

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI MODENA  
COMUNE DI CARPI

## RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;  
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DAL RER 112/2007; DGR 2193/2015;  
DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni;  
Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

### Progetto

REALIZZAZIONE DI UN NUOVO FABBRICATO AD USO ANNESSO AGRICOLO

### Localita'

SANTA CROCE - SP 468

### Committente

AZ. AGR. QUERCETA SRL

### Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



### Data

APRILE 2017

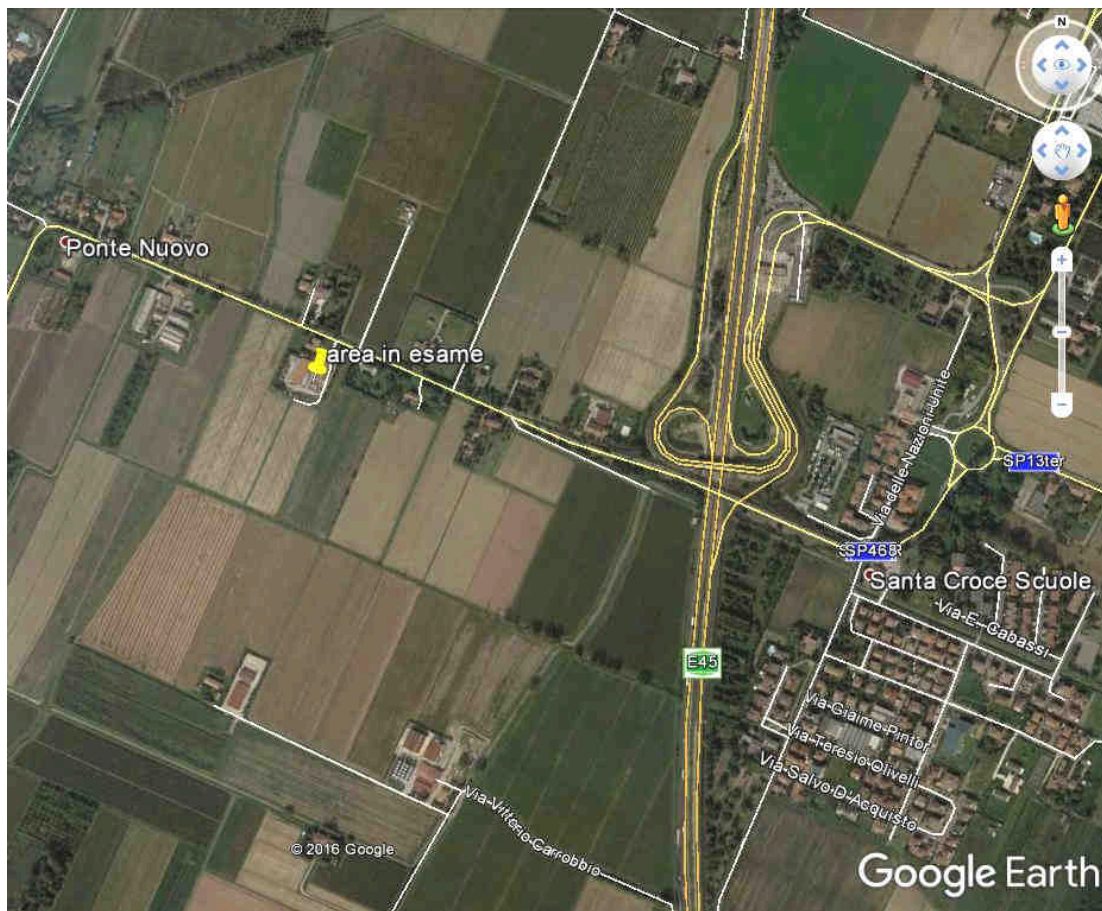
Studio Preci  
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente  
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena  
Tel: 059.823020 - Cell: 3398264394  
e-mail: precigeo@virgilio.it

## **INDICE**

<b>1. Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Modellazione geologica del sito.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Metodologia d'indagine delle prove in sito.....</b>	<b>12</b>
3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT.....	12
3.2 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico.....	14
<b>4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno.....</b>	<b>14</b>
<b>5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito.....</b>	<b>15</b>
5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	18
5.2 Misura del microtremore sismico.....	20
5.3 Azione Sismica.....	22
<b>6. Considerazioni conclusive.....</b>	<b>26</b>
<b>Allegato A - Elaborati delle indagini geognostiche.....</b>	<b>27</b>

## 1. Premessa

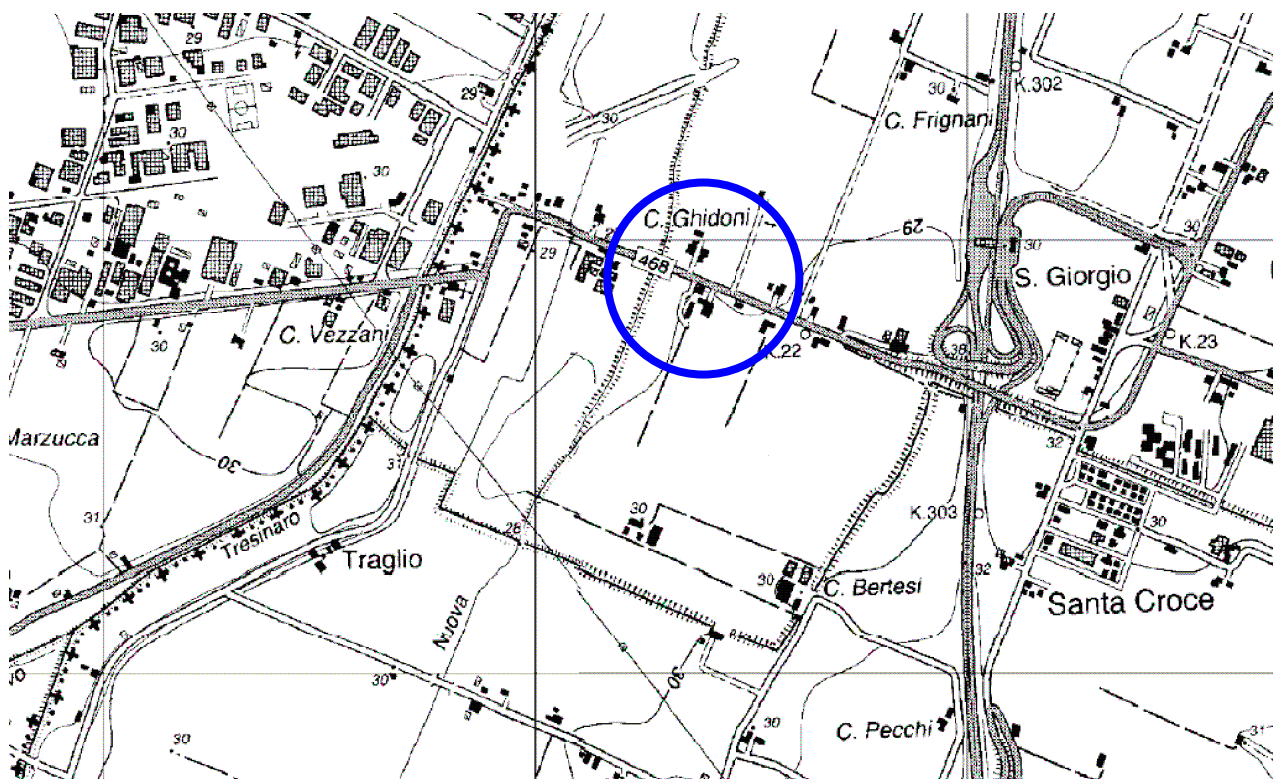
La presente relazione è stata eseguita per conto della committenza al fine di verificare le caratteristiche dei terreni di un'area del Comune di Carpi, per la realizzazione di un nuovo fabbricato ad uso annesso agricolo.



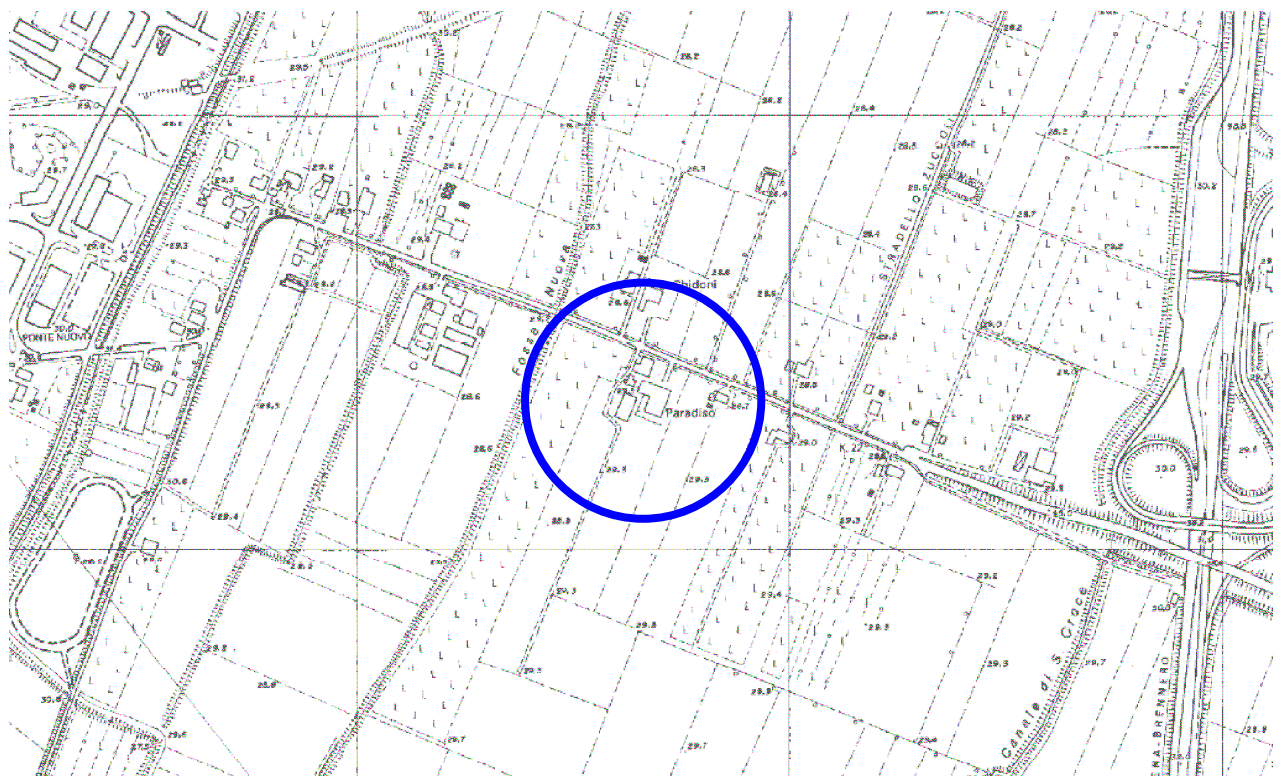
Secondo il DM 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Nella presente relazione vengono riportate la modellazione geologica e sismica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, con particolare riferimento alla individuazione dei parametri geotecnici caratteristici del terreno studiato.

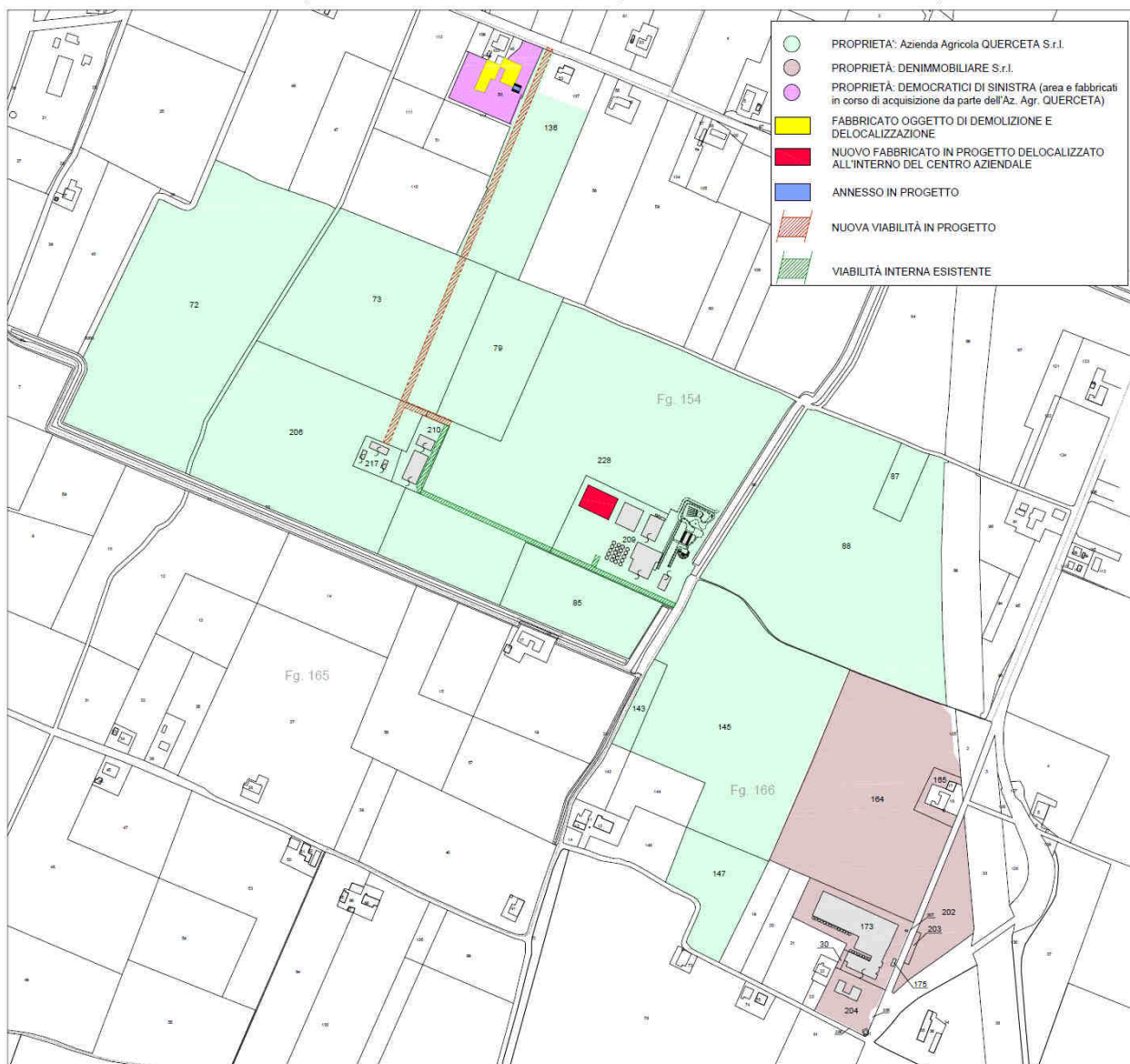
Le indagini geognostiche e la presente relazione sono conformi a quanto disposto nelle normative seguenti:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977);
- DM del 11/03/1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni ecc.";
- Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483;
- DPR 554/1999;
- DPR 328/2001;
- OPCM n. 3274 del 20/03/2003;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1677 del 24/10/2005
- DAL Delibera Assemblea legislativa RER 112/2007;
- DM 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni";
- Ordinanza della Regione Emilia Romagna n. 70/2012;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 2193 del 21/12/2015.



L'area oggetto d'indagine è ubicata a ovest della frazione di Santa Croce nei pressi del Casello Autostradale A22 di Carpi, lungo la SP 468 al toponimo "Paradiso", a una quota media di 30 m slm. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25'000 nella Tavola 201 NE "Carpi" e nei CTR a scala 1:5'000 nell'elemento n. 201033 "S. Croce". Nell'archivio NCT comunale l'area è censita nel foglio n. 154, particella n. 50.

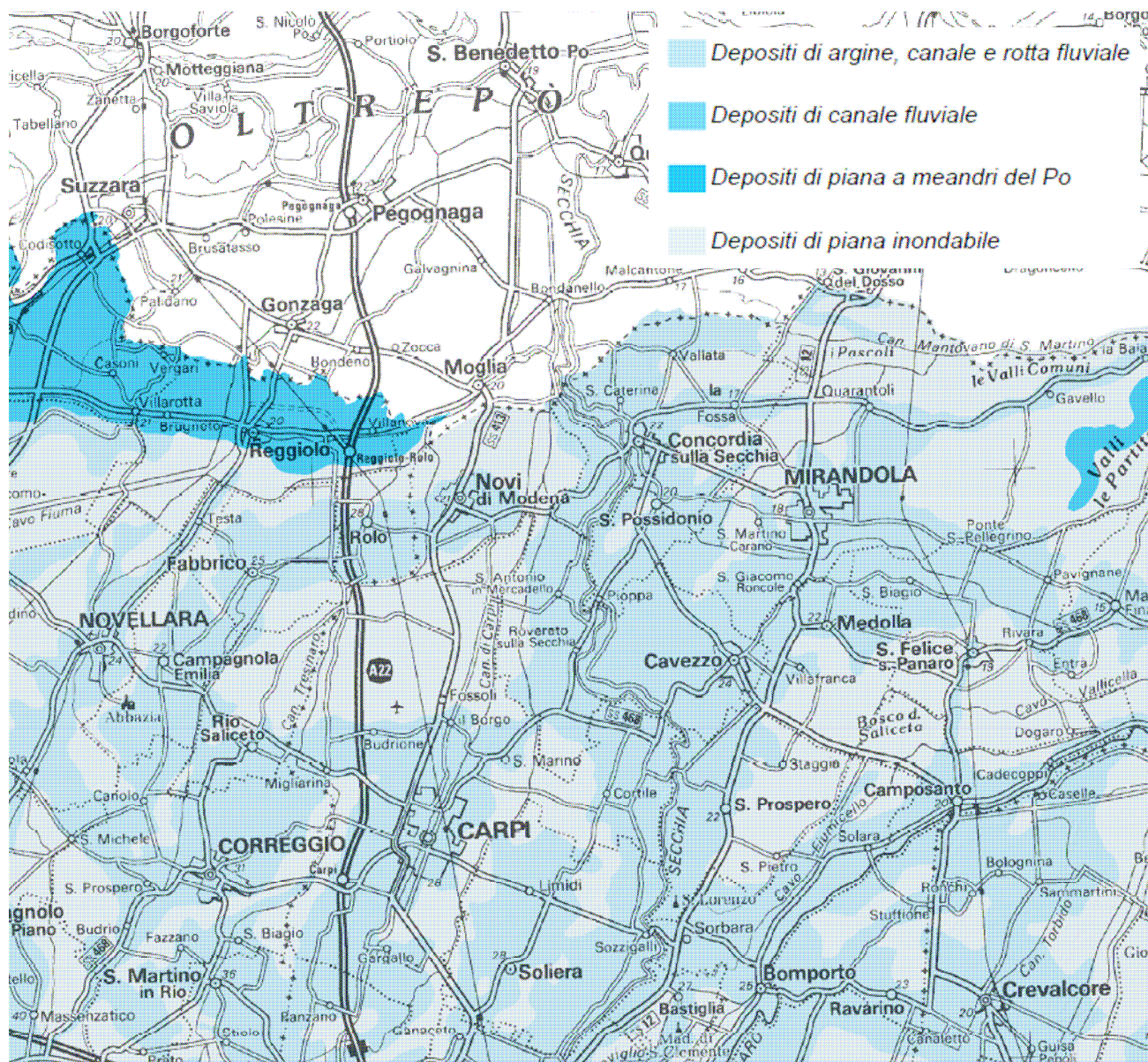




## 2. Modellazione geologica del sito

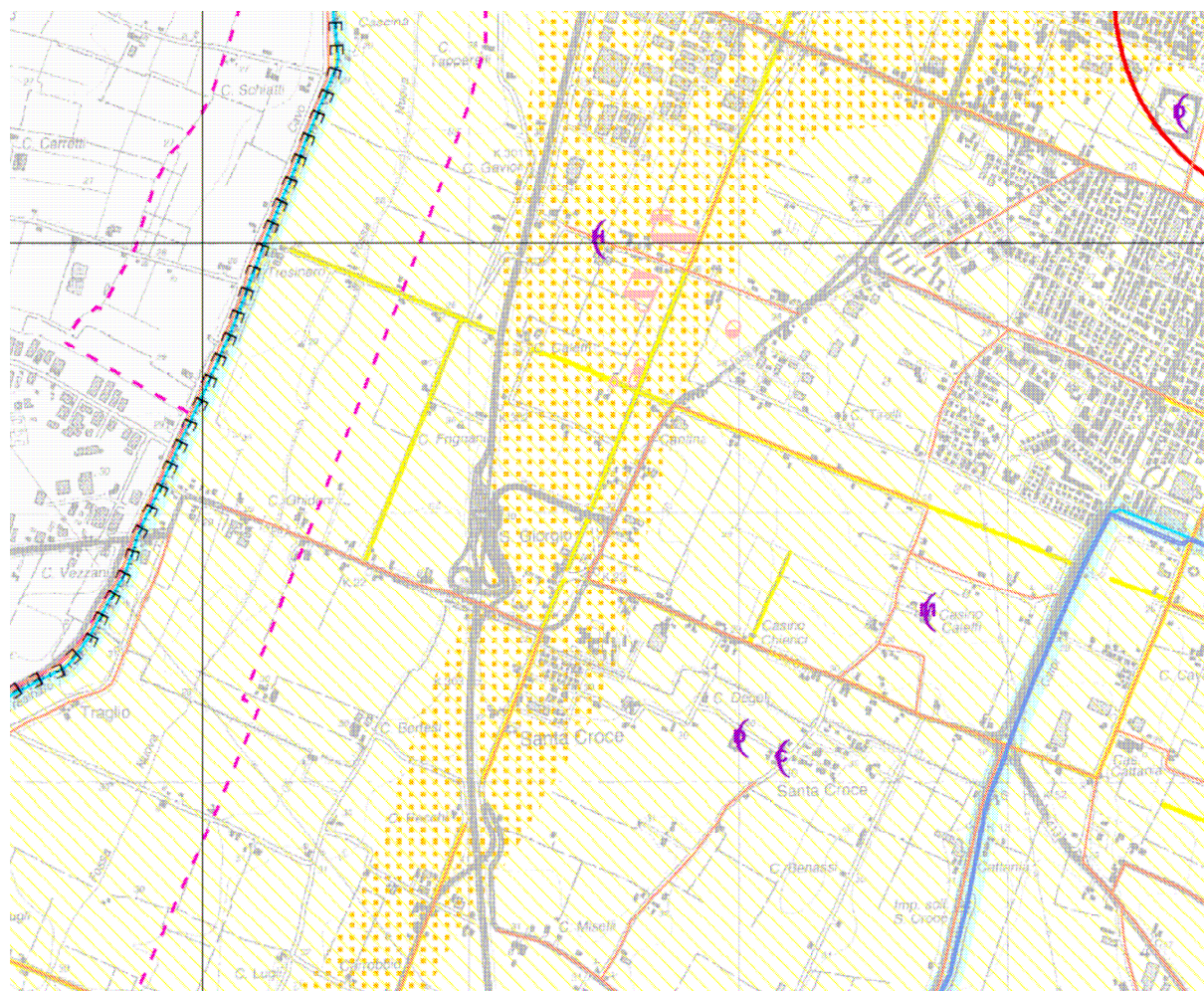
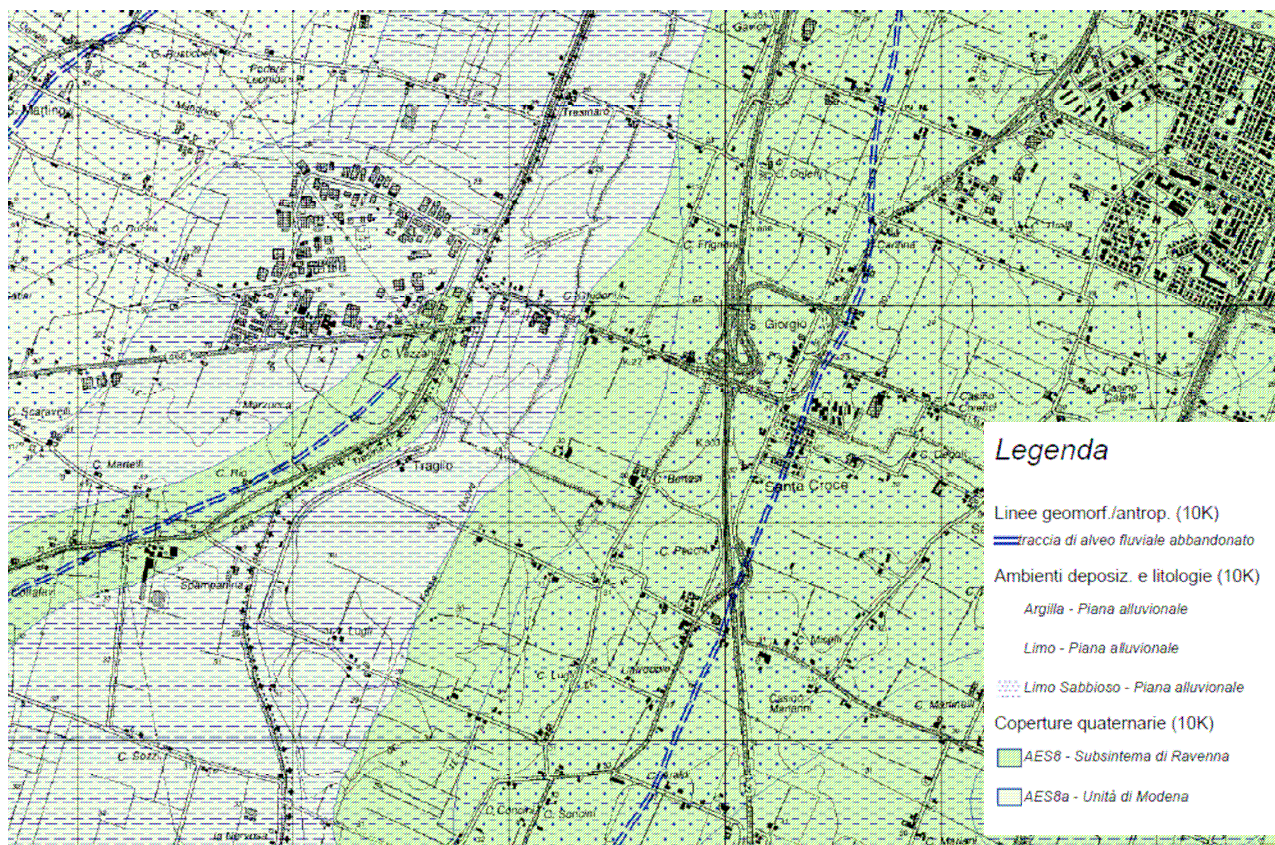
La Pianura Padana nel suo complesso costituisce un grande bacino sedimentario che, sin dal mesozoico, è stato caratterizzato da una notevole subsidenza con grande accumulo di sedimenti, raggiungendo i massimi apporti nel pliocene e nel quaternario, prima con sedimentazione marina e successivamente, dal pleistocene medio, con sedimentazione continentale. La messa in posto depositi più antichi è riconducibile all'idrodinamica fluviale determinata dall'alternarsi di fasi erosive e deposizionali, causate dalle variazioni climatiche che si sono succedute nel tempo ed in particolare del periodo interglaciale pre-Wurm (pleistocene superiore). Periodi umidi hanno portato alla deposizione dei sedimenti e alla messa in posto delle unità, periodi di minor piovosità hanno portato all'alterazione dei depositi con conseguente formazione dei suoli e all'erosione delle unità determinando la formazione di scarpate e incisioni fluviali. All'interno della pianura alluvionale sono state distinte, sulla base di sequenze litostratigrafiche tipiche determinate dalle stratigrafie dei pozzi idrici, due macro-ambienti deposizionali: la piana pedemontana, contraddistinta da depositi a sequenze prevalentemente grossolane (ghiaie) e la piana alluvionale vera e propria, caratterizzata da sequenze generalmente fini (sabbie, limi, argille). Questo tipo di pianura presenta una crescita di tipo verticale, dovuta prevalentemente a processi di tracimazione e rotta fluviale che hanno portato alla deposizione di strati suborizzontali a geometria lenticolare, probabilmente riferibili a singoli eventi alluvionali.

La granulometria superficiale e del sottosuolo appare quindi differenziata in base alla posizione rispetto al corso d'acqua o al paleoalveo di dominio: nella pianura sviluppatasi dall'olocene ad oggi, che si estende dal margine collinare al corso del fiume Po, gli attuali corsi d'acqua o i paleoalvei sono caratterizzati da depositi allungati in direzione nord-sud, costituiti da ghiaie nell'alta pianura e da sabbie e limi nella bassa. Litotipi argillosi, anche torbe e argille organiche, si ritrovano invece nelle aree depresse della bassa pianura, occupate in passato da zone paludose, poi oggetto di numerosi interventi di bonifica che hanno richiesto la creazione della fitta rete di scoli artificiali in uso tuttora.



L'area di Carpi dal punto di vista geologico appartiene alla medio-bassa pianura ed è caratterizzata in superficie da sedimenti di epoca recente, corrispondenti a depositi alluvionali come paleoalvei e ventagli di esondazione o palustri di piana alluvionale e costituiti da limi argillosi con intercalazioni di spessi livelli sabbiosi, che localmente possono essere sostituiti da sabbie grossolane miste a ghiaie, in corpi lenticolari nastriformi.

Sono presenti vari paleoalvei, attribuibili al torrente Crostolo e al fiume Secchia: i principali si diramano a partire dall'attuale corso del fiume Secchia nella zona di Campogalliano, con direzione prevalente verso nord e nord-est (cartografati con puntinato giallo nella Tavola 1.1.1 del PTCP).

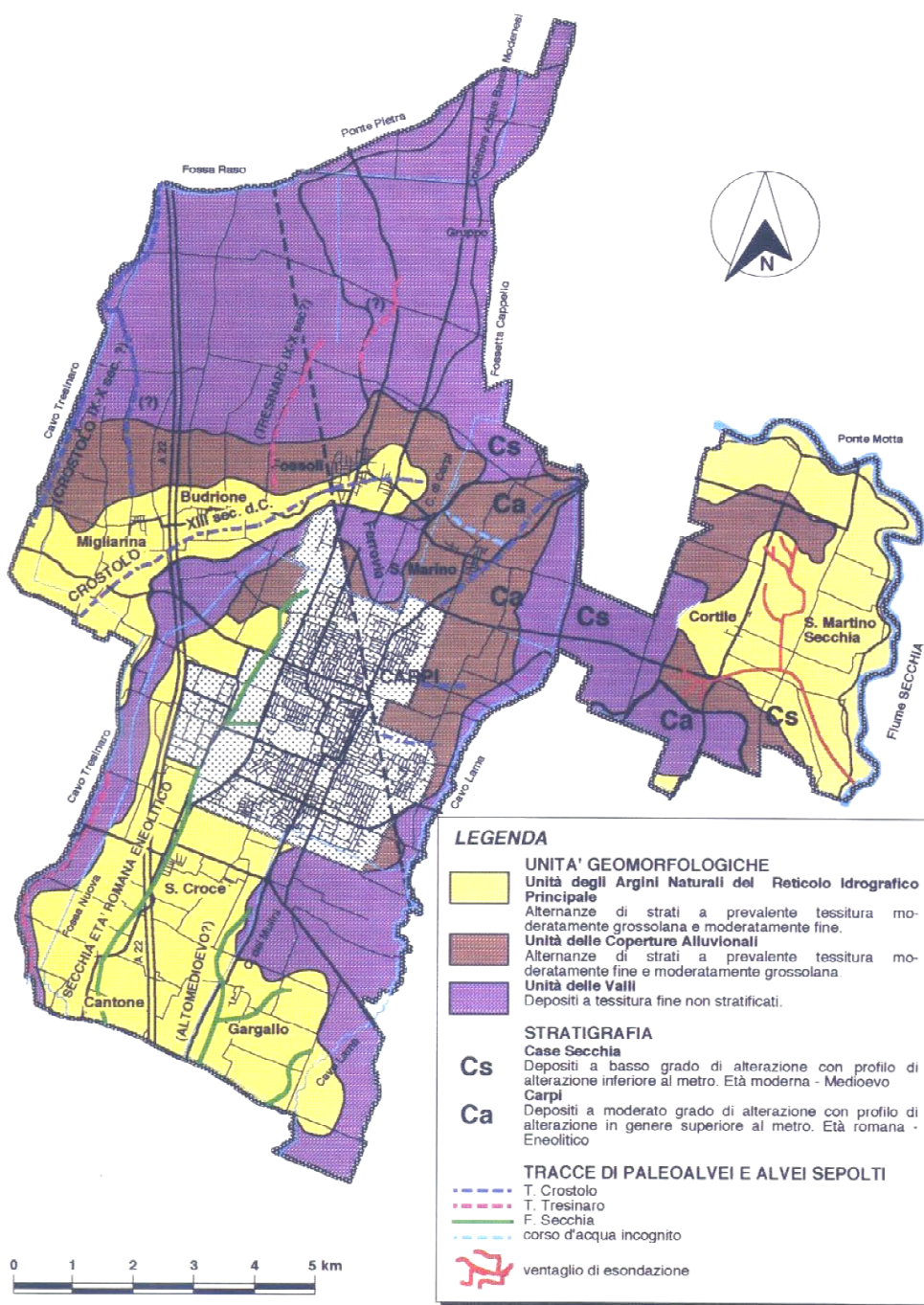


dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo@virgilio.it

Alle rete naturale si affianca una rete idrografica di superficie artificiale, formata da un fitto e organizzato sistema di canali e fossi scolanti, che seguono prevalentemente una direzione nord-est nel senso della massima pendenza e garantiscono la regimazione delle acque superficiali e l'irrigazione della pianura mediante derivazioni dai principali corsi d'acqua. Gli elementi idraulici più importanti presenti nel territorio sono i torrenti Tresinaro e Crostolo, i canali di Santa Croce e Fossa Nuova, il Canale di Carpi e il Cavo Lama, il collettore principale della rete di bonifica delle Acque Basse Reggiane e ad est il fiume Secchia, che riveste una notevole importanza come recettore di scolo dell'intero quantitativo di acque del territorio comunale. I cavi minori presenti nel territorio, come d'altro canto la maggior parte di quelli della media e bassa pianura, vennero progettati e costruiti essenzialmente per il drenaggio delle aree paludose per scopi agricole e a scopo irriguo; solo successivamente, in seguito allo sviluppo dell'urbanizzazione, divennero in alcuni casi anche luogo di recapito delle reti fognarie.





Sotto il profilo tettonico le recenti ricerche avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. La fascia di alta pianura si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria. Il fascio più settentrionale, denominato Fronte di accavallamento esterno (External Thrust Front = ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

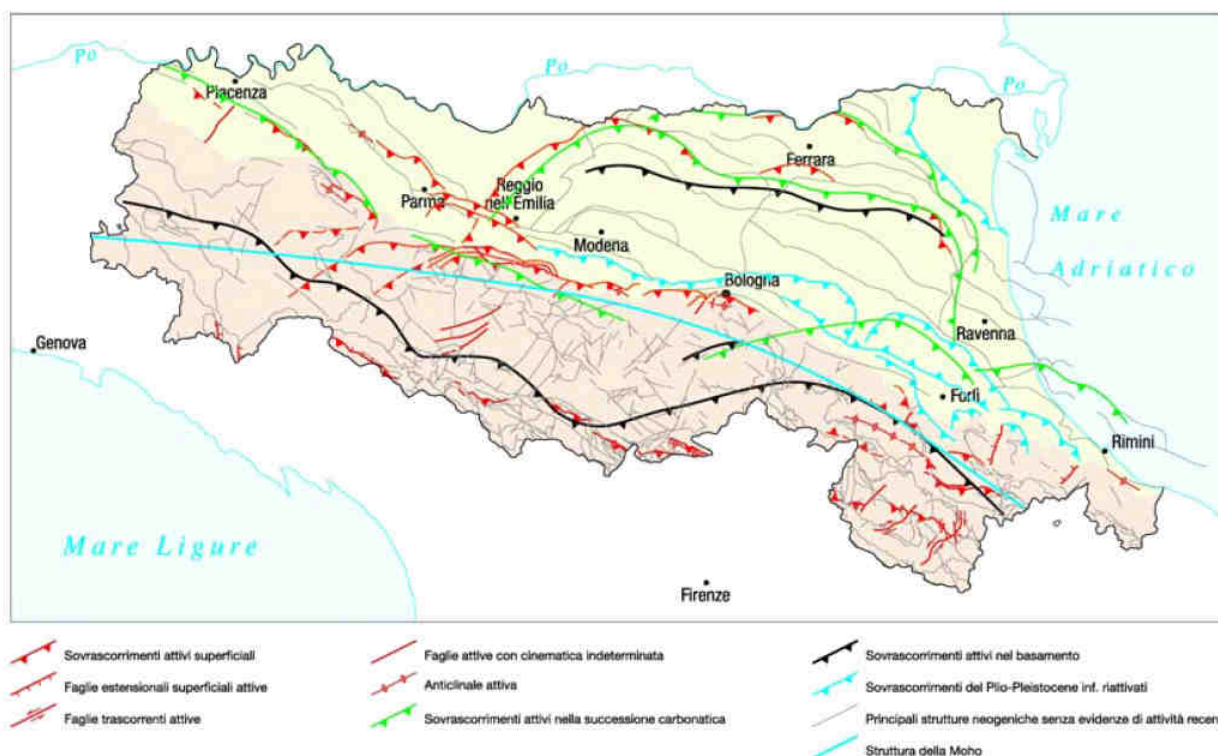


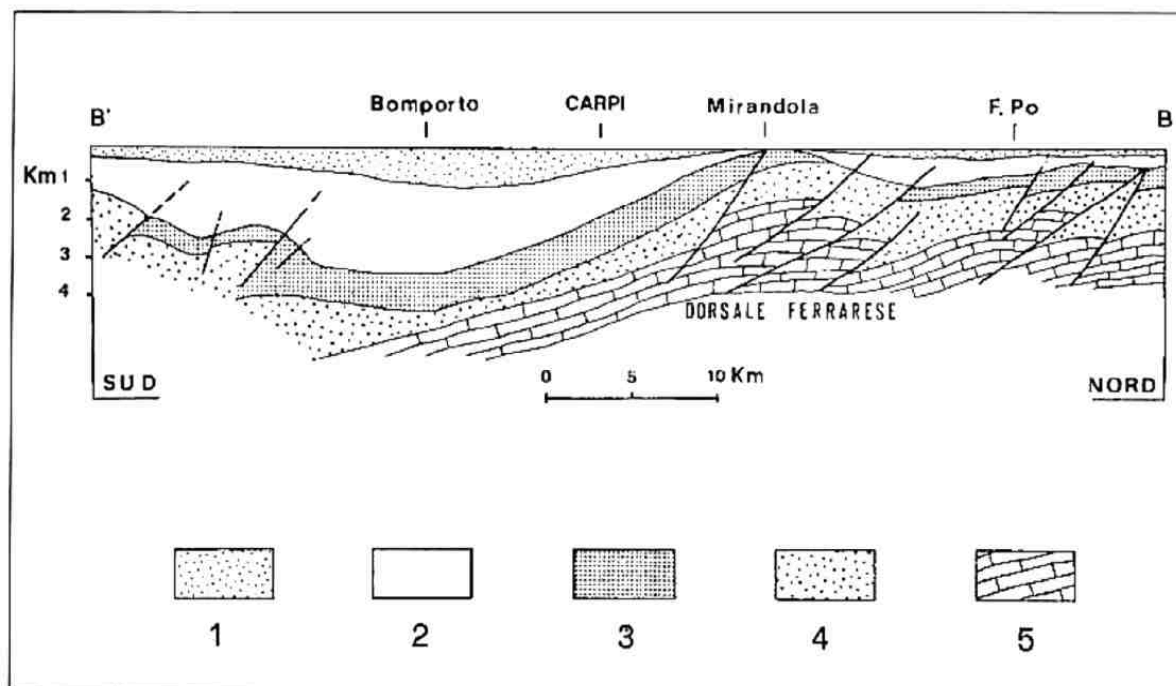
Figura 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative - Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

Il fascio meridionale, coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani ed è denominato Fronte di accavallamento pedeappenninico (Pedeappenninic Thrust Front = PTF), evidenziato da morfostrutture tipiche delle strutture attive e dallo sviluppo di una piccola anticlinale di thrust. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario. L'attività recente ed attuale di tale struttura si manifesta nella morfologia, determinando il tilting di paleosuperfici (sia verso la pianura che verso i rilievi) e modificazioni sull'andamento idrografico locale. Infatti durante il sollevamento tettonico, mentre i corsi d'acqua principali mantengono il loro andamento originario, mostrando quindi relazioni di antecedenza rispetto all'anticlinale, i corsi d'acqua minori sono notevolmente influenzati dalla crescita dell'anticlinale. Di conseguenza tali corsi d'acqua subiscono talvolta deflessioni, mentre in altri casi si osserva una inversione di drenaggio locale, con piccoli torrenti costretti a scorrere verso sud prima di essere catturati dal corso d'acqua principale.

Dal punto di vista strutturale, il substrato profondo di questa parte della pianura alluvionale è caratterizzata da strutture tettoniche con asse parallelo alla catena appenninica, che ne rappresentano la sua continuazione sepolta. Partendo dal margine appenninico, dove affiorano le formazioni argilose di età pliocenica, procedendo verso NE, si ha un rapido abbassamento dei terreni marini del substrato: all'altezza di Albareto e Castelfranco la base del Pliocene è posta a profondità variabile che può raggiungere anche i 3000 m, mentre quella del Quaternario i 1500.

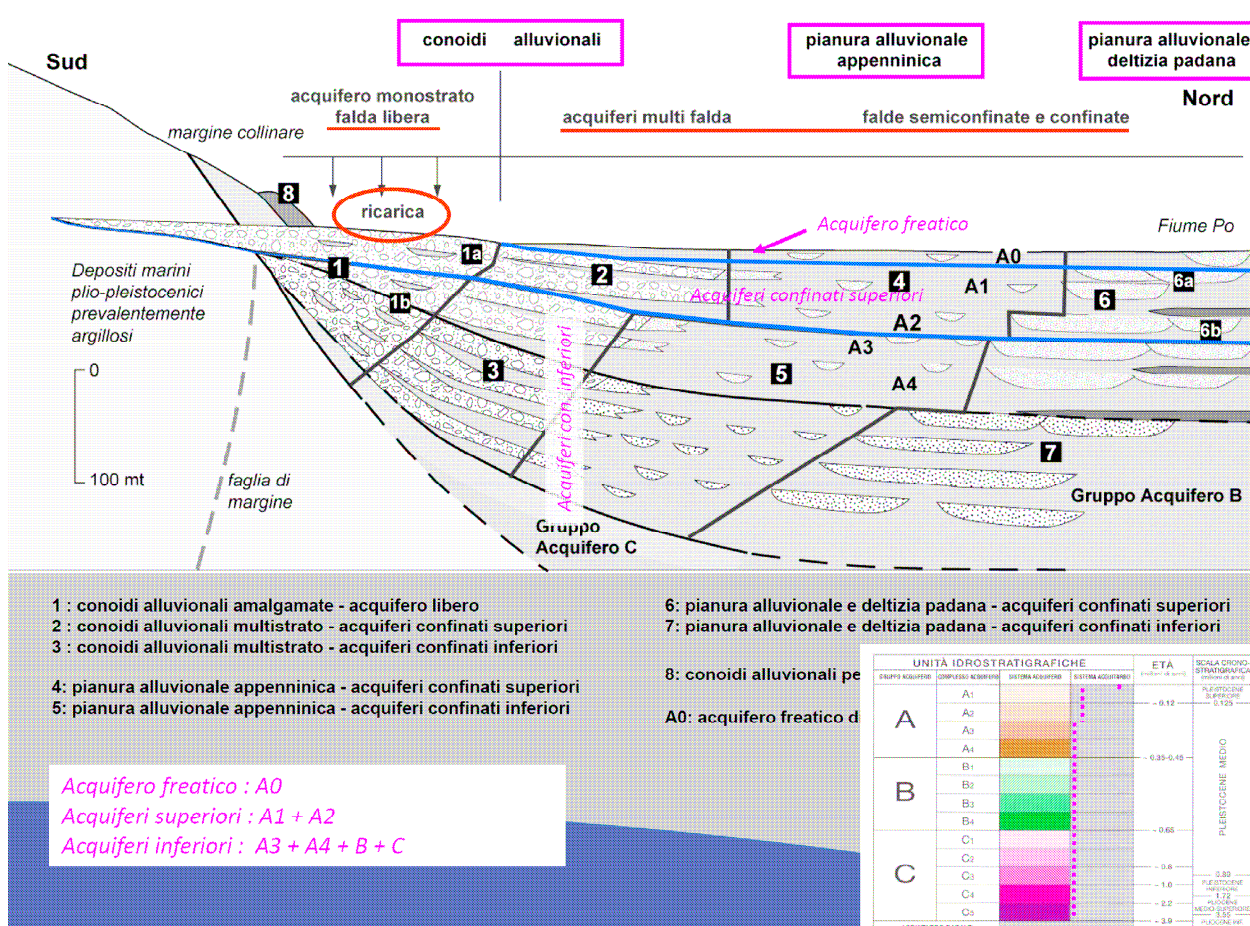
A nord di questa zona, separata da una faglia diretta longitudinale, si sviluppa una vasta struttura sinclinale (sinclinale di Reggio Emilia-Bologna) che costituisce una delle più profonde depressioni della Pianura Padana: all'altezza di Bomporto la base delle unità plioceniche è posta alla profondità di -6000 m, mentre quella delle unità quaternarie a -2000 m.

Il fianco nord della sinclinale si sviluppa sino alla zona di Concordia, Mirandola e S. Felice sul Panaro, determinando un progressivo innalzamento fino a costituire una struttura notevolmente sollevata denominata Dorsale Ferrarese. Questa dorsale il cui asse si sviluppa lungo la linea S. Felice sul Panaro, Mirandola, Concordia e Novi, è costituita da una serie di pieghe associate a faglie e determina il sollevamento del substrato marino miocenico, sottostante la copertura quaternaria, a meno di 80 metri dalla superficie topografica. Altre strutture positive, che accompagnano la dorsale principale, si riscontrano nella zona di Quarantoli e presso Sermide, nel mantovano. In generale il substrato marino di età pliocenica e plio-pleistocenica, è interessato da un complicato reticolato di faglie e tutta quest'area costituisce uno degli alti strutturali più elevati della zona assiale della Pianura Padana. La coltre alluvionale di copertura risente anch'essa della situazione profonda, sia per il suo spessore notevolmente variabile, sia per gli effetti di movimenti neotettonici.



1. depositi alluvionali.
2. sedimenti marini, Pliocene sup - Quaternario
3. sedimenti marini, Pliocene inf.
4. sedimenti marini, Paleogene - Miocene
5. formazioni calcaree marine del Mesozoico

In “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” (RER), si definisce Unità Idrostratigrafico-Sequenziale (UIS) una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafiche i cui componenti sono costituiti da una o più Sequenze Deposizionali (cf. Bottino et Al., 1994) e sono comprensivi di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo (la continuità areale va intesa in senso geologico e non letterale). Una UIS è un corpo geologico complesso, formato da gruppi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili ma deposti in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione: le superfici di strato possono toccare ma non intersecare i limiti di una UIS. Le Unità Idrostratigrafiche che si distinguono nella pianura emiliana, derivano dalle suddivisioni effettuate tra le unità stratigrafiche esistenti. La differenziazione gerarchica si basa sul volume complessivo di acquiferi utili e su spessore, continuità ed estensione areale del livello acquitardo o impermeabile di ciascuna Unità. Viene definito Acquitardo Basale l'insieme delle Unità complessivamente impermeabili, che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul Margine Appenninico Padano, costituiscono il limite della circolazione idrica sotterranea. Tra le varie unità litostratigrafiche che lo compongono, le principali sono la Formazione plio-pleistocenica delle Argille Azzurre e le peliti dei Pliocene intrappenninico.



Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico delle acque sotterranee, in questa area sono presenti due diversi sistemi acquiferi che corrispondono a due distinti sistemi deposizionali: l'unità idrogeologica della media pianura, formata dalle alluvioni dei corsi d'acqua appenninici fiumi Secchia e Panaro, che si estende all'incirca fino al comune di Novi ed è caratterizzata da limi argillosi e argille con intercalazione sabbiose; l'unità idrogeologica della bassa pianura, costituita dai depositi alluvionali del fiume Po, posta a nord della precedente e formata da spessi corpi sabbiosi intercalati a lenti limo-argillose. L'acquifero circostante costituisce un sistema monostrato compartimentato, caratterizzato da spessori che raggiungono i 750 m e formato in prevalenza da sabbie a varia granulometria con intercalazioni limo-argillose a bassa

permeabilità. La falda risulta in pressione, poiché l'acquifero è confinato verso l'alto da coperture limo-argillose quasi continue, che presentano spessori compresi tra pochi metri e i 28 metri circa. La connessione idraulica tra falda e fiume è resa possibile da un contatto quasi continuo tra le sabbie dell'acquifero e l'alveo, posto a quote più basse delle coperture superficiali caratterizzate da ridotti valori di permeabilità. Il livello medio della falda è controllato da quello del fiume, con cicli di ricarica-discarica sulle sponde conseguenti alle variazioni delle quote idrometriche. La maggior parte del territorio carpigiano appartiene al sistema acquifero individuato con la prima unità idrogeologica, in cui si può distinguere tra le falde freatiche, presenti nei primi 30-40 m, e quelle più profonde in pressione, nelle quali le caratteristiche idrogeologiche sono diverse. Nelle falde freatiche il livello statico medio oscillante varia tra 0.5 e 2 m dal piano campagna, con valori minimi di 0.20 m e massimi di 2.90 m. Le falde in pressione sono ubicate generalmente oltre i 40 m di profondità, ad eccezione della zona nord del territorio del comune di Carpi che appartiene al dominio deposizionale del fiume Po. Dai dati esistenti si nota che la superficie piezometrica si abbassa da 31 m s.l.m. all'estremità sud del territorio di Carpi fino a 19 m s.l.m. alla periferia del centro abitato, secondo una direzione di flusso di tipo appenninico da sud a nord.

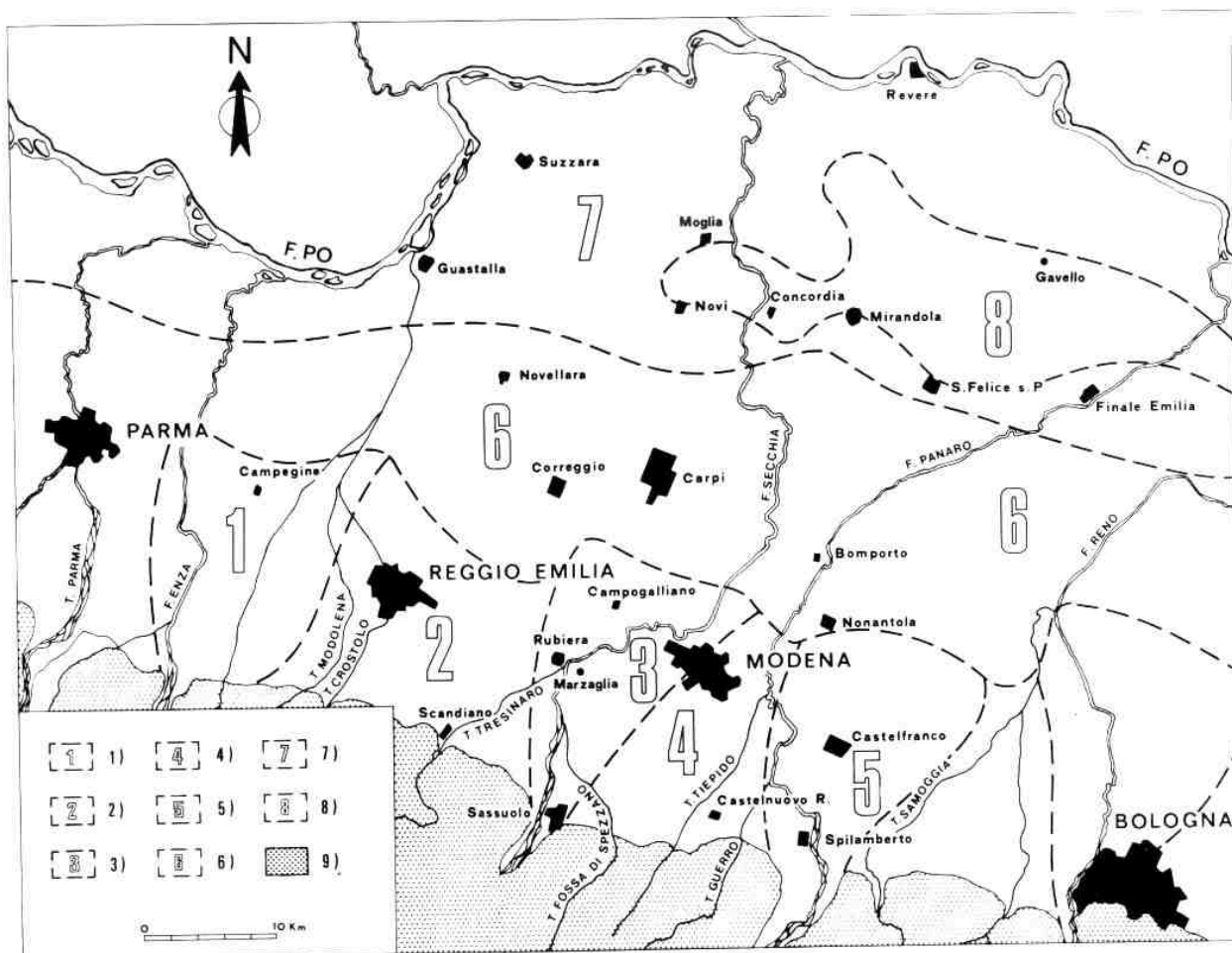


Fig. 1 - Carta indice dell'area studiata. Legenda: 1) conoide del F. Enza; 2) conoidi dei torrenti minori tra il F. Enza e il F. Secchia; 3) conoide del F. Secchia; 4) conoidi dei torrenti minori tra il F. Secchia e il F. Panaro; 5) conoide del F. Panaro; 6) settore di media pianura; 7) settore di bassa pianura con falde acquifere alimentate dal F. Po; 8) idem, con acque ad elevato contenuto alogenico, connesse con la struttura sepolta della «Dorsale ferrarese»; 9) margine collinare: affioramenti di formazioni marine prevalentemente argillose di età pleistocenica e pre-pleistocenica.

### 3. Metodologia d'indagine delle prove in sito

L'indagine geognostica di campagna per la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita il giorno 29/03/2017 all'interno dell'area interessata dall'intervento in progetto, mediante n. 1 prova penetrometrica statica CPT che ha raggiunto la profondità massima di -15 m circa rispetto all'attuale piano campagna.

Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nel foro di prova, si attesta alla profondità di -1.80 m dal piano campagna.

Inoltre è stata svolta nel sito un'indagine geofisica, basata sulla registrazione a stazione singola del microtremore sismico con strumentazione TROMINO, per misurare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, valutare i possibili effetti sismici di sito e definire l'andamento della  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative vigenti.



#### 3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT

Per l'esecuzione dell'indagine di campagna si è utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG63, attrezzato con punta meccanica Begemann (punta conica standard  $\varnothing$  3.57 cm e angolo d'apertura  $60^\circ$ , con manicotto mobile di  $150 \text{ cm}^2$ , infissa nel terreno ad una velocità costante di 2 cm/sec). I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare:

- $R_p$  resistenza alla punta in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_{lt}$  resistenza laterale totale (punta+manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$
- $R_l$  resistenza laterale locale (al manicotto) in  $\text{Kg/cm}^2$

Successivamente il processo di discretizzazione dei parametri di campagna, ha permesso la determinazione di:

- classificazione litologica (Begemann - Schmestron)
- peso specifico medio del terreno naturale
- peso specifico efficace
- pressione litostatica eff. al centro dello strato
- coesione non drenata
- angolo d'attrito
- densità relativa
- coefficiente di compressibilità di volume
- modulo di reazione orizzontale
- permeabilità
- liquefazione

I grafici delle curve di Rp e Rl sono riportati nell'allegato A. Di seguito si descrivono alcune delle modalità seguite per la determinazione delle grandezze fisiche considerate.

- Peso specifico naturale ed efficace ( $\gamma_t$ ,  $\gamma'_t$ )

Questo parametro è determinato in base al valore medio di Rp applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Definito  $\gamma_t$  il peso specifico naturale per il terreno sotto falda e  $\gamma_w$  il peso specifico dell'acqua, si applica la relazione  $\gamma'_t = \gamma_t - \gamma_w$ , che considera la spinta di Archimede dovuta all'elemento liquido.

- Pressione litostatica efficace ( $\sigma'_v$ )

Il calcolo della pressione litostatica efficace è effettuato applicando la relazione:

$\sigma'_v = \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im} + \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im}$  riferita alla pressione relativa al punto medio dello strato considerato ( $h_m$ ). E' considerata la falda freatica se presente.

- Coesione non drenata ( $C_u$ )

Si utilizza la relazione di De Beer che consente il calcolo della  $C_u$  in base al valore di Rp per i livelli coesivi saturi (coesione non drenata apparente, cioè la resistenza al taglio dei terreni a comportamento coerente in situ).

- Angolo d'attrito ( $\theta^\circ$ )

La determinazione dell'angolo d'attrito per i terreni incoerenti segue la metodologia di Durgunoglu e Mitchell, applicando l'equazione  $\theta^\circ = f(R_p; \sigma'_v)$ . Per i terreni coerenti in condizioni non drenate si utilizza la relazione (Durgunoglu):  $\theta^\circ = 14.4 + 4.8 \ln(q_c) - 4.5 \ln(\sigma'_v)$ .

#### Densità relativa ( $D_r$ )

Per questo parametro si utilizza il diagramma proposto da Jamiolkowski mod.

- Coefficiente di compressibilità di volume ( $M_v$ )

Si utilizzano le correlazioni di Buisman e Sanglerat che collegano il parametro al valore di Rp.

- Modulo di reazione orizzontale ( $K_o$ )

E' ricavato utilizzando la relazione:  $K_o = C_h \cdot R_p / C_k$  dove  $C_h$  varia fra 0.1 a 0.3 e  $C_k$  dipende dal tipo di terreno e varia da 1 a 4.

- Calcolo della permeabilità ( $K_p$ )

Questo parametro è determinato in base ai parametri di  $q_c$  e di  $F_r$ , applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Campo di validità da  $10^{-2}$  cm/s per le sabbie e  $10^{-8}$  cm/s per le argille.

- Liquefazione

Per la verifica alla suscettibilità alla liquefazione si utilizza il metodo di Seed e Idriss (1982), che confronta le caratteristiche meccaniche dei terreni ottenute in base ai risultati delle prove in sito e l'eventuale potenzialità nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie. Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco, in cui in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) e in ascissa la resistenza del terreno stimata mediante le prove in sito. Per i terreni coerenti non viene effettuata nessuna verifica per la suscettibilità alla liquefazione. Per i terreni incoerenti vengono calcolati il coefficiente  $C_2$  (rapporto di sforzo ciclico del terreno) ed il coefficiente  $C_1$  (relativo alla curva di magnitudo in caso di evento sismico). Per  $C_1 > C_2$  non si ha la liquefazione, viceversa il livello di terreno esaminato è suscettibile alla liquefazione.

### 3.2 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico

Una strategia efficace di difesa dai terremoti necessita di accurate valutazioni preventive della vulnerabilità sismica, determinata essenzialmente dall'instabilità dei suoli (frane, liquefazione dei terreni) e dagli effetti di sito. Gli effetti di sito sono amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche e topografiche, che portano al fenomeno della risonanza del terreno. Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici (fenomeno della doppia risonanza), si produce un'amplificazione delle onde sismiche molto grande e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo: l'amplificazione sismica è infatti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto. Il rumore sismico generato dai fenomeni atmosferici e dall'attività antropica è detto anche microtremore, poichè riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche degli edifici e del sottosuolo, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore, analogamente a quanto avviene durante un terremoto, che si può immaginare come un episodio di rumore fortissimo con ampiezze sino a  $10^{10}$  volte maggiori del microtremore. La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. La tecnica maggiormente consolidata per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico generato in un sito, è quella dell'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti del moto sismico orizzontali e verticali (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V - Nogoshi e Igarashi, 1970). Il codice utilizzato per la creazione di curve H/V sintetiche si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie di Rayleigh e Love in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (Aki, 1964 - Ben-Menahem e Singh, 1981), considerando che l'onda sismica viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due mezzi (litotipi) a rigidità differente, con la determinazione di un contrasto di impedenza. L'onda riflessa interferisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza), quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore H del primo strato: la frequenza fondamentale di risonanza F relativa alle onde S risulta pari a  $F = V_s / 4H$ .

### 4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine di campagna ha permesso di effettuare un riconoscimento di massima dei terreni attraversati e di ottenere indicazioni sulla parametrizzazione geotecnica dei terreni studiati, di seguito riportata.

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 1

Prof. Terreno ml	Gamma	Gamma'	Sigma'V	CU	FI	DR	Mv	K oriz	Perm.
	kg/m3	kg/m3	kg/cm2	kg/cm2	°	%	cm2/Kg	kg/cm3	cm/sec
1.00 Argilla torbosa consiste	1847	1847	0.185	0.931	30	0	0.0106	1.8800	1.5e-5
3.00 Argilla limosa plastica	1826	1176	0.420	0.794	25	0	0.0123	1.6300	1.6e-5
9.40 Limo argilloso plastico	1761	1111	1.131	0.472	17	0	0.0150	0.7042	1.1e-4
11.00 Limo argilloso consisten	1866	1216	1.326	0.996	20	0	0.0157	1.4167	6.3e-5
14.80 Limo argilloso plastico	1791	1141	1.759	0.557	16	0	0.0141	0.8596	1.9e-4

Si è proceduto alla parametrizzazione dell'indagine geognostica CPT secondo il metodo di Searle, che permette una definizione più dettagliata dei vari livelli di terreno studiati. In base all'indagine di campagna e alle successive discretizzazioni è possibile schematizzare i valori medi di resistenza alla punta  $R_p$  e resistenza laterale  $R_l$ , espressi in  $kg/cm^2$ , e il rapporto  $q_c/fs$ .

Dati medi prova discretizzata CPT n. 1

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. $q_c/fs$
1.00	18.80	2.19	8.60
3.00	16.30	1.25	13.01
9.40	10.56	0.61	17.23
11.00	21.25	1.33	16.03
14.80	12.89	0.70	18.37

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo@virgilio.it

In base alle elaborazioni delle indagini effettuate, la stratigrafia dell'area in esame risulta formata da litotipi prevalentemente coesivi, costituiti da alternanze di terreni limo-argillosi da plastici a consistenti. Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nel foro di prova, si attesta alla profondità di -1.80 m dal piano campagna (marzo 2017). Allo scopo di definire un modello geotecnico per il sito in esame, nella tabella seguente sono riportati i principali parametri geotecnici caratteristici delle unità litologiche individuate:

#### SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

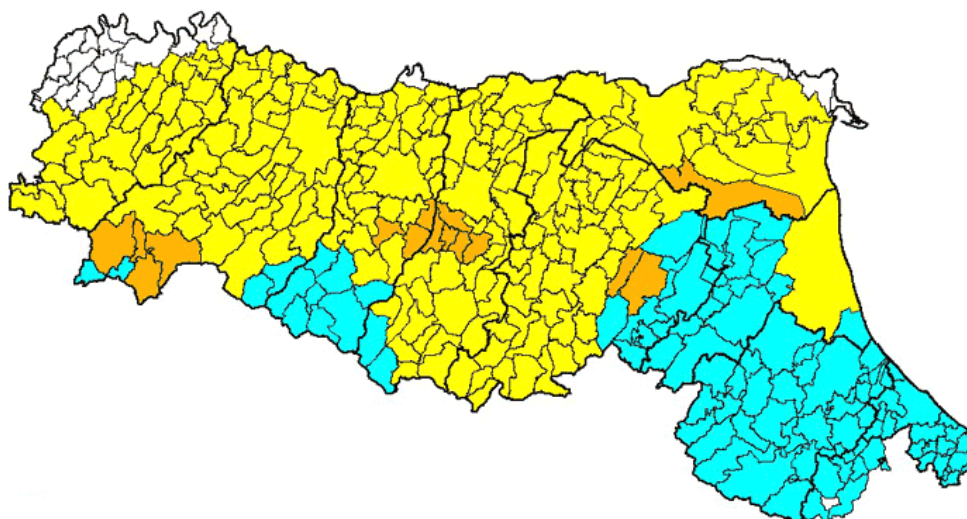
Unità	Profondità -m da p.c.	$\gamma_t$ <sub>k</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ <sub>t</sub> <sub>k</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	$C_u$ <sub>k</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	$\varphi$ <sup>°</sup> <sub>k</sub>	Densità Dr% (livelli incoerenti)	$m\nu$ <sub>k</sub> (cm <sup>2</sup> /kg)	$E_d$ <sub>k</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.00 - 3.00	1800	1150	0.60	22	/	0.0122	82
2	3.00 - 9.40	1750	1100	0.47	17	/	0.0150	67
3	9.40 - 11.0	1850	1200	0.99	20	/	0.0156	64
4	11.0 - 14.80	1800	1150	0.56	16	/	0.0141	71

#### 5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito

La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare, con maggiore dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedimenti di microzonazione sismica. Tale procedimento è volto a prevedere e mitigare gli effetti di un evento sismico in una zona di dimensioni urbane, considerando la morfologia superficiale e del substrato, la sua costituzione, la presenza e la profondità della falda freatica e l'eventuale presenza di faglie.

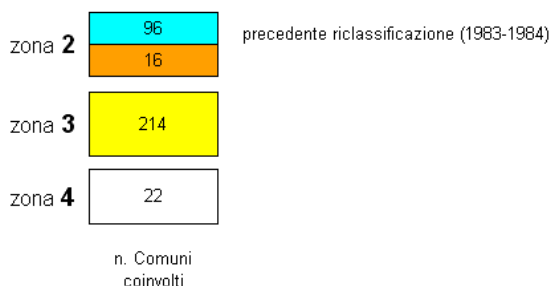
Questa analisi recepisce le indicazioni applicative della Delibera di Giunta Regionale n. 2193/2015 attualmente in vigore. Si considera inoltre la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia Romagna riportata nella OPCM n. 3274 del 20/03/2003, secondo cui il comune di Carpi rientra in zona 3.

Le 4 categorie di classificazione sono determinate in base alla pericolosità sismica.



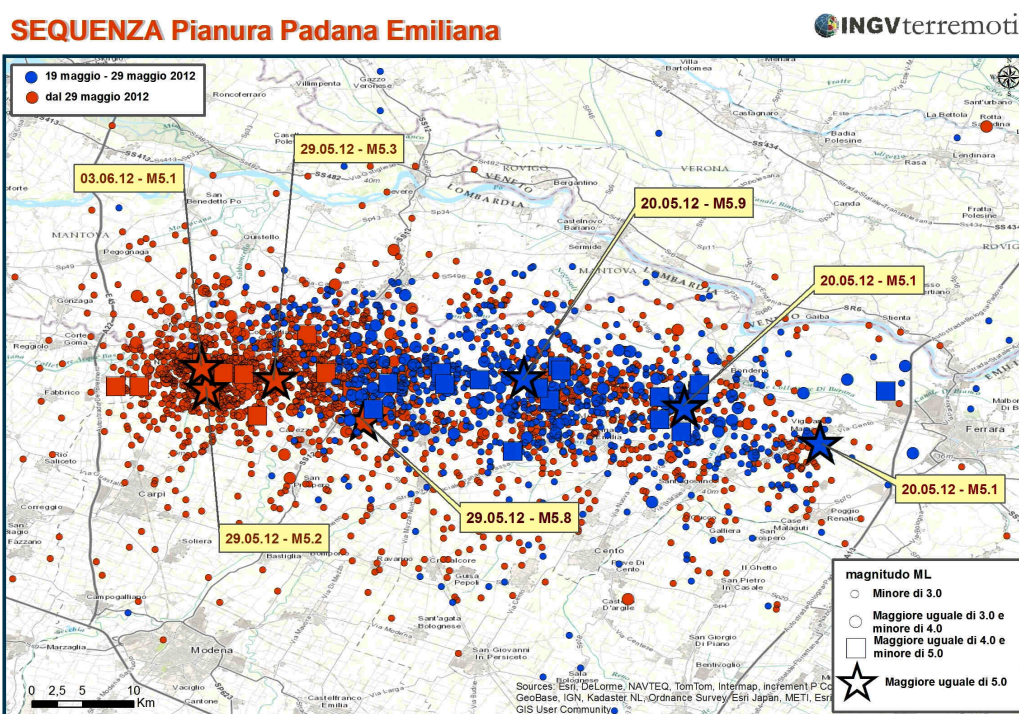


**Legenda**



- Zona 1: sismicità alta
- Zona 2: sismicità media
- Zona 3: sismicità bassa
- Zona 4: sismicità molto bassa

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter. Si riporta di seguito un elenco degli eventi sismici più significativi per la storia sismica del sito di indagine, oltre alla sequenza degli ultimi importanti eventi sismici del maggio 2012 :

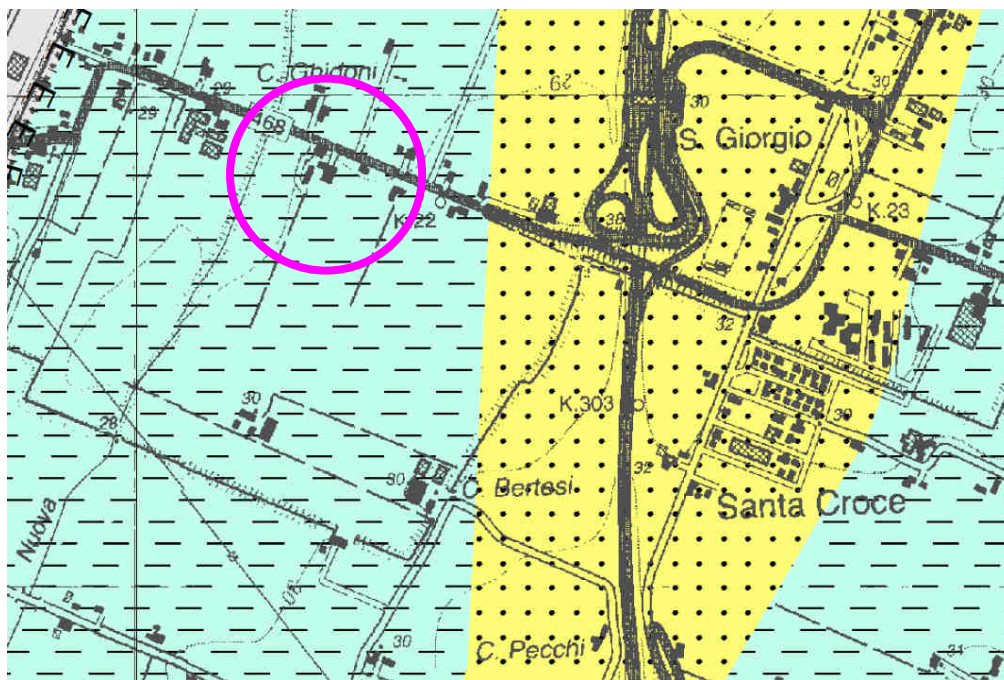


Anno	Me	Gi	AREA	Imx	lo	Lat	Lon	Maw
1547	2	10	REGGIO EMILIA	80	70	44.7	10.63	5.21
1591	5	24	REGGIO EMILIA	60	60	44.697	10.631	4.83
1671	6	20	RUBIERA	70	70	44.709	10.814	5.34
1806	2	12	NOVELLARA	70	70	44.862	10.671	5.26
1810	12	25	NOVELLARA	70	70	44.898	10.712	5.28
1831	9	11	REGGIANO	75	75	44.75	10.55	5.48
1832	3	13	REGGIANO	75	75	44.77	10.47	5.59
1850	9	18	MODENA	60	60	44.614	10.965	4.83
1857	2	1	PARMENSE	65	65	44.749	10.48	5.26
1873	5	16	REGGIANO	65	65	44.612	10.701	5.13
1904	2	25	REGGIANO	70	60	44.48	10.63	5.13
1915	10	10	REGGIO EMILIA	65	60	44.732	10.469	5.01

1923	6	28	FORMIGINE	60	60	44.595	10.799	5.21
1926	6	28	REGGIANO	40	40	44.488	10.487	4.61
1928	6	13	CARPI	70	65	44.797	10.872	4.85
1950	5	6	REGGIANO	40	40	44.731	10.67	4.46
1967	4	3	CORREGGIO		55	44.8	10.75	4.71
1967	10	1	FORMIGINE		50	44.567	10.95	4.52
1987	5	2	REGGIANO	60	60	44.797	10.697	5.05
1996	10	15	CORREGGIO	70	70	44.782	10.683	5.44
2012	1	25	POVIGLIO			44.854	10.538	4.9
2012	5	20	FINALE EMILIA			44.89	11.23	5.9
2012	5	20	FERRARESE			44.831	11.49	5.1
2012	5	29	MEDOLLA/BASSA MODENESE			44.85	11.09	5.8

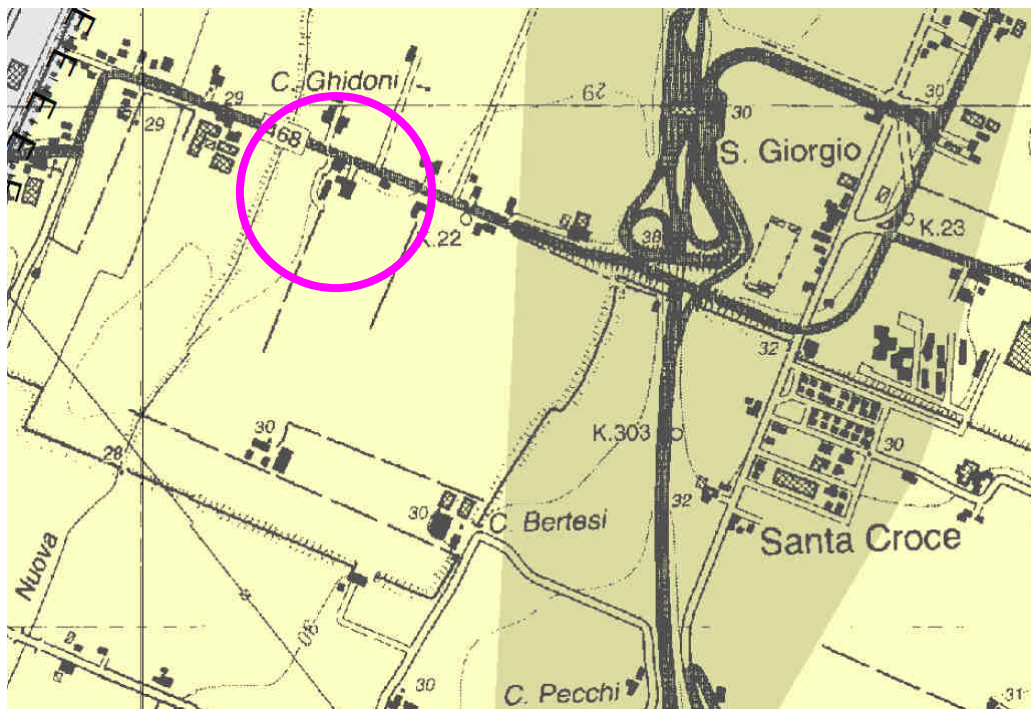
(Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI- INGV, Bologna)

Nel quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali - Tavola 2 a.1 a scala 1:25'000, si indica che l'area in esame insiste su "limi e argille di piana alluvionale". Pertanto in caso di sisma si possono attendere "amplificazione, possibili cedimenti".



Depositi che possono determinare effetti locali	
	<b>ghiaie di conoide</b> effetti attesi: amplificazione; studi: valutazione amplificazione
	<b>sabbie di canale</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi
	<b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b> effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti; studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi
	<b>sabbie sepolte del Po</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi

In relazione al rischio sismico, nelle Carte delle Sicurezze del Territorio del PTCP della Provincia di Modena, Tavola 2.2 a.1 a scala 1:25'000, l'area in esame è classificata come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti". Sono pertanto richiesti la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi, con approfondimenti di II livello per la microzonazione sismica e di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.



7	<p><b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione</b>  <i>studi</i>: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi;  <i>microzonazione sismica</i>: approfondimenti di III livello.</p>
8	<p><b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti</b>  <i>studi</i>: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi;  <i>microzonazione sismica</i>: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.</p>

### 5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove SPT e da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (o IL) di Iwasaki et al. (1982). Le prove CPT sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI (o IL) è un parametro di sintesi che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica e dei parametri di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili. Le classi di potenziale di liquefazione, secondo la proposta di Sonmez (2003), sono le seguenti:

LPI	potenziale di liquefazione
0	non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$15 < LPI$	molto alto

L'elaborazione dell'indagine di campagna fornisce una verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti, individuati con la discretizzazione dei dati delle prove penetrometriche. Il calcolo viene eseguito secondo le modalità riportate nel par. 3.1, considerando un evento sismico avente una magnitudo pari al grado 6 della scala Richter, compatibile con i dati storici esistenti per l'area in esame (Servizio Geologico RER - INGV).

Caratteristiche sismiche dei livelli di terreno CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
1.00 Argilla torbosa consiste	Terreno coerente		
3.00 Argilla limosa plastica	Terreno coerente		
9.40 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		
11.00 Limo argilloso consisten	Terreno coerente		
14.80 Limo argilloso plastico	Terreno coerente		

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità (LPI = 0). In assenza di litotipi incoerenti saturi, come nel caso delle CPT in esame, il fenomeno della liquefacibilità non sussiste.

In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.

La valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. Per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito.

Un'indicazione dei cedimenti post-sismici nel caso di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici, può essere fornita per un generico strato di spessore H, in cui il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_v \cdot H$$

con  $\varepsilon_v$  (%) deformazione volumetrica post-ciclica determinata dalla formula

$$\varepsilon_v = \alpha C_r (1 + e_0) \log(1/1 - r_u)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale;  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 \cdot C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione;  $r_u$  è il rapporto di pressione interstiziale

Tabella 2 – Rapporto di pressione interstiziale  $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  in funzione di  $\gamma_{max}$

$\gamma_{max}$ [%]	$r_u$
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Considerando prove edometriche di laboratorio, limiti di Atterberg e analisi granulometriche di terreni aventi le stesse caratteristiche litologiche di quelli del sito in esame, il valore di  $\varepsilon_v$  può essere stimato in  $3 \cdot 10^{-3}$ . In base alla formula  $\Delta H = \varepsilon_v \cdot H$  considerando uno spessore medio di 10 m, si ottiene un valore teorico stimato di circa 3 cm.

## 5.2 Misura del microtremore sismico

La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la  $V_{s30}$ , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. L'elaborazione dei dati, acquisiti con tempi di registrazione di 14 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz, permette di evidenziare, sottoforma di picchi nello spettro del rapporto H/V, i contrasti di impedenza tra litotipi a rigidità diversa che determinano possibili fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

### TROMINO – AZ. AGR. QUERCETA SRL – CARPI – SP 468

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 29/03/17 15:27:26 Fine registrazione: 29/03/17 15:41:27

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

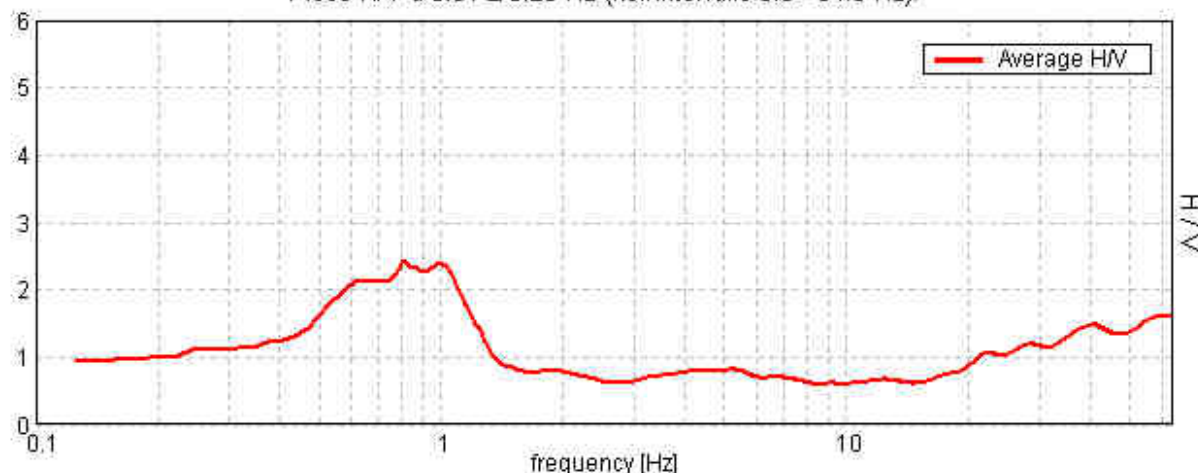
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

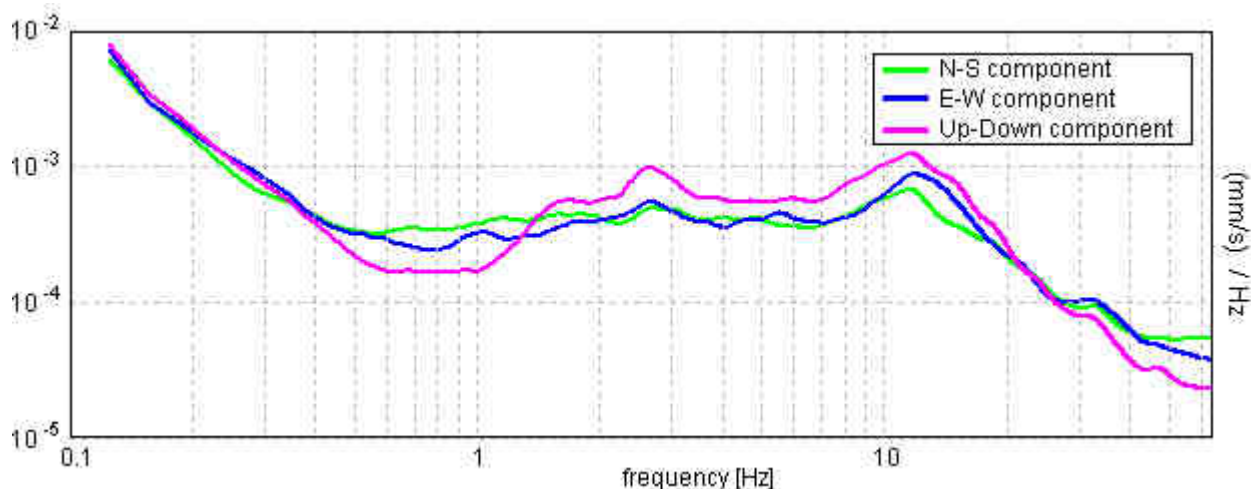
Lisciamento: 10%

#### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE – HVSR

Picco H/V a  $0.81 \pm 0.26$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)

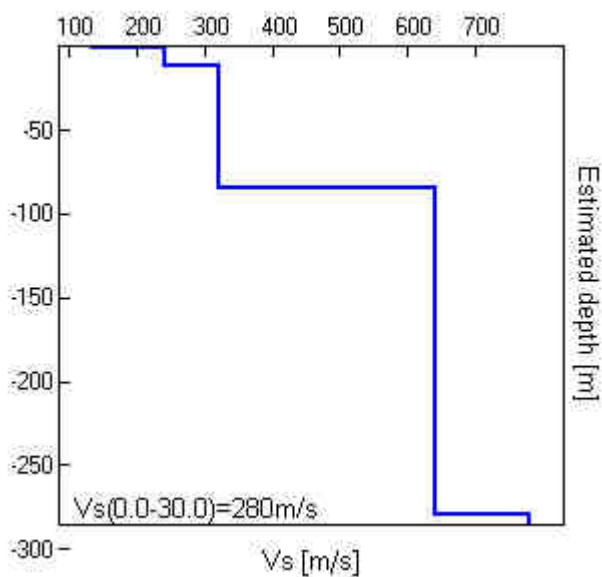
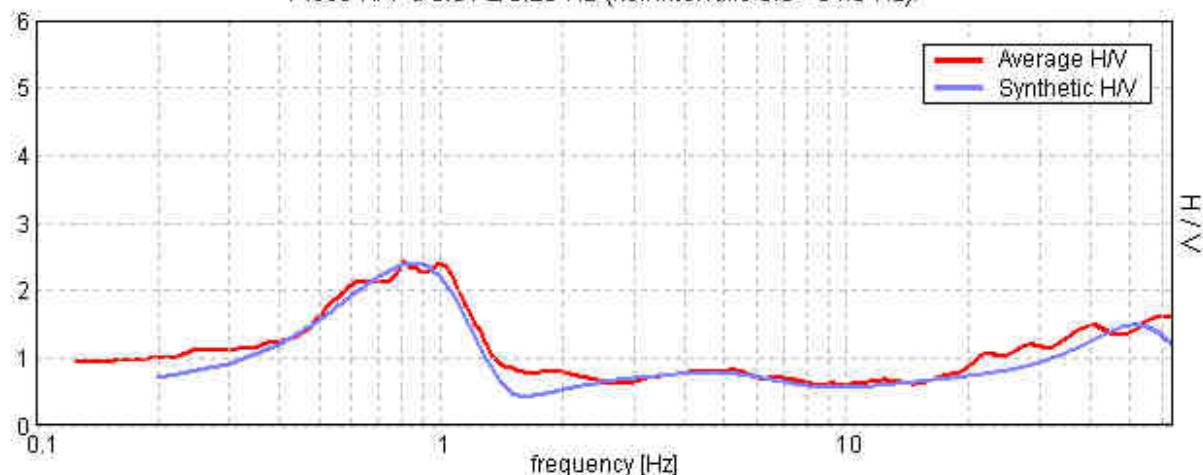


#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Picco H/V a  $0.81 \pm 0.26$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)



Profondità alla base dello strato [m]	Vs [m/s]
0.60	135
11.00	240
85.00	320
280.00	640
inf.	780

**Vs<sub>30</sub> = 280 m/s**

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 0.85 Hz ( $0.81 \pm 0.26$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano. Determinata la velocità delle onde "S" dei vari strati, si ottiene il dato di  $V_{S30} = 280$  m/s, pertanto il substrato dell'area d'indagine è riconducibile alla categoria C che comprende "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  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

### 5.3 Azione Sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- $F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare la vita di riferimento VR della costruzione, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche. La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Vita nominale per diversi tipi di opere - TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni

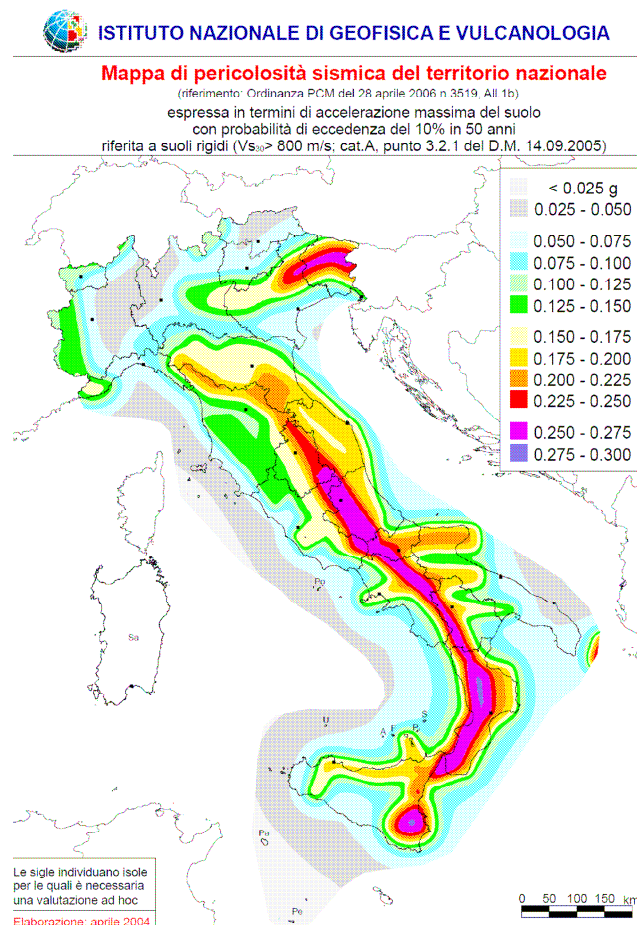
In presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in classi d'uso:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

CLASSE D'USO			
I	II	III	IV
Coefficiente d'uso Cu			
0.7	1	1.5	2

Di seguito vengono riportati i dati sismici e i grafici degli spettri elastici SLU, ottenuti in relazione alle caratteristiche dell'opera considerata per un terreno di tipo C.





Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Latitudine (WGS84): 44,7662800 [°]  
 Longitudine (WGS84): 10,8361100 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,7672200 [°]  
 Longitudine (ED50): 10,8371200 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	15613	44,754880	10,816230	2145,58
2	15614	44,756440	10,886560	4083,17
3	15392	44,806420	10,884320	5733,60
4	15391	44,804860	10,813940	4567,81

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,494	0,250
SLD	50	0,056	2,497	0,265
SLV	475	0,156	2,558	0,273
SLC	975	0,207	2,532	0,277

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,495	0,250
SLD	50	0,055	2,501	0,266
SLV	475	0,156	2,584	0,270
SLC	975	0,208	2,524	0,278

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,042	2,528	0,249
SLD	50	0,052	2,516	0,265
SLV	475	0,152	2,582	0,270
SLC	975	0,204	2,526	0,277

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,041	2,531	0,247
SLD	50	0,053	2,510	0,263
SLV	475	0,150	2,572	0,270
SLC	975	0,202	2,526	0,277

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,043	2,507	0,249
SLD	50	0,055	2,503	0,265
SLV	475	0,154	2,570	0,271
SLC	975	0,206	2,528	0,277

Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

**Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni**

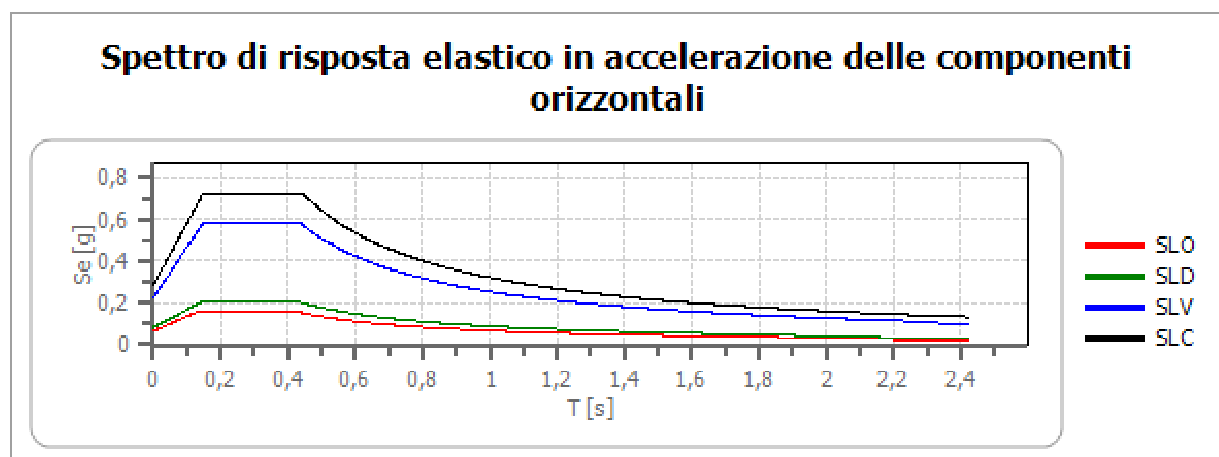
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,016	0,054	0,080
kv	0,006	0,008	0,027	0,040
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,635	0,802	2,205	2,805
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

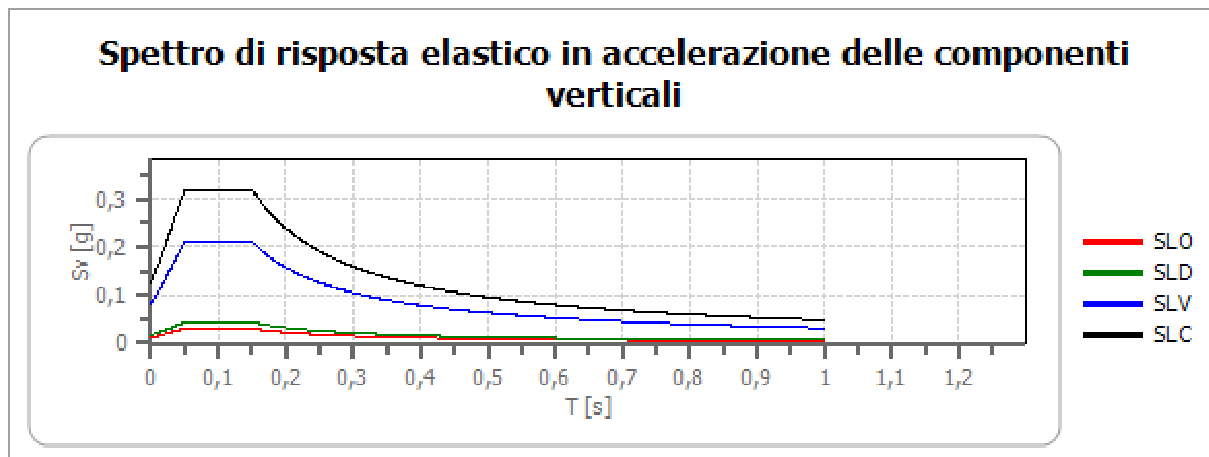
5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$ :

1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,043	2,507	0,249	1,500	1,660	1,000	1,500	1,000	0,138	0,414	1,773	0,065	0,162
SLD	1,0	0,055	2,503	0,265	1,500	1,630	1,000	1,500	1,000	0,144	0,432	1,818	0,082	0,205
SLV	1,0	0,154	2,570	0,271	1,460	1,620	1,000	1,460	1,000	0,146	0,439	2,216	0,225	0,578
SLC	1,0	0,206	2,528	0,277	1,390	1,600	1,000	1,390	1,000	0,148	0,444	2,423	0,286	0,723



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	η	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,043	2,507	0,249	1	1,660	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,030
SLD	1,0	0,055	2,503	0,265	1	1,630	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,043
SLV	1,0	0,154	2,570	0,271	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,082	0,210
SLC	1,0	0,206	2,528	0,277	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,126	0,319

In base alle NTC, DAL RER 112/2007, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015, relative all'ambito A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA - PIANURA 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Pianura 2. Tabella dei Fattori di Amplificazione PGA, SI1, SI2 e SI3.

Considerando la  $V_{s30}$  del sito pari a  $V_{s30} = 280$  m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.6
- F.A. SI 1 = 1.8
- F.A. SI 2 = 2.4
- F.A. SI 3 = 2.5

## 6. Considerazioni conclusive

La presente relazione ha studiato le caratteristiche dei terreni del sito per la realizzazione di un nuovo fabbricato ad uso annesso agricolo a servizio dell'Az. Agr. Querceta srl.

Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni:

- la stratigrafia dell'area risulta formata da litotipi prevalentemente coesivi, costituiti da alternanze di terreni limo-argillosi da plastici a consistenti.
  - Il livello della prima falda libera superficiale, per risalita nel foro di prova, si attesta alla profondità di -1.80 m dal piano campagna (marzo 2017).
  - Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi considerate, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità (LPI = 0). In assenza di litotipi incoerenti saturi, come nel caso delle CPT in esame, il fenomeno della liquefacibilità non sussiste.
  - Dall'elaborazione della registrazione del microtremore sismico, nel grafico H/V si individua un picco principale a circa 0.85 Hz ( $0.81 \pm 0.26$  Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito, tipica del Bacino Sedimentario Padano.
  - In relazione alla classificazione sismica l'area rientra in zona 3 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria C che comprende "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  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".
- Da quanto sopra riportato, si ritengono sufficientemente documentate le condizioni geologiche geotecniche e sismiche del sito in esame, in relazione all'intervento in progetto (ai sensi del DM 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni; Circolare LL.PP. n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni").

#### ALLEGATI

A. Elaborati delle indagini geognostiche

Modena, 3 aprile 2017

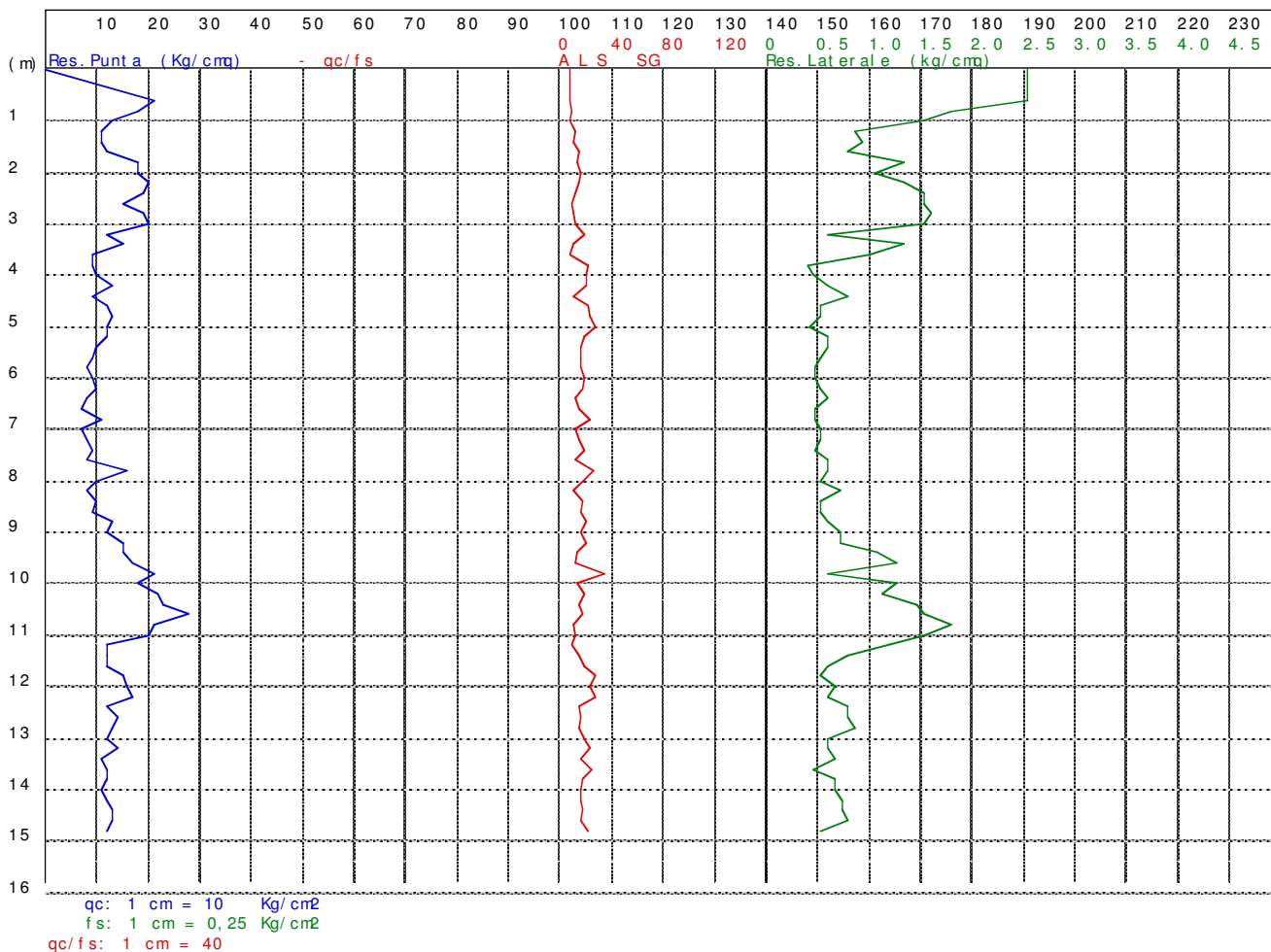
dott. geol. Claudio Preci



ELABORATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO **A**

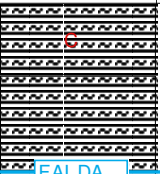
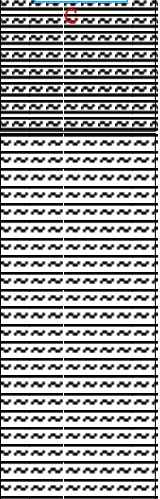

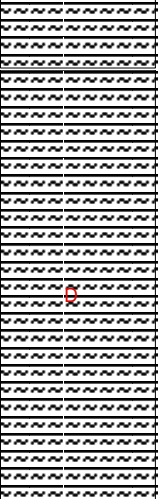

CPT n°3                    data: 29/03/2017                    elaborato n°69  
Cantiere: v. Carrobbio 2 - Carpi  
Committente: Az. Agr. Querceta



CPT n° 3                      data: 29/03/2017                      elaborato n° 69

Cantiere: v. Carrobbio 2 - Carpi

Committente: Az. Agr. Querceta

Prof. m	Strati	Tipologia	Gamma kg/m <sup>3</sup>	Gamma' kg/m <sup>3</sup>	Sigma' V kg/cm <sup>2</sup>	CU kg/cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	Koriz Kg/cm <sup>3</sup>	Per m cm <sup>2</sup> /sec
1.00		Argilla torbosa consistente Argilla limosa plastica	1847	1847	0.185	0.931	30	0	0.010638	1.8800	1.5e-5
FALDA											
3.00		Lim argilloso plastico	1826	1176	0.420	0.794	25	0	0.012270	1.6300	1.6e-5
9.40		Lim argilloso consistente	1761	1111	1.131	0.472	17	0	0.015020	0.7042	1.1e-4
11.00		Lim argilloso plastico	1866	1216	1.326	0.996	20	0	0.015686	1.4167	6.3e-5
14.80			1791	1141	1.759	0.557	16	0	0.014134	0.8596	1.9e-4

## RELAZIONE TECNICA

-----

CPT n°3 data:29/03/2017 elaborato n°69

Cantiere: v. Carrobbio 2 - Carpi

Committente: Az. Agr.Querceta

Quota livello di falda : 1.80

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	21.00	2.53	8.29
0.80	18.00	1.80	10.00
1.00	13.00	1.53	8.48
1.20	11.00	0.87	12.69
1.40	11.00	0.93	11.79
1.60	12.00	0.80	15.00
1.80	18.00	1.33	13.50
2.00	18.00	1.07	16.88
2.20	20.00	1.33	15.00
2.40	19.00	1.53	12.39
2.60	15.00	1.53	9.78
2.80	19.00	1.60	11.88
3.00	20.00	1.53	13.04
3.20	12.00	0.60	20.00
3.40	15.00	1.33	11.25
3.60	9.00	1.00	9.00
3.80	9.00	0.40	22.50
4.00	10.00	0.47	21.43
4.20	13.00	0.60	21.67
4.40	9.00	0.80	11.25
4.60	12.00	0.53	22.50
4.80	13.00	0.53	24.38
5.00	12.00	0.43	27.91
5.20	12.00	0.60	20.00
5.40	10.00	0.60	16.67
5.60	9.00	0.53	16.98
5.80	8.00	0.47	17.02
6.00	9.00	0.47	19.15
6.20	10.00	0.53	18.87
6.40	8.00	0.60	13.33
6.60	7.00	0.47	14.89
6.80	11.00	0.47	23.40
7.00	7.00	0.53	13.21
7.20	8.00	0.53	15.09
7.40	9.00	0.47	19.15
7.60	8.00	0.60	13.33
7.80	16.00	0.60	26.67
8.00	10.00	0.53	18.87
8.20	8.00	0.73	10.96
8.40	10.00	0.53	18.87
8.60	9.00	0.53	16.98
8.80	13.00	0.60	21.67
9.00	12.00	0.73	16.44
9.20	15.00	0.73	20.55
9.40	15.00	1.07	14.02
9.60	17.00	1.27	13.39
9.80	21.00	0.60	35.00
10.00	18.00	1.27	14.21
10.20	22.00	1.13	19.41
10.40	23.00	1.47	15.68
10.60	28.00	1.53	18.26
10.80	21.00	1.80	11.67
11.00	20.00	1.53	13.04
11.20	12.00	1.20	10.00
11.40	12.00	0.80	15.00
11.60	12.00	0.60	20.00
11.80	15.00	0.53	28.13
12.00	16.00	0.67	24.00
12.20	17.00	0.60	28.33
12.40	12.00	0.80	15.00
12.60	14.00	0.80	17.50
12.80	13.00	0.87	15.00
13.00	12.00	0.60	20.00
13.20	14.00	0.60	23.33
13.40	11.00	0.67	16.50
13.60	12.00	0.47	25.71
13.80	12.00	0.67	18.00
14.00	11.00	0.67	16.50
14.20	12.00	0.73	16.36
14.40	13.00	0.73	17.73
14.60	13.00	0.80	16.25
14.80	12.00	0.53	22.50

dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel: 059/823020 - cell: 339/8264394 - e-mail: precigeo@virgilio.it