

# FORO BOARIO



comune di ferrara

settore del territorio e dello sviluppo economico

data : Aprile 2007

tav. : B

oggetto : Piano Particolareggiato di iniziativa pubblica  
Sottozona B4.6 Foro Boario

Relazione geologica e geotecnica

capo settore:  
Arch. Claudio Fedozzi

assessore:  
Dott. Raffaele Atti  
sindaco:  
Dott. Gaetano Sateriale

coordinatore:  
Arch. Paolo Perelli  
progettisti:  
Arch. Barbara Bonora  
Arch. Beatrice Galassi  
Arch. Paola Onorati  
consulente:  
Arch. Carlo Magnani

collaboratori e rilievo  
Geom. Francesca Guerzoni  
Chiara Menegatti  
Scen. G.Paolo Sottili



## INDICE

- Parere Preventivo relativo al Piano Particolareggiato in di iniziativa pubblica Sottozona B4.6 Foro Boario, redatto dal Servizio Geologico, Protezione Civile ed Energia del Settore Realizzazione e Manutenzione OO.PP. del Comune di Ferrara
  
- Relazione Geologica Tecnica e Sismica relativa *al lotto di proprietà FER* situato all'interno dell'area del "Piano Particolareggiato di iniziativa pubblica Sottozona B4.6 Foro Boario"
  
- Relazione Geologica Tecnica e Sismica relativa *al lotto di proprietà Comunale* situato all'interno dell'area del "Piano Particolareggiato di iniziativa pubblica Sottozona B4.6 Foro Boario"

NP. 3762/07<sup>1</sup>



**COMUNE DI FERRARA**

**SETTORE REALIZZAZIONE E MANUTENZIONE OPERE PUBBLICHE  
SERVIZIO GEOLOGICO-PROTEZIONE CIVILE-ENERGIA**

*rif. gbr pppubblicoForoBoario.doc*

Ferrara 10 aprile 2007

Al Settore del Territorio e Sviluppo Economico  
U.O Progettazione Urbanistica  
c.a. Arch. P.Perelli

- S E D E -

**OGGETTO:** Piano particolareggiato di iniziativa Pubblica "area Foro Boario sottozona B 4.6 – Ferrara

Con riferimento al Piano Particolareggiato di cui all'oggetto si evidenzia quanto segue:

1. l'area di intervento nel suo complesso è stata oggetto di due distinte campagne di indagini geognostiche eseguite in tempi diversi e precisamente: l'area SUD-EST è stata oggetto di indagine eseguita nel mese di Aprile 2006 dal Dr.Geol. Linda Collina che ha elaborato la "Relazione Geologico-tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno", mentre l'Area NORD è stata oggetto di indagine eseguita nel mese di marzo 2007 dal Dr.Geol. Marco Condotta che ha elaborato la relazione di "Modellazione Geologica" ai sensi del D.M. 14/9/2005 "Norme tecniche sulle Costruzioni". Le aree oggetto di indagine risultano evidenziate nella cartografia allegata ad ogni relazione; entrambi gli studi sono stati eseguiti tenendo in considerazione la nuova classificazione del Comune di Ferrara introdotta dalla normativa antisismica; dall'esame delle relazioni non si evidenziano fattori ostativi alla fattibilità geologico-tecnica degli interventi progettati;
2. Per quanto riguarda la progettazione esecutiva delle opere, non essendo a conoscenza delle specifiche caratteristiche progettuali, le relazioni geologiche allegate al piano particolareggiato non dovranno ritenersi sostitutive delle indagini geotecniche puntuali che dovranno essere eseguite sui terreni di fondazione, al fine della definizione dei carichi ammissibili e per la verifica dei cedimenti in relazione alle caratteristiche delle strutture di progetto ed all'entità e distribuzione dei carichi trasmessi nel sottosuolo. La verifica dei cedimenti, sia assoluti che differenziali ed il loro decorso nel tempo, che dovranno essere compatibili con lo stato di sollecitazione ammissibile per la struttura e con la funzionalità del manufatto, dovrà essere basata sul calcolo riferito alle caratteristiche di deformabilità dei terreni e delle strutture, tenendo conto dei valori dei carichi permanenti, del tipo e durata di applicazione dei sovraccarichi.

3. nel caso di edificazioni interrato sarà necessario verificare le interazioni delle acque di falda con le opere di progetto, delle quali si dovrà tener conto al fine di adottare adeguate soluzioni progettuali idonee ad impedire l'infiltrazione di acqua dal sottosuolo. Sarà inoltre necessario verificare la sussistenza del problema inverso, ovvero il caso in cui il deflusso di falde superficiali può essere modificato dalla costruzione di manufatti sotterranei e i cui effetti possono eventualmente farsi risentire nelle aree circostanti: a tale scopo andrà verificato il livello della falda freatica e le variazioni nel tempo; in particolare nella relazione geologica (Dr. Condotta – pag. 52) viene segnalato che per l'edificio di testata previsto sulla Via Foro Boario, che prevede un parcheggio interrato con posa di fondazioni che presumibilmente raggiungeranno il livello di falda, sarà necessario prevedere opere di abbassamento della tavola d'acqua, accompagnate da sostentamento delle pareti per operare gli scavi in sicurezza;
4. nel caso di nuove edificazioni in aree di sedime di vecchi fabbricati demoliti, si dovrà procedere alla rimozione dello strato di terreno fino alla quota di imposta delle vecchie fondazioni.
5. Per quanto riguarda il deflusso delle acque meteoriche la progettazione delle opere dovrà essere eseguita in modo tale da evitare qualsiasi area di ristagno dell'acqua sia all'interno dell'area di lottizzazione, sia nell'ambito di altre proprietà; a tale proposito si segnala la possibile difficoltà di scolo delle acque meteoriche (area NORD – Relazione Condotta) evidenziata dalla presenza di litologie superficiali prevalentemente argillose – impermeabili – e dal fatto che non risulta presente una falda freatica in senso stretto con un flusso prevalente orizzontale, ma solo acqua di infiltrazione naturale;
6. Per quanto riguarda il dimensionamento dello strato di fondazione e delle sovrastrutture stradali interne al Piano Particolareggiato, dovrà essere eseguita specifica indagine geotecnica ed in ogni caso dovranno essere osservate le disposizioni di cui alla Norma Tecnica UNI 10006/2002, nonché le prescrizioni che verranno impartite dal Settore Realizzazione e Manutenzione Opere Pubbliche.

**Al fine dell'acquisizione del parere preventivo sugli strumenti di pianificazione urbanistica nelle zone sismiche di cui all'art. 37 L.R. 31/02 si specifica quanto segue:**

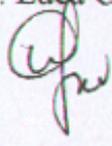
1. per quanto riguarda la valutazione di **compatibilità delle previsioni con la riduzione del rischio sismico**, con le indagini eseguite è stata determinata la categoria del suolo di fondazione ed è stata esclusa la presenza di orizzonti granulari suscettibili alla liquefazione; in particolare:  
**AREA NORD** – l'indagine sismica eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento delle velocità delle onde Vs fino alla profondità di circa 35 mt.. Nel caso specifico, risultando  $V_{s30} = 209$  m/s, il sito esaminato presenta un suolo di tipo **C** : per quanto riguarda invece la suscettibilità alla liquefazione degli orizzonti granulari rilevati e potenzialmente liquefacibili, dalle verifiche eseguite tali orizzonti sono stati considerati non liquefacibili;  
**AREA SUD-EST** – in quest'area è stato determinato un suolo di fondazione di categoria **D** La diversa categoria deve essere messa in relazione con il metodo adottato per il calcolo che è riferito a misure indirette e non alla misura diretta delle Vs; la verifica di suscettibilità a liquefazione è stata omessa poiché è stato riscontrato che il terreno sabbioso saturo si trova a profondità maggiore di 15 mt. dal piano campagna (Pag. 39 – relazione);

2. **Considerato che per quanto riguarda il rischio industriale** l'area oggetto di piano particolareggiato non si trova ubicata in prossimità di aree di ammassamento e/o di accoglienza e nemmeno in prossimità di aree a potenziale rischio industriale ai sensi del D.Lgs. 334/99; **mentre per quanto riguarda il rischio idraulico**, essendo l'area oggetto di intervento completamente urbanizzata, la pericolosità da allagamento è legata alla funzionalità del reticolo fognario; la progettazione dovrà prevedere pertanto l'esclusione di qualsiasi area di ristagno di acque meteoriche sia nell'ambito delle aree del piano sia nell'ambito di proprietà limitrofe;

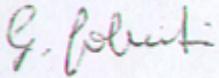
**si ritiene che le opere proposte siano compatibili con le esigenze di protezione civile.**

CORDIALI SALUTI

IL CAPO SERVIZIO  
Ing. Luca Capozzi




IL Funzionario Tecnico  
Dr. G. Goberti



# RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA E SISMICA A CORREDO DI UN PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA A FERRARA - VIA FORO BOARIO - STAZIONE PORTA RENO

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna S.r.l.**  
Via Zandonai, 4 - Ferrara

Oggetto: **RELAZIONE**

Località: **Via Foro Boario  
FERRARA**

Data: **Aprile 2006**



Coordinamento progetto:

Dott. Giovanni Rossi

Redazione progetto:

Dott. Geol. Linda Collina



Via Bologna, 292 - 44100 Ferrara  
tel. 0532/977899 - fax. 0532/906907  
C.F. e Partita IVA 01299560381  
e-mail [sgm@sgm-ambiente.it](mailto:sgm@sgm-ambiente.it) - cap. soc. Euro 31.000,00 i.v.  
internet: [sgm-ambiente.it](http://sgm-ambiente.it)

Elaborato  
numero



Via Bologna, 292 - 44100 Ferrara  
tel. 0532/977899 - fax. 0532/906907  
C.F. e Partita IVA 01682020381  
e-mail [ingegneria@sgm-ambiente.it](mailto:ingegneria@sgm-ambiente.it)  
internet: [sgm-ambiente.it](http://sgm-ambiente.it)

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

## Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	4
3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	7
4. METODOLOGIA D'INDAGINE DELLE PROVE IN SITU.....	9
5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SITO.....	11
6. CAPACITA' PORTANTE E CALCOLO DEI CEDIMENTI.....	23
NUMERO .....	24
7. COEFFICIENTE DI ACCELERAZIONE SISMICA .....	28
8. VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE .....	29
9. NOTE CONCLUSIVE .....	37

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

## 1. PREMESSA

Su incarico delle Ferrovie Emilia Romagna, è stata eseguita un'indagine geologico-tecnica a corredo di un pianto particolareggiato di iniziativa privata in Via Foro Boario a Ferrara, all'interno della Stazione Porta Reno. La presente relazione ha la funzione di individuare che nulla osti dal punto geologico, geomorfologico ed idrogeologico alla edificazione della zona e di verificare l'eventuale rischio sismico. Sono state eseguite 8 CPT le cui profondità sono state spinte a – 15 metri ed a – 30 metri rispettivamente dal p.c.

E' stato eseguito inoltre un calcolo relativo a carichi applicabili per diverse tipologie di fondazione, con evidenze relative ai cedimenti sia puntuali che differenziali.

Di seguito viene riportato l'inquadramento topografico, geologico e geomorfologico e l'inquadramento idrogeologico dell'area oggetto di studio, seguiti dall'analisi geotecnica del sito, con in allegato i tabulati delle prove penetrometriche eseguite.

Inoltre il presente studio ha la finalità di verificare l'eventuale rischio sismico a cui le strutture potrebbero essere soggette.

Le normative e deliberazioni di riferimento risultano le seguenti:

- D.M. LL. PP. 11/3/88 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce”
- D.M. 16/01/96 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, n. 3274 del 20/3/03

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

- Delibera della giunta della Regione Emilia Romagna del 21 luglio 2003 con oggetto: Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", con particolare riferimento all'allegato A, "Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna"
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3316 "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza n. 3274 del 20/3/03"
- Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale. Nota esplicativa dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/03. Data: 4 giugno 2003
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3/5/05

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

L'area oggetto di studio rientra nel settore meridionale del grande bacino subsidente padano. Esso è costituito superficialmente da sedimenti Olocenici di piana alluvionale, a cui segue, in profondità, una coltre di sedimenti incoerenti di età Pliocenica e Quaternaria con depositi riferibili a vari ambienti deposizionali, in particolare: marini, deltizi, lagunari e fluvioπλαustri. La parte superiore di tali sedimenti è rappresentata da depositi Quaternari continentali in continuità con i sedimenti superficiali, con spessori variabili che raggiungono i valori massimi a SE di Ferrara (circa 200 m.).

L'assetto attuale del territorio ferrarese, è conseguenza dell'evoluzione della rete idrografica superficiale ed a fenomeni di subsidenza naturale ed antropica. A proposito del primo dei suddetti fattori, va tenuto presente che la condizione dei fiumi di bassa pianura è generalmente quella di sedimentazione: il corso d'acqua durante i fenomeni di esondazione tende a distribuire il proprio carico solido nelle aree circostanti in modo che le granulometrie maggiori (sabbie) vanno a costituire barre e le sponde naturali degli alvei, mentre i materiali più fini (limi ed argille) vengono depositati in zone più distali, in ragione della diminuzione dell'energia idrodinamica e quindi coerentemente al diminuire della competenza fluviale. Questi ultimi sedimenti, si costipano maggiormente di quelli costituenti l'alveo, determinando così, già per cause naturali, dislivelli tra gli alvei dei fiumi ed i territori circostanti. Su questi meccanismi di esondazione, preponderante è stato l'intervento antropico, che per preservarsi da tali fenomeni ha, per così dire, irrigidito la rete idrografica alzando via via gli argini e costringendo le aste fluviali a scorrere sempre dentro gli stessi alvei.

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

La conseguenza diretta di tale operato è stata quella di bloccare i nuovi apporti detritici nella campagna circostante ed esaltare i dislivelli tra letti fluviali e territori limitrofi.

Per quanto concerne i fenomeni di abbassamento, essi sono imputabili a:

- subsidenza geologica (naturale)
- abbassamento della falda freatica per scopi di bonifica, determinando fenomeni di subsidenza dovuti a semplici cause meccaniche per effetto del costipamento
- estrazioni eccessive di acqua e talora acqua mista a gas dalle formazioni quaternarie profonde.

Dall'esame dei dati raccolti sui fenomeni di abbassamento del territorio ferrarese relativi al periodo 1878-1970 (Salvioni 1957 e Caputo 1970) confrontati con la "1° e 2° rete altimetrica nazionale di alta precisione" realizzata dall'I.G.M. sono state cartografate linee di particolare instabilità del territorio, dove sono stati riscontrati abbassamenti di valore superiore a 15 cm. per l'abitato di Ferrara.

La zona di studio è inserita un'ampia plaga interalveo. Solo alcune prove presentano livelli anche significativi di materiale grossolano (sabbie) a profondità minori di 15 metri. Tali prove sono la CPT 4 (con un pacco di sabbia tra -6 e - 14 metri dall'attuale p.c.), la CPT 6 (con un livello di spessore metrico tra - 10.50 e - 11.50 circa) e la CPT 7, con due livelli sabbiosi decimetrici a 5.50 metri e tra 10 ed 11 metri dal p.c. La presenza di questi livelli sabbiosi e' di incerta origine: presumibilmente è da ascrivere a divagazioni di un piccolo paleoalveo secondario connesso al Po di Volano o ad una conoide di rotta. Per quanto riguarda la CPT 1, 2 e 3, esiste una buona omogeneità laterale

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

dei terreni: sino a – 15/16 metri all'attuale p.c. si rinvencono argille ed argille limose, seguite da uno strato sabbioso ripetuto in due sequenze sino a circa 20-23 metri di profondità. Successivamente si incontrano argille ed argille limose sino a fondo foro. La CPT 5 e' costituita essenzialmente da materiale argillo-limoso per tutta la profondità di investigazione ( a meno di piccoli strati di terreno più competente) ed infine la CPT 8 ripete la sequenza stratigrafica delle prime tre prove, con cui risulta in continuità.

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

### 3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il territorio del Comune di Ferrara presenta condizioni di drenaggio fortemente connesse con l'assetto altimetrico; esso mostra in generale una pendenza da Ovest verso Est, condizionando la situazione della rete scolante.

A livello macroscopico il modello idrogeologico del territorio risulta complesso e costituito da diverse unità idrogeologiche separate da materiali impermeabili.

Gli acquiferi più profondi sono ospitati nelle formazioni pre-Pleistoceniche che, unitamente a quelli rinvenibili nei depositi sabbiosi Pliocenici e Pleistocenici sovrastanti, sono rappresentate da acque salmastre o salate.

Nelle successioni Oloceniche, l'ambiente deposizionale è di tipo continentale e si osservano successioni di livelli a sabbia da fine a grossolana, intercalati a livelli di argilla con tracce di torba.

La falda freatica, considerata per convenzione come un unico elemento, in realtà risulta costituita da un complesso sistema multifalda, a livelli anche non interconnessi.

La tabella seguente riassume i livelli statici della falda misurati all'interno dei punti di prova. Il dato è riferito alle giornate in cui sono state effettuate le CPT, e dunque risulta un elemento puntuale e non esauriente della fluttuazione annuale che la falda può avere.

N. Prova	Livello statico della falda (in metri) dal p.c.
1	-2.05
2	-1.80

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno</i>  <i>Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

<b>N. Prova</b>	<b>Livello statico della falda (in metri) dal p.c.</b>
3	-1.70
4	-3.05
5	-1.30
6	-1.40
7	-2.00
8	Non rilevabile per foro chiuso

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

#### **4. METODOLOGIA D'INDAGINE DELLE PROVE IN SITU**

La prova penetrometrica statica (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $V = 2 \text{ cm/sec}$ ).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato a mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (di tipo telescopico) e' dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo "Begemann").

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono  $\phi = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono  $ss = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto  $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.

Nei diagrammi e tabelle allegate sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture ai manometri, durante l'infissione dello strumento):

- $R_p \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \text{resistenza alla punta (conica)}$

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

- $R_l$  (kg/cmq) = resistenza laterale (manicotto)
- $R_t$  (kg) = resistenza totale (aste esterne)

La resistenza alla punta  $R_p$  e la resistenza laterale  $R_l$  sono rilevate ad intervalli regolari di 20 centimetri.

Oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati, in base al rapporto  $R_p/R_l$  fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di  $R_p$  e del rapporto  $FR = (R_l/R_p) \%$  (esperienze di Schmertmann - 1978).

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

## 5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SITO

Nell'area d'indagine sono state eseguite n. 8 prove penetrometriche statiche (C.P.T) mediante penetrometro tipo Gouda da 12 tonnellate di spinta, approfondendo sino a - 15.00 e - 30.00 metri dall'attuale p.c. in particolare lo schema seguente riassume il piano di lavoro:

N. prova	Approfondimento d'indagine
1	30 metri
2	30 metri
3	15 metri
4	15 metri
5	15 metri
6	15 metri
7	30 metri
8	30 metri

I terreni sono costituiti essenzialmente da materiale fine per i primi 15 metri di investigazione. Solo alcune prove presentano livelli anche significativi di materiale grossolano (sabbie) a profondità minori di 15 metri. Tali prove sono la CPT 4 (con un pacco di sabbia tra -6 e - 14 metri dall'attuale p.c.), la CPT 6 (con un livello di spessore metrico tra - 10.50 e - 11.50 circa) e la CPT 7, con due livelli sabbiosi decimetrici a 5.50 metri e tra 10 ed 11 metri dal p.c. La presenza di questi livelli sabbiosi e' di incerta origine: presumibilmente è da ascrivere a divagazioni di un piccolo paleoalveo secondario connesso al Po di Volano o ad una conoide di rotta. Per quanto riguarda la CPT 1, 2 e 3, esiste una buona omogeneità laterale dei terreni: sino a - 15/16 metri

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

all'attuale p.c. si rinvencono argille ed argille limose, seguite da uno strato sabbioso ripetuto in due sequenze sino a circa 20-23 metri di profondità. Successivamente si incontrano argille ed argille limose sino a fondo foro. La CPT 5 e' costituita essenzialmente da materiale argillo-limoso per tutta la profondità di investigazione (a meno di piccoli strati di terreno più competente) ed infine la CPT 8 ripete la sequenza stratigrafica delle prime tre prove, con cui risulta in continuità.

In particolare, di seguito vengono riportate per ogni indagine la descrizione delle caratteristiche litologiche ed il valore medio di alcuni parametri geotecnici, di validità orientativa, individuati attraverso correlazioni e bibliografia.

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 1</b>	
<b>Da -0.20 a -15.80 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	12.0
<b>Rp/Rl</b>	21.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	1.03
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.56
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	43.0
<b>Da -16.00 a -22.60 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Sabbia

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 1</b>	
Natura del terreno	Granulare
Resistenza alla punta Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	96.0
Rp/RI	87.0
Peso di Volume Y' (t/m <sup>3</sup> )	0.99
Densita' relativa Dr	50.0
Angolo d'attrito interno φ (°)	33.0
Da -22.80 a -30.00 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla ed Argilla limosa
Natura del terreno	Coesiva
Resistenza alla punta Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	25.0
Rp/RI	30.0
Peso di Volume Y' (t/m <sup>3</sup> )	0.95
Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)	0.79
Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)	63.0

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 2</b>	
Da -0.20 a -16.00 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla ed Argilla limosa
Natura del terreno	Coesiva
Resistenza alla punta Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	12.0
Rp/RI	20.0
Peso di Volume Y' (t/m <sup>3</sup> )	0.98
Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)	0.54
Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)	41.0

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 2</b>	
<b>Da -16.20 a -20.00 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Sabbia
<b>Natura del terreno</b>	Granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	78.0
<b>Rp/RI</b>	78.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.98
<b>Densita' relativa Dr</b>	47.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	32.0
<b>Da -20.20 a -29.20 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	24.0
<b>Rp/RI</b>	18.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.95
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.88
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	73.0
<b>Da -20.40 a -30.00 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Sabbia limosa
<b>Natura del terreno</b>	Granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	53.0
<b>Rp/RI</b>	35.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.94
<b>Densita' relativa Dr</b>	23.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	28.0

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 3</b>	
Da -0.20 a -15.00 metri dal p.c.	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	11.0
<b>Rp/RI</b>	21.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.95
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.49
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	38.0

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 4</b>	
Da -0.20 a -5.80 metri dal p.c.	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	11.0
<b>Rp/RI</b>	15.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	1.35
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.53
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	41.0
Da -6.00 a -13.80 metri dal p.c.	
<b>Litologia</b>	Sabbia

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 4</b>	
<b>Natura del terreno</b>	Granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	61.0
<b>Rp/RI</b>	63.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.94
<b>Densita' relativa Dr</b>	51.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	32.0
<b>Da -14.00 a -15.00 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	24.0
<b>Rp/RI</b>	22.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.93
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.64
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	47.0

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 5</b>	
<b>Da -0.20 a -15.00 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	11.0
<b>Rp/RI</b>	18.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.90
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.50

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 5</b>	
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	37.0

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 6</b>	
Da -0.20 a -8.60 metri dal p.c.	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	11.0
<b>Rp/RI</b>	15.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.96
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.52
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	38.0
Da -8.80 a -9.00 metri dal p.c.	
<b>Litologia</b>	Sabbia limosa
<b>Natura del terreno</b>	Essenzialmente granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	23.0
<b>Rp/RI</b>	40.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.74
<b>Densita' relativa Dr</b>	36.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	29.0
Da -9.20 a -10.00 metri dal p.c.	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 6</b>	
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	11.0
<b>Rp/RI</b>	22.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.80
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.38
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	30.0
<b>Da -10.20 a -11.60 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Sabbia
<b>Natura del terreno</b>	Granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	75.0
<b>Rp/RI</b>	54.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.97
<b>Densita' relativa Dr</b>	65.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	33.0
<b>Da -11.80 a -15.00 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	15.0
<b>Rp/RI</b>	20.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.87
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.54
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	41.0

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 7</b>	
<b>Da –0.20 a –9.60 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	10.0
<b>Rp/RI</b>	18.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	1.01
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.48
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	36.0
<b>Da –9.80 a 11.00 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Sabbia limosa
<b>Natura del terreno</b>	Essenzialmente granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	27.0
<b>Rp/RI</b>	41.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.90
<b>Densita' relativa Dr</b>	28.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	29.0
<b>Da -11.20 a –15.20 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	12.0
<b>Rp/RI</b>	20.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.88
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.55

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 7</b>	
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	42.0
<b>Da -15.40 a -16.40 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Sabbia e sabbia limosa
<b>Natura del terreno</b>	Granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	46.0
<b>Rp/RI</b>	84.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.86
<b>Densita' relativa Dr</b>	39.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	31.0
<b>Da -16.60 a -24.80 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	19.0
<b>Rp/RI</b>	22.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.93
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.73
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	41.0
<b>Da -25.00 a -30.00 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla sabbiosa
<b>Natura del terreno</b>	Essenzialmente coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	31.0
<b>Rp/RI</b>	18.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	0.97

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 7</b>	
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	1.07
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	92.0

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 8</b>	
<b>Da -0.20 a -15.40 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	10.0
<b>Rp/RI</b>	19.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.45
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	34.0
<b>Da -15.60 a -22.60 metri dal p.c.</b>	
<b>Litologia</b>	Sabbia
<b>Natura del terreno</b>	Granulare
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	88.0
<b>Rp/RI</b>	68.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>Densita' relativa Dr</b>	36.0
<b>Angolo d'attrito interno φ (°)</b>	33.0
<b>Da -22.80 a -30.00 metri dal p.c.</b>	

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

<b>PROVA PENETROMETRICA N. 8</b>	
<b>Litologia</b>	Argilla ed Argilla limosa
<b>Natura del terreno</b>	Coesiva
<b>Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	23.0
<b>Rp/Rl</b>	15.0
<b>Peso di Volume Y' (t/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)</b>	0.85
<b>Modulo di deformazione edometrico Mo (Kg/cmq)</b>	69.0

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

## 6. CAPACITA' PORTANTE E CALCOLO DEI CEDIMENTI

Sono state considerati le seguenti ipotesi di fondazione:

- **Trave continua, impostata a –1.00 metro dal p.c., di larghezza B = 1.00 metro, B = 1.20 metri e B = 1.40 metri**

I carichi applicati ad un terreno, derivanti dalle fondazioni di una struttura, sono trasmessi nel sottosuolo non in modo uniforme, ma decrescono sia in profondità che lateralmente mano a mano che ci si allontana dalla zona di carico. Le prove penetrometriche sono state spinte sino alla profondità in cui è ipotizzabile una influenza praticamente nulla dei carichi che andranno posti sulle fondazioni.

Per la valutazione del carico ammissibile è stata utilizzata la relazione di Terzaghi:

$$q_a = (1 - 0.2 B/L) \gamma B/2 N_\gamma + \gamma D N_q + (1 + 0.2 B/L) C_u N_c$$

ove:

C<sub>u</sub>: coesione non drenata

γ = peso di volume del terreno

D = profondità della fondazione

B = larghezza della fondazione

L = lunghezza della fondazione

N<sub>c</sub>, N<sub>γ</sub>, N<sub>q</sub> = fattori di capacità portante valutati in funzione dell'angolo d'attrito interno.

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

L'angolo d'attrito interno per i terreni granulari viene calcolato attraverso le correlazioni di Mayerhof (1956-1976) dai valori di Rp ed Rl derivati dalle prove penetrometriche; nel caso di terreni coesivi, si può ipotizzare che la rottura avvenga in condizioni non drenate: verrà pertanto considerato nullo l'effetto dell'angolo d'attrito interno.

Per quanto riguarda il calcolo dei cedimenti, esteso all'intera profondità del banco comprimibile, e' stato condotto per strati successivi dello spessore di 20 centimetri, valutando, per ciascuno di essi, la tensione verticale  $\sigma$  vert. ed il relativo valore del modulo edometrico Mo.

L'equazione utilizzata per il calcolo dei cedimenti è la seguente:

$$S = n \sum \left( \frac{h \cdot \sigma_v}{M_o} \right)$$

dove

n = coefficiente di riduzione che tiene conto della rigidità strutturale

Il modulo edometrico è stato determinato tramite la relazione di Sanglerat (1972)  $M_o = \alpha R_p$ , dove  $\alpha$  assume valori diversi in funzione del tipo litologico e dei valori della stessa resistenza alla punta Rp.

Nelle tabelle seguenti vengono riassunti i risultati ottenuti per i calcoli eseguiti:

NUMERO PROVA	TIPO DI FONDAZIONE	CARICO AMMISSIBILE (in Kg/cm <sup>2</sup> )	CEDIMENTO (in cm)
	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.90	4.68

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

NUMERO PROVA	TIPO DI FONDAZIONE	CARICO AMMISSIBILE (in Kg/cm <sup>2</sup> )	CEDIMENTO (in cm)
<b>1</b>	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.84	5.01
	Trave continua B = 1.40m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.75	5.02
<b>2</b>	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.82	4.95
	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.72	5.00
	Trave continua B = 1.40m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.65	5.04
<b>3</b>	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.83	4.88
	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.75	5.06
	Trave continua B = 1.40m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.66	5.01
<b>4</b>	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	1.00	4.34
	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal	0.95	4.65

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

NUMERO PROVA	TIPO DI FONDAZIONE	CARICO AMMISSIBILE (in Kg/cm <sup>2</sup> )	CEDIMENTO (in cm)
	<p>p.c.</p> <p>Trave continua B = 1.40m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.</p>	0.90	4.88
5	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.69	4.98
	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.60	5.03
	Trave continua B = 1.40m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.53	5.05
6	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.82	4.95
	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.72	4.99
	Trave continua B = 1.40m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.64	5.00
7	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.66	5.03
	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.58	5.05
	Trave continua B = 1.40m.,	0.51	4.98

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

NUMERO PROVA	TIPO DI FONDAZIONE	CARICO AMMISSIBILE (in Kg/cm <sup>2</sup> )	CEDIMENTO (in cm)
	impostata a – 1.00 metro dal p.c.		
<b>8</b>	Trave continua B = 1.00m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.69	4.99
	Trave continua B = 1.20m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.60	5.02
	Trave continua B = 1.40m., impostata a – 1.00 metro dal p.c.	0.53	5.02

Dalla tabella si evince che punto per punto cambiano i carichi ammissibili. In questa fase di studio, ossia di carattere preliminare, i valori hanno sicuramente una validità orientativa e di conoscenza delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione. SI RACCOMANDA DUNQUE IN FASE ESECUTIVA DI PROGETTO DI EFFETTUARE TUTTE LE PROVE IN CORRISPONDENZA DELLE VARIE EDIFICAZIONI, AL FINE DI OTTENERE I PRECISI CARICHI AMMISSIBILI, CON I RELATIVI CEDIMENTI PUNTUALI E DIFFERENZIALI

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

## 7. COEFFICIENTE DI ACCELERAZIONE SISMICA

Per la determinazione del valore del coefficiente di accelerazione sismica  $\varepsilon$ , e' stata utilizzata la stratigrafia risultante dalla CPT spinte sino a – 30 metri dal p.c.. Il Comune di Ferrara risulta classificato come zona a rischio sismico di terza categoria, con grado di sismicità  $S = 6$ . Per quanto attiene al rapporto tra sismicità e dimensionamento delle fondazioni, la scelta del coefficiente di fondazione  $\varepsilon$  e' regolata dal D.M. 16/1/96 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche". In particolare al punto C.6.1.1. si dice che il coefficiente  $\varepsilon$  viene assunto di valore pari a 1; in presenza di stratigrafie caratterizzate da "depositi alluvionali di spessore variabile da 5 a 20 metri, soprastanti terreni coesivi o litoidi con caratteristiche meccaniche significativamente superiori, si assumerà per il coefficiente  $\varepsilon$  il valore 1.3".

Nel caso specifico dell'area oggetto di studio, stante che:

- Per i primi 20 metri i materiali presenti sono da considerare dei depositi alluvionali
- La situazione geomorfologica al contorno non giustifica la presenza di rocce litoidi oltre i 20 metri dal p.c.
- Non sussiste nessun substrato roccioso rigido a profondità comprese tra 5 e 20 metri

***si può dunque concludere che il coefficiente di fondazione  $\varepsilon$  può essere assunto pari a 1.0***

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

## 8. VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

L'ordinanza 3274 del 20/3/03 emanata dal Presidente del Consiglio di ministri, ripresa e modificata dall'OPCM 3431 del 3/5/05, nell'Allegato 4 indica le Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni. Al paragrafo 2.3 indica che nel caso di edifici con fondazioni superficiali, la verifica di suscettibilità a liquefazione può essere omessa se il terreno sabbioso saturo si trova a profondità maggiore di 15 metri dal piano di campagna.

L'ordinanza peraltro indica che può essere trascurato il pericolo di liquefazione quando  $S a_g < 0.15 g$  e, al contempo, la sabbia in esame soddisfi almeno una delle condizioni seguenti:

- Contenuto in argilla superiore al 20% ed indice di plasticità  $> 10$
- Contenuto di limo superiore al 35% e resistenza  $N1 (60) > 20$
- Frazione fine trascurabile e resistenza  $N1 (60) > 25$

dove  $n1 (60)$  è il valore della resistenza penetrometrica  $N_{spt}$  misurato nella Standard penetration Test, normalizzato ad uno sforzo efficace di confinamento di 100kPa e ad un fattore di rendimento energetico 0.6 nell'esecuzione della prova.

Ai fini dell'applicazione delle norme contenute nell' Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e successive modificazioni, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g = \text{accelerazione orizzontale massima}$  su suolo di categoria A . I valori di  $a_g$  , espressi come valore dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

Zona	Valore di $a_g$
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del **suolo di fondazione** :

**Categoria A:** Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri

**Categoria B:** Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori  $V_{S30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica  $N_{spt} > 50$ , o coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa

**Categoria C:** Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt} < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa)

**Categoria D:** Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori  $V_{S30} < 180$  m/s ( $N_{spt} < 15$ ,  $c_u < 70$  kPa)

**Categoria E:** Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di  $V_{S30}$  simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5

	<p>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</p>	
---	---	---

e 20 metri, giacenti su un substrato di materiale più rigido con  $V_{S30} > 800$  m/s

In aggiunta a queste categorie, se ne definiscono altre due:

**Categoria S1:** Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 metri di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di  $V_{S30} < 100$  m/s ( $10 < c_u < 20$  kPa)

**Categoria S2:** Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

### Le onde Vs

Il programma *Fondazio* permette di calcolare Vs ovvero la velocità media di propagazione entro 20 metri di profondità delle onde di taglio secondo quattro Autori:

- Yoshida Motonori (1988)
- Burrow Stokoe (1983)
- Sycora Stokoe (1983)
- Lyisan (1996)

Si ritiene che per i terreni oggetto di verifica i metodi di calcolo proposti da Lyisan siano quelli che offrono maggiore attendibilità di risultato; pertanto per il calcolo della Vs (dati riportati nella settima colonna della quarta tabella di elaborazione dei risultati delle CPT eseguite, denominata "Parametri geotecnici") si è utilizzata la seguente espressione:

$$V_s = 55,3 qc^{0,377} \quad (\text{Lyisan 1996})$$

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

il dato viene fornito relativamente ad ogni singola lettura della prova CPT (h = 0.20 m)

## **La liquefazione**

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, *la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.*

Nel contesto considerato, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

*In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove deve essere realizzata la costruzione.*

Le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze dei parametri più significativi ed alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica, hanno preso avvio a partire dai terremoti di Niigata dell'Alaska (1964).

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento; a tali criteri hanno fatto seguito metodi più raffinati e complessi capaci di tenere conto di un numero di parametri sempre più elevato.

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione della pressione effettiva della risposta sismica locale e su prove di laboratorio molto sofisticate e complesse. Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli strati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e quelli indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione.

A tal fine richiedono la precisazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, valutati questi ultimi o con prove dinamiche di laboratorio o con prove in situ.

La loro applicazione richiede quindi:

- *la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ ed in laboratorio;*
- *calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte.*

Essi sono basati su concetti di rapporto tensionale ciclico (CSR), che esprime il carico sismico, e di rapporto di resistenza ciclica (CRR), che esprime la capacità del terreno di resistere alla liquefazione.

*Ove si usi il metodo delle correlazioni di campagna, un terreno deve essere considerato suscettibile alla liquefazione allorché*

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	 <p>S G M Ingegneria S.r.l.</p>
---	--	--

*lo sforzo di taglio generato dal terremoto ad una data profondità, supera l' 80% dello sforzo critico che ha provocato la liquefazione alla medesima profondità durante terremoti passati; il livello di sforzo di taglio pari all' 80% implica un fattore di sicurezza pari a 1,25.*

*I terreni sono pertanto da considerarsi liquefacibili nel caso il rapporto tra CSR e CRR sia < 1,25.*

### *Metodo di Seed-Idriss*

Tra i metodi semplificati il più noto è quello di Seed e Idriss (1982), basato su una procedura semi-empirica: esso è di facile applicazione e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: *granulometria, numero dei colpi della prova standard SPT, densità relativa, peso di volume.*

Esso prevede un confronto tra le caratteristiche meccaniche dei terreni (valutata prevalentemente sui risultati di prove in sito, quali la prova penetrometrica dinamica SPT, la prova penetrometrica statica CPT, la misura della velocità delle onde di taglio Vs) con l'eventuale occorrenza nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica (stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie).

Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco nel quale in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) ed in ascissa la resistenza del terreno, stimata mediante una delle prove in sito, tipicamente la prova SPT.

Il rapporto tensionale ciclico è definito dalla relazione:

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

nella quale:

$a_{max}$  = accelerazione di picco al piano di campagna

$g$  = accelerazione di gravità

$\sigma_v$  = tensione totale verticale nel sottosuolo

$\sigma'_v$  = tensione efficace verticale nel sottosuolo

$r_d$  = coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità di interesse per tenere in conto la deformabilità del sottosuolo.

Nell'ipotesi di propagazione verticale di onde sismiche di taglio la colonna di terreno di altezza  $z$  si muove rigidamente in direzione orizzontale. Poiché in realtà la colonna di terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido. Seed ed Idriss hanno fornito a tal proposito i valori del coefficiente "rd" in funzione della profondità, in forma grafica.

Le curve limite, per diversi valori della magnitudo  $M$ , separano i punti rappresentativi di eventi studiati per i quali si è osservato il fenomeno della liquefazione (sopra le curve limite) da quelli dove la liquefazione non è avvenuta (sotto le curve limite).

Le curve limite rappresentano allora il luogo dei minimi rapporti tensionali ciclici CSR necessari affinché uno strato di terreno vada soggetto a liquefazione: esse rappresentano quindi il luogo dei valori corrispondenti alla resistenza ciclica CRR.

Benché utili per valutazioni di massima, i metodi semplificati offrono indicazioni molto approssimate sulla resistenza dei terreni alla liquefazione. La scoperta dell'incidenza sulla resistenza alla

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

liquefazione dei metodi di ricostituzione dei provini, della loro dimensione e di altri effetti secondari, sta portando però sempre più a privilegiare metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. Tali metodi fanno riferimento agli stati limite ultimi prescindendo dalle deformazioni e sono impiegati generalmente per la progettazione di opere di media importanza.

Il loro impiego si giustifica quindi per la loro facilità di applicazione, ovvero negli ambiti nei quali non sia richiesta una previsione particolarmente accurata.

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

## 9. NOTE CONCLUSIVE

Alla luce di tutte le considerazioni precedenti si conclude quanto segue:

- Non sussistono elementi geologici, litologici e geomorfologici che possano pregiudicare l'idoneità alla ristrutturazione ed all'edificazione del sito;
- La zona di studio è inserita un'ampia plaga interalveo. Solo alcune prove presentano livelli anche significativi di materiale grossolano (sabbie) a profondità minori di 15 metri. Tali prove sono la CPT 4 (con un pacco di sabbia tra –6 e – 14 metri dall'attuale p.c.), la CPT 6 (con un livello di spessore metrico tra – 10.50 e – 11.50 circa) e la CPT 7, con due livelli sabbiosi decimetrici a 5.50 metri e tra 10 ed 11 metri dal p.c. La presenza di questi livelli sabbiosi e' di incerta origine: presumibilmente è da ascrivere a divagazioni di un piccolo paleoalveo secondario connesso al Po di Volano o ad una conoide di rotta. Per quanto riguarda la CPT 1, 2 e 3, esiste una buona omogeneità laterale dei terreni: sino a – 15/16 metri all'attuale p.c. si rinvencono argille ed argille limose, seguite da uno strato sabbioso ripetuto in due sequenze sino a circa 20-23 metri di profondità. Successivamente si incontrano argille ed argille limose sino a fondo foro. La CPT 5 e' costituita essenzialmente da materiale argillo-limoso per tutta la profondità di investigazione (a meno di piccoli strati di terreno più competente) ed infine la CPT 8 ripete la sequenza stratigrafica delle prime tre prove, con cui risulta in continuità.

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno</i>  <i>Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

- E' stato rilevato il livello statico della falda negli 8 punti di prova (riferiti ai giorni in cui sono state effettuate le CPT). La tabella seguente riassume quanto misurato:

N. Prova	Livello statico della falda (in metri) dal p.c.
1	-2.05
2	-1.80
3	-1.70
4	-3.05
5	-1.30
6	-1.40
7	-2.00
8	Non rilevabile per foro chiuso

- Sono stati verificati i carichi ammissibili per diverse tipologie di fondazione ed in particolare trave continua di dimensione  $B = 1.00$ ,  $1.20$  e  $B = 1.40$  metri, impostata a  $- 1.00$  m dal p.c. Nella tabella di pagina 24, 25, 26 e 27 vengono indicati tutti i carichi ammissibili ed i relativi cedimenti puntuali. Dalla tabella si evince che punto per punto cambiano i carichi ammissibili. In questa fase di studio, ossia di carattere preliminare, i valori hanno sicuramente una validità orientativa e di conoscenza delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione. SI RACCOMANDA DUNQUE IN FASE ESECUTIVA DI PROGETTO DI EFFETTUARE TUTTE LE PROVE IN CORRISPONDENZA DELLE VARIE EDIFICAZIONI, AL FINE DI OTTENERE I PRECISI CARICHI AMMISSIBILI, CON I RELATIVI CEDIMENTI PUNTUALI E DIFFERENZIALI

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno</i>  <i>Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

- Il territorio comunale di Ferrara è inserito secondo la nuova classificazione sismica in **Zona 3**.

La categoria del suolo di fondazione è riconducibile alla **D** :

- *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*  
 caratterizzati da valori di  $V_s < 180$  m/s ( $N_{spt} < 15$ ,  $C_u < 70$  kPa).

- *Si specifica che per il calcolo del rischio di liquefazione si e' preso in considerazione l'ipotesi di terremoti di magnitudo media pari a 6.*
- L'ordinanza inoltre indica che nel caso di edifici con fondazioni superficiali, la verifica di suscettibilità a liquefazione può essere omessa se il terreno sabbioso saturo si trova a profondità maggiore di 15 metri dal piano di campagna, come nel caso in esame. Dall'analisi comunque dei dati di **F.L.**, riportati nella quart'ultima colonna della tabella summenzionata e calcolato in corrispondenza dei livelli sabbiosi, risulta evidente che esistono alcuni strati si spessore decimetrico a rischio liquefazione oltre i 15 metri di profondità.
- L'area su cui andrà ad insistere il manufatto e' inserita in un contesto ampiamente antropizzato, con presenza di civili abitazioni ed attività artigianali. La zona e' provvista di un sistema viario articolato.
- Non sussistono nelle vicinanze industrie a rischio di incidente rilevante.
- Non sono presenti nelle vicinanze dell'erigendo manufatto aree boschive a rischio incendio

	<p><i>Relazione geologico tecnica e sismica a corredo di un piano particolareggiato di iniziativa privata a Ferrara – Via Foro Boario – Stazione Porta Reno Committente: Ferrovie Emilia Romagna</i></p>	
---	--	---

- L'area di intervento non coincide con nessuna localizzazione di aree o strutture per la protezione civile
- Dall'analisi di dati storici si evidenzia che non sussistono pericoli di allagabilità della zona.
- Il progetto e' compatibile con le esigenze di protezione civile sull'analisi di pericolosità locale nonché di vulnerabilità ed esposizione urbana.

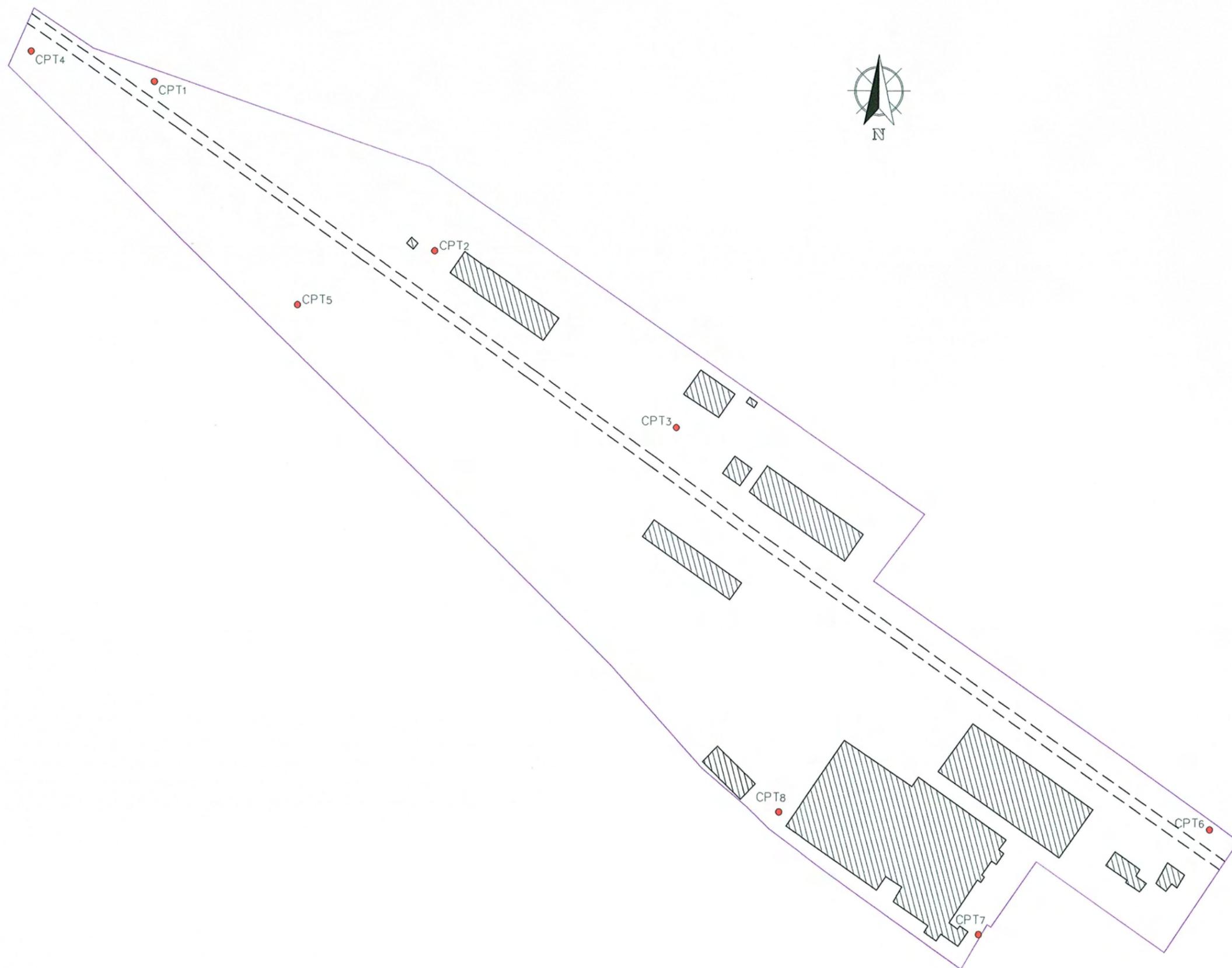
Ferrara, 28 Aprile 2006

Dr. Geol. Linda Collina





## **TAVOLE**



CARTA UBICAZIONE  
PROVE PENETROMETRICHE



area d'indagine



CPT



**ALLEGATO**  
**Elaborazioni prove penetrometriche**



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI

n°	<b>CPT1</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **06/04/2006**  
Scala: \_\_\_\_\_      Data certificato: \_\_\_\_\_  
Pagina: **1 2**      Preforo: \_\_\_\_\_  
Elaborato: \_\_\_\_\_      Falda: **-2,05 m**

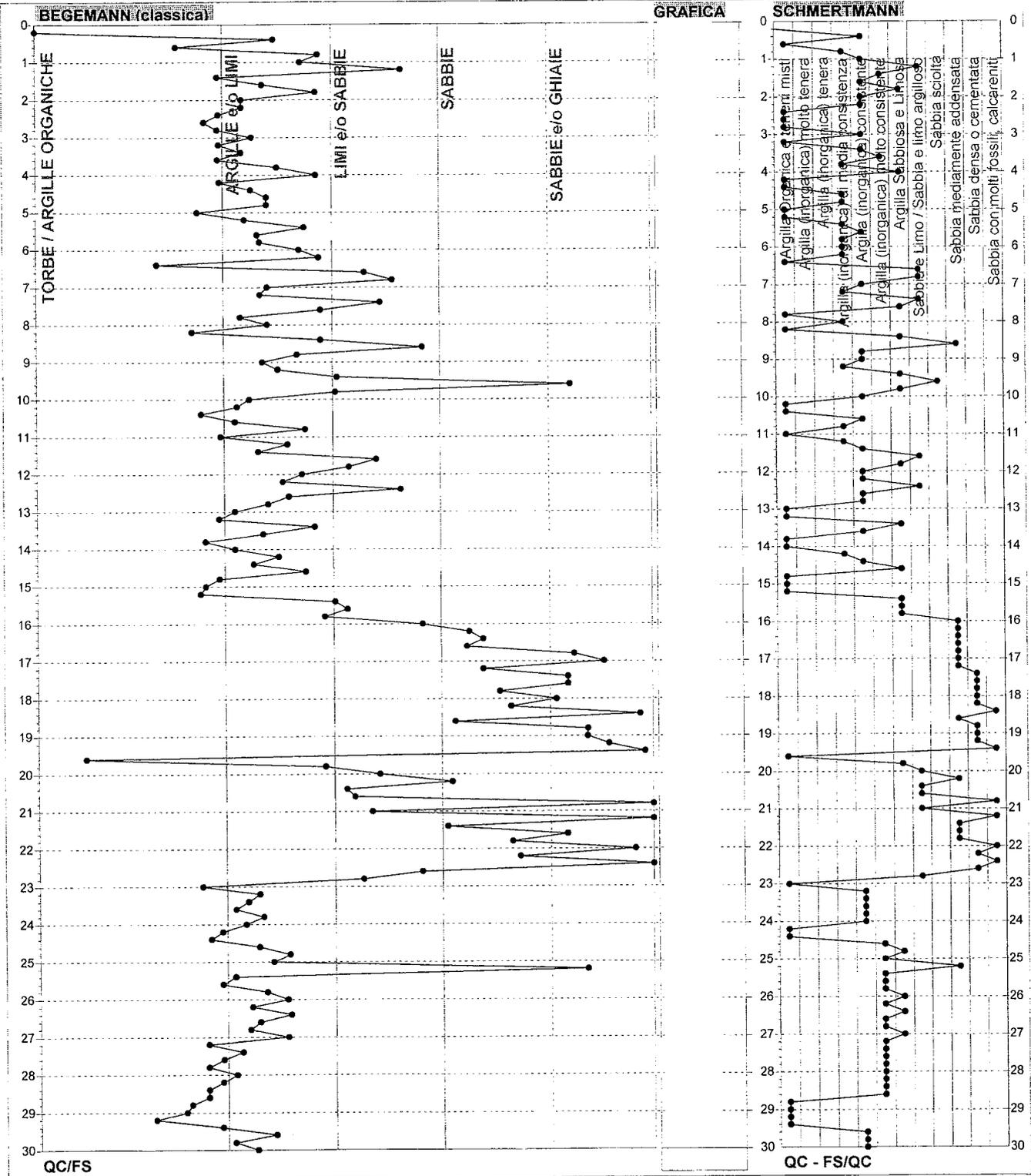
Prof. m	Qc kg/cm <sup>2</sup>	Qc/Fs	Zone	γ t/m <sup>3</sup>	σ <sub>vo</sub> kg/cm <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
							Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR kg/cm <sup>2</sup>	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ødr (°)	øCa (°)	øKo (°)	øDB (°)	øDM (°)	øMe (°)	F.L.	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>
20.0	26.0	38.8	3	0.87	2.04	131	--	--	--	--	8	32	22	19	18	25	28	--	43	65	78	
20.2	48.0	60.0	3	0.91	2.06	156	--	--	--	--	29	35	25	22	21	29	31	0.66	80	120	144	
20.4	34.0	31.8	3	0.89	2.08	126	--	--	--	--	17	33	24	20	19	27	29	0.65	57	85	102	
20.6	40.0	33.3	3	0.90	2.09	133	--	--	--	--	22	34	24	21	20	28	30	0.65	67	100	120	
20.8	98.0	245.0	3	1.00	2.11	187	--	--	--	--	53	38	29	26	24	33	34	1.37	163	245	294	
21.0	64.0	37.0	3	0.94	2.13	169	--	--	--	--	38	36	27	23	22	30	32	1.10	107	160	192	
21.2	96.0	240.0	3	0.99	2.15	187	--	--	--	--	52	37	29	26	24	32	34	1.33	160	240	288	
21.4	70.0	58.3	3	0.95	2.17	174	--	--	--	--	41	36	27	24	22	31	32	1.12	117	175	210	
21.6	80.0	119.4	3	0.97	2.19	179	--	--	--	--	45	37	28	25	23	31	33	1.18	133	200	240	
21.8	92.0	86.0	3	0.99	2.21	186	--	--	--	--	50	37	28	25	24	32	33	1.28	153	230	276	
22.0	120.0	179.1	3	1.03	2.23	199	--	--	--	--	59	38	30	27	25	34	35	1.57	200	300	360	
22.2	144.0	90.0	3	1.07	2.25	227	--	--	--	--	65	39	30	27	26	34	36	1.80	240	360	432	
22.4	156.0	577.8	3	1.08	2.27	232	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	1.92	260	390	468	
22.6	120.0	50.0	3	1.03	2.29	200	--	--	--	--	58	38	29	26	25	33	35	1.54	200	300	360	
22.8	28.0	35.0	3	0.87	2.31	139	--	--	--	--	8	32	22	19	18	25	28	1.54	47	70	84	
23.0	16.0	13.3	2	0.96	2.33	121	0.70	1.4	409	613	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.2	15.0	18.8	2	0.95	2.35	121	0.67	1.3	394	591	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.4	14.0	17.5	2	0.94	2.37	121	0.64	1.2	378	567	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.6	13.0	16.3	2	0.93	2.39	113	0.60	1.1	361	541	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.8	14.0	19.2	2	0.94	2.41	121	0.64	1.2	378	567	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
24.0	15.0	17.2	2	0.95	2.43	122	0.67	1.2	395	593	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
24.2	15.0	15.0	2	0.95	2.44	122	0.67	1.2	395	593	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
24.4	15.0	14.0	2	0.95	2.46	122	0.67	1.2	396	593	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
24.6	20.0	18.7	4	0.93	2.48	129	0.80	1.5	466	699	60	--	31	20	17	16	25	27	--	33	50	60
24.8	24.0	22.4	4	0.94	2.50	135	0.89	1.7	510	765	72	1	31	21	18	17	25	28	--	40	60	72
25.0	23.0	20.4	4	0.94	2.52	135	0.87	1.7	501	751	69	--	31	21	17	16	25	28	--	38	58	69
25.2	90.0	134.3	3	0.98	2.54	187	--	--	--	--	46	37	27	24	23	31	33	1.18	150	225	270	
25.4	28.0	16.2	4	0.96	2.56	141	0.97	1.9	548	822	84	5	32	22	18	17	25	28	1.18	47	70	84
25.6	21.0	15.0	4	0.93	2.58	130	0.82	1.5	480	720	63	--	31	20	17	16	25	27	1.18	35	53	63
25.8	26.0	19.5	4	0.95	2.60	136	0.93	1.7	532	798	78	2	32	21	18	17	25	28	1.18	43	65	78
26.0	25.0	22.1	4	0.94	2.61	136	0.91	1.7	524	785	75	1	31	21	18	17	25	28	1.18	42	63	75
26.2	25.0	17.9	4	0.94	2.63	136	0.91	1.7	524	786	75	1	31	21	18	17	25	28	1.18	42	63	75
26.4	30.0	22.6	4	0.96	2.65	146	1.00	1.9	567	851	90	7	32	22	18	17	25	29	1.18	50	75	90
26.6	30.0	18.8	4	0.96	2.67	147	1.00	1.8	568	852	90	7	32	22	18	17	25	29	1.18	50	75	90
26.8	27.0	17.6	4	0.95	2.69	142	0.95	1.7	544	817	81	3	32	21	18	17	25	28	1.18	45	68	81
27.0	31.0	22.1	4	0.97	2.71	147	1.03	1.9	585	878	93	7	32	22	18	18	25	29	1.18	52	78	93
27.2	22.0	13.8	4	0.93	2.73	137	0.85	1.5	495	743	66	--	31	20	17	16	25	28	1.18	37	55	66
27.4	18.0	16.8	2	0.98	2.75	124	0.75	1.2	445	667	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
27.6	20.0	15.0	4	0.93	2.77	131	0.80	1.3	472	708	60	--	31	20	16	15	25	27	--	33	50	60
27.8	22.0	13.8	4	0.93	2.79	137	0.85	1.4	496	745	66	--	31	20	17	16	25	28	--	37	55	66
28.0	26.0	16.3	4	0.95	2.80	137	0.93	1.6	539	808	78	1	31	21	17	16	25	28	--	43	65	78
28.2	22.0	15.0	4	0.93	2.82	137	0.85	1.4	497	746	66	--	31	20	16	16	25	28	--	37	55	66
28.4	22.0	13.8	4	0.93	2.84	138	0.85	1.4	497	746	66	--	31	20	16	16	25	28	--	37	55	66
28.6	22.0	13.8	4	0.93	2.86	138	0.85	1.4	498	747	66	--	31	20	16	16	25	28	--	37	55	66
28.8	19.0	12.4	2	0.99	2.88	132	0.78	1.2	460	690	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.0	16.0	12.0	2	0.96	2.90	125	0.70	1.1	416	625	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.2	12.0	10.0	2	0.92	2.92	116	0.57	0.8	343	514	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.4	13.0	14.9	2	0.93	2.94	116	0.60	0.9	363	544	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.6	15.0	20.5	2	0.95	2.96	125	0.67	1.0	400	600	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.8	14.0	16.1	2	0.94	2.97	125	0.64	0.9	382	573	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
30.0	16.0	18.4	2	0.96	2.99	125	0.70	1.0	417	626	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT1</b>
referimento	024-06
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **06/04/2006**  
Scala: **1:150**      Data certificato:  
Pagina: **1**      Preforo:  
Elaborato:      Falda: **-2,05 m**



Torbe / Argille organiche : 29 punti, 19,33%	Argilla Organica e terreni misti: 30 letture, 20,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa: 17 punti, 11,33%
Argille e/o Limi : 76 punti, 50,67%	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso: 11 punti, 7,33%
Limi e/o Sabbie : 19 punti, 12,67%	Argilla (inorganica) tenera: 0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta: 1 punti, 0,67%
Sabbie: 11 punti, 7,33%	Argilla (inorganica) media consistenza : 14 punti, 9,33%	Sabbia mediamente addensata: 14 punti, 9,33%
Sabbie e/o Ghiaie : 15 punti, 10,00%	Argilla (inorganica) consistente: 28 punti, 18,67%	Sabbia densa o cementata: 10 punti, 6,67%
	Argilla (inorganica) molto consistente: 18 punti, 12,00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti: 6 punti, 4,00%

FOND-020406-01

SILGEO s.a.s.

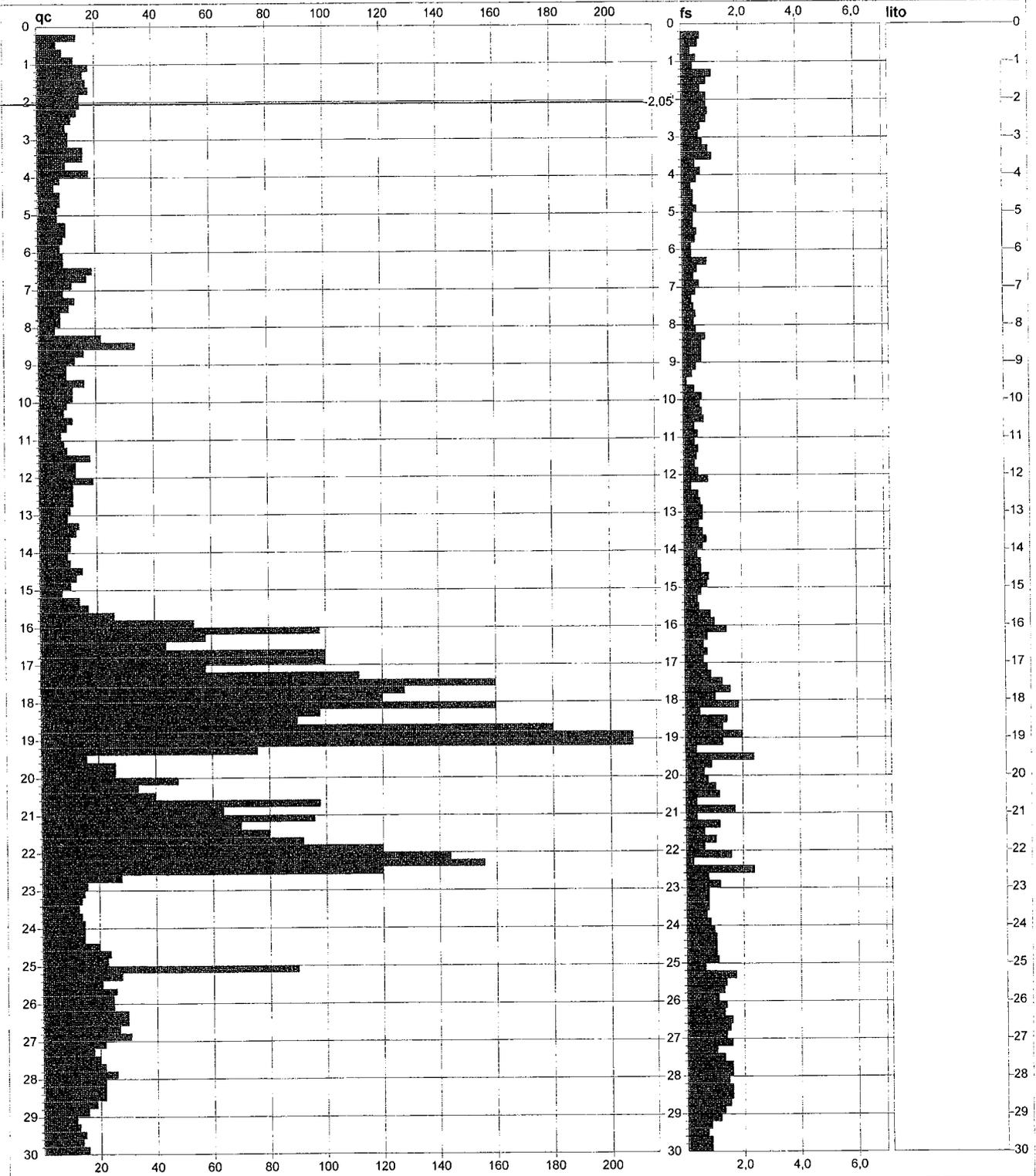
Via Torun 3/c - 44030 Malborghetto di Boara - Ferrara  
Tel e fax 0532/707196 - 335/6559327 - 335/314457

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT1</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **06/04/2006**  
Scala: **1:150**      Data certificato:  
Pagina: **1**      Preforo:  
Elaborato:      Falda: **-2,05 m**



<b>Coord. Relative</b> Xr: m Yr: m Zr: m	<b>Coord. Geografiche</b> Xg: Yg: Zg:	<b>Litologia:</b> Personalizzata <b>Penetrometro:</b> SP200 20t Semovente cingolato <b>Responsabile:</b> Dr. Z. Rezaeyan <b>Assistente:</b>	<b>Quota ass.:</b> Corr.astine: kg/ml Cod.ISTAT:
---	--	--	--

FOND-020406-01



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## PARAMETRI GEOTECNICI

n°	<b>CPT2</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm²**      Data esecuzione: **06/04/2006**  
Scala:                      Data certificato:  
Pagina: **1 2**              Preforo:  
Elaborato:                  Falda: **-1,80 m**

Prof. m	Qc kg/cm²	Qc/Fs	Zone	γ t/m³	σ <sub>vo</sub> kg/cm²	V <sub>s</sub> m/s	NATURA COESIVA				NATURA GRANULARE												
							Cu kg/cm²	OCR kg/cm²	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ødr (°)	øCa (°)	øKo (°)	øDB (°)	øDM (°)	øMe (°)	F.L.	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
20.0	80.0	119.4	3	0.97	1.94	176	--	--	--	--	48	37	28	25	24	32	33	1.20	133	200	240		
20.2	38.0	35.5	3	0.90	1.96	132	--	--	--	--	22	34	25	21	20	28	30	0.64	63	95	114		
20.4	20.0	16.7	4	0.93	1.98	125	0.80	2.0	447	670	60	--	31	21	18	17	25	27	0.64	33	50	60	
20.6	18.0	16.8	2	0.98	2.00	118	0.75	1.8	426	639	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
20.8	16.0	12.6	2	0.96	2.01	118	0.70	1.7	401	602	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
21.0	17.0	11.1	2	0.97	2.03	119	0.72	1.7	415	623	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
21.2	11.0	10.3	2	0.91	2.05	110	0.54	1.2	319	479	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
21.4	11.0	12.6	2	0.91	2.07	111	0.54	1.2	319	479	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
21.6	12.0	20.0	2	0.92	2.09	111	0.57	1.2	339	508	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
21.8	13.0	19.4	2	0.93	2.11	111	0.60	1.3	357	535	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
22.0	20.0	21.5	4	0.93	2.13	126	0.80	1.9	454	681	60	--	31	21	17	17	25	27	--	33	50	60	
22.2	11.0	15.1	2	0.91	2.14	111	0.54	1.1	320	480	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
22.4	9.0	19.1	2	0.88	2.16	101	0.45	0.9	270	405	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
22.6	17.0	32.1	4	0.91	2.18	120	0.72	1.6	420	629	54	--	31	20	16	16	25	27	--	28	43	51	
22.8	20.0	29.9	4	0.93	2.20	127	0.80	1.8	457	686	60	--	31	21	17	16	25	27	--	33	50	60	
23.0	17.0	15.9	2	0.97	2.22	120	0.72	1.5	421	631	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.2	23.0	23.0	4	0.94	2.24	133	0.87	1.9	490	734	69	2	31	21	18	17	25	28	--	38	58	69	
23.4	21.0	16.5	4	0.93	2.25	127	0.82	1.8	470	705	63	--	11	31	21	17	17	25	27	--	35	53	63
23.6	30.0	25.0	4	0.96	2.27	143	1.00	2.2	546	819	90	22	33	23	19	18	26	29	--	50	75	90	
23.8	42.0	21.0	4	1.00	2.29	152	1.40	3.4	645	967	126	11	34	24	21	20	27	30	--	70	105	126	
24.0	38.0	20.3	4	0.99	2.31	152	1.27	3.0	629	944	114	18	33	24	20	19	27	30	--	60	90	108	
24.2	36.0	15.0	4	0.99	2.33	148	1.20	2.7	616	925	108	16	33	23	20	19	26	30	--	60	90	108	
24.4	36.0	16.9	4	0.99	2.35	148	1.20	2.7	619	928	108	16	33	23	20	19	26	30	--	60	90	108	
24.6	40.0	18.8	4	1.00	2.37	152	1.33	3.1	652	978	120	31	35	25	22	21	29	31	--	93	140	168	
24.8	56.0	24.7	4	1.01	2.39	166	1.87	4.6	667	1000	168	27	34	25	22	20	28	31	--	83	125	150	
25.0	50.0	16.3	4	1.01	2.41	160	1.67	4.0	675	1013	150	27	34	25	22	20	28	31	--	60	90	108	
25.2	36.0	12.3	4	0.99	2.43	149	1.20	2.6	628	942	108	15	33	23	20	19	26	30	--	--	--	--	
25.4	19.0	8.2	2	0.99	2.45	129	0.78	1.5	453	679	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
25.6	21.0	16.5	4	0.93	2.47	129	0.82	1.6	477	716	63	--	31	20	17	16	25	27	--	35	53	63	
25.8	20.0	15.7	4	0.93	2.49	129	0.80	1.5	466	699	60	--	31	20	17	16	25	27	--	33	50	60	
26.0	16.0	12.0	2	0.96	2.51	122	0.70	1.3	412	618	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
26.2	21.0	21.0	4	0.93	2.53	129	0.82	1.5	479	718	63	--	31	20	17	16	25	27	--	35	53	63	
26.4	26.0	19.5	4	0.95	2.55	135	0.93	1.8	530	796	78	3	32	21	18	17	25	28	--	43	65	78	
26.6	27.0	19.3	4	0.95	2.57	141	0.95	1.8	540	810	81	4	32	21	18	17	25	28	--	45	68	81	
26.8	32.0	24.1	4	0.97	2.59	146	1.07	2.1	593	889	96	10	32	22	19	18	25	29	--	53	80	96	
27.0	24.0	15.0	4	0.94	2.60	136	0.89	1.6	513	770	72	--	31	21	17	16	25	28	--	40	60	72	
27.2	17.0	12.1	2	0.97	2.62	123	0.72	1.3	429	643	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
27.4	21.0	16.5	4	0.93	2.64	130	0.82	1.5	482	722	63	--	31	20	17	16	25	27	--	35	53	63	
27.6	29.0	20.7	4	0.96	2.66	142	0.98	1.8	560	840	87	6	32	22	18	17	25	29	--	48	73	87	
27.8	28.0	16.2	4	0.96	2.68	142	0.97	1.8	553	829	84	4	32	21	18	17	25	28	--	47	70	84	
28.0	23.0	13.8	4	0.94	2.70	137	0.87	1.5	506	758	69	--	31	20	17	16	25	28	--	38	58	69	
28.2	20.0	16.7	4	0.93	2.72	131	0.80	1.4	471	706	60	--	31	20	16	15	25	27	--	33	50	60	
28.4	18.0	15.0	2	0.98	2.74	124	0.75	1.2	445	667	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
28.6	17.0	17.0	2	0.97	2.76	124	0.72	1.2	430	645	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
28.8	12.0	16.4	2	0.92	2.78	115	0.57	0.9	343	514	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
29.0	27.0	31.0	3	0.87	2.79	143	--	--	--	--	--	2	31	21	18	17	25	28	--	45	68	81	
29.2	28.0	35.0	3	0.87	2.81	143	--	--	--	--	--	3	32	21	18	17	25	28	--	47	70	84	
29.4	64.0	40.0	3	0.94	2.83	176	--	--	--	--	--	31	35	25	22	21	29	32	0.63	107	160	192	
29.6	44.0	27.5	4	1.00	2.85	160	1.47	2.7	753	1129	132	18	33	23	20	19	27	31	0.63	73	110	132	
29.8	68.0	31.9	3	0.95	2.87	179	--	--	--	--	--	33	35	26	22	21	29	32	0.63	113	170	204	
30.0	62.0	42.2	3	0.94	2.89	176	--	--	--	--	--	30	35	25	22	20	28	32	0.63	103	155	186	

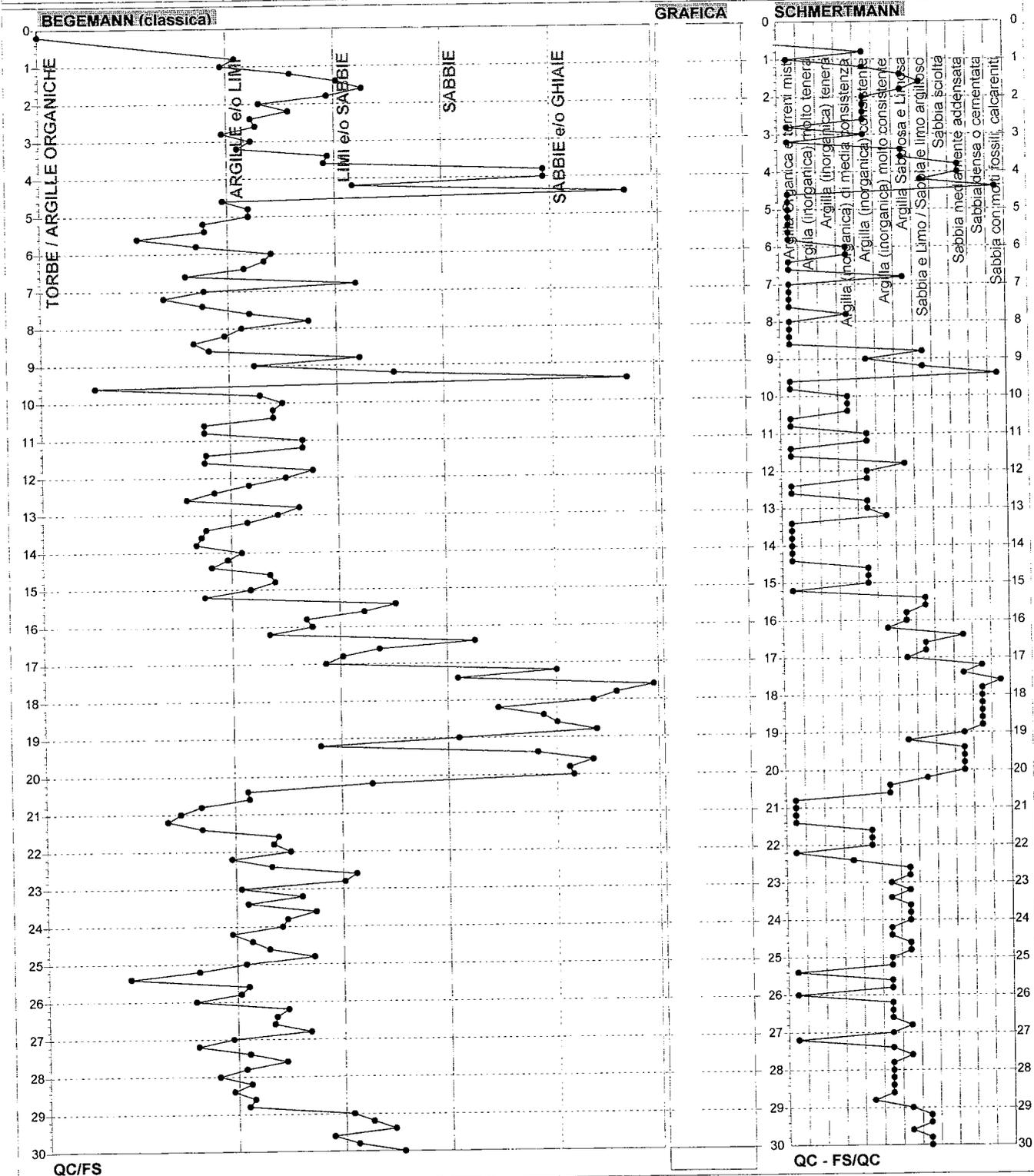
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT2</b>
referimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **06/04/2006**  
Scala: **1:150**          Data certificato:  
Pagina: **1**              Preforo:  
Elaborato:                Falda: **-1,80 m**



Torbe / Argille organiche :	40 punti, 26,67%	Argilla Organica e terreni misti:	43 letture, 28,67%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	22 punti, 14,67%
Argille e/o Limi :	76 punti, 50,67%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso:	13 punti, 8,67%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 10,67%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	11 punti, 7,33%	Argilla (inorganica) media consistenza :	7 punti, 4,67%	Sabbia mediamente addensata:	9 punti, 6,00%
Sabbie e/o Ghiaie :	7 punti, 4,67%	Argilla (inorganica) consistente:	21 punti, 14,00%	Sabbia densa o cementata:	7 punti, 4,67%
		Argilla (inorganica) molto consistente:	22 punti, 14,67%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	3 punti, 2,00%

FOND-020406-01

SILGEO s.a.s.

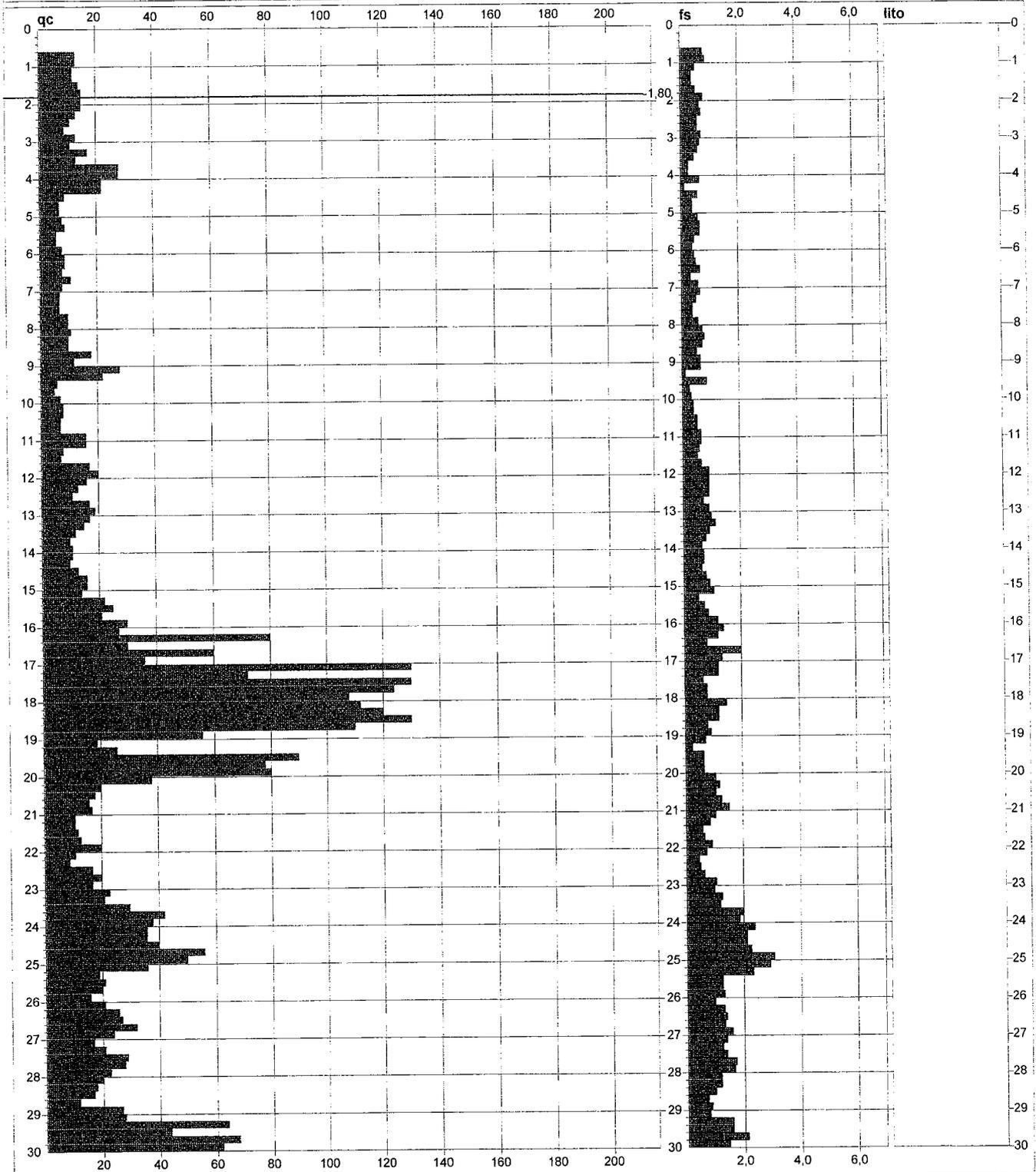
Via Torun 3/c - 44030 Malborghetto di Boara - Ferrara  
Tel e fax 0532/707196 - 335/6559327 - 335/314457

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT2</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esecuzione: <b>06/04/2006</b>
Scala: <b>1:150</b>	Data certificato:
Pagina: <b>1</b>	Preforo:
Elaborato:	Falda: <b>-1,80 m</b>



<b>Coord. Relative</b> Xr: m Yr: m Zr: m	<b>Coord. Geografiche</b> Xg: Yg: Zg:	Litologia: Personalizzata Penetrometro: SP200 20t Semovente cingolato Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan Assistente:	Quota ass.: Corr.astine: kg/ml Cod.ISTAT:
---	--	--	---

FOND-020406-01

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI

n° **CPT3**  
riferimento **024-06**  
certificato n°  
n° verbale accett.

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>** Data esecuzione: **07/04/2006**  
Scala: Data certificato:  
Pagina: **1 1** Preforo:  
Elaborato: Falda: **-1,70 m**

Prof. m	Qc kg/cm <sup>2</sup>	Qc/Fs	Zone	γ t/m <sup>3</sup>	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE													
					σ <sub>vo</sub> kg/cm <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> m/s	Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR kg/cm <sup>2</sup>	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	φ <sub>dr</sub> (°)	φ <sub>Ca</sub> (°)	φ <sub>Ko</sub> (°)	φ <sub>DB</sub> (°)	φ <sub>DM</sub> (°)	φ <sub>Me</sub> (°)	F.L.	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	
0.2				1.85	0.04																		
0.4	60.0	56.1	3	1.85	0.07	104						100	43	43	41	38	45	32	2.00	100	150	180	
0.6	30.0	25.0	4	1.85	0.11	94	1.00	98.0	170	255	90	84	41	38	35	33	41	29	2.00	50	75	90	
0.8	50.0	74.6	3	1.85	0.15	108						95	43	39	36	34	42	31	2.00	83	125	150	
1.0	10.0	7.5	2	1.85	0.19	71	0.50	21.8	85	128	40												
1.2	10.0	21.3	2	1.85	0.22	73	0.50	17.3	85	128	40												
1.4	15.0	28.3	2	1.85	0.26	89	0.67	20.5	113	170	50												
1.6	17.0	21.3	2	1.85	0.30	91	0.72	19.2	123	184	54												
1.8	17.0	23.3	2	0.97	0.32	91	0.72	17.7	123	184	54												
2.0	20.0	25.0	4	0.93	0.33	97	0.80	18.7	136	204	60	43	36	30	27	25	34	27		33	50	60	
2.2	20.0	29.9	4	0.93	0.35	98	0.80	17.5	136	204	60	42	36	30	27	25	34	27		33	50	60	
2.4	17.0	12.1	2	0.97	0.37	93	0.72	14.4	123	184	54												
2.6	18.0	34.0	4	0.91	0.39	94	0.75	14.2	128	191	56	36	36	29	26	24	33	27		30	45	54	
2.8	16.0	23.9	2	0.96	0.41	95	0.70	12.2	118	177	52												
3.0	14.0	15.1	2	0.94	0.43	95	0.64	10.3	109	163	48												
3.2	14.0	15.1	2	0.94	0.45	96	0.64	9.8	109	163	48												
3.4	14.0	17.5	2	0.94	0.47	96	0.64	9.3	111	166	48												
3.6	11.0	13.8	2	0.91	0.48	90	0.54	7.1	121	181	42												
3.8	10.0	16.7	2	0.90	0.50	82	0.50	6.2	131	197	40												
4.0	9.0	15.0	2	0.88	0.52	82	0.45	5.2	142	213	38												
4.2	10.0	16.7	2	0.90	0.54	83	0.50	5.5	151	226	40												
4.4	10.0	18.9	2	0.90	0.56	83	0.50	6.0	146	220	47												
4.6	13.0	24.5	2	0.93	0.57	92	0.60	6.7	157	235	45												
4.8	12.0	25.5	2	0.92	0.59	93	0.57	6.0	170	256	38												
5.0	9.0	17.0	2	0.88	0.61	84	0.45	4.3	170	256	38												
5.2	11.0	27.5	2	0.91	0.63	94	0.54	5.2	173	259	42												
5.4	9.0	19.1	2	0.88	0.65	85	0.45	4.0	180	270	38												
5.6	6.0	11.3	1	0.46	0.66	85	0.30	2.4	34	51	9												
5.8	7.0	17.5	2	0.84	0.67	85	0.35	2.8	179	268	32												
6.0	8.0	24.2	2	0.86	0.69	86	0.40	3.2	191	287	35												
6.2	7.0	25.9	2	0.84	0.71	86	0.35	2.6	183	274	32												
6.4	6.0	22.2	2	0.82	0.72	86	0.30	2.1	166	250	29												
6.6	6.0	22.2	2	0.82	0.74	87	0.30	2.0	167	251	29												
6.8	9.0	27.3	2	0.88	0.76	87	0.45	3.3	211	317	38												
7.0	8.0	17.0	2	0.86	0.77	87	0.40	2.8	205	307	35												
7.2	6.0	11.3	1	0.46	0.78	87	0.30	1.9	36	55	9												
7.4	7.0	21.2	2	0.84	0.80	88	0.35	2.2	191	287	32												
7.6	7.0	21.2	2	0.84	0.82	88	0.35	2.2	193	289	32												
7.8	7.0	25.9	2	0.84	0.83	88	0.35	2.1	194	290	32												
8.0	7.0	17.5	2	0.84	0.85	88	0.35	2.1	195	292	32												
8.2	9.0	17.5	2	0.84	0.87	88	0.35	2.0	196	293	32												
8.4	9.0	22.5	2	0.88	0.88	89	0.45	2.7	232	348	38												
8.6	8.0	17.0	2	0.86	0.90	89	0.40	2.3	218	327	35												
8.8	7.0	13.2	1	0.46	0.91	89	0.35	1.9	43	64	11												
9.0	8.0	15.1	2	0.86	0.93	89	0.40	2.2	220	330	35												
9.2	10.0	21.3	2	0.90	0.95	90	0.50	2.8	253	380	40												
9.4	7.0	13.2	1	0.46	0.96	90	0.35	1.8	43	65	11												
9.6	8.0	20.0	2	0.86	0.97	90	0.40	2.1	223	334	35												
9.8	7.0	17.5	2	0.84	0.99	90	0.35	1.7	201	301	32												
10.0	10.0	25.0	2	0.90	1.01	90	0.50	2.6	261	392	40												
10.2	12.0	36.4	4	0.88	1.02	100	0.57	3.0	281	421	45		31	22	19	18	25	26		20	30	36	
10.4	12.0	36.4	4	0.88	1.04	100	0.57	3.0	284	425	45		31	22	19	18	25	26		20	30	36	
10.6	6.0	22.2	2	0.82	1.06	91	0.30	1.3	177	266	29												
10.8	6.0	30.0	4	0.82	1.07	91	0.30	1.3	178	266	29		31	18	15	14	25	26		10	15	18	
11.0	5.0	12.5	1	0.46	1.08	77	0.25	1.0	32	49	8												
11.2	5.0	18.5	2	0.80	1.10	77	0.25	1.0	150	225	25												
11.4	10.0	37.0	4	0.86	1.12	92	0.50	2.3	271	407	40		31	21	17	16	25	26		17	25	30	
11.6	11.0	40.7	4	0.87	1.13	102	0.54	2.5	286	429	42		31	21	18	17	25	26		18	28	33	
11.8	7.0	21.2	2	0.84	1.15	92	0.35	1.4	205	308	32												
12.0	5.0	10.6	1	0.46	1.16	78	0.25	0.9	33	49	8												
12.2	5.0	15.2	2	0.80	1.18	78	0.25	0.9	150	225	25												
12.4	5.0	15.2	2	0.80	1.19	78	0.25	0.9	150	225	25												
12.6	12.0	30.0	4	0.88	1.21	103	0.57	2.5	304	457	45		31	21	18	17	25	26		20	30	36	
12.8	13.0	27.7	2	0.93	1.23	103	0.60	2.6	317	475	47												
13.0	11.0	16.4	2	0.91	1.25	103	0.54	2.2	295	442	42												
13.2	13.0	17.8	2	0.93	1.27	103	0.60	2.5	321	481	47												
13.4	13.0	19.4	2	0.93	1.28	103	0.60	2.4	323	484	45												
13.6	12.0	15.0	2	0.92	1.30	104	0.57	2.2	312	468	42												
13.8	11.0	12.6	2	0.91	1.32	104	0.54	2.0	299	449	42												
14.0	10.0	13.7	2	0.90	1.34	94	0.50	1.8	284	428	40												
14.2	10.0	14.9	2	0.90	1.36	94	0.50	1.8	285	428	40												
14.4	9.0	12.3	2	0.88	1.37	94	0.45	1.6	261	392	38												
14.6	9.0	13.4	2	0.88	1.39	95	0.45	1.5	262	393	38												
14.8	14.0	20.9	2	0.94	1.41	113	0.64	2.3	345	517	48												
15.0	13.0	21.7	2	0.93	1.43	105	0.60	2.1	334	501	47												

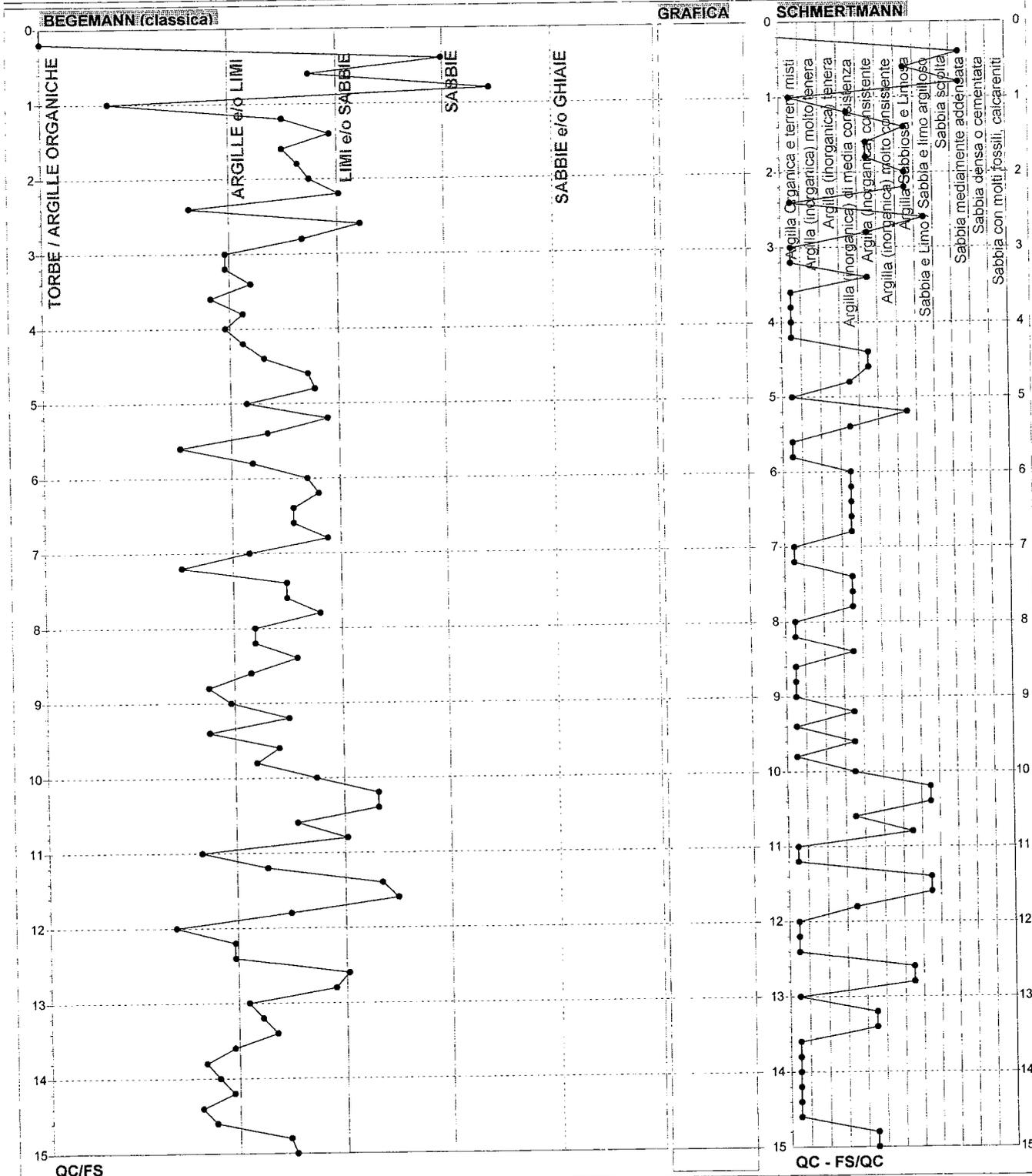
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT3</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm²**      Data esecuzione: **07/04/2006**  
Scala: **1:75**      Data certificato:  
Pagina: **1**      Preforo:  
Elaborato:      Falda: **-1,70 m**



Torbe / Argille organiche :	17 punti, 22,67%	Argilla Organica e terreni misti:	32 letture, 42,67%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	8 punti, 10,67%
Argille e/o Limi :	51 punti, 68,00%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso:	5 punti, 6,67%
Limi e/o Sabbie :	6 punti, 8,00%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	1 punti, 1,33%	Argilla (inorganica) media consistenza :	17 punti, 22,67%	Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 2,67%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	10 punti, 13,33%	Sabbia densa o cementata:	0 punti, 0,00%
		Argilla (inorganica) molto consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

FOND-020406-01

SILGEO s.a.s.

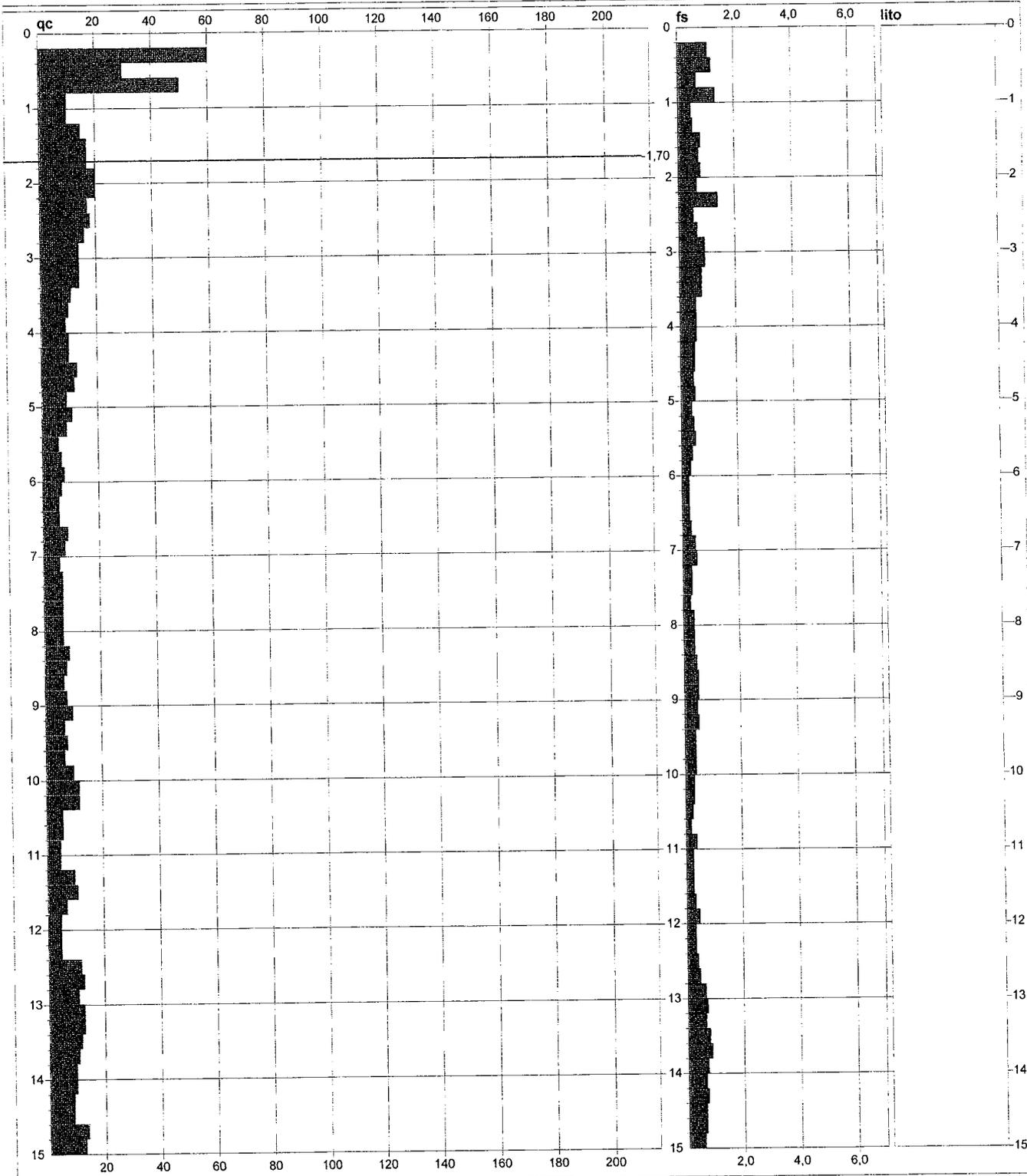
Via Torun 3/c - 44030 Malborghetto di Boara - Ferrara  
Tel e fax 0532/707196 - 335/6559327 - 335/314457

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT3</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **07/04/2006**  
Scala: **1:75**              Data certificato:  
Pagina: **1**                  Preforo:  
Elaborato:                  Falda: **-1,70 m**



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	<b>Litologia:</b> Personalizzata	<b>Quota ass.:</b>
Xr: m	Xg:	Penetrometro: SP200 20t Semovente cingolato	Corr.astine: kg/ml
Yr: m	Yg:	Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:	Assistente:	

FOND-020406-01



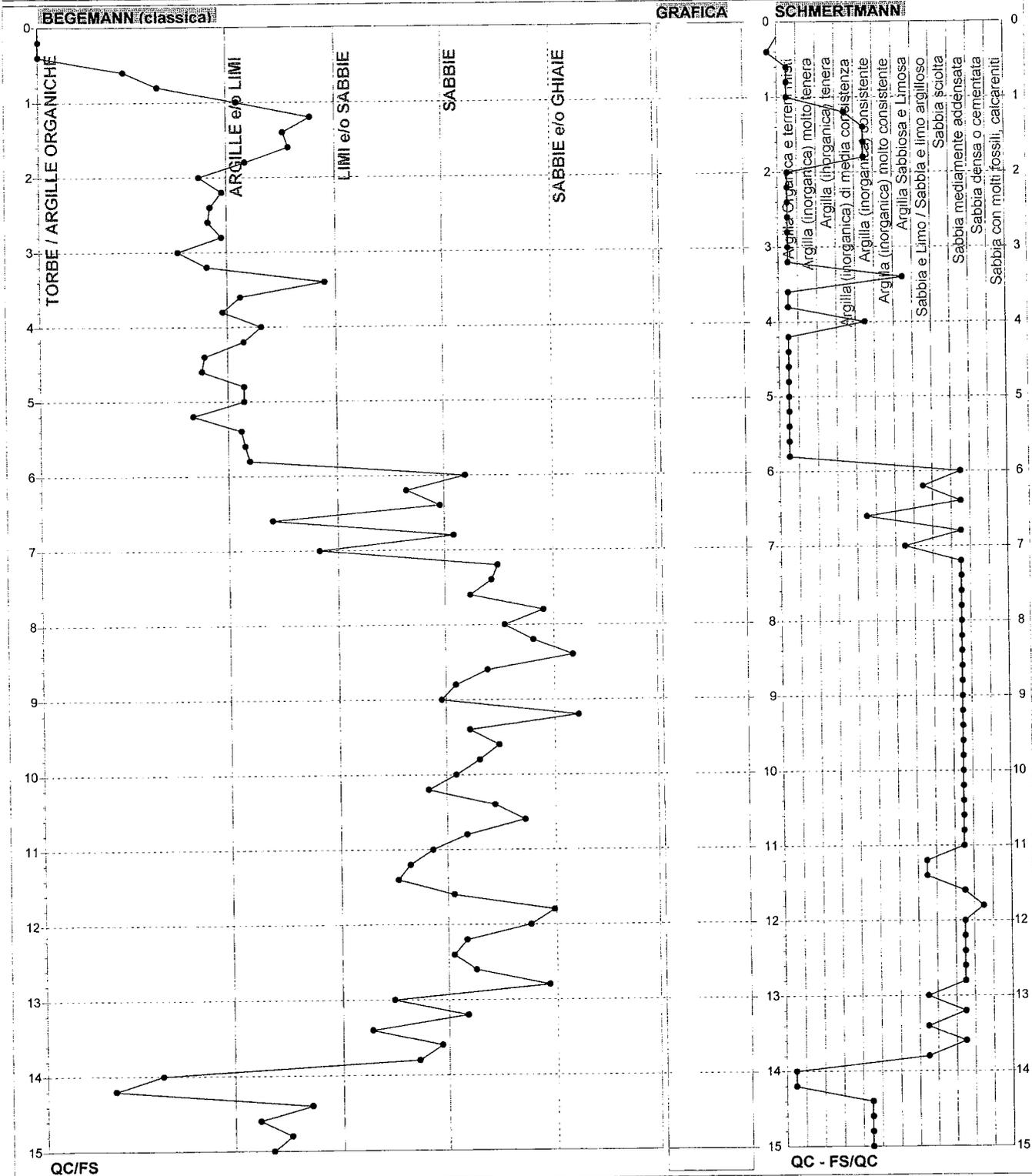
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT4</b>
referimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **07/04/2006**  
Scala: **1:75**            Data certificato:  
Pagina: **1**                Prefero:  
Elaborato:                 Falda: **-3,05 m**



Torbe / Argille organiche :	17 punti, 22,67%	Argilla Organica e terreni misti:	23 letture, 30,67%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	2 punti, 2,67%
Argille e/o Limi :	20 punti, 26,67%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso:	6 punti, 8,00%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 21,33%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	20 punti, 26,67%	Argilla (inorganica) media consistenza :	1 punti, 1,33%	Sabbia mediamente addensata:	31 punti, 41,33%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 2,67%	Argilla (inorganica) consistente:	9 punti, 12,00%	Sabbia densa o cementata:	1 punti, 1,33%
		Argilla (inorganica) molto consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

FOND-020406-01

SILGEO s.a.s.

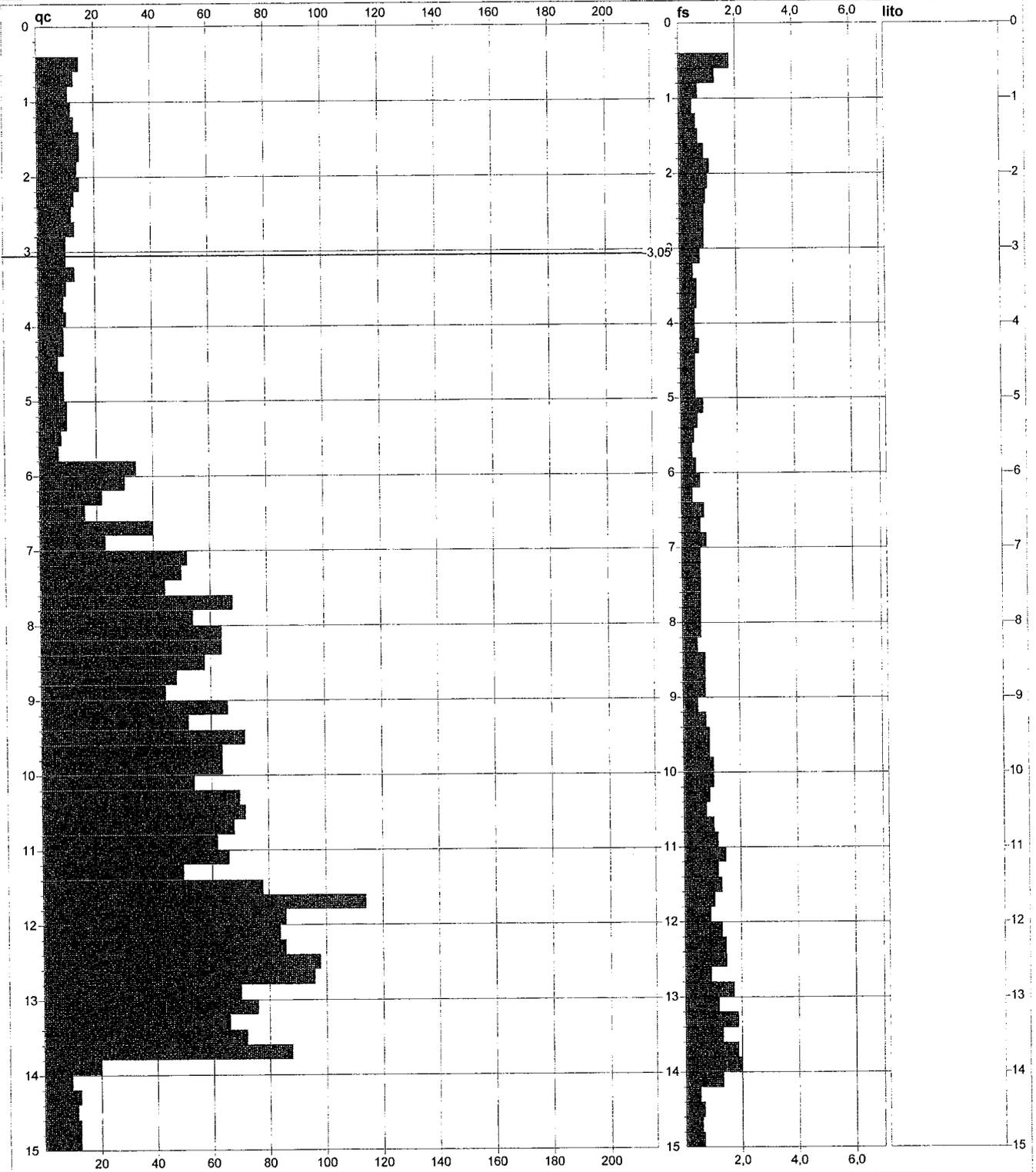
Via Torun 3/c - 44030 Malborghetto di Boara - Ferrara  
Tel e fax 0532/707196 - 335/6559327 - 335/314457

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT4</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **07/04/2006**  
Scala: **1:75**      Data certificato:  
Pagina: **1**      Preforo:  
Elaborato:      Falda: **-3,05 m**



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	<b>Litologia:</b> Personalizzata	<b>Quota ass.:</b>
Xr: m	Xg:	Penetrometro: SP200 20t Semovente cingolato	Corr.astine: kg/ml
Yr: m	Yg:	Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:	Assistente:	

FOND-020406-01



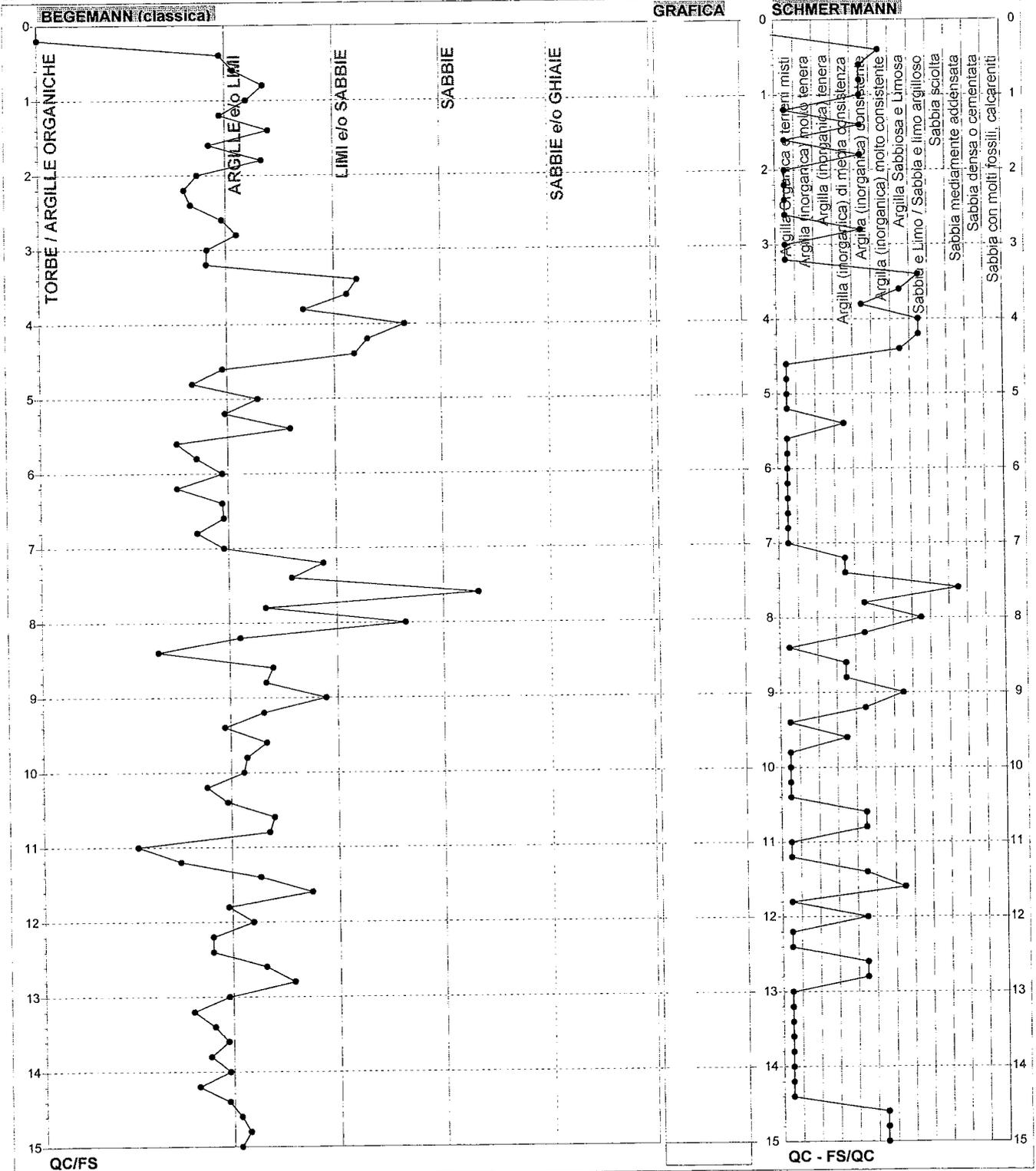
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT5</b>
referimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **07/04/2006**  
Scala: **1:75**              Data certificato:  
Pagina: **1**                Preforo:  
Elaborato:                 Falda: **-1,30 m**



Torbe / Argille organiche : 32 punti, 42,67%	Argilla Organica e terreni misti: 39 letture, 52,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa: 4 punti, 5,33%
Argille e/o Limi : 36 punti, 48,00%	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso: 4 punti, 5,33%
Limi e/o Sabbie : 6 punti, 8,00%	Argilla (inorganica) tenera: 0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta: 0 punti, 0,00%
Sabbie: 1 punti, 1,33%	Argilla (inorganica) media consistenza : 6 punti, 8,00%	Sabbia mediamente addensata: 1 punti, 1,33%
Sabbie e/o Ghiaie : 0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente: 16 punti, 21,33%	Sabbia densa o cementata: 0 punti, 0,00%
	Argilla (inorganica) molto consistente: 4 punti, 5,33%	Sabbia con molti fossili, calcareniti: 0 punti, 0,00%

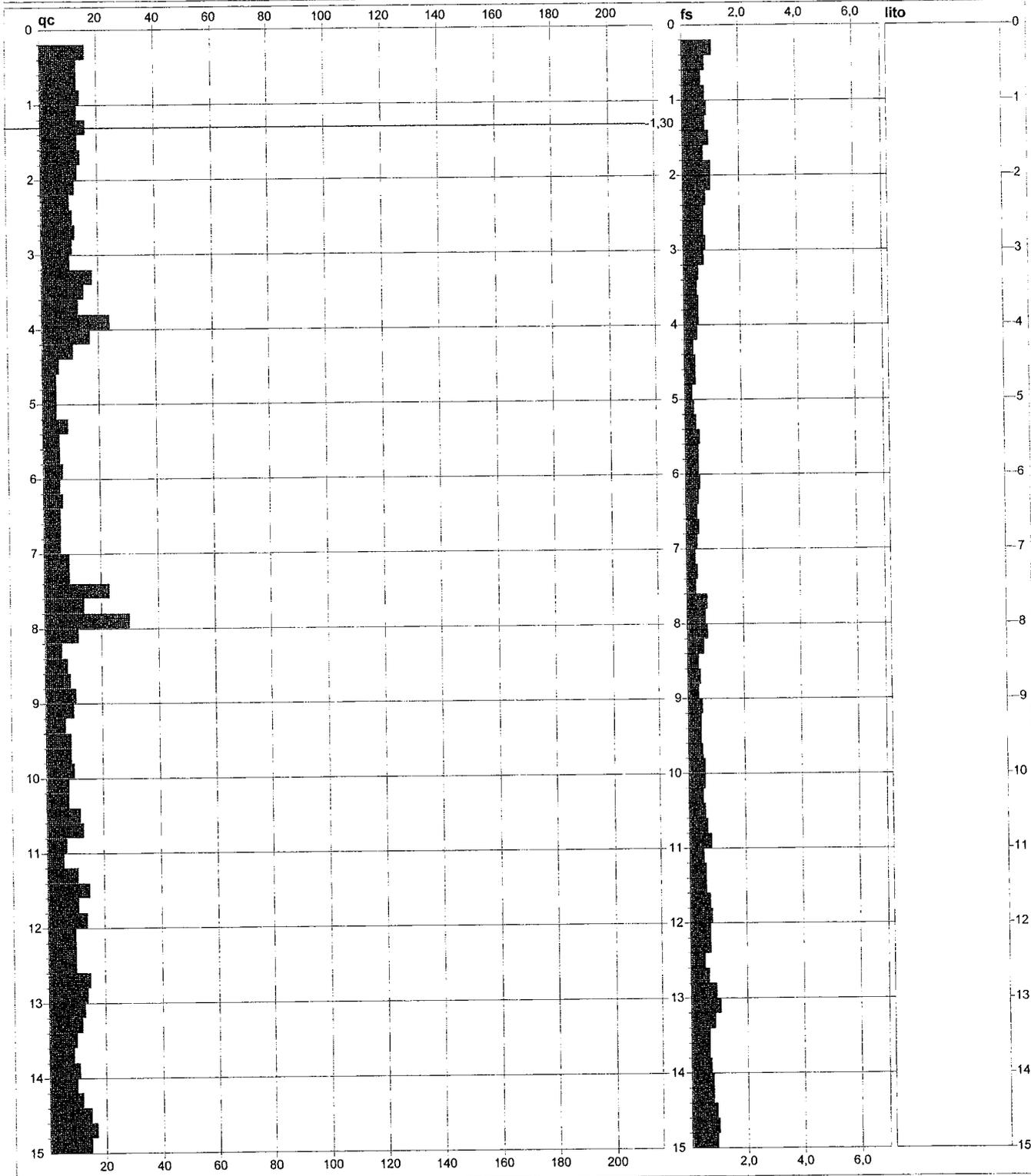
FOND-020406-01

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT5</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
 Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
 Località: **FERRARA**

U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esecuzione: <b>07/04/2006</b>
Scala: <b>1:75</b>	Data certificato:
Pagina: <b>1</b>	Preforo:
Elaborato:	Falda: <b>-1,30 m</b>



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	<b>Litologia:</b> Personalizzata	<b>Quota ass.:</b>
Xr: m	Xg:	Penetrometro: SP200 20t Semovente cingolato	Corr.astine: kg/ml
Yr: m	Yg:	Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:	Assistente:	

FOND-020406-01



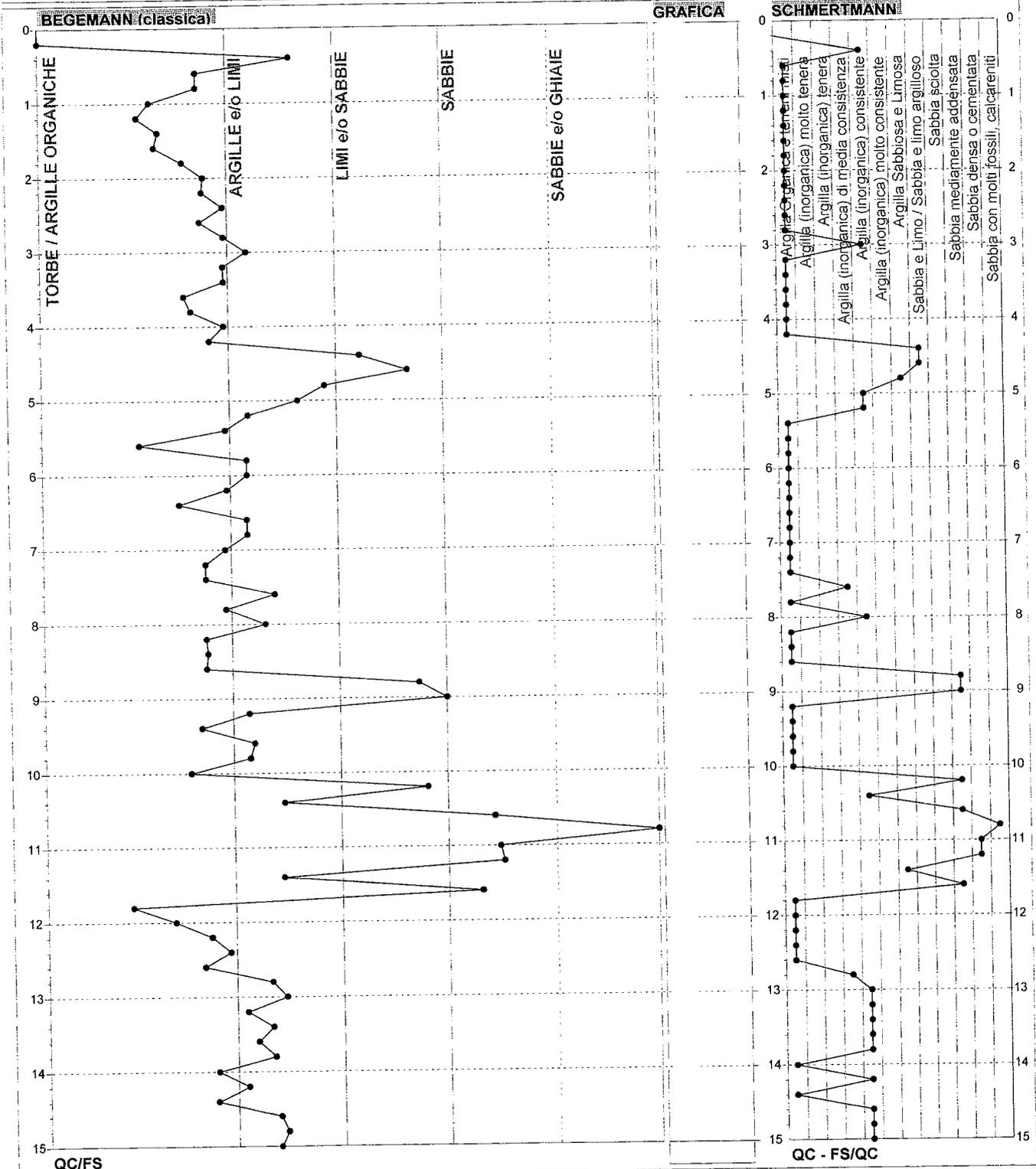
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT6</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
 Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
 Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **11/04/2006**  
 Scala: **1:75**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **-1,40 m**



Torbe / Argille organiche :	35 punti, 46,67%	Argilla Organica e terreni misti:	45 letture, 60,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	2 punti, 2,67%
Argille e/o Limi :	30 punti, 40,00%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso:	2 punti, 2,67%
Limi e/o Sabbie :	5 punti, 6,67%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	4 punti, 5,33%	Argilla (inorganica) media consistenza :	2 punti, 2,67%	Sabbia mediamente addensata:	5 punti, 6,67%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,33%	Argilla (inorganica) consistente:	15 punti, 20,00%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2,67%
		Argilla (inorganica) molto consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1,33%

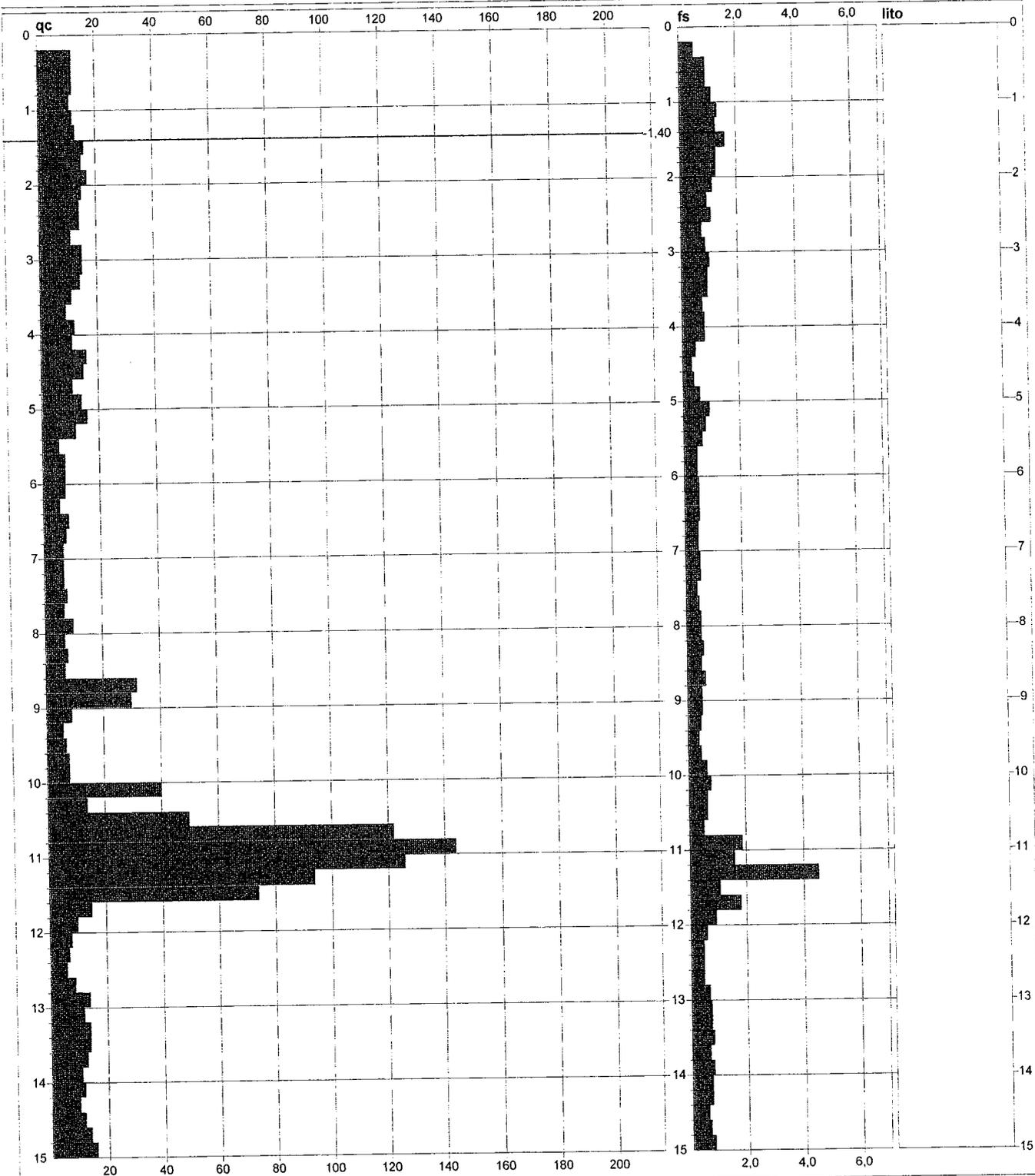
FOND-020406-01

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT6</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
 Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
 Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm²**      Data esecuzione: **11/04/2006**  
 Scala: **1:75**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **-1,40 m**



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	<b>Litologia:</b> Personalizzata	<b>Quota ass.:</b>
Xr: m	Xg:	Penetrometro: SP200 20t Semovente cingolato	Corr.astine: kg/ml
Yr: m	Yg:	Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:	Assistente:	

FOND-020406-01



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**PARAMETRI GEOTECNICI**

n°	<b>CPT7</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: <b>Ferrovie Emilia Romagna</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esecuzione: <b>11/04/2006</b>
Cantiere: <b>Stazione Porta Reno</b>	Scala:	Data certificato:
Località: <b>FERRARA</b>	Pagina: <b>1 2</b>	Preforo:
	Elaborato:	Falda: <b>-2,00 m</b>

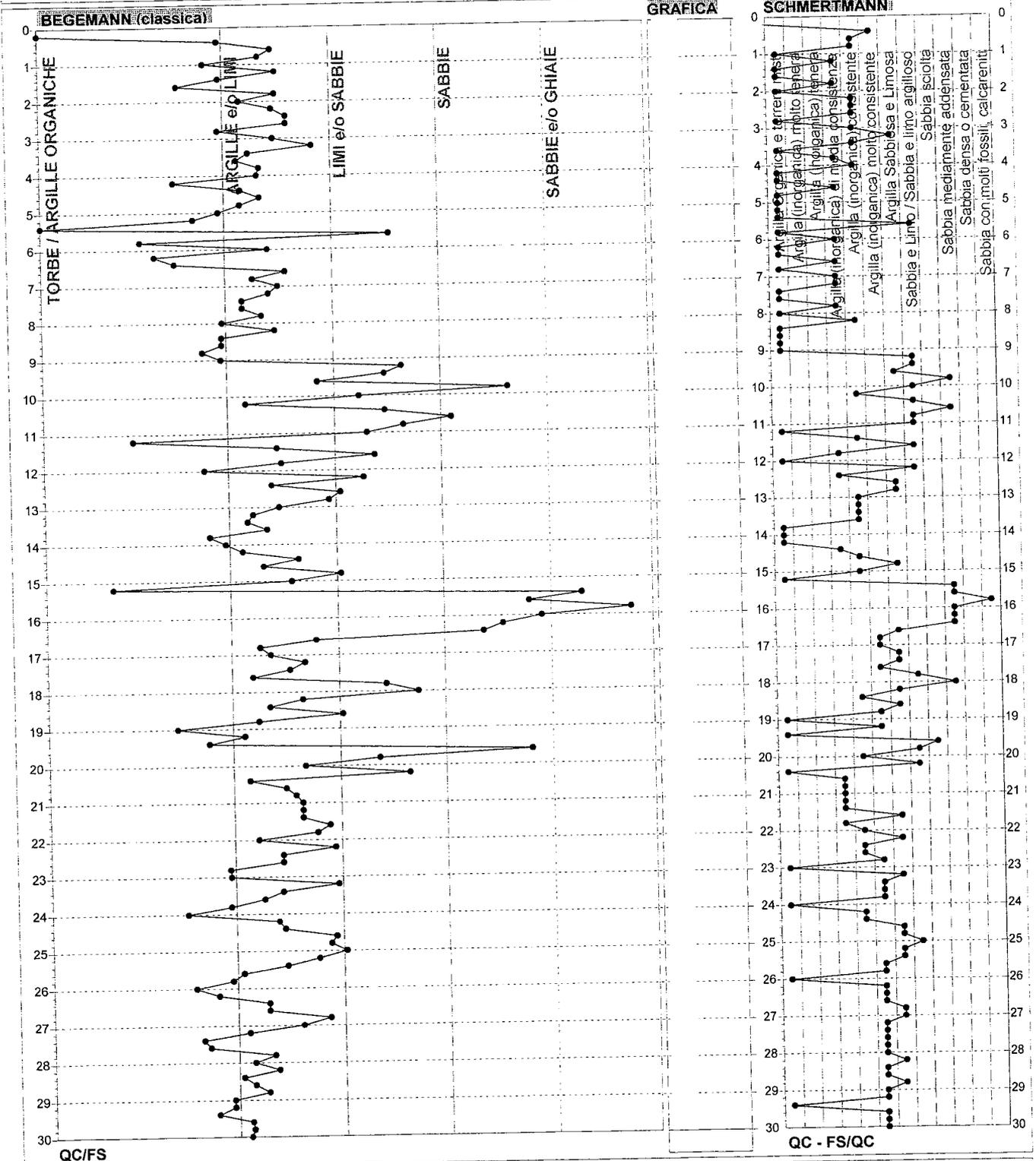
Prof. m	Qc kg/cm <sup>2</sup>	Qc/Fs	Zone	γ t/m <sup>3</sup>	σ <sub>vo</sub> kg/cm <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> m/s	NATURA COESIVA				NATURA GRANULARE						F.L.	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>		
							Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR kg/cm <sup>2</sup>	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	σ <sub>dr</sub> (°)	σ <sub>Ca</sub> (°)	σ <sub>Ko</sub> (°)	σ <sub>DB</sub> (°)					σ <sub>DM</sub> (°)	σ <sub>Me</sub> (°)
20.0	16.0	23.9	2	0.96	1.94	118	0.70	1.7	398	598	52											
20.2	18.0	45.0	4	0.91	1.95	118	0.75	1.9	424	636	56	31	21	17	16	25	27		30	45	54	
20.4	9.0	17.0	2	0.88	1.97	99	0.45	1.0	270	405	38											
20.6	7.0	21.2	2	0.84	1.99	99	0.35	0.7	210	315	32											
20.8	9.0	22.5	2	0.88	2.01	100	0.45	1.0	270	405	38											
21.0	11.0	23.4	2	0.91	2.02	110	0.54	1.2	319	478	42											
21.2	11.0	23.4	2	0.91	2.04	110	0.54	1.2	319	479	42											
21.4	11.0	23.4	2	0.91	2.06	111	0.54	1.2	319	479	42											
21.6	11.0	27.5	2	0.91	2.08	111	0.54	1.2	320	479	42											
21.8	12.0	25.5	2	0.92	2.10	111	0.57	1.2	339	508	45											
22.0	13.0	17.8	2	0.93	2.12	111	0.60	1.3	357	535	47											
22.2	17.0	28.3	2	0.97	2.14	119	0.72	1.6	418	627	54											
22.4	18.0	20.7	2	0.98	2.16	120	0.75	1.7	432	648	56											
22.6	18.0	20.7	2	0.98	2.16	120	0.75	1.7	432	649	56											
22.8	19.0	15.0	2	0.99	2.19	127	0.78	1.7	445	668	58											
23.0	15.0	15.0	2	0.95	2.21	120	0.67	1.4	391	587	50											
23.2	21.0	28.8	4	0.93	2.23	127	0.82	1.8	469	704	63	31	21	17	17	25	27		35	53	63	
23.4	22.0	20.6	4	0.93	2.25	133	0.85	1.8	480	721	66	31	21	18	17	25	28		37	55	66	
23.6	22.0	18.3	4	0.93	2.27	133	0.85	1.8	481	722	66	31	21	18	17	25	28		37	55	66	
23.8	19.0	15.0	2	0.99	2.29	127	0.78	1.6	448	673	58											
24.0	13.0	11.5	2	0.93	2.31	112	0.60	1.2	360	540	47											
24.2	12.0	20.0	2	0.92	2.33	112	0.57	1.1	341	512	45											
24.4	11.0	20.8	2	0.91	2.34	113	0.54	1.0	322	483	42											
24.6	15.0	28.3	2	0.95	2.36	121	0.67	1.3	394	591	50											
24.8	20.0	27.4	4	0.93	2.38	128	0.80	1.6	463	695	60	31	20	17	16	25	27		33	50	60	
25.0	36.0	30.0	4	0.99	2.40	149	1.20	2.6	625	937	108	15	33	23	20	19	26	30		60	90	108
25.2	44.0	25.4	4	1.00	2.42	156	1.47	3.4	680	1019	132	22	34	24	21	20	27	31		73	110	132
25.4	42.0	21.0	4	1.00	2.44	153	1.40	3.1	676	1013	126	20	34	24	21	19	27	30		70	105	126
25.6	30.0	16.0	4	0.96	2.46	145	1.00	2.0	558	837	90	9	32	22	19	18	25	29		50	75	90
25.8	30.0	15.0	4	0.96	2.48	145	1.00	2.0	559	839	90	8	32	22	19	18	25	29		50	75	90
26.0	24.0	12.0	4	0.94	2.50	135	0.89	1.7	510	765	72	1	31	21	18	17	25	28		40	60	72
26.2	22.0	13.8	4	0.93	2.52	135	0.85	1.6	490	735	66		31	21	17	16	25	28		37	55	66
26.4	20.0	18.7	4	0.93	2.54	129	0.80	1.5	467	701	60		31	20	17	16	25	27		33	50	60
26.6	20.0	18.7	4	0.93	2.55	129	0.80	1.5	468	701	60		31	20	17	16	25	27		33	50	60
26.8	36.0	27.1	4	0.99	2.57	150	1.20	2.4	642	964	108	14	33	23	20	18	26	30		60	90	108
27.0	46.0	23.0	4	1.01	2.59	161	1.53	3.3	724	1086	138	22	34	24	21	20	27	31		77	115	138
27.2	44.0	16.5	4	1.00	2.61	158	1.47	3.0	718	1077	132	20	34	24	20	19	27	31		73	110	132
27.4	30.0	12.5	4	0.96	2.63	146	1.00	1.9	567	850	90	7	32	22	18	17	25	29		50	75	90
27.6	26.0	13.0	4	0.95	2.65	136	0.93	1.7	534	801	78	2	31	21	18	17	25	28		43	65	78
27.8	36.0	19.3	4	0.99	2.67	151	1.20	2.3	651	976	108	13	33	23	19	18	25	29		57	85	102
28.0	34.0	17.0	4	0.98	2.69	147	1.13	2.1	627	940	102	11	33	23	19	18	26	30		60	90	108
28.2	42.0	19.7	4	1.00	2.71	155	1.40	2.7	718	1077	132	18	33	23	20	19	27	30		70	105	126
28.4	36.0	15.9	4	0.99	2.73	151	1.20	2.2	655	983	108	12	33	23	19	18	26	30		57	85	102
28.6	34.0	17.0	4	0.98	2.75	147	1.13	2.1	630	945	102	10	32	22	19	18	25	29		60	90	108
28.8	42.0	18.5	4	1.00	2.77	156	1.40	2.7	725	1088	136	17	33	23	20	19	26	30		70	105	126
29.0	28.0	15.0	4	0.96	2.79	143	0.97	1.7	556	835	84		31	20	17	16	25	28		47	70	84
29.2	24.0	15.0	4	0.94	2.81	137	0.89	1.5	519	778	72		31	20	16	15	25	27		40	60	72
29.4	20.0	13.6	4	0.93	2.83	131	0.80	1.3	473	709	60		31	20	16	15	25	27		33	50	60
29.6	20.0	16.7	4	0.93	2.85	131	0.80	1.3	473	710	60		31	19	16	15	25	27		33	50	60
29.8	19.0	16.8	2	0.99	2.87	132	0.78	1.2	460	690	58											
30.0	22.0	16.5	4	0.93	2.89	138	0.85	1.4	498	747	66		31	20	16	16	25	28		37	55	66

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT7</b>
referimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **11/04/2006**  
Scala: **1:150**      Data certificato:  
Pagina: **1**      Preforo:  
Elaborato:      Falda: **-2,00 m**



Torbe / Argille organiche :	34 punti, 22,67%	Argilla Organica e terreni misti:	35 letture, 23,33%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	21 punti, 14,00%
Argille e/o Limi :	91 punti, 60,67%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso:	13 punti, 8,67%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 10,67%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	1 punto, 0,67%
Sabbie:	7 punti, 4,67%	Argilla (inorganica) media consistenza :	18 punti, 12,00%	Sabbia mediamente addensata:	8 punti, 5,33%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 1,33%	Argilla (inorganica) consistente:	24 punti, 16,00%	Sabbia densa o cementata:	0 punti, 0,00%
		Argilla (inorganica) molto consistente:	27 punti, 18,00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punto, 0,67%

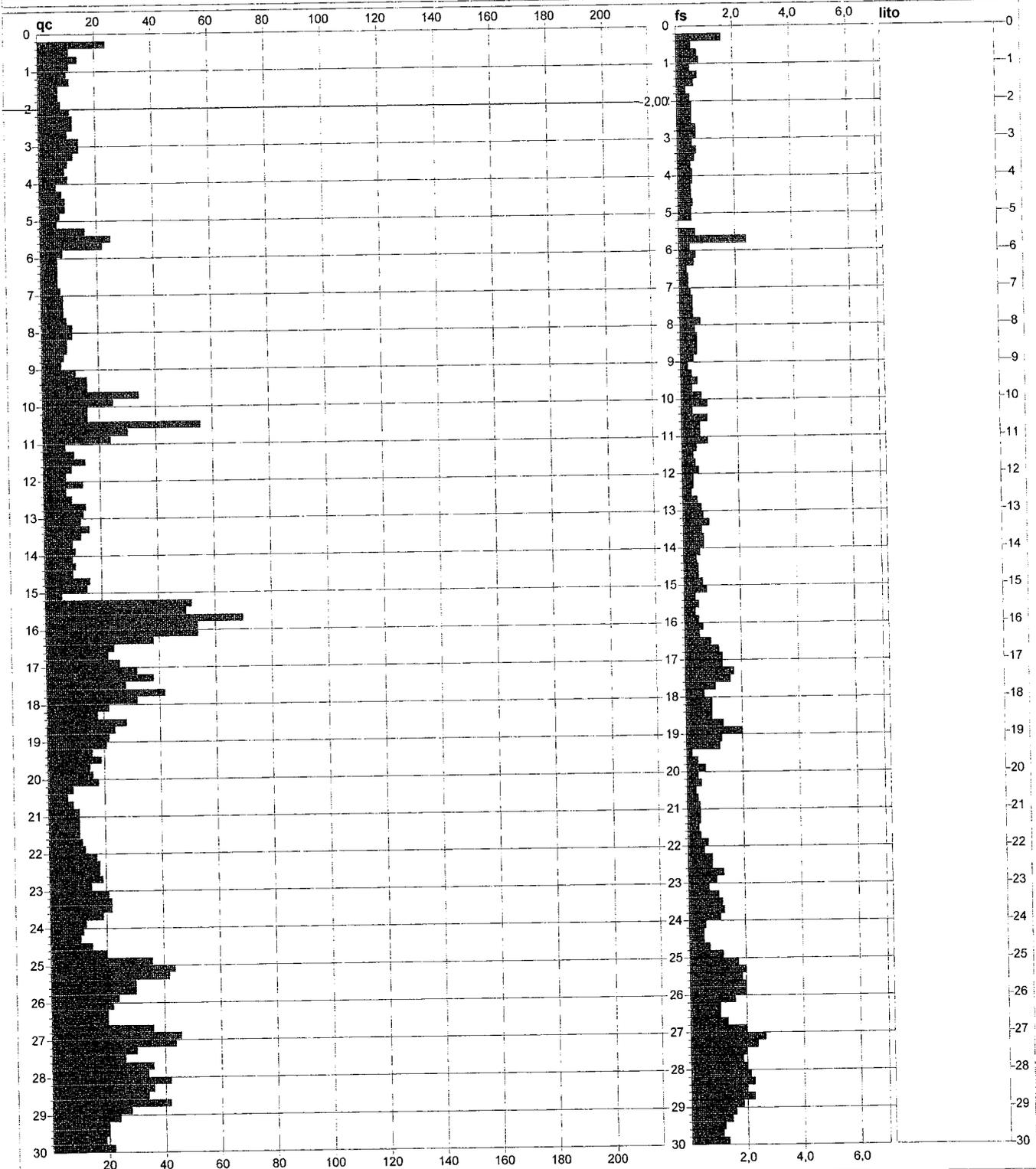
FOND-020406-01

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT7</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
 Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
 Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esecuzione: **11/04/2006**  
 Scala: **1:150**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **-2,00 m**



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	<b>Litologia:</b> Personalizzata	<b>Quota ass.:</b>
Xr: m	Xg:	Penetrometro: SP200 20t Semovente cingolato	Corr.astine: kg/ml
Yr: m	Yg:	Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:	Assistente:	

FOND-020406-01



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## PARAMETRI GEOTECNICI

n°	<b>CPT8</b>
riferimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm²** Data esecuzione: **11/04/2006**  
Scala: Data certificato:  
Pagina: **1 2** Preforo:  
Elaborato: Falda: **Non rilevata**

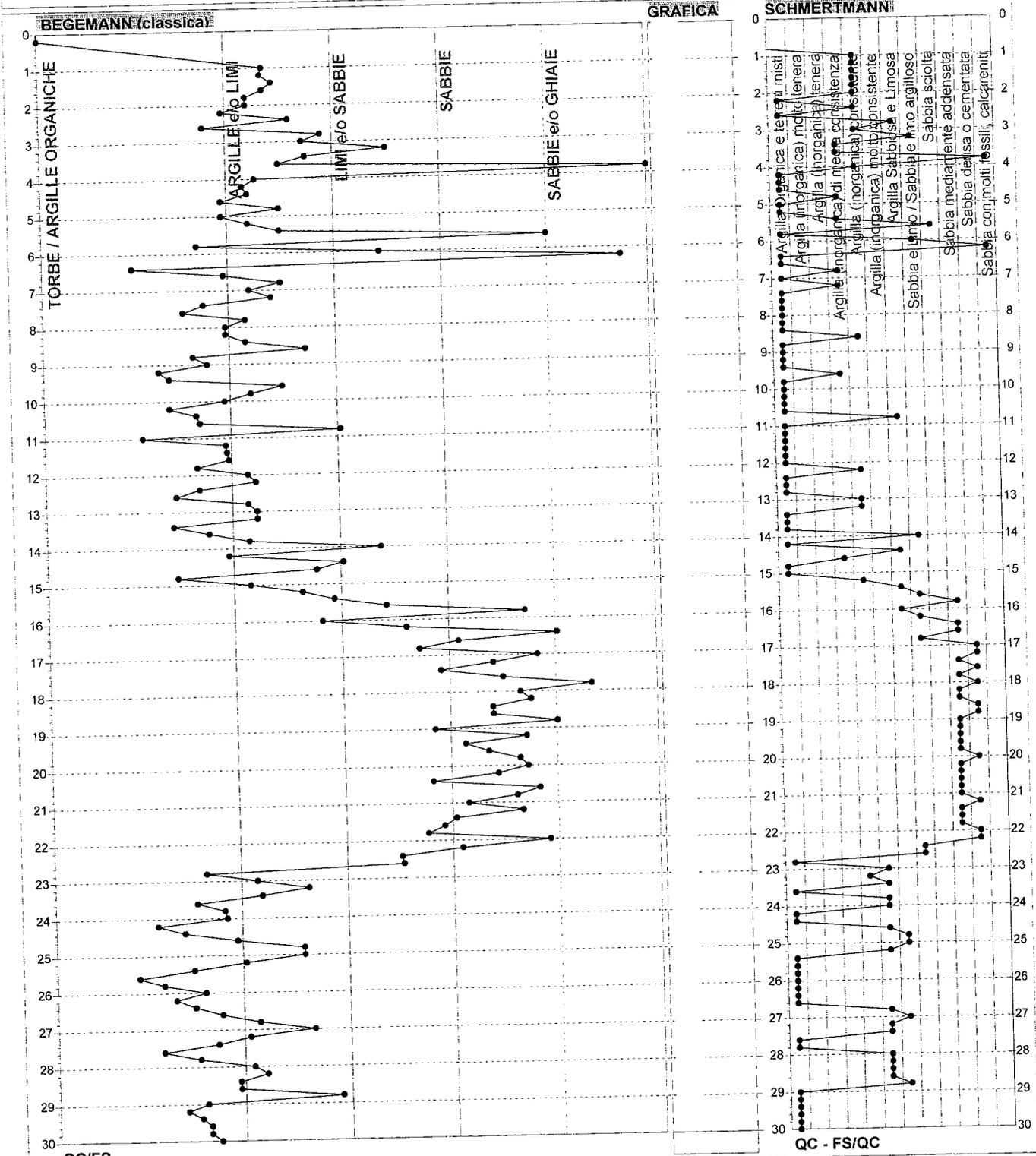
Prof. m	Qc kg/cm²	Qc/Fs	Zone	γ t/m³	σvo kg/cm²	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kg/cm²	OCR kg/cm²	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ødr (°)	øCa (°)	øKo (°)	øDB (°)	øDM (°)	øMe (°)	F.L.	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
20.0	120.0	90.2	3	1.85	3.74	214	--	--	--	--	46	37	27	24	22	31	35	2.00	200	300	360		
20.2	100.0	75.2	3	1.85	3.77	204	--	--	--	--	40	36	26	23	21	30	34	2.00	167	250	300		
20.4	74.0	50.3	3	1.85	3.81	189	--	--	--	--	29	35	25	21	20	28	32	2.00	123	185	222		
20.6	90.0	96.8	3	1.85	3.85	199	--	--	--	--	35	36	25	22	21	29	33	2.00	150	225	270		
20.8	90.0	84.1	3	1.85	3.89	199	--	--	--	--	35	35	25	22	21	29	33	2.00	150	225	270		
21.0	100.0	62.5	3	1.85	3.92	206	--	--	--	--	39	36	26	23	21	29	34	2.00	167	250	300		
21.2	128.0	87.1	3	1.85	3.96	239	--	--	--	--	47	37	27	24	22	31	35	2.00	213	320	384		
21.4	100.0	57.8	3	1.85	4.00	206	--	--	--	--	38	36	26	23	21	29	34	2.00	167	250	300		
21.6	86.0	53.8	3	1.85	4.03	200	--	--	--	--	33	35	25	22	20	28	33	2.00	143	215	258		
21.8	84.0	48.6	3	1.85	4.07	198	--	--	--	--	32	35	25	22	20	28	33	2.00	140	210	252		
22.0	164.0	102.5	3	1.85	4.11	255	--	--	--	--	55	38	28	25	23	32	37	2.00	273	410	492		
22.2	112.0	59.9	3	1.85	4.14	213	--	--	--	--	41	36	26	23	22	30	34	2.00	187	280	336		
22.4	66.0	41.3	3	1.85	4.18	186	--	--	--	--	23	34	23	20	19	27	32	2.00	110	165	198		
22.6	50.0	41.7	3	1.85	4.22	173	--	--	--	--	13	33	22	19	18	25	31	2.00	83	125	150		
22.8	20.0	12.5	4	FFF	1.85	4.26	139	0.80	0.8	480	720	60	--	--	--	--	--	2.00	33	50	60		
23.0	17.0	17.0	2	HHH	1.85	4.29	132	0.72	0.7	434	651	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
23.2	17.0	23.3	2	HHH	1.85	4.33	132	0.72	0.7	434	651	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
23.4	28.0	17.5	4	FFF	1.85	4.37	152	0.97	1.0	579	869	84	--	31	19	15	15	25	28	--	47	70	84
23.6	22.0	11.8	4	FFF	1.85	4.40	146	0.85	0.8	508	762	66	--	31	18	14	14	25	28	--	37	55	66
23.8	26.0	13.9	4	FFF	1.85	4.44	146	0.93	0.9	557	836	78	--	31	19	15	14	25	28	--	43	65	78
24.0	30.0	14.1	4	FFF	1.85	4.48	157	1.00	1.0	600	900	90	--	31	19	16	15	25	29	--	50	75	90
24.2	16.0	9.2	2	HHH	1.85	4.51	133	0.70	0.6	417	626	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
24.4	16.0	10.9	2	HHH	1.85	4.55	133	0.70	0.6	417	626	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
24.6	19.0	15.0	2	HHH	1.85	4.59	141	0.78	0.7	465	698	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
24.8	36.0	22.5	4	FFF	1.85	4.63	163	1.20	1.2	714	1072	108	--	31	20	16	16	25	30	--	60	90	108
25.0	48.0	22.5	4	FFF	1.85	4.66	175	1.60	1.6	923	1385	144	9	32	21	18	17	25	31	--	80	120	144
25.2	42.0	15.7	4	FFF	1.85	4.70	168	1.40	1.4	823	1235	126	4	32	21	17	16	25	30	--	70	105	126
25.4	25.0	11.5	4	FFF	1.85	4.74	148	0.93	0.8	557	836	78	--	31	18	15	14	25	28	--	43	65	78
25.6	17.0	8.2	2	HHH	1.85	4.77	134	0.72	0.6	434	651	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
25.8	14.0	9.5	2	HHH	1.85	4.81	134	0.64	0.5	382	573	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
26.0	18.0	12.2	2	HHH	1.85	4.85	134	0.75	0.6	450	675	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
26.2	13.0	10.2	2	HHH	1.85	4.88	125	0.60	0.5	363	544	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
26.4	13.0	11.5	2	HHH	1.85	4.92	125	0.60	0.5	363	544	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
26.6	18.0	13.5	2	HHH	1.85	4.96	134	0.75	0.6	450	675	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
26.8	17.0	17.0	2	HHH	1.85	5.00	134	0.72	0.6	434	651	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
27.0	38.0	23.8	4	FFF	1.85	5.03	169	1.27	1.1	756	1134	114	--	31	20	16	16	25	30	--	63	95	114
27.2	32.0	16.0	4	FFF	1.85	5.07	160	1.07	0.9	640	960	96	--	31	19	15	15	25	29	--	53	80	96
27.4	28.0	13.1	4	FFF	1.85	5.11	155	0.97	0.8	579	869	84	--	31	18	15	14	25	28	--	47	70	84
27.6	17.0	9.4	2	HHH	1.85	5.14	135	0.72	0.5	434	651	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
27.8	22.0	11.8	4	FFF	1.85	5.18	150	0.85	0.7	508	762	66	--	31	17	13	13	25	28	--	37	55	66
28.0	25.0	16.3	4	FFF	1.85	5.22	150	0.91	0.7	545	818	75	--	31	18	14	13	25	28	--	42	63	75
28.2	26.0	17.7	4	FFF	1.85	5.25	150	0.93	0.7	557	836	78	--	31	18	14	14	25	28	--	43	65	78
28.4	25.0	15.0	4	FFF	1.85	5.29	150	0.91	0.7	545	818	75	--	31	18	14	13	25	28	--	42	63	75
28.6	23.0	15.0	4	FFF	1.85	5.33	150	0.87	0.6	521	781	69	--	31	17	13	13	25	28	--	38	58	69
28.8	26.0	28.0	4	FFF	1.85	5.37	150	0.93	0.7	557	836	78	--	31	18	14	13	25	28	--	43	65	78
29.0	18.0	12.2	2	HHH	1.85	5.40	136	0.75	0.5	450	675	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.2	16.0	10.9	2	HHH	1.85	5.44	136	0.70	0.5	417	626	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.4	15.0	11.8	2	HHH	1.85	5.48	136	0.67	0.5	400	600	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.6	15.0	12.5	2	HHH	1.85	5.51	136	0.67	0.4	400	600	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.8	15.0	12.5	2	HHH	1.85	5.55	136	0.67	0.4	400	600	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
30.0	15.0	13.3	2	HHH	1.85	5.59	137	0.67	0.4	400	600	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT8</b>
referimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>** Data esecuzione: **11/04/2006**  
Scala: **1:150** Data certificato:  
Pagina: **1** Preforo:  
Elaborato: Falda: **Non rilevata**



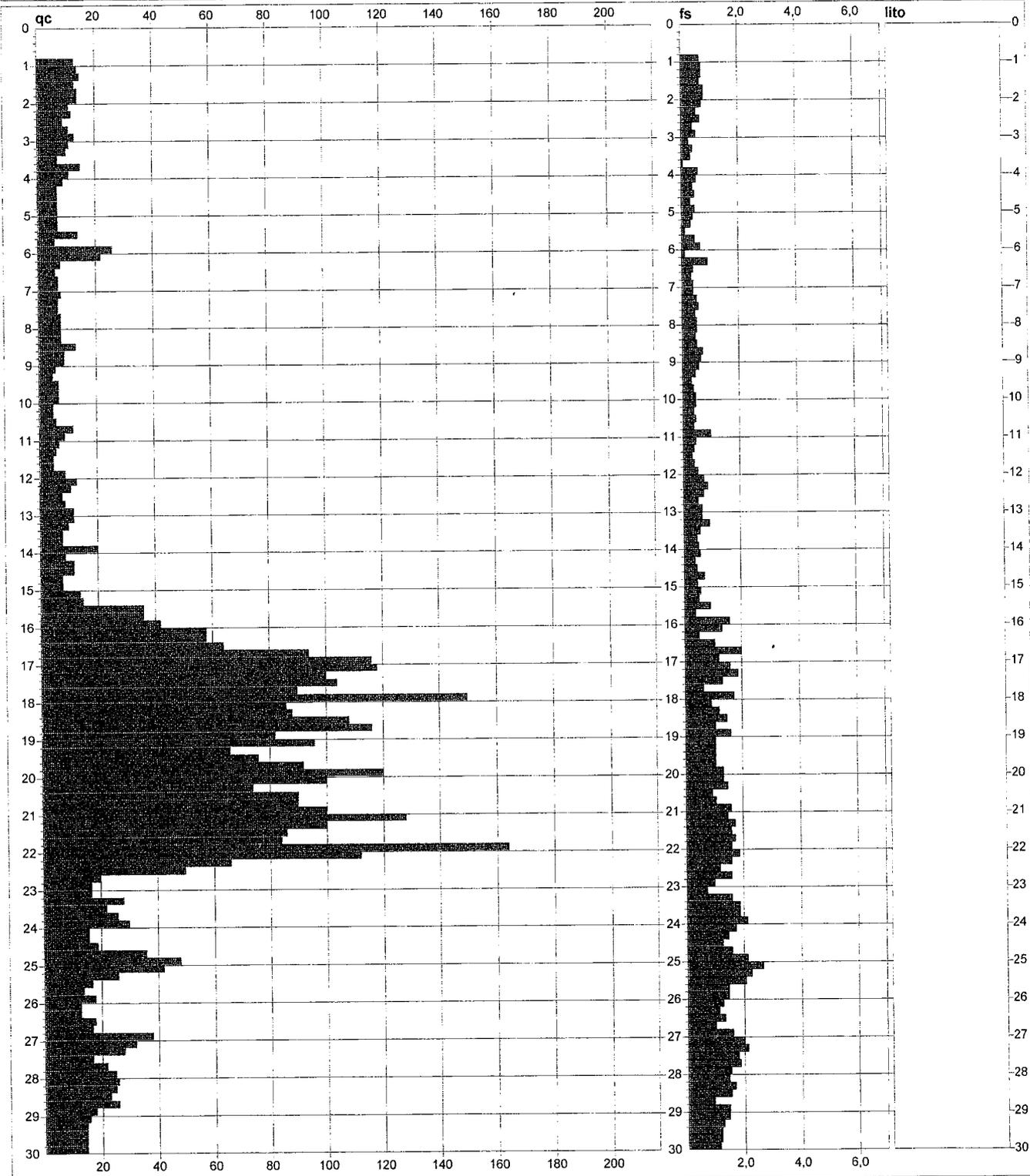
Torbe / Argille organiche :	54 punti, 36,00%	Argilla Organica e terreni misti:	60 letture, 40,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	9 punti, 6,00%
Argille e/o Limi :	55 punti, 36,67%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso:	8 punti, 5,33%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 10,67%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	1 punto, 0,67%
Sabbie:	22 punti, 14,67%	Argilla (inorganica) media consistenza :	8 punti, 5,33%	Sabbia mediamente addensata:	20 punti, 13,33%
Sabbie e/o Ghiaie :	3 punti, 2,00%	Argilla (inorganica) consistente:	15 punti, 10,00%	Sabbia densa o cementata:	10 punti, 6,67%
		Argilla (inorganica) molto consistente:	13 punti, 8,67%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	2 punti, 1,33%

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT8</b>
referimento	<b>024-06</b>
certificato n°	
n° verbale accett.	

Committente: **Ferrovie Emilia Romagna**  
 Cantiere: **Stazione Porta Reno**  
 Località: **FERRARA**

U.M.: **kg/cm²**      Data esecuzione: **11/04/2006**  
 Scala: **1:150**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **Non rilevata**



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	<b>Litologia:</b> Personalizzata	<b>Quota ass.:</b>
Xr: m	Xg:	Penetrometro: SP200 20t Semovente cingolato	Corr.astine: kg/ml
Yr: m	Yg:	Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:	Assistente:	

falda non rilevabile per foro chiuso

FOND-020406-01

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI FERRARA

COMUNE DI FERRARA



Piano Particolareggiato di iniziativa pubblica “AREA FORO BOARIO”, sottozona B4.6,  
in Comune di Ferrara.

**MODELLAZIONE GEOLOGICA (Parametri geotecnici)**

**Ai sensi del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del  
14 settembre 2005**

Committente : SETTORE DEL TERRITORIO E SVILUPPO ECONOMICO  
Unità Organizzativa Progettazione  
P.zza Municipio, 21 44100 Ferrara (FE)

Relatore : Dr. Geol. M. Condotta

rif. 04/2007

Ferrara, 28 marzo 2007

## INDICE

1.	Premessa	pag. 2
2.	Inquadramento geografico	pag. 3
3.	Normative, bibliografia e raccomandazioni di riferimento	pag. 4
4.	Inquadramento geologico regionale	pag. 5
5.	Inquadramento geologico locale	pag. 6
6.	Problematiche geologiche dell'area di intervento	pag. 8
7.	Ricostruzione geologica e geomorfologia del territorio in esame	pag. 9
8.	Caratteristiche sismiche	pag. 12
9.	Movimenti verticali del suolo ( <i>Subsidenza</i> )	pag. 16
10.	Programma delle indagini	pag. 18
	10.1 Prove penetrometriche (modalità esecutive)	pag. 20
	10.1.1 Elaborazione prove penetrometriche statiche	pag. 22
	10.2 Sondaggi geotecnici a carotaggio continuo	pag. 25
	10.2.1 Modalità esecutive	pag. 25
	10.2.2 Elaborazione sondaggi geotecnici	pag. 25
	10.2.3 Prelievo di campioni indisturbati	pag. 30
	10.2.4 Analisi di laboratorio	pag. 31
	10.3 Indagine sismica	pag. 35
	10.3.1 Modalità esecutive	pag. 35
	10.3.2 Analisi del segnale	pag. 36
	10.3.3 Classificazione secondo l'O.P.C.M. 3274	pag. 39
11.	Pericolosità geologica del territorio	pag. 41
12.	Liquefazione	pag. 42
	12.1 Stima del rischio di liquefazione, metodo di Robertson e Wride (1997)	pag. 45
13.	Caratteristiche geotecniche dei terreni	pag. 49
14.	Stati limite	pag. 50
	14.1 Stati limite ultimi (SLU)	pag. 50
	14.1.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)	pag. 50
	14.2 Stati limite di esercizio (SLE)	pag. 51
15.	Tipo di fondazioni	pag. 52
	15.1 Fondazioni superficiali	pag. 53
	15.2 Fondazioni profonde	pag. 54
16.	Considerazioni sui cedimenti	pag. 55
	16.1 Valutazione dei cedimenti prevedibili ( da prove cpt)	pag. 57
	16.2 Metodologia di valutazione dei cedimenti ( da prove edometriche)	pag. 58
17.	Considerazioni conclusive	pag. 60

- Figura 1 :** Stralcio C.T.R. "Ferrara Ovest" con ubicazione dell'area indagata  
**Figura 2 :** Inquadramento geologico regionale  
**Figura 3 :** Sezione geologica regionale  
**Figura 4 :** Schema tettonico della Regione Emilia-Romagna  
**Figura 5 :** Stralcio Carta Geomorfologia  
**Figura 6 :** Nuova zonizzazione sismica  
**Figura 7 :** Carta degli epicentri dei terremoti storici della Regione E.-R. (CPTI, 1999)  
**Figura 8 :** Carta strutturale della Pianura Padana orientale  
**Figura 9 :** Pianta di posizione delle indagini  
**Figura 10 :** Correlazione diagrammi di resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)  
**Figura 11 :** Linee isostatiche della pressione verticale - equazione di Bousinnesq

Allegati	1÷2	Lecture di campagna/valori di resistenza CPT
Allegati	3÷4	Diagramma di resistenza CPT
Allegati	5÷6	Tabella parametri geotecnici CPT
Allegati	7÷10	Schede stratigrafiche sondaggi
Allegati	11÷27	Analisi di laboratorio

## 1. **PREMESSA**

La modellazione geologica, del sito oggetto del presente lavoro, dovrà essere orientata alla ricostruzione dei caratteri strutturali, geologici, altimetrici, geomorfologici, litologici, idrogeologici e, più in generale di pericolosità geologica del territorio.

Deve, quindi, essere sviluppata in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte dei Progettisti, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e del programma dettagliato delle indagini.

Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza delle opere da realizzare che prevedono:

- edificio di testata sulla Via Foro Boario (parcheggio interrato, uso abitativo, uso commerciale/direzionale);
- edificio area interna (uso abitativo/direzionale);
- n. 2 edifici ad uso abitativo/direzionale).

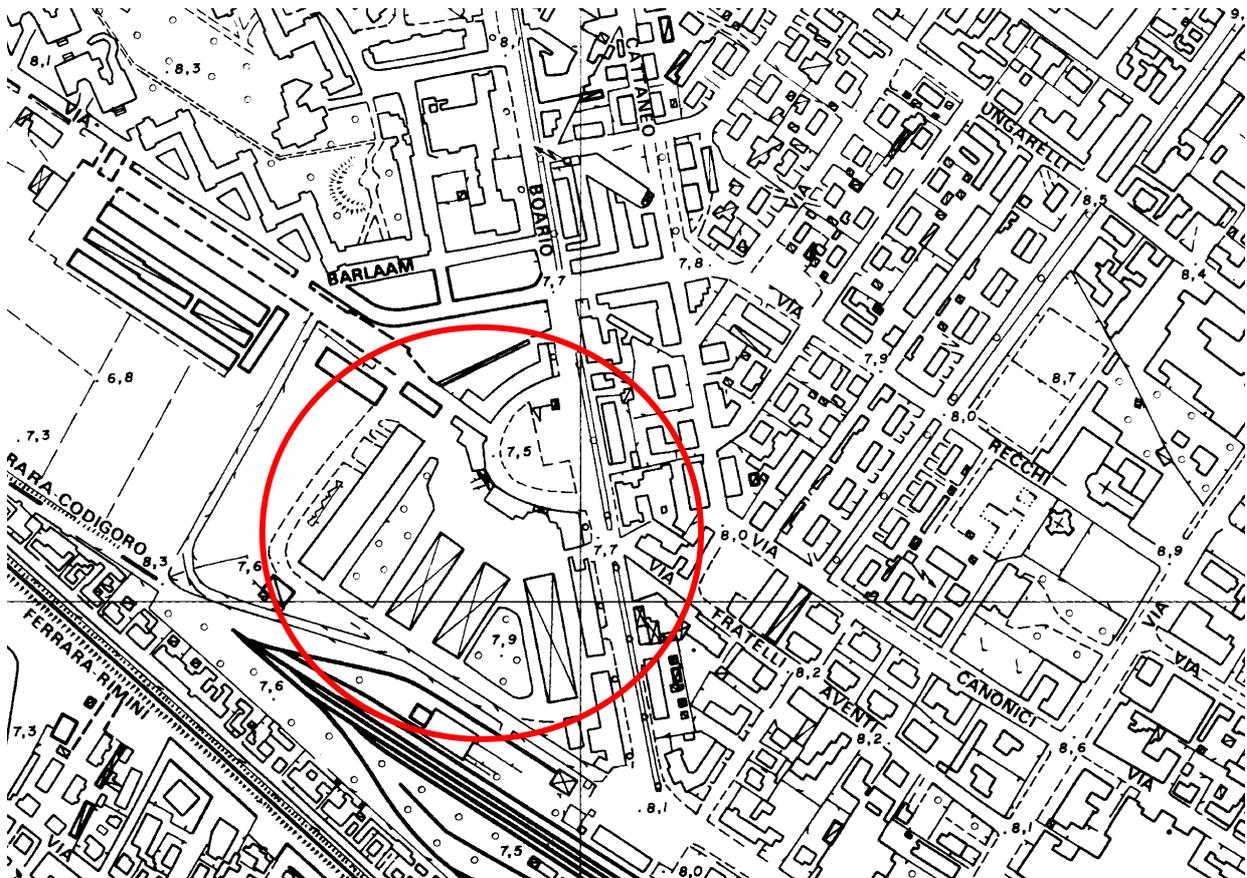
La presente relazione viene redatta su incarico e per conto della Committenza, per verificare l'idoneità dei terreni in esame fornendo, la parametrizzazione geotecnica, la verifica alla liquefazione e la nuova classificazione sismica dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Non essendo ancora note in questa fase le caratteristiche di progetto relativamente alle opere fondazionali ed ai carichi trasmessi nel sottosuolo, l'analisi che seguirà deve intendersi riferita alle caratteristiche fisiche del territorio nel suo complesso, mirata ad evidenziare eventuali emergenze ostative agli interventi che saranno progettati.

Per tali motivi la presente relazione non dovrà ritenersi in nessun caso sostitutiva degli approfondimenti geotecnici che dovranno essere redatti in sede di progettazione esecutiva.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona destinata all'intervento in oggetto (figura 1), è ubicata nel quadrante sud della città di Ferrara, compresa tra Via Foro Boario e la linea ferroviaria Ferrara-Rimini, ricadente nell'elemento n° 185164 della C.T.R. denominato "Ferrara Ovest".



**Figura 1** Stralcio C.T.R. elemento n. 185164 "Ferrara Ovest"

### **3. NORMATIVE, BIBLIOGRAFIA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO**

Legge 2 febbraio 1974 n° 64

“Provvedimenti per le costruzioni con particolare riguardo per le zone sismiche”

D.M. 16 gennaio 1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

Ordinanze P.C.M. 20 marzo 2003 n° 3274 e 2 ottobre 2003 n° 3316

“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

Ordinanza P.C.M. 3 maggio 2005 n° 3431

“...viene prorogato di ulteriori tre mesi il periodo transitorio nel corso del quale sarà possibile impiegare le norme di cui al D.M. 16 gennaio 1996...”

D.M. 14 settembre 2005

“Norme tecniche per le costruzioni”

Delibera di Giunta Regionale regione Emilia-Romagna n. 1677 del 24 ottobre 2005 relativa alle “Norme tecniche per le costruzioni”. Prime indicazioni applicative.

Provincia di Ferrara Settore Pianificazione Territoriale

Parere preventivo sugli strumenti di pianificazione urbanistica nelle zone sismiche di cui all’art. 37 della L.R. 31/’02. Prima fase applicativa.

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

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

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” Linee guida (marzo 2005).

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE



**Figura 2**

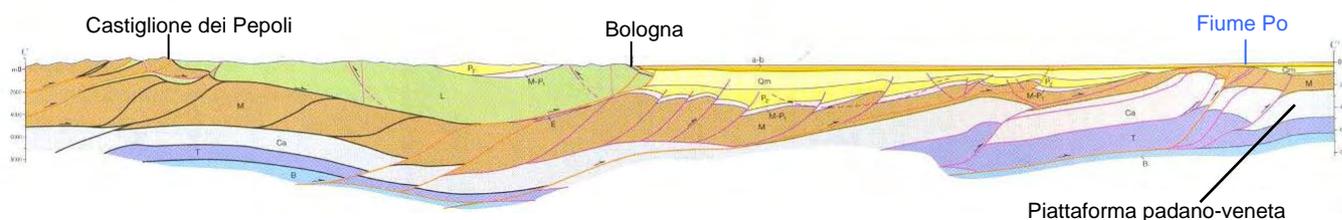
Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord (fig. 2).

Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati.

Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena – pianura (margine appenninico – padano), ma è individuabile negli archi estremi delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani (fig. 3).

**Sud**

**Nord**



**Figura 3**

Il vero fronte appenninico, quindi, situato circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano – veneta.

Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia – Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord – appenninica.

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Eurasiatica.

Si tratta, quindi, di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (*Liguridi*) e il dominio Tosco – Umbro – Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico (circa 200 M.ni di anni fa)

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

La Pianura Padana, al cui interno è inserita l'area in esame, è costituita da un cuneo di sedimenti depositi, ad iniziare dall'Eocene, in un bacino subsidente che veniva riempito progressivamente, dapprima solo con materiale proveniente dalla catena alpina e poi anche con materiale della catena appenninica, durante e dopo la loro rispettiva emersione.

La disposizione e l'assetto di tali sedimenti corrispondono alla più recente storia evolutiva tettonica e sedimentaria del bacino padano.

In particolare la formazione della piana alluvionale e del territorio del delta del Po rappresentano l'ultimo atto di tale evoluzione.

Dal punto di vista geologico – strutturale (fig.4), il bacino dell'attuale Pianura Padana tuttora subsidente, era compreso nel più ampio Bacino Padano – Adriatico, che corrisponde alla zona di subsidenza sin – orogenica e post – orogenica compresa tra le zone di sollevamento dell'Appennino e delle Alpi; strutturalmente il bacino padano può essere considerato in generale, come un'area di avanfossa, originatasi dalla progressiva subduzione della placca Africana verso quella Europea con probabile subduzione della interposta microplacca padano – adriatica soggetta ad un doppio fenomeno di compressione, al di sotto delle coltri appenniniche e sud alpine.

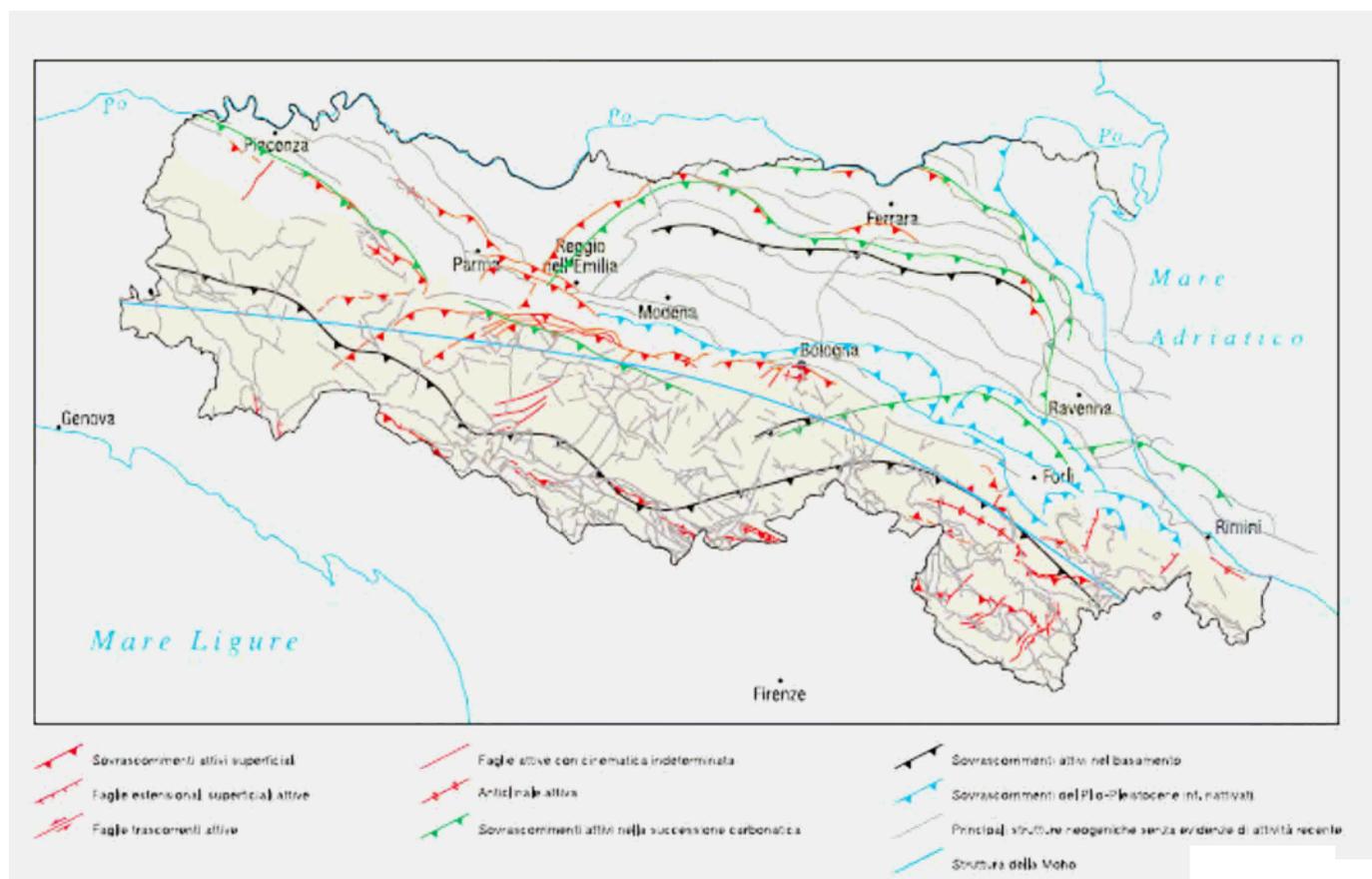
L'arco delle pieghe ferraresi – romagnole, ora sepolte dalla coltre alluvionale, reso noto dalle prospezioni del sottosuolo per ricerche di idrocarburi, è l'elemento strutturale più esterno dell'Appennino settentrionale, all'interno del quale si possono distinguere:

- le pieghe ferraresi, più esterne, con nucleo mesozoico molto sollevato e tettonizzato, in posizione elevata in sovrascorrimento sul Terziario, e serie terziarie di spessore generalmente ridotto o mancante;
- le pieghe romagnole relativamente più interne e le pieghe adriatiche, le quali si sviluppano prevalentemente nell'area marina.

Nel Pliocene inferiore, la zona ferrarese viene interessata da una moderata subsidenza, più accentuata in corrispondenza degli assi sinclinali esterni alle pieghe ferraresi.

Il mare di questo periodo copriva anche le strutture positive dell'area, sulle quali si depositavano spessori più esigui di sedimenti.

Nella zona intorno a Ferrara ed in corrispondenza del litorale attuale, lo spessore dei sedimenti pliocenici si aggira intorno ai 1000 metri, mentre il complesso di quelli quaternari supera quasi ovunque i 3000 metri, con massimi verso l'Adriatico.



**Figura 4** Schema tettonico della Regione Emilia-Romagna

## **6. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE DELL'AREA D'INTERVENTO**

Nel quadro geologico regionale, che verrà ampiamente delineato nei paragrafi successivi, la messa a fuoco, sull'area in esame, oggetto dell'intervento, porta ad individuare i seguenti aspetti di natura geologica da approfondire, anche in ottemperanza alle normative vigenti:

- i terreni di fondazione di natura sedimentaria di recente deposizione, incoerenti e disomogenei in senso verticale e orizzontale;
- tali terreni devono essere indagati nel dettaglio per stabilire le caratteristiche di consistenza, granulometriche, di resistenza alla compressione, della permeabilità, e nei loro rapporti geometrici in funzione degli spessori e della loro continuità laterale;
- previsione sulla naturale evoluzione nel tempo, ma soprattutto sulle risposte alle sollecitazioni imposte dai sovraccarichi legati alla costruendo opera;
- la situazione della falda freatica può determinare problemi ad eventuali strutture semi-interrate, con allagamenti in caso di eventi meteorici intensi: a tale scopo andrà verificato il livello e le possibili variazioni nel tempo;
- l'assetto geomorfologico e altimetrico può influenzare lo scolo degli afflussi meteorici e indirizzare la progettazione delle opere di urbanizzazione (collettamento verso gli scarichi);
- il quadro sismotettonico delineato e la nuova normativa sismica, impongono alcune verifiche di parametri significativi, per prevedere il comportamento dei terreni in caso di scosse sismiche (amplificazione locale, liquefazione).

## **7. RICOSTRUZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO IN ESAME.**

Il territorio di Ferrara è parte integrante della Pianura Padana, ed in quanto tale, il suo costituirsi, va visto nel contesto più generale della evoluzione geomorfologia Olocenica della pianura ferrarese, con particolare riguardo agli ultimi 3000 anni.

Il meccanismo di formazione e trasformazione di questo territorio è il frutto di processi geologici e geomorfologici che si sovrappongono, nello spazio e nel tempo, e che principalmente sono la sedimentazione fluviale e costiera, la subsidenza, le variazioni del livello marino.

Per evoluzione geomorfologia si intende specificatamente, la progradazione dell'apparato deltizio del Po, che fece seguito alla trasgressione Flandriana, con lo sviluppo di canali distributori, oggi rimasti come residui dossivi a far da limite a catini interfluviali morfologicamente depressi, anche in relazione al maggior tasso di subsidenza effetto della maggiore costipabilità dei sedimenti fini.

Un corso d'acqua naturale ormai giunto vicino alla foce, al momento della piena, deposita i sedimenti più grossolani, in questo caso sabbie e limi, entro l'alveo oppure al di fuori di esso se sussistono le condizioni per una sua tracimazione.

Appena l'acqua può espandersi perde energia e lascia gran parte del suo "carico" ai lati dell'alveo stesso, formando così degli argini naturali.

Le frazioni più fini dei materiali trasportati, restano in sospensione finché l'energia non diminuisce ancora fino ad annullarsi, dove l'acqua si ferma e ristagna.

Il volume minore occupato dalle granulometrie fini e la maggiore costipabilità dei sedimenti a cui danno origine causano, nel tempo, una differenziazione altimetrica tra gli alvei, che diventano pensili, ed i bacini di sedimentazione laterali che divengono via via depressioni a forma di catino delimitate dai tracciati fluviali.

La distribuzione sul territorio di queste forme geomorfologiche, condiziona anche il flusso della falda freatica: in genere i paleoalvei corrispondono a zone di distribuzione e di alimentazione della falda freatica, laddove i catini interfluviali corrispondono a zone di drenaggio e richiamo delle acque.

Dalla Carta Geomorfologica del Comune di Ferrara, (G. Bartolomei), di cui è visibile uno stralcio in *fig. 5*, e dalla Carta Geomorfologia del P.S.C. del 2003 (Bondesan), si può osservare come nell'area oggetto dell'intervento non siano riconoscibili strutture geomorfologiche fossili, in quanto completamente obliterate dall'intensa urbanizzazione succedutasi nel tempo.