



# COMUNE DI CAMPEGALLIANO

Provincia di Modena

FASE:

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

PROGETTO:

**MESSA IN SICUREZZA STRADALE INCROCIO  
VIA MADONNA - VIA CROCE**

CUP n. I75F21001370004



OGGETTO:

RELAZIONE GEOTECNICA E GEOLOGICA

DATA:

SETTEMBRE 2021

ESTENSORE

Dott. Geol. Giancarlo BONINI

Via Botteri, n° 9/a

43122 Parma (PR)



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE DEL III SETTORE

SERVIZI AL TERRITORIO

Arch. Daniela DE ANGELIS

GEODE S.c.r.l.

Via Botteri, n° 9/A - 43122 Parma (PR)

Tel.: 0521/257057 - Fax.: 0521/92.19.10 - PEC: geode@pec.it

INDICE

<b>A. Premessa</b>	<b>3</b>
<b>A.1 Normative di riferimento</b>	<b>3</b>
<b>A.2 Localizzazione del sito</b>	<b>4</b>
<b>B. Inquadramento geologico ed idrogeologico</b>	<b>5</b>
<b>B.1 Quadro geologico</b>	<b>5</b>
<b>B.2 Stratigrafia</b>	<b>5</b>
B.2.1 <i>Subsistema di Ravenna (AES8)</i>	6
B.2.1.1 Unità di Modena (AES8a)	6
<b>B.3 Aspetti geomorfologici e rischio idrogeologico</b>	<b>8</b>
<b>B.4 Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi</b>	<b>12</b>
B.4.1 <i>La piezometria</i>	13
B.4.2 <i>La vulnerabilità e pozzi idropotabili</i>	14
<b>C. DATI GEOGNOSTICI</b>	<b>16</b>
<b>C.1 Dati geognostici bibliografici</b>	<b>16</b>
C.1.1 Prova sismica Re.Mi.+MASW (ID K015 da database RER) e prova sismica HVSr (ID R015 da database RER)	17
C.1.2 Prova penetrometrica statica (ID C125 da database RER)	19
<b>D. Modello geologico e schema litologico</b>	<b>21</b>
<b>D.1 Parametri meccanici</b>	<b>22</b>
D.1.1 Resistenza alla punta (qc)	22
D.1.2 Coesione non drenata (Cu)	22
D.1.3 Modulo Edometrico (M)	23
D.1.4 Resistenza al taglio e densità relativa	24
D.1.5 Modulo di Young [modulo di elasticità] (E)	25
<b>E. Modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</b>	<b>26</b>
<b>E.1 Sismicità</b>	<b>26</b>
E.1.1 Zonazione sismica e pericolosità	26
E.1.2 Classificazione sismica	28
<b>E.2 Elementi di microzonazione sismica</b>	<b>29</b>
E.2.1 Rischio sismico da PTCP di Modena	29
E.2.2 Microzonazione sismica del Comune di Campogalliano	30
<b>E.3 Azioni sismiche ai sensi NTC2018</b>	<b>36</b>
E.3.1 Categorie di sottosuolo	36
E.3.2 Categorie topografiche	36
E.3.3 Parametri sismici di calcolo	37
<b>E.4 Stabilità nei confronti della liquefazione</b>	<b>39</b>
E.4.1 Verifica della suscettività dei terreni alla liquefazione	39
<b>F. Considerazioni finali</b>	<b>42</b>
<b>Allegato 1 – Prova penetrometrica statica C125 (database RER)</b>	<b>45</b>
<b>Allegato 2 – Scheda prova sismica Re.Mi.+MASW K015 (database RER)</b>	<b>46</b>

## A. PREMESSA

Il presente studio geologico-tecnico è finalizzato a ricavare le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche di un'area nel comune di Campogalliano (MO), in particolare in corrispondenza dell'incrocio tra Via Madonna e Via Croce dove è prevista la costruzione di una rotatoria stradale.

Lo studio svolto ha contemplato:

- ✓ Inquadramento geologico e geomorfologico: in esso vengono descritte le formazioni e le litologie presenti nell'area.
- ✓ Sintesi delle indagini geognostiche eseguite.
- ✓ Ricostruzione stratigrafica ed idrogeologica alla luce delle indagini geognostiche eseguite e reperite.
- ✓ Caratterizzazione meccanica del sottosuolo.
- ✓ Modellazione sismica di base del sito in esame.
- ✓ Analisi di fattibilità geologica e sismica.

### A.1 Normative di riferimento

- O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 *Costruzioni in zona sismica*
- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*
- D.M 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*.
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti n.7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".
- D.A.L. 112/2007. 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"
- L.R. 19 del 30.10.2008. *Norme per la riduzione del rischio sismico*.
- D.G.R. 1373/2011. *Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1 della L.R. 19 del 2008 e smi per la riduzione del rischio sismico*.
- DGR.2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" di cui alla DAL 2/05/2007 n.112".
- D.G.R. n°1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"
- D.G.R. n.630 del 29/04/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt.22 e 49, L.R. 24/2017)".

## A.2 Localizzazione del sito

L'area è ubicata nella Carta Tecnica Regionale elemento 201114 "CAMPOGALLIANO" alla scala 1:5.000; il sito in esame si colloca ad una quota di circa 42 m s.l.m. alle coordinate di 44.683548° di latitudine e 10.842258° di longitudine (ED50).

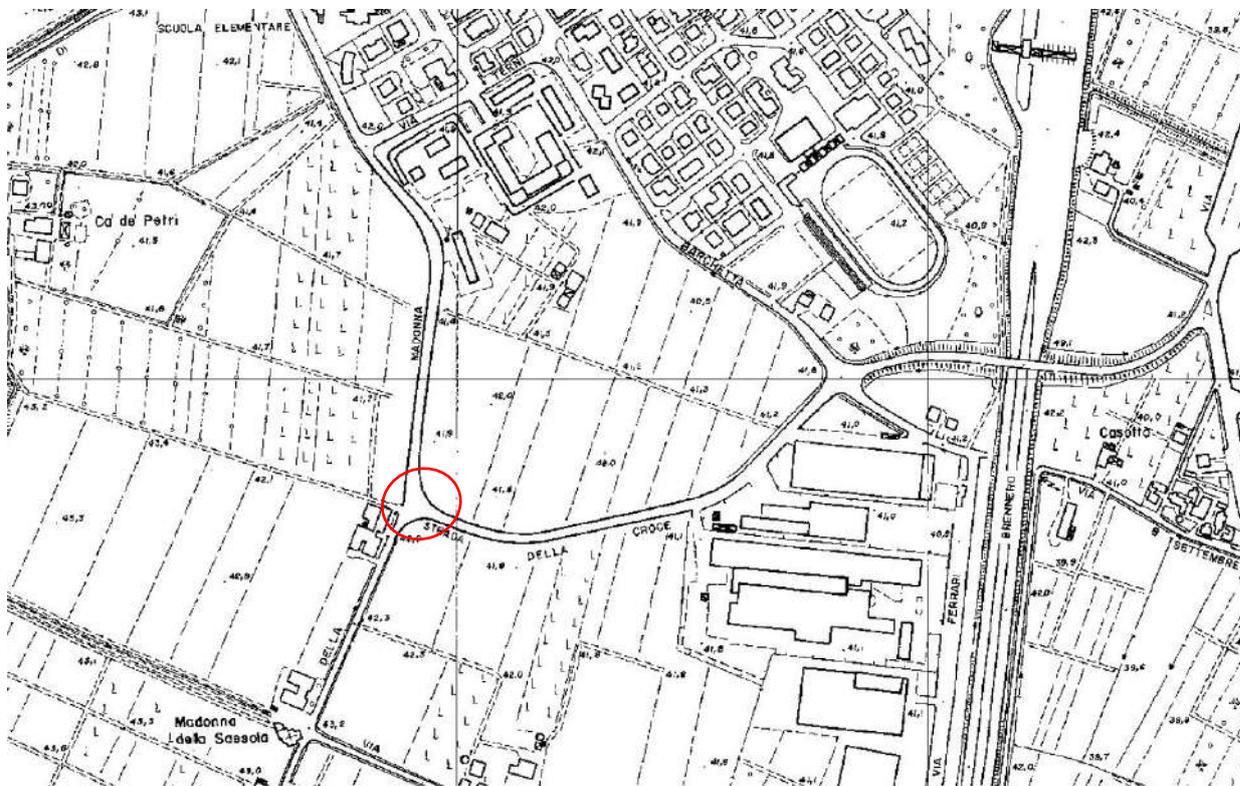


Figura 1. Ubicazione dell'area su CTR, non in scala. Nel cerchio rosso è compresa l'area oggetto di studio.



Figura 2. Individuazione area dell'intervento su ortofoto Google Earth (04/06/2021).

## B. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### B.1 Quadro geologico

La zona in esame ricade nel foglio 201 "MODENA" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 ed è caratterizzata principalmente dalla presenza di depositi limo-sabbiosi di piana alluvionale del Subsistema di Ravenna – Unità di Modena (AES8a).

Nei paragrafi successivi si riportano le descrizioni tratte dalle note illustrative della Cartografia Geologica in scala 1:50.000 della Regione Emilia-Romagna disponibili al sito: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis>.



#### Ambienti deposiz. e litologie (10K)

▨ Limo Sabbioso - Piana alluvionale

#### Coperture quaternarie (10K)

■ AES8a - Unità di Modena

Figura 3. Estratto dalla carta geologica del progetto CARG (con indicazione dell'ambiente deposizionale e litologie) disponibile nel sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>.

### B.2 Stratigrafia

Le unità geologiche affioranti nell'area in esame possono essere raggruppate all'interno del ciclo Quaternario Continentale, denominato Supersistema Emiliano-Romagnolo (equivalente all'Allogruppo Emiliano-Romagnolo di R.E.R., ENI-AGIP, 1998<sup>1</sup>) nel quale sono state individuate due unità principali: un'unità inferiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI - equivalente all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore della pubblicazione citata) ed un'unità superiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES - equivalente all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore della pubblicazione citata). Nell'area in esame affiorano i depositi del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

<sup>1</sup> REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA., Firenze, 120 pp..

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Pleistocene medio-Olocene) è stato suddiviso in cinque subsintemi identificabili in affioramento mediante caratteristiche morfo-pedostratigrafiche: si tratta infatti di conoidi alluvionali terrazzate, le cui superfici deposizionali relitte, poste a quote diverse e separate da scarpate erosive, presentano un'evoluzione pedostratigrafica differente; in ordine crescente di età si trova: Subsintema di Ravenna (AES8), Subsintema di Villa Verucchio (AES7), Subsintema di Agazzano (AES3), Subsintema di Maiatico (AES2), Subsintema di Monterlinzana (AES1).

In corrispondenza dell'area in studio affiora il Subsintema Ravenna – Unità di Modena (AES8a); nel paragrafo successivo si riportano le descrizioni tratte dalle note illustrative della Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna disponibili al sito: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis>.

### B.2.1 Subsintema di Ravenna (AES8)

Affiora nella maggior parte del Foglio 201. A differenza delle unità continentali più antiche di ambiente intravallivo e di conoide affioranti in aree pedecollinari, questa si sviluppa in condizioni di piana inondabile e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, depositi nell'ultimo postglaciale, in parte al di sopra dell'esteso corpo ghiaioso attribuito all'unità di Vignola. La base del Subsintema di Ravenna nell'area tipo (Amorosi, 1999; Foglio 223-Ravenna) è caratterizzato da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di entità variabile e marcata da un netto contrasto di facies: i depositi alluvionali di età pleistocenica (parte sommitale di Villa Verucchio) sono sovrastati da depositi di ambiente paralico e marino-marginale riconducibili all'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica. Nel settore emiliano la base del subsintema cade all'interno di depositi alluvionali ed è generalmente meno facilmente riconoscibile di quanto non avvenga per i settori posti presso la costa. Nel Foglio 201 la base affiora in alcune cave abbandonate scavate a NE di Magreta nella zona meridionale del Foglio. Qui limi e limi argillosi beige poggiano con contatto netto sulle ghiaie e limi di colore bruno–rossastro alterati dal paleosuolo a tetto dell'unità di Vignola.

Il limite superiore del subsintema, coincidente sempre con la superficie topografica, è caratterizzato dalla presenza di suoli a basso grado di alterazione con profilo di alterazione inferiore ai 150 cm, parzialmente decarbonatato, articolato negli orizzonti A, Bw, Bk, (C) (entisuoli), con colori di alterazione (Munsell, 1975) degli orizzonti B delle pagine 10Yr–2,5Y (giallo–bruno). In molte aree al tetto è presente un suolo meno evoluto del precedente, legato a eventi deposizionali di età post–romana; i depositi con a tetto questi suoli sono stati attribuiti all'Unità di Modena.

L'età è pleistocenica superiore-olocenica. Le datazioni con il metodo 14C della base dell'unità oscillano tra 15.000 e 9.000 anni circa BP.

#### B.2.1.1 Unità di Modena (AES8a)

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. L'unità di Modena è caratterizzata dalla presenza a tetto di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo di alterazione inferiore a 100 cm, non decarbonatato, articolato negli orizzonti A, Bw, C, e A, C (entisuo-lo e inceptisuolo), con colore Munsell di alterazione dell'orizzonte BC nella pagina 2,5Y (grigio-giallastro). Ad essa appartengono i sedimenti depositi dopo l'età romana (post V secolo d.C.).

Affiora assai estesamente per oltre il 50% del Foglio, ricoprendo ampi tratti della centuriazione romana (Pasquinucci, 1983), lasciando affiorare il Subsintema di Ravenna in un tratto di pianura a SO di Modena e in una fascia continua che da Scandiano va a S.Martino in Rio, a Soliera e a Carpi. La base dell'unità è stata definita sulla base dei dati archeologici e dai dati pedologici. Infatti nei profili eseguiti dall'Ufficio pedologico della Regione Emilia-Romagna è ben riconoscibile la sovrapposizione dei sedimenti dell'Unità di Modena al di sopra del suolo evoluto che caratterizza il tetto del Subsintema di Ravenna. L'Unità di Modena è stata ulteriormente suddivisa in base alla granulometria dei depositi affioranti e all'ambiente deposizionale; le ghiaie sono confinate alle aree circostanti il fiume Secchia e ad una limitata area posta nei pressi di Scandiano legata al T. Tresinaro, le sabbie sono poco diffuse mentre i limi e le argille costituiscono la litologia prevalente. Sono stati poi distinti alcuni elementi morfologici quali paleoalvei e argini artificiali, utili alla ricostruzione dell'evoluzione idrografica dell'area.

In corrispondenza della città di Modena sono particolarmente numerosi i dati relativi al sottosuolo, litologici e archeologici, che hanno consentito di ricostruire in dettaglio il sottosuolo della città e le vicende alluvionali che hanno sepolto la città romana di Mutina (Cremaschi & Gasperi, 1989).

L'unità di Modena affiora estesamente anche nel settore reggiano del Foglio; alcune datazioni radiometriche, su tronchi rinvenuti in posizione fisiologica ad ovest di Rubiera testimoniano la presenza di un deposito di circa 4 metri di spessore che seppellisce una foresta di querce tra il 420 e il 670 d.C. (Alessio et alii, 1980). Lo spessore può raggiungere gli 8 m circa, profondità alla quale si rinviene il piano archeologico romano in alcune aree della città di Modena. L'età è post V sec. d.C.-Attuale.

Di seguito si riporta un estratto della Cartografia "Tetto delle ghiaie e delle sabbie quaternarie continentali" allegata al foglio geologico 201 "MODENA" in scala 1:50.000 del progetto CARG, in cui l'area in esame è compresa tra le isobate del tetto delle ghiaie di quota 10 e 15 m s.l.m. Le ghiaie presenti in corrispondenza del sito in esame alle quote suddette (10-15 m s.l.m.) sono rappresentate dalle ghiaie dell'unità di Vignola (AES7b) inferiore.

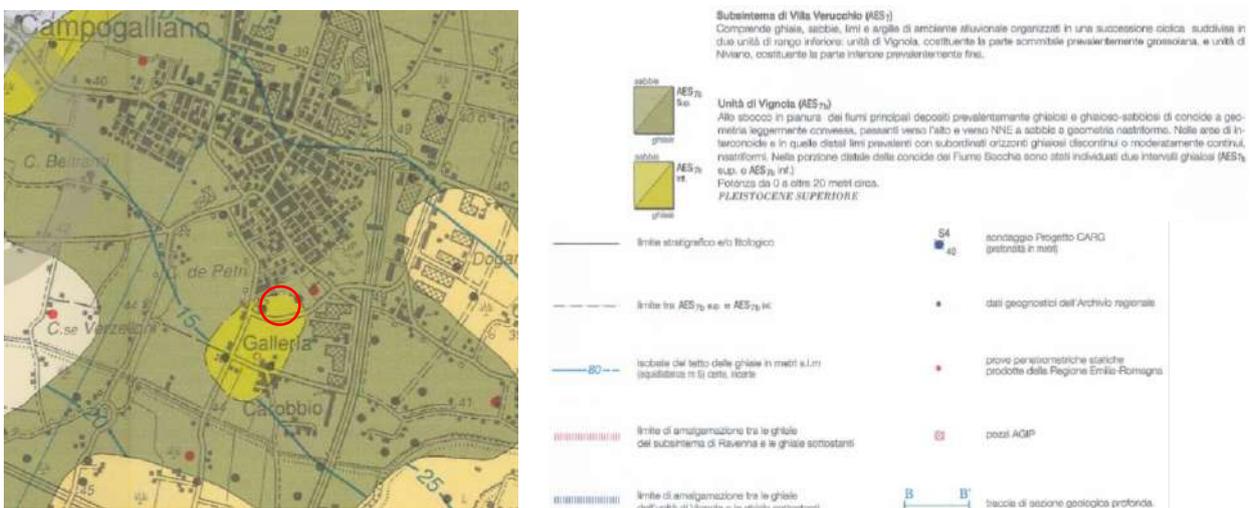


Figura 4. Estratto dalla Carta "Tetto delle ghiaie e delle sabbie quaternarie continentali" allegata al Foglio 201 – Modena.

Si riporta di seguito un estratto della sezione CC' (la porzione SO), passante per Campogalliano, ad ovest del sito in esame, presente nella suddetta tavola "Tetto delle ghiaie e delle sabbie quaternarie continentali" allegata al foglio geologico 201 "MODENA" in scala 1:50.000 del progetto CARG. In sezione, in corrispondenza dell'abitato di Campogalliano la base del ciclo deposizionale del Subsistema di Ravenna ed il tetto, quindi, dell'Unità di Vignola è presente a circa 30 m di profondità.

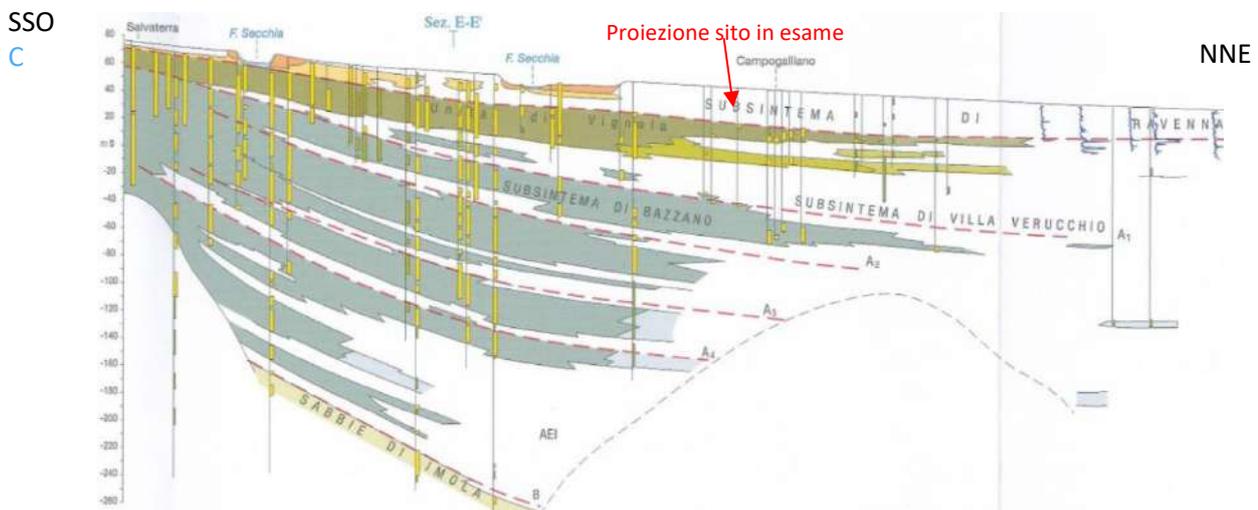


Figura 5. Porzione SO della sezione CC' presente nella Carta "Tetto delle ghiaie e delle sabbie quaternarie continentali" allegata al Foglio 201 – Modena.



Figura 6. Legenda porzione SO della sezione CC' presente nella Carta "Tetto delle ghiaie e delle sabbie quaternarie continentali" allegata al Foglio 201 – Modena.

### B.3 Aspetti geomorfologici e rischio idrogeologico

Dal punto di vista morfologico l'area, a morfologia pianeggiante, è in prevalenza, il risultato dell'azione prodotta dalle acque di scorrimento superficiale e dall'attività antropica. Il sito oggetto di studio si colloca in sinistra idrografica del Fiume Secchia e a nord delle casse di espansione del fiume, presenti tra il comune di Modena, Campogalliano (MO) e Rubiera (RE). Inoltre a circa 500 m ad ovest del sito in esame è presente il Canale di Carpi.

Si riporta di seguito un estratto della tavola 10 "Carta geomorfologica" del QC del PSC del comune di Campogalliano, contenuta nella relazione "Studio geologico, pedologico-vegetazionale e faunistico" dove l'area in esame rientra nelle forme di genesi antropica, nel territorio urbanizzato-capoluogo; a sud di Via Croce e del sito in esame in cui è in progetto la rotatoria stradale sono indicate invece forme di genesi fluviale ed in particolare i terreni appartengono alle unità degli argini naturali del reticolo idrografico minore.

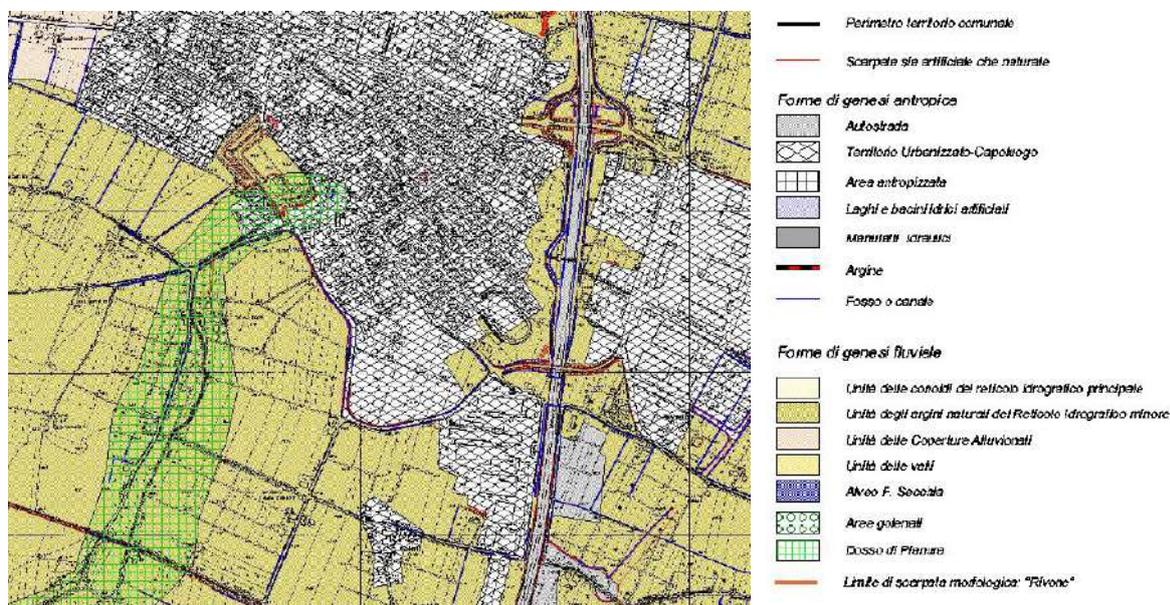
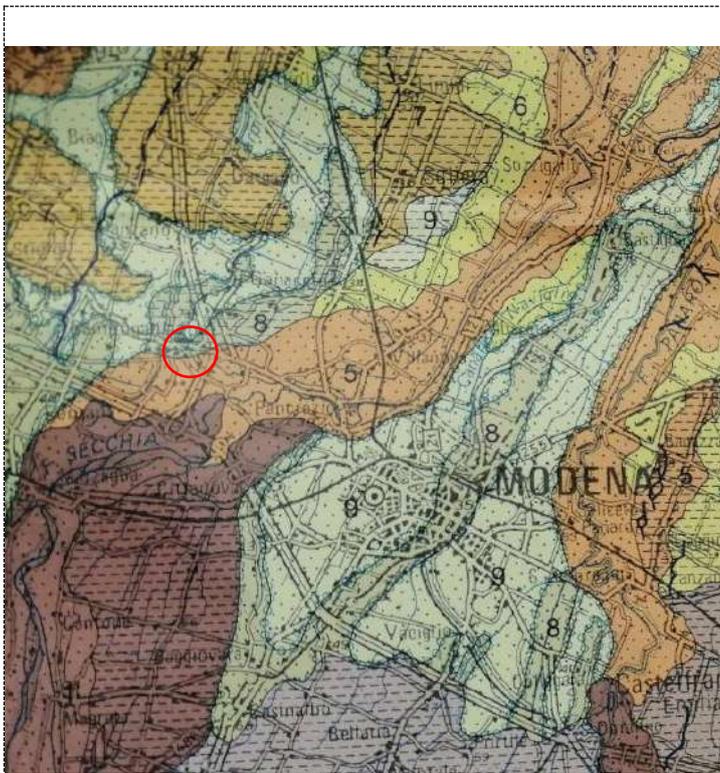


Figura 7. Estratto da tavola 10 "Carta geomorfologica" del QC del PSC del comune di Campogalliano, contenuta nella relazione "Studio geologico, pedologico-vegetazionale e faunistico".

Nella Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna (1999)<sup>2</sup> l'area in studio è contraddistinta dalla presenza di sedimenti di "Piana alluvionale", in particolare si colloca al passaggio tra un'area caratterizzata dalla presenza di "Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine prossimale. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione" ed un'area caratterizzata dalla presenza di "Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione".

Dal punto di vista pedostratigrafico l'area è caratterizzata da depositi ai primi stadi di alterazione, fronte di alterazione <1m (50-100 cm). Al tetto suoli calcarei con differenziazione del profilo di orizzonti A-C, A-Bw-C; Hue degli orizzonti B 2.5Y-10YR. Al tetto e all'interno dei sedimenti reperti di Età Medioevale e di Età Moderna. Olocene: tardo antico (VI secolo d.C.) – Età Moderna.



- 1 Ghiaie e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari amalgamati, intercalate a sabbie e sabbie limose in strati di spessore decimetrico. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.
- 2 Sabbie, limi sabbiosi e limi, in strati di spessore decimetrico, ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.
- 3 Limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.
- 5 Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi. Depositi di canale e argine prossimale. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
- 6 Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
- 8 Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
- 9 Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude.

Figura 8. Estratto dalla Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna.

Per quanto riguarda l'inventario del dissesto nell'area, a morfologia pianeggiante, non sono censiti dissesti in atto o quiescenti.

Nell'"Atlante dei Piani in webgis", a cura dell'Autorità di Bacino del Fiume Po l'area risulta esterna alla fascia C così come individuate da PAI-PTCP. (Di seguito è riportata l'immagine reperibile al sito <https://pai.adbpo.it/index.php/accesso-allarea-webgis-atlante-dei-piani/>)

<sup>2</sup> Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna (1999) SELCA Firenze

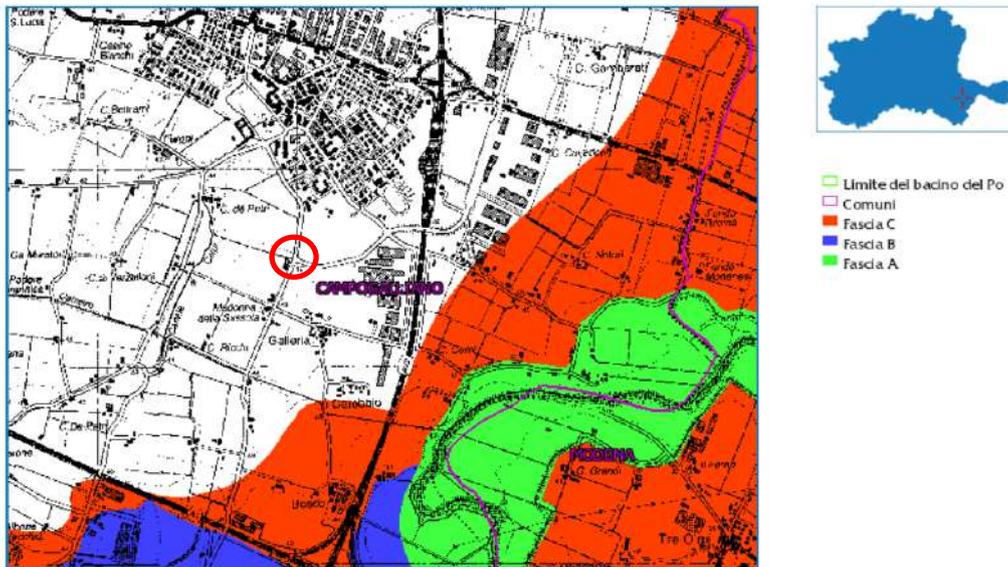


Figura 9. Estratto dall'atlante dei Piani in webgis, a cura dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Per completezza si riporta inoltre un estratto della tavola 11 "Carta dei vincoli e delle tutele ambientali presenti" contenuta all'interno dello "Studio geologico, pedologico-vegetazionale e faunistico" del QC del PSC del comune di Campogalliano; nell'estratto presente di seguito il sito in esame risulta esterno al limite della fascia fluviale C ed interno alla zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei

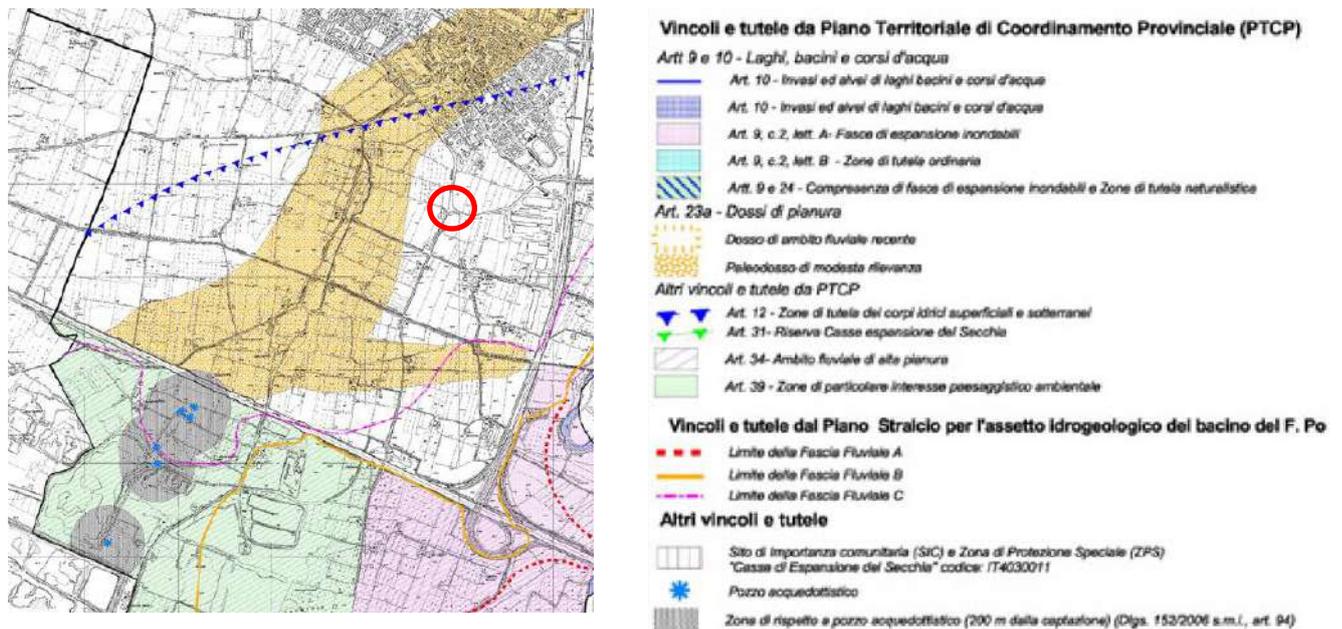


Figura 10. Estratto da tavola 11 "Carta dei vincoli e delle tutele ambientali presenti" contenuta all'interno dello Studio geologico, pedologico-vegetazionale e faunistico del QC del PSC.

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Bacino del Fiume Po (approvato nel marzo 2016) perimetra le aree allagabili in riferimento ai tre scenari di piena previsti dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.lgs n.49/2010 così come sintetizzati nella figura seguente.

**Tabella riepilogativa scenari di inondazione**

Direttiva Alluvioni	Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale (anni)						
		Scenario	TR (anni)	RP	RSCM (legenda PAI)	RSP	ACL	ACM
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	P3 elevata		20-50 (frequente)	10-20	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni	10 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	P2 media		100-200 (poco frequente)	100-200	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	P1 bassa		Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	500	Em, Cn		Massimo storico registrato	>> 100 anni

Tabella 1. Estratto dalla Relazione IIA. “Mappatura della pericolosità e valutazione del rischio” del PGRA.

Il processo di pianificazione del PGRA è organizzato in cicli di sei anni, al termine dei quali si avvia un nuovo processo di revisione del Piano. Il primo ciclo attuazione si è concluso nel 2016 quando sono stati definitivamente approvati i PGRA relativi al periodo 2015-2021. Il secondo ciclo è in corso con le attività che porteranno, nel dicembre 2021, all’approvazione dei PGRA: rispetto a questo ciclo si sono già concluse la prima fase (valutazione del rischio di alluvioni) e la seconda fase (aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvione). L’aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio -secondo ciclo- è stato pubblicato il 16 marzo 2020. Le mappe sono attualmente oggetto di osservazioni.

Nel Piano di Gestione delle Alluvioni l’area risulta interna rispetto agli scenari di pericolosità evidenziati per quello che riguarda il reticolo primario di pianura (RPP) per il quale sono indicate “alluvioni rare L-P1”, ed il reticolo secondario di pianura (RSP) per il quale sono indicate alluvioni “poco frequenti M-P2”.

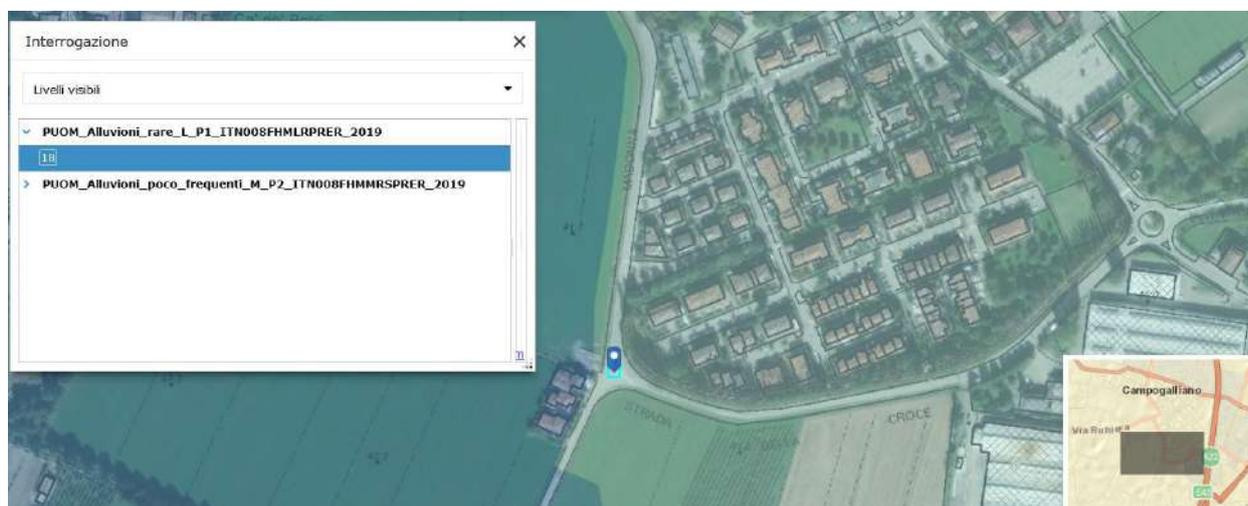


Figura 11. Piano di Gestione Alluvioni [estratto dal sito <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/cartografia.>]

Nella la Tavola 2.3 del PTCP della provincia di Modena “Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica” il sito in esame risulta esterno dalle aree a differente pericolosità e/o criticità idraulica.

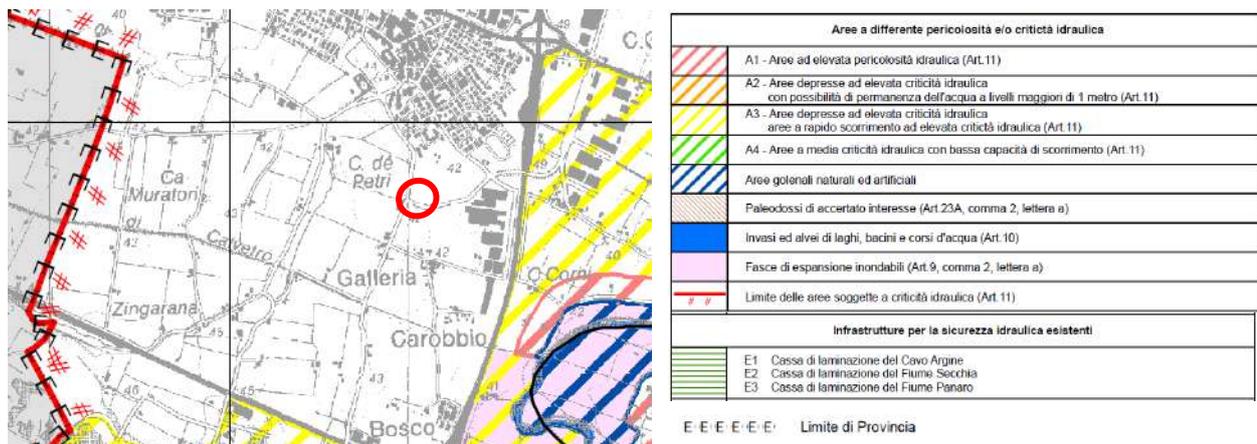


Figura 12. Estratto da Tavola 2.3 del PTCP della provincia di Modena “Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica”.

Nella tavola 1.1 del PTCP della provincia di Modena “Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali” il sito in esame rientra nelle “zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei” (art.12); ad ovest, e proseguendo in direzione NE, è presente un dosso di pianura (art. 23A), in particolare è indicato un paleodosso di modesta rilevanza (art.23A, comma 2, lettera c). Attraverso la carta suddetta è inoltre possibile verificare come le strade Via Croce e Via Madonna (nel tratto che dall’incrocio prosegue verso SW, dove l è definita anche Via Viottolo della Sassola) appartengano alle “zone ed elementi di tutela dell’impianto storico della centuriazione – art.41B” e siano indicate come viabilità storica (normate dall’art.44A del PTCP). A SW, proseguendo lungo Via Viottolo della Sassola è indicata una struttura di interesse storico testimoniale art.44D.

Si segnala inoltre che il paese di Campogalliano rientra negli insediamenti urbani storici e strutture insediative storiche non urbane (art.42).

#### B.4 Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi

Sulla base degli studi “Riserve idriche dell’Emilia Romagna” (1988)<sup>3</sup> e del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna (2003) nell’area in esame sono stati individuati tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale denominati informalmente A, B e C a partire dal piano di campagna. La storia tettonica e deposizionale del bacino padano ha influenzato le caratteristiche e l’architettura dei Gruppi Acquiferi. Il Gruppo più superficiale viene attualmente sfruttato intensamente, il Gruppo B ha importanza solo locale mentre l’acquifero più profondo è raramente sfruttato a causa della imponente copertura superficiale; la successione sedimentaria padana interessata dagli acquiferi identificati è plio-quadernaria ed ha carattere regressivo con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluviale e fluvio-glaciale ricoperto da depositi continentali.

Dal punto di vista gerarchico sono stati distinti tre Sequenze Principali (Supersintemi): il Supersintema del Pliocene medio-superiore, il Supersintema del Quaternario marino ed il Supersintema Emiliano-Romagnolo le cui geometrie vengono radicalmente modificate dagli eventi tettonici di sollevamento regionale.

<sup>3</sup> Regione Emilia Romagna, ENI-AGIP (1988) “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” a cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze)

L'organizzazione verticale delle porzioni deposizionali (facies) è costituita da una alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana che presentano talvolta, ad un grado minore, la medesima organizzazione interna. Queste unità, aventi un ciclo genetico di 40-100.000 anni, sono definite come Sequenze Deposizionali Elementari.

Le Sequenze Deposizionali Elementari possono essere sede di falda acquifera dolce, salata o salmastra e rappresentano i "mattoni" coi quali costruire il Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola (BIPER).

L'insieme dei sedimenti, già organizzati in Sequenze Deposizionali, costituenti il serbatoio padano, secondo R.E.R.-ENI-AGIP è compartimentato in Unità Idrostratigrafiche-Sequenziali (UIS): un insieme di depositi con caratteri idrologici omogenei o distribuiti in modo da permettere una divisione interna in acquiferi, caratterizzati dall'aver alla base una facies fine scarsamente o per nulla permeabile (rispettivamente acquitardo o acquicludo) arealmente, in senso geologico, continuo e interessati, ad esclusione delle aree di ricarica, da flussi idrici interni confinati.

PRINCIPALI UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE		ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE		
AFFIORANTI	SEMPRE			GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSI ACQUIFERO	
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE FERRE, DILUVIUM ALLUVIUM E ALLUVIONI E ALLUVIONI	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.12	0.125	A	A1
	FORMAZIONE DI QUARTELLO					A2
	UNITÀ DI VILLA DE' BOSSI					A3
	UNITÀ DI CA' DI SOGA					A4
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GALLE E DI MOLLA n.d.	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.35-0.45	PIEBTOGENE MEDIO	B	B1
	MILAZZANO e CALABRANO p.p. SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GALLE E DI MOLLA n.d.					B2
	CALABRANO e p.p. SABBIE DI MONTECICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.					B3
	CALABRANO e p.p. FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.					B4
P2	FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.65	PIEBTOGENE INFERIORE	C	C1
						C2
						C3
						C4
			-0.8	0.89		C5
			-1.0	1.72		
			-2.2	PIEBTOGENE MEDIO - SUPERIORE		
			-3.3-3.6	PIEBTOGENE INFERIORE MIGLIORE		
			-3.9			ACQUITARDO BASALE

Figura 13. Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da "Le acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna. Modello concettuale" PTA, 2005)

Ogni Unità Idrostratigrafica-Sequenziale può essere considerata idraulicamente isolata da quelle adiacenti cosicché il livello piezometrico misurato in un pozzo attestato su questa UIS può risultare diverso dal livello misurato, nella stessa posizione geografica, in pozzi interessanti le altre Unità.

I tre Gruppi Acquiferi riconosciuti nel sottosuolo sono costituiti complessivamente da tredici UIS denominati Complessi Acquiferi, gerarchicamente inferiori ai precedenti per differenze di volume complessivo utile e per caratteristiche geometriche del proprio livello acquitardo o acquicludo basale. La base di ogni Gruppo Acquifero affiora a tratti sul Margine Appenninico Padano; nel territorio in esame è presente il Gruppo Acquifero A.

In generale gli acquiferi sono distinti in una zona di ricarica ed un serbatoio: la zona di ricarica diretta è la porzione di superficie topografica in cui avviene l'alimentazione del serbatoio stesso, a forte componente verticale e proveniente dalla superficie; le porzioni affioranti dei Gruppi Acquiferi costituiscono l'area di ricarica idrometeorica degli acquiferi stessi e sono perciò da salvaguardare con attenzione poiché naturalmente esposte e vulnerabili agli inquinamenti.

Dal punto di vista idrogeologico il sito in esame è ubicato in una zona con uno spessore cumulativo dei depositi porosi permeabili del Gruppo acquifero A compreso tra 40-60 m e la profondità del limite basale è compresa tra -150 e -200 m s.l.m.

#### B.4.1 La piezometria

I risultati delle indagini bibliografiche reperite (vedasi paragrafo C) riportano solamente in alcuni casi i valori di soggiacenza della falda misurati nel momento dell'esecuzione della prova geognostica. Nella tabella seguente si riporta il dato di profondità della falda acquifera, rispetto al p.c., laddove reperito.

Sigla (da database RER)	Tipo	Profondità (m dal p.c.)	Quota [m s.l.m.]	Soggiacenza falda (m dal p.c.)	Data di esecuzione
201110C124	Prova penetrometrica statica	15.10	40.4	-2.10	03/07/1190
201110U510	Prova penetrometrica statica con piezocono	31.0	40.2	-1.50	25/07/1999

Tabella 2. Valori di soggiacenza reperiti dalle indagini bibliografiche (da database RER).

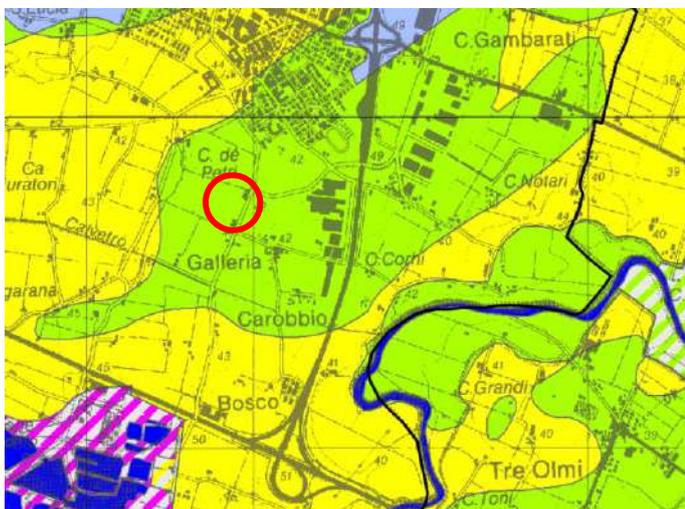
Per avere informazioni riguardo la piezometria nell'area in esame sono state consultate anche alcune tavole dello studio di Microzonazione sismica di II livello del comune di Campogalliano (come riportato nel paragrafo E.2.2). In particolare nella "Carta delle isopieze" (tav.1\_3-MZSII) nell'intorno del sito in esame sono segnalate alcune misure di soggiacenza della falda in m s.l.m.: la falda presenta quote variabili tra 40.07 e 42.20 m s.l.m.

Il sito in esame si colloca in prossimità di uno spartiacque idrico sotterraneo con andamento W-NE e risulta compreso all'interno del perimetro tracciato in carta dalla isopieza a 42.0 m s.l.m. In carta, a partire da questo limite, in prossimità del sito in esame è indicato un andamento in direzione NE del flusso idrico.

Per completezza si cita anche la "Carta soggiacenze del primo acquifero" (tav.1\_4 - MZSII) dove la falda, in prossimità del sito in esame, presenta una soggiacenza compresa tra 0.5-1.0 m da p.c.

#### B.4.2 La vulnerabilità e pozzi idropotabili

Nella Carta di vulnerabilità ambientale 3.1 "Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero" di cui nella figura seguente si riporta un estratto, l'area in esame si colloca in una zona caratterizzata da un grado di vulnerabilità **medio**, questo, come riportato in legenda può essere dato dalla combinazione di differenti aspetti come la litologia presente in superficie, la profondità del tetto delle ghiaie e delle sabbie, la capacità di attenuazione del suolo ed il tipo di acquifero.



"GRADO DI VULNERABILITÀ"						LITOLOGIA SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE E SABBIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO	CAPACITÀ ATTENUAZIONE SUOLO
EE	E	A	M	B	BB				
									- Zona di MEDIA PERICURTÀ: Area caratterizzata da assenza di acquiferi significativi, nella quale sono presenti livelli di ghiaia solamente al di sotto dei 100 m di profondità e di sabbie al di sotto dei 25 m di profondità.
									(*) Paleovalle recenti e depositi di roccia, sede di acquiferi sospesi.
						limo	> 100	libero	AM
						sabbia limo	> 100	libero	AM B
						sabbia	> 100	libero	B
						argilla	> 10	libero/confinato	AM
						limo	> 10	libero/confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	confinato	A
						argilla	> 10	libero/confinato	B
						argilla e/o limo	< 10	libero	AM
						limo	> 10	libero/confinato	MB
						argilla e/o limo	< 10	confinato	A
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	< 10	confinato	AM
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	< 10	confinato	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	B
						Altri fattori dipendenti			

EE = Estremamente Elevato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso BB = Molto Basso

Figura 14. Estratto dalla Tavola 3.1 "Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero" del PTCP della provincia di Modena.

Nella Carta di vulnerabilità ambientale 3.2 "Rischio inquinamento acque: zone di protezione delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano" il sito è compreso in un'area caratterizzata da ricchezza di falde idriche (art 12A).

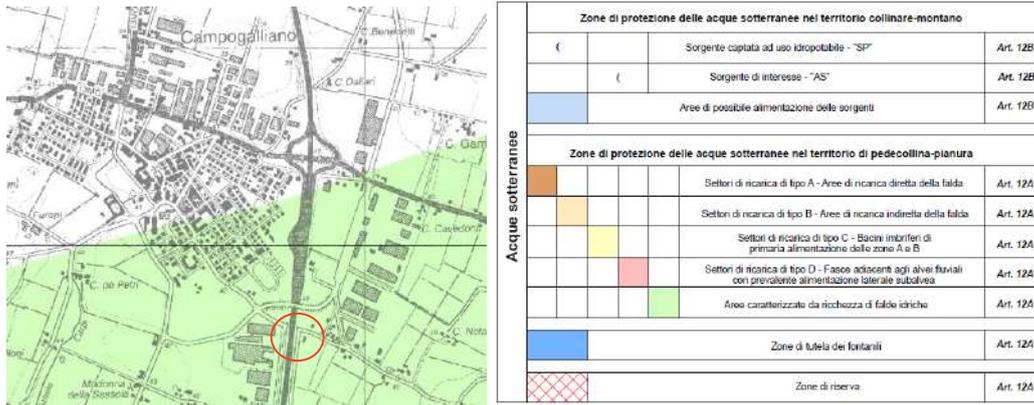


Figura 15. Estratto dalla tavola 3.2 "Rischio inquinamento acque: zone di protezione delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano".

Nella Carta di vulnerabilità ambientale 3.3 "Rischio inquinamento acque: zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e assimilate" il sito rientra in parte, in corrispondenza dell'ultimo tratto di Via Croce, nelle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola assimilate (art 13B).

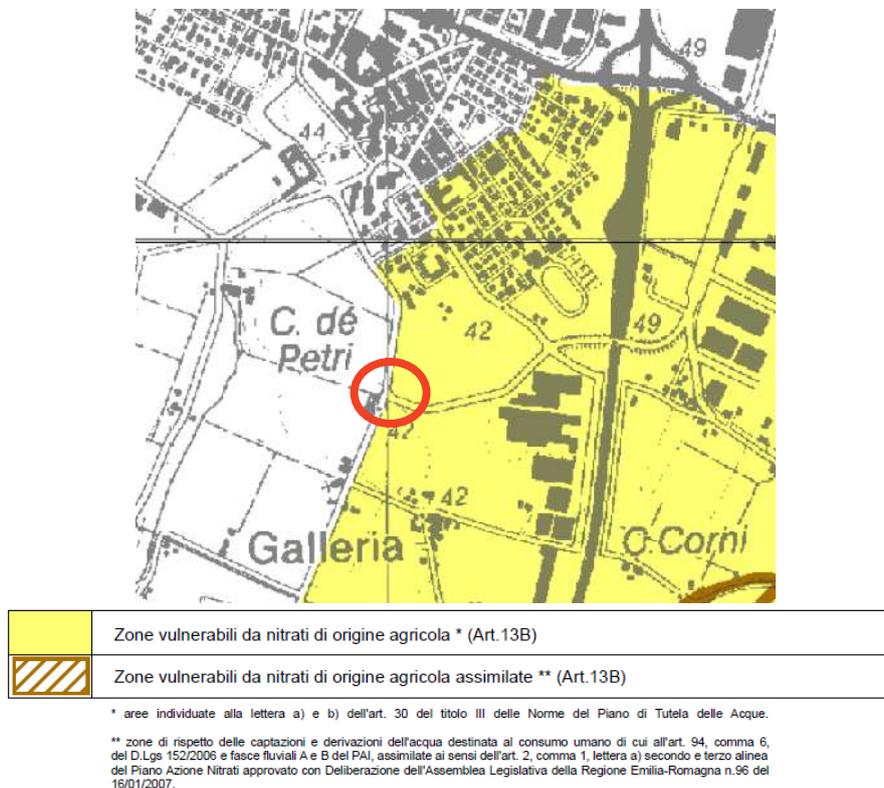


Figura 16. Estratto dalla tavola 3.3 "Rischio inquinamento acque: zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e assimilate".

**C. DATI GEOGNOSTICI**

**C.1 Dati geognostici bibliografici**

Per una completa analisi del sito in esame sono stati innanzitutto consultati i dati delle indagini bibliografiche reperite nell'intorno dell'area in esame. In particolare è stato consultato il database regionale (disponibile al sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>).

Nell'immagine seguente si riporta l'ubicazione delle indagini reperite, in un intorno significativo dell'area in esame, sul sito della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna e nella tabella che segue sono riassunte alcune informazioni generali delle indagini suddette.

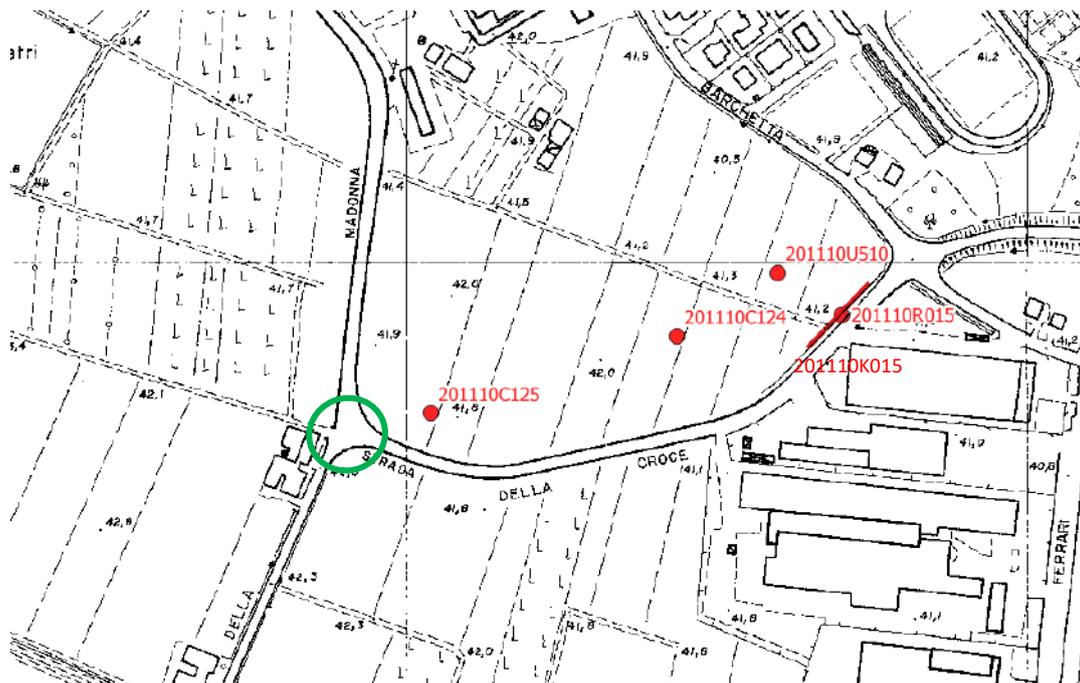


Figura 17. Ubicazione delle indagini bibliografiche reperite da database RER.  
 Nel cerchio verde è compresa l'area in esame.

Sigla	Quota p.c. (m)	Profondità raggiunta (m)	Data di esecuzione	Profondità tetto ghiaie (m da p.c.)	Profondità falda (m da p.c.)	Tipo di prova
201110C125	40.4	15.0	03/07/1990	>15 m	-	Prova CPT con punta meccanica
201110C124	40.4	15.0	03/07/1990	>15 m	-2.10	Prova CPT con punta meccanica
201110K015	41.0	>30	19/02/2013	-	-	Prova sismica Re.Mi.+MASW
201110R015	40.7	>30	19/02/2013	-	-	Misura di microtremore a stazione singola
201110U510	40.2	31.7	25/06/1999	- 30	-1.5	Prova CPT con piezocono

Tabella 3. Indagini bibliografiche reperite sul sito della cartografia geologica della Regione Emilia-Romagna.

Nei paragrafi seguenti vengono riassunti i risultati delle prove geognostiche bibliografiche reperite in un intorno significativo dell'area in esame e considerate maggiormente pertinenti per la ricostruzione del modello geologico-geotecnico e sismico dell'area in esame.

C.1.1 Prova sismica Re.Mi.+MASW (ID K015 da database RER) e prova sismica HVSR (ID R015 da database RER)

A E-NE dell'area oggetto di studio per la presente relazione è stata eseguita in data 19/02/2013 una prova sismica con metodo integrato attivo - passivo (Re.Mi./MASW) per la rilevazione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

I risultati ottenuti ed i relativi diagrammi di elaborazione sono riportati nelle immagini seguenti, riportanti lo spettro di potenza mediato, la curva di dispersione, sia sperimentale che calcolata, ed il relativo modello interpretativo.

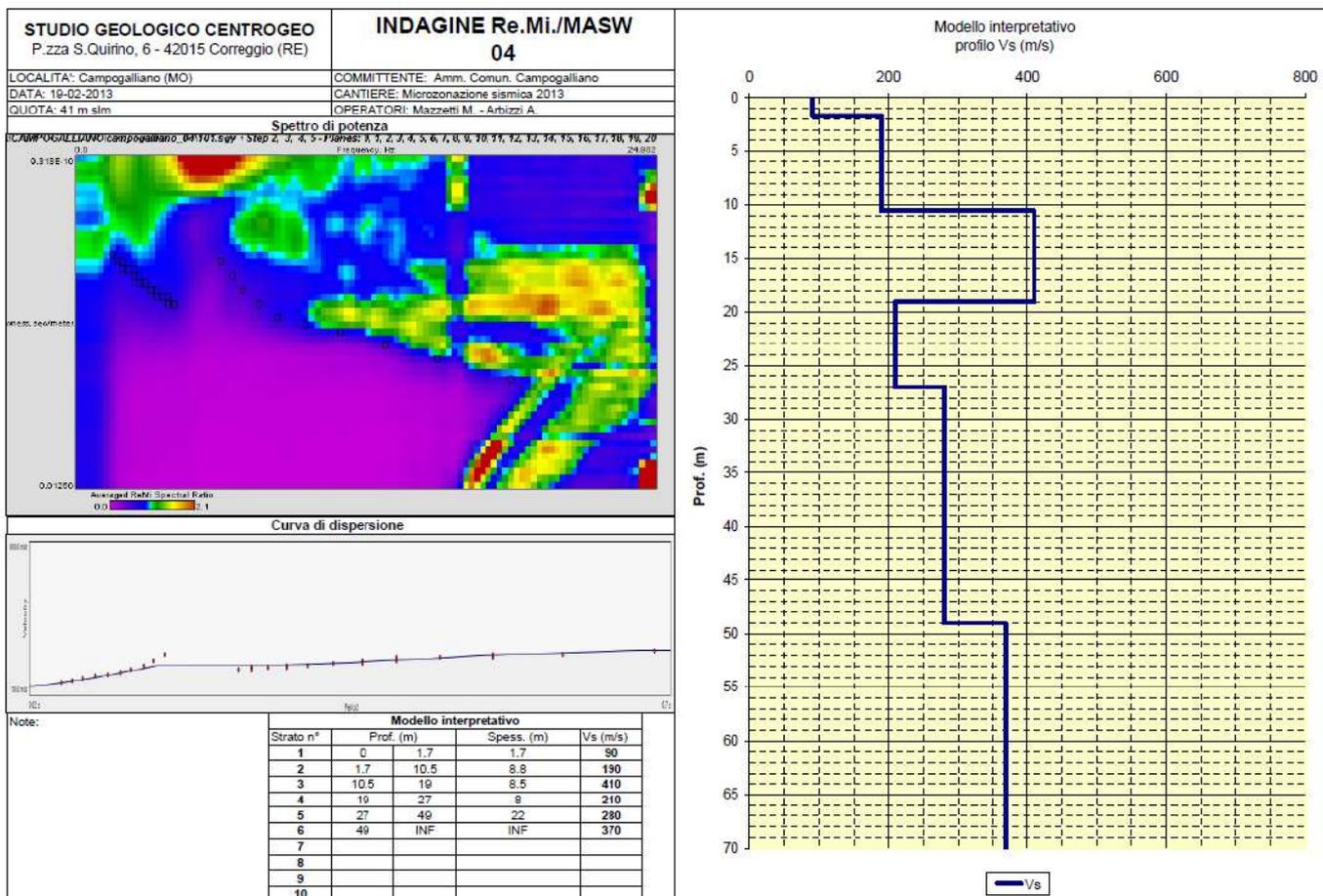


Figura 18. Indagine Re.Mi./Masw.

Si riporta nella tabella seguente la suddivisione in sismostrati del modello interpretativo.

Strato	Profondità (m da p.c.)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	0-1.7	1.7	90
2	1.7-10.5	8.8	190
3	10.5-19	8.5	410
4	19-27	8	210
5	27-49	22	280
6	>49	Inf.	370

Tabella 4. Modello interpretativo ottenuto dalla prova sismica Re.Mi.+MASW (ID K015).

L'indagine sismica Re.Mi.+MASW (eseguita a E-NE del sito in esame, sempre lungo Via Croce) ha permesso di ricavare una Vs<sub>30</sub> calcolata al piano campagna pari a **223 m/s**.

Si riporta di seguito la scheda relativa all'indagine di microtremore a stazione singola HVSR (201110R015 ed HV04 per la MZS) eseguita a metà dello stendimento sismico Re.Mi.+MASW sopra descritto.

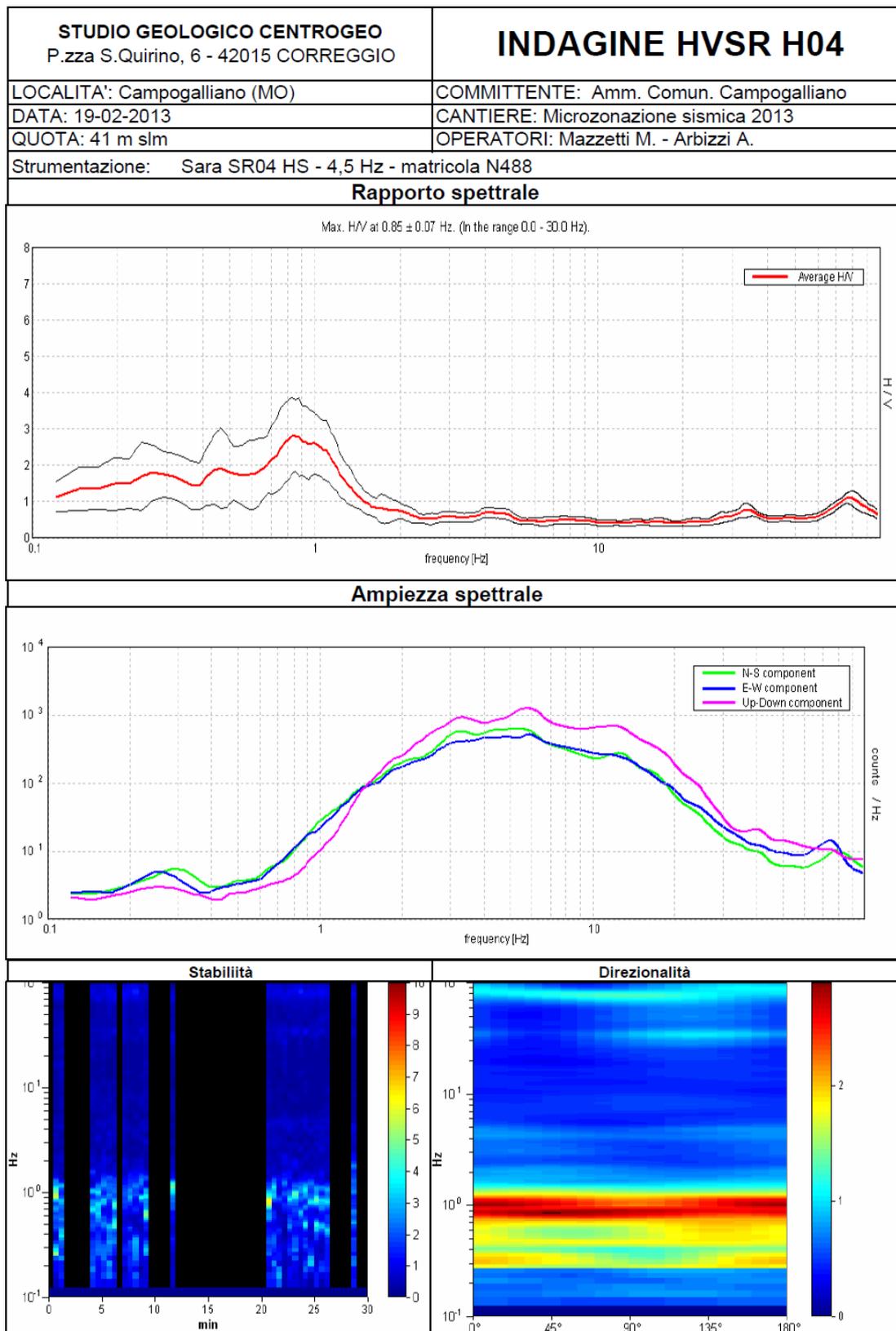


Figura 19. Scheda misura di rumore sismico HVSR04.

C.1.2 Prova penetrometrica statica (ID C125 da database RER)

Le prove penetrometriche statiche consistono nell'infiggere nel terreno la punta del penetrometro e misurare la resistenza che oppone il terreno alla penetrazione. Le prove penetrometriche permettono di ottenere la resistenza di punta ( $q_c$  o  $R_p$ ) e la resistenza laterale ( $q_s$  o  $R_l$ ). Tramite i valori di  $q_c$  e  $q_s$  è possibile ricavare informazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche meccaniche del terreno. I valori di resistenza alla punta  $q_c$  e di resistenza laterale  $q_s$  delle prove penetrometriche statiche nel caso in esame (prova bibliografica C125 da database RER) hanno permesso di eseguire una interpretazione litologica puntuale ogni 20 cm di spessore del terreno.

Per l'esecuzione della prova CPT C125 è stato utilizzato un penetrometro statico tipo Gouda.

Come riportato nel capitolo D, i dati di  $q_c$  e  $q_s$  reperiti e riguardanti la prova penetrometrica statica CPT125 (ID 201110C125 da database RER), ubicata poco distante dal sito in cui sorgerà la rotatoria stradale in progetto, sono stati elaborati per caratterizzare dal punto di vista geo-meccanico i livelli individuati nel sottosuolo.

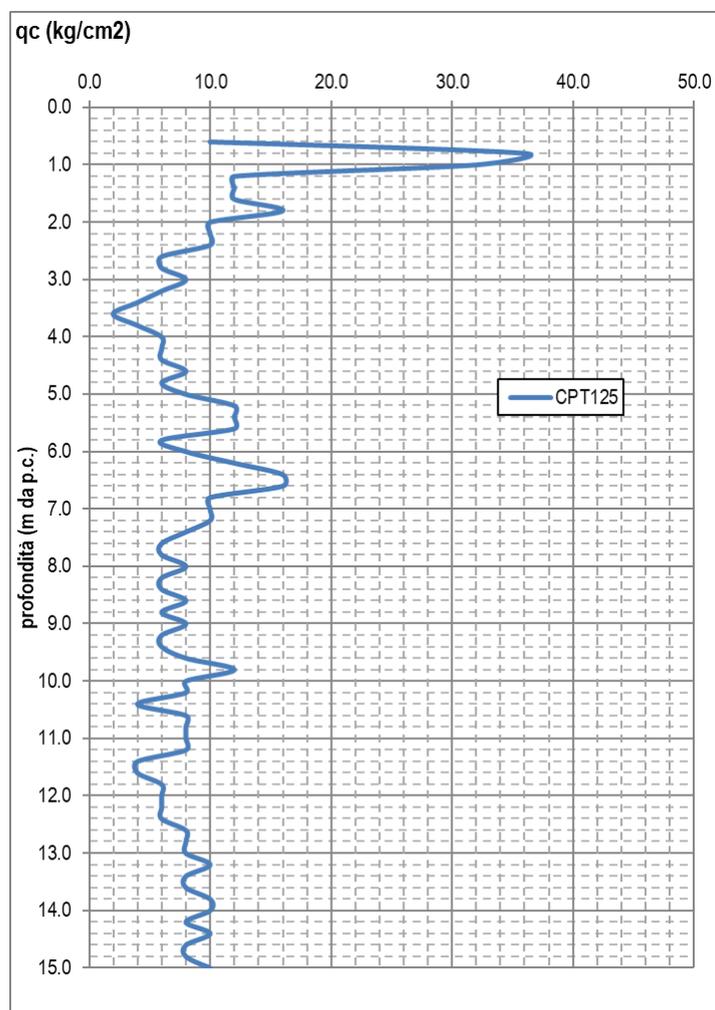
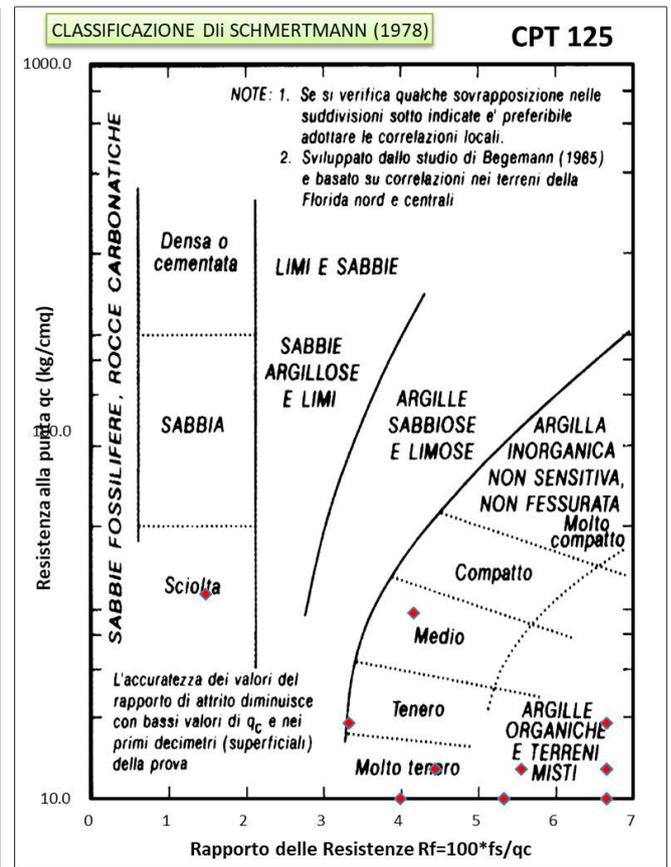
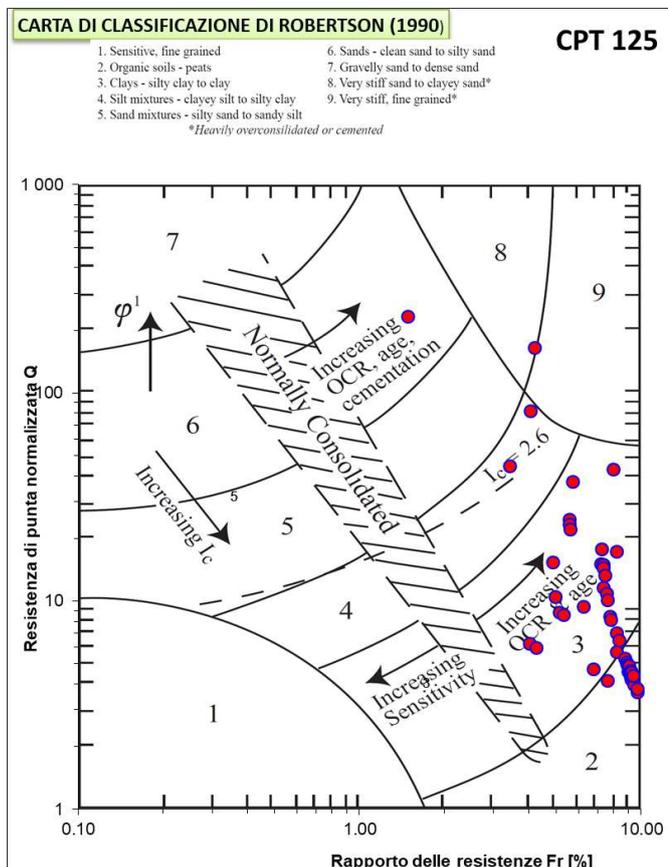
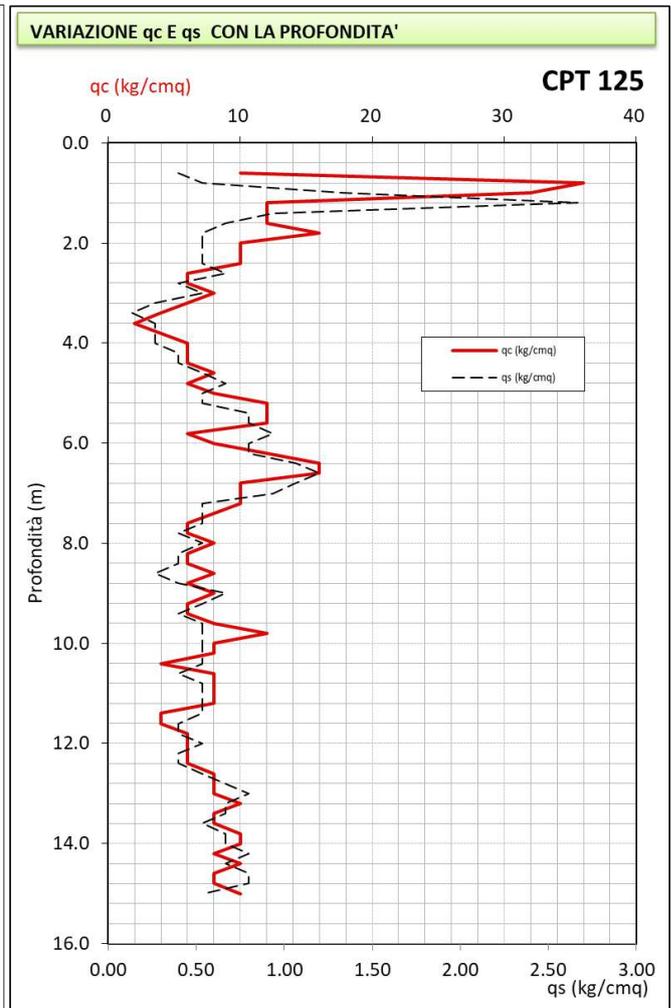
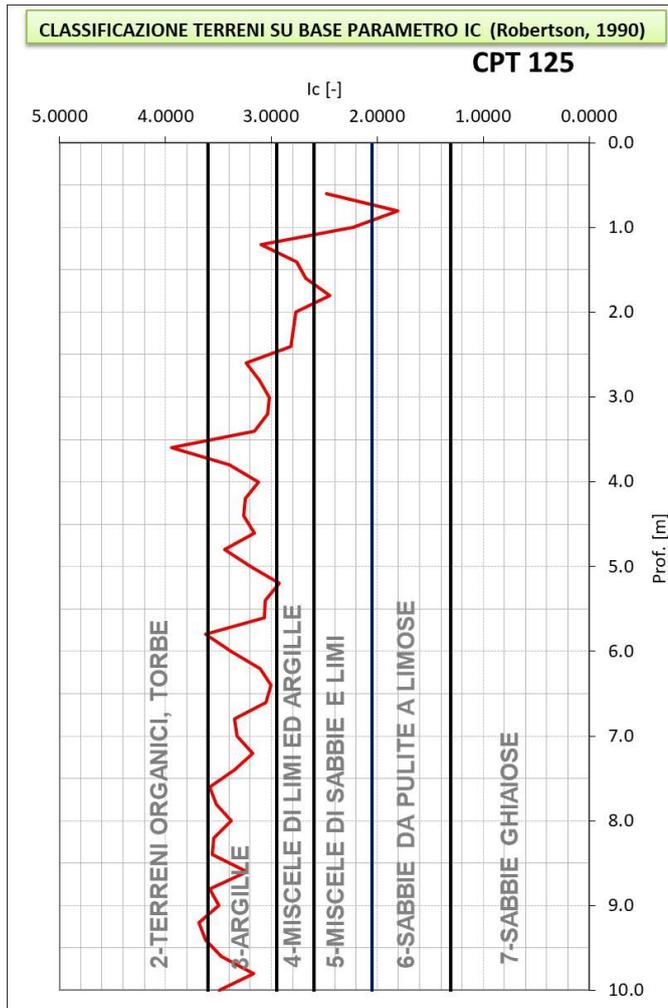


Figura 20. Variazione di resistenza alla punta ( $q_c$ ) in funzione della profondità.



## D. MODELLO GEOLOGICO E SCHEMA LITOLOGICO

Per ottenere informazioni relative alla situazione del sottosuolo in corrispondenza del sito in esame sono state reperite e consultate le indagini bibliografiche presenti nel database RER e nella documentazione di MZS di secondo livello del comune di Campogalliano.

Le prove reperite hanno permesso di definire il seguente schema litologico:

L1	AES8a	<b>Livello L1:</b> livello superficiale costituito da limo e argilla, sabbiosi. Il livello è stato riconosciuto sino alla profondità di 2.4 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=10-11.1 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L2	AES8a	<b>Livello L2:</b> livello costituito da limi ed argille prevalenti, riconosciuto da 2.4 m da p.c. sino alla profondità di 5.0 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=3.2-5.0 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L3	AES8a	<b>Livello L3:</b> livello costituito da limi ed argille prevalenti con valori di $q_c$ superiori al livello precedente, riconosciuto da 5.0 m da p.c. sino alla profondità di circa 7.4 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=7.0-9.8 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L4	AES8a	<b>Livello L4:</b> livello costituito da argille prevalenti riconosciuto da 7.4 m da p.c. sino alla profondità di circa 13.0 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=4.0-6.1 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L5	AES8a	<b>Livello L5:</b> questo livello è stato riconosciuto a partire da circa 13.0 m da p.c., anche questo livello in funzione dei valori di $q_c$ si ritiene costituito prevalentemente da argille/argille limose. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=8.0-8.5 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>

Per la caratterizzazione geotecnica dei livelli individuati in particolare è stata elaborata la prova geotecnica bibliografica reperita sul database della Regione Emilia-Romagna (al sito [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia)) ed ubicata poco distante dal sito in cui sorgerà la rotatoria stradale in progetto. La prova è la C125 (ID 201110C125 da database).

Profondità m dal p.c.	Sigla/Unità geologica	Comportamento prevalente	Litologia	Parametri	
0.00-2.40	L1	Coesivo	Argille e limi sabbiosi	Parametri totali $\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3$ $Cu_k= 46.8-53.1 \text{ kPa}$ $\Phi_u = 0^\circ$ $M_k= 3.4-3.8 \text{ MPa}$ $Eu_{50}= 1.9-2.1 \text{ MPa}$	Parametri efficaci $\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$ $\Phi'_k = 24.4-26.1^\circ$ $Es= 2.5-2.7 \text{ MPa}$
2.40-5.00	L2	Coesivo	Argille e limi	Parametri totali $\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$ $Cu_k= 12.1-20.8 \text{ kPa}$ $\Phi_u = 0^\circ$ $M_k= 1.7-2.5 \text{ MPa}$ $Eu_{50}= 0.5-0.8 \text{ MPa}$	Parametri efficaci $\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 0.0-5.0 \text{ kN/mq}$ $\Phi'_k = 17.8-19.9^\circ$ $Es= 0.8-1.2 \text{ MPa}$
5.00-7.20	L3	Coesivo	Argille e limi	Parametri totali $\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$ $Cu_k= 28.6-41.9 \text{ kPa}$ $\Phi_u = 0^\circ$ $M_k= 3.0-3.5 \text{ MPa}$ $Eu_{50}= 1.1-1.7 \text{ MPa}$	Parametri efficaci $\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$ $\Phi'_k = 21.1-22.6^\circ$ $Es= 1.7-2.4 \text{ MPa}$
7.20-13.00	L4	Coesivo	Argille e limi	Parametri totali $\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$ $Cu_k= 8.9-20.0 \text{ kPa}$ $\Phi_u = 0^\circ$ $M_k= 2.2-2.7 \text{ MPa}$ $Eu_{50}= 0.4-0.8 \text{ MPa}$	Parametri efficaci $\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 2.5-7.5 \text{ kN/mq}$ $\Phi'_k = 17.2-19.3^\circ$ $Es= 1.0-1.5 \text{ MPa}$
>13.00	L5	Coesivo	Argille e limi	Parametri totali $\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3$ $Cu_k= 24.9-27.7 \text{ kPa}$ $\Phi_u = 0^\circ$ $M_k= 2.7-2.9 \text{ MPa}$ $Eu_{50}= 1.0-1.1 \text{ MPa}$	Parametri efficaci $\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$ $\Phi'_k = 20.0-20.3^\circ$ $Es= 2.0-2.1 \text{ MPa}$

Dove:  $\gamma$  = peso di volume naturale;  $Cu$  = Resistenza al taglio in condizioni non drenate;  $M$  = Modulo Edometrico,  $\phi'$  = angolo di attrito efficace;  $c'$  = coesione efficace,  $Eu$  = modulo elastico non drenato,  $Es$  = modulo elastico drenato,  $Eu_{50}$  = modulo elastico non drenato calcolato al 50% della deformazione.

## D.1 Parametri meccanici

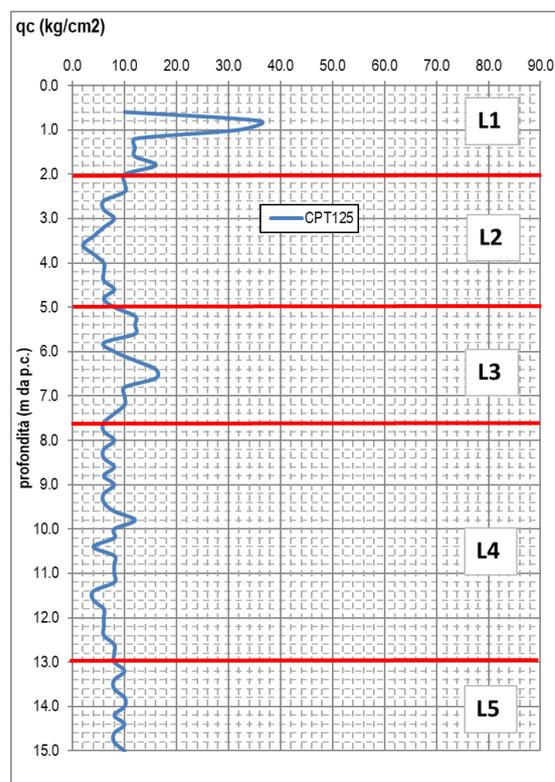
### D.1.1 Resistenza alla punta ( $q_c$ )

Il valore di resistenza alla punta del penetrometro statico ( $q_c$ ) è indicativo sulla litologia e sulla resistenza alla rottura del terreno attraversato. Di seguito si riporta un'elaborazione dei valori medi e statistici per i livelli attraversati dalla prova penetrometrica statica.

	L1	L2	L3	L4	L5
media	16.0	5.8	11.3	7.0	9.0
5° percentile	10.0	3.2	7.0	4.0	8.0
minimo	10.0	2.0	6.0	4.0	8.0
massimo	36.0	8.0	16.0	12.0	10.0
Dev stad	9.7	1.7	3.0	1.7	1.1
COV	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1
Bayesiano	11.1	5.0	9.8	6.1	8.5
16° percentile	10.0	4.0	9.2	6.0	8.0

Valori di  $q_c$  in kg/cm<sup>2</sup>

Come valori caratteristici per i livelli sono considerati il 5° percentile e il Bayesiano.



Variazione di  $q_c$  con la profondità

### D.1.2 Coesione non drenata ( $C_u$ )

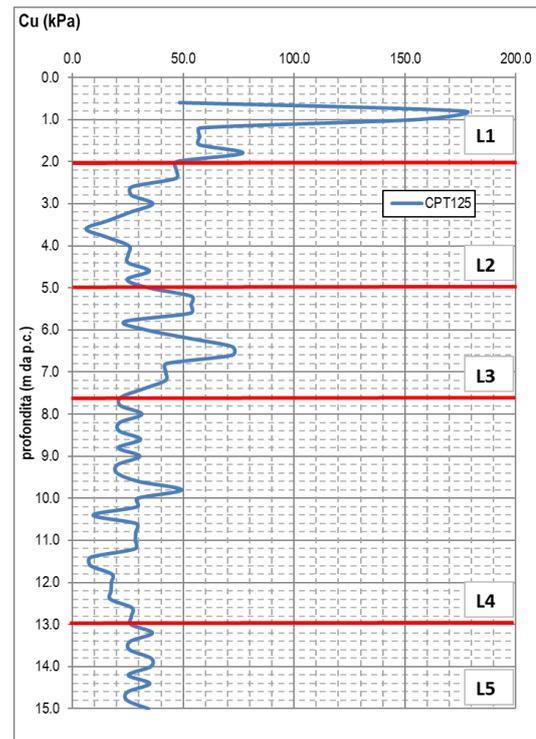
Per quanto riguarda i dati ottenuti dalle prove penetrometriche statiche per valutare la coesione non drenata ( $C_u$ ), tipica dei terreni coesivi, è stata utilizzata la relazione proposta da Schmertmann (1975)<sup>4</sup>, espressa in funzione della resistenza alla punta  $q_c$  (o  $R_p$ ) del penetrometro statico e della pressione geostatica  $\sigma_v$ ;  $C_u = R_p - \sigma_v / N_c$ ; dove  $N_c$  è una costante dipendente dal tipo di terreno in esame.

Di seguito si riporta un'elaborazione dei valori medi e statistici per i livelli attraversati dalla prova penetrometrica.

<sup>4</sup> Schmertmann, J. H. 1975. "Measurement of In-Situ Strength," Proceedings of the Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties, American Society of Civil Engineers, pp 55-138.

	L1	L2	L3	L4	L5
media	77.0	25.0	49.2	24.2	30.4
5° percentile	46.8	12.1	28.6	8.9	24.9
minimo	46.7	6.3	23.8	8.3	24.8
massimo	175.8	36.3	72.2	49.3	36.1
Dev stad	47.9	8.3	14.7	8.4	5.2
COV	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2
Bayesiano	53.1	20.8	41.9	20.0	27.7
16° percentile	47.0	16.3	38.6	17.6	25.1

Valori di Cu (kPa)



Variazione di Cu con la profondità

Si è scelto di adottare come valore caratteristico il range tra il 5° percentile ed il Bayesiano.

#### D.1.3 Modulo Edometrico (M)

Per quanto riguarda i dati ottenuti dalle prove penetrometriche statiche per la valutazione del modulo edometrico (M) è stata impiegata la correlazione proposta da Mitchell & Gardner (1975)<sup>5</sup>:

$$M = \alpha qc \quad \text{Mitchell \& Gardner (1975)}$$

dove  $\alpha$  è una costante dipendente dalle caratteristiche del terreno esaminato.

Nella tabella seguente si riportano i valori ottenuti per i livelli individuati.

	L1	L2	L3	L4	L5
media	4.8	2.8	4.0	2.9	3.1
5° percentile	3.4	1.7	3.0	2.2	2.7
minimo	3.4	1.1	2.7	2.2	2.7
massimo	8.8	3.2	5.5	4.1	3.4
Dev stad	2.0	0.7	0.9	0.4	0.4
COV	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
Bayesiano	3.8	2.5	3.5	2.7	2.9
16° percentile	3.4	2.2	3.4	2.7	2.7

Valori di M (MPa)

Si è scelto di adottare come valore caratteristico il range tra il 5° percentile ed il Bayesiano.

<sup>5</sup> Mitchell J.K. & Gardner W.S. (1975) "In situ measurement of volume change characteristics" Proceeding of the ASCE specialty conference In situ, Volume II, Raleigh, NC, ASCE, pp 279-345.

D.1.4 Resistenza al taglio e densità relativa

I valori caratteristici della resistenza al taglio drenata ( $\tau$ ) sono rappresentati dalla coesione drenata  $c'$  e dall'angolo di attrito  $\phi'$ . Questo ultimo parametro è stato determinato dalle prove penetrometriche statiche in cui partendo dai valori  $q_c$ , si ricava o in modo diretto (equazioni che correlano  $q_c$  con  $\phi$ ) o in modo indiretto (es. equazioni che correlano parametri tipo  $D_r$  con  $\phi$  – i parametri tipo  $D_r$  sono ricavati da  $q_c$ ). Le relazioni dirette utilizzate sono le seguenti:

$$\Phi = 9.8 + 4.96 \cdot \ln(q_c / \sigma'_v)$$

$$\Phi = 14.4 + 4.8 \cdot \ln q_c - 4.5 \cdot \ln \sigma'_v$$

$$\Phi = 5.8 + 5.21 \cdot \ln(q_c / \sigma'_v)$$

$$\Phi = 17.6 + 11 \cdot \log(Q_{c1n})$$

Caquot

Durgunoglu-Mitchell (1975)<sup>6</sup>

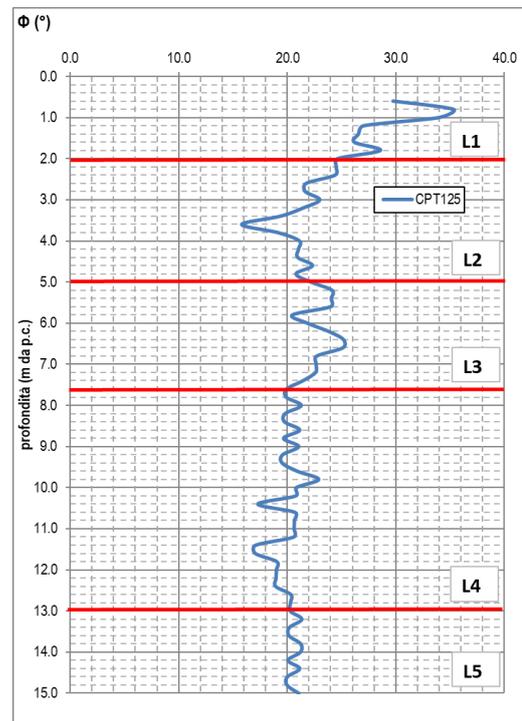
Koppejan et al. (1948)<sup>7</sup>

Kulhawy & Mayne (1990)<sup>8</sup>

Nella tabella seguente si riportano i valori ottenuti per i livelli individuati.

	L1	L2	L3	L4	L5
media	28.1	20.8	23.3	20.0	20.6
5° percentile	24.4	17.8	21.1	17.2	20.0
minimo	24.4	15.8	20.5	17.0	20.0
massimo	35.3	23.0	25.2	22.9	21.3
Dev stad	3.9	1.8	1.4	1.3	0.6
COV	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Bayesiano	26.1	19.9	22.6	19.3	20.3
16° percentile	24.5	19.3	22.3	19.0	20.0

Valori di  $\Phi$  (°)



Variazione di  $\Phi$  con la profondità

Si è scelto di adottare come valore caratteristico il range tra il 5° percentile ed il Bayesiano.

Per quanto riguarda la coesione drenata per i livelli individuati si stimano valori compresi tra 0-10 kPa.

<sup>6</sup> Durgunoglu, H. T., and Mitchell, J. K. (1975). "Static Penetration Resistance of Soils, Evaluation of Theory and Implication for Practice." Proceedings of the In-situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, NC, American Society of Civil Engineers, New York, NY.

<sup>7</sup> Koppejan, A.W., van Wamelen, B.M., Weinberg, L.J.H. (1948): "Coastal flow slides in the Dutch province of Zeeland." In Proceeding of the 1st Int. Conf. Of Int. Soc. of Soil Mechanics and Foundation Engineer, Rotterdam, Vol.4.

<sup>8</sup> Kulhawy, FH & Mayne, PW (1990). "Manual on estimating soil properties for foundation design", Rpt. EL-6800, Electric Power Research Inst., Palo Alto, 306 p"

D.1.5 Modulo di Young [modulo di elasticità] (E)

Per determinare i valori del modulo elastico nei livelli attraversati dalla prova penetrometrica statica sono state inoltre utilizzate le correlazioni indicate di seguito.

I valori caratteristici del modulo elastico non drenato ( $E_u$ ) sono stati calcolati al 50% della deformazione in funzione della resistenza al taglio non drenata ( $C_u$ ) attraverso la relazione proposta da Poulos (1971)<sup>9</sup>:

$$E_{50} \text{ (MPa)} = 40 * C_u$$

$E_{u50}$ (MPa)	L1	L2	L3	L4	L5
media	3.1	1.0	2.0	1.0	1.2
5° percentile	1.9	0.5	1.1	0.4	1.0
minimo	1.9	0.3	1.0	0.3	1.0
massimo	7.0	1.5	2.9	2.0	1.4
Dev stad	1.9	0.3	0.6	0.3	0.2
COV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bayesiano	2.1	0.8	1.7	0.8	1.1
16° percentile	1.9	0.7	1.5	0.7	1.0

Valori di  $E_{u50}$  (MPa)

I valori caratteristici del modulo elastico drenato ( $E_s$ ) sono stati calcolati in funzione della resistenza alla punta  $q_c$  o  $R_p$  attraverso la relazione proposta da Schmertmann:  $E_s \text{ (MPa)} = 2.5 * q_c$

$E_s$ (MPa)	L1	L2	L3	L4	L5
media	3.9	1.4	2.8	1.7	2.2
5° percentile	2.5	0.8	1.7	1.0	2.0
minimo	2.5	0.5	1.5	1.0	2.0
massimo	8.8	2.0	3.9	2.9	2.5
Dev stad	2.4	0.4	0.7	0.4	0.3
COV	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Bayesiano	2.7	1.2	2.4	1.5	2.1
16° percentile	2.5	1.0	2.3	1.5	2.0

Valori di  $E_s$  (MPa)

<sup>9</sup> Poulos, H. G. (1971) "Behavior of laterally loaded piles. I: single piles," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 97(5), pp 711-731.

## E. MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA "PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE" DEL SITO DI COSTRUZIONE

### E.1 Sismicità

#### E.1.1 Zonazione sismica e pericolosità

L'area in esame, nella zonazione sismogenetica pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 2004<sup>10</sup>), ricade all'interno della zona sismogenetica 912. La zona sismogenetica 912, denominata "Dorsale Ferrarese", rappresenta la fascia più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, con la presenza di alcune importanti linee sismotettoniche ed all'interno della quale, al di sotto di spesse coltri di sedimenti alluvionali, sono presenti imponenti strutture compressive.

Nel "Database of individual seismogenetic sources - DISS"<sup>11</sup> disponibile al sito [www.ingv.it](http://www.ingv.it) l'area in esame ricade esternamente alle sorgenti sismogenetiche individuate, in particolare si colloca a sud-est della sorgente sismogenetica denominata **ITCS049** Campegine-Correggio per la quale sono riportate le informazioni sintetizzate nella tabella a lato.

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS049		
Name	Campegine-Correggio		
Compiler(s)	Burrato P(1)		
Contributor(s)	Burrato P(1), D'Ambrogi C(2), Maesano FE(1), Toscani G(3)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Servizio Geologico d'Italia, Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy		
Created	17-Oct-2013		
Updated	29-May-2015		
Display map ...			
Related sources			
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	3.0	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Max depth [km]	10.0	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Strike [deg] min... max	70...110	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Dip [deg] min... max	30...50	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.04...0.16	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=Lithologic Data, OD=Original Data, ER=Emirical Relationship, MR=Statistical Relationship, EJ=Empirical Judgment

Nel "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (Gruppo di lavoro CPTI15 versione 2.0, 2019<sup>12</sup>) per un intorno significativo dell'area in esame (un rettangolo di 30 Km di lato con centro nell'area in esame) sono stati identificati 86 eventi significativi, dei quali si riportano alcuni dati nella tabella successiva.

N	Sect	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	MainRef	TLDef	LatDef	LonDef	DepDef	IoDef	TloDef	MwDef	ErMwDef	TMwDef
40	MA	1249	09					Modena	CFTI4med	MM	44.647	10.926		6-7	bx	4.86	0.46	Mdm
52	MA	1280	01	25				Pianura emiliana	BOSGU003	MM	44.814	10.683		5-6	bx	4.40	0.46	Mdm
88	MA	1346	02	08				Modena	CFTI4med	MM	44.647	10.926		5	bx	4.16	0.46	Mdm
127	MA	1399	07	20	23			Appennino modenese	CFTI4med	MM	44.441	10.925		7	bx	5.10	0.46	Mdm
183	MA	1465	04	07	15	30		Pianura emiliana	CFTI4med	MM	44.698	10.631		5-6	bx	4.40	0.46	Mdm
201	MA	1474	03	11	20	30		Modena	ENEL985	MM	44.647	10.926		5	bx	4.16	0.46	Mdm
209	MA	1481	02	07	22	45		Pianura emiliana	CFTI4med	MM	44.724	10.628		5	bx	4.16	0.46	Mdm
216	MA	1485						Reggio nell'Emilia	CFTI4med	MM	44.698	10.631		5	bx	4.16	0.46	Mdm
239	MA	1501	06	05	10			Modenese	CFTI4med	MM	44.519	10.844		9	bx	6.05	0.19	Mdm
327	MA	1547	02	10	13	20		Reggiano	CFTI4med	MM	44.698	10.631		7	bx	5.10	0.46	Mdm
328	MA	1547	03	24				Reggiano	CFTI4med	MM	44.698	10.631		5-6	bx	4.40	0.46	Mdm
383	MA	1591	05	24				Reggio nell'Emilia	ENEL985	MM	44.698	10.631		6	bx	4.63	0.46	Mdm
400	MA	1600	10	28				Reggio nell'Emilia	CAMAL011b	MM	44.698	10.631		7-8	bx	5.33	0.46	Mdm
406	MA	1607	12	31				Reggio nell'Emilia	CFTI4med	MM	44.698	10.631		5	bx	4.16	0.46	Mdm
407	MA	1608	01	06	22	20		Reggio nell'Emilia	CFTI4med	MM	44.698	10.631		5-6	bx	4.40	0.46	Mdm
491	MA	1661	03	21	23			Modenese	CFTI4med	MM	44.734	10.863		6-7	bx	4.86	0.46	Mdm
505	MA	1671	06	20	10			Modenese-Reggiano	CFTI4med	MM	44.674	10.866		7	bx	5.27	0.58	Mdm
837	MA	1775	01	04	18			Appennino emiliano	CAMAL011b	MM	44.647	10.926		4	bx	4.43	0.47	Mdm
971	MA	1799	02	22	05	45		Correggio	CFTI4med	MM	44.771	10.779		5	bx	4.16	0.46	Mdm
997	MA	1806	02	12				Reggiano	ENEL985	MM	44.862	10.671		7	bx	5.21	0.26	Mdm
1017	MA	1810	12	25	00	45		Pianura emiliana	ENEL985	MM	44.900	10.719		6	bx	5.06	0.20	Mdm
1020	MA	1811	07	15	22	44		Modenese-Reggiano	ENEL985	MM	44.572	10.728		6-7	bx	5.13	0.34	Mdm
1107	MA	1832	03	11	06	45		Carpi	CFTI4med	MM	44.778	10.832		5	bx	4.51	0.33	Mdm
1289	MA	1860	07	17	13	43	31.00	Reggiano	CFTI4med	MM	44.743	10.793		4-5	bx	3.93	0.46	Mdm
1335	MA	1869	12	13	02	53		Sassuolo	MOLAL008	MM	44.629	10.779		5	bx	4.57	0.39	Mdm

<sup>10</sup> Gruppo di Lavoro (2004): Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma.

<sup>11</sup> Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics

<sup>12</sup> Rovida A., Locati M., Camassi R., Lollì, B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>

1358	MA	1873	05	16	19	35		Reggiano	ENEL985	MM	44.612	10.701			6-7	bx	5.01	0.45	Mdm
1652	MA	1895	05	12	20	29		Reggiano	CFTI4med	MM	44.745	10.605			4-5	bx	3.98	0.38	Mdm
1784	MA	1901	01	20	06	30		Bassa modenese	CFTI4med	MM	44.908	11.093			4	bx	3.68	0.37	Mdm
1785	MA	1901	01	20	06	34	20.00	Bassa modenese	CFTI4med	MM	44.892	11.087			5	bx	4.11	0.37	Mdm
1844	MA	1904	02	25	18	47	50.00	Reggiano	CFTI4med	MM	44.490	10.640			6	bx	4.81	0.18	Mdm
2066	MA	1912	09	12	21	15		Carpi	CFTI4med	MM	44.784	10.885			4	bx	3.76	0.52	Mdm
2218	MA	1918	05	06	08	05		Reggiano	CFTI4med	MM	44.691	10.630			5-6	bx	4.41	0.56	Mdm
2295	MA	1923	06	28	15	12		Modenese	AMGNDT995	MM	44.595	10.799			6	bx	5.04	0.12	Wmim
2379	MA	1928	06	13	08			Carpi	ENEL985	MM	44.797	10.872			6	bx	4.67	0.23	Mdm
2381	MA	1928	07	25	01	25		Carpi	CFTI4med	MM	44.783	10.872			4-5	bx	3.93	0.46	Mdm
2397	MA	1929	04	22	08	26		Bolognese	CAMMO994	MM	44.482	11.111			6-7	bx	5.10	0.11	Wmim
2400	MA	1929	04	29	18	36		Bolognese	CAMMO994	MM	44.489	11.110			6	bx	5.20	0.11	Wmim
2403	MA	1929	05	11	19	23		Bolognese	CAMMO994	MM	44.479	11.112			6-7	bx	5.29	0.10	Wmim
2425	MA	1930	09	24	19	10	55.00	Reggiano	ISS	II	44.600	10.600							
2431	MA	1930	10	26	07	31		Modenese	CAMMO994	MM	44.434	10.861			4	bx	4.12	0.33	Mdm
2445	MA	1931	06	10	17	02		Modenese	CAMMO994	MM	44.541	11.022			4	bx	4.59	0.12	Wmim
2463	MA	1932	04	19	00	17		Modenese	CAMMO994	MM	44.594	10.854			4	bx	3.63	0.44	Mdm
2465	MA	1932	07	13	03	42		Reggiano	CFTI4med	MM	44.774	10.809			4-5	bx	3.86	0.46	Mdm
2494	MA	1934	09	18	09	37		Vignola	CAMMO994	MM	44.495	11.012			4	bx	3.95	0.44	Mdm
2674	MA	1950	05	06	03	43		Reggiano	AMGNDT995	MI	44.731	10.671			4	bx	4.41	0.20	Wmim
2690	MA	1951	10	29	22	48		Valle del Panaro	AMGNDT995	MI	44.458	10.989			4	bx	4.40	0.20	Wmim
2708	MA	1953	08	22	05	26		Reggiano	CFTI4med	MM	44.787	10.795			6	bx	4.73	0.65	Mdm
2877	MA	1963	11	04	15	46		Bassa modenese	CFTI4med	MM	44.681	10.873			5	bx	4.16	0.46	Mdm
2919	MA	1967	04	03	16	36	18.00	Reggiano	MOLAL008	MI	44.730	10.602			5	bx	4.44	0.18	Wmim
3039	MA	1971	09	11	23	18	12.00	Pianura emiliana	CFTI4med	MI	44.764	10.862			5	bx	4.19	0.33	Mdm
3207	MA	1978	12	25	22	53	41.00	Bassa modenese	CFTI4med	MM	44.845	10.990			5	bx	4.39	0.39	Mdm
3519	MA	1987	04	24	02	30	27.04	Reggiano	CSTI1.1	IM	44.812	10.691	0.1		6	bx	4.64	0.12	Wmim
3520	MA	1987	05	02	20	43	53.32	Reggiano	CSTI1.1	IM	44.810	10.694	0.1		6	bx	4.71	0.10	InsO
3553	MA	1988	03	15	12	03	16.17	Reggiano	CSTI1.1	IM	44.838	10.724	0.1		6	bx	4.57	0.09	Wmim
3682	MA	1992	04	17	11	59	07.29	Appennino bolognese	CSTI1.1	IM	44.432	11.011	0.1		4-5	bx	4.11	0.12	Wmim
3815	MA	1996	10	15	09	55	59.95	Pianura emiliana	CSTI1.1	IM	44.798	10.678	1.3		7	bx	5.38	0.10	InsO
3816	MA	1996	10	15	10	19	44.10	Pianura emiliana	CSTI1.1	II	44.815	10.691	0.1				4.10	0.12	InsC
3817	MA	1996	10	15	12	18	24.22	Pianura emiliana	CSTI1.1	II	44.803	10.677	0.5				4.38	0.10	InsO
3818	MA	1996	10	16	00	24	29.10	Pianura emiliana	CSTI1.1	II	44.826	10.700	0.1				4.16	0.12	InsC
3820	MA	1996	10	26	04	56	54.10	Pianura emiliana	CSTI1.1	IM	44.853	10.699			5-6	bx	3.94	0.10	Wmim
3821	MA	1996	10	26	06	50	26.94	Pianura emiliana	CSTI1.1	IM	44.776	10.880			5-6	bx	3.63	0.13	Wmim
3825	MA	1996	11	25	19	47	53.85	Pianura emiliana	CSTI1.1	IM	44.787	10.715	10.0		5-6	bx	4.29	0.18	Mdm
3828	MA	1996	12	16	09	09	53.08	Pianura emiliana	CSTI1.1	IM	44.814	10.693			5-6	bx	4.06	0.10	Wmim
3833	MA	1997	04	16	06	45	50.66	Appennino reggiano	CSI1.1	II	44.501	10.716	15.1				4.06	0.19	InsC
3836	MA	1997	05	12	22	13	52.50	Pianura emiliana	CSI1.1	IM	44.781	10.630	7.2		4-5	bx	3.68	0.13	Wmim
3931	MA	1998	02	21	02	21	13.30	Pianura emiliana	CSI1.1	IM	44.777	10.723	19.8		5	bx	3.93	0.10	Wmim
4032	MA	2000	06	18	07	42	07.68	Pianura emiliana	CSI1.1	IM	44.785	10.746	25.6		5-6	bx	4.40	0.07	InsO
4033	MA	2000	06	18	08	14	23.95	Pianura emiliana	CSI1.1	II	44.693	10.633	12.1				4.88	0.30	InsC
4484	MA	2012	05	20	02	20	56.52	Pianura emiliana	BSINGV	II	44.851	10.948	5.0				4.14	0.14	InsC
4501	MA	2012	05	29	07	00	02.88	Pianura emiliana	ISIDE	IM	44.841	11.065	8.1		7-8	bx	5.90	0.07	InsO
4502	MA	2012	05	29	07	07	20.91	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.846	10.990	3.5				4.10	0.19	InsC
4503	MA	2012	05	29	08	25	51.48	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.864	10.947	7.9				4.65	0.07	InsO
4504	MA	2012	05	29	08	27	22.65	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.883	11.041	6.0				4.64	0.13	InsC
4505	MA	2012	05	29	08	40	57.44	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.869	10.966	4.1				4.27	0.13	InsO
4506	MA	2012	05	29	08	41	42.33	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.877	10.946	6.5				4.21	0.19	InsC
4507	MA	2012	05	29	09	29	37.09	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.883	11.002	6.4				4.21	0.19	InsC
4508	MA	2012	05	29	10	03	25.76	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.857	11.100	2.5				4.10	0.19	InsC
4509	MA	2012	05	29	10	55	56.55	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.865	10.979	4.4				5.50	0.07	InsO
4510	MA	2012	05	29	11	00	01.68	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.855	10.941	8.7				4.95	0.13	InsC
4511	MA	2012	05	29	11	00	22.99	Pianura emiliana	BSINGV	II	44.866	10.976	7.2				4.88	0.07	InsO
4512	MA	2012	05	29	11	07	04.63	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.893	11.033	8.0				4.18	0.14	InsC
4513	MA	2012	05	29	14	39	40.28	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.890	11.027	8.0				4.03	0.13	InsC
4514	MA	2012	05	30	06	00	33.43	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.900	10.934	3.8				4.05	0.12	InsC
4515	MA	2012	05	31	19	04	04.00	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.881	10.984	6.8				4.04	0.13	InsO
4516	MA	2012	06	03	19	20	43.39	Pianura emiliana	ISIDE	II	44.886	10.950	8.7				4.90	0.07	InsO
4519	MA	2012	06	12	01	48	36.14	Modenese	ISIDE	II	44.890	10.921	8.3				4.16	0.07	InsO

Field	Description	TLDef	Type of default location:
N	Record number (in chronological order)		- MI = macroseismic (alternative to instrumental)
Sect	Catalogue section, related to a specific seismological context MA = main NV = Phlegraean volcanic area EV = Etna volcanic area CA = Calabrian arc (subduction)		- IM = instrumental (alternative to macroseismic) - II = instrumental (only choice) - MM = macroseismic (only choice) - PC = from parametric catalogue - NP = location not defined
Year	Origin time: year	LatDef	Default epicentral latitude (WGS84)
Mo	Origin time: month	LonDef	Default epicentral longitude (WGS84)
Da	Origin time: day	DepDef	Default depth in km (instrumental; only when TLDef = II or IM)
Ho	Origin time: hour	IoDef	Default epicentral intensity
Mi	Origin time: minutes	TIoDef	Source of the default epicentral intensity: - bx = from macroseismic data, determined using Boxer - pc = from parametric catalogue - dm = from macroseismic data according to the referenced study (RefM)
Se	Origin time: seconds		
EpicentralArea	Epicentral area or area of the largest macroseismic effects	MwDef	Default moment magnitude
MainRef	Main bibliographical reference: - equal to RefM when TLDef = MM, MI, ND - equal to RefIns when TLDef = II or IM - code of the reference parametric catalogue when TLDef = PC	ErMwDef	Error associated to the default moment magnitude
		TMwDef	Default moment magnitude determination code: - InsO = instrumental, recorded - InsC = instrumental, converted from other magnitude scales - Mdm = macroseismic, from intensity data - Mlo = macroseismic, converted from epicentral intensity - Mpc = from the source parametric catalogue - Wmim = mean of MwIns and MwM, weighted with the inverse of the related variances

Tabella 5. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani.

E.1.2 *Classificazione sismica*

Nell' "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" (DGR n.1164/2018) il comune di **Campogalliano** viene classificato in **zona 3**. Nella figura seguente viene riportata la classificazione sismica a scala regionale.

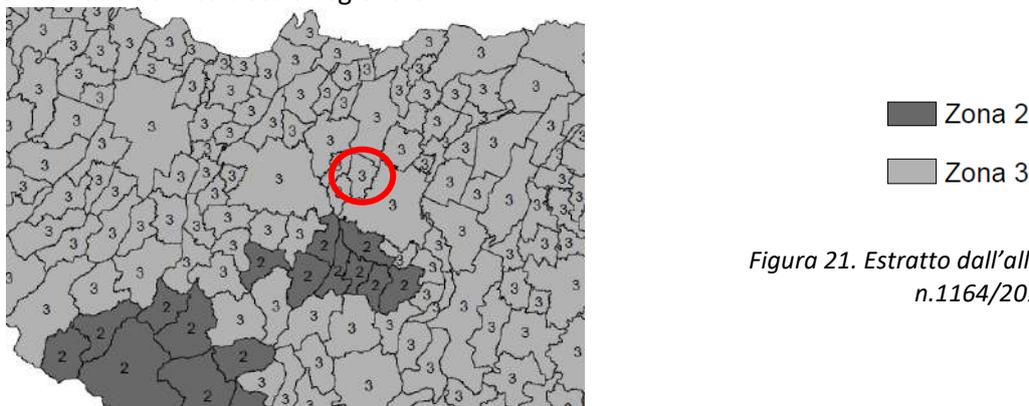


Figura 21. Estratto dall'allegato B della DGR n.1164/2018.

Nel D.M 17 gennaio 2018. "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" per il calcolo della pericolosità si fa riferimento agli allegati delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (G.U. n°29 del 04/02/08) in cui in particolare è fornita la pericolosità sismica su reticolo di riferimento per diversi intervalli di riferimento (sito <http://esse1.mi.ingv.it/>). Poiché l'area in esame non ricade precisamente su uno di tali punti, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento attraverso la seguente espressione:

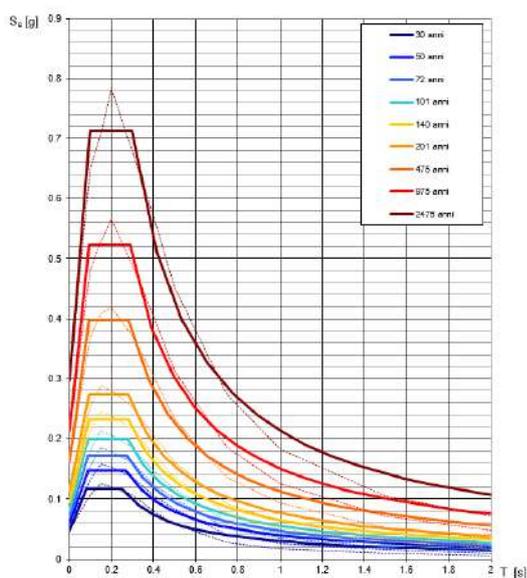
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame; pi è il valore del parametro di interesse nell'iesimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame; d è la distanza del punto in esame dall'iesimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c'$  per diversi periodi di ritorno TR ottenuti con il programma "Spettri-NTC ver 1.3" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>.



$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c'$ [s]
30	0.047	2.475	0.252
50	0.059	2.503	0.268
72	0.069	2.476	0.274
101	0.080	2.484	0.276
140	0.095	2.438	0.279
201	0.113	2.417	0.280
475	0.162	2.454	0.282
975	0.213	2.449	0.288
2475	0.296	2.405	0.299



I dati di disaggregazione riportati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i vertici identificati riferiscono valori di magnitudo (M) per a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni media comprese tra 4-6 e distanze (D) comprese tra 0-30 km.

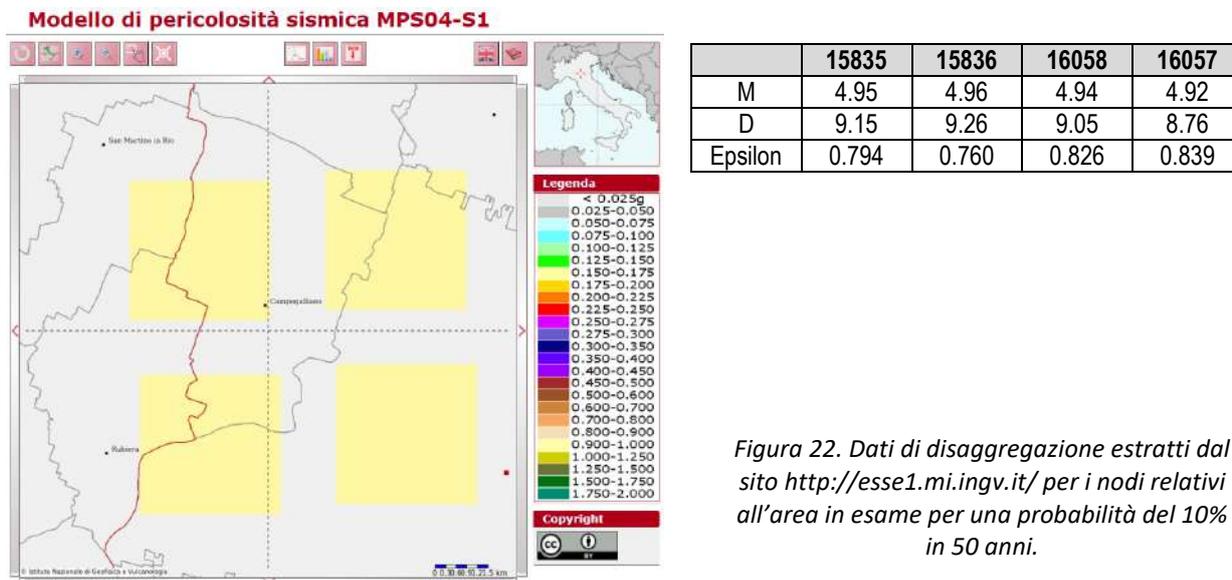


Figura 22. Dati di disaggregazione estratti dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i nodi relativi all'area in esame per una probabilità del 10% in 50 anni.

## E.2 Elementi di microzonazione sismica

### E.2.1 Rischio sismico da PTCP di Modena

Il PTCP della Provincia di Modena riporta una serie di cartografie di analisi; in particolare nella tavola 2.2 "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali" si evidenzia come il sito in esame sia compreso all'interno di un'area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti per la quale, come studi, viene indicata la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; in termini di Microzonazione sismica 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.

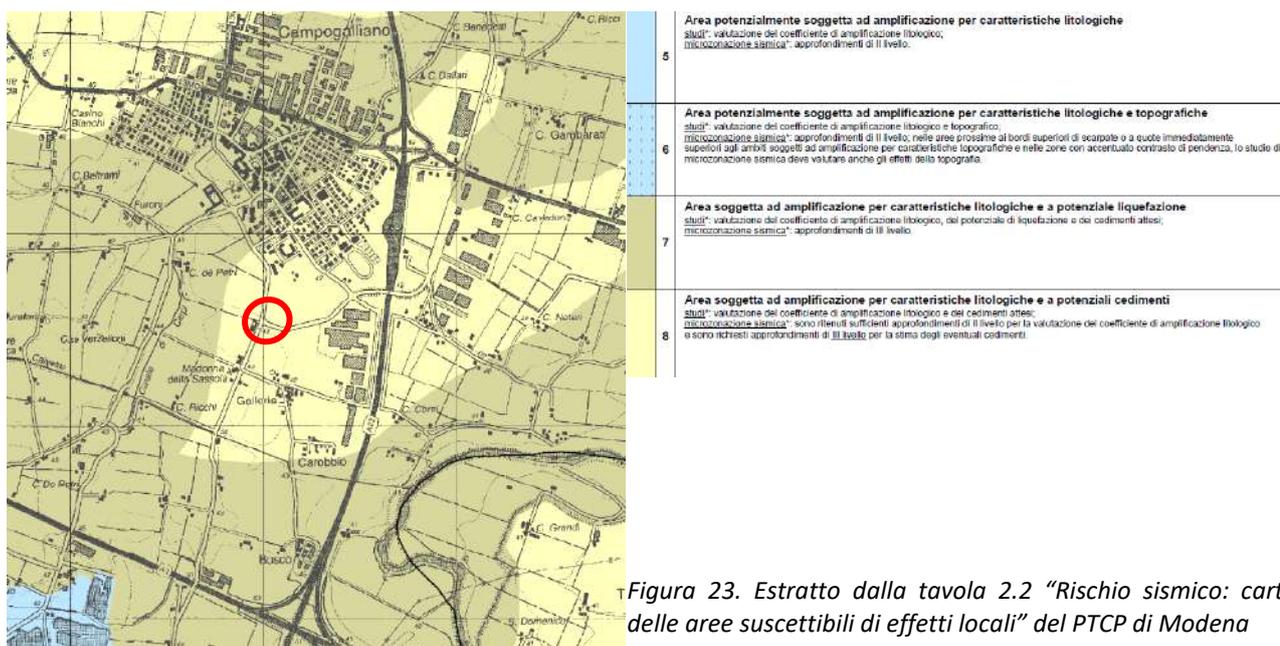


Figura 23. Estratto dalla tavola 2.2 "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali" del PTCP di Modena

Nella tavola 2a.4 “Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali” del quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena, in corrispondenza del sito in esame, sono cartografati limi e argille (peliti) di piana alluvionale, come effetti attesi sono indicati l’amplificazione e possibili cedimenti; come studi la valutazione dell’amplificazione e la stima dei cedimenti attesi. Di seguito si riporta un estratto della carta suddetta.

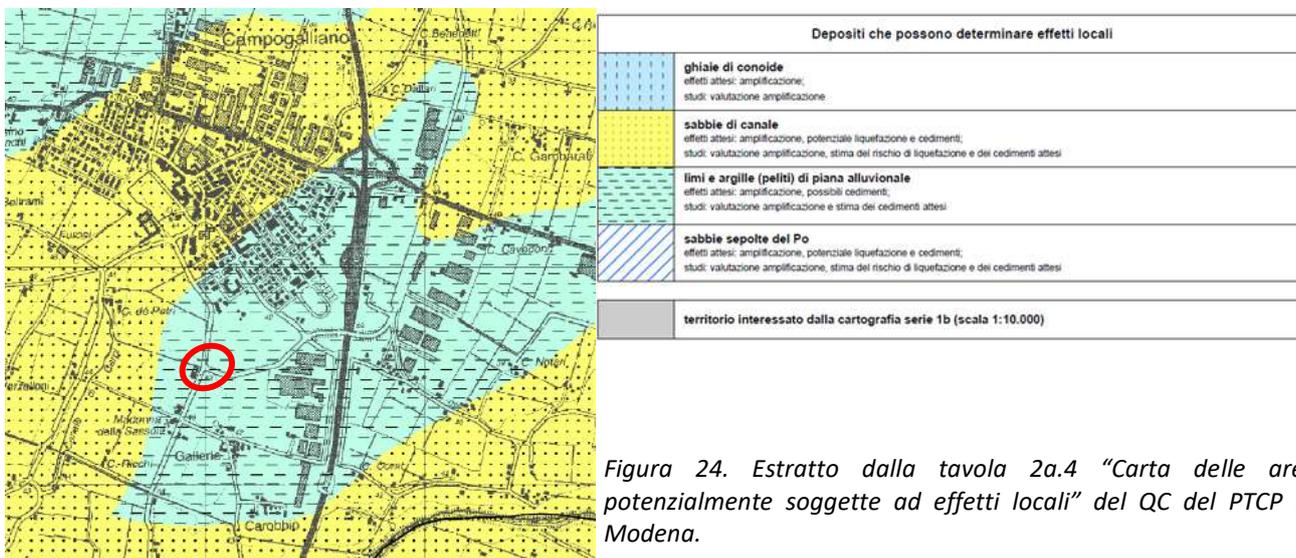


Figura 24. Estratto dalla tavola 2a.4 “Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali” del QC del PTCP di Modena.

Nella tavola 3.2 “Carta dei depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie” del quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena in corrispondenza del sito in esame sono cartografate, come depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico, le ghiaie. Il tetto delle ghiaie, in corrispondenza dell’area in esame è compreso tra le isobate 15 e 10 m s.l.m. La base del ciclo alluvionale superiore (e quindi il tetto del ciclo alluvionale inferiore) è presente ad una quota di circa -200 m s.l.m.; la base dei depositi alluvionali (ed il tetto del substrato marino) si trova ad una quota compresa tra -300 e -350 m s.l.m. (il sito in esame è prossimo all’isobata -300 m s.l.m.)

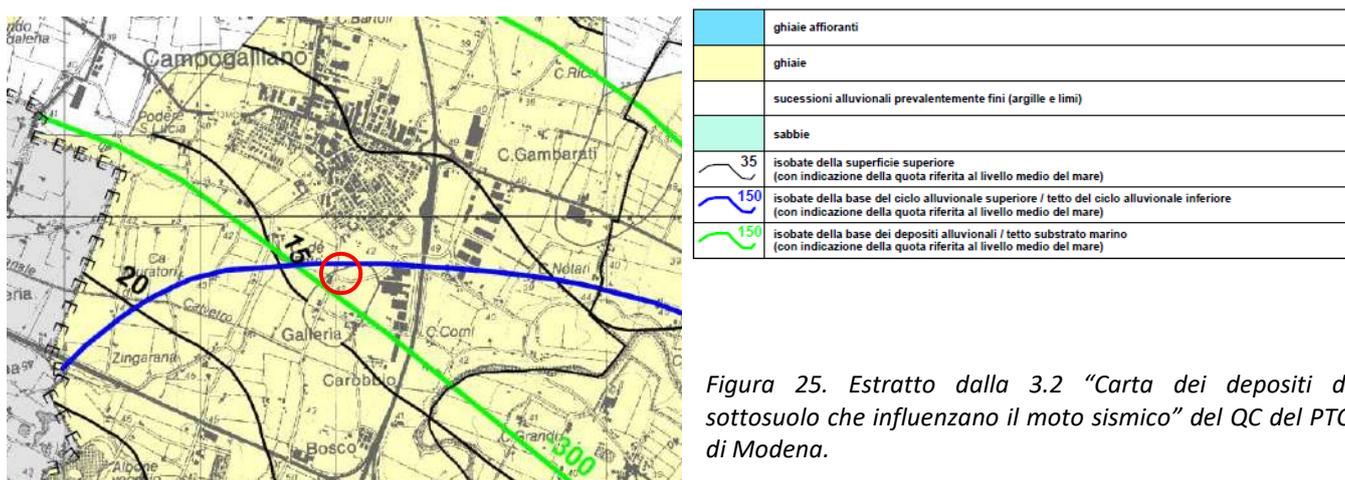


Figura 25. Estratto dalla 3.2 “Carta dei depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico” del QC del PTCP di Modena.

### E.2.2 Microzonazione sismica del Comune di Campogalliano

Il comune di Campogalliano dispone dello studio di Microzonazione sismica al II livello (OPCM 4007/2012 MS2). Si riportano di seguito alcuni estratti della cartografia di MZSII.

Nella “Carta delle indagini (tav.1\_1)” in prossimità del sito in esame (ad ENE di questo) sono segnalate le seguenti prove geognostiche: n°2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (indicate come indagini pregresse), n°1 prova sismica Re.Mi. e n°1 misura di rumore sismico a stazione singola (queste ultime indicate come nuove indagini). Le indagini sopra elencate e di cui si riporteranno altre informazioni attraverso la descrizione degli estratti cartografici riportati di seguito sono le stesse descritte nel capitolo C.1 (reperite nel database RER).

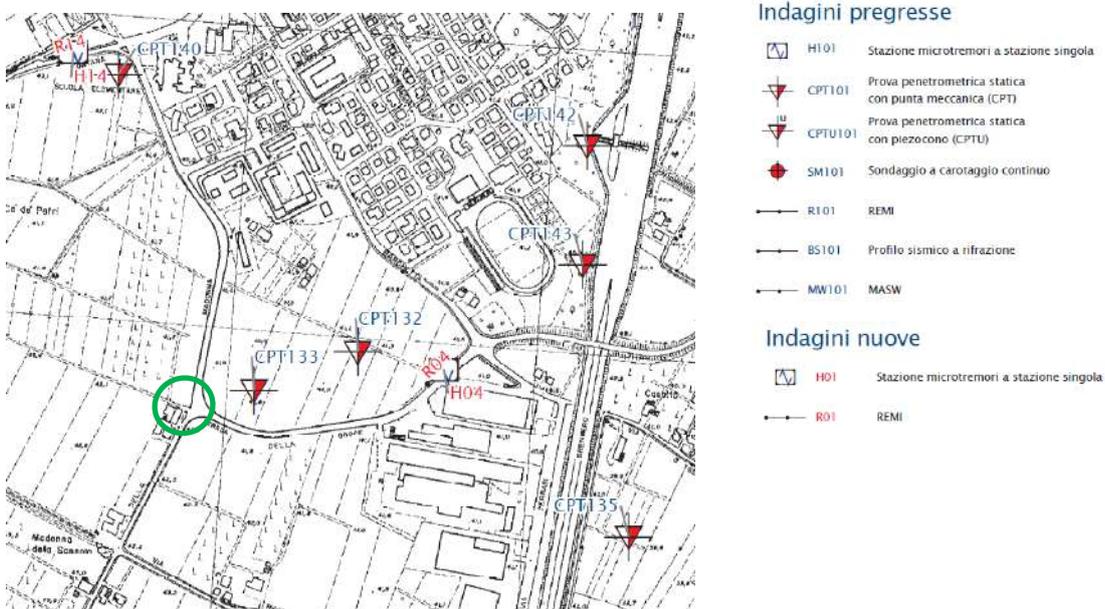


Figura 26. Estratto dalla Tavola 1\_1 “Carta delle indagini” della MZSII del comune di Campogalliano.

Si riporta anche la sezione AA’ contenuta in tavola 1\_2\_1 “Carta sezioni geologiche” dove è stato indicativamente proiettato il sito in esame, il quale si colloca in una zona in cui le ghiaie sono presenti a profondità variabili tra i 25 e i 30 m e i terreni di copertura, per i primi 30 m circa, sono costituiti da argille prevalenti.

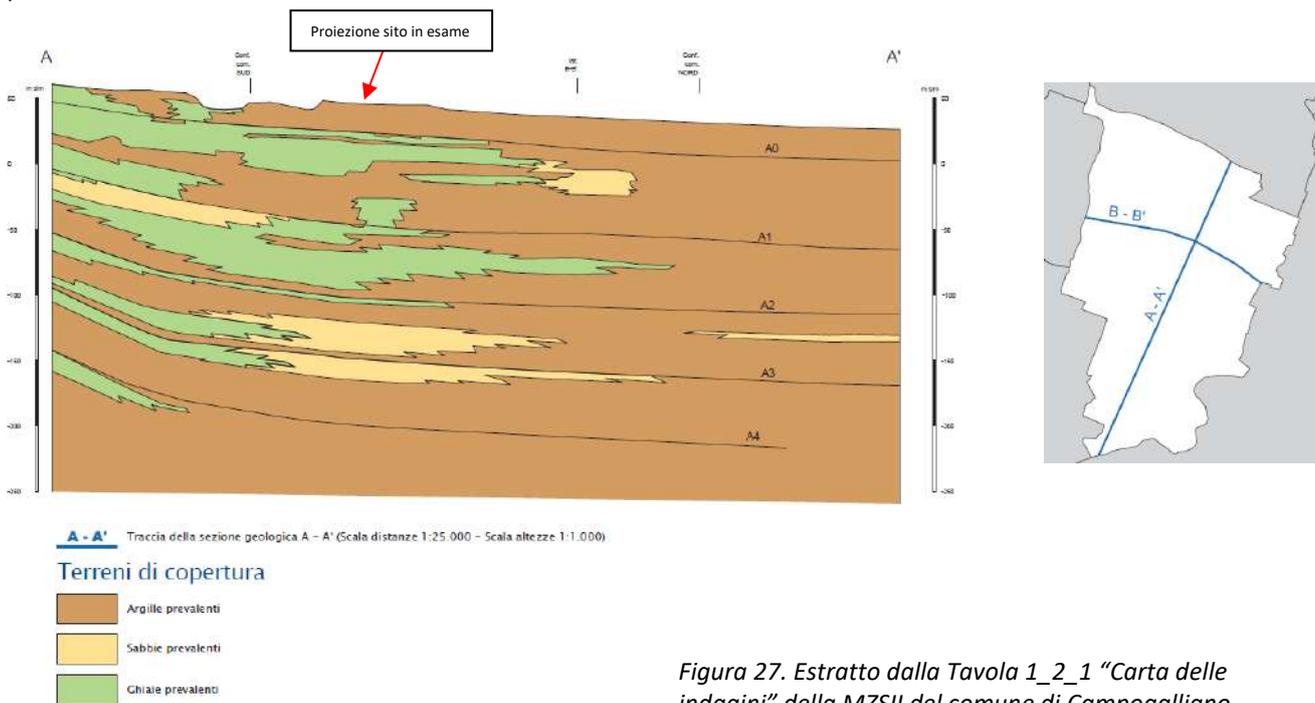


Figura 27. Estratto dalla Tavola 1\_2\_1 “Carta delle indagini” della MZSII del comune di Campogalliano.

Nella “Carta geologico-tecnica (tav.1\_2)” in corrispondenza del sito in esame, posto ad una quota di circa 42 m s.l.m., come terreni di copertura vengono indicate argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile (CL-pi).

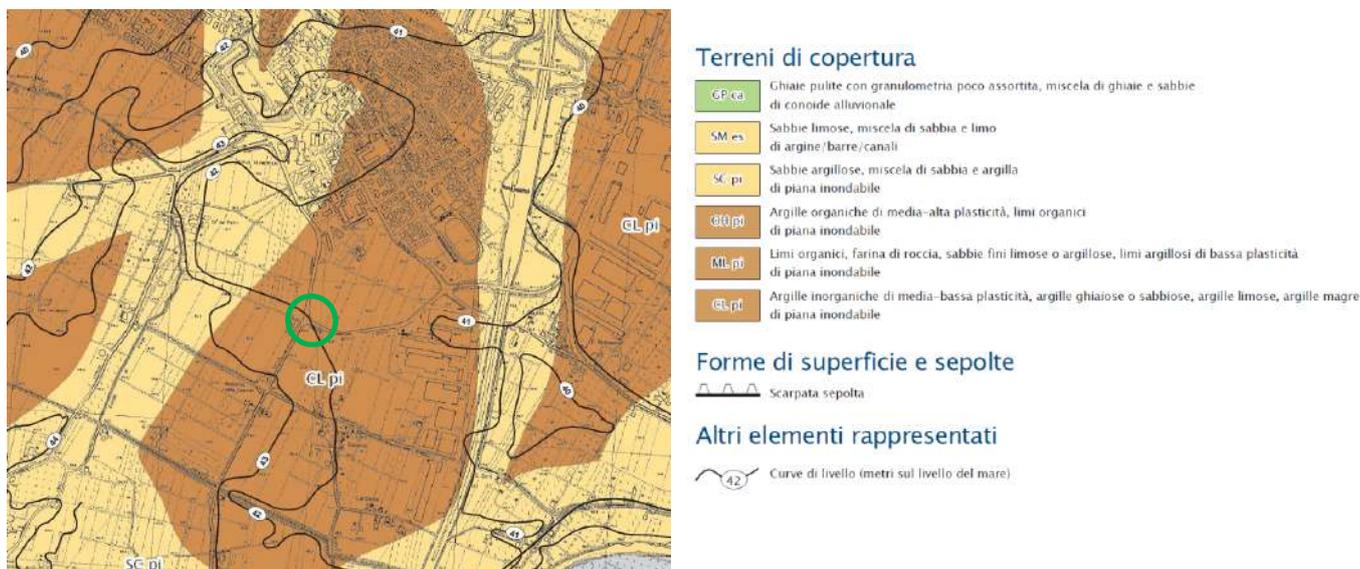


Figura 28. Estratto dalla Tavola 1\_2 “Carta geologico tecnica” della MZSII del comune di Campogalliano.

Nella “Carta delle isopieze” (tav.1\_3) nell’intorno del sito in esame sono segnalate alcune misure di soggiacenza della falda in m s.l.m., in particolare la falda presenta quote variabili tra 40.07 e 42.20 m s.l.m. Il sito in esame si colloca in prossimità di uno spartiacque idrico sotterraneo con andamento W-NE e risulta compreso all’interno del perimetro tracciato in carta dalla isopieza a 42.0 m s.l.m. In carta, a partire da questo limite, per la falda in prossimità del sito in esame è indicato un andamento in direzione NE.

Per completezza si cita anche la “Carta soggiacenze del primo acquifero” dove la falda, in prossimità del sito in esame, presenta una soggiacenza compresa tra 0.5-1.0 m da p.c.

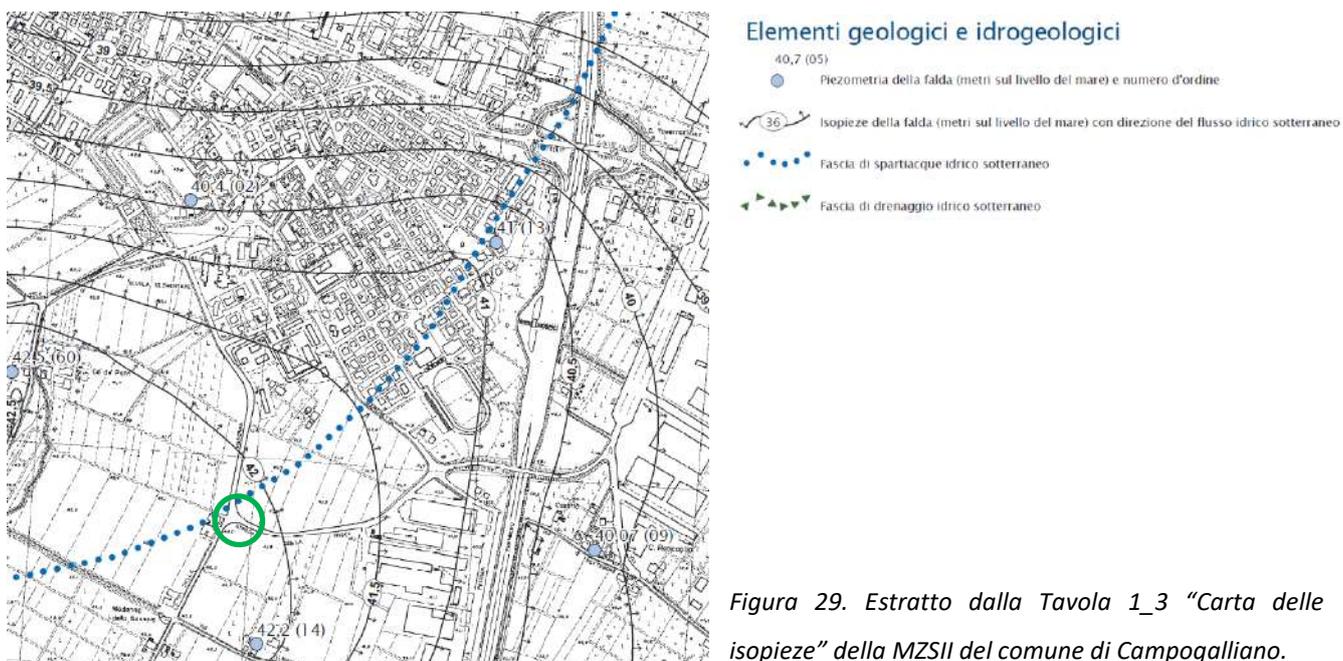


Figura 29. Estratto dalla Tavola 1\_3 “Carta delle isopieze” della MZSII del comune di Campogalliano.

Nella “Carta del tetto ghiaie e sabbie” (tav.1\_5) la profondità del tetto delle ghiaie per il sito in esame è compresa tra 28 e 30 m da p.c., mentre la profondità del tetto delle sabbie è intorno ai 12 m da p.c.

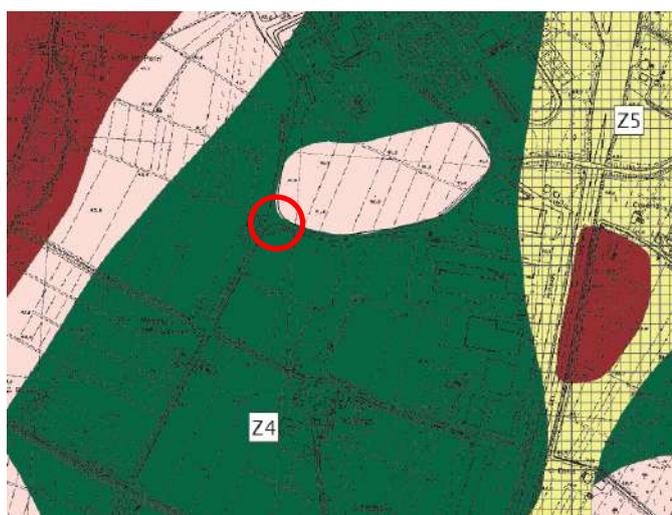


### Elementi geologici e idrogeologici

- 30 Profondità tetto delle ghiaie (metri dal piano di campagna)
- 10 Profondità tetto delle sabbie (metri dal piano di campagna)
- 120 Isobate del substrato sepolto

Figura 30. Estratto dalla Tavola 1\_5 “Carta del tetto delle ghiaie e delle sabbie” della MZSII del comune di Campogalliano.

Nella “Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (tav.1\_6)” il sito rientra nelle zona stabile suscettibile di amplificazioni locali Z4 così definita: “Argille limose-argille, moderatamente consistenti (CL/OH) con intercalati corpi lentiformi limoso argillosi moderatamente consistenti (ML). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche. Approfondimento di II livello”. Inoltre si segnala che l’area a nord di strada della Croce è segnalata in carta come area interessata da potenziali cedimenti differenziali, così descritta: “Limi limo argilloso sabbiosi poco consistenti contenenti corpi sabbioso limosi lentiformi, con spessori inferiori a 1.0 m da poco addensati, poco consistenti a moderatamente addensati, moderatamente consistenti nei primi 12 m da p.c.” e “Argille limose – limi argillosi poco consistenti con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi, con spessori inferiori a 0.6 m da moderatamente a poco addensati nei primi 12-13 m da p.c. Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, cedimenti differenziali, addensamenti. Approfondimenti di III livello per stima dei cedimenti differenziali.”



### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

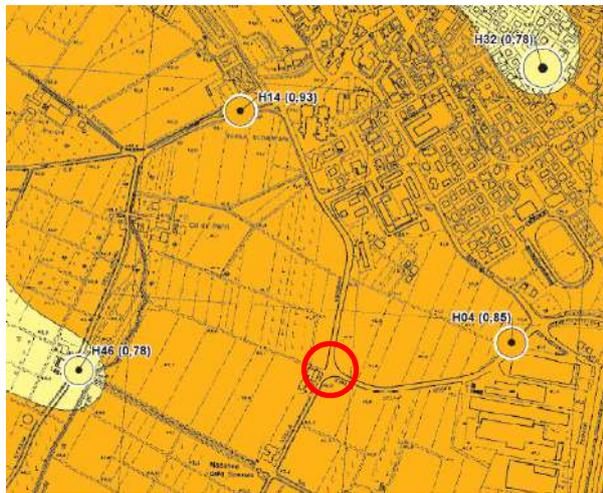
- ZONA 4 Argille limose - argille, moderatamente consistenti (CL/OH-24) con intercalati corpi lentiformi limoso argillosi moderatamente consistenti (ML-24). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche. Approfondimenti di II livello.
- ZONA 5 Sabbie e sabbie limose in strati con spessori tra 4 e 8 m, moderatamente addensate (SM-12) con intercalate alternanze limose - limoso argilloso moderatamente consistenti (ML-24). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione. Approfondimenti di II livello per amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche e di III livello per valutazione di suscettibilità alla liquefazione.

### Zone stabili suscettibili di instabilità

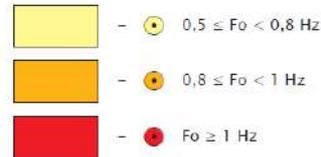
- Z4a) Zona di attenzione per liquefazione tipo 1
- POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI  
 Limi - limi argilloso sabbiosi poco consistenti (CL / ML - 25) contenenti corpi sabbioso limosi lentiformi, con spessori inferiori a 1.0 m da poco addensati, poco consistenti a moderatamente addensati (SM - 13/12), moderatamente consistenti (ML-24) nei primi 12 m dal p.c.  
 Argille limose - limi argillosi poco consistenti (ML / CL - 25) con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi, con spessori inferiori a 0.6 m da moderatamente a poco addensati (SM 12/13) nei primi 12-13 m p.c.  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, cedimenti differenziali, addensamenti. Approfondimenti di III livello per stima dei cedimenti differenziali.
- ZONA SUSCETTIBILE DI SOVRAPPONIMENTO DI INSTABILITÀ DIFFERENTI  
 Sabbie limose da poco addensate (SM-13) e moderatamente addensate (I I) con l'incremento della profondità e limi argillosi da poco consistenti (ML-25) a moderatamente consistenti (24) con l'aumento della profondità.  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione e cedimenti differenziali. Approfondimenti di III livello per valutazione di suscettibilità alla liquefazione e stima dei cedimenti differenziali.

Figura 31. Estratto dalla Tavola 3\_5 “Carta MOPS” della MZSII del comune di Campogalliano.

Nella “Carta delle frequenze (tav.1\_7)” il sito in esame rientra in un’area con classe di frequenza fondamentale compresa tra 0.8 e 1.0 Hz. La frequenza fondamentale definita dalla prova sismica H04 (vedi Figura 26) è pari a 0.85 Hz (con ampiezza A compresa tra 2 e 3).



### Frequenze fondamentali dei terreni (Hz)



### Ampiezza

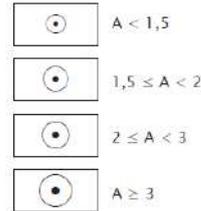
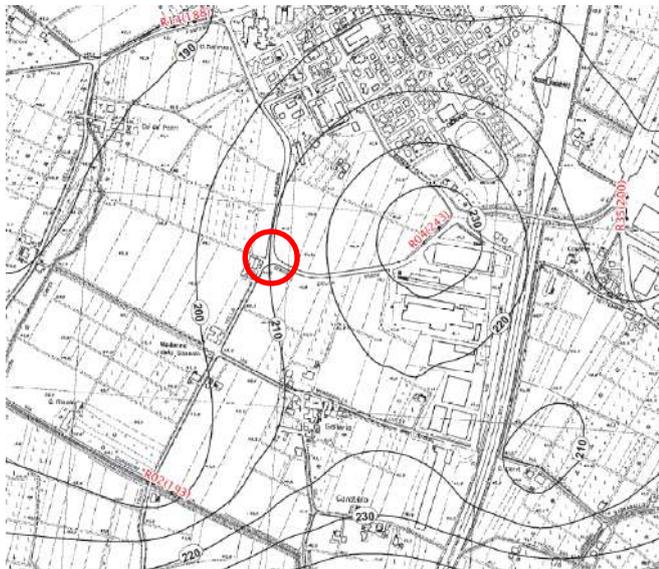


Figura 32. Estratto dalla Tavola 1\_7 “Carta delle frequenze fondamentali” della MZSII del comune di Campogalliano.

Nella “Carta delle Vs” (tav.2\_2) in corrispondenza della prova Re.Mi. eseguita per lo studio di MZSII è indicato un valore di Vs30 pari a 243 m/s. Sono inoltre tracciate in carta le linee di isovalori di Vs30 (m/s) ed il sito è prossimo alla linea indicante una Vs30 di 210 m/s.



### Indagini

R01 (203) Stendimento sismico attivo/passivo MASW/Re.Mi.

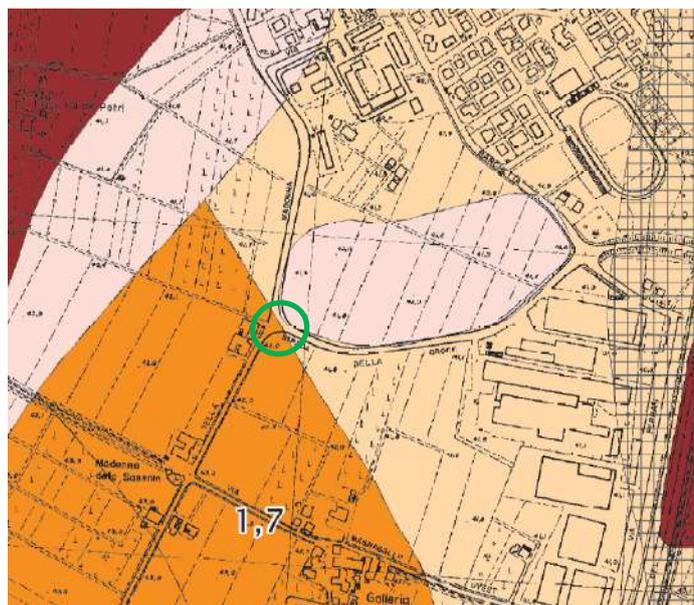
### Elementi geologici e idrogeologici

Velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri del sottosuolo VS30  
 Isovalori di Vs30 (m/sec)



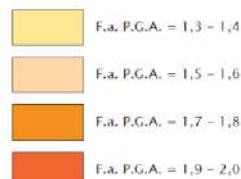
Figura 33. Estratto dalla Tavola 2\_2 “Carta delle Vs” della MZSII del comune di Campogalliano

Nella “Carta di Microzonazione sismica, Livello 2 – FA di P.G.A. (tav.3\_1)” l’area oggetto di studio si trova al limite di 2 aree caratterizzate da un valore di **FA di P.G.A.** pari a **1.7-1.8** (area sud) e **1.5-1.6** (area nord).



**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

Fattori di amplificazione della P.G.A.



**Zone suscettibili di instabilità**

Aree soggette ad approfondimenti di III° livello

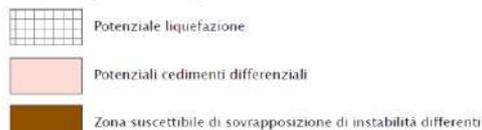


Figura 34. Estratto dalla Tavola 3\_1 “Carta di Microzonazione sismica, Livello 2 – FA di P.G.A.” della MZSII del comune di Campogalliano.

Per i fattori di amplificazione riportati nelle altre carte di microzonazione sismica si riassumono nella tabella seguente i valori indicati in corrispondenza dell’area in esame.

Periodo	Fa I.S.	Carta di MZS livello II
0.1-0.5 s	<b>1.7-1.8</b>	3_2
0.5-1.0 s	al limite tra <b>1.9-2.0</b> (a E) e <b>2.1-2.2</b> (a W)	3_3
0.1-0.3 s	<b>1.5-1.6</b>	3_4
0.3-0.5 s	<b>1.9-2.0</b>	3_5
0.5-0.9 s	<b>1.9-2.0</b>	3_6
0.9-1.2 s	<b>2.1-2.2</b>	3_7
1.2-2.0 s	<b>1.5-1.6</b>	3_8

Tabella 6. Valori di fattore di amplificazione per differenti periodi individuato attraverso le carte di MZSII in corrispondenza del sito in esame.

### E.3 Azioni sismiche ai sensi NTC2018

#### E.3.1 Categorie di sottosuolo

Per la definizione dell'azione sismica si è fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle **NTC2018**. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Dove  $h_i$ =spessore dell'i-esimo strato;  $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato; N numero di strati; H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

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

Sulla base dei valori di  $V_s$  ricavati dalle indagini sismiche reperite presso il sito in esame e poiché il substrato è presente a profondità  $\gg 30$ m, si individua una categoria di sottosuolo **tipo C** al piano campagna (il valori di  $V_{s,30}$  ottenuto attraverso la prova Re.Mi.+MASW è risultato pari a **223 m/s** (lo studio di MZSII indica per la prova sismica Re.Mi. un valore di  $V_{s30}$  pari a **243 m/s**)).

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

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

#### E.3.2 Categorie topografiche

Per la definizione delle categorie topografiche si è anche fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle NTC2018 che si basa sull'individuazione di categorie topografiche di riferimento così come riportate nelle tabelle 3.2.III. e 3.2.V.

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni topografiche bidimensionali e devono essere considerate per altezza maggiore a 30m.

Si evidenzia come ai sensi delle NTC la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica sia definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove  $S_T$  assume valore unitario. Gli effetti della topografia possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15° e devono essere calcolati nel caso di configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali di altezza superiore a 30m.

Per quello che riguarda le categorie topografiche il pendio sul quale è previsto si presenta pianeggiante/subpianeggiante per cui è possibile classificare l'area come T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ".

Pertanto nel caso in esame il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.0$ .

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

E.3.3 Parametri sismici di calcolo

A titolo esemplificativo l'opera è definita con Vita Nominale  $V_{N \geq 50}$  (vedasi tabella 2.4.1 delle NTC 2018), Classe d'uso II, da cui deriva un coefficiente  $C_u = 1.0$  (vedasi tabella 2.4.II delle NTC 2018).

Sulla base delle definizioni precedenti le azioni sismiche si possono calcolare in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$ , che si ricava moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$  secondo la relazione riportata nella formula 2.4.1 delle NTC 2018 e di seguito riportata.

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per l'opera in esame il valore di  $V_R$  risulta pari a 50 anni.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

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 nei 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 D.M. 5/11/2001, 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.

Come parametro caratterizzante della pericolosità sismica è utilizzato il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni e calcolato secondo la formula (1) dell'allegato A delle NTC 2008, riportata di seguito:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

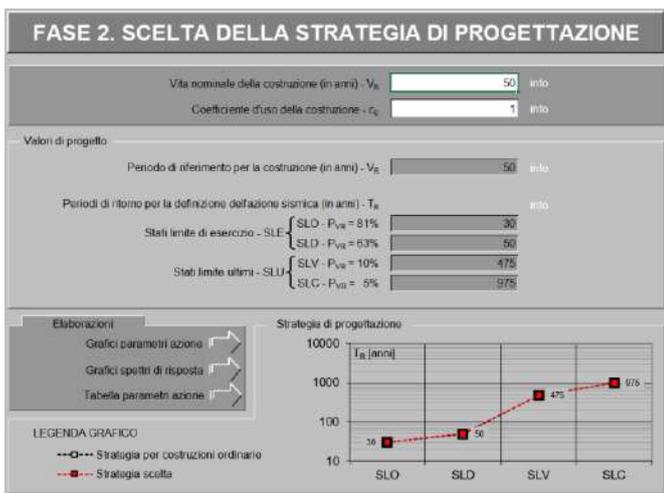
Il valore di probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{V_R}$  cui riferirsi per individuare l'azione sismica in ciascuno degli stati limite è riportato nella tabella 3.2.I delle NTC2018.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Il valore del tempo di ritorno  $T_R$  in anni per l'opera in esame è risultato pari a **475 anni**.

Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano i dati relativi all'area di interesse per una costruzione con Vita Nominale 50 anni e coefficiente d'uso  $C_u = 1.0$  ottenuti con il programma "Spettri-NTC ver 1.3" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>



Comune di	<b>Modena</b>		
Longitudine	44.683548	°	
Latitudine	10.842258	°	
Zona sismogenetica	912		
Magnitudo attesa	M	6.14	
Vita nominale	VN	50	anni
Coefficiente d'uso	C <sub>U</sub>	1	
Periodo di riferimento	VR	50	
Tempo di ritorno	Tr	475	anni

SLATO LIMITE	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub> [-]	T <sub>C</sub> <sup>*</sup> [s]
SLO	30	0.047	2.475	0.252
SLD	50	0.059	2.503	0.268
SLV	475	0.162	2.454	0.282
SLC	975	0.213	2.449	0.288

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito  $a_{max}$  è stata determinata con la seguente relazione:

$$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g$$

dove:  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;  $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;  $S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica. Il prodotto  $S_s \times S_t = S$  = coefficiente di amplificazione locale. Nelle seguenti tabelle si riportano i valori dei coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica, rispettivamente in funzione della categoria topografica e del tipo di terreno.

Tab. 3.2.V - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_t$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_t$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tab. 3.2.IV - Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

In sintesi si riportano i dati:

Stato Limite Ultimo		SLV	
accelerazione di progetto	ag	0.162	g
Parametro spettrale	F0	2.454	-
Parametro spettrale	Tc'	0.282	s
Stato Limite di Esercizio		SLD	
accelerazione di progetto	ag	0.059	g
Parametro spettrale	F0	2.503	-
Parametro spettrale	Tc'	0.268	s
Stato Limite Ultimo		SLV	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	Ss	1.46	di progetto
Categoria topografica	T1		
Coefficiente di amplificazione topografica	St	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	S = St*Ss	1.461	
Amax	Amax=Ag*S	<b>0.2368</b>	g
Stato Limite di Esercizio		SLD	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	Ss	1.50	di progetto
Categoria topografica	T1		
Coefficiente di amplificazione topografica	St	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	S = St*Ss	1.500	
Amax	Amax=Ag*S	<b>0.0885</b>	g

#### E.4 Stabilità nei confronti della liquefazione

Sulla base di quanto riportato al paragrafo 7.11.3.4.2. delle NTC2018 l'area in esame non può essere esclusa dalla verifica a liquefazione.

	Condizione e quesito	Risposta	Motivazione	Verifica liquefazione si o no
	eventi sismici attesi di magnitudo $M$ inferiore a 5;	No	Mw=6.14	Si
1	accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;	No	$a_{g\ max}=0.2462$	Si
2	profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;	No	Prof falda -1.0/-2.0 m da p.c.	Si
3	depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;	-	-	-
4	distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ .	-	-	--

##### E.4.1 Verifica della suscettività dei terreni alla liquefazione

Al fine di verificare la possibilità dell'occorrenza del fenomeno della liquefazione nei terreni indagati è stata verificata la verticale indagata dalla prova penetrometrica statica reperita in bibliografia attraverso l'utilizzo di metodi semplificati.

L'analisi è stata eseguita come verifica allo stato limite ultimo (SLU) considerando lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per la determinazione dei coefficienti riduttivi e dell'accelerazione massima.

Per la verifica della suscettibilità alla liquefazione è necessario il calcolo di due variabili: il carico sismico, espresso tramite il carico tensionale ciclico CSR e la capacità del terreno a resistere alla liquefazione, espressa attraverso il rapporto di resistenza ciclica CRR.

Il metodo semplificato permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza ciclica (CRR) ed il carico tensionale ciclico (CSR).

$F = \frac{CRR}{CSR}$  Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza è minore di **1.00**.

La verifica a liquefazione è stata eseguita sulla prova CPT125 reperita in bibliografia, ed eseguita nei pressi del sito in esame, tramite l'utilizzo del software CLiq v.1.7.1.14 - CPT Liquefaction Assessment Software della ditta Geologismiki Geotechnical Software con il metodo proposto da Idriss & Boulanger (2014)<sup>13</sup>.

Come magnitudo momento (Mw) per l'area in esame è stato assunto il valore di **6,14**.

Per quello che riguarda la falda la verifica è stata condotta cautelativamente con falda posta a 1.0 da p.c.

Attraverso il metodo semplificato delle NTC2018, attribuendo ai terreni indagati la categoria di sottosuolo di tipo C (attraverso i risultati della prova sismica bibliografica reperita ed eseguita a NE del sito in esame, sempre lungo via Croce) si ottiene un  $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica pari a 1.46, e l' $a_{g\ max}$  risulta **0.2368 g**.

<sup>13</sup> Boulanger, R. W., and Idriss, I. M. (2014). "CPT and SPT based liquefaction triggering procedures." Report No. UCD/CGM - 14/01, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, California.

Gli studi di Microzonazione Sismica del comune di Campogalliano individuano il sito in esame al limite tra due aree caratterizzate rispettivamente da un FA di PGA compreso tra 1.5-1.6 (area NE) e da un FA di PGA compreso tra 1.7-1.8 (vedasi paragrafo E.2.2, Figura 34). Per le verifiche di liquefazione si è scelto di utilizzare i valori FA di PGA indicati dalla MZS: è stato considerato cautelativamente un valore di FA di PGA ( $S_s$  secondo il metodo semplificato NTC2018) pari a 1.8 ottenendo un valore di  $a_{gmax} = 0.2916$  g.

Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	$S_s$	1.80	da MZS
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_t$	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = S_t * S_s$	1.800	
$A_{max}$	$A_{max} = A_g * S$	<b>0.2916</b>	g

E' stato inoltre calcolato l'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  secondo il metodo di Iwasaki et al. (1982)<sup>14</sup>

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z) dz$$

Dove  $z$  è la profondità dal piano campagna in metri

$$W(z) = 10 - 0.5z$$

$$F = 1 - FL \text{ se } FL \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } FL > 1.0$$

Dove  $FL$  è il fattore di sicurezza alla liquefazione.

Gli autori suggeriscono che se  $I_L = 0$  il potenziale di rottura è nullo,  $I_L \leq 5$  il potenziale di rottura è basso,  $5 < I_L \leq 15$  il potenziale di rottura è elevato,  $I_L \geq 15$  il potenziale di rottura è estremamente elevato.

Nella tabella seguente si riporta quanto ottenuto dalla verifica a liquefazione eseguita sulla verticale indagata dalla prova penetrometriche statica attraverso il metodo di Idriss & Boulanger (2014).

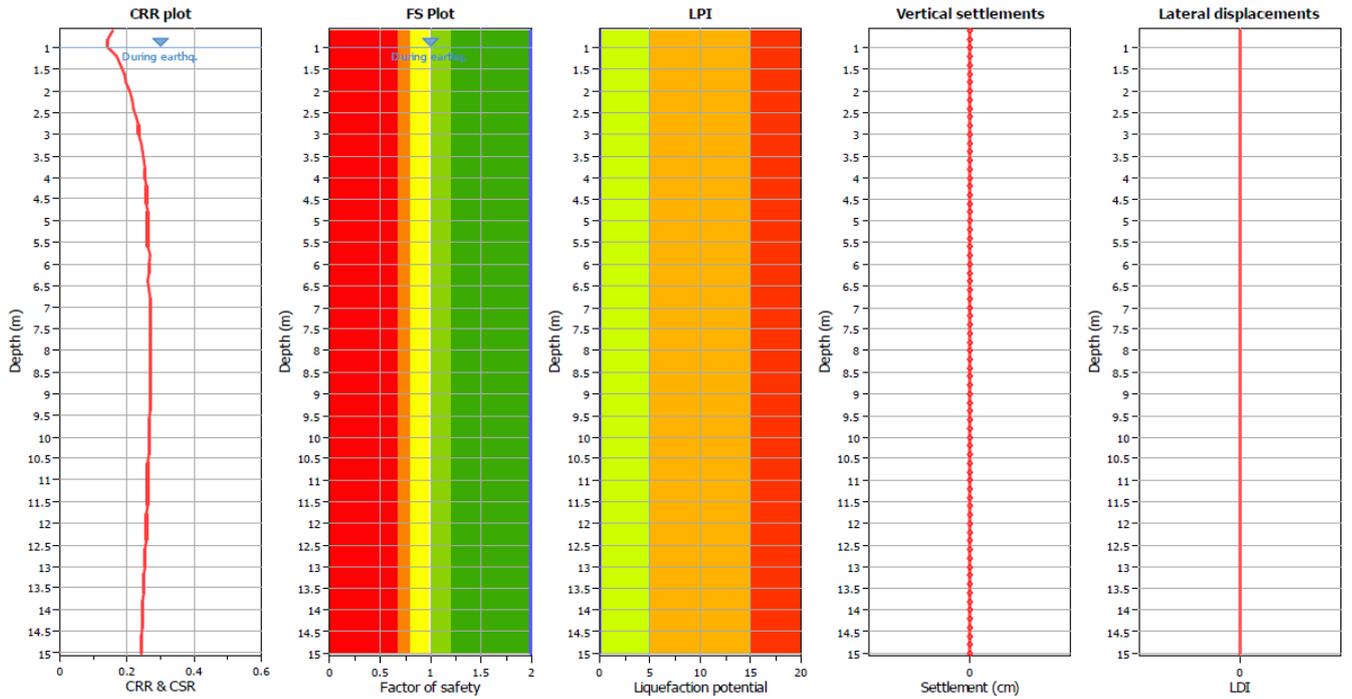
Nella tabella seguente si riportano i dati ottenuti (tra parentesi quadra lo spessore del livello liquefacibile).

	Metodo Idriss & Boulanger (2014) $I_L$ [Iwasaki et al 1982]	LIVELLI LIQUEFACIBILI [0-5m]	LIVELLI LIQUEFACIBILI [5-10m]	LIVELLI LIQUEFACIBILI [10-15m]	LIVELLI LIQUEFACIBILI [15-20m]	CLASSIFICAZIONE
CPT_125	0	0	0	0	0	N

Il potenziale di liquefazione ( $I_L$ ) ottenuto attraverso la verifica di suscettibilità alla liquefazione eseguita è risultato pari a 0 nella verticale indagata. Si ritiene in conclusione che l'area indagata si possa ritenere stabile/a basso rischio nei confronti della liquefazione.

<sup>14</sup> Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S. Yasuda S., Sato H. (1983) "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", III Int. Conf. In Microzon., San Francisco

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.29  
 Depth to water table (insitu): 1.00 m

Depth to GWT (erthq.): 1.00 m  
 Average results interval: 1  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: 19.00 kN/m<sup>3</sup>  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: No  
 K<sub>v</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: No  
 Limit depth: N/A

F.S. color scheme

Red: Almost certain it will liquefy  
 Orange: Very likely to liquefy  
 Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Green: Unlikely to liquefy  
 Dark Green: Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Red: Very high risk  
 Orange: High risk  
 Yellow: Low risk

## F. CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio geologico-tecnico è finalizzato a ricavare le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche di un'area nel comune di Campogalliano (MO), in particolare all'incrocio tra Via Madonna e Via Croce dove è prevista la costruzione di una rotatoria stradale.

Lo studio e le indagini eseguite hanno permesso di evidenziare quanto segue.

- ⇒ L'area è ubicata in una zona caratterizzata principalmente dalla presenza depositi di piana alluvionale limo sabbiosi del subsistema di Ravenna – Unità di Modena (AES8a) – IV-VI secolo D.C. L'unità AES8a è costituita da depositi di piana inondabile (depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale e limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide). In corrispondenza del sito in esame la cartografia consultata (Cartografia Geologica in scala 1:50.000 della Regione Emilia-Romagna) individua la prevalenza di argille e limi (AES8a) e la base del ciclo deposizionale del Subsistema di Ravenna e quindi il tetto dell'Unità di Vignola sottostante è presente a circa 30 m di profondità.
- ⇒ Il sito in esame si colloca in sinistra idrografica del fiume Secchia, a nord delle casse di espansione del fiume Secchia che si sviluppano tra il comune di Modena, Rubiera ed il comune di Campogalliano, e si trova ad una quota di circa 42 m s.l.m.; le coordinate di un punto baricentrale dell'area sono rispettivamente 44.683548° di latitudine e 10.842258° di longitudine (ED50).
- ⇒ Dal punto di vista morfologico l'area, a morfologia pianeggiante è, in prevalenza, il risultato dell'azione prodotta dalle acque di scorrimento superficiale e dall'attività antropica. Nell'area in esame non sono censiti dissesti e frane in atto e/o quiescenti. L'area risulta esterna alla fascia fluviale C, così come definite nel Piano Assetto Idrogeologico (PAI). Nel Piano di Gestione delle Alluvioni l'area risulta interessata dagli scenari di pericolosità evidenziati per il reticolo primario di pianura (RPP) per il quale sono indicate "alluvioni rare L-P1", ed il reticolo secondario di pianura (RSP) per il quale sono indicate alluvioni "poco frequenti M-P2".
- ⇒ Dalla cartografia del PSC di Modena, tavola 3.1 "Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero" l'area in cui il progetto prevede la costruzione della rotatoria stradale è caratterizzata da un grado di vulnerabilità medio, questo può essere dato dalla combinazione di differenti aspetti come la litologia presente in superficie, la profondità del tetto delle ghiaie e delle sabbie, la capacità di attenuazione del suolo ed il tipo di acquifero.
- ⇒ Per una completa analisi del sito in esame sono stati consultati i dati delle indagini bibliografiche reperite nell'intorno dell'area in esame. In particolare sono state consultate le indagini reperite nel database regionale (disponibile al sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>). Per la caratterizzazione dei terreni dell'area in esame sono state considerate in particolare le risultanze di una prova penetrometrica statica CPT (ID CPT125 da database RER) eseguita poco più a nord est del sito in esame e la prova sismica Re.Mi.+MASW (ID K015 da database RER).
- ⇒ I risultati delle indagini bibliografiche reperite riportano un dato di profondità della falda acquifera variabile tra 1.5 m e -2.10 m da p.c. Per avere informazioni riguardo la piezometria nell'area in esame sono state consultate anche alcune tavole dello studio di Microzonazione sismica di II livello del comune di Campogalliano. In particolare nella "Carta delle isopieze" (tav.1\_3-MZSII) nell'intorno del sito in esame sono segnalate alcune misure di soggiacenza della falda in m s.l.m.: la falda presenta quote variabili tra 40.07 e 42.20 m s.l.m. Il sito in esame si colloca in prossimità di uno spartiacque idrico sotterraneo con andamento W-NE e risulta compreso all'interno del perimetro tracciato in carta dalla isopieza a 42.0 m s.l.m. In carta, a partire da questo limite, in prossimità del sito in esame è indicato un andamento in direzione NE del flusso idrico. Per completezza si cita anche la "Carta soggiacenze del primo acquifero" (tav.1\_4 – MZSII) dove la falda, in prossimità del sito in esame, presenta una soggiacenza compresa tra 0.5-1.0 m da p.c.

⇒ Per ottenere informazioni relative alla situazione del sottosuolo in corrispondenza del sito in esame sono state reperite e consultate le indagini bibliografiche presenti nel database RER e nella documentazione di MZS di secondo livello del comune di Campogalliano.

Le prove reperite hanno permesso di definire il seguente schema litologico:

L1	AES8a	<b>Livello L1:</b> livello superficiale costituito da limo e argilla, sabbiosi. Il livello è stato riconosciuto sino alla profondità di 2.4 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=10-11.1 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L2	AES8a	<b>Livello L2:</b> livello costituito da limi ed argille prevalenti, riconosciuto da 2.4 m da p.c. sino alla profondità di 5.0 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=3.2-5.0 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L3	AES8a	<b>Livello L3:</b> livello costituito da limi ed argille prevalenti con valori di $q_c$ superiori al livello precedente, riconosciuto da 5.0 m da p.c. sino alla profondità di circa 7.4 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=7.0-9.8 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L4	AES8a	<b>Livello L4:</b> livello costituito da argille prevalenti riconosciuto da 7.4 m da p.c. sino alla profondità di circa 13.0 m. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=4.0-6.1 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>
L5	AES8a	<b>Livello L5:</b> questo livello è stato riconosciuto a partire da circa 13.0 m da p.c., anche questo livello in funzione dei valori di $q_c$ si ritiene costituito prevalentemente da argille/argille limose. <i>Parametri caratteristici: <math>q_c=8.0-8.5 \text{ kg/cm}^2</math>.</i>

Per la caratterizzazione geotecnica dei livelli individuati in particolare è stata elaborata la prova geotecnica bibliografica reperita sul database della Regione Emilia-Romagna (al sito [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia)) ed ubicata poco distante dal sito in cui sorgerà la rotatoria stradale in progetto. La prova è la C125 (ID 201110C125 da database).

Profondità m dal p.c.	Sigla/Unità geologica	Comportamento prevalente	Litologia	Parametri												
0.00-2.40	L1	Coesivo	Argille e limi sabbiosi	<table border="0"> <tr> <td>Parametri totali</td> <td>Parametri efficaci</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3</math></td> <td><math>\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3</math></td> </tr> <tr> <td><math>Cu_k= 46.8-53.1 \text{ kPa}</math></td> <td><math>c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}</math></td> </tr> <tr> <td><math>\Phi_u = 0^\circ</math></td> <td><math>\Phi'_k = 24.4-26.1^\circ</math></td> </tr> <tr> <td><math>M_k= 3.4-3.8 \text{ MPa}</math></td> <td><math>E_s= 2.5-2.7 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td><math>Eu_{50}= 1.9-2.1 \text{ MPa}</math></td> <td></td> </tr> </table>	Parametri totali	Parametri efficaci	$\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3$	$Cu_k= 46.8-53.1 \text{ kPa}$	$c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$	$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 24.4-26.1^\circ$	$M_k= 3.4-3.8 \text{ MPa}$	$E_s= 2.5-2.7 \text{ MPa}$	$Eu_{50}= 1.9-2.1 \text{ MPa}$	
Parametri totali	Parametri efficaci															
$\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=18-19 \text{ kN/m}^3$															
$Cu_k= 46.8-53.1 \text{ kPa}$	$c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$															
$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 24.4-26.1^\circ$															
$M_k= 3.4-3.8 \text{ MPa}$	$E_s= 2.5-2.7 \text{ MPa}$															
$Eu_{50}= 1.9-2.1 \text{ MPa}$																
2.40-5.00	L2	Coesivo	Argille e limi	<table border="0"> <tr> <td>Parametri totali</td> <td>Parametri efficaci</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3</math></td> <td><math>\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3</math></td> </tr> <tr> <td><math>Cu_k= 12.1-20.8 \text{ kPa}</math></td> <td><math>c'_k = 0.0-5.0 \text{ kN/mq}</math></td> </tr> <tr> <td><math>\Phi_u = 0^\circ</math></td> <td><math>\Phi'_k = 17.8-19.9^\circ</math></td> </tr> <tr> <td><math>M_k= 1.7-2.5 \text{ MPa}</math></td> <td><math>E_s= 0.8-1.2 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td><math>Eu_{50}= 0.5-0.8 \text{ MPa}</math></td> <td></td> </tr> </table>	Parametri totali	Parametri efficaci	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$Cu_k= 12.1-20.8 \text{ kPa}$	$c'_k = 0.0-5.0 \text{ kN/mq}$	$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 17.8-19.9^\circ$	$M_k= 1.7-2.5 \text{ MPa}$	$E_s= 0.8-1.2 \text{ MPa}$	$Eu_{50}= 0.5-0.8 \text{ MPa}$	
Parametri totali	Parametri efficaci															
$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$															
$Cu_k= 12.1-20.8 \text{ kPa}$	$c'_k = 0.0-5.0 \text{ kN/mq}$															
$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 17.8-19.9^\circ$															
$M_k= 1.7-2.5 \text{ MPa}$	$E_s= 0.8-1.2 \text{ MPa}$															
$Eu_{50}= 0.5-0.8 \text{ MPa}$																
5.00-7.20	L3	Coesivo	Argille e limi	<table border="0"> <tr> <td>Parametri totali</td> <td>Parametri efficaci</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3</math></td> <td><math>\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3</math></td> </tr> <tr> <td><math>Cu_k= 28.6-41.9 \text{ kPa}</math></td> <td><math>c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}</math></td> </tr> <tr> <td><math>\Phi_u = 0^\circ</math></td> <td><math>\Phi'_k = 21.1-22.6^\circ</math></td> </tr> <tr> <td><math>M_k= 3.0-3.5 \text{ MPa}</math></td> <td><math>E_s= 1.7-2.4 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td><math>Eu_{50}= 1.1-1.7 \text{ MPa}</math></td> <td></td> </tr> </table>	Parametri totali	Parametri efficaci	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$Cu_k= 28.6-41.9 \text{ kPa}$	$c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$	$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 21.1-22.6^\circ$	$M_k= 3.0-3.5 \text{ MPa}$	$E_s= 1.7-2.4 \text{ MPa}$	$Eu_{50}= 1.1-1.7 \text{ MPa}$	
Parametri totali	Parametri efficaci															
$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$															
$Cu_k= 28.6-41.9 \text{ kPa}$	$c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$															
$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 21.1-22.6^\circ$															
$M_k= 3.0-3.5 \text{ MPa}$	$E_s= 1.7-2.4 \text{ MPa}$															
$Eu_{50}= 1.1-1.7 \text{ MPa}$																
7.20-13.00	L4	Coesivo	Argille e limi	<table border="0"> <tr> <td>Parametri totali</td> <td>Parametri efficaci</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3</math></td> <td><math>\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3</math></td> </tr> <tr> <td><math>Cu_k= 8.9-20.0 \text{ kPa}</math></td> <td><math>c'_k = 2.5-7.5 \text{ kN/mq}</math></td> </tr> <tr> <td><math>\Phi_u = 0^\circ</math></td> <td><math>\Phi'_k = 17.2-19.3^\circ</math></td> </tr> <tr> <td><math>M_k= 2.2-2.7 \text{ MPa}</math></td> <td><math>E_s= 1.0-1.5 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td><math>Eu_{50}= 0.4-0.8 \text{ MPa}</math></td> <td></td> </tr> </table>	Parametri totali	Parametri efficaci	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$Cu_k= 8.9-20.0 \text{ kPa}$	$c'_k = 2.5-7.5 \text{ kN/mq}$	$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 17.2-19.3^\circ$	$M_k= 2.2-2.7 \text{ MPa}$	$E_s= 1.0-1.5 \text{ MPa}$	$Eu_{50}= 0.4-0.8 \text{ MPa}$	
Parametri totali	Parametri efficaci															
$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=19-20 \text{ kN/m}^3$															
$Cu_k= 8.9-20.0 \text{ kPa}$	$c'_k = 2.5-7.5 \text{ kN/mq}$															
$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 17.2-19.3^\circ$															
$M_k= 2.2-2.7 \text{ MPa}$	$E_s= 1.0-1.5 \text{ MPa}$															
$Eu_{50}= 0.4-0.8 \text{ MPa}$																
>13.00	L5	Coesivo	Argille e limi	<table border="0"> <tr> <td>Parametri totali</td> <td>Parametri efficaci</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3</math></td> <td><math>\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3</math></td> </tr> <tr> <td><math>Cu_k= 24.9-27.7 \text{ kPa}</math></td> <td><math>c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}</math></td> </tr> <tr> <td><math>\Phi_u = 0^\circ</math></td> <td><math>\Phi'_k = 20.0-20.3^\circ</math></td> </tr> <tr> <td><math>M_k= 2.7-2.9 \text{ MPa}</math></td> <td><math>E_s= 2.0-2.1 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td><math>Eu_{50}= 1.0-1.1 \text{ MPa}</math></td> <td></td> </tr> </table>	Parametri totali	Parametri efficaci	$\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3$	$Cu_k= 24.9-27.7 \text{ kPa}$	$c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$	$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 20.0-20.3^\circ$	$M_k= 2.7-2.9 \text{ MPa}$	$E_s= 2.0-2.1 \text{ MPa}$	$Eu_{50}= 1.0-1.1 \text{ MPa}$	
Parametri totali	Parametri efficaci															
$\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_k=20-21 \text{ kN/m}^3$															
$Cu_k= 24.9-27.7 \text{ kPa}$	$c'_k = 5.0-10.0 \text{ kN/mq}$															
$\Phi_u = 0^\circ$	$\Phi'_k = 20.0-20.3^\circ$															
$M_k= 2.7-2.9 \text{ MPa}$	$E_s= 2.0-2.1 \text{ MPa}$															
$Eu_{50}= 1.0-1.1 \text{ MPa}$																

Dove:  $\gamma$  = peso di volume naturale;  $Cu$  = Resistenza al taglio in condizioni non drenate;  $M$  = Modulo Edometrico,  $\phi'$  = angolo di attrito efficace;  $c'$  = coesione efficace,  $Eu$  = modulo elastico non drenato,  $E_s$  = modulo elastico drenato,  $Eu_{50}$  = modulo elastico non drenato calcolato al 50% della deformazione.

- ⇒ Nell' "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" (DGR n.1164/2018) il comune di Campogalliano viene classificato in zona 3.
- ⇒ Nella tavola 2.2 "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali" si evidenzia come il sito in esame sia compreso all'interno di un'area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti per la quale, come studi, viene indicata la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; in termini di Microzonazione sismica 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.
- ⇒ Le indagini sismiche reperite nel database regionale ed ubicate in un intorno significativo dell'area in esame consentono di individuare la presenza di un sottosuolo di **tipo C** con  $V_{s30}=223$  m/s.
- ⇒ Sono state determinate le azioni sismiche ai sensi delle NTC2018, che hanno permesso di ricavare quanto segue:

Stato Limite Ultimo		SLV	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	Ss	1.46	di progetto
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	St	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = St * Ss$	1.461	
Amax	$Amax = Ag * S$	<b>0.2368</b>	g

- ⇒ Il comune di Campogalliano è dotato di uno studio di MZS di secondo livello. Nella "Carta di Microzonazione sismica, Livello 2 – FA di P.G.A. (tav.3\_1)" l'area oggetto di studio si trova al limite di 2 aree caratterizzate da un valore di **FA di P.G.A.** pari a **1.7-1.8** (area sud) e **1.5-1.6** (area nord).
- ⇒ Sulla base di quanto riportato al paragrafo 7.11.3.4.2. delle NTC2018 l'area in esame non può essere esclusa da una verifica alla liquefazione. La verifica alla liquefazione ai sensi delle NTC 2018 è stata eseguita tramite l'utilizzo del software CLiq v.1.7.1.14 - CPT Liquefaction Assessment Software della ditta GeoLogismiki Geotechnical Software, con il metodo proposto da Idriss & Boulanger (2014), sulla verticale indagata dalla prova penetrometrica statica reperita in bibliografia (ID CPT125 da database RER). Come valore di accelerazione è stato utilizzato  $a_{gmax}=0.2916$  (ottenuto utilizzando un FA di PGA pari a 1.8 (valore maggiormente cautelativo da MZS). Le analisi sono state eseguite con falda posta a -1.0 m dal pc; i risultati evidenziano un indice di potenziale liquefazione nullo ( $I_L=0$ ); in conclusione si ritiene che l'area indagata si possa definire stabile/a basso rischio nei confronti della liquefazione.

In considerazione di quanto sopra esposto si ritiene l'opera geologicamente e sismicamente compatibile purché vengano rispettate le indicazioni e prescrizioni contenute nella presente relazione.

Parma, Ottobre 2021

Dott. Geol. Giancarlo Bonini

**ALLEGATO 1 – PROVA PENETROMETRICA STATICA C125 (DATABASE RER)**

201110

C125



# intergeo s.r.l.

41100 MODENA - VIA A. NARDI, 35 - TEL. (059) 225504 - FAX (059) 220738

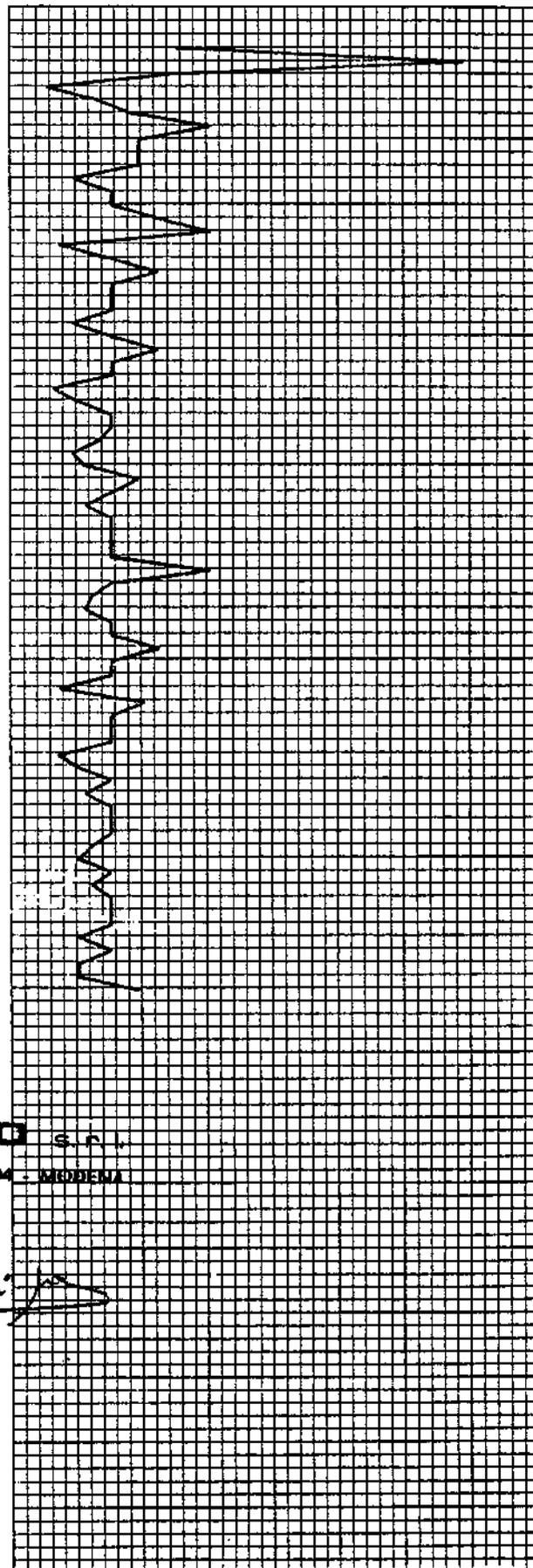
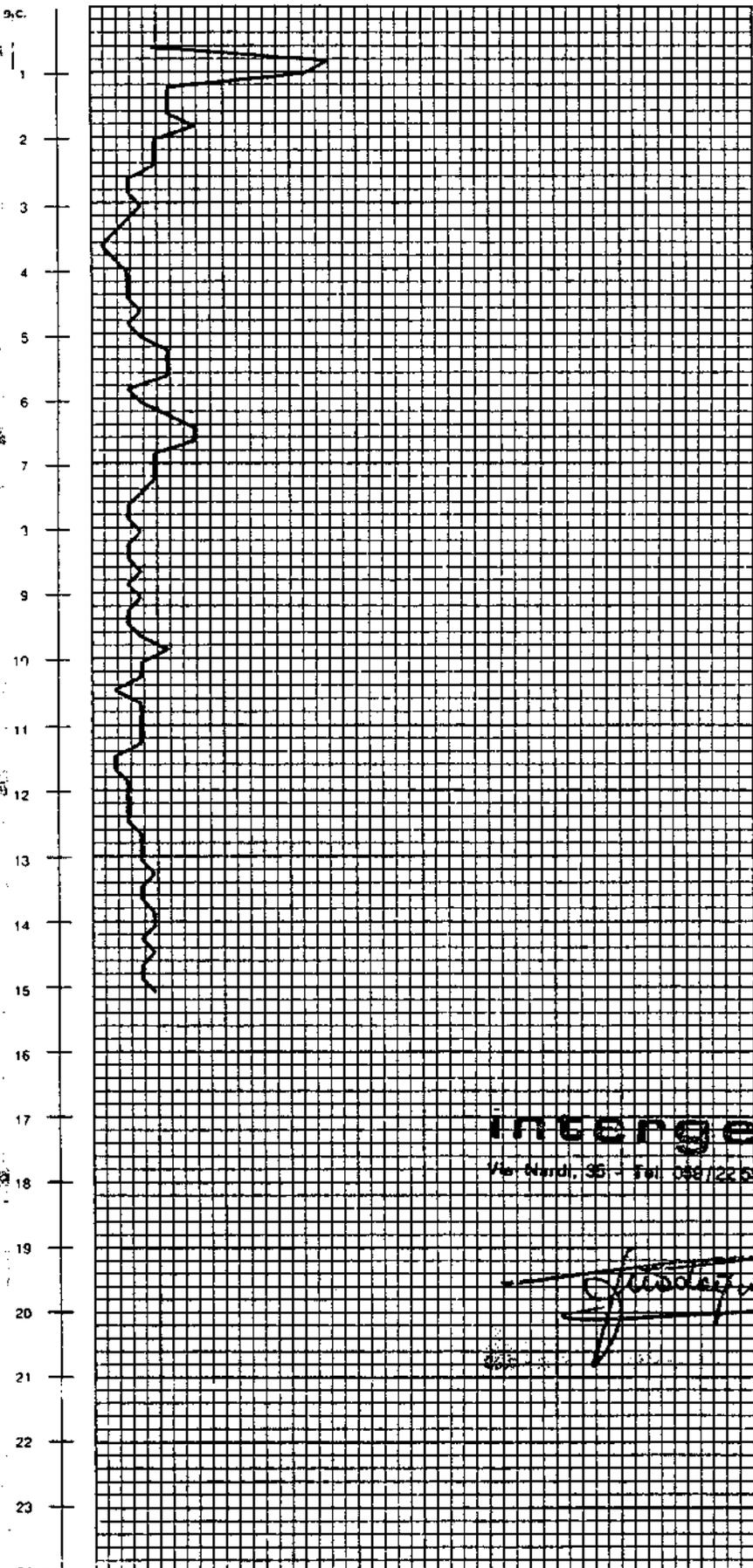
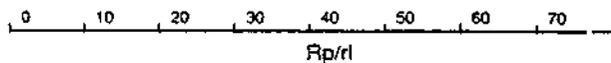
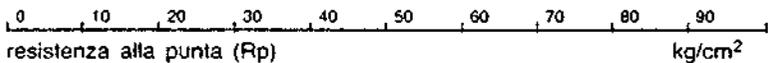
prova n° 14 quota P.C.  
località CAMPOGALLIANO  
committente AMM. NE COM. LE  
data 03/07/1990 operatore DR. REBECCHI

## PENETROMETRO STATICO GOUDA

resistenza laterale totale



resistenza alla punta (Rp)



**intergeo s.r.l.**  
Via Nardi, 35 - Tel. 059/225504 - MODENA

*[Handwritten signature]*

PROFONDITA' m	F Kg/cm <sup>2</sup>	F+L Kg/cm <sup>2</sup>	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	R1 Kg/cm <sup>2</sup>	Rp/R1	Rt Kg	NOTE
.2							
.4							
.6	10	16	10	.4	25		
.8	36	44	36	.53	68		
1	32	52	32	1.33	24		
1.2	12	52	12	2.66	5		
1.4	12	26	12	.93	13		
1.6	12	22	12	.66	18		
1.8	16	24	16	.53	30		
2	10	18	10	.53	19		
2.2	10	18	10	.53	19		
2.4	10	18	10	.53	19		
2.6	6	16	6	.66	9		
2.8	6	12	6	.4	15		
3	8	16	8	.53	15		
3.2	6	10	6	.26	22		
3.4	4	6	4	.13	30		
3.6	2	6	2	.26	7		
3.8	4	8	4	.26	15		
4	6	10	6	.26	22		
4.2	6	12	6	.4	15		
4.4	6	12	6	.4	15		
4.6	8	16	8	.53	15		
4.8	6	16	6	.66	9		
5	8	16	8	.53	15		
5.2	12	20	12	.53	22		
5.4	12	24	12	.8	15		
5.6	12	24	12	.8	15		
5.8	6	20	6	.93	6		
6	8	20	8	.8	10		
6.2	12	24	12	.8	15		
6.4	16	32	16	1.06	15		
6.6	16	34	16	1.2	13		
6.8	10	26	10	1.06	9		
7	10	24	10	.93	11		
7.2	10	18	10	.53	19		
7.4	8	16	8	.53	15		
7.6	6	14	6	.53	11		
7.8	6	12	6	.4	15		
8	8	16	8	.53	15		
8.2	6	12	6	.4	15		
8.4	6	12	6	.4	15		
8.6	8	12	8	.26	30		
8.8	6	12	6	.4	15		
9	8	18	8	.66	12		
9.2	6	14	6	.53	11		

PROFONDITA' m	P Kg/cmq	P+L Kg/cmq	Rp Kg/cmq	R1 Kg/cmq	Rp/R1	Rt Kg	NOTE
9.4	6	12	6	.4	15		
9.6	8	16	8	.53	15		
9.8	12	20	12	.53	22		
10	8	16	8	.53	15		
10.2	8	16	8	.53	15		
10.4	4	12	4	.53	7		
10.6	8	14	8	.4	20		
10.8	8	16	8	.53	15		
11	8	16	8	.53	15		
11.2	8	16	8	.53	15		
11.4	4	12	4	.53	7		
11.6	4	10	4	.4	10		
11.8	6	12	6	.4	15		
12	6	14	6	.53	11		
12.2	6	12	6	.4	15		
12.4	6	12	6	.4	15		
12.6	8	16	8	.53	15		
12.8	8	18	8	.66	12		
13	8	20	8	.8	10		
13.2	10	20	10	.66	15		
13.4	8	18	8	.66	12		
13.6	8	16	8	.53	15		
13.8	10	20	10	.66	15		
14	10	20	10	.66	15		
14.2	8	20	8	.8	10		
14.4	10	20	10	.66	15		
14.6	8	20	8	.8	10		
14.8	8	20	8	.8	10		
15	10	18	10	.53	19		

INTERGEO s.r.l. VIA A. NARDI 41100 MODENA Tel. 059/225504

**ALLEGATO 2 – SCHEDA PROVA SISMICA RE.MI.+MASW K015 (DATABASE RER)**

LOCALITA': Campogalliano (MO)

COMMITTENTE: Amm. Comun. Campogalliano

DATA: 19-02-2013

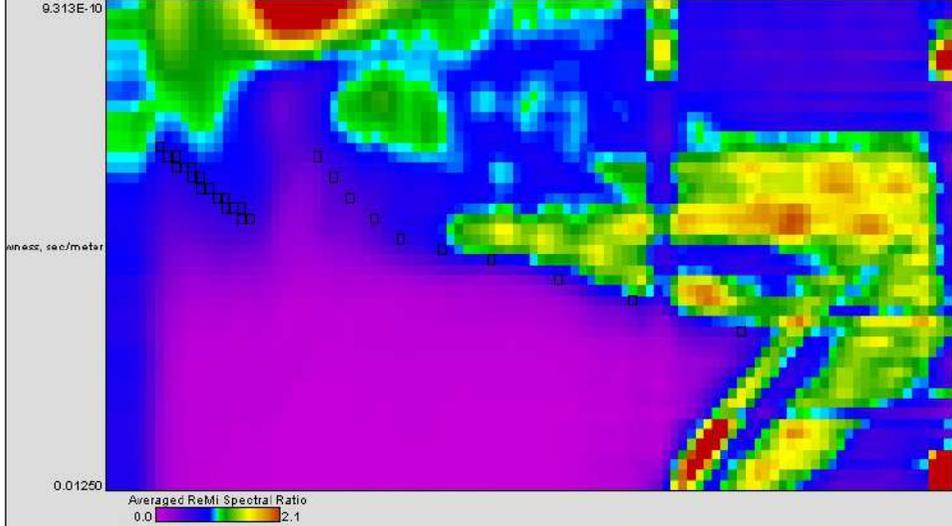
CANTIERE: Microzonazione sismica 2013

QUOTA: 41 m slm

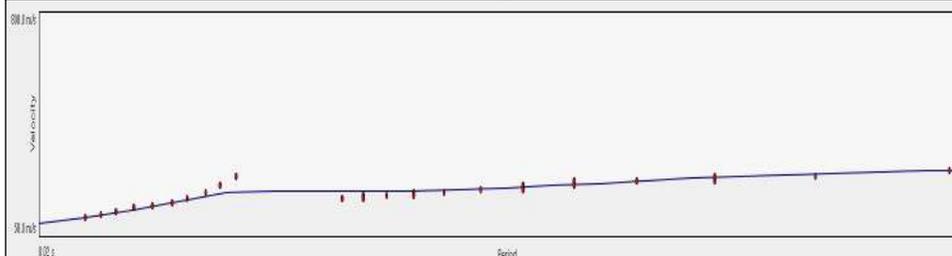
OPERATORI: Mazzetti M. - Arbizzi A.

**Spettro di potenza**

VCAMP\OGALLIANO\campogalliano\_04\101.sgy + Step 2, 3, 4, 5 - Planes: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20



**Curva di dispersione**



**Modello interpretativo**

Strato n°	Prof. (m)	Spess. (m)	Vs (m/s)
1	0	1.7	90
2	1.7	10.5	190
3	10.5	19	410
4	19	27	210
5	27	49	280
6	49	INF	370
7			
8			
9			
10			

**Modello interpretativo**  
profilo Vs (m/s)

