

AREA AD USO RESIDENZIALE AMBITO n. 1.2

ACCORDO DI PIANIFICAZIONE CON PRIVATI
AI SENSI DELL'ART. 18 L.R. 20/2000

■ PUA - PIANO URBANISTICO ATTUATIVO

PROPRIETA':

- SIRA S.R.L.
San Pietro in Casale
Via Setti 100
P.IVA : 00862821204

-RIMONDI COSTRUZIONI S.R.L.
San Pietro in Casale
Via De Zaiacomo 23
P.IVA : 00593091200

-BASIS S.R.L.
Malalbergo
Via Nazionale 134
P.IVA : 02173441201

-CASA AMICA S.R.L.
Malalbergo
Via Nazionale 134
P.IVA : 02549060370

-AGENA S.R.L.
San Pietro in Casale
Via De Zaiacomo 23
P.IVA : 03989640374

-COOP COSTRUZIONI
Soc. coop. in LCA
Via Zanardi
P.IVA : 00291390375

SPAZIO UFFICIO TECNICO

PROGETTO :

Arch. GAMBERINI Gianni MAZZONI Gianni
e Partners - STUDIO ASSOCIATO

STUDIO TECNICO IN VIA DANTE N. 7
SAN GIORGIO DI PIANO (BO)
CF/P.IVA: 03030911204

TAVOLA:

E20

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA

Ambito 1 del POC

Elaborato:

**RELAZIONE DI MODELLAZIONE GEOLOGICA
E DI MODELLAZIONE SISMICA LOCALE**

Località:

San Pietro in Casale (BO); Via Stagno

Committente:

**Studio di Architettura
Gamberini e Mazzoni.**



Studio Geologico
BRUNALDI RAFFAELE

Via A. Da Brescia 11
44011 Argenta (FE)
Tel. e Fax: 0532852858
Cell.: 3355373693 E-mail: rabrugeo@libero.it
www.bondabru.com

1. PREMESSA

La presente relazione, svolta su incarico e per conto della Committenza si configura come studio di caratterizzazione geologica e sismica dell'area in esame.

Località: **San Pietro in Casale (BO), Areale 1 del P.O.C.; Via Stagno.**

Committenti: Studio di Architettura di Gamberini Gianni e Mazzoni Gianni, San Giorgio di Piano (BO).

1.1 Area in esame:

L'area in esame è sita in San Pietro in Casale (BO), in Via Stagno ad Est del toponimo Cà Bosinelli. Attualmente l'area in esame è costituita da un terreno agricolo, tenuto a coltivo semplice; l'area è sostanzialmente pianeggiante. L'area è posta a quote di circa 16 m s.l.m.m. l'area ha dimensioni in pianta di 150 m x 130 m circa.

L'area indagata è di seguito riportata, nello stralcio del Foglio C.T.R. (alla scala 1: 5 000) 203 052.

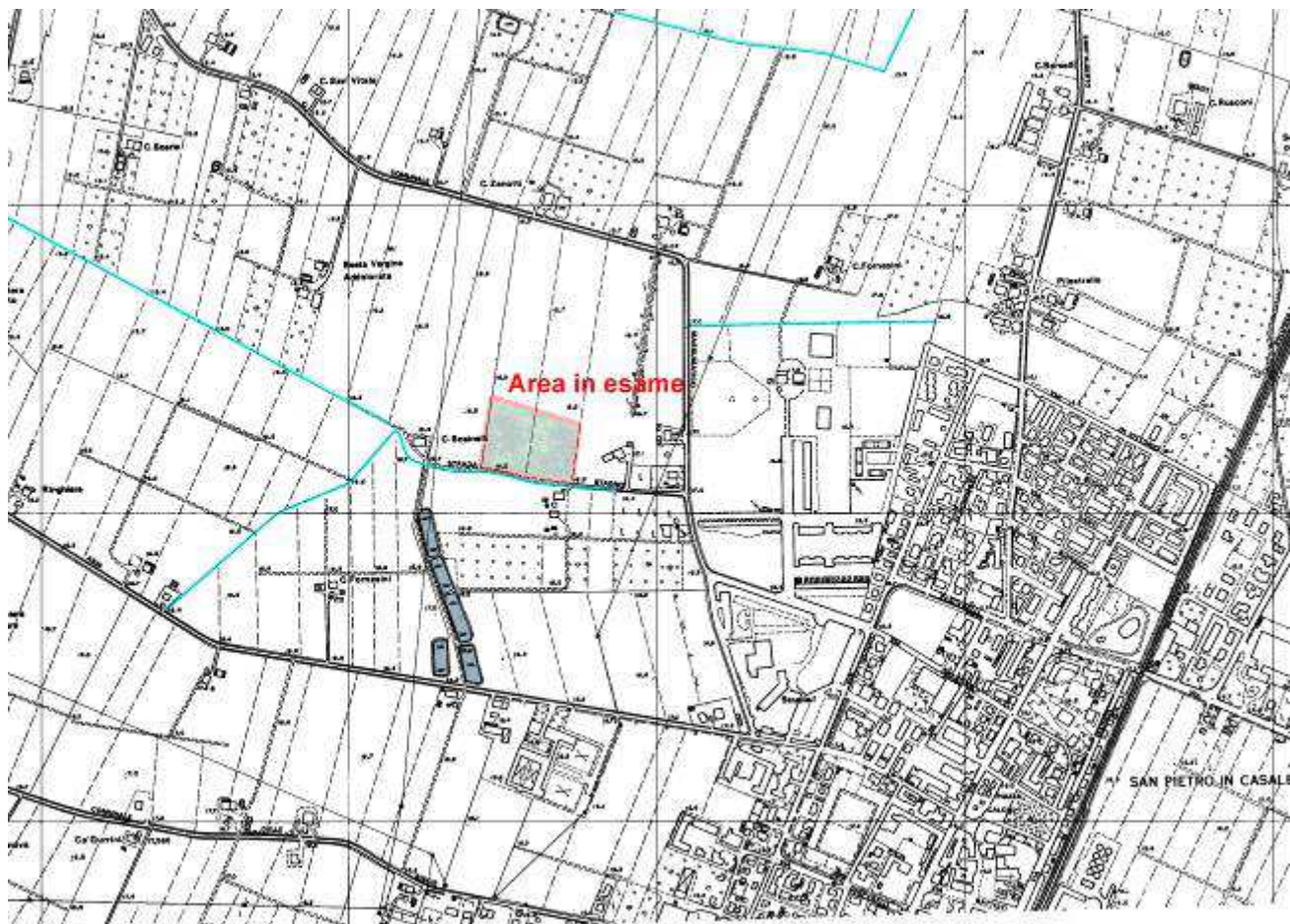
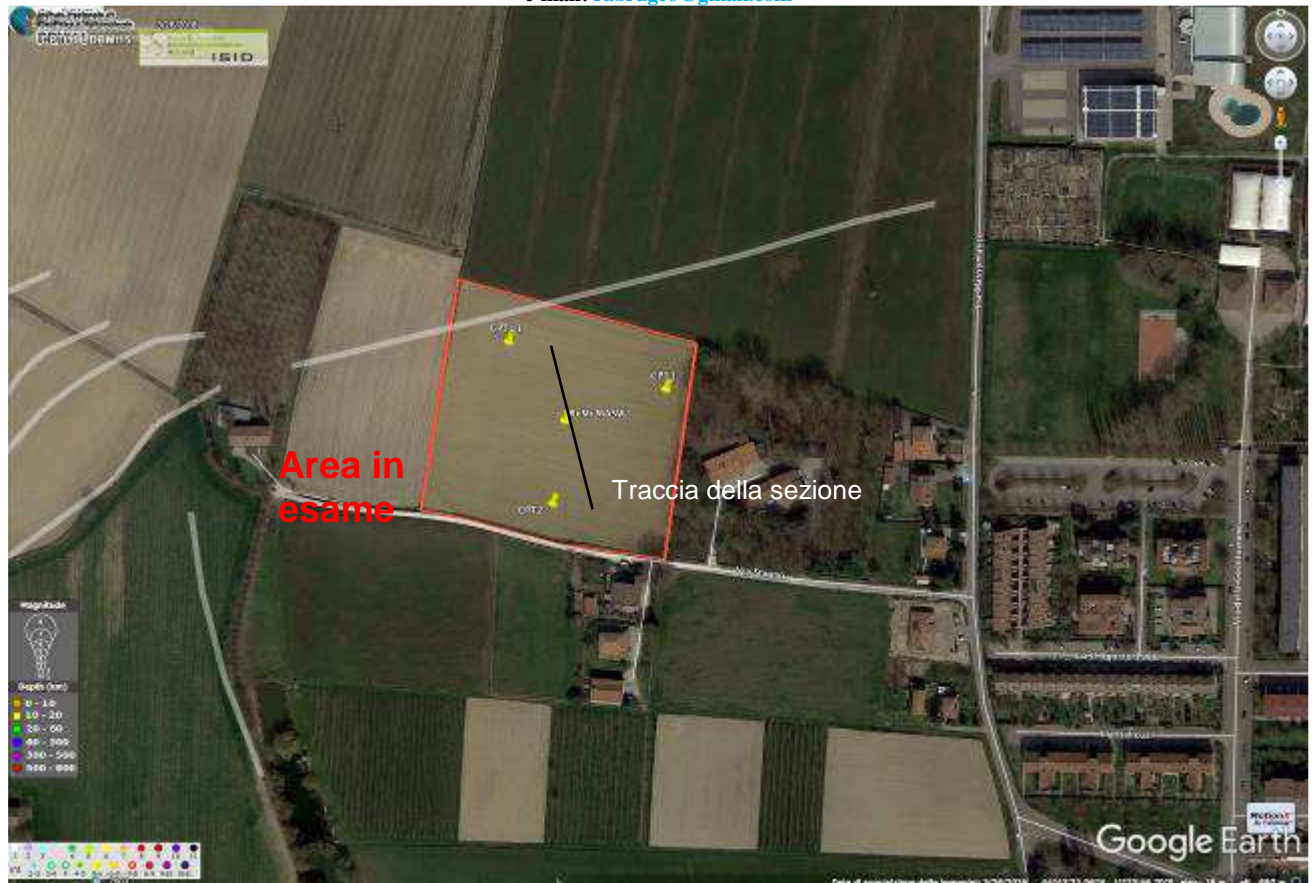


Fig. 1: Ubicazione dell'area in esame, su base cartografica C.T.R. alla scala 1: 5 000. Scala libera.



Fig. 2/1 e 2/2: Ubicazione dell'area in esame su orto- foto aeree tratta da Google Earth ©, Scale Libere e differenti l'una dall'altra. Si sono riportate le forme paleo- divagative più superficiali di cui si dirà in relazione e le ubicazione dei punti di indagine, sia riferiti all'intervento in oggetto, sia in possesso dello scrivente, relativi ai pressi dell'area in esame



Figg. 2/3: Ubicazione dell'area in esame su orto- foto aerea tratta da Google Earth ©, Scala Libera. Si sono riportate le ubicazione dei punti di indagine: CPT, CPTU e Re.Mi.+MASW.

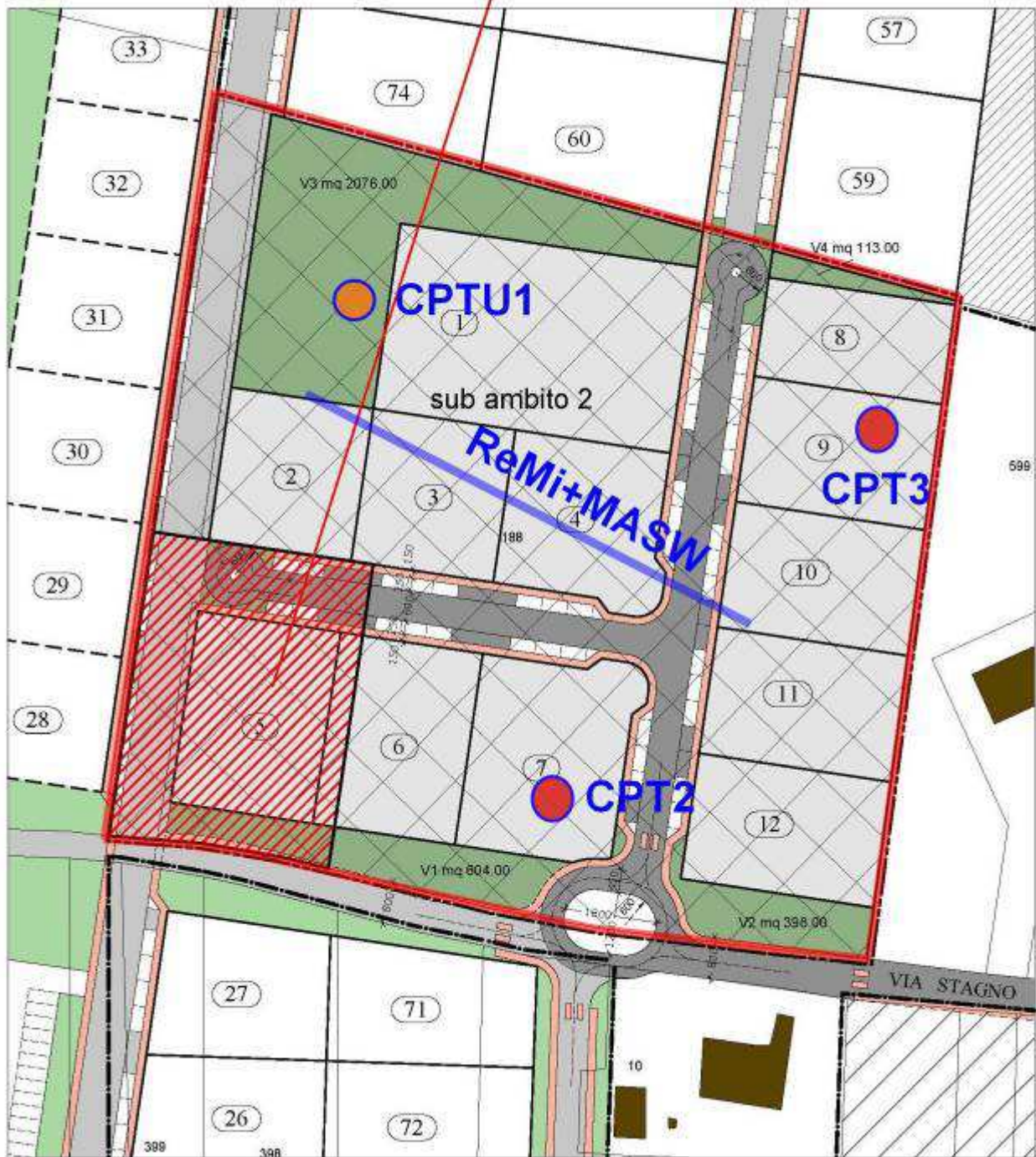


Fig. 2/4: Ubicazione dei punti di indagine: CPT, CPTU e Re.Mi.+MASW sull'area in esame, su masterplan trasmesso dai Progettisti allo scrivente. Scala Libera.

2.1. Indagini appositamente eseguite:

L'area in esame è stata indagata dalle seguenti indagini (come sopra ubicate):

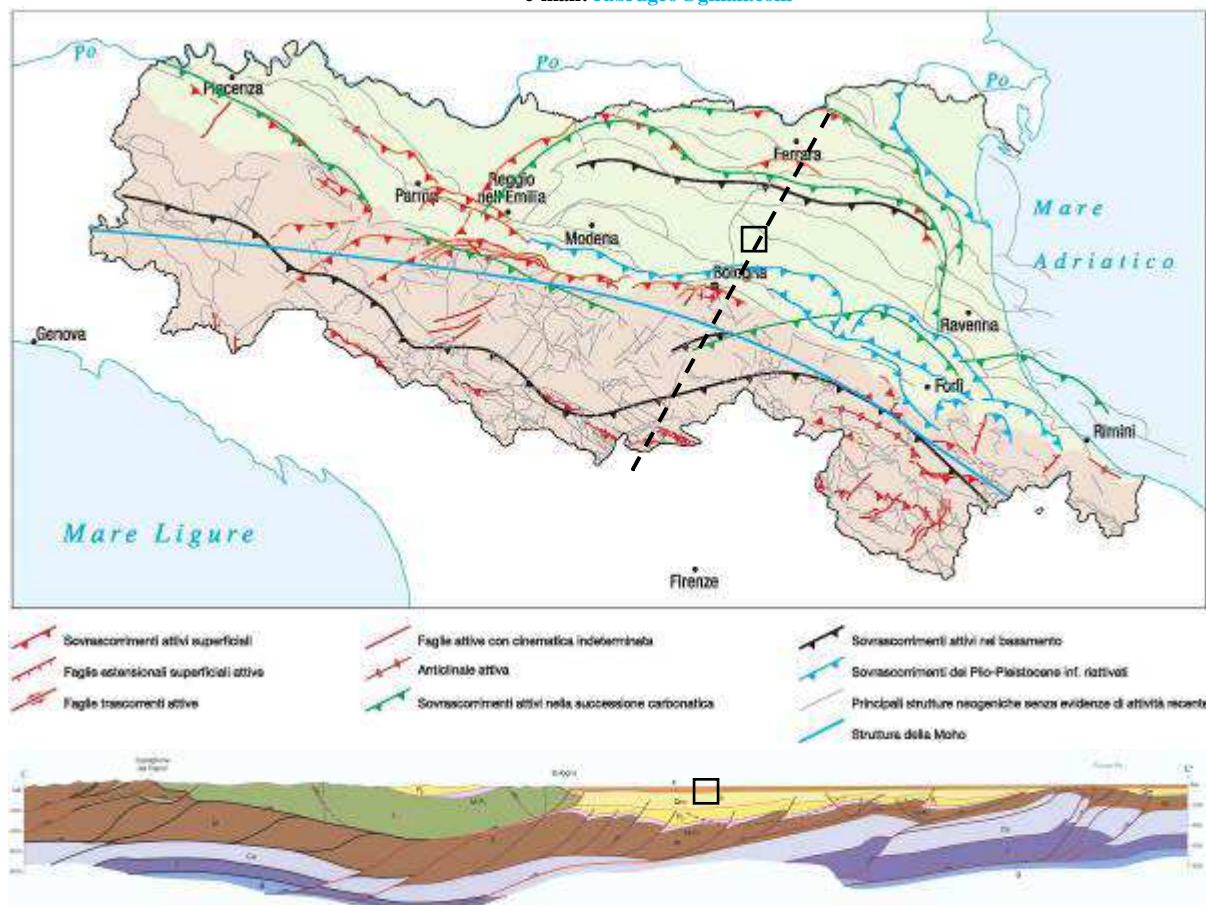
- due prove penetrometriche statiche C.P.T. di profondità massima pari a 20,00 m dal p.c.;
- una prova penetrometrica statica con Piezo- Cono C.P.T.U. di profondità massima pari a 20,00 m dal p.c.
- un punto di indagine tromografica H/V, che ha potuto indagare profondità ampiamente superiori a 30 metri;
- uno stendimento sismico di tipo Re.Mi.+ M.A.S.W.

Ci si è ulteriormente riferiti a tutta una serie di dati penetrometrici e stratigrafici di bibliografia pubblica, presenti nel data- base della Regione Emilia- Romagna.

Per l'esecuzione dell'indagine penetrometrica si sono utilizzate due apparecchiature penetrometriche carrellate di costruzione Deep- Drill tipo Gouda dotata di punta Begemann a doppio effetto atta al rilievo dell'attrito laterale e di costruzione Pagani dotata di Piezo- Cono. La strumentazione è regolarmente mantenuta e tarata (moduli di descrizione della metodologia penetrometrica sono presenti in allegato), le indagini sono state eseguite dallo scrivente e da altra Ditta su progettazione e direzione dello scrivente. L'indagine geofisica di tipo Re.Mi.+ M.A.S.W. è stata eseguita dalla Ditta GeoDelta.

2. GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME

L'assetto geologico complessivo dell'area in esame è legato all'evoluzione del grande bacino subsidente padano, di riempimento detritico ed all'evoluzione tettonica compressiva e convergente fra il dominio Sud- alpino ed il dominio appenninico. Normalmente si è in presenza di un notevole "pacco" di deposizioni alluvionali sciolte e/o fini, d'età Pleistocenica (dal Pleistocene Medio- Olocene: 0,45 Milioni di anni-presente, al Pliocene Medio- Superiore: 4,1- 1,8 Milioni di anni) che sovrastano le strutture appenniniche sepolte, d'età Miocenica (2,4- 5,4 Milioni di Anni fa). Vi è poi la presenza di un complesso sistema di pieghe compressive e faglie, orientate da NNO a SSE, ovvero da ONO a ESE o ancora Nord- Sud. Per la porzione di territorio in esame la situazione può essere descritta in maniera molto semplificata con un relativo avvicinamento al piano di campagna delle strutture sepolte, come riportato alle seguenti figure. Ricadute sismiche dei movimenti delle strutture sepolte sono registrabili nella storia sismica dell'area padana e dell'area in esame, e se ne darà rapido conto all'apposito capitolo (al quale si rimanda).



Figg. 3/1 e 3/2: Schema geologico e sezione geologica profonda esemplificativa della Pianura Padana. Sono evidenti l'andamento delle pieghe e delle faglie del substrato e traccia della medesima sezione. Col quadratino nero si riporta l'area in esame.

2.1 Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame:

Dal punto di vista geologico *latu- sensu*, secondo quanto riportato dalla Carta Geologica di Pianura dell'Emilia -Romagna (a cura della Regione Emilia- Romagna, Direzione Generale "Sistemi Informativi e Telematica", Servizio Sistemi Informativi Geografici, Ufficio Geologico), i terreni di fondazione caratterizzanti l'area in esame dovrebbero essere a natura prevalentemente Sabbioso-Limosa ovvero Limoso- Sabbiosa. Tali terreni sono ascrivibili a deposizioni paleo- fluviali, ovvero a deposizioni di Argine, Canale e Rotta Fluviale. Per l'area in esame trattasi di deposizioni ascrivibili al paleo corso del Reno ascrivibile ai Secc. IV- VI. (come di seguito riportato in uno stralcio della già citata cartografia).

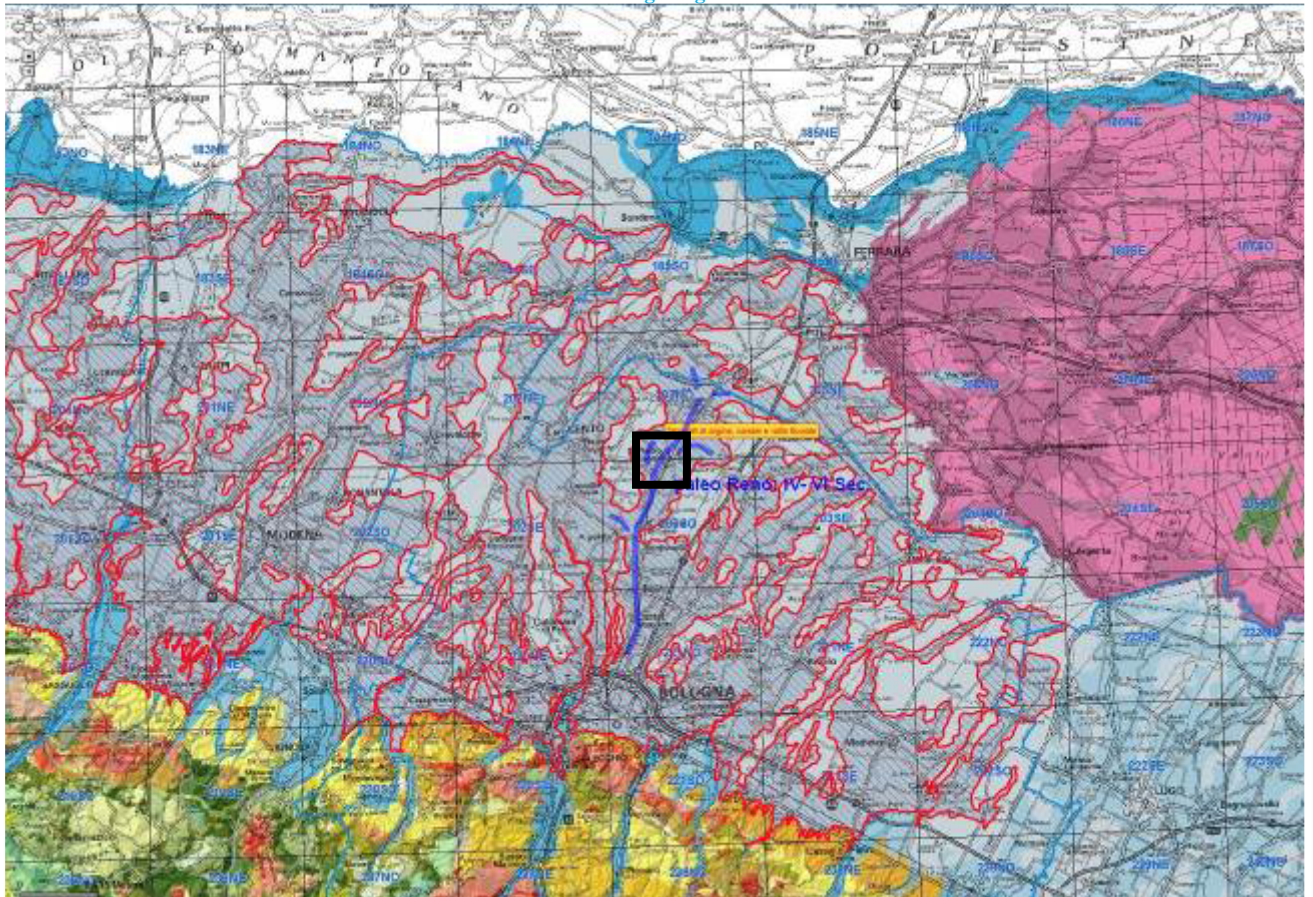


Fig. 4/1: stralcio a Scala Libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 250 000. È riportato il paleo corso del Reno e la relativa presenza temporale locale.

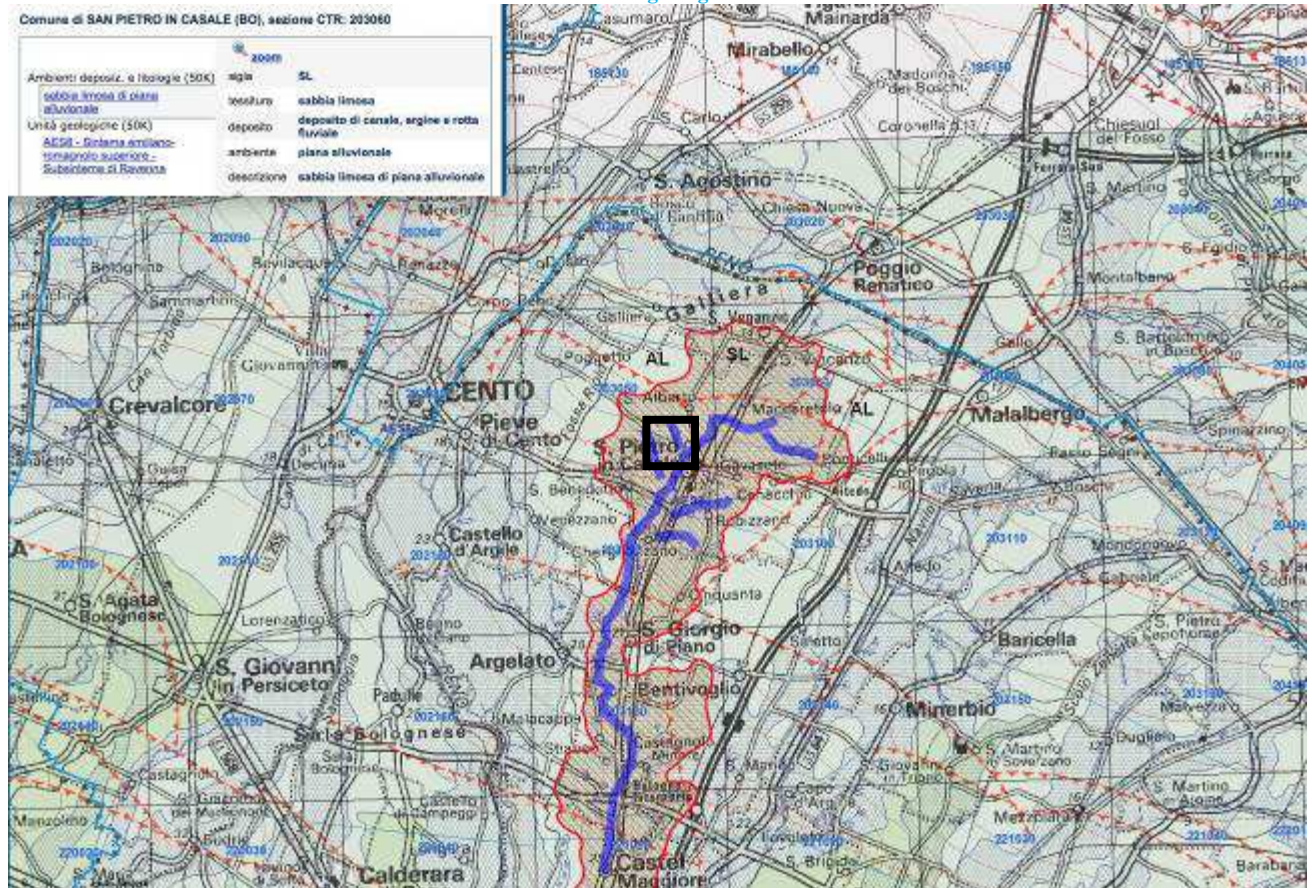


Fig. 4/2: Particolare a scala maggiore dell'assetto paleo- idraulico locale, stralcio della carta regionale (alla scala 1: 100 000), Scala Libera. Si è riportato il paleo corso del Reno che interessa l'area in esame ed i suoi pressì.

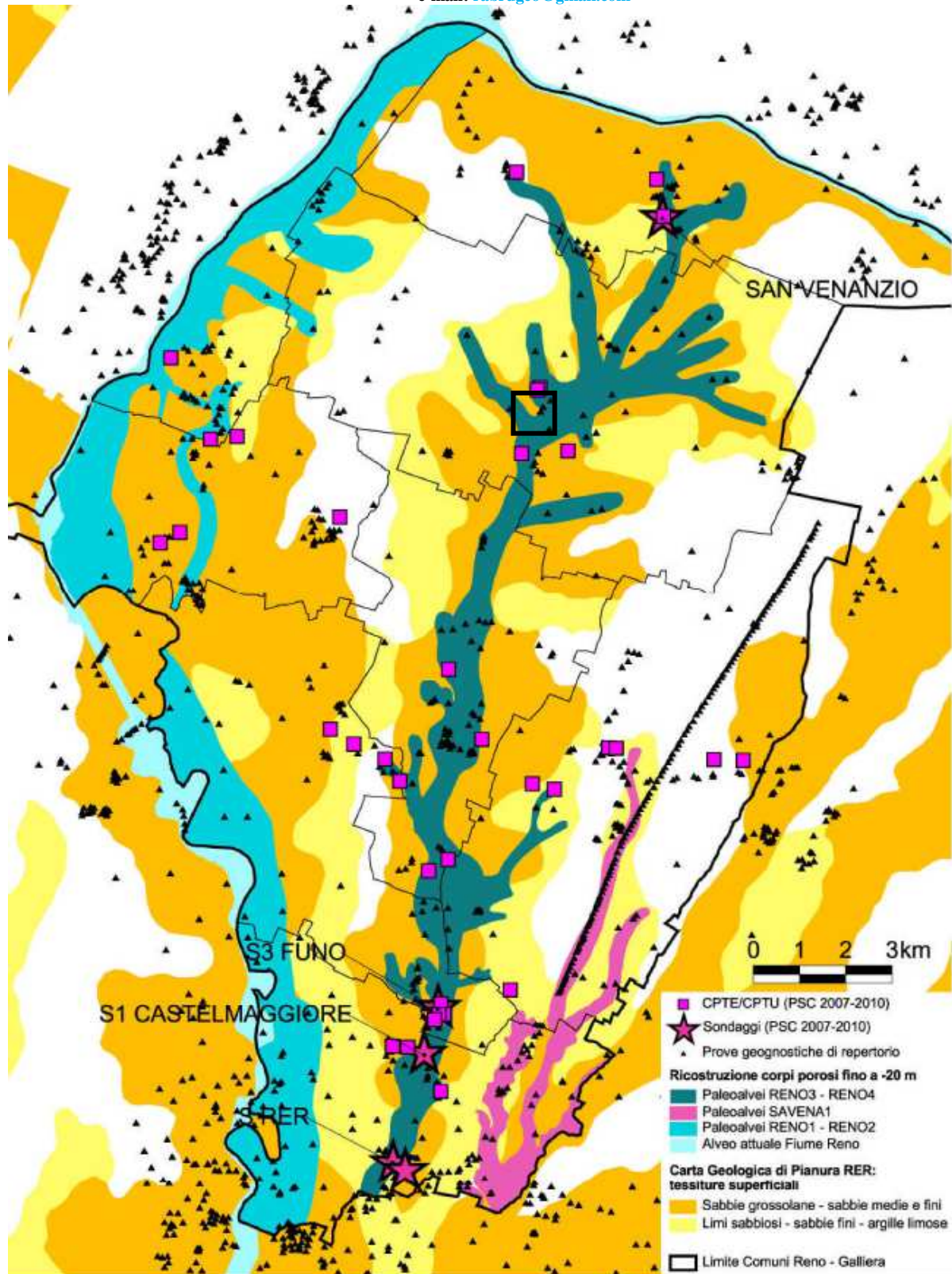


Figura 3.1 – Ricostruzione di sintesi dei corpi porosi fino a 20 metri di profondità

Fig. 4/3: Particolare a scala maggiore dell'assetto paleo- idraulico locale, figura tratta dalla Relazione del PSC (aggiornamento Ottobre 2013) Unione Reno- Galliera. Scala Libera. Si sono riportati i paleocorsi dei vari corpi idrici e la ricostruzione dei corpi sabbiosi, sino alla profondità di 20 m dal p.c.

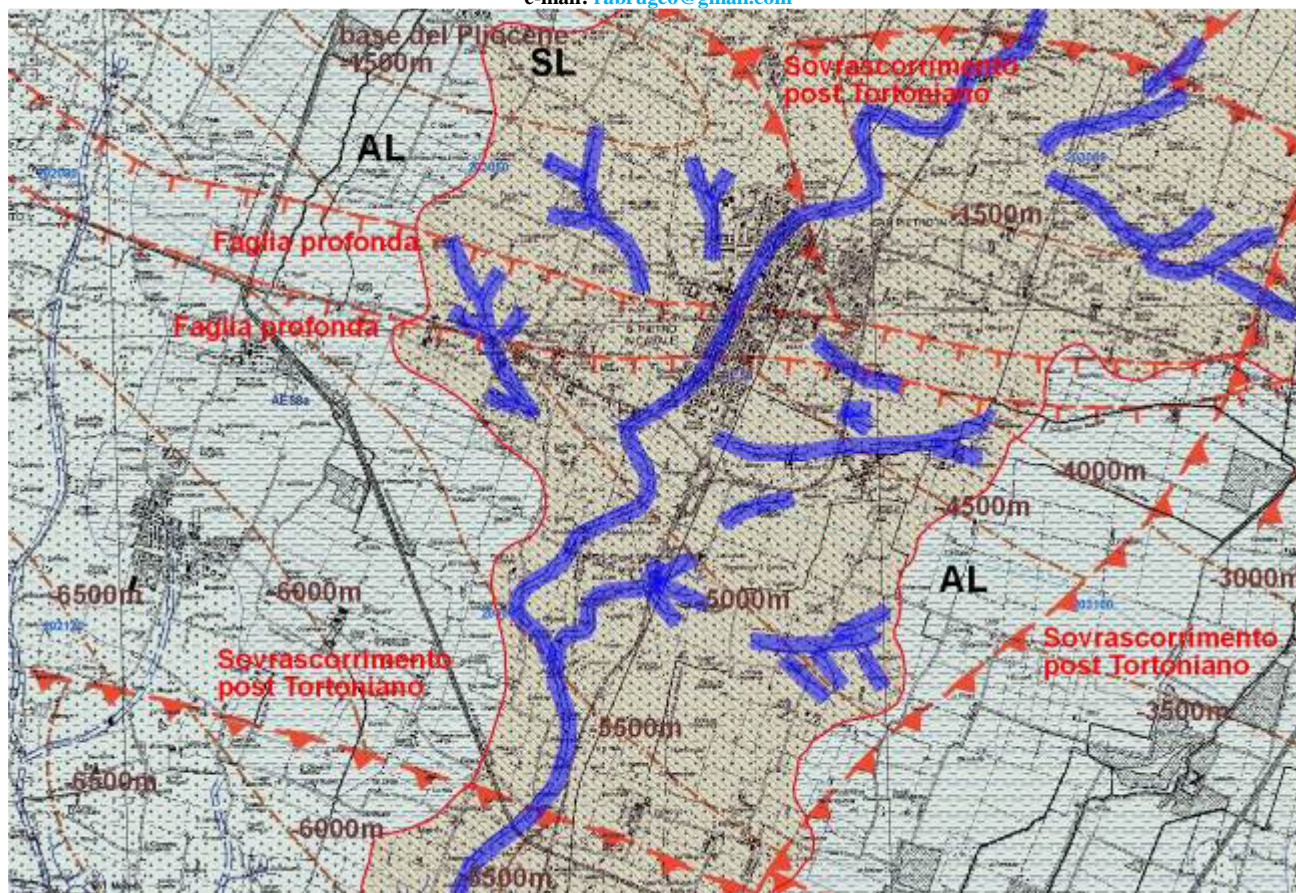



Fig. 4/4: Assetto geologico locale, stralcio della carta regionale (alla scala 1: 25 000), Scala Libera. Sono riportati il corso del paleo Reno del IV- VI Sec., le deposizioni di natura SL e gli elementi di geologia profonda quali: Sovrascorrimenti post Tortoniani, Faglie profonde e la base del Pliocene in m dal p.c.

La formazione localmente affiorante è l'Unità di Modena, Sub- Sintema di Ravenna, del Sintema Emiliano- Romagnolo Superiore: AES8a ed è di seguito descritta come riportato all'apposito sito regionale. Come già citato la tessitura localmente rilevabile è la SL (Sabbioso-limosa), anche se a scala diversa (10 000) viene indicata come LS (Limoso- Sabbiosa) e che, come si vedrà verrà confermata dall'analisi delle indagini penetrometriche localmente eseguite (che comunque non escludono anche la presenza di frazioni/deposizioni Argillose e/o Argillo- Limose). Le deposizioni di natura AL sono infatti rilevabili come "affioranti" nei pressi dell'area in esame.

Comune di SAN PIETRO IN CASALE (BO), sezione CTR: 203050

Ambienti deposiz. e litologie (10K) Limo Sabbioso - Piana alluvionale	 zoom	data di ultima modifica	Poligono non aggiornato rispetto al rilievo originale
		sigla	AES8
Coperture quaternarie (10K) AES8 - Subsintema di Ravenna		legenda	AES8 - Subsintema di Ravenna
		nome	Subsintema di Ravenna
		tessitura	Limo Sabbioso
		sigla tessitura	LS
		ambiente	Piana alluvionale
		deposito	Piana alluvionale
		legenda tessitura	Limo Sabbioso - Piana alluvionale

Comune di SAN PIETRO IN CASALE (BO), sezione CTR: 203050

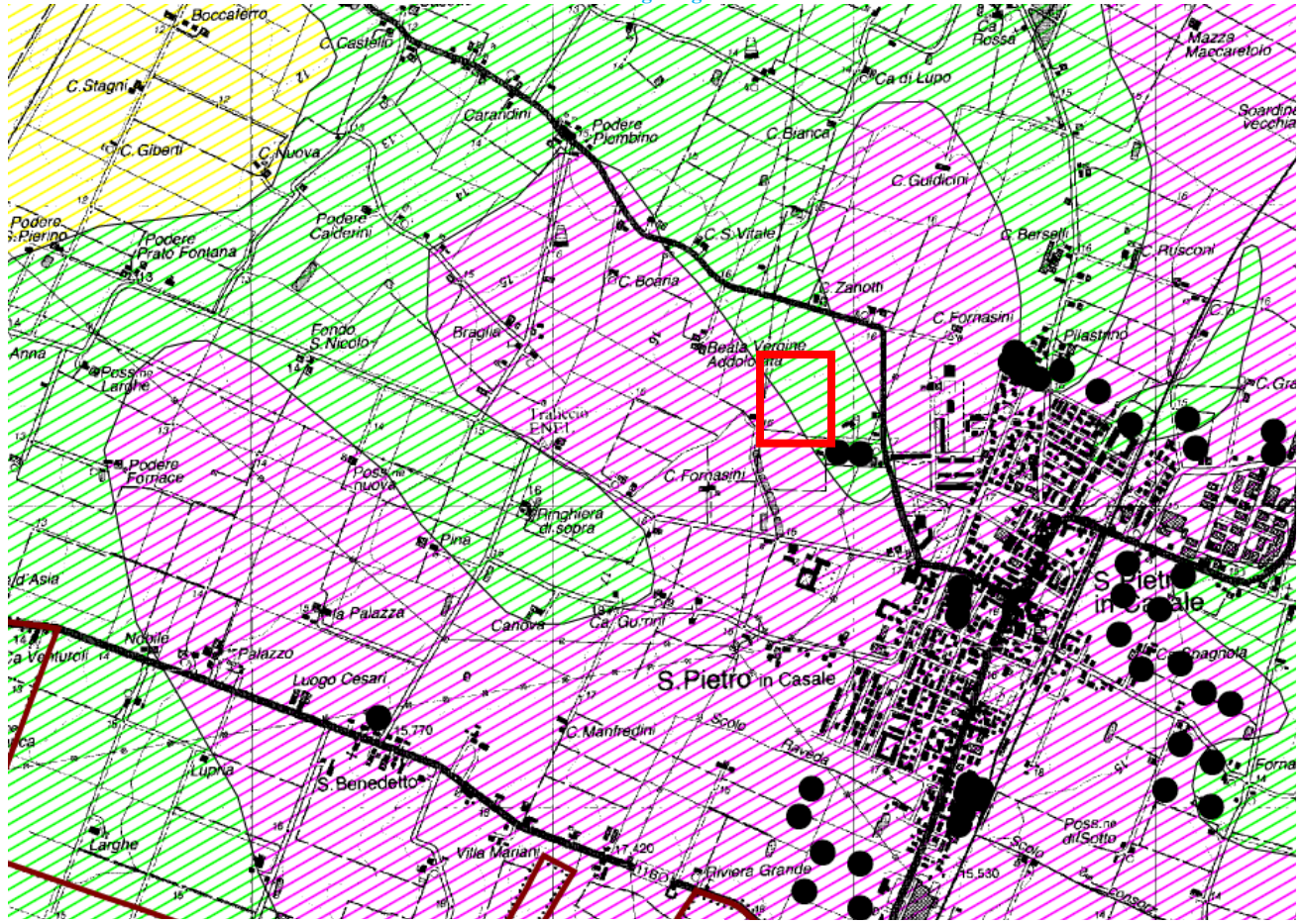
Ambienti deposiz. e litologie (50K) sabbia limosa di piana alluvionale	 zoom	sigla	AES8
		nome	Subsintema di Ravenna
Unità geologiche (50K) AES8 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna		nome completo	Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna
		tipo	subsintema
		descrizione	Unità costituita da ghiaie sabbiose, sabbie e limi ricoperte da una coltre limosa argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta spesso un suolo parzialmente decarbonatato non molto sviluppato di colore giallo-bruno
		legenda	AES8 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna
		etÀ	Pleistocene sup. - Olocene
		sigla tessitura	SL
		tessitura	sabbia limosa
		deposito	deposito di canale, argine e rotta fluviale
		ambiente	piana alluvionale

Figg. 4/5: Legenda delle deposizioni di natura SL e LS localmente affioranti e che largamente caratterizzano l'area in esame.

Comune di SAN GIORGIO DI PIANO (BO), sezione CTR: 203090

Ambienti deposiz. e litologie (50K) argilla limosa di piana alluvionale Unità geologiche (50K) AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena	 zoom	
	sigla	AES8a
	nome	unità di Modena
	nome completo	Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena
	tipo	unità
	descrizione	Unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da argille e limi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro
	legenda	AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena
	etÀ	Olocene
	sigla tessitura	AL
	tessitura	argilla limosa
	deposito	deposito di piana inondabile in area interfluviale
	ambiente	piana alluvionale

Figg. 4/6: Legenda delle deposizioni di natura AL che comunque possono essere considerate come localmente presenti seppur in percentuali minoritarie nella colonna litostratigrafica caratterizzante l'area in esame.



Tessiture ed Ambienti deposizionali

	Sabbie limose di conoide
	Sabbie di piana alluvionale
	Sabbie fini di piana alluvionale
	Limi di piana alluvionale
	Argille limose di piana alluvionale
	Sabbie e sabbie fini di paleodelta

Fig. 4/7: stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. AC.1.1b Carta Litologico- Morfologica del Quadro Conoscitivo del P.S.C. Associato Reno- Galliera- Terre di Pianura e del Comune di San Pietro in Casale. La carta rileva la presenza "affioramento" di Sabbie e Sabbie Fini di Piana Alluvionale.

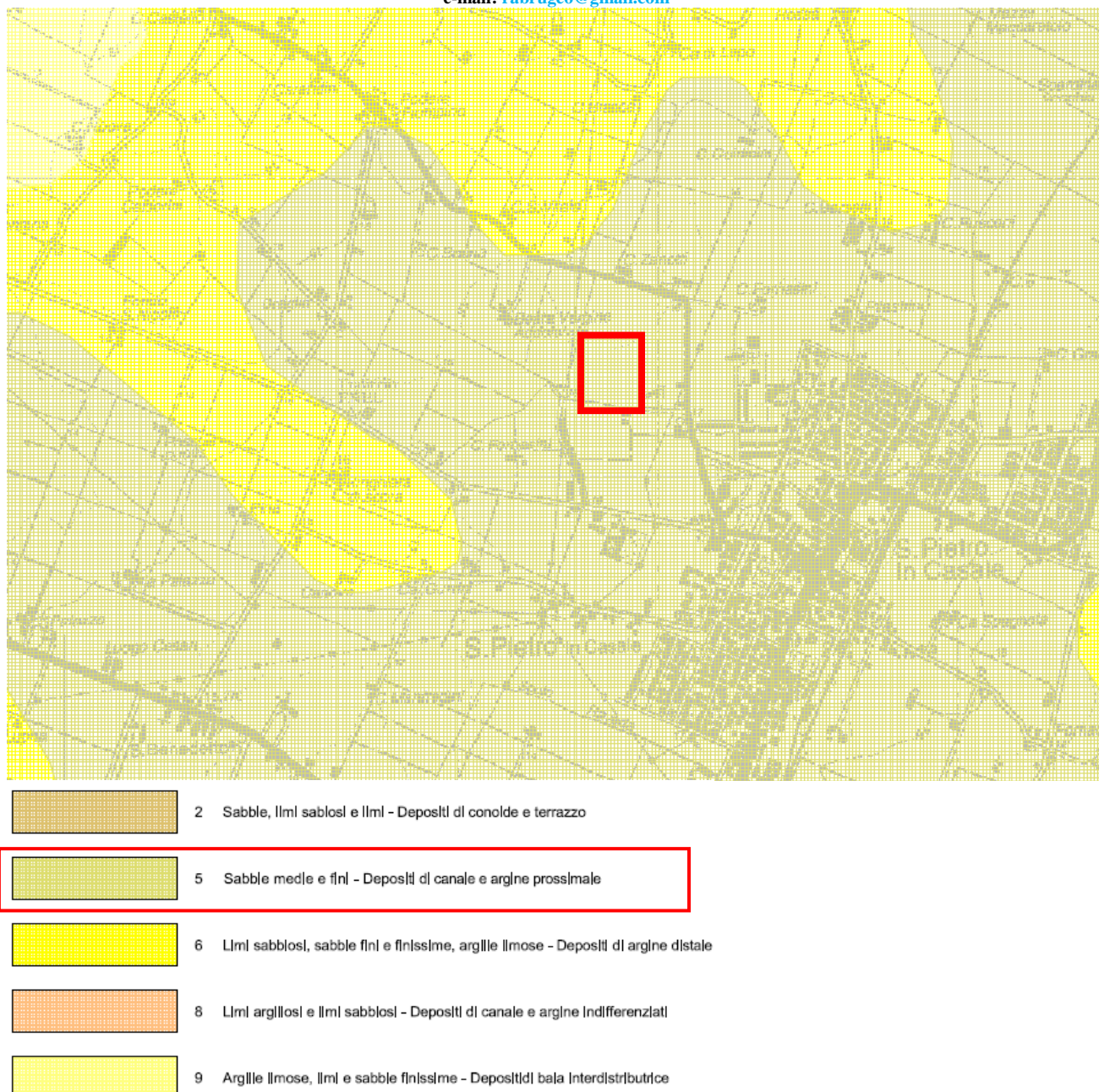


Fig. 4/8: stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. AQC.1.5.3. Carta Geologica del Quadro Conoscitivo del P.S.C. Associato Reno- Galliera- Terre di Pianura e del Comune di San Pietro in Casale. La carta rileva la presenza/”affioramento” di Sabbie Medie e Fini, relative alle deposizioni di Canale e Argine Prossimale. Purtroppo occorre osservare che non si riscontra sempre l’auspicabile congruenza fra i vari strumenti pianificatori (si confronti con la precedente immagine) !

In considerazione della cartografia testè riportata, l’area in esame dovrebbe quindi essere caratterizzata dalla presenza di deposizioni granulare, da Sabbie Limose (SL) a Limi- Sabbiosi (LS) retaggio delle deposizioni paleo- divagative ascrivibili al corso del paleo Reno. Come potrà rilevarsi nel prosieguo della presente relazione le deposizioni caratterizzanti l’area in esame corrispondono in maniera corretta a quanto riportato dalla cartografia sinora illustrata.

Le deposizioni di natura Argillo- Limosa (AL) sono ascrivibili alle “Deposizioni di Piana Alluvionale” e sono riconducibili alle paleo valli/paludi sulle quali scorrevano/divagavano le

deposizioni granulari (anche non meramente sabbiose dato che ci trova comunque in corrispondenza di fasi fluviali terminali, ove cioè l'energia trattiva non era sufficiente a depositare sabbie- ascrivibili al paleo Reno) che rappresentano il “lascito” della presenza temporale del paleo corso idrico divagativo già illustrata in relazione.

La geologia profonda ubica l'area in esame in prossimità di una complessa struttura caratterizzata dall'incrocio di Sovrascorrimenti post- Tortoniani e Faglie profonde, tale complessa struttura coincide proprio con l'abitato di San Pietro in Casale. La base del Pliocene è compresa fra 4 000 e 6 000 m circa dal p.c., con importanti rigetti. Queste difformità profonde sono normalmente sede di movimenti tellurici, lo sono state nel passato anche recentissimo (come già riportato e come potrà vedersi all'apposito punto della presente relazione) e lo potranno quindi essere anche nel futuro.

2.2. Dati stratigrafici tratti dal data- base della Regione Emilia- Romagna.

Di seguito si riporta l'ubicazione dei dati disponibili all'apposito data- base regionale, più oltre i dati stessi ed apposite sezioni stratigrafiche.

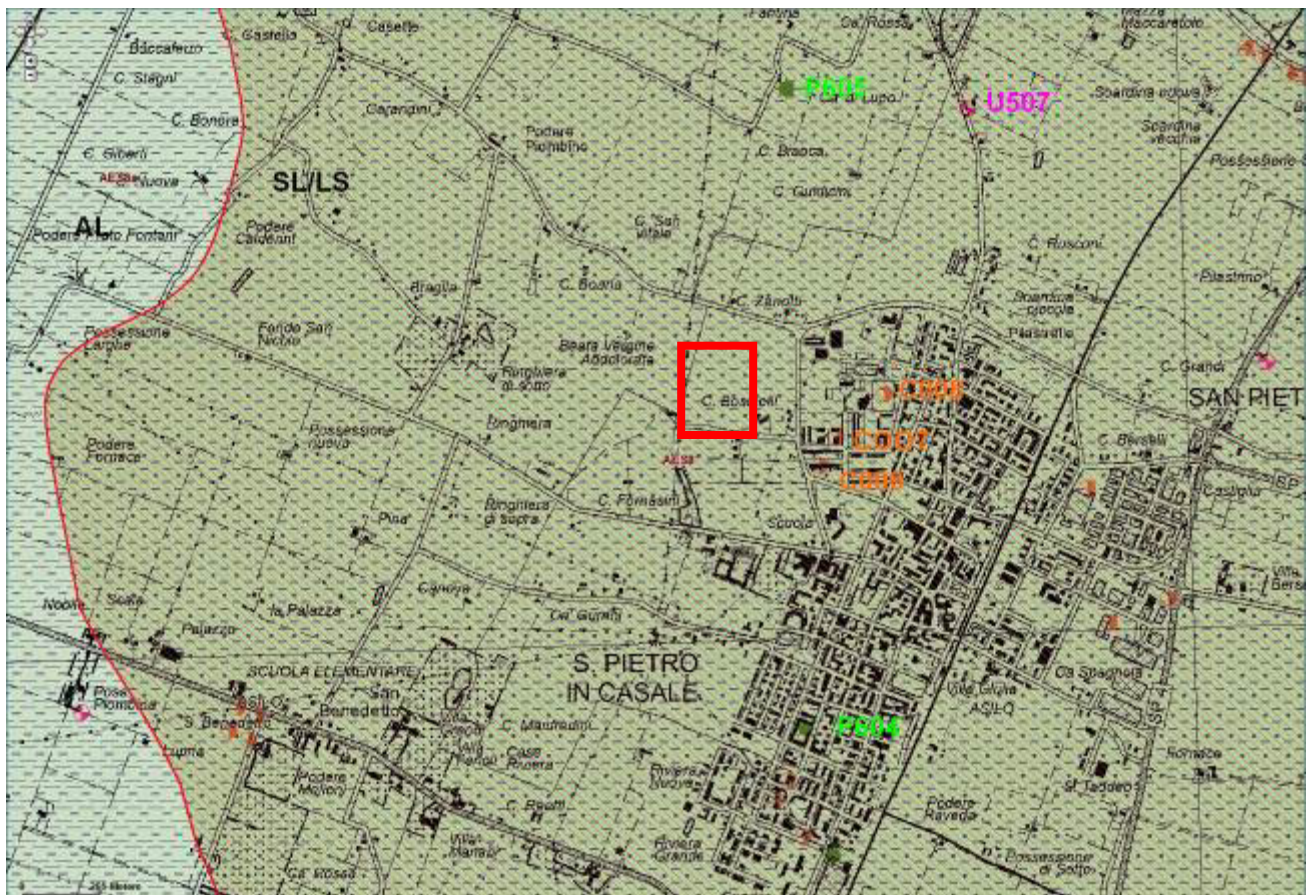


Fig. 5/1: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 10 000. Si riporta l'ubicazione dei punti di indagine di bibliografia (tratti dall'apposito sito regionale) che verranno più oltre riportati in relazione.

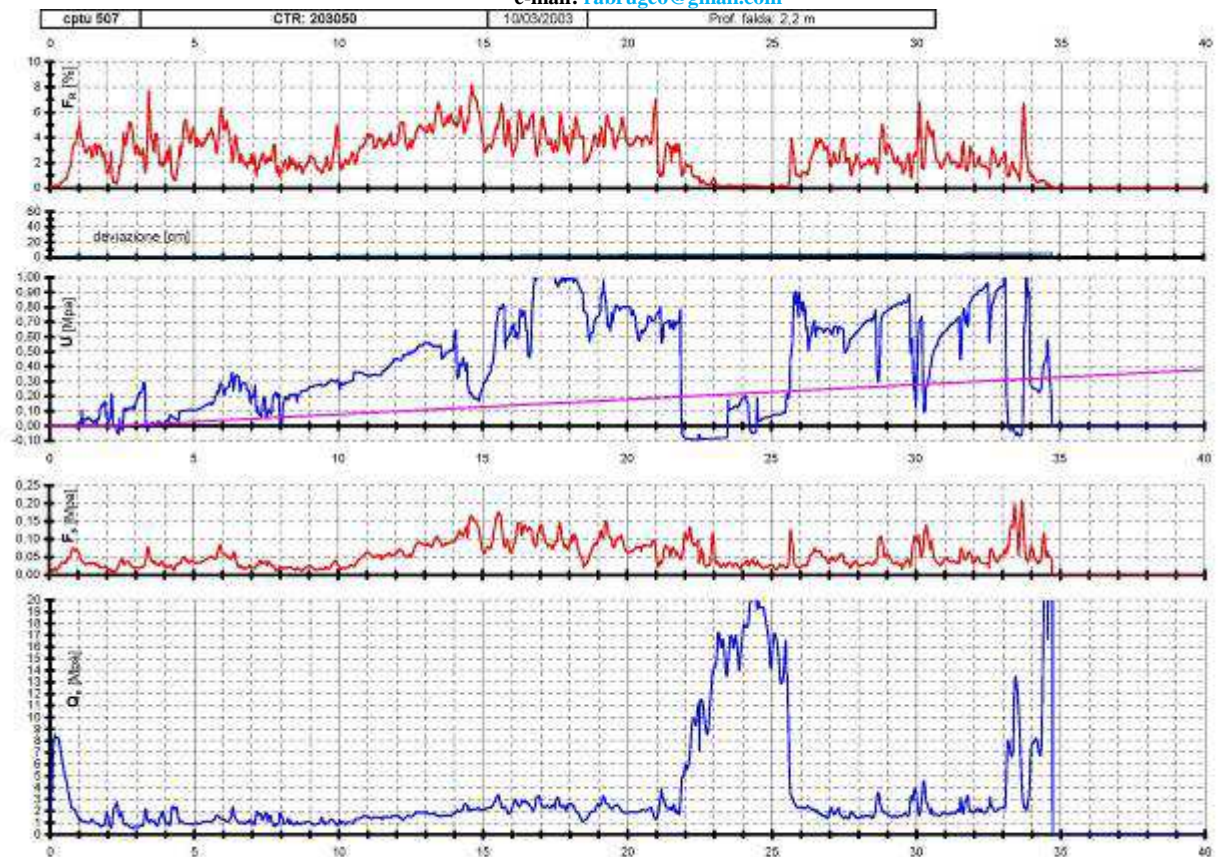


Fig. 5/2: C.P.T.U. 507.

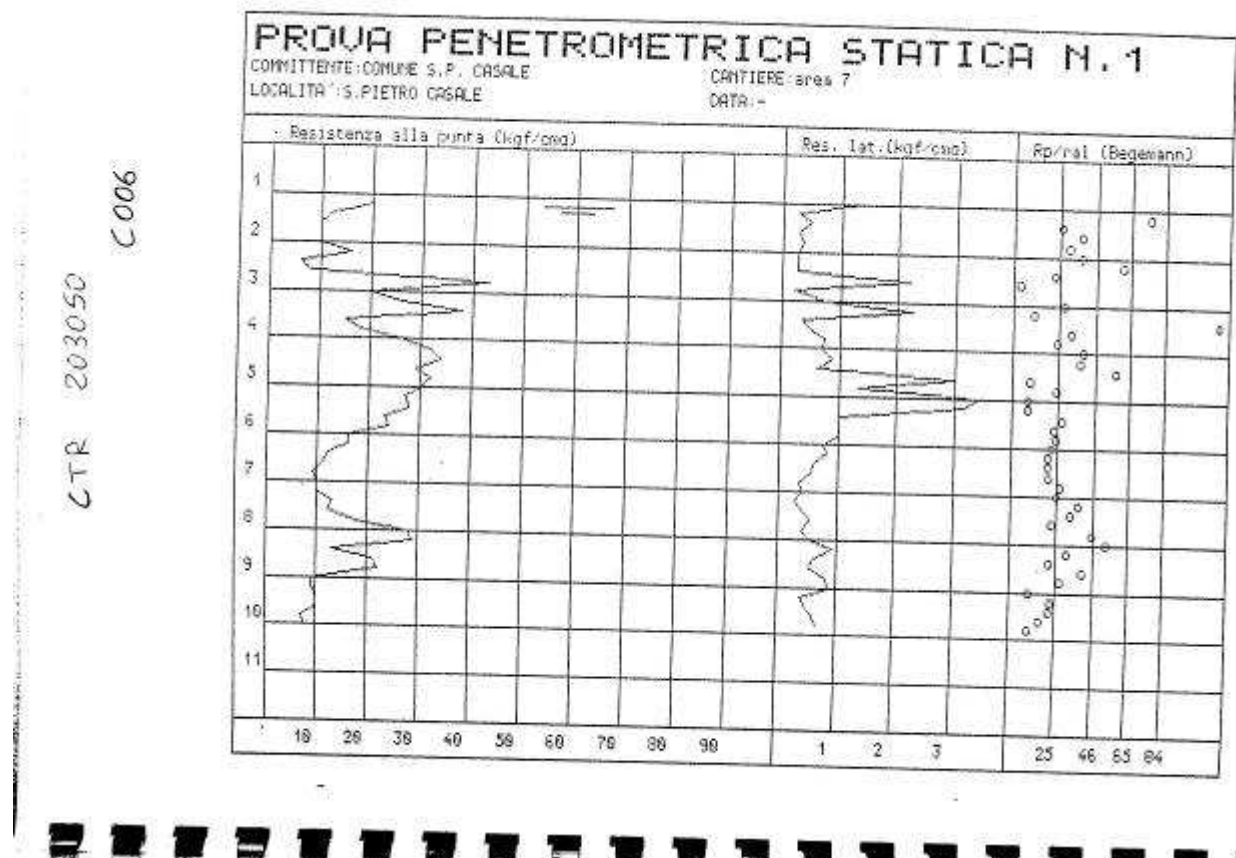


Fig. 5/3: C.P.T. C006.

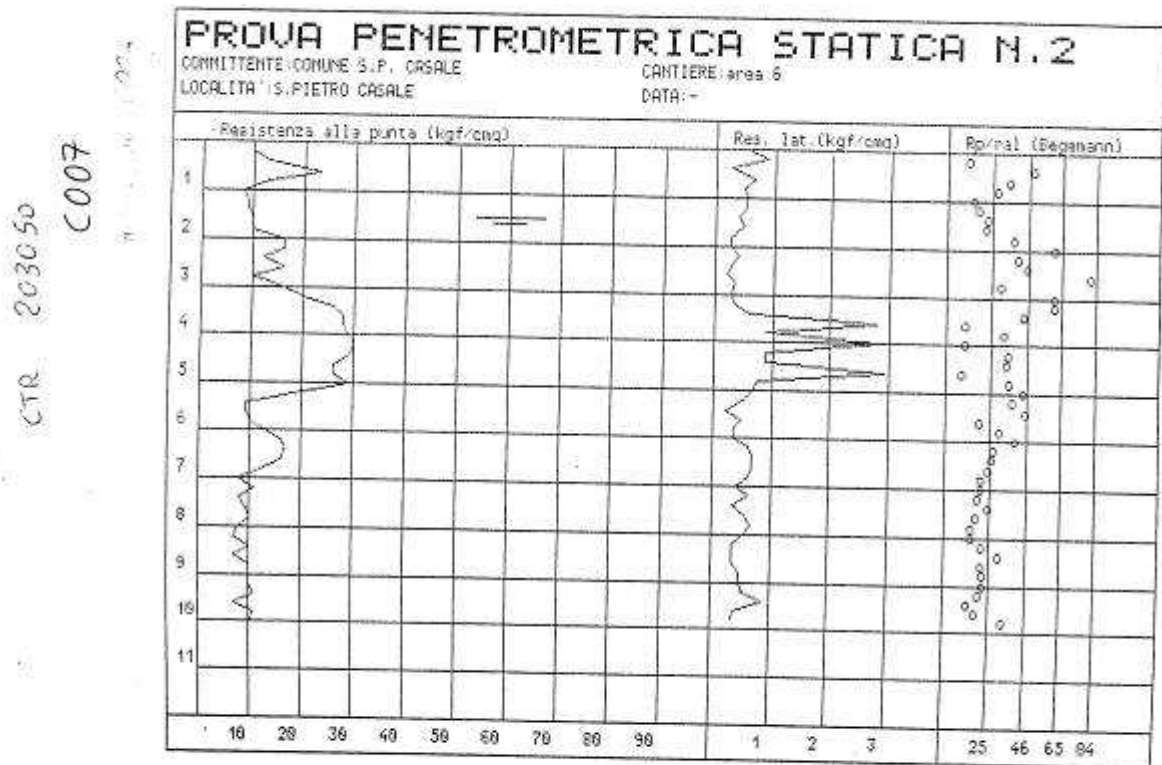


Fig. 5/4: C.P.T. C007.

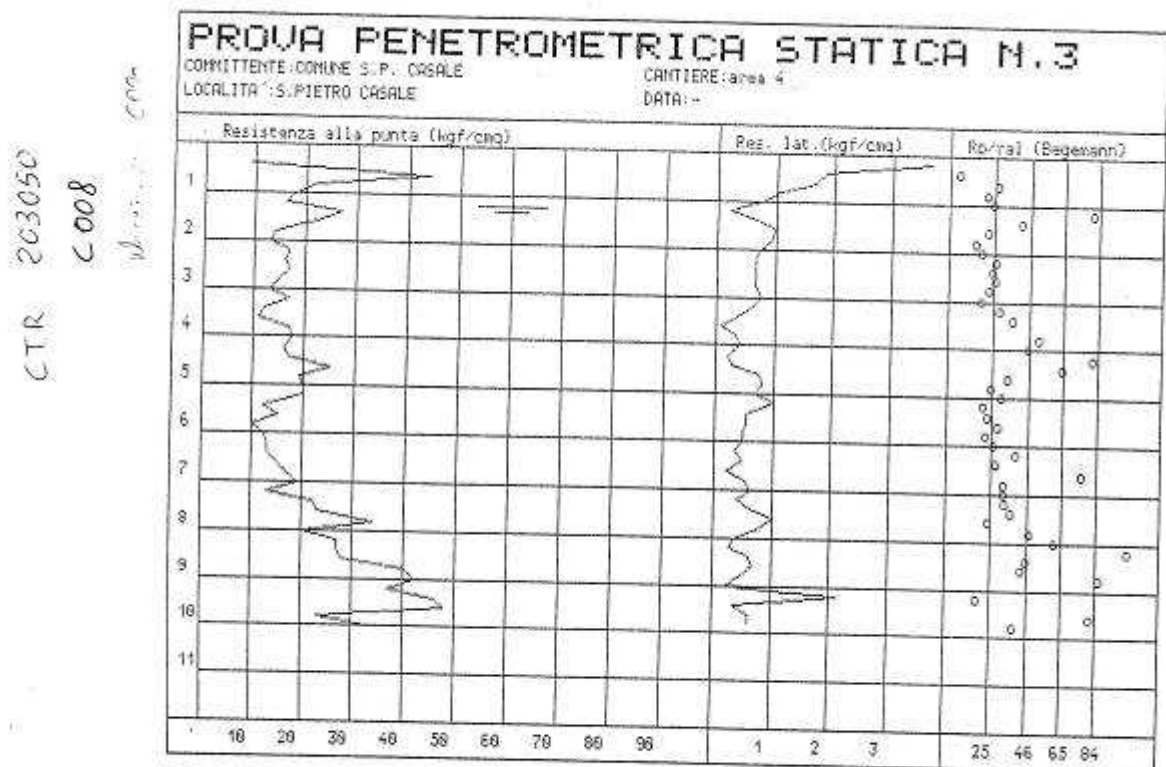


Fig. 5/5: C.P.T. C008.

7 scheda da ritornare al venio 203-090
Pratica N° 16 COMPENSORIO P604
COMUNE-Istat
-Ditta "ERIDANIA" S.p.A. -Zuccherifici Nazionali- Genova Stabilimento di
residente a S. Pietro in Casale in Via Altèdo 4133/B (Bologna)
-Pozzo ad uso domestico in Comune di S. Pietro in Casale
Frazione == Località via delle rose 8-10-12 Mapp. N° 348 / Fg. 67
e altri
-Data di ultimazione della perforazione: 12 Novembre 1977
-Ditta perforatrice: Spettoli & Parisini -Galliera (BO)

CARATTERISTICHE DEL POZZO
*avanpozzo (si o no) NO
*diametro interno tubi mm. 154
tubo zincato SS mannesmann
*profondità mt. 148,50

EQUIPAGGIAMENTO
*tipo della pompa: sommersa
KSB tipo UQD 152II 6E 33/2
*potenza Cv 5
kW 3,7
*prevalenza mt. 92
*portata lt/sec. 3

-Livello statico mt. 10,90
-Portata pozzo: lt/sec. 3
-Superficie irrigata:
ha. 0 are 50 ca. 00
-Consumo giornaliero (24 ore):
metri cubi 10 nel periodo estivo
5 " " invernale

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data 25.11.77

Firma

M.B. : Quotora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitata ad allegarne copia.

STRATIGRAFIA DEL TERRENO		Falde captate
Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE attraversati		
-da mt. <u>0</u>	a mt. <u>6</u> <u>terreno vegetale</u>	
-da mt. <u>6</u>	a mt. <u>24</u> <u>argilla mista a sabbia</u>	
-da mt. <u>24</u>	a mt. <u>30</u> <u>sabbia fine e limo</u>	
-da mt. <u>30</u>	a mt. <u>66</u> <u>argilla</u>	
-da mt. <u>66</u>	a mt. <u>72</u> <u>sabbia fine e limo</u>	
-da mt. <u>72</u>	a mt. <u>102</u> <u>argilla scura pastica</u>	
-da mt. <u>102</u>	a mt. <u>146</u> <u>argilla plastica mista</u>	
-da mt. <u>146</u>	a mt. <u>160</u> <u>sabbia medio grossa</u>	<u>falda captata</u>

Localizzazione del pozzo

Long.		Lat.		Ha.	
Quota piano campagna: m.s.l.m. <u></u>					

ANNOTAZIONI:

Fig. 5/7: Pozzo per Acqua P605.

Dall'analisi dei dati sopra riportati si può rilevare la presenza di litotipi granulari, da Sabbioso-Limosi a Sabbiosi fra di essi alternati/interdigitati e/o alternati/interdigitati a litotipi fini, come per l'area oggetto della presente relazione (e come verrà illustrato più oltre). I litotipi più fini rappresentano le deposizioni di valle- palude sulle quali i paleo corpi idrici divagavano e le deposizioni granulari rappresentano appunto il retaggio di tali corpi idrici. I Limi rappresentano le facies di transizione fra le deposizioni di valle e quelle di paleo alveo. I dati stratigrafici dei Pozzi localmente presenti rilevano poi come tale “tema” depositivo sia reiterato per profondità ampiamente maggiori di 160 m dal p.c., dimostrando così come la storia depositiva locale sia ampiamente prolungata (come sarà riportato anche più oltre dall'analisi delle sezioni profonde).

2.3 Dati Stratigrafici locali derivanti dalle indagini appositamente eseguite sull'area di Lottizzazione:

Di seguito si riportano le risultanze delle tre C.P.T./C.P.T.U. eseguite sull'area in esame, come ubicate alle Figg. 2/2, 2/3 e 2/4 alle quali si rimanda.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

Via A. Da Brescia 11 - 44011 Argenta (FE)
tel. e fax: 0532852858 cell. 3355373693 e-mail: rabrugo@libero.it

Riferimento: 453-18

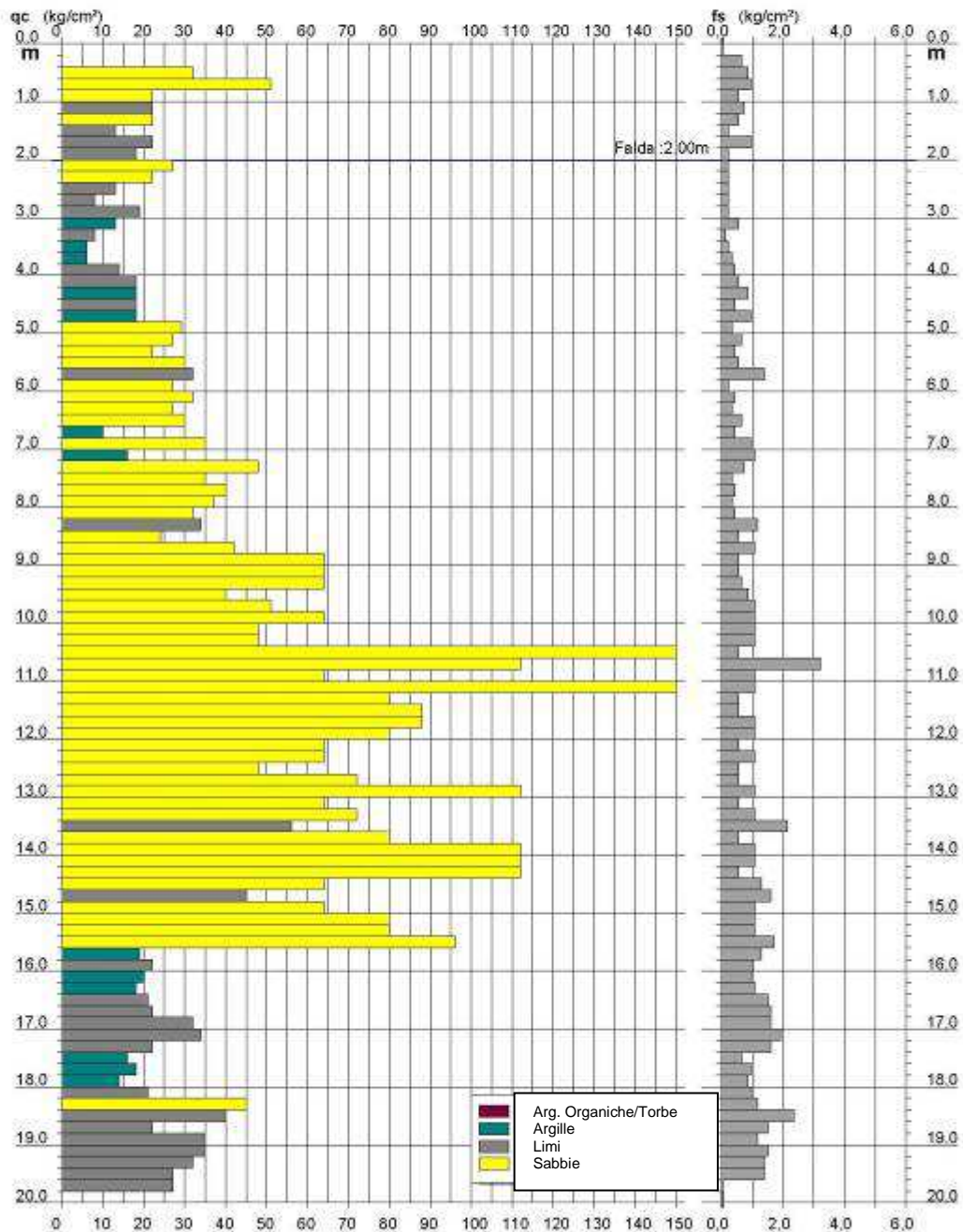
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT 2

2.0105-001

- committente : Arch. Gamberini-Mazzini
- lavoro : Lottizzazione
- località : S. Pietro in Casale
- assist. cantiere :

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 2,00 da quota inizio



Software by: Dr.D.Morin - 04/25/840820

Indagini Geologiche e Geotecniche

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

Via A. Da Brescia 11 - 44011 Argenta (FE)
tel. e fax: 0532852858 cell. 3355373693 e-mail: rabruego@libero.it

Riferimento: 453-18

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 2

2.0105-001

- committente : Arch. Gamberini-Mazzini
- lavoro : Lottizzazione
- località : S. Pietro in Casale
- assist. cantiere :

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 2,00 da quota inizio

NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE											
Prof. m	q _c kg/cm ²	q _u (-)	Natura Litol.	γ [*] t/m ³	p _{vo} kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	a _{1s} (°)	a _{2s} (°)	a _{3s} (°)	a _{4s} (°)	adm (°)	amy (°)	Amaz/s (-)	E50 kg/cm ²	E25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²
0.20	-	-	722	1.85	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	722	1.85	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.60	32	37	3	1.85	0.11	-	-	-	-	-	85	40	42	43	45	42	29	0.211	53	80	95
0.80	51	53	3	1.85	0.15	-	-	-	-	-	95	41	43	44	46	42	33	0.242	95	120	153
1.00	72	41	3	1.85	0.19	-	-	-	-	-	81	37	39	41	43	38	28	0.134	37	55	66
1.20	32	29	4/1	1.85	0.22	0.55	33.4	144	216	88	57	38	38	40	43	37	28	0.121	37	55	66
1.40	25	41	---	1.85	0.26	-	-	-	-	-	53	35	38	40	42	36	28	0.111	37	55	66
1.60	13	61	4/1	1.85	0.30	0.60	15.3	103	154	47	32	32	35	38	41	32	26	0.061	22	33	39
1.80	22	29	4/1	1.85	0.33	0.55	20.1	144	216	66	47	35	37	39	42	35	28	0.056	37	55	66
2.00	18	39	4/1	0.91	0.35	0.75	16.2	128	191	56	39	33	36	38	41	33	27	0.077	30	45	54
2.20	37	127	---	0.87	0.37	-	-	-	-	-	51	35	37	40	42	36	28	0.107	45	68	81
2.40	32	103	---	0.86	0.39	-	-	-	-	-	43	34	36	38	41	34	28	0.087	37	55	66
2.60	13	61	4/1	0.88	0.40	0.80	10.4	103	154	47	24	31	34	37	40	31	26	0.048	22	33	39
2.80	8	37	4/1	0.84	0.42	0.40	5.9	112	168	35	8	29	32	35	39	28	0.015	13	20	24	
3.00	19	39	4/1	0.92	0.44	0.75	12.8	132	196	59	35	33	36	38	41	32	27	0.069	32	48	57
3.20	13	26	20/1	0.92	0.45	0.80	8.9	108	162	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.40	8	75	4/1	0.84	0.47	0.40	5.1	130	196	35	3	28	32	35	39	27	0.009	13	20	24	
3.60	8	28	20/1	0.82	0.49	0.30	3.4	138	207	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	6	19	20/1	0.82	0.51	0.30	3.3	141	212	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	14	33	4/1	0.89	0.52	0.84	8.0	126	189	48	30	31	34	37	40	30	28	0.038	28	35	42
4.20	18	36	4/1	0.91	0.54	0.75	9.4	130	195	56	28	32	35	37	40	31	27	0.054	30	45	54
4.40	18	21	20/1	0.98	0.58	0.75	9.0	133	200	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.60	18	42	4/1	0.91	0.58	0.75	8.6	138	206	56	26	32	34	37	40	30	27	0.050	30	45	54
4.80	18	19	20/1	0.98	0.60	0.75	8.3	143	214	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.00	29	91	---	0.87	0.62	-	-	-	-	-	41	34	36	39	41	33	29	0.083	48	73	87
5.20	27	42	---	0.87	0.63	-	-	-	-	-	38	33	36	38	41	32	28	0.075	45	68	81
5.40	22	32	---	0.86	0.65	-	-	-	-	-	30	32	35	38	40	31	26	0.059	37	55	66
5.60	30	46	---	0.88	0.67	-	-	-	-	-	40	34	36	39	41	32	29	0.081	50	75	90
5.80	32	29	4/1	0.87	0.69	1.07	10.8	181	272	98	42	34	36	39	41	33	29	0.084	53	80	96
6.00	27	127	---	0.87	0.71	-	-	-	-	-	35	33	36	38	41	32	28	0.070	45	68	81
6.20	32	75	---	0.88	0.72	-	-	-	-	-	41	34	36	38	41	33	29	0.081	53	80	96
6.40	27	36	---	0.87	0.74	-	-	-	-	-	34	33	35	38	41	31	28	0.067	45	68	81
6.60	30	47	---	0.88	0.76	-	-	-	-	-	37	33	36	38	41	32	29	0.074	50	75	90
6.80	10	23	20/1	0.90	0.78	0.50	3.6	219	329	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.00	35	36	---	0.89	0.79	-	-	-	-	-	42	34	36	39	41	32	28	0.063	58	88	105
7.20	16	15	20/1	0.96	0.81	0.70	5.2	223	335	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.40	46	96	---	0.91	0.83	-	-	-	-	-	51	35	37	40	42	34	31	0.107	80	120	144
7.60	25	109	---	0.89	0.85	-	-	-	-	-	40	34	36	39	41	32	29	0.080	58	88	105
7.80	40	94	---	0.90	0.87	-	-	-	-	-	44	34	37	39	42	35	30	0.089	67	100	120
8.00	37	118	---	0.89	0.89	-	-	-	-	-	41	34	36	39	41	32	30	0.082	62	93	111
8.20	32	75	---	0.88	0.90	-	-	-	-	-	35	33	35	38	41	31	29	0.069	53	80	96
8.40	34	25	4/1	0.88	0.92	1.13	8.1	221	331	102	37	33	36	38	41	31	29	0.073	57	85	102
8.60	24	45	---	0.86	0.94	-	-	-	-	-	24	31	34	37	40	29	28	0.047	40	60	72
8.80	42	39	---	0.90	0.95	-	-	-	-	-	43	34	36	39	41	32	30	0.087	70	105	126
9.00	64	120	---	0.94	0.98	-	-	-	-	-	57	36	38	40	43	35	32	0.123	107	160	192
9.20	64	120	---	0.94	1.00	-	-	-	-	-	57	36	38	40	43	35	32	0.122	107	160	192
9.40	64	100	---	0.94	1.01	-	-	-	-	-	56	36	38	40	43	34	32	0.120	107	160	192
9.60	40	47	---	0.90	1.03	-	-	-	-	-	40	34	36	39	41	32	30	0.079	67	100	120
9.80	51	48	---	0.92	1.05	-	-	-	-	-	48	35	37	39	42	33	31	0.098	85	126	153
10.00	64	60	---	0.94	1.07	-	-	-	-	-	55	36	38	40	42	34	32	0.117	107	160	192
10.20	48	45	---	0.91	1.09	-	-	-	-	-	45	34	37	39	42	32	31	0.091	80	120	144
10.40	48	45	---	0.91	1.11	-	-	-	-	-	44	34	37	39	42	32	31	0.090	80	120	144
10.60	152	380	---	1.14	1.13	-	-	-	-	-	91	41	42	44	46	39	37	0.220	320	480	576
10.80	112	35	---	1.02	1.15	-	-	-	-	-	72	37	39	40	42	34	32	0.167	181	280	336
11.00	84	80	---	0.94	1.17	-	-	-	-	-	53	36	39	40	42	34	32	0.111	107	160	192
11.20	152	142	---	1.08	1.19	-	-	-	-	-	82	39	41	43	45	38	36	0.197	253	380	456
11.40	80	150	---	0.97	1.21	-	-	-	-	-	80	38	39	41	43	35	33	0.130	133	200	240
11.60	88	165	---	0.98	1.23	-	-	-	-	-	63	37	39	41	43	35	33	0.138	147	220	264
11.80	88	82	---	0.88	1.25	-	-	-	-	-	62	37	39	40	43	35	33	0.137	147	220	264
12.00	80	75	---	0.97	1.27	-	-	-	-	-	59	36	38	40	43	34	32	0.120	133	200	240
12.20	64	120	---	0.94	1.29	-	-	-	-	-	51	35	37	40	42	33	32	0.105	107	160	192
12.40	64	80	---	0.94	1.31	-	-	-	-	-	50	35	37	40	42	33	32	0.104	107	160	192
12.60	48	90	---	0.91	1.32	-	-	-	-	-	40	34	36	39	41	31	31	0.080	80	120	144
12.80	72	135	---	0.95	1.34	-	-	-	-	-	54	35	39	40	42	34	32	0.113	120	180	216
13.00	112	105	---	1.02	1.36	-	-	-	-	-	68	38	39	41	43	36	34	0.154	187	280	336
13.20	64	120	---	0.94	1.38	-	-	-	-	-	48	35	37	39	42	33	32	0.101	107	160	192
13.40	72	67	---	0.95	1.40	-	-	-	-	-	52	35	38	40	42	33	32	0.110	120	180	216
13.60	56	26	4/1	1.01	1.42	1.87	8.8	337	505	168	43	34	36	39	41	32	31	0.080	82	140	168
13.80	30	150	---	0.97	1.44	-	-	-	-	-	55	36	38	40	42	34	33	0.118	133	200	240
14.00	112	105	---	1.02	1.46	-	-	-	-	-	67	37	39	41	43	35	34	0.148			

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

Via A. Da Brescia 11 - 44011 Argenta (FE)
tel. e fax: 0532852858 cell. 3355373693 e-mail: rabrugeo@libero.it

Riferimento: 453-18

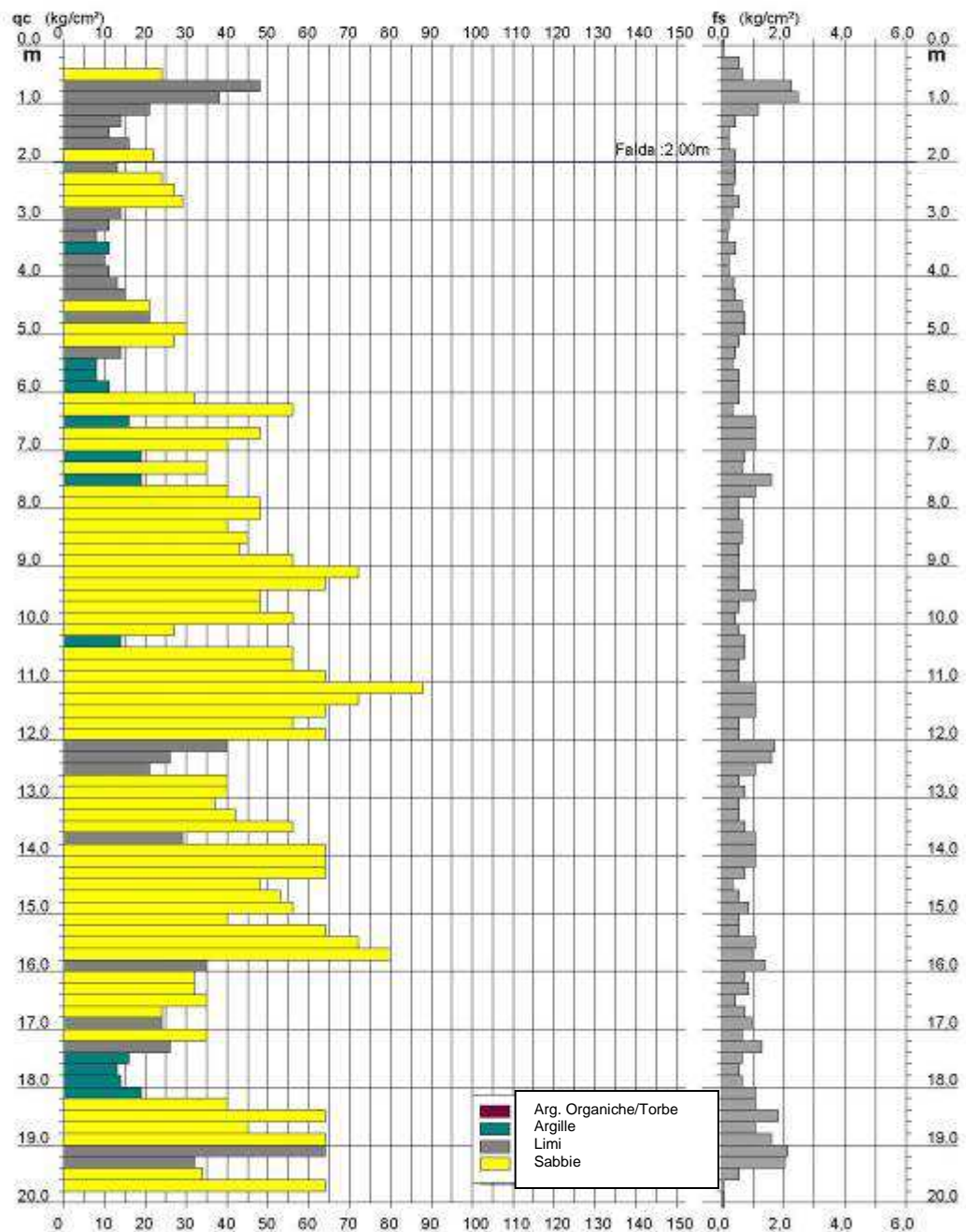
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT 3

2.0105-001

- committente : Arch. Gamberini-Mazzoni
- lavoro : Lottizzazione
- località : S. Pietro in Casale
- assist. cantiere :

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 2,00 da quota inizio



Software by: Dr.D.Merlin - 04/25/840820

Indagini Geologiche e Geotecniche

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

Via A. Da Brescia 11 - 44011 Argenta (FE)

tel. e fax: 0532852858 cell. 3355373693 e-mail: rabruego@libero.it

Riferimento: 453-18

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

2.0105-001

- committente : Arch. Gamberini-Mazzoni
- lavoro : Lottizzazione
- località : S. Pietro in Casale
- assist. cantiere :

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 2,00 da quota inizio

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc kg/cm²	qc/Is (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p _{vo} kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	a1s (°)	a2s (°)	a3s (°)	a4s (°)	adm (°)	amy (°)	Amazg (-)	E50 kg/cm²	E25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0.20	—	—	???	1.85	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.40	—	—	???	1.85	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.60	24	38	3	1.85	0.11	—	—	—	—	—	77	39	40	42	44	40	28	0.179	40	60	72
0.80	46	23	4/2	1.85	0.15	1.90	95.8	272	406	144	93	41	42	44	45	42	31	0.235	90	120	144
1.00	38	16	4/2	1.85	0.19	1.27	69.5	216	323	114	80	39	41	43	44	40	30	0.190	83	95	114
1.20	31	21	16	4/2	1.85	0.22	32.3	140	210	83	55	38	38	40	42	37	27	0.117	35	53	83
1.40	14	33	4/2	1.85	0.26	0.84	10.3	108	162	48	37	33	38	38	41	34	26	0.074	23	35	42
1.60	11	52	4/2	1.85	0.30	0.54	13.2	91	137	42	25	32	34	37	40	31	26	0.049	18	28	33
1.80	16	25	4/2	1.85	0.33	0.70	15.8	118	171	52	38	33	36	38	41	33	27	0.070	27	40	45
2.00	22	52	3	0.86	0.35	—	—	—	—	—	42	34	37	38	42	34	28	0.059	37	55	80
2.20	13	30	4/2	0.86	0.37	—	—	—	—	—	26	32	34	37	40	31	26	0.050	22	35	38
2.40	24	56	3	0.86	0.35	—	—	—	—	—	45	34	37	38	42	34	28	0.056	46	60	72
2.60	27	84	3	0.87	0.40	—	—	—	—	—	48	35	37	38	42	35	28	0.102	45	88	81
2.80	29	54	3	0.87	0.42	—	—	—	—	—	51	35	37	40	42	35	29	0.106	48	73	87
3.00	14	44	4/2	0.88	0.44	0.84	10.0	108	162	48	25	31	34	37	40	31	26	0.047	18	28	33
3.20	11	32	4/2	0.87	0.45	0.54	7.7	110	165	43	15	30	32	36	39	29	26	0.030	18	28	33
3.40	8	50	4/2	0.84	0.47	0.40	5.1	120	135	35	4	28	32	35	38	27	26	0.009	13	20	34
3.60	11	20	200	0.91	0.49	0.54	7.0	123	184	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.80	10	47	4/2	0.86	0.51	0.50	6.2	132	200	40	9	29	32	35	38	28	26	0.020	17	25	30
4.00	11	53	4/2	0.87	0.52	0.54	6.5	135	203	43	12	30	33	36	39	28	26	0.024	18	25	33
4.20	13	35	4/2	0.88	0.54	0.80	7.2	138	202	47	17	30	33	36	39	42	34	0.033	22	33	39
4.40	15	35	4/2	0.89	0.58	0.87	7.8	135	203	50	21	31	34	37	40	30	27	0.040	25	38	45
4.60	21	33	3	0.85	0.58	—	—	—	—	—	32	32	35	38	41	31	27	0.052	35	53	83
4.80	21	28	4/2	0.93	0.60	0.82	9.4	143	214	83	31	32	35	38	40	31	27	0.060	35	53	83
5.00	30	40	3	0.88	0.61	—	—	—	—	—	43	34	36	39	41	33	29	0.086	50	75	90
5.20	27	55	3	0.87	0.63	—	—	—	—	—	35	33	36	39	41	32	28	0.076	45	65	81
5.40	14	33	4/2	0.89	0.65	0.64	6.1	170	256	48	15	30	33	36	39	28	26	0.029	23	35	42
5.60	8	25	200	0.86	0.67	0.40	3.3	186	280	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.80	8	16	200	0.86	0.68	0.40	3.2	190	285	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.00	11	21	200	0.81	0.70	0.54	4.5	195	293	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.20	32	80	3	0.86	0.72	—	—	—	—	—	41	34	36	39	41	32	29	0.082	53	80	95
6.40	56	175	3	0.93	0.74	—	—	—	—	—	60	36	38	41	43	35	31	0.129	93	140	168
6.60	16	16	200	0.98	0.76	0.70	5.7	203	305	52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.80	48	45	3	0.91	0.77	—	—	—	—	—	53	35	38	40	42	34	31	0.112	80	120	144
7.00	40	37	3	0.90	0.79	—	—	—	—	—	48	34	37	39	42	33	30	0.094	67	100	120
7.20	19	25	200	0.99	0.81	0.78	5.9	216	324	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.40	35	58	3	0.89	0.83	—	—	—	—	—	40	34	36	39	41	32	28	0.081	58	85	105
7.60	40	37	3	0.90	0.87	—	—	—	—	—	44	34	37	39	42	33	30	0.089	67	100	120
7.80	48	90	3	0.91	0.89	—	—	—	—	—	50	35	37	40	42	34	31	0.103	80	120	144
8.00	48	90	3	0.91	0.90	—	—	—	—	—	49	35	37	39	42	33	31	0.102	80	120	144
8.20	40	63	3	0.90	0.92	—	—	—	—	—	42	34	36	39	41	32	30	0.088	67	100	120
8.40	43	70	3	0.91	0.94	—	—	—	—	—	45	34	37	39	42	33	31	0.094	75	113	135
8.60	43	83	3	0.91	0.95	—	—	—	—	—	44	34	37	39	42	33	30	0.089	72	108	129
8.80	56	105	3	0.93	0.98	—	—	—	—	—	53	35	38	40	42	34	31	0.111	83	140	168
9.00	72	135	3	0.95	1.00	—	—	—	—	—	81	37	39	41	43	35	32	0.133	120	180	216
9.20	64	120	3	0.94	1.01	—	—	—	—	—	56	38	38	40	43	34	32	0.120	107	160	192
9.40	48	45	3	0.91	1.03	—	—	—	—	—	48	34	37	39	42	33	31	0.094	80	120	144
9.60	48	90	3	0.91	1.05	—	—	—	—	—	48	34	37	39	42	33	31	0.093	80	120	144
9.80	56	131	3	0.93	1.07	—	—	—	—	—	50	35	37	40	42	33	31	0.105	92	140	168
10.00	27	51	3	0.87	1.09	—	—	—	—	—	25	31	34	37	40	29	28	0.048	45	68	81
10.20	14	19	200	0.94	1.11	0.64	3.1	306	460	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.40	58	75	3	0.93	1.12	—	—	—	—	—	49	35	37	39	42	33	31	0.102	80	140	168
10.60	56	105	3	0.93	1.14	—	—	—	—	—	49	35	37	39	42	33	31	0.101	83	140	168
10.80	84	120	3	0.94	1.18	—	—	—	—	—	53	35	38	40	42	34	32	0.112	107	160	192
11.00	58	82	3	0.98	1.18	—	—	—	—	—	84	37	39	41	43	35	33	0.140	147	220	264
11.20	72	87	3	0.95	1.20	—	—	—	—	—	58	38	38	40	42	34	32	0.120	120	180	216
11.40	64	80	3	0.94	1.22	—	—	—	—	—	52	35	37	40	42	33	32	0.109	107	160	192
11.60	56	105	3	0.93	1.24	—	—	—	—	—	47	35	37	39	42	33	31	0.096	93	140	168
11.80	64	120	3	0.94	1.26	—	—	—	—	—	51	35	37	40	42	33	32	0.107	107	160	192
12.00	40	23	4/2	1.00	1.28	3.33	6.6	327	480	120	35	33	35	38	41	30	30	0.057	67	100	120
12.20	28	18	4/2	0.85	1.30	0.63	4.1	362	543	78	19	31	34	36	40	28	28	0.037	43	85	78
12.40	21	20	4/2	0.93	1.31	0.82	3.5	371	556	63	12	30	33	36	39	27	27	0.023	35	53	83
12.60	40	75	3	0.90	1.33	—	—	—	—	—	33	32	35	38	41	30	30	0.085	67	100	120
12.80	40	56	3	0.90	1.35	—	—	—	—	—	33	32	35	38	41	30	30	0.085	67	100	120
13.00	37	69	3	0.89	1.37	—	—	—	—	—	30	32	35	38	40	30	30	0.058	62	93	111
13.20	42	79	3	0.90	1.39	—	—	—	—	—	34	33	35	38	41	30	30	0.067	70	105	126
13.40	56	75	3	0.93	1.40	—	—	—	—	—	41	34	37	39	42	32	31	0.088	83	140	168
13.60	23	23	4/2	0.96	1.42	0.98	4.0	388	598	87	22	31	34	37	40	28	29	0.044	46	73	87
13.80	35	64	3	0.94	1.44	—	—	—	—	—	45	34	37	39	42						

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi

44011 Argenta (FE) Via A. Da Brescia 5/B.
tel. 0532/852858 fax 0532/1867152 – cell.3355373693

1

METODOLOGIA E RISULTATI DELL'INDAGINE

Le prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo (ovvero zavorrato), che agisce su una batteria doppia di aste (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

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

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

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

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

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

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

(la resistenza alla punta R_p e la resistenza laterale R_L sono rilevate a intervalli regolari di 20 cm).

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi

44011 Argenta (FE) Via A. Da Brescia 5/B,
tel. 0532/852858 fax 0532/1867152 – cell.3355373693

2

ELABORAZIONE DATI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

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

Sempre con riferimento alle prove penetrometriche statiche CPT, nelle tavole allegate sono riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici (coesione non drenata C_u , angolo di attrito interno efficace ϕ' , densità relativa D_r , modulo edometrico M_o , moduli di deformazione non drenato E_u e drenato E' , peso di volume γ , ecc.), nonché valutazioni riguardanti la capacità portante e i cedimenti di fondazioni di forma e tipo diversi.

I cedimenti vengono valutati in via approssimata con il metodo edometrico nella ipotesi di consolidazione monodimensionale del sottosuolo, sulla scorta di opportune correlazioni fra la resistenza alla punta R_p e il modulo di deformazione edometrico M_o .

Le elaborazioni sopra citate (effettuate mediante un programma di calcolo automatico) fanno riferimento a esperienze e ricerche condotte in vari Paesi da diversi Autori (vedi bibliografia in allegato), nonché a conoscenze personali da parte di chi scrive.

In assenza di prove geotecniche di laboratorio (su campioni indisturbati di terreno), le suddette correlazioni hanno ovviamente validità orientativa.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
44011 Argenta (FE) Via A. Da Brescia 5/B,
tel. 0532/852858 fax 0532/1867152 – cell.3355373693

3

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: $F = (R_p / R_L)$

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = R_p / R_L$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di R_p e di $FR = (R_L / R_p) \%$:

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
44011 Argenta (FE) Via A. Da Brescia 5/B,
tel. 0532/852858 fax 0532/1867152 – cell.3355373693

4

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO OLANDESE tipo GOUDA (tipo meccanico).

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (\varnothing 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. \Rightarrow Spinta) $C_t = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$

fase 1 - resistenza alla punta $R_p \text{ (Kg / cm}^2 \text{)} = (L. \text{ punta}) C_t / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale $R_L \text{ (Kg / cm}^2 \text{)} = [(L. \text{ laterale}) - (L. \text{ punta})] C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale $R_t \text{ (Kg)} = (L. \text{ totale}) C_t$

$R_p / R_L = \text{'rapporto Begemann'}$

- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione C_t .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale R_L viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t - 1MN (megaNewton) = 1000 kN = 1000000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (MegaPascal) = 1 MN/m² = 1000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t / m² = 10 kg/cm²

kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 Mpa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
44011 Argenta (FE) Via A. Da Brescia 5/B,
tel. 0532/852858 fax 0532/1867152 – cell.3355373693

5

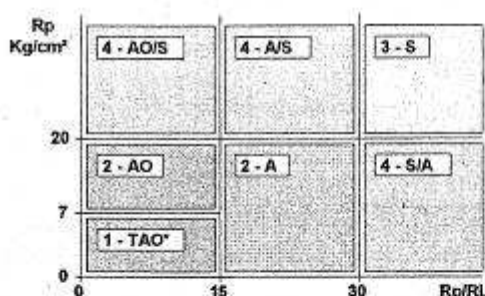
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto R_p / R_L
(Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$R_p \leq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni COESIVI anche se $(R_p / R_L) > 30$

$R_p \geq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni GRANULARI anche se $(R_p / R_L) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - R_p - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - R_p]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terr. coes.) [correl. : E_u - C_u - OCR - l_p l_p = ind. plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - R_p]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1976 - Jamiolkowski et al. 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - R_p - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - R_p - σ'_{vo}]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
 ϕ'_{1s} - (Schmertmann) sabbia fine uniforme ϕ'_{2s} - sabbia media unif. / fine ben gradata
 ϕ'_{3s} - sabbia grossa unif. / media ben gradata ϕ'_{4s} - sabbia-ghiaia poco lim. / ghiaietto unif.
 ϕ'_{dm} - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. ϕ'_{my} - (Meyerhof) sabbie limose
- A_{max} = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = acc.gravità) (Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - D_r]

Figg. 9/3: illustrazione del metodo di indagine utilizzato.



GeoLogismiki
Geotechnical Engineers
Merarhias 56
<http://www.geologismiki.gr>

CPT: CPTU1

Total depth: 19.96 m, Date: 29/06/2018

Surface Elevation: 0.00 m

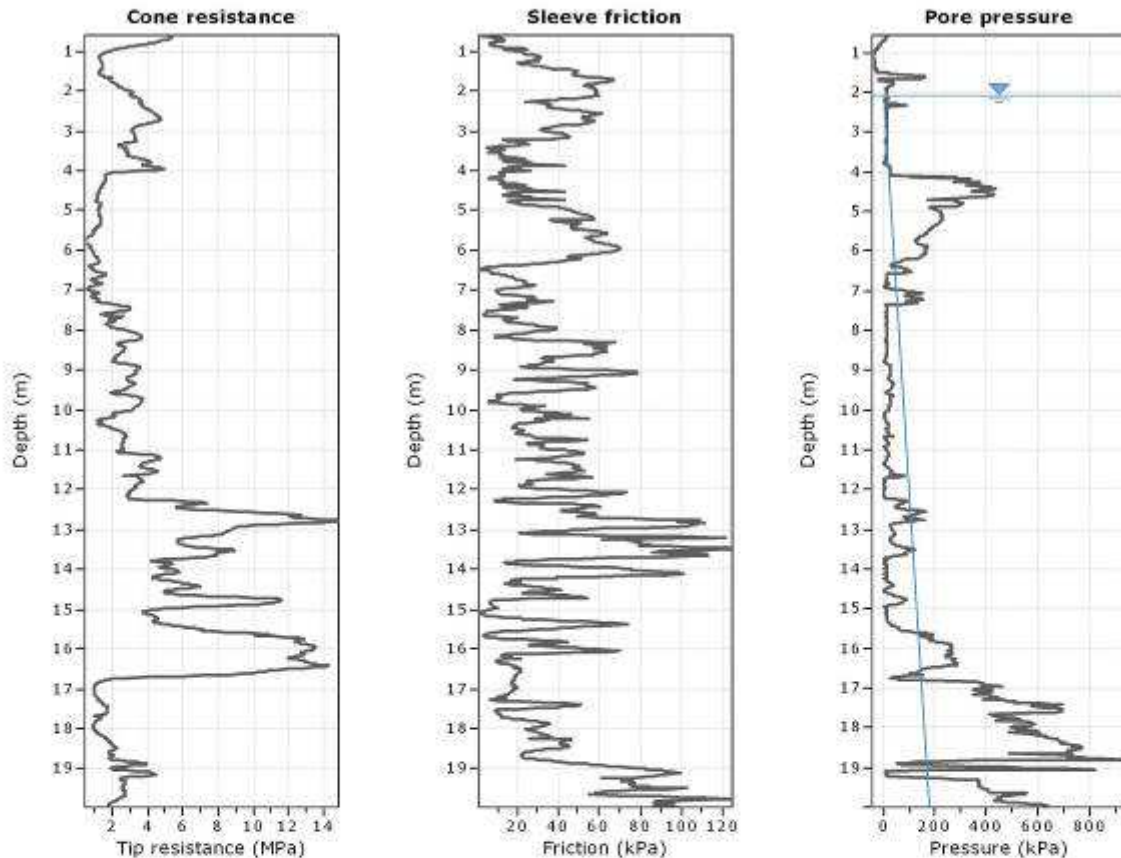
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

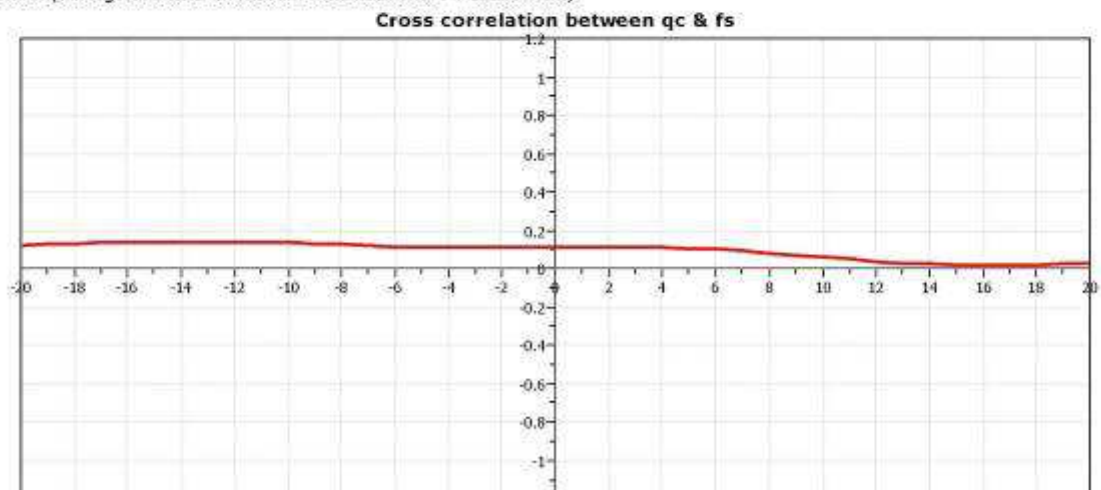
Cone Operator: Unknown

Project: CPTU1

Location: San Pietro in Casale (BO)



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



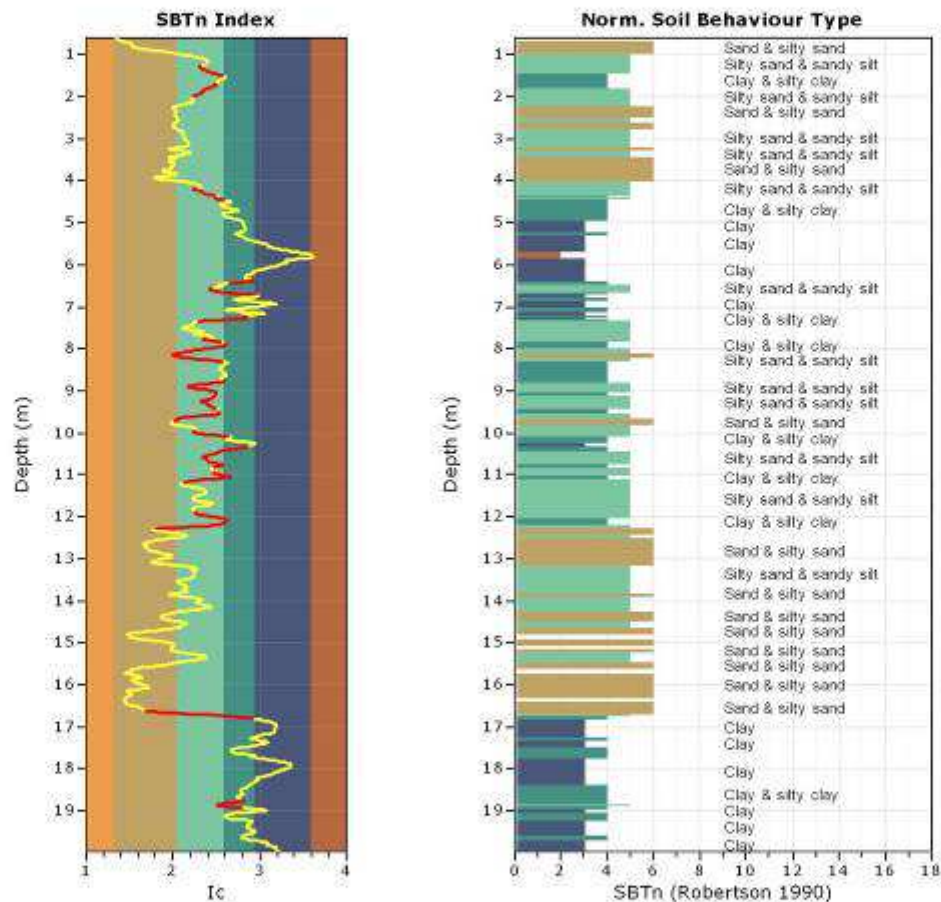
TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT

Summary Details & Plots

Short description

The software will delete data when the cone is in transition from either clay to sand or vice-versa. To do this the software requires a range of I_c values over which the transition will be defined (typically somewhere between $1.80 < I_c < 3.0$) and a rate of change of I_c . Transitions typically occur when the rate of change of I_c is fast (i.e. ΔI_c is small).

The SBT_n plot below, displays in red the detected transition layers based on the parameters listed below the graphs.

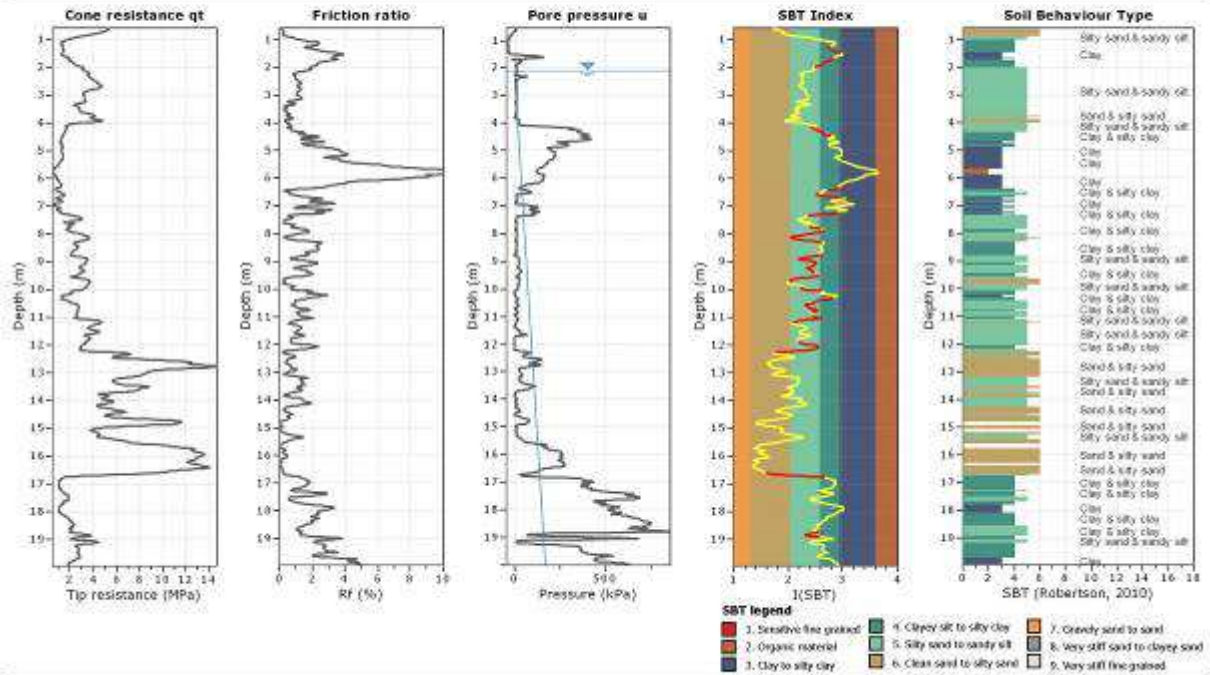


Transition layer algorithm properties

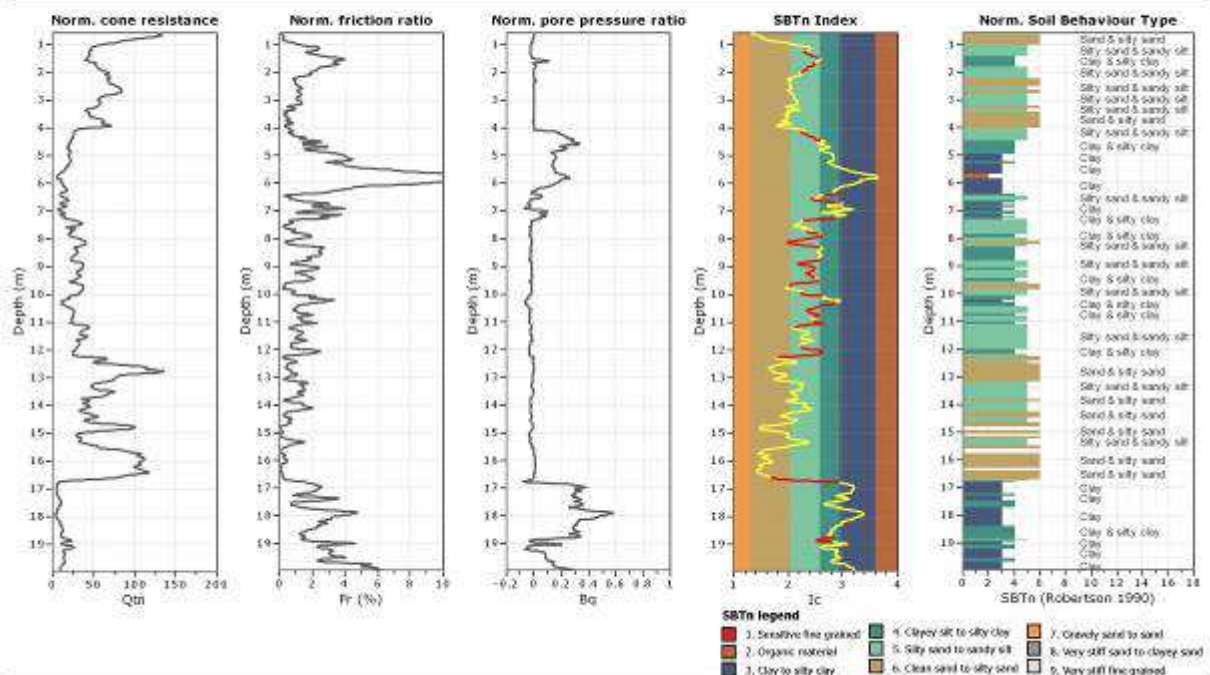
I_c minimum check value:	1.70
I_c maximum check value:	3.00
I_c change ratio value:	0.0010
Minimum number of points in layer:	4

General statistics

Total points in CPT file:	971
Total points excluded:	241
Exclusion percentage:	24.82%
Number of layers detected:	26



CPT-IT v.1.7.6.42 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 29/06/2018, 15:37:04
Project file: C:\Users\BRUNALDI\desktop\RAPA-LAKROU\RAFFAELE BRUNALDI\2459\SanPietroCasale-Gemini\CPTU1\PTU1.cpl



CPT-IT v.1.7.6.42 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 29/06/2018, 15:37:04
Project file: C:\Users\BRUNALDI\desktop\RAPA-LAKROU\RAFFAELE BRUNALDI\2459\SanPietroCasale-Gemini\CPTU1\PTU1.cpl

Figg. 9/4: risultanze della C.P.T.U. 1.

This software is licensed to: Studio Geologia

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

$$N_{100} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_crit}$)

:: Relative Density, D_r (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c_crit}\text{)}$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,ci})$$

:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$
 $\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$
 $\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$
 $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If $I_c \leq 2.20$
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c_crit}\text{)}$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{0.5 \cdot \psi}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_{tn})$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J., 46(11): 1337–1355 (2009)

Fig. 9/5: illustrazione del metodo di indagine utilizzato.

Dalle risultanze stratigrafiche e geotecniche discendenti dall'esecuzione delle tre C.P.T./C.P.T.U (appositamente eseguite sull'area in esame) e dalla più oltre riportata Sezione Locale si potrà constatare una sostanziale uniformità deposizionale complessiva. Anche per questo motivo nonchè per corrispondere ai dettami del DM/NTC, ogni singolo lotto dovrà essere appositamente indagato da un congruo numero di immagini puntuali, siano esse di natura indiretta (penetrometrie, di qualsiasi tipo ad esclusione di indagini dinamiche, data la natura dei terreni, ovvero si dovranno realizzare indagini C.P.T./C.P.T.U.-E./S.C.P.T.U. ecc.) e diretta (sondaggi a rotazione continua in corrispondenza dei quali raccogliere campioni di terreno indisturbati sui quali condurre opportune ed apposite analisi di Laboratorio Geotecnico). Ogni Lotto dovrà altresì essere indagato da apposite indagini geofisiche onde confermare o confutare quanto più oltre riportato in relazione circa la categoria di suolo sismico (si rimanda all'apposito punto della presente relazione). Tali raccomandazioni troveranno ulteriore conferma all'apposito punto della presente relazione relativo ai fenomeni co- sismici (nella fattispecie in merito alla liquefazione delle sabbie saturi localmente rilevate) e le indagini da realizzarsi dovranno tenere debito conto di tale fenomeno e considerarlo con la massima attenzione.

2.4 Sezioni stratigrafiche locali:

Di seguito si riporta ubicazione e sezione profonda reperita all'apposito data- base regionale.

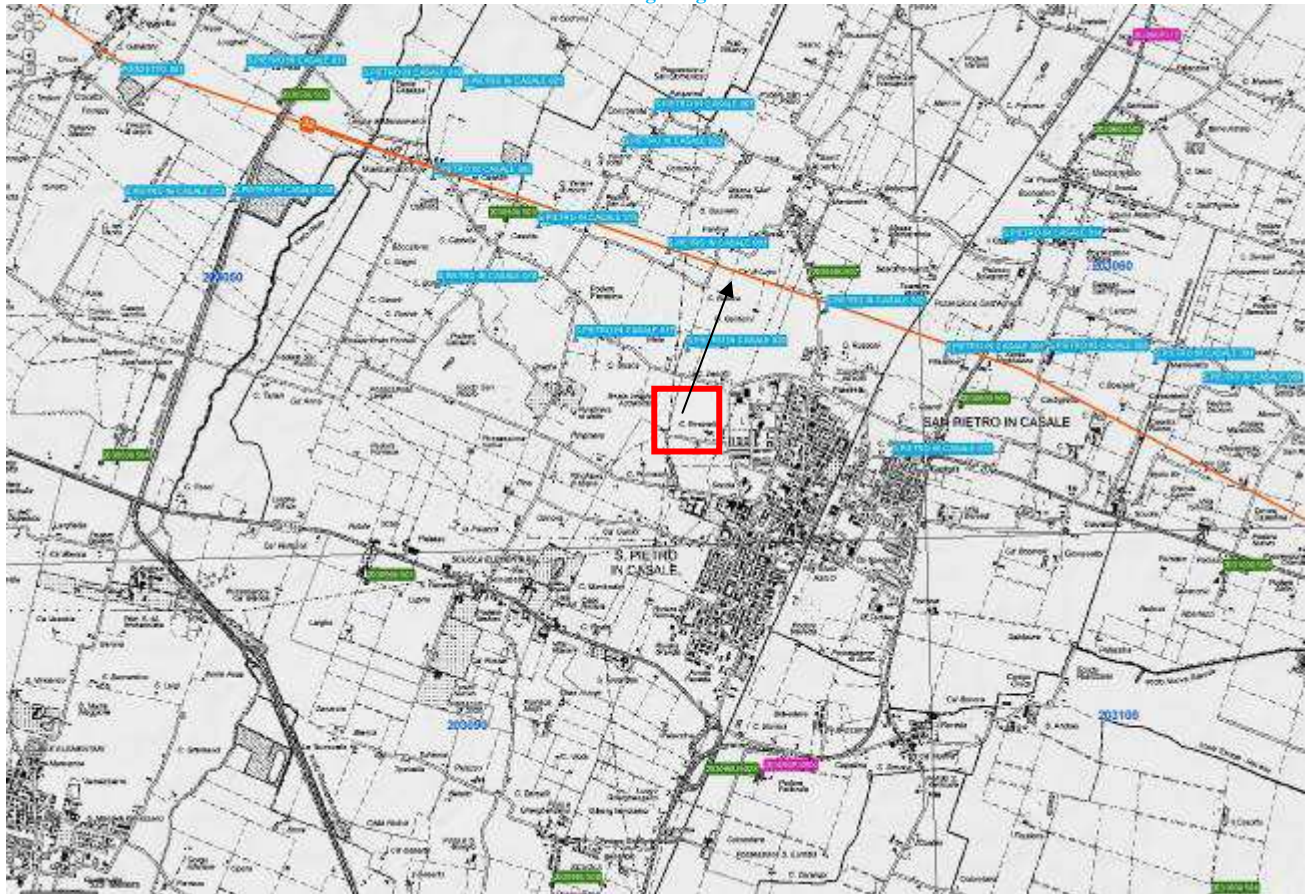


Fig. 10/1 Ubicazione a Scala Libera della di seguito riportata Sezione Stratigrafica. La Sez. 032 sostanzialmente intercetta l'area in esame.

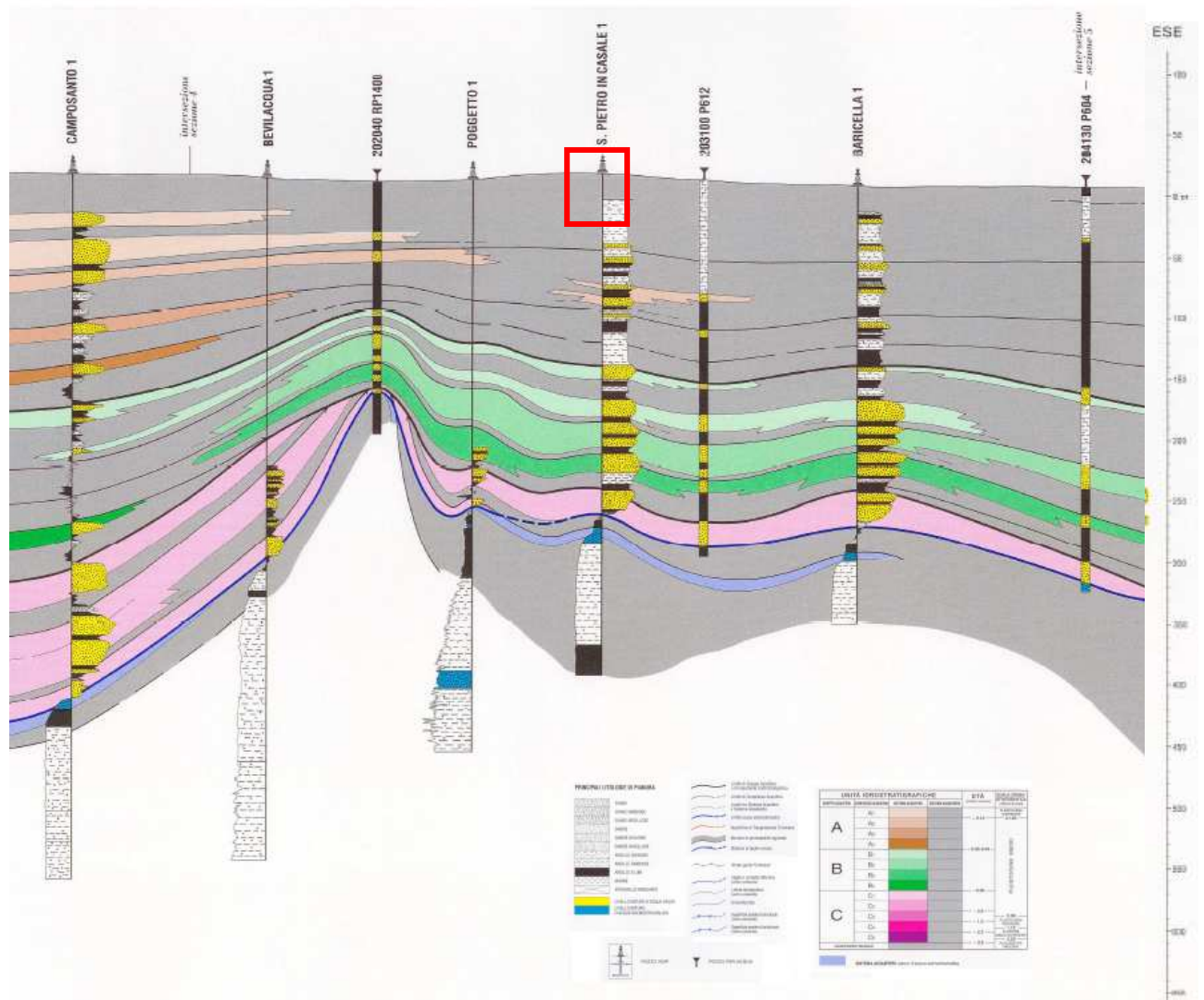


Fig. 10/2: Sezione Stratigrafica 032, particolare e Legenda. Scala Libera.

La Sez. 032 è a scala troppo grande per individuare le presenze granulari locali, si osservi che vengono localmente individuati sedimenti sino a 400 m circa di profondità.

Di seguito si riporta apposita sezione relativa all'area in esame, basata sulle risultanze delle C.P.T./C.P.T.U. eseguite sull'area in esame e la cui traccia è indicata alle Figg. 2/3 e 2/4 alle quali si rimanda.



Fig. 10/3: Sezione stratigrafica a Scala Libera relativa all'area in esame, per l'ubicazione della traccia si veda la Fig. 2/3. La scala orizzontale è diversa da quella verticale (l'esagerazione verticale è 4X).

La sezione locale è in accordo con l'assetto geologico- litodeposizionale sin'ora descritto.

2.4 Considerazioni geotecniche di massima relative alla Stratigrafia dell'area di lottizzazione:

Le peculiarità geotecniche dell'area in esame, sono condizionate dalla sostanziale prevalenza di terreni di natura granulare, da Limoso- Sabbiosa a Sabbioso/Sabbioso- Limosa che presentano modesta compressibilità/cedevolezza. Nel complesso, relativamente alle fasi di progettazione dei singoli interventi edilizi, occorrerà considerare correttamente le caratteristiche geotecniche locali che possono essere sinteticamente descritte riportando le seguenti peculiarità:

- i terreni di fondazione presentano compressibilità/cedevolezza modesta, ma le performances di interazione con le strutture da realizzarsi dovranno comunque essere appositamente ed attentamente valutate.
- Essendo i terreni di fondazione in condizioni NON drenate, la maturazione dei cedimenti (all'assunzione dei carichi) potrà prolungarsi nel tempo, per periodi non meglio specificabili sulla base delle attuali conoscenze puntuali. Le condizioni non drenate connesse ai litotipi granulari localmente prevalenti pur non costituendo occasione di particolare aggravio (infatti i terreni granulari consentono una rapida dissipazione dei

sovraccarichi derivanti dall'edificazione delle strutture) dovranno comunque essere tenute in considerazione. Onde addivenire a più precise indicazioni in merito ai dati geotecnici che regolano i cedimenti attesi e le tempistiche di maturazione degli stessi si dovranno eseguire apposite analisi di laboratorio geotecnico su terreni indisturbati.

- Condizioni drenate non sono complessivamente significative per l'area in esame.
- Le naturali/normali oscillazioni della falda freatica potranno far variare il volume dei terreni di fondazione (interessati appunto alla variazione della falda). Si potranno instaurare fenomeni di rigonfiamento/ritiro che potranno svolgersi con modalità più o meno cicliche (in connessione alla variabilità/stagionalità delle condizioni climatiche), ovvero con modalità molto meno prevedibili. Potranno altresì variare anche le stesse caratteristiche geo- meccaniche dei terreni (di questo argomento si dirà più oltre in relazione). Il fatto che ciò avvenga su terreni sostanzialmente classificabili come granulari consentirà una riduzione complessiva del fenomeno (rispetto ad esempio a litotipi argillosi).
- L'estesa presenza di terreni granulari (disposti in corpi lenticolari- festonati), determina la necessità di valutare in maniera numerica la suscettibilità di tali terreni al liquefarsi all'atto di uno scuotimento sismico; all'apposito punto della presente relazione al quale si rimanda, si tratterà di questo argomento. La realizzazione di ogni singolo lotto dovrà prevedere con massima attenzione il massimo approfondimento possibile circa il fenomeno in questione.
- La presenza di argille organiche/torbose è nel complesso trascurabile ma il tema dovrà essere considerato in fase di analisi dei singoli lotti/delle singole edificazioni.

Relativamente alla valutazione dell'interazione fra i carichi che dovranno essere ospitati dai terreni di fondazione, i conseguenti cedimenti e le tempistiche di maturazione di tali cedimenti, si dovranno eseguire apposite verifiche. È chiaro che l'argomento dovrà correttamente considerare la tipologia dei vari interventi. Tali verifiche andranno eseguite all'atto della progettazione di ogni singolo intervento edificatorio/ogni singolo lotto, come specificato dal D.M./N.T.C.

Il P.S.C. classifica l'area in esame come caratterizzata da terreni di tipo B, come più oltre descritti, a conferma di quanto sinora riportato circa le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

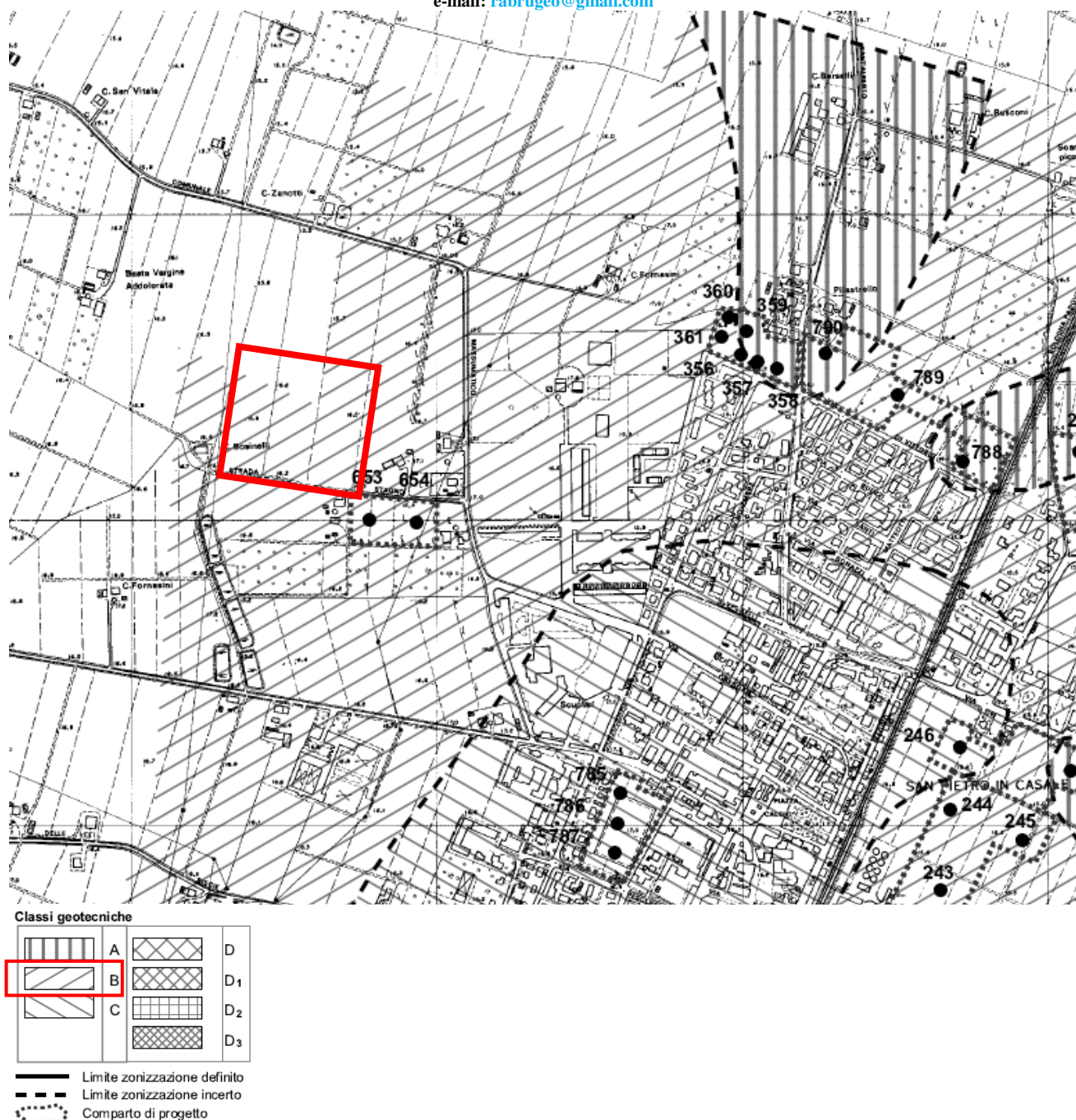


Fig. 11/1: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Fig. 1.3.2.15 del P.S.C.

B = Zone caratterizzate da terreni di qualità scadente ($r_p < 1.000$ kPa) nel primo intervallo (fino a - 5 m dal p.c.), e da terreni di qualità da normale ($1.000 < r_p < 1.500$ kPa) a discreta (> 1.500 kPa) nel secondo strato. Sono zone edificabili con normali tecniche costruttive, per insediamenti di modesto impegno; le caratteristiche meccaniche dei terreni benché complessivamente migliori della classe "A" richiedono comunque cautela ed analisi geognostiche dettagliate. Per edifici di un certo impegno (pressioni di esercizio > 12 t/ml) possono rivelarsi necessarie fondazioni che trasferiscano i carichi statici al secondo intervallo di qualità migliore. I comparti interessati da questa zona di

edificabilità possono presentare limitazioni, all'impiego di fondazioni superficiali, legate all'entità della pressione di esercizio e dei cedimenti assoluti e differenziali;

Fig. 11/2: descrizione che da il P.S.C. del suolo localmente individuato.

Nel complesso quindi, le peculiarità geotecniche locali, qualora opportunamente considerate ed affrontate dal punto di vista delle indagini e progettuale, non costituiscono elementi ostativi alla realizzazione dell'intervento oggetto della presente relazione. Si osservi che come già riportato e nello spirito del DM/NTC, occorrerà che ogni singolo lotto venga opportunamente indagato circa le caratteristiche lito- stratigrafiche e le caratteristiche geo- meccaniche puntuali; occorrerà porre la dovuta attenzione alle performances di interazione fra terreni di fondazione e strutture da realizzarsi ed altresì si necessiterà di porre particolare attenzione alla tematica dei cedimenti assoluti e differenziali. Ogni singolo lotto dovrà essere esplorato da indagini puntuali quali C.P.T., C.P.T.U. S.C.P.T.U. e altro (dati i terreni di fondazione sono da escludersi le metodologie penetrometriche dinamiche), e Sondaggi Stratigrafici in corrispondenza dei quali raccogliere opportuni ed appositi campioni indisturbati di terreno sui quali realizzare apposite analisi di Laboratorio Geotecnico (come anche in precedenza prescritto).

2.4 Assetto Idrologico ed Idrogeologico locale:

Dal punto di vista della caratterizzazione idrogeologica locale dell'area in esame e dei suoi immediati pressi, ci si potrà riferire sia ai dati storici locali (nella fattispecie, ci si riferirà a quelli contenuti nel P.S.C.) sia alle misure locali della soggiacenza della prima falda freatica più superficiale (sospesa).

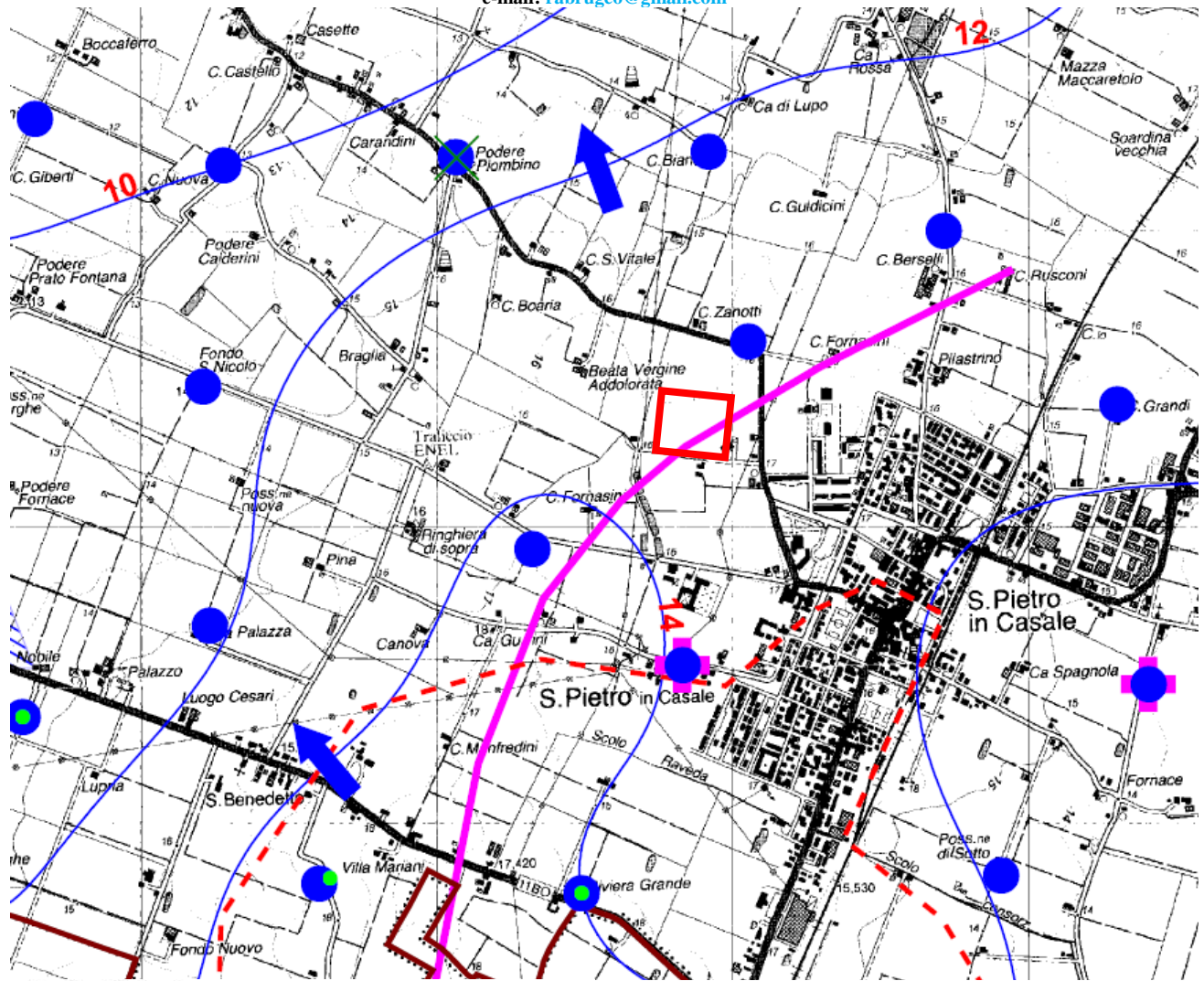
La falda freatica è stata rilevata, nei fori di esecuzione delle prove penetrometriche alle seguenti profondità:

- C.P.T.U. 1: 1,50 m dal p.c.;
- C.P.T. 2: 2,00 m dal p.c.;
- C.P.T. 3: 2,00 m dal p.c.

Tali misure descrivono un assetto batimetrico locale che pur essendo molto semplificato anche in ragione dell'esiguo numero dei punti di misura, non presenta in sostanza alcun gradiente idraulico né alcuna direzione di deflusso. L'assetto della prima falda freatica più superficiale ovvero la frangia capillare, regolata da fenomeni meteorici e atmosferici, è cioè orizzontale e piano- parallela. Le misure sono state eseguite a seguito di un prolungato periodo di forti precipitazioni ed infatti si sono

rilevate porzioni dell'area caratterizzate da ristagni superficiali (data anche la scarsa permeabilità dei terreni più superficiali, come già in precedenza esposto).

I dati storici reperibili all'apposita tavola del P.S.C. (di seguito riportata) dimostrano come profondità della falda sia sufficientemente congruente con l'assetto locale sopra descritto, tale profondità è infatti indicata come compresa fra 2,00 e 3,00 m circa dal p.c. Ciò denota una discreta stabilità nel tempo dell'assetto freaticometrico locale. La cartografia del P.S.C. indica una direzione di deflusso verso Nord/Nord- Ovest, l'area è però ubicata in corrispondenza di uno spartiacque principale e localmente la direzione di deflusso può quindi essere anche verso Nord/Nord- Est. L'alimentazione può generalmente essere ricondotta al paleo corso del Reno ed alle sue vene fossili.



Pozzi freatici rilevati

●	Campagne freaticometriche di repertorio (Studio viel)
●	Campagna piezometrica settembre 2003
×	Campagna misura della E.C. (settembre 2003)
+	Campagna misura parametri fisico-chimici (L. 152/99)

Descrizione del campo di moto

	Isofreatiche (quote s.l.m.)
	Linee di deflusso sotterraneo principali
	Linee di flusso secondarie
	Spartiacque principali
	Alti e bassi piezometrici
	Limite della falda libera/confinata
	Zone di depressione anomala

Descrizione del campo di moto

	Idrovore
	Canale Emiliano-Romagnolo
	Opere idrauliche interferenti con la prima falda
	Casse di espansione
	Alvei attivi

	Limite comunale
	Limite area di studio

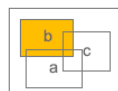
















Fig. 12/2: stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. AC.1.2.b: Carta Idrogeologica del Quadro Conoscitivo del P.S.C. Reno, Galliera- Terre di Pianura.

Si deve osservare che la profondità della falda è un dato naturalmente/normalmente variabile nella Pianura Padana. Le variazioni possono essere di entità ampiamente metrica e sono connesse alla stagionalità delle precipitazioni (che condiziona la ricarica diretta per infiltrazione) e della temperatura dell'atmosfera (che condiziona l'evapo- traspirazione). Variazioni di livello che, per l'area in esame, si ritiene possano essere comprese fra profondità indicative di -1,00 e -3,00 m circa dal p.c. Profondità che ricondurrebbero quindi una fascia di oscillazione consistente di circa due metri. Si ricorda, come già riportato al precedente paragrafo che i litotipi localmente rilevabili in tale fascia di oscillazione possono subire variazioni di volume (in connessione appunto alla presenza di acqua in essi contenuta) di entità che pur potendo essere valutata come ridotta (in assenza di dati locali specifici e sulla base di esperienze dello scrivente ascrivibili a litotipi comparabili) dovrà comunque essere tenuta in considerazione. Ad esempio i terreni più superficiali presentavano all'atto dell'esecuzione delle indagini evidente fenditure legate al disseccamento. Si suggerisce quindi che le eventuali strutture fondali e le strutture in elevazione adottino provvedimenti (non solo di rigidità) atti a minimizzare le eventuali variazioni di volume dei terreni di fondazione. Occorrerà valutare con attenzione l'approfondimento delle strutture fondali da realizzarsi.

La variazione del livello della falda e/o dell'umidità naturale contenuta potrà far variare anche le caratteristiche geomeccaniche dei terreni che subiranno tali variazioni, allo stato attuale delle conoscenze non è però possibile quantificare tali possibili variazioni ma, progettazione e realizzazione dei singoli interventi edilizi dovranno porre adeguata cautela circa tali possibili variazioni.

Dall'analisi dell'apposita cartografia del P.T.C.P. (Tav. 1: Sistema dei Vincoli e delle Tutele, Sistema Idrografico), l'area in esame ed i suoi immediati pressi non sono indicate come caratterizzate da episodi storici di alluvionamento e/o soggette ad Alta Probabilità di Inondazione. In sostanza in base a tali dati, l'area complessiva in esame non presenta rischio di allagamento/alluvionamento.

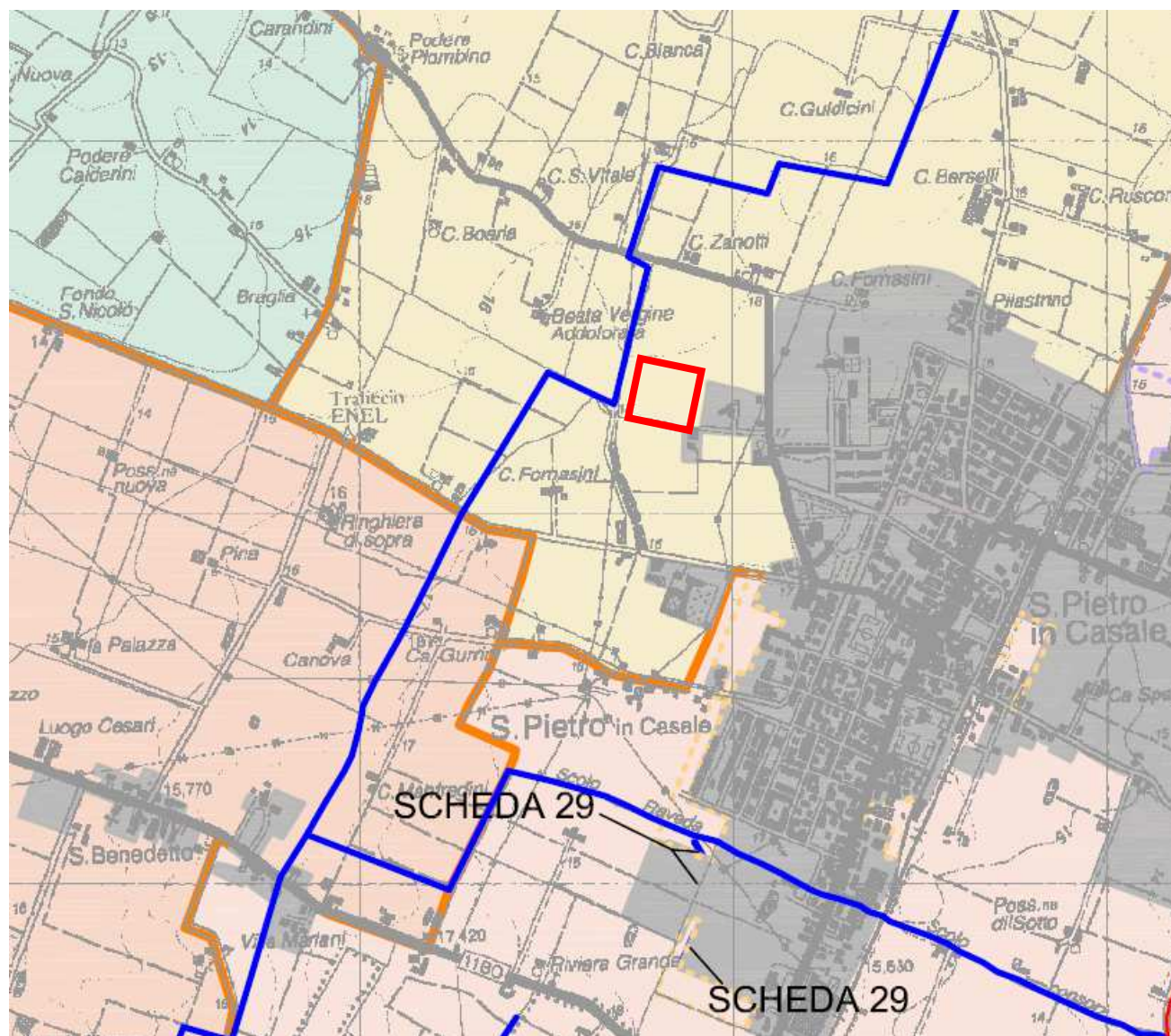
Sistema idrografico

-  Alvei attivi e invasi dei bacini idrici (art. 4.2)
-  Reticolo idrografico principale (art. 4.2)
-  Reticolo idrografico secondario (art. 4.2)
-  Reticolo idrografico minore (art. 4.2)
-  Canali di bonifica (art. 4.2)
-  Canale Emiliano - Romagnolo (art. 4.2)
-  Fasce di tutela fluviale (art. 4.3)
 -  Fasce di tutela fluviale (art. 4.3): area interessata dal campo base TAV (utilizzabile per l'implantazione o il trasferimento delle aziende già insediate nel comune di Pianoro secondo i criteri richiesti dal PTOC e fatte salve le verifiche previste dall'art.18 del PSAI)
-  Fasce di pertinenza fluviale (art. 4.4)
-  Aree ad alta probabilità di inondazione (art. 4.5)
-  Aree di interventi idraulici strutturali (art. 4.6)
-  Aree di localizzazione di interventi idraulici strutturali (art. 4.6)
-  Aree di potenziale localizzazione di interventi idraulici strutturali (art. 4.6)
-  Aree a rischio di inondazione in caso di eventi di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni (art. 4.11)

 Aree interessate da partecipanze e consorzi utilisti (art. 8.4)

Dall'apposita cartografia di P.S.C. (di seguito riportata) si potrà comunque evincere come l'area in esame costituisca un micro bacino intercluso, a Nord di San Pietro in Casale, per tale bacino si è individuata la necessità di eseguire una risagomatura del modestissimo reticolo idraulico locale. Lo scolo delle acque avviene verso Nord/Nord- Est; qualora il reticolo idraulico di bonifica dovesse non essere in grado di svolgere l'azione di scolo delle acque, evidentemente si potrà assistere ad

episodi di alluvionamento superficiale. Allo stato attuale l'area in esame non presenta ostacoli a deflussi di acque superficiali di precipitazione, si consideri anche la natura permeabile dei terreni locali. Evidentemente l'area sarà urbanizzata e le opere idrauliche di compensazione dovranno tenere conto di tale situazione.



Legenda:

- Confine comunale
- Tessuto urbano consolidato (TU + TPU)
- Vasche di laminazione
- Risanamenti del reticolo idrografico
- SCHEDA N° Riferimento alle schede di dettaglio degli interventi
- Bacini scolanti

Fig. 12/4: stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. AQC.1.4.1: Rischio Idraulico, Bacini di Laminazione e Reticolo Idraulico del Quadro Conoscitivo del P.S.C. Reno, Galliera- Terre di Pianura.

Come già riferito, l'unico pericolo idraulico può essere ricondotto ad un prolungato e catastrofico blocco del sistema antropico/meccanizzato scolante/di bonifica. Evidentemente lo scolo è regolato dal sistema, gerarchizzato ed a controllo antropico, di bonifica. Un collasso di tale sistema interesserebbe l'intera fascia di territorio del Comune di San Pietro in Casale e di una amplissima fascia di territorio circostante; comunque la realizzazione della lottizzazione in oggetto costituirebbe in tal caso un del tutto insignificante aumento del rischio data l'enormità del citato disastro. Ovviamente le opere di lottizzazione non dovranno aggravare l'assetto locale del deflusso delle acque meteoriche e dovrà essere garantita l'invarianza idraulica. L'impermeabilizzazione delle superfici previste dal piano di lottizzazione dovrà prevedere il mantenimento dell'invariabilità idraulica locale, come previsto dall'apposita Normativa Locale (P.S.C. ecc.) e Regionale.

L'apposita cartografia del P.T.C.P. (non allegata per brevità) individua come l'area in esame, come tutta l'intera Provincia di Bologna è regolata dall'Art. 4.8 del P.T.C.P. della Provincia di Bologna, relativo alla Gestione delle Acque Meteoriche. Di seguito si riporta per esteso il testo dell'Art. 4.8. Non si riscontrano altre limitazioni dall'analisi delle varie tavole del P.T.C.P. (per esempio Tavv. 2 a e 2 b che per brevità si omettono: Tutela delle Acque Superficiali e Sotterranee).



PROVINCIA DI BOLOGNA
Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale

ARTICOLO 4.8

Gestione dell'acqua meteorica

(il presente articolo recepisce e integra i contenuti dell'art. 20 del PSAI, nonché le corrispondenti norme degli altri Piani Stralcio di Assetto idrogeologico di cui all'art. 1.4)

1.(P) Al fine di non incrementare gli apporti d'acqua piovana al sistema di smaltimento e di favorire il riuso di tale acqua, negli ambiti di controllo degli apporti d'acqua, come individuati nella tav. 2A, i Comuni in sede di redazione o adeguamento dei propri strumenti urbanistici, prevedono per i nuovi interventi urbanistici (v.) e comunque per le aree non ancora urbanizzate, la realizzazione di sistemi di raccolta delle acque di tipo duale, ossia composte da un sistema minore costituito dalle reti fognarie per le acque nere (v.) e le acque bianche contaminate ABC (v.), e un sistema maggiore costituito da sistemi di laminazione per le acque bianche non contaminate ABNC (v.). Il sistema maggiore deve garantire la laminazione delle acque meteoriche per un volume complessivo di:

- almeno 500 metri cubi per ettaro di superficie territoriale, ad esclusione delle superfici permeabili destinate a parco o a verde compatto, nelle aree ricadenti nell'Ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura (tale esclusione non vale nel bacino del Navile e Savena Abbandonato, che è regolato dalle misure più restrittive previste dal Piano Stralcio per il sistema idraulico "Navile-Savena Abbandonato");
- almeno 200 metri cubi per ettaro di superficie territoriale, ad esclusione delle superfici permeabili destinate a parco o a verde compatto, per le aree ricadenti nell'Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona A;
- almeno 100 metri cubi per ettaro di superficie territoriale, ad esclusione delle superfici permeabili destinate a parco o a verde compatto, per le aree ricadenti nell'Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona B.

Il volume complessivo può essere garantito anche attraverso un progetto di sistemazione organica delle reti di raccolta e smaltimento delle acque.

I Comuni ricadenti all'interno del perimetro dei bacini montani, come individuato nella tav. 2A, al fine di non incrementare gli apporti d'acqua piovana al sistema di smaltimento fognario, dovranno privilegiare il recapito delle acque meteoriche ABNC (v.) nella rete idrografica, includendo eventualmente anche sistemi naturali di trattamento e smaltimento delle ABC (v.) in alternativa alla loro deviazione in fognatura nera. I nuovi interventi urbanistici (v.) potranno prevedere soluzioni tecniche che consentano riutilizzi delle acque meteoriche per usi non potabili a servizio dell'intervento.

1bis.(D) I Comuni ricadenti negli ambiti di controllo degli apporti d'acqua, come individuati nella tav. 2A, e il cui territorio è in parte interessato da tratti non arginati dei corsi d'acqua principali, possono individuare le parti di territorio che recapitano direttamente nei corsi d'acqua principali Samoggia, Lavino, Reno, Idice, Savena, Quadema, Zena, Sillaro, Santeramo e Senio e proporre l'esclusione di tali parti di territorio dal campo di applicazione del punto 1 del presente articolo. L'Autorità di Bacino del Reno decide in merito a tali proposte secondo le procedure previste dai rispettivi piani stralcio.

I volumi minimi previsti al punto 1 del presente articolo possono essere modificati dall'Autorità di Bacino secondo le procedure previste dai rispettivi piani stralcio.

Nell'ambito della redazione dei PSC e dei POC, i sistemi di laminazione delle ABNC (v.) devono essere localizzati in modo tale da raccogliere le acque piovane prima della loro immissione, anche indiretta, nel corso d'acqua o collettore di bonifica ricevente individuato dall'Autorità idraulica competente (Regione o Consorzio di Bonifica), la quale stabilisce le caratteristiche funzionali di tali sistemi di raccolta e con la quale devono essere preventivamente concordati i criteri di gestione.

Tali sistemi oltre a riguardare tutto il territorio interessato dai nuovi interventi urbanistici (v.) dovranno, d'intesa con l'Autorità idraulica competente, privilegiare la realizzazione di soluzioni unitarie a servizio di più ambiti o complessi insediativi.

I Comuni, mediante i propri strumenti urbanistici, garantiscono che la realizzazione dei sistemi di laminazione delle acque meteoriche individuati, sia contestuale alla realizzazione dei nuovi interventi urbanistici (v.). La realizzazione di tali sistemi dovrà essere finanziata o attraverso un contributo economico chiesto in misura proporzionale alle superfici impermeabilizzate, o ponendola direttamente a carico dei soggetti attuatori dei nuovi interventi.

I sistemi di laminazione delle ABNC dovranno preferibilmente essere costituiti da canali e zone umide naturali inseriti armonicamente nel paesaggio urbano ed integrati nei sistemi di reti ecologiche (v.), includendo eventualmente anche sistemi naturali di trattamento e smaltimento delle ABC (v.) (vedi allegato 7 alla "Relazione – Variante in recepimento del PTA regionale"). I sistemi di laminazione delle acque di pioggia ABNC (v.) previsti dovranno possibilmente includere soluzioni tecniche che consentano anche il riutilizzo per irrigazione di giardini, lavaggio strade, antincendio ed altri usi non potabili.

I Comuni interessati da "Piani Consortili Intercomunali" e dal "Piano stralcio di bacino", previsti dalla "Direttiva per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura nel Bacino del Reno" (Direttiva dell'Autorità di Bacino del 23 aprile 2008) e finalizzati alla sicurezza idraulica del territorio già urbanizzato, laddove possibile integrano tali piani con gli obiettivi e gli approfondimenti tecnici richiesti nei successivi punti 2 e 3.

- 2.(P) I Comuni in sede di redazione o adeguamento dei propri strumenti urbanistici, elaborano specifici approfondimenti tecnici rivolti alla totalità del proprio territorio, finalizzati a verificare le criticità, le potenzialità e le relative misure per ridurre il carico inquinante dovuto alle acque di prima pioggia e di dilavamento, ridurre le superfici impermeabili esistenti nel tessuto consolidato e di nuova formazione, recuperare quote di naturalità in ambiente urbano e diffondere "buone pratiche" di gestione, (vedi Allegati 1 e 7 alla "Relazione – Variante in recepimento del PTA regionale").
3. (D) Mediante gli approfondimenti di cui al punto precedente i Comuni individuano e adottano soluzioni tecniche riguardanti i sistemi di laminazione, la riduzione del carico proveniente dagli scolmatori, i sistemi di drenaggio urbano (sdoppiamento delle reti, canali filtranti (v.), coperture verdi (v.), parcheggi drenanti, pavimentazioni permeabili (v.), riapertura di canali, zone umide a parco, ecc...) vedi all' Allegato 1 alla "Relazione – Variante in recepimento del PTA regionale", e individuano soluzioni volte ad un trattamento delle ABC (v.) (ad esempio fitodepurazione) secondo le indicazioni dell'allegato 7 alla "Relazione – Variante in recepimento del PTA regionale" e dalle Linee Guida attuative della Del.G.R. 286/2005". Tali soluzioni saranno da adottare negli interventi: nuovi, di riqualificazione e di manutenzione urbana.

- 4 (D) Al fine di contenere la crescita di superfici impermeabili, oltre ai limiti stabiliti nei successivi punti 5 e 6, i Comuni definiscono nel RUE forme di incentivazione economica da applicare in sede di rilascio dei titoli abilitativi e da quantificare in misura proporzionale alla superficie dell'intervento mantenuta o resa permeabile. Il computo della superficie permeabile potrà comprendere: pavimentazioni permeabili (v.), coperture verdi (v.), superfici impermeabili già compensate da sistemi di accumulo e riuso dell'acqua meteorica e una riduzione del valore della superficie impermeabile in misura di 1 m² ogni 50 litri di volume di accumulo e riuso dell'acqua meteorica realizzato.
5. (P) Gli ambiti per i nuovi insediamenti e gli ambiti da riqualificare ai sensi della LR 20/00, ricadenti nelle zone di protezione di cui all'art. 5.2 dovranno comunque garantire, laddove richiesto, le superfici permeabili previste all'art. 5.3.
6. (P) Le nuove aree produttive che si qualificheranno Apea (aree produttive ecologicamente attrezzate, cfr. art. 9.3) ovunque localizzate, dovranno presentare indici e parametri urbanistici tali da garantire il mantenimento di una superficie permeabile (v.) pari almeno al 25% della superficie territoriale. Una quota non superiore al 10% della superficie permeabile potrà essere costituita da pavimentazioni permeabili (v.) e coperture verdi (v.). Ai fini del calcolo delle percentuali suddette, la superficie territoriale è considerata al netto delle eventuali aree cedute al di fuori dell'ambito interessato dalle nuove urbanizzazioni o dai nuovi interventi edilizi.
7. (P) Nell'ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura individuato nella Tav. 2A, l'adozione, nei terreni ad uso agricolo, di nuovi sistemi di drenaggio che riducano sensibilmente il volume specifico d'invaso, modificando quindi i regimi idraulici, è soggetta ad autorizzazione da parte del Comune ed è subordinata all'attuazione di interventi compensativi consistenti nella realizzazione di un volume d'invaso pari almeno a 100 m³ per ogni ettaro di terreno drenato con tali sistemi e al parere favorevole, espresso sulla base di un'adeguata documentazione in cui sia dimostrato il rispetto di quanto previsto dal presente punto, dell'Autorità idraulica competente. Ai fini dell'applicazione del presente punto, i sistemi di "drenaggio tubolare sotterraneo" e di "scarificazione con aratro talpa" sono da considerare come sistemi che riducono sensibilmente il volume specifico d'invaso.

Nel complesso quindi, gli elementi dell'idrologia e dell'idrogeologia locale, qualora opportunamente considerati, non costituiscono elementi ostativi alla realizzazione dell'intervento oggetto della presente relazione.

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.

3.1. Premessa:

Sull'area di lottizzazione oggetto della presente relazione si è realizzata una indagine geofisica di tipo Re.Mi.+M.A.S.W. (stendimento ubicato come alla Fig. 2/3); detta indagine è stata eseguita dalla Ditta GeoDelta del Dott. Geol. Pier Giorgio Spadon, su indicazioni dello scrivente e le relative risultanze verranno riportate più oltre in relazione.

È comunque evidente che, come previsto dal D.M./N.T.C., ogni singolo lotto dovrà singolarmente riportare la propria relazione di caratterizzazione della pericolosità sismica di base, come previsto dal DM/NTC e dalla Normativa Regionale di riferimento, tale caratterizzazione non potrà prescindere dall'esecuzione di apposite indagini.

3.2. Risultanze dell'indagine geofisica Re.Mi+M.A.S.W.:

3.2.1 Premessa:

Lo scrivente, su incarico del Dott. Geol. Raffaele Brunaldi, ha eseguito uno studio geofisico atto alla definizione delle caratteristiche sismo-stratigrafiche dei terreni SITI nel comune di Argelato (BO), Via Centese. Lo studio ha come scopo l'elaborazione di un modello geofisico per il corpo investigato, conforme OPCM 3274 del 2003 e succ. integrazioni, ordinanza 3519 del 28/04/2006, D.M. 14 gennaio 2008 ed Eurocodice 8.

3.3.2 Cenni sulle tecniche sismiche utilizzate: sismica a rifrazione, sismica passiva Re.Mi. e sismica attiva Masw:

Questi metodi di esplorazione geofisica consistono nella determinazione delle velocità sismiche dei vari strati del sottosuolo caratterizzati da diverse caratteristiche fisico - meccaniche.

- Sismica attiva Masw:

La procedura Masw è basata sulla determinazione della velocità delle onde di superficie. Considerando che le onde di Rayleigh campionano uno spessore di sottosuolo proporzionale alla lunghezza d'onda λ , è ragionevole ritenere di poter risalire alla rigidità dei terreni dalla legge di variazione della V_r con λ (curva di dispersione). Dal punto di vista sperimentale l'acquisizione Masw viene eseguita con una metodologia simile alla tecnica sismica a rifrazione. La differenza sostanziale viene dalla configurazione geometrica dei ricevitori, in genere i geofoni (minimo 12-24) vengono spazati di 1, 2 o 3 metri, aventi una frequenza di campionamento pari a 4.5 Hz. Essendo una tecnica attiva in presenza di una sorgente polarizzata, l'acquisizione masw risulta comunque possibile, essendo un metodo che utilizza una generazione energetica attiva per creare le onde

sismiche, applicando le migliori metodologie di acquisizione sismica (filtri ecc.) che i moderni sismografi consentono.

Esempio acquisizione Masw:

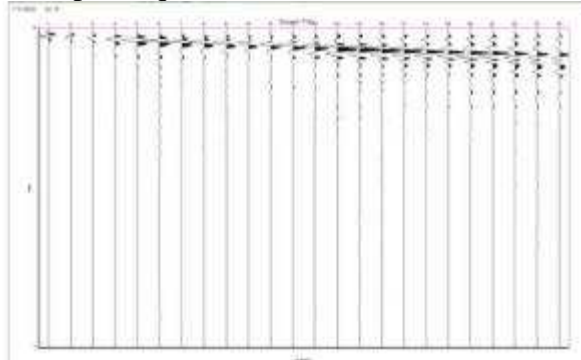


Fig. 13/1.

- Sismica passiva Re.Mi.:

la procedura Re.Mi. si basa sull'utilizzo dei microtremori (rumore naturale della terra ed artificiale), come sorgente, con tempi di acquisizione minimo di 30 sec ed ottimali di 10- 20 minuti. Vengono utilizzati minimo 12-24 geofoni da 4.5 Hz (come nella tecnica Masw) spaziatati 1-3 metri collegati al sismografo in grado di acquisire con intervalli di campionamento minimo di 30 secondi, i quali vengono sommati nella fase di interpretazione. Questa tecnica utilizzando il rumore naturale “il microtremore”, soffre di una limitazione particolare: se il profilo sismico viene eseguito in presenza di una sorgente di rumore fissa “polarizzata”, l'interpretazione Re.Mi. risulta di difficile applicazione, in virtù del principio che il microtremore non deve essere localizzato, ma proveniente con una raggio di 360° rispetto al profilo ricevente.

Esempio acquisizione Re.Mi.:

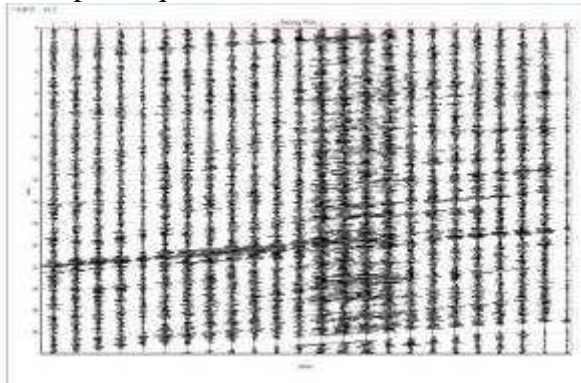


Fig. 13/2

- Interpretazione Masw e Re.Mi.:

Le tecniche sopra descritte differenziano per la metodologia di acquisizione del dato di campagna, mentre la tecnica di elaborazione risulta molto simile, di seguito brevemente descritta: Il primo passo nell'elaborazione prevede la definizione della curva di dispersione la quale gode di una certa “variabilità” giustificata nell'influenza sulle misure dalla distanza dei ricevitori, posizione della sorgente e il volume di terreno campionato. Il secondo passo consiste nell'inversione della curva di dispersione, al fine di individuare quale sia il profilo di rigidezza che riproduce la curva sperimentale. I modelli di analisi adoperati sono molteplici, mentre il metodo utilizzato per ottenere lo spettro delle velocità e l'inversione della curva di dispersione nel presente lavoro si basa sul metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Phase shift:

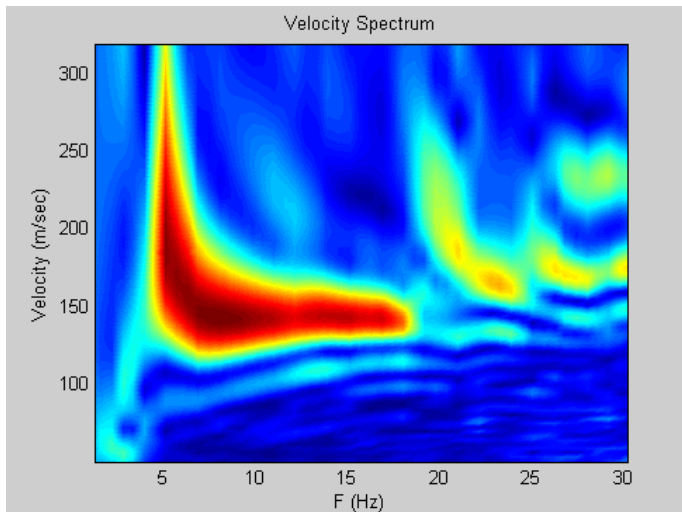


Fig. 13/3.

3.3.3 Operazioni di acquisizione dati:

I profili sismici vengono eseguiti disponendo sul terreno una serie di sensori (*geofoni*), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare. Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente (sismica attiva), vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori. Per lo studio sopra descritto è stata utilizzata sia la tecnica Masw che la tecnica Re.Mi. Tali tecniche, utilizzate congiuntamente nella fase di elaborazione dati, hanno soddisfatto pienamente la normativa sismica vigente, fornendo come di seguito descritto, un'ottima risoluzione nei primi 30 metri p.c. delle onde Vs ed hanno raggiunto una profondità di indagine tale da individuare il bedrock-like.

3.3.4 Acquisizioni in campagna:

Le misure di campagna sono state eseguite nel mese Luglio 2017, ed è stato eseguito n.1 stendimento, con tecnica Masw e RE.MI. per il calcolo della Vs 30 con le seguenti caratteristiche tecniche:

Sismografo utilizzato: sismografo digitale ECHO 24-48 2012 della AMBROGEO srl caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 24 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.

- a) **Numero geofoni:** 24 cad. con frequenza propria 4.5 Hz distanza geofonica 2.0 m;
- b) **Acquisizione** a 7651 Hz per 1 sec. (MASW); 7651 Hz per 30 sec. (RE.MI.);
- c) **Numero profili:** 1 masw; 1 Re.Mi;
- d) **Tiri:** n. 5 cad profilo masw 1.

Tiro n.1 eseguito – 1.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;

Tiro n.2 eseguito – 2.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;

Tiro n.3 eseguito – 3.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;

Tiro n.4 eseguito – 4.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;

Tiro n.5 eseguito – 5.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi.

e) **Lunghezza singolo profilo:** 46 metri + 10 metri;

f) **Sorgente utilizzata:** Mazza battente kg 10 con trigger (dispositivo per il comando di avvio della registrazione);

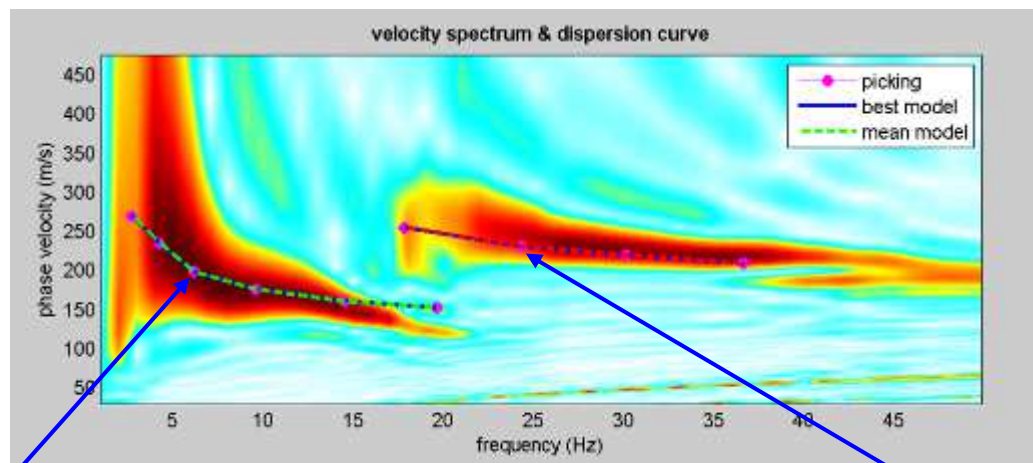
g) **Energia utilizzata:** numero 1 colpo (masw) di mazza per tiro;

3.3.5 Interpretazione geofisica onde Vs congiunta tra tecniche MASW e RE.MI. “VS 30”:

Su ognuna di tali acquisizioni è stata eseguita un’analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l’energia associata alle onde di Rayleigh.

L’inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

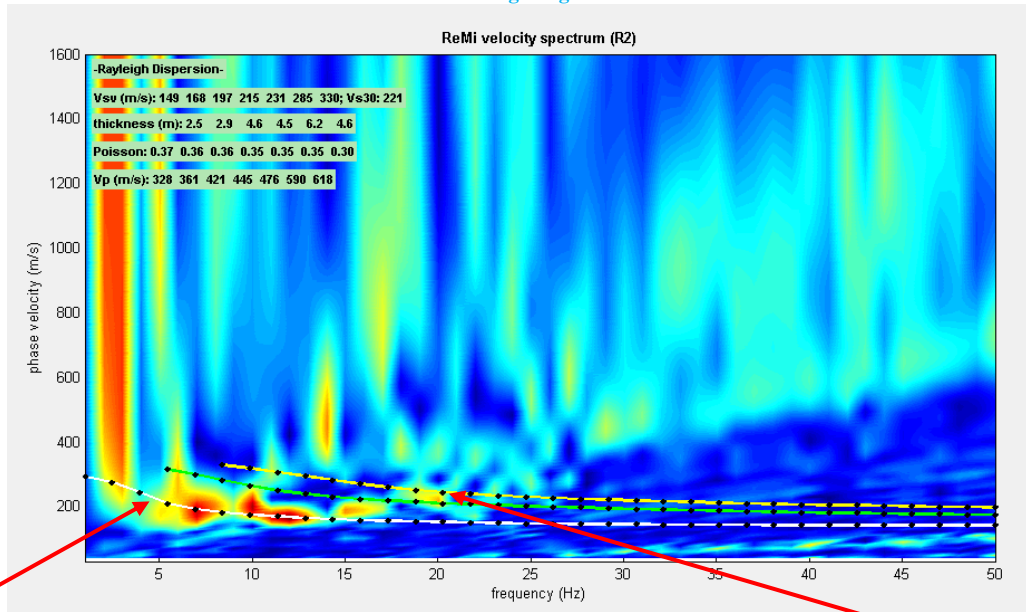
Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh (alla seguente figura).



Modo fondamentale

Altro Modo fondamentale

Fig. 13/4: **MASW:** Grafici ad Isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza.



Modo fondamentale

Picking e modellazione stratigrafica

Fig. 13/5: RE.MI.: Grafici ad Isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza.

3.3.6. Analisi curva di dispersione:

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito. Si riporta:

- 1) in Figura 13/5: il confronto tra la curva di dispersione sperimentale modello migliore (celeste) e modello medio (rosso),
- 2) in Figura 13/6: il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.

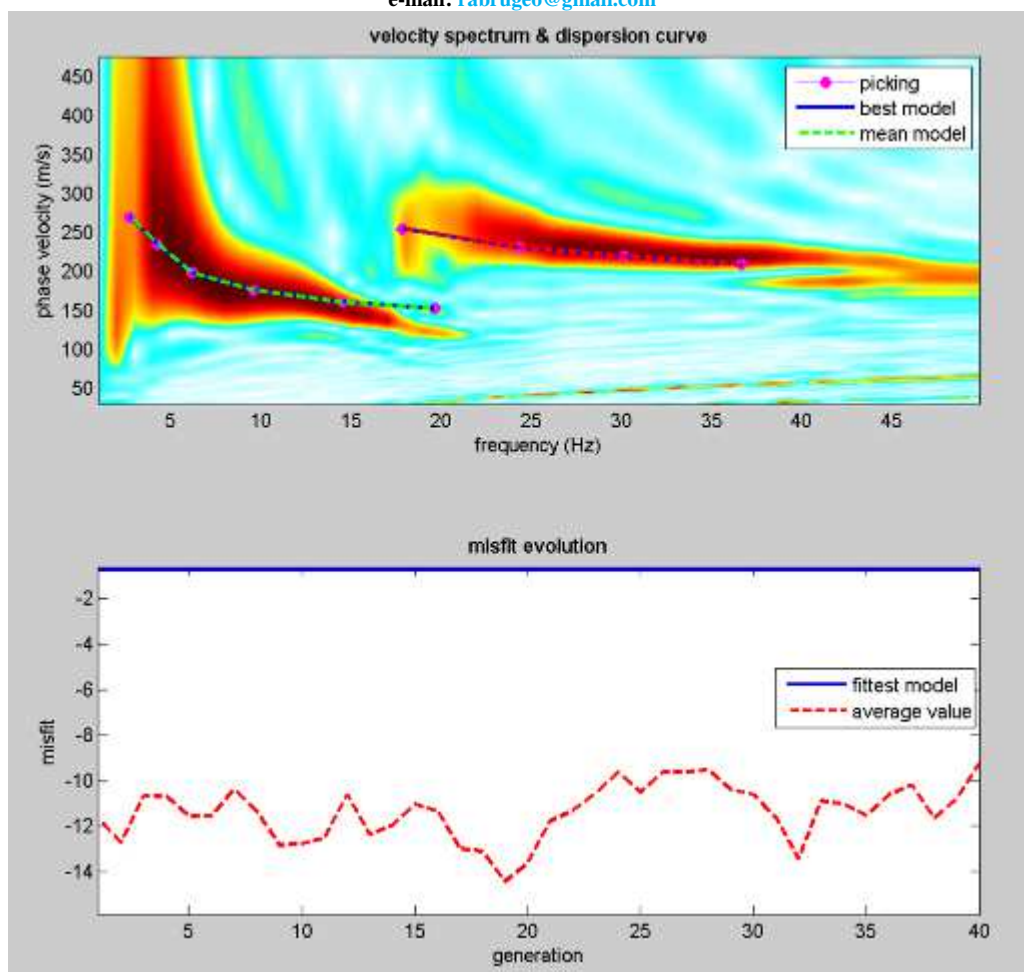


Figura 13/5: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

Il miglior *fit* tra i dati sperimentali e la curva teorica si ottiene per il modello riportato alla seguente Tabella. L'andamento delle Vs è illustrato in Figura 13/6. La dicitura "infinito" indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v 3.5 dell'Università dell'Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s). Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto. N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	328	149	2.5
2	361	168	2.9
3	421	197	4.6
4	445	215	4.5
5	476	231	6.2
6	590	285	4.6
7	618	330	Inf.

Tab. 1: Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.

VS(30) = 221 m/s

Suolo di tipo C

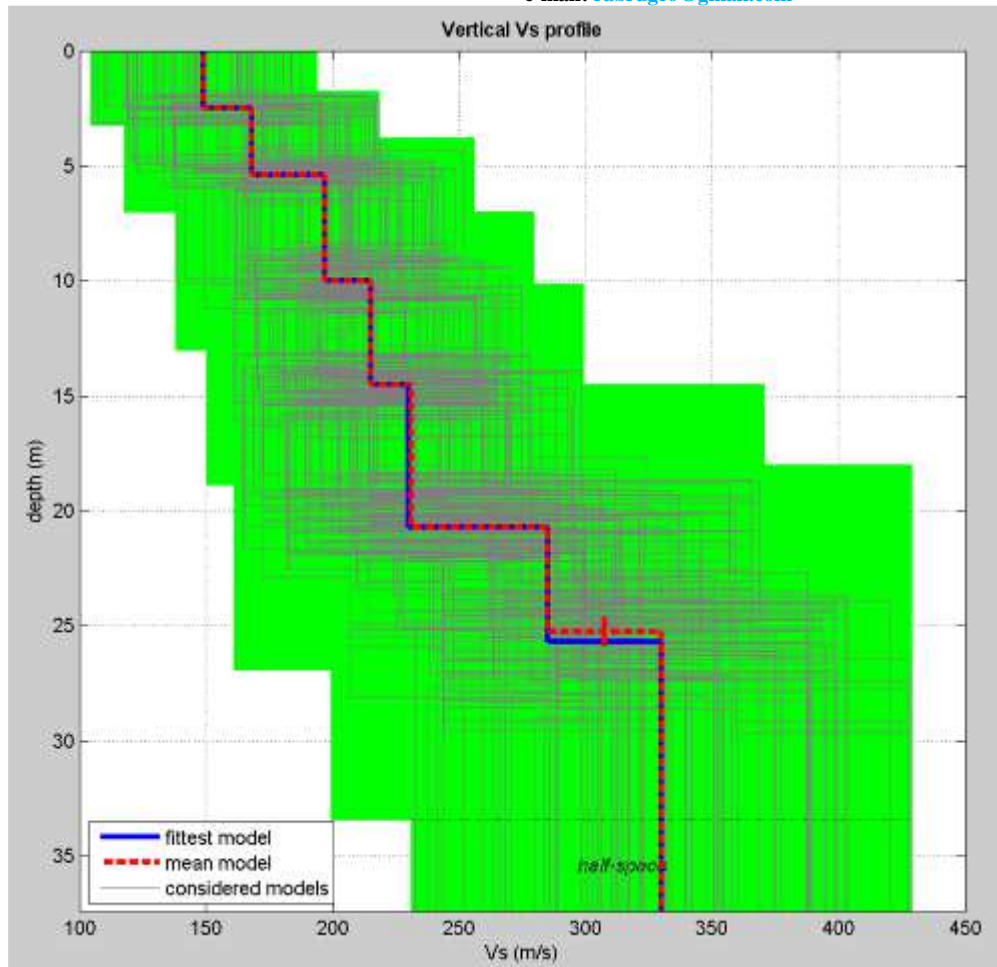


Fig. 13/6: Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.

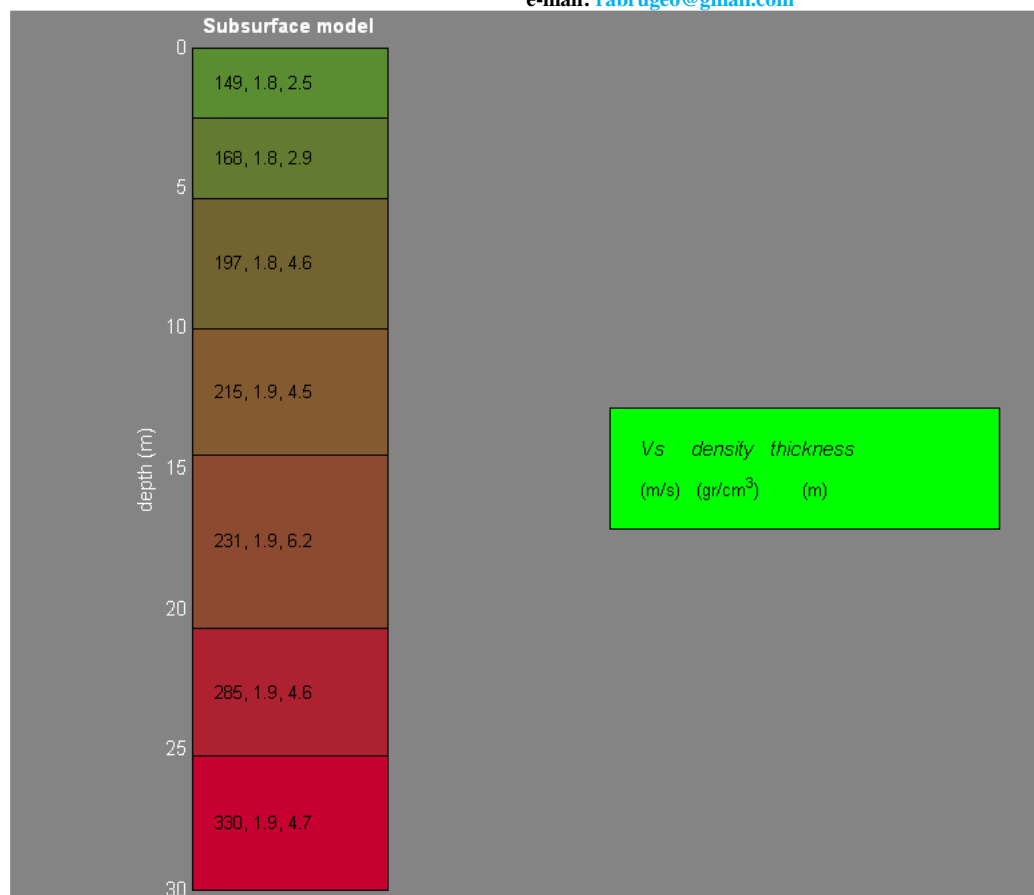


Fig. 13/7: Stratigrafia dei terreni.

PARAMETRI DINAMICI “Moduli elastici”

VS (m/sec)	149	168	197	215	231	285	330
Spessori (m)	2.5	2.9	4.6	4.5	6.2	4.6	inf.
Stima VP (m/sec)	328	361	421	445	476	590	618
Stima densità (gr/cm³)	1.78	1.81	1.84	1.86	1.87	1.93	1.94
Stima modulo di Poisson	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.30
Stima modulo di taglio (MPa)	40	51	72	86	100	156	211
Stima modulo di compressione (MPa)	139	168	231	253	291	462	459
Stima modulo di Young (MPa)	109	139	195	232	269	422	549
Stima modulo di Lamé (MPa)	113	134	184	196	225	358	318

Tab. 2: parametri dinamici.

Dal modello proposto risulta una **VS 30 = 221 m/s**, da cui, sulla base della Tab. 3.2.II del D.M./N.T.C. (di seguito riportata) si può proporre un **Suolo di tipo C.**

In realtà si deve considerare che, come riportano numerosi Autori, il valore sopra riportato deve essere inteso affetto da un'incertezza pari al 20%, ovvero: $Vs_{30} = 224 \pm 20\%$, il valore sarà quindi compreso fra 177 e 265 m/s; ovvero fra una Categoria D ($Vs_{30} < 180$ m/s) e una Categoria C.

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3: Tabella 3.2.II da DM/NTC 2018.

In merito all'intera urbanizzazione, dovrà considerarsi che il suolo di tipo C di cui sopra è da verificarsi (cioè da confermarsi o meno) in base a misure anche puntuali (del tipo H/V) per ogni singolo lotto della Lottizzazione in oggetto, in sostanza quanto quivi evidenziato per l'intera area di lottizzazione non potrà essere automaticamente esteso ad ogni singolo lotto.

3.3.7 Calcolo azione sismica di progetto:

Parametri sismici:

Categoria sottosuolo: C Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50 anni Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni] ag: 0,045 g
Fo: 2,492 Tc*: 0,257 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni] ag: 0,057 g
Fo: 2,489 Tc*: 0,270 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni] ag: **0,158 g**
Fo: 2,588 Tc*: 0,274 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni] ag: 0,210 g
Fo: 2,531 Tc*: 0,281 [s]

Coefficienti Sismici :

SLO:	Ss: 1,500	Cc: 1,640	St: 1,000	
	Kh: 0,013	Kv: 0,007	Amax: 0,658	Beta: 0,200
SLD:	Ss: 1,500	Cc: 1,620	St: 1,000	
	Kh: 0,017	Kv: 0,009	Amax: 0,835	Beta: 0,200
SLV:	Ss: 1,450	Cc: 1,610	St: 1,000	
	Kh: 0,055	Kv: 0,027	Amax: 2,244	Beta: 0,240
SLC:	Ss: 1,380	Cc: 1,600	St: 1,000	
	Kh: 0,081	Kv: 0,041	Amax: 2,844	Beta: 0,280.

I parametri di caratterizzazione debbono essere intesi come “medi” e validi per la sola area di Lottizzazione, per ogni singolo Lotto dovrà ripetersi apposita caratterizzazione.

3.3.8 Conclusioni:

Le tecniche geofisiche utilizzate congiuntamente durante questo lavoro hanno permesso di ottenere i seguenti risultati di seguito brevemente riassunti:

- E' stata classificata la zona di studio in suolo di tipo C.
- La tecnica Masw e Re.Mi. hanno superato la profondità di 30 m p.c., al fine di calcolare la risposta sismica locale, conforme, NTCU 2008.
- E' stata effettuata un'analisi ed elaborazione congiunta tra le tecniche, in modo da fornire anche i parametri dinamici di calcolo per la progettazione in zona sismica.

Baone, Marzo 2018; Dott. Geol. Pier Giorgio Spadon.
Vistata/validata e firmata in calce (nel complessivo della presente relazione) dallo scrivente).

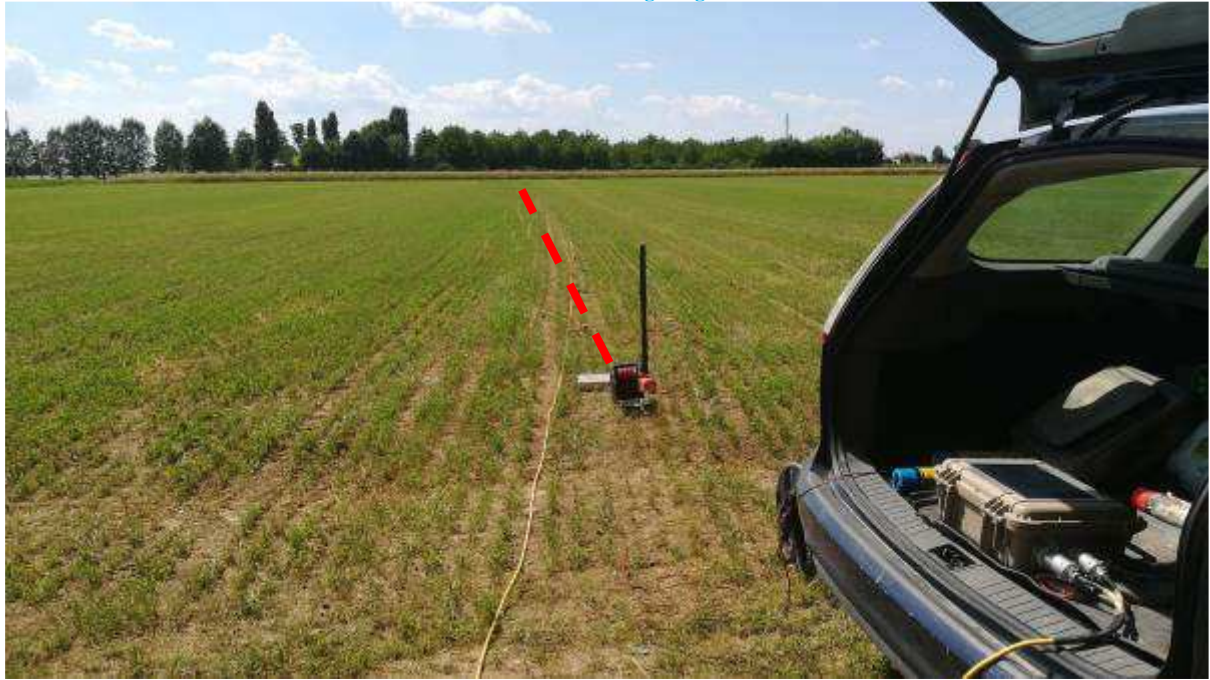
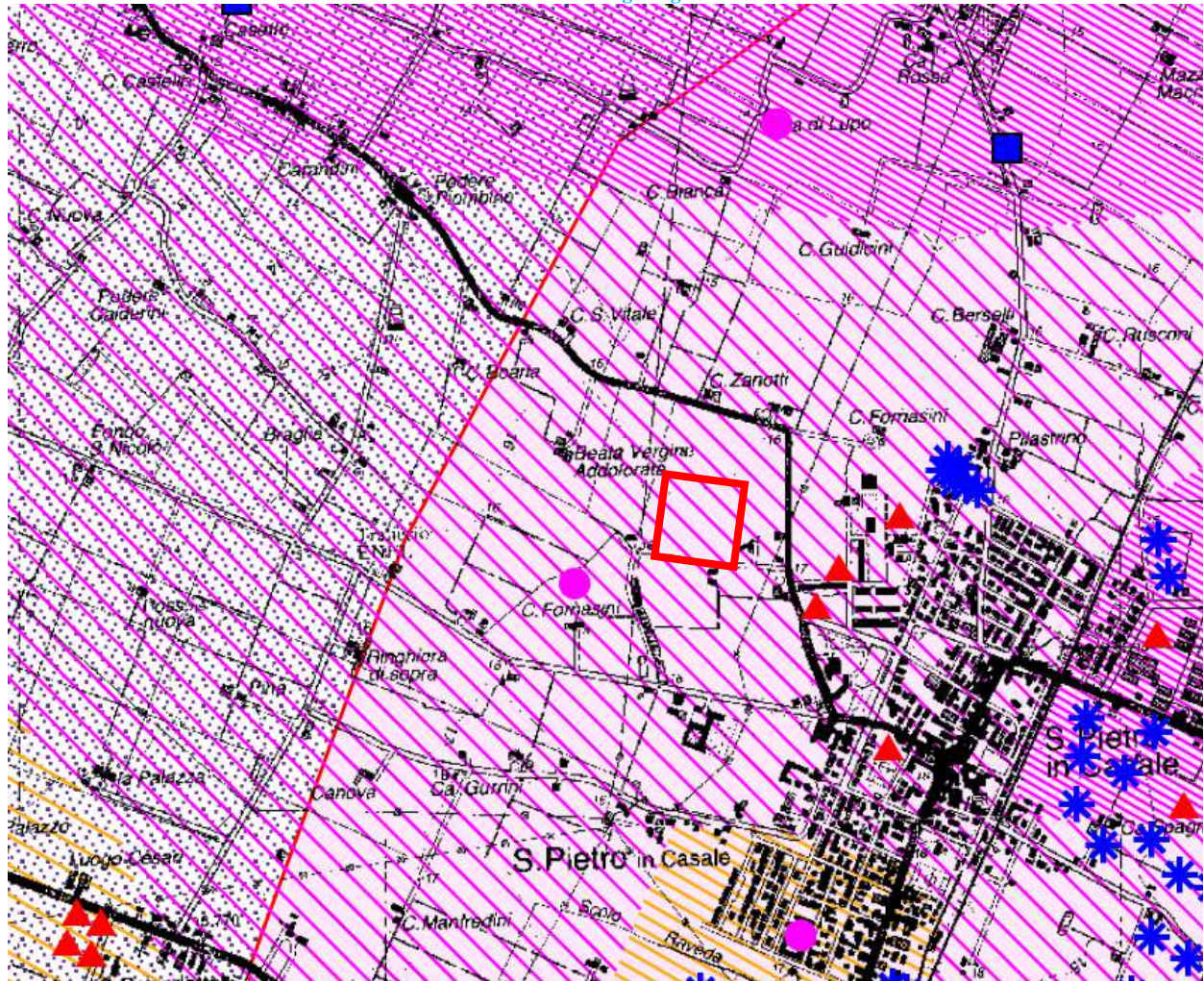


Fig. 13/8: esecuzione dello stendimento Masw - Re.Mi.

Anche la di seguito riportata cartografia del P.S.C. propone una Categoria C estrapolata (dati i pochi punti di indagine) alla scala di P.S.C. Ciò considerato si dovranno eseguire apposite verifiche per i singoli lotti dell'area in esame.



Prove geognostiche utilizzate

	Prove geognostiche considerate PSC Associato
	Banca dati regionale, CPTU
	Banca dati regionale, stratigrafie pozzi e sondaggi
	Banca dati regionale, CPT e altre prove

Categorie di suolo di fondazione (punto 3.2.1 DM 159/2005)

	Categoria B, calcolata
	Categoria B, estrapolata, con pochi punti di controllo
	Categoria C-0, calcolata
	Categoria C-0, estrapolata con pochi punti di controllo
	Categoria C-1, calcolata
	Categoria C-1, estrapolata con pochi punti di controllo
	Categoria D, calcolata
	Categoria D, estrapolata con pochi punti di controllo
	Categoria da definire, carenza di informazioni

Macro-zonizzazione

	Possibilità di substrato ghiaioso
	Liquefazione sabbie potenziale
	Liquefazione sabbie probabile
	Liquefazione sabbie ignota

Fig. 13/9: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. 3 Integrazione: Carta Macro Zone Sismiche del P.S.C. In merito alla Liquefazione si discuterà più oltre in relazione.

3.4. Ulteriori considerazioni di caratterizzazione sismica locale:

Dagli stralci di cartografia (P.S.C.) di riferimento di seguito, sopra e di seguito riportati si potrà evincere come per l'area in esame siano previsti fenomeni di amplificazione e fenomeni di liquefazione degli orizzonti granulari saturi rilevati. Ciò conformemente a quanto rilevato in relazione e che verrà di seguito illustrato e dato che normalmente fenomeni di amplificazione delle accelerazioni locali si materializzano soprattutto nei passaggi superficiali fra litotipi argillosi e litotipi sabbiosi, si ritiene che la fase del II Livello di approfondimento (indicato dallo strumento urbanistico) debba essere ricondotta alle analisi approfondite che dovranno caratterizzare i singoli lotti. Occorrerà cioè realizzare appositi Studi di R.S.L. (Risposta Sismica Locale) che consisteranno in analisi numeriche locali di II livello (od eventualmente anche di III Livello, laddove si dovesse rendere necessario) come previsto dalla D.AI. 102/2007 e nello spirito del DM/NTC 2018. Del resto tali approfondimenti sono stati resi sostanzialmente obbligatori dal dettato del DM/NTC 2018.

Le risultanze dei singoli Studi di R.S.L. potranno oltretutto superare le indeterminatezze dell'approccio semplificato della citata Tabella 3.2.II, legate alle metodologie di indagini geofisiche connesse al reale valore di $V_s(30)$ (si rimanda all'apposito punto della presente relazione in cui si cita il livello di approssimazione percentuale di tali metodologie) ed individuare i corretti valori di amplificazione e di ancoraggio dello Spettro di Risposta in Accelerazione (da utilizzarsi durante la progettazione dei singoli interventi edilizi).

Di seguito si riportano le apposite cartografie di P.S.C.

C = POSSIBILITA' DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E DI CEDIMENTI POST SISMA
[equivalente a C (PTCP) = Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti]

I = POSSIBILITA' DI LIQUEFAZIONE E DI CEDIMENTI SIGNIFICATIVI
[equivalente a L2 (PTCP) = Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione - Sabbie prevalenti certe]

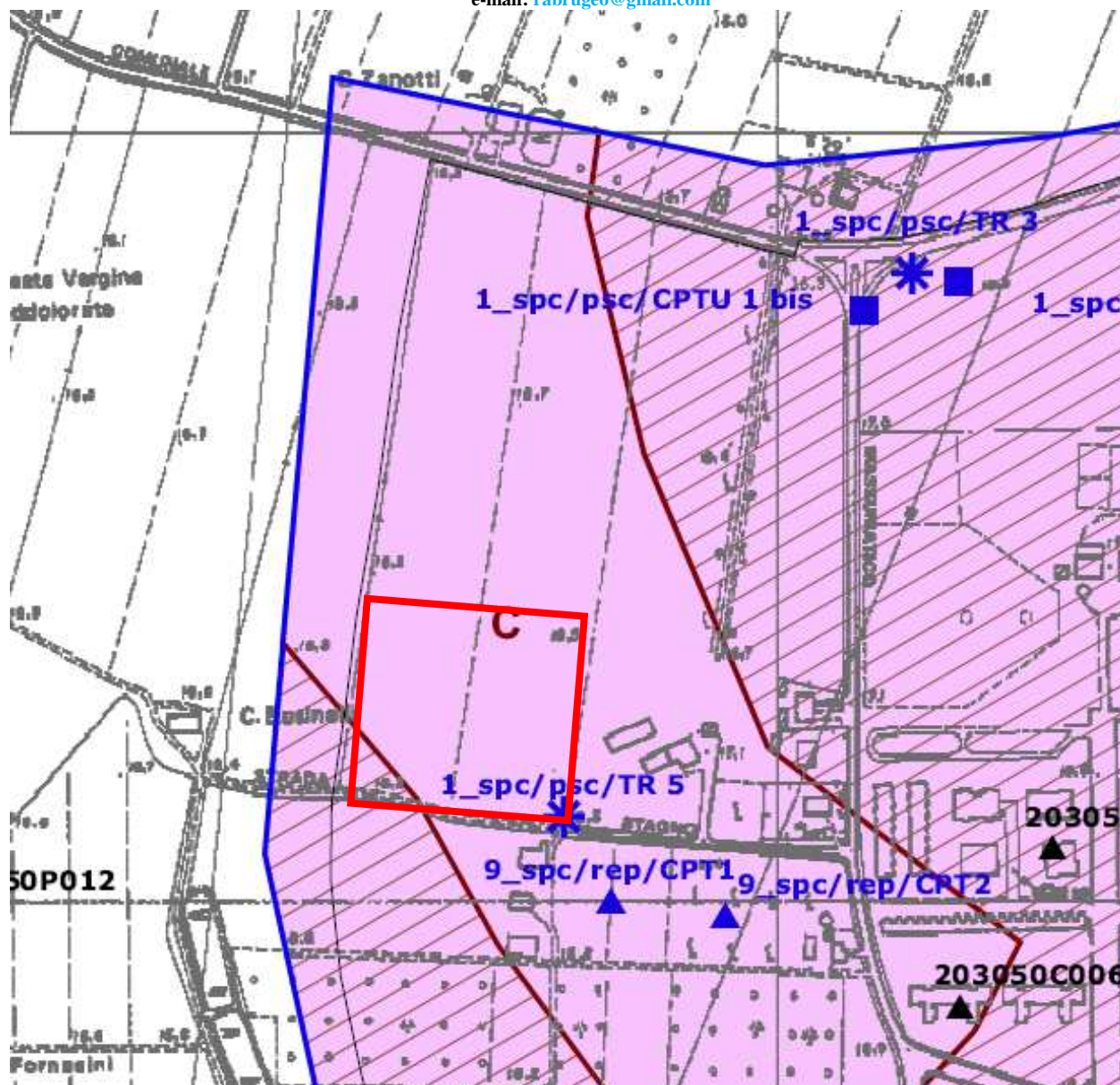
II = POSSIBILITA' DI LIQUEFAZIONE CON CEDIMENTI, TESSITURE E SPESSORE DA CONTROLLARE
[equivalente a L2 (PTCP) = Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione - Sabbie prevalenti certe]

III = LIQUEFAZIONE POCO PROBABILE DA VERIFICARE
[equivalente a L1 (PTCP) = Area soggetta ad amplificazione e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione - Sabbie prevalenti potenziali]

L1 = LIQUEFAZIONE POTENZIALE DA VERIFICARE
[equivalente a L1 (PTCP) = Area soggetta ad amplificazione e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione - Sabbie prevalenti potenziali]

	<p>Areche che necessitano dell'analisi semplificata (secondo livello)</p>
	<p>Areche che richiedono analisi approfondite (terzo livello)</p>

64



MICROZONAZIONE SEMPLIFICATA: ZONE OMogenee

PROVE GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DI RIFERIMENTO:

3	CONTESTO: "PIANURA 2" (V _{S30} = 200 m/s) AMPLIFICAZIONE = FA (P _{ga}) = 1,5 FA SI (0,1e-0,5e) = 1,8 FA SI (0,5e-1e) = 2,5 LIQUEFAZIONE = NON RISCOVATA
III-3	CONTESTO: "PIANURA 2" (V _{S30} = 200 m/s) AMPLIFICAZIONE = FA (P _{ga}) = 1,5 FA SI (0,1e-0,5e) = 1,8 FA SI (0,5e-1e) = 2,5 LIQUEFAZIONE = LIQUEFAZIONE POTENZIALE DA VERIFICARE (RICHIESTI APPROFONDIMENTI DI III LIVELLO)
III-3	CONTESTO: "PIANURA 2" (V _{S30} = 200 m/s) AMPLIFICAZIONE = FA (P _{ga}) = 1,5 FA SI (0,1e-0,5e) = 1,8 FA SI (0,5e-1e) = 2,5 LIQUEFAZIONE = LIQUEFAZIONE POTENZIALE DA VERIFICARE (RICHIESTI APPROFONDIMENTI DI III LIVELLO)
II-3	CONTESTO: "PIANURA 2" (V _{S30} = 200 m/s) AMPLIFICAZIONE = FA (P _{ga}) = 1,5 FA SI (0,1e-0,5e) = 1,8 FA SI (0,5e-1e) = 2,5 LIQUEFAZIONE = POSSIBILITÀ DI LIQUEFAZIONE CON CEDIMENTI, TESSITURE E SPessori DA CONTROLLARE (RICHIESTI APPROFONDIMENTI DI III LIVELLO)
I-1	CONTESTO: "PIANURA 2" (V _{S30} = 200 m/s) AMPLIFICAZIONE = FA (P _{ga}) = 1,5 FA SI (0,1e-0,5e) = 1,8 FA SI (0,5e-1e) = 2,5 LIQUEFAZIONE = POSSIBILITÀ DI LIQUEFAZIONE E DI CEDIMENTI SIGNIFICATIVI (RICHIESTI APPROFONDIMENTI DI III LIVELLO)

ARCHIVIO BANCA DATI R.E.R.

- PROVE PENETROMETRICHE CPTU/CPT
- ▲ PROVE PENETROMETRICHE CPT
- SONDAGGI

PROVE PSC E ARCHIVIO COMUNALE

- PROVE PENETROMETRICHE CPTU/CPT
- ▲ PROVE PENETROMETRICHE CPT
- SONDAGGI
- ☆ PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE
- ⊕ PROVE PENETROMETRICHE CON CONO SISMICO S OPT
- ⊕ STENDIMENTI SISMICI MASW
- * REGISTRAZIONI SISMICHE HVSR

Fig. 13/11: stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. 2.a: Microzonazione Sismica Semplificata (aggiornamento del Ottobre 2013) del P.S.C. Reno, Galliera- Terre di Pianura.

Allo stato attuale delle conoscenze (dai dati del P.S.C.) si deve rilevare che l'area in esame è suddivisa in due settori: il primo molto più grande (quasi l'intera area) ed una seconda piccola

porzione (spigolo Sud- Ovest), come riportati alle due immagini precedenti, per le quali aree si possono indicare i seguenti valori del Fattore di Amplificazione:

FA (PGA) = 1,50;

FA SI (0,10 - 0,50 s) = 1,80;

FA SI (0,50 – 1,00 s) = 2,50.

Il Contesto (da apposita Delibera Regionale) è il “PIANURA 2”. Le differenze fra le due aree sarebbero riconducibili alle possibilità di Liquefazione che, secondo la cartografia riportata sarebbe “Non riscontrata” per la porzione maggiore dell’area in esame e “possibile” per la porzione Sud-Ovest. Chiaramente, date le risultanze dell’area in esame già ampiamente riportate in relazione (Sezioni, Stratigrafie ecc.) la presente relazione dissente dalla cartografia di PSC ed indica come la possibilità che il Fenomeno della Liquefazione possa avvenire sia da attribuirsi all’intera area in esame. E perciò l’intera area dovrà essere appositamente indagata nelle successive fasi. Ovvero: i Singoli studi Geologici per i vari lotti dovranno tenere in debito conto il fenomeno citato e produrre apposite indagini analisi e verifiche.

In merito ai valori di FA, questi dati dovranno essere confermati (o meno) da già citati singoli Studi di R.S.L.

Si osservi incidentalmente che circa il tema possibilità di Liquefazione, le tavole di PSC riportate alle Figg. 13/10 e 13/11 non sono congruenti con la Tav. di PSC riportata alla Fig. 13/9.

4. STORIA SISMICA LOCALE

L’Emilia- Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,50 e 6 e intensità massime risentite del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell’Appennino romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia sono il margine appenninico-padano tra la Val d’Arda e Bologna, l’arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico. Tale sismicità è dovuta al processo ancora attivo di costruzione della catena appenninica. In particolare risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza- Parma, Reggio Emilia e di Ferrara. (Boccaletti et al., 2004). A seguito del terremoto del Molise del 2002, è stata elaborata una nuova Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale e la progettazione in zona sismica non è più effettuata secondo zone di pari sismicità ma viene effettuata a partire dai valori assoluti di scuotimento del suolo attesi secondo la nuova mappa di pericolosità sismica (che verranno riportate alle figure seguenti). Il territorio del Comune di Argelato è classificato come zona sismica 3 e ad esso è associato un valore di accelerazione massima al suolo compreso tra 0,150 e 0,175 g.

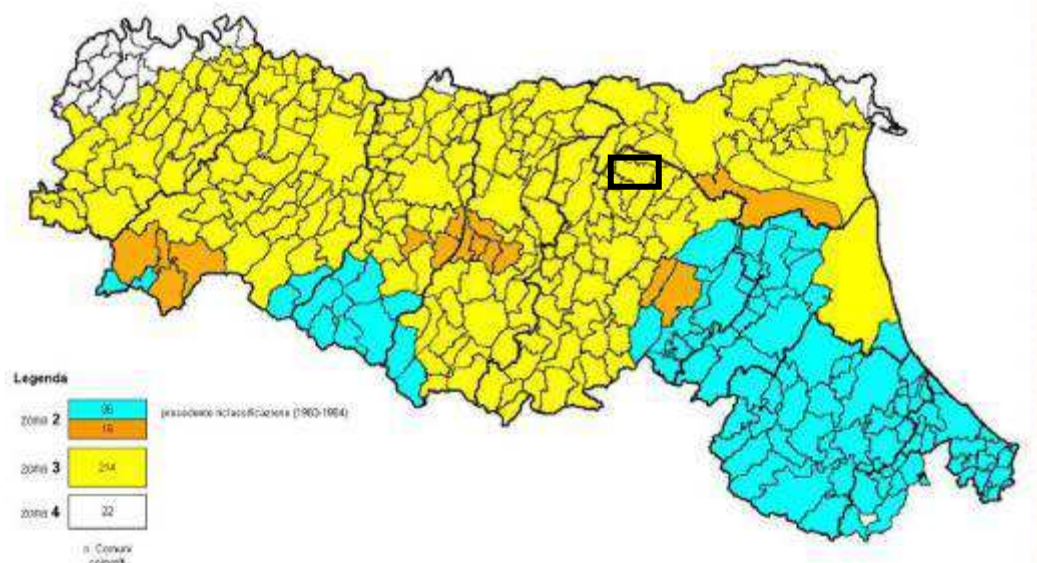


Fig. 14/1: Classificazione sismica del territorio regionale secondo l'OPCM 3274/2003. Il Comune San Pietro in Casale (colore giallo, evidenziato dal riquadro nero), precedentemente non classificato, viene attribuito alla zona 3.

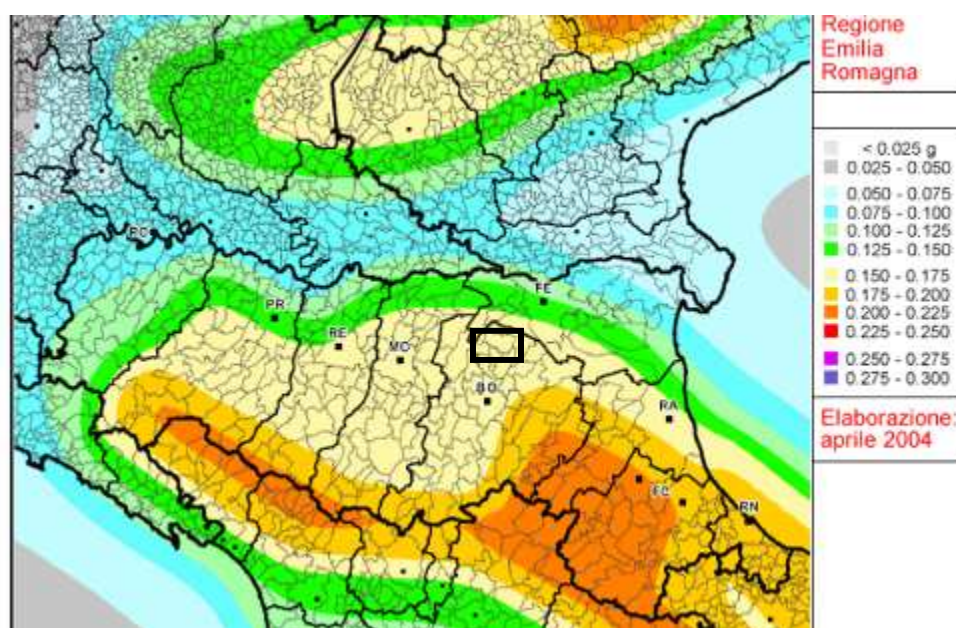


Fig. 14/2: Mappa di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Cat. A). All'area del Comune di San Pietro in Casale è associata un'accelerazione compresa tra 0,150 e 0,175 g. (Meletti & Montalbo, 2007).

Di seguito si riporta una mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti nella Regione Emilia-Romagna dal XIII secolo ad oggi. Si può osservare che la maggior sismicità è concentrata nella zona dell'Appennino Romagnolo. Relativamente ai pressi (molto allargati invero) dell'area in esame (riquadro nero) si osservano alcuni eventi di magnitudo compresa tra 5.4 e 5.9 (Mw).

historical seismicity from the year 0 to 2002

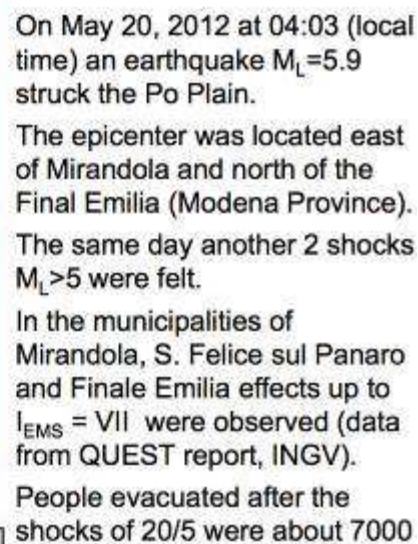
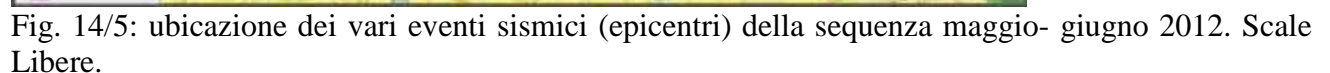
from CPTI, 2004

Area del terremoto del maggio- giugno 2012

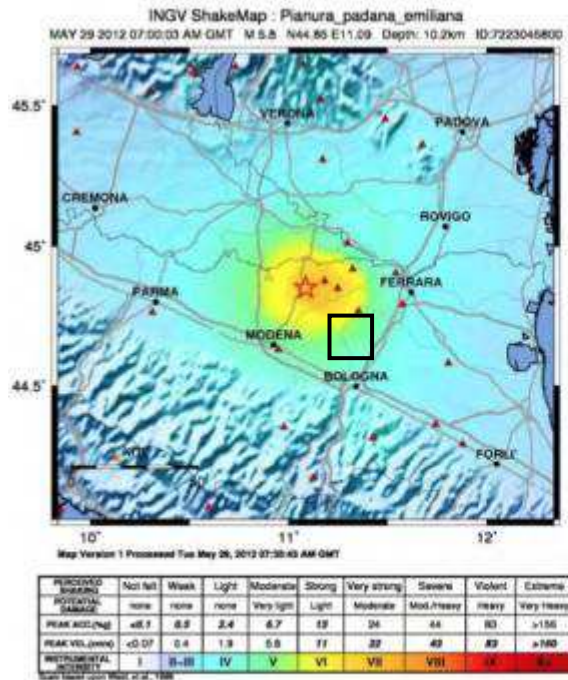
historical seismicity of Ferrara, from DBMI11

This area of the Po Plain was affected by earthquakes that have caused effects $I_{MCS} \geq VII$ already in 1346, 1570 and 1796

Chiaramente la sequenza sismica di maggio (20 e 29) e giugno 2012 ha sensibilmente modificato la cognizione di sismicità dell'area della Bassa Padana che, seppur sottovalutata dagli



69



epicenter coordinates: 44.85°N, 11.09°E
depth: 10.2 km

At 09:00 (local time) on May 29, 2012 another strong earthquake, $M_L=5.8$, shaken the Modena Plain.

The epicenter was located near Medolla (MO), 10 km WSW from the 20/5 main shock.

Also this new shock caused effects up to $I_{EMS}=VII$ (from QUEST report, INGV), aggravating the situation in the municipalities of Medolla, Concordia sulla Secchia, Cavezzo and S. Possidonio (MO), and in some towns of the Mantua province.

Fig. 14/7: Ubicazione degli epicentri degli eventi del 29 maggio 2012 e sviluppo areale delle relative intensità; il quadratino riporta l'area in esame, Scala libera (immagini tratte da L. Martelli- SGS Regione Emilia- Romagna; 7th Euregeo, Bologna 12- 15 Giugno 2012). Scala Libera.

La storia sismica di San Pietro in Casale e/o del suo territorio comunale, sino all'anno 2012 era ridotta alla registrazione degli effetti di un solo evento, quello dell'anno 2000 (che sarà più oltre descritto) ma non è comunque assente. Si vuole ricordare come il sottosuolo di Argelato sia caratterizzato da una complessa struttura tettonica illustrata alla Fig. 4/4 della presente relazione e come di seguito illustrato.

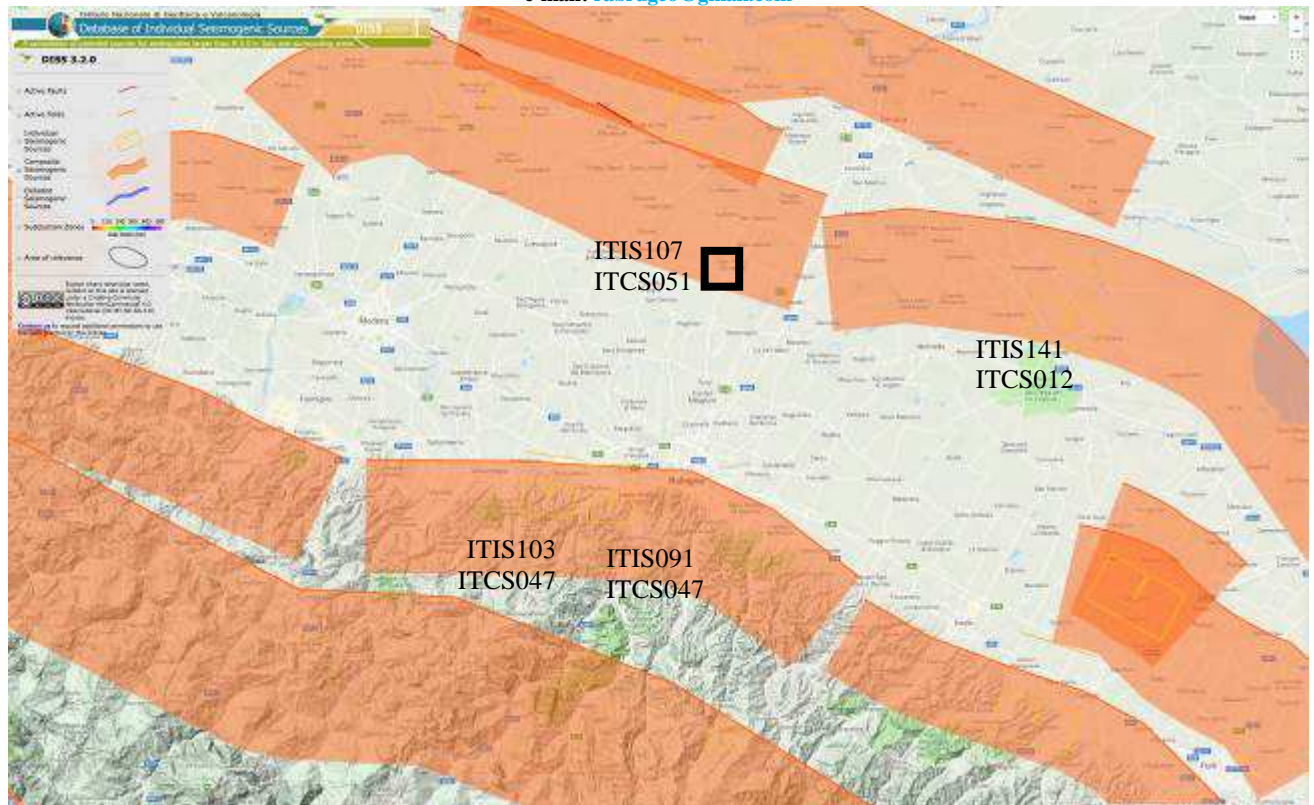




Fig. 14/8: Sorgenti Sismo- Genetiche locali: ITIS107/ITCS051. Scala Libera tratta dall'apposito sito dell'INGV.

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITIS107
Name	Mirandola
Compiler(s)	Burrato P.(1), Vannoli P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogio C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3), Vannoli P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	31-Jan-2001
Updated	17-Oct-2013
Display map ...	 
Related sources	ITCS051

PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	44.85 / 11.07	LD	Based on seismological, geodetic and geological data.
Length [km]	9.0	LD	Based on geological, geodetic and seismological data.
Width [km]	5.9	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	4.0	LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Max depth [km]	7.0	LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Strike [deg]	108	LD	Based on modelling of SAR and geological data.
Dip [deg]	30	LD	Based on seismological and geophysical data.
Rake [deg]	90	LD	Based on seismological data.
Slip Per Event [m]	0.4	LD	Based on seismological data and SAR modelling.
Slip rate [mm/y] min... max	0.5...1.04	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Recurrence [y] min... max	385...800	AR	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	6.0	LD	Based on seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES

Latest Earthquake	29 May 2012	INGV Seismic Bulletin.
Penultimate Earthquake	Unknown	See "Commentary" for information.

ACTIVE FAULTS

ID	NAME	REFERENCES
78	Mirandola	Castaldini et al. [1979]
79	Canalazzo di Finale Emilia	Castaldini et al. [1979]
80	Concordia	Castaldini et al. [1979]

ACTIVE FOLDS


GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS051		
Name	Carpi-Poggio Renatico		
Compiler(s)	Burrato P.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy		
Created	16-Oct-2013		
Updated	01-Apr-2015		
Display map ...			
Related sources	ITIS107		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Max depth [km]	10.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Strike [deg] min... max	50...120	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Dip [deg] min... max	25...45	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	OD	Inferred from geological and active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.5...1.04	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.0	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).
LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;			
ACTIVE FAULTS			
ID	NAME	REFERENCES	
78	Mirandola	Castaldini et al. [1979]	
79	Canalazzo di Finale Emilia	Castaldini et al. [1979]	
80	Concordia	Castaldini et al. [1979]	

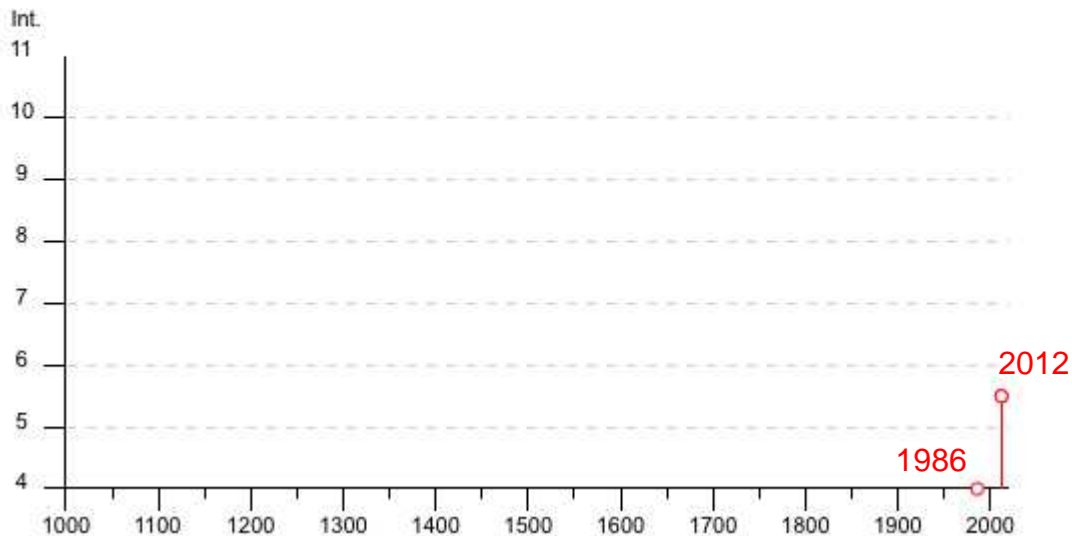
Fig. 14/9: Descrizione delle Sorgenti Sismo- Genetiche locali: ITIS107/ITCS051, tratte dall'apposito sito dell'INGV.

La storia sismica di San Pietro in Casale e/o del suo territorio comunale è ridotta alla registrazione degli effetti di due soli eventi (più oltre riportati) ma non è comunque assente, in particolare l'evento sismico che ha danno localmente origine al maggior risentimento è quello del dell'anno 2012 (come già ricordato). Di seguito si riporta apposita tabella.

San Pietro in Casale

PlaceID IT_40239
Coordinate (lat, lon) 44.701, 11.405
Comune (ISTAT 2015) San Pietro in Casale
Provincia Bologna
Regione Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati 7

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
NF	1965	11	09	15	35		Appennino reggiano	32	5	4.17
4	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
3	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
5-6	2012	05	20	02	03	5	Pianura emiliana	53	7	6.09
5-6	2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90



Tab. 4 e Fig. 14/10: elenco degli eventi sismici che hanno determinato risentimenti locali, come tratta dall'apposito sito dell'INGV (DBMI15).

Di seguito si riporta apposita rappresentazione (a scala libera) dei risentimenti areali dell'evento testè evidenziato.

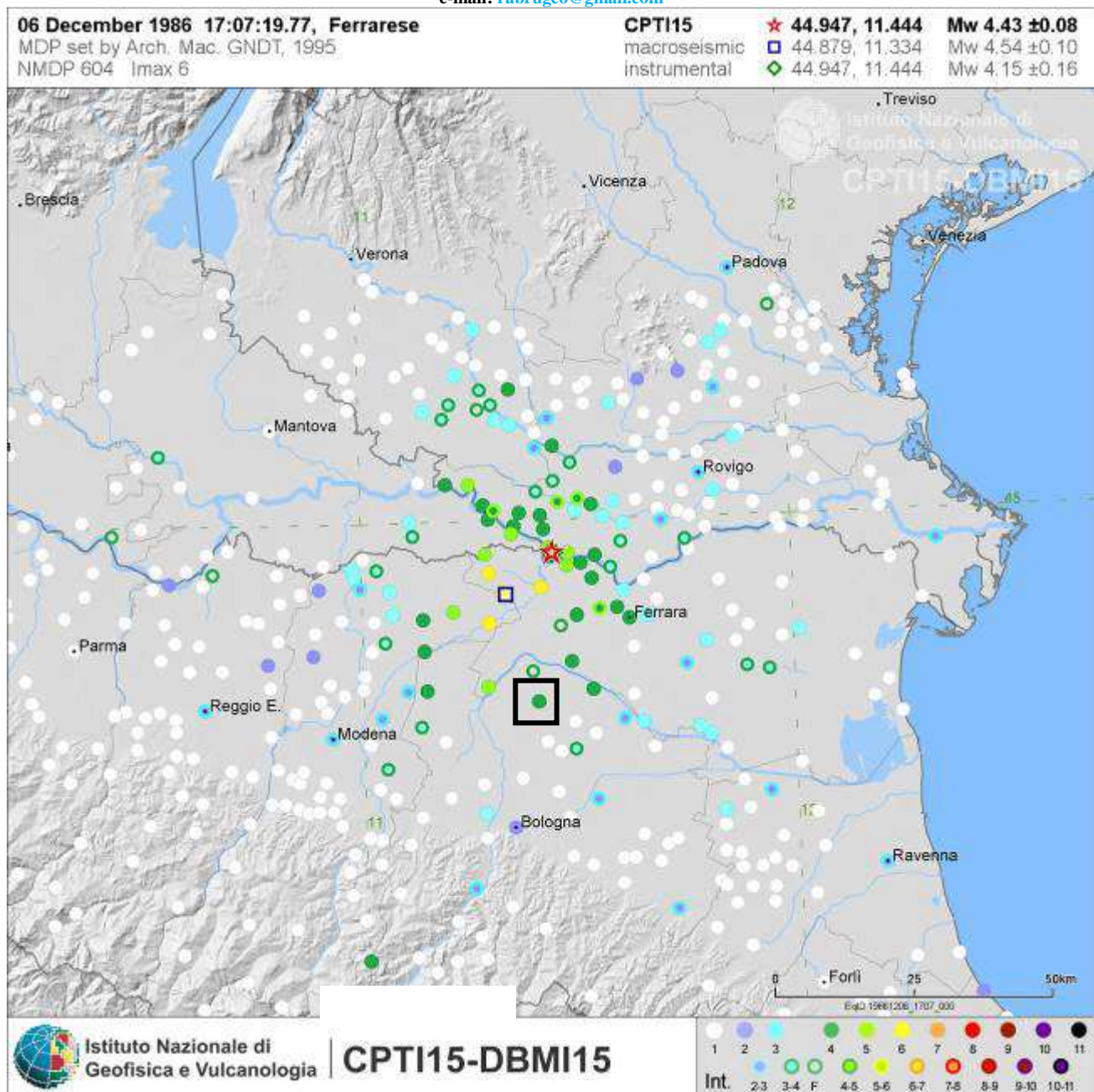


Fig. 14/11: evento del 1986: Ferrarese. Scala Libera. La stella riporta l'epicentro ed il quadrato più grande l'area in esame.

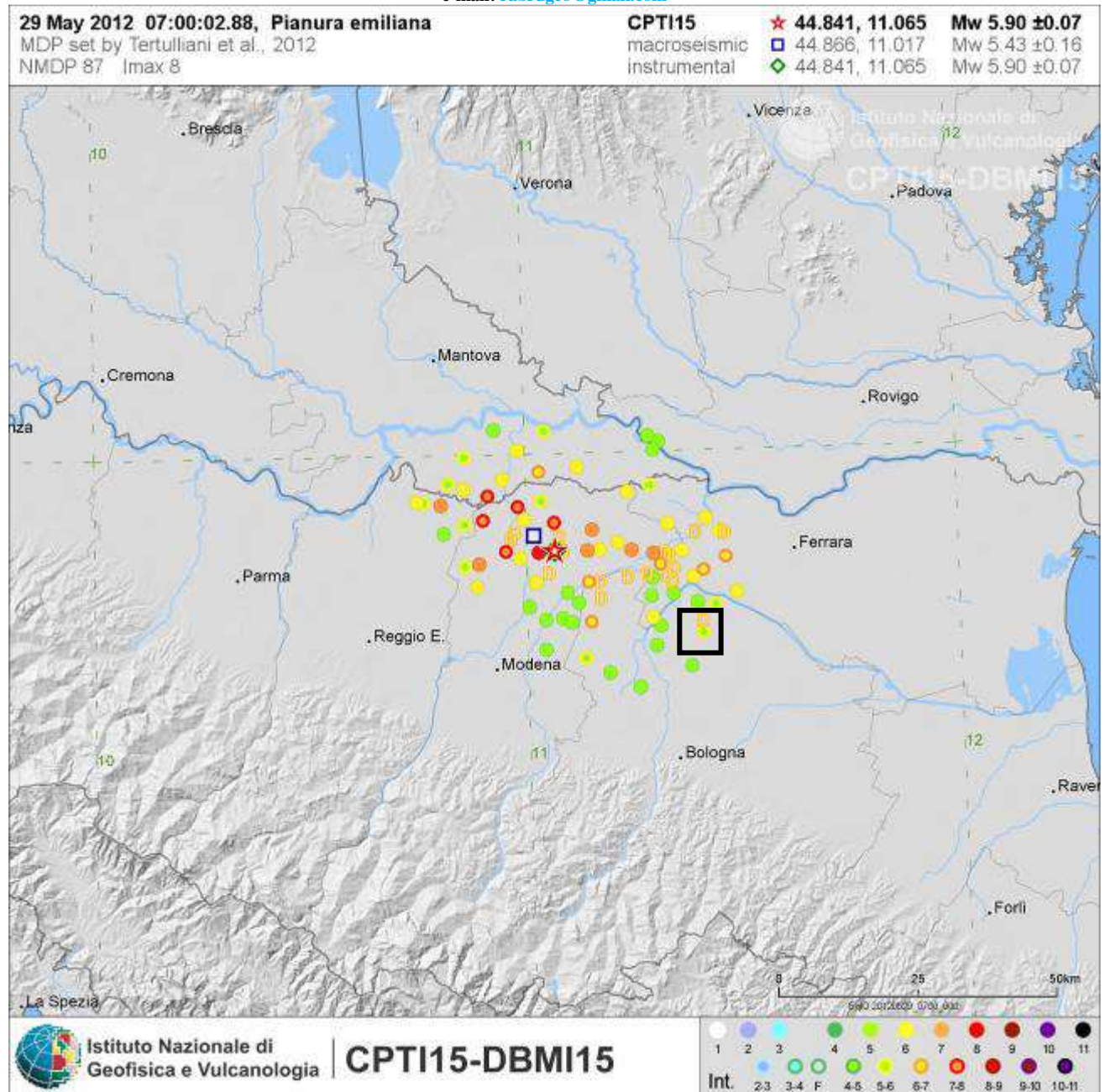


Fig. 14/12: evento del 2012: Emilia. Scala Libera. La stella riporta l'epicentro ed il quadrato più grande l'area in esame.

La magnitudo Mw attesa per la ZS 912 è pari a $M= 6,14$, come riportato alla seguente tabella dell'INGV.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	MwMax1	Tassi AR	MwMax2	b	Tassi da CO-04.2	Tassi da GR	Azione	Tassi GR adottati
Savoia	901	5.91	0.21	6.14	-1.18	0.14	0.11	A	0.11
Vallese	902	6.14	0.14	6.14	-1.26	0.14	0.19	A	0.14
Grigioni-Valtellina	903	5.91	0.21	6.14	-1.26	0.14	0.23	A	0.14
Trieste -Monte Nevoso	904	5.68	0.42	6.14	-1.12	0.14	0.14	A	0.14
Friuli -Veneto Orientale	905	6.60	0.33	6.60	-1.05	0.11	0.37	B	0.37
Garda-Veronese	906	6.60	0.11	6.60	-1.14	0.11	0.11	A	0.11
Bergamasco	907	5.91	0.14	6.14	-1.71	0.14	0.03	C	0.04
Piemonte	908	5.68	0.21	6.14	-1.91	0.14	0.03	C	0.04
Alpi Occidentali	909	5.68	0.21	6.14	-1.27	0.14	0.10	A	0.10
Nizza-Sanremo	910	6.37	0.14	6.37	-1.12	0.14	0.14	A	0.14
Tortona-Bobbio	911	5.68	0.21	6.14	-1.47	0.14	0.05	A	0.05
Dorsale Ferrarese	912	6.14	0.12	6.14	-1.35	0.12	0.13	A	0.12
Appennino Emiliano-Romagn.	913	5.91	0.14	6.14	-1.80	0.14	0.07	A	0.07
Forlivese	914	5.91	0.57	6.14	-1.33	0.14	0.26	A	0.14
Garfagnana-Mugello	915	6.60	0.14	6.60	-1.34	0.14	0.11	A	0.11
Versilia-Chianti	916	5.68	0.21	6.14	-1.96	0.14	0.02	C	0.04
Rimini-Ancona	917	6.14	0.12	6.14	-1.04	0.12	0.43	A	0.12
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918	6.37	0.14	6.37	-1.10	0.14	0.37	A	0.14
Appennino Umbro	919	6.37	0.25	6.37	-1.22	0.12	0.26	B	0.26
Val di Chiana-Ciociaria	920	5.68	0.28	6.14	-1.96	0.14	0.06	A	0.06
Etruria	921	5.91	0.14	6.14	-2.00	0.14	0.05	A	0.05
Colli Albani	922	5.45	0.42	5.45	-2.00	0.21	0.37	B	0.37
Appennino Abruzzese	923	7.06	0.14	7.06	-1.05	0.14	0.25	A	0.14
Molise-Gargano	924	6.83	0.17	6.83	-1.04	0.17	0.13	A	0.13
Ofanto	925	6.83	0.17	6.83	-0.67	0.17	0.28	A	0.17
Basento	926	5.91	0.21	6.14	-1.28	0.21	0.10	A	0.10
Sannio-Irpinia -Basilicata	927	7.06	0.33	7.06	-0.74	0.17	0.43	B	0.43
Ischia-Vesuvio	928	5.91	0.21	5.91	-1.04	0.21	0.35	A	0.21
Calabria Tirrenica	929	7.29	0.17	7.29	-0.82	0.17	0.33	A	0.17
Calabria Ionica	930	6.60	0.17	6.60	-0.98	0.17	0.23	A	0.17
Canale d'Otranto	931	6.83	0.21	6.83	-0.63	0.21	0.22	A	0.21
Eolie-Patti	932	6.14	0.21	6.14	-1.21	0.21	0.25	A	0.21
Sicilia settentrionale	933	6.14	0.21	6.14	-1.39	0.21	0.20	A	0.20
Belice	934	6.14	0.21	6.14	-0.96	0.21	0.20	A	0.20
Iblei	935	7.29	0.12	7.29	-0.72	0.12	0.13	A	0.12
Etna	936	5.45	0.33	5.45	-1.63	0.33	0.57	A	0.33

Tab. 5: Tabella dell'INGV dal Rapporto Conclusivo della Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica (Aprile 2004).

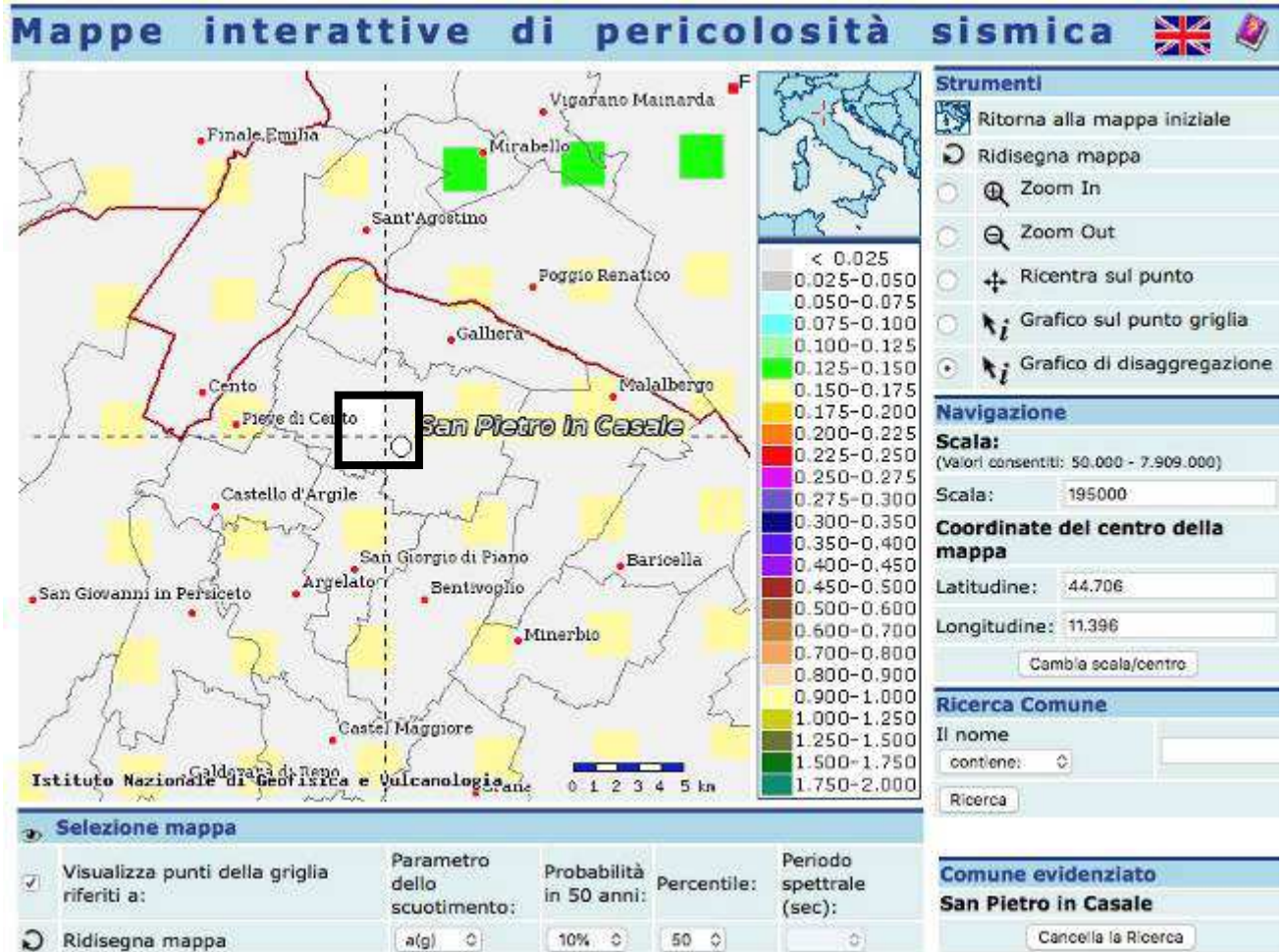
Tale valore è molto penalizzante per l'area in esame ma è comunque molto prossimo agli eventi di maggio- giugno 2012 dell'Alto Ferrarese- Bassa Modenese (Mw pari a circa 5,9 come riportato alla Fig. 14/10) e discende da una analisi statistico/probabilistica dei suddetti eventi sismici, analisi che tiene conto della loro magnitudo e distanza dall'area in esame (sono considerati solo gli eventi registrati nella cella 912). Si deve però certamente considerare che la scala di misura della magnitudo è logaritmica, quindi $M=6,14$ “mette in gioco” energie sismiche (in senso lato) molto maggiori della magnitudo, pari a 5,90 che ha caratterizzato l'evento “locale” del 2012 ed enormemente maggiori di quella dell'evento del 1986 ($M_w=4,43$).

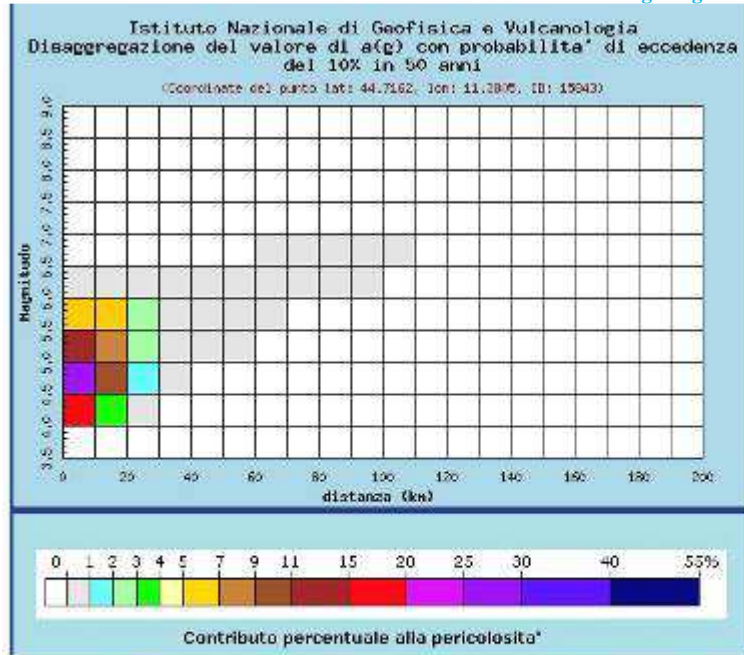
In realtà dalla di seguito riportata analisi di disaggregazione dei valori di M, relativa alle registrazioni storiche (di cui sopra) del territorio del Comune di San Pietro in Casale e valevole per l'area in esame (dell'intera Lottizzazione) si potrà notare come il valore atteso di M sia pari a 4,98 (in sostanza 5,00) con probabilità di accadimento compresa fra il 25 ed il 30%; eventi compresi fra 5,00 e 5,50 M hanno una probabilità di accadimento compresa fra l'11 ed il 15%; eventi compresi fra 5,50 e 6,00 M hanno una probabilità di accadimento compresa fra il 5 ed il 7% ed eventi maggiori di 6,00 hanno una probabilità di accadimento dell'1%; eventi compresi fra 4,00 e 5,50 M hanno una probabilità di accadimento compresa fra il 15 ed il 20%. (tali valori sono relativi alle Ml ed andranno riportati alle Mw, come verrà di seguito riportato). Le distanze epicentrali più probabili sono sino a 30 Km ma per percentuali molto basse si riscontrano episodi sino a 100 Km.

Si vuole ancora rimarcare come tale disaggregazione sia stata pesantemente superata dall'evento di maggio- giugno 2012 (anche per le aree del sisma erano infatti attese Magnitudo ampiamente inferiori al 5,9 in effetti registrato) e quindi andrà considerata come di pura segnalazione di quanto i metodi previsionali statistico probabilistici possano condurre a grossolane e pericolose sottostime. Si consideri ad esempio che tali metodi partono fra l'altro dal presupposto che non possa avvenire evento maggiore di quanto già registrato, dove stia il fondamento scientifico di tale assunzione, resta un mistero che si camuffa come una semplificazione che parrebbe non sormontabile ma che di certo è pericolosamente fuorviante.

Si ricorda ulteriormente come il territorio del Comune di San Pietro in Casale ha evidentemente registrato danni seppur di modesto rilievo/entità a carico di edifici pubblici e privati di varie tipologie, danni disposti sostanzialmente sull'intero territorio comunale, anche in presenza di accelerazioni molto ridotte rispetto a quelle epicentrali.

Si ricorda ulteriormente come alle Figg. 3, 4/2 e 4/3 alle quali si rimanda, si possa notare come l'area in esame si ubichi in prossimità di una complessa struttura sepolta caratterizzata dalla presenza di fagli sepolte e sovrascorimenti post- Tortoniani. Queste strutture profonde sono normalmente sede di movimenti tettonici e quindi sismici, come ampiamente dimostrato.

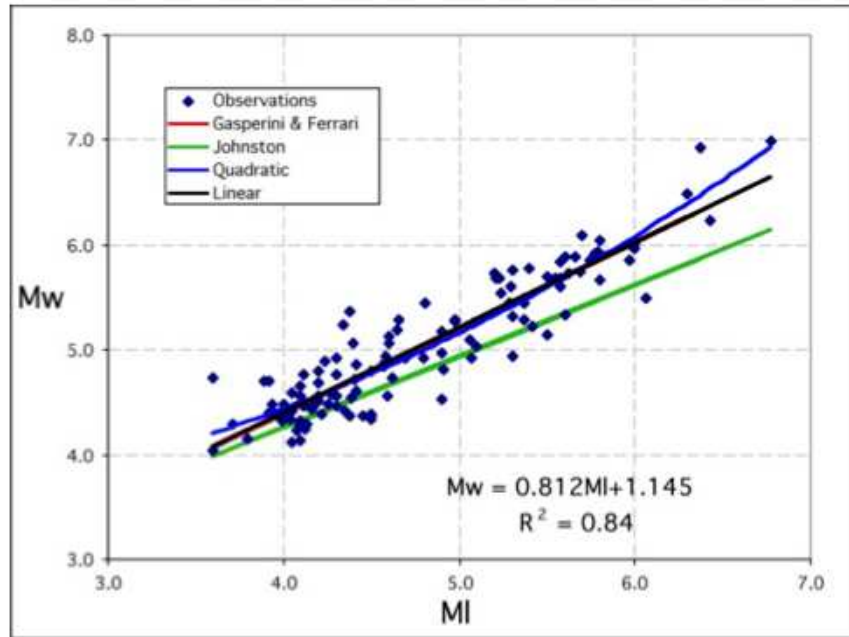




Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.7162, lon: 11.3805, ID: 15843)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	15.000	26.200	13.700	6.150	0.693	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.860	10.300	8.990	6.280	0.912	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.200	1.420	2.320	2.280	0.369	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.034	0.398	0.646	0.099	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.029	0.187	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.980	9.670	0.726

Figg. 14/13: tabelle di disaggregazione dei valori di M per San Pietro in Casale/area in esame (tratte dal sito del Progetto DPC- INGV- S1). La Magnitudo riportata   la Magnitudo Locale M_L (Richter) da non confondersi con la Magnitudo Momento M_w . Le due scale misurano “oggetti” sostanzialmente diversi e sono quindi scarsamente comparabili. Il corrispondente valore di M_w pu  essere comunque inteso maggiore di 5, sulla base di correlazioni “qualitative” proposte da vari Autori. Per il caso in esame il valore di M sarebbe pari a 5,17. $M_w = 0,953M_L + 0,422$; $3,9 \leq M_L \leq 6,8$ (Yenier, Erdogan, Akkar- 2008), oppure 5,19: $M_w = 0,812M_L + 1,145$; (INGV, 2004). Come riportato alla seguente figura.



Regressione tra Mw e ML. In nero la legge empirica utilizzata in CPTI2. Per confronto sono anche riportate: i) la regressione quadratica (blu); ii) le regressioni lineari ricavate da Johnston (1996) per le regioni continentali stabili (verde) e da Gasperini e Ferrari (2000) per l'Italia (rosso).

Fig. 14/14: grafico di regressione MI- Mw tratto dal Rapporto Conclusivo della Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica dell'INGV (Aprile 2004).

5. VALUTAZIONI CIRCA LA PERICOLOSITÀ CO- SISMICA LOCALE: SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEGLI ORIZZONTI SATURI GRANULARI

Quanto di seguito riportato è valido come mero inquadramento di massima dell'area di lottizzazione circa il fenomeno in questione, in seguito ogni singolo lotto dovrà produrre apposite indagini e verifiche puntuali circa l'esatta determinazione del fenomeno. In precedenza si sono riportati in relazione alcuni contenuti -contraddittori- degli strumenti di pianificazione, anche per tale motivo (contraddittorietà delle analisi di pianificazione territoriale) occorrerà porre adeguata attenzione alla corretta e puntuale definizione del fenomeno in fase di realizzazione dei singoli interventi edilizi. Il fenomeno della liquefazione determina una diminuzione della resistenza al taglio e/o della rigidezza, nei litotipi granulari, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico e tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Le Norme Tecniche vigenti riportano quanto segue:

7.11.3.4 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

7.11.3.4.1 Generalità

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

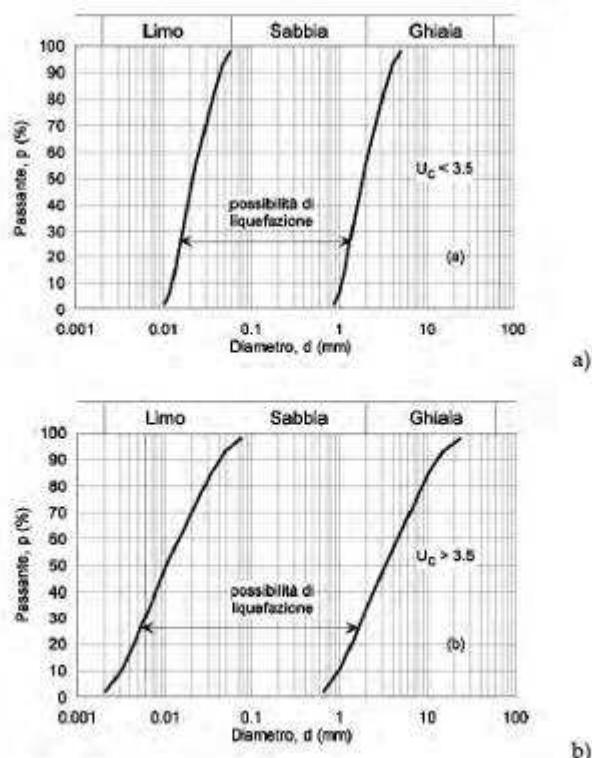


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

7.11.3.4.3 Metodi di analisi

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

7.11.3.5 STABILITÀ DEI PENDII

La realizzazione di strutture o infrastrutture su versanti o in prossimità del piede o della sommità di pendii naturali richiede la preventiva verifica delle condizioni di stabilità, affinché prima, durante e dopo il sisma, la resistenza del sistema sia superiore alle azioni (condizione [6.2.1] di cui al § 6.2.4.1) oppure gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

7.11.3.5.1 Azione sismica

L'azione sismica di progetto da assumere nelle analisi di stabilità deve essere determinata in accordo con i criteri esposti nel § 3.2.3.

Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di 15° e altezza maggiore di 30 m, l'azione sismica di progetto deve essere opportunamente incrementata o attraverso un coefficiente di amplificazione topografica (vedi §§ 3.2.2 e 3.2.3) o in base ai risultati di una specifica analisi bidimensionale della risposta sismica locale, con la quale si valutano anche gli effetti di amplificazione stratigrafica.

In generale l'amplificazione tende a decrescere sotto la superficie del pendio. Pertanto, gli effetti topografici tendono a essere massimi lungo le creste di dorsali e rilievi, ma si riducono sensibilmente in frane con superfici di scorrimento profonde. In tali situazioni, nelle analisi pseudostatiche gli effetti di amplificazione topografica possono essere trascurati ($S_T = 1$).

7.11.3.5.2 Metodi di analisi

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

Nelle analisi, si deve tenere conto dei comportamenti di tipo fragile, che si manifestano nei terreni a grana fina sovraconsolidati e nei terreni a grana grossa addensati con una riduzione della resistenza al taglio al crescere delle deformazioni. Inoltre, si deve tener conto dei possibili incrementi di pressione interstiziale indotti in condizioni sismiche nei terreni saturi. Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ ed $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad [7.11.3]$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad [7.11.4]$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.5]$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.I al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

La condizione di stato limite deve essere valutata con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e riferita alla superficie di scorrimento critica, caratterizzata dal minore margine di sicurezza. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della stabilità del pendio deve essere valutata e motivata dal progettista.

In terreni saturi e in siti con accelerazione orizzontale massima attesa $a_{max} > 0,15g$, nell'analisi statica delle condizioni successive al sisma si deve tenere conto della possibile riduzione della resistenza al taglio per incremento delle pressioni interstiziali o per decadimento delle caratteristiche di resistenza indotti dalle azioni sismiche.

Nell'analisi di stabilità di frane quiescenti, che possono essere riattivate dall'azione del sisma, si deve fare riferimento ai valori dei parametri di resistenza attinti a grandi deformazioni. L'eventuale incremento di pressione interstiziale indotto dal sisma, da considerare in dipendenza della natura dei terreni, deve considerarsi uniformemente distribuito lungo la superficie di scorrimento critica.

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Le analisi del comportamento dei pendii in condizioni sismiche possono essere svolte anche mediante il metodo degli spostamenti, in cui la massa di terreno potenzialmente in frana viene assimilata ad un corpo rigido che può muoversi rispetto al terreno stabile lungo una superficie di scorrimento. Il metodo permette la valutazione dello spostamento permanente indotto dal sisma nella massa di terreno potenzialmente instabile.

L'applicazione del metodo richiede la valutazione dell'accelerazione critica, che deve essere valutata con i valori caratteristici dei parametri di resistenza, e dell'azione sismica di progetto, che deve essere rappresentata mediante storie temporali delle accelerazioni. Gli accelerogrammi impiegati nelle analisi, in numero non inferiore a 7, devono essere rappresentativi della sismicità del sito e la loro scelta deve essere adeguatamente giustificata (vedi § 3.2.3.6). Non è ammesso l'impiego di accelerogrammi artificiali.

Nel metodo degli spostamenti, la valutazione delle condizioni di stabilità del pendio è effettuata mediante il confronto tra lo spostamento calcolato per il cinematisma di collasso critico e i valori limite o di soglia dello spostamento. Le condizioni del pendio e dei manufatti eventualmente interagenti con esso possono essere riferite al raggiungimento di uno stato limite ultimo (SLV) o di esercizio (SLD) in dipendenza del valore di soglia dello spostamento. I criteri di scelta dei valori limite di spostamento devono essere illustrati e giustificati dal progettista.

Lo studio del comportamento in condizioni sismiche dei pendii può essere effettuato anche impiegando metodi avanzati di analisi dinamica, purché si tenga conto della natura polifase dei terreni e si descriva realisticamente il loro comportamento meccanico in condizioni cicliche. Per questi motivi, il ricorso alle analisi avanzate comporta indagini geotecniche adeguatamente approfondite. Per queste analisi, l'azione sismica di progetto deve essere rappresentata mediante accelerogrammi scelti utilizzando gli stessi criteri già indicati per il metodo degli spostamenti.

Fig. 15/1: Art. 7.11.3.4.2. del DM/NTC 2018.

In sostanza occorrerà procedere all'esecuzione di apposite verifiche quando “la falda freatica si trovi in prossimità della superficie (p.c.) ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo- argillosa”; per il caso in esame, come in precedenza ampiamente illustrato si sono rilevati strati e/o lenti che, seppure non estese, nè probabilmente di spessore tale da poter originare effetti rilevanti di liquefazione, si è comunque provveduto all'esecuzione di apposite verifiche numeriche. Tali verifiche sono state eseguite sulla base della appositamente eseguita indagine C.P.T.U. 1 (e saranno di seguito illustrate).

Per l'area in esame, utilizzando la Categoria di Suolo Sismico C, di cui già discusso in precedenza e che non potrà valersi per ogni singolo lotto senza le opportune verifiche puntuali/Studi di Risposta Sismica Locale; il valore di $S X a_g/g$ (PGA- Valore d'ancoraggio dello Spettro di Risposta Elastico) è pari a **0,23 g** (in realtà è pari a 0,2291 che viene arrotondato per eccesso) che deriva da $1,450 \times 0,158$ (come già riportato in relazione a Pag. 60).

In merito alle verifiche, lo scrivente vuole osservare quanto segue: l'“ambito liquefazione” è un tema complesso che non ha ancora trovato nella ricerca scientifica e nelle norme applicative una univocità ed attendibilità sufficiente, anzi si è ancora lontanissimi da tali auspicabilità qualità. D.M/N.T.C. e Normative Regionali (e/o Delibere e raccomandazioni in esse contenute) spesso contrastano notevolmente, la Regione ha affrontato il tema in maniera sistematica solamente a seguito degli eventi del sisma del 2012 che hanno visto una estesa (ed inattesa per il mondo regionale della ricerca, quando invece se ne avevano evidenze storiche che sono state, appunto colpevolmente trascurate) diffusione di questo fenomeno. La Regione nella fattispecie ha cercato di sovrastare il DM/NTC, portando ex- post a riferimento, una serie di analisi di back- up eseguite sui soli terreni dell'area del sisma del 2012, ove le deposizioni di riferimento sono ascrivibili al paleo Reno (o al paleo Panaro) e che debbono valere quindi anche per l'area in esame (e i suoi singoli lotti). Occorre però ricordare che i metodi di calcolo attualmente disponibili non sono stati creati per essere utilizzati in situazioni 3D come quelle che caratterizzano la Bassa Padana, ove cioè “tubi” di sabbie limose ed argillose” cambiano in continuazione ed a volte drasticamente (specie in corrispondenza delle terminazioni dei corpi sabbiosi, che caratterizzano anche l'area in esame) spessore e direzione e granulometria. I metodi di calcolo (che purtroppo non potranno che essere utilizzati in relazione, dato che sono gli unici disponibili!) originano da situazioni molto più semplici: 1D o al massimo 2D, dove in sostanza uno strato infinitamente esteso di sabbia è presente sotto uno strato infinitamente esteso di argille. Situazione teorica, completamente difforme da quella in esame/ da quella che normalmente caratterizza la Pianura Padana. Non ci si dovrà quindi stupire se risultanze di metodi di calcolo diversi potranno essere drammaticamente diverse. In tali condizioni, ai Professionisti non è concesso addivenire a conclusioni sufficientemente robuste! Anche il ruolo dei limi non appare indagato in maniera sufficientemente. E l'area in esame è caratterizzata anche da limi.

La back- analysis condotta sul terremoto del 2012 ha però il difetto di dover “fittare” sovrapposizioni di effetti di eventi sismici ripetutisi in tempi ravvicinati che non si può presumere debbano essere la norma e che comunque di certo non si può presupporre ricapitino con le stesse combinazioni. Nella sostanza la back- analysis, come per definizione, ricapitola solo l'evento avvenuto ed è quindi fuorviante o altamente fuorviante (nonchè errato) che debba essere utilizzata in

maniera predittiva. Ma tant'è, al di là di tutto ciò e per le sole finalità della presente relazione (ovvero non estendibili ai singoli lotti) lo scrivente si riferirà al suddetto metodo di verifica, pur non ritenendole ne sufficientemente ne correttamente legittimato o robusto, detto metodo è quello di Boulanger & Idriss 2014 che verrà più oltre descritto ed il cui uso (se non lo si fosse compreso) è “suggerito” (o meglio. È l'unico considerato/indicato) dalla Regione. Si proporranno comunque anche considerazioni su verifiche condotte con un altro metodo, quello di Robertson & Wride/NCEER 2009

Tutto ciò considerato si è quindi proceduto all'esecuzione di alcune verifiche utilizzando appunto i Metodi di verifica di Boulanger & Idriss 2014 e di Robertson & Wride /NCEER 2009, utilizzando le risultanze (SXAg/g, ovvero Peak Ground Acceleration) derivanti dalla Categoria di Suolo C ed i valori di Mw pari a 6,14- 5,90 e 5,20 il cui significato è stato ampiamente illustrato in relazione. I risultati di dette verifiche sono i seguenti:

Metodo di Boulanger & Idriss 2014		
Mw	ILP	Cedimenti, in cm. circa.
6.14	13.6	1 < cm.
5.90	12.6	1 < cm.
5.20	9.8	1 < cm.

Tab. 6.

Metodo di Robertson & Wride/NCEER 2009		
Mw	ILP	Cedimenti, in cm. circa.
6.14	8.7	Circa 0,6 cm.
5.90	6.7	Circa 0,5 cm.
5.20	1.4	///

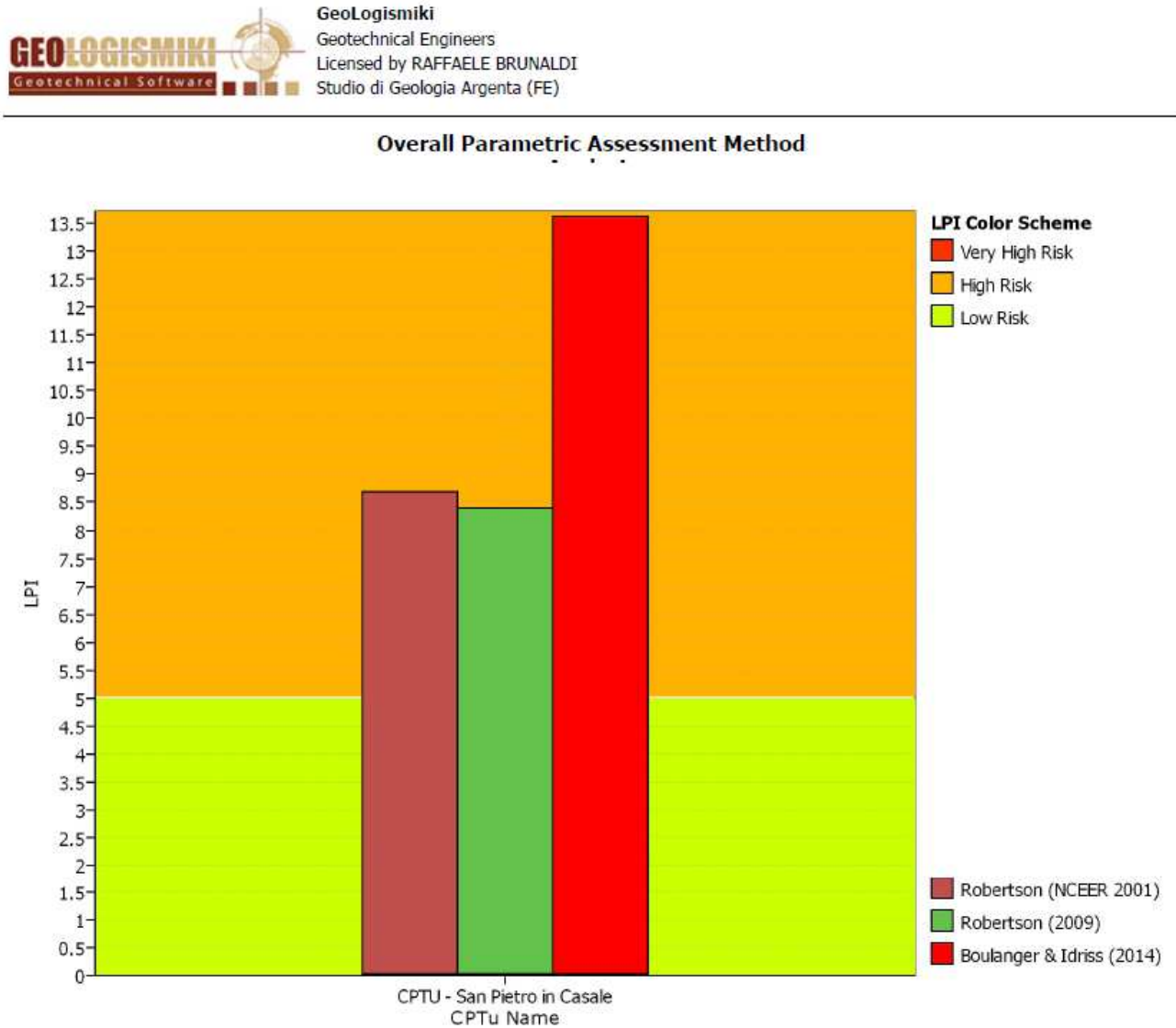
Tab. 7.

Riferendosi al Metodo di Boulanger & Idriss 2014 i terreni di fondazione denotano un ALTO Potenziale di Liquefazione, infatti L'apposita Delibera Regionale (già citata in precedenza) riporta le seguenti indicazioni qualitative:

$I_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

Riferendosi al Metodo di Robertson & Wride/NCEER 2009 i terreni di fondazione denotano un Potenziale di Liquefazione compreso fra Basso e Alto in dipendenza del valore di Mw

Volendosi riferire al connesso rischio complessivo si rimanda al prosieguo della presente relazione, certamente non si potrà non notare la difformità delle risultanze derivanti dai due metodi di verifica utilizzati, che di seguito vengono riportate in forma grafica.



:: CPT main liquefaction parameters details ::

CPT Name	Earthquake Mag.	Earthquake Accel.	GWT in situ (m)	GWT earthq. (m)
CPTU - San Pietro in	6.14	0.23	2.00	1.00

Fig. 15/2: divergenza dei vari Metodi di calcolo.

La divergenza non è sicuramente accettabile, il “suggerimento” della Regione Emilia-Romagna nell'utilizzare il Metodo di Boulanger & Idriss 2014 si ritiene debba essere decisamente corroborato da diverse risultanze sperimentali e da ulteriori approfondimenti, riferendosi infatti al Metodo di Robertson & Wride/NCEER 2009 si potrebbe concludere che adottando i necessari accorgimenti, l'edificazione possa essere affrontata in maniera accettabile. Il Metodo altamente penalizzante di Boulanger & Idriss 2014 pare suggerire invece il contrario, si osservi infatti che anche la valutazione dei cedimenti post- sismici derivanti da liquefazione è molto elevata.

In definitiva, tutto considerato, occorrerà che per l'intera area in esame, ogni singolo intervento di edificazione preveda l'attenta definizione di un corretto modello di Risposta Sismica Locale (R.S.L.) la corretta raccolta di un sufficiente numero di campioni di terreno sui quali eseguire apposite analisi di Laboratorio Geotecnico aventi come scopo precipuo la definizione del comportamento alla liquefazione degli orizzonti saturi granulari localmente rilevati ed infine occorrerà eseguire apposite attente ed approfondite verifiche numeriche alla liquefazione. A tal fine si necessiterà di scegliere quale sia il metodo di verifica correttamente utilizzabile. Chiaramente alcune delle suddette operazioni potranno/potrebbero essere realizzate per l'area di lottizzazione, ad esempio appare forse superfluo che ogni singolo lotto veda l'esecuzione di un sondaggio stratigrafico ma probabilmente l'intera area potrebbe essere caratterizzata (oltrechè da ulteriori indagini, meglio se del tipo C.P.T.U.) da alcuni sondaggio stratigrafici (probabilmente in numero di 4). Data poi l'entità dei valori di ILP allo stato attuale calcolati sulla base delle risultanze della C.P.T.U. 1 si vuole osservare che lo Studio di R.S.L. dovrà essere realizzato in maniera particolarmente oculata per cui si suggerisce che le indagini integrative da realizzarsi (C.P.T.U., Sondaggi ecc.) abbiano come fine un attento approfondimento della questione. Profondità di indagine, qualità delle stesse e qualità delle indagini di Laboratorio Geotecnico non dovranno essere lesinate. Si vuole ricordare che una corretta definizione di un robusto modello di Risposta Sismica Locale non può prescindere dall'esecuzione di un certo numero di indagini puntuali tomografiche.

Di seguito si riportano le restituzioni grafiche delle due verifiche (per la sola combinazione con $M_w=6,14$).

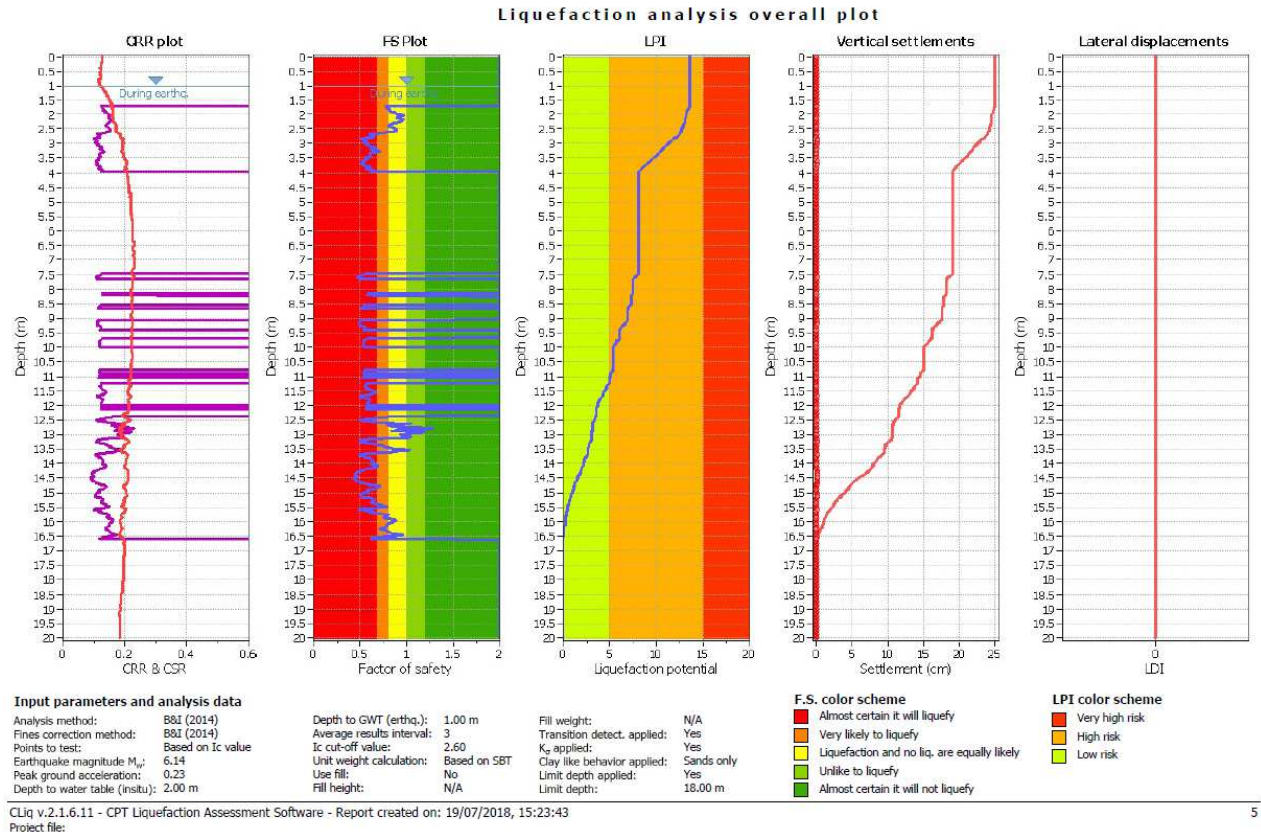


Fig. 15/3: restituzione grafica della verifica alla liquefazione per Metodo di verifica di Boulanger & Idriss 2014. $M_w = 6.14$.

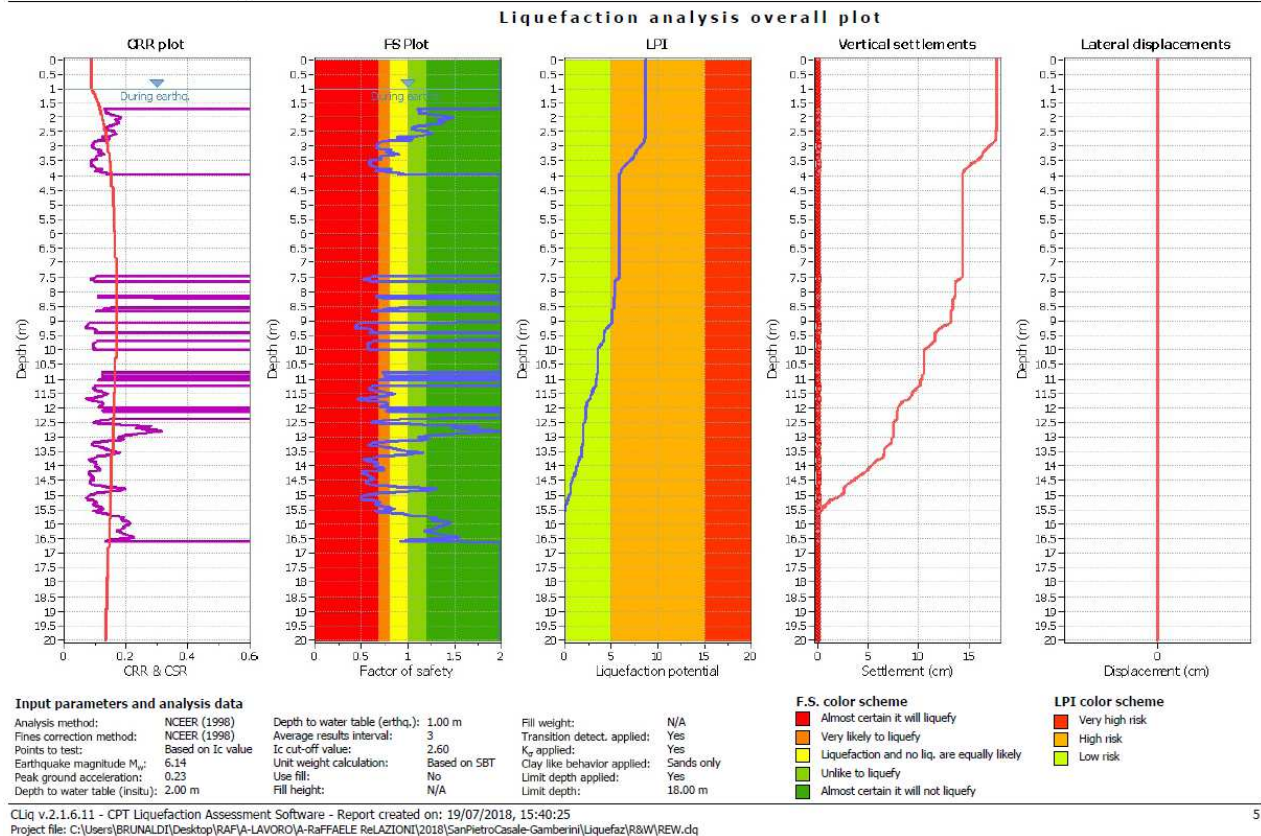


Fig. 15/4: restituzione grafica della verifica alla liquefazione per Metodo di verifica di Robertson & Wride / NCEER 2009. $M_w = 6.14$.

Si è comunque anche ad osservare come le sopra riportate risultanze numeriche siano valide solo per i pressi del punto di esecuzione della C.P.T.U. 1 e, mentre possono/debbono senz'altro ricondurre alle debite attenzioni (sopra elencate) per l'intera area in esame non possono assolutamente essere estrapolate come numeri puri all'intera area di lottizzazione.

Come già scritto poco sopra, per l'intera are di lottizzazione si rendono invece indispensabili opportune analisi e verifiche sia nello spirito di quanto riportato dagli strumenti di pianificazione (pur con le loro contraddizioni, anzi a maggior ragione) che del DM/NTC che regola le singole edificazioni.

Oltre alla già precedentemente riportata cartografia di P.S.C. si riporta anche l'ulteriore stralcio che, in conformità a quanto testè prescritto, ribadisce la presenza di terreni predisponenti la Liquefazione (il fatto che purtroppo i documenti delle varie fasi di pianificazione non siano sempre fra di loro congruenti, allo stato attuale non deve costituire elemento di criticità data la situazione di riferimento illustrata in relazione).

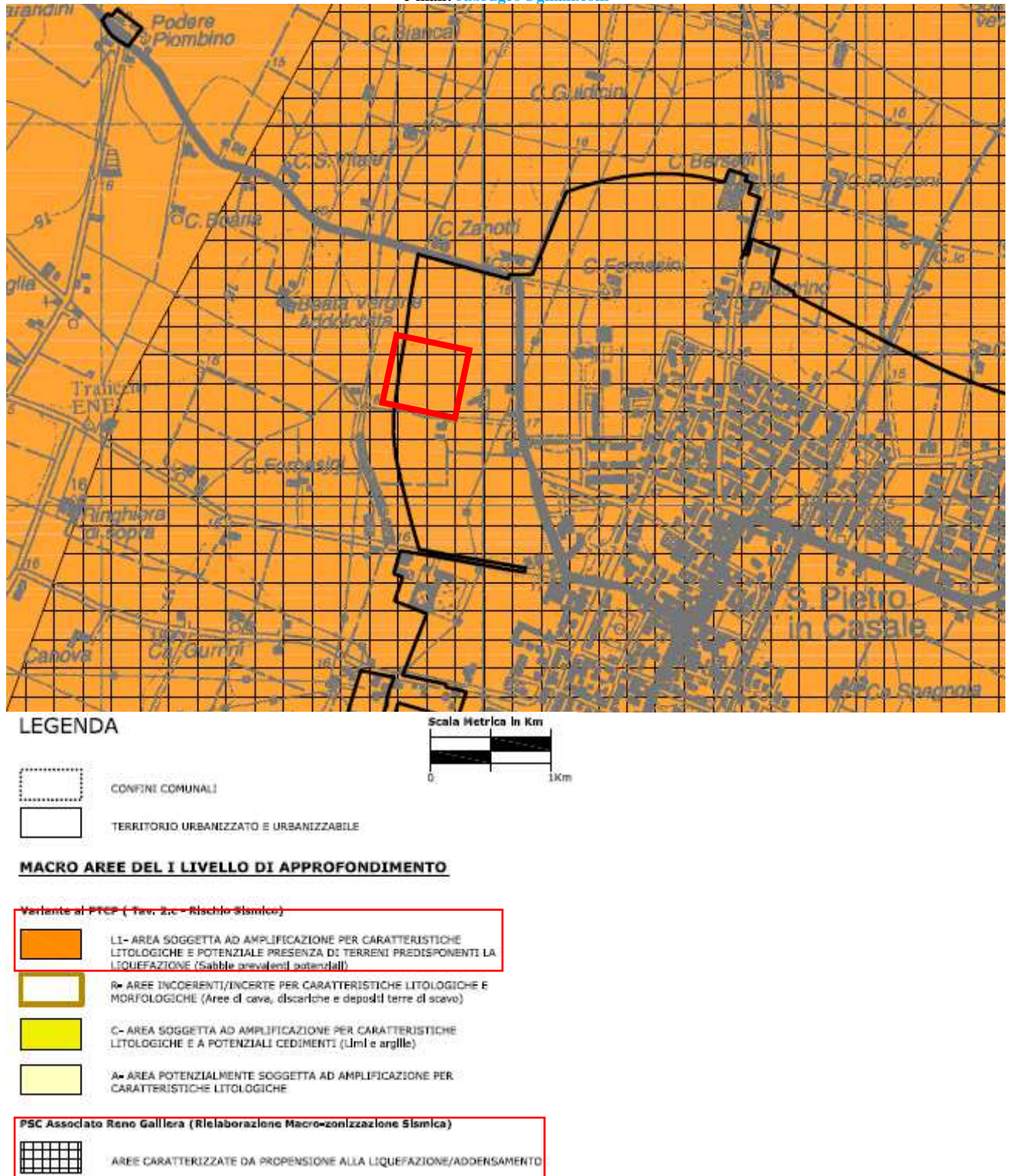


Fig. 15/5: stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. A: Pericolosità Sismica, Tavola Sovracomunale delle Aree Suscettibili di Effetti Locali del P.S.C. Reno, Galliera- Terre di Pianura.

Anche il P.T.C.P. della Provincia di Bologna conferma che l'area in esame è ubicata su terreni potenzialmente liquefacibili (come riportato alla seguente figura) e specifica meglio le modalità di intervento (come più oltre riportato per le Aree L1).

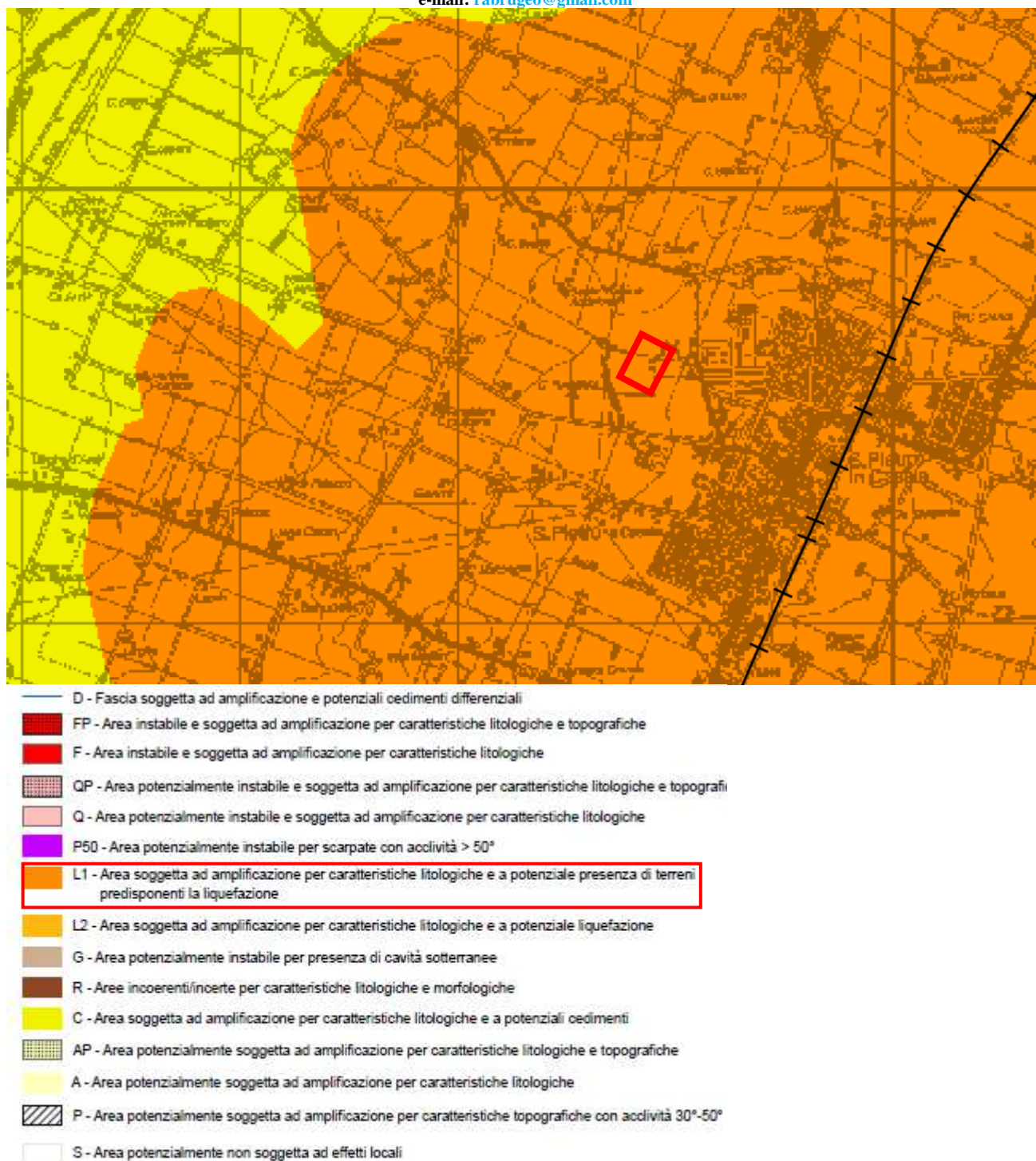


Fig. 15/6: Stralcio della Tav. 2C: Rischio Sismico, Carta delle aree suscettibili di effetti locali e Legenda. Scala Libera (tratta dall'apposito sito provinciale). L'area in esame è individuata come L1: potenzialmente soggetta ad amplificazione, ed è anche individuata la potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione.

Di seguito si riporta la parte dell'Art. 6.14 relativa alle zone L1, alla quale appartiene l'area in esame secondo la cartografia di cui sopra.

L1. - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione

Sabbie prevalenti potenziali

Studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e verifica della presenza di caratteri predisponenti la liquefazione (approfondimenti preliminari di III livello nelle fasi di POC e/o di PUA).

Qualora gli esiti degli approfondimenti preliminari condotti in sede di pianificazione comunale confermino la presenza di terreni predisponenti la liquefazione si dovrà assumere come riferimento la successiva zona L2. In caso contrario, tali aree assumeranno le caratteristiche di zone A o C in funzione della pericolosità sismica locale effettivamente rilevata.

5.1 Considerazioni generali circa il fenomeno liquefativo:

Da quanto riportato in relazione, ogni singolo lotto dovrà essere attentamente indagato da singole verifiche alla liquefazione che dovranno essere condotte sulla base di indagini dirette localmente eseguite e condotte sulla base di Studi di Risposta Sismica Locale debitamente robusti e quindi basati su dati locali diretti in riferimento a stratigrafia, modelli sismici e caratteristiche dei terreni. Come già riportato è preferibile che vengano eseguite S.C.P.T.U./C.P.T.U. Si dovrà poi individuare il corretto Metodo di Verifica che dimostri di aderire il più possibile alla realtà geologico/stratigrafica locale. Si dovrà adottare valori di $M_w = 6,14$ ma si consiglia altresì di ripetere le stesse verifiche anche per i valori di M_w localmente maggiormente attendibili (come da apposito studio di disaggregazione riportato anche alla presente relazione) e di riportare considerazioni circa i risultati corrispondenti. Valutando gli eventuali valori dell'ILP (Indice di Potenziale Liquefazione) in relazione al Rischio accettabile, agli spessori potenzialmente liquefacibili ed alle possibilità di mitigazione degli effetti (sostanzialmente cedimenti post- sismici che dovranno essere attentamente valutati nelle loro dimensioni) che potranno eventualmente mettersi in opera all'atto della progettazione e realizzazione dei singoli interventi edilizi.

Si deve infatti considerare che il Rischio complessivo deriva (secondo quanto universalmente accettato, per esempio nelle nozioni di Protezione Civile e quindi, si deve desumere, anche di pianificazione, ad esempio legata a Studi di MS) dalla seguente equazione:

$R = P \times V \times E$, dove:

R= Rischio;

P= Pericolo o Pericolosità;

V= Vulnerabilità;

E= Esposizione.

La **Pericolosità** ovvero il **Pericolo** è legato al fenomeno, nel caso in questione al fenomeno co-sismico derivante dalla liquefazione degli orizzonti saturi granulari localmente rilevati. Che, come visto localmente risulta essere Elevato (con riferimento al Metodo di verifica di Boulanger & Idriss 2014).

La **Vulnerabilità** è connessa alle caratteristiche dell'edificio da realizzare e può essere controllata, nel senso che si può agire sulle fondazioni e sulle strutture in modo tale che subiscano il minor danno possibile qualora l'evento (liquefazione) avvenga.

L'**Esposizione** dipende dagli oggetti (Vite umane, Cose contenute dagli edifici ecc.).

Evidentemente qualsiasi termine dell'equazione può modificare enormemente il risultato complessivo avvicinando o meno questo risultato a termini che possano essere ritenuti (o meno) accettabili. Ciò però non è nelle possibilità (oneri) dello scrivente. Starà alle Committenze e/o ai Progettisti valutare il Rischio complessivo di ogni singolo intervento edificatorio da realizzarsi.

La Pericolosità locale (connessa al fenomeno) può quindi essere anche ridotta (qualora esista e se i Progettisti/le Committenze lo dovessero ritenere necessario) utilizzando apposite tecniche. Si può ad esempio operare sui terreni granulari di fondazione potenzialmente liquefacibili. Pratiche discendenti dalle esperienze di ricostruzione del post sisma dell'Emilia del 2012 presentano metodi di intervento che consentono di operare in tal senso con risultati che possono essere considerati apprezzabili. Ad esempio si possono realizzare compattazioni dei terreni, si possono realizzare fondazioni profonde (pali), si possono eseguire/realizzare apposite iniezioni e/o drenaggi. Ogni eventuale intervento dovrà essere attentamente ed appositamente pensato, progettato, realizzato ed anche, molto importante, testato. Si consideri infatti che esperienze ve ne sono ma la casistica ancora non consente una progettazione scevra dal testare le performances degli interventi realizzati.

Resta poi da capire cosa si intenda, in Pianura Padana per “rischio” (in senso lato e diverso da quello sopra riportato- Rischio- e per riferirsi a ciò, più correttamente da sostituire col termine Pericolo/Pericolosità) da liquefazione, occorre tornare alle basi di applicabilità dei vari metodi di verifica (che non si sono toccati nella presente relazione), nella sostanza questi traggono origine da situazioni 2D dove sostanzialmente un letto sabbioso molto esteso è confinato verso l'alto da depositi argillosi o comunque non liquefacibili. Come ampiamente descritto l'area di Lottizzazione è invece caratterizzata da situazioni “3D”, ove le lenti o i corpi festonati granulari cambiano dimensione, spessore, forma e profondità da luogo a luogo, in tali condizioni nessuno (Ricerca, Autori) ha sinora garantito l'applicabilità dei metodi di verifica attualmente disponibili. Ma anche riferendosi alle semplici e non riscontrabili in Pianura Padana situazioni 2D, se il “rischio”/Pericolo fosse insito in cedimenti che possono essere molto rilevanti, in relazione alle spessore dei depositi ed ai meccanismi

di veicolazione laterale nelle sabbie e non confinati da “accidenti” stratigrafici quali brusche terminazioni frangiate verso le argille; in tali casi la bibliografia tecnica di riferimento riporta episodi drammatici di perdite di piano o di tilting (rigido, in dipendenza delle caratteristiche degli edifici) di interi edifici. Durante l’evento sismico dell’Emilia del 2012, non si è però registrato niente di tutto ciò, si è invece assistito a fuoriuscite di liquidi costituiti da sabbie ed acqua, da pozzi o da fratture nel terreno che hanno intasato vani più o meno interrati e/o riempito superfici varie, anche con fenomeni di risalita fluida particolarmente difficili da spiegare. Relativamente ai cedimenti, anche nei luoghi di maggior evidenza del fenomeno (San Carlo, Sant’Agostino ecc.) non si è assistito a cedimenti particolari, se non in casi particolari. In sostanza cedimenti centimetrici e/o cedimenti differenziali particolari hanno interessato solamente pochi edifici. Però le verifiche localmente eseguite sulle risultanze della C.P.T.U. 1 indicano la possibilità di cedimenti notevoli.

Cosa ci si deve quindi attendere? Infatti Se il “rischio”/Pericolo dovesse ricondursi solamente alla messa in posto di qualche metro cubo di sabbia e/o altri fluidi occorrerà considerare una adeguata protezione anche nei confronti degli impianti tecnologici che saranno ospitati nei vari edifici da realizzarsi e/o di quant’altro contenuto e passibile di danneggiamento, ma nel complesso ciò appare come una situazione sostanzialmente accettabile. La domanda resta in sospeso: cosa ci si deve attendere? (ad oggi nessuna risposta attendibile da parte della Ricerca!).

Oltre a quanto già considerato, si si prescrive di non realizzare alcun pozzo freatico e/o artesiano negli immediati pressi dei lotti ubicati nei pressi delle deposizioni granulari dell’area in esame. Purtroppo allo stato attuale delle conoscenze non si ha la possibilità di prevedere l’insorgenza di aperture nei terreni (dalle quali come detto possono sgorgare fluidi derivanti da liquefazione).

6. CONCLUSIONI

Nei limiti delle indagini eseguite (limiti ampiamente esplicitati in relazione, connessi anche al ridotto numero di indagini eseguite in questa fase), la presente relazione ha descritto i caratteri afferenti alla Scienza della Terra/Geologia caratteristici dell’area di Lottizzazione in esame (e di un suo significativo intorno), che influenzano/condizionano la possibilità di realizzare l’intervento urbanistico complessivo ed i singoli interventi edificatori (che dovranno comunque essere singolarmente ed attentamente considerati, indagati e progettati come descritto in relazione). Tali condizioni sono state esplicitate e per il tema della Liquefazione implicano la necessità di meglio dimensionare localmente il fenomeno. Allo stato attuale delle conoscenze non si può comunque concludere che tali limitazioni/penalizzazioni impediscano la realizzazione dell’intervento

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi
Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)
Tel. e fax: 0532852858, cell.:3355373693
e-mail: rabrugeo@gmail.com

complessivo di urbanizzazione e/o dei singoli interventi edificatori, ma non si può escludere che debbano essere adottati accorgimenti di un certo rilievo economico.

Argenta, lì 19/07/2018

Geologo Raffaele Brunaldi