

Comune di

## FERRARA

VISTO: SI ATTESTA L'AVVENUTO DEPOSITO AI SENSI  
DELL'ART. 4 DELLA LEGGE 109/1971 N° 1086 DEL

PROGETTO

N° 2814/06 22 MAG 2006

Briosco 01/03/2006

*I dati personali contenuti nel presente documento sono tutelati nei  
modi previsti dalla L. 675/96 e successive modificazioni.*

L'ADDETTO

“INTEGRAZIONE DEI DATI  
ESISTENTI AI FINI DELLA  
CLASSIFICAZIONE SISMICA  
AI SENSI DEL DM 14/9/2005.”

DR. GEOLOGO PIETRO VERGA

Dr. Geologo

PIETRO

n. 821

DR. LIVIO VOLONTIERI

## PREMESSA

La presente relazione è stata prodotta allo scopo di eseguire una caratterizzazione geotecnica di dettaglio sui terreni di proprietà della Ditta Petrolifera Estense S.p.A. siti in via Darsena in comune di Ferrara (Fe) su cui è prevista l'esecuzione di opere di scavo ed esecuzione di opere edificatorie.

L'analisi dei terreni naturali e delle loro caratteristiche litologiche e geotecniche è stata effettuata mediante l'esecuzione di prove penetrometriche statiche (già eseguite dalla committente); nel presente lavoro vengono ricercati ed assegnati ai terreni naturali il grado di liquefazione in presenza di sisma e la categoria sismica secondo quanto previsto dall'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 Marzo 2003.

Si è proceduto quindi a:

- Analisi di n° 5 prove penetrometriche statiche già eseguite dalla committente sull'area per verificare la presenza di strati incoerenti liquefacibili
- Verifica alla liquefazione per gli strati incoerenti
- Caratterizzazione sismica dei suoli ed assegnazione della categoria sismica ai suoli di fondazione

Le caratteristiche litologiche, di soggiacenza della falda e geotecniche dei terreni sono state desunte dai dati forniti dalla committente con le prove penetrometriche statiche; *l'area ricade nella classe III<sup>a</sup> della zonizzazione sismica nazionale (accelerazione  $g = 0,15$ )*

## CARATTERISTICHE GEOLOGICO – TECNICHE

Allo scopo di definire le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo del comparto edificatorio da utilizzare per l'attribuzione della categoria sismica, sono state utilizzate le prove statiche eseguite sull'area, e fornite dalla committente, opportunamente correlate con la resistenza dinamica della prova penetrometrica standard SPT. Dall'elaborazione successiva della resistenza penetrometrica dinamica standard si sono ricavati i valori medi di N SPT (numero di colpi del penetrometro standard) di ciascuna litozona in cui sono stati discretizzati i terreni naturali; i valori dei parametri trovati sono stati utilizzati poi per ricavare, secondo le relazioni di Otha e Goto e Motonori e Yoshida, previste dalla normativa, i valori di velocità delle onde s di ciascuno strato di terreno per poter poi stabilire la categoria sismica dei terreni di fondazione.

L'interpretazione dei dati penetrometrici ha permesso di risalire, anche se indirettamente visto l'utilizzo di correlazioni, alle grandezze indice dei terreni investigati: peso di volume, angolo di attrito interno, modulo edometrico ecc. Si sono pertanto potute distinguere quattro grandi "Litozone" abbastanza omogenee per caratteristiche tecniche medie, distinte in base ai valori medi di resistenza alla penetrazione (ricavata dalle prove statiche) ed ai parametri geotecnici medi.

In particolare è stato possibile distinguere:

### LITOZONA 1: argilla, argilla organica, argilla limosa o sabbiosa

Si ritrova in corrispondenza di tutte le verticali di prova. Presenta uno spessore variabile compreso tra 18.00 m. (P2, P4 e P5) e 19.00 m. (P3) con caratteristiche geotecniche di resistenza alla penetrazione scadenti.

Si caratterizza per:

| colpi/piede medio | Cu Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo edom. Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson | Modulo Taglio Kg/cm <sup>2</sup> | Peso volume T/m <sup>3</sup> |
|-------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|
| 4                 | 0,25                  | 18,35                           | 40,00                              | --             | --                               | 1,70                         |

Falda da circa 2,50 m.

### LITOZONA 2: sabbie

Presenta uno spessore variabile compreso tra 1.40 m. (P1) e 6.00 m. (P2 e P5) con caratteristiche geotecniche di resistenza alla penetrazione mediamente discrete.

Si caratterizza per:

| colpi/piede medio | Angolo att. ° | Modulo edom. Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson | Modulo Taglio Kg/cm <sup>2</sup> | Peso volume T/m <sup>3</sup> |
|-------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|
| 9 - 11            | 29 - 30       | 73 - 76                         | 40 - 51                            | 0,33           | 566 - 619                        | 1,75                         |

*Orizzonte saturo*

### LITAZONA 3: limo sabbioso argilloso, argilla limosa

Presenta uno spessore variabile compreso tra 4,00 m. (P2) e 10,00 m. (P4), (indeterminato in P5) con caratteristiche geotecniche di resistenza alla penetrazione mediocri.

Si caratterizza per:

| colpi/piede | Cu Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo edom. Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson | Modulo Taglio Kg/cm <sup>2</sup> | Peso volume T/m <sup>3</sup> |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|
| 8           | 0,54                  | 36,7                            | 80                                 | --             | --                               | 1,90                         |

*Orizzonte saturo*

### LITAZONA 4: sabbia

Di spessore indeterminato rappresenta l'orizzonte profondo in cui si sono intestate le prove statiche eseguite; presenta caratteristiche geotecniche di resistenza alla penetrazione mediamente buone.

Si caratterizza per:

| colpi/piede | Angolo att. ° | Modulo edom. Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson | Modulo Taglio Kg/cm <sup>2</sup> | Peso volume T/m <sup>3</sup> |
|-------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|
| 26 - 28     | 32 - 33       | 129 - 133                       | 177 - 182                          | 0,31           | 1111 - 1162                      | 2,00                         |

*Orizzonte saturo*

## VS30 E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI SUOLI

L'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 Marzo 2003 aggiorna la normativa sismica in vigore con l'attribuzione alle diverse località del territorio nazionale di un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento di accelerazione del suolo.

Tale Ordinanza propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante cinque tipologie di suolo denominate A – B – C – D – E, più altre due speciali denominate S1 ed S2, da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate ai primi 30 .00 m. di terreno (VS30).

Le VS30 sono state quindi calcolate mediante le correlazioni di OTHA e GOTO (1978) e di MOTONORI e YOSHIDA (1988) che permettono la determinazione delle onde di taglio a partire da prove penetrometriche dinamiche correlabili alle prove SPT. Si è pertanto proceduto alla correlazione della resistenza alla punta  $R_p$  ottenuta dalle prove penetrometriche statiche, fornite dalla committente, nei valori di resistenza penetrometrica del penetrometro standard SPT necessaria per il calcolo della categoria sismica dei suoli di fondazione.

La formula adottata nella conversione, proposta da **Meyerhof**, è stata:

$$R_p = n * SPT$$

mentre per i parametri di correlazione utilizzati nella conversione si è utilizzata la curva di correlazione fra resistenza penetrometrica statica e la resistenza penetrometrica dinamica proposta da **De Mello**: in particolare si è utilizzato:

**argille**                       $SPT = R_p/2$

**limi argillosi**             $SPT = R_p/2.5$

**sabbie**                       $SPT = R_p/4$

La relazione di calcolo per la determinazione delle VS30 è:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} h_i / V_i}$$

La normativa individua le seguenti categorie del suolo di fondazione:

**A > 800 m/s**

**B > 360 m/s**

**C > 180 m/s**

**D < 180 m/s**

**S<sub>1</sub> < 100 m/s**

**S<sub>2</sub> terreni liquefacibili o non ascrivibili alle altre categorie**

**E alluvioni tra 5 e 20 metri su substrato rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s)**

Di seguito si riporta, per ciascuna prova penetrometrica statica eseguita in funzione del valore di SPT ricavato dalle correlazioni, la tabella con le comparazioni dei metodi utilizzati e la categoria del suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n° 3274 del 20 Marzo 2003.

#### **V<sub>s30</sub> S.C.P.T. 1**

| Metodo di calcolo V <sub>s30</sub>                      | Valori V <sub>s30</sub> in metri al secondo | Categoria del suolo |
|---|---|---------------------|
| V <sub>s30</sub> desunto da Nspt con Otha e Goto        | 225,77                                      | C                   |
| V <sub>s30</sub> desunto da Nspt con Yoshida e Motonori | 141,49                                      | D                   |

#### **V<sub>s30</sub> S.C.P.T. 2**

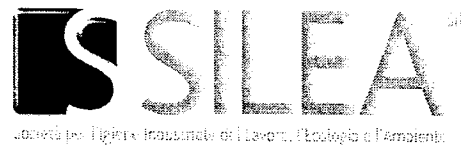
| Metodo di calcolo Vs30                      | Valori Vs30 in metri al secondo | Categoria del suolo |
|---|---------------------------------|---------------------|
| Vs30 desunto da Nspt con Otha e Goto        | 221,05                          | C                   |
| Vs30 desunto da Nspt con Yoshida e Motonori | 136,48                          | D                   |

#### **V<sub>s30</sub> S.C.P.T. 3**

| Metodo di calcolo Vs30                      | Valori Vs30 in metri al secondo | Categoria del suolo |
|---|---------------------------------|---------------------|
| Vs30 desunto da Nspt con Otha e Goto        | 216,2                           | C                   |
| Vs30 desunto da Nspt con Yoshida e Motonori | 124,58                          | D                   |

Sede legale:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 29  
Sede operativa e amministrativa:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 33/35  
Tel. 02.40095293 - Fax 02.40094637

C.F. e P.IVA 11634000159  
Iscr. al registro imprese di MI n. 11634000159  
Iscritta al REA n. 1485547  
Capitale sociale 10.400,00 Euro int. vers.  
[http:// www.sileasrl.it](http://www.sileasrl.it)



#### $V_{s30}$ S.C.P.T. 4

| Metodo di calcolo $V_{s30}$                      | Valori $V_{s30}$ in metri al secondo | Categoria del suolo |
|--|--------------------------------------|---------------------|
| $V_{s30}$ desunto da Nspt con Otha e Goto        | 218,05                               | C                   |
| $V_{s30}$ desunto da Nspt con Yoshida e Motonori | 126,71                               | D                   |

#### $V_{s30}$ S.C.P.T. 5

| Metodo di calcolo $V_{s30}$                      | Valori $V_{s30}$ in metri al secondo | Categoria del suolo |
|--|--------------------------------------|---------------------|
| $V_{s30}$ desunto da Nspt con Otha e Goto        | 221,44                               | C                   |
| $V_{s30}$ desunto da Nspt con Yoshida e Motonori | 127,26                               | D                   |

Sede legale:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 29  
Sede operativa e amministrativa:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 33/35  
Tel. 02.40095293 - Fax 02.40094637

C.F. e P.IVA 11634000159  
Iscr. al registro imprese di MI n. 11634000159  
Iscritta al REA n. 1485547  
Capitale sociale 10.400,00 Euro int. vers.  
[http:// www.sileasrl.it](http://www.sileasrl.it)



## LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il termine liquefazione viene usato per definire un processo in cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Sono soprattutto le azioni dinamiche a disturbare l'equilibrio dello scheletro solido orientando le particelle del terreno, immerse in acqua, verso un maggiore addensamento.

Le particelle di terreno sotto la vibrazione, si dispongono infatti facilmente in un nuovo assetto ed in questa fase di transizione perdono contatto fra di loro e quindi sono "flottanti" temporaneamente nell'acqua perdendo ogni funzione portante, che invece è totalmente demandata all'acqua contenuta nello scheletro solido.

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permeabilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a sfuggire mentre avviene la riduzione di volume e quindi le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito; di qui la liquefazione del terreno e lo sprofondamento delle opere.

Subito dopo l'intervento della causa di liquefazione, la portanza è quindi nulla e ciò fintantoché le particelle di terreno non abbiano ristabilito il contatto tra loro; il processo è più o meno lungo a seconda della permeabilità del terreno e dell'intensità e durata del sisma. Il fenomeno della liquefazione si verifica per stratificazioni superficiali; a profondità di 10.00 m. – 15.00 m. può dirsi che esso sia escluso a causa dell'addensamento prodotto dalla pressione geostatica.

Di seguito viene calcolato il potenziale di liquefazione per i terreni naturali incoerenti sia partendo da valori della resistenza dinamica (desunta da prove statiche) che partendo dalle prove statiche eseguite sull'area; i calcoli per la determinazione del potenziale di liquefazione vengono proposti secondo i diversi autori e possono essere confrontati tra loro per avere un quadro più esauriente del fenomeno.



## POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Sulla base dei dati desunti dalle prove penetrometriche statiche e dai relativi parametri ricavati dalle correlazioni eseguite si propone una verifica alla liquefazione basata sulla resistenza penetrometrica dinamica (desunta) secondo il metodo di **SHI MING (1982)** che permette di calcolare, utilizzando i dati SPT, il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi) ed il metodo del **C.N.R. - GNDT (da Seed e Idriss)**. Attraverso la relazione di SHI-MING (1982), applicabile a terreni sabbiosi con poco fine, la liquefazione risulta possibile solamente se il numero di colpi  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di SHI-MING e se lo strato risulta immerso. Con il metodo del C.N.R. - GNDT (da Seed e Idriss) invece la liquefazione di un deposito sabbioso sotto falda è assente se:

- il valore di  $N_{spt}'$  (corretto-normalizzato) è  $> 25$  con contenuto fine assente;
- il valore di  $N_{spt}'$  (corretto-normalizzato) è  $> 20$  con contenuto fine  $> 10\%$ ;
- Lo strato saturo si trova a profondità  $> 15$  mt. dal p.c.;
- Il contenuto in fine argilloso (CF %)  $> 20\%$ ;
- L'indice plastico è  $> 10$ ;
- L'Accelerazione max. al suolo è  $< 0,15$  g;
- Gli strati sabbiosi non sono estesi e spessi.

In entrambi i metodi presi in considerazione per la stima dinamica del potenziale di liquefazione in condizioni dinamiche (derivate cioè dalle prove statiche eseguite) gli strati sabbiosi sono stati considerati puramente incoerenti, cioè con contenuto di argilla pari a 0,00 % mentre nel solo metodo del C.N.R. è stato applicato il fattore di correzione di Sano che apporta una riduzione all'angolo d'attrito in funzione della categoria sismica e, quindi, dell'accelerazione sismica orizzontale.

Di seguito, per le verticali di prova P3, P4 e P5 (falda presente) si riportano, per i soli strati sabbiosi (incoerenti) le verifiche alla liquefazione secondo i due differenti autori.

### Liquefazione Metodo di Shi-Ming (1982) - P3

| Litozona | VII<br>$N_{spt}$<br>critico | VIII<br>$N_{spt}$<br>critico | IX<br>$N_{spt}$<br>critico | X<br>$N_{spt}$<br>critico | Condizione                                     |
|----------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| 2        | 15,63                       | 26,05                        | 41,68                      | 62,52                     | Liquefazione<br>possibile al VII°<br>Mercalli  |
| 4        | 21,39                       | 35,65                        | 57,04                      | 85,56                     | Liquefazione<br>possibile al VIII°<br>Mercalli |

### Liquefazione - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss - P3

Svo: Pressione totale di confinamento; S'vo: Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

| Litozona | Prof. Strato (m) | Nspt  | Nspt'  | Svo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | S'vo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | T     | R     | Fs   | Condizione:               |
|----------|------------------|-------|--------|---------------------------|----------------------------|-------|-------|------|---------------------------|
| 2        | 22,00            | 11,00 | 6,211  | 4,051                     | 2,311                      | 0,115 | 0,104 | 0,91 | Livello liquefacibile     |
| 4        | 34,80            | 28,00 | 11,232 | 6,558                     | 3,538                      | 0,086 | 0,141 | 1,64 | Livello non liquefacibile |

### Liquefazione Metodo di Shi-Ming (1982) - P4

| Litozona | VII Nspt critico | VIII Nspt critico | IX Nspt critico | X Nspt critico | Condizione                               |
|----------|------------------|-------------------|-----------------|----------------|--|
| Strato 2 | 14,55            | 24,25             | 38,8            | 58,2           | Liquefazione possibile al VIII° Mercalli |
| Strato 4 | 20,76            | 34,6              | 55,36           | 83,04          | Liquefazione possibile al VIII° Mercalli |

### Liquefazione - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss - P4

Svo: Pressione totale di confinamento; S'vo: Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

| Litozona | Prof. Strato (m) | Nspt  | Nspt'  | Svo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | S'vo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | T     | R     | Fs   | Condizione:               |
|----------|------------------|-------|--------|---------------------------|----------------------------|-------|-------|------|---------------------------|
| 2        | 21,00            | 13,00 | 7,994  | 3,914                     | 2,064                      | 0,127 | 0,118 | 0,93 | Livello liquefacibile     |
| 4        | 34,80            | 26,00 | 10,696 | 6,662                     | 3,432                      | 0,090 | 0,137 | 1,52 | Livello non liquefacibile |

### Liquefazione Metodo di Shi-Ming (1982) - P5

| Litozona | VII Nspt critico | VIII Nspt critico | IX Nspt critico | X Nspt critico | Condizione                               |
|----------|------------------|-------------------|-----------------|----------------|--|
| Strato 2 | 16,065           | 26,775            | 42,84           | 64,26          | Liquefazione possibile al VIII° Mercalli |

Sede legale:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 29  
Sede operativa e amministrativa:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 33/35  
Tel. 02.40095293 - Fax 02.40094637

C.F. e P.IVA 11634000159  
Iscr. al registro imprese di MI n. 11634000159  
Iscritta al REA n. 1485547  
Capitale sociale 10.400,00 Euro int. vers.  
[http:// www.sileasrl.it](http://www.sileasrl.it)



### Liquefazione - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss - P5

**Svo:** Pressione totale di confinamento; **S'vo:** Pressione efficace di confinamento; **T:** Tensione tangenziale ciclica; **R:** Resistenza terreno alla liquefazione; **Fs:** Coefficiente di sicurezza

| Litozona | Prof. Strato (m) | Nspt | Nspt' | Svo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | S'vo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | T     | R     | Fs   | Condizione:           |
|----------|------------------|------|-------|---------------------------|----------------------------|-------|-------|------|-----------------------|
| 2        | 24,00            | 9,00 | 4,937 | 4,489                     | 2,399                      | 0,117 | 0,092 | 0,79 | Livello liquefacibile |

## COEFFICIENTE DI LIQUEFAZIONE DA PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Sulla base dei dati desunti dalle prove penetrometriche statiche eseguite direttamente dalla committente sull'area si propone una verifica alla liquefazione basata sulla resistenza penetrometrica statica.

L'elaborazione delle prove penetrometriche statiche (dati forniti dalla committente) consente di catalogare e parametrizzare il suolo attraversato con un'immagine in continuo che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati ed una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri superficiali, la profondità di eventuali falde, le superfici di rottura su pendii e la consistenza media del terreno. L'utilizzo dei dati è comunque da trattare con spirito critico.

Sulla base dei dati ricavati dalle prove eseguite si è quindi proceduto al calcolo indiretto del potenziale di liquefazione dei suoli incoerenti utilizzando il metodo di **Robertson e Wride (1997 – C.N.R. – GNDT)** che consente di calcolare un coefficiente  $F_s$  di sicurezza relativo alle varie zone sismiche (I, II, III, IV categoria).

Secondo tale metodo la liquefazione dei suoli è:

- 1) **assente per  $F_s \geq 1,25$**
- 2) **possibile per  $1,00 < F_s < 1,25$**
- 3) **molto probabile per  $F_s < 1$**

Anche in questo caso nella stima del fattore di sicurezza alla liquefazione in condizioni statiche gli strati sabbiosi sono stati considerati puramente incoerenti, cioè con contenuto di argilla pari a 0,00 %.

Di seguito, per le verticali di prova P1, P2, P3, P4 e P5 (le ultime tre in presenza di falda) si riportano, per i soli strati sabbiosi (incoerenti), i coefficienti di sicurezza alla liquefazione stimati secondo Robertson e Wride.

### S.C.P.T. 1 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

|           | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione           | Fattore di sicurezza a liquefazione |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------------|
| Strato 7  | 2,60             | 28,0                     | 0,47                     | 0,24  | 0,24  | Robertson e Wride 1997 | 4,482                               |
| Strato 16 | 4,60             | 42,0                     | 0,8                      | 0,62  | 0,62  | Robertson e Wride 1997 | 7,769                               |
| Strato 18 | 5,00             | 37,0                     | 0,6                      | 0,7   | 0,7   | Robertson e Wride 1997 | 3,486                               |
| Strato 24 | 7,20             | 29,0                     | 0,4                      | 1,1   | 1,1   | Robertson e Wride 1997 | 1,104                               |
| Strato 43 | 20,00            | 138,1429                 | 1,5243                   | 3,3   | 3,3   | Robertson e Wride 1997 | 17,068                              |

### S.C.P.T. 2 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

|           | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione           | Fattore di sicurezza a liquefazione |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------------|
| Strato 7  | 12,60            | 58,5                     | 0,635                    | 1,97  | 1,97  | Robertson e Wride 1997 | 1,715                               |
| Strato 15 | 21,20            | 66,2                     | 0,732                    | 3,54  | 3,54  | Robertson e Wride 1997 | 1,686                               |
| Strato 18 | 22,00            | 26,0                     | 0,13                     | 3,78  | 3,78  | Robertson e Wride 1997 | 1,053                               |
| Strato 20 | 23,60            | 35,6667                  | 0,0467                   | 4,05  | 4,05  | Robertson e Wride 1997 | 1,081                               |
| Strato 22 | 25,00            | 18,0                     | 0,33                     | 4,35  | 4,35  | Robertson e Wride 1997 | 1,067                               |
| Strato 25 | 26,80            | 25,0                     | 0,2                      | 4,68  | 4,68  | Robertson e Wride 1997 | 1,089                               |
| Strato 29 | 28,00            | 34,0                     | 0,4                      | 4,93  | 4,93  | Robertson e Wride 1997 | 1,22                                |

### S.C.P.T. 3 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

|           | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione           | Fattore di sicurezza a liquefazione |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------------|
| Strato 3  | 5,20             | 79,0                     | 0,87                     | 0,81  | 0,76  | Robertson e Wride 1997 | 9,49                                |
| Strato 5  | 7,80             | 43,0                     | 0,8                      | 1,26  | 0,96  | Robertson e Wride 1997 | 2,634                               |
| Strato 7  | 19,20            | 49,0                     | 1,53                     | 3,4   | 1,95  | Robertson e Wride 1997 | 1,904                               |
| Strato 8  | 19,40            | 56,0                     | 0,67                     | 3,44  | 1,97  | Robertson e Wride 1997 | 1,231                               |
| Strato 9  | 20,20            | 55,25                    | 1,5675                   | 3,54  | 2,02  | Robertson e Wride 1997 | 2,303                               |
| Strato 10 | 20,60            | 58,5                     | 0,965                    | 3,66  | 2,08  | Robertson e Wride 1997 | 1,571                               |
| Strato 11 | 21,00            | 39,0                     | 2,035                    | 3,74  | 2,12  | Robertson e Wride 1997 | 1,699                               |
| Strato 12 | 21,20            | 39,0                     | 1,2                      | 3,81  | 2,16  | Robertson e Wride 1997 | 1,141                               |

Sede legale:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 29  
Sede operativa e amministrativa:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 33/35  
Tel. 02.40095293 - Fax 02.40094637

C.F. e P.IVA 11634000159  
Iscr. al registro imprese di MI n. 11634000159  
Iscritta al REA n. 1485547  
Capitale sociale 10.400,00 Euro int. vers.  
[http:// www.sileasrl.it](http://www.sileasrl.it)



**S.C.P.T. 3 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15**

|           | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione           | Fattore di sicurezza a liquefazione |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------------|
| Strato 13 | 21,40            | 21,0                     | 0,87                     | 3,85  | 2,18  | Robertson e Wride 1997 | 0,812                               |
| Strato 14 | 21,60            | 43,0                     | 0,87                     | 3,88  | 2,19  | Robertson e Wride 1997 | 1,053                               |
| Strato 15 | 21,80            | 39,0                     | 1,07                     | 3,92  | 2,21  | Robertson e Wride 1997 | 1,08                                |
| Strato 17 | 31,40            | 98,1667                  | 1,1983                   | 5,68  | 3,06  | Robertson e Wride 1997 | 3,436                               |
| Strato 18 | 31,80            | 75,0                     | 2,2                      | 5,85  | 3,15  | Robertson e Wride 1997 | 2,992                               |
| Strato 19 | 33,60            | 108,7778                 | 1,4211                   | 6,07  | 3,26  | Robertson e Wride 1997 | 4,65                                |
| Strato 20 | 33,80            | 106,0                    | 2,27                     | 6,27  | 3,36  | Robertson e Wride 1997 | 6,044                               |
| Strato 21 | 35,00            | 142,6667                 | 1,4433                   | 6,41  | 3,43  | Robertson e Wride 1997 | 11,895                              |

**S.C.P.T. 4 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15**

|           | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione           | Fattore di sicurezza a liquefazione |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------------|
| Strato 5  | 7,00             | 26,0                     | 0,73                     | 1,08  | 0,64  | Robertson e Wride 1997 | 1,665                               |
| Strato 6  | 8,80             | 8,4444                   | 0,5633                   | 1,27  | 0,73  | Robertson e Wride 1997 | 0,52                                |
| Strato 7  | 9,00             | 11,0                     | 0,0                      | 1,44  | 0,8   | Robertson e Wride 1997 | 0                                   |
| Strato 8  | 9,20             | 20,0                     | 0,6                      | 1,48  | 0,82  | Robertson e Wride 1997 | 0,72                                |
| Strato 10 | 18,40            | 53,0                     | 1,535                    | 3,18  | 1,61  | Robertson e Wride 1997 | 2,759                               |
| Strato 11 | 18,60            | 61,0                     | 2,33                     | 3,25  | 1,65  | Robertson e Wride 1997 | 6,497                               |
| Strato 12 | 19,20            | 99,0                     | 2,51                     | 3,33  | 1,69  | Robertson e Wride 1997 | 24,587                              |
| Strato 13 | 20,60            | 132,5714                 | 1,3043                   | 3,54  | 1,8   | Robertson e Wride 1997 | 21,335                              |
| Strato 14 | 21,40            | 36,0                     | 1,5025                   | 3,76  | 1,91  | Robertson e Wride 1997 | 1,277                               |
| Strato 15 | 21,60            | 21,0                     | 1,47                     | 3,86  | 1,96  | Robertson e Wride 1997 | 0,84                                |
| Strato 17 | 28,40            | 32,0                     | 0,93                     | 5,2   | 2,62  | Robertson e Wride 1997 | 0,873                               |
| Strato 19 | 31,00            | 70,0                     | 1,765                    | 5,7   | 2,87  | Robertson e Wride 1997 | 2,339                               |
| Strato 20 | 31,40            | 82,5                     | 1,265                    | 5,78  | 2,91  | Robertson e Wride 1997 | 2,348                               |
| Strato 21 | 31,80            | 55,5                     | 2,5                      | 5,86  | 2,95  | Robertson e Wride 1997 | 2,253                               |
| Strato 22 | 32,20            | 75,5                     | 2,2                      | 5,94  | 2,99  | Robertson e Wride 1997 | 3,162                               |
| Strato 23 | 32,40            | 105,0                    | 1,4                      | 6,01  | 3,03  | Robertson e Wride 1997 | 4,573                               |

“Integrazione dei dati esistenti ai fini della classificazione sismica ai sensi del dm 14/09/2005.”

**S.C.P.T. 4 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15**

|           | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione           | Fattore di sicurezza a liquefazione |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------------|
| Strato 24 | 32,80            | 104,5                    | 2,935                    | 6,07  | 3,06  | Robertson e Wride 1997 | 9,561                               |
| Strato 25 | 33,80            | 122,0                    | 1,83                     | 6,22  | 3,14  | Robertson e Wride 1997 | 8,82                                |
| Strato 26 | 34,00            | 99,0                     | 2,13                     | 6,34  | 3,2   | Robertson e Wride 1997 | 4,947                               |
| Strato 27 | 35,00            | 144,6                    | 1,706                    | 6,46  | 3,26  | Robertson e Wride 1997 | 15,13                               |

**S.C.P.T. 5 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15**

|           | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione           | Fattore di sicurezza a liquefazione |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------------|
| Strato 5  | 3,40             | 9,0                      | 0,13                     | 0,52  | 0,49  | Robertson e Wride 1997 | 0,761                               |
| Strato 6  | 9,00             | 9,5714                   | 0,6143                   | 1,04  | 0,72  | Robertson e Wride 1997 | 0,667                               |
| Strato 7  | 9,60             | 31,6667                  | 0,8                      | 1,6   | 0,98  | Robertson e Wride 1997 | 1,28                                |
| Strato 9  | 12,00            | 29,0                     | 0,93                     | 2,1   | 1,21  | Robertson e Wride 1997 | 0,986                               |
| Strato 10 | 12,20            | 21,0                     | 0,87                     | 2,14  | 1,23  | Robertson e Wride 1997 | 0,727                               |
| Strato 11 | 12,40            | 67,0                     | 0,93                     | 2,18  | 1,25  | Robertson e Wride 1997 | 4,356                               |
| Strato 12 | 12,60            | 45,0                     | 1,07                     | 2,22  | 1,27  | Robertson e Wride 1997 | 1,955                               |
| Strato 13 | 18,40            | 12,7241                  | 0,7931                   | 2,78  | 1,54  | Robertson e Wride 1997 | 0,657                               |
| Strato 14 | 18,80            | 55,0                     | 1,435                    | 3,37  | 1,81  | Robertson e Wride 1997 | 2,293                               |
| Strato 15 | 19,40            | 89,0                     | 0,91                     | 3,47  | 1,86  | Robertson e Wride 1997 | 4,978                               |
| Strato 16 | 19,80            | 57,5                     | 1,57                     | 3,57  | 1,91  | Robertson e Wride 1997 | 2,572                               |
| Strato 17 | 21,60            | 112,6667                 | 1,2433                   | 3,79  | 2,02  | Robertson e Wride 1997 | 13,756                              |
| Strato 18 | 21,80            | 62,0                     | 1,93                     | 3,99  | 2,12  | Robertson e Wride 1997 | 3,347                               |
| Strato 19 | 22,20            | 116,0                    | 1,435                    | 4,05  | 2,15  | Robertson e Wride 1997 | 14,852                              |
| Strato 21 | 23,40            | 47,0                     | 1,265                    | 4,28  | 2,27  | Robertson e Wride 1997 | 1,288                               |
| Strato 22 | 23,60            | 19,0                     | 0,67                     | 4,34  | 2,3   | Robertson e Wride 1997 | 0,715                               |
| Strato 23 | 23,80            | 28,0                     | 0,73                     | 4,38  | 2,32  | Robertson e Wride 1997 | 0,813                               |
| Strato 25 | 28,40            | 35,0                     | 1,07                     | 5,27  | 2,75  | Robertson e Wride 1997 | 0,915                               |
| Strato 26 | 28,60            | 37,0                     | 1,33                     | 5,31  | 2,77  | Robertson e Wride 1997 | 0,996                               |
| Strato 27 | 28,80            | 41,0                     | 1,33                     | 5,36  | 2,79  | Robertson e Wride 1997 | 1,049                               |

Sede legale:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 29  
Sede operativa e amministrativa:  
20146 Milano - Via Moncalvo, 33/35  
Tel. 02.40095293 - Fax 02.40094637

C.F. e P.IVA 11634000159  
Iscr. al registro imprese di MI n. 11634000159  
Iscritta al REA n. 1485547  
Capitale sociale 10.400,00 Euro int. vers.  
[http:// www.sileasrl.it](http://www.sileasrl.it)



**S.C.P.T. 5 Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15**

|           | Prof. Strato<br>(m) | qc<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione<br>litostatica totale<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione<br>litostatica<br>efficace<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Correlazione              | Fattore di<br>sicurezza a<br>liquefazione |
|-----------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|--|---------------------------|---|
| Strato 28 | 29,00               | 39,0                        | 1,47                        | 5,4   | 2,81   | Robertson e<br>Wride 1997 | 1,06                                      |
| Strato 29 | 29,20               | 47,0                        | 1,33                        | 5,44  | 2,83   | Robertson e<br>Wride 1997 | 1,138                                     |



## CONCLUSIONI

Da quanto emerso dalle indagini in situ, l'area in esame è caratterizzata da:

- presenza di depositi detritici a prevalente componente litologica di natura argillosa sovrapposta a depositi sabbiosi e limoso - sabbiosi
- falda idrica a partire dalla profondità di circa 2.50 m.
- il comparto ricade nella classe 3<sup>a</sup> della zonizzazione sismica nazionale
- categoria sismica dei suoli di fondazione compresa tra C e D
- la verifica a liquefazione da prove penetrometriche dinamiche, eseguita secondo due differenti metodi, in accordo con i valori del coefficiente di sicurezza alla liquefazione derivato dalle prove statiche, ha evidenziato come alcuni strati sabbiosi più superficiali presentino possibilità di liquefazione e cioè:

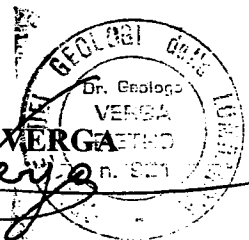
### Potenziale di liquefazione dei suoli

| Verticale di prova | Litozona | Shi Ming                                 | C.N.R.                    | Robertson e Wirde |
|--------------------|----------|--|---------------------------|-------------------|
| P3                 | 2        | Liquefazione possibile al VII° Mercalli  | Livello liquefacibile     | Fs = 0,82 – 1,69  |
|                    | 4        | Liquefazione possibile al VIII° Mercalli | Livello non liquefacibile | Fs = 2,90 – 6,00  |
| P4                 | 2        | Liquefazione possibile al VIII° Mercalli | Livello liquefacibile     | Fs = 0,84 – 1,27  |
|                    | 4        | Liquefazione possibile al VIII° Mercalli | Livello non liquefacibile | Fs = 2,22 – 4,94  |
| P5                 | 2        | Liquefazione possibile al VIII° Mercalli | Livello liquefacibile     | Fs = 0,66 – 0,98  |
|                    | 4        | ***                                      | ***                       | Fs = 0,75 – 1,06  |

Resto a disposizione per ogni chiarimento o delucidazione.

DR. GEOLOGO PIETRO MERGA

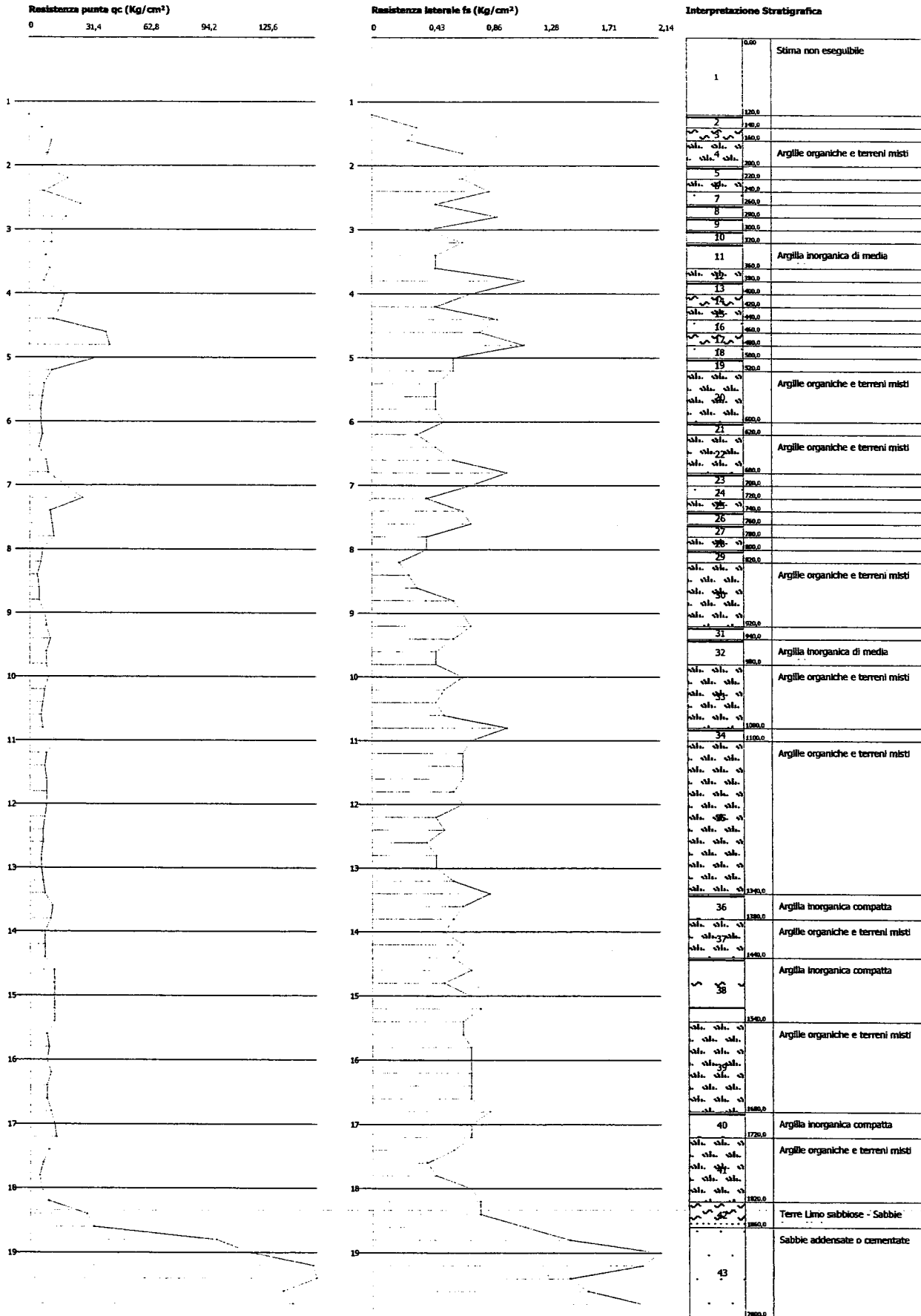
DR. LIVIO VOLONTIERI



**Probe CPT - Cone Penetration Nr.1**  
**Strumento utilizzato... CPT SUNDA DOLMEN 200 KN ELECTRONIC**  
**Diagramma Resistenze qc fs**

Committente : PETROLIFERA ESTENSE S.p.A.  
 Cantiere : Ex deposito di via Darsena  
 Località : Ferrara

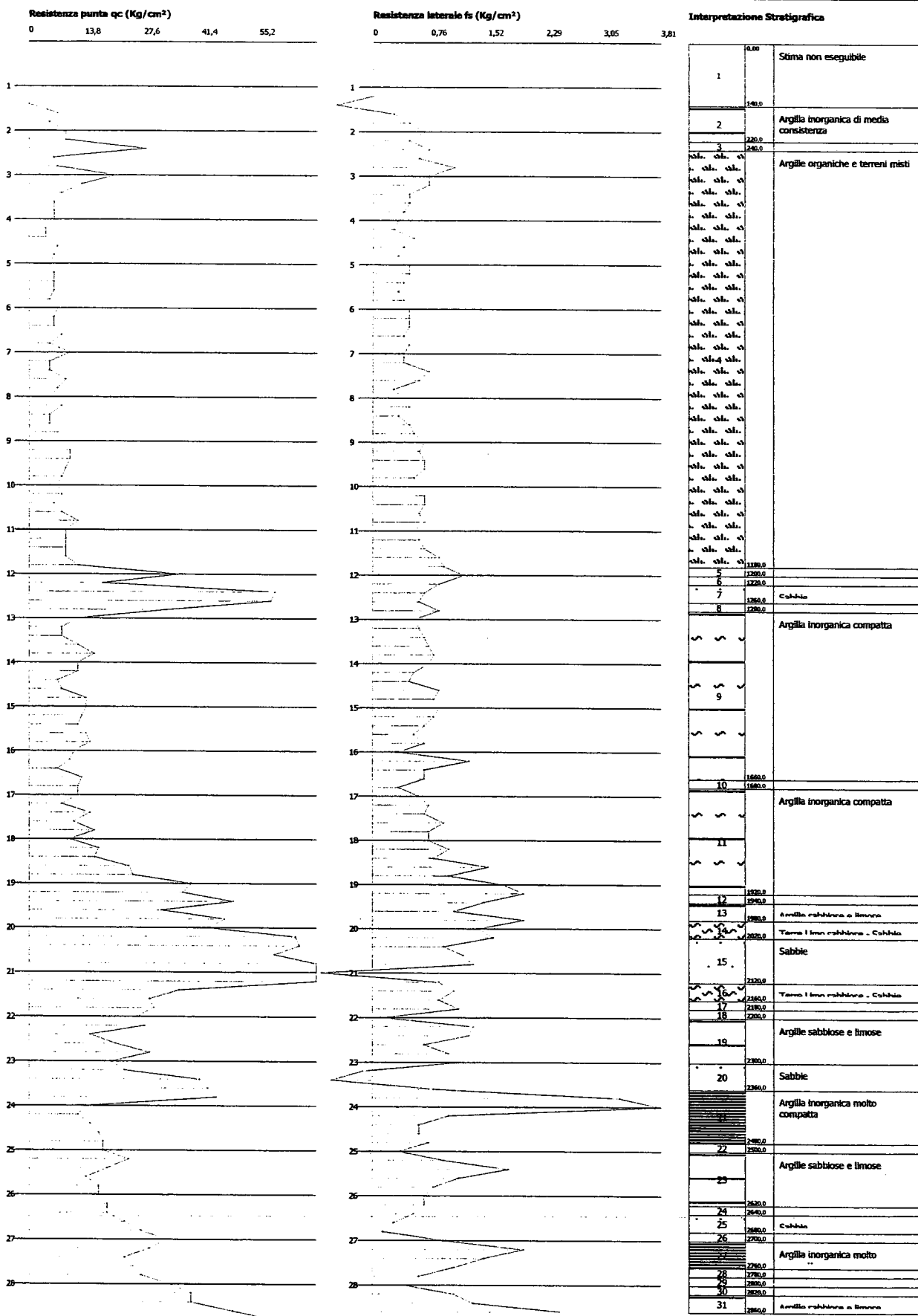
Data :11/03/2004



**Probe CPT - Cone Penetration Nr.2**  
**Strumento utilizzato... CPT SUNDA DOLMEN 200 KN ELECTRONIC**  
**Diagramma Resistenze qc fs**

Committente : PETROLIFERA ESTENSE S.p.A.  
 Cantiere : Ex deposito di via Darsena  
 Località : Ferrara

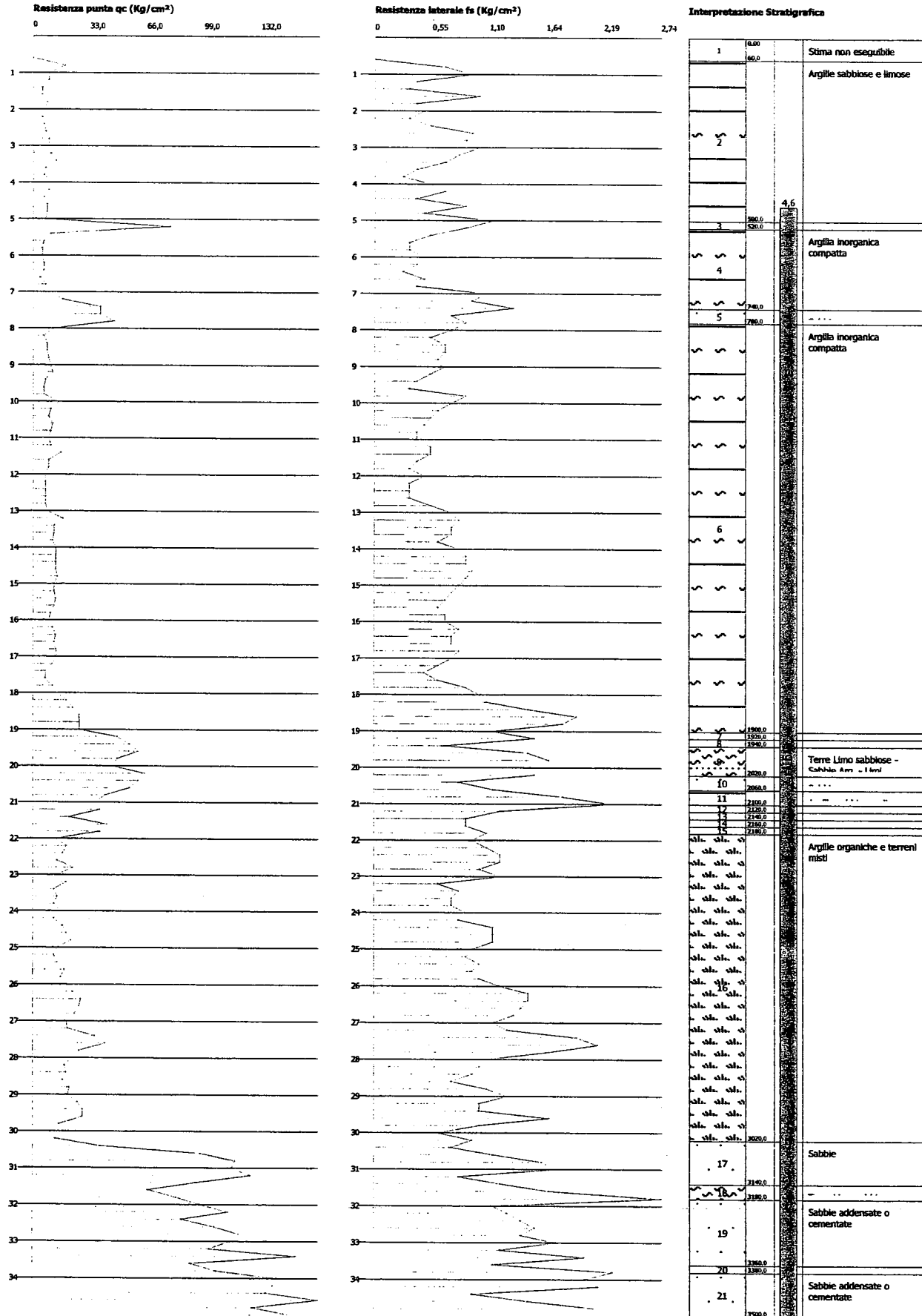
Data :11/03/2004



**Probe CPT - Cone Penetration Nr.3**  
**Strumento utilizzato... CPT SUNDA DOLMEN 200 KN ELECTRONIC**  
**Diagramma Resistenze qc fs**

Committente : PETROLIFERA ESTENSE S.p.A.  
 Cantiere : Ex deposito di via Darsena  
 Località : Ferrara

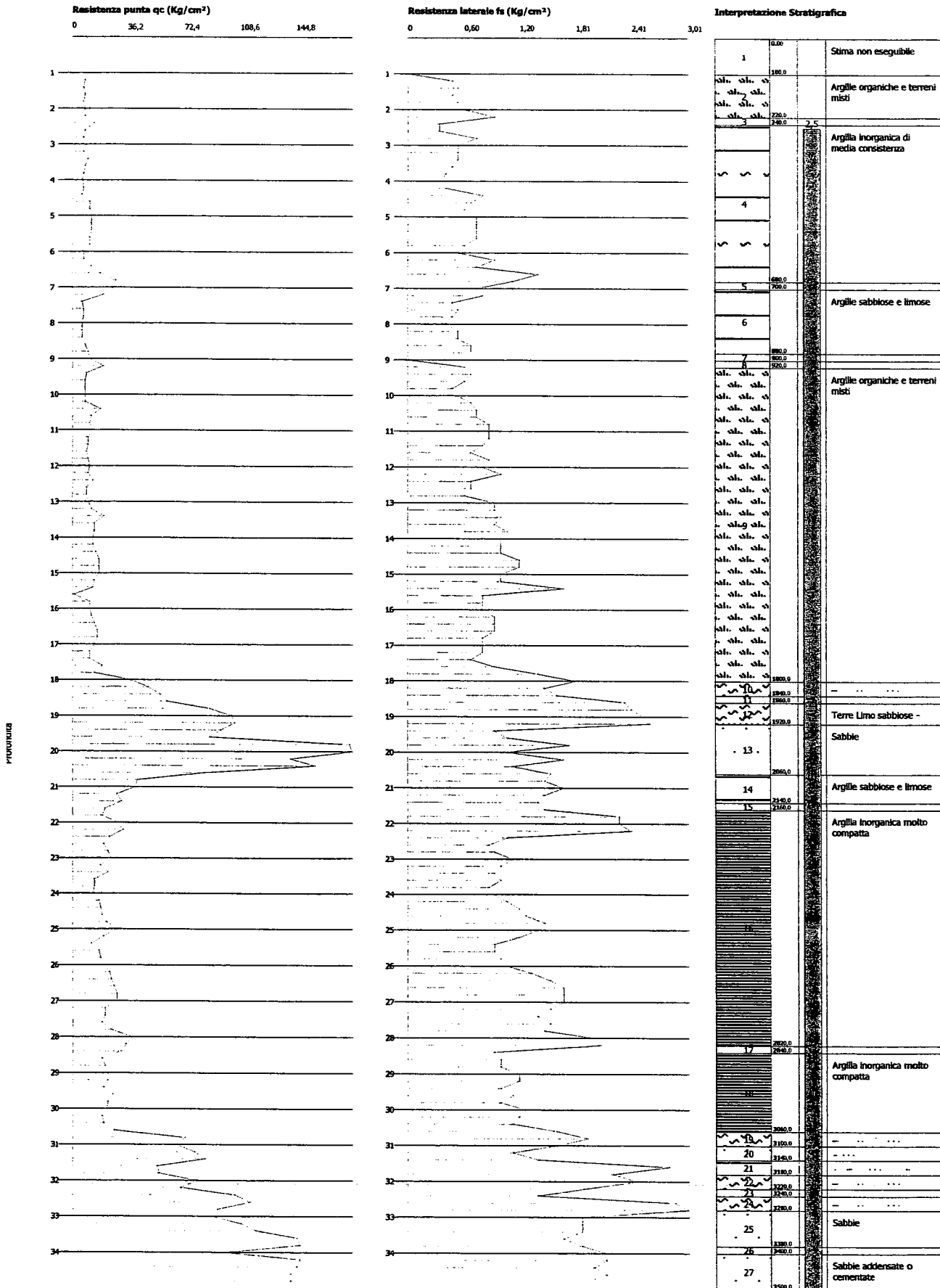
Data :12/03/2004



**Probe CPT - Cone Penetration Nr.4**  
**Strumento utilizzato... CPT SUNDA DOLMEN 200 KN ELECTRONIC**  
**Diagramma Resistenze qc fs**

Committente : PETROLIFERA ESTENSE S.p.A.  
 Cantiere : Ex deposito di via Darsena  
 Località : Ferrara

Data :17/03/2004



**Probe CPT - Cone Penetration Nr.5**  
**Strumento utilizzato... CPT SUNDA DOLMEN 200 KN ELECTRONIC**  
**Diagramma Resistenze qc fs**

Committente : PETROLIFERA ESTENSE S.p.A.  
 Cantiere : Ex deposito di via Darsena  
 Località : Ferrara

Data :11/03/2004

