

FERRARA – 5 maggio 2006
Convegno
Stabilizzazione delle terre con calce

*La Modellazione Geologica nella progettazione
delle infrastrutture stradali*

Organizzazione a cura di “ASSOCIAZIONE GEOLOGI DELLA PROVINCIA DI FERRARA”

Presentazione a cura di:
Geologo Thomas Veronese

Sintesi principali Normative di riferimento

D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”

D.M. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 “Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”

A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)

“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” (giugno 1977)

Eurocode EC-7 e EC-8

AASTHO Guide for the Design of Pavement Structures (USA; 1993)

Road Note 29 (GB)

B. U. CNR-UNI n° 77/1980 *istruzione per la redazione dei progetti di strade*

B. U. CNR-UNI n° 146/1992 *determinazione dei moduli di deformazione M_d e M'_d mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare*

B. U. CNR-UNI n° 169/1994 *istruzione sull'uso della terminologia relativa alle pavimentazioni ed ai materiali stradali*

B. U. CNR-UNI n° 178/1995 *catalogo delle pavimentazioni stradali*

B. U. CNR-UNI n° 176/1995 *requisiti di accettazione e di posa in opera di misti granulari non legati naturali o corretti o di frantumazione per strati di fondazione e di base*

NORMA ITALIANA UNI 10006

“Costruzione e manutenzione delle strade – tecniche di impiego delle terre -

Importante novità introdotta:

APPENDICE A: aggregati provenienti dalle attività di demolizione e costruzione e dalle loro miscele con rifiuti minerali recuperabili per impieghi stradali ed assimilati - requisiti



D.M. 14/09/2005

“Norme Tecniche per le Costruzioni”

D.M 11/03/1988

La relazione geologica è prescritta per le opere a cui fanno riferimento le sezioni E, F, G, H, I, L, M e O, della presente normativa e per le aree dichiarate sismiche o soggette a vincoli particolari.

Essa deve comprendere ed illustrare la situazione litostratigrafica locale, con definizione dell'origine e natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità, i lineamenti geomorfologici della zona, nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali; deve precisare inoltre i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

La relazione geotecnica sulle indagini è prescritta per tutte le opere oggetto delle presenti norme. Essa deve comprendere ed illustrare la localizzazione della area interessata, i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate, nonché la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche della costruenda opera, ed il programma di eventuali ulteriori indagini, che si raccomandano per la successiva fase esecutiva.

L. 109/1994 (Merloni Ter) e DPR 554/1999

La relazione geologica comprende, sulla base di specifiche indagini geologiche, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo, definisce il modello geologico-tecnico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici nonché il conseguente livello di pericolosità geologica e il comportamento in assenza ed in presenza delle opere.

La relazione geotecnica definisce, alla luce di specifiche indagini geotecniche, il comportamento meccanico del volume di terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che a sua volta influenzerà il comportamento del manufatto stesso. Illustra inoltre i calcoli geotecnici per gli aspetti che si riferiscono al rapporto del manufatto con il terreno.

Norme Tecniche per le Costruzioni - Paragrafo 7.2.1.

MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico del sito deve essere orientato alla ricostruzione dei caratteri

- stratigrafici,***
- litologici,***
- strutturali,***
- idrogeologici,***
- geomorfologici***
- e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.***

Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e del programma delle indagini.

Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza dell'opera

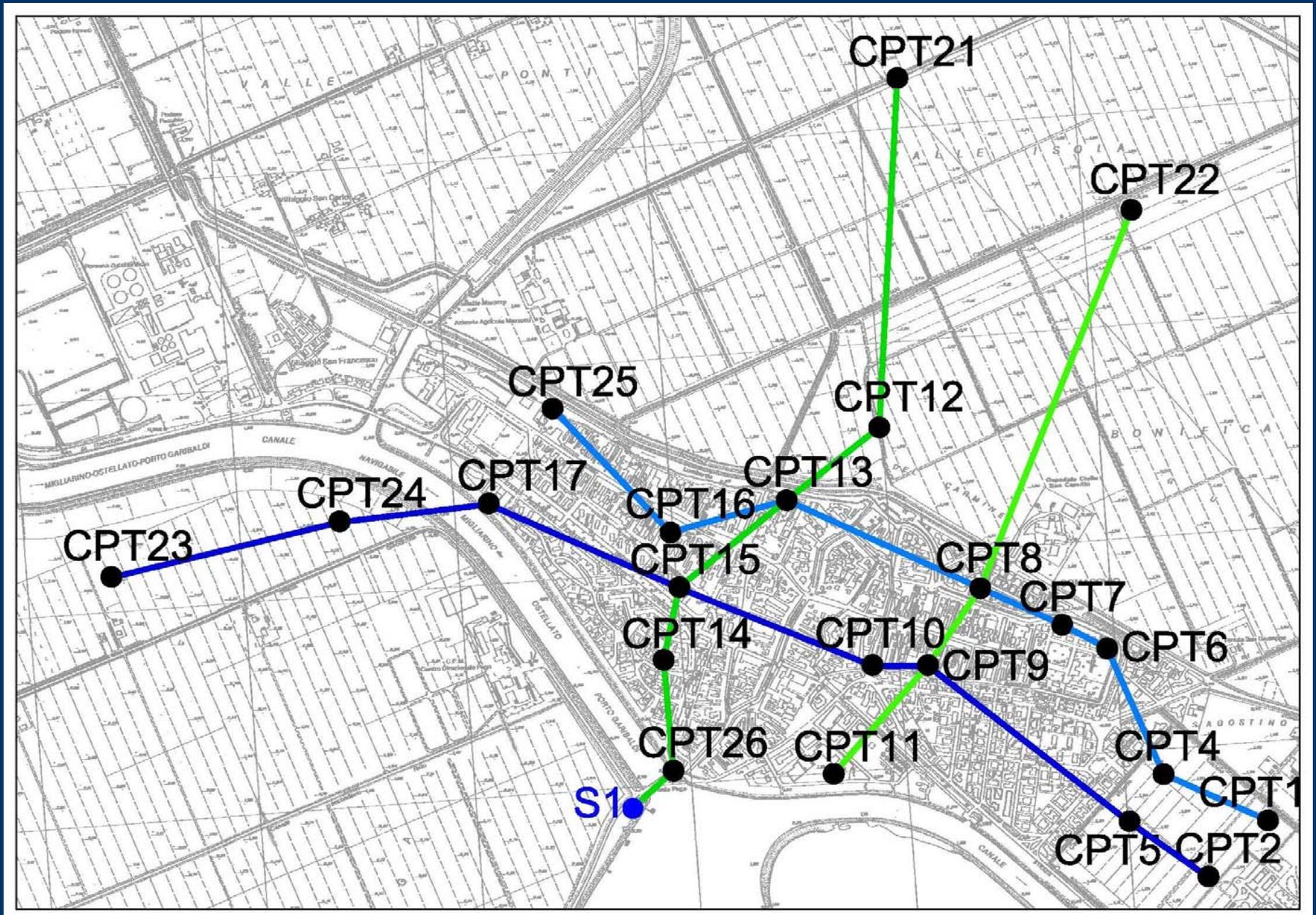
Competenze professionali per la modellazione geologica

*Adunanza Generale del Consiglio di Stato, parere
2 giugno 1994, n.154*

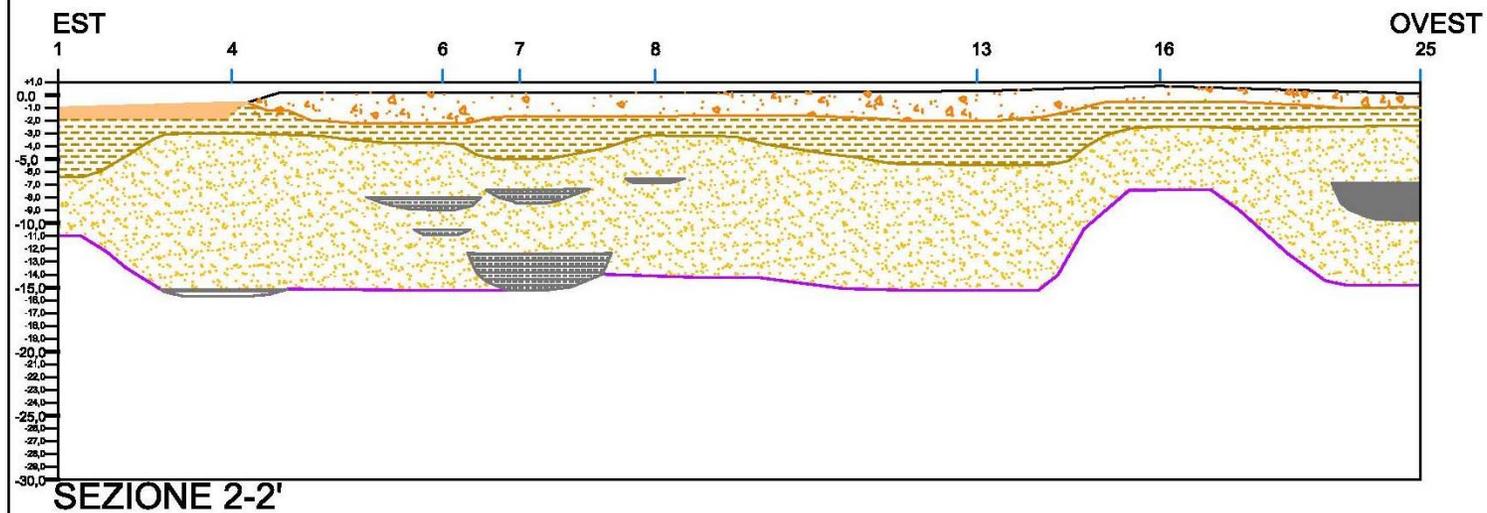
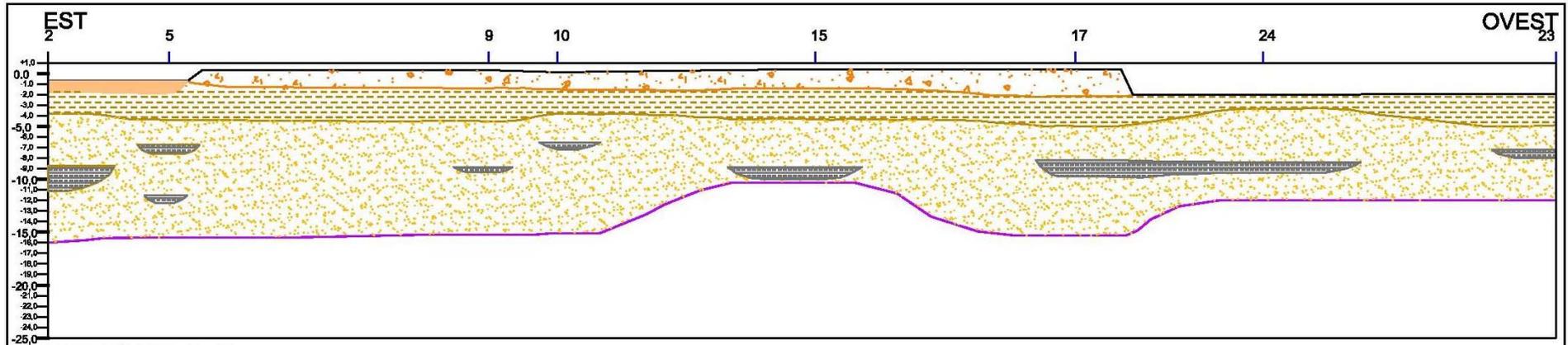
*“spetta all’esclusiva competenza del geologo redigere le
relazioni geologiche facenti parte degli atti progettuali
secondo il D.M. 11 marzo 1988”*

*Tale concetto è stato ribadito in successive
“decisioni”, per esempio decisione n. 701 del 4
maggio 1995 , Consiglio di Stato in sede
giurisdizionale (V Sezione)*

Caratteri stratigrafici

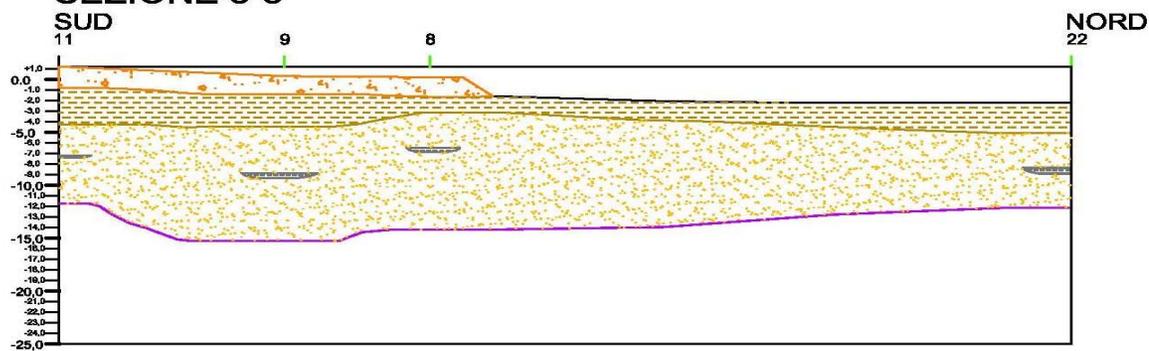
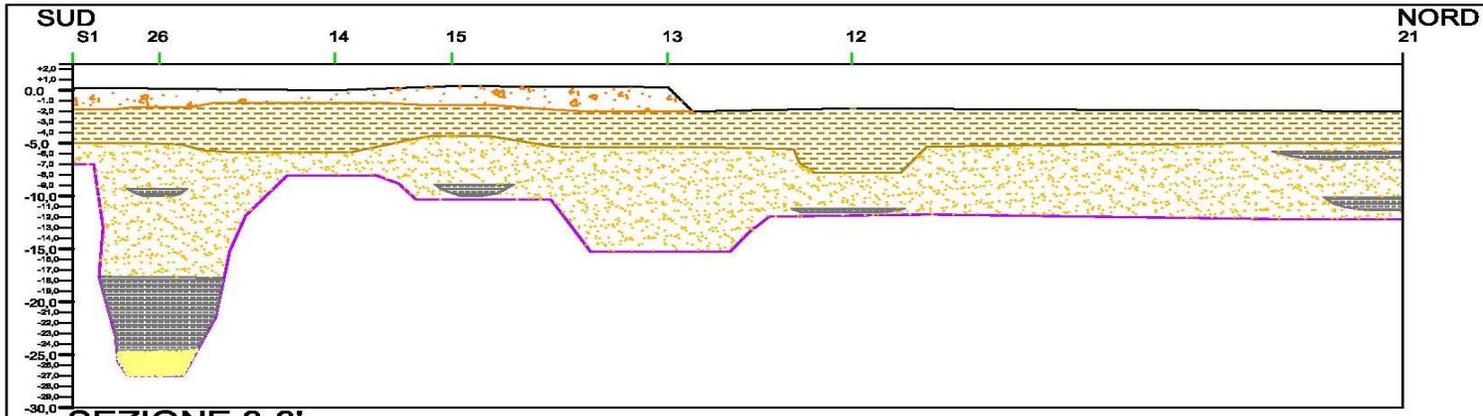


Caratteri stratigrafici



-  Strato A: macerie diffuse, costituite da clasti di laterizio e da cocci di ceramiche in matrice sabbioso-argillosa.
-  Strato B: sedimenti argilloso-limosi nerastri e limoso argillosi, costituiti da un misto di sedimenti alluvionali in posto e di riporto.
-  Strato C: sedimenti sabbioso prevalenti di facies marino-costiero-deltizia..
-  Strato D: intercalazioni di sedimenti argilloso-limosi dovute a probabili variazioni di livello marino.
-  Sabbia riportata nelle nuove lottizzazioni.
-  Sabbie pleistoceniche

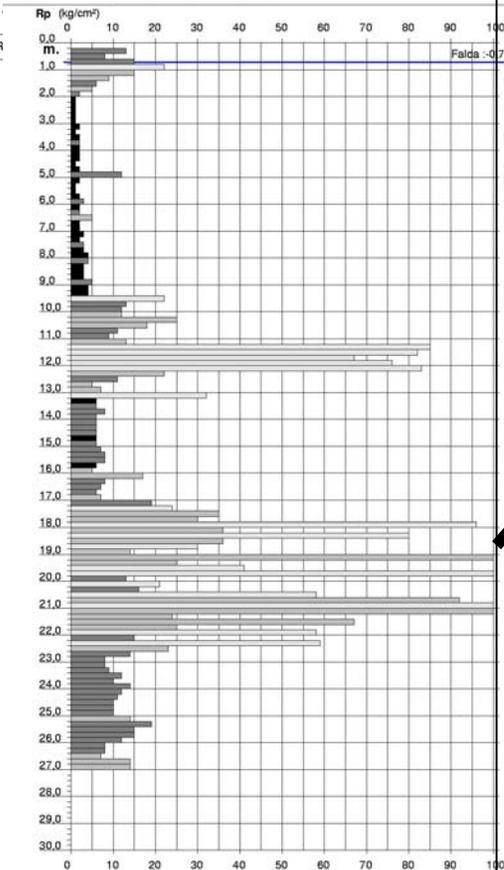
Caratteri stratigrafici



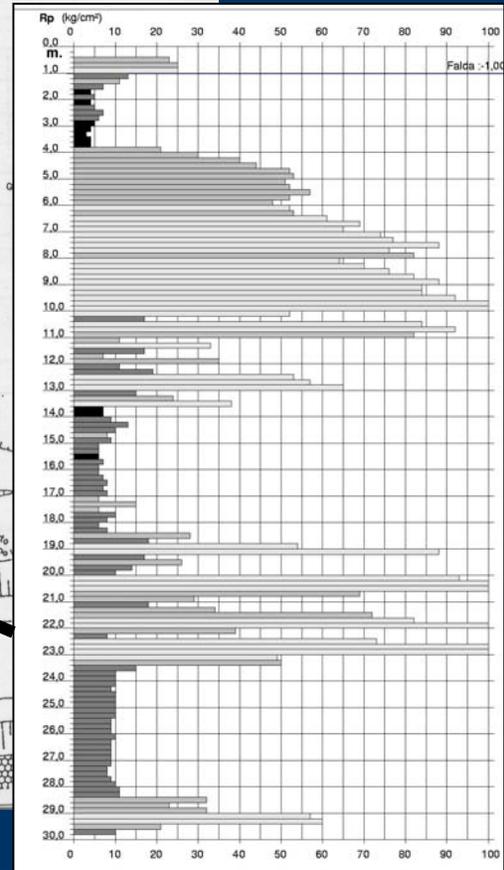
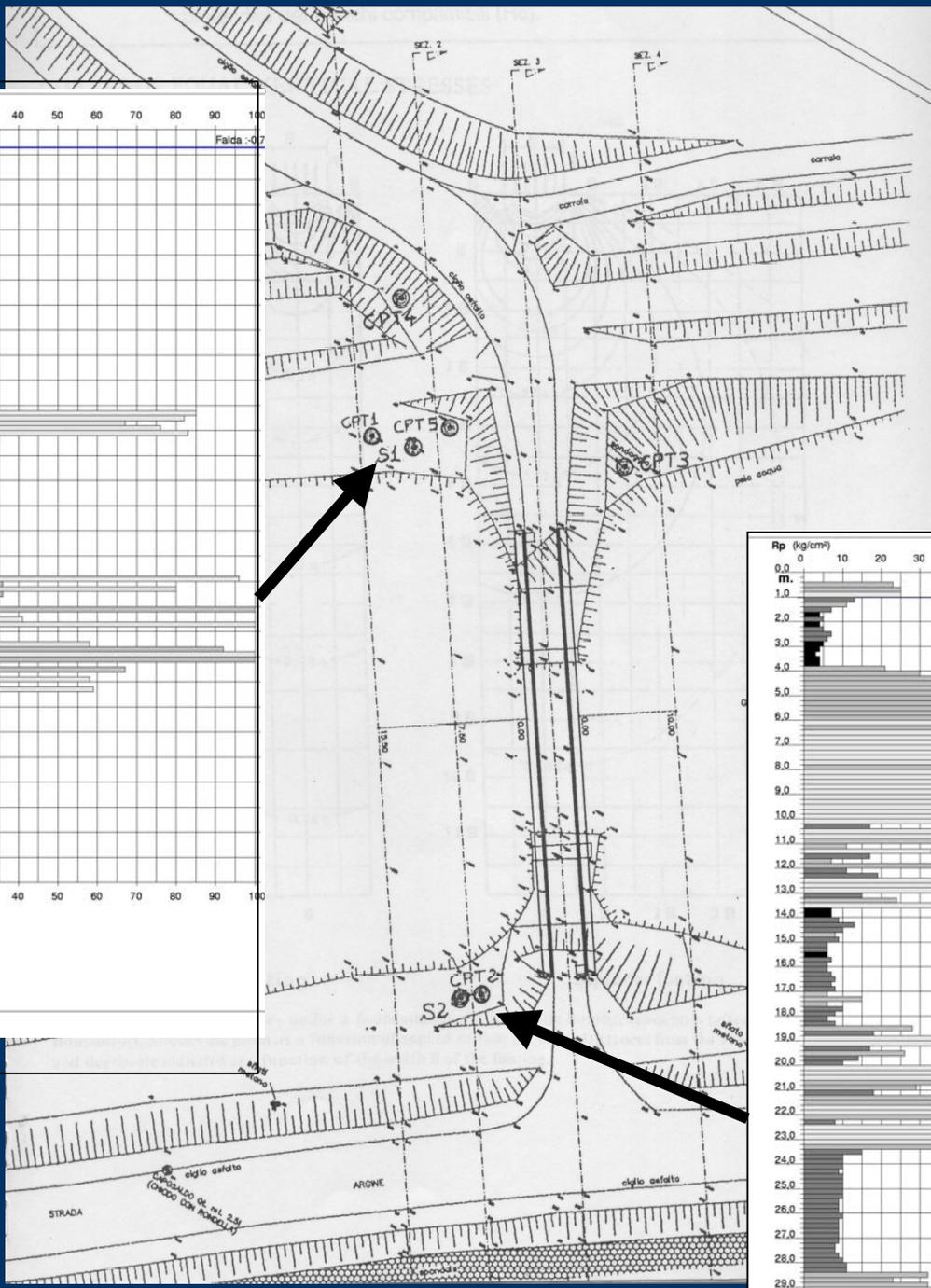
-  Strato A: macerie diffuse, costituite da clasti di laterizio e da cocci di ceramiche in matrice sabbioso-argillosa.
-  Strato B: sedimenti argilloso-limosi nerastri e limoso argillosi, costituiti da un misto di sedimenti alluvionali in posto e di riporto.
-  Strato C: sedimenti sabbioso prevalenti di facies marino-costiero-deltizia..
-  Strato D: intercalazioni di sedimenti argilloso-limosi dovute a probabili variazioni di livello marino.
-  Sabbie riportata nelle nuove lottizzazioni.
-  Sabbie pleistoceniche

Caratteri litologici

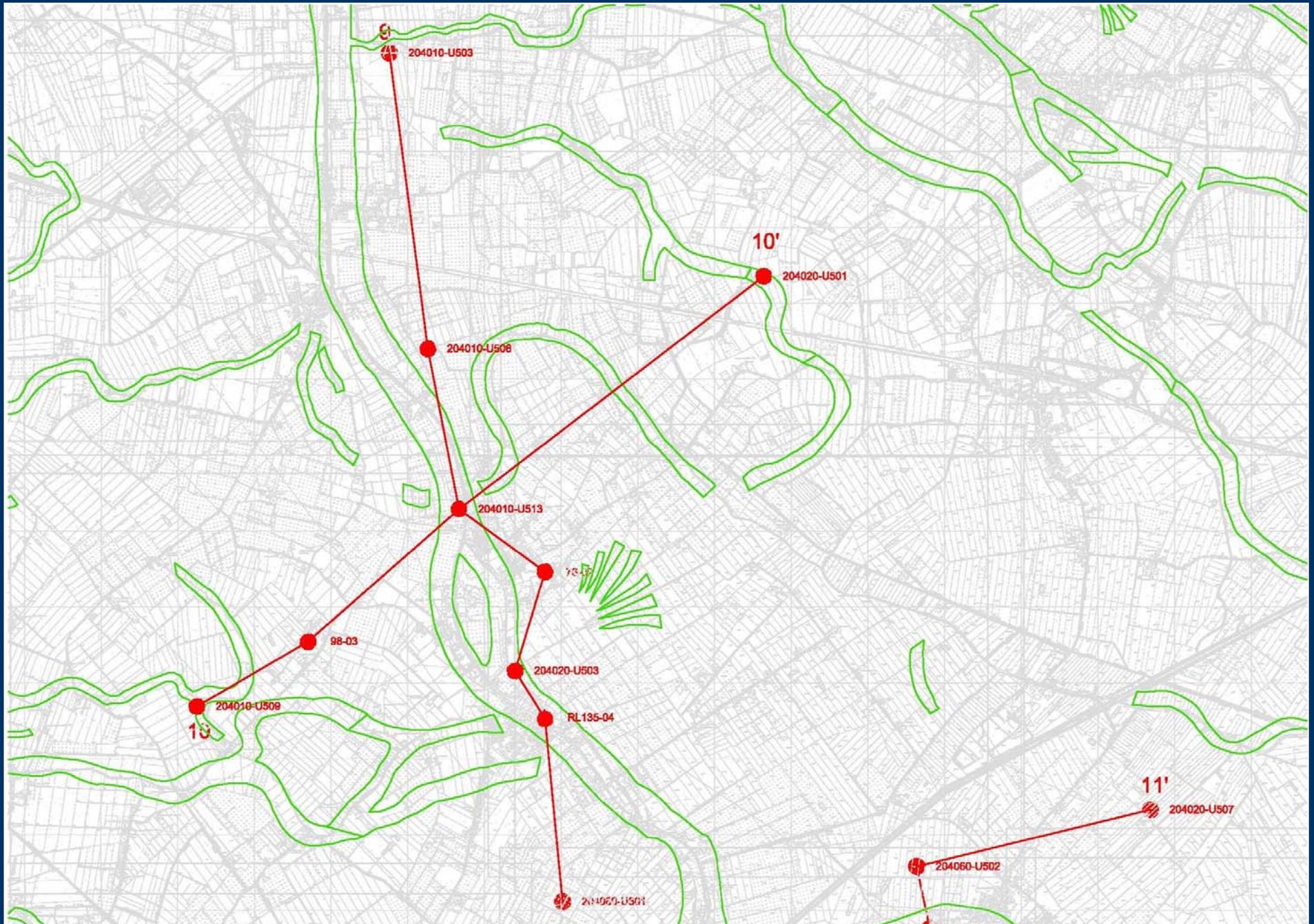
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBOLOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA
			tipo	num	PROF.	
1	1,85					argilla limosa e limo argilloso con livelli ossidati rossastri
2						
3						argilla limosa organica con livelli di torba
4	4,50					
5						sabbia argillosa fine sciolta
6	6,70					
7						argilla limosa con livelli di limo argilloso
8	9,60					
9						limo sabbioso alternato a sabbia limosa
10	11,30					
11						sabbia fine limosa debolmente argillosa ricca di bioclasti
12	13,70					
13						limo argilloso poco consistente
14	16,00					
15						limo argilloso sabbioso moderatamente consistente
16	18,30					
17						argilla limosa poco consistente
18	21,50					
19						argilla torbosa nerastra consistente
20	24,40					
21	26,40					limo argilloso e argilla limosa consistente
22	30,20					
23						sabbia argillosa mediamente addensata
24	33,60					
25	35,00					argilla limosa moderatamente consistente
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						



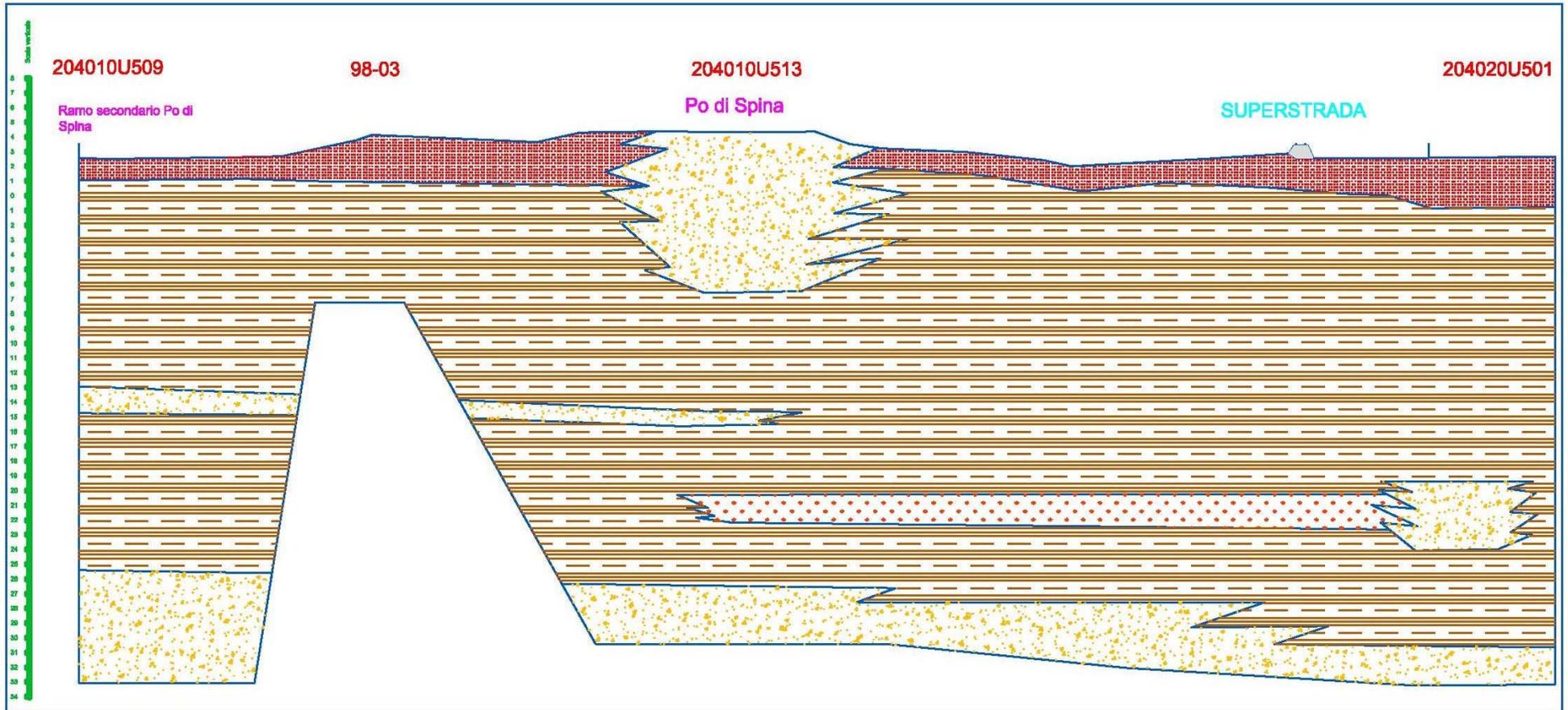
elaborato da: Dr. D. Merlini - 0425-840020



Caratteri litologici



PROFILO 10-10'

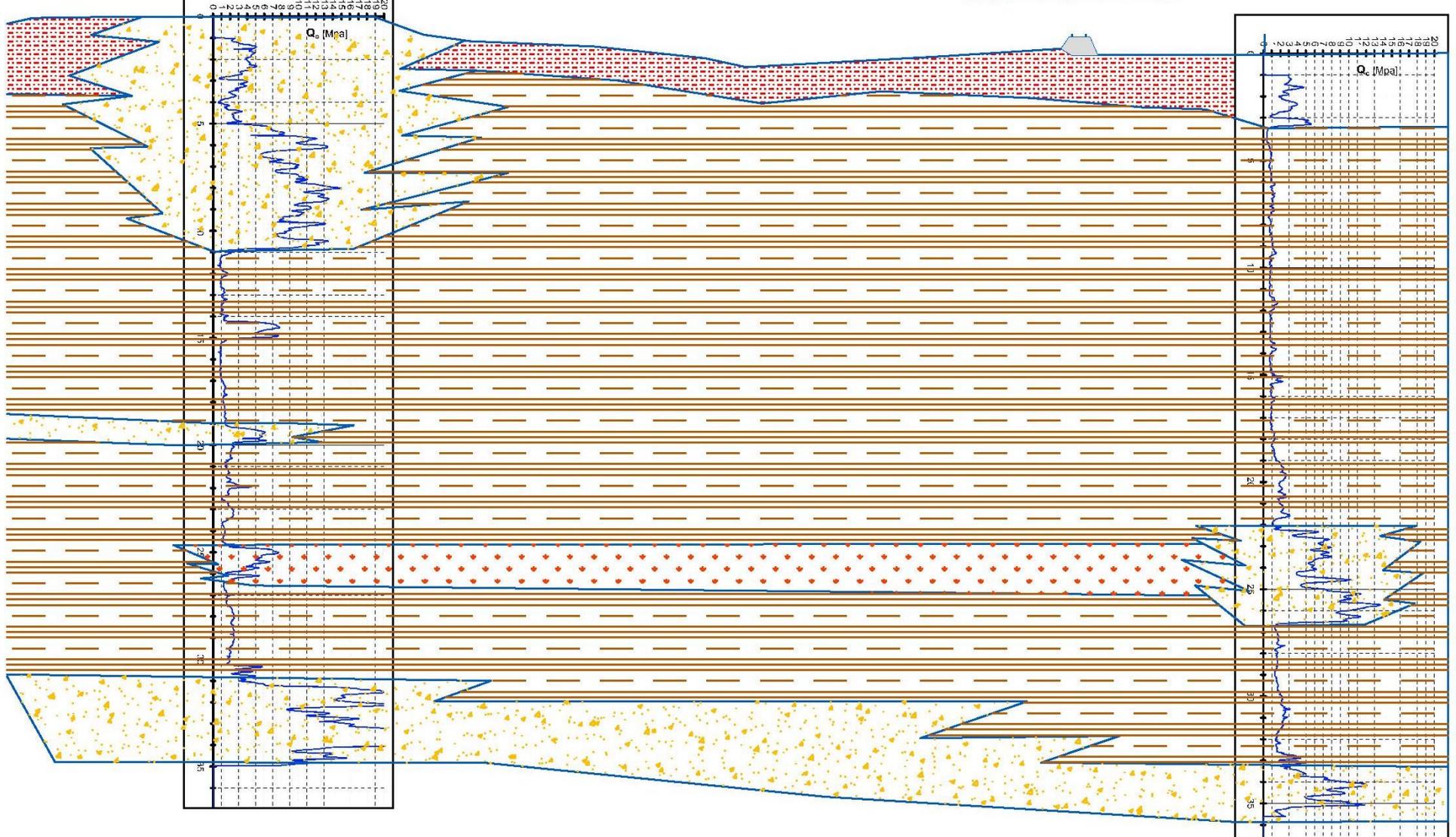


204010U513

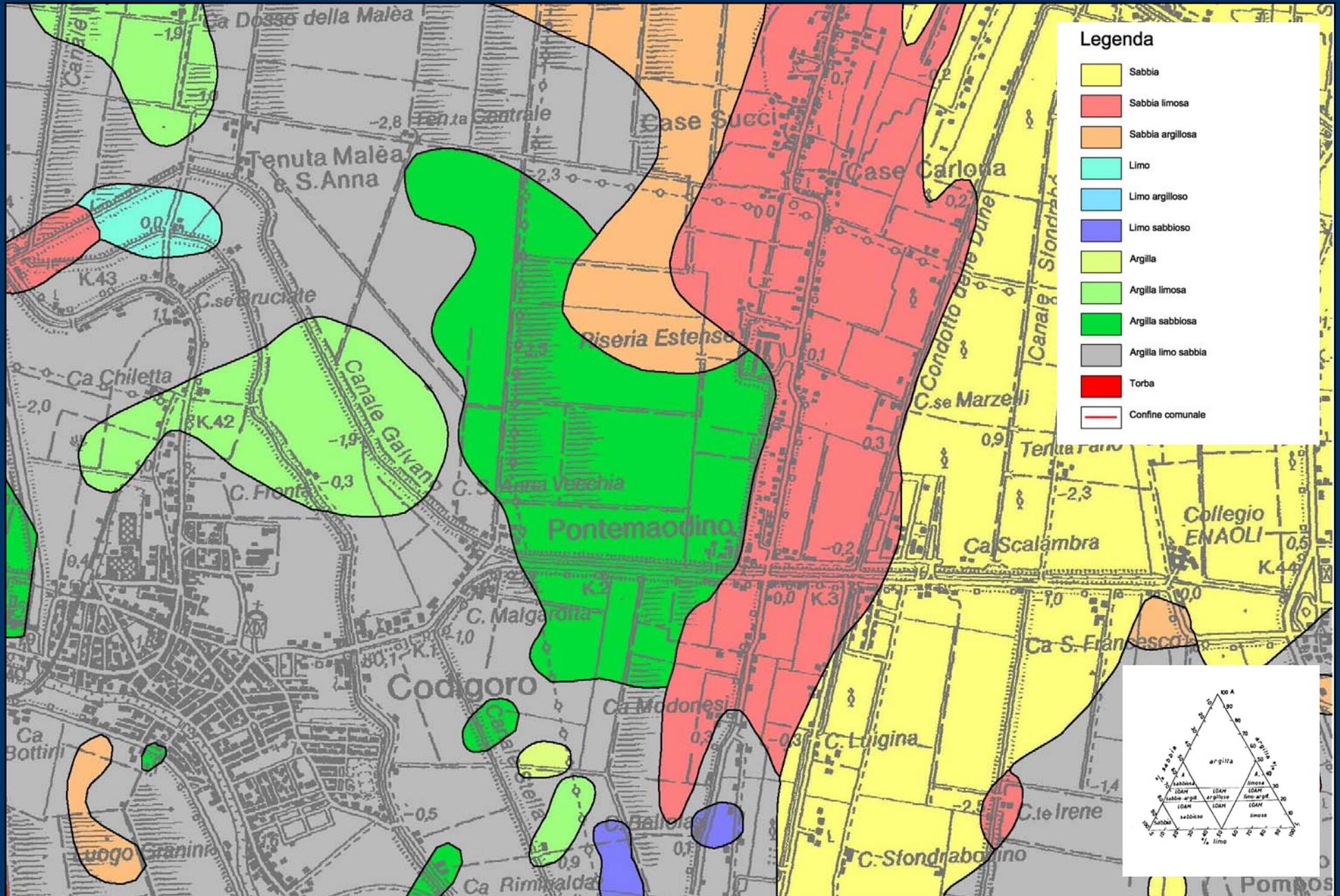
204020U501

Po di Spina

SUPERSTRADA



Caratteri litologici

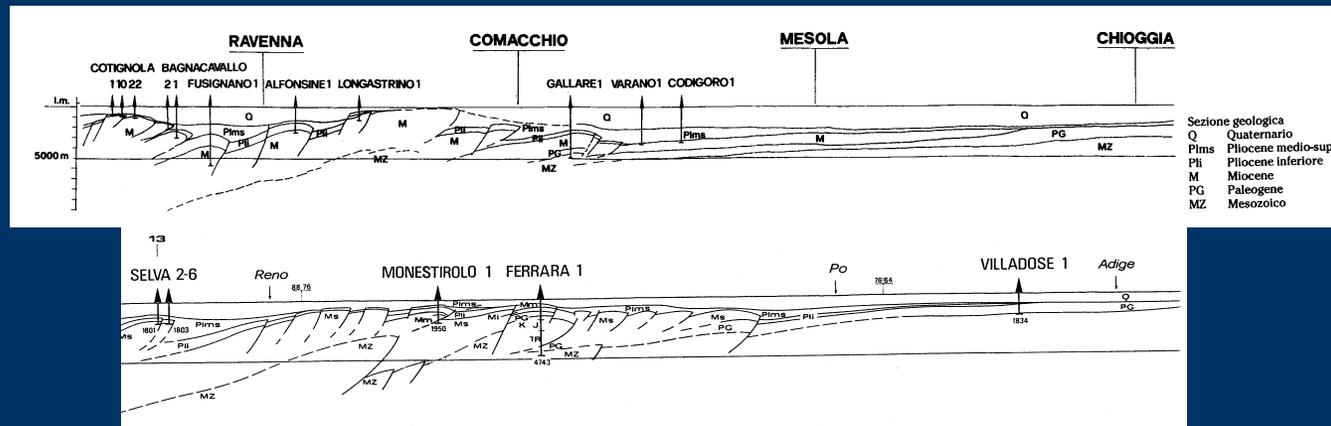
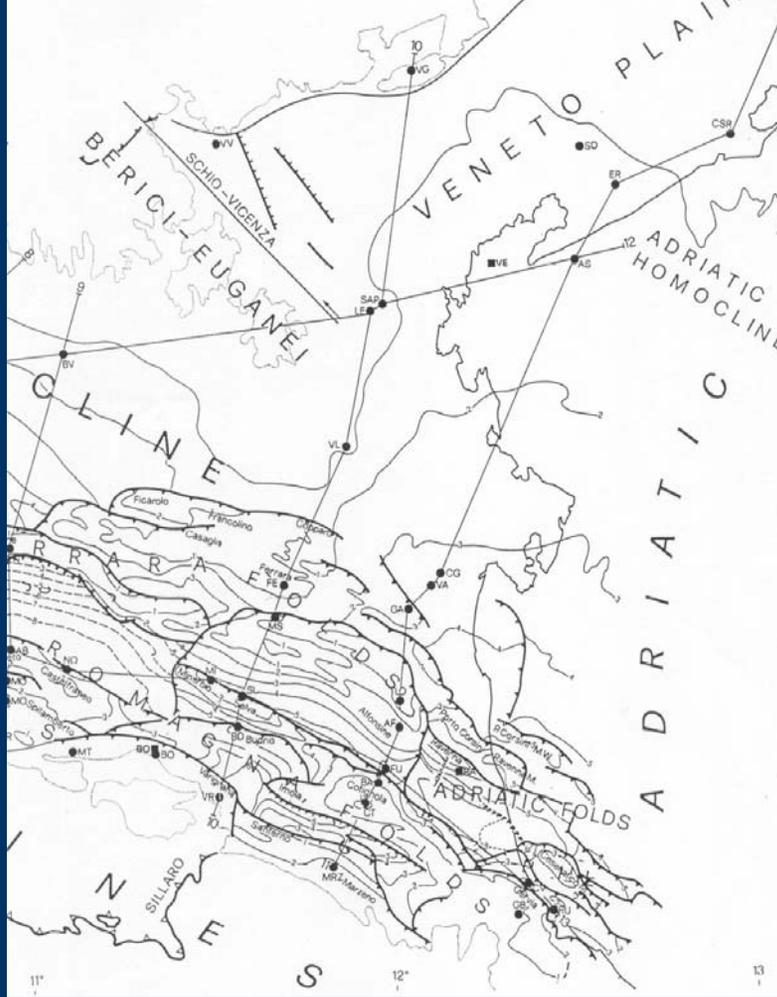


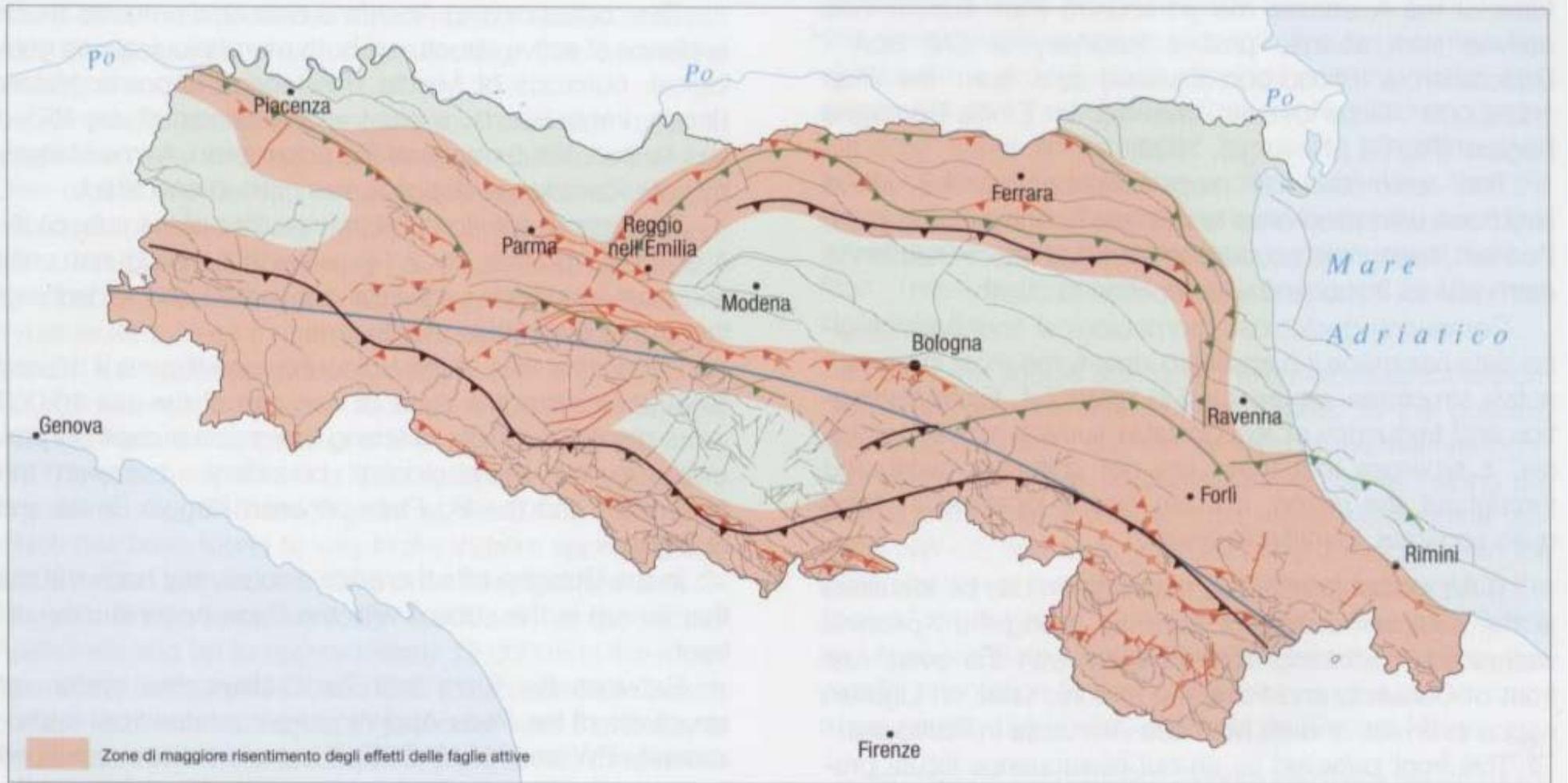
Caratteri strutturali

Carta strutturale della Pianura Padana orientale, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)

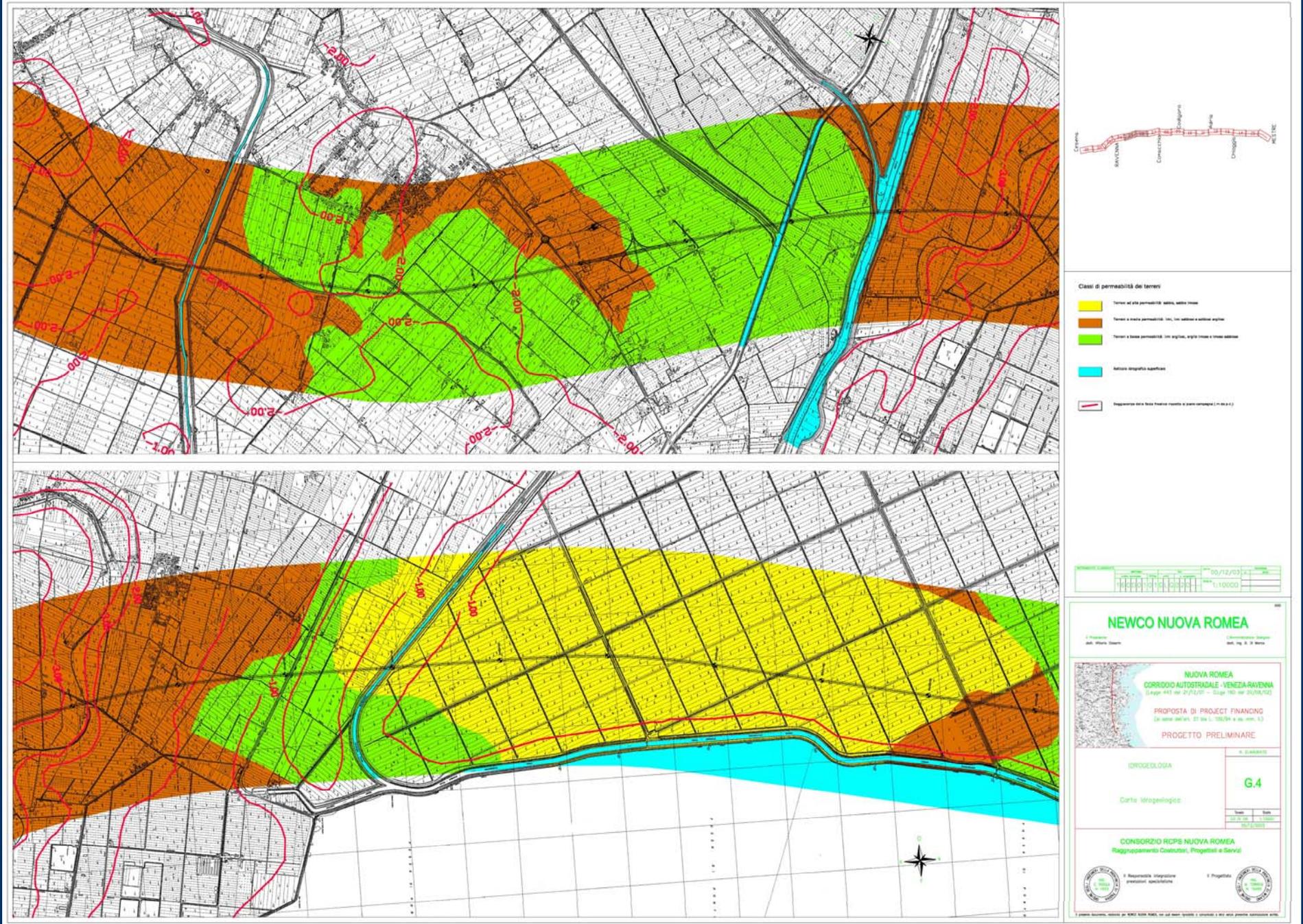
LEGENDA

- 1) *faglie dirette*
- 2) *sovrascorrimenti e faglie inverse*
- 3) *grandi faglie verticali*
- 4) *limite fra la Pianura Padana e i rilievi alpini e appenninici*





- Sovrascorimenti attivi superficiali
- Faglie estensionali superficiali attive
- Faglie trascorrenti attive
- Faglie attive con cinematica indeterminata
- Anticlinale attiva
- Sovrascorimenti attivi nella successione carbonatica
- Sovrascorimenti attivi nel basamento
- Sovrascorimenti del Plio-Pleistocene inf. riattivati
- Principali strutture neogeniche senza evidenze di attività recente
- Struttura della Moho

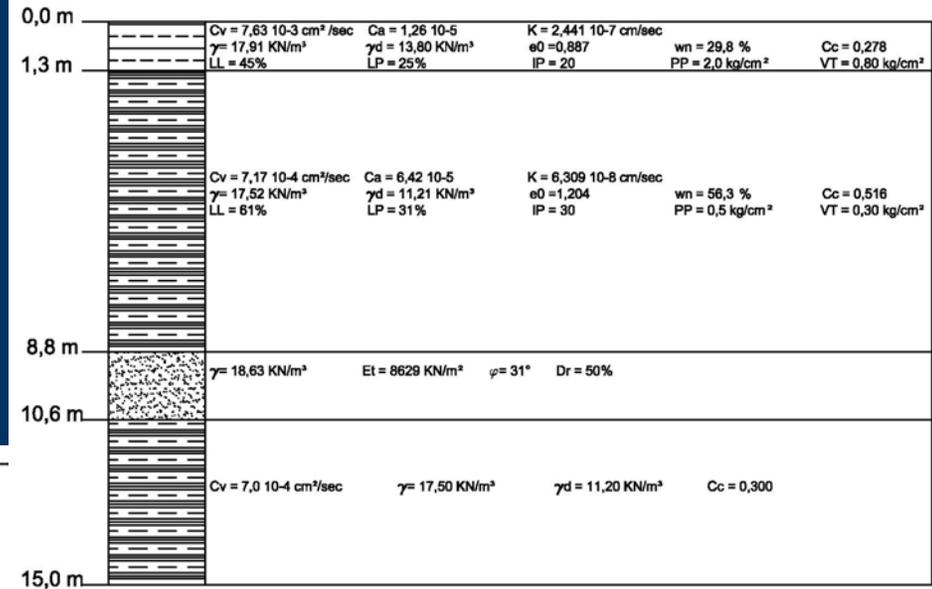


Paragrafo 6.2.2.4. “la stabilità e la durabilità delle fondazioni devono essere valutate tenendo conto anche delle possibili azioni negative conseguenti ad azioni chimico fisiche”

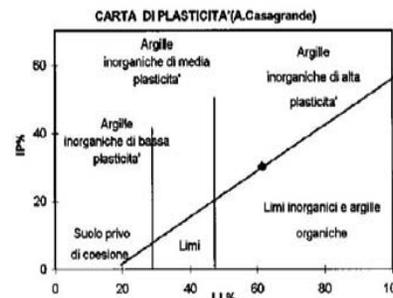
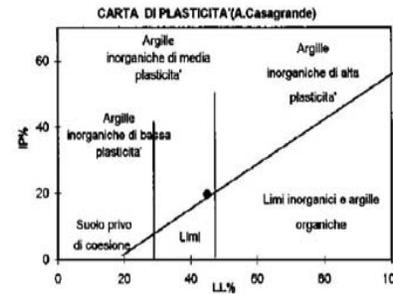
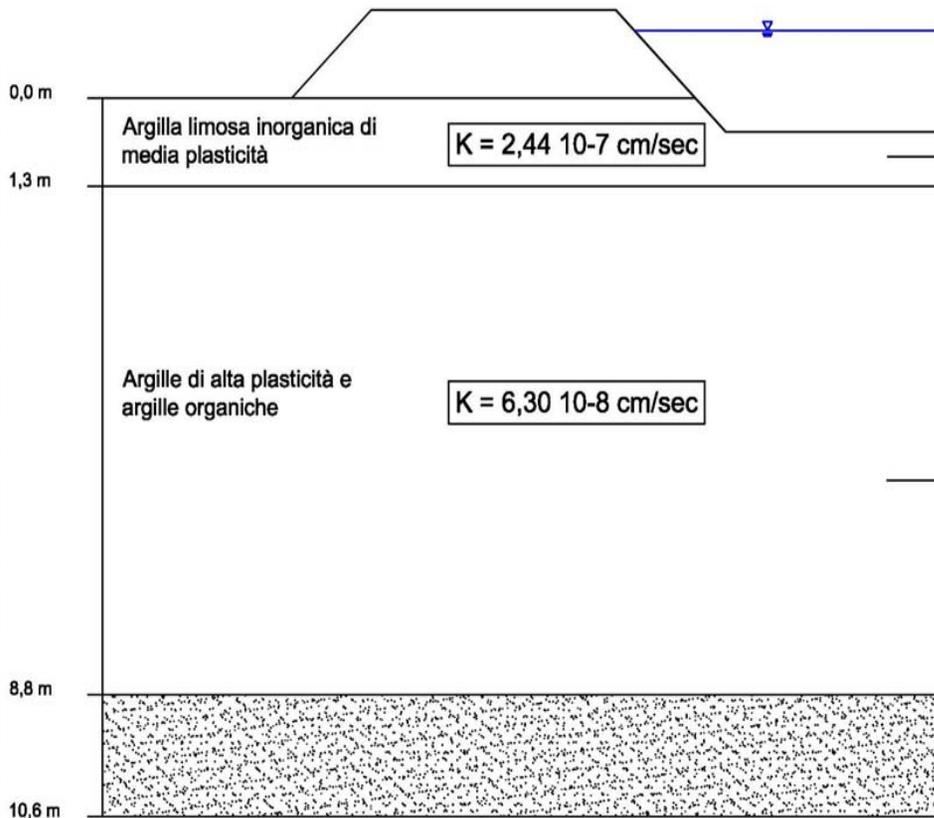
Può diventare importante analizzare il chimismo delle acque e dei suoli

Caratteri idrogeologici

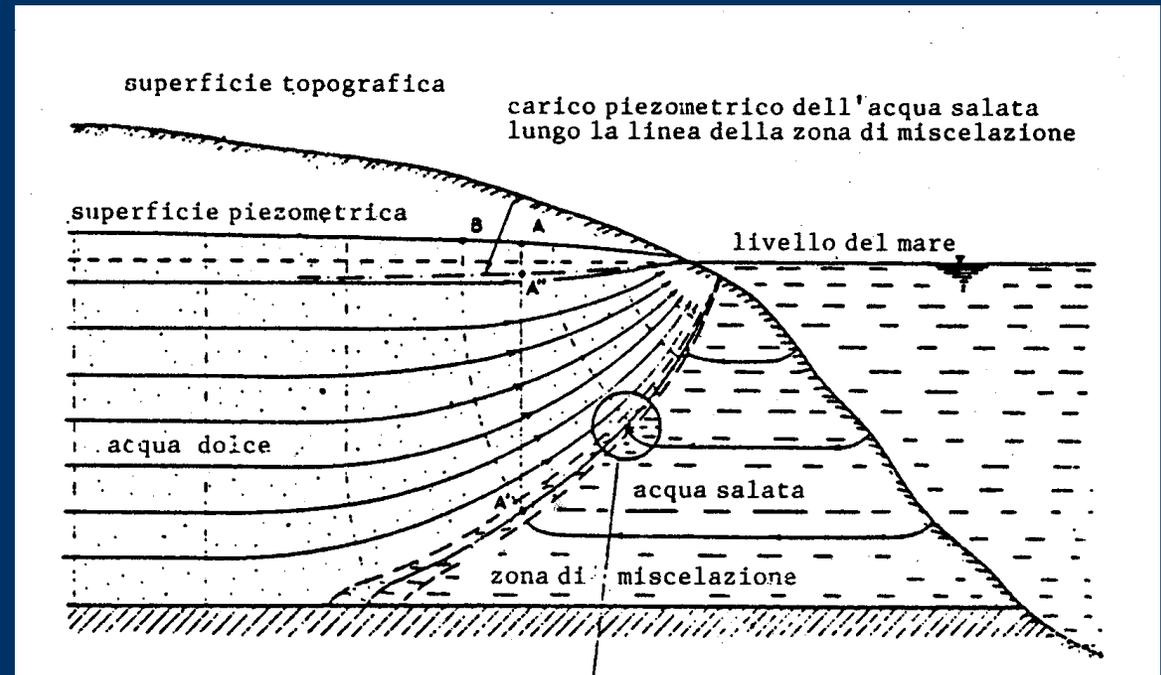
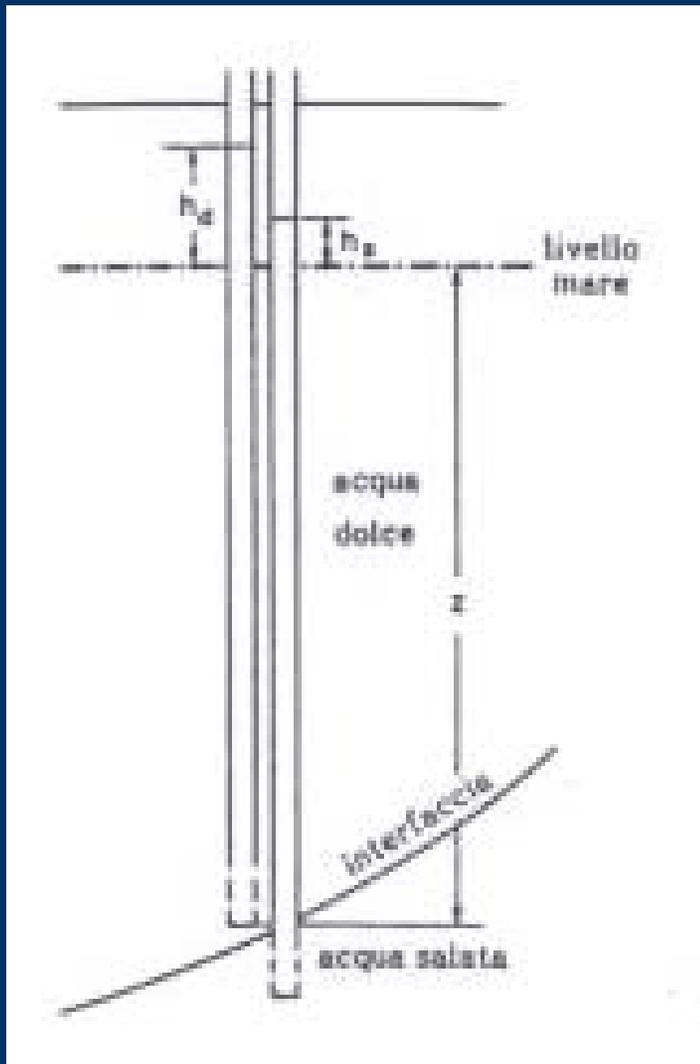
Stratigrafia litologico- geotecnica dei terreni sotto la vasca di accumulo di progetto



Situazione stratigrafica e coefficiente di permeabilità degli strati



Caratteri idrogeologici

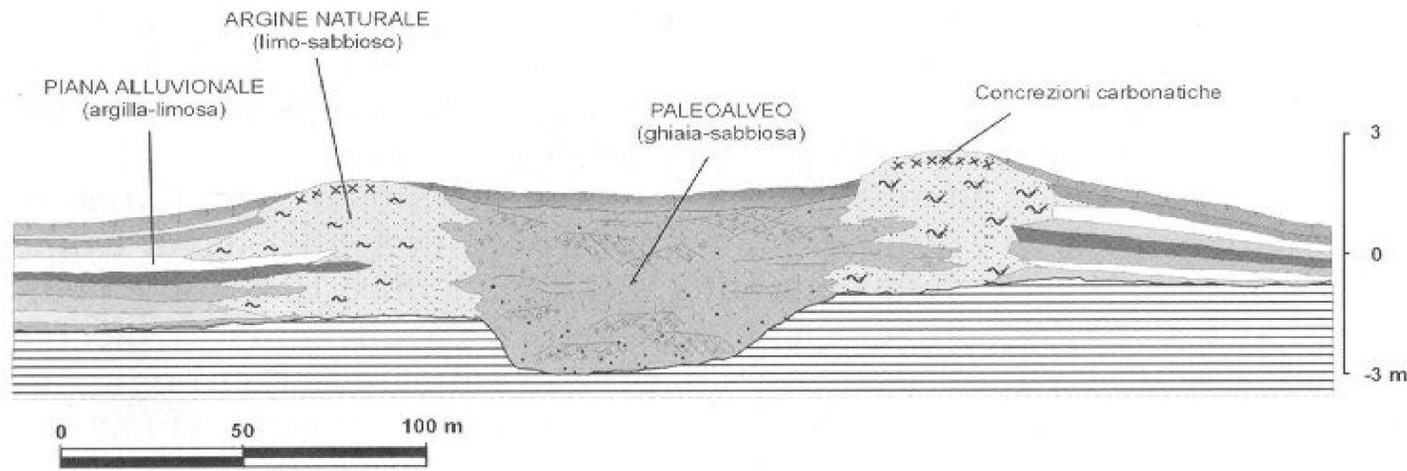


$$h_2 = \frac{h_1 \rho_d}{\rho_s - \rho_d}$$

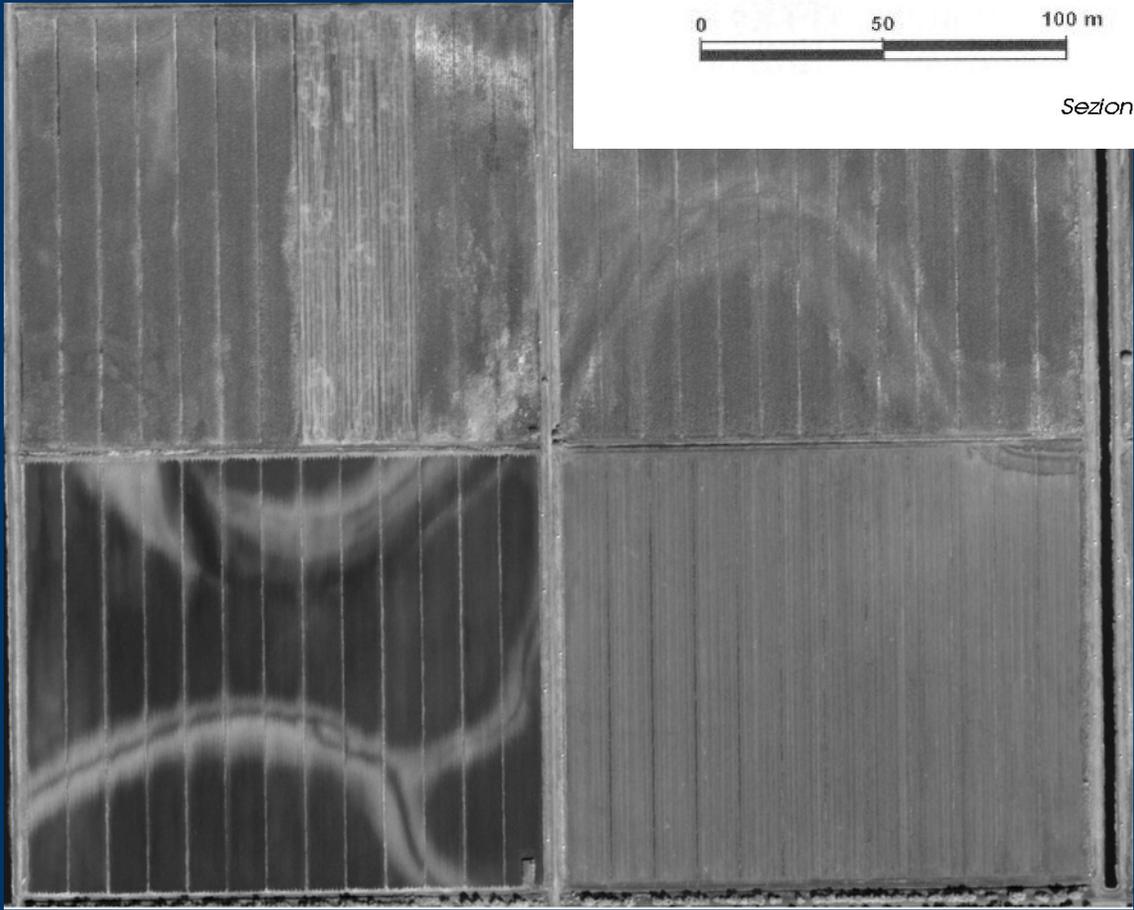
equazione della Legge di Ghyben-Herzberg

Schema dei livelli in due piezometri posti in corrispondenza di una interfaccia acqua dolce – acqua salata

Caratteri geomorfologici

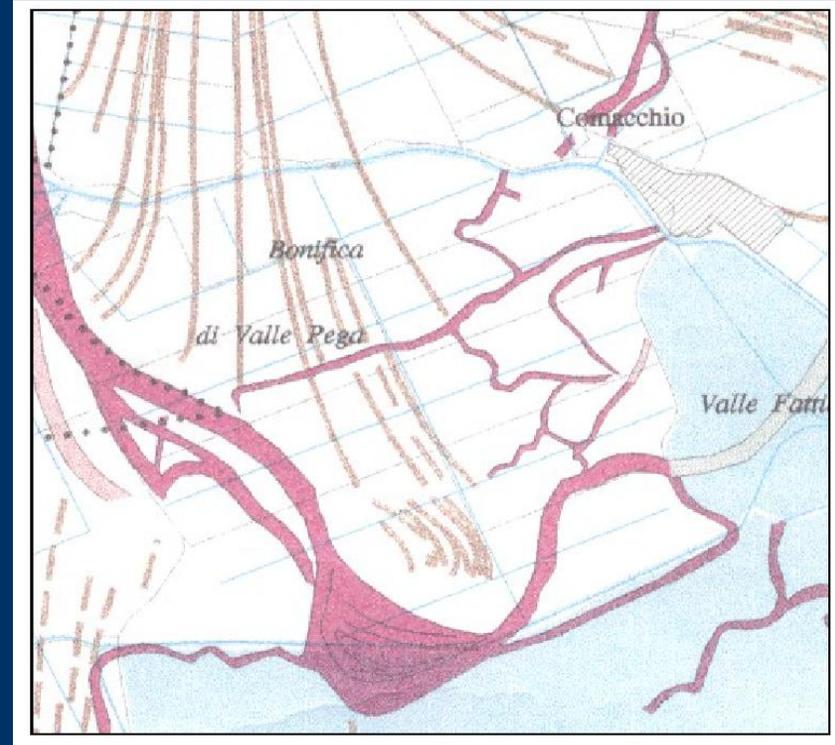
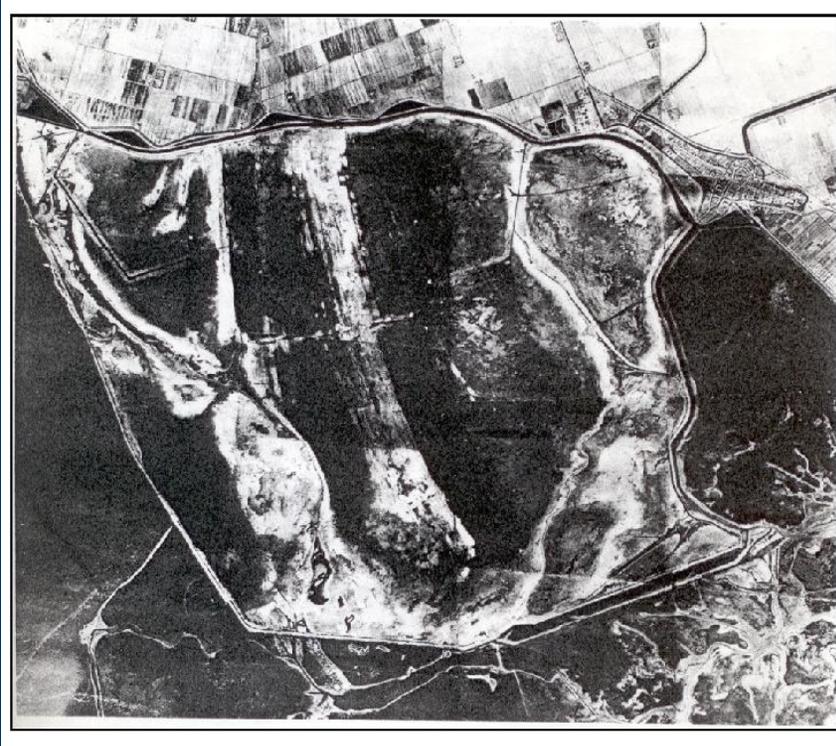


Sezione schematica di un paleoalveo

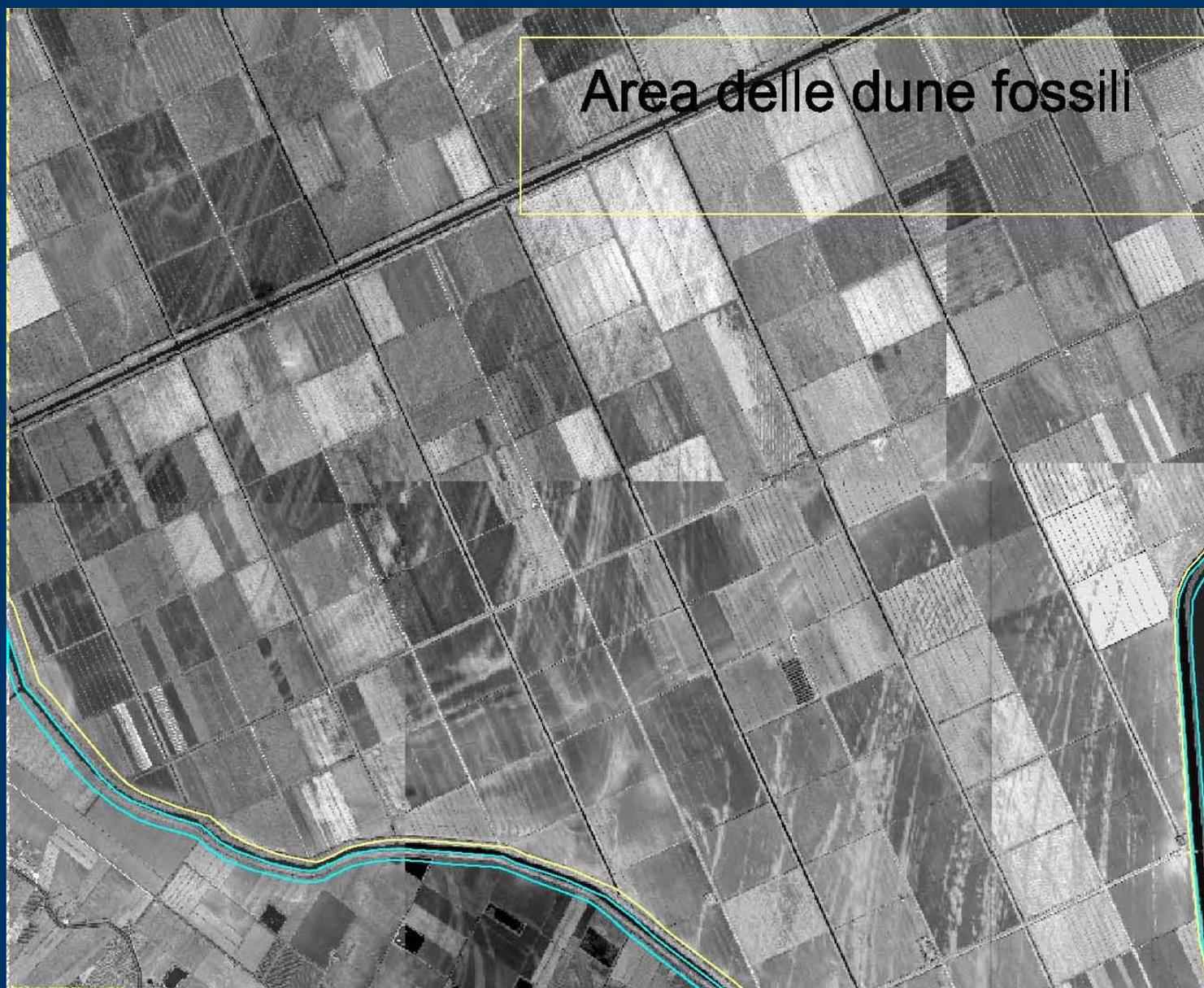


Paleoalvei riempimento attivo

Caratteri geomorfologici



Paleoalvei di riempimento attivo, allineamenti di dune paleocostiere, ex bacini vallivi ed ex lagune



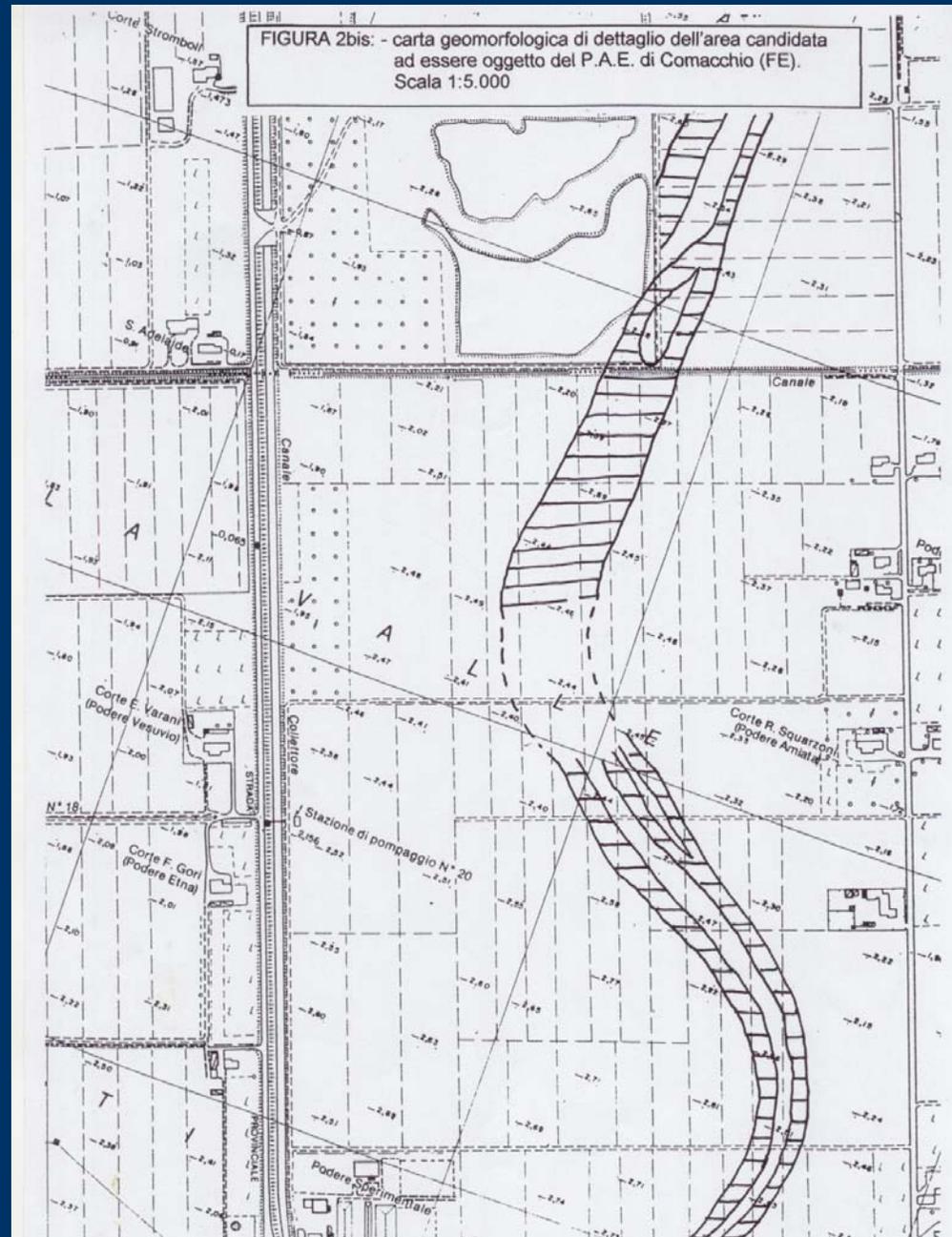
Caratteri geomorfologici



Paleoalvei di riempimento passivo

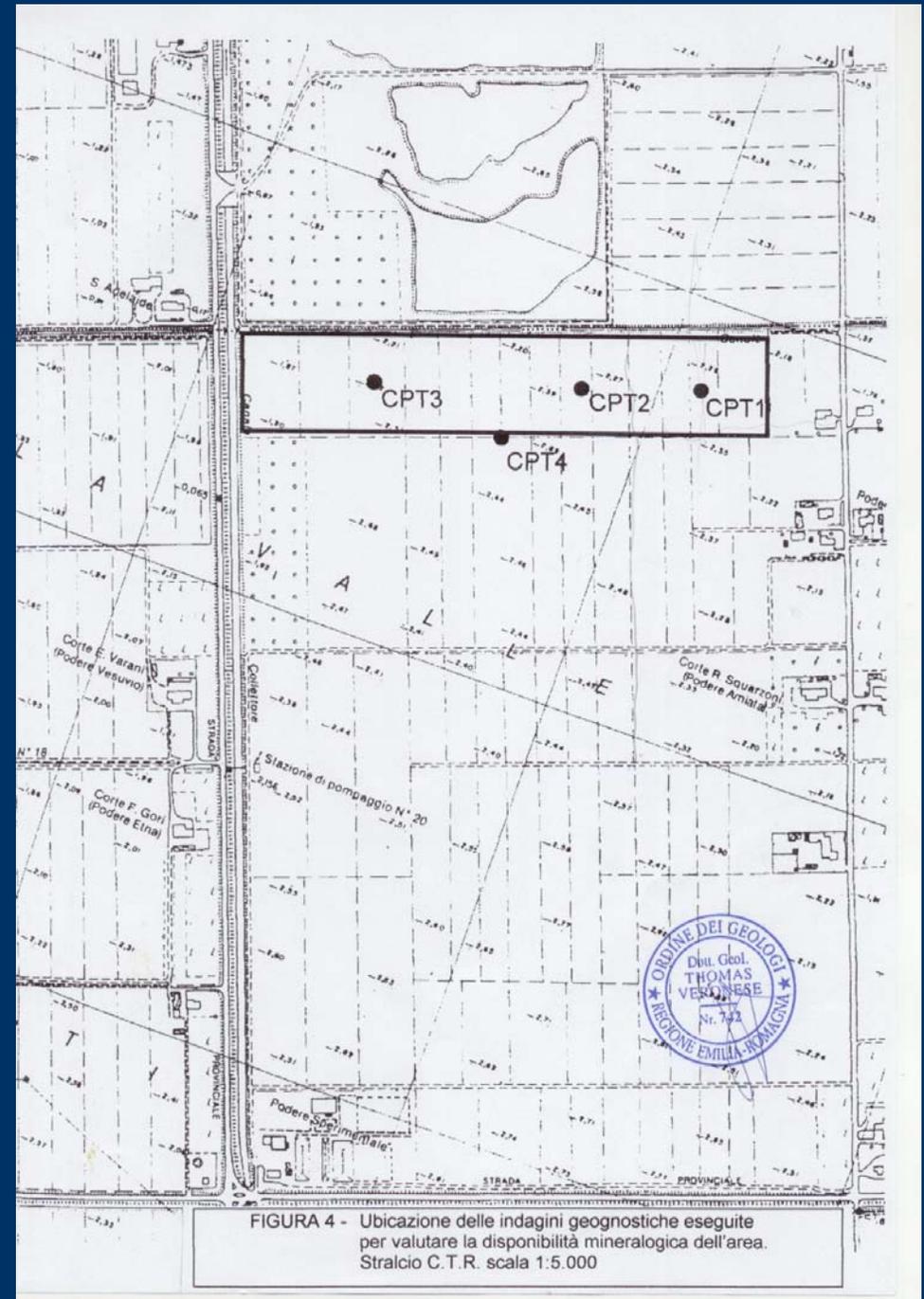
Caratteri geomorfologici

Paleoalvei di riempimento passivo

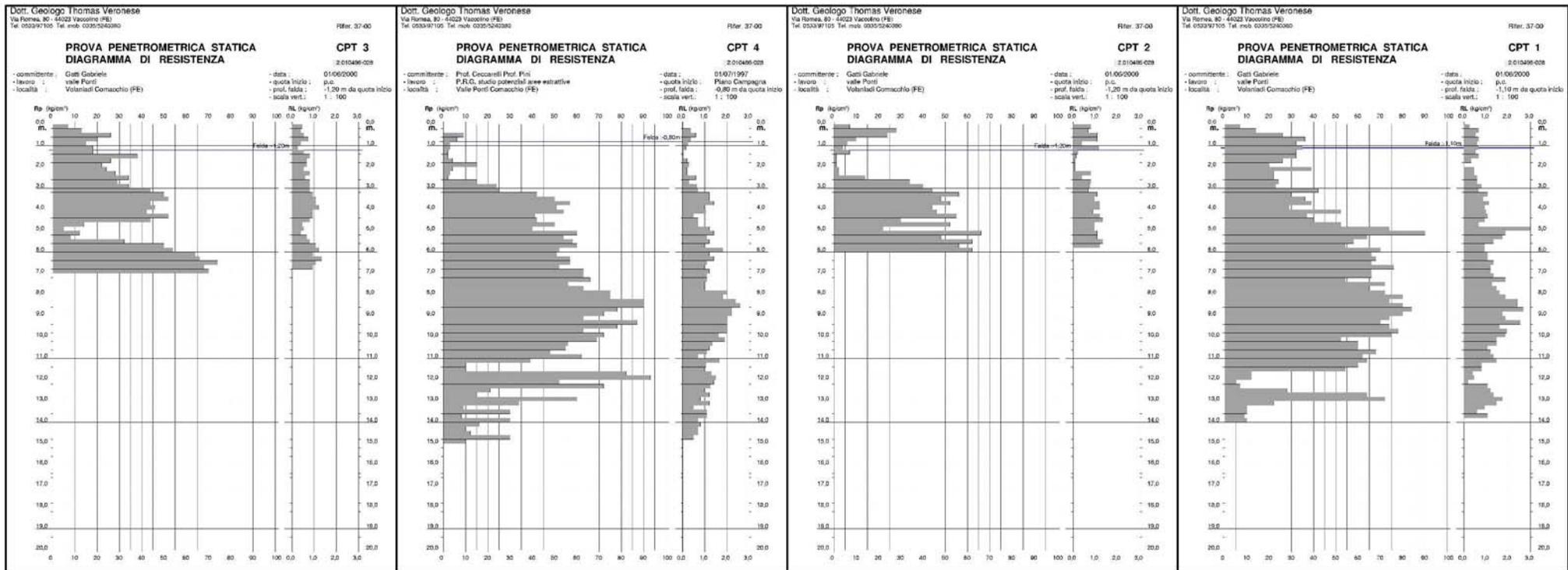


Caratteri geomorfologici

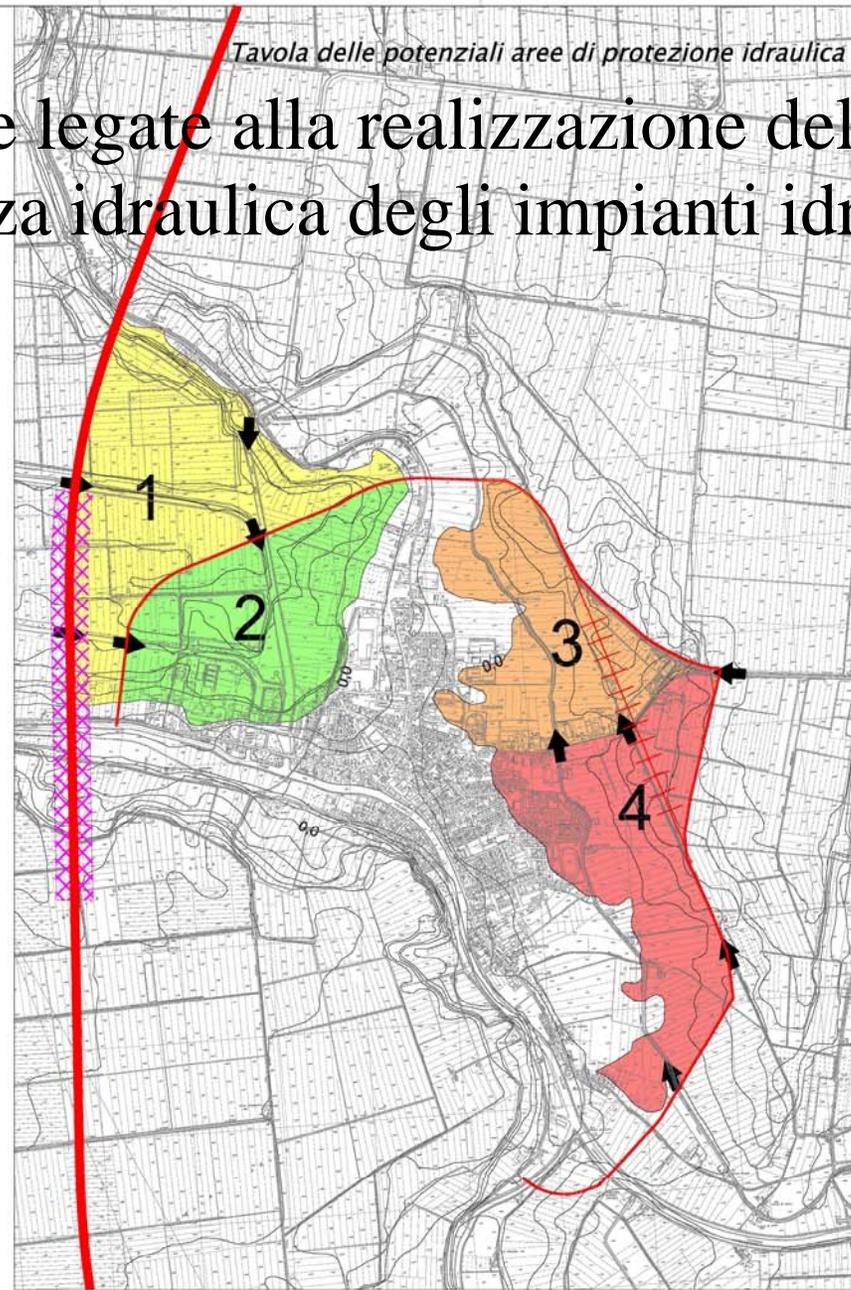
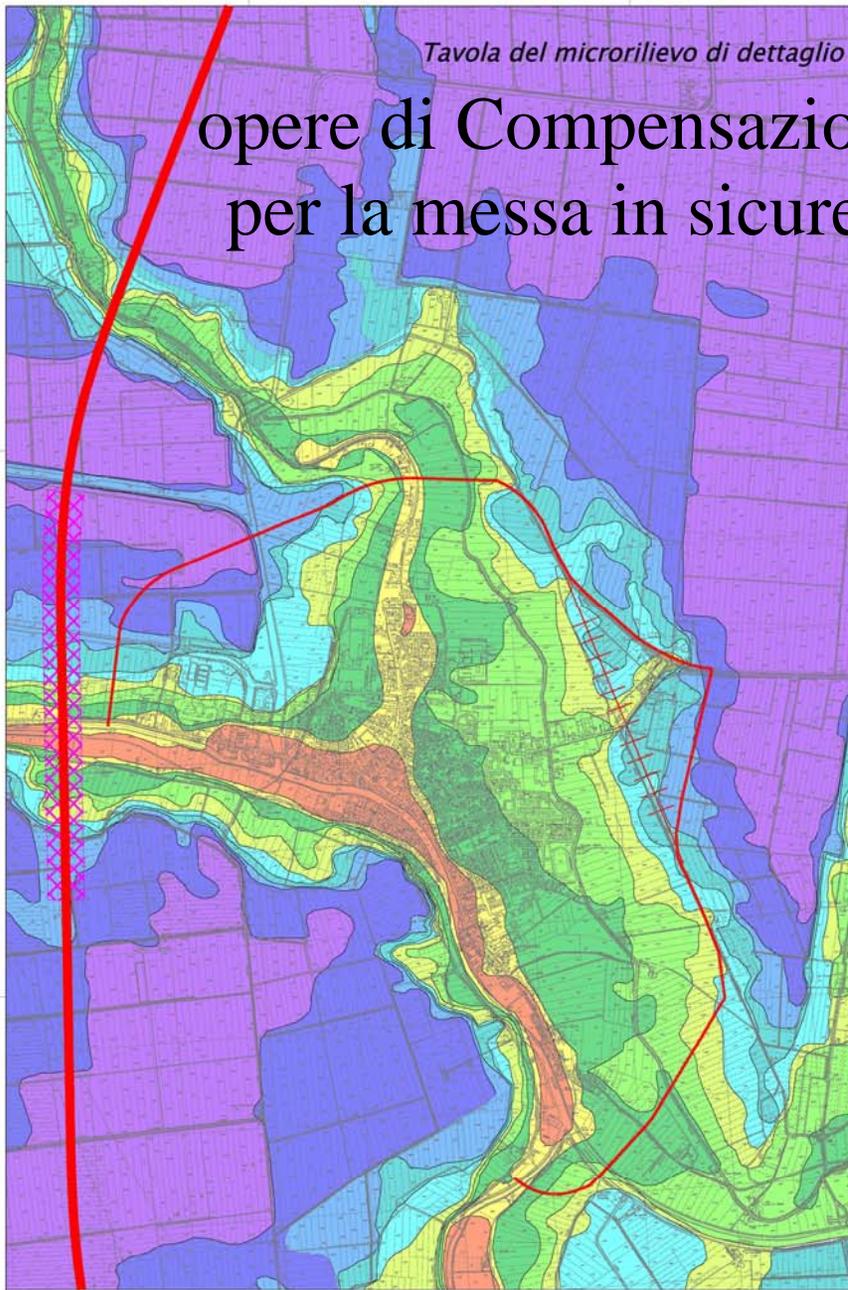
Paleoalvei di riempimento passivo



Correlazione diagrammi di resistenza alla punta Rp (kg/cm²)



opere di Compensazione legate alla realizzazione della E55
per la messa in sicurezza idraulica degli impianti idrovori



Scala 1:10.000

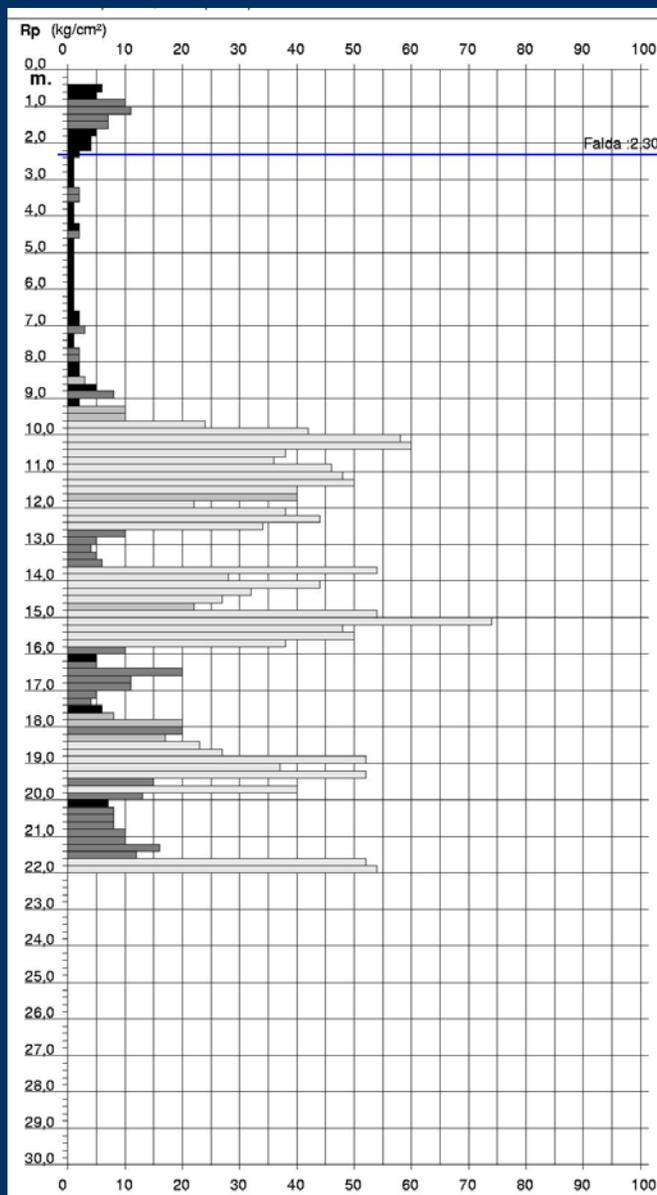
PROVINCIA DI FERRARA
COMUNE DI CODIGORO
PIANO STRUTTURALE COMUNALE
DOCUMENTO PRELIMINARE



PROVINCIA DI FERRARA
SINDACO
ENEA PANGOLINI
UFFICIO DI SERVIZI
TECNICI E P.U.P.
IN COMUNE DI CODIGORO

Pericolosità geologica del territorio

CPT2 (p.c. + 1,0 m rispetto p.c. CPT1)

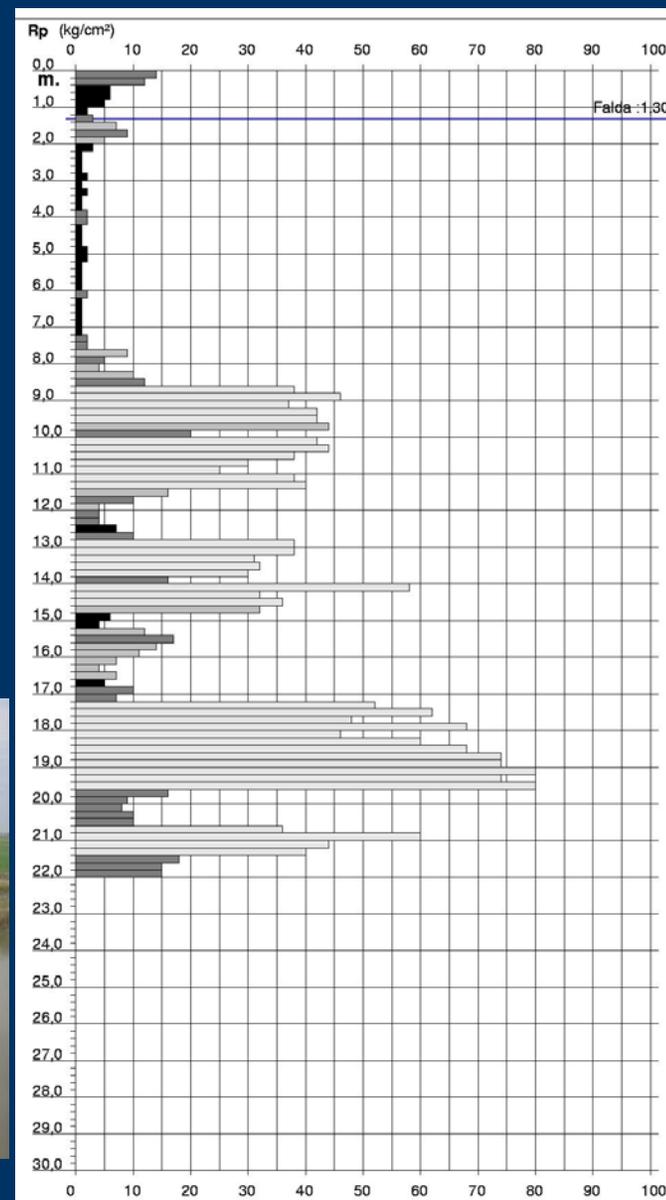


Costruzione ponticello uso aziendale:

Presenza di terreni limoso
argillosi molli con umidità
naturale superiore al limite
liquido, presenza di significative
componenti organiche nei
sedimenti



CPT1

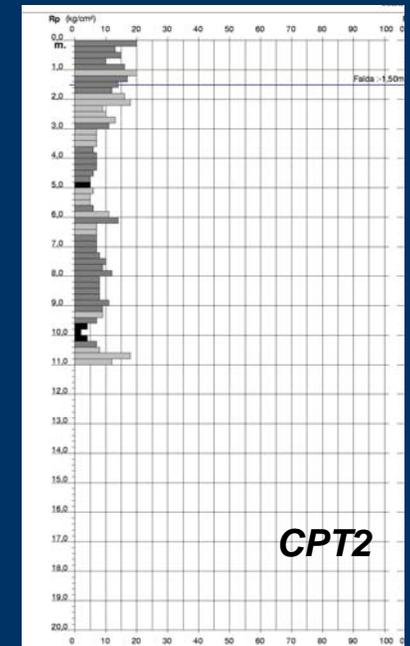
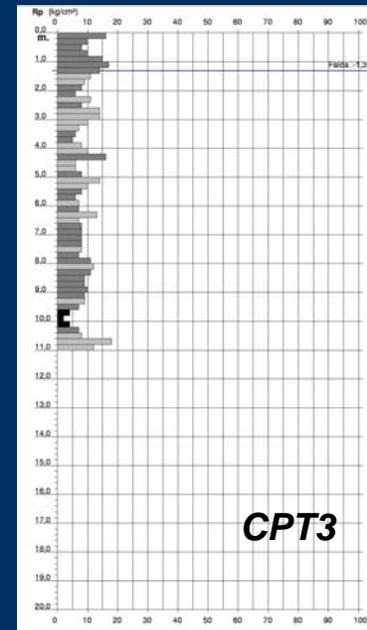
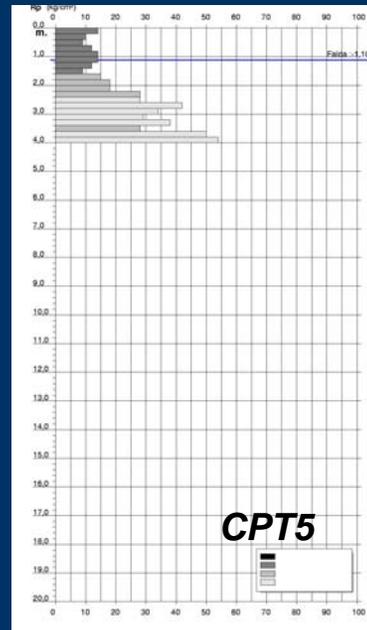
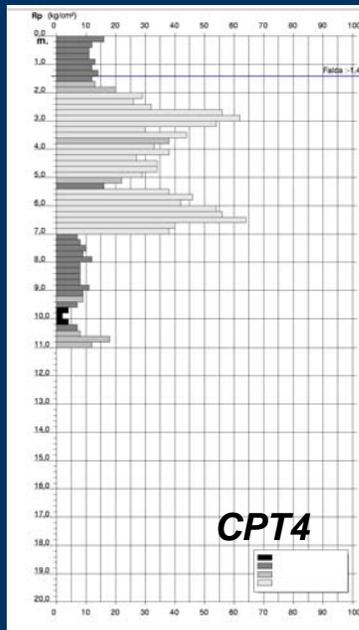
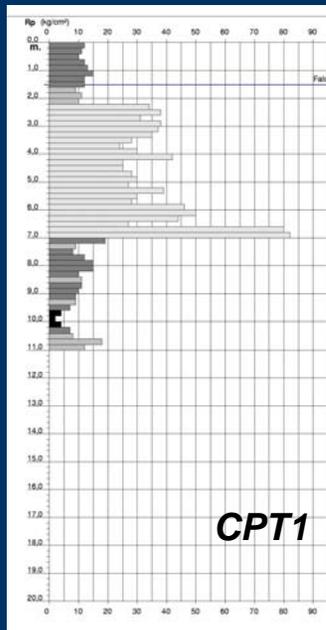
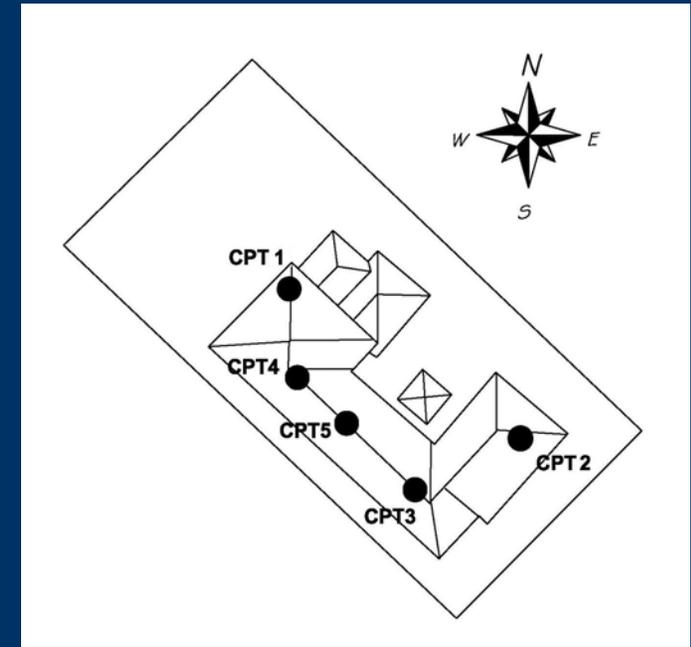


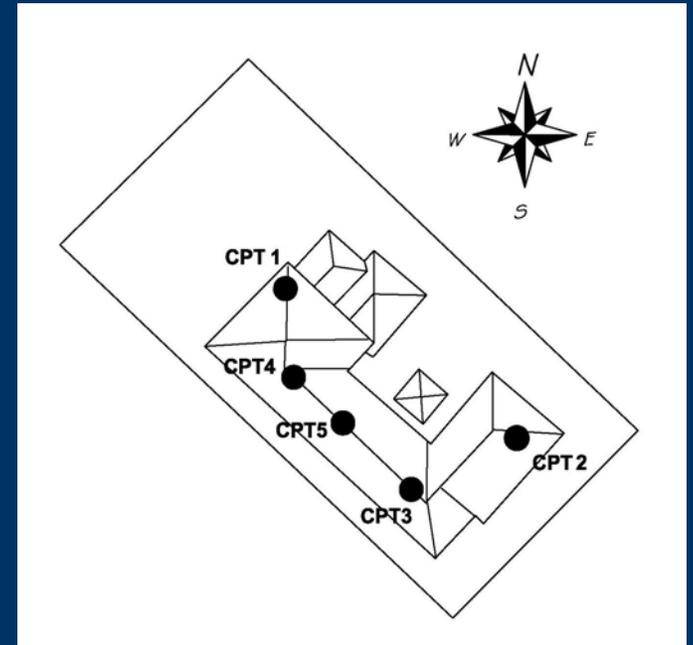
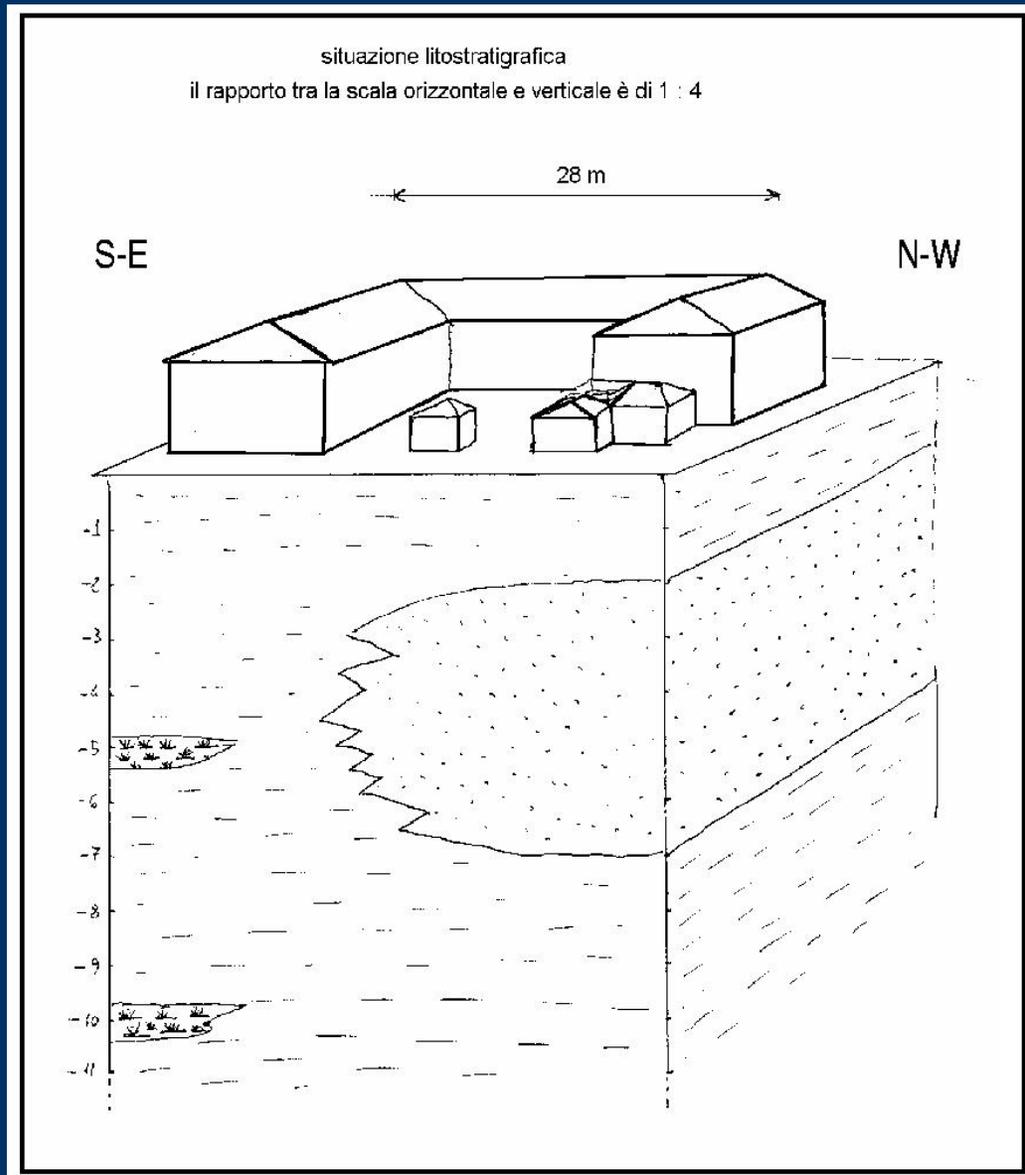
*Variabilità litostratigrafica nel modello
geologico locale.*

*Nel farrarese si sovrappongono e si affiancano
ambienti sedimentari differenti, facies
deposizionali a diverse energie idrodinamiche
che si traducono in repentine variazioni delle
litologie sia in senso orizzontale che verticale*

Pericolosità geologica del territorio

Migliaro - Casa di ricovero per anziani, 1999





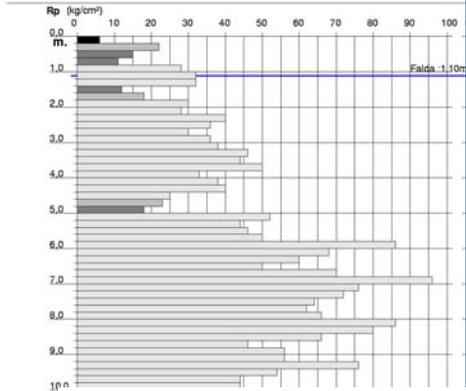
Dott. Geologo Thomas Veronese
Via Roma, 80 - 44023 Vaccolino (FE)
Tel. 0533/97105 Tel. mob. 0335/5240380

CPT1

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

- committente : Roncato Mattia
- lavoro : Civile abitazione
- località : S. Giovanni -FE-

- data
- quot
- prof.
- scala



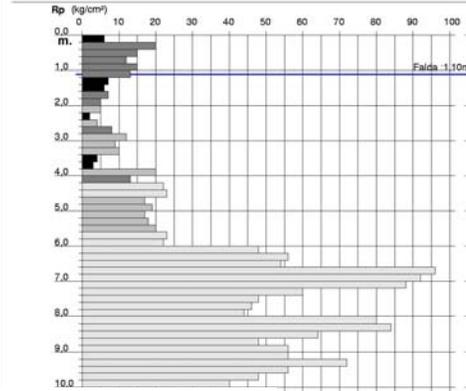
Dott. Geologo Thomas Veronese
Via Roma, 80 - 44023 Vaccolino (FE)
Tel. 0533/97105 Tel. mob. 0335/5240380

CPT2

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

- committente : Roncato Mattia
- lavoro : Civile abitazione
- località : S. Giovanni -FE-

- data
- quot
- prof.
- scala



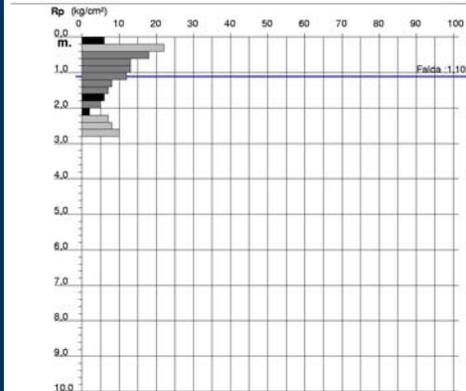
Dott. Geologo Thomas Veronese
Via Roma, 80 - 44023 Vaccolino (FE)
Tel. 0533/97105 Tel. mob. 0335/5240380

CPT3

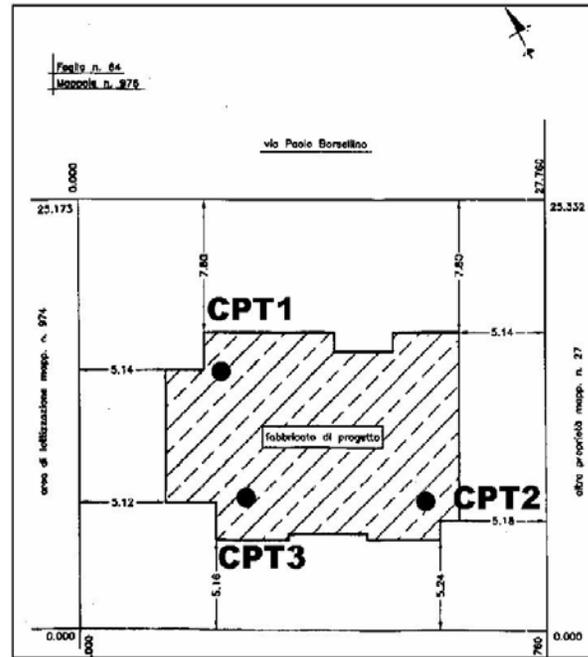
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

- committente : Roncato Mattia
- lavoro : Civile abitazione
- località : S. Giovanni -FE-

- data
- quot
- prof.
- scala



Ortofoto (amministratoe provinciale)



Modello geologico come utile elemento di riferimento per inquadramento da parte del progettista delle problematiche geotecniche

*Effetti delle variazioni stagionali sul
comportamento dei terreni coesivi
Esperienza prof A. Santagata con Mr
(Modulo Resiliente Mr prova AASHTO T274*

Modello geologico come utile elemento di riferimento per inquadramento da parte del progettista delle problematiche geotecniche

Costruzioni di Strade (Ferrovie ed Aeroporti)

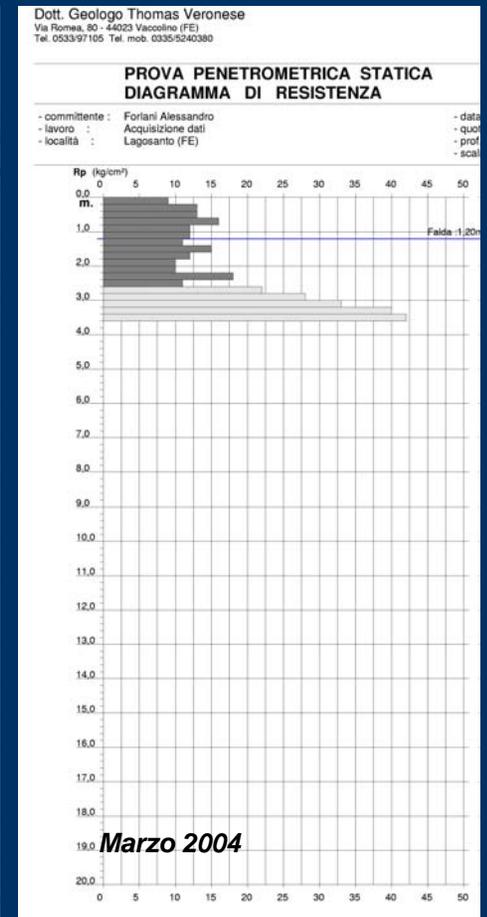
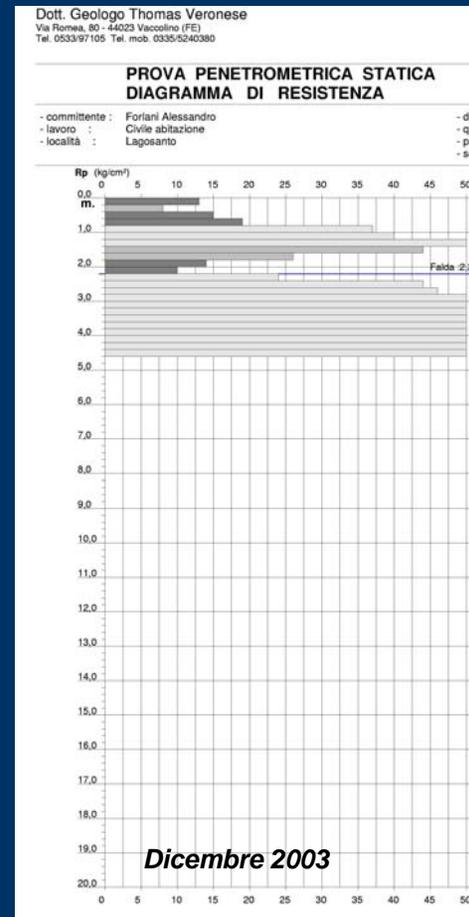
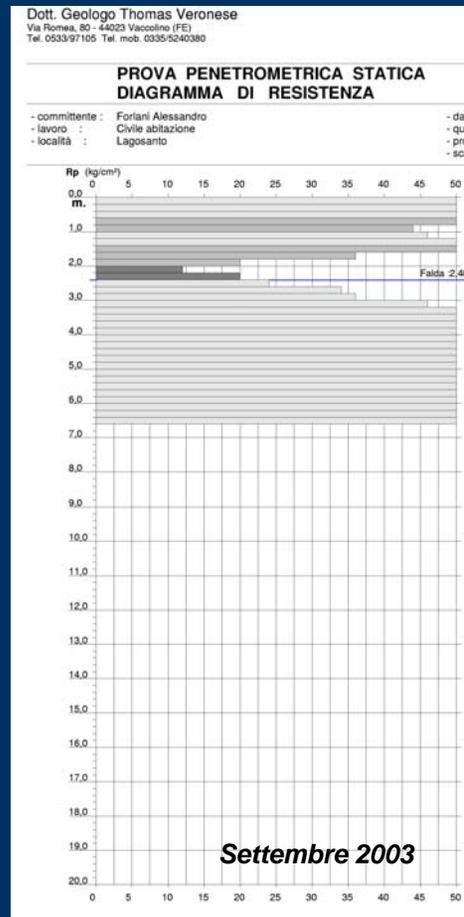
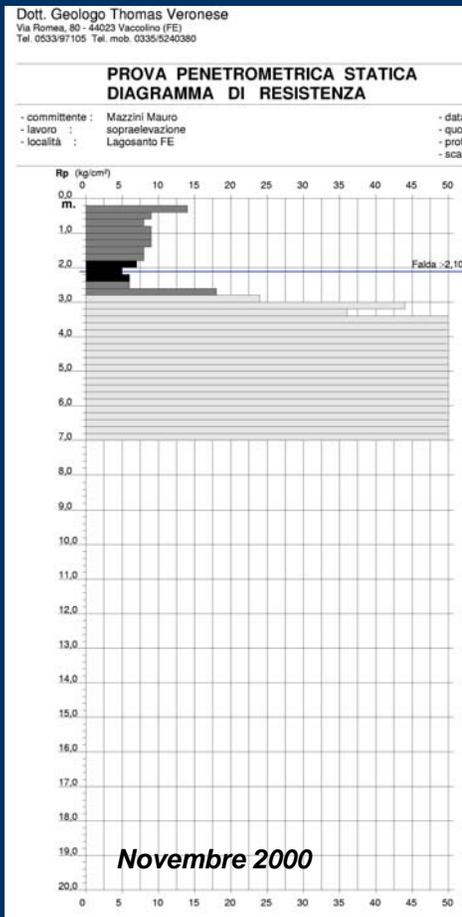
5. PORTANZA DEL SOTTOFONDO

Calcolo del modulo resiliente EFFICACE:

1. Si divide l'anno in periodi (stagioni) in cui si verificano (ipotesi) condizioni di umidità pressochè costanti

STAGIONE	UMIDITA' SOTTOFONDO	MODULO RESILIENTE STAGIONALE [psi]
Mar - Mag	Umido	5000
Giu - 1/2 Sett	Secco	6500
2/2 Sett. - 1/2 Nov.	Umido	5000
2/2 Nov - 1/2 Gen	Secco	6500
2/2 Gen - 1/2 Feb	Gelo	20000

Modello geologico come utile elemento di riferimento per inquadramento da parte del progettista delle problematiche geotecniche



Variazioni stagionali comportamento dei terreni coesivi

Dati di ausilio alla progettazione geotecnica del pacchetto stradale

Stratigrafia e litologia (sondaggi, analisi di laboratorio geotecnico e trincee di ispezione, CPT, CPTe, CPTU, ecc.)

Limiti di Atterberg e analisi granulometrica per classificazione terreni.

Prove su piastra Md Svizzero

Limite di ritiro

Contenuto organico

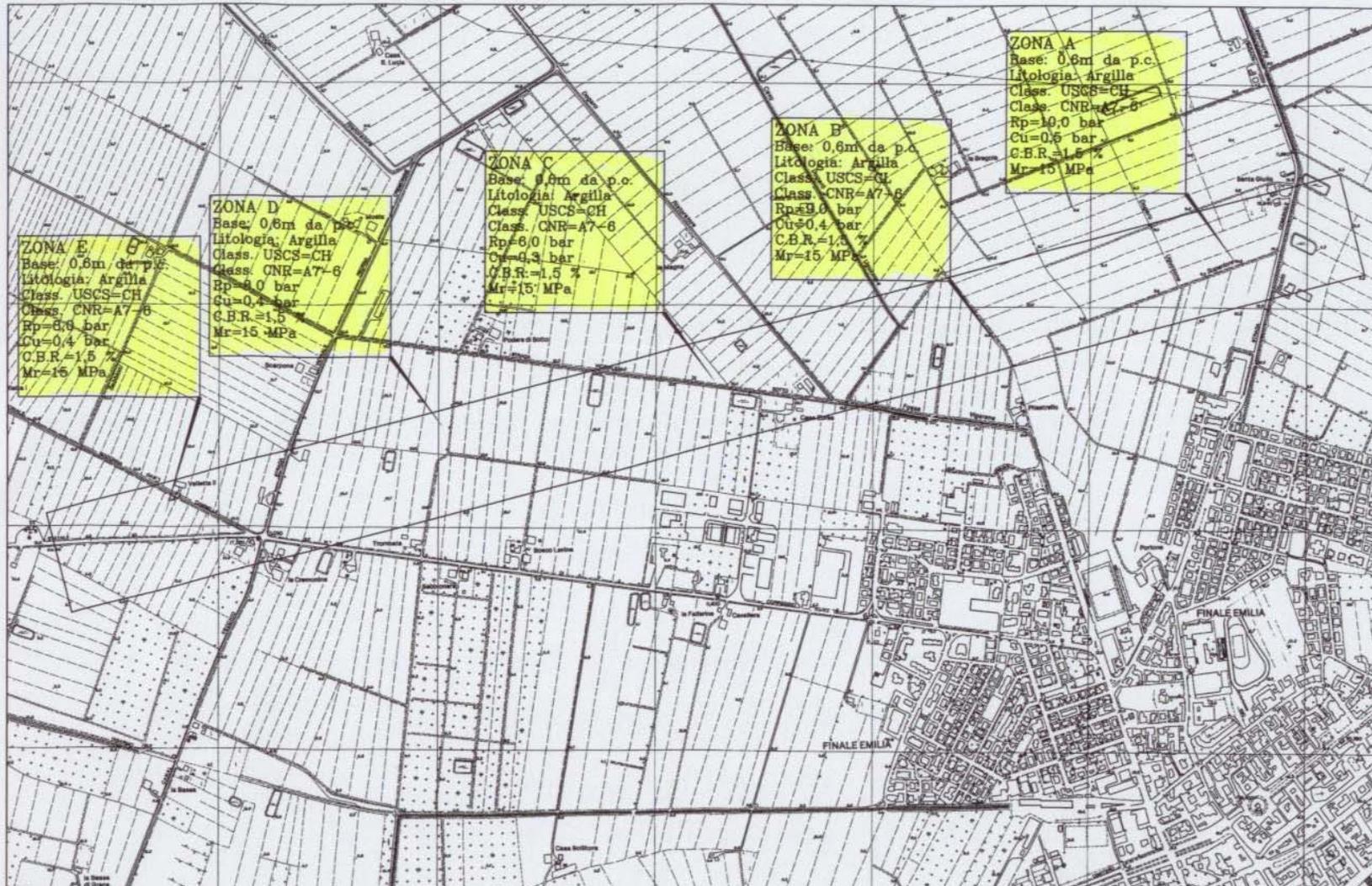
CBR e CBR saturo

Modulo Resiliente AASHTO T274 dove M_r (N/mm²) circa uguale a 10

CBR (%), oppure M_r (psi)=2555 (CBR)^{0,64}

(1psi=pounds/inch²=6,9kPa)

Dati di ausilio alla progettazione geotecnica del pacchetto stradale



PLANIMETRIA

Caratterizzazione geotecnica
del terreno di sottofondo

LEGENDA

- Rp Resistenza alla punta ricavata dalla prova Penetrometrica Statica
- Cu Coesione non drenata
- CBR Indice di portanza (California Bearing Ratio)
- Mr Modulo di resilienza (Modulo dinamico di deformazione)

AASTHO Guide for the Design of Pavement Structures (USA; 1993)

affidabilità delle prestazioni richieste da progetto

livello di idoneità iniziale

livello di idoneità finale

da cui deriva il “degrado prestazionale” o “decadimento prestazionale”

periodo di servizio, vita utile

(concetti ripresi nelle Norme Tecniche per le Costruzioni, cap. 2.5.)

DIMENSIONAMENTO 1 - fase iniziale

<u>Livello di affidabilità:</u>	$R = 95\% \Rightarrow Z_R = 1.645$
<u>Deviazione standard:</u>	$S_0 = 0.35$
<u>Degrado prestazionale:</u>	$\Delta PSI = 2.1$
<u>Modulo Resiliente efficace:</u>	$M_R = 5700 \text{ psi}$
<u>Traffico di progetto (15anni):</u>	$n_{8.2} = 18.6 \cdot 10^6 \text{ ESAL}$



$$\log(N_{8.2}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.7$$

AASTHO Design Model

Dati di ausilio alla progettazione geotecnica del pacchetto stradale

Sui terreni alluvionali di natura argillosa-coesiva, come sono diffusi nel ferrarese, occorre spesso procedere con la bonifica del terreno di sottofondo e sostituzione con idoneo materiale di cava. Le tecniche di stabilizzazione a calce intervengono sui terreni in posto, al fine di migliorarne le caratteristiche (CBR e M_r vengono significativamente aumentati), si introduce così un risparmio ambientale in termini di cave e relativi impatti.