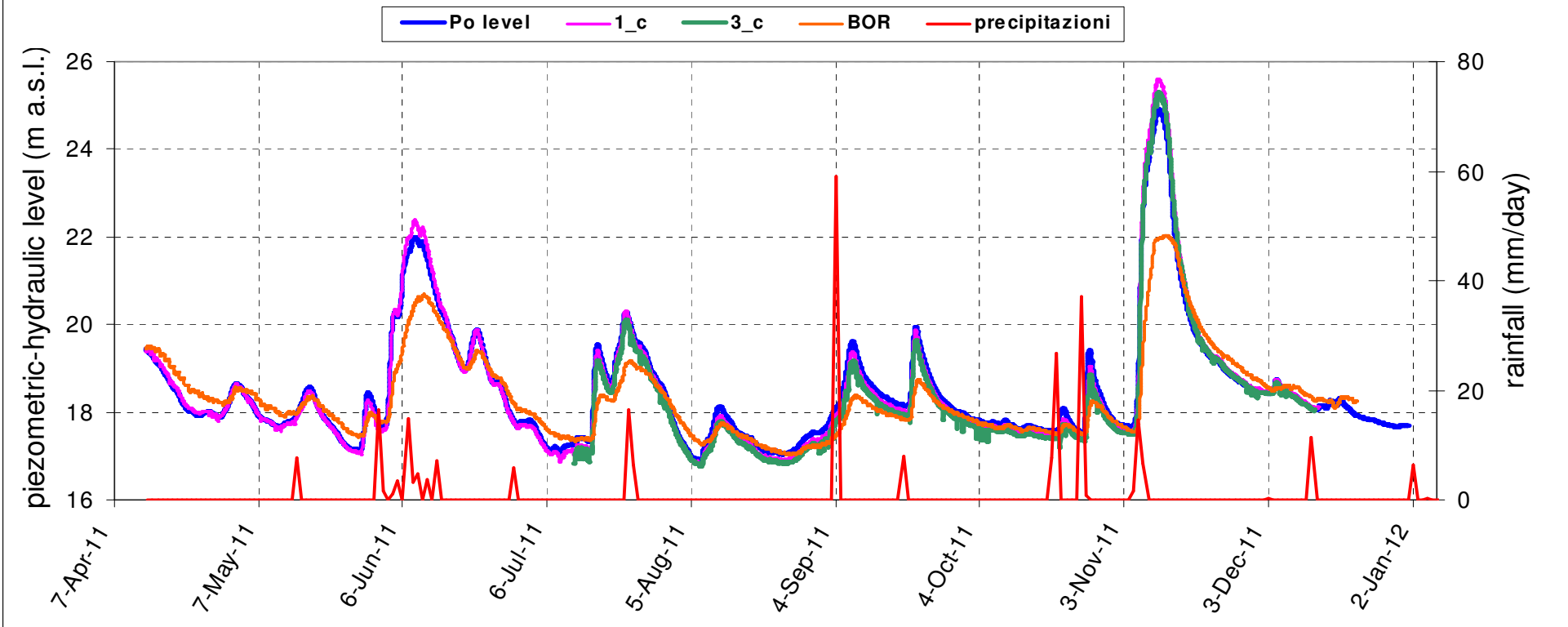


<p>▼ Punto misura falda 28 maggio 2011 (condizioni di magra)</p> <p>▼ Punto misura acquifero 28 maggio 2011 (condizioni di magra)</p>	<p>■ Sonda piezometrica</p> <p>▨ Fenestratura piezometri</p>	<p>LEGENDA PROFILO</p> <p>■ Ar* - Corpo arginale. Altezze di materiali di riporto (sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi con possibile presenza di ciottoli e laterizi).</p>	<p>■ A - Depositi di canale fluviale. Sabbie da fini a molto fini a grossolane, talora ghiaia e sabbia limosa.</p>	<p>■ B - Depositi di argine e rotta fluviale. Altezze di limi sabbiosi e sabbie limose in proporzioni variabili. Presenti anche livelli da centimetrici a decimetrici francamente sabbiosi o argillosi.</p>	<p>■ C - Depositi di piano inondabile. Argille e limi, limi argillosi e argille limose. Talora presente sostanza organica e torba. Locali intercalazioni di limo sabbioso.</p>	<p>■ D2 - Depositi golenali prevalentemente costituiti da sabbie e limi sabbiosi</p>
---	--	---	--	---	--	--

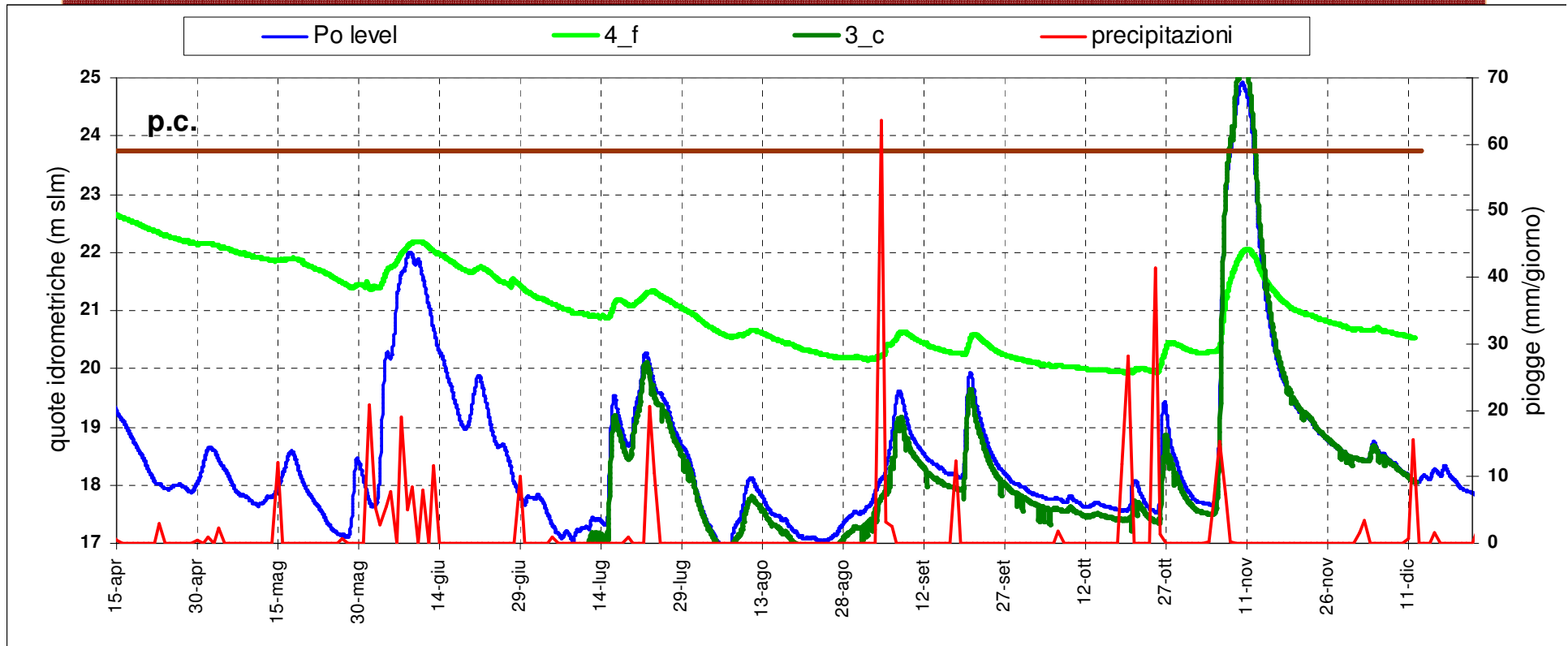
FREATICO

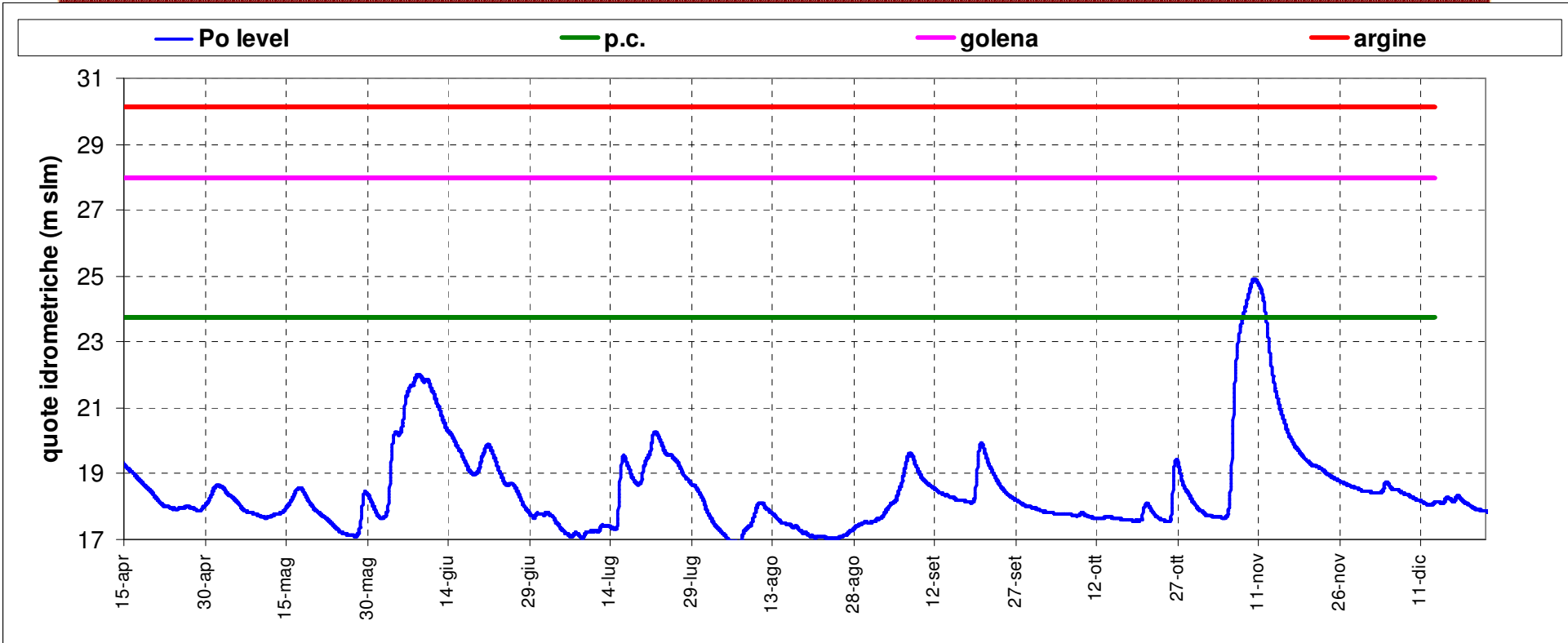


CONFINATO



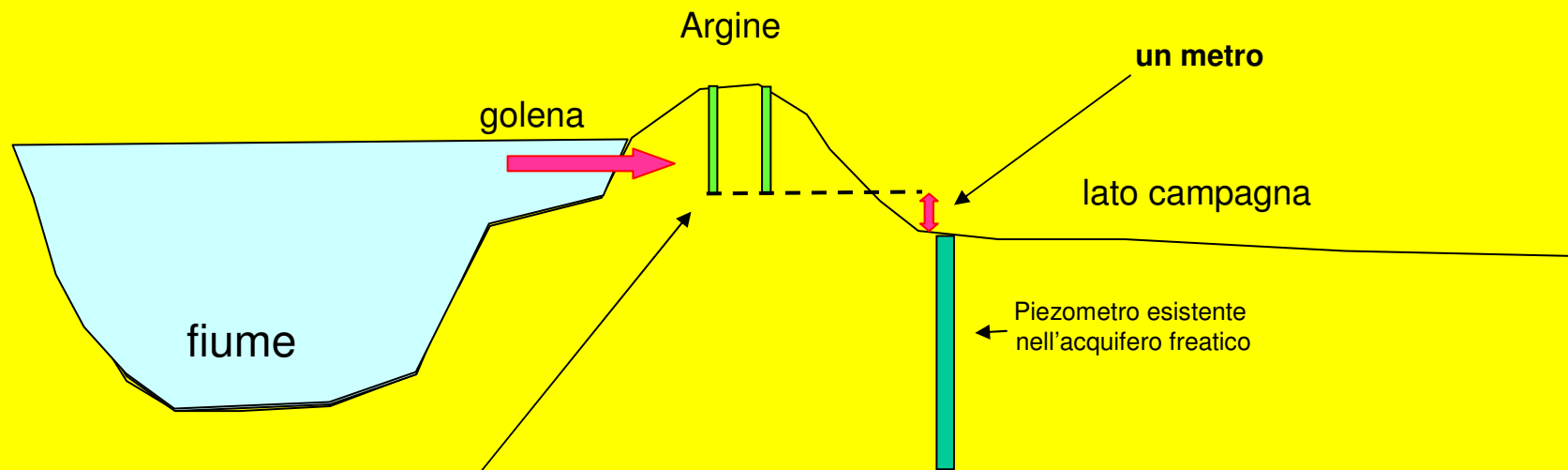
FREATICO/CONFINATO





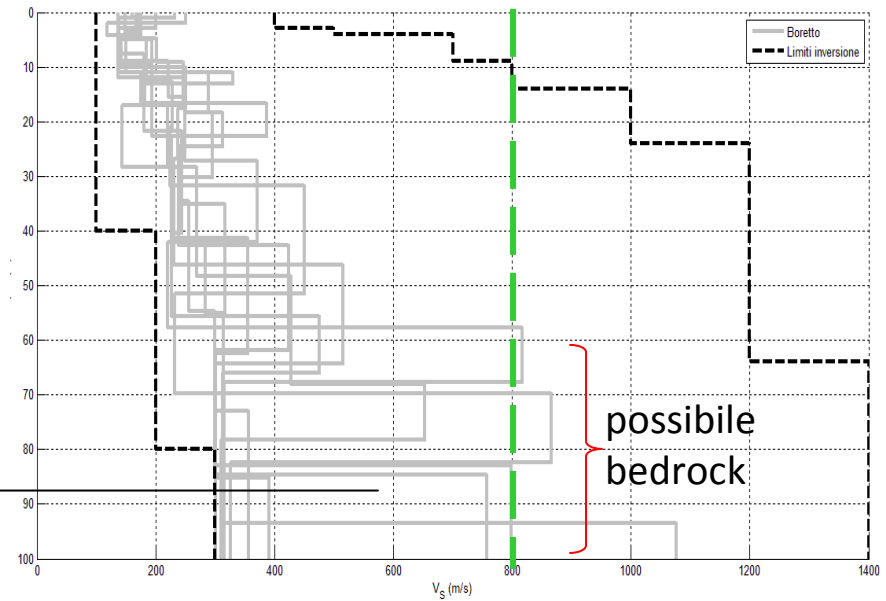
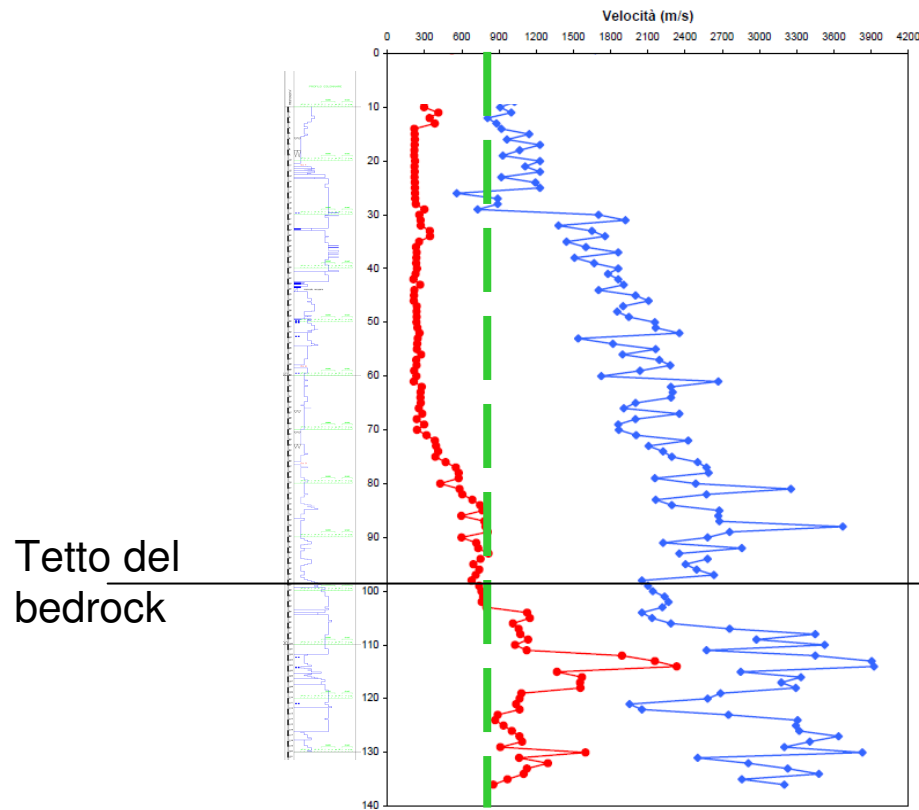
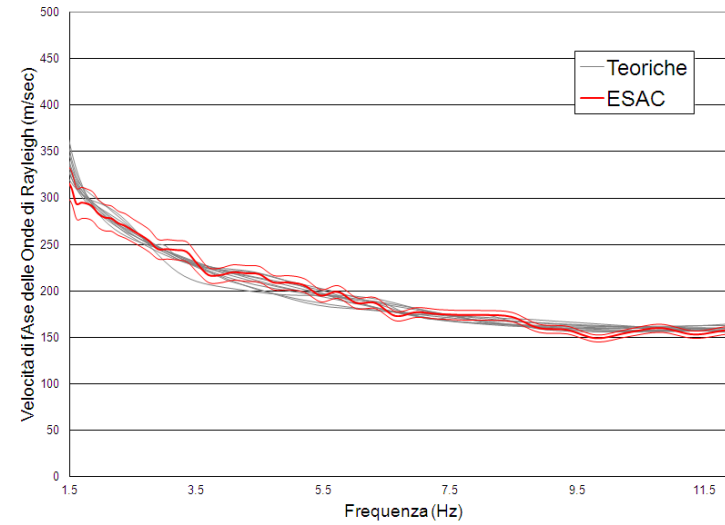
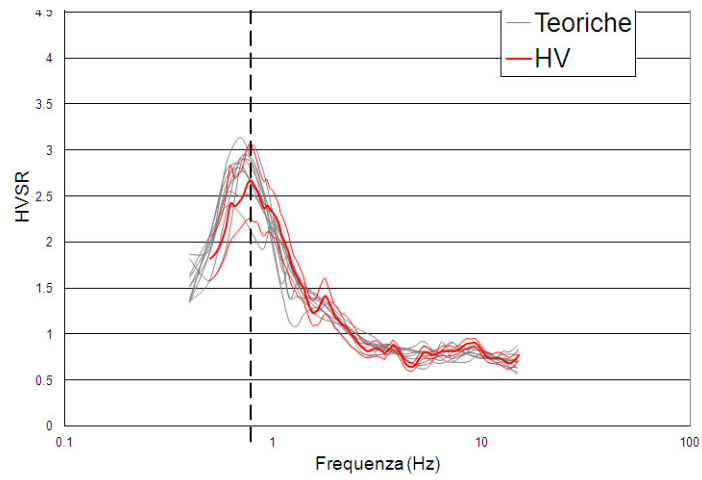
SINTESI DEI MONITORAGGI IDROGEOLOGICI

- **FREATICO:** In condizioni di magra il fiume drena sempre la falda, in piena il rapporto può invertirsi.
- **CONFINATO:** In condizioni di magra il fiume drena sempre la falda, in piena il rapporto può invertirsi. Andando verso mare (Ferrara e Ro) il fiume alimenta la falda sia in magra che in piena.
- L'acquifero confinato di solito è in comunicazione idraulica con il fiume, con un'influenza che diminuisce drasticamente con la distanza. Caratteristiche litologiche locali e presenza di diaframma nell'argine possono però interrompere la comunicazione anche nelle immediate vicinanze col fiume
- L'acquifero confinato è sempre a un livello di circa 1-2 m più basso del freatico ma può invertirsi durante le piene, raggiungendo livelli anche di 2 m sopra al p.c.
- Le massime piene possono superare in quota il piano campagna esterno all'argine, ma più raramente (Gualtieri) la golena, essendo quest'ultima a quota di solito maggiore del piano campagna

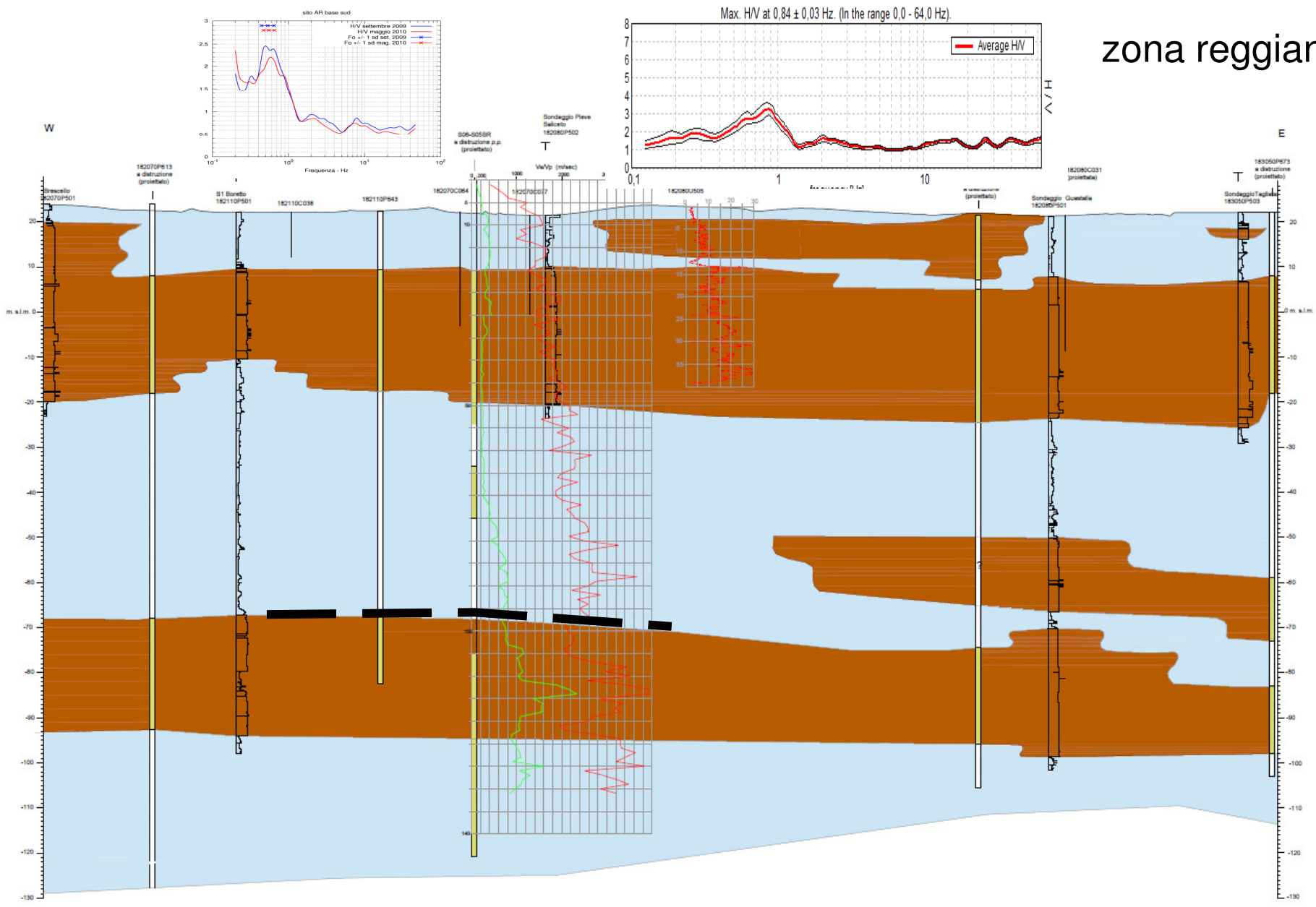


Al fine di verificare se nell'argine durante particolari eventi (piene o precipitazioni molto intense) possa essere presente una falda, ed un eventuale flusso idrico dalla golena verso l'esterno, sono stati di recente installati 5 coppie Piezometri Casagrande strumentati con sonde per la lettura in continuo del livello

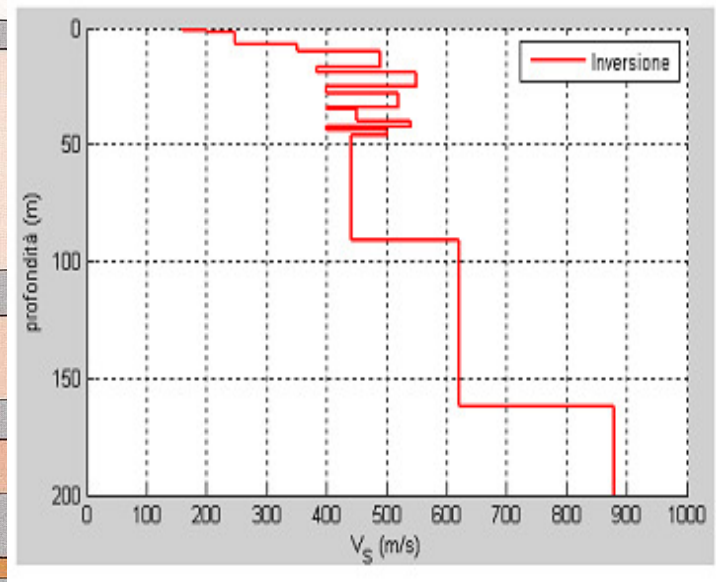
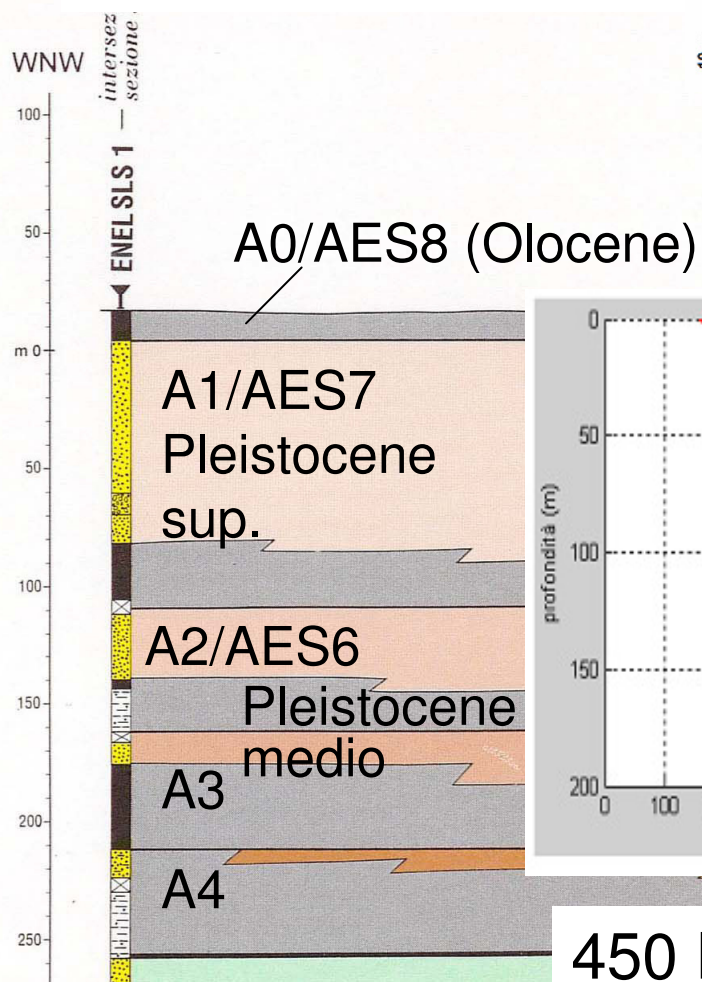
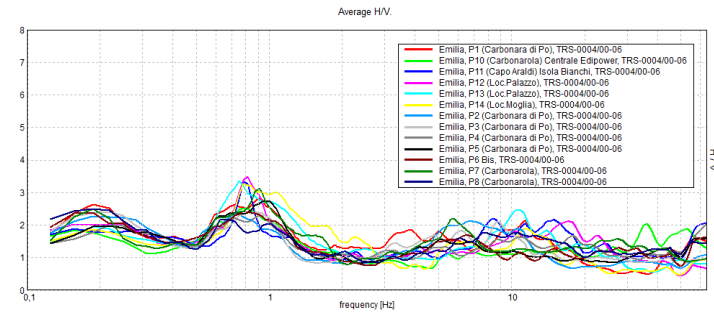
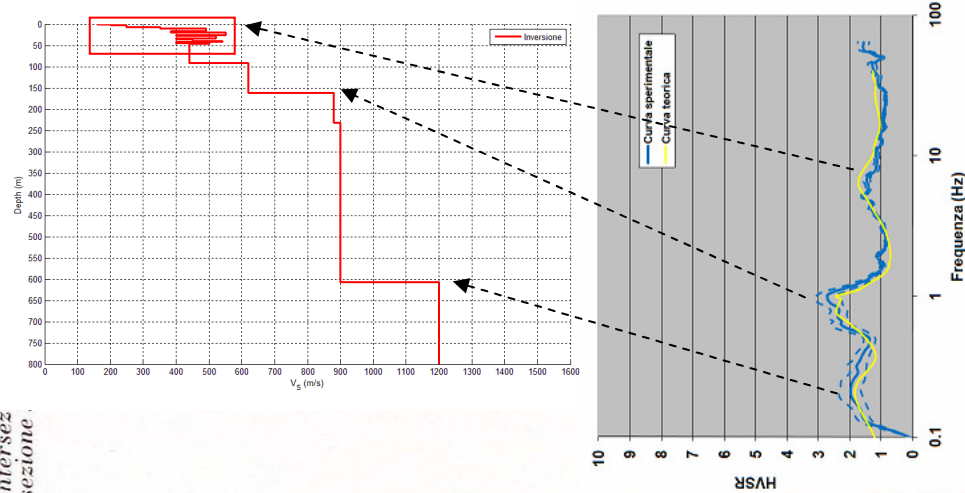
Interpretazione bedrock



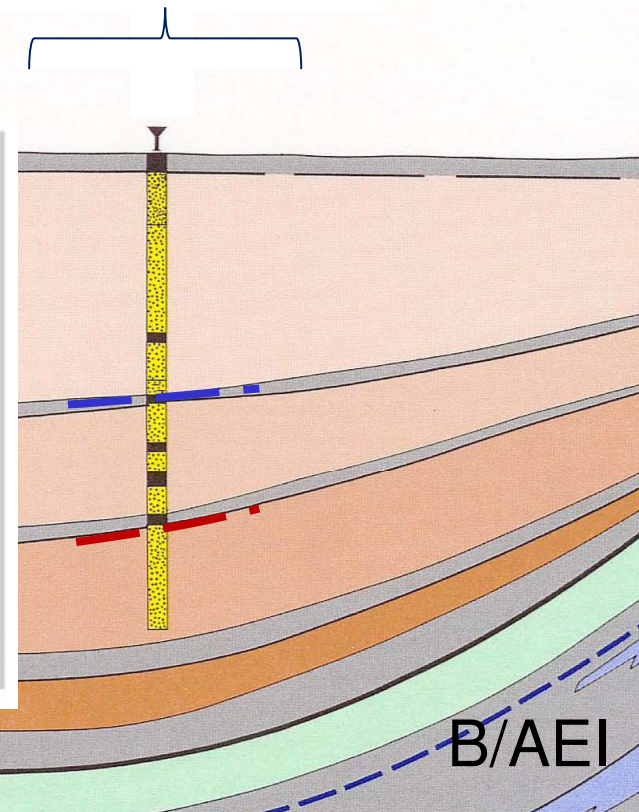
zona reggiana



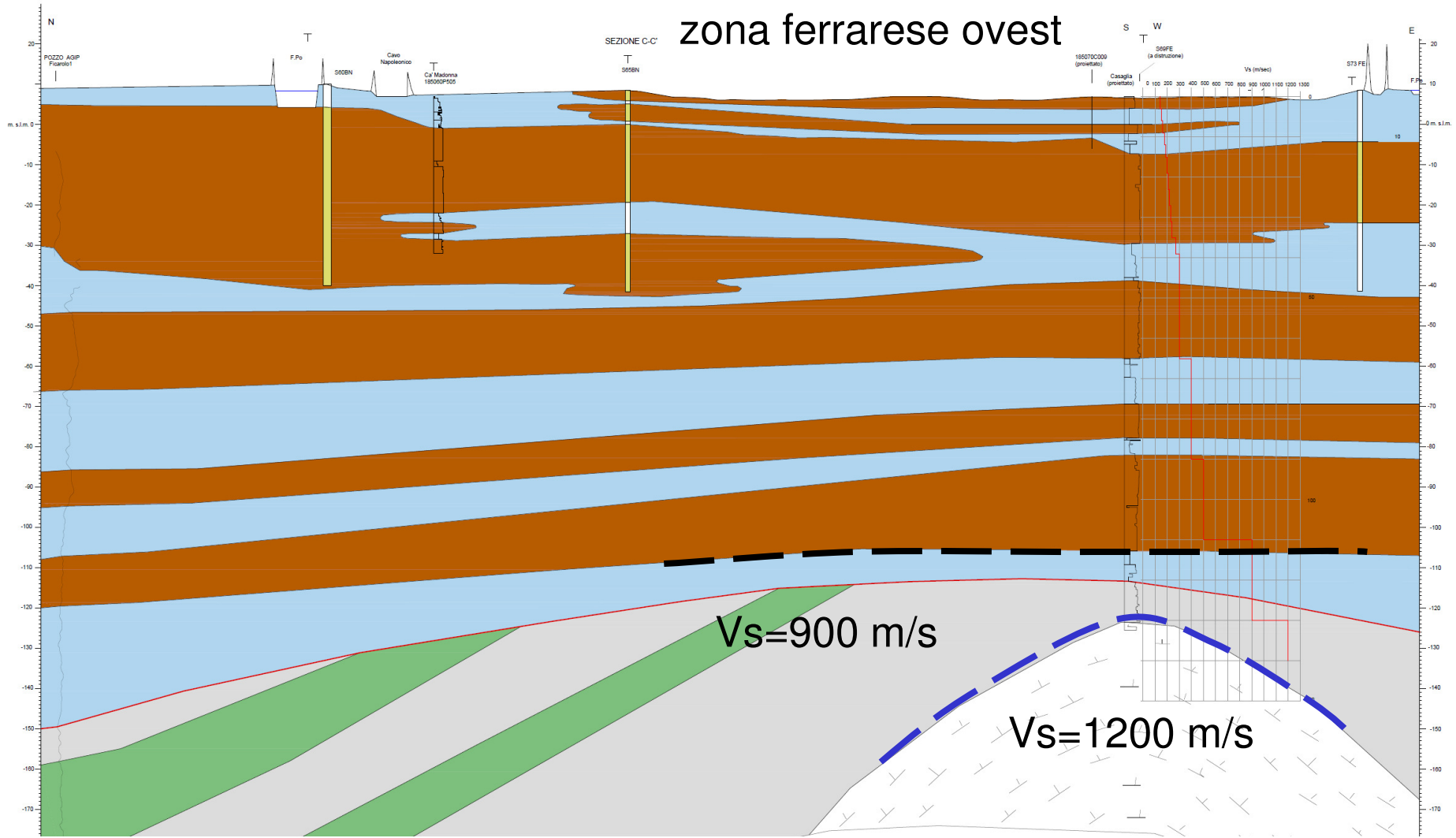
Scala orizzontale 1:25.000
Scala verticale 50X



Zona a sud di Carbonara Po



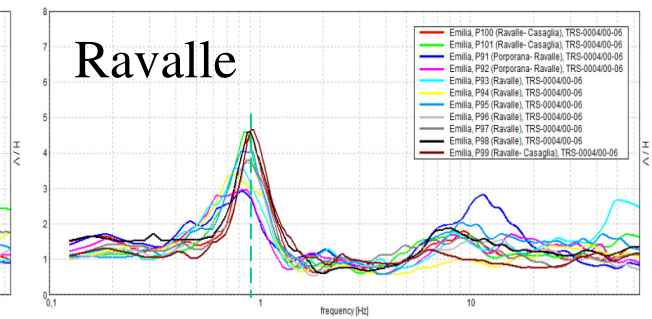
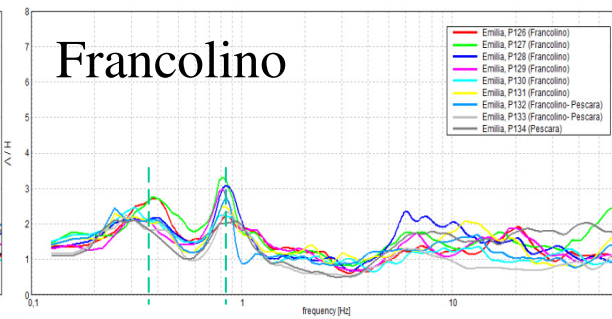
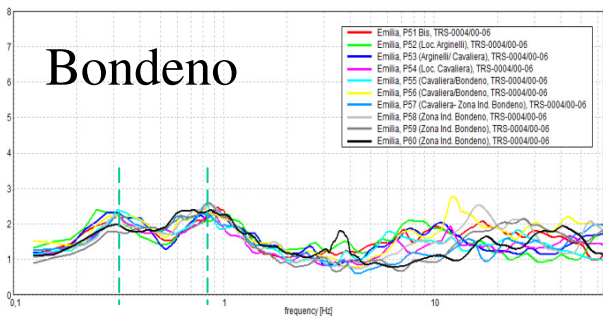
zona ferrarese ovest



Average HV

Average HV

Average HV



Sintesi

- le indagini pregresse hanno permesso di ipotizzare un modello geologico (stratigrafico e idrogeologico);
- le nuove indagini stratigrafiche hanno confermato il modello geologico ipotizzato e hanno permesso di definire una stratigrafia di dettaglio dell'argine e del suo substrato fino alla profondità di circa 50 m lungo tutto il tratto d'interesse;
- i monitoraggi idrogeologici hanno permesso di definire i rapporti di scambio idrico tra il fiume, l'acquifero freatico e il primo acquifero confinato;
- le indagini geofisiche hanno permesso di definire la V_s fino alla profondità di circa 150 m, la F_0 dei depositi e di definire la profondità del bedrock sismico;
- il tetto del bedrock sismico ha profondità variabile, tra 90 e 160 m, ed è costituito da discontinuità stratigrafiche importanti interne alla successione alluvionale, solo nella zona di Ferrara W (Porporana-Occhiobello) coincide con la base dei depositi alluvionali;
- per le analisi di stabilità sono state fornite circa 100 sezioni litostratigrafiche di dettaglio (90 trasversali all'argine e circa 10 longitudinali, profondità circa 50 m) e 3 sezioni a scala intercomunale profonde fino al bedrock sismico.