

PROVINCIA DI FERRARA



COMUNE DI CODIGORO PIANO STRUTTURALE COMUNALE

ADOTTATO CON Del. C.C. n°49 del 07/08/2008
APPROVATO CON Del. C.C. n°49 del 29/03/2011



SINDACO dott. RITA CINTI LUCIANI						
ASSESSORE ALL'URBANISTICA ALICE ZANARDI		DIRIGENTE DEI SERVIZI TECNICI E R.U.P. arch. ALESSANDRO GHIRARDINI				
SEGRETARIO GENERALE dott. ROSARIA DI PAOLA		RESPONSABILE SERVIZIO URBANISTICA arch. RITA VITALI				
PROGETTISTA E COORDINATORE arch. PIETRO PIGOZZI						
ANALISI E PROGETTAZIONE URBANISTICA U.T.E.C.O. arch. FRANCESCO VAZZANO dott. geol. ELENA BONORA dott. RITA BENETTI geom. MARCO PIGOZZI		ANALISI GEOLOGICA dott. geol. THOMAS VERONESE ANALISI AGRONOMICA dott. agr. GIUSEPPE DARBO dott. agr. LUIGI BENELLI		ANALISI SOCIO-ECONOMICA CdS dott. ANDREA GANDINI dott. ANNA OCCHI dott. STEFANO CAPATTI dott. CHIARA BERTELLI		
TAV.N° 1.13		OGGETTO: ALLEGATO 13: MICROZONAZIONE SISMICA ANALISI DI SECONDO LIVELLO				
DATA CONSEGNA 15/04/2011		AGGIORNAMENTO		DATA		MOTIVAZIONE
ANNO	PROGR. PROG.	SETTORE	LIVELLO PROG.	VARIANTE	ELABORATO	NUMERO ELAB.
05	002	PUA	D	0	RIL	12

INDICE:

1. ANALISI DETTAGLIATA DELLE AREE DI ESPANSIONE DI CODIGORO – ASPETTI GEOMORFOLOGICI, GEOTECNICI E SISMICI	3
1.1 AREE 2, 9, 15, 19, 29 E 30– CPT14, 15, 16 E 22.....	6
1.1.1 AREE 2, 9, 15, 19, 29 E 30– RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	13
2.1 AREA 5– CPT13, 17 E 18.....	18
2.1.1 AREA 5 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	26
3.1 AREE 13, 14 E 18– CPT12, 19, 20	32
3.1.1 AREE 13, 14 E 18– RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	39
4.1 AREA 27 – CPT23	44
4.1.1 AREA 27 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	47
5.1 AREE 21, 22, 26 E 31 – CPT5	50
5.1.1 AREA 21 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	54
6.1 AREA 16 – CPT7	57
6.1.1 AREA 16 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	61
7.1 AREA 20 – CPT8.....	64
7.1.1 AREA 20 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	68
8.1 AREA 24.....	71
8.1.1 AREA 24 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	75
9.1 AREA 25.....	78
9.1.1 AREA 25 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	81
10.1 AREA 28 – CPT53-06.....	84
10.1.1 AREA 16 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	87
11.1 AREA 6 – CPT35-09.....	90
11.1.1 AREA 6 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	93
12.1 AREA 8 – CPT10.....	96
12.1.1 AREA 10 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	99
13.1 AREE 10, 11 E 12 - CPT6.....	102
13.1.1 AREE 10-11-12 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	105
14.1 AREA 17 – CPT1	108
14.1.1 AREA 1 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	111
15.1 AREA 1 INDUSTRIALE – CPT2	114
15.1.1 AREA 1 IND – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	118
16.1 AREA 2 INDUSTRIALE	122
16.1.1 AREA 2 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	126
17.1 AREA 3 INDUSTRIALE – CPT9	129
17.1.1 AREA 3 INDUSTRIALE – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	132
18.1 AREA 4 INDUSTRIALE– CPT 71-04/1.....	135
18.1.1 AREA 4 INDUSTRIALE – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	139
19.1 AREA 5 INDUSTRIALE – CPT37-07.....	142
19.1.1 AREA 5 – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	149
20.1 AREA 32 RESIDENZIALE – CPT 31-99, CPT 13-01, CPT 23-05, CPT 40-99, CPT 55-08, CPT 98-09	153
20.1.1 AREA 32 RESIDENZIALE – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO.....	160
AMBITI DI RIQUALIFICAZIONE URBANA.....	163
21.1 A.R. EX COLOMBANI E EX ZUCCHERIFICIO	163
21.1.1 AREA DI RIQUALIFICAZIONE URBANA EX COLOMBANI-EX ZUCCHERIFICIO – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO.....	168
22.1 A.R. S.P. GRAN LINEA.....	174
22.1.1 AREA DI RIQUALIFICAZIONE URBANA S.P. GRAN LINEA – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO.....	179
23.1 A.R. EX CANTINE SCALAMBRA	184
23.1.1 AREA DI RIQUALIFICAZIONE URBANA EX CANTINA SCALAMBRA – RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO ...	188
CORRIDOI INFRASTRUTTURALI	194
24.1 LA E55 E LA TANGENZIALE DI CODIGORO	194
25.1 LA FERROVIA CODIGORO -ADRIA	196

2. RISCHIO IDRAULICO.....	199
----------------------------------	------------

1. ANALISI DETTAGLIATA DELLE AREE DI ESPANSIONE DI CODIGORO – ASPETTI GEOMORFOLOGICI, GEOTECNICI E SISMICI

Su incarico dell'**AMMINISTRAZIONE COMUNALE CODIGORO**, è stato eseguito uno studio specialistico sulle nuove aree di espansione residenziali, produttive, di riqualificazione urbana e sui corridoi infrastrutturali comprendente gli aspetti geologici, idrogeologici, geotecnici e di analisi per la mitigazione del rischio sismico, individuati in sede di Piano Strutturale Comunale.

Lo studio è stato svolto con lo scopo di ricavare indicazioni in merito alle caratteristiche delle zone per le quali sono proposti i nuovi ambiti di espansione, ed in particolare per fornire l'inquadramento geologico, idrogeologico e geotecnico, nonché per effettuare le necessarie valutazioni di compatibilità delle previsioni di pianificazione, con la riduzione del rischio sismico.

Le indagini effettuate in sito sono state pianificate e discusse nella presente, tengono in debito conto della delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna, n. 112 del 2/05/2007 in cui vengono approvati gli atti d'indirizzo e coordinamento tecnico in merito agli studi di valutazione della risposta sismica locale e di microzonazione sismica del territorio, nonché tenendo in considerazione di quanto riportato nell'accordo di pianificazione approvato dal Consiglio Comunale. E' stata presa in riferimento anche la Circolare della Regione Emilia Romagna n. 1288/1983.

Questo studio si basa sulle indagini eseguite in sito ed in laboratorio geotecnico, per la caratterizzazione dei suoli su cui è prevista la trasformazione d'uso.

Tali ambiti sono stati, infatti, in prima fase, sovrapposti alla cartografia di sintesi riportata nel Quadro Conoscitivo, in particolare sovrapposti alle carte di seguito elencate ed allegate in stralci.

1. Carta geomorfologica
2. Carta delle Qualità Geotecniche
3. Carta della Potenziale Presenza dei Caratteri Predisponenti agli Effetti di Sito

Per quanto riguarda le valutazioni di compatibilità delle previsioni di pianificazione, con la riduzione del rischio sismico sono stati effettuati due livelli di analisi:

1. il primo, volto all'identificazione delle parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazioni, cedimenti, fenomeni di liquefazione, ecc.), è stato effettuato sulla base della sovrapposizione degli ambiti con la carta della potenziale presenza dei caratteri predisponenti agli effetti di sito allegata al quadro conoscitivo;

2. il secondo, volto a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale, è stato effettuato sulla base della caratterizzazione geologica - geotecnica ricavata dall'analisi delle indagini svolte in sito, finalizzate alla definizione del modello geologico del sottosuolo e dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), i quali sono nella presente stati eseguiti nelle sole aree individuate dal I livello di analisi, come soggette a possibili effetti di sito. Laddove erano presenti sedimenti con coesione inferiore a 70kPa, rilevati con le CPT, sono stati campionati i

terreni per determinare anche l'indice plastico che risulta essere il parametro predisponente discriminante sull'occorrenza dei fenomeni di cedimento postsismico nei terreni coesivi soffici.

Sulla base delle risultanze di tale livello di approfondimento, sono stati definiti gli ambiti di riqualificazione o di nuovo insediamento che dovranno essere attuati senza la necessità di eseguire nuove indagini per la mitigazione del rischio sismico e quali invece siano subordinati allo svolgimento di ulteriori approfondimenti.

In tutte le aree indicate per il comune di Codigoro, si attribuisce lo spettro di risposta caratteristico da adottare nelle eventuali analisi di terzo livello. Tale spettro di risposta (**FIGURA 1.2**) rappresenta il segnale di riferimento assegnato al comune amplificato per le condizioni stratigrafiche rilevate nei singoli ambiti (V_{s30} sempre inferiore a 300m/sec); il moto sismico atteso di riferimento è per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%):

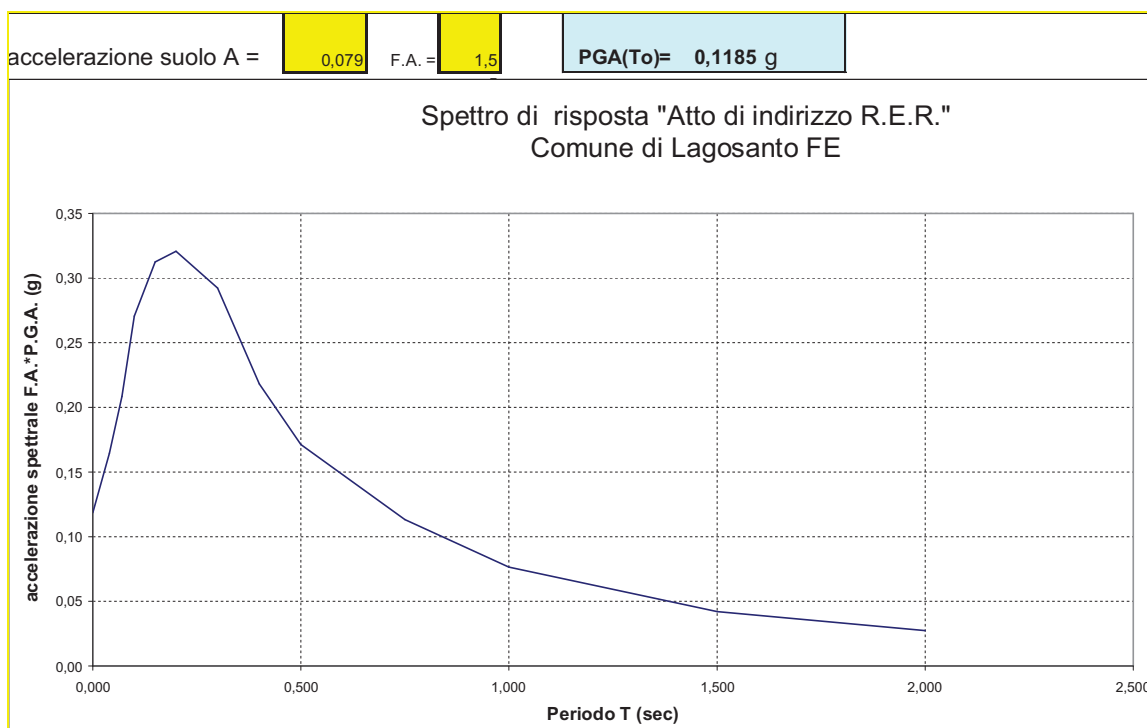


FIGURA 1.2 - Spettro di risposta Comune di Codigoro

Nel territorio codigorese non sono attesi sismi con magnitudo superiori a $M_w > 5$, infatti tale territorio si sviluppa su quella che viene definita la monoclinale padano-veneta, ovvero un substrato roccioso subpianeggiante non interessata da fatturazioni e faglie significative.

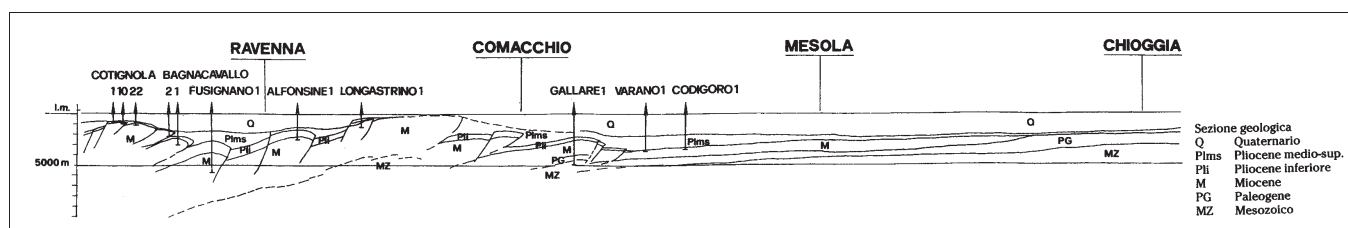


FIGURA 1.2.1 - Sezione geologica della bassa pianura padana.

Esistono già studi autorevoli pubblicati sulla Rivista Italiana di Geotecnica (n.2/2009), dove viene riportato che lungo tutta la costa comacchiese e codigorese non sono attesi fenomeni di liquefazione delle sabbie (Johann Facciorusso, Giovanni Vannucchi "Esempio di valutazione del potenziale di liquefazione su scala regionale secondo l'approccio deterministico e probabilistico").

In questo lavoro si volgerà una certa attenzione ai fanghi molli presenti spesso sotto la prima "crosta" più consistente di terreni coesivi che domina laddove non si hanno le sabbie dunose in affioramento.

Tali fanghi generalmente sono costituiti da limi, e dunque presentano bassa plasticità. Laddove sono presente invece sedimenti organici o frazioni di argille più alte, la plasticità supera il 30% per cui si entra nel campo dei sedimenti che potenzialmente possono avere cedimenti postsismici significativi dal punto di vista ingegneristico.

Affinché si abbiano deformazioni importanti, occorre però che ci siano le cause scatenanti, ovvero occorre che l'incremento di pressioni neutre dovute al passaggio dell'onda sismica, sia superiore al 30% del carico litostatico efficace.

Questa condizione è quasi impossibile che si verifichi nel territorio codigorese, in quanto le energie sismiche attese sono molto contenute. Le accelerazioni in campo libero, comprensive delle amplificazioni dovute alla stratigrafia, sono di poco superiori a 0,11g.

1.1 AREE 2, 9, 15, 19, 29 e 30– CPT14, 15, 16 e 22

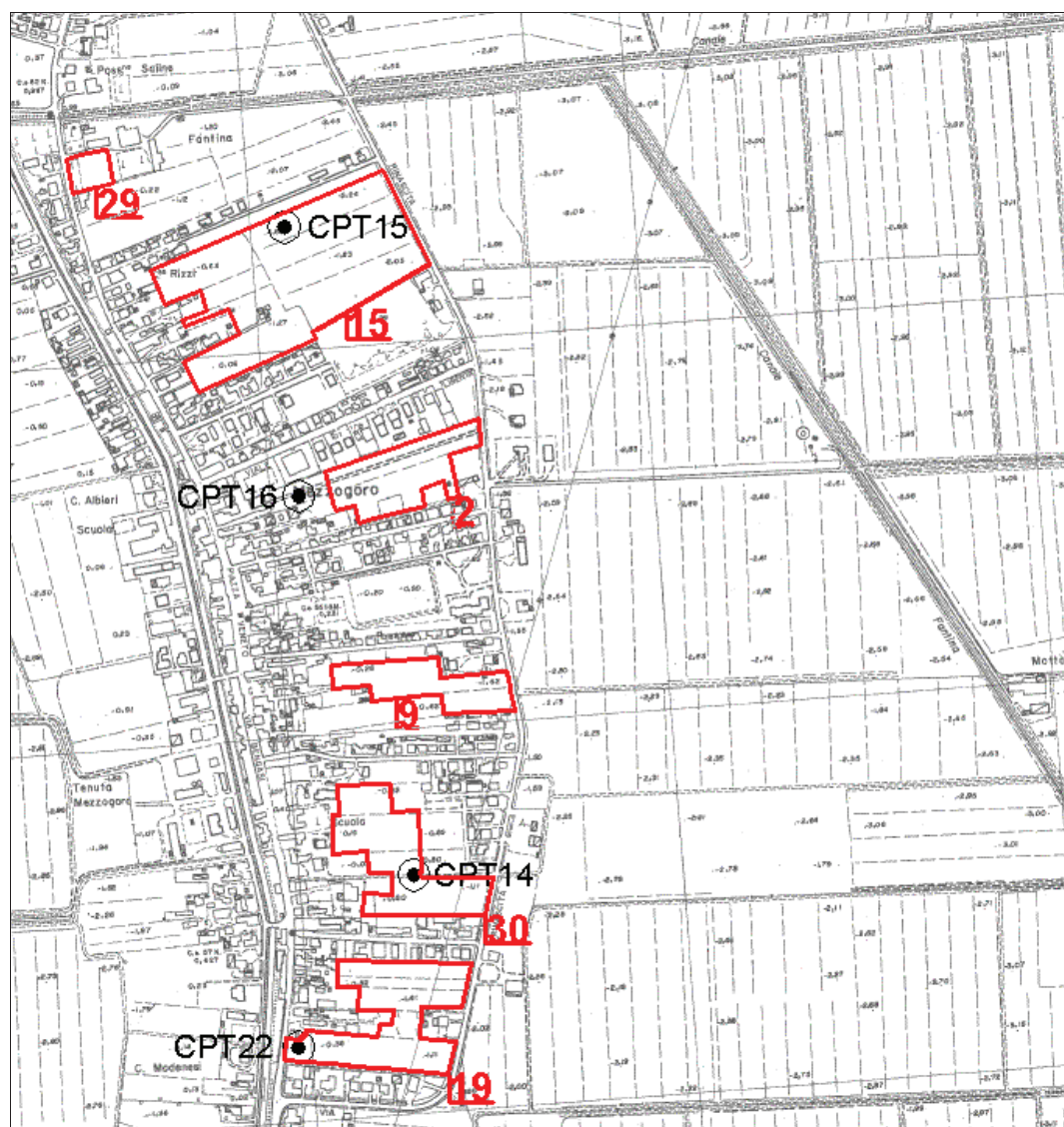


FIGURA 1.1.1 – Aree 2, 9, 15, 19, 29 e 30, SCALA 1:10.000

Le **AREE** 2, 9, 15, 19, 29 e 30 sono ubicate nell'abitato di Mezzogoro, e sono indicate come ambiti per potenziali nuovi insediamenti urbani (**FIGURA 1.1.1**).

Da un punto di vista geomorfologico queste aree sorgono ad est rispetto al paleoalveo del Fiume Gaurus, in posizione distale rispetto al dosso stesso. Il fiume Gaurus era 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. Esternamente agli alvei fluviali dominano generalmente sedimenti fini quali argille, argille limose e limi argillosi. Anche la deposizione di torbe è possibile in aree di ristagno delle acque, si veda in proposito lo stralcio della **Carta Geomorfologia (FIGURA 1.1.2)**. L'area si sviluppa su quote piuttosto variabili allontanandosi dal dosso e procedendo verso est da circa +0,00 fino a -2,00 m sul l.m.m. e non risulta sia stata soggetta ad allagamenti di tipo persistente.

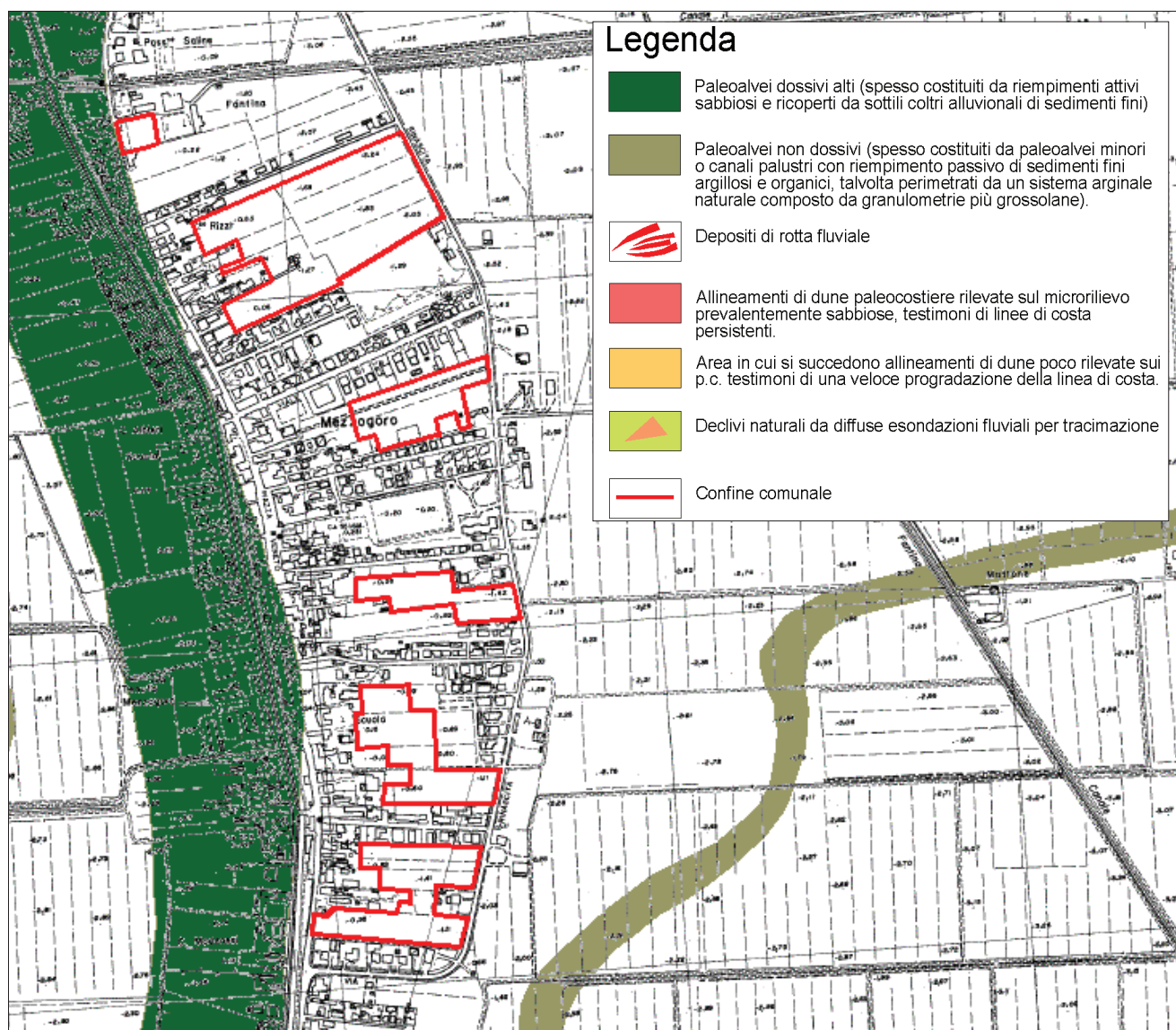


FIGURA 1.1.2 - Carta Geomorfologica, scala 1:10.000

Sono state eseguite quattro prove all'interno delle aree in esame, spinte a profondità variabili tra -15,0 e -30,00 m da p.c.; in **FIGURA 1.1.3** e **FIGURA 1.1.4** vengono riportate rispettivamente l'ubicazione e una fase di esecuzione delle prove.





CPT14



CPT15



CPT16



CPT22

FIGURA 1.1.4 - Fase di esecuzione prove penetrometriche

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame, ricavate dalla **Carta delle qualità geotecniche dei terreni (FIGURA 1.1.5)**, passano da medie a molto scarse allontanandosi dal paleoalveo. Le stratigrafie delle prove mostrano una situazione molto omogenea.



FIGURA 1.1.5 - Carta qualità geotecniche scala 1:10.000

In **FIGURA 1.1.7** vengono riportati i diagrammi di resistenza delle prove penetrometriche statiche, effettuate all'interno delle aree in esame.

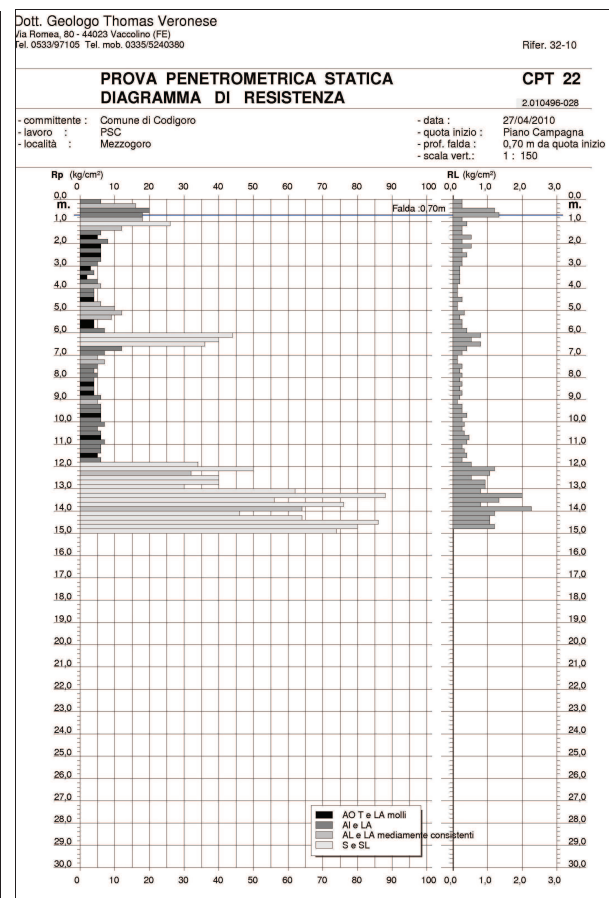
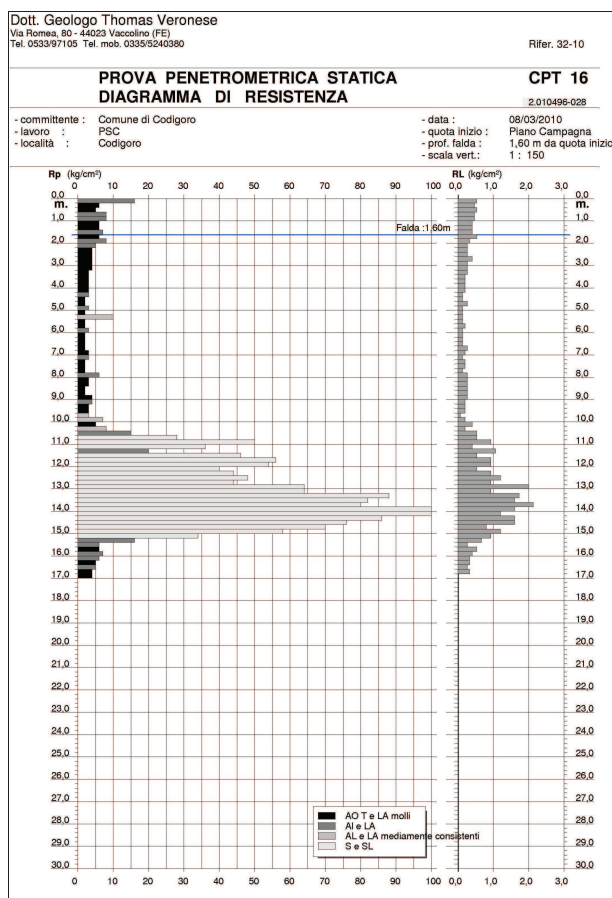
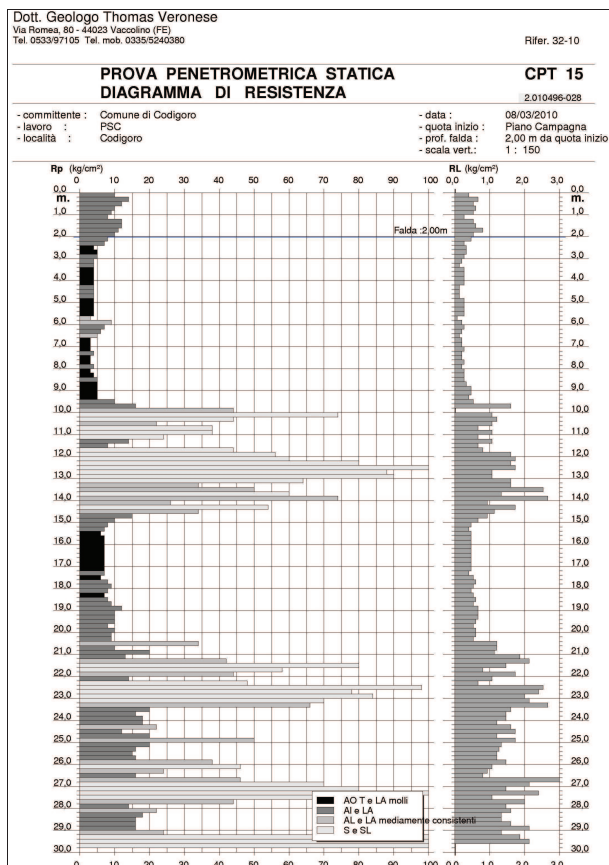
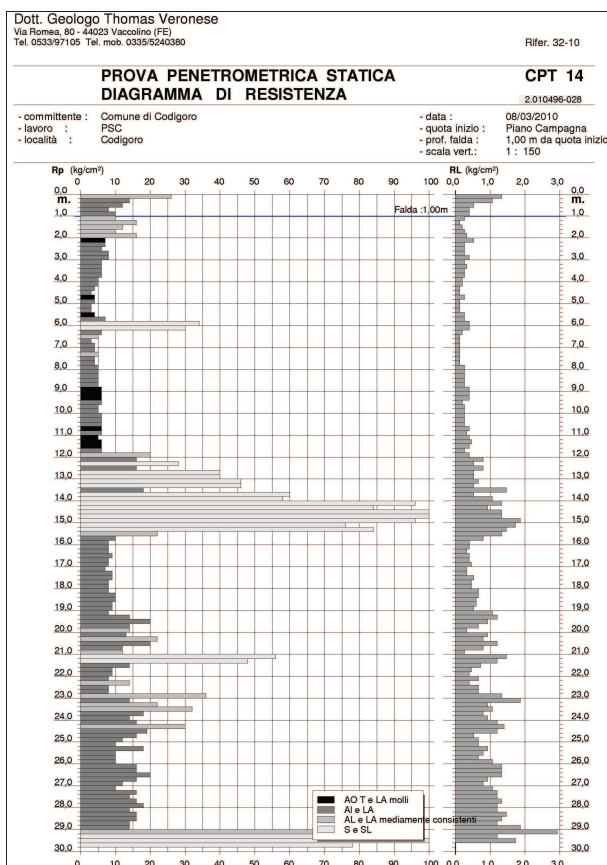


FIGURA 1.1.7 - Diagrammi di resistenza delle prove penetrometriche

Nella **Tabella 1.1.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con le prove penetrometrica statica:

CPT14

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	12,00	8	1,88	0,56	45,4	20	14°7
2,00 – 11,80	6,40	3	1,74	0,25	22,60	--	--
11,80 – 15,60	55,50	16	1,95	0,20	184,90	40	26°5
15,60 – 29,00	14,70	8	1,91	0,58	49,00	--	--
29,00 – 30,00	88,00	78	1,97	0,51	246,40	35	26°8

CPT15

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 – 2,20	10,60	8	1,85	0,51	41,90	--	--
2,20 – 9,40	4,40	3	1,60	0,22	16,60	--	--
9,40 – 14,60	48,50	8	1,94	0,40	163,40	39	26°2
14,60 – 21,20	9,70	6	1,75	0,46	36,10	--	--
21,20 – 23,20	61,60	14	1,96	0,35	210,70	37	28°8
23,20 – 29,00	34,40	11	1,96	0,76	94,00	--	--
29,00 – 30,00	89,00	24	2,00	0,22	311,50	39	32°8

CPT16

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	6,70	5	1,66	0,33	24,90	--	--
2,00 – 10,40	3,40	3	1,55	0,17	12,30	--	--
10,40 – 15,20	58,70	15	1,94	--	203,30	50	30°
15,20 – 17,00	6,60	4	1,68	0,32	25,30	--	--

CPT22

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 – 1,40	18,30	11	1,91	0,59	53,70	52	22°5
1,40 – 11,80	7,70	2	1,73	0,27	23,30	--	--
11,80 – 15,00	57,60	30	1,94	0,20	201,70	49	31°30

Tabella 1.1.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

La prova penetrometrica statica eseguita all'interno dell'area in esame mostra da p.c. fino a circa -2,00 m da p.c. uno strato di terreni coesivi moderatamente consistenti con un valore di resistenza alla punta medio, Rp, di circa 10/12 kg/cm², poi da -2,00 m fino a -10,00 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente coesivi poco consistenti con un valore di resistenza

alla punta medio di circa 30 kg/cm^2 , poi da $-10,00 \text{ m}$ fino a $-15,00 \text{ m}$ da p.c. si rileva uno strato di terreni granulari moderatamente addensati con un valore di resistenza alla punta di $50/55 \text{ kg/cm}^2$, poi da $-15,00 \text{ m}$ fino a $-29,00 \text{ m}$ da p.c. si rileva uno strato di terreni coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta di $10/15 \text{ kg/cm}^2$, alternati localmente a sottili lenti sabbiose, infine da $-29,00 \text{ m}$ fino a $-30,0 \text{ m}$ 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 88 kg/cm^2 .

1.1.1 AREE 2, 9, 15, 19, 29 e 30– Riduzione del rischio sismico

- I Livello di approfondimento: la Tavola dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito (FIGURA 1.1.8) mostra che questa area è caratterizzata dalla potenziale presenza di terreni costituiti da argille sensitive.

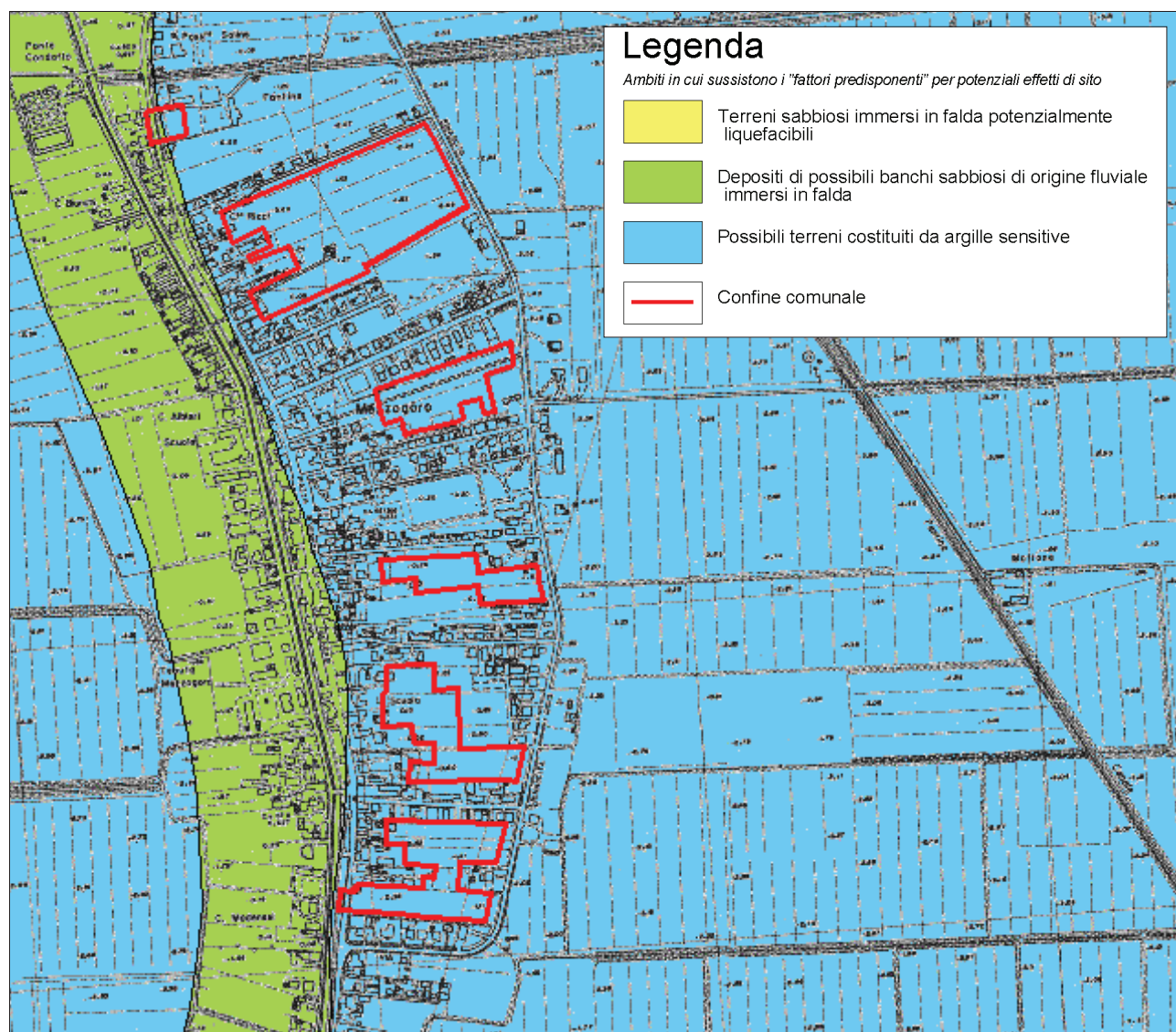


FIGURA 1.1.8 - Carta degli effetti di sito scala 1:10.000

- **Il Livello di approfondimento:** si rende necessario effettuare una analisi semplificata per valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. Tutte le stratigrafie rilevate con le prove penetrometriche effettuate rileva la presenza di sabbie immerse in falda ma sormontate da uno strato di terreni coesivi e quindi non liquefacibili dello spessore di circa 10 m (fattore ritenuto escludente al fenomeno della liquefazione. I terreni coesivi rilevati presentano coesione $C_u < 0,70$ kg/cm² e possibile plasticità $IP \geq 30\%$.

Per verificare le caratteristiche geotecniche di questi terreni coesivi è stato prelevato un campione indisturbato C1 in corrispondenza della prova CPT16 da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico.

LIMITI DI ATTERBERG (Norma CNR - UNI 10014)

Committente : Dr. Thomas Veronese
Cantiere : Mezzogoro (FE)

Sondaggio N°:
Campione:
Prof. m:

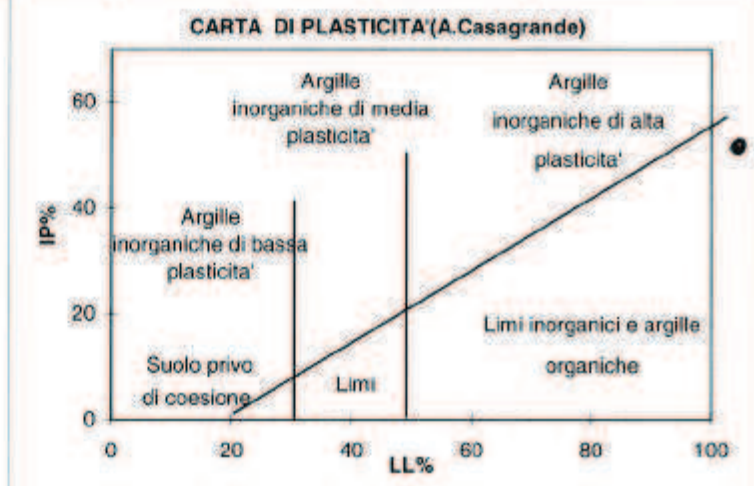
CPT 16

3.5-3.8

Data inizio prova : 29/04/2010

N° CONTENITORE	Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale
	1	2	3		4
N° COLPI	34	19	13		
Massa terreno umido + tara (g)	31.19	30.19	33.30	13.19	131.50
Massa terreno secco + tara (g)	19.91	19.10	19.91	11.89	66.32
Massa acqua contenuta (g)	11.28	11.09	13.39	1.30	65.18
Massa tara (g)	12.47	12.14	11.73	9.78	9.18
Massa terreno secco (g)	7.44	6.96	8.18	2.11	57.14
Contenuto d'acqua %	151.6	159.3	163.7	61.6	114.1

Limite liquido %	157
Limite Plastico %	62
Umidita' naturale%	114.1
Indice Plastico %	95
Indice di consistenza :	0.45



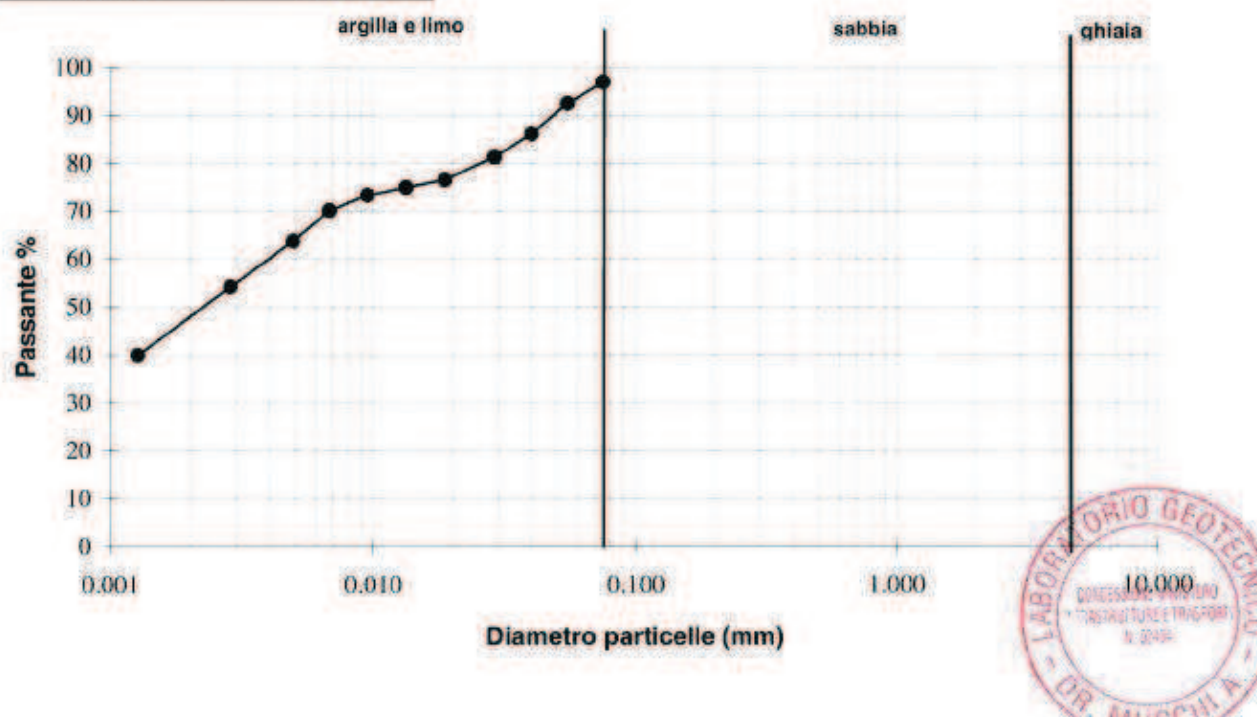
Committente : Dr. Thomas Veronese
 Cantiere : Mezzogoro (FE)

Sondaggio : *
 Campione : CPT 16
 Profondità (mt): 3.5-3.8
 Data inizio prova : 04/05/10

Diametro (mm)	Passante (%)
0.075	97.00
0.0550	92.58
0.0401	86.20
0.0290	81.41
0.0187	76.63
0.0133	75.03
0.0095	73.42
0.0068	70.23
0.0049	63.86
0.0028	54.31
0.0013	40.01

Classificazione secondo norma ASTM D 2488 - 84			
Ghiaia	(>4.75mm)	:	0%
Sabbia	(4.76-0.075mm)	:	3%
Limo e Argilla	(< 0.075mm)	:	97%

trattenuto allo 0.075 mm : 3%



Il 48% del passante è di granulometria argillosa.

Quest'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 Vs.

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 CPT14, rifer. 32-10 effettuata il 08/03/2010 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 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; Houslsby, 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:

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

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

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

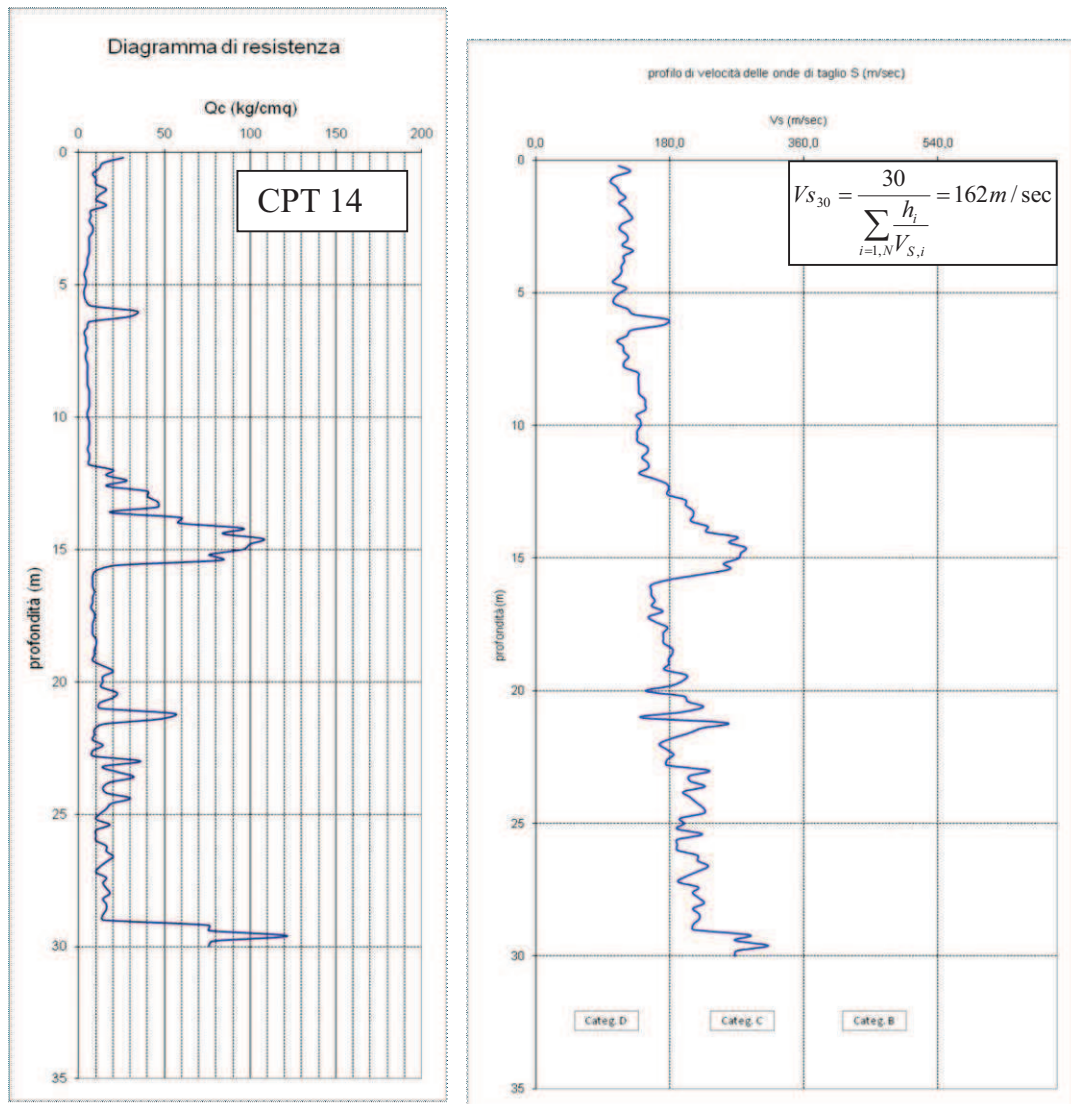
A e α sono coefficienti empirici da calibrare sulla base delle misure di q_c e di V_s disponibili;
 p_a = pressione atmosferica.

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 CPT14 in base ai risultati forniti dalla formula di *Andrus et al. (2001)*.



Il valore di V_{s30} calcolato in base alla stratigrafia della prova CPT14 risulta pari a **162 m/sec**.
Il calcolo è stato effettuato da p.c. fino a -30,00 m da p.c..

$$V_{s30} = 162 \text{ m/sec}$$

Il metodo utilizzato, con la determinazione delle V_{s30} dalle CPT, non è sicuramente il più preciso, ma per il caso in esame, non ci sono dubbi che le stratigrafie rilevate offrano $V_{s30} < 300 \text{ m/sec}$. Secondo l'Atto di indirizzo il F.A. di conseguenza è =1,5.

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

2.1 AREA 5– CPT13, 17 e 18

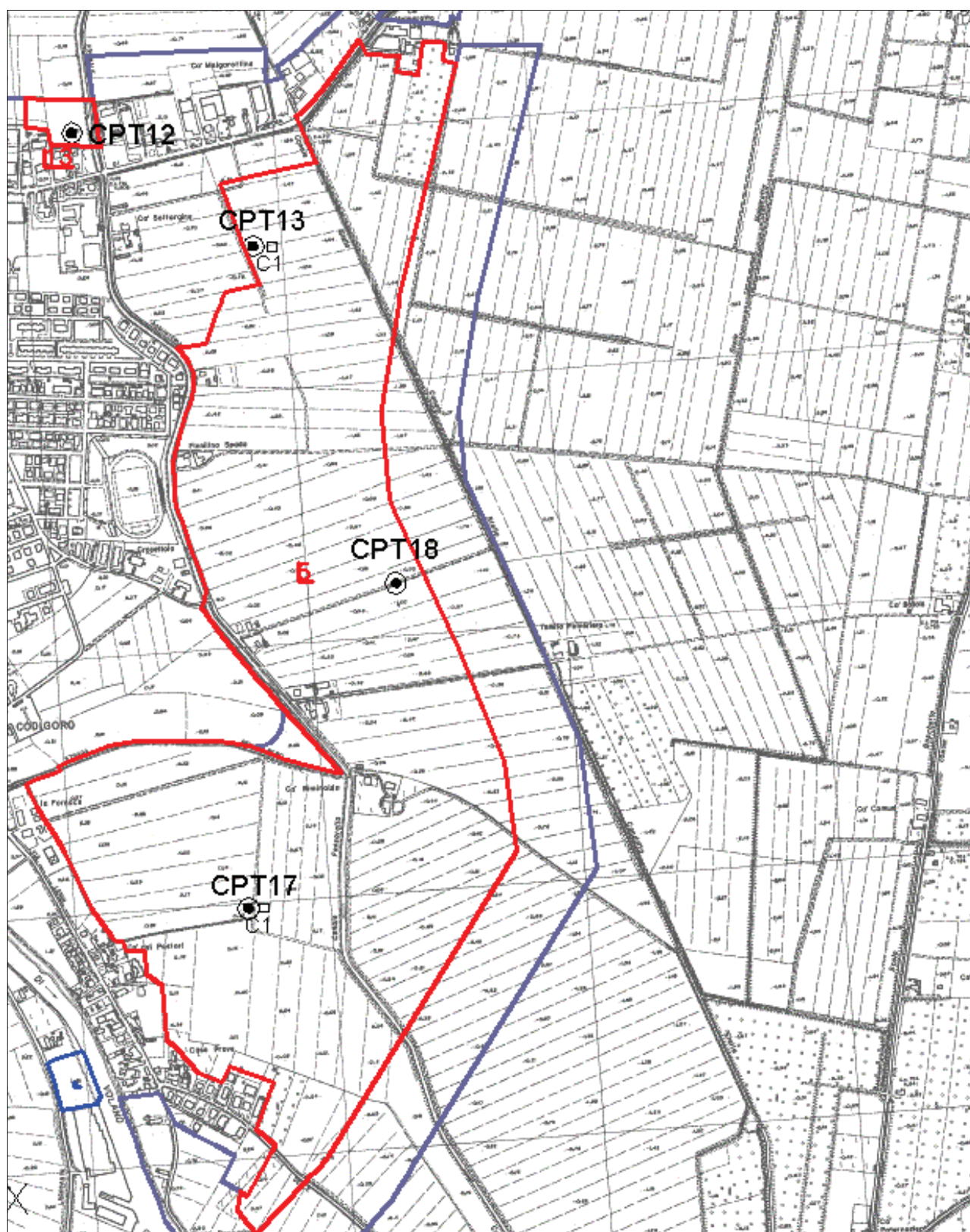


FIGURA 2.1.1 – Area 5, SCALA 1:10.000

L'**AREA 5** è ubicata a nord-est dell'abitato di Codigoro, ed è indicata come ambiti per potenziali nuovi insediamenti urbani (**FIGURA 2.1.1**).

L'area di intervento ricade sul margine est della scarpata topografica che indica il dosso su cui sorge Codigoro. Dal canale Condotta Fossarella, ad est, le quote topografiche declinano nelle basse terre di bonifica, in cui da secoli il fiume Po di Volano ha depositato sedimenti alluvionali, generalmente distali di bassa energia idrodinamica, quindi in prevalenza argille.

Il fiume Po di Volano nei secoli scorsi era molto più attivo e capace di significativi apporti solidi; successivamente il fiume ha perso di importanza, il suo alveo si è ristretto, ed esternamente ad esso prevalgono sedimenti di bassa energia idrodinamica, più costipabili e dunque maggiormente ribassati dalla subsidenza. Il dosso fluviale che si è formato per i processi di autosedimentazione in alveo di sedimenti meno costipabili ha fatto sì che si preservassero queste morfologie in elevazione rispetto alle campagne circostanti, dove i sedimenti più costipabili hanno accelerato i fenomeni di subsidenza superficiale, si veda in proposito lo stralcio della **Carta Geomorfologia (FIGURA 2.1.2)**. L'area si sviluppa su quote di circa +0,00/-0,90 m sul l.m.m. e non risulta sia stata soggetta ad allagamenti di tipo persistente.

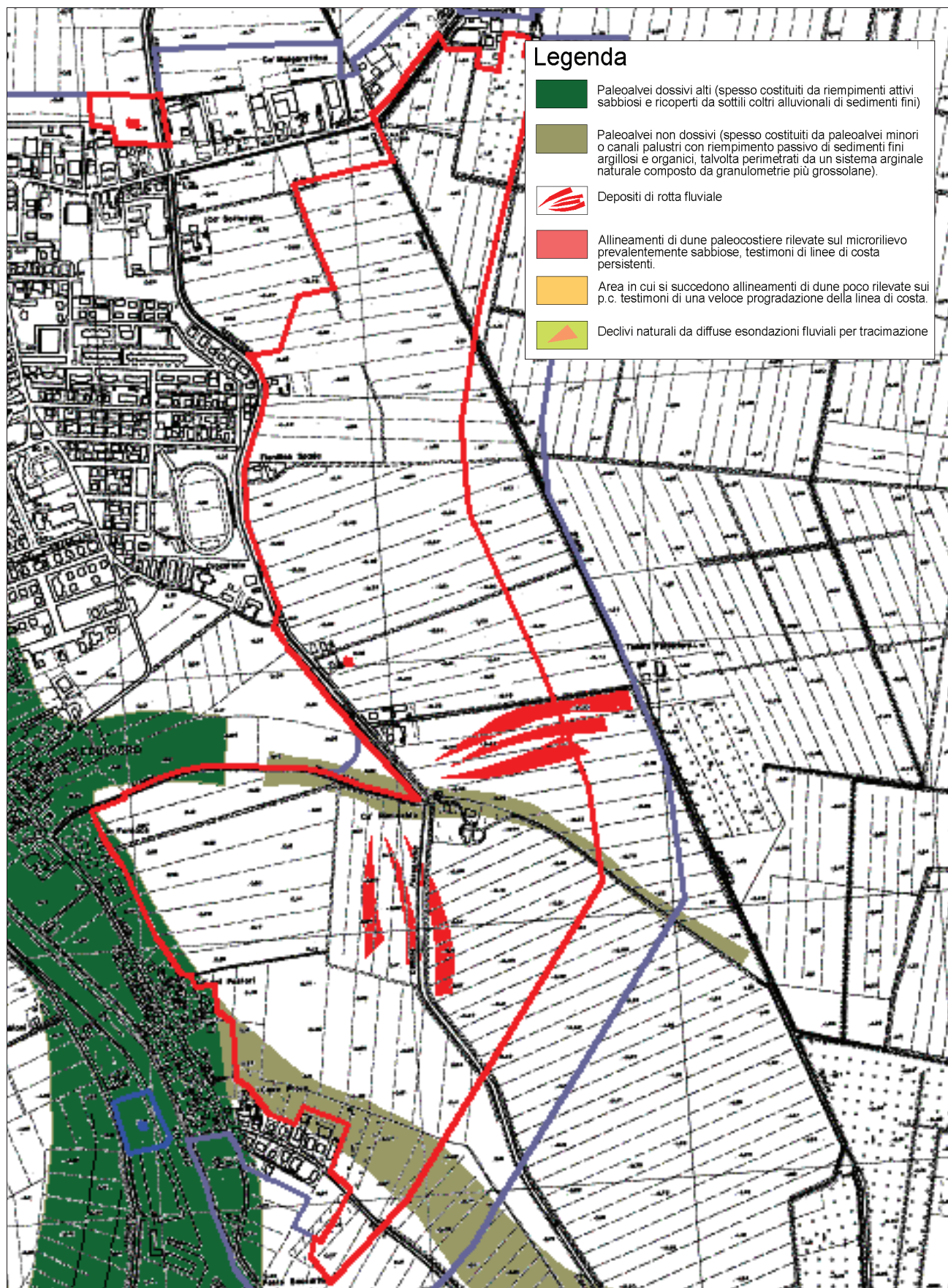


FIGURA 2.1.2 - Carta Geomorfologica, scala 1:10.000

FIGURA 2.1.3 - Ubicazione CPT scala 1:10.000



CPT13



CPT17



CPT18

FIGURA 2.1.4 - Fase di esecuzione prove penetrometriche

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame, ricavate dalla **Carta delle qualità geotecniche dei terreni (FIGURA 2.1.5)**, risultano medie per le porzioni più prossime al paleoalveo e scarse e molto scarse per le restanti al di fuori del dosso. La presenza del paleoalveo si può notare anche dalla stratigrafia delle prove spostandosi da ovest verso est il banco sabbioso si riduce di spessore e le R_p si abbassano notevolmente.

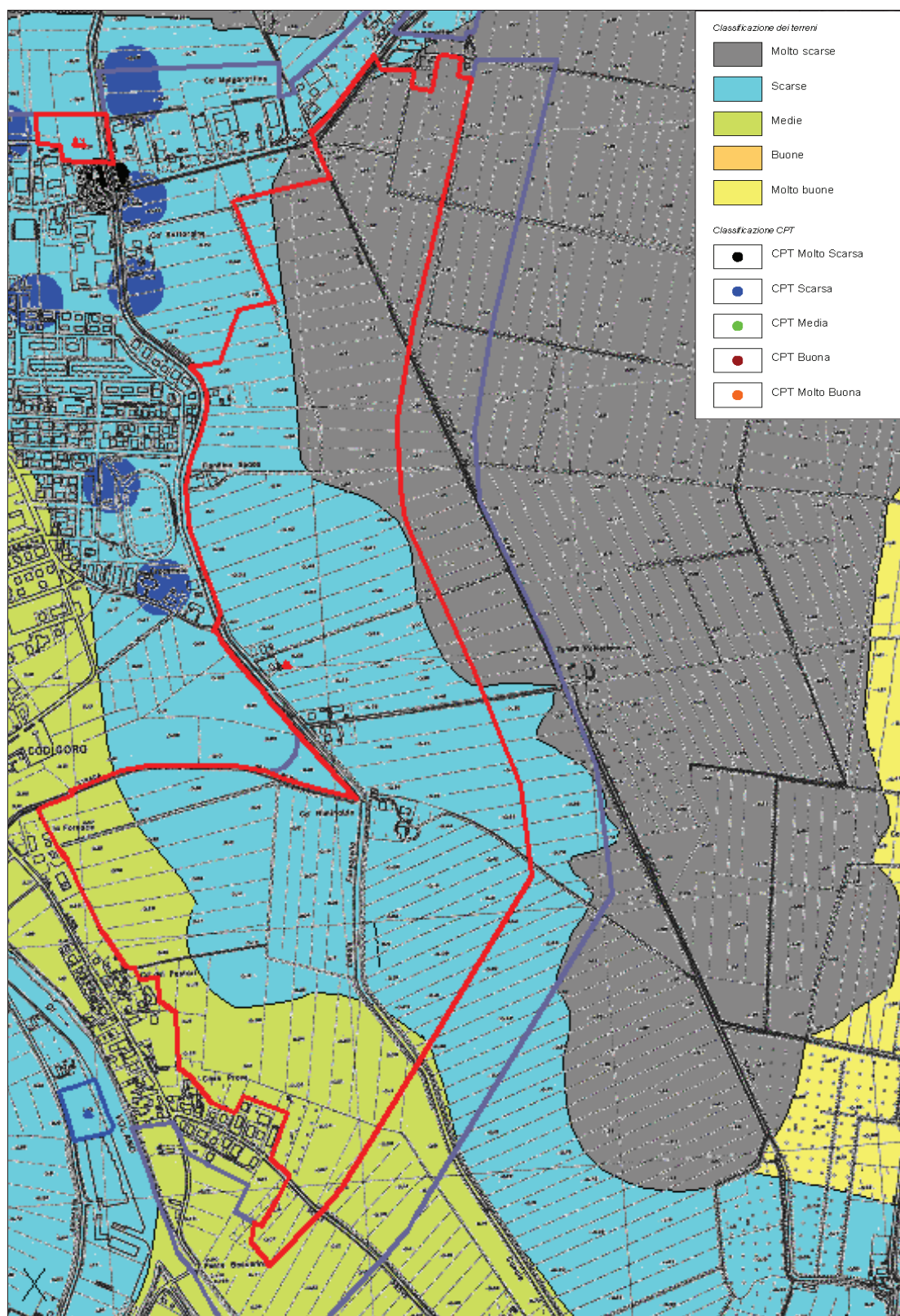


FIGURA 2.1.5 - Carta qualità geotecniche scala 1:10.000

In **FIGURA 2.1.7** viene riportato il diagramma di resistenza delle tre prove penetrometriche statiche.



FIGURA 2.1.7 - Diagramma di resistenza delle prove penetrometriche

Nella **Tabella 2.1.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con le prove penetrometriche statiche:

CPT13

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	--	--

CPT17

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 – 0,60	23,00	11	1,85	0,85	59,50	49	14°5
0,60 – 7,20	6,60	3	1,75	0,32	27,30	--	--
7,20 – 15,00	35,70	16	1,90	--	125,10	37	29°4

CPT18

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 – 1,00	11,50	10	1,85	0,54	44,30	--	--
1,00 – 5,40	5,50	4	1,63	0,27	21,50	--	--
5,40 – 8,00	41,70	27	1,90	--	145,90	48	30°
8,00 – 14,20	26,00	5	1,91	0,50	84,40	20	23°
14,20 – 15,00	18,80	7	1,79	0,40	50,80	--	--

Tabella 2.1.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

Le prove penetrometriche statiche mostrano da p.c. fino a -1,00/-3,00 m da p.c. uno strato di terreni coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta medio, Rp, di circa 11/23 kg/cm², poi da -1,00/-3,00 m fino a -5,00/7,00 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, poi da -5,00/-7,00 m fino a -14,00 m da p.c. mostra uno strato di terreni prevalentemente granulari poco addensati con un valore di resistenza alla punta medio di circa 35/40 kg/cm², questo banco di sabbia si riduce di spessore allontanandosi dal paleoalveo del Gaurus, infine da -14 m fino a -15,00 m da p.c. si rileva uno strato di terreni coesivi consistenti con un valore di resistenza alla punta medio di circa 19 kg/cm².

2.1.1 AREA 5 – Riduzione del rischio sismico

- I Livello di approfondimento: la Tavola dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito (FIGURA 2.1.8) mostra che questa area è caratterizzata dalla potenziale presenza di terreni costituiti da argille sensitive.

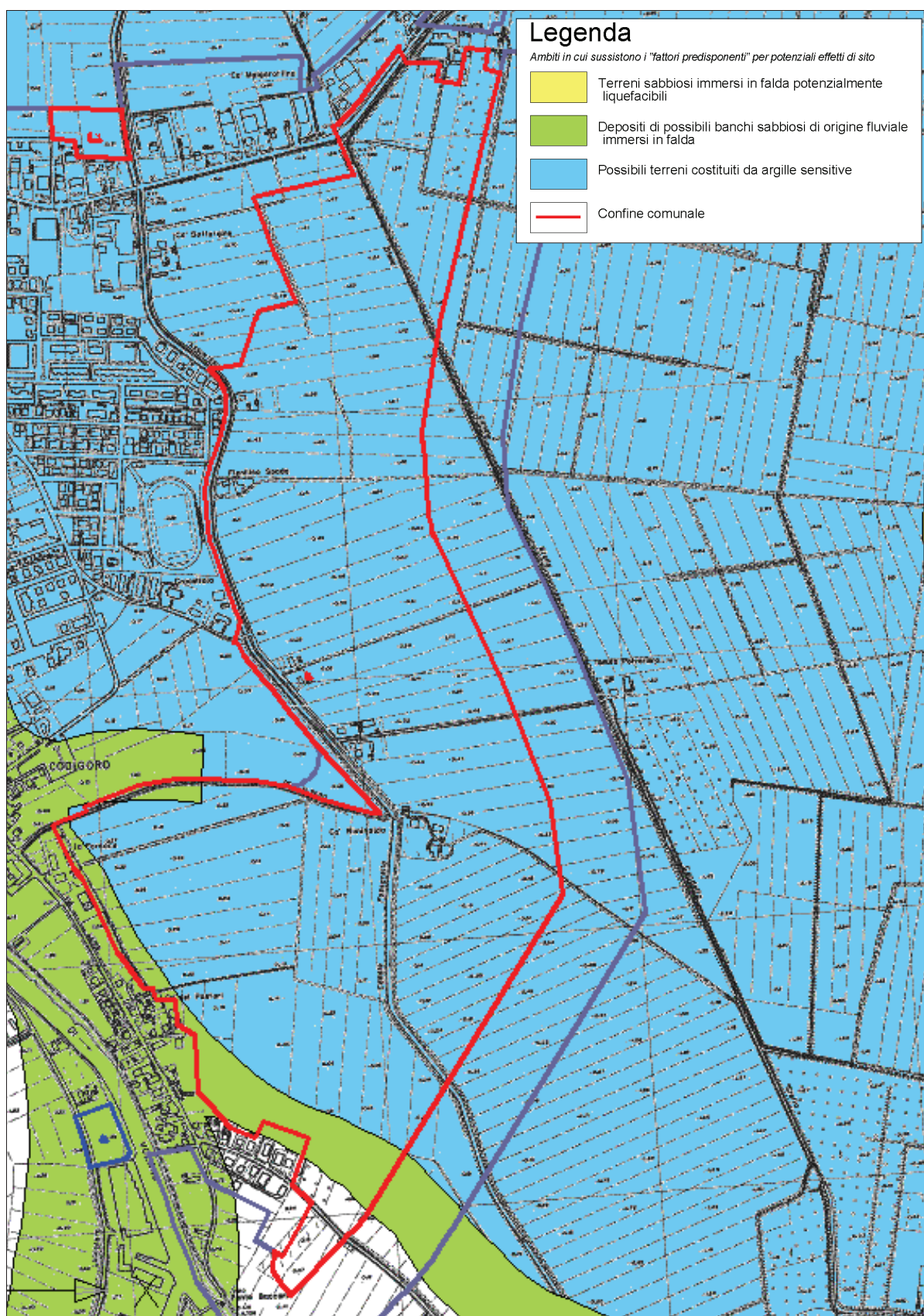


FIGURA 2.1.8 - Carta degli effetti di sito scala 1:10.000

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

E' stato preso in considerazione un profilo sismico in possesso dello scrivente fatto eseguire al dott. Nasser Abu Zeid (Ditta specializzata in acquisizione dati geofisici) al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde S alla profondità di 30 metri (V_{S30}). Il profilo è stato eseguito nella lottizzazione posta ad ovest rispetto all'area in esame.

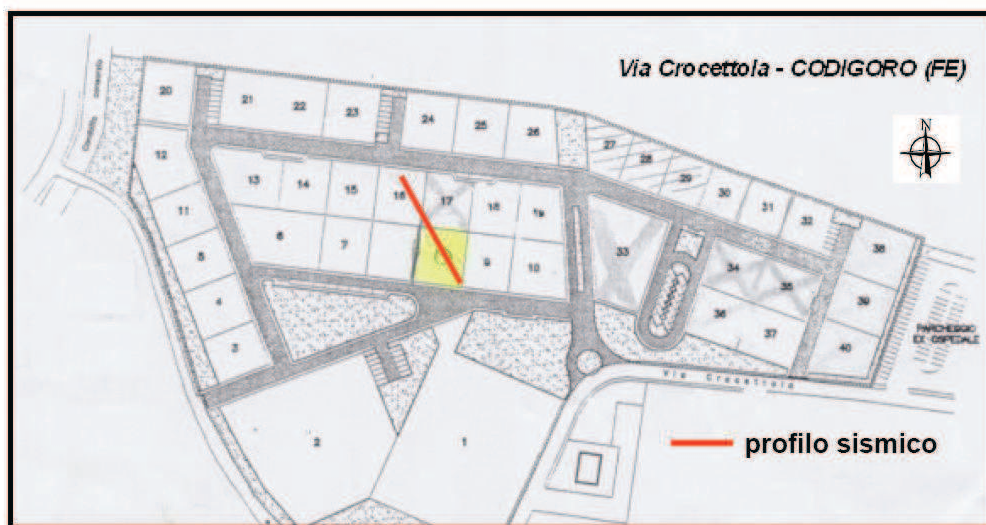
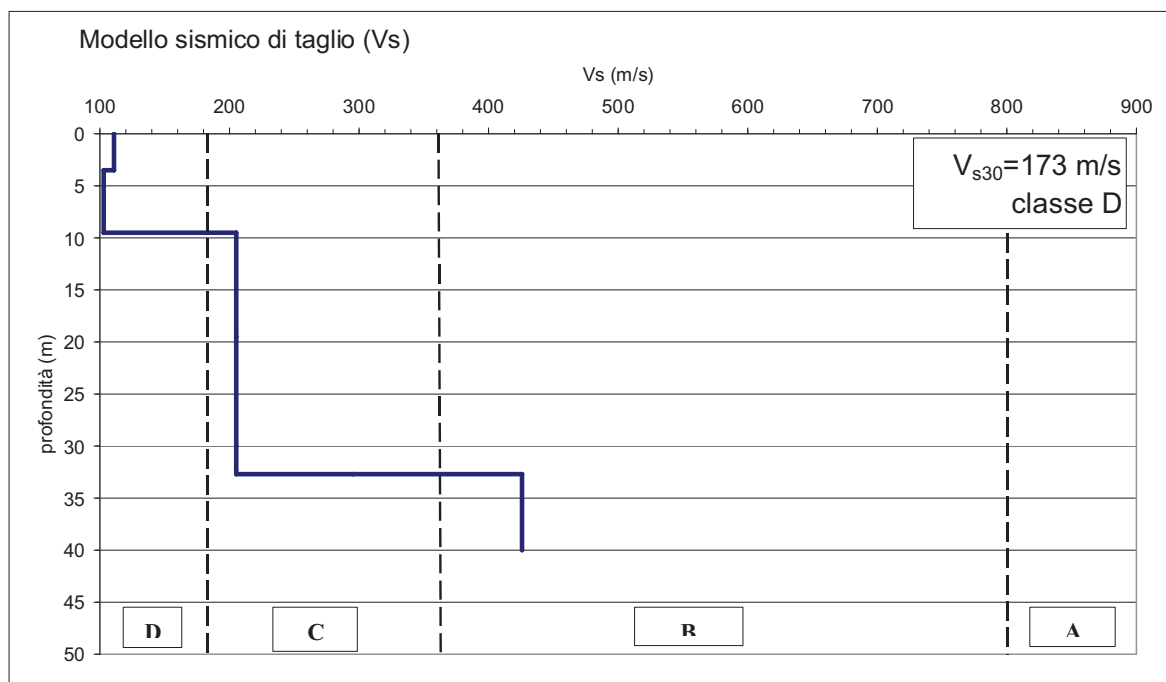


Tavola 1

L'indagine geofisica effettuata in data 16.3.2006 con la tecnica "ReMi", ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta (circa 40.0 m). L'analisi del modello sismico ottenuto evidenzia la presenza di un sismostrato, compreso tra 3.5 m e 9.5 m di profondità, contraddistinto da ridotti valori di V_s (102.9 m/s) in raffronto ai sismostrati superiore (110.9 m/s) ed inferiore (205.2 m/s) che lo delimitano. Tale inversione di velocità porta a presumere basse caratteristiche di rigidità sismica.

Il modello sismico evidenzia generalmente bassi valori di velocità V_s nei primi 33 m di profondità.

Strato	Velocità (m/s)	Profondità (m)	Spessore (m)
1	110.9	3.5	3.5
2	102.9	9.5	6.0
3	205.2	19.5	10.0
4	295.5	32.7	13.2
5	425.8	40.0 (?)	



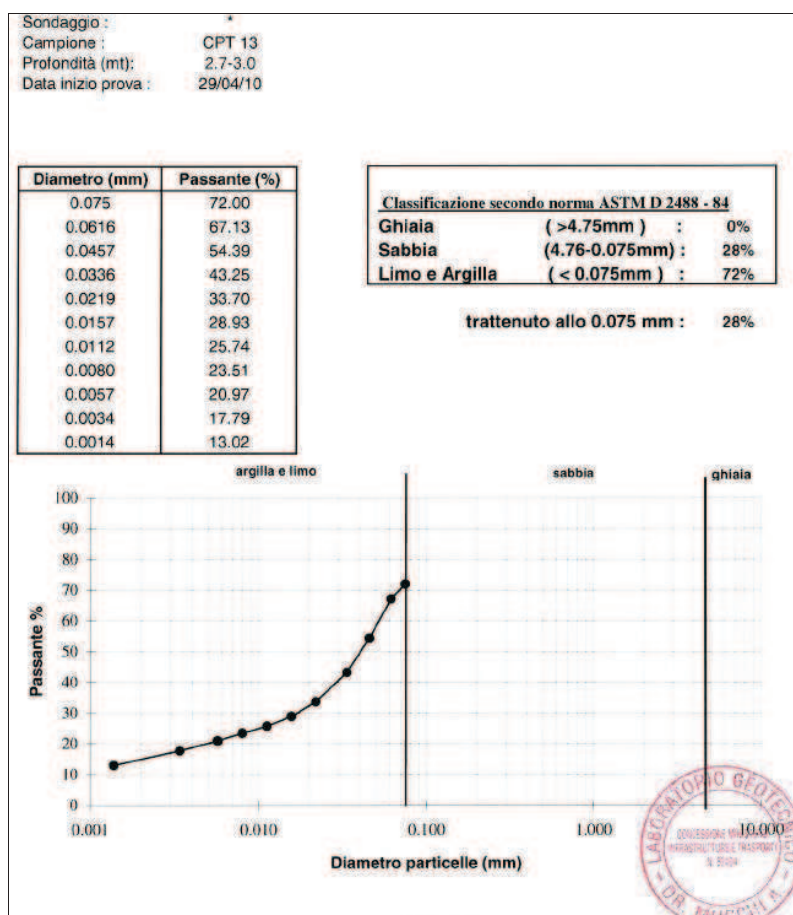
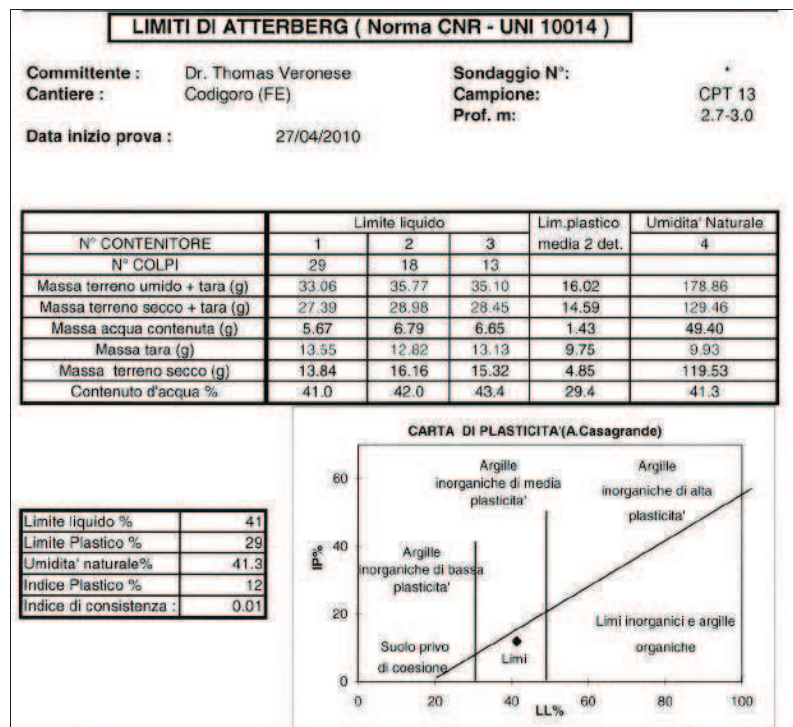
La V_{s30} misurata è stata di:

$$V_{s30} = 173 \text{ m/s} \pm 9 \text{ m/sec}$$

Essendo la V_{s30} inferiore a 300 m/sec, il F.A. è 1,5.

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

Nell'area è stato campionato lo strato molle rilevato con la CPT13 al di sotto della "crosta" di argille più consistenti. E' stato sottoposto a prove di laboratorio ed è 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 dar luogo a cedimenti postsismici significativi dal punto di vista ingegneristico.



E' stato altresì campionato lo strato molle in corrispondenza della CPT17. La frazione argillosa è risultata essere pari al 29%, mentre la frazione limosa è del 70%, con la presenza di 1% di sabbia. Anche in questo caso l'indice plastico è inferiore al 30%.

LIMITI DI ATTERBERG (Norma CNR - UNI 10014)

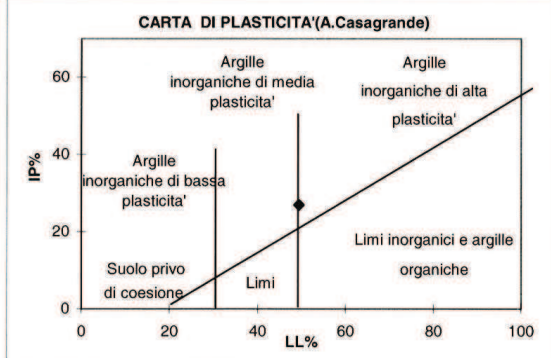
Committente : Dr. Thomas Veronese
Cantiere : Codigoro (FE)

Sondaggio N°: *
Campione: CPT 17
Prof. m: 2.8-3.1

Data inizio prova : 27/04/2010

N° CONTENITORE N° COLPI	Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale
	1	2	3		
Massa terreno umido + tara (g)	33.40	32.71	35.59	16.64	173.73
Massa terreno secco + tara (g)	27.13	26.36	27.70	15.42	131.02
Massa acqua contenuta (g)	6.27	6.35	7.89	1.22	42.71
Massa tara (g)	13.36	13.15	12.95	9.98	7.55
Massa terreno secco (g)	13.77	13.21	14.75	5.44	123.47
Contenuto d'acqua %	45.5	48.1	53.5	22.4	34.6

Limite liquido %	49
Limite Plastico %	22
Umidita' naturale %	34.6
Indice Plastico %	27
Indice di consistenza :	0.55



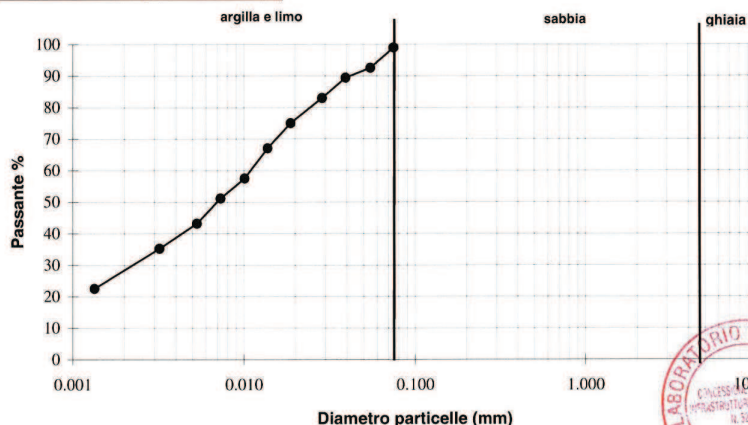
Sondaggio : *
Campione : CPT 17
Profondità (mt): 2.8-3.1
Data inizio prova : 29/04/10

Diametro (mm)	Passante (%)
0.075	99.00
0.0550	92.58
0.0395	89.38
0.0288	83.00
0.0189	75.04
0.0138	67.08
0.0101	57.53
0.0073	51.16
0.0053	43.21
0.0032	35.26
0.0013	22.55

Classificazione secondo norma ASTM D 2488 - 84

Ghiaia (>4.75mm) : 0%
Sabbia (4.76-0.075mm) : 1%
Limo e Argilla (< 0.075mm) : 99%

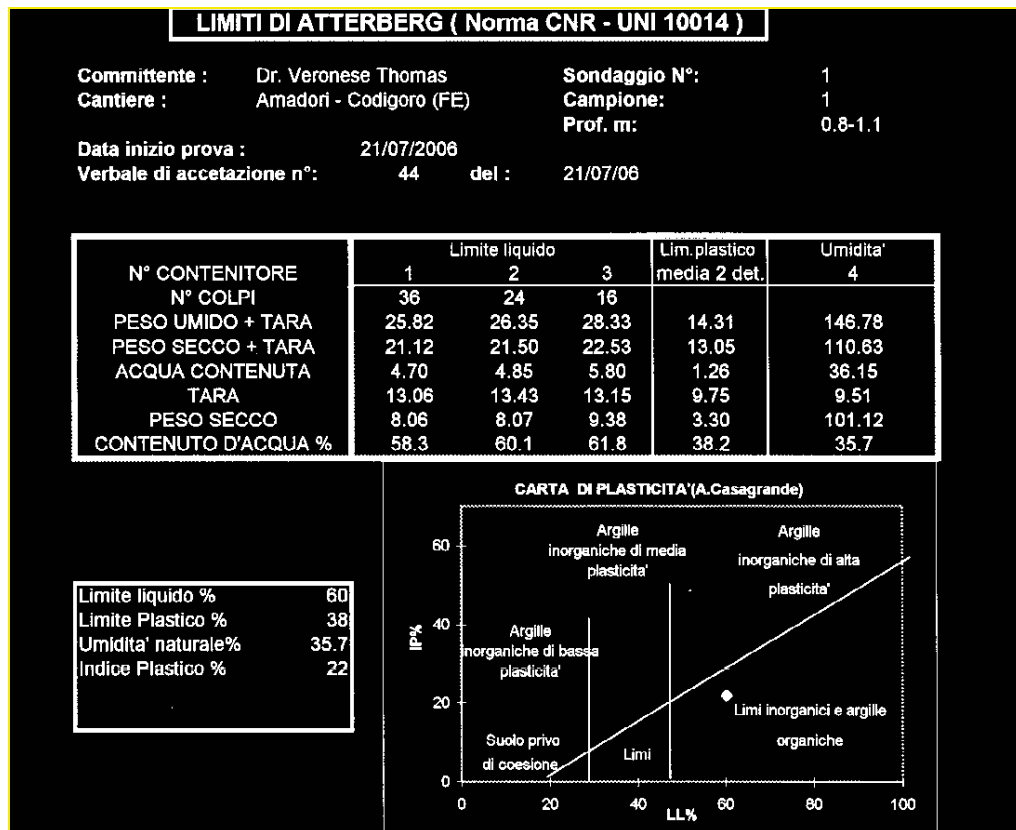
trattenuto allo 0.075 mm : 1%



La frazione argillosa è pari al circa il 29%, mentre quella limosa è del 70%. Il sedimento non è sufficientemente plastico per dare cedimenti post-sismici significativi.

In terreni limitrofi comunque si era pervenuti a valori di indice plastico diversi, superiori a 30%, per cui il terzo livello di approfondimento per la stima dei cedimenti postsismici è comunque raccomandabile.

Si riporta una analisi effettuata su campione a Codigoro nel 2006:



3.1 AREE 13, 14 e 18– CPT12, 19, 20

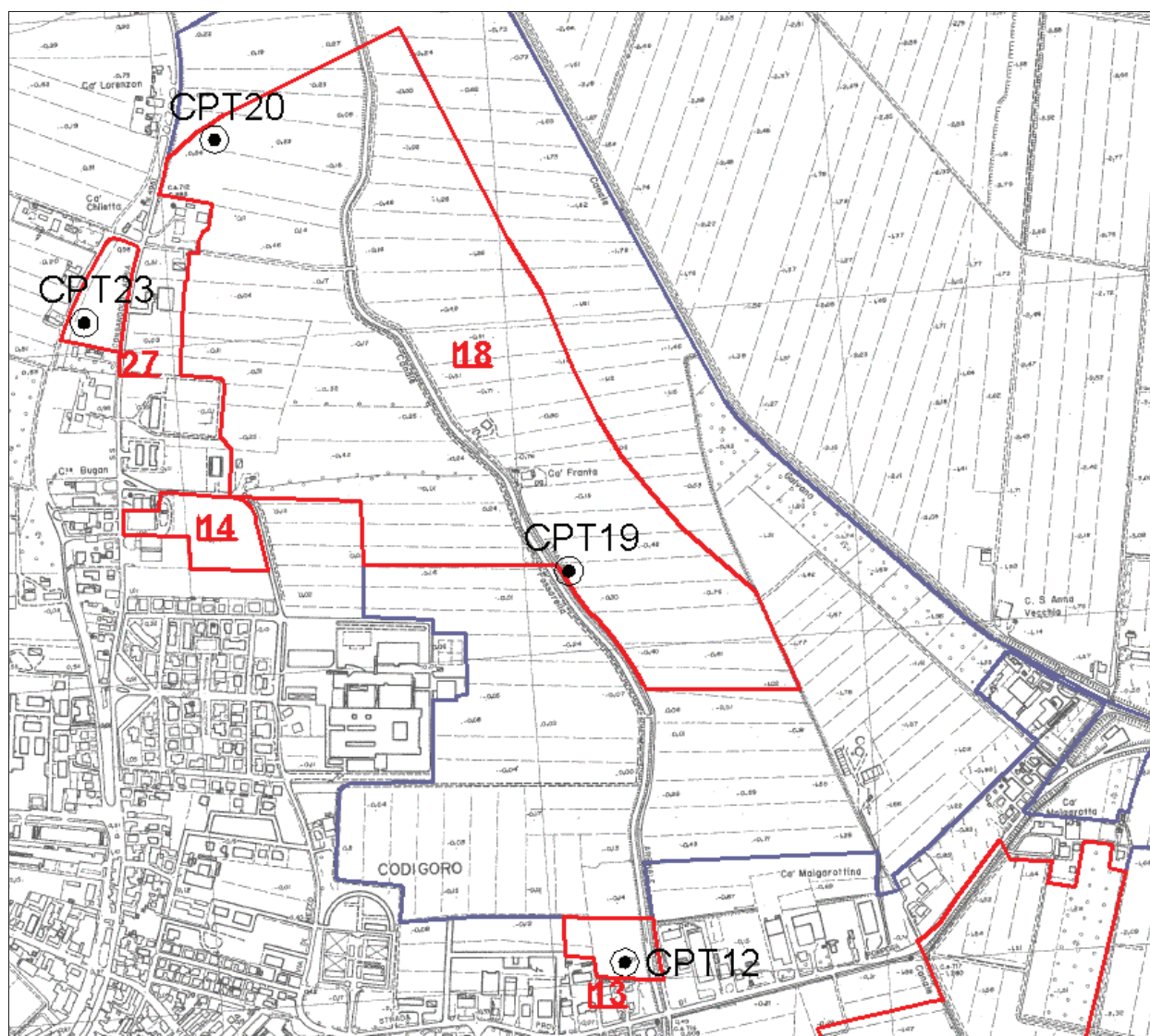


FIGURA 3.1.1 – Aree 13, 14 e 18, SCALA 1:10.000

Le **AREE 13,14 e 18** sono ubicate a nord-est dell'abitato di Codigoro, e sono indicate come ambiti per potenziali nuovi insediamenti urbani (**FIGURA 3.1.1**).

L'area di intervento ricade sul margine est della scarpata topografica che indica il dosso su cui sorge Codigoro. Dal canale Condotta Fossarella, ad est, le quote topografiche declinano nelle basse terre di bonifica, in cui da secoli il fiume Po di Volano ha depositato sedimenti alluvionali, generalmente distali di bassa energia idrodinamica, quindi in prevalenza argille.

Il fiume Po di Volano nei secoli scorsi era molto più attivo e capace di significativi apporti solidi; successivamente il fiume ha perso di importanza, il suo alveo si è ristretto, ed esternamente ad esso prevalgono sedimenti di bassa energia idrodinamica, più costipabili e dunque maggiormente ribassati dalla subsidenza. Il dosso fluviale che si è formato per i processi di autosedimentazione in alveo di sedimenti meno costipabili ha fatto sì che si preservassero queste morfologie in elevazione rispetto alle campagne circostanti, dove i sedimenti più costipabili hanno accelerato i fenomeni di subsidenza superficiale, si veda in proposito lo stralcio della **Carta**

Geomorfologia (FIGURA 3.1.2). L'area si sviluppa su quote di circa +0,00/-0,90 m sul l.m.m. e non risulta sia stata soggetta ad allagamenti di tipo persistente.

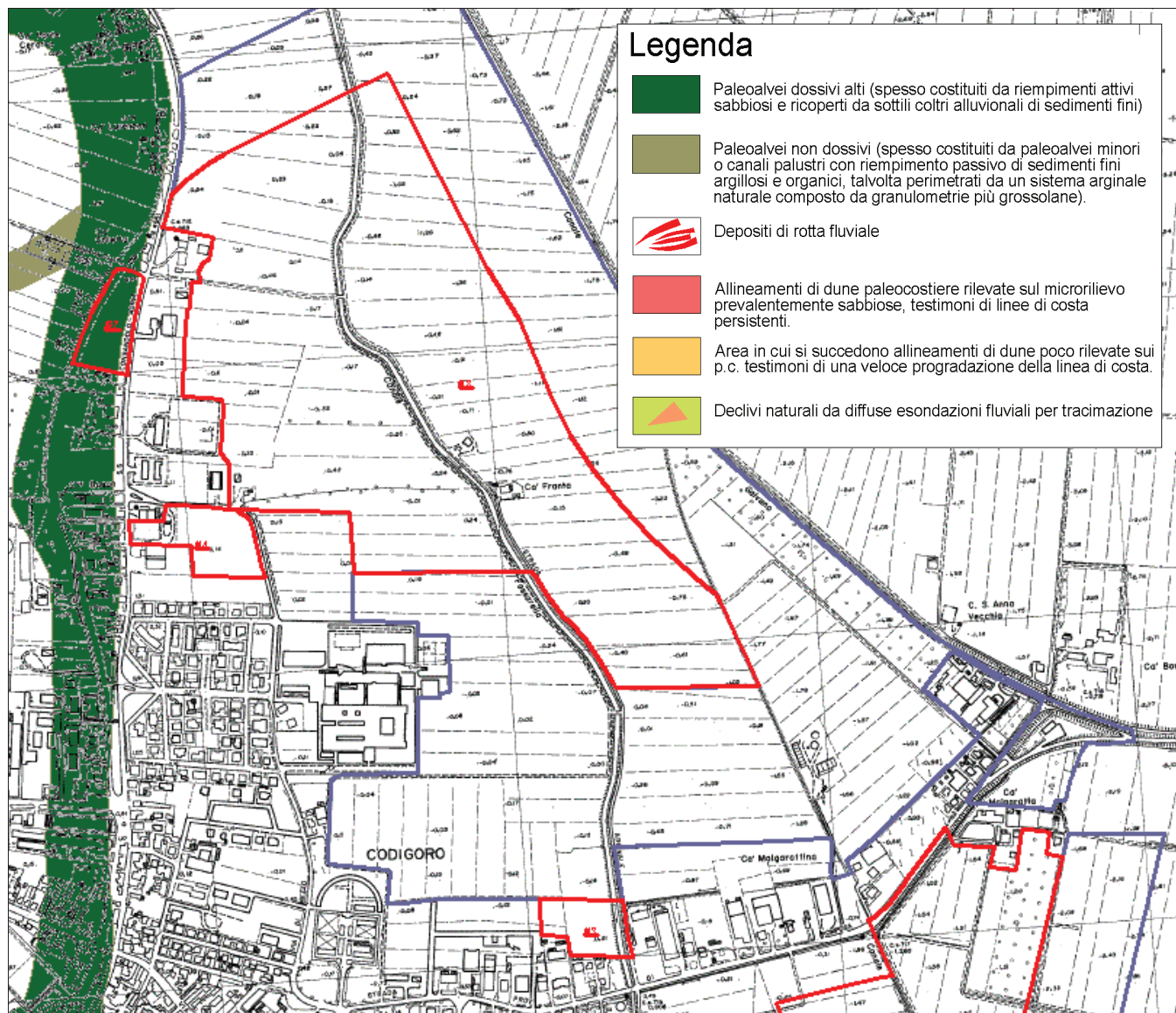


FIGURA 3.1.2 - Carta Geomorfologica, scala 1:10.000

Sono state eseguite due prove penetrometriche statiche all'interno dell'area 18 (CPT19 e CPT20) e una all'interno dell'area 13 (CPT12); la CPT12 e CPT19 spinte fino alla profondità di -15,0 m da p.c., mentre la CPT20 spinta fino a -30,00 m da p.c., in **FIGURA 3.1.3** viene riportata l'ubicazione delle prove, **FIGURA 3.1.4** viene riportata una fase di esecuzione delle prove.

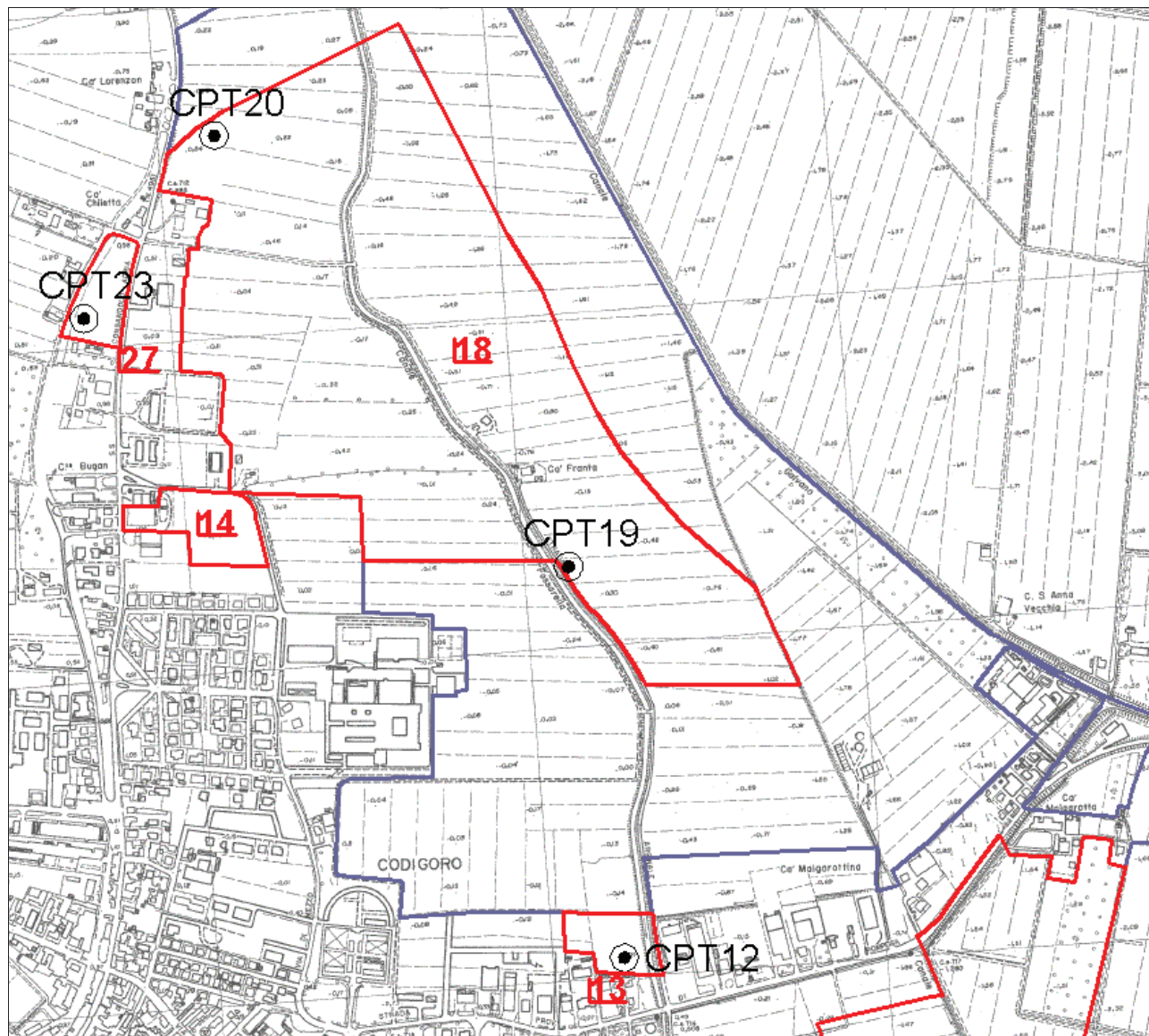


FIGURA 3.1.3 - Ubicazione CPT scala 1:10.000