



CPT12



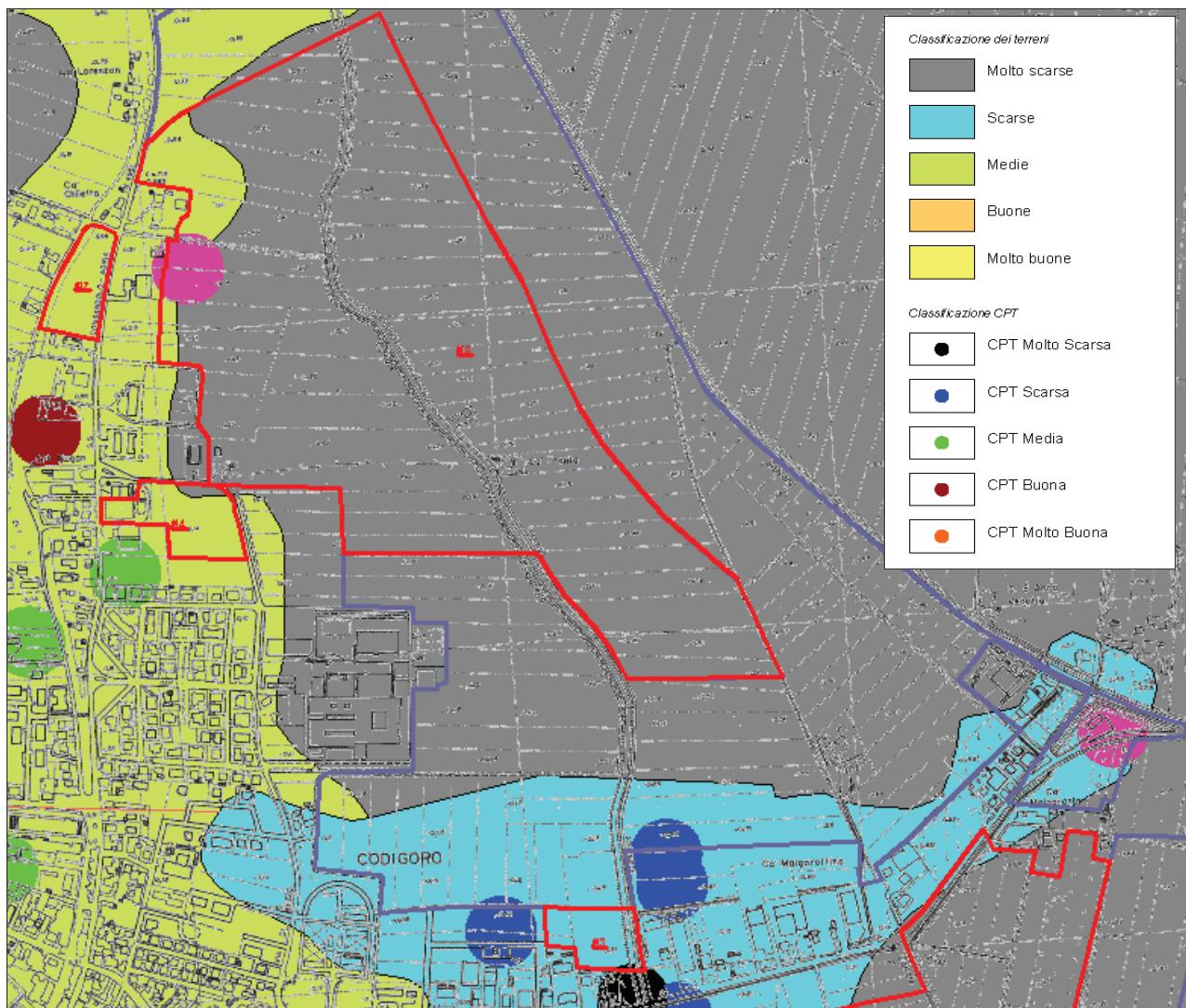
CPT19



CPT20

FIGURA 3.1.4 - Fase di esecuzione prova penetrometrica

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame, ricavate dalla **Carta delle qualità geotecniche dei terreni (FIGURA 3.1.5)**, risultano medie per le porzioni che ricadono sul dosso del Gaurus, e scarse e molto scarse per le restanti al di fuori del dosso.



In FIGURA 3.1.7 viene riportato il diagramma di resistenza delle prove penetrometriche statiche.

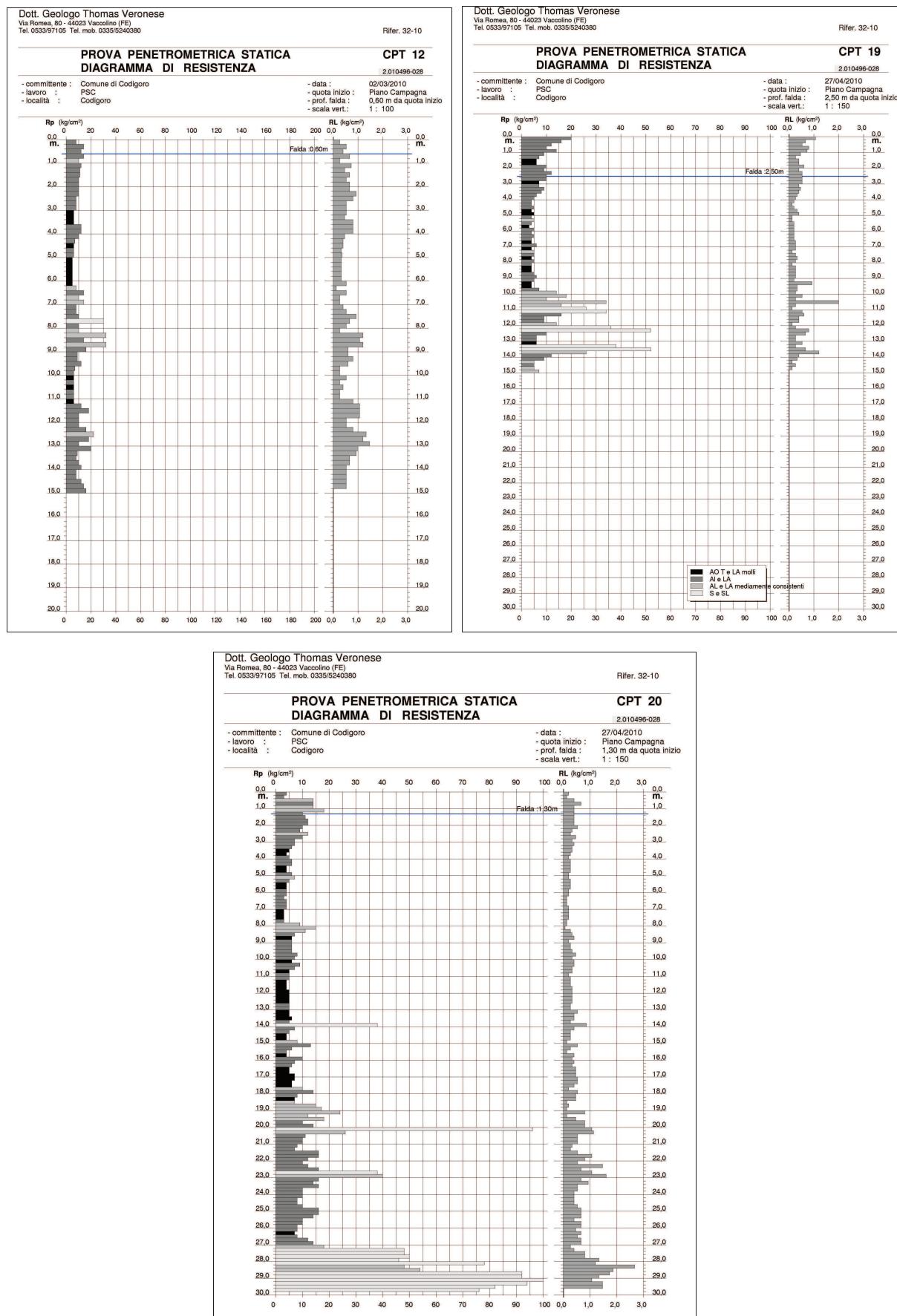


FIGURA 3.1.7 - Diagramma di resistenza delle prove penetrometriche

Nella **Tabella 3.1.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con le prove penetrometriche statiche:

CPT12

strato (m da p.c.)	Rp media (kg/cm ²)	Rp min (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Cu media (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)	Dr. %	ϕ
0,20 – 3,00	10,60	8	1,89	0,51	41,60	--	--
3,00 – 6,20	6,70	5	1,61	0,33	24,00	--	--
6,20 – 9,00	15,40	8	1,90	0,57	49,60	--	--
9,00 – 11,20	7,20	6	1,74	0,36	29,50	--	--
11,20 – 15,00	12,80	8	1,91	0,58	48,20	--	--

CPT19

strato (m da p.c.)	Rp media (kg/cm ²)	Rp min (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Cu media (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)	Dr. %	ϕ
0,20 – 2,80	10,10	6	1,85	0,49	38,60	--	--
2,80 – 9,80	5,00	4	1,70	0,25	21,60	--	--
9,80 – 13,80	21,60	6	1,87	0,41	64,80	--	--
13,80 – 15,00	7,20	5	1,83	0,35	31,80	--	--

CPT20

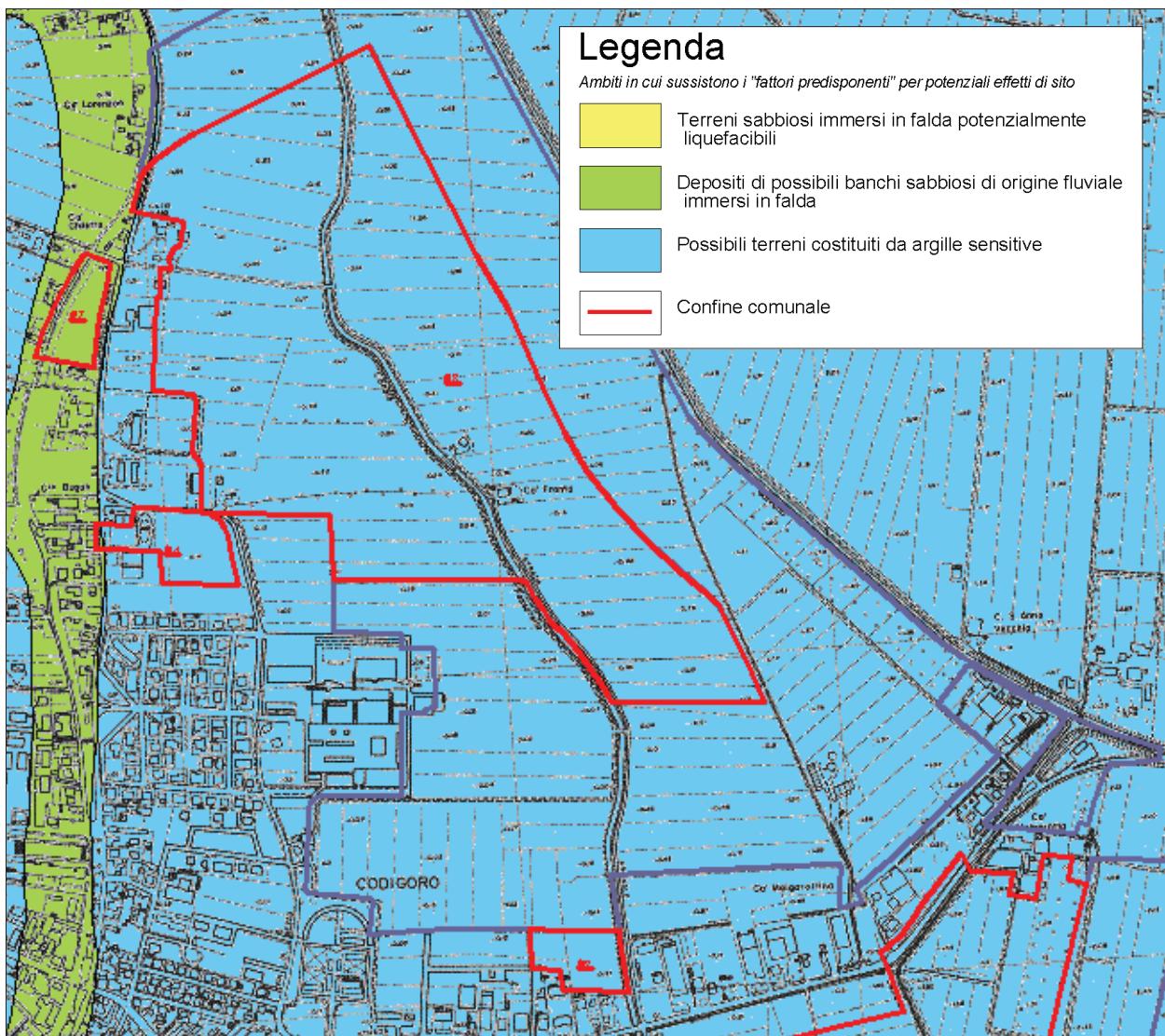
strato (m da p.c.)	Rp media (kg/cm ²)	Rp min (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Cu media (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)	Dr. %	ϕ
0,20 – 2,80	11,50	8	1,89	0,54	43,60	--	--
2,80 – 18,60	6,30	3	1,68	0,29	23,30	--	--
18,60 – 27,00	15,80	7	1,90	0,56	47,00	--	--
27,00 – 30,00	53,60	18	1,95	0,46	187,40	28	31°

Tabella 3.1.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

Le prove penetrometriche statiche mostrano una buona omogeneità stratigrafica, da p.c. fino a -2,80/-3,00 m da p.c. uno strato di terreni coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta medio, Rp, di circa 10/11 kg/cm², poi da -3,00 m fino a -14,00/18,00 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente coesivi poco consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di circa 5/6 kg/cm², intercalati localmente a sottili lenti di materiale granulare, poi da -18,00 m fino a -27,00 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di circa 15 kg/cm², infine da -27,00 m fino a -30,00 m da p.c. si rileva uno strato di terreni granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 53 kg/cm².

3.1.1 AREE 13, 14 e 18– Riduzione del rischio sismico

- **I Livello di approfondimento:** la **Tavola dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito (FIGURA 3.1.8)** mostra che questa area è caratterizzata dalla potenziale presenza di terreni costituiti da argille sensitive.



- **Il Livello di approfondimento:** si rende necessario effettuare una analisi semplificata per valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. Le stratigrafie rilevate con le prove confermano la presenza di sedimenti coesivi con coesione $Cu < 0,70 \text{ kg/cm}^2$ e possibile plasticità $IP \geq 30\%$.

Di conseguenza questa area necessita anche del III livello di approfondimento.

La categoria di suolo verrà ricavata da una correlazione empirica tra le misure di q_c e di V_s . Le q_c sono derivate dalla prova CPT20, rifer. 32-10 effettuata il 27/04/2010 e spinta fino a -30,00 m da p.c.. verrà utilizzata la correlazione di *Andrus et al. (2001)*. Tratto da Rivista Geotecnica

Queste correlazioni hanno avuto un buon riscontro nonostante si relazionino stati di deformazione del terreno enormemente diversi: il livello deformativo indotto nel terreno dalla penetrazione della punta penetrometrica provoca la rottura del materiale, mentre le onde di taglio si propagano non intaccando la struttura del terreno, in condizioni di deformazioni praticamente elastiche (Mayne e Rix, 1995; Fahey, 1998,2001; Housby, 2001).

Le correlazioni empiriche utilizzate sono state calibrate distinguendo le litologie dei terreni rinvenuti e raggruppandoli in tre famiglie: argille limi e sabbie. Sono state utilizzate le correlazioni proposte da Giretti, Colombi e Fioravante (2007) adattando le formule di *Andrus et al.* (2001), ai terreni ferraresi.

La formula è la seguente:

$$V_{SI} = ASF \cdot A \cdot (q_{c1N})^\alpha$$

dove:

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.5} \text{ resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;}$$

$$V_{SI} = V_s \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.25} \text{ velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;}$$

ASF per depositi Olocenici = 1 (quali sono i depositi presenti nella pianura ferrarese alle profondità indagate) come suggerito da ANDRUS et al.;

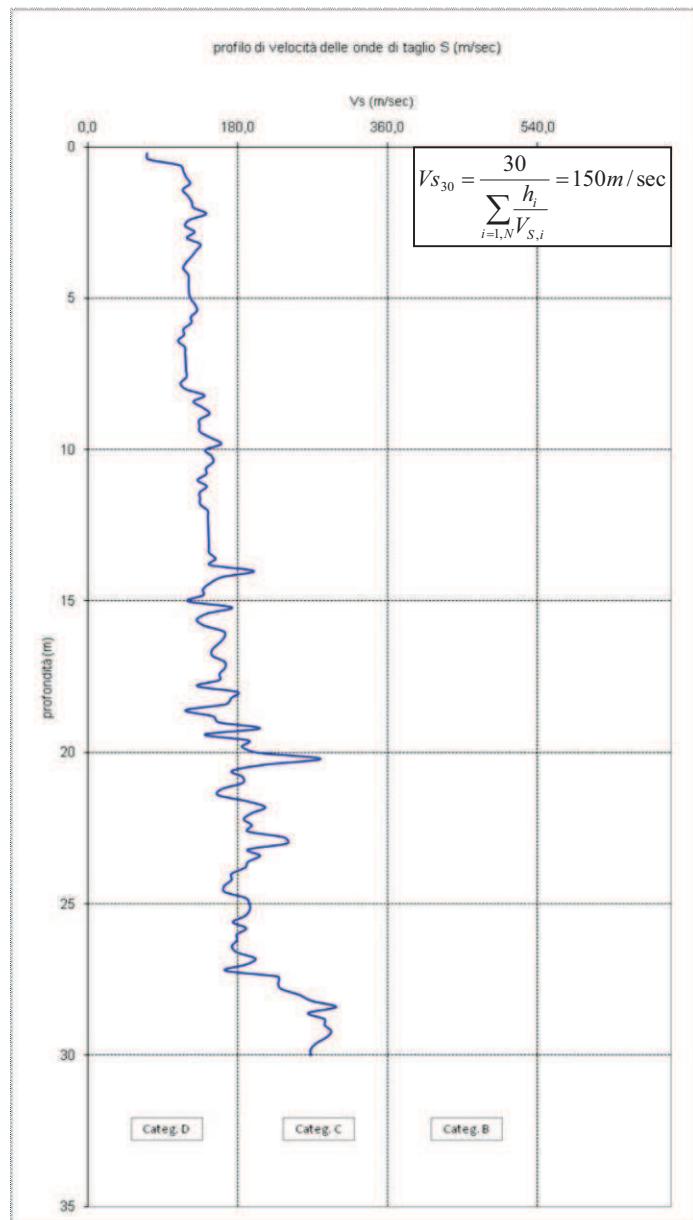
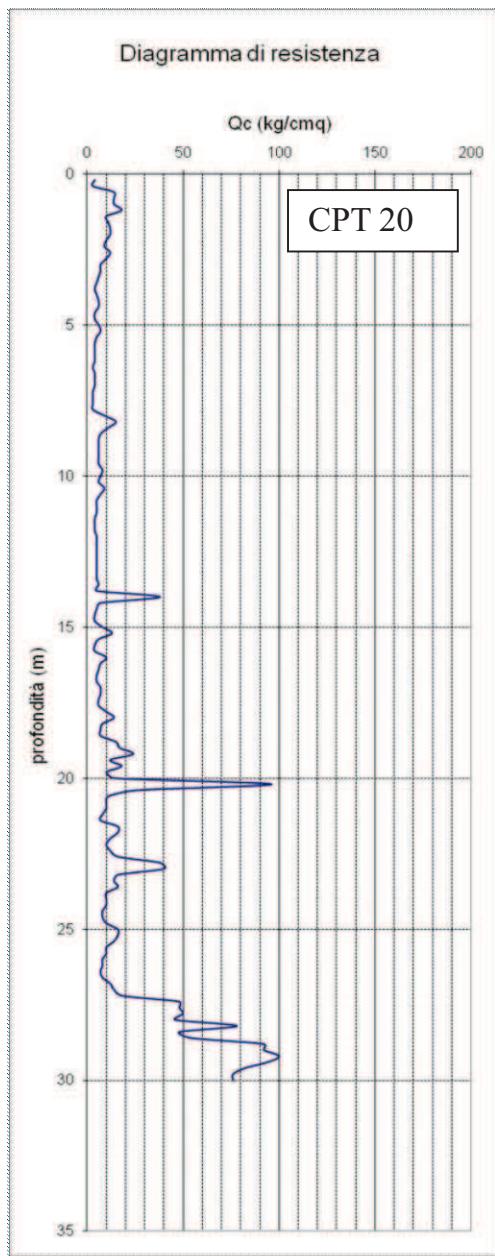
A e α sono coefficienti empirici da calibrare sulla base delle misure di q_c e di V_s disponibili; p_a = pressione atmosferica.

Nella tabella seguente sono riportati i coefficienti A e α .

	Argilla	Limo	Sabbia
A	80.64	77.83	53.64
α	0.28	0.24	0.33

Coefficienti A e α

Nella figura seguente si riporta il profilo dei sismostrati estrapolato dalla prova penetrometrica statica CPT20 in base ai risultati forniti dalla formula di *Andrus et al.* (2001).



Il valore di V_{S30} calcolato in base alla stratigrafia della prova CPT20 risulta pari a **150 m/sec**.
Il calcolo è stato effettuato da p.c. fino a -30,00 m da p.c..

$$V_{S30} = 150 \text{ m/sec}$$

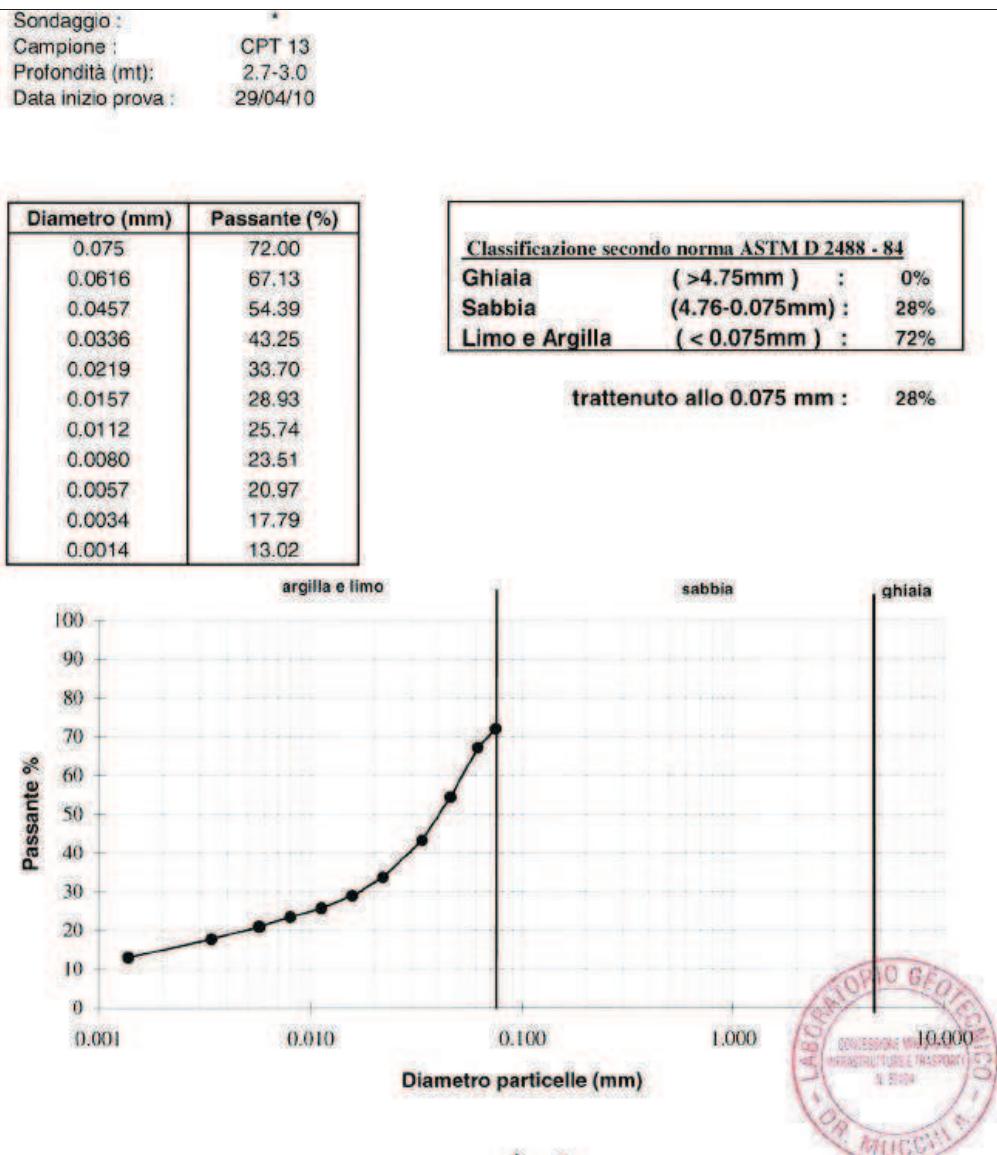
Il metodo utilizzato, con la determinazione delle Vs30 dalle CPT, non è sicuramente il più preciso, ma per il caso in esame, non ci sono dubbi che le stratigrafie rilevate siano da ricondurre a terreni soggetti ad un F.A.=1,5, in quanto la Vs30<300 m/sec.

- PGA su suolo rigido 0,079g
- Il fattore di amplificazione F.A. è 1,5.
- Magnitudo da catalogo dei terremoti storici $Mw < 5,0$

Nell'area in esame riscontriamo lo stesso strato molle rilevato con la CPT13 al di sotto della "crosta" di argille più consistenti; Dunque possiamo attribuire in questa zona gli stessi parametri ottenuti da questo campionamento.

E' emerso che il sedimento è costituito per il 28% da sabbia, 53% da limo e 19% da argilla. L'indice plastico è risultato pari al 12% per cui il terreno ha plasticità inferiore a 30% e pur essendo soffice non dovrebbe da luogo a cedimenti postsismici significativi dal punto di vista ingegneristico.

LIMITI DI ATTERBERG (Norma CNR - UNI 10014)																																																											
Committente :	Dr. Thomas Veronese	Sondaggio N°:	*																																																								
Cantiere :	Codigoro (FE)	Campione:	CPT 13																																																								
		Prof. m:	2.7-3.0																																																								
Data inizio prova :	27/04/2010																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th colspan="3">Limite liquido</th><th>Lim.plastico media 2 det.</th><th>Umidita' Naturale</th></tr> <tr> <th>N° CONTENITORE</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th></th><th>4</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N° COLPI</td><td>29</td><td>18</td><td>13</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>Massa terreno umido + tara (g)</td><td>33.06</td><td>35.77</td><td>35.10</td><td>16.02</td><td>178.86</td></tr> <tr> <td>Massa terreno secco + tara (g)</td><td>27.39</td><td>28.98</td><td>28.45</td><td>14.59</td><td>129.46</td></tr> <tr> <td>Massa acqua contenuta (g)</td><td>5.67</td><td>6.79</td><td>6.65</td><td>1.43</td><td>49.40</td></tr> <tr> <td>Massa tara (g)</td><td>13.55</td><td>12.82</td><td>13.13</td><td>9.75</td><td>9.93</td></tr> <tr> <td>Massa terreno secco (g)</td><td>13.84</td><td>16.16</td><td>15.32</td><td>4.85</td><td>119.53</td></tr> <tr> <td>Contenuto d'acqua %</td><td>41.0</td><td>42.0</td><td>43.4</td><td>29.4</td><td>41.3</td></tr> </tbody> </table>							Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale	N° CONTENITORE	1	2	3		4	N° COLPI	29	18	13			Massa terreno umido + tara (g)	33.06	35.77	35.10	16.02	178.86	Massa terreno secco + tara (g)	27.39	28.98	28.45	14.59	129.46	Massa acqua contenuta (g)	5.67	6.79	6.65	1.43	49.40	Massa tara (g)	13.55	12.82	13.13	9.75	9.93	Massa terreno secco (g)	13.84	16.16	15.32	4.85	119.53	Contenuto d'acqua %	41.0	42.0	43.4	29.4	41.3
	Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale																																																						
N° CONTENITORE	1	2	3		4																																																						
N° COLPI	29	18	13																																																								
Massa terreno umido + tara (g)	33.06	35.77	35.10	16.02	178.86																																																						
Massa terreno secco + tara (g)	27.39	28.98	28.45	14.59	129.46																																																						
Massa acqua contenuta (g)	5.67	6.79	6.65	1.43	49.40																																																						
Massa tara (g)	13.55	12.82	13.13	9.75	9.93																																																						
Massa terreno secco (g)	13.84	16.16	15.32	4.85	119.53																																																						
Contenuto d'acqua %	41.0	42.0	43.4	29.4	41.3																																																						
<table border="1"> <tr> <td>Limite liquido %</td><td>41</td></tr> <tr> <td>Limite Plastic %</td><td>29</td></tr> <tr> <td>Umidita' naturale %</td><td>41.3</td></tr> <tr> <td>Indice Plastic %</td><td>12</td></tr> <tr> <td>Indice di consistenza :</td><td>0.01</td></tr> </table>						Limite liquido %	41	Limite Plastic %	29	Umidita' naturale %	41.3	Indice Plastic %	12	Indice di consistenza :	0.01																																												
Limite liquido %	41																																																										
Limite Plastic %	29																																																										
Umidita' naturale %	41.3																																																										
Indice Plastic %	12																																																										
Indice di consistenza :	0.01																																																										
<p style="text-align: center;">CARTA DI PLASTICITA'(A.Casagrande)</p>																																																											



La frazione argillosa è di circa il 15%, la frazione limosa è del 57%.

4.1 AREA 27 – CPT23

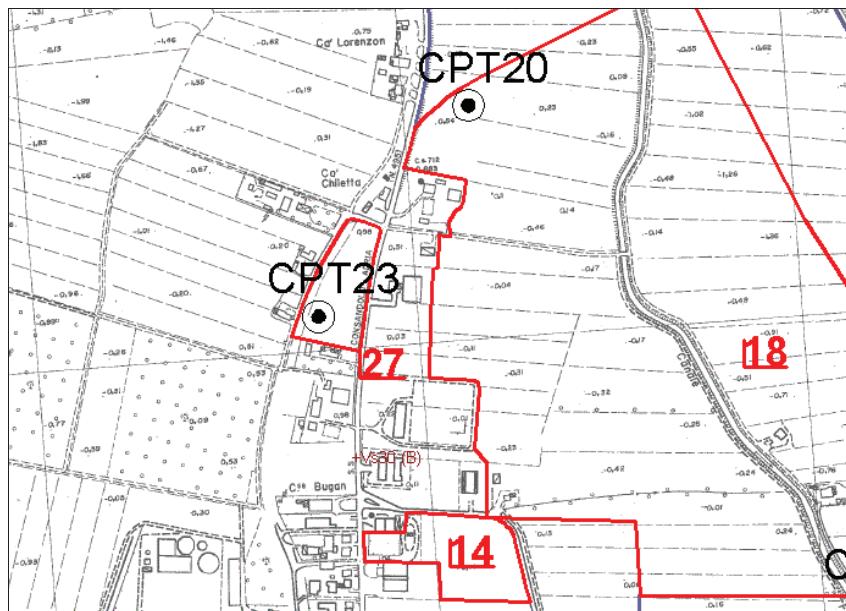


FIGURA 4.1.1 - Area 27, SCALA 1:10.000

L'AREA 27 è ubicata a nord dell'abitato di Codigoro, ed è indicata come un ambito per potenziali nuovi insediamenti urbani (FIGURA 4.1.1).

Da un punto di vista geomorfologico il sito sorge sul paleoalveo del fiume Gaurus; una antica diramazione del Po di Volano, che da Codigoro scorreva verso Nord, fino a spingersi all'altezza di Ariano Ferrarese, da dove piegava verso est, dirigendosi a mare in direzione Mesola, si veda in proposito lo stralcio della Carta Geomorfologica (FIGURA 4.1.2). L'area si sviluppa su quote di circa +0,80/+1,00 m sul l.m.m. e non risulta sia stata soggetta ad allagamenti di tipo persistente.

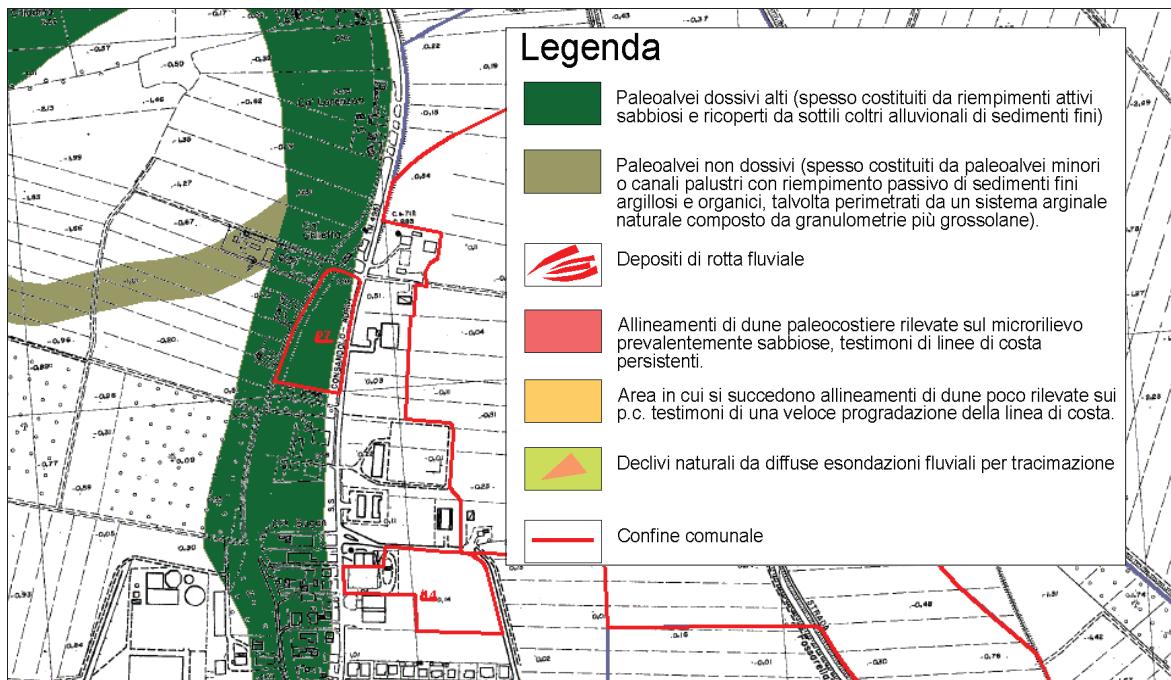


FIGURA 4.1.2 - Carta Geomorfologica, scala 1:10.000

All'interno dell'area è stata eseguita una prova penetrometrica statica, spinta fino alla profondità di -15,0 m da p.c.; in **FIGURA 4.1.3** e **FIGURA 4.1.4** vengono riportate rispettivamente l'ubicazione e una fase di esecuzione della prova.

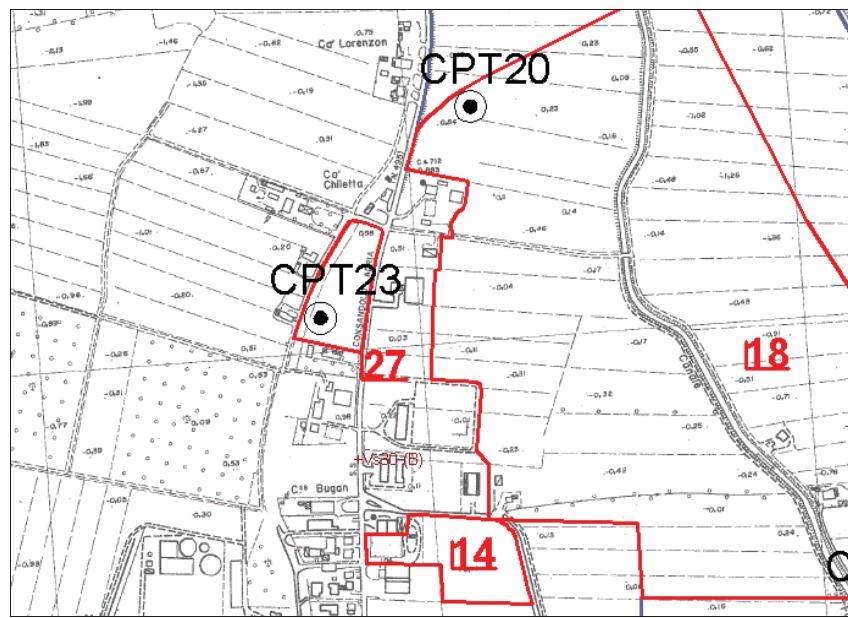


FIGURA 4.1.3 - Ubicazione CPT23 scala 1:10.000



FIGURA 4.1.4 - Fase di esecuzione prova penetrometrica CPT23

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame, ricavate dalla **Carta delle qualità geotecniche dei terreni (FIGURA 4.1.5)**, risultano medie.

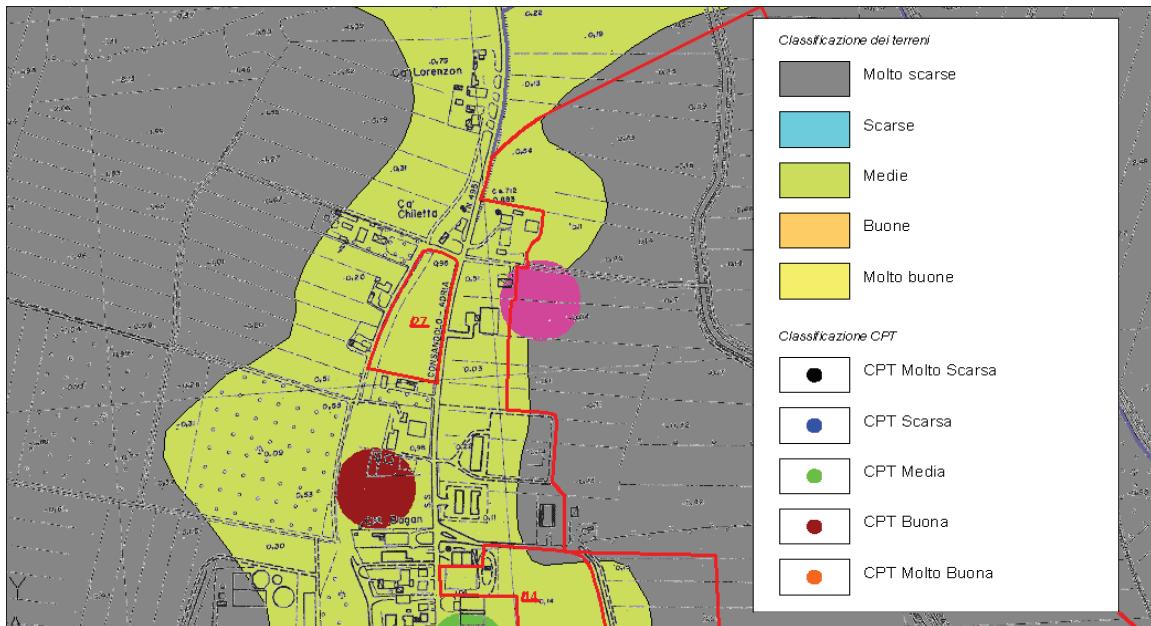


FIGURA 4.1.5 - Carta qualità geotecniche scala 1:10.000

In **FIGURA 4.1.7** viene riportato il diagramma di resistenza della prova penetrometrica statica CPT23, effettuata all'interno dell'area in esame.

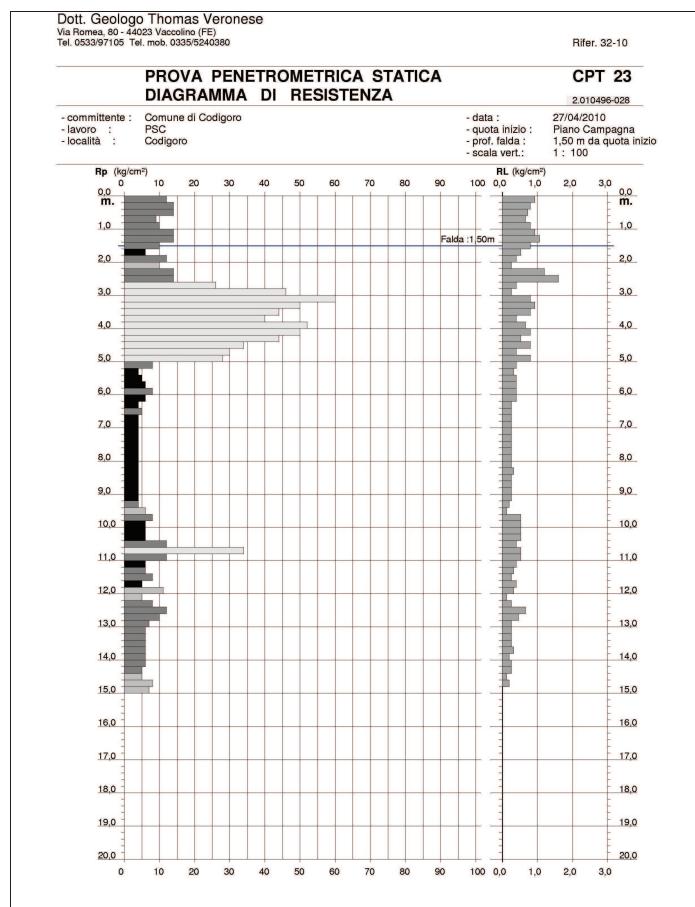


FIGURA 4.1.7 - Diagramma di resistenza della prova penetrometrica CPT23

Nella **Tabella 4.1.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con la prova penetrometrica statica:

CPT23

strato (m da p.c.)	Rp media (kg/cm ²)	Rp min (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Cu media (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)	Dr. %	ϕ
0,20 – 2,60	11,80	6	1,83	0,55	43,50	--	--
2,60 – 5,00	42,00	26	1,90	--	147,00	59	30°2
5,00 – 9,40	4,60	4	1,53	0,23	15,70	--	--
9,40 – 15,00	8,20	5	1,77	0,34	29,30	--	--

Tabella 4.1.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

La prova penetrometrica statica eseguita all'interno dell'area in esame mostra da p.c. fino a -2,60 m da p.c. uno strato di terreni coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta medio, Rp, di circa 12 kg/cm², poi da -2,60 m fino a -5,00 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 42 kg/cm², poi da -5,00 m fino a -9,40 m da p.c. si rileva uno strato di terreni coesivi poco consistenti con un valore di resistenza alla punta di 5 kg/cm², infine da -9,40 m fino a -15,0 m da p.c., massima profondità di investigazione, si rilevano terreni prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di circa 8 kg/cm².

E' possibile che nel settore più orientale dell'area siano presenti sabbie con spessore maggiore rispetto a quanto qui rilevato, per la presenza del paleoalveo del Gaurus.

4.1.1 AREA 27 – Riduzione del rischio sismico

- **I Livello di approfondimento: la Tavola dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito (FIGURA 4.1.8)** mostra che questa area è caratterizzata dalla potenziale presenza di caratteri predisponenti a instabilità per liquefazione dovuta a sabbie sature.

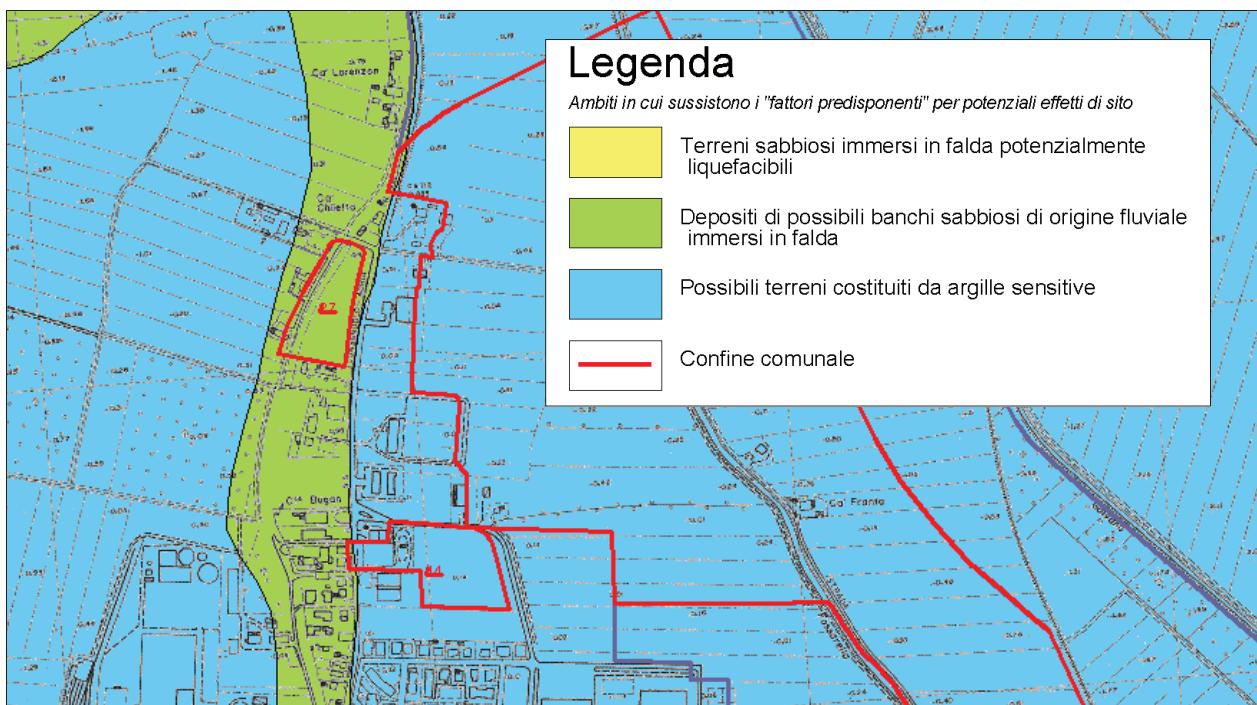


FIGURA 4.1.8 - Carta degli effetti di sito scala 1:10.000

- **Il Livello di approfondimento:** si rende necessario effettuare una analisi semplificata per valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. La stratigrafia rilevata con la prova penetrometrica statica CPT23 conferma la presenza di sabbie immerse in falda, ma rileva anche la presenza di terreni coesivi con coesione $C_u < 0,70 \text{ kg/cm}^2$ e possibile plasticità $IP \geq 30\%$.

Di conseguenza questa area necessita anche del III livello di approfondimento.

La categoria di suolo verrà ricavata da una correlazione empirica tra le misure di q_c e di V_s . Le q_c sono derivate dalla vicina prova CPT20, rifer. 32-10 effettuata il 27/04/2010 e spinta fino a -30,00 m da p.c.. verrà utilizzata la correlazione di *Andrus et al. (2001)*. Tratto da Rivista Geotecnica Italiana, ISSN 0577-1405, Associazione Geotecnica Italiana, Anno XLI, n. 3 – Luglio Settembre 2007 – Giretti, Colombi, Fioravante

Queste correlazioni hanno avuto un buon riscontro nonostante si relazionino stati di deformazione del terreno estremamente diversi: il livello deformativo indotto nel terreno dalla penetrazione della punta penetrometrica provoca la rottura del materiale, mentre le onde di taglio si propagano non intaccando la struttura del terreno, in condizioni di deformazioni praticamente elastiche (Mayne e Rix, 1995; Fahey, 1998,2001; Housby, 2001).

Le correlazioni empiriche utilizzate sono state calibrate distinguendo le litologie dei terreni rinvenuti e raggruppandoli in tre famiglie: argille limi e sabbie. Sono state utilizzate le correlazioni proposte da Giretti, Colombi e Fioravante (2007) adattando le formule di *Andrus et al. (2001)*, ai terreni ferraresi.

La formula è la seguente:

$$V_{s1} = ASF \cdot A \cdot (q_{c1N})^\alpha$$

dove:

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_v} \right)^{0.5} \text{ resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;}$$

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma_v} \right)^{0.25} \text{ velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;}$$

ASF per depositi Olocenici = 1 (quali sono i depositi presenti nella pianura ferrarese alle profondità indagate) come suggerito da ANDRUS et al.;

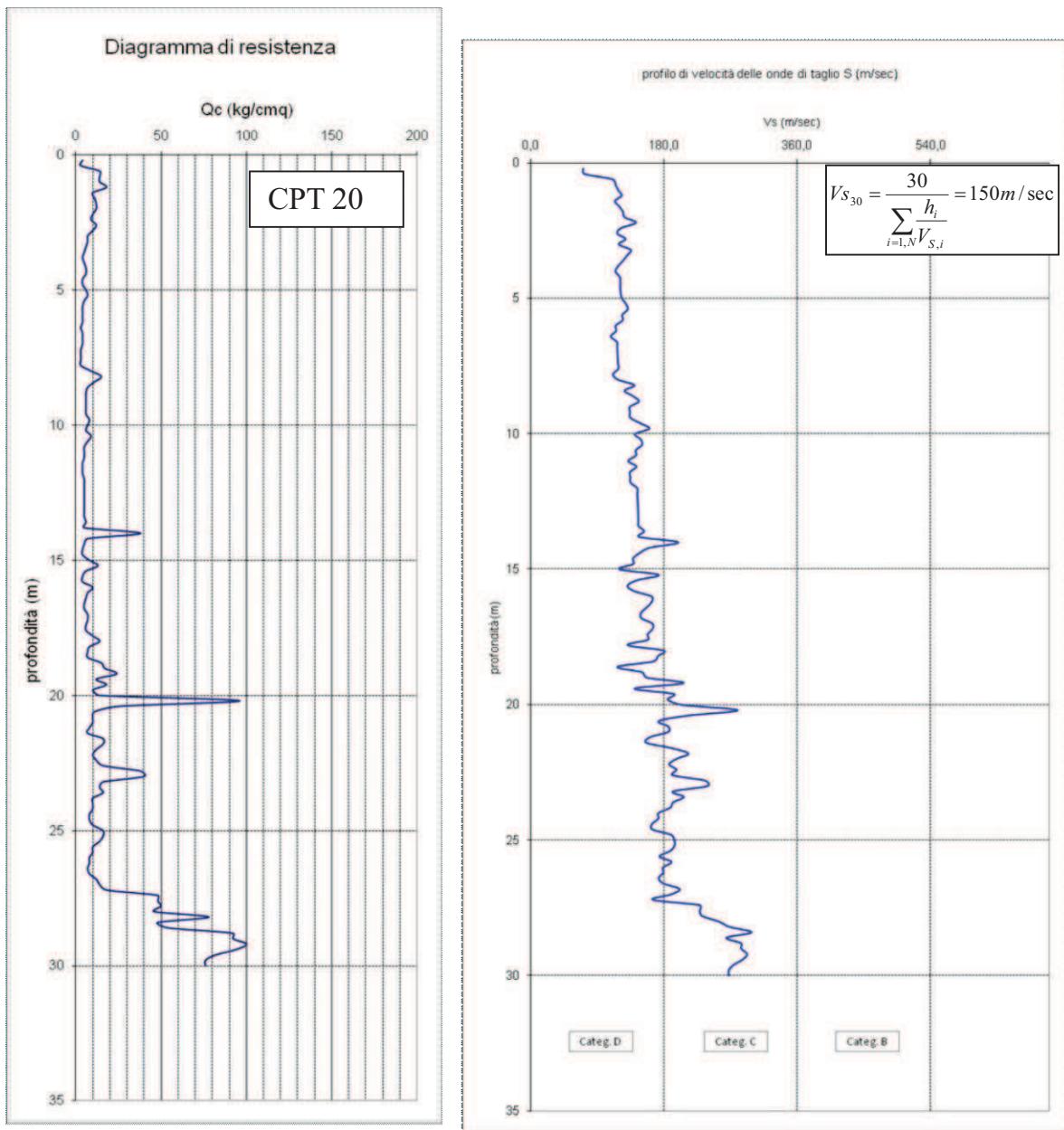
A e α sono coefficienti empirici da calibrare sulla base delle misure di q_c e di V_s disponibili;
 P_a = pressione atmosferica.

Nella tabella seguente sono riportati i coefficienti A e α .

	Argilla	Limo	Sabbia
A	80.64	77.83	53.64
α	0.28	0.24	0.33

Coefficienti A e α

Nella figura seguente si riporta il profilo dei sismostrati estrapolato dalla prova penetrometrica statica CPT20 in base ai risultati forniti dalla formula di *Andrus et al. (2001)*.



Il valore di V_{S30} calcolato in base alla stratigrafia della prova CPT20 risulta pari a **150 m/sec**. Il calcolo è stato effettuato da p.c. fino a -30,00 m da p.c..

$$V_{S30} = 150 \text{ m/sec}$$

Il metodo utilizzato, con la determinazione delle Vs30 dalle CPT, non è sicuramente il più preciso, ma per il caso in esame, non ci sono dubbi che le stratigrafie rilevate presentano una $Vs30 < 300 \text{ m/sec}$;

- PGA su suolo rigido 0,079g
- Il fattore di amplificazione F.A. è 1,5.
- Magnitudo da catalogo dei terremoti storici $Mw < 5,0$

5.1 AREE 21, 22, 26 e 31 – CPT5

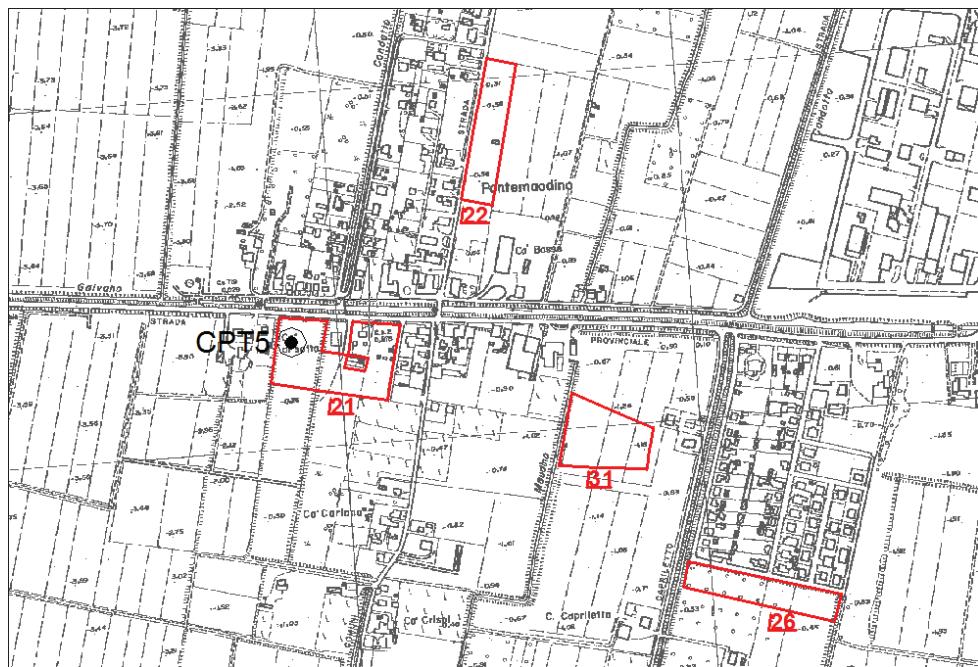


FIGURA 5.1.1 - Aree 21, 22, 26 e 31, SCALA 1:10.000

Le **AREE 21, 26 e 31** sono ubicate a sud, sud-est dell'abitato di Pontemaodino, mentre l'area **22** è ubicata ad est dell'abitato di Pontemaodino, e sono indicate come ambiti per potenziali nuovi insediamenti residenziali (**FIGURA 5.1.1**).

Il sito di intervento ricade su un dosso sabbioso costituito da cordoni di dune subparalleli, L'allineamento è quello Italba-Pontelangorino-Pontemaodino, verso est si susseguono una serie di importanti allineamenti di paleodune affioranti riconducibili dall'età del Ferro (il più occidentale), al periodo Romano, e all'alto medioevo (cordone su cui sorge l'Abbazia di Pomposa); a occidente del dosso morfologico Pontemaodino-Pontelangorino-Italba si estende il lembo più orientale della grande Bonificazione Ferrarese (1872). Queste strutture geomorfologiche si sviluppano con allineamenti orientati nord-sud e dimostrano buone continuità stratigrafica, interrotti solamente da alvei o paleoalvei che sfociavano a mare tagliando le antiche linee di costa, si veda in proposito lo stralcio della **Carta Geomorfologia** (**FIGURA 5.1.2**). Le aree si sviluppano su quote di circa -0,20/-1,20 m sul l.m.m., e non risultano siano state soggette ad allagamenti di tipo persistente.

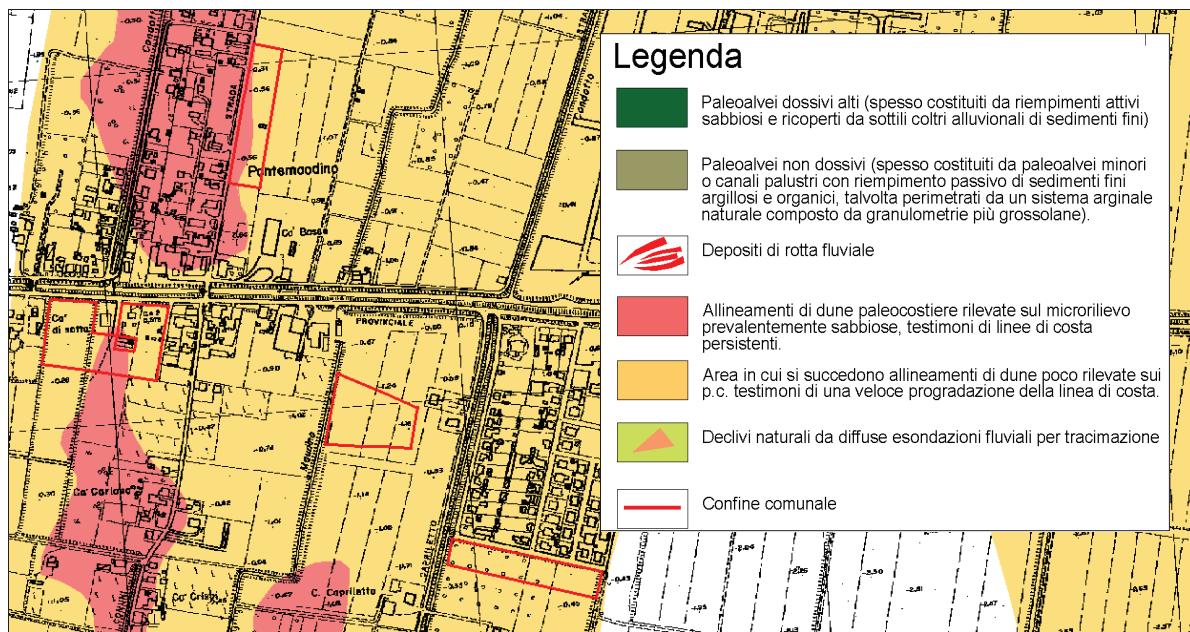


FIGURA 5.1.2 - Carta Geomorfologica, scala 1:10.000

All'interno dell'area è stata eseguita una prova penetrometrica statica, spinta fino alla profondità di -15,0 m da p.c.; in **FIGURA 5.1.3** e **FIGURA 5.1.4** vengono riportate rispettivamente l'ubicazione e una fase di esecuzione della prova.

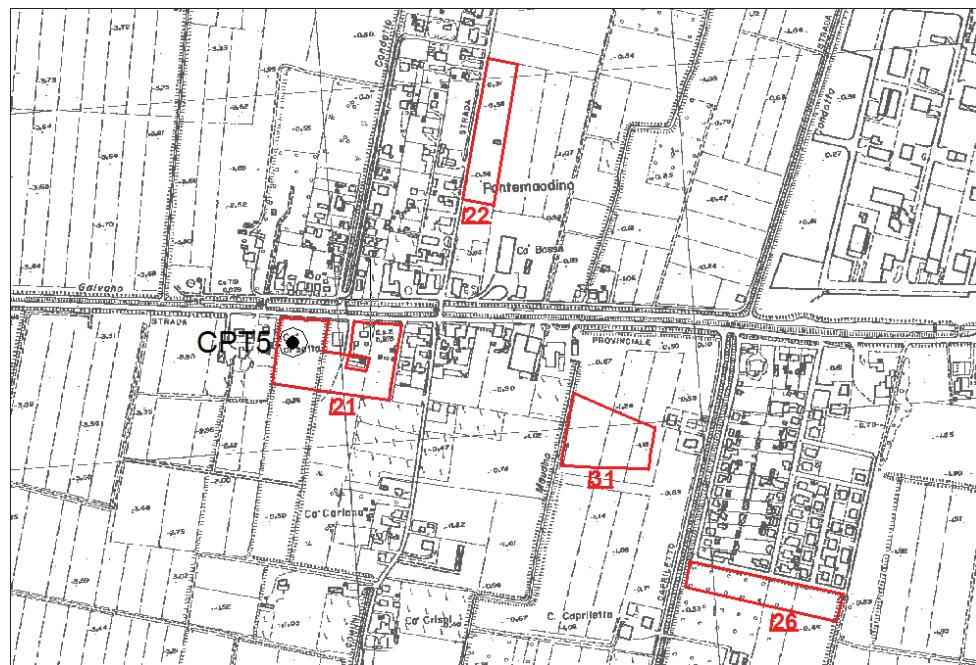


FIGURA 5.1.3 - Ubicazione CPT5 scala 1:10.000



FIGURA 5.1.4 - Fase di esecuzione prova penetrometrica CPT5

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame, ricavate dalla **Carta delle qualità geotecniche dei terreni (FIGURA 5.1.5)**, risultano molto buone.



FIGURA 5.1.5 - Carta qualità geotecniche scala 1:10.000

In **FIGURA 5.1.7** viene riportato il diagramma di resistenza della prova penetrometrica statica CPT5, effettuata all'interno dell'area in esame.

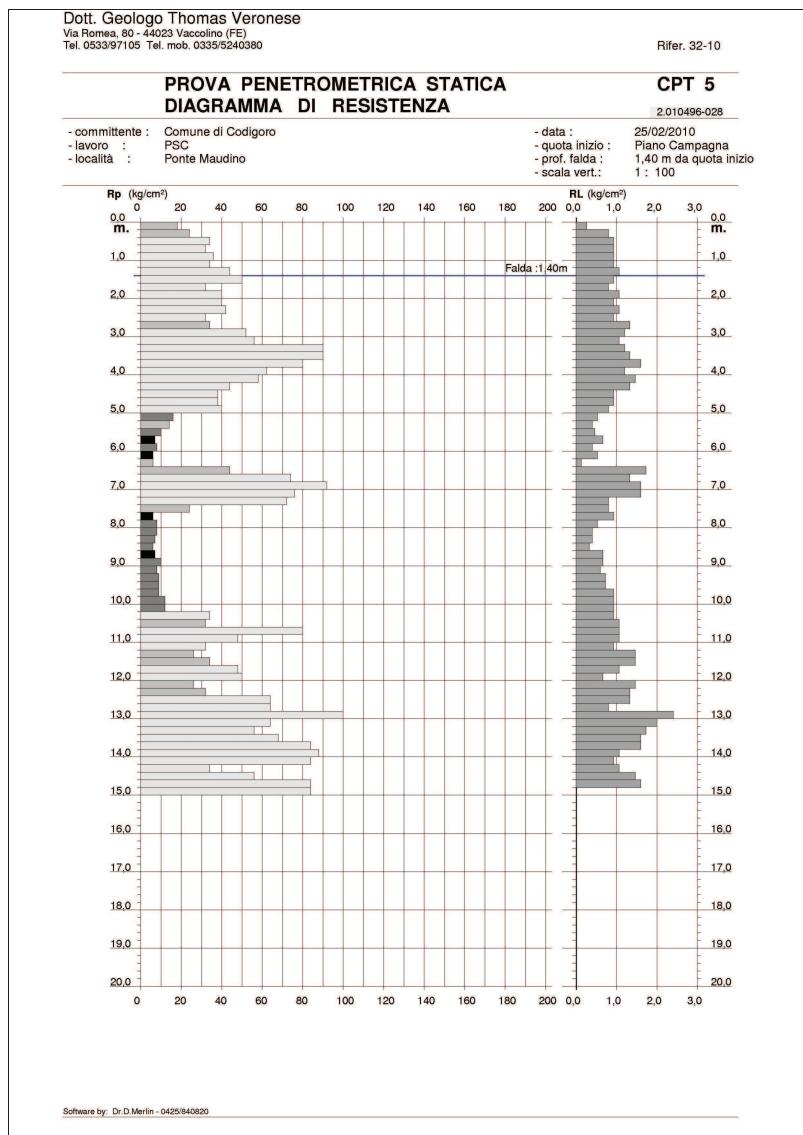


FIGURA 5.1.7 - Diagramma di resistenza della prova penetrometrica CPT5

Nella **Tabella 5.1.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con la prova penetrometrica statica:

CPT5

strato (m da p.c.)	Rp media (kg/cm ²)	Rp min (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Cu media (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)	Dr. %	ϕ
0,20 – 5,00	46,80	18	1,92	--	163,6	72	30°4
5,00 – 6,40	9,60	6	1,76	0,45	35,60	--	--
6,40 – 7,60	63,70	24	1,97	--	228,80	61	31°5
7,60 – 10,20	8,50	6	1,81	0,42	34,70	--	--
10,20 – 15,00	57,20	26	1,94	--	200,10	45	31°0

Tabella 5.1.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

La prova penetrometrica statica eseguita all'interno dell'area in esame mostra da p.c. fino a -5,00 m da p.c. uno strato di terreni granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio, R_p , di circa 47 kg/cm^2 , poi da -5,00 m fino a -6,40 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di circa 10 kg/cm^2 , poi da -6,40 m fino a -7,60 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 64 kg/cm^2 , poi da -7,60 m fino a -10,20 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di circa 8 kg/cm^2 , infine da -10,20 m fino a -15,00 m da p.c., massima profondità di investigazione, si rilevano nuovamente terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 57 kg/cm^2 .

5.1.1 AREA 21 – Riduzione del rischio sismico

- **I Livello di approfondimento: la Tavola dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito (FIGURA 5.1.8)** mostra che questa area è caratterizzata dalla potenziale presenza di caratteri predisponenti a instabilità per presenza di terreni sabbiosi immersi in falda ed anche per una piccola porzione da possibile presenza di argille sensitive.

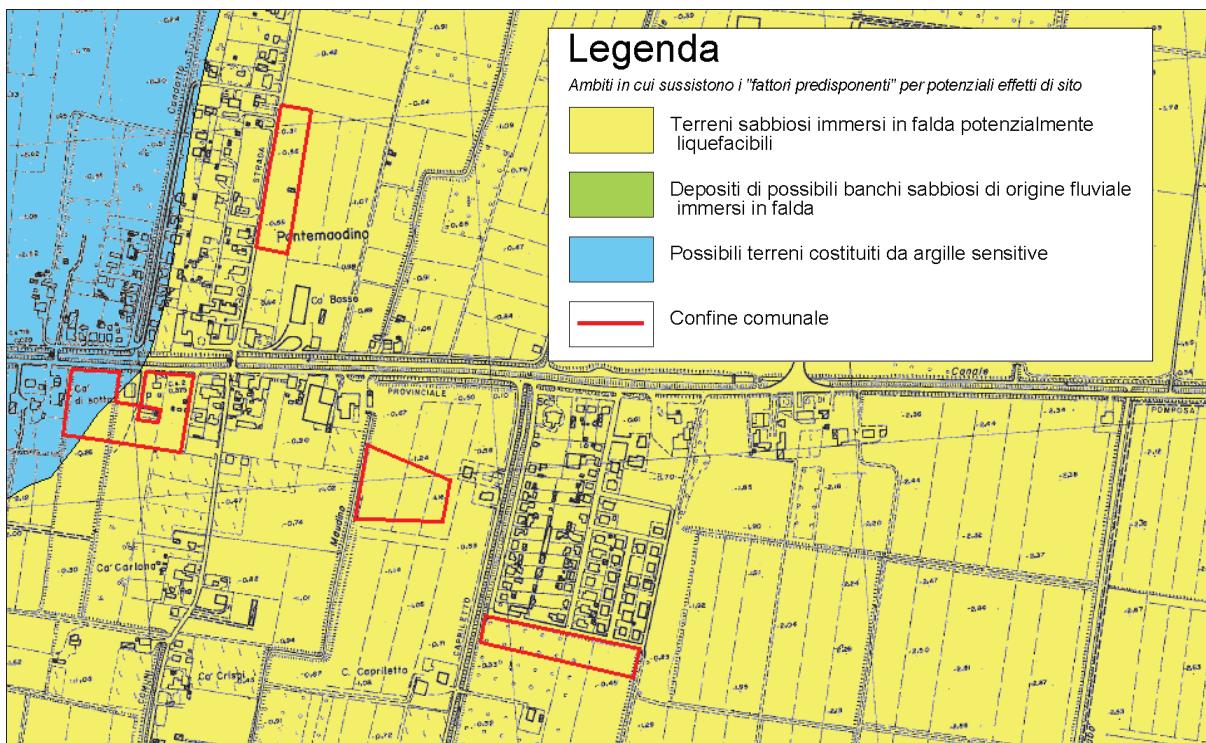


FIGURA 5.1.8 - Carta degli effetti di sito scala 1:10.000

- **Il Livello di approfondimento:** si rende necessario effettuare una analisi semplificata per valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. La stratigrafia rilevata con la prova penetrometrica statica CPT5 rileva la presenza di sabbie immerse in falda ed anche la presenza di sedimenti coesivi con coesione $C_u < 0,70 \text{ kg/cm}^2$ e possibile plasticità $IP \geq 30\%$.

Di conseguenza questa area necessita anche del III livello di approfondimento.

A corredo di questo livello di approfondimento deve anche essere allegata la definizione del modello geologico del sottosuolo e del profilo di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

L'indagine sismica consiste nella ricostruzione di un profilo sismico al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde S alla profondità di 30 metri (V_{S30}).

La categoria di suolo verrà ricavata da una correlazione empirica tra le misure di q_c e di V_s . Le q_c sono derivate dalla prova CPT21, rifer. 32-10 effettuata il 27/04/2010 e spinta fino a -30,00 m da p.c.. verrà utilizzata la correlazione di *Andrus et al. (2001)*. Tratto da Rivista Geotecnica Italiana, ISSN 0577-1405, Associazione Geotecnica Italiana, Anno XLI, n. 3 – Luglio Settembre 2007 – Giretti, Colombi, Fioravante

Queste correlazioni hanno avuto un buon riscontro nonostante si relazionino stati di deformazione del terreno estremamente diversi: il livello deformativo indotto nel terreno dalla penetrazione della punta penetrometrica provoca la rottura del materiale, mentre le onde di taglio si propagano non intaccando la struttura del terreno, in condizioni di deformazioni praticamente elastiche (Mayne e Rix, 1995; Fahey, 1998,2001; Housby, 2001).

Le correlazioni empiriche utilizzate sono state calibrate distinguendo le litologie dei terreni rinvenuti e raggruppandoli in tre famiglie: argille limi e sabbie. Sono state utilizzate le correlazioni proposte da Giretti, Colombi e Fioravante (2007) adattando le formule di *Andrus et al. (2001)*, ai terreni ferraresi.

La formula è la seguente:

$$V_{S1} = ASF \cdot A \cdot (q_{c1N})^\alpha$$

dove:

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.5} \text{ resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;}$$

$$V_{S1} = V_s \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.25} \text{ velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;}$$

ASF per depositi Olocenici = 1 (quali sono i depositi presenti nella pianura ferrarese alle profondità indagate) come suggerito da ANDRUS et al.;

A e α sono coefficienti empirici da calibrare sulla base delle misure di q_c e di V_s disponibili;

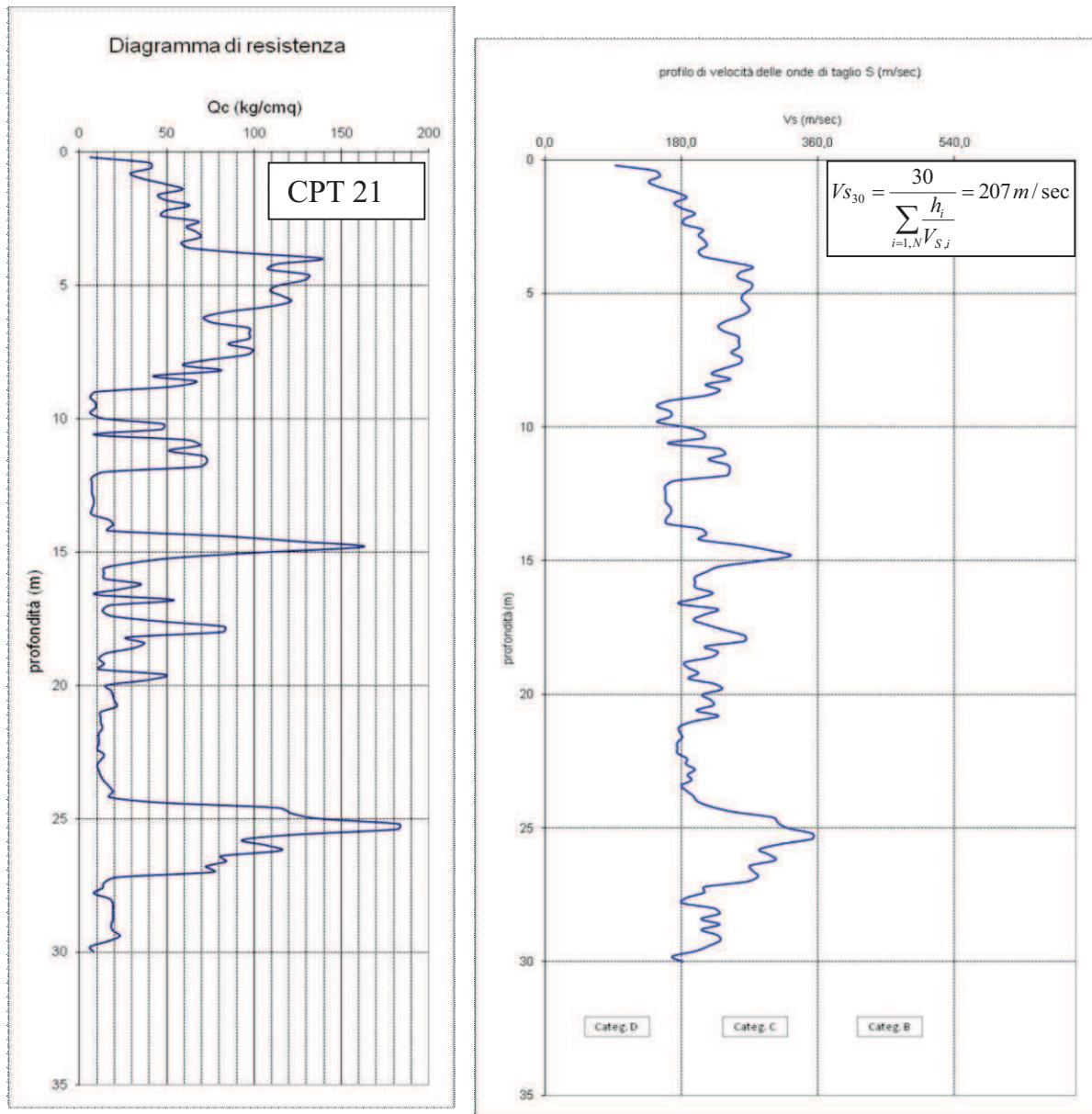
p_a = pressione atmosferica.

Nella tabella seguente sono riportati i coefficienti A e α .

	Argilla	Limo	Sabbia
A	80.64	77.83	53.64
α	0.28	0.24	0.33

Coefficienti A e α

Nella figura seguente si riporta il profilo dei sismostrati estrapolato dalla prova penetrometrica statica CPT21 in base ai risultati forniti dalla formula di *Andrus et al. (2001)*.



La Vs30 risulta essere pari a 207 m/sec, e l'amplificazione sismica è F.A. =1,5 secondo l'atto di indirizzo 112/2007.

- PGA su suolo rigido 0,079g
- Il fattore di amplificazione F.A. è 1,5.
- Magnitudo da catalogo dei terremoti storici Mw<5,0

6.1 AREA 16 – CPT7

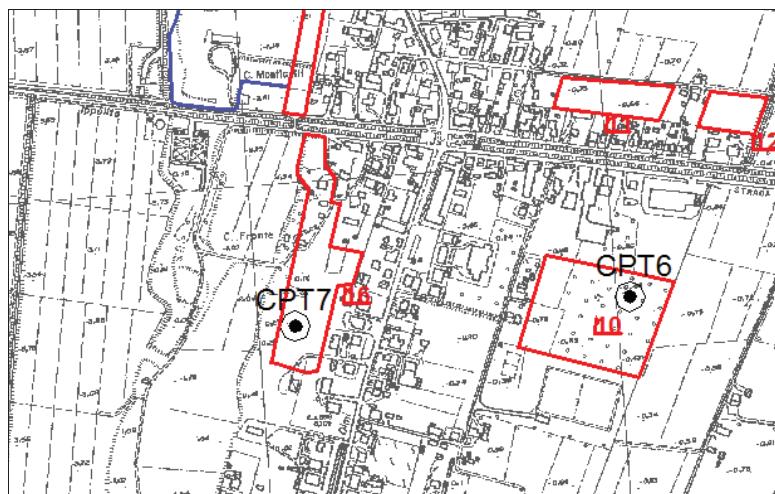


FIGURA 6.1.1 - Area 16, SCALA 1:10.000

L'AREA 16 è ubicata ad ovest dell'abitato di Pontelangorino, ed è indicata come un ambito per potenziali nuovi insediamenti urbani (FIGURA 6.1.1).

Il sito di intervento ricade su un dosso sabbioso costituito da cordoni di dune subparalleli. L'allineamento è quello Italba-Pontelangorino-Pontemaodino, verso est si susseguono una serie di importanti allineamenti di paleodune affioranti riconducibili dall'età del Ferro (il più occidentale), al periodo Romano, e all'alto medioevo (cordone su cui sorge l'Abbazia di Pomposa); a occidente del dosso morfologico Pontemaodino-Pontelangorino-Italba si estende il lembo più orientale della grande Bonificazione Ferrarese (1872). Queste strutture geomorfologiche si sviluppano con allineamenti orientati nord-sud e dimostrano buone continuità stratigrafica, interrotti solamente da alvei o paleoalvei che sfociavano a mare tagliando le antiche linee di costa, si veda in proposito lo stralcio della Carta Geomorfologia (FIGURA 6.1.2). L'area si sviluppa su quote di circa -1,10/-1,20 m sul l.m.m., e non risulta sia stata soggetta ad allagamenti di tipo persistente.

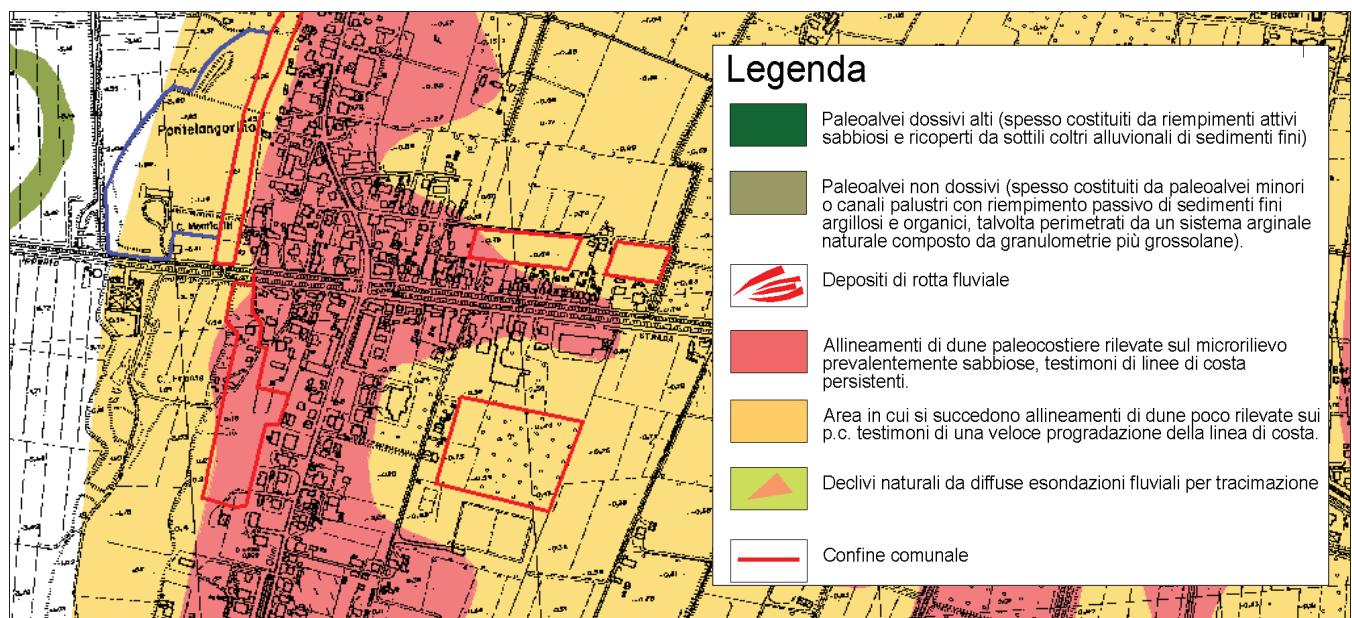


FIGURA 6.1.2 - Carta Geomorfologica, scala 1:10.000

All'interno dell'area è stata eseguita una prova penetrometrica statica, spinta fino alla profondità di -15,0 m da p.c.; in **FIGURA 6.1.3** e **FIGURA 6.1.4** vengono riportate rispettivamente l'ubicazione e una fase di esecuzione della prova.

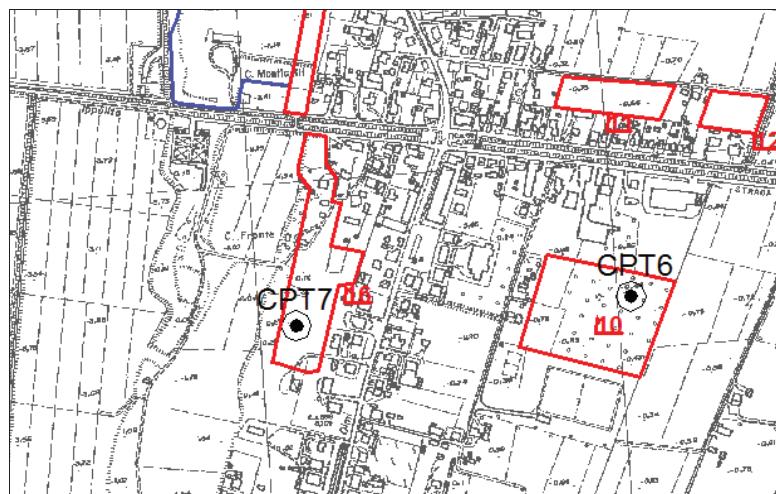


FIGURA 6.1.3 - Ubicazione CPT7 scala 1:10.000



FIGURA 6.1.4 - Fase di esecuzione prova penetrometrica CPT7

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame, ricavate dalla **Carta delle qualità geotecniche dei terreni (FIGURA 6.1.5)**, risultano molto buone.

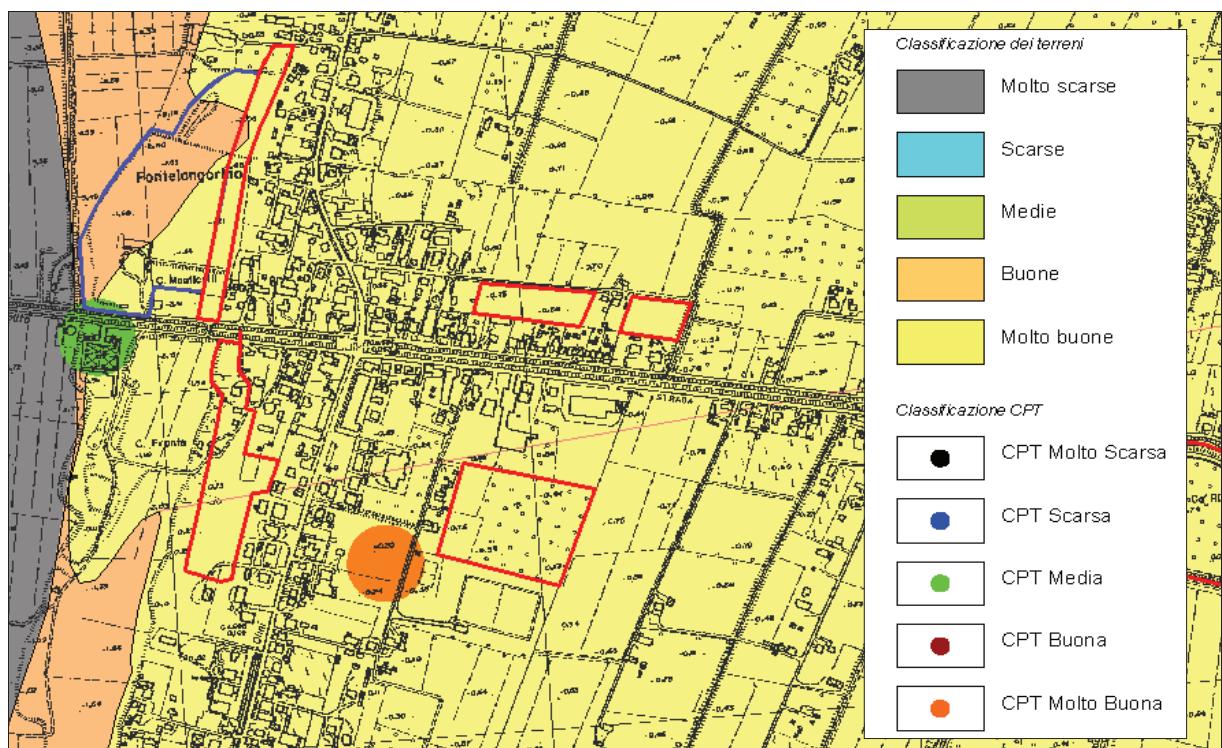


FIGURA 6.1.5 - Carta qualità geotecniche scala 1:10.000

In **FIGURA 6.1.7** viene riportato il diagramma di resistenza della prova penetrometrica statica CPT7, effettuata all'interno dell'area in esame.

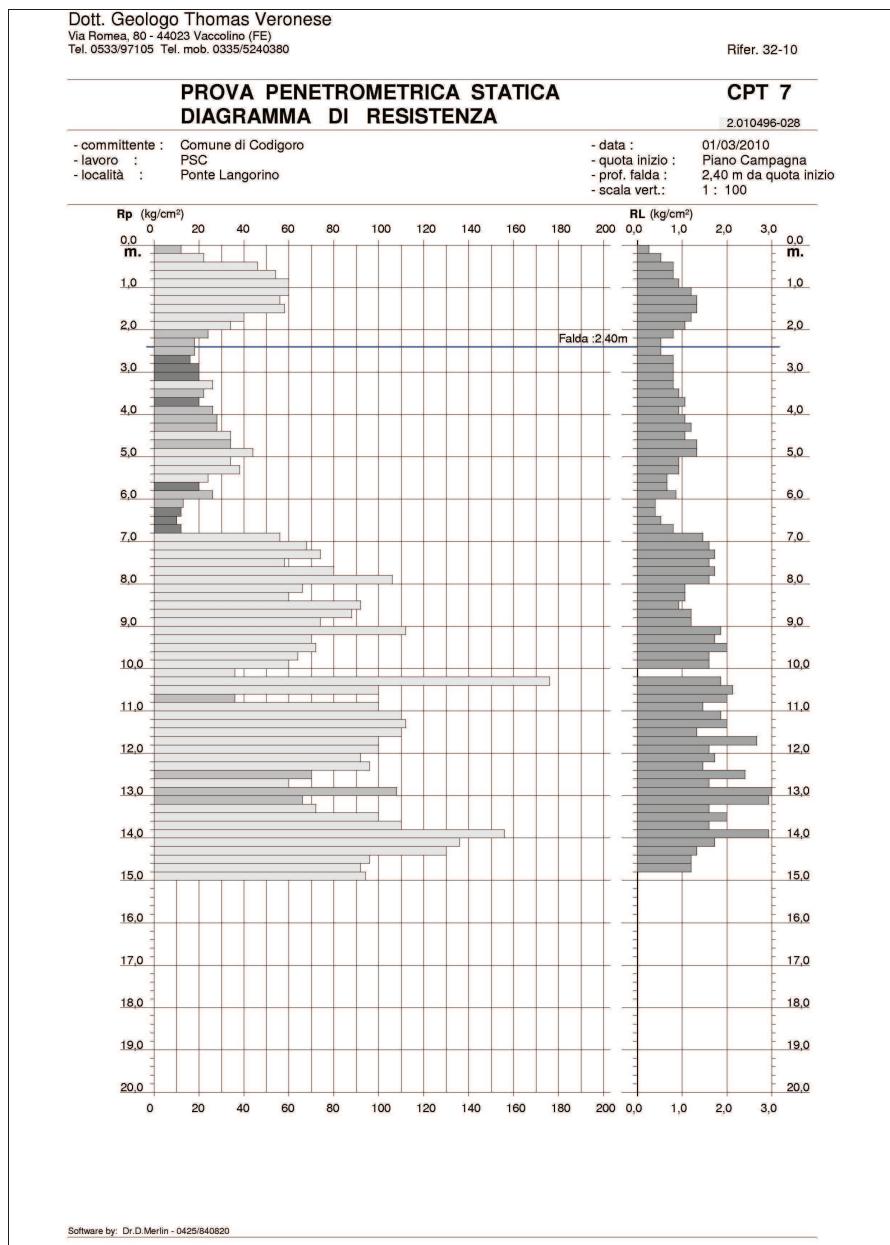


FIGURA 6.1.7 - Diagramma di resistenza della prova penetrometrica CPT7

Nella **Tabella 6.1.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con la prova penetrometrica statica:

CPT7

strato (m da p.c.)	Rp media (kg/cm ²)	Rp min (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Cu media (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)	Dr. %	ϕ
0,20 – 2,00	47,80	22	1,85	--	167,20	84	30°6
2,00 – 6,80	23,60	10	1,96	0,60	77,20	31	24°4
6,80 – 10,00	75,00	56	1,96	--	262,50	62	32°3
10,00 – 15,00	98,30	36	2,01	0,37	344,10	61	33°6

Tabella 6.1.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

La prova penetrometrica statica eseguita all'interno dell'area in esame mostra da p.c. fino a -2,00 m da p.c. uno strato di terreni granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio, R_p , di circa 48 kg/cm^2 , poi da -2,00 m fino a -6,80 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari poco addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 23 kg/cm^2 , poi da -6,80 m fino a -10,00 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 75 kg/cm^2 , infine da -10,00 m fino a -15,00 m da p.c. massima profondità di investigazione, mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 98 kg/cm^2 .

6.1.1 AREA 16 – Riduzione del rischio sismico

- **I Livello di approfondimento:** la **Tavola dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito (FIGURA 6.1.8)** mostra che questa area è caratterizzata dalla potenziale presenza di caratteri predisponenti a instabilità per presenza di terreni sabbiosi immersi in falda.

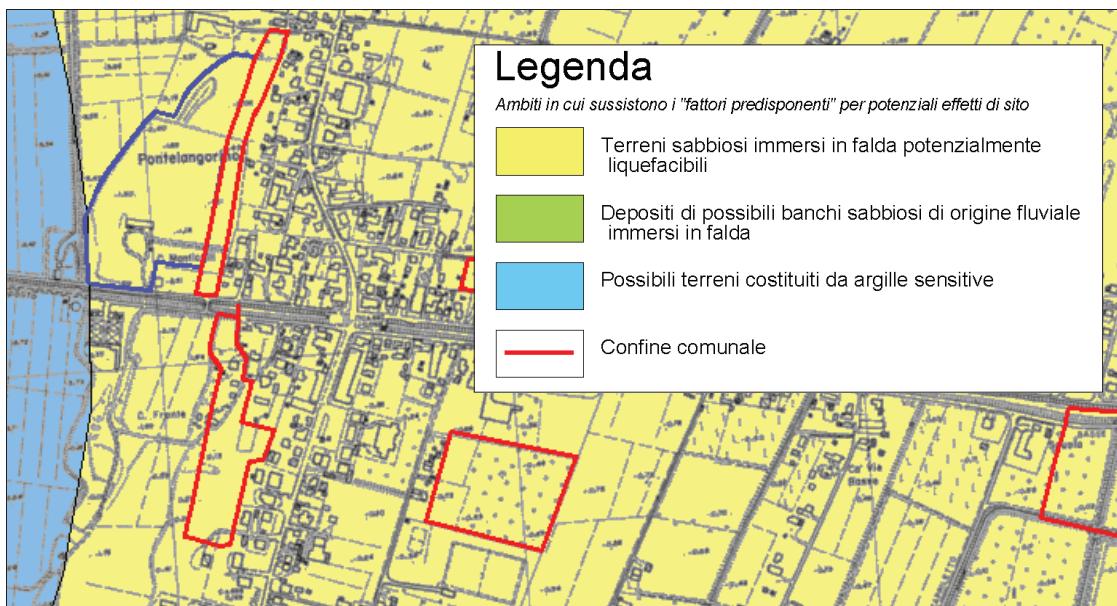


FIGURA 6.1.8 - Carta degli effetti di sito scala 1:10.000

- **II Livello di approfondimento:** si rende necessario effettuare una analisi semplificata per valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. La stratigrafia rilevata con la prova penetrometrica statica CPT7 rileva la presenza di sabbie immerse in falda.

Di conseguenza questa area necessita anche del III livello di approfondimento.

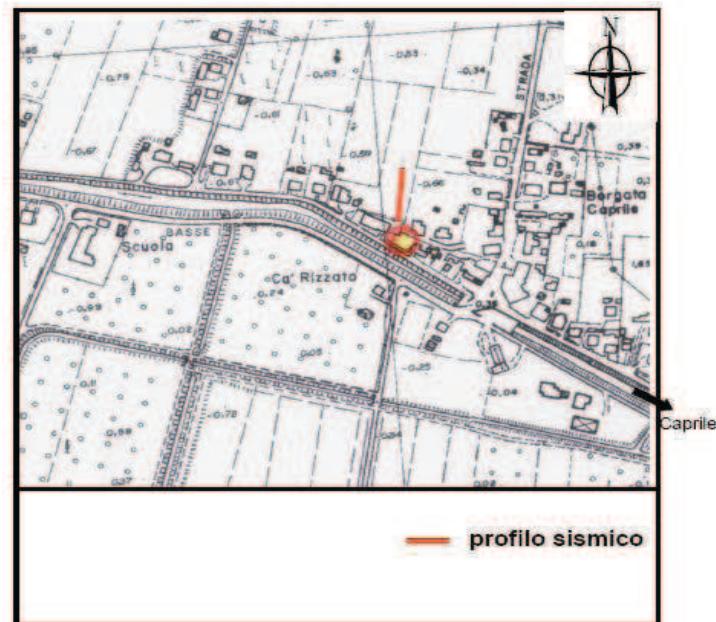
A corredo di questo livello di approfondimento deve anche essere allegata la definizione del modello geologico del sottosuolo e del profilo di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

L'indagine sismica consiste nella ricostruzione di un profilo sismico al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde S alla profondità di 30 metri (V_{S30}).

A tale fine è stata impiegata la tecnica del rumore ambientale (Refraction Microtremor "ReMi") che ha consentito di determinare la sequenza sismica delle onde di taglio nel sottosuolo. Attraverso il valore di V_{S30} è possibile risalire alla categoria di suolo.

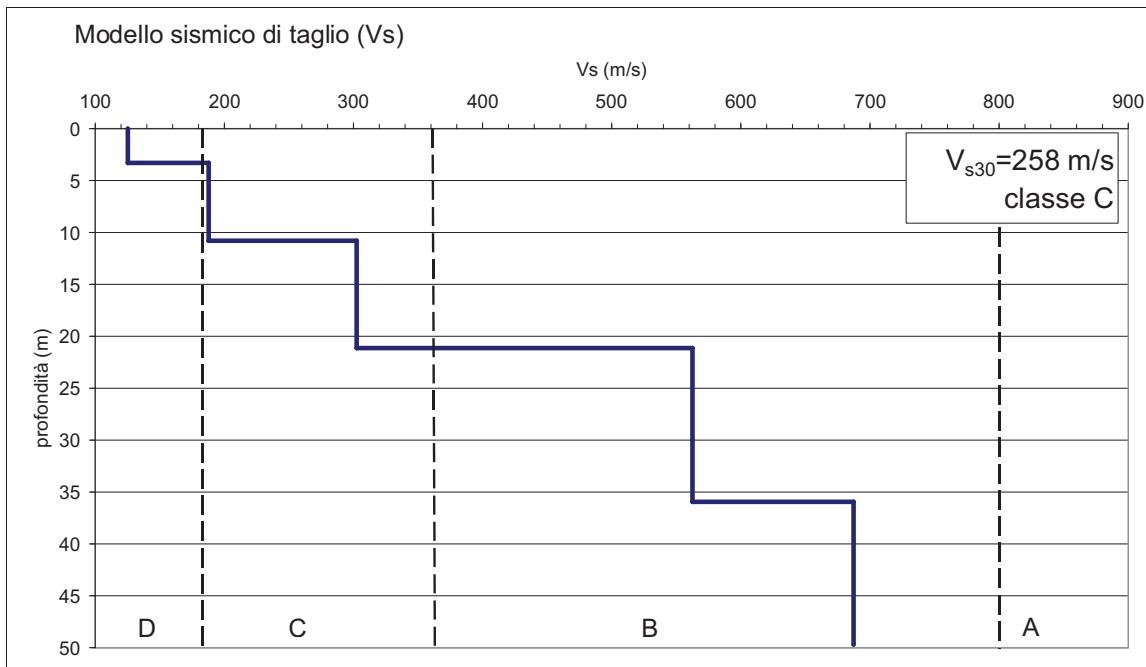
Viene considerato un profilo bibliografico in possesso dello scrivente che è stato fatto eseguire al dott. Nasser Abu Zeid (Ditta specializzata in acquisizione dati geofisici) ad est dell'area in esame ma su terreni che presentano le medesime caratteristiche lito-stratigrafiche.

L'indagine geofisica effettuata con la tecnica "ReMi", in data 20.01.2006, ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta (50 m). Di seguito si riporta l'ubicazione dell'indagine.



Il modello sismico VS ottenuto dall'interpretazione quantitativa della curva di dispersione indica la presenza di cinque sismostrati caratterizzati da "VS" crescente con la profondità e valori compresi tra 187,9-687,3 m/s.

Strato	Velocità (m/s)	Profondità (m)	Spessore (m)
1	125.3	3.3	3.3
2	187.9	10.8	7.5
3	302.5	21.1	10.3
4	562.5	35.9	14.8
5	687.3	49.7 (?)	-



La Vs30 misurata è stata di:

$$V_{s30} = 258 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/sec}$$

per cui la categoria di suolo di fondazione risulta essere:

Categoria di suolo di fondazione = C

- PGA su suolo rigido 0,079g
- Il fattore di amplificazione F.A. è 1,5.
- Magnitudo da catalogo dei terremoti storici $Mw < 5,0$

Anche in questo caso, come in tutto il territorio comunale, le sabbie vanno considerate avere i fusi granulometrici rientranti in quelli passibili del fenomeno della liquefazione. Ma la presenza dei caratteri predisponenti non è sufficiente per l'occorrenza del fenomeno se non vi sono le cause scatenanti, ovvero livelli di energia sismica sufficienti a creare incrementi di pressioni interstiziali tra i granuli, tali da ridurre le tensioni efficaci, rendendo l'ammasso sabbia-acqua come un corpo viscoso.

7.1 AREA 20 – CPT8

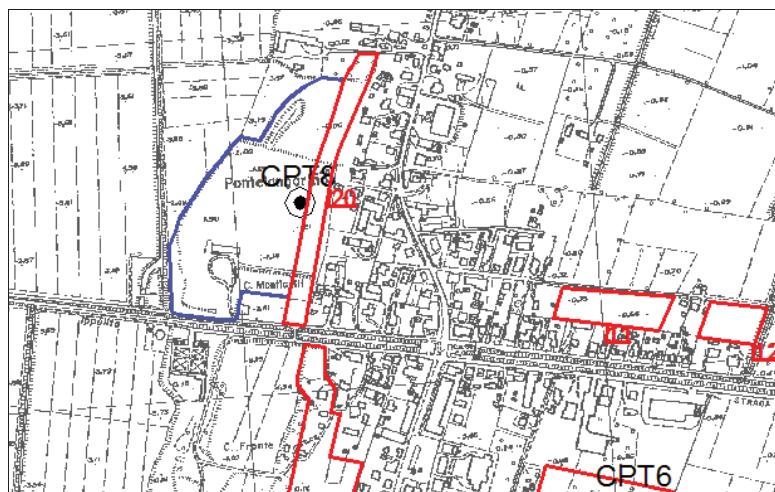


FIGURA 7.1.1 - Area 20, SCALA 1:10.000

L'AREA 20 è ubicata ad ovest dell'abitato di Pontelangorino, ed è indicata come un ambito per potenziali nuovi insediamenti urbani (FIGURA 7.1.1).

Il sito di intervento ricade su un dosso sabbioso costituito da cordoni di dune subparallel. L'allineamento è quello Italba-Pontelangorino-Pontemaodino, verso est si susseguono una serie di importanti allineamenti di paleodune affioranti riconducibili dall'età del Ferro (il più occidentale), al periodo Romano, e all'alto medioevo (cordone su cui sorge l'Abbazia di Pomposa); a occidente del dosso morfologico Pontemaodino-Pontelangorino-Italba si estende il lembo più orientale della grande Bonificazione Ferrarese (1872). Queste strutture geomorfologiche si sviluppano con allineamenti orientati nord-sud e dimostrano buone continuità stratigrafica, interrotti solamente da alvei o paleoalvei che sfociavano a mare tagliando le antiche linee di costa, si veda in proposito lo stralcio della Carta Geomorfologia (FIGURA 7.1.2). L'area si sviluppa su quote di circa -1,10/-1,20 m sul l.m.m., e non risulta sia stata soggetta ad allagamenti di tipo persistente.

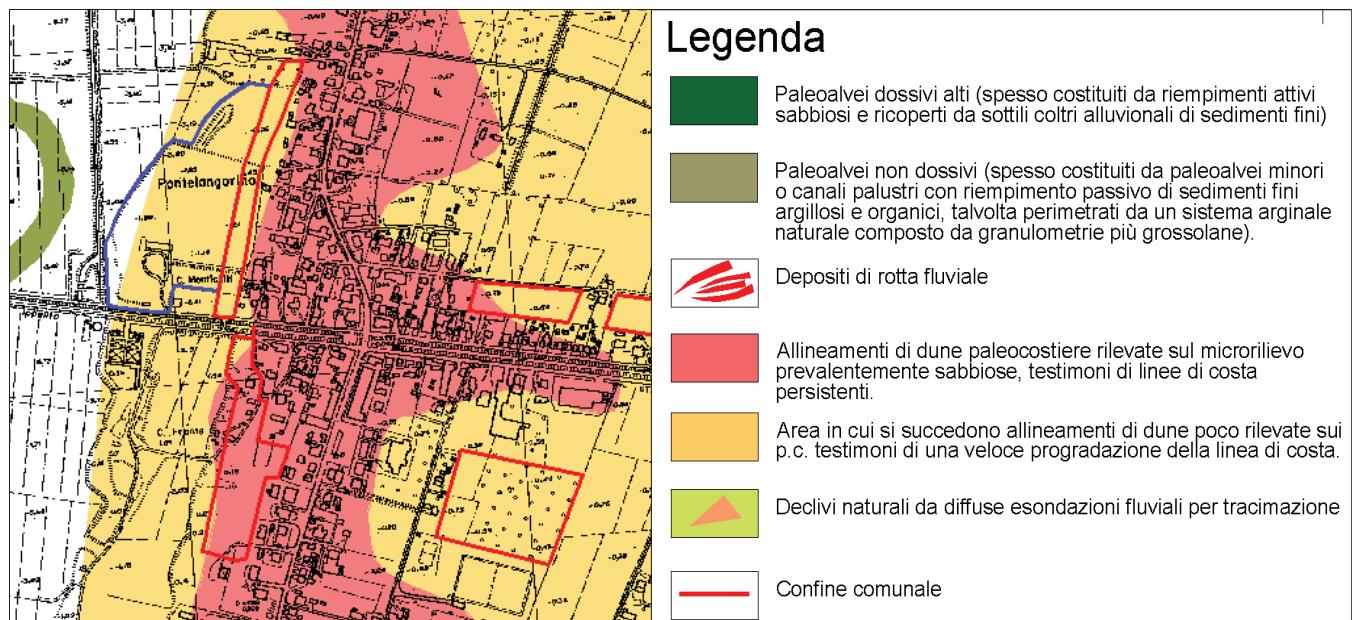


FIGURA 7.1.2 - Carta Geomorfologica, scala 1:10.000

All'interno dell'area è stata eseguita una prova penetrometrica statica, spinta fino alla profondità di -15,0 m da p.c.; in **FIGURA 7.1.3** e **FIGURA 7.1.4** vengono riportate rispettivamente l'ubicazione e una fase di esecuzione della prova.

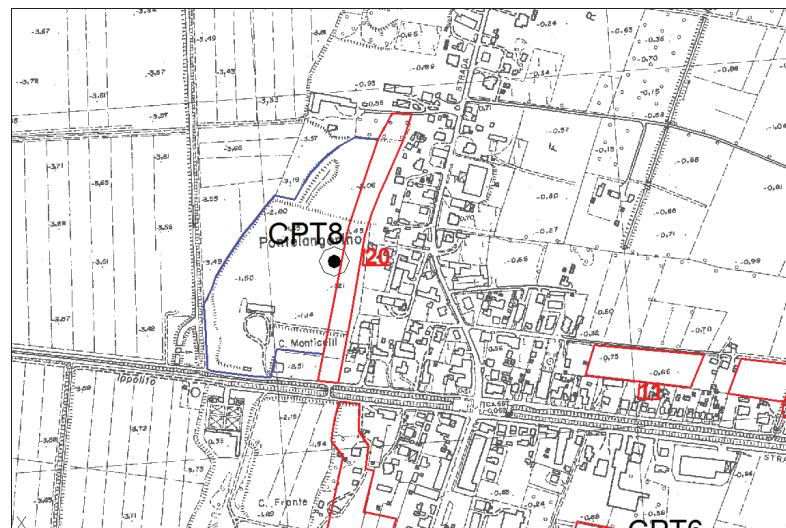


FIGURA 7.1.3 - Ubicazione CPT8 scala 1:10.000



FIGURA 7.1.4 - Fase di esecuzione prova penetrometrica CPT8

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame, ricavate dalla **Carta delle qualità geotecniche dei terreni (FIGURA 7.1.5)**, risultano molto buone.

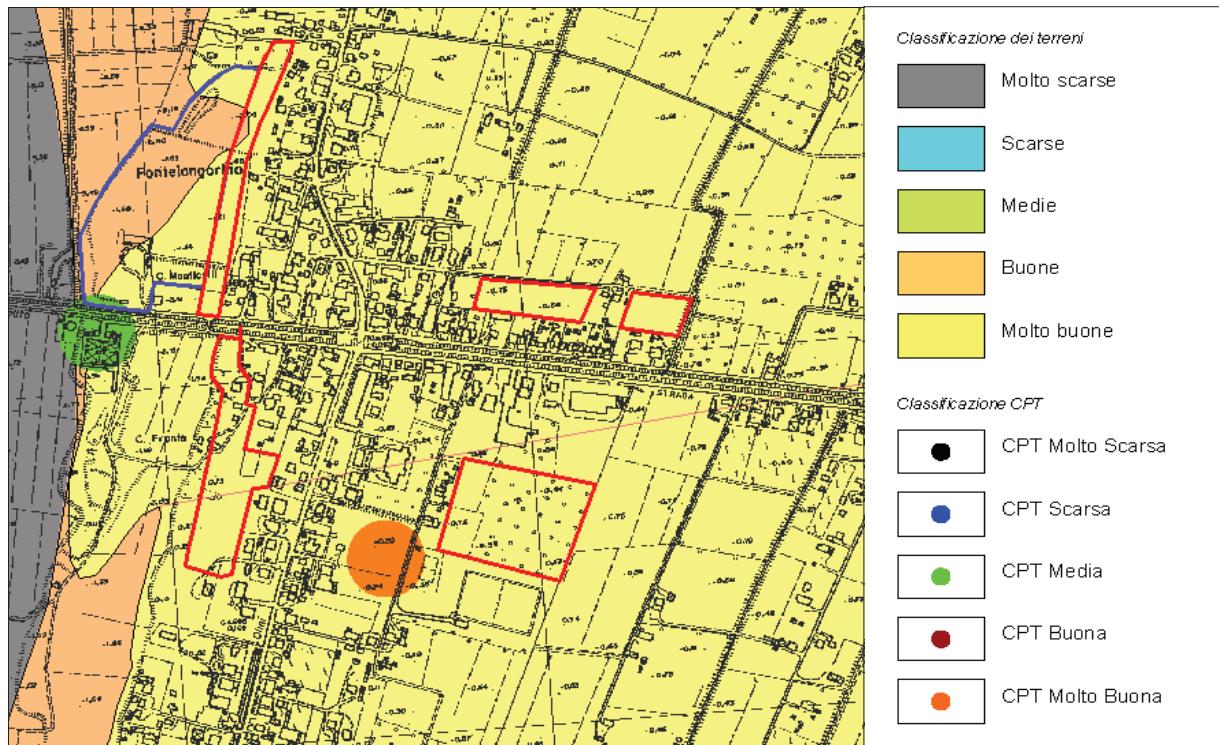


FIGURA 7.1.5 - Carta qualità geotecniche scala 1:10.000

In **FIGURA 7.1.7** viene riportato il diagramma di resistenza della prova penetrometrica statica CPT8, effettuata all'interno dell'area in esame.

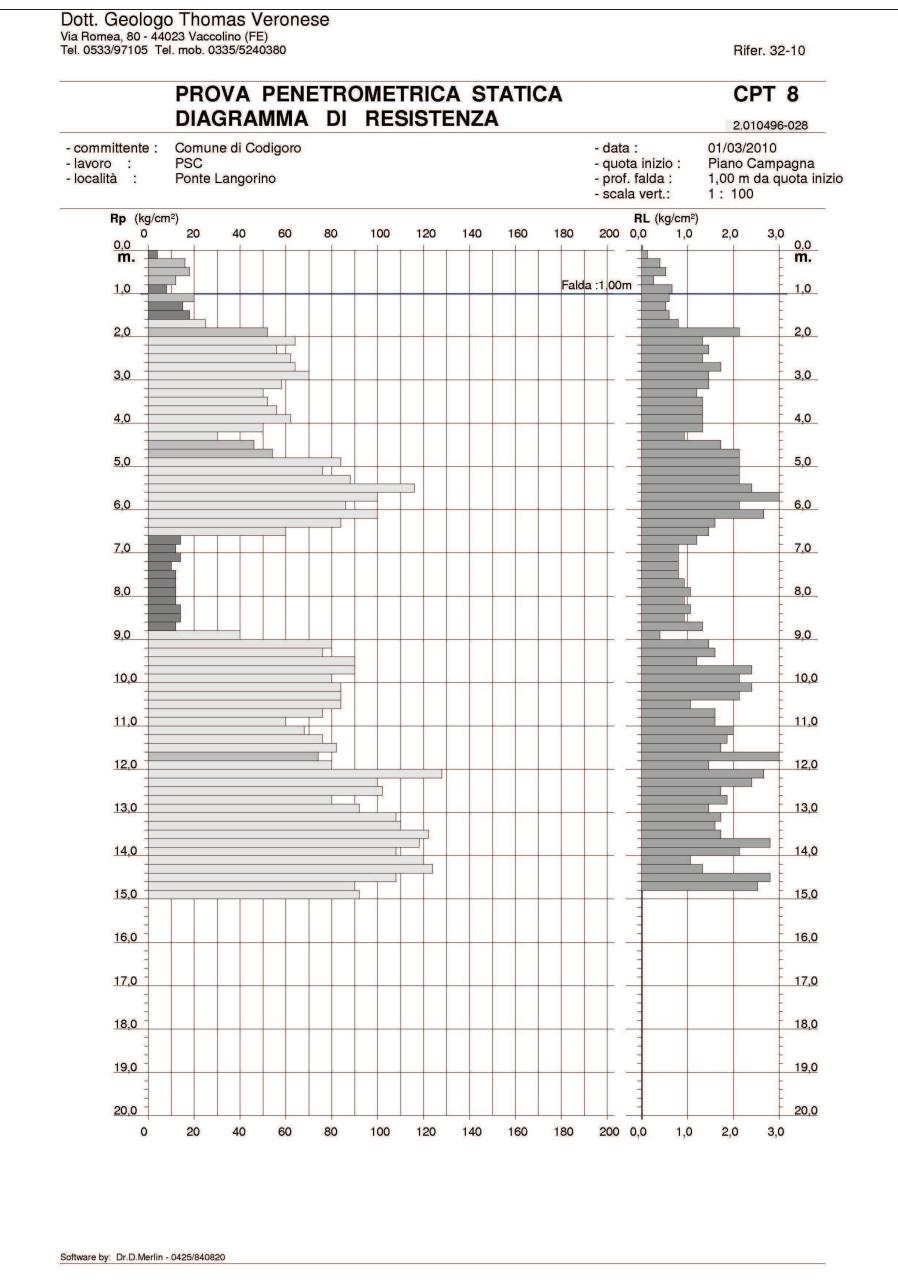


FIGURA 7.1.7 - Diagramma di resistenza della prova penetrometrica CPT8

Nella **Tabella 7.1.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con la prova penetrometrica statica:

CPT8

strato (m da p.c.)	Rp media (kg/cm ²)	Rp min (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Cu media (kg/cm ²)	Mo (kg/cm ²)	Dr. %	ϕ
0,20 – 1,80	16,50	8	1,91	0,58	47,80	44	20°3
1,80 – 6,60	67,50	30	1,96	0,21	236,30	76	32°0
6,60 – 8,80	12,50	10	1,93	0,59	46,90	--	--
8,80 – 15,00	91,20	40	1,99	--	319,10	63	33°3

Tabella 7.1.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

La prova penetrometrica statica eseguita all'interno dell'area in esame mostra da p.c. fino a -1,80 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistente con un valore di resistenza alla punta medio, R_p , di circa 16 kg/cm^2 , poi da -1,80 m fino a -6,60 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 67 kg/cm^2 , poi da -6,60 m fino a -8,80 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di circa 12 kg/cm^2 , infine da -8,80 m fino a -15,00 m da p.c., massima profondità di investigazione, mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 91 kg/cm^2 .

7.1.1 AREA 20 – Riduzione del rischio sismico

- **I Livello di approfondimento:** la **Tavola dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito (FIGURA 7.1.8)** mostra che questa area è caratterizzata dalla potenziale presenza di caratteri predisponenti a instabilità per presenza di terreni sabbiosi immersi in falda.

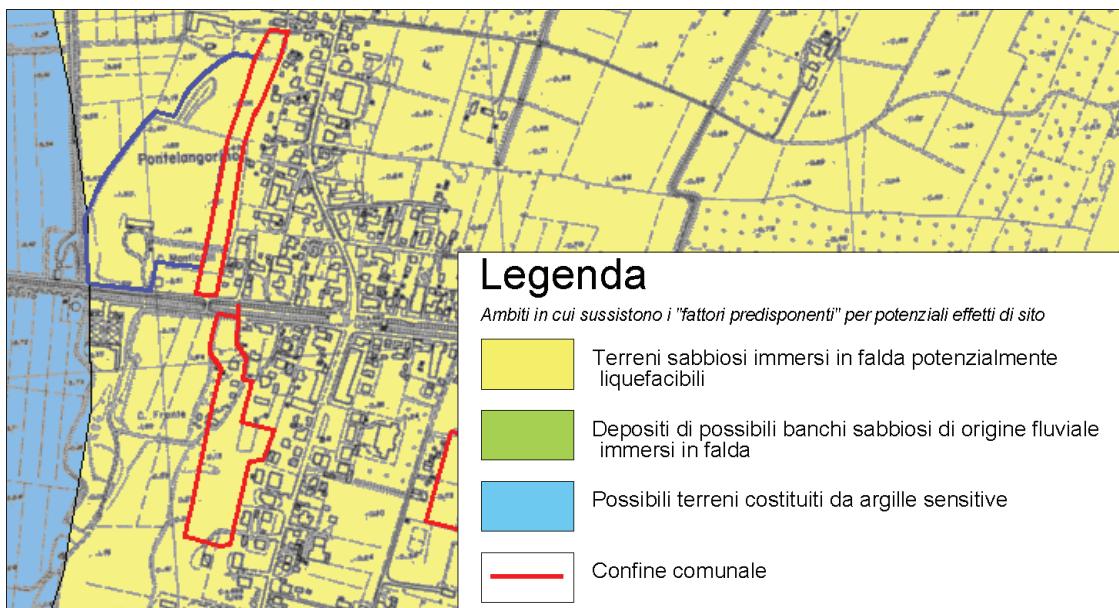


FIGURA 7.1.8 - Carta degli effetti di sito scala 1:10.000

- **Il Livello di approfondimento:** si rende necessario effettuare una analisi semplificata per valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. La stratigrafia rilevata con la prova penetrometrica statica CPT8 rileva la presenza di sabbie immerse in falda.

Di conseguenza questa area necessita anche del III livello di approfondimento.

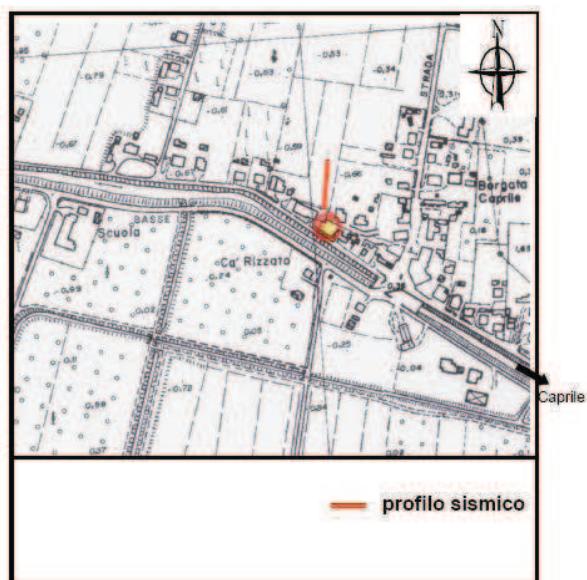
A corredo di questo livello di approfondimento deve anche essere allegata la definizione del modello geologico del sottosuolo e del profilo di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

L'indagine sismica consiste nella ricostruzione di un profilo sismico al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde S alla profondità di 30 metri (V_{S30}).

A tale fine è stata impiegata la tecnica del rumore ambientale (Refraction Microtremor "ReMi") che ha consentito di determinare la sequenza sismica delle onde di taglio nel sottosuolo. Attraverso il valore di V_{S30} è possibile risalire alla categoria di suolo.

Viene considerato un profilo bibliografico in possesso dello scrivente che è stato fatto eseguire al dott. Nasser Abu Zeid (Ditta specializzata in acquisizione dati geofisici) ad est dell'area in esame ma su terreni che presentano le medesime caratteristiche lito-stratigrafiche.

L'indagine geofisica effettuata con la tecnica "ReMi", in data 20.01.2006, ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta (50 m). Di seguito si riporta l'ubicazione dell'indagine.



Il modello sismico VS ottenuto dall'interpretazione quantitativa della curva di dispersione indica la presenza di cinque sismostrati caratterizzati da "VS" crescente con la profondità e valori compresi tra 187,9-687,3 m/s.

Strato	Velocità (m/s)	Profondità (m)	Spessore (m)
1	125.3	3.3	3.3
2	187.9	10.8	7.5
3	302.5	21.1	10.3
4	562.5	35.9	14.8
5	687.3	49.7 (?)	-