

Piano di Lottizzazione

Elaborato:

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

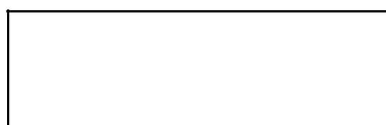
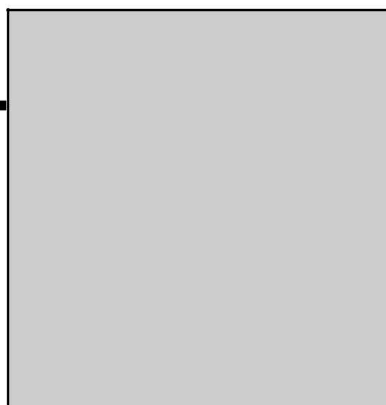
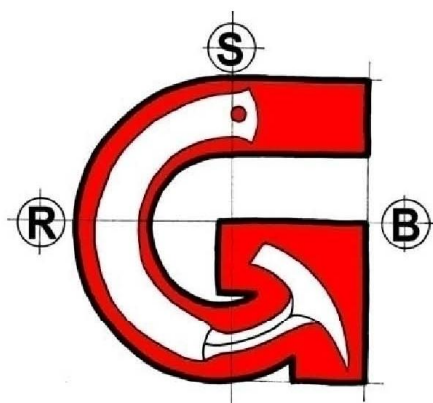
Località:

XII Morelli, Via Maestra Grande n.20 Comune di Cento (FE)

Committente:

AXO OCRIM S.r.l.

XII Morelli, Via Maestra Grande n.20



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. Nella presente documentazione si ritroveranno i contenuti richiesti dall'apposita Normativa Regionale che sottende i contenuti della caratterizzazione sismica per i piani di lottizzazione/piani urbanistici (Delibera dell'Assemblea Legislativa N.° 112 del 02/05/2007: Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico: "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia- Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica").

1.1 Area in esame:

L'area in esame è sita a XII Morelli, frazione di Cento (FE), sul fianco Sud dell'attuale capannone di proprietà della Committenza. L'area è posta lunga la Via Maestra Grande (S.P. 46) al n.° 20 . Attualmente l'area è tenuta a prato incolto ed è pianeggiante. Gli intorno dell'area in esame sono costituiti da terreni agricoli, sul fianco Sud dell'attuale capannone e quindi fra l'area in esame e la S.P. 46 sono presenti tre edifici rurali (abitazione fienile ed altro stabile). L'area complessiva di indagine, come sarà evidenziata agli appositi allegati è posta a quote indicative di 12,70 m circa s.l.m.m.

In passato, come si può evincere anche dallo stralcio del Foglio C.T.R. (alla scala 1: 5 000) 204 141 (che verrà di seguito riportato), l'area era occupata da un classico macero agricolo. Tali elementi erano molto diffusi e lo sono ancora (come si potrà vedere dai seguenti allegati grafici) nelle campagne circostanti. Già quindi dall'analisi della cartografia di riferimento si può individuare un primo elemento che potrà eventualmente condizionare l'edificabilità dell'area in esame. Di tale passato elemento occorrerà tenere debito conto all'atto della distribuzione e della progettazione e realizzazione dei vari interventi che si dovranno localmente edificare. Sarebbe bene poter determinare il perimetro di tale macero e concentrarsi in fase di progettazione/realizzazione all'analisi delle eventuali limitazioni più o meno superficiali che tale passata presenza può tuttora comportare.

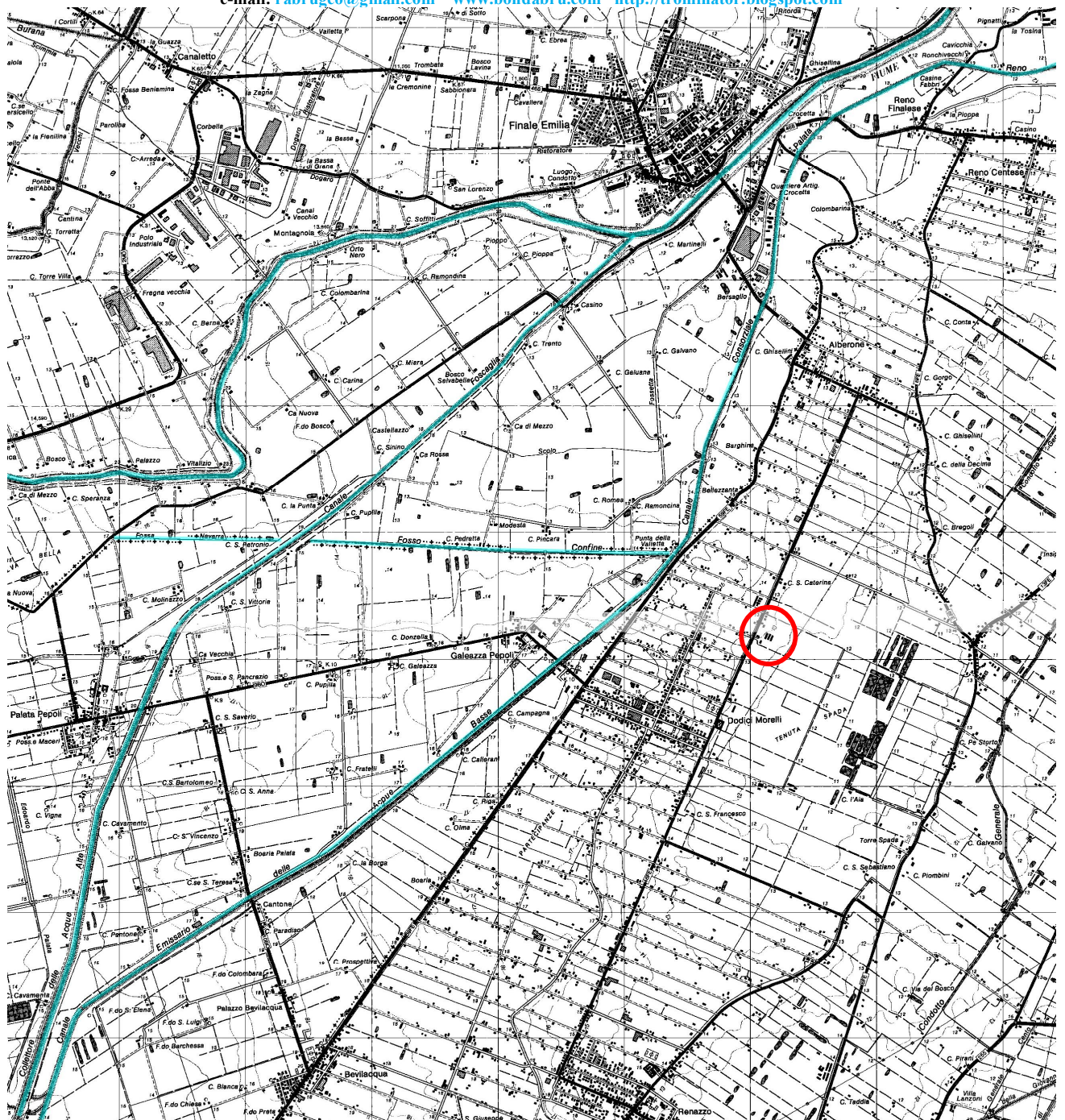


Fig. 1: Ubicazione dell'area in esame, su base cartografica C.T.R. alla scala 1: 25 000. Scala libera. Si sono evidenziati il reticolo idraulico locale costituito dai maggiori corpi idrici.

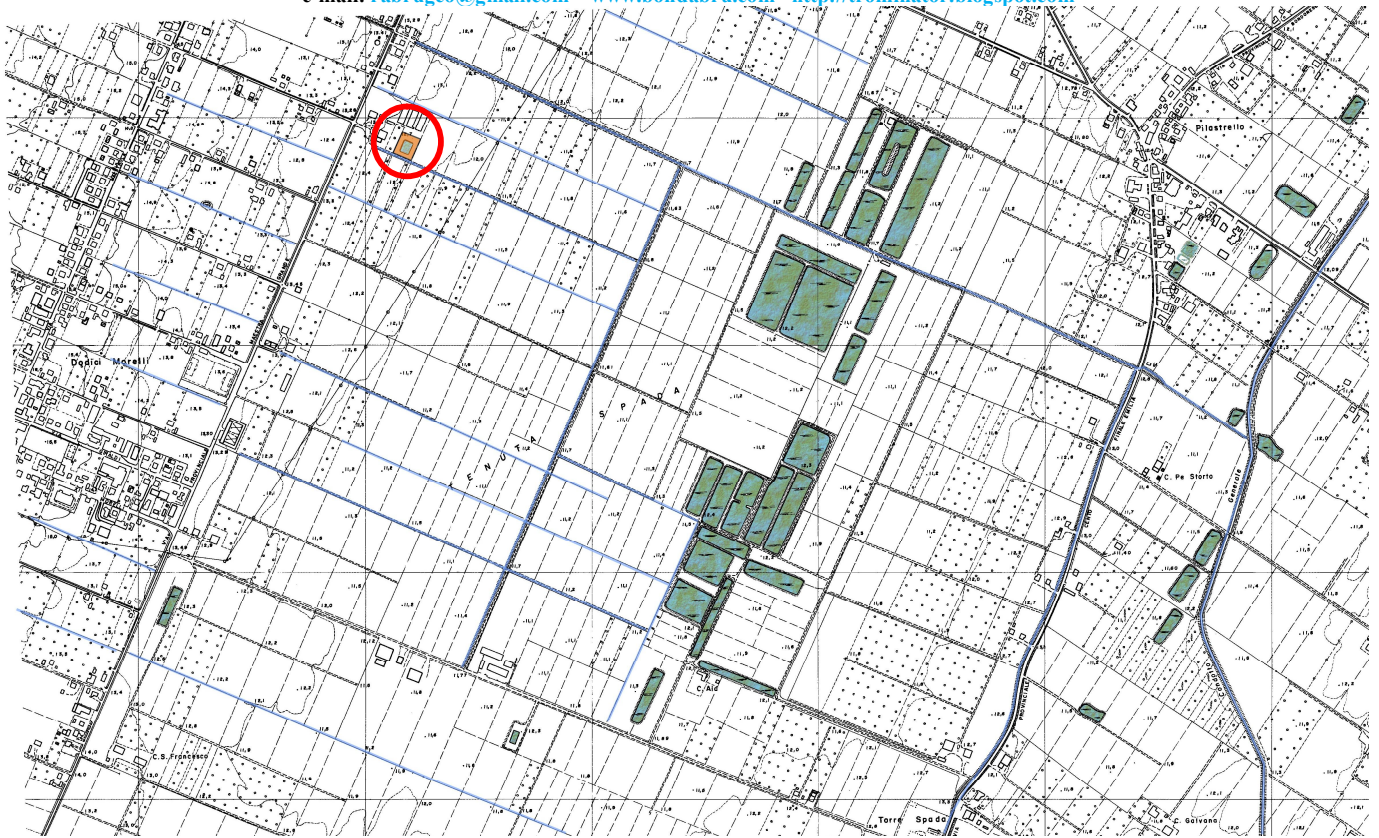


Fig. 2: Ubicazione dell'area in esame, su base cartografica C.T.R. alla scala 1: 5 000. Scala libera. Si sono evidenziati il reticolo idraulico locale costituito dai corpi idrici secondari quali scoli e scoline e fossi agricoli che scolano verso Est.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi
Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)
Tel. e fax: 0532852858, cell.:3355373693

e-mail: rabruege@gmail.com www.bondabru.com <http://trominator.blogspot.com>

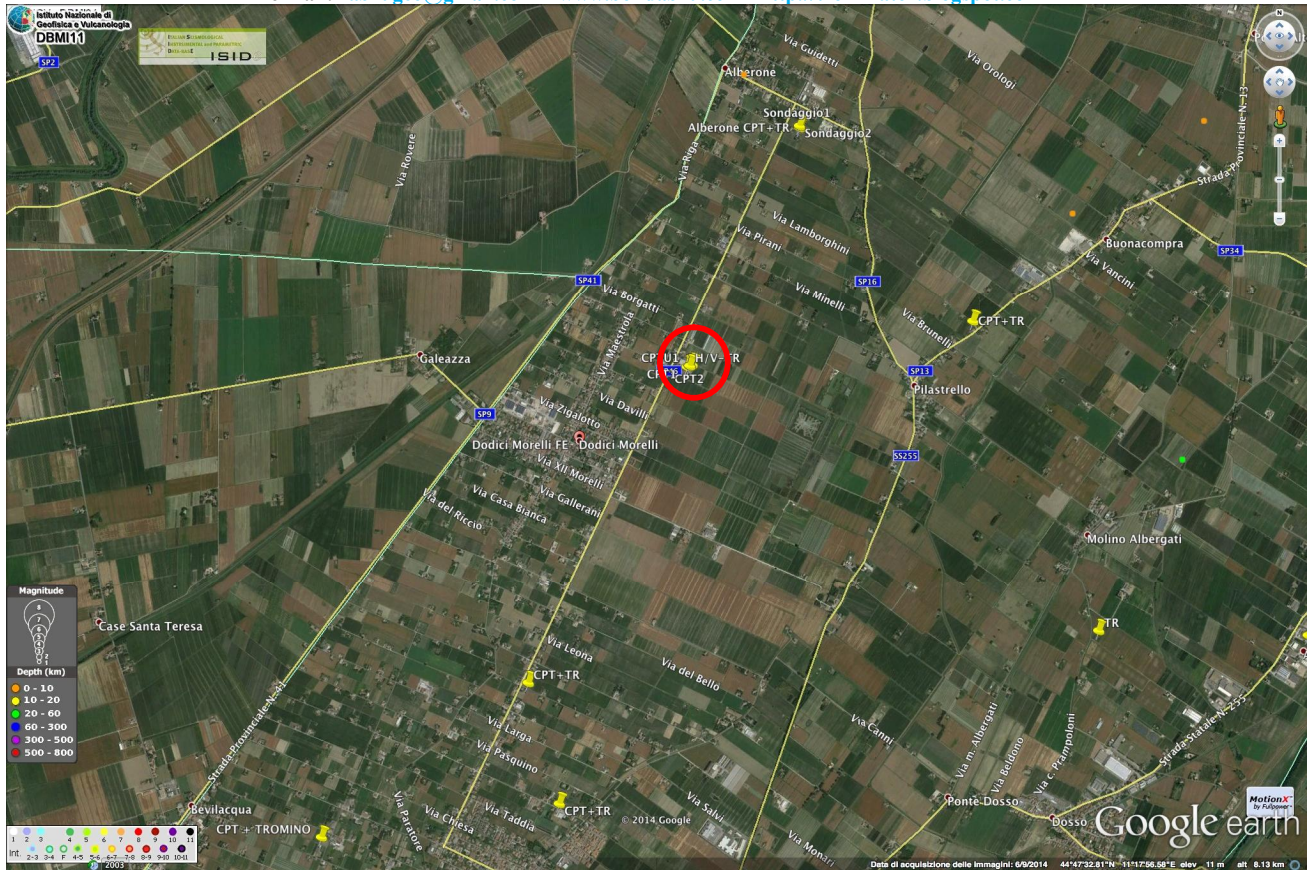


Fig. 3: Ubicazione dell'area in esame su orto- foto aeree tratte da Google Earth ©, a scale varie. Si sono riportati i caratteri geomorfologici locali relativi ai dossi più o meno ancora localmente individuabili, perlomeno da foto aeree e che sono caratterizzati da paleo- deposizioni granulari superficiali che come si può vedere non interessano l'area in esame. Si sono anche riportati altri punti di indagine in possesso dello scrivente e relativi ad aree attigue a quella in esame. I piccoli puntini arancione rappresentano le individuazioni locali degli epicentri di varie scosse del maggio- giugno 2012. Nella fattispecie si possono indicare le ubicazioni dei pressi di Alberone, Buonacompra, Molino Albergati. Ubicazioni site a pochi Kilometri dall'area in esame.

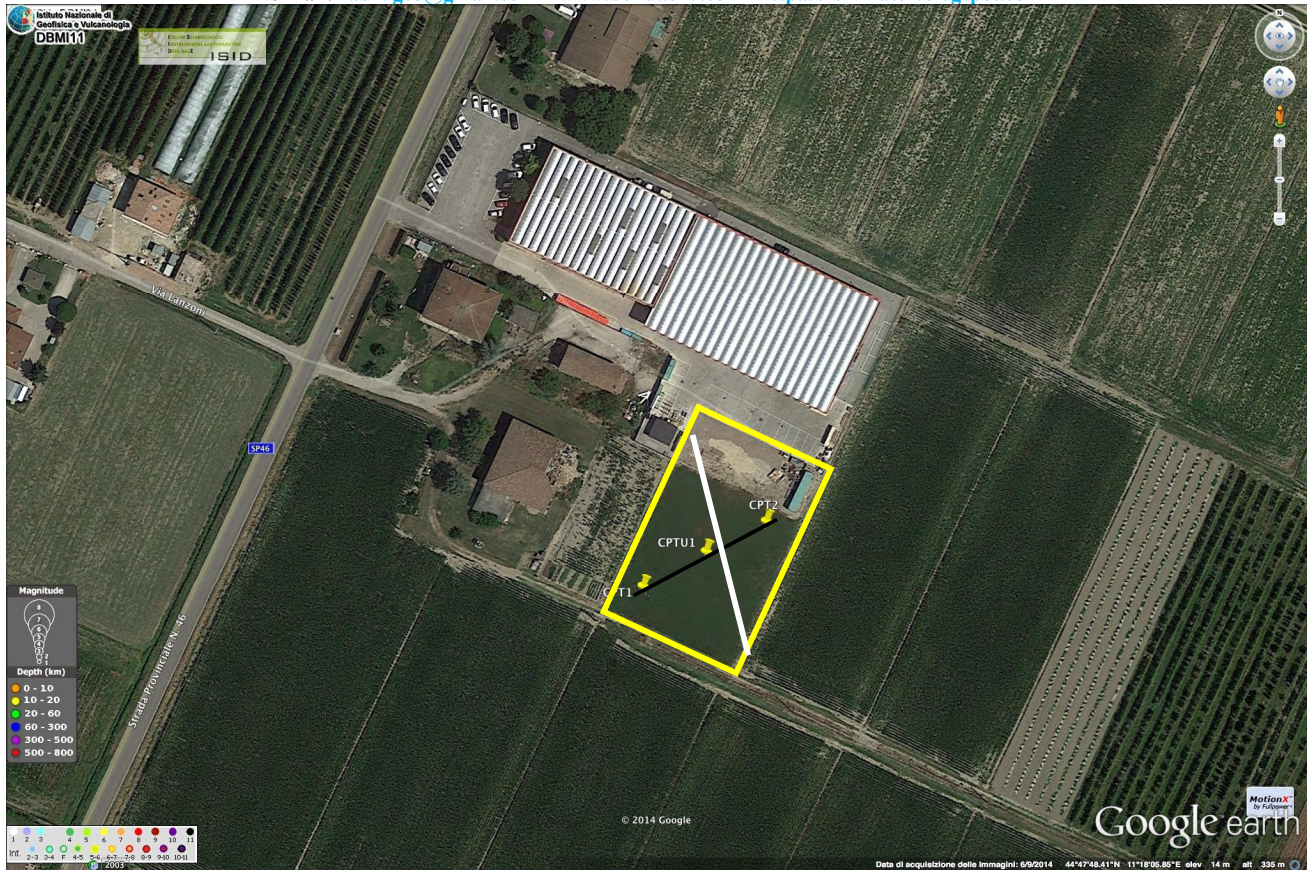


Fig. 3: Ubicazione a Scala Libera dei punti di indagine locale eseguiti sull'area in esame (anch'essa indicata). Immagine tratta da Google Earth ©. La linea nera è la traccia della Sezione Locale, di cui alla Fig. 20 alla quale si rimanda. In bianco la traccia dello stendimento geofisico Re.Mi. M.A.S.W. di cui si dirà all'apposito punto della presente relazione (al quale si rimanda).

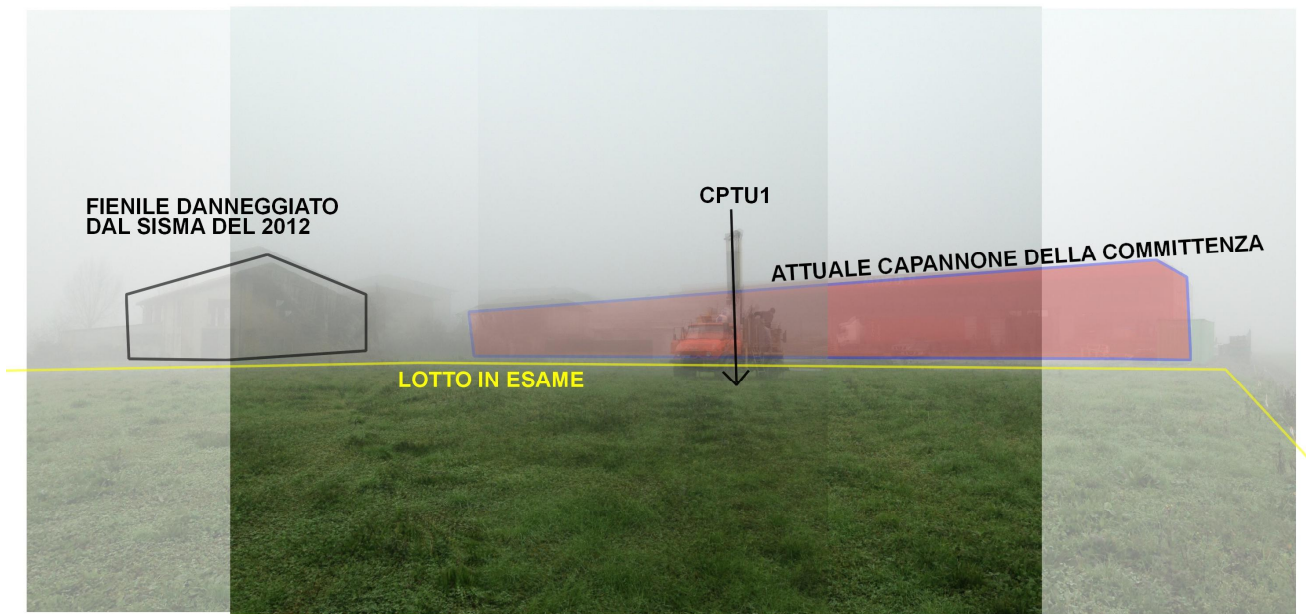



Fig. 3 Bis: Ubicazione del punto di indagine della C.P.T.U. 1. La foto è stata eseguita in una giornata di nebbia, la prospettiva è ingannevole, la C.P.T.U. è infatti stata eseguita perfettamente al centro del lotto in esame. Si consideri che il lotto è conformato a schiena d'asino. Si sono evidenziati anche l'attuale capannone della Committenza ed il fienile (non della Committenza) danneggiato dal sisma del 2012.



Fig. 4: Individuazione a Scala Libera dell'area in esame, in relazione anche alle altre ragioni della Committenza. Su rilievo trasmesso dai Progettisti allo scrivente.


 Amministrazione Provinciale di Ferrara
 Servizio Programmazione - Servizio Informatico
 Repertorio Cartografico

CARTA GEOMORFOLOGICA
 DELLA PROVINCIA DI FERRARA

Scala 1 : 100.000
 chilometri


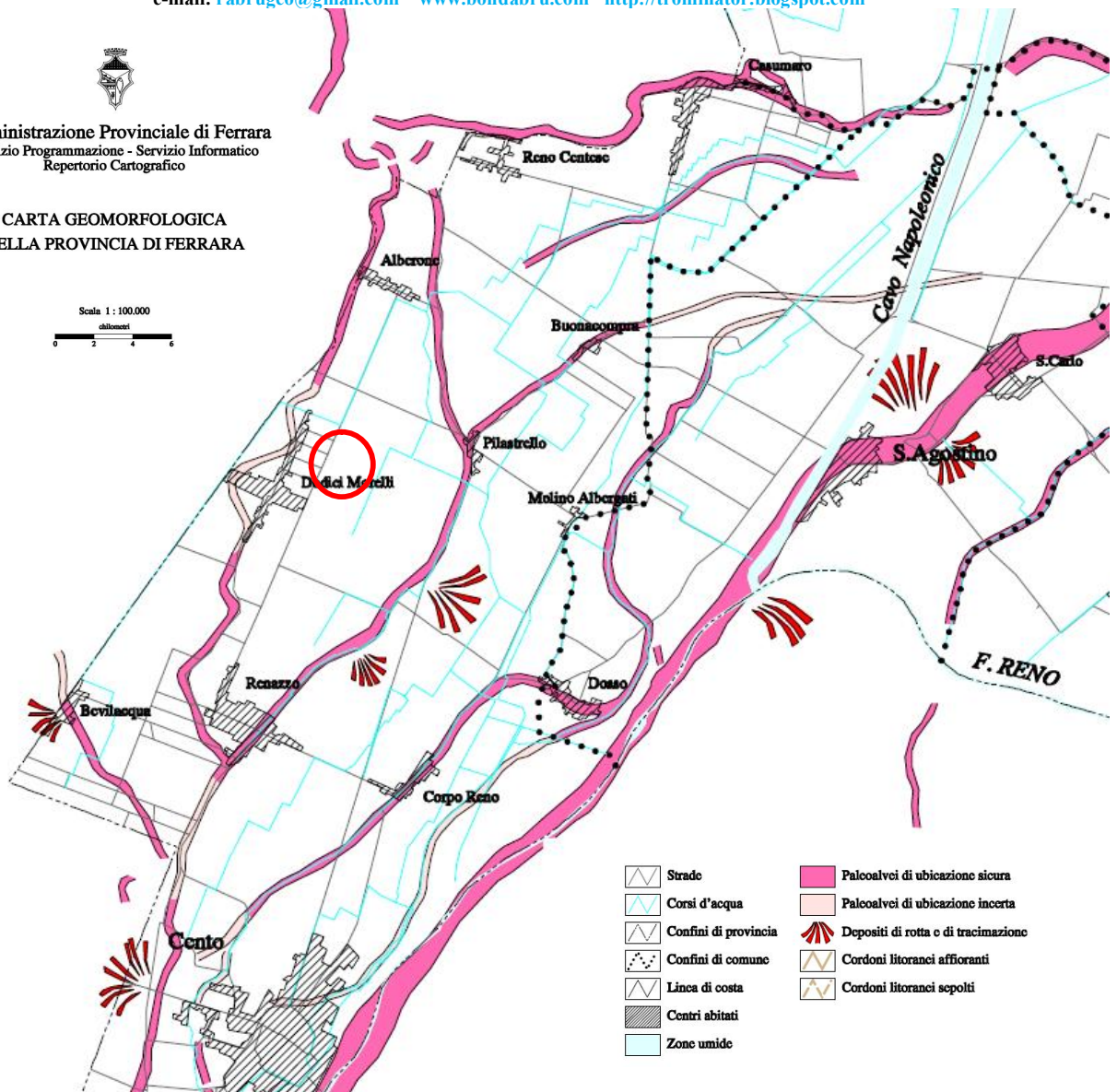
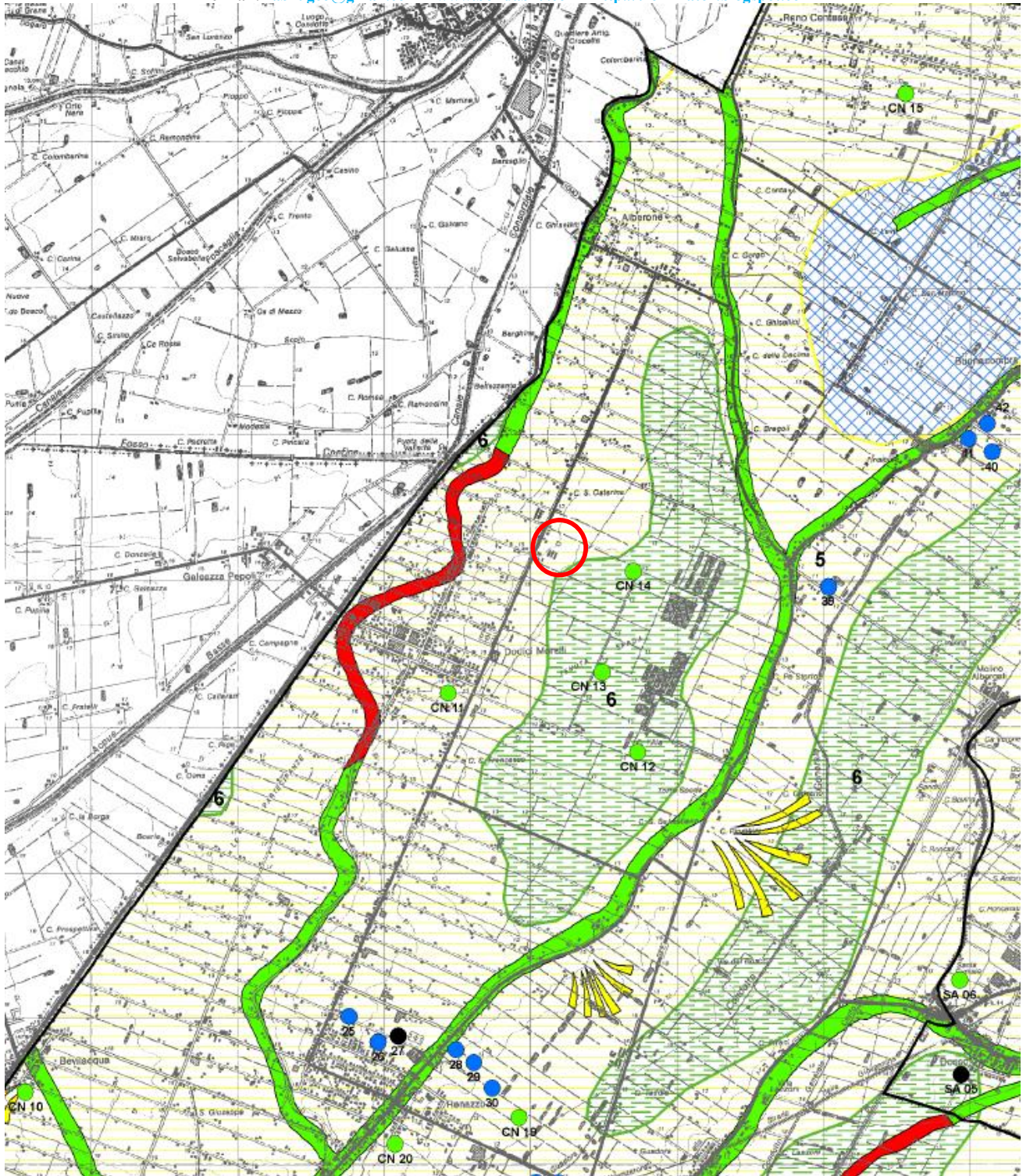
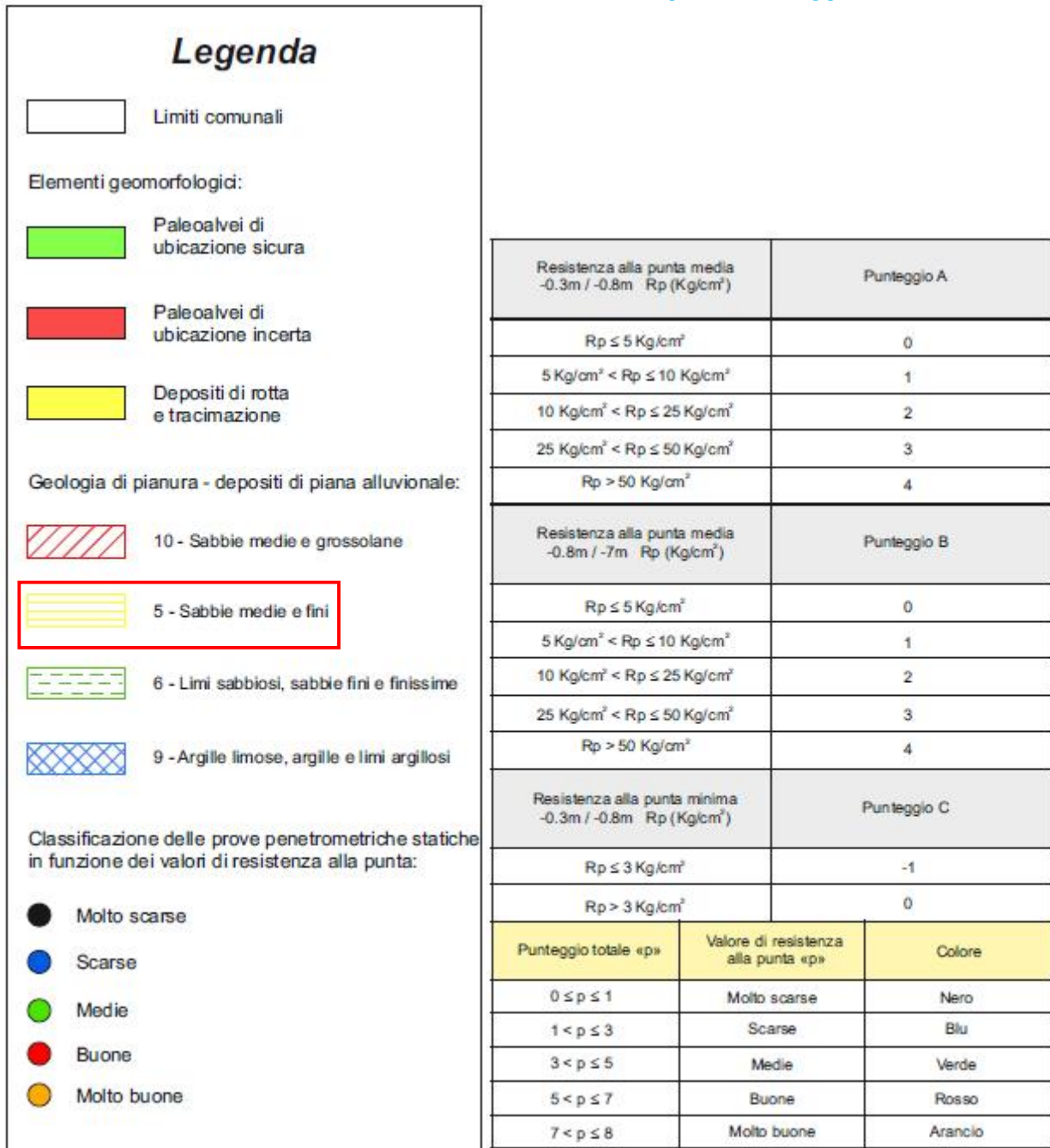
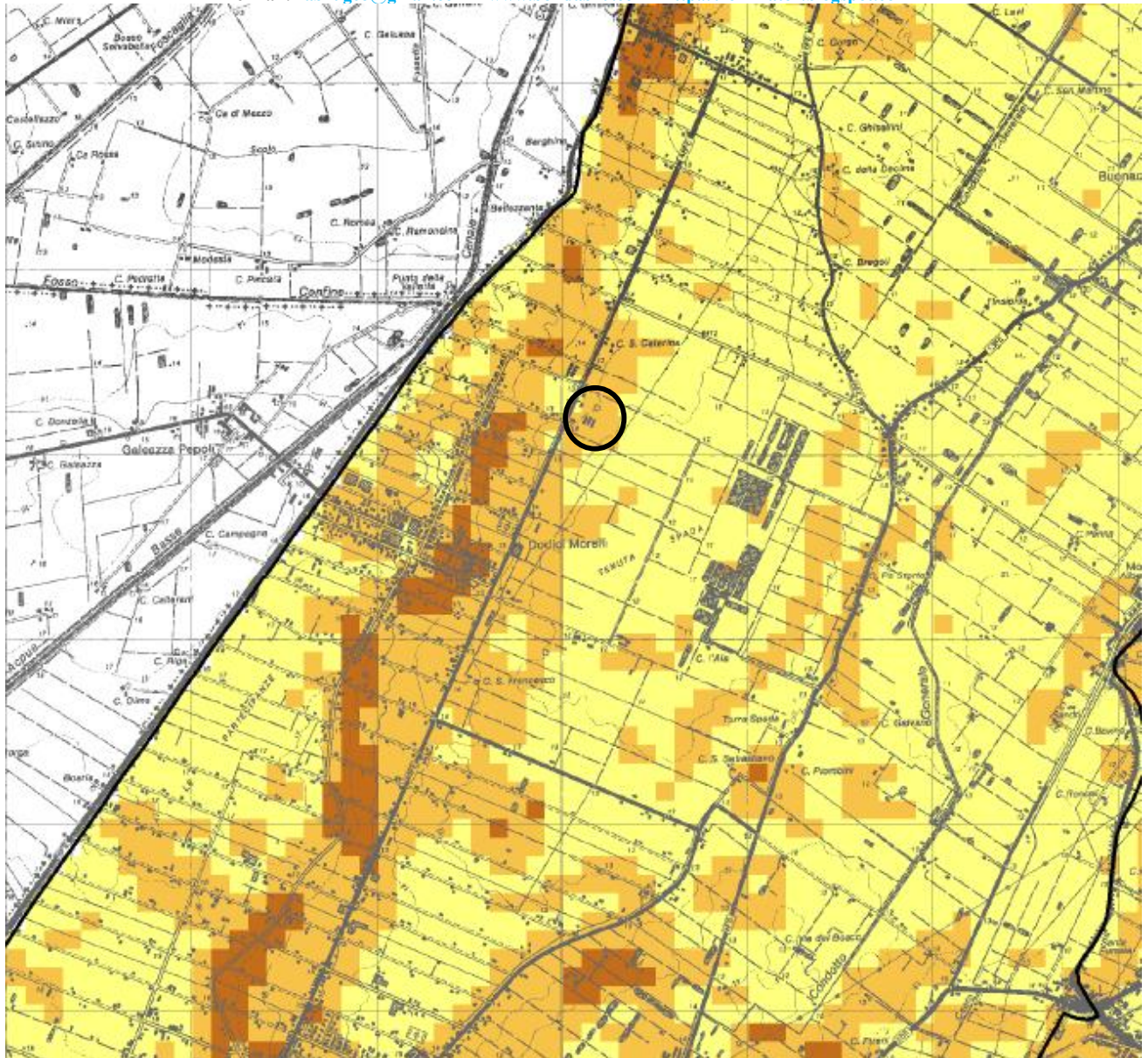


Fig. 5: Stralcio a Scala Libera della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara, dalla quale si può avere conferma come l'area in esame non sia interessata da paleo dossi e quindi da deposizioni granulari superficiali.





Figg. 6: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta Geomorfologica del Quadro Conoscitivo del P.S.C., dalla quale si evince come l'area in esame dovrebbe essere interessata da deposizioni granulari superficiali, che in realtà si vedrà più oltre non essere presenti.



Legenda

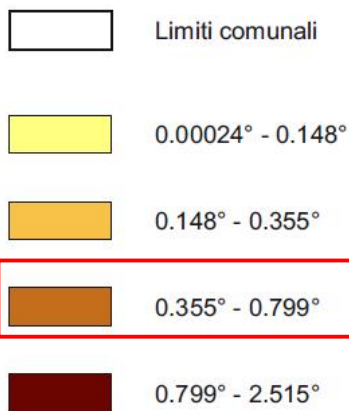


Fig. 7: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta Clivometrica del Quadro Conoscitivo del P.S.C., dalla quale si può evincere come per l'area in esame le pendenze siano modestissime e quindi si sia in presenza della parte più distale del dosso, che localmente non è sostanzialmente rilevabile.

2.1. Indagini appositamente eseguite:

L'area in esame è stata indagata, per le finalità della presente relazione dalle seguenti indagini (come sopra ubicate):

- Due prove penetrometriche statiche meccaniche C.P.T. condotte sino profondità di 20,00 m dal p.c.;
- Una prova penetrometrica statica elettrica C.P.T.U. condotta sino profondità di 20,00 m dal p.c.;
- Una indagine geofisica costituita da stendimenti di sismica attiva e passiva (M.A.S.W.+Re.Mi). Tale indagine ha complessivamente potuto indagare profondità ampiamente superiori a 30 metri.

Si è poi reperita tutta una serie di dati penetrometrici e stratigrafici di bibliografia pubblica, presenti nel data- base della Regione Emilia- Romagna.

Per l'esecuzione delle indagini penetrometriche si sono utilizzate apposite apparecchiature di tipo Gouda dotate di punta Begemann a doppio effetto atta al rilievo dell'attrito laterale ovvero dotate di punta elettrica. Le strumentazioni sono di costruzione Pagani (C.P.T.) e Deep- Drill (C.P.T.U.), sono oleoattuate e di spinta pari a 20 Ton. Le strumentazioni sono regolarmente mantenute e tarate (moduli di descrizione della metodologia penetrometrica sono presenti in allegato), le indagini sono state eseguite da apposite ditte individuate dallo scrivente.

Relativamente all'indagine geofisica, si dirà all'apposito punto al quale si rimanda.

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).

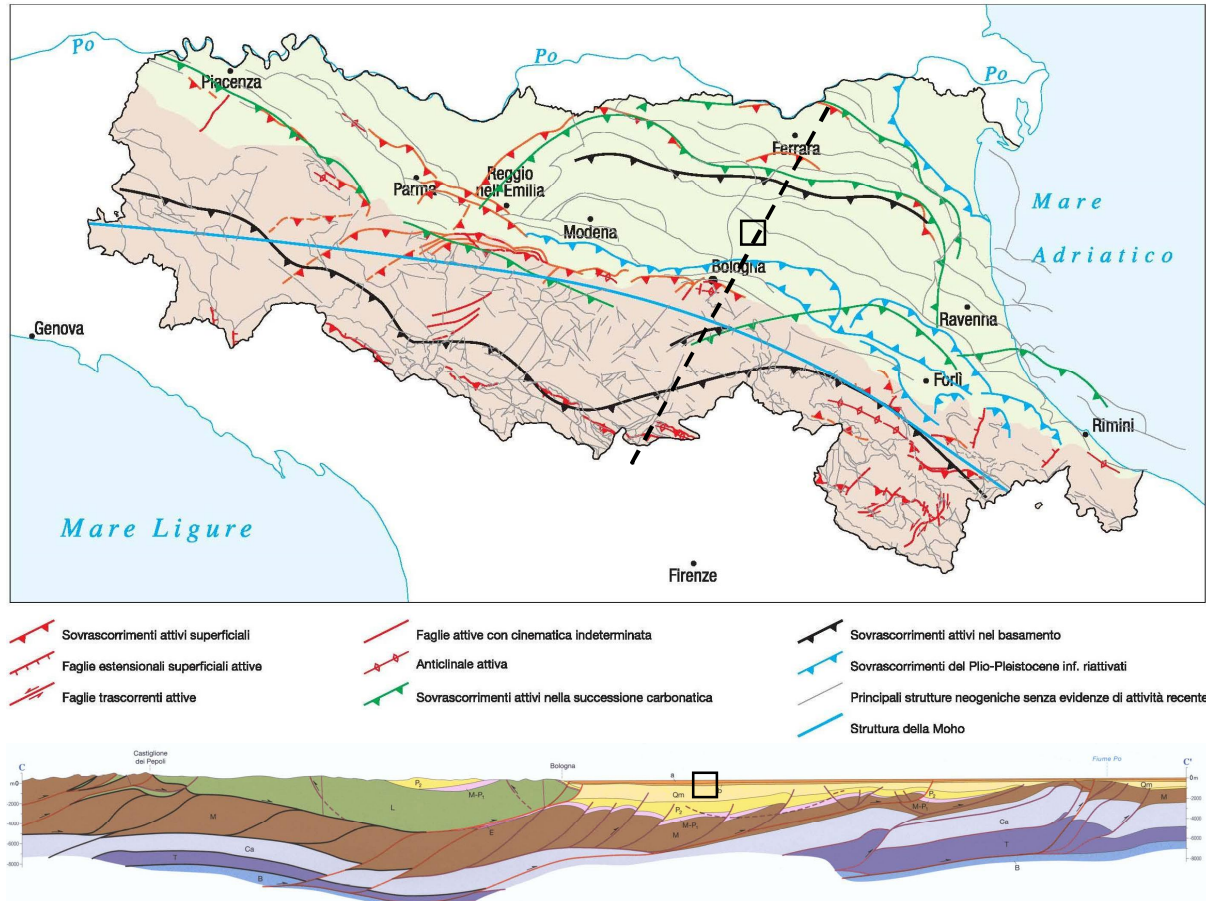


Fig. 8: Schema geologico profondo esemplificativo della Pianura Padana e Sezione geologica, con l'andamento delle pieghe e delle faglie del substrato e traccia della medesima sezione. Col quadratino nero si riporta l'area in esame.

2.1 Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame:

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) si evince come i depositi alluvionali presenti nell'area in esame siano sostanzialmente costituiti da Limi Sabbiosi (LS) o Sabbioso Limosi (SL), deposizioni da ascrivere a "Depositi di canale Distributore, Argine (più o meno distale) e Rotta" dell'ambiente deposizionale della "Piana Deltizia". Le deposizioni locali sono chiaramente ascrivibili al complesso sistema divagativo del Fiume Reno e ad episodi di rotta fluviale e/o divagazione, nonché ventagli di rotta. Tutte forme relative al periodo temporale compreso fra XI e XIV Secolo. Il principale paleo- alveo divagativo locale coincide con le S.P 10 (ad Ovest) e S.P. 16 (ad est dell'area in esame) e non interessa l'area in esame (e/o i suoi immediati pressi), il corso di tale paleo corpo è evidenziato alle

varie figure (precedentemente e di seguito riportate ed alle quali si rimanda) ed all'apposita cartografia geomorfologica (già in precedenza riportata). Comunque, negli immediati pressi dell'area in esame si rileva in realtà come i litotipi affioranti siano ascrivibili a deposizioni Argillo- Limose tipiche degli ambienti palustri e vallivi sui quali i corpi idrici scorrevano/divagavano, tale caratterizzazione descrive molto meglio il reale assetto geologico- deposizionale dell'area in esame. La quale denota infatti, come si potrà vedere dalle risultanze dell'indagine penetrometrica eseguita, che i litotipi che affiorano sono di natura argillosa e/o argillo- limosa, mentre i litotipi sabbiosi e/o sabbioso- limosi sono riscontrabili solamente da profondità maggiori di dieci metri circa dal p.c. Tali depositi si configurano come lente granulose sospese che marca una antica fase di presenza di un corpo idrico divagativo connesso col paleo Reno.

Nel complesso quindi l'area in esame è da ascriversi delle deposizioni AL (Argillo- Limose) ascrivibili ad aree interfluviali (di piana inondabile), come verrà debitamente riportato/descritto più oltre. 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.

Di seguito si riportano le apposite cartografie geologiche tratte dall'apposito sito regionale.

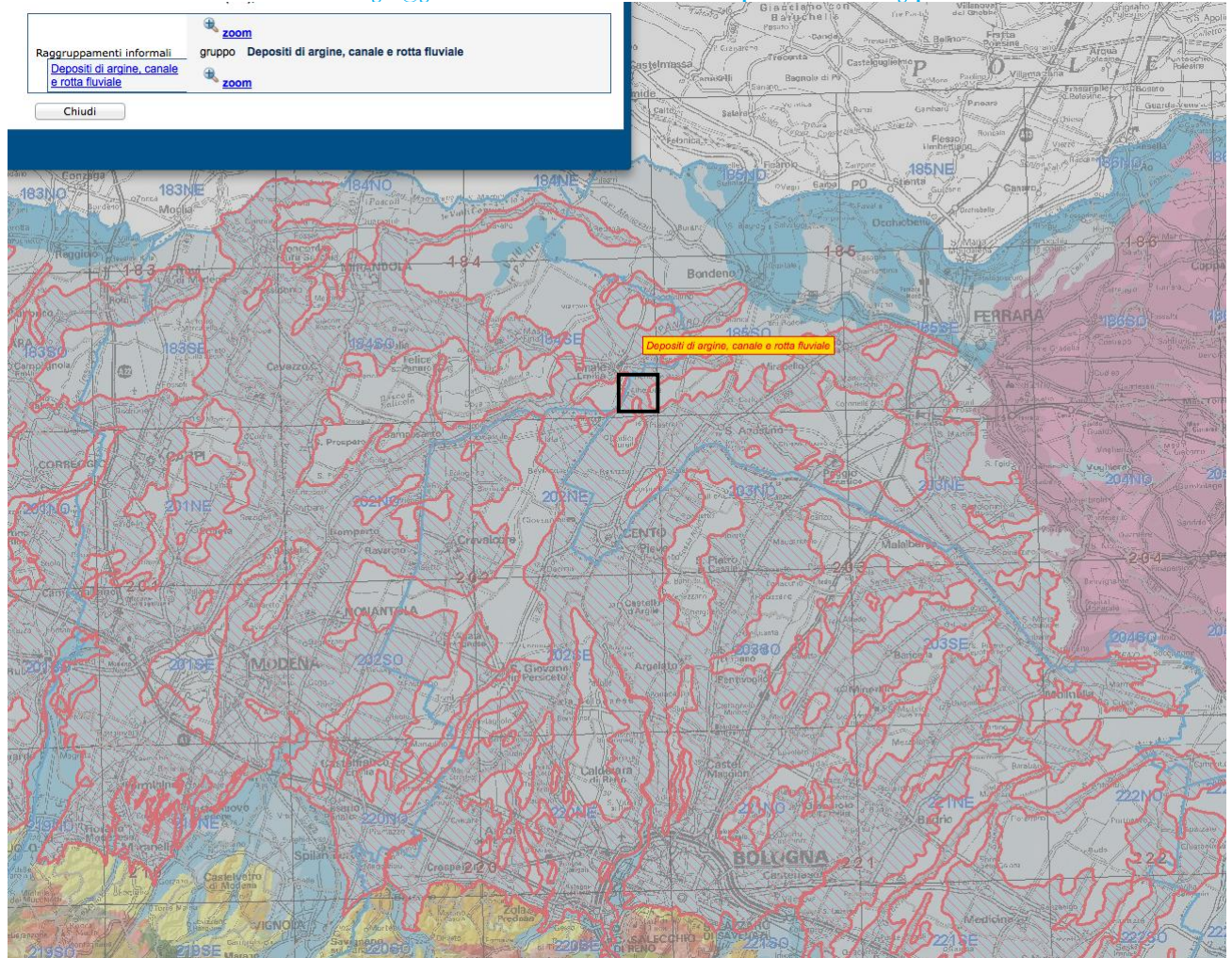


Fig. 9: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 250 000.

Ambienti deposiz. e litologie (50K) sabbia limosa di piana deltizia Unità geologiche (50K) AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena	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	SL
	tessitura	sabbia limosa
	deposito	deposito di canale distributore, argine e rotta
	ambiente	piana deltizia

Fig. 10: Descrizione della formazione SL che dovrebbe essere localmente “affiorante” sulla base di quanto riportato dall’apposito sito regionale (secondo la definizione areale che verrà più oltre riportata).

Ambienti deposiz. e litologie (10K) Argilla Limosa - Piana alluvionale Coperture quaternarie (10K) AES8a - Unità di Modena	data di ultimo aggiornamento	Poligono non aggiornato rispetto al rilievo originale
	ID IFFI	-
	livello IFFI	-
	sigla	AES8a
	legenda	AES8a - Unità di Modena
	nome	Unità di Modena
	ordine terrazzo	-
	tessitura	Argilla Limosa
	sigla tessitura	AL
	ambiente	Piana alluvionale
	deposito	Deposito di piana inondabile (area interfluviale)
	legenda tessiture	Argilla Limosa - Piana alluvionale
ubicazione	Pianura	

Fig. 10 bis: Descrizione della componente AL, ovvero dei litotipi che sono localmente “affioranti” sulla base di quanto si può evincere dalle risultanze delle C.P.T./C.P.T.U. eseguite sull’area in esame (di cui si dirà più oltre).

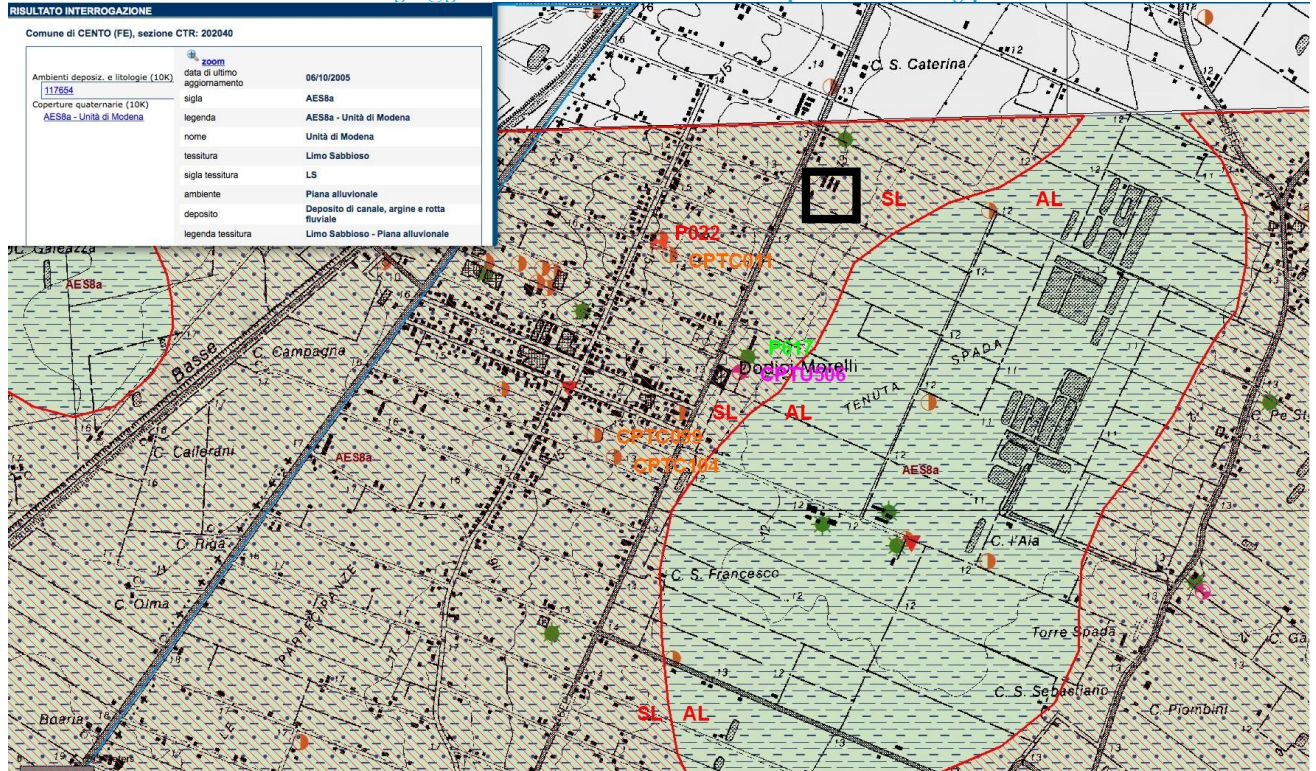


Fig. 12: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 100 000. Il quadratino nero indica l'area in esame. Sono evidenziate in rosso le deposizioni granulari delle divagazioni del paleo Reno dell'XI- XIV sec. come riportato dalla cartografia ma come non localmente rilevato dall'esecuzione delle indagini penetrometriche.

La geologia profonda (come evidenziato anche dall'immagine che sarà di seguito riportata) ubica l'area in esame in prossimità di un sovrascorrimento post- Tortoniani ad andamento sostanzialmente Est- Ovest. La base del Pliocene è compresa fra 3000 e 4000 m circa dal p.c. Queste difformità profonde sono normalmente sede di movimenti tellurici, lo sono state nel passato anche recentissimo (Maggio- Giugno 2012) e lo potranno quindi essere nel futuro.

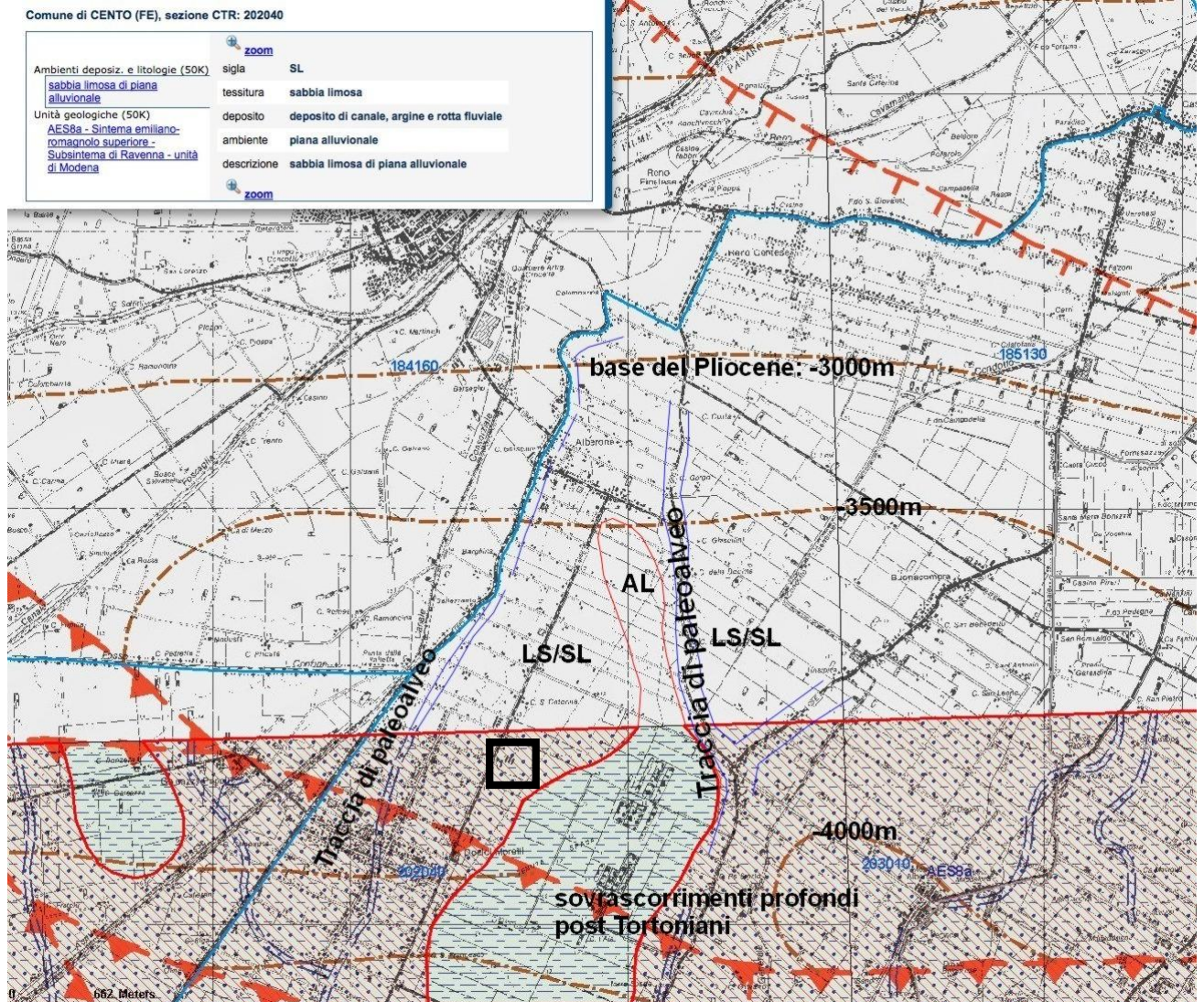


Fig. 13: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 25 000. Il quadratino nero indica l'area in esame. Si sono riportate le aree di affioramento dei vari sedimenti (modificate dallo scrivente), le indicazioni tettoniche profonde e la tracce dei paleovalvei divagativi (modificata dallo scrivente) presenti nei pressi dell'area in esame e che pur tuttavia non la riguardano.

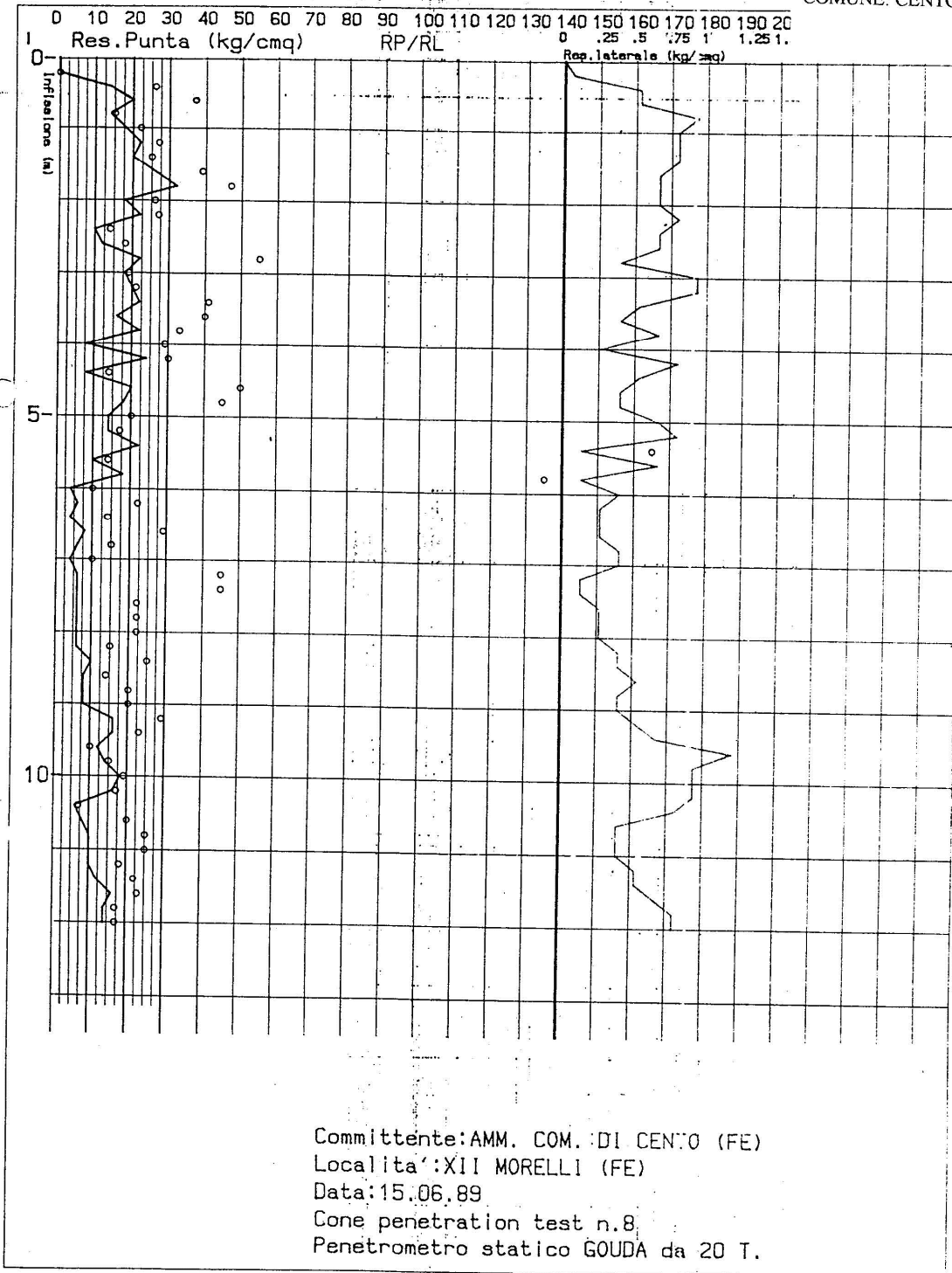
Relativamente alle varie informazioni geologiche/geomorfologiche ecc. che dovrebbero discendere dall'analisi dei dati della cartografia del P.S.C., si può confermare quanto già ampiamente riportato e che sarà descritto anche in seguito, ovvero che la presenza di litotipi granulari superficiali per l'area in esame non è riscontrabile. Ciò è appunto in contrasto con le informazioni del P.S.C., che a questo punto saranno da considerarsi come puramente indicative e soprattutto non corrette (per l'area in esame).

2.2 Litostratigrafia dell'area in esame:

Alle seguenti figure si riportano i dati stratigrafici di bibliografia reperibili all'apposito database regionale e riferibili ai pressi dell'area in esame. Le relative ubicazioni sono state riportate alla precedente Fig. 12.

06 C009

202040 C011 DATO: P
 QPC: 14,1 m PROFONDITA': 12 m
 COMUNE: CENTO



	Ricerche Geologiche Industriali	SCALA:	RP: 1 cm - 10 Kg/cm² - 980 k Pa RL: 1 cm - 0.25 Kg/cm² - 25 k Pa RT: 1 cm - 500 Kg - 4900 N RP/RL: 1 cm - 10	LEGENDA: — Rp Resistenza alla punta in Kg/cm² - - - Rl Resistenza totale in Kg - - - Ri Resistenza d'attrito laterale in Kg/cm² O Rapporto Rp/Rl
		Sede Legale: via Fondobanchetto, 17 Ufficio Tecnico: via Boccaleone, 12 44100 - FERRARA - tel. 0532/25229		

Fig. 14: C.P.T. C011.

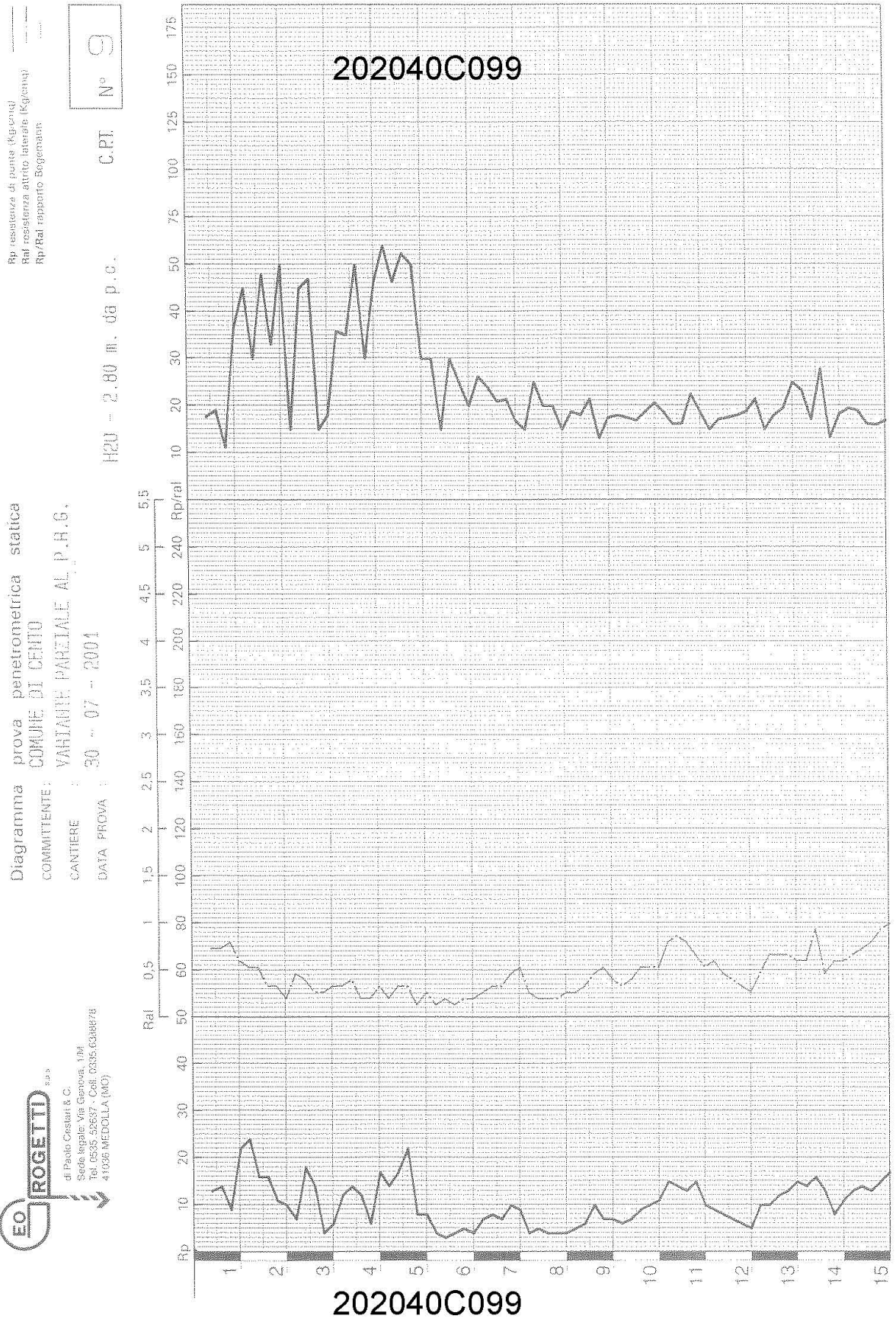


Fig. 15: C.P.T. C099.



elletipi s.r.l.

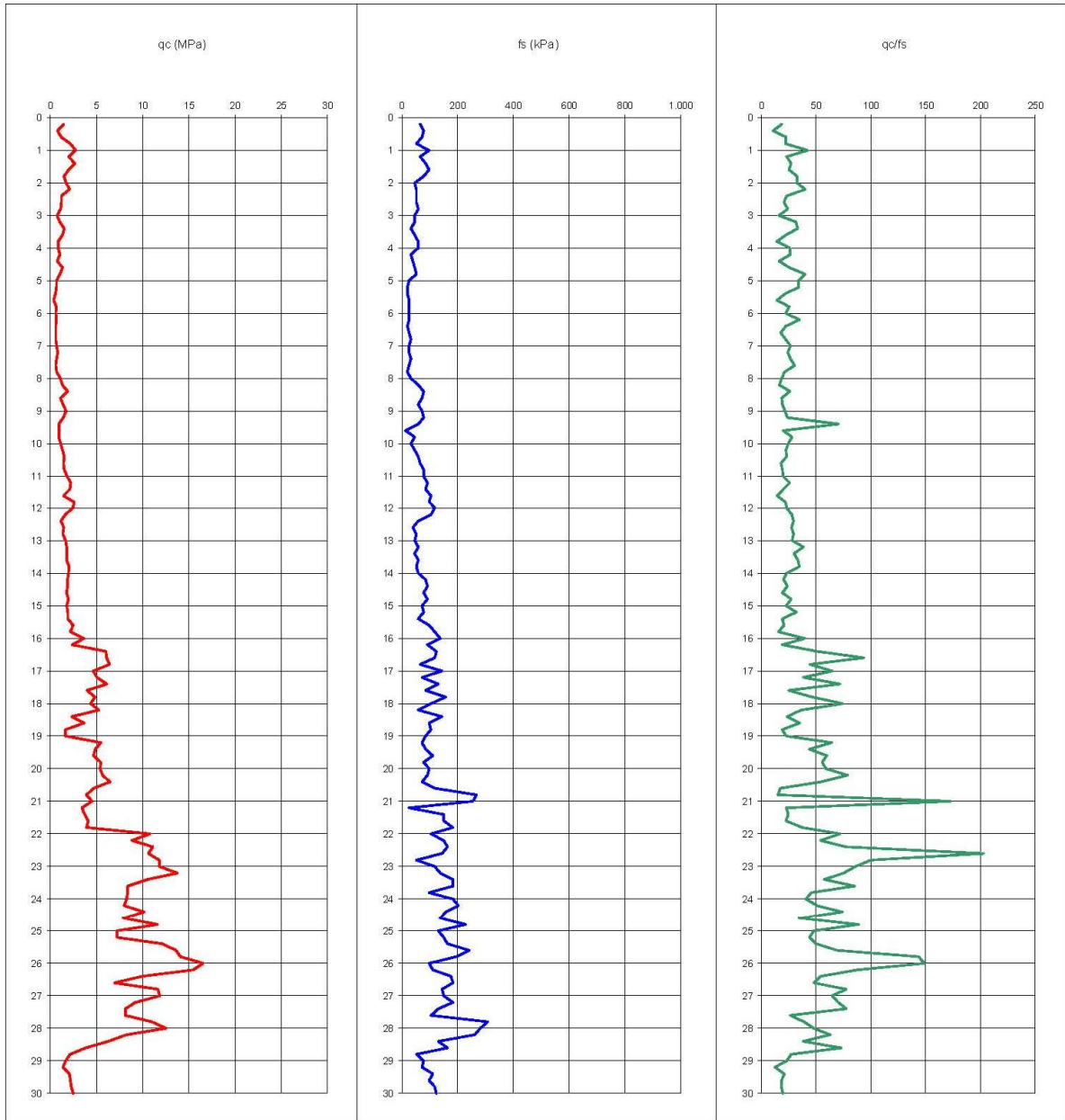
Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 25 - 44011 ARGENTA (FE)
 tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it
 P.IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

202040C104

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
 INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio aut. dal Ministero Infrastrutture e Trasporti P.C.S. LL.PP. S.T.C. in base al D.P.R. n. 380/01 art. 59 circ. n. 349/99 Dec. n° 53362 del 06/05/2005

COMMITTENTE: Comune di Bondeno - Ufficio Tecnico - P.zza Garibaldi 1 - Bondeno (FE)
CANTIERE: Prove penetrometriche statiche per la redazione P.S.C. nei comuni di Bondeno, Cento, Mirabello, Vigarano Mainarda, Poggio Renatico e S. Agostino.
PROVA: CN 11 DATA: 13/3/2008 FALDA: 2,40 m da p.c.
COMMESSA: 4991/07 C. SITO N°: 472/08



lo Sperimentatore:
 dott. Massimo Romagnoli

Il Direttore del settore Prove in Situ:
 dott.geol. (Dottore di Ricerca):Gianluca Ferioli

202040C104

472-08_CPT_CN11.xls - pag 2 di 3

Fig. 16: C.P.T. C114.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi
Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)
Tel. e fax: 0532852858, cell.:3355373693

e-mail: rbruggeo@gmail.com www.bondabru.com <http://trominator.blogspot.com>

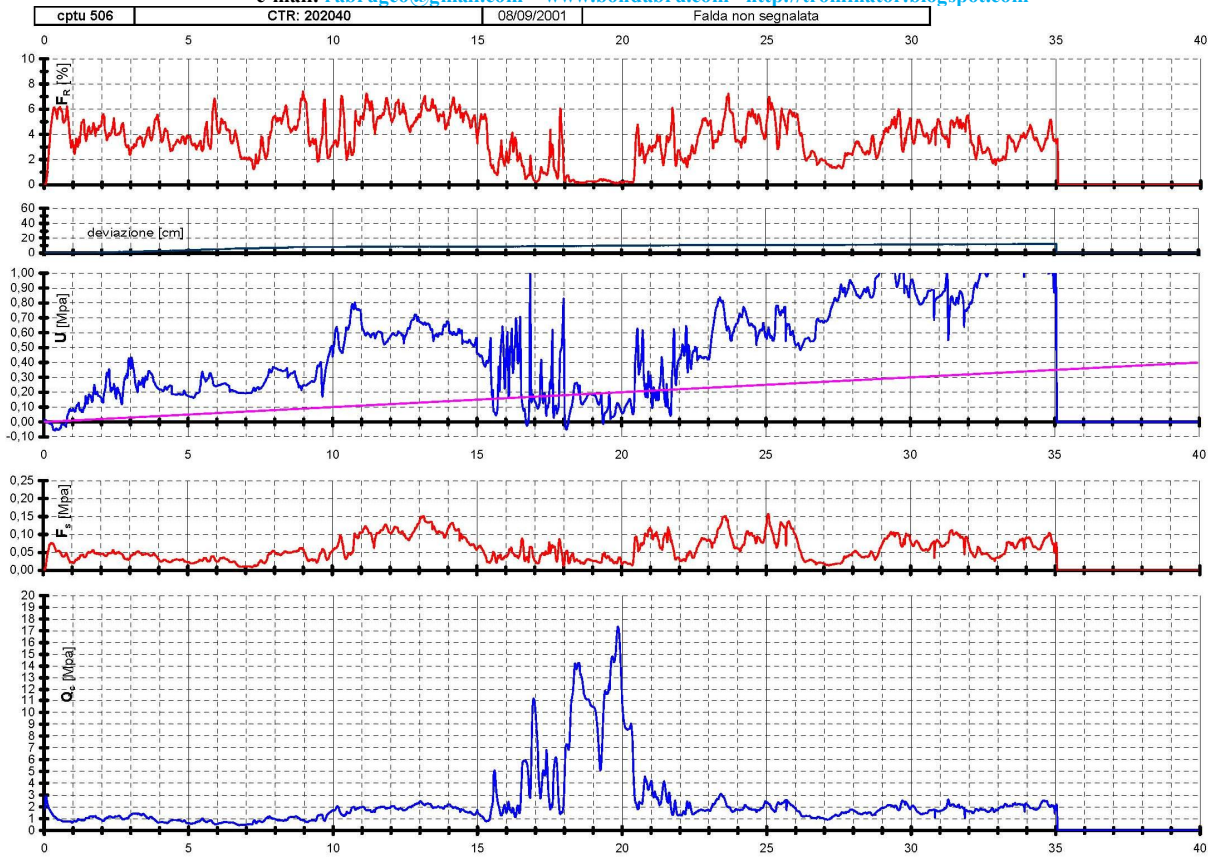


Fig. 17: C.P.T.U. 506.

Pratica N° 1034

SCHEDA DA CONSEGNARE AL GENIO

- Ditta TERRANALISI S.p.a.

- CHIMIREN

202040 P617 DATO: P
QPC: 12,5 m PROFONDITA': 69 m
COMUNE: CENTO

residente a RENAZZO di CENTO in via SALVI n. 1

- Perforazione ~~approfondim.~~ pozzo ad uso industriale in Comune di Cento

Frazione Renazzo Località ---- Foglio N° 31

Mapp.

- Dta di ultimazione dei lavori: 25/8/1977

- Pitta perforatrice: CAVICCHI ENZO (Renazzo di Cento)

- Caratteristiche del pozzo:

avanpozzo (si o no) No

∅ interno tubi mm. 200

profondità mt. 69

- Caratteristiche del gruppo

motore pompa:

livello statico mt. 14

*tipo della pompa centrifuga

elettrosommersibile tipo Klein

prevalenza max. della pompa

mt; 70

*tipo del motore elettrico

potenza del motore CV= 20

- Portata: lt/sec. 20

- Superficie irrigata:

ha -- are -- ca; --

- Consumo giornaliero (alimenta
re, industriale, zootecnico):

lt/ 240.000-

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Indicare la natura dei terreni
e le FALDE ACQUIFERE ATTRAVER-
SATE, specificando se il tubo
è fenestrato in corrispondenza

- da mt. 0 a mt. 8
terra

- da mt. 8 a mt. 10
sabbia fine (falda attraversata)

- da mt. 10 a mt. 22
argilla

- da mt. 22 a mt. 24
sabbia gialla (falda attraversata)

- da mt. 24 a mt. 59
argilla

- da mt. 59 a mt. 69

sabbia bianco nera grossa (fenestratura
con filtro a rete)

- da mt. _____ a mt. _____

- da mt. _____ a mt. _____

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

Data 15/9/77

Firma

Raffaele Brunaldi

Fig. 18: Pozzo per acqua P617.

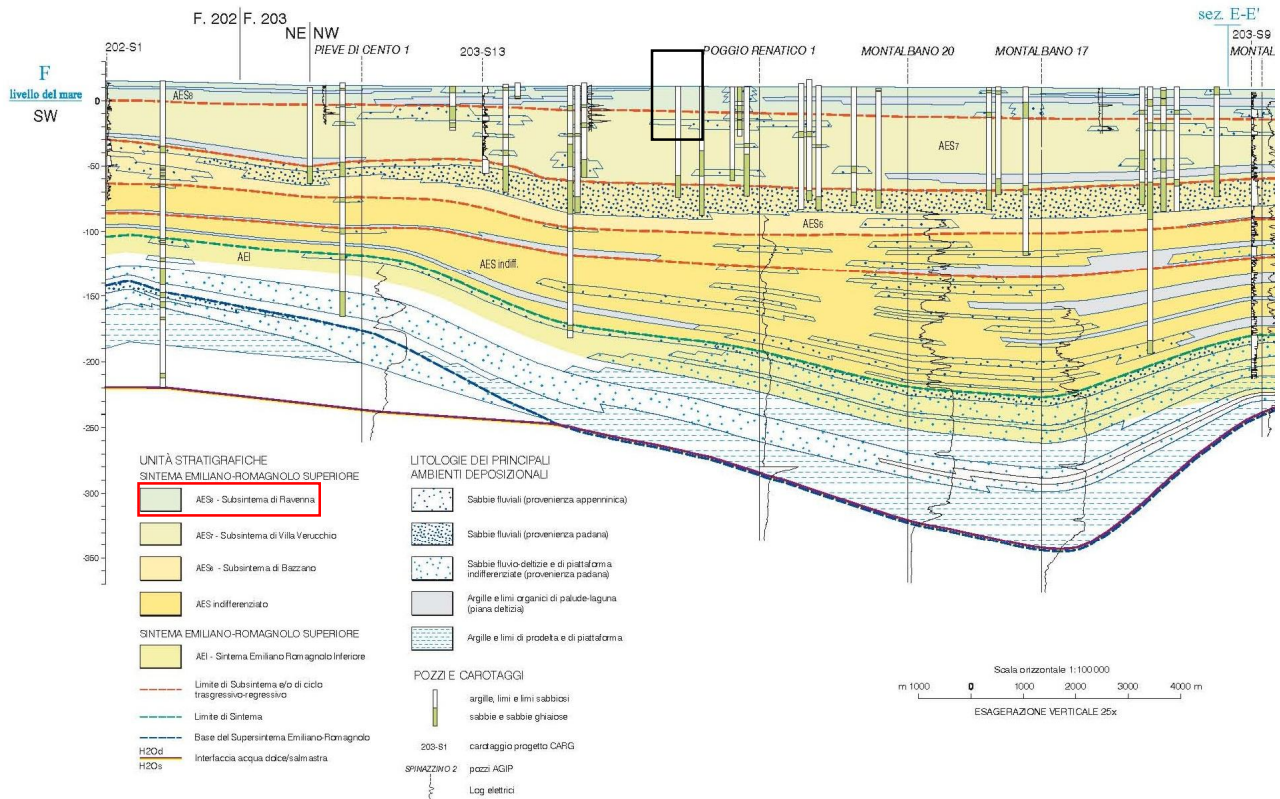


Fig. 19: Sezione 062 e sua ubicazione in pianta, scala libera. Area in esame intesa alla stessa latitudine dell'area in esame. Si evincono comunque le interdigerazioni fra i vari ambienti deposizionali.

Di seguito si riporterà una sezione relativa all'area in esame, prodotta dallo scrivente sulle risultanze delle C.P.T./C.P.T.U. localmente eseguite.

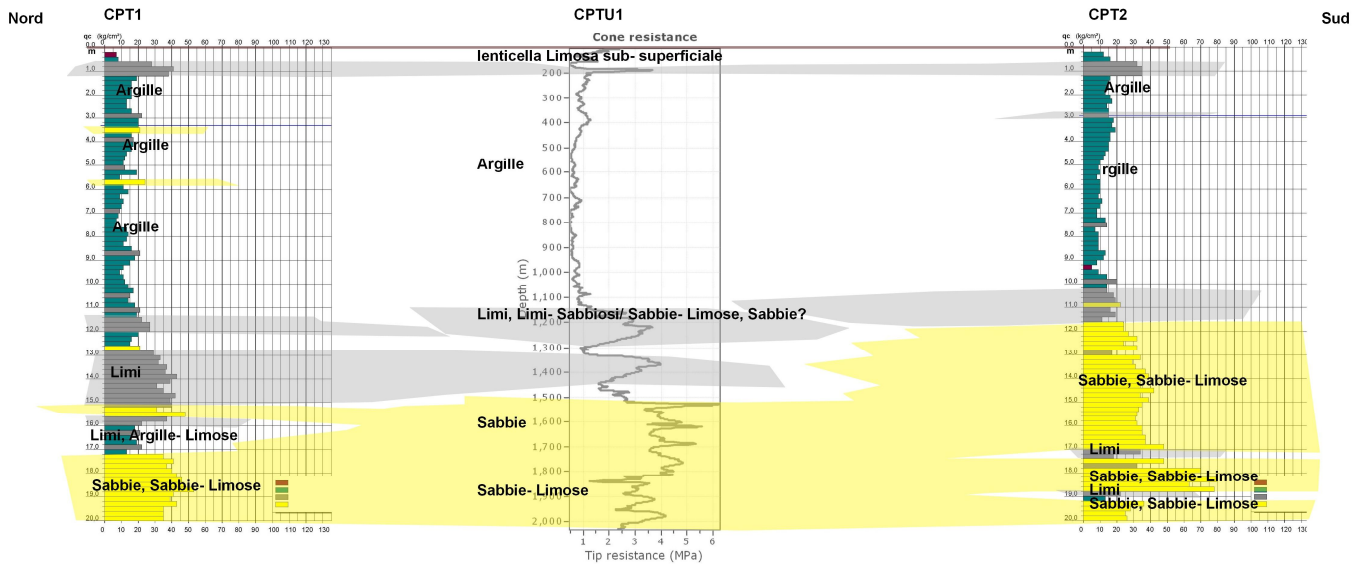


Fig. 20: Sezione relativa all'area di lottizzazione, Scala libera (le scale verticali ed orizzontali sono corrispondenti). La traccia è riportata alla Fig. 3 (alla quale si rimanda).

La colonna stratigrafica localmente rilevata (ed ovviamente anche la sezione dell'area in esame) sono congruenti con i vari dati di bibliografia precedentemente riportati, a conferma dell'assetto geologico e deposizionale descritto al punto 2.1. Si può cioè confermare che l'area in esame si ubica al di fuori dell'ambiente deposizionale paleo fluviale, i cui relativi paleo corsi idrici (e relativi paleo- argini naturali) sono distali rispetto all'area in esame. L'ambiente deposizionale sul quale si sviluppa l'area in esame è quello delle valli/paludi circostanti ai suddetti corpi idrici e sui quali questi ultimi scorrevano/divagavano. Le presenze granulari sono profonde, oltre gli 11 metri circa dal p.c. e debbono essere considerate retaggio di una antica fase di presenza fluviale in corrispondenza dell'attuale area in esame. Tali presenze profonde sono di natura prima limosa, limoso- sabbiosa ed in seguito sabbiosa, sabbioso- limosa.

Di seguito si riportano le stratigrafie indirettamente rilevate dall'esecuzione delle prove C.P.T./C.P.T.U. eseguite sull'area in esame.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

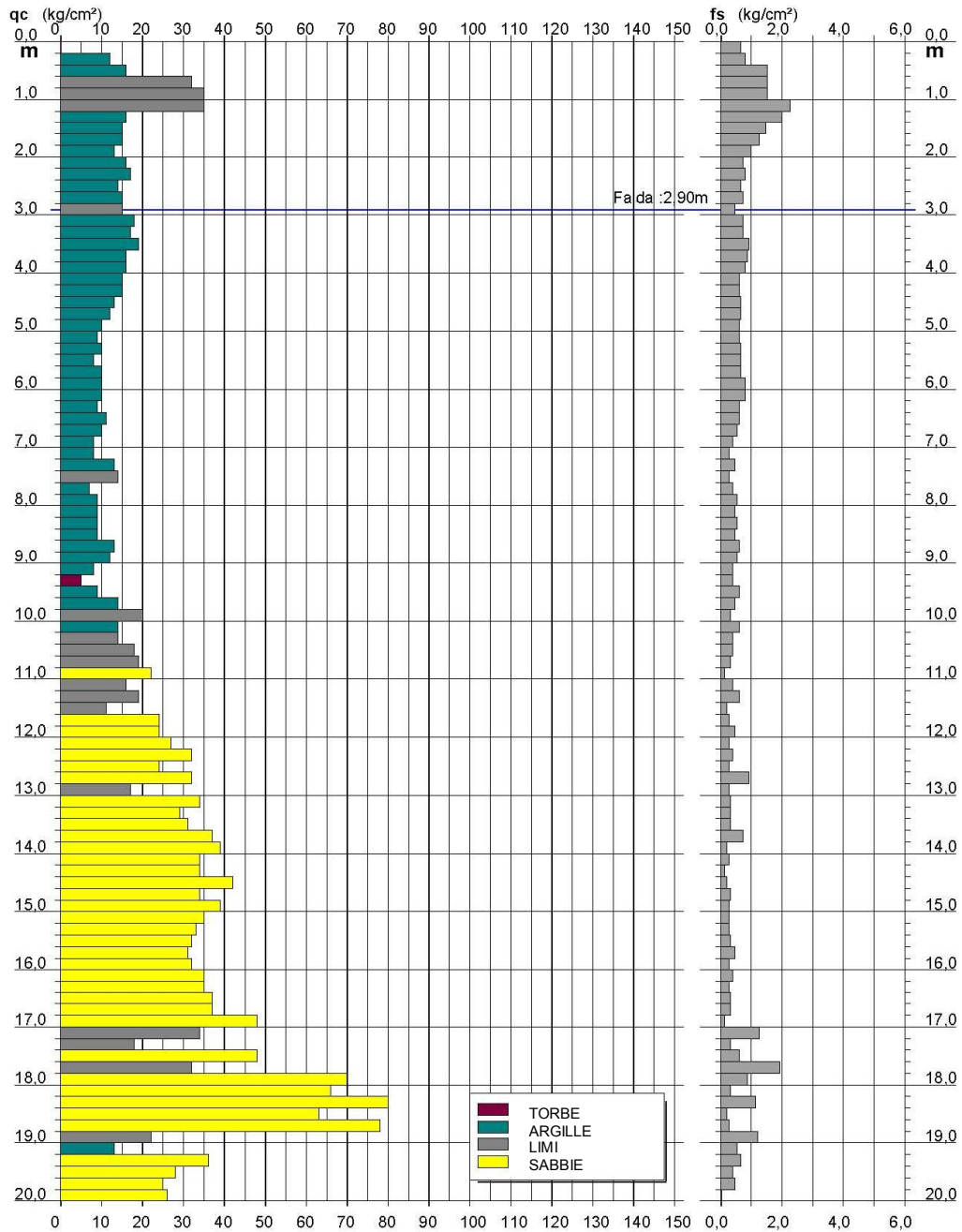
Via A. Da Brescia 11 - 44011 Argenta (FE)
 tel. e fax.:0532852858 cell.:3355373693 e-mail: rabrugeo@libero.it

Riferimento: 304-14

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
 DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

2.0105-001

- committente : AXOR OCRIM	- data : 16/12/2014
- lavoro : Piano Particolareggiato	- quota inizio : Piano Campagna
- località : XII Morelli	- falda : 2,90 da quota inizio
- assist. cantiere :	



Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

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

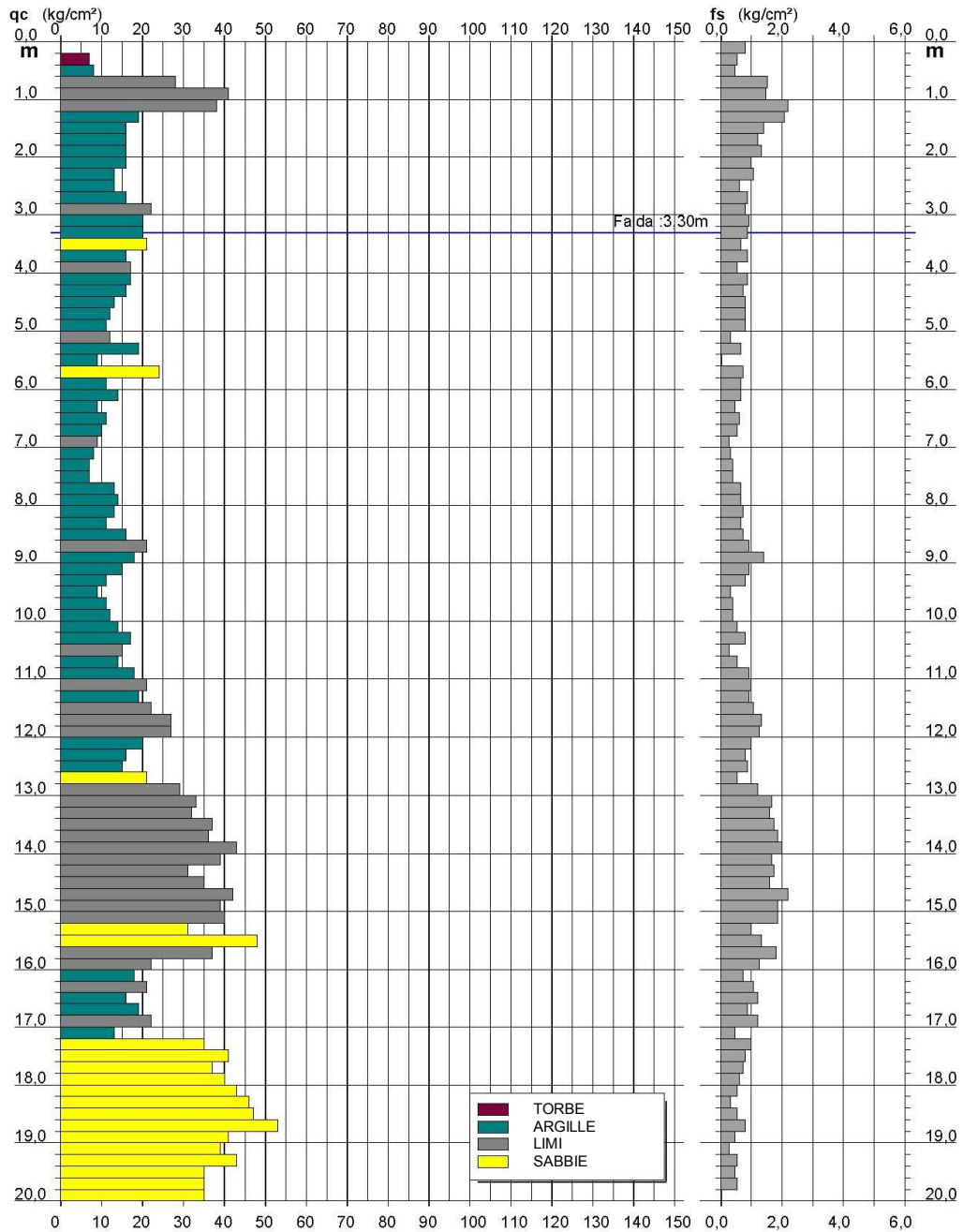
Riferimento: 304-14

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
 DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

2.0105-001

- committente : AXOR OCRIM
 - lavoro : Piano Particolareggiato
 - località : XII Morelli
 - assist. cantiere :

- data : 16/12/2014
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : 3,30 da quota inizio



Ai seguenti allegati si riportano i moduli descrittivi della metodologia utilizzata di indagine penetrometrica meccanica eseguita sull'area in esame.

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 $\varnothing = 35.7 \text{ mm}$
- 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) :

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

(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.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi
Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)
Tel. e fax: 0532852858, cell.:3355373693

e-mail: rabrugeo@gmail.com www.bondabru.com <http://trominator.blogspot.com>

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 ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 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.

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) $C_t = \text{SPINTA (Kg) / LETTURA DI CAMPAGNA}$

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

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

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

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

- 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

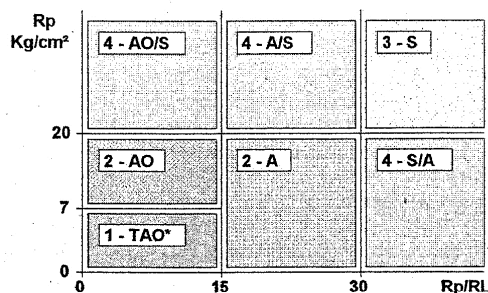
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

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

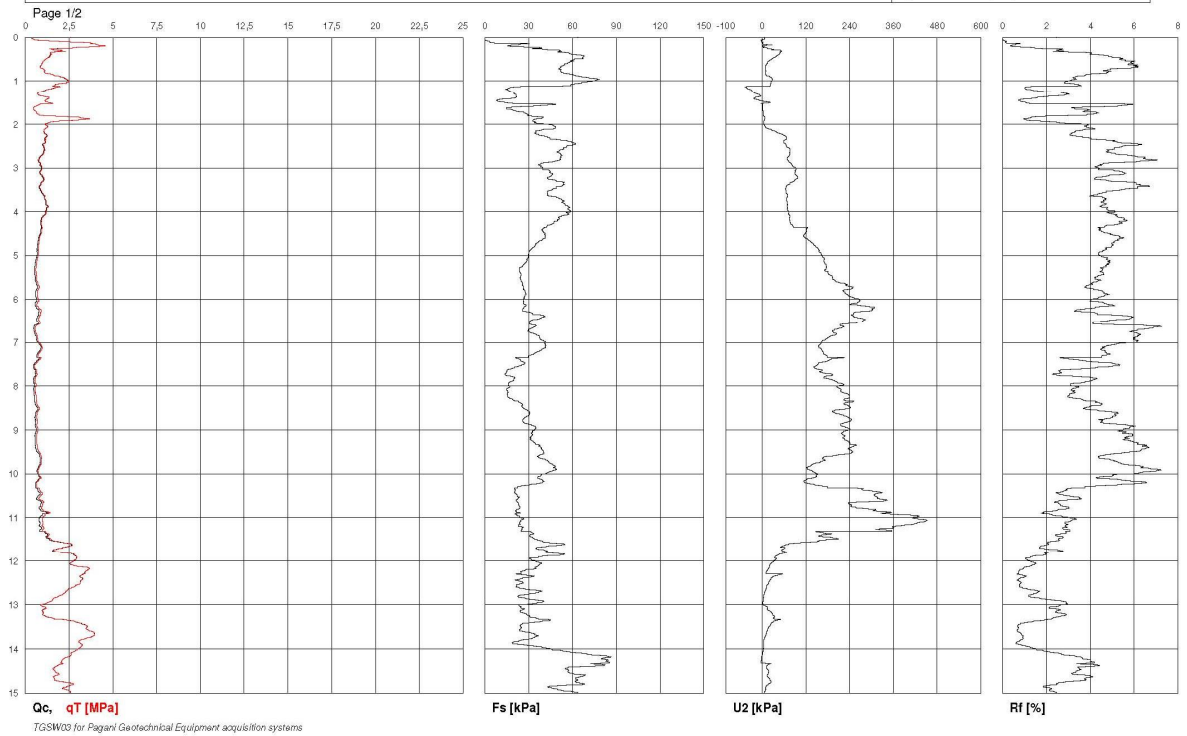
- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

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

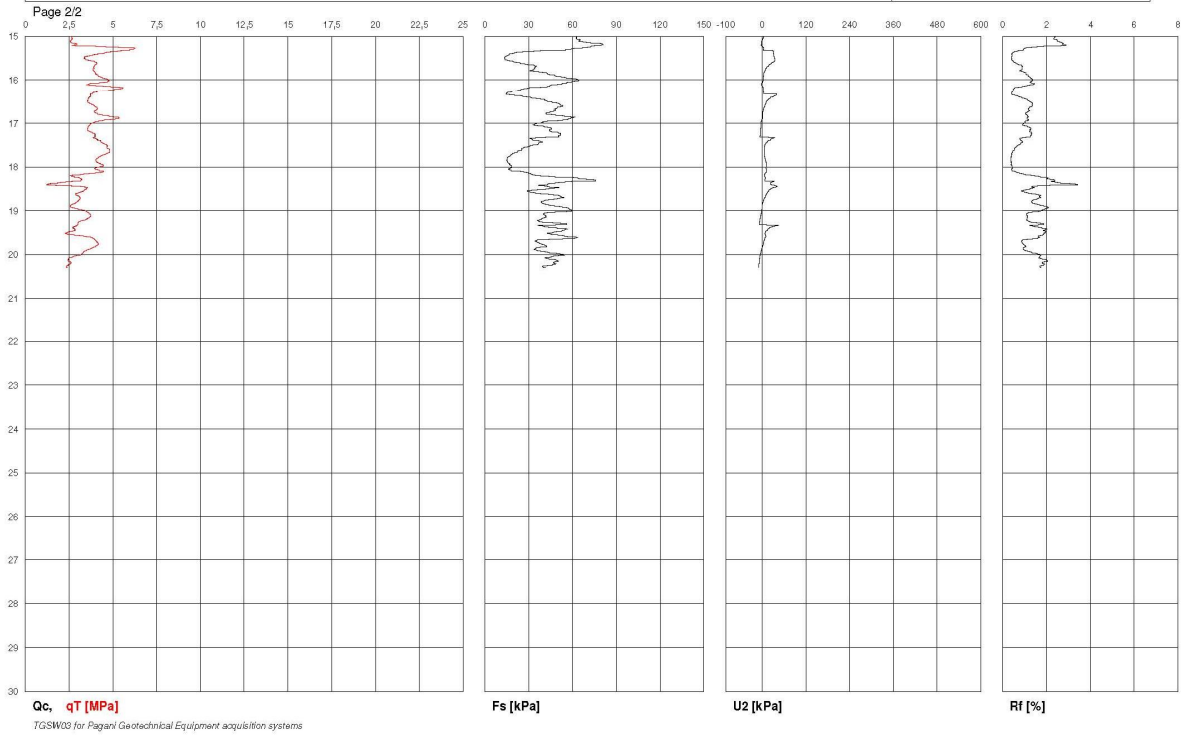
- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - R_p - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - R_p]
- 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 / 1978 - 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. 22 Bis: Descrizione della metodologia d'indagine C.P.T.

GEOLOG s.r.l.		Commissioner: AXSOR OCRIM	
Site: DODICI MORELLI	Test Location: CPTU 1	Abs. quota [cm]: 0	
Locality: VIA MAESTRA GRANDE, 20	Date: 19/12/2014	Prehole [cm]: 0	
		Hydrostatic Line [cm]: 160	



GEOLOG s.r.l.		Commissioner: AXSOR OCRIM	
Site: DODICI MORELLI	Test Location: CPTU 1	Abs. quota [cm]: 0	
Locality: VIA MAESTRA GRANDE, 20	Date: 19/12/2014	Prehole [cm]: 0	
		Hydrostatic Line [cm]: 160	



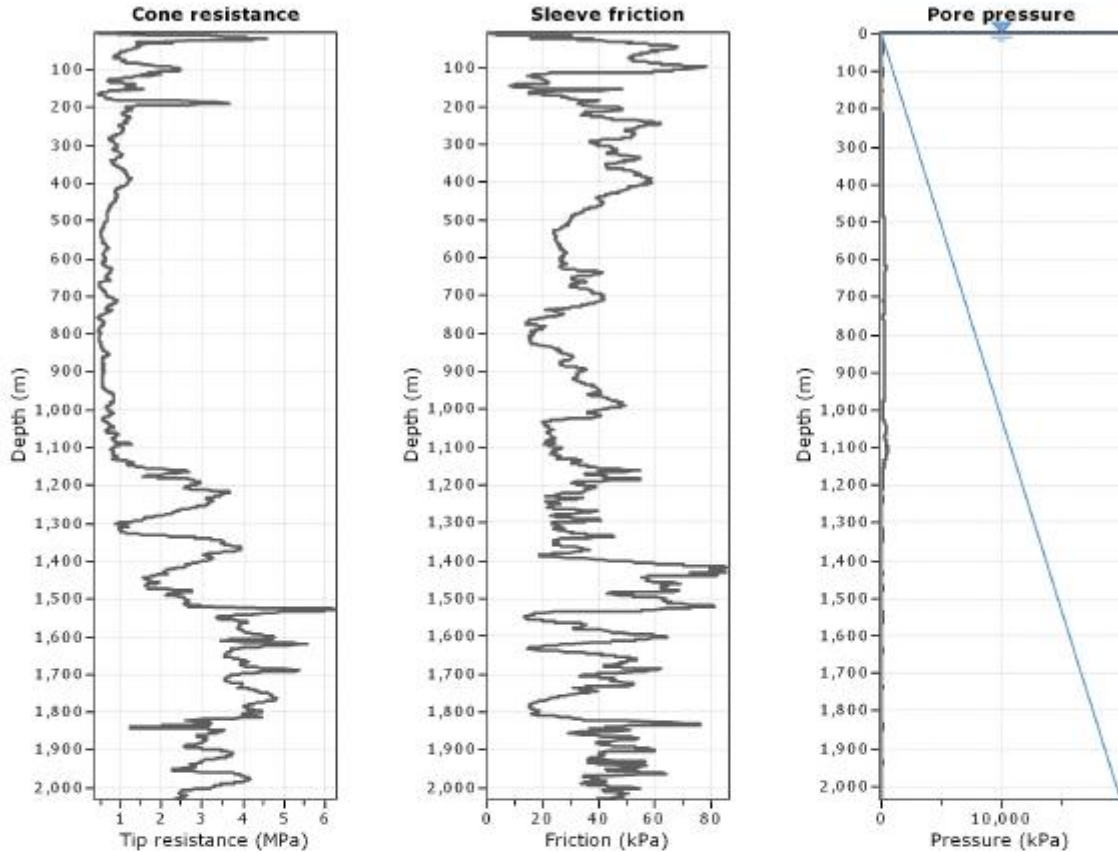


GeoLogismiki
 Geotechnical Engineers
 Merarhias 56
<http://www.geologismiki.gr>

CPT: CPT-01

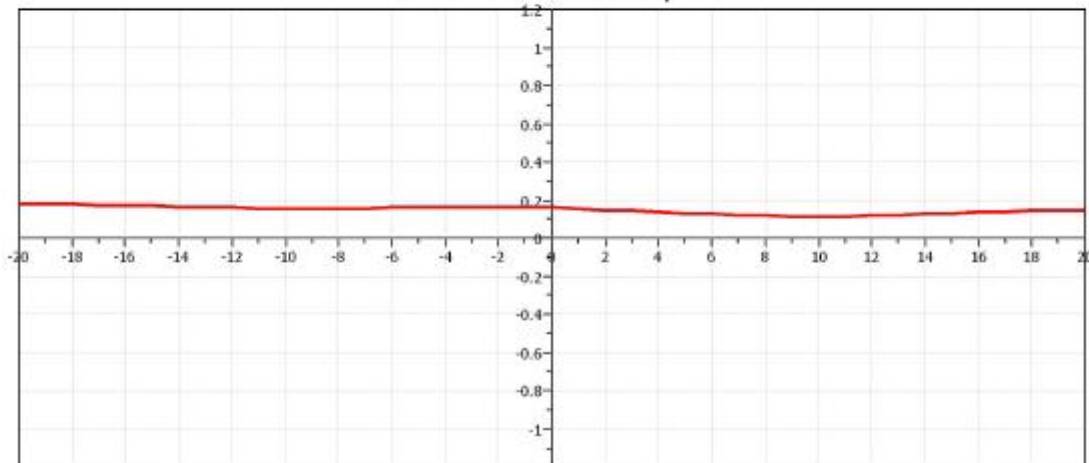
Total depth: 2031.00 m, Date: 19/12/2014
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type: Unknown
 Cone Operator: Unknown

Project:
 Location:



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).

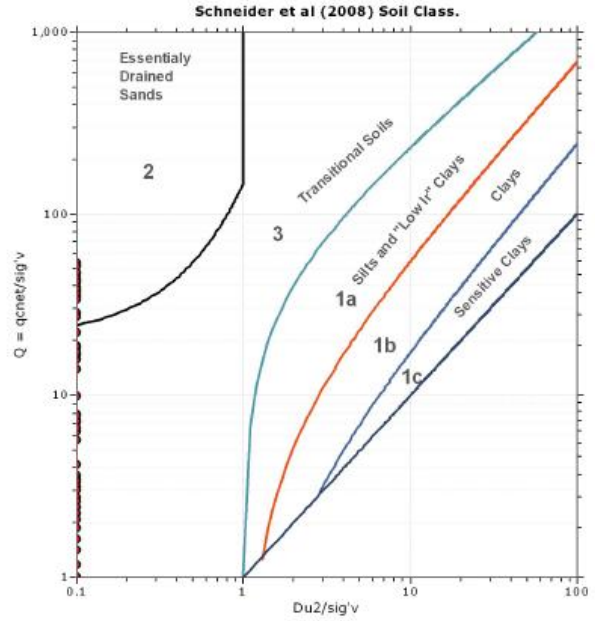
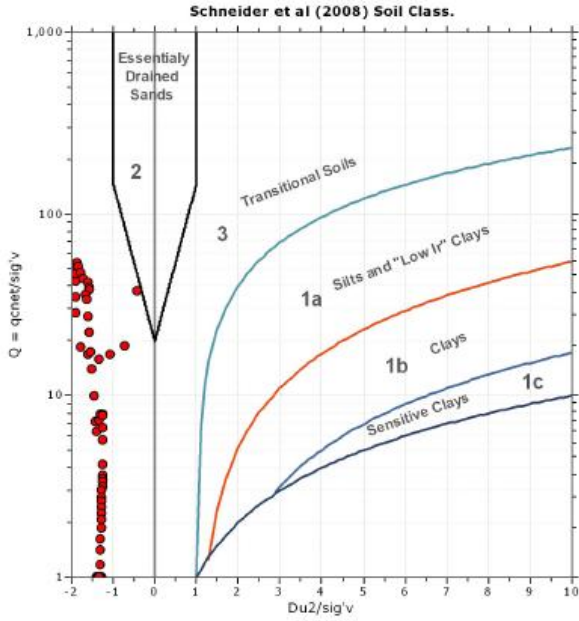
Cross correlation between qc & fs

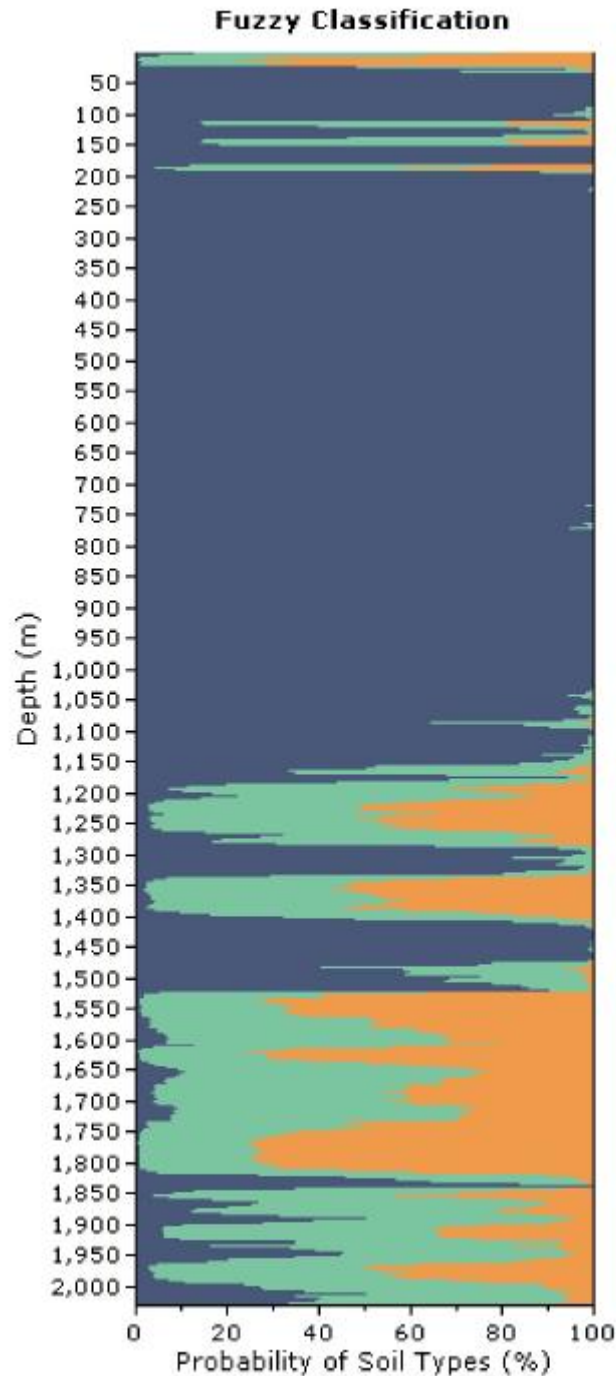




Project:
Location:

Bq plots (Schneider)





SBTn legend

- | | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. Sensitive fine grained 2. Organic material 3. Clay to silty clay | <ul style="list-style-type: none"> 4. Clayey silt to silty clay 5. Silty sand to sandy silt 6. Clean sand to silty sand | <ul style="list-style-type: none"> 7. Gravely sand to sand 8. Very stiff sand to clayey sand 9. Very stiff fine grained |
|--|--|--|

Figg. 23: Restituzioni grafiche delle risultanze della C.P.T.U. 1.

Ai seguenti allegati si riportano i moduli descrittivi della metodologia utilizzata di indagine penetrometrica elettrica eseguita sull'area in esame.

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) ::

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

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

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

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

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

:: Relative Density, D_r (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

:: 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 $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{0.97 \phi'}$$

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

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

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabel 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. 23 Bis: Descrizione della metodologia d'indagine C.P.T.U.

Le due C.P.T. riconducono sostanzialmente a risultanze omogenee, solo da profondità maggiori di 11 metri circa si rilevano divergenze: C.P.T. 1 individua sabbie, sabbie- limose (la già precedentemente citata lente granulare profonda) C.P.T. 2 individua limi, limi- sabbiosi ed in seguito sabbie- limose. Le differenze di definizione sono talmente labili che, come risultanze di prove penetrometriche meccaniche possono essere considerate sostanzialmente sovrapponibili. La C.P.T.U. conferma le risultanze delle C.P.T., avvicinandosi piuttosto a quelle caratteristiche della C.P.T. 2 che, nella lente granulare profonda individua una maggior presenza percentuale di limi.

Relativamente alle varie informazioni stratigrafiche che dovrebbero discendere dall'analisi dei dati della cartografia del P.S.C., comparate alla stratigrafia realmente rilevata per il lotto in esame, si può concludere che, come sopra già precedentemente riportato, il P.S.C. non descrive correttamente la presenza litologica superficiale locale.

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

Di seguito si riporteranno indicazioni geotecniche di massima relative alla stratigrafia dell'area in esame, come già stata ampiamente descritta in precedenza. Le peculiarità geotecniche dell'area in esame, sono legate alla presenza della componente argillosa e/o argillosa debolmente limosa, che caratterizza la stratigrafia locale sino alla profondità di 11 metri circa dal p.c. Le performances di interazione fra le strutture eventuali da realizzarsi ed i terreni fondali saranno quindi condizionate dalle peculiarità di tali componenti.

In sostanza per la stratigrafia locale si potrà osservare quanto segue:

- La compressibilità/cedevolezza è elevata e dovrà quindi essere attentamente considerata in fase di progettazione e realizzazione degli eventuali interventi di edificazione. Onde addivenire a dati geotecnici puntuali occorrerà eseguire analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati raccolti in appositi sondaggi stratigrafici (come previsto dal D.M./N.T.C. e quindi, appunto nella fase di progettazione dell'edificazione e non nella presente fase di pianificazione).
- I terreni debbono essere considerati in condizioni prevalentemente NON drenate, la profondità della falda è variabile (di cui si dirà più oltre). La frangia capillare non satura è comunque largamente minoritaria. Le condizioni drenate non sono quindi sostanzialmente significative per l'area in esame.

- La maturazione dei cedimenti (all'assunzione dei carichi) potrebbe prolungarsi lungamente nel tempo. Le condizioni non drenate (connesse alla natura argillosa dei terreni largamente prevalenti nella stratigrafia locale) normalmente non consentono infatti la rapida dissipazione dei sovraccarichi derivanti dall'edificazione delle strutture. Allo stato attuale delle conoscenze non è possibile meglio esplicitare la durata della maturazione dei cedimenti. Anche per meglio definire tale tematica occorrerà eseguire analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati raccolti in appositi sondaggi stratigrafici (come previsto dal D.M./N.T.C. e quindi, appunto nella fase di progettazione dell'edificazione e non nella presente fase di pianificazione).
- 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 che potranno essere anche poco prevedibili.
- Allo stato attuale delle conoscenze stratigrafiche locali non si rileva la presenza di torbe e/o argille organiche di spessore tale da costituire particolare aggravio penalizzazione.
- Relativamente alla possibilità che le presenze granulari (latu sensu) abbiano o meno di liquefarsi all'atto di uno scuotimento sismico si dirà più oltre in relazione (e vi si rimanda).
- Resta poi la tematica della passata presenza del macero, che in seguito interrato (come all'atto dell'esecuzione delle indagini della presente relazione) potrebbe causare limitazioni puntuali. Di ciò si è già detto al punto 1.1. Nella sostanza tale presenza potrebbe eventualmente condizionare l'edificabilità dell'area in esame. Di tale passato elemento occorrerà tenere debito conto all'atto della distribuzione e della progettazione e realizzazione dei vari interventi che si dovranno localmente edificare. Sarebbe bene poter determinare con precisione il perimetro di tale macero e concentrarsi in fase di progettazione/realizzazione all'analisi delle eventuali limitazioni più o meno superficiali che tale passata presenza può tuttora comportare.

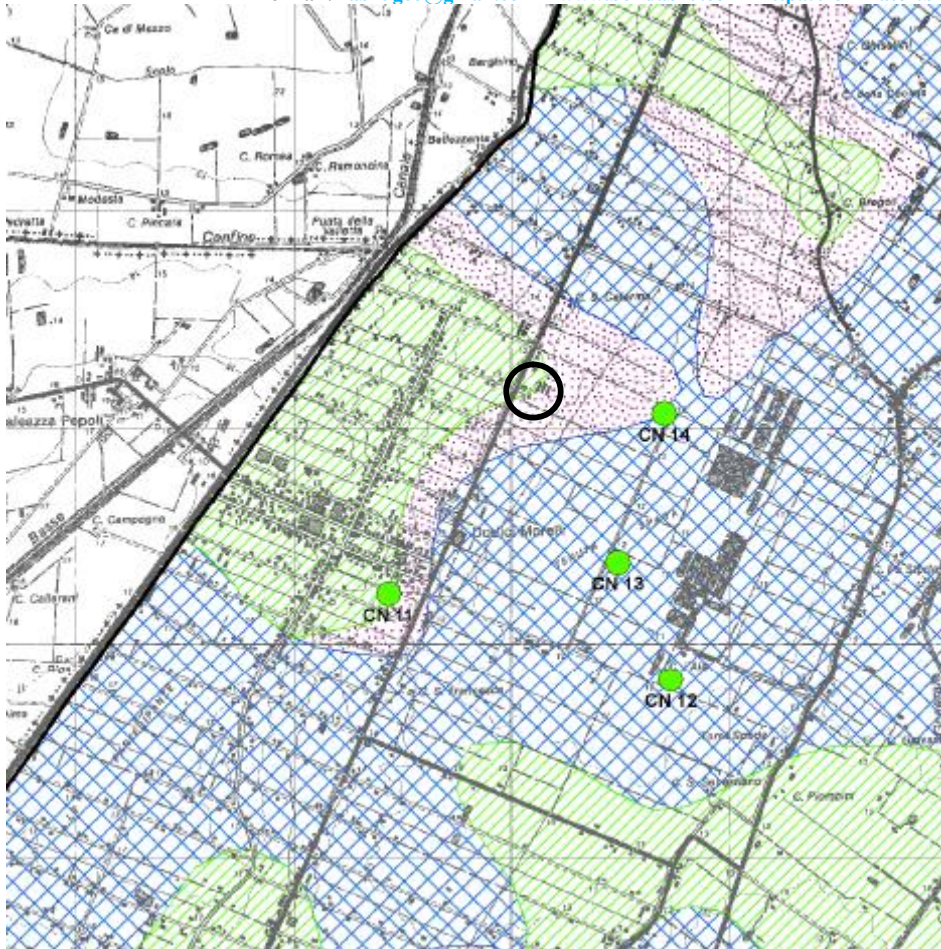
Relativamente alla valutazione dell'interazione fra i carichi che dovranno essere ospitati dai terreni di fondazione, i conseguenti cedimenti e le tempistiche di maturazione di tali cedimenti, si dovranno eseguire apposite verifiche. È chiaro che l'argomento dovrà correttamente considerare la tipologia dei vari interventi. Tali verifiche andranno eseguite all'atto della progettazione di ogni singolo intervento edificatorio, come specificato dal D.M./N.T.C., nello spirito di tale Decreto potranno doversi eseguirsi un opportuno numero di sondaggi stratigrafici, presso i quali raccogliere

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi
Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)
Tel. e fax: 0532852858, cell.:3355373693

e-mail: rabrugeo@gmail.com www.bondabru.com <http://trominator.blogspot.com>

campioni indisturbati di terreno sui quali eseguire opportune analisi di laboratorio geotecnico tese ad individuare le caratteristiche locali di correlazione dei dati indirettamente rilevati ad esempio tramite l'esecuzione delle già riportate C.P.T./C.P.T.U. Non si esclude poi che si necessiti di realizzare ulteriori indagini penetrometriche e comunque quelle ivi presentate dovranno essere considerate e correlate alle specificità degli interventi di edificazione da realizzare.

Nel complesso comunque, le peculiarità geotecniche locali, qualora opportunamente considerate, non costituiscono elementi ostativi alla realizzazione dell'intervento oggetto della presente relazione. Occorre comunque tenere debito conto di quanto riportato ed eseguire progettazioni e realizzazioni che siano opportunamente concepite attorno a tali penalizzazioni/limitazioni che sono comunque classiche per la Pianura Padana e per larga parte del territorio del Comune di Cento. Secondo il P.S.C. del Comune di Cento (come riportato alla seguente figura), le caratteristiche geotecniche locali potrebbero essere descritte come Medie, in realtà dovranno essere più realisticamente considerate come SCARSE.



Legenda

 Limiti comunali

Classificazione delle prove penetrometriche statiche
in funzione dei valori di resistenza alla punta:

-  Molto scarse
-  Scarse
-  **Medie**
-  Buone
-  Molto buone

Gruppi litologici di superficie

-  ALS - AS
-  A - AL - L - LA
-  LS - S - SA - SL

Fig. 24: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta delle Qualità Geotecniche del Quadro Conoscitivo del P.S.C., che contrariamente a quanto dovrebbe discendere dalla Carta Geomorfologica (precedentemente riportata alle Figg. 6) dello stesso C.P.T. indica come l'area in esame dovrebbe essere descritta da caratteristiche Medie. Si è già dimostrato come tali caratteristiche debbano essere in realtà considerate Scarse.

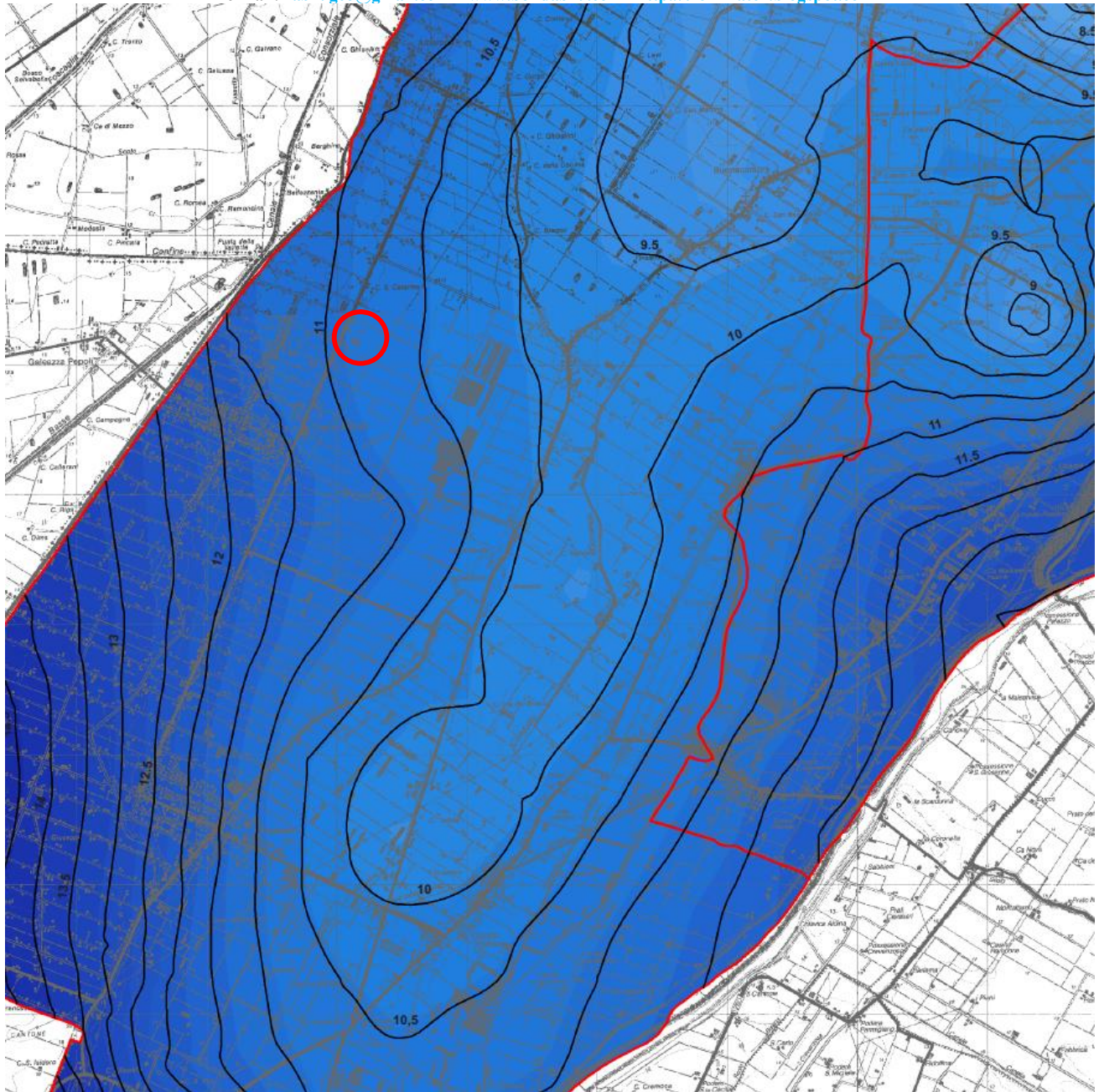
3. ASSETTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO LOCALE

La falda freatica/superficiale è stata rilevata, nei fori di esecuzione delle prove C.P.T. alle seguenti profondità:

- C.P.T. 1: 2,90 m dal p.c.;
- C.P.T. 2: 3,30 m dal p.c.

Tali misure descrivono assetto batimetrico locale di alimentazione proveniente da Ovest o da Ovest- Nord- Ovest. Tale alimentazione denota un gradiente del 4% (40 cm su 40 m) invero anomalo per le aree della bassa Pianura Padana, dove normalmente la tavola d'acqua freatica/capillare è sostanzialmente orizzontale. Si dovrà però ricordare come sull'area in esame fosse in passato presente un macero, il quale potrebbe disturbare moltissimo il normale assetto della falda. Peggio ancora, le misure potrebbero semplicemente essere inficiate da tale presenza si osservi che la C.P.T.U.1 ha individuato una profondità della falda pari a 1,60 m del tutto avulsa dalla "logica" delle misure in corrispondenza delle due C.P.T.

L'apposita Carta del P.S.C. del Comune di Cento (il cui stralcio verrà di seguito riportato) riporta per l'area in esame profondità della falda di circa 2 metri dal p.c. (il cui livello sul medio mare è di 12,70 m). L'alimentazione indirettamente individuabile dall'analisi di tale cartografia pare discorde con quanto sopra descritto ed i relativi gradienti appaiono molto più ridotti, si potrebbe quindi ulteriormente confermare che la presenza del vecchio macero sia un elemento che altera localmente l'assetto della falda.




Legenda

 Limiti comunali

Superficie freatica espressa in m.s.l.m.

 Alto : 16.6
Basso : 3.4

 10.5 Isofreatiche (m.s.l.m.)

Figg. 25: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta della Superficie Freatica del Quadro Conoscitivo del P.S.C.

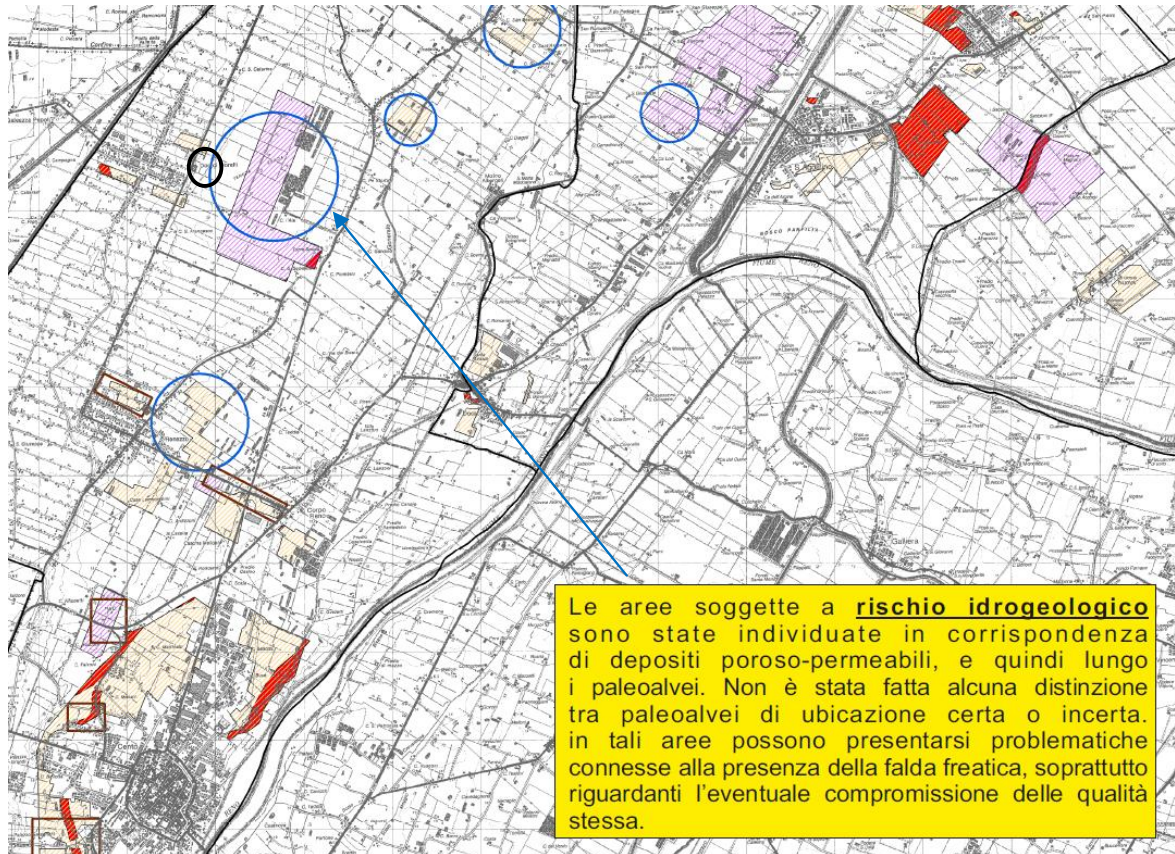
Si deve comunque osservare che la profondità della falda è un dato naturalmente/normalmente variabile nella Pianura Padana. Le variazioni possono essere di entità ampiamente metrica e sono connesse alla stagionalità delle precipitazioni (che condiziona la ricarica diretta per infiltrazione) e della temperatura dell'atmosfera (che condiziona l'evapo- traspirazione). Variazioni di livello che si ritiene di poter valutare che possano essere comprese fra profondità indicative di 1,50 e 4,00 m circa dal p.c. Profondità che ricondurrebbero quindi una fascia di oscillazione consistente e maggiore di due metri. Si ricorda, come già riportato in precedenza 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 può essere valutata dell'ordine dei centimetri (in assenza di dati locali specifici e sulla base di esperienze dello scrivente ascrivibili a litotipi comparabili). Si suggerisce quindi che nel caso si realizzino eventuali edificazioni, le relative 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.

Allo stato attuale delle conoscenze non si hanno indicazioni relative al rischio di allagamento/alluvionamento dell'area in esame, nè derivanti da episodi storici di alluvionamento, nè ascrivibili a fragilità del reticolo idraulico locale. Il P.S.C. non riporta per l'area in esame indicazioni in merito. Ad una prima analisi di microrilievo, l'area in esame appare rilevata rispetto alle campagne circostanti di circa 50 cm o poco più. La natura dei terreni superficiali può generare ristagni anche prolungati ma ad oggi il terreno è confermato a "schiena d'asino". Le eventuali opere di impermeabilizzazione da realizzarsi dovranno tenere debito conto delle capacità di sgrondo/assorbimento delle acque meteoriche e/o di altre particolari eventualità idrauliche/idriche.

Il reticolo idraulico locale che, come riportato alla Fig. 2 alla quale si rimanda, vede la presenza di fossi e scoline di modestissime dimensioni che sgrondano le acque verso Est, Sud- Est.

Il deflusso delle acque meteoriche di precipitazione è evidentemente a controllo antropico ed avviene in forma gerarchica e meccanizzata attraverso i canali ed i sollevamenti di bonifica. Un collasso di tale sistema sarebbe devastante per una estesissima fascia di territorio del Comune di Cento e dei territori circostanti. L'eventualità appare remota e comunque la realizzazione dell'estensione oggetto della presente relazione non costituirebbe in tal caso che non un del tutto insignificante/irrelevante aumento del rischio data l'enormità del citato disastro. Il rischio per la Committenza può essere mitigato/azzerato individuando una quota di sicurezza dei piani di calpestio.




L'apposita documentazione del P.S.C. (che viene di seguito riportata in stralcio) evidenzia nei pressi dell'area in esame, qualche centinaio di metri ad Est la presenza di una estesa area depressa caratterizzata da Rischio Idrogeologico, la descrizione della natura di tale rischio è francamente poco compressibile e comunque non interessa l'area oggetto della presente relazione.



Legenda

-  Limiti comunali
-  Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere residenziale
-  Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere produttivo

Tipologia di rischio potenziale

-  Aree soggette a rischio idrogeologico determinato dalla presenza di depositi poroso-permeabili
-  Aree topograficamente depresse soggette a rischio idraulico
-  Aree caratterizzate da depositi con scarse proprietà geotecniche

Figg. 26: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta del Rischio Potenziale del Quadro Conoscitivo del P.S.C.

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.

Sull'area di lottizzazione oggetto della presente relazione si è realizzata una indagine geofisica costituita dall'esecuzione di indagini geofisiche di sismica passiva ed attiva, quali stendimenti Re.Mi.+M.A.S.W. Tale indagine ha potuto complessivamente indagare profondità ampiamente superiori ai 30,00 m dal p.c. (l'ubicazione dello stendimento e del punto di indagine puntuale è già stata riportata alla Fig. 3 alla quale si rimanda).

Di seguito si riportano le risultanze dell'indagine fatta eseguire dallo scrivente alla Ditta IND.A.G.O. S.n.c. di Rovigo.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi
Via A. Da Brescia 11, 44011 Argenta (FE)
Tel. e fax: 0532852858, cell.:3355373693
e-mail: rabrugeo@gmail.com www.bondabru.com <http://trominator.blogspot.com>



IND.A.G.O. s.n.c.
Indagini e Opere Ambientali e Geologiche
via Balzan, 1 - 45100 Rovigo - tel. 0425-25185
www.indago-rovigo.it

Rapporto Tecnico:

Indagine sismica mediante la tecnica MASW attiva e passiva presso lo stab. AXOR OCRIM srl, in località Dodici Morelli, Comune di Cento (FE), ai sensi delle NTC (DM 14/01/08) e dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

Dott. Geol. Enrico Farinatti

IND.A.G.O. s.n.c.
di Merola - Farinatti & Co.
Enrico Farinatti

Rovigo, Dicembre 2014

Committente: Dott. Geol. Raffaele Brunaldi
Via A. Da Brescia, 11
44011 – Argenta (FE)

Premessa

Lo scrivente, su incarico del Dott. Geol. Raffaele Brunaldi, ha eseguito un'indagine sismica mediante il metodo MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) attivo e passivo presso un sito in località Dodici Morelli, in Comune di Cento (FE), ai sensi del DM 14/01/2008 e dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente).

Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

Modalità esecutive

Si è optato per l'analisi delle onde di superficie dal momento che tale tecnica ha dimostrato ampiamente la sua affidabilità e la capacità risolutiva. Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo a 48 canali mod. Abem Terraloc Pro a 24 bits.

Sono state effettuate 10 registrazioni da 32 secondi ciascuna, per il metodo passivo e una registrazione da 2 secondi, per il metodo attivo. I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e grazie alla dinamica dello strumento (24 bits, range dinamico 117 dB), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

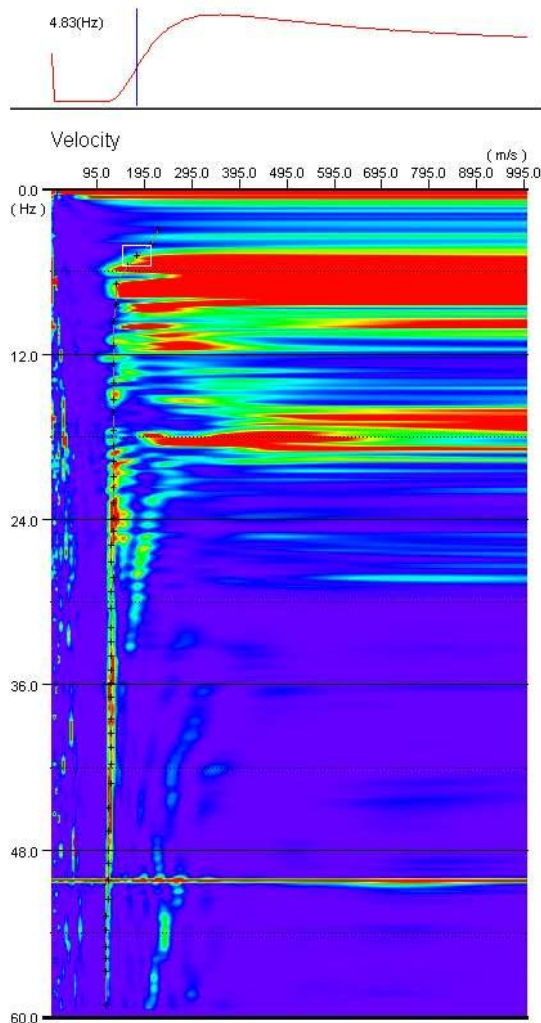
I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello $V_s/\text{profondità}$ attendibile.

Qualora necessario, in fase di elaborazione, è possibile effettuare il picking della curva Velocità/frequenza per il solo modo fondamentale di vibrazione, oppure per diversi modi di vibrazione (fino al decimo).

Risultati e conclusioni

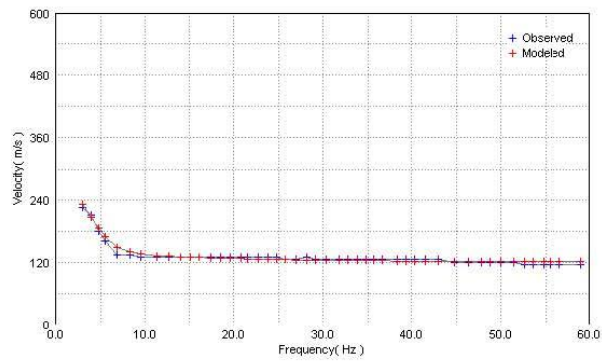
L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a oltre 35 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati. L'errore quadratico medio è del 3.18%.



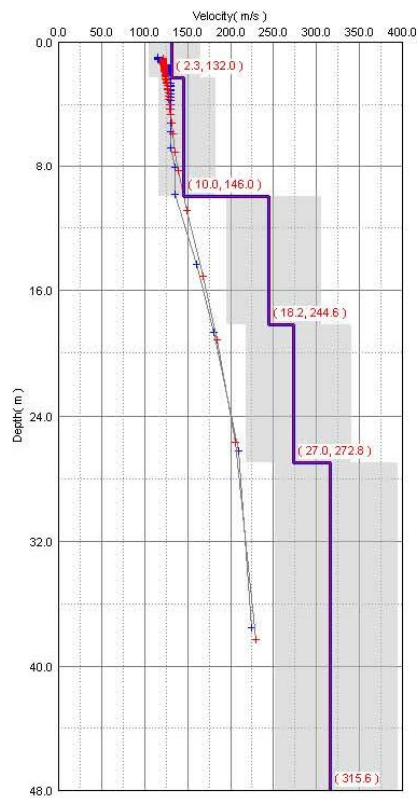
CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA METODI ATTIVO E PASSIVO

Dispersion Curves



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Models



MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2 m.

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s30} = 206$ m/s

Si tratta quindi di un suolo tipo **C** (**S = 1.46** secondo le NTC).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo **stato limite ultimo di salvaguardia della vita** (secondo NTC). E' inoltre stata inserita la classificazione del sito in base alle vigenti normative regionali.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2008

Data: Dicembre 2014

Località Dodici Morelli (FE)
Coordinate 44.796460 N , 11.301782 E (UTM WGS84)
Metodo di indagine MASW Attivo e Passivo (misura Vr)
Strumentazione utilizzata Sismografo ABEM Terraloc Pro a 48 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione Rumore naturale+10 kg
Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del coeff. Cc e del coeff. amplificazione S)

Categorie di suolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _T
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1.00	1.00	1.00
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT ₃₀ > 50 nei terreni a grana grossa e Cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).	1.2	1.43	1,2
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT ₃₀ < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < Cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	1.46	1.62	1.46
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT ₃₀ < 15 nei terreni a grana grossa e Cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).	1.8	2.40	1,8
E	Terreni dei sotto-suoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).	1.56	1.94	1.56
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < Cu30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.			Servono studi speciali
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sotto-suolo non classificabile nei tipi precedenti.			

I parametri a/g, F₀ e T_c vengono forniti dalla normativa

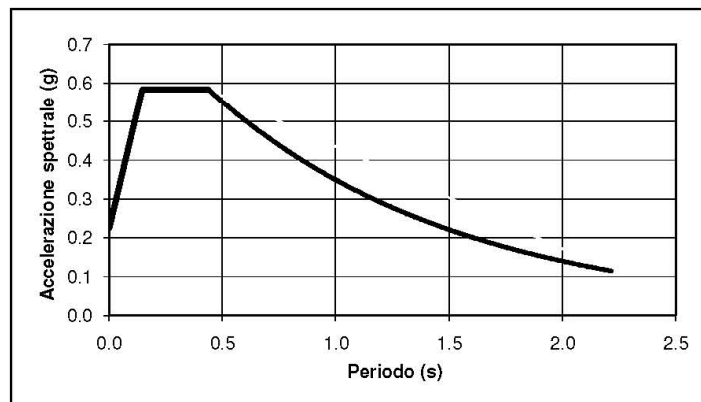
Categorie Topografiche:

		St	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesperte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO - COMP. ORIZZONTALE (NTC 2008)
Possibilità di superamento del 10% in 100 anni

	Ascisse (s)	Ordinate
$T_0 = ag \times S$	0.0000	0.2248
$T_b = T_c / 3$	0.1463	0.5821
$T_c = C_c \cdot T_c^*$	0.4390	0.5821
$T_d = 4.0 \times a_y / g + 1.6$	2.2160	0.1153



SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO - COMP. ORIZZONTALE
Possibilità di superamento del 10% in 50 anni
Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000
per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la
classificazione territoriale e urbanistica"

T (s)	Sa/a _{ref}	Sa/a _g
0.000	1.000	0.236
0.040	1.389	0.327
0.070	1.759	0.414
0.100	2.283	0.538
0.150	2.637	0.621
0.200	2.707	0.638
0.300	2.466	0.581
0.400	1.840	0.433
0.500	1.445	0.340
0.750	0.955	0.225
1.000	0.645	0.152
1.500	0.355	0.084
2.000	0.231	0.054

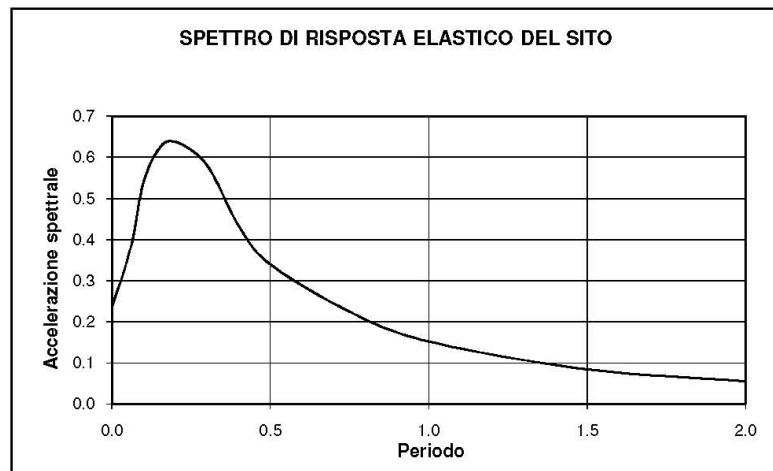
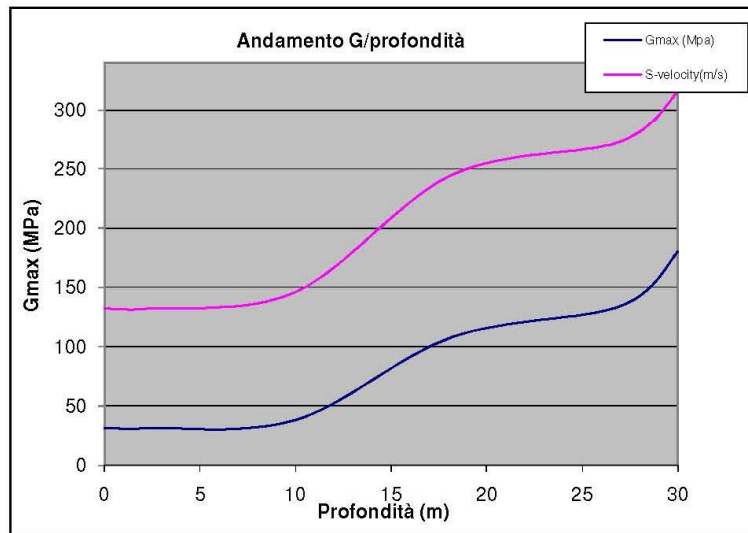


Fig. 27: Spettro di Risposta Elastico di riferimento locale e relativa tabella descrittiva, Categoria C.

Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	ρ (t/mc)
0.0	132	31	1.80
2.3	132	31	1.80
10.0	146	38	1.80
18.2	245	108	1.80
27.0	273	134	1.80
30.0	316	180	1.80



V_{s30} (m/s) = 206

Fig. 28: Curva di decadimento localmente individuata.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la classificazione territoriale e urbanistica

Località	Dodici Morelli (FE)
Metodo di indagine	MASW Attivo e Passivo (misura Vr)
Strumentazione utilizzata	Sismografo ABEM Terraloc Pro a 48 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione	Rumore naturale+10 kg
Geometria standimento:	24 geofoni - interasse 2 m

Valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo a_{refg} 0.157





Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (PIANURA 2)

Vs30	F.A.
200	1.5
250	1.5
300	1.5
350	1.4
400	1.4
450	1.4
500	1.3
600	1.1
700	1.0
800	1.0

Fig. 29: Valore di PGA e del Fattore di Amplificazione FA e del valore di PGA ($SX_{ag}/g - a_{refg}$). Il valore è congruente con i dati di P.S.C. di cui alla seguente figura.



F.A.=1.50

-  AMBITI DI POTENZIALE LOCALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI
-  PRODUTTIVO ESISTENTE
-  CONSOLIDATO
-  DOTAZIONI PRG VIGENTI

Figg. 30: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta dei Fattori di Amplificazione di I Livello del Quadro Conoscitivo del P.S.C. Il P.S.C. individua sempre ed indistintamente il valore di 1,50. Non si capisce perchè tradurre tale informazione in una cartografia.

5. SISMICITA' DELL'AREA

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 Cento è non correttamente classificato come zona sismica 3 e ad esso è associato un valore di accelerazione massima al suolo compreso tra 0,125 e 0,175 g.

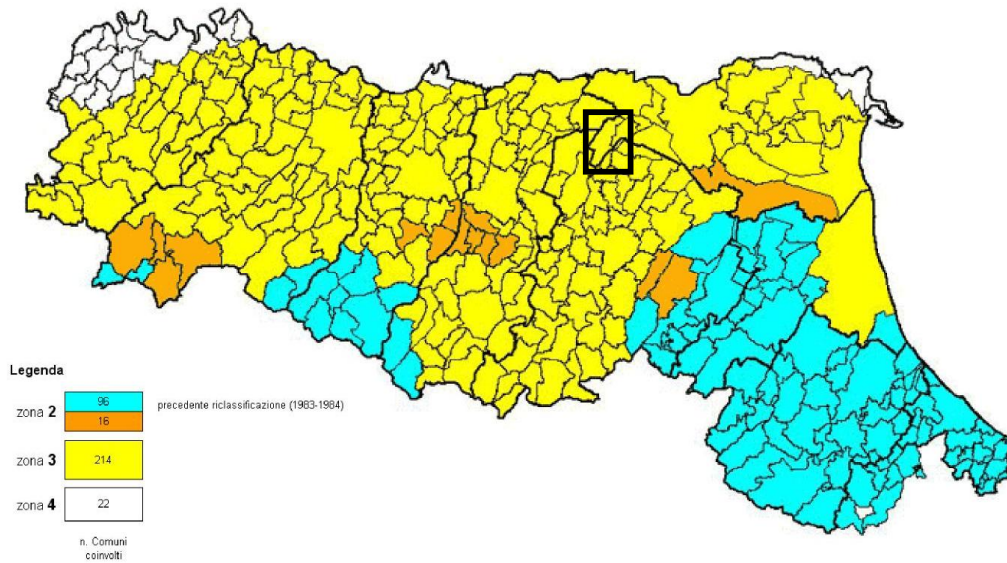


Fig. 31: Classificazione sismica del territorio regionale secondo l'OPCM 3274/2003. Il Comune di Cento (evidenziato dal riquadro nero), precedentemente non classificato, viene attribuito alla zona 3.

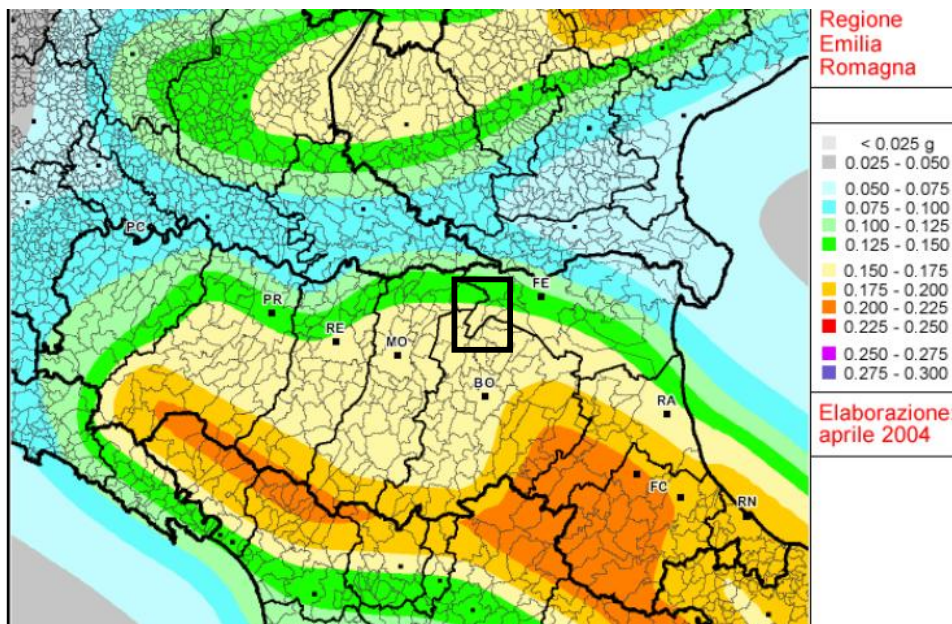


Fig. 32: Mappa di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Cat. A). All'area del Comune di Cento è associata un'accelerazione compresa tra 0,125 e 0,175 g. (Meletti & Montalbo, 2007).

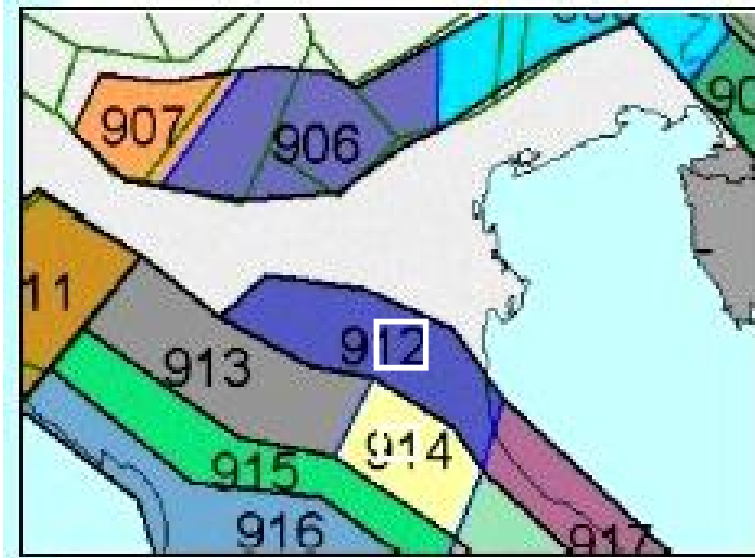


Fig. 33: Zone Sismiche nazionali, l'area in esame appartiene alla 912.

Alle Figg. 8 e 13 alle quale si rimanda, si può notare come l'area in esame si ubichi in prossimità di una complessa struttura sepolta caratterizzata da Faglie profonde. Queste faglie possono essere sede di movimenti tettonici e quindi sismici, come recentemente ben evidenziato. Tale geologia profonda ha originato e tuttora condiziona la storia sismica locale che è inserita nel contesto della tettonica africana che tende a chiudere il bacino del Mediterraneo- Adriatico spingendolo e ruotandolo verso l'Europa Centro- Orientale. Il comportamento sismico compressivo locale è inserito nella Zona Sismica 912 sopra evidenziata (come anche descritta alla Tab. 2 che sarà più oltre riportata ed alla quale si rimanda).

La storia sismica del Comune di Cento è un dato reale di cui occorre tenere debito conto. Durante la sequenza sismica emiliano dell'anno in corso, il Comune di Cento ha poi risentito pesantemente dello scuotimento, si sono registrati valori di accelerazione orizzontale e verticale molto elevati, sino a 0,30 g circa. La Magnitudo M_L dell'evento è stata misurata pari a 5,90. Gli intorni dell'area in esame sono stati pesantemente segnati da tale evento, la stessa cascina presente immediatamente a Sud del confine delle ragioni della Committenza ha subito estesi crolli e danneggiamenti non riparabili. Il capannone della Committenza denota segni successivi di miglioramento sismico delle strutture (messa in opera di piastre/ritegni ecc.).

Ma non si deve considerare solo la storia sismica recentissima, occorrerà tenere debito conto anche di quella compresa fra l'anno 1000 ed il 2012. Nonostante evidentemente, ad oggi l'evento più forte, anche negli effetti sia stato quello più recente.

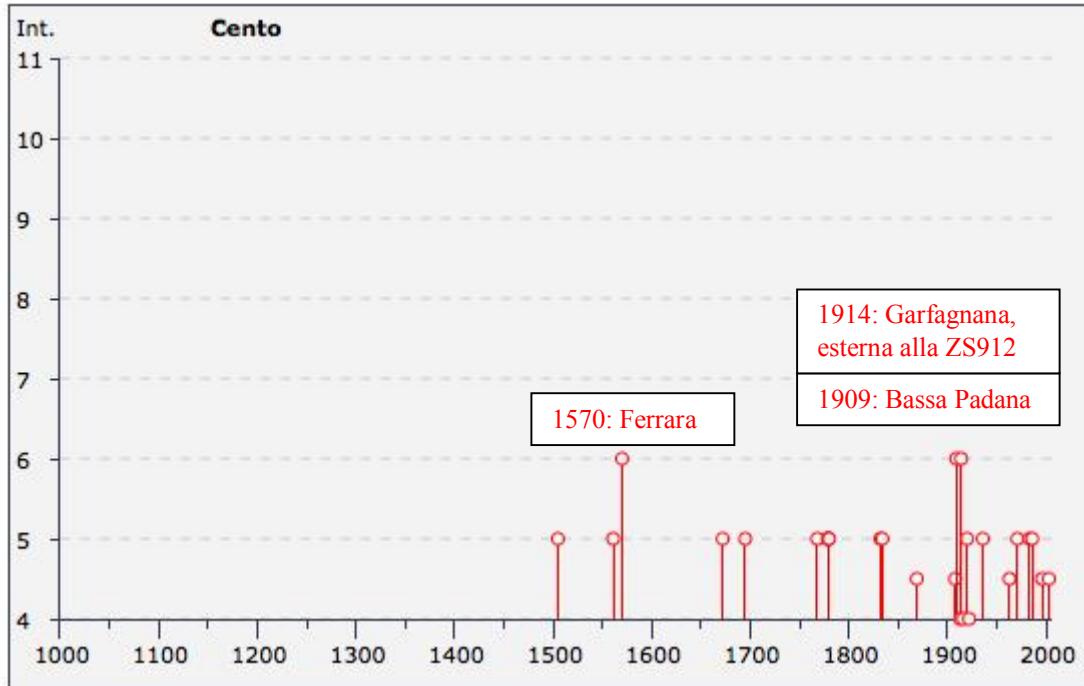
Di seguito si darà conto di tale storia sulla base dei dati messi a disposizione dell'INGV.

Storia sismica di Cento
[44.727, 11.289]

Numero di eventi: 46

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
5	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25	
5	1561 11 24 01:25	Ferrara	5	5-6 4.51 ±0.34	
6	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8 5.46 ±0.25	
NC	1624 03 19 19:45	Argenta	18	7-8 5.47 ±0.49	
5	1672 04 14 15:45	Riminense	92	8 5.61 ±0.21	
5	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10 6.48 ±0.18	
5	1768 10 19 23:00	Appennino romagnolo	45	9 5.87 ±0.21	
3	1779 06 01 23:55	Bolognese	8		
5	1779 06 04 07:00	Bolognese	13	7 5.24 ±0.52	
5	1779 06 10 08:35	Bolognese	10		
5	1779 07 14 19:30	Bolognese	17		
F	1779 11 23 18:30	Bolognese	14	5 4.99 ±0.31	
5	1780 02 06 04:00	Bolognese	9	6 5.13 ±0.57	
5	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8 5.53 ±0.18	
5	1834 10 04 19:00	Bolognese	12	6 4.85 ±0.43	
4-5	1869 06 25 13:58	Media valle del Reno	18	7-8 5.42 ±0.48	
3	1870 10 30 18:34	Romagna	41	8 5.58 ±0.27	
3	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10	
F	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11	
3	1878 03 12 21:36	Bolognese	31	6 5.06 ±0.30	
F	1881 01 24 16:14	Bolognese	38	7 5.16 ±0.30	
F	1881 01 25 07:06	Bolognese	18		
NF	1898 01 16 12:10	Romagna settentrionale	73	6-7 4.79 ±0.33	
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14	
4-5	1908 06 28 03:19	Finale Emilia	15	5 4.27 ±0.53	
6	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09	
4	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5 4.84 ±0.20	
6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09	
F	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132	5.95 ±0.14	
4	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257	6.14 ±0.14	
F	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09	
5	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09	
4	1922 05 24 21:17	Ferrarese	7	4 4.34 ±0.25	
NF	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09	
5	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09	
3-4	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7 5.08 ±0.16	
4-5	1963 04 05 13:49	Finale Emilia	6	4-5 4.09 ±0.34	
5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09	
3-4	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09	
5	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09	
5	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10	
3	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09	
2-3	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5 4.32 ±0.18	
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09	
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09	
4-5	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09	

Tab. 1: Storia sismica del Comune di Cento. La Magnitudo Mw massima registrata è pari a 5,53.



Figg. 35: Storia sismica Del Comune di Cento. L'Intensità Sismica (Is) massima registrata è pari a 6.

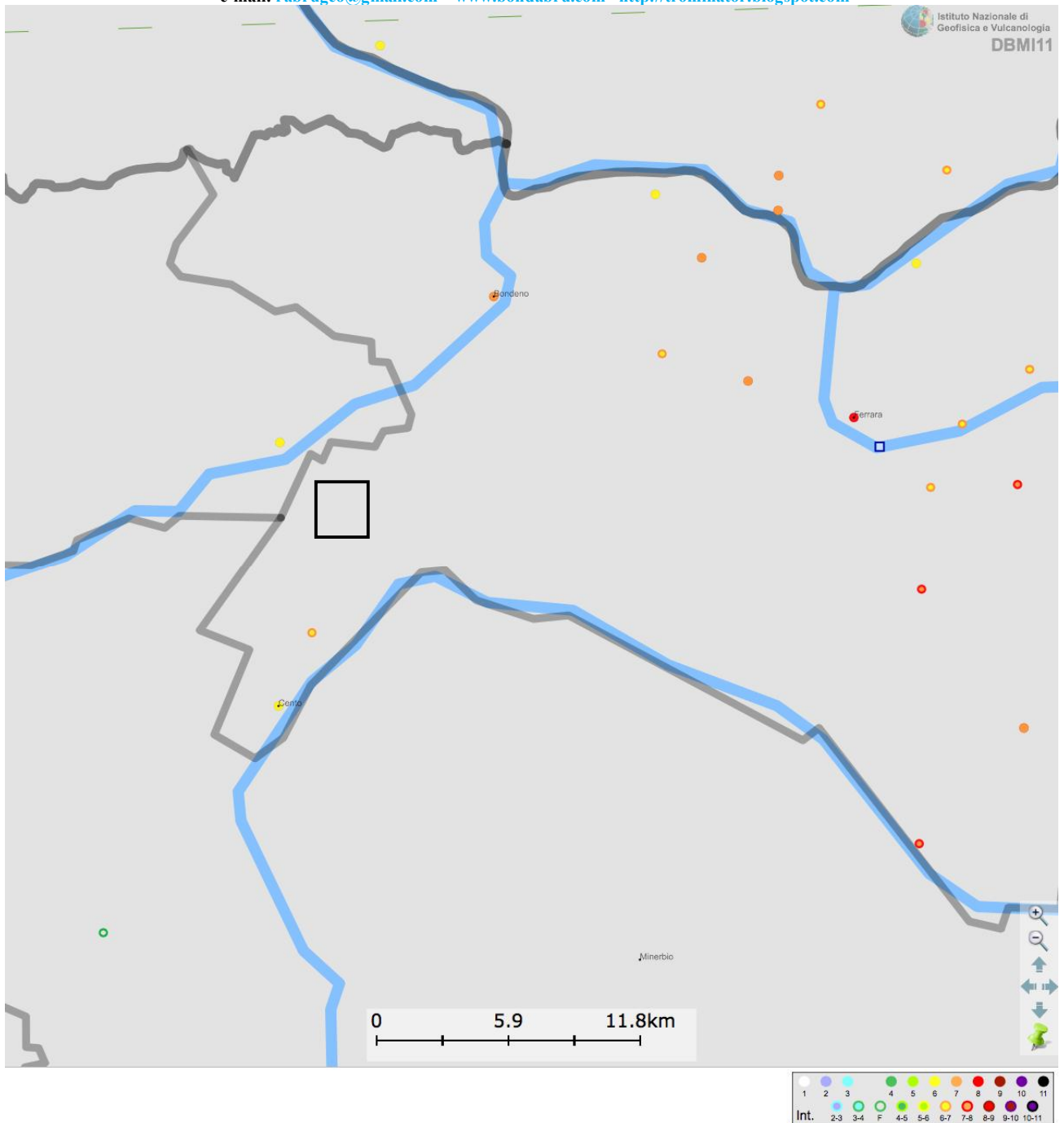


Fig. 36: distribuzione dei risentimenti dell'evento del 1570- Ferrara, scala libera. Come tratto dal sito dell'I.N.G.V. (DBMI04).

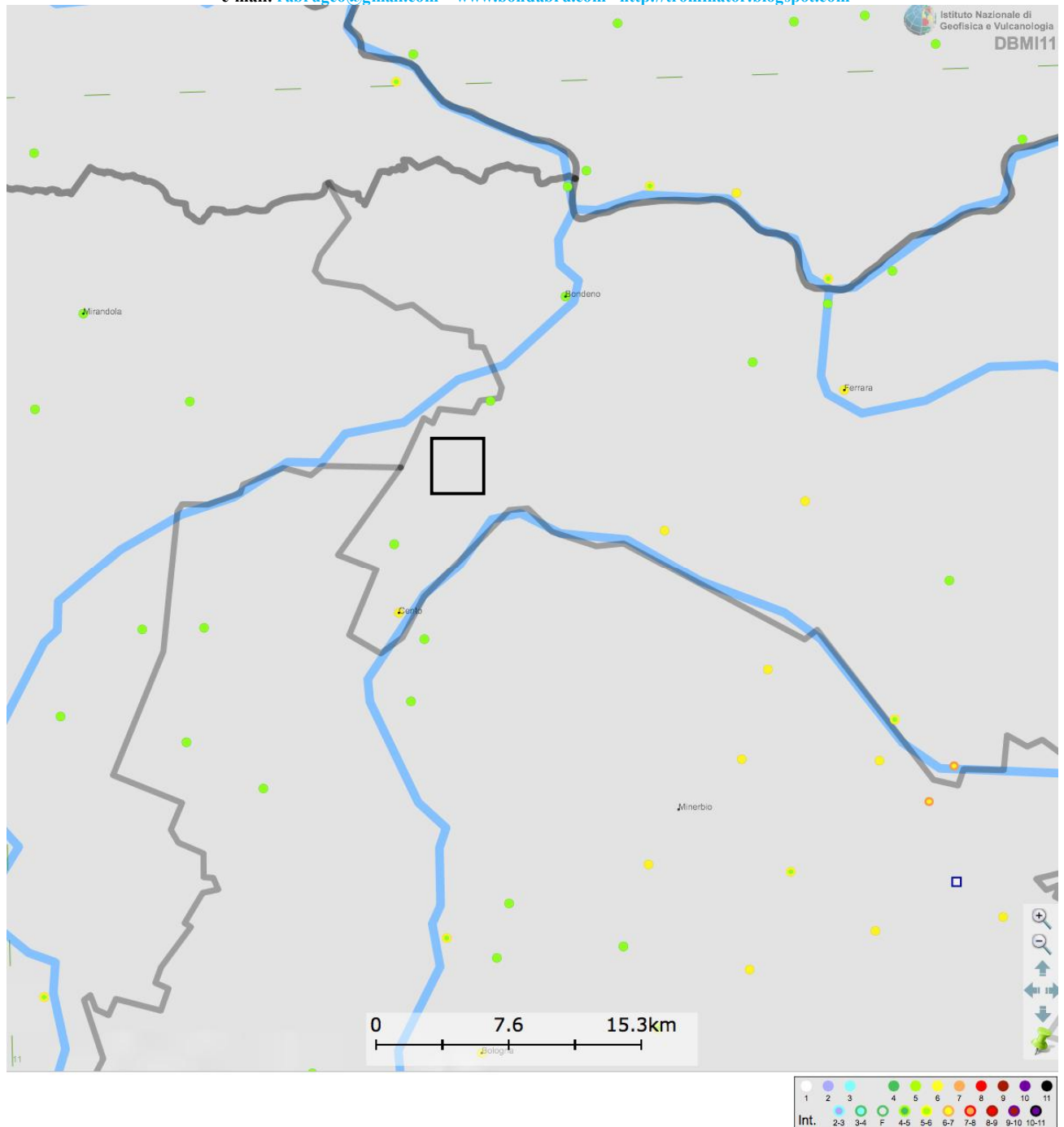
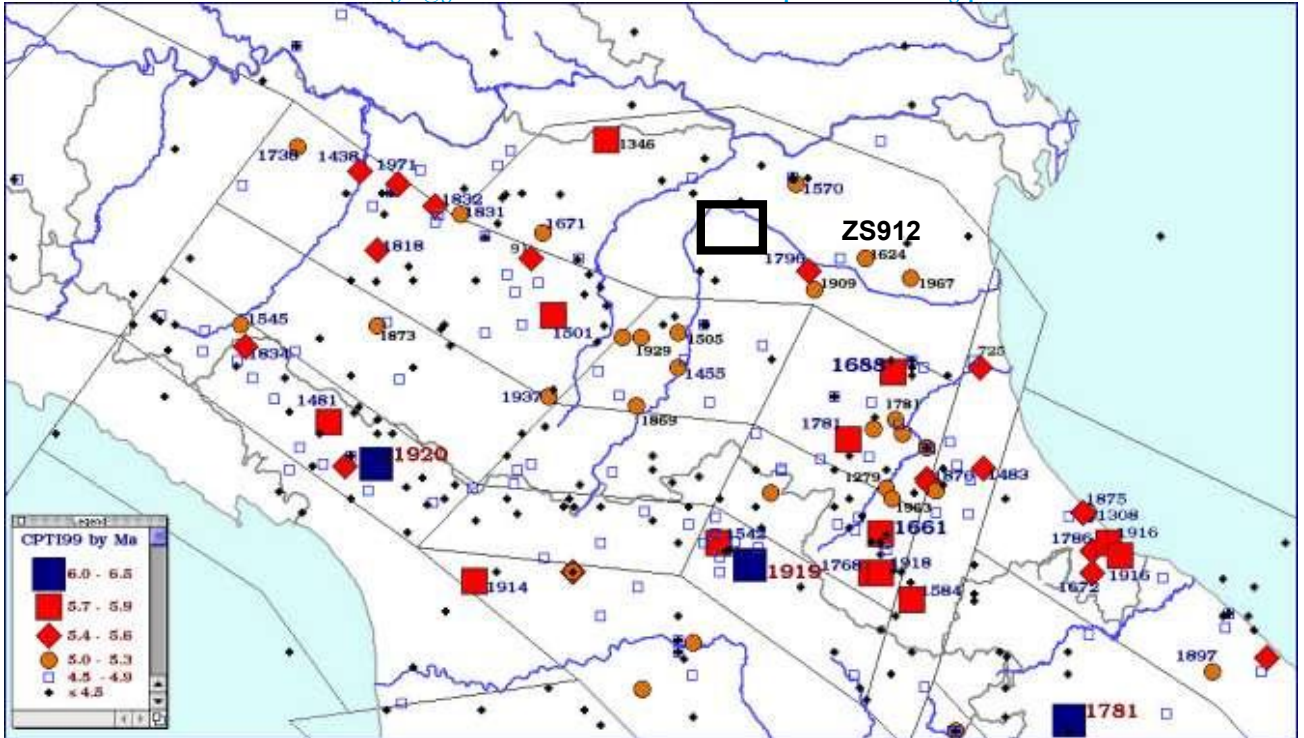


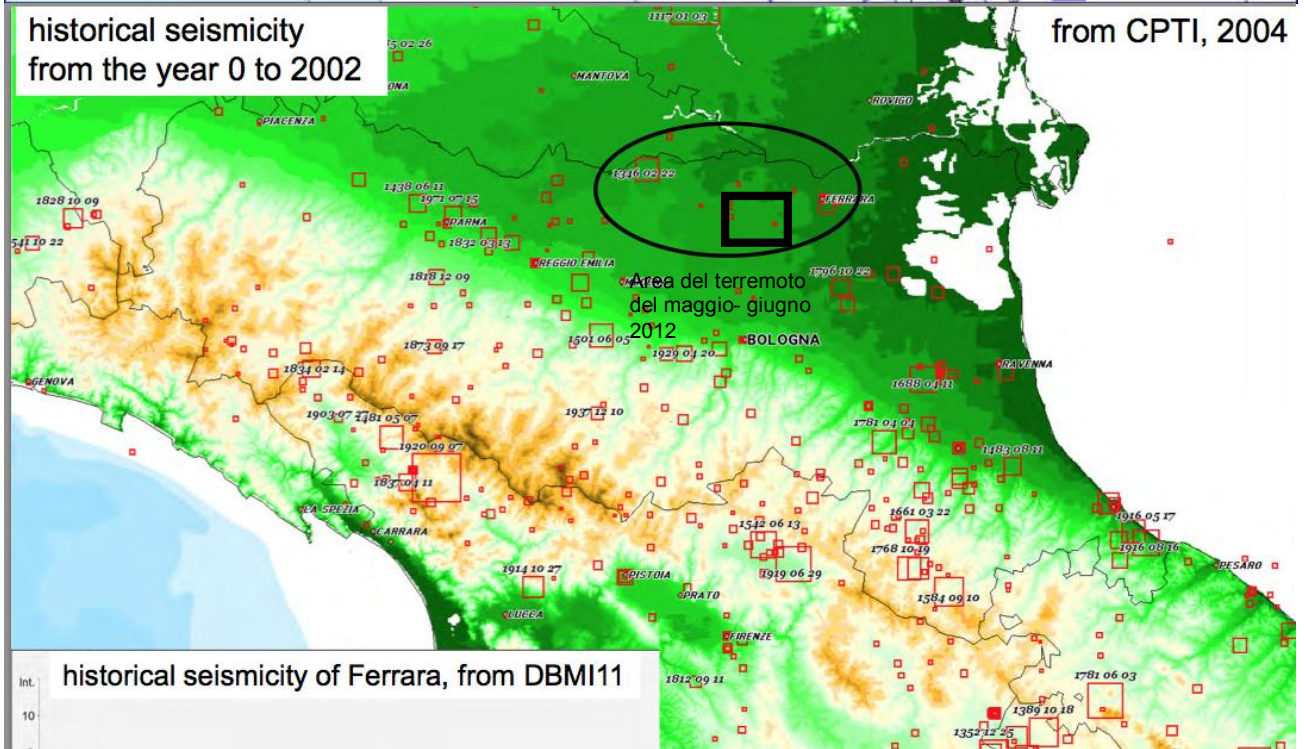
Fig. 37: distribuzione dei risentimenti dell'evento del 1909- Bassa Padana, scala libera. Come tratto dal sito dell'I.N.G.V. (DBMI04).

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 4.5 e 5.3 (Mw).

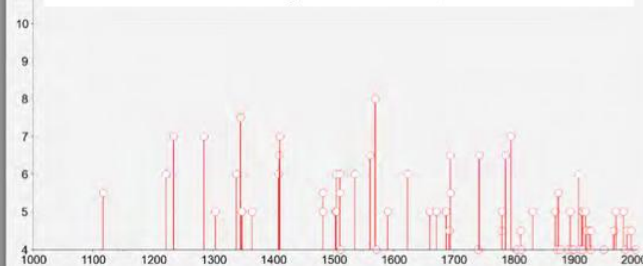


historical seismicity
 from the year 0 to 2002

from CPTI, 2004



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

Fig. 38: Mappe degli epicentri dei terremoti avvenuti in Emilia- Romagna dal XIII sec. ad oggi per classi di magnitudo (CPTI 99). Scale Libere e differenti. La seconda figura riporta l'area del "cratere sismico" (come volgarmente ed imprecisamente denominato) di maggio-giugno 2012.

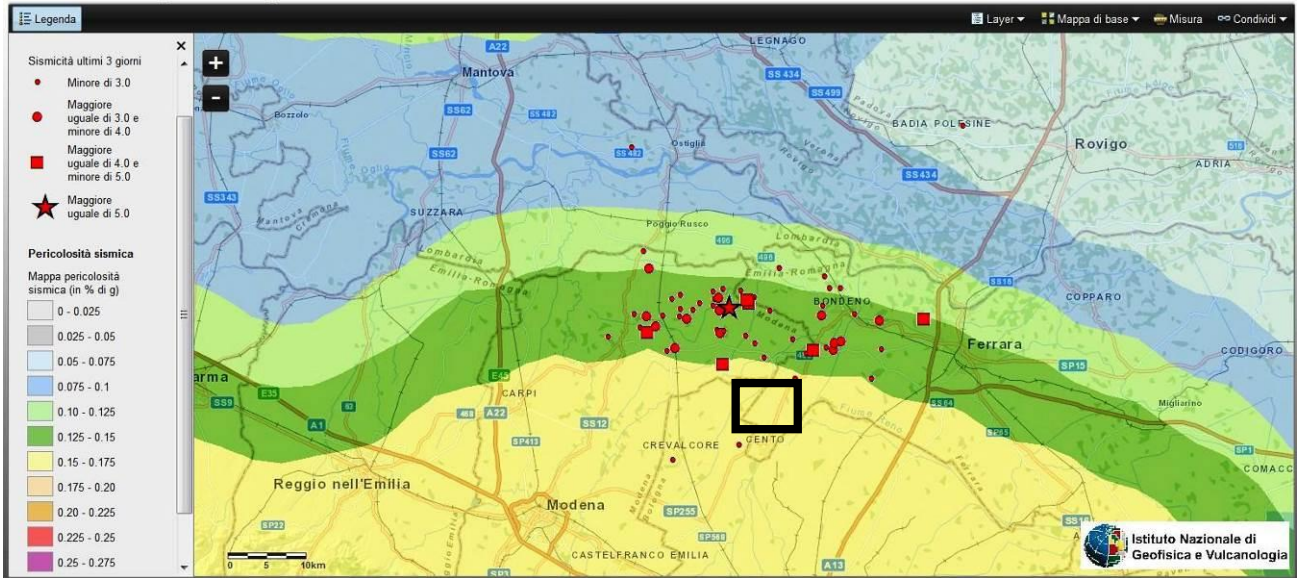
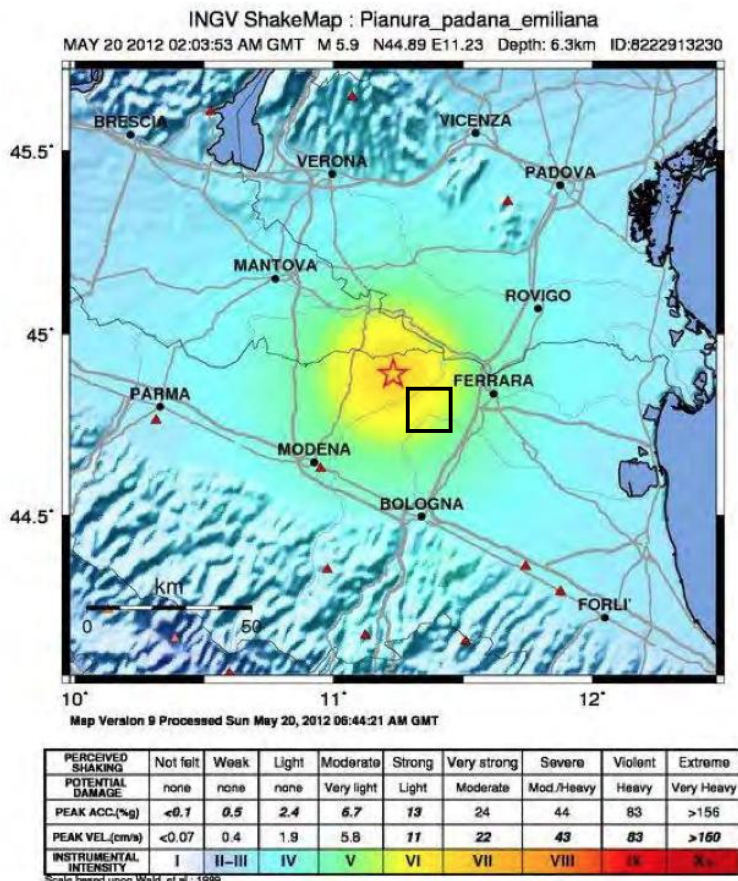
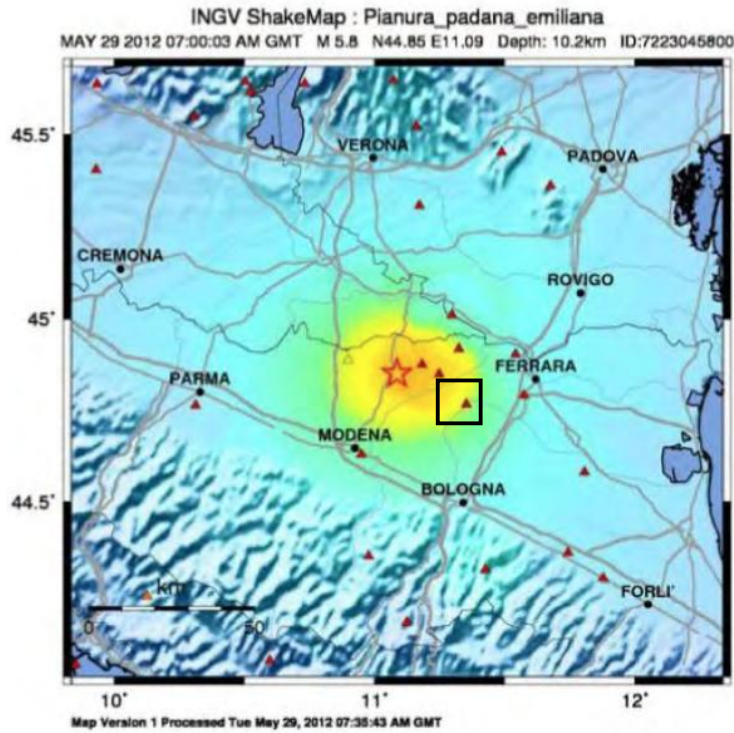


Fig. 39: ubicazione dei vari eventi sismici (epicentri) della sequenza maggio- giugno 2012. Scale Libere.



epicenter coordinates: 44.89°N, 11.23°E
 depth: 6.3 km

Fig. 40: Ubicazione degli epicentri degli eventi del 20 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.



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%)	<0.1	0.5	2.4	6.7	13	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	11	22	43	83	>160
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Scale based upon Wald, et al., 1999

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

Fig. 41: 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 magnitudo attesa per il territorio del Comune di Cento (e di una ulteriore fascia molto estesa della Provincia di Ferrara) è pari a 6,14 Mw. come riportato alla seguente tabella dell'INGV.

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.

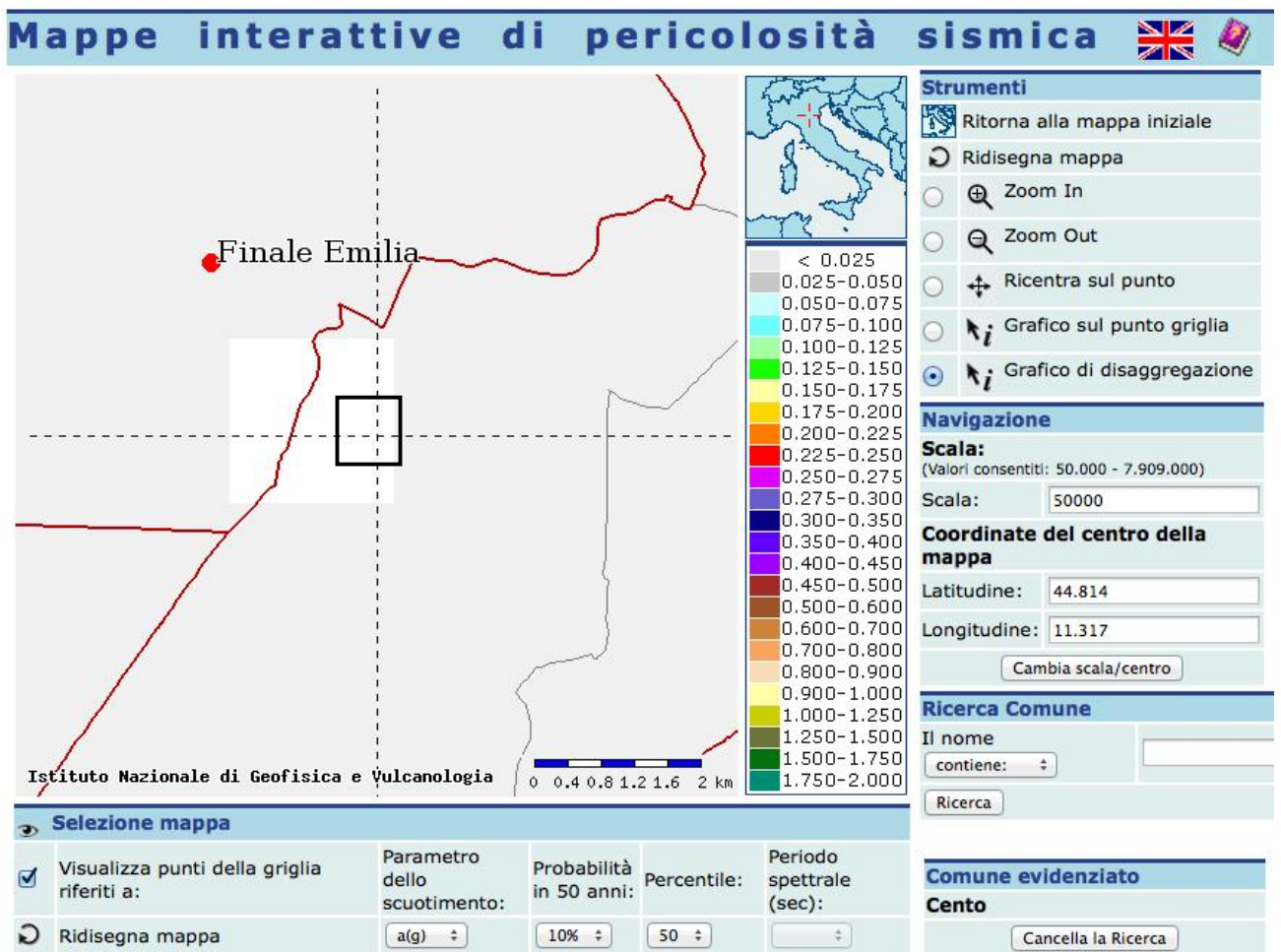
Also this new shock caused effects up to $I_{EMS}=VII$ (from QUEST report, INGV), aggravating the situation in the municipalities of Medolla, Concordia sulla Secchia, Cavezzo and S. Possidonio (MO), and in some towns of the Mantua province.

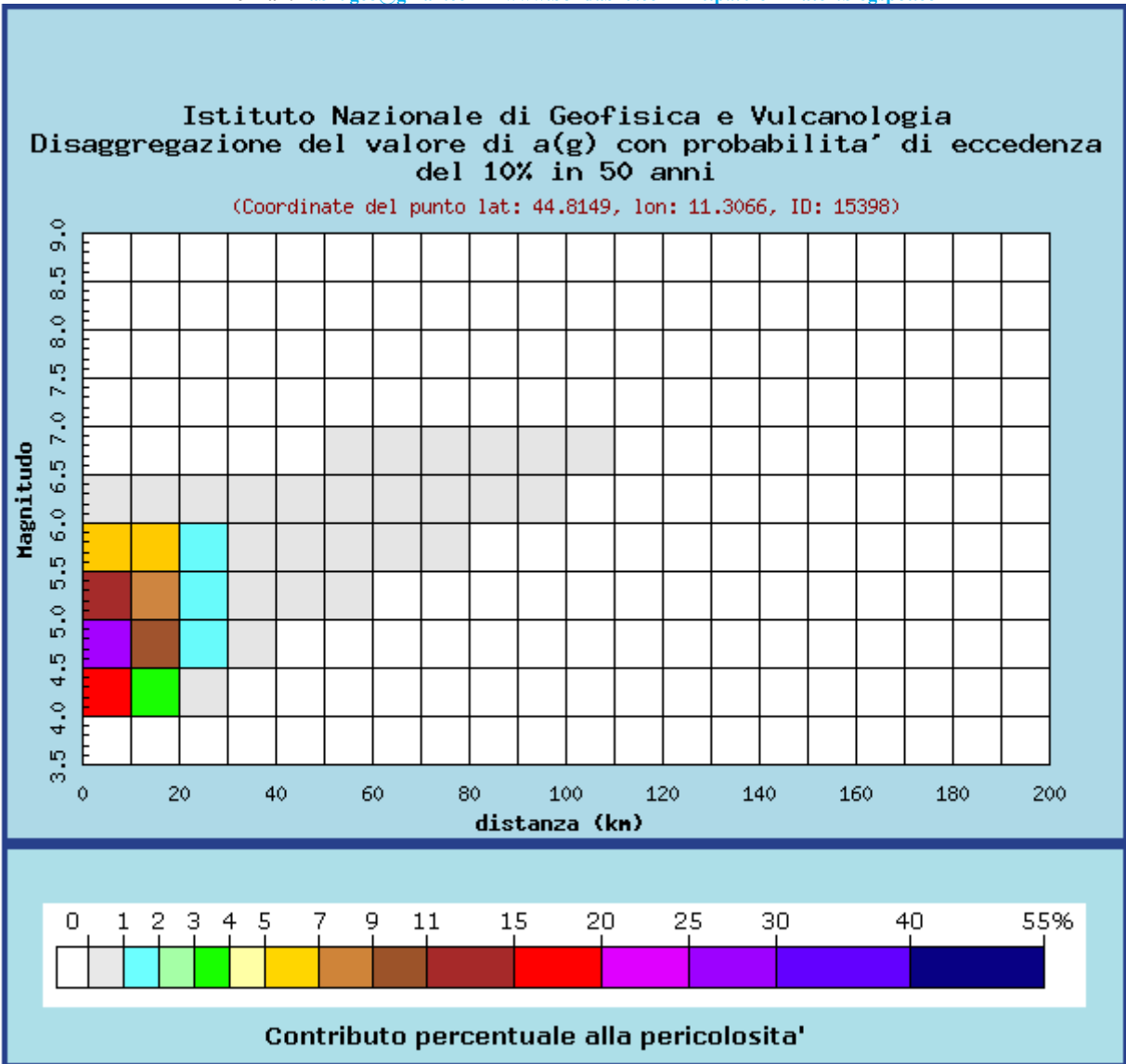
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	MwMax1	Tassi AR	MwMax2	b	Tassi da CO-04.2	Tassi da GR	Azione	Tassi GR adottati
Savoia	901	5.91	0.21	6.14	-1.18	0.14	0.11	A	0.11
Vallese	902	6.14	0.14	6.14	-1.26	0.14	0.19	A	0.14
Grigioni-Valtellina	903	5.91	0.21	6.14	-1.26	0.14	0.23	A	0.14
Trieste -Monte Nevoso	904	5.68	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. 2: 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 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 considerare che la scala di misura della magnitudo è logaritmica, quindi $M = 6,14$ "mette in gioco" energie sismiche (in senso lato) comunque molto maggiori rispetto a quelle dell'evento del 2012 di Magnitudo $M(L) = 5,90$.

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 Cento si potrà notare come il valore atteso di M sia pari a 4,96 (in sostanza 5,00) con probabilità di accadimento compresa fra il 20 ed il 25%, 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%. Le distanze epicentrali più probabili sono sino a 30 Km ma per percentuali molto basse si riscontrano episodi sino a 100 Km.

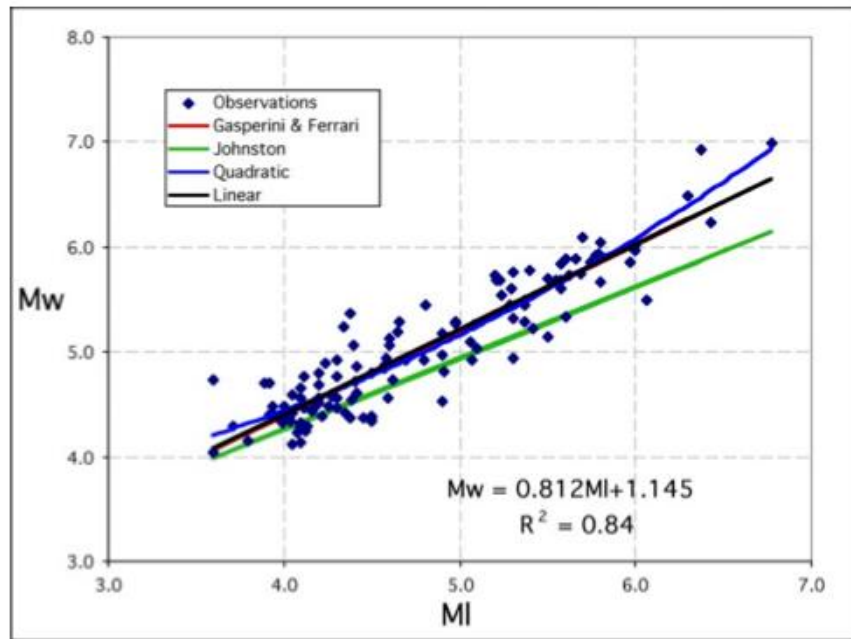




Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.8149, lon: 11.3066, ID: 15398)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	15.800	27.400	14.000	6.220	0.695	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.860	9.890	8.300	5.580	0.793	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.204	1.290	1.960	1.980	0.352	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.064	0.435	0.661	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.040	0.187	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.014	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.022	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	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
4.960	9.390	0.647

Figg. 42: tabelle di disaggregazione dei valori di M per Finale Emilia/area in esame (tratte dal sito del Progetto DPC- INGV- S1). La Magnitudo riportata è 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 può 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 5,2. $M_w = 0,953M_L + 0,422$; $3,9 \leq M_L \leq 6,8$ (Yenier, Erdogan, Akkar-2008), oppure: $M_w = 0,812M_L + 1,145$; (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. 43: grafico di regressione MI- Mw tratto dal Rapporto Conclusivo della Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica dell'INGV (Aprile 2004).

È comunque evidentissimo come tale disaggregazione sia stata pesantemente superata dall'evento di maggio- giugno 2012 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.

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

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 annesse alla vigente Normativa Sismica (l'Ordinanza 3274, 3316 e ss., già più volte citate) impongono detta verifica 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”, “Nel caso di edifici con fondazioni superficiali tale verifica può essere omissa per litotipi suscettibili che si trovino a profondità maggiore di 15 m dal p.c.” “Tale verifica si può altresì omettere nel caso $S_{ag} < 0,15$ g e contemporaneamente il litotipo potenzialmente liquefacibili soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:” -contenuto d'argilla $>20\%$ con IP (Indice Plastico) >10 ; -contenuto di limo $>35\%$ e $N_{spt}>20$; -frazione fine trascurabile e $N_{spt}>25$, (dove IP =Indice Plastico, N_{spt} =Resistenza Penetrometrica normalizzata alla prova N_{spt} in foro). La normativa impone che quando nessuna delle precedenti condizioni risulti soddisfatta si debba procedere alla verifica mediante i metodi generalmente accettati dalla Ingegneria Geotecnica.

Per l'area in esame il valore di S^*_{ag}/g è pari 0,225 (come riportato dalla Figura 26 alla quale si rimanda, relativa alla Categoria di suolo C).

Per l'area in esame non si rilevano litotipi granulari immersi in falda, se non da profondità maggiori di 11 metri circa, tali litotipi disposti in lenti (come graficamente riportato alla Sezioni di cui alle Figg. 19 e 20 alle quali si rimanda) sono quindi sovrastati da 11 metri di materiali argillosi non liquefacibili. Autori quali Sheriff, Ishibashi e numerosi altri riportano che (per energie sismiche pari a quelle attese per l'area in esame), qualora i terreni granulari siano sovrastati da 5- 6 metri di materiali argillosi e/o non liquefacibili, questi ultimi materiali svolgono una efficace azione di contrasto alla trasmissione degli effetti della (eventuale) liquefazione alla superficie. In sostanza un “tappo” argilloso impedisce che gli effetti di liquefazione delle sabbie sottostanti danneggino le opere presenti in superficie. Per l'area in esame, lo spessore di confinamento, essendo pari a 11 metri circa è doppio di quanto indicato dagli Autori.

Per cui non sussistono rischi locali derivanti da liquefazione. Occorrerà comunque osservare alcune avvertenze che verranno indicate più oltre. Tale affermazione è corroborata dall'apposita verifica eseguita dal Dott. Geol. E. Farinatti.

Detta verifica è stata eseguita nell'ambito dell'esecuzione delle misure sismiche passive ed attive localmente eseguite onde rispondere alle richieste contenute nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento Tecnico, ai sensi dell'Art. 16,c.1 della L.R: 20/2000 relativa agli Indirizzi e Studi di MS per la Pianificazione Territoriale ed Urbanistica. Le suddette risultanze della verifica eseguita vengono di seguito riportate.

Verifica a liquefazione

La prova CPT effettuata, ha rilevato la presenza di materiale granulare a partire da 10m di profondità da p.c.. Da tale livello , fino a 20m di profondità (come previsto dalle linee guida dell'AGI) è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione. La verifica è stata eseguita utilizzando le velocità Vs misurate e supponendo la presenza di una percentuale di limo e/o argilla compresa tra il 5% e il 35%, nonché una magnitudo di riferimento $M = 6.14$. Viene calcolato il coefficiente di sicurezza (previa una "normalizzazione" dei dati ottenuti per riportarli alla magnitudo di riferimento):

$$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5}$$

dove:

$CRR_{7.5}$ = rapporto di resistenza ciclica (per $M=7.5$)

$CSR_{7.5}$ = rapporto di tensione ciclica (per $M=7.5$)

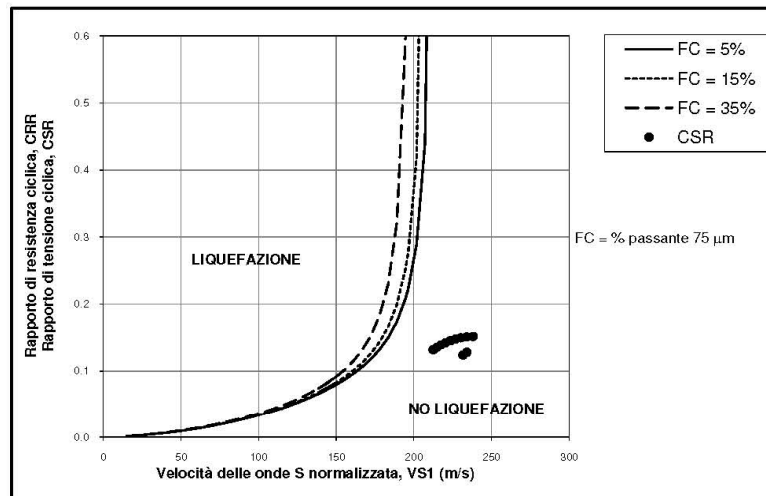
I risultati ottenuti (vedere grafico e tabella allegati) indicano che per il livello situato a 10m , si ha un coeff. di sicurezza < 1 , tuttavia le Vs1 (velocità delle onde di taglio normalizzate) risultano sempre superiori al valore di soglia $V^*s1=210m/s$ (valore oltre il quale non si verificano fenomeni di liquefazione), pertanto non si presenta un potenziale rischio di liquefazione .

Rovigo, Dicembre 2014

IND.A.G.O. s.n.c.
di Merola - Farinatti & Co.


VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

profondità (m)	Vs	Vs1	CSR 7.5	F _s = CRR _{7.5} /CSR _{7.5}
10.0	244	238	0.152	0.08
11.0	244	234	0.151	-0.06
12.0	244	230	0.150	-0.23
13.0	244	227	0.148	-0.45
14.0	244	224	0.145	-0.76
15.0	244	220	0.142	-1.22
16.0	244	218	0.139	-1.98
17.0	244	215	0.136	-3.50
18.0	244	212	0.132	-8.01
19.0	272	234	0.128	-0.07
20.0	272	232	0.124	-0.20



La velocità delle onde sismiche viene ricondotta ad un valore Vs1, ovvero ad un valore normalizzato ad una tensione efficace p_a = 100 kPa attraverso la:

$$V_{S1} = C_V \cdot V_S = V_S \cdot (p_a / \sigma'_{v0})^{0.25}$$

$$\text{RAPP. TENSIONALE CICLICO CSR} = \tau_{\text{media}} / \sigma' = 0.65 \cdot (a_{\text{max}} / g) \cdot (\sigma_v / \sigma'_v) \cdot r_d$$

a_{max} = accelerazione di picco al piano campagna
 g = accelerazione di gravità
 σ_v/σ'_v = tensione totale ed efficace nel sottosuolo
 r_d = coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità d'interesse che tiene conto della deformabilità del sottosuolo

$$\text{COEFFICIENTE DI SICUREZZA ALLA LIQUEFAZIONE } F_s = \text{CRR}_{7.5} / \text{CSR}_{7.5}$$

$$\text{CSR riferito ad terremoto di magnitudo 7.5 } (\text{CSR})_{M=7.5} = (\text{CSR})_M / \text{MSF}$$

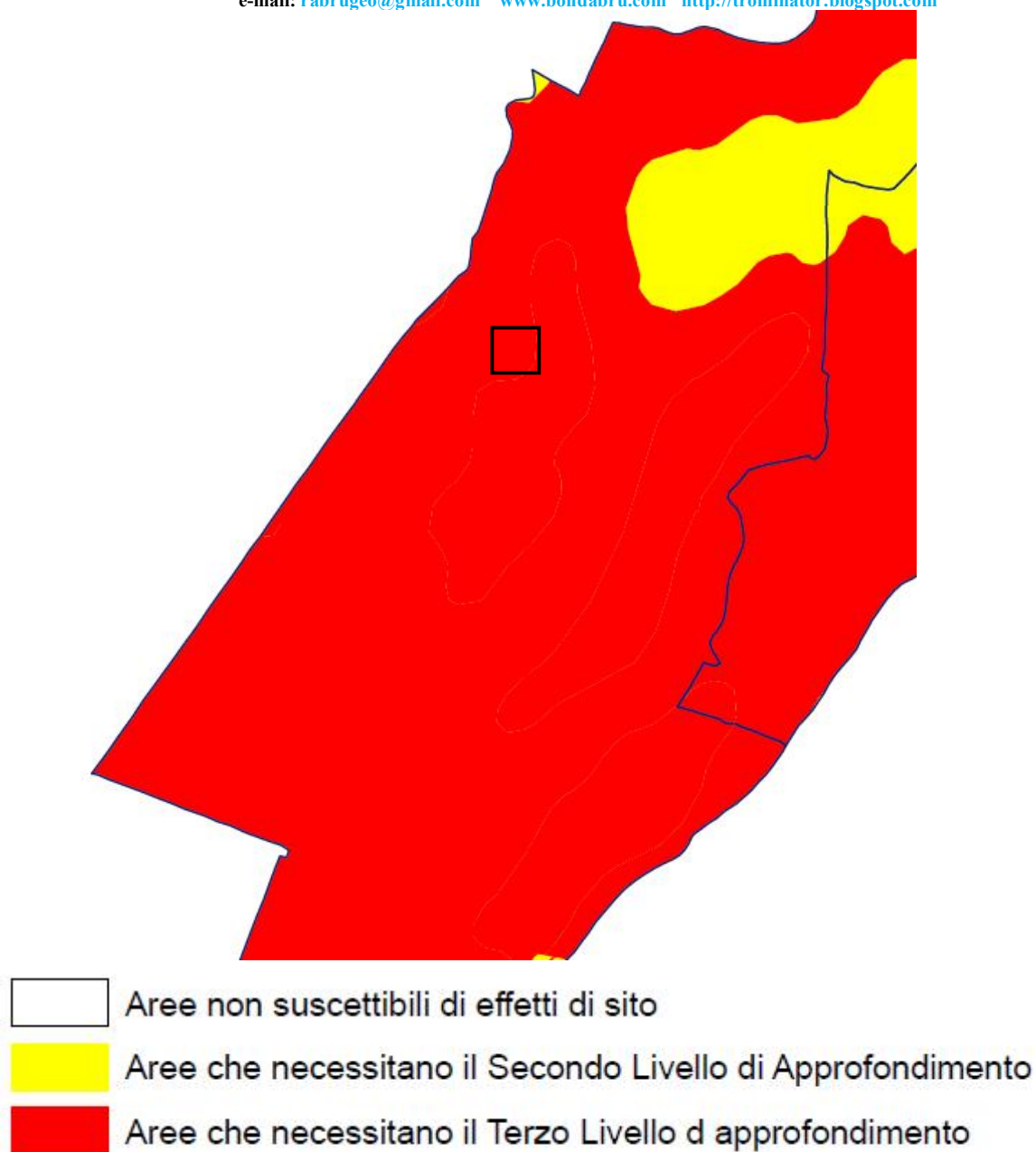
fattore di scala per la magnitudo MSF = 6.9 * EXP(-M/4) - 0.058

$$\text{RAPP. DI RESISTENZA CICLICA (riterito a M = 7.5) } \text{CRR}_{7.5} = 0.022x(V_{S1}/100)^2 + 2.8x(1/(V_{S1}^* - V_{S1}) - 1/V_{S1}^*)$$

Fig. 44: risultanze della verifica alla liquefazione eseguita sulla base dei dati evinti dalle misure sismiche passive ed attive localmente eseguiti. Tali risultanze escludono la possibilità locale di Liquefazione degli orizzonti granulari saturi.

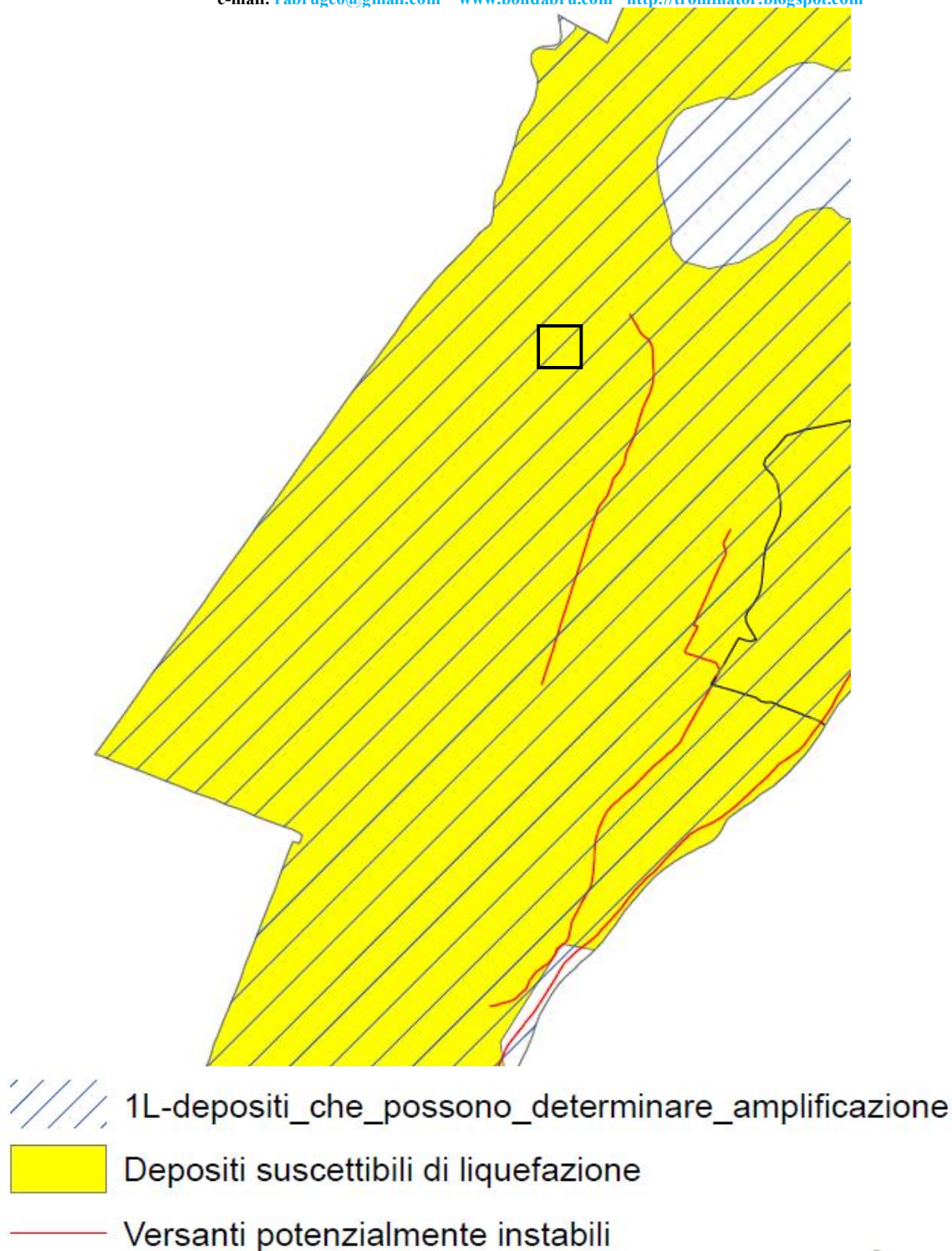
A questo punto corre l'obbligo allo scrivente di confrontarsi con i dati di caratterizzazione sismica messi a disposizione dal P.S.C. del Comune di Cento. In tale documentazione, come si vedrà, compaiono informazioni contrastanti ma occorre eseguire tale confronto con lo spirito critico che le risultanze delle indagini localmente condotte impongono, onde individuare eventuali elementi di rischio.

Già a partire da quanto riportato dalla Tav. 1: Carta Semaforica di I Livello (!), parrebbe che pressochè l'intero territorio del Comune di Cento dovrebbe essere interessato da studi di III Livello di approfondimento. Nella presente relazione abbiamo dimostrato che così non è, per lo meno per l'area in esame, dove la presenza profonda dei litotipi granulari saturi esclude il rischio co- sismico da liquefazione. Di seguito si riporta stralcio della citata tavola di P.S.C.



Figg. 45: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta Semaforica di I Livello del Quadro Conoscitivo del P.S.C.

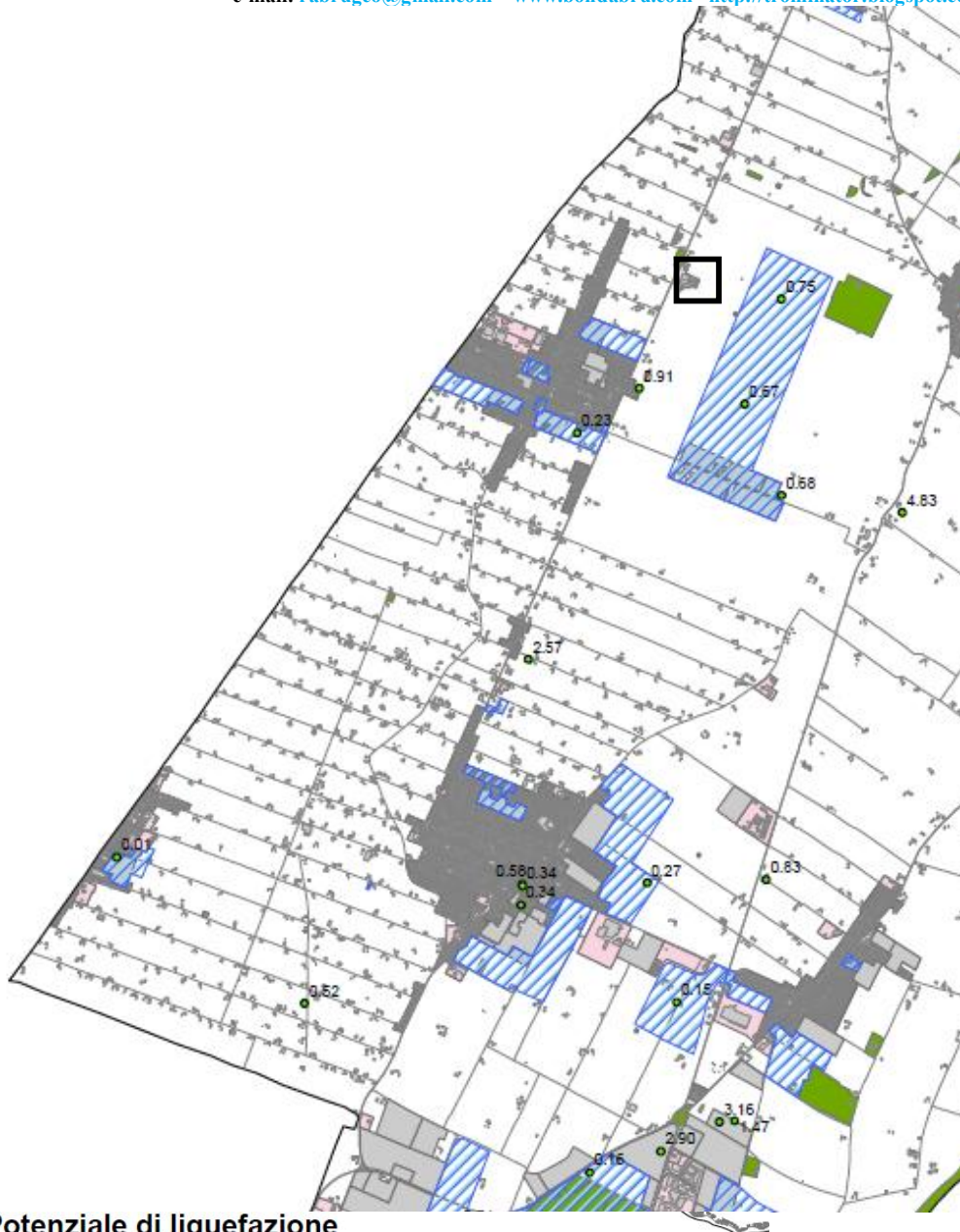
La Tav. 2: Carta degli Effetti di Sito del P.S.C. (di cui si riporterà apposito stralcio) riporta che l'area in esame dovrebbe essere interessata dalla presenza di depositi suscettibili di liquefazione, la presente relazione ha ampiamente dimostrato che i depositi granulari saturi localmente rilevabili al di sotto dell'area in esame, essendo a profondità maggiori di 11 metri dal p.c. non costituiscono alcun rischio locale. Comunque sino alla suddetta profondità di 11 metri dal p.c. non si rileva alcuna presenza sabbiosa, le informazioni della Tav. 2 (segunte Figg. 46) debbono quindi essere considerate errate.



Figg. 46: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta degli Effetti di Sito di I Livello del Quadro Conoscitivo del P.S.C.






A parte l'aver smentito le sintesi delle suddette cartografie di P.S.C., è lecito chiedersi da dove discenda tale sintesi, infatti la Carta del Potenziale di Liquefazione del P.S.C. (di cui si riporterà di seguito apposito stralcio) avrebbe dovuto suggerire una lettura più articolata/meno semplificata del quadro complessivo in questione. Certamente la tavola è di difficile lettura e forse pure di scarsa utilità complessiva se non addirittura fuorviante poiché interpola dati puntuali anche su aree non

indagate, dimenticando clamorosamente che il fenomeno liquefativo dipende primariamente dall'assetto lito- deposizionale il quale dovrebbe a sua volta essere considerato fra il p.c. e la profondità di 20 m dal p.c. Data l'origine della Pianura Padana e la natura divagativo deposizionale tridimensionale (esplicata agli appositi punto della presente relazione) che regola/sottende/condiziona il fenomeno della liquefazione, appare quantomeno problematico ed errato il non considerare tali particolarità ed estendere i dati puntuali (calcolati su verticali di indagini quali C.P.T./C.P.T.U.) riportati alla seguente figura, su estese superfici quali quelle delle due figure precedenti (45 e 46). Gli studi eseguiti sull'area in esame ed esposti nella presente relazione smentiscono evidentemente quanto riportato dal P.S.C. Le critiche quivi riportate sono quindi legittime, lo erano anche al tempo della redazione del piano, tant'è che l'Ordine dei Geologi della Regione Emilia- Romagna depositò tutta una serie di osservazioni, alle quali il solo Comune di Bondeno (il P.S.C. era in forma associata: "Alto Ferrarese") rispose considerandole condivisibili. Il riportare tutte queste considerazioni critiche non è da considerarsi uno strumentale accanimento contro uno strumento di pianificazione peraltro utile e legittimo ma serve a rendere edotti delle difficoltà nelle quali non può che muoversi una ricerca puntuale che smentisce uno strumento di estesa pianificazione del territorio. Si deve infatti considerare che le conclusioni della presente relazione sono opposte a quelle del P.S.C. per cui la critica (articolata ed estesa) è anche funzionale a meglio esplicitare/giustificare le conclusioni già ed ulteriormente di seguito riportate.



Potenziale di liquefazione

- 0-5 Basso
- 5-15 Elevato
- >15 Molto elevato

-  AMBITI DI POTENZIALE LOCALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI
-  ATTUAZIONE PRG
-  PRODUTTIVO ESISTENTE
-  CONSOLIDATO
-  DOTAZIONI PRG VIGENTI

Figg. 47: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Carta del Potenziale di Liquefazione del Quadro Conoscitivo del P.S.C.

È chiaro che per tutta l'area dell'"Alto Ferrarese" (come della "Bassa Modenese" e del "Basso Bolognese") interessata dal sisma del 2012 lo sviluppo del fenomeno liquefattivo ha costituito un drastico risveglio da una scarsa consapevolezza od addirittura pressochè assoluta ignoranza delle possibilità di accadimento del detto fenomeno (la stessa cosa può dirsi per la semplice "consapevolezza sismica" tout-court) e ciò anche relativamente a quanto asserito nella documentazione (Relazione Geotecnica -!- Sismica, inopinatamente a firma di ben tre Ingegneri e di nemmeno un Professionista Geologo, sulla cosa pende una segnalazione all'Ordine degli Ingegneri. La segnalazione circa l'assenza della corretta professionalità non è una questione corporativistica ma, come si sta cercando di illustrare, ha comportato problematiche non trascurabili di corretta definizione del fenomeno), ovvero che la suscettibilità alla liquefazione rilevata sulle 14 verticali sulle quali si sono condotte le verifiche, per il Comune di Cento fosse sempre BASSA (Tabb. 6.6.1 e 6.6.2. della relazione di P.S.C. che per brevità si ometteranno). Di certo si può osservare che nella definizione di tali risultati gli estensori abbiano commesso errori non trascurabili, ad esempio il valore di Magnitudo (M_L o M_W ?) localmente attesa venne posta pari a 5,81 (Pagg. 35 e 47 della relazione di P.S.C. che per brevità si ometteranno), in aperto contrasto con quanto previsto dall'INGV ($M_w=6,14$) e riportato alla Tab. 2 (alla quale si rimanda) della presente relazione. Bisogna pur ammettere che gli estensori quasi centrarono il reale valore di Magnitudo (che come già ampiamente riportato dallo scrivente, l'INGV sovrastima. Ma ciò che vale per l'edificazione dovrebbe evidentemente valere anche per la pianificazione onde evitare pericolosi corto circuiti, che invece come evidente, sono stati ben presenti) dell'evento sismico del 2012, dato che 5,81 è molto prossimo al 5,90 dell'evento sviluppatosi a maggio del 2012, ma sbagliarono clamorosamente le conclusioni. Oppure l'evento sismico del 2012 ha impietosamente evidenziato risultati ben diversi: conclamati ed estesi fenomeni di liquefazione. Gli estensori rilevavano invece un rischio sempre Basso. Anche relativamente al valore di $SX_{ag/g}$, utilizzato nel P.S.C. e pari a 0,157 g (come riportato a Pag. 41 della relazione che per brevità si ometterà) sorgono dubbi, dato che per l'area in esame esso è infatti stato individuato pari a 0,225 g.

Questo ragionamento trova però ad un certo punto un brusco cambio di direzione, infatti a fronte di verifiche che riportano sempre rischio basso, si sono poi prodotte le due cartografie riportate alle precedenti Figg. 45 e 46; ciò ha logicamente originato una situazione disorientante di non chiarezza delle conclusioni contenute nel P.S.C. circa il fenomeno liquefattivo, da una parte si dice infatti: rischio sempre basso, dall'altra si dice: sempre verifica di III Livello. Che implicherebbe l'individuazione di un reale rischio. In tale ambito contrastante lo scrivente deve inserire le proprie conclusioni locali.

Resta poi da osservare che il fenomeno della liquefazione avrebbe meritato una ben più attenta analisi ed avrebbe richiesto e tuttora richiede una maggior compenetrazione di metodi di analisi multidisciplinari (dall'analisi geologica/geomorfologica stratigrafico- deposizionale, all'analisi petrografica, fisica, geotecnica e chimica) che non sono state messe in campo né in fase di pianificazione- P.S.C., né a seguito dell'evento sismico. La presente relazione ha messo in campo tutti i dati attinenti alla sfera delle Scienze della Terra/Geologia funzionali all'attuale fase di intervento, ovvero l'individuazione degli elementi di pericolosità (o di limitazione) di una data area.

Ancora, all'intorno di tutte queste problematiche, le considerazioni che si vanno prolungando sono funzionali a valutare se per l'area in esame il fenomeno della liquefazione, costituisca un reale rischio ed in quale misura. Si deve infatti considerare che al di là di quanto previsto dal P.S.C., la realtà ha dimostrato come nei terreni presenti attorno a XII Morelli in effetti si siano registrati effetti di liquefazione, nella fattispecie si sono avute risalite di fluidi costituiti da miscele di acqua e sabbie e/o sabbie e limi. Risalite avvenute in coincidenza di pozzi/incisioni (canali- scavi ecc.) e più raramente di spaccature del terreno. Nelle more di una ricerca scientifica locale e nazionale che non si è peritata di sviluppare (e/o di tarare i metodi creati da Ricercatori Statunitensi, Giapponesi, Greci ecc., che chiaramente avevano in mente le loro realtà geologiche.....) metodi di analisi/calcolo/verifica che possano meglio descrivere le realtà lito- stratigrafico deposizionali caratteristiche della realtà della Pianura Padana e quindi nelle more tecniche dei metodi di verifica attualmente a disposizione dei Professionisti, si può in definitiva ripetere quanto già affermato: la liquefazione non rappresenta un rischio sismico/co- sismico per l'area in esame.

Ma qualora la liquefazione dovesse nonostante tutto svilupparsi (quale sorta di contrappasso per le critiche mosse dallo scrivente allo strumento del P.S.C.), si ritiene comunque di dover/poter considerare quanto segue.

Ci si deve chiedere se il fenomeno della liquefazione, come sviluppatosi nei dintorni di XII Morelli (o anche negli abitati di San Carlo e Sant'Agostino, ovvero l'epicentro degli effetti dei fenomeni liquefativi del maggio del 2012) costituisca un reale pericolo/rischio o piuttosto solamente un semplice disagio connesso alla messa a giorno (nel caso della presenza di pozzi e/o dell'apertura di fratture nel terreno) di qualche m³ di materiale. Infatti si deve osservare che appunto a San Carlo/Sant'Agostino (allo stato delle conoscenze) si sono raramente registrati cedimenti sismici e/o post- sismici da liquefazione in condizioni litostratigrafiche assimilabili a quelle rilevate sull'area in esame. Nemmeno si sono registrati cedimenti differenziali quali quelli (e nemmeno in misura nettamente inferiore) con i quali classicamente veniva descritto il fenomeno della liquefazione, che in altre parti del mondo pare evidenziare effetti clamorosi e realmente pericolosi. Le future eventuali

edificazioni sull'area in esame dovranno comunque attentamente considerare la necessaria rigidità delle strutture fondali ed in elevazione, atte a minimizzare gli effetti di cedimenti assoluti e/o differenziali, anche relativamente alle finiture e/o alla funzionalità degli impianti e/o delle linee. Si osservi che data la natura fortemente compressibile dei terreni di fondazione, ciò è vero ed ancor più importante per l'aspetto geotecnico, che ponderalmente è molto più importante dato che agisce sempre e sicuramente, che non per l'aspetto sismico/co- sismico che agisce solo occasionalmente.

Si prescrive comunque di non eseguire pozzi freatici e/o profondi nel sedime dell'area stessa e/o nei suoi immediati pressi.

Ovviamente, occorre osservare come allo stato attuale delle conoscenze non sia possibile prevedere l'apertura di fratture del terreno. Nel caso ciò avvenisse al di sotto di qualsiasi edificio questo sarebbe perso senza ombra di dubbio e la eventuale messa in opera di particolari presidi (quali?: catene, ritegni ecc.) potrebbe anche non evitare il manifestarsi di effetti macroscopici sull'edificio.

7. CONCLUSIONI

Nei limiti delle indagini eseguite la presente relazione ha descritto i caratteri afferenti alla Scienza della Terra/Geologia che caratterizzano l'area in esame ed un suo significativo intorno e che condizionano la possibilità di pianificare interventi di ampliamento/edificazione. Tali condizioni sono state esplicitate e non costituiscono alcun elemento ostativo/di diniego. In relazione si sono riportate anche raccomandazioni/suggerimenti atti a superare le eventuali limitazioni locali ed i limiti delle indagini realizzate.

In più si deve ricordare che, come previsto dal D.M./N.T.C., ogni singolo eventuale intervento di edificazione locale di qualsiasi tipo di struttura e/o di qualsiasi natura dovrà comunque prevedere una apposita fase di progettazione che tenga in debita considerazione tutti gli aspetti e le limitazioni evidenziati dalla presente relazione e tutti i suggerimenti e le prescrizioni ivi riportate.

In ragione della natura degli eventuali interventi non si può escludere la necessità di eseguire ulteriori apposite indagini, quali ad esempio sondaggi stratigrafici e/o opportune prove in situ.

Argenta, li 20/12/14

Geologo Raffaele Brunaldi

