

Ambito 1.9A del POC

Elaborato:

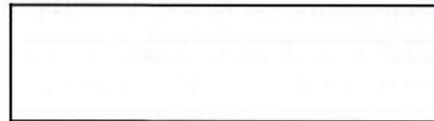
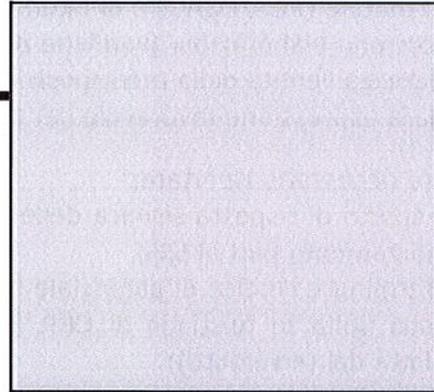
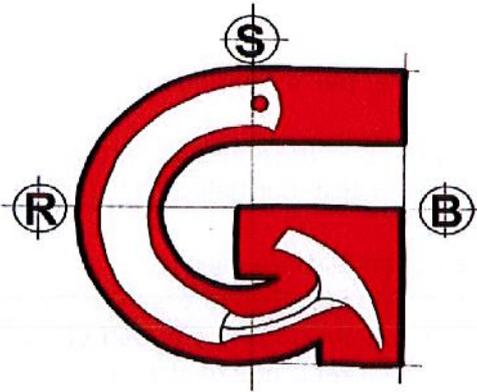
**RELAZIONE DI INTEGRAZIONE a precedente
Relazione di Modellazione Geologica e di
Modellazione Sismica locale.**

Località:

San Pietro in Casale (BO); Via Stangolini.

Committente:

**Studio di Architettura
Gamberini e Mazzoni.**



**Studio Geologico
BRUNALDI RAFFAELE**

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

**RELAZIONE DI INTEGRAZIONE A PRECEDENTE RELAZIONE, REDATTA DALLO
SCRIVENTE IN DATA 19/07/2018 E RELATIVA ALL'AMBITO 9A DEL POC, IN LOCALITÀ
SAN PIETRO IN CASALE (BO).**

Committente: Studio di Architettura Gamberini e Mazzoni

La presente relazione discende da una Richiesta di Integrazioni/Chiarimenti trasmessa dal Progettista allo scrivente. Detta richiesta è firmata dall'Arch. C. Zabbini del Servizio Edilizia Privata del Comune di San Pietro in Casale (dell'Unione Reno- Galliera). In specie si risponderà alle seguenti osservazioni:

Rispetto alla pericolosità sismica, l'area ricade in zona L1 della classificazione di cui alla Tavola 2C del PTCP: per tali terreni potenzialmente predisponenti fenomeni di liquefazione è necessario un approfondimento di III livello in questa fase della pianificazione.

In particolare, si richiedono le seguenti integrazioni:

- 1 • calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) e di intensità di Housner (SI/SIO);
- 2 • occorrono elaborazioni (verifiche del potenziale di liquefazione) che definiscano con più chiarezza l'entità della predisposizione dei terreni alla liquefazione;
- 3 • chiara espressione favorevole per l'utilizzo dell'area rispetto agli strumenti urbanistici

Sarà inoltre necessario riportare:

- 4 • gli spettri di risposta sismica delle aree critiche, per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%;
- 5 • determinare l'indice di potenziale liquefazione IL in funzione del Fattore di sicurezza FL, a sua volta in funzione di CRR (resistenza ciclica normalizzata) e di CSR (tensione indotta dal terremoto);
- 6 • calcolo dei cedimenti post-sismici in terreni granulari e/o coesivi.
- 7 • la definizione dei fattori di amplificazione locale (FA) devono essere ricavati da apposita modellistica di simulazione sismica. I criteri di elaborazione ed i dati di ingresso devono essere esposti, anche in formato numerico, nella relazione geologica.

Premessa:

In merito all'ubicazione dell'area in esame, alla sua caratterizzazione geologica, geomorfologico-deposizionale, idrogeologica e sismica ed a tutti gli altri contenuti non relativi alla sopra riportata richiesta di integrazione, si rimanda alla relazione originaria, redatta dallo scrivente in data 01/09/2017.

Si procederà seguendo i punti sopra indicati; per quanto riguarda i punti 1, 4, e 7 ci si rifarà allo Studio di Risposta Sismica Locale (RSL), in merito ai punti 2 e 5 si rimanda all'apposito paragrafo relativo alla quantificazione degli effetti co- sismici. Il punto 3 sarà quindi la sintesi conclusiva della presente relazione di integrazione.

Nella relazione originaria dell'anno 2017 si riportavano considerazioni di bibliografia dai dati del PSC relative sia ai Fattori d'Amplificazione (i seguenti: FA (PGA) = 1,50; FA SI (0,10 - 0,50 s) = 1,80; FA SI (0,50 - 1,00 s) = 2,50; il Contesto -da apposita Delibera Regionale- è il "PIANURA 2") sia considerazioni circa il fenomeno della Liquefazione degli orizzonti saturi granulari). Nel frattempo l'Unione dei Comuni Reno- Galliera si è dotata di apposito Studio di Microzonazione Sismica di secondo Livello (MSIIL) al quale ci si potrà quindi riferire nella presente relazione di integrazione. Lo scrivente ritiene comunque (ne è fortemente convinto) che, come fra l'altro riportato nella relazione originaria, non sia la fase di Caratterizzazione Geologica e Sismica di un Ambito quella in cui si debba procedere a Studi di III Livello. Infatti nella logica di una progressiva definizione di un sempre maggior dettaglio di studio dell'area, sarebbe ben più opportuno ed altamente più proficuo procedere a "coprire" i singoli lotti di intervento con apposite (e non sempre uguali, in dipendenza delle aree di intervento) indagini (di Laboratorio Geotecnico, Penetrometriche, Stratigrafiche, Geofisiche ecc.) e ciò anche considerando la Legislazione Nazionale (DM/NTC) e le sue specificità, che sono prestazionali, relative ad ogni singola edificazione e temporalmente successive a qualsivoglia intento e/o strumento di Pianificazione. Purtroppo in Regione Emilia- Romagna succede spesso che le fasi di Pianificazione Territoriale pretendano livelli di approfondimento eccessivi ed utili solo in fase di progettazione diretta. O meglio, che in fase di Pianificazione possono servire a nulla o essere addirittura fuorvianti. Per meglio calare questo concetto all'area in esame ed alla fase di studio presente si osservi che comunque in tale fase di studio è velleitario pensare di "coprire" tutti i lotti con le necessarie indagini puntuali e ciò perché -ad esempio- anche se non soprattutto perché allo stato attuale non è possibile conoscere ingombri dei singoli edifici, loro tipologie fondali né altri dati progettuali che li caratterizzeranno dal punto di vista geotecnico e sismico. Allo scrivente pare più corretto che una corretta pianificazione potrebbe (anzi dovrebbe) "limitarsi" (ovvero risulterebbe molto più utile) a riportare/indicare problematiche e limitazioni locali (a scale meglio identificative, ovviamente, che non di quelle della cartografia di massima, del PSC) che dovranno poi essere affrontate nelle seguenti fasi di indagine e di progettazione (per i singoli lotti/interventi diretti). Si osservi ad esempio il risultato finale della presente relazione di integrazione: verranno riportati alcuni dati puntuali di Indice di Potenziale Liquefazione e si riporteranno dati di FA.... Bene, quale sarà però la fase in cui si potrà essere certi che tali dati potranno essere ritenuti validi per l'intera area di lottizzazione? La fase in cui tutta l'area di lottizzazione sarà stata indagata, ovvero a fine dell'intero intervento di lottizzazione! A meno che non si voglia indagare ogni singolo lotto già in questa fase ma a questo punto cosa farsene del DM/NTC? Eh appunto, cosa farsene specie se si pretende(ss) di svolgere tutte queste indagini in una fase in cui nulla si conosce di dimensioni fondali, loro tipologie, distribuzione dei carichi ecc. Così facendo si pretende che il Professionista esprima un giudizio di fattibilità rispetto agli interventi da realizzarsi in futuro. Si osservi quanto segue: invece di un "chiara espressione favorevole per l'utilizzo

dell'area rispetto agli Strumenti Urbanistici" (punto 3) non si potrà che esprimere un giudizio di massima circa l'edificabilità dell'area di lottizzazione ed eventualmente non si potranno che aggiungersi raccomandazioni ed eventualmente penalizzazioni e, cosa premiante (questa sì), se del caso, riportare raccomandazioni e prescrizioni per le fasi di indagine e di edificazione relative alla progettazione/realizzazione dei singoli interventi.

Infatti, ad esempio, nel caso di eventuale difformità più o meno marcata delle deposizioni caratterizzanti l'area in esame e/o della distribuzione degli indici ILP (ad esempio), come si ritiene possibile poter pretendere di estendere le risultanze dello Studio di RSL all'intera area di lottizzazione ovvero ad ogni singolo lotto (si pensi ad esempio alle varie Classi d'Uso che possono caratterizzare i vari edifici ed anche ad altre componenti locali molto importanti per la definizione di una RSL).? Forse non sarà questo il caso ma sarebbe ora che ci si cominciasse a calare maggiormente nella realtà delle cose e nelle reali necessità di chi deve costruire.

Nonostante tali convinzioni, stante le richieste di integrazione, lo scrivente procederà ad eseguire apposito Studio di Risposta Sismica Locale. Lo scrivente è ad esplicitare che tale studio di RSL non potrà essere trasposto ad ogni singola edificazione se non a seguito di opportuna analisi critica delle singole situazioni geologiche e progettuali puntuali.

Si è poi a far ulteriormente osservare che non si comprende il significato della richiesta circa l'utilizzo dell'area rispetto agli Strumenti Urbanistici. L'area dovrebbe essere utilizzabile per i fini edificatori e non per fini urbanistici (forse la questione risulta mal posta e/o mal formulata). Gli strumenti urbanistici a vario livello (PTCP, PSC, MSIL) danno indicazioni circa potenziali limitazioni/penalizzazioni all'utilizzo dell'area in esame. Lo scrivente li ha illustrati (in merito a PTCP e PSC) nella relazione originaria e li illustrerà (in merito allo Studio di MSIL) nella presente. Ha altresì approfondito e lo farà ulteriormente tali componenti di limitazione ma che l'area sia congrua o meno alla pianificazione urbanistica non compete allo scrivente. In sostanza pare comprendersi che si chiede allo scrivente se ubicazioni decise da altri in altre sedi, in altre fasi (per ragioni le più vari) consentano la realizzazione di interventi edificatori (ancora una volta: di quale natura? Di che tipo? E le strutture fondali? E i carichi al piede ed in elevazione? E le performances accettabili per cedimenti ecc.? e viè disponibilità a ridurre le eventuali penalizzazioni? Ecc.) sull'area stessa. Posto che normalmente nelle pianure dell'Emilia- Romagna è quasi sempre possibile costruire ed in certi casi (spesso) è possibile affrontare problematiche geologiche e geotecniche (a volte anche quelle della liquefazione e/o dei cedimenti), del resto è spesso una questione di possibilità economiche/sostenibilità. Posto che come già detto la questione sembra semplicemente mal posta o non congrua o non rilevante si è a concludere che lo scrivente si esprimerà solamente sulla possibilità di realizzare edifici sull'area di lottizzazione indicando alla bisogna limitazioni, penalizzazioni e ove lo ritenga necessario riportando suggerimenti e prescrizioni.

Punti 1, 4 e 7:

Onde rispondere alle richieste di Integrazione di cui ai sopra elencati punti 1, 4 e 7 ed in seguito per poter definire i valori di potenziale liquefazione (di cui ai punti 2 e 5) occorre eseguire apposito Studio di Risposta Sismica Locale che verrà illustrato di seguito.

Si premette che la definizione di un modello di Risposta Sismica Locale è un esercizio molto complesso che deve prendere in considerazione elementi di difficile definizione nei territori della Bassa Padana, che sono caratterizzati da spessori pluri-ettometrici (sino a Kilometrici) di deposizioni sciolte e di alternanze molto complesse di tali deposizioni. E dove le caratteristiche geo-meccaniche e geofisiche dei terreni sono definibili, in maniera precisa, sino a profondità molto ridotte, ovvero dove tali definizioni sono da ricondursi soprattutto a dati di bibliografia tecnica che spesso derivano da località lontane e non sempre correttamente assimilabili a quelle in esame. In tale esercizio normalmente aiutano purtroppo poco gli studi di MS redatti dalle Amministrazioni Comunali, che appaiono infatti avere soprattutto l'intento di definire i temi co-sismici (liquefazione, cedimenti sismici e post-sismici) senza invece considerare che sarebbe molto più importante e proficuo individuare modelli stratigrafici locali, geomeccanici e sismici profondi. A cosa serve definire l'Indice di Potenziale Liquefazione (ILP) di tanti punti sparsi sul territorio quando questi ILP non vengono contestualizzati o quando addirittura anche solo variando semplici dati progettuali (ancora una volta, come esempio: la Classe d'Uso) la loro validità scompare!? Si osserva però e con grande soddisfazione che invece lo Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale mette a disposizione dati (che come si vedrà più oltre saranno presi in debita considerazione) molto più utili e proficui dei normali contenuti di MS. I Colleghi redattori di tale Studio hanno operato nel segno della massima utilità dello strumento stesso. La cosa è raramente riscontrabile e va a somma lode dei Professionisti che hanno eseguito il citato lavoro.

Questa premessa non è funzionale al solo contestualizzare il di seguito illustrato Studio e ad individuarne i limiti ma serve altresì per ribadire e con forza, quanto precedentemente sostenuto ovvero che detti Studi di RSL sarebbero molto più utili qualora realizzati nella corretta fase di intervento (Autorizzazione/Deposito Sismico, ovvero la fase Progettuale), ovvero quella dove si conoscono i dati progettuali. La presente relazione, così come l'originaria raccomanda ulteriormente ai singoli progettisti di eseguire detti studi di RSL in fase di studio e progettazione dei singoli interventi edificatori.

Per l'approntamento dello Studio di RSL, nella fattispecie ci si è riferiti a vari dati di caratterizzazione locale. Fra i quali vi sono i dati di stratigrafia profonda disponibili all'apposito database della Regione Emilia-Romagna (in sostanza la Sez. 32 riportata all'originaria relazione), per quanto riguarda invece la stratigrafia superficiale ci si riferirà alla Sezione locale (per la quale si rimanda alla

relazione originaria) ed alle seguenti sezioni contenute nei documenti di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale, nonché ai dati derivanti dall'indagine geofisica locale (per la quale si rimanda alla relazione originaria).

Per la caratterizzazione dei terreni locali ci si è riferiti ai molto proficui dati contenuti nello Studio di MSIIL, dati derivanti da un sondaggio stratigrafico eseguito alla distanza di circa 900 m a Sud dell'area in esame e che si ritiene di poter considerare rappresentativo pur nei limiti dei diversi ambiti deposizionali.

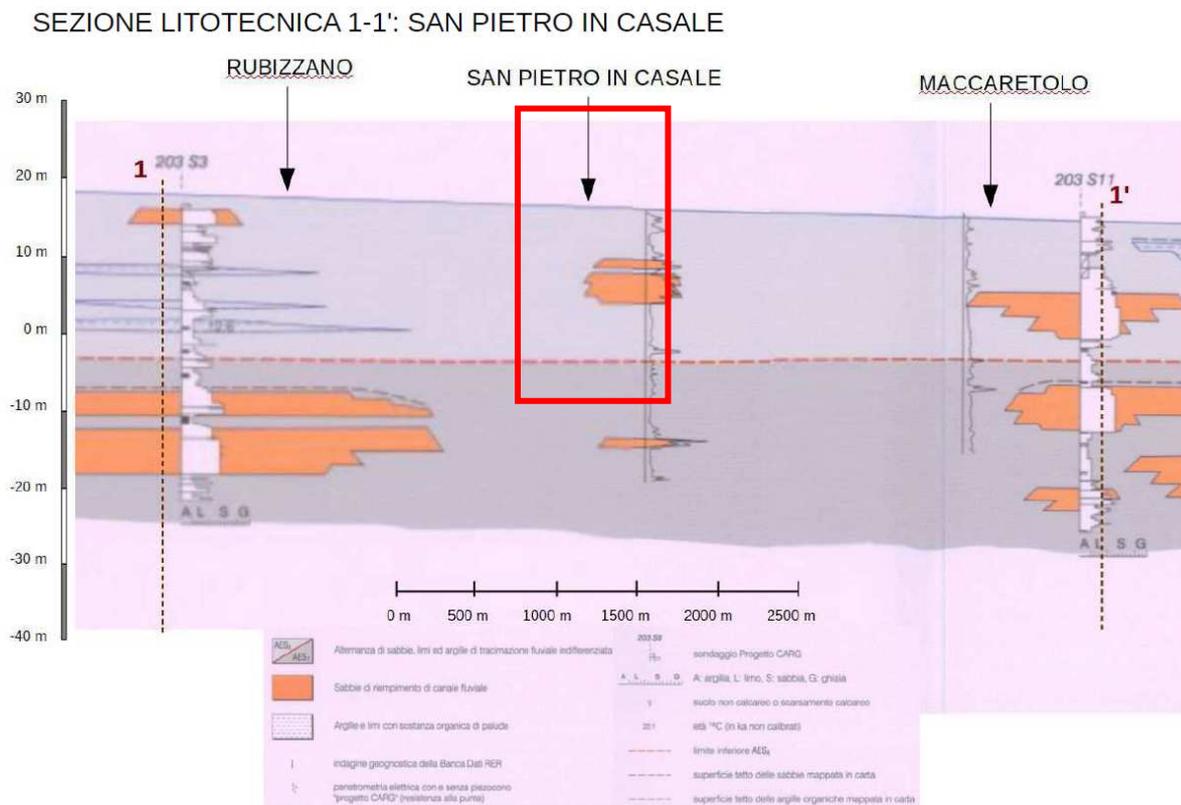


Fig. 1: stralcio a Scala Libera della Sez. 1- 1' del lavoro di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. La sezione locale (riportata alla relazione originaria) è in buon accordo con la presente sezione.

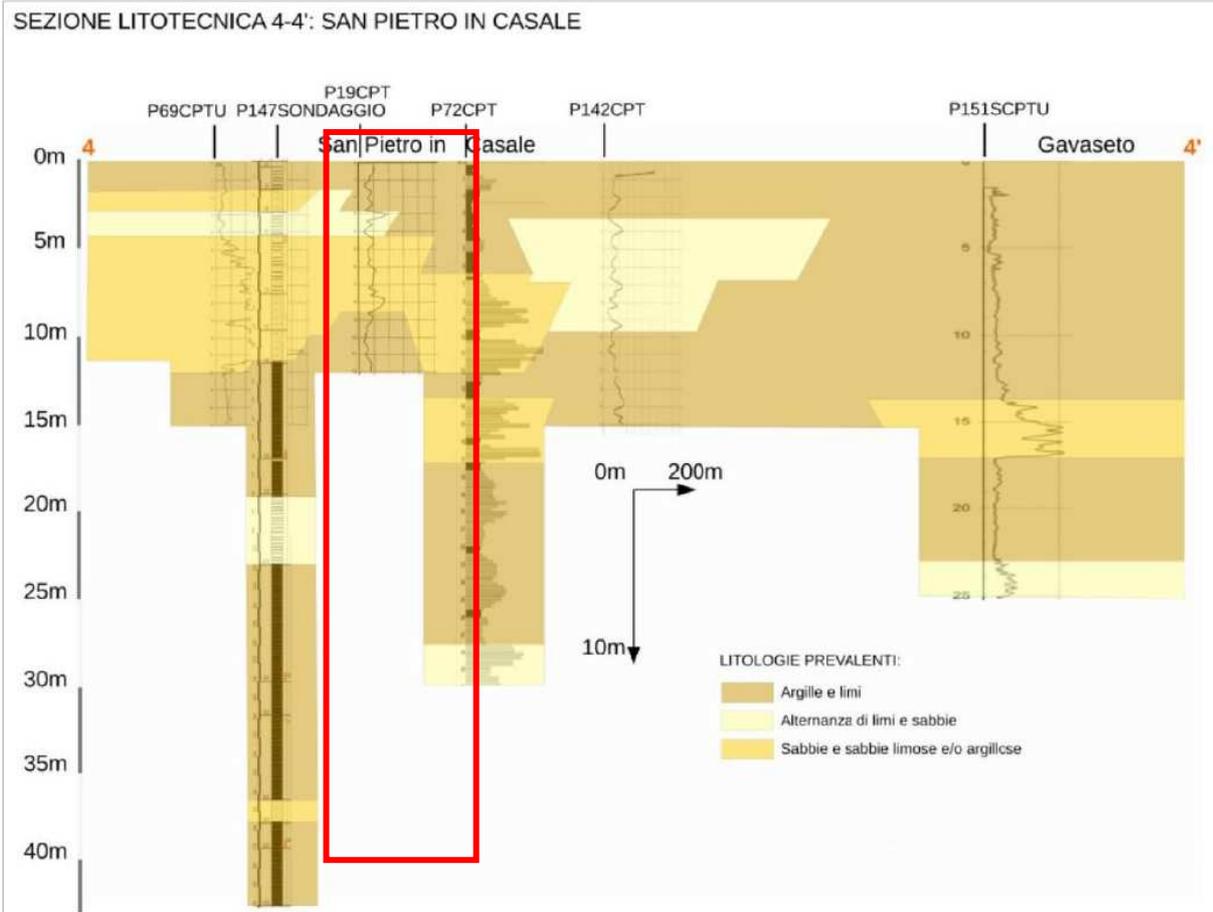


Fig. 2: stralcio a Scala Libera della Sez. 1- 1' del lavoro di MSIL del Comune di San Pietro in Casale. La sezione locale (riportata alla relazione originaria) è in buon accordo con la presente sezione.

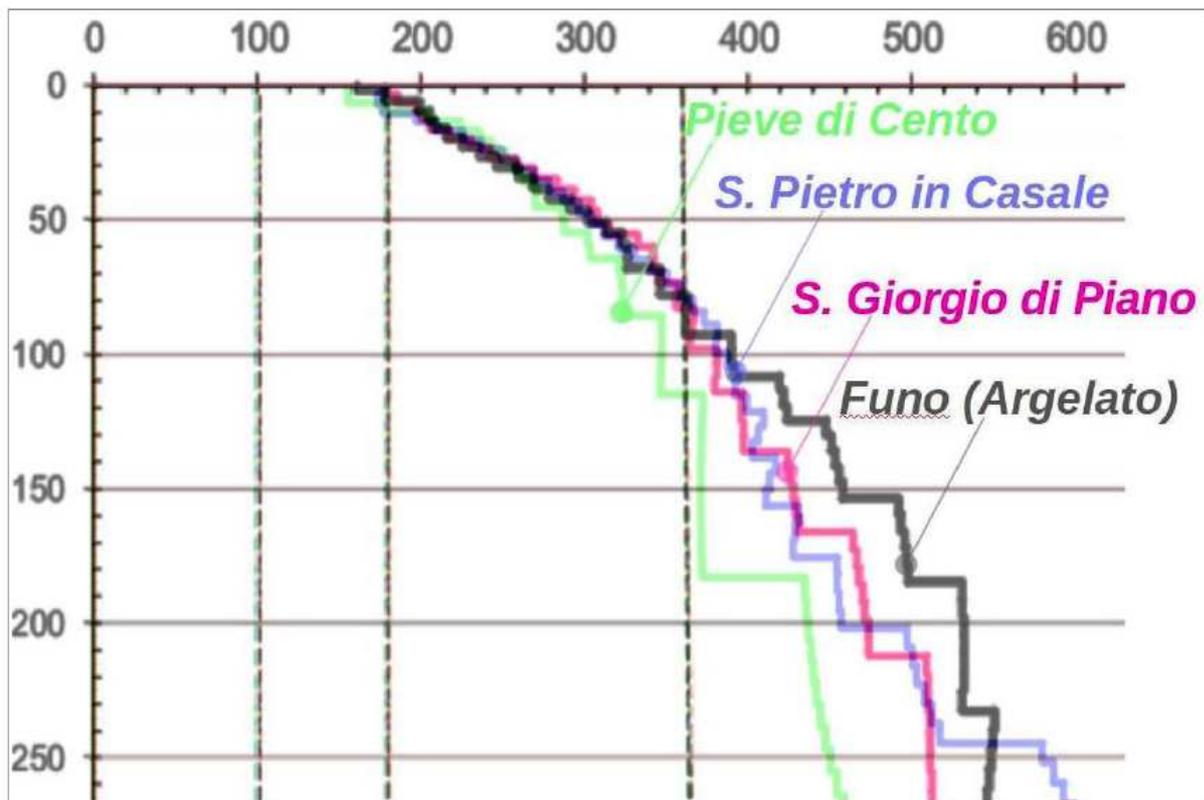


Fig. 3: confronto fra modelli stratigrafici di Vs (discendenti da misure ESAC) del lavoro di MSIL del Comune di San Pietro in Casale.

In merito alle critiche sopra riportate circa gli studi di MS che normalmente possono riscontrarsi come componenti delle varie pianificazioni comunali, occorre riportare che la MSIL del Comune di San Pietro in Casale si è dimostrata invece particolarmente utile per meglio caratterizzare gli orizzonti presenti fra -40 m dal p.c. ed il p.c. stesso. Ovviamente stratigrafia e caratterizzazione più profonda scontano ancora le incertezze già descritte.

RSL: Introduzione; procedura di calcolo:

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;
 Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido

di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone:

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come:

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come:

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto:

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

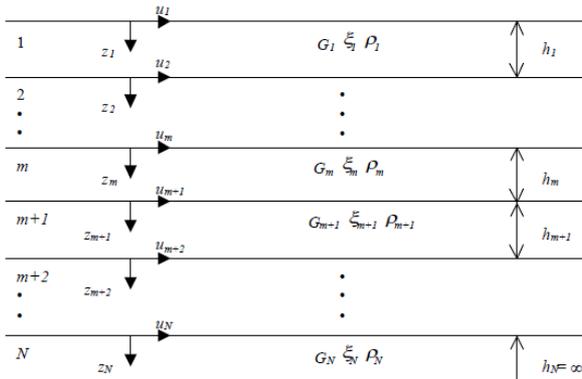


Fig. 4/1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$E_m + F_m = E_{m+1} + F_{m+1} \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che:

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha:

$$E_m - F_m = E_{m+1} - F_{m+1} \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene:

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n . In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$v(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad a(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{v_m}{v_n} = \frac{a_m}{a_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

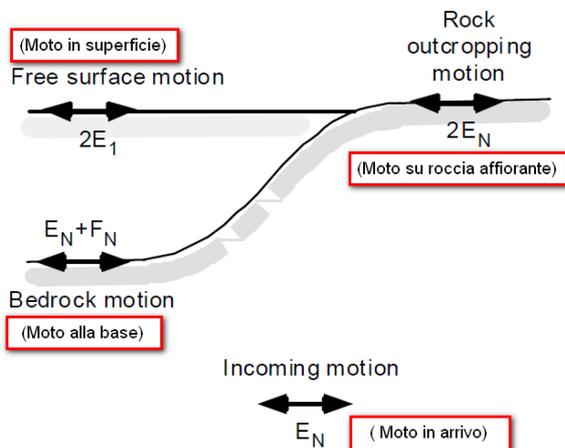


Fig. 4/2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

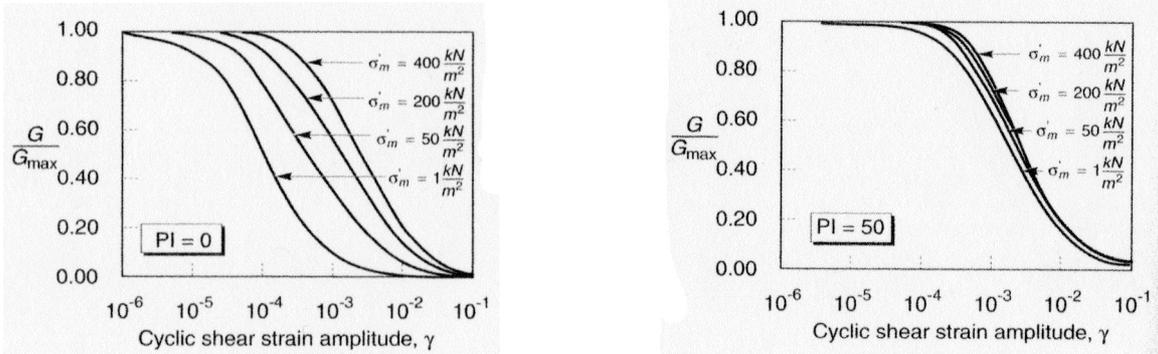
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione:

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.



Figg. 4/3: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

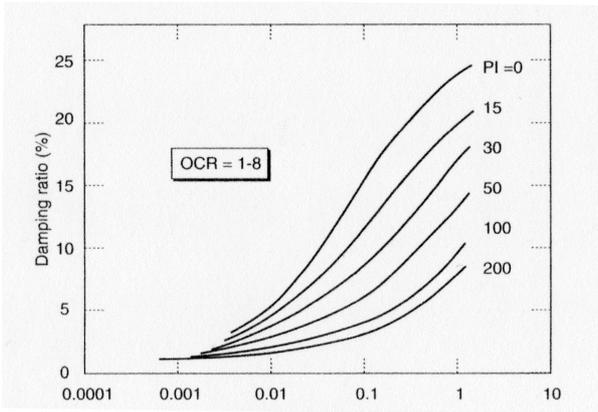


Fig. 4/4: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Studio di RSL, risultanze:

Dati generali:

Descrizione	RSL per Lottizzazione
Committente	Arcch. Gamberini e Mazzoni
Cantiere	San Pietro in Casale (BO)
Via	Stangolini- Genova
Latitudine	44.7054443359375[°]
Longitudine	11.4121932983398[°]

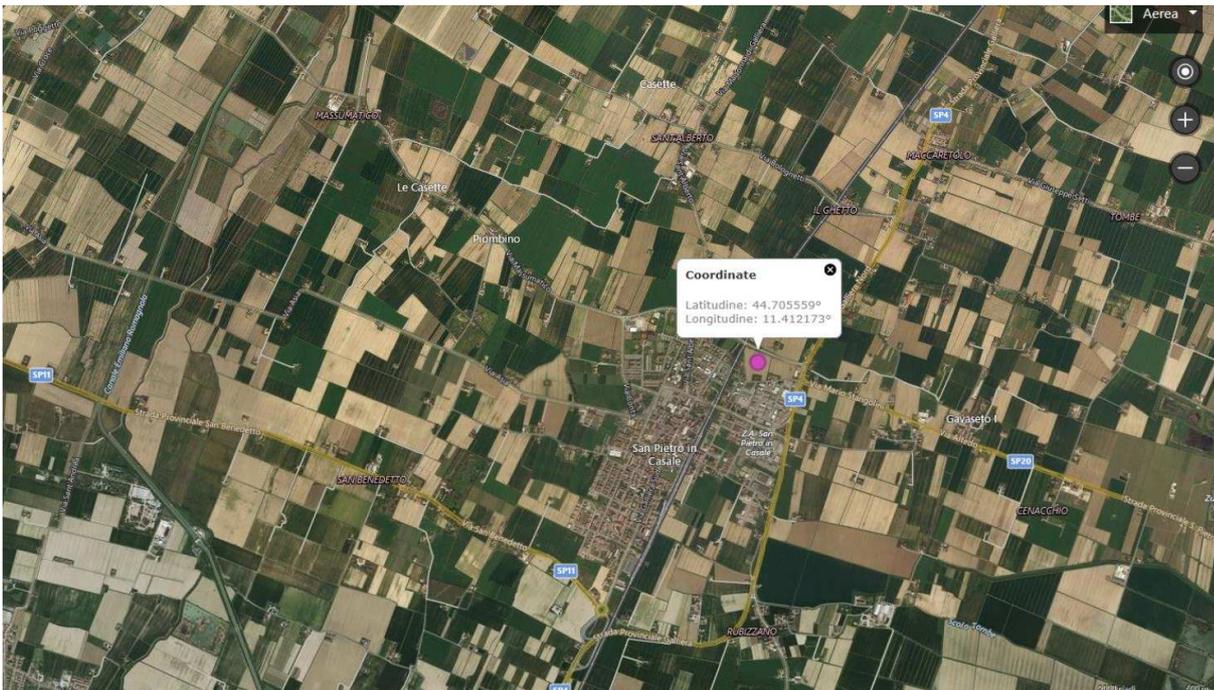


Fig. 5/1: Ubicazione area in esame. Scala Libera.

Stratigrafia:

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	11.0	Sabbia Limo- Argillosa SPCasale Sup	49.58	19.0	160.0	104.5
2	11.0	11.0	Limo Argilloso Str2 SPCasale	105.69	18.0	240.0	254.0
3	22.0	40.0	Argilla Limosa Str3 SPCasale	162.88	19.0	290.0	482.9
4	62.0	100.0	Seed et al. (1986) Sand - Lower Bound	326.20	20.0	400.0	1176.2
5	162.0	200.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	904.43	21.0	650.0	2804.7
6	oo	--	Idriss (1990) Rock	2242.61	22.0	1000.0	3923.7

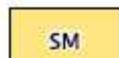
Strato con falda: 1

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante

Tab. 1.

Materiali:

Come già riportato in precedenza, la caratterizzazione dei primi tre strati (sopra evidenziato in grassetto) utilizzati nella presente RSL deriva in modo diretto dai dati dello Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. Fortuna vuole infatti che i redattori dello Studio di MS abbiano eseguito apposite analisi di Laboratorio Geotecnico su campioni indisturbati di terreno raccolti in un sondaggio stratigrafico eseguito a 1 300 metri dall'area in esame e che complessivamente può essere ritenuto sufficientemente congruo con le deposizioni caratterizzanti l'area stessa e per cui può essere ritenuto di sufficientemente corretto riferimento. In merito a ciò si osservi quanto riporta l'apposita Cartografia di MSIIL che indica per l'area in esame la presenza delle seguenti "coperture":



Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi prevalenti - argine/barre/canali (es).

Che dovrà però essere messa in riferimento alle Sezioni riportate alle Figg. 1 e 2, tale riferimento darà conto altresì delle incertezze degli elaborati di Pianificazione. Si tralascerà il significato del termine "copertura" in un ambito di deposizioni così profonde come quello della bassa Pianura Padana.

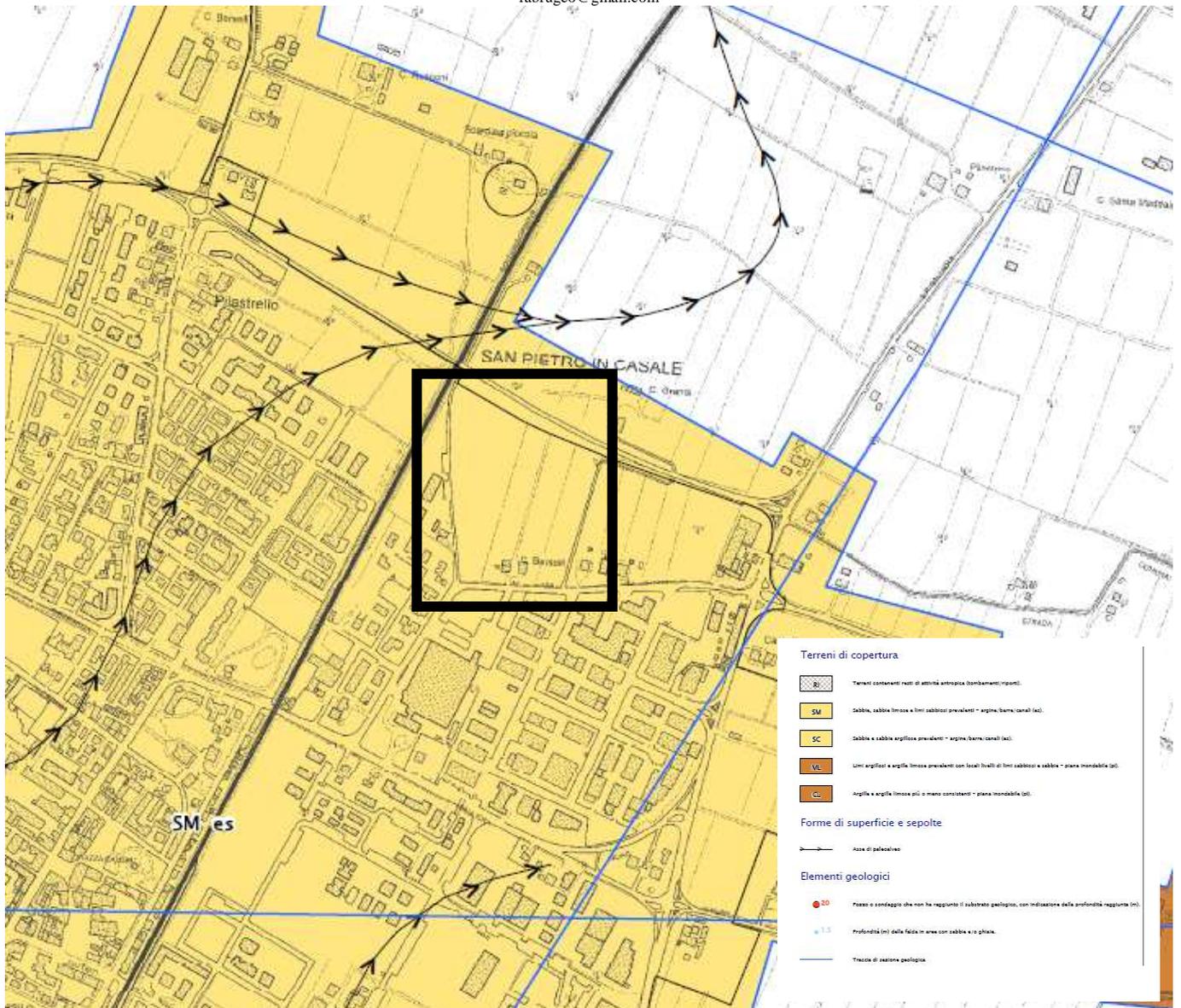
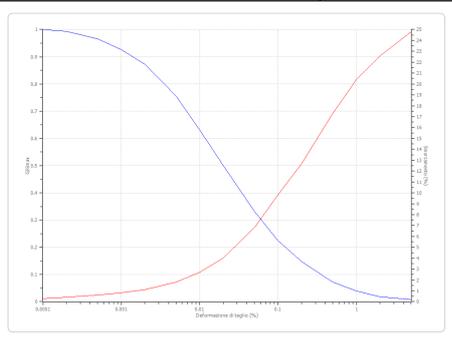


Fig. 5/2: Stralcio a Scala Libera della Tav. 2: Carta Geologico- Tecnica dello Studio di MSIL e Legenda.

Seed et al. (1986) Sand - Lower Bound:

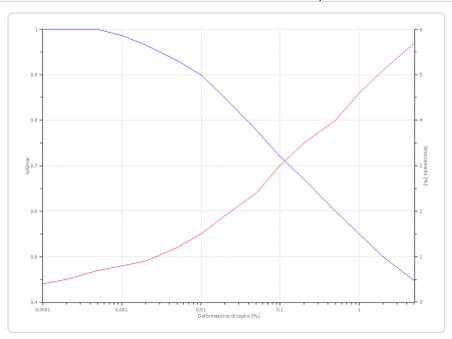
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.300
0.0002	0.994	0.0002	0.400
0.0005	0.966	0.0005	0.600
0.001	0.926	0.001	0.800
0.002	0.872	0.002	1.100
0.005	0.756	0.005	1.800
0.010	0.631	0.010	2.700
0.020	0.500	0.020	4.000
0.050	0.333	0.050	6.800
0.100	0.224	0.100	9.800
0.200	0.148	0.200	12.700
0.500	0.072	0.500	17.300
1.000	0.040	1.000	20.400
2.000	0.018	2.000	22.600
5.000	0.009	5.000	24.800



Tab. 2 e Fig. 5/3.

Idriss (1990) Rock:

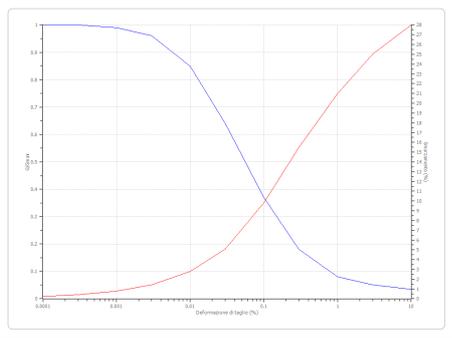
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



Tab. 3 e Fig. 5/4.

Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

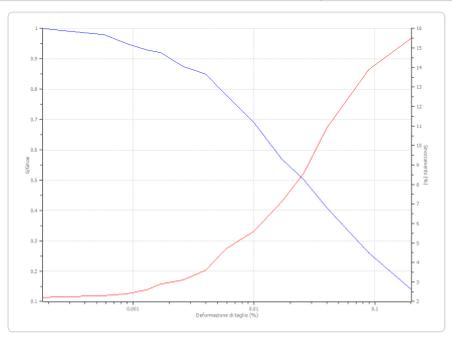
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Tab. 4 e Fig. 5/5.

Sabbia Limo- Argillosa SPCasale Sup:

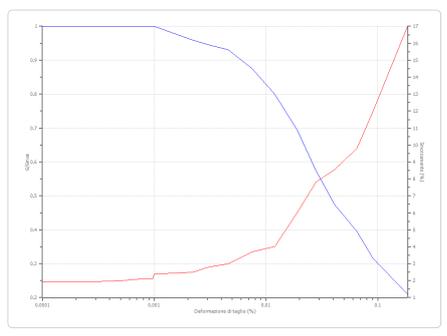
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00018	1.000	0.00018	2.200
0.00032	0.990	0.00032	2.250
0.00058	0.980	0.00058	2.300
0.00089	0.950	0.00089	2.400
0.0013	0.930	0.0013	2.600
0.0017	0.920	0.0017	2.900
0.0026	0.875	0.0026	3.100
0.004	0.850	0.004	3.600
0.0059	0.780	0.0059	4.700
0.010	0.690	0.010	5.600
0.017	0.570	0.017	7.100
0.026	0.500	0.026	8.600
0.040	0.410	0.040	10.900
0.089	0.260	0.089	13.900
0.200	0.140	0.200	15.500



Tab. 5 e Fig. 5/6.

Limo Argilloso Str2 SPCasale:

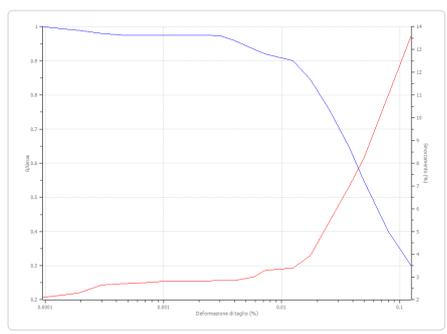
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.950
0.0002	1.000	0.0002	1.950
0.0003	1.000	0.0003	1.950
0.0005	1.000	0.0005	2.000
0.00075	1.000	0.00075	2.100
0.00097	1.000	0.00097	2.100
0.001	1.000	0.001	2.400
0.0022	0.960	0.0022	2.500
0.0031	0.945	0.0031	2.800
0.0046	0.930	0.0046	3.000
0.0075	0.875	0.0075	3.700
0.012	0.800	0.012	4.000
0.019	0.695	0.019	6.000
0.028	0.575	0.028	7.800
0.041	0.475	0.041	8.550
0.065	0.395	0.065	9.800
0.091	0.315	0.091	12.000
0.185	0.210	0.185	17.000



Tab. 6 e Fig. 5/7.

Argilla Limosa Str3 SPCasale:

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.000095	1.000	0.000095	2.100
0.00019	0.990	0.00019	2.300
0.0003	0.980	0.0003	2.650
0.00046	0.975	0.00046	2.700
0.000675	0.975	0.000675	2.750
0.000975	0.975	0.000975	2.800
0.0015	0.975	0.0015	2.820
0.0022	0.975	0.0022	2.830
0.003	0.974	0.003	2.840
0.004	0.960	0.004	2.850
0.0058	0.935	0.0058	3.000
0.0073	0.920	0.0073	3.300
0.0125	0.900	0.0125	3.400
0.0175	0.845	0.0175	3.950
0.0255	0.755	0.0255	5.450
0.0375	0.645	0.0375	7.000
0.0495	0.550	0.0495	8.200
0.080	0.400	0.080	11.000
0.125	0.300	0.125	13.600



Tab. 7 e Fig. 5/8.

RSL, Elaborazione:

Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake 91
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.24 E-04

Fattori di amplificazione ICMS 2018:

Tai 0.200 [s]
 Tvi 0.920 [s]
 Tao 0.460 [s]
 Tvo 0.860 [s]
 Sami 3.868 [m/s²]
 Svmi 0.203 [m/s]
 Samo 4.255 [m/s²]
 Svmo 0.424 [m/s]
Fa 1.100 [-]
Fv 2.085 [-]
 TB 0.209 [s]
 TC 0.626 [s]
 TD 2.283 [s]
 SA(0) 0.171 [g]
 SA(TB) 0.496 [g]

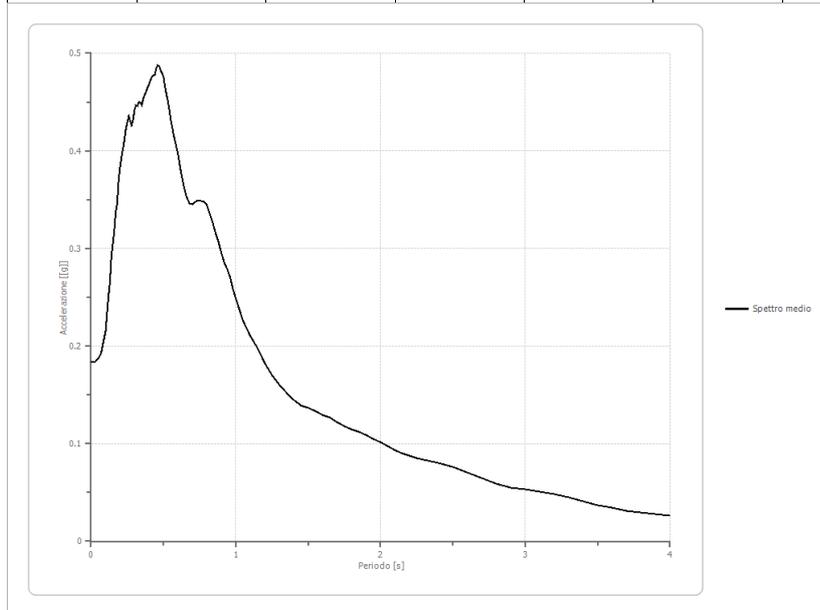
Fattori di amplificazione su intensità spettrale:

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.057	0.072	0.200	1.267
0.500	1.000	0.098	0.200	0.500	2.034
0.100	1.500	0.252	0.460	0.067	1.821
0.100	2.500	0.438	0.818	0.040	1.868

Tab. 8.

Spettro medio di risposta elastico:

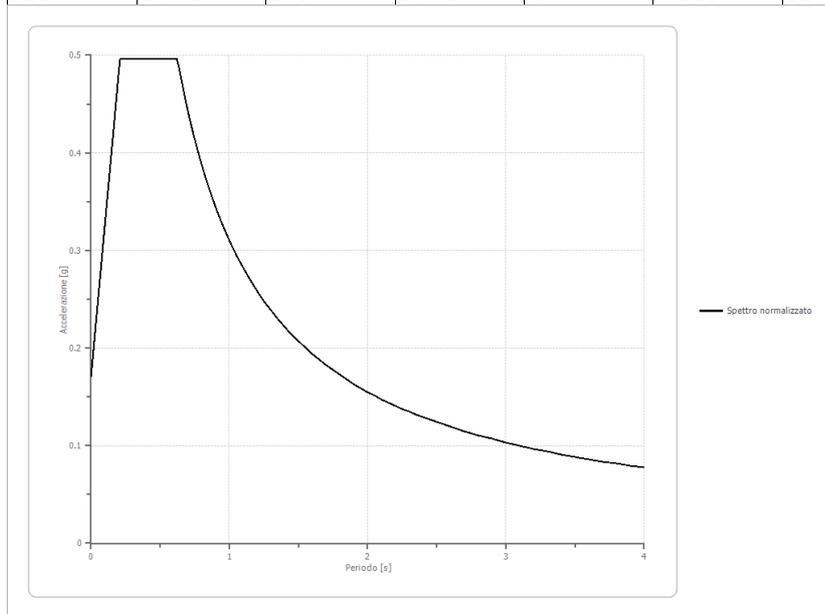
Periodo [s]	Accelerazioni [g]								
0.00	0.1833	0.26	0.4357	0.52	0.4580	0.98	0.2590	2.25	0.0851
0.01	0.1833	0.27	0.4308	0.53	0.4513	1.00	0.2490	2.30	0.0834
0.02	0.1836	0.28	0.4265	0.54	0.4427	1.05	0.2258	2.35	0.0820
0.03	0.1844	0.29	0.4324	0.55	0.4318	1.10	0.2107	2.40	0.0804
0.04	0.1857	0.30	0.4422	0.56	0.4251	1.15	0.1982	2.50	0.0759
0.05	0.1874	0.31	0.4464	0.57	0.4167	1.20	0.1821	2.60	0.0704
0.06	0.1900	0.32	0.4461	0.58	0.4103	1.25	0.1705	2.70	0.0644
0.07	0.1933	0.33	0.4497	0.60	0.3966	1.30	0.1608	2.80	0.0589
0.08	0.2001	0.34	0.4495	0.62	0.3788	1.35	0.1524	2.90	0.0548
0.09	0.2076	0.35	0.4467	0.64	0.3639	1.40	0.1447	3.00	0.0529
0.10	0.2149	0.36	0.4536	0.66	0.3524	1.45	0.1388	3.10	0.0510
0.11	0.2323	0.37	0.4575	0.68	0.3458	1.50	0.1366	3.20	0.0482
0.12	0.2515	0.38	0.4606	0.70	0.3456	1.55	0.1332	3.30	0.0449
0.13	0.2648	0.39	0.4649	0.72	0.3481	1.60	0.1296	3.40	0.0409
0.14	0.2912	0.40	0.4679	0.74	0.3497	1.65	0.1266	3.50	0.0372
0.15	0.3044	0.41	0.4724	0.76	0.3484	1.70	0.1223	3.60	0.0341
0.16	0.3171	0.42	0.4760	0.78	0.3475	1.75	0.1179	3.70	0.0314
0.17	0.3374	0.43	0.4773	0.80	0.3443	1.80	0.1142	3.80	0.0298
0.18	0.3465	0.44	0.4783	0.82	0.3358	1.85	0.1120	3.90	0.0280
0.19	0.3690	0.45	0.4845	0.84	0.3261	1.90	0.1091	4.00	0.0261
0.20	0.3827	0.46	0.4876	0.86	0.3160	1.95	0.1045		
0.21	0.3939	0.47	0.4868	0.88	0.3067	2.00	0.1014		
0.22	0.4019	0.48	0.4829	0.90	0.2957	2.05	0.0975		
0.23	0.4112	0.49	0.4795	0.92	0.2858	2.10	0.0935		
0.24	0.4220	0.50	0.4766	0.94	0.2794	2.15	0.0904		
0.25	0.4288	0.51	0.4666	0.96	0.2707	2.20	0.0875		



Tab. 9, Fig. 5/9.

Spettro normalizzato di risposta elastico:

Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	0.1707	0.26	0.4958	0.52	0.4958	0.98	0.3165	2.25	0.1378
0.01	0.1863	0.27	0.4958	0.53	0.4958	1.00	0.3101	2.30	0.1348
0.02	0.2019	0.28	0.4958	0.54	0.4958	1.05	0.2954	2.35	0.1320
0.03	0.2174	0.29	0.4958	0.55	0.4958	1.10	0.2819	2.40	0.1292
0.04	0.2330	0.30	0.4958	0.56	0.4958	1.15	0.2697	2.50	0.1241
0.05	0.2486	0.31	0.4958	0.57	0.4958	1.20	0.2584	2.60	0.1193
0.06	0.2642	0.32	0.4958	0.58	0.4958	1.25	0.2481	2.70	0.1149
0.07	0.2798	0.33	0.4958	0.60	0.4958	1.30	0.2386	2.80	0.1108
0.08	0.2954	0.34	0.4958	0.62	0.4958	1.35	0.2297	2.90	0.1069
0.09	0.3110	0.35	0.4958	0.64	0.4846	1.40	0.2215	3.00	0.1034
0.10	0.3266	0.36	0.4958	0.66	0.4699	1.45	0.2139	3.10	0.1000
0.11	0.3422	0.37	0.4958	0.68	0.4561	1.50	0.2068	3.20	0.0969
0.12	0.3578	0.38	0.4958	0.70	0.4431	1.55	0.2001	3.30	0.0940
0.13	0.3733	0.39	0.4958	0.72	0.4307	1.60	0.1938	3.40	0.0912
0.14	0.3889	0.40	0.4958	0.74	0.4191	1.65	0.1880	3.50	0.0886
0.15	0.4045	0.41	0.4958	0.76	0.4081	1.70	0.1824	3.60	0.0861
0.16	0.4201	0.42	0.4958	0.78	0.3976	1.75	0.1772	3.70	0.0838
0.17	0.4357	0.43	0.4958	0.80	0.3877	1.80	0.1723	3.80	0.0816
0.18	0.4513	0.44	0.4958	0.82	0.3782	1.85	0.1676	3.90	0.0795
0.19	0.4669	0.45	0.4958	0.84	0.3692	1.90	0.1632	4.00	0.0775
0.20	0.4825	0.46	0.4958	0.86	0.3606	1.95	0.1590		
0.21	0.4958	0.47	0.4958	0.88	0.3524	2.00	0.1551		
0.22	0.4958	0.48	0.4958	0.90	0.3446	2.05	0.1513		
0.23	0.4958	0.49	0.4958	0.92	0.3371	2.10	0.1477		
0.24	0.4958	0.50	0.4958	0.94	0.3299	2.15	0.1442		
0.25	0.4958	0.51	0.4958	0.96	0.3231	2.20	0.1410		



Tab. 10, Fig. 5/10.

Parametri spettro normalizzato:

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.171	2.541141	--	0.209	0.626	2.283	0.171	0.496

Tab. 11.

Confronto tra gli spettri:

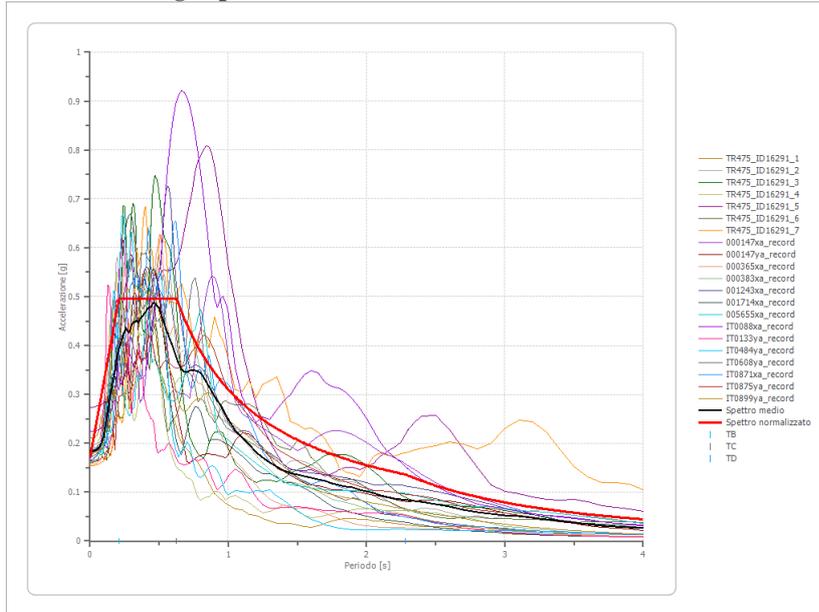


Fig. 5/11.

Confronto spettro normativa:

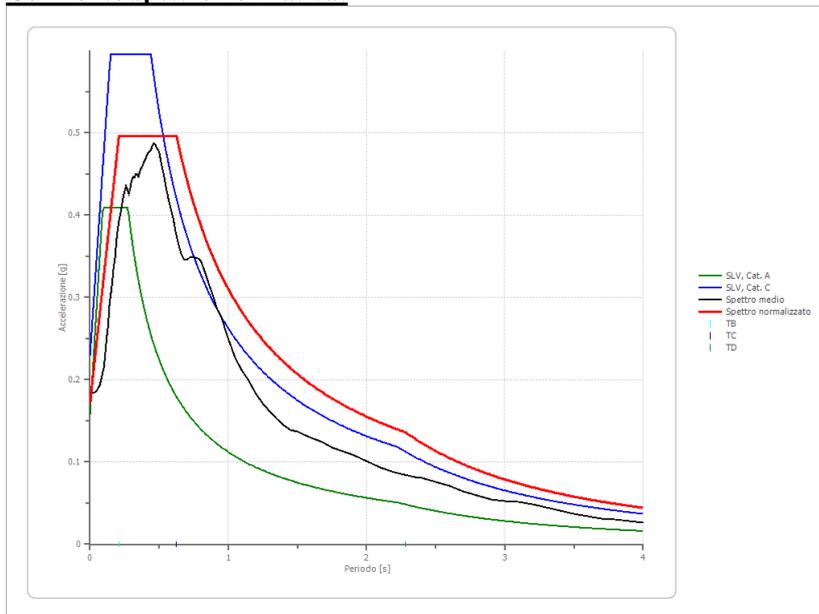
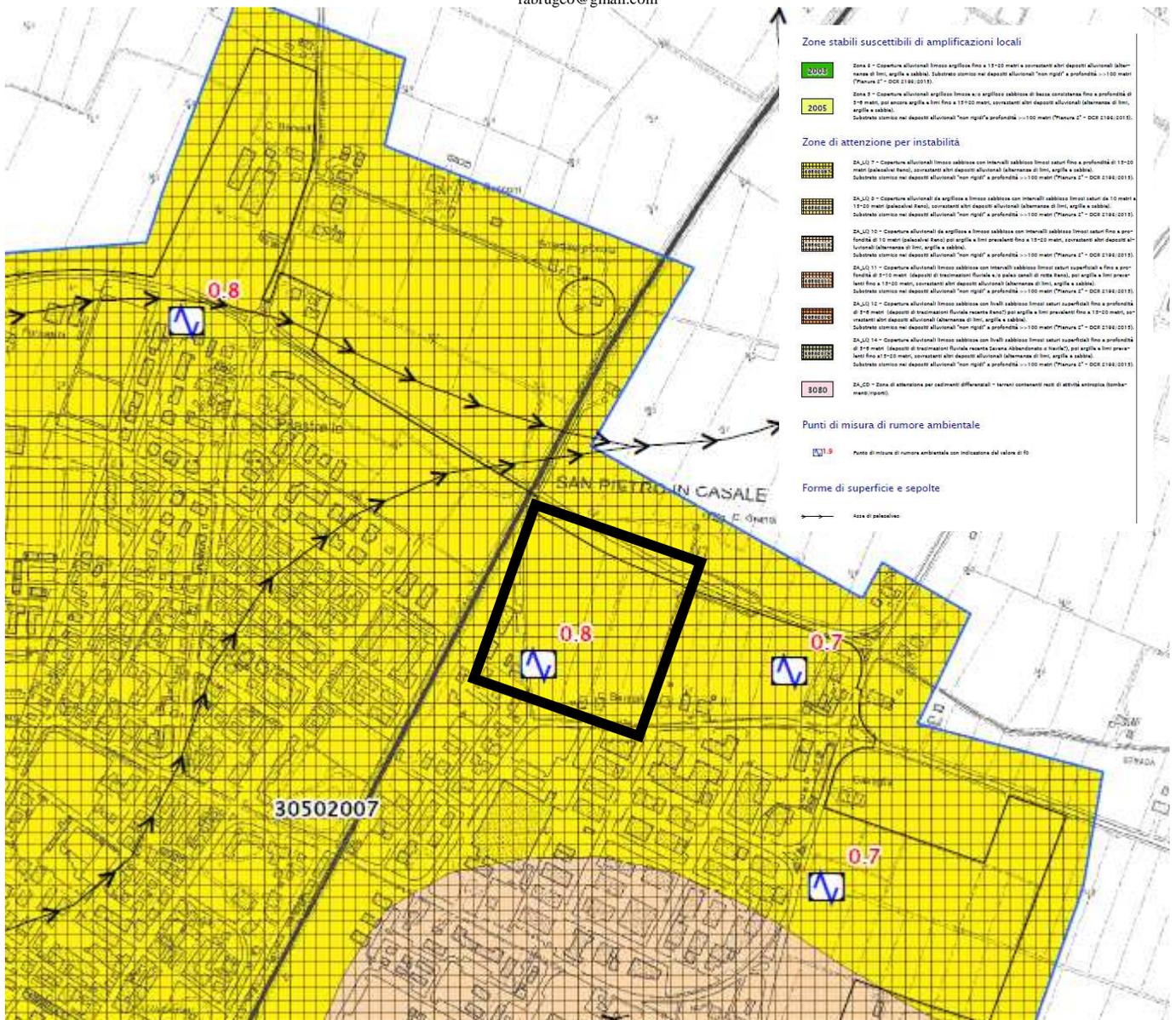
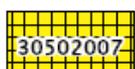


Fig. 5/12.

Si sono quindi riportati con dovizia di particolari i dati richiesti da Punti 1, 4 e 7 della Richiesta di Integrazioni (si aggiunga che già alla relazione originaria, alla Fig. 13/11 di Pag. 65 si riportavano informazioni in merito). Di seguito si riportano ulteriori informazioni in merito ai FA, tratte dallo Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale.



Zone di attenzione per instabilità



ZA_LQ 7 - Coperture alluvionali limoso sabbiose con intervalli sabbioso limosi saturi fino a profondità di 15-20 metri (paleovalvi Reno), sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie). Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità $\gg 100$ metri ("Pianura 2" - DGR 2193/2015).

Figg. 5/13: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. 4: Carta delle Micro- zone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) dello Studio di MSIL del Comune di San Pietro in Casale.

Per l'interpretazione della Tavola sopra riportata si rimanda anche a quanto riportato alle Pagg. 13 e 14 nonché ai contenuti della Relazione originaria. Per quanto riguarda le frequenze di vibrazione dei suoli locali si suggerisce, in fase di indagine e progettazione dei singoli eventuali edilizi di realizzare apposite misure tromografiche puntuali H/V.

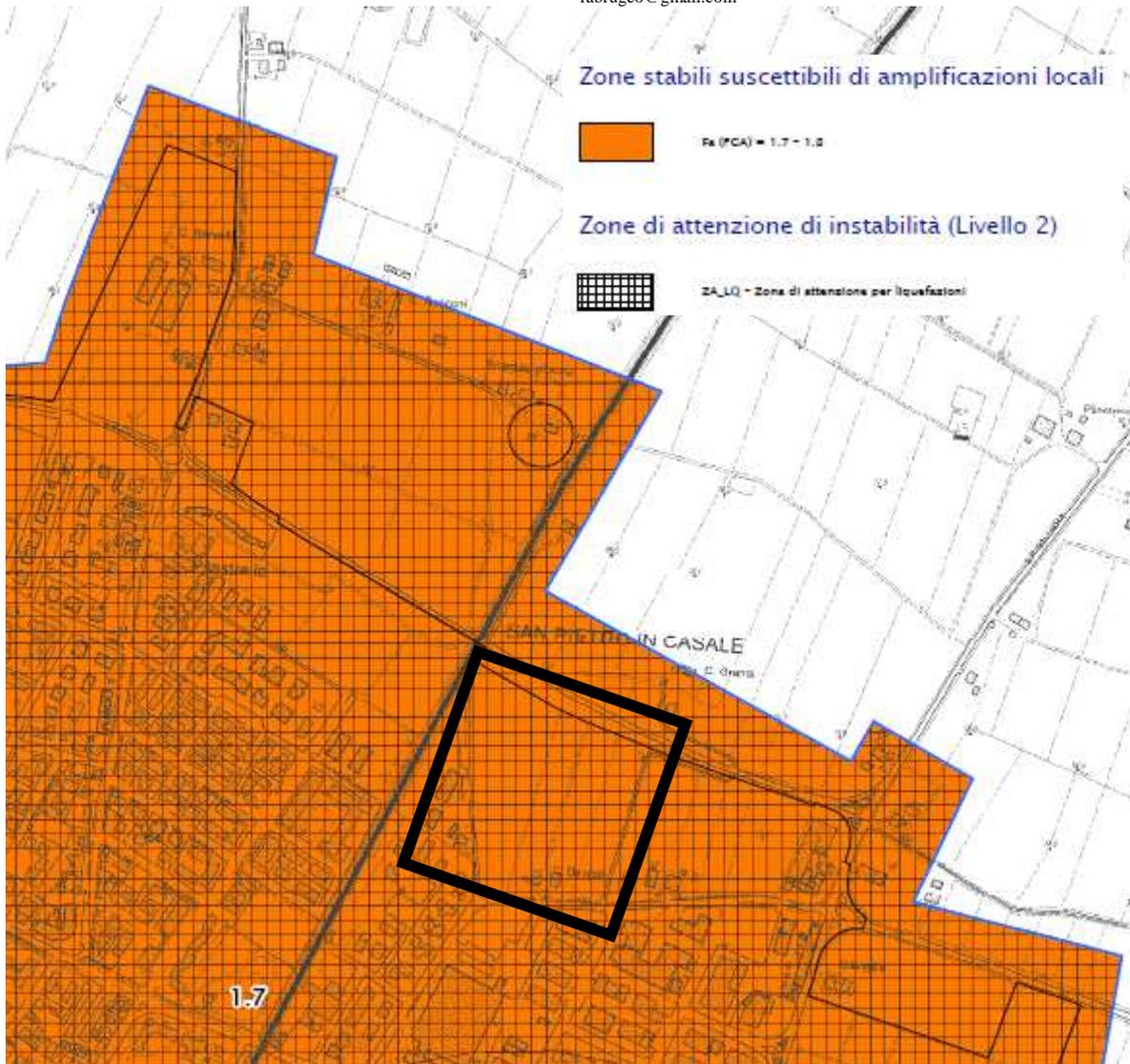


Fig. 5/14: Stralcio a Scala Libera della Tav. 6: FA PGA dello Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. Secondo lo Studio, la FA PGA è compresa fra 1,7 e 1,8; la carta indica 1,7.

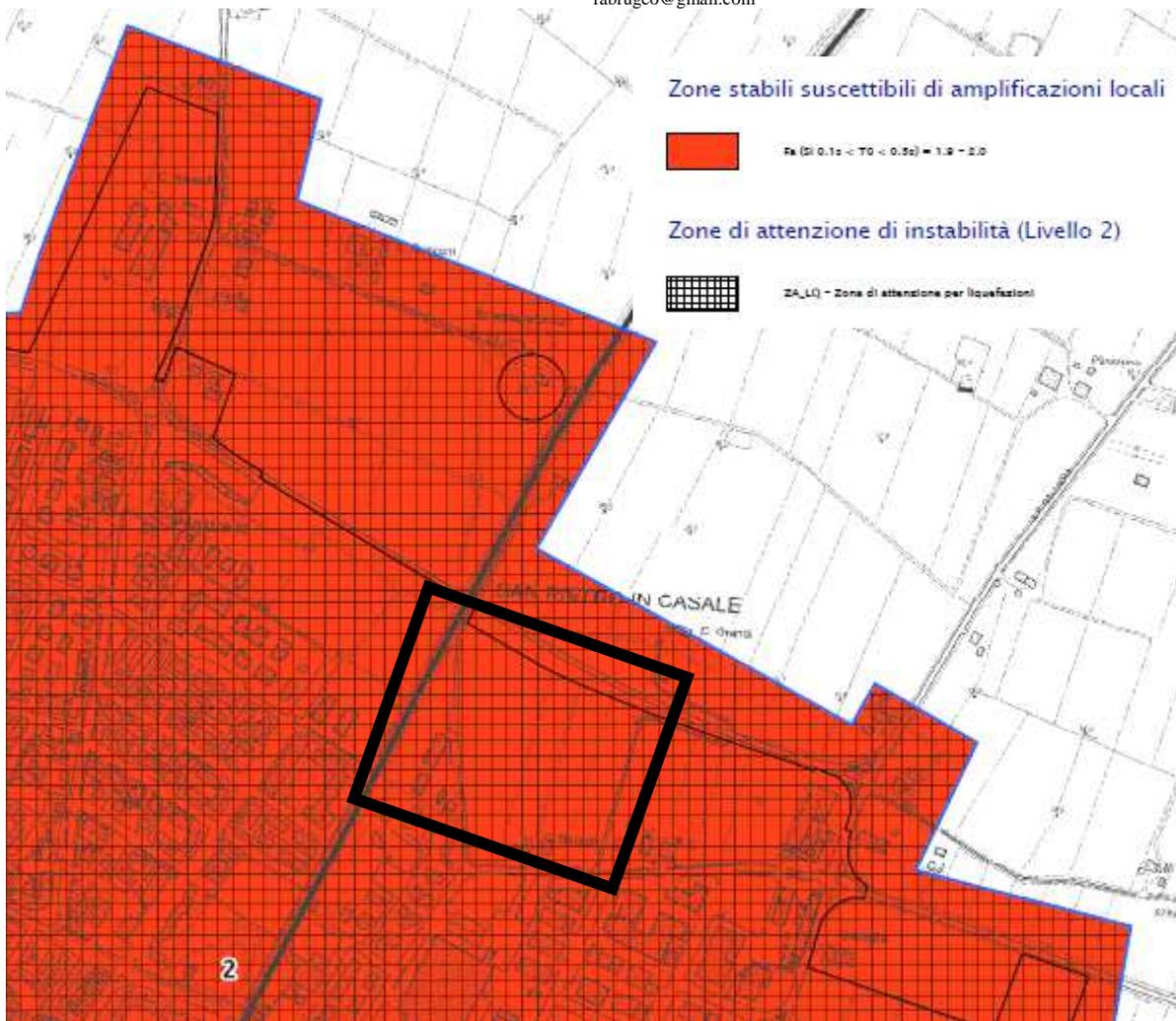


Fig. 5/15: Stralcio a Scala Libera della Tav. 6: FA fra 0,1 e 0,5 s dello Studio di MSIL del Comune di San Pietro in Casale. Secondo lo Studio, la FA è compresa fra 1,9 e 2,0; la carta indica 2,0.

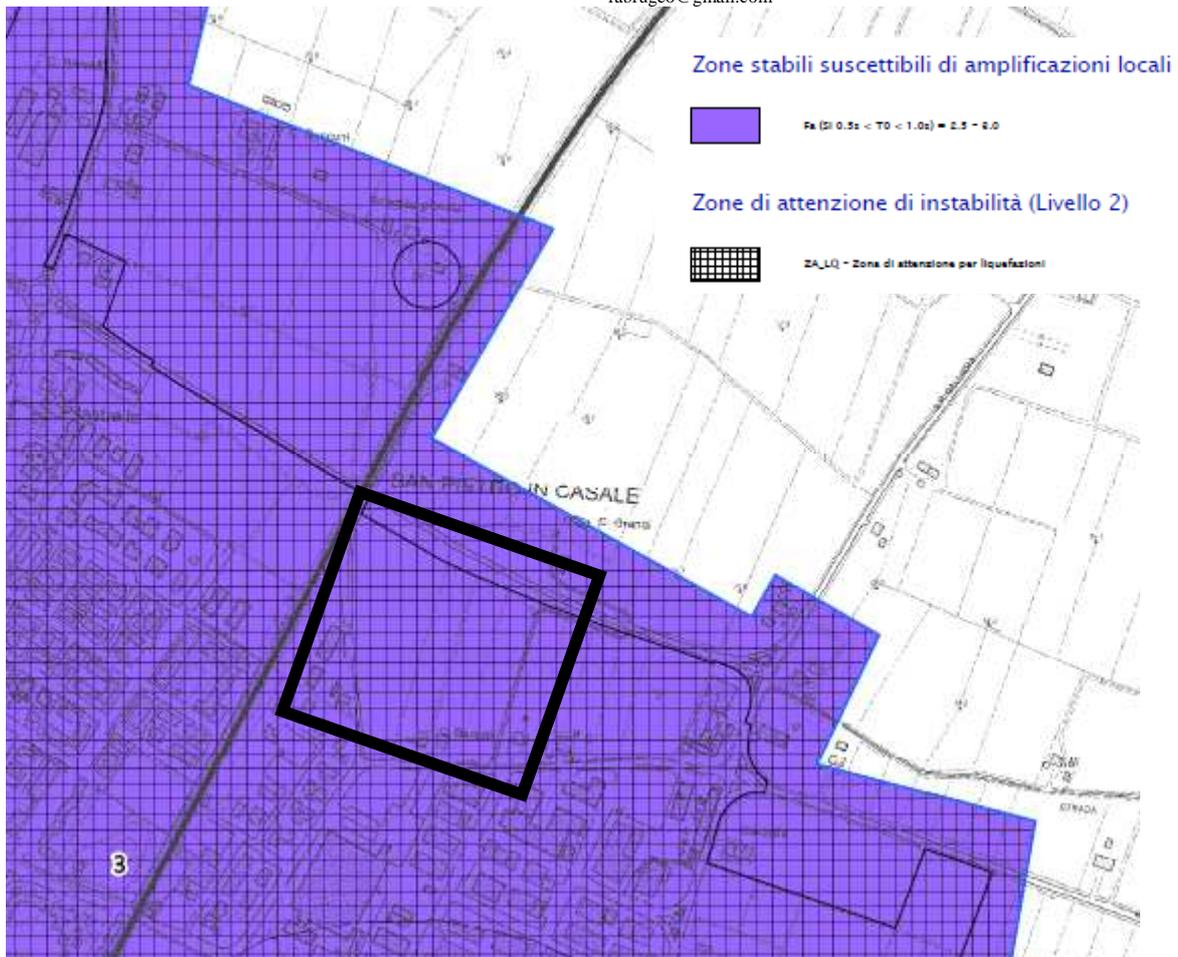


Fig. 5/16: Stralcio a Scala Libera della Tav. 7: FA fra 0,5 e 1,0 s dello Studio di MSIL del Comune di San Pietro in Casale. Secondo lo Studio, la FA è compresa fra 2,5 e 3,0; la carta indica 3,0.

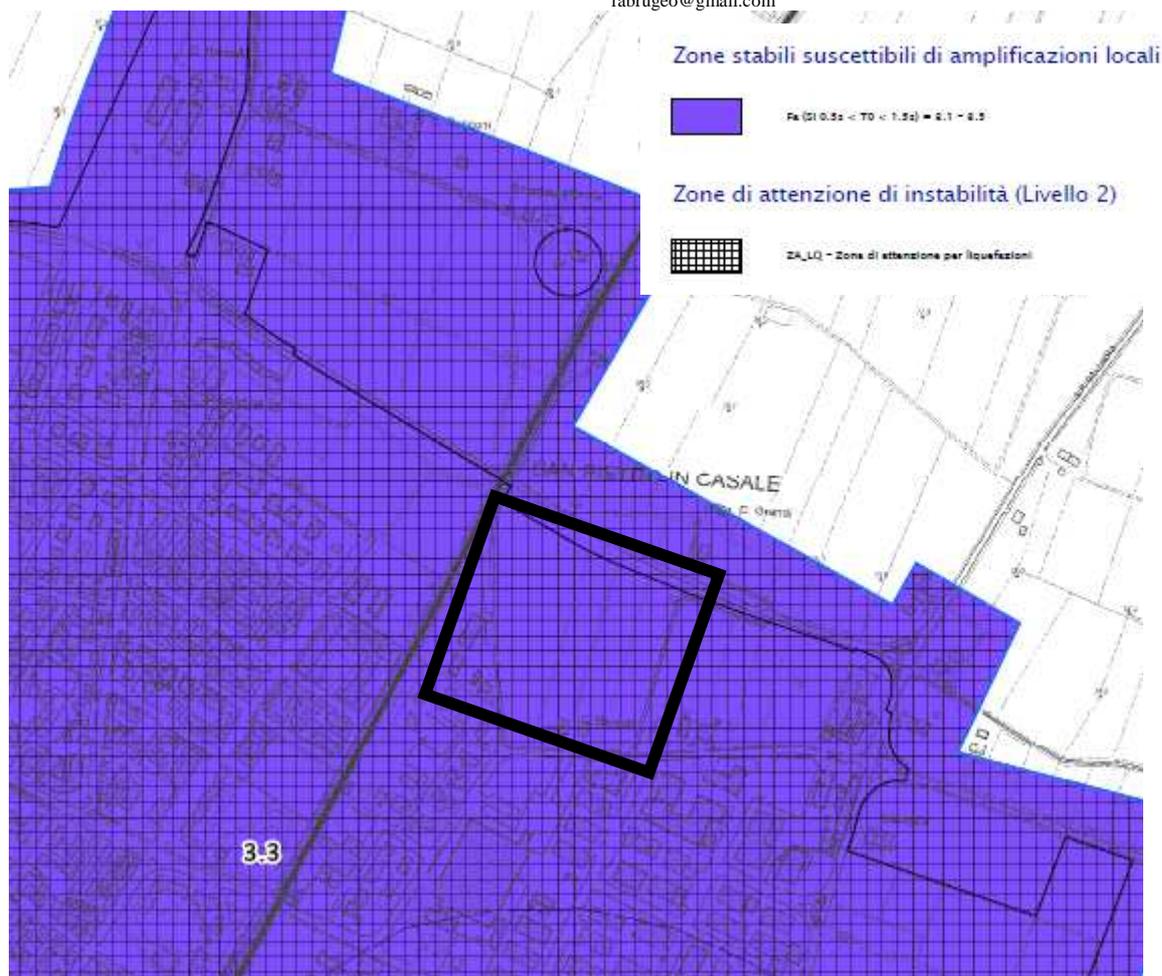


Fig. 5/14: Stralcio a Scala Libera della Tav. 8: FA fra 0,5 e 1,5 s dello Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. Secondo lo Studio, la FA è compresa fra 3,1 e 3,5; la carta indica 3,3.

Si osservi che le riportate cartografie indicano che per l'intera area in esame è prevista "Attenzione alla Liquefazione"; come si è già riportato nella presente e nella originaria relazione non si ritiene che la congruità (nel caso in esame la NON congruità) fra i vari livelli dei vari strumenti di pianificazione urbanistica e/o territoriale possa/debba essere un tema di cui lo scrivente debba preoccuparsi: lo scrivente supera il "problema" indicando proprie considerazioni al riguardo (sulla base di una mole di dati maggiore e di maggior dettaglio rispetto alla pianificazione).

Punti 2, 5 e 6: Verifiche alla liquefazione e cedimenti:

Per rispondere alle richieste degli elencati punti si sono eseguite due ulteriori indagini penetrometriche, eseguite con piezo- cono, ovvero CPTU: la CPTU4 sostanzialmente corrispondente al punto di esecuzione dell'"originaria" CPT 2 e la CPTU 5 eseguita nei pressi dell'originaria CPT 3 (di seguito si riportano i moduli di restituzione grafica delle due CPTU). Considerazioni critiche circa la più o meno corretta concordanza fra CPT e CPTU omologhe verranno riportate più oltre.

Le CPTU sono state eseguite poiché i metodi di verifica numerici e semplificati sono stati elaborati per l'utilizzo di tale tipo di indagini. Poiché si è prodotto apposito Studio di RSL (come richiesto dal documento di richiesta di Integrazioni) si adotteranno i valori di ancoraggio dello Spettro di Risposta appunto discendenti da tale Studio di RSL. Ovviamente se in fase di progettazione dei vari singoli interventi edilizi dovessero variare i dati di caratterizzazione sismica/Progettuale (ad esempio la Classe d'Uso ecc.) i di seguito riportati risultati delle verifiche alla Liquefazione non potranno essere ritenuti validi. È anche per tali motivi che le varie fasi di studio dovrebbero essere portate più avanti nel tempo, ovvero fatte coincidere con la Progettazione. L'unica fase cioè ove i dati utili vengono esplicitati e presi in carico con cognizione pratica dal Progettista.

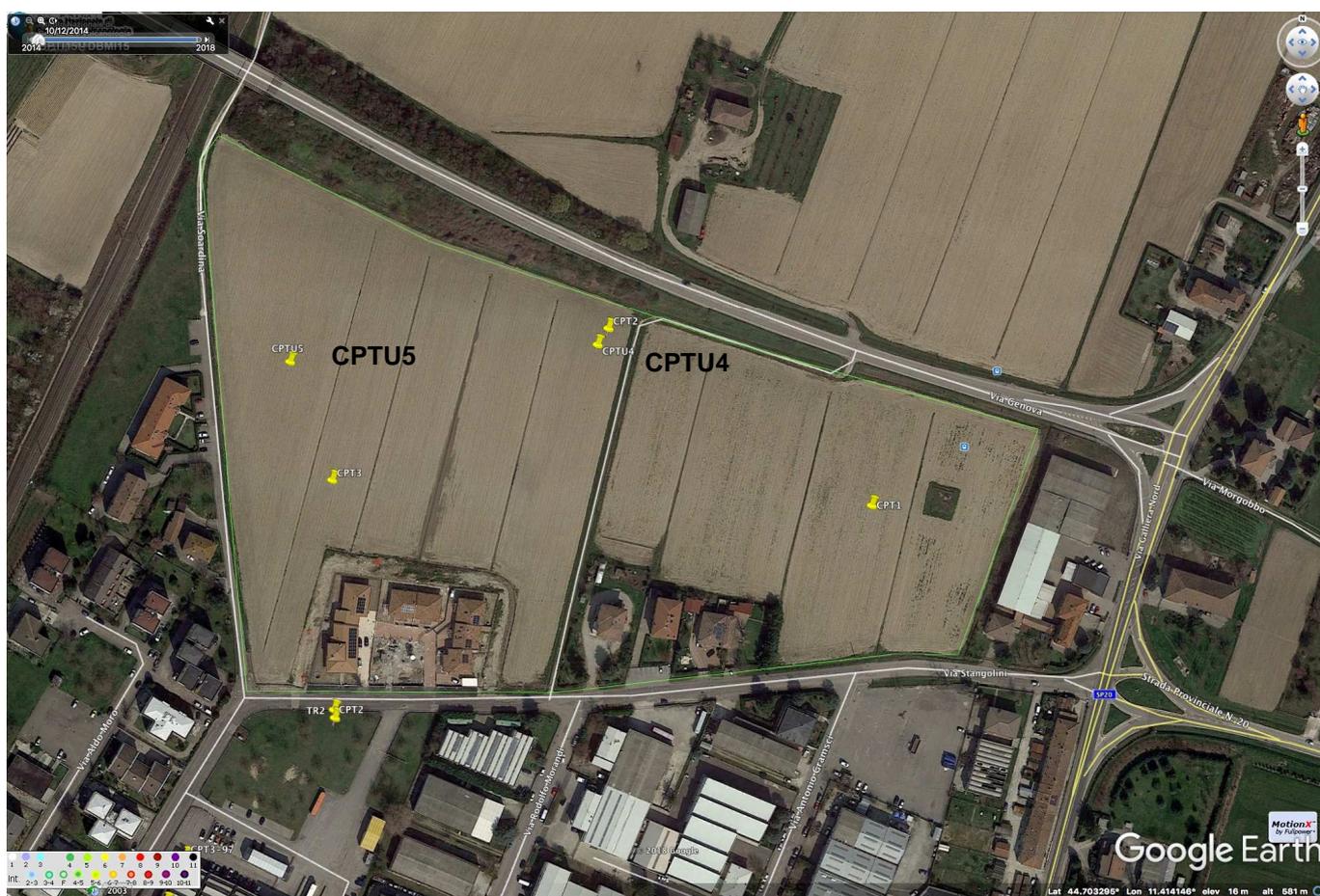


Fig. 6/1: Ubicazione a Scala Libera su orto- foto aerea tratta da Google Earth © dei punti di indagine CPTU 4 e 5 appositamente eseguiti ex- novo sull'area in esame. L'ubicazione è stata concordata con Progettisti/Committenza.



Fig. 6/2: punto esecuzione CPTU 4.

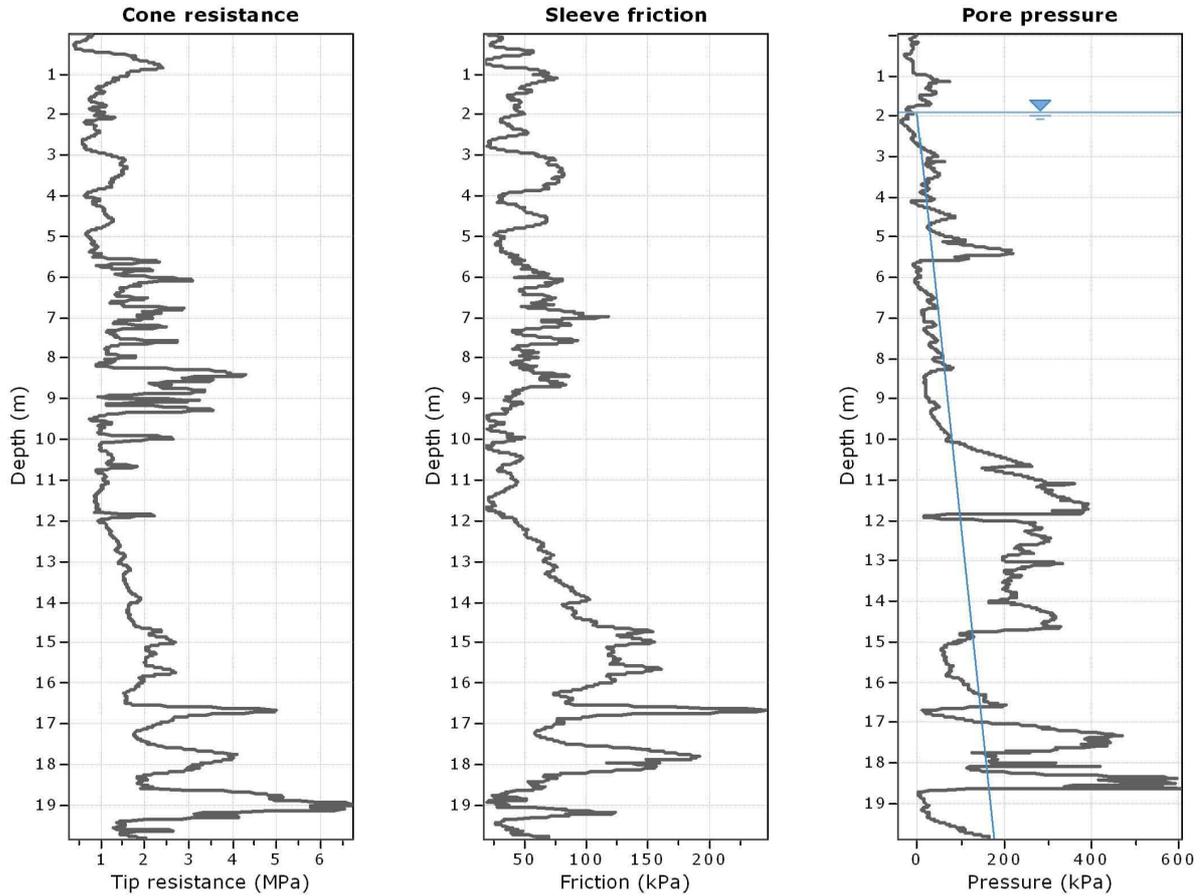


Geologismiki
 Geotechnical Engineers
 Merarhias 56
<http://www.geologismiki.gr>

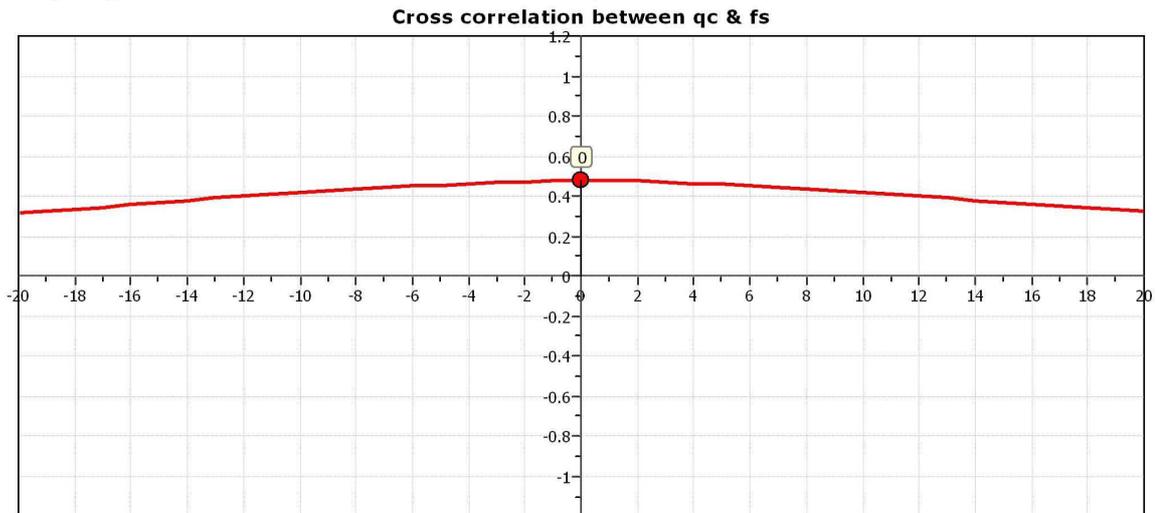
CPT: CPTU4

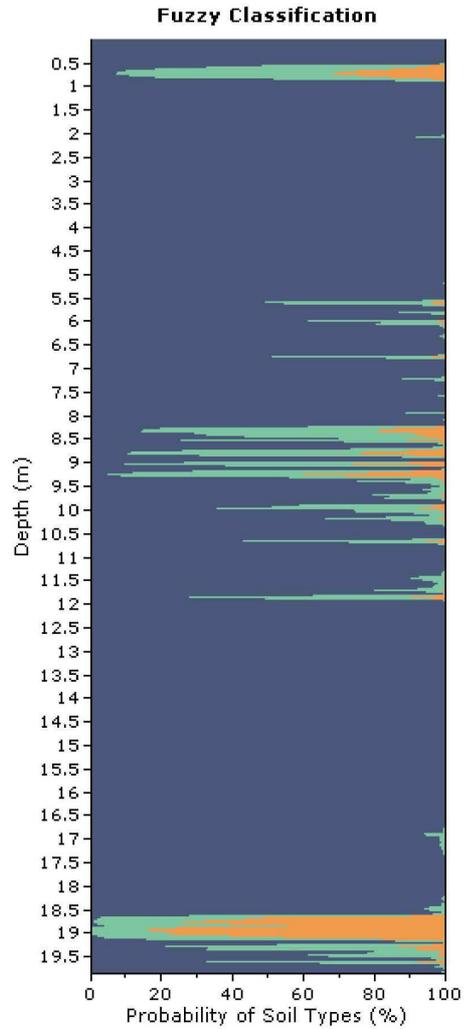
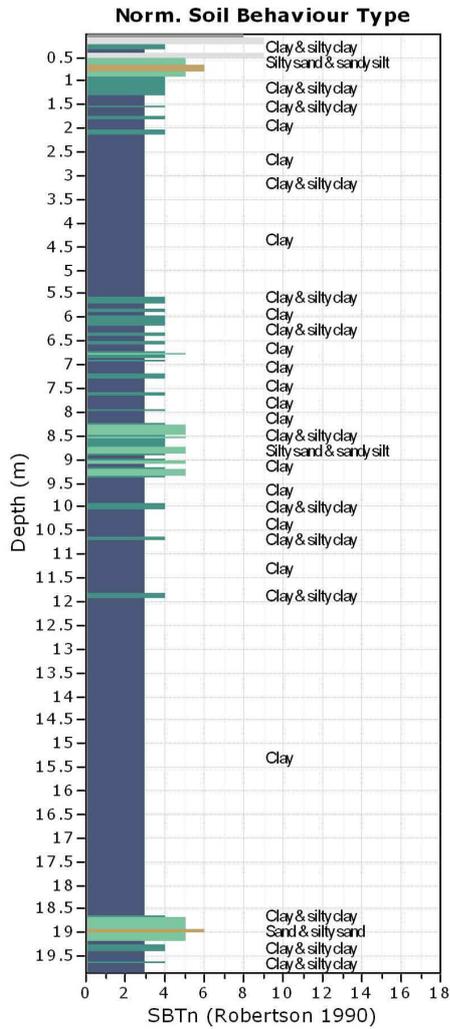
Total depth: 19.85 m, Date: 02/04/2019
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type: Unknown
 Cone Operator: Unknown

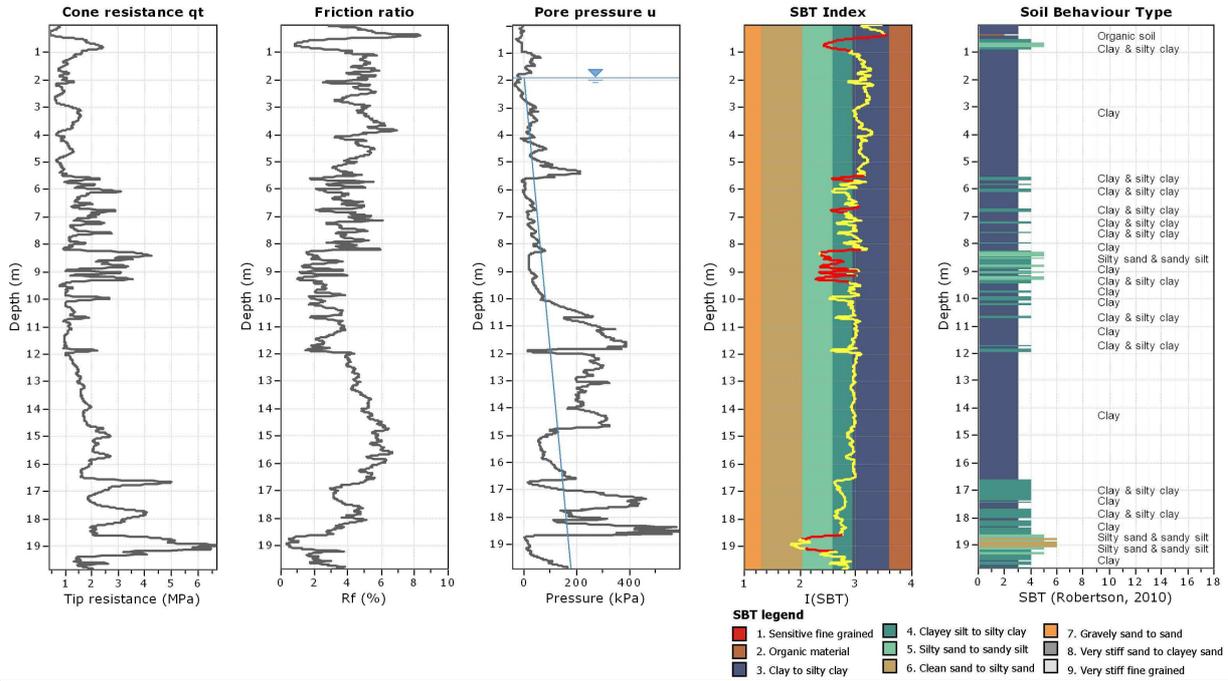
Project: Integrazione Lottizzazione
Location: San Pietro in Casale (BO)



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

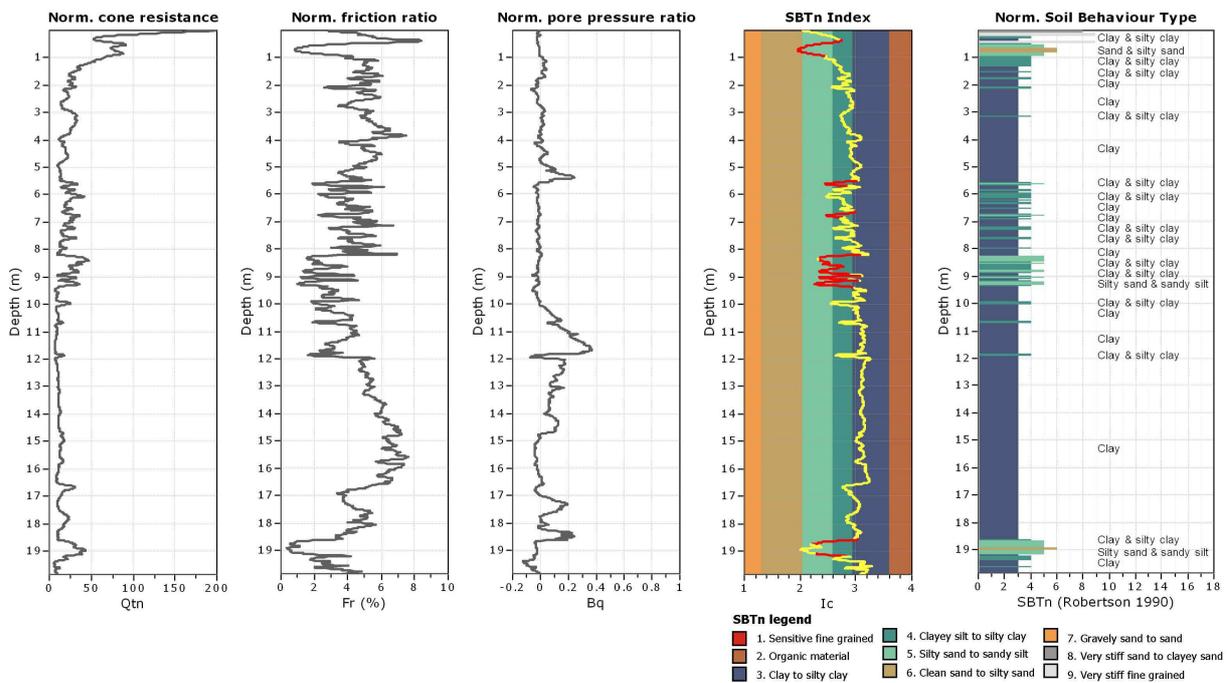






CPeT-IT v.1.7.6.42 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 19/04/2019, 15:52:52
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAFFA-LAVORO\A-Raffaele ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 19-Gamberini\CPTU4\CPTU4.cpt

8



CPeT-IT v.1.7.6.42 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 19/04/2019, 15:52:52
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAFFA-LAVORO\A-Raffaele ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 19-Gamberini\CPTU4\CPTU4.cpt

9

Fig. 6/3: moduli di restituzione grafica dell'indagine CPTU4.



Fig. 6/4: punto esecuzione CPTU 5.

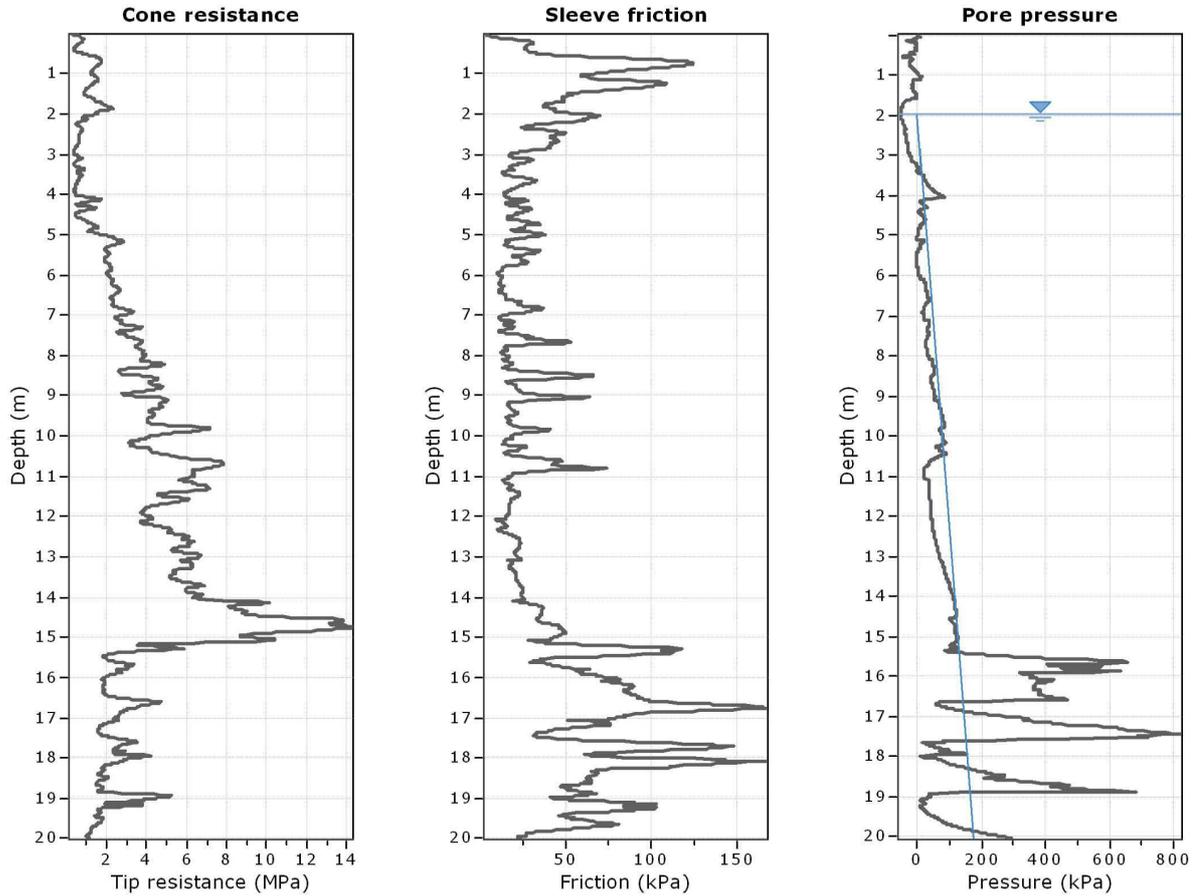


Geologismiki
 Geotechnical Engineers
 Merarhias 56
<http://www.geologismiki.gr>

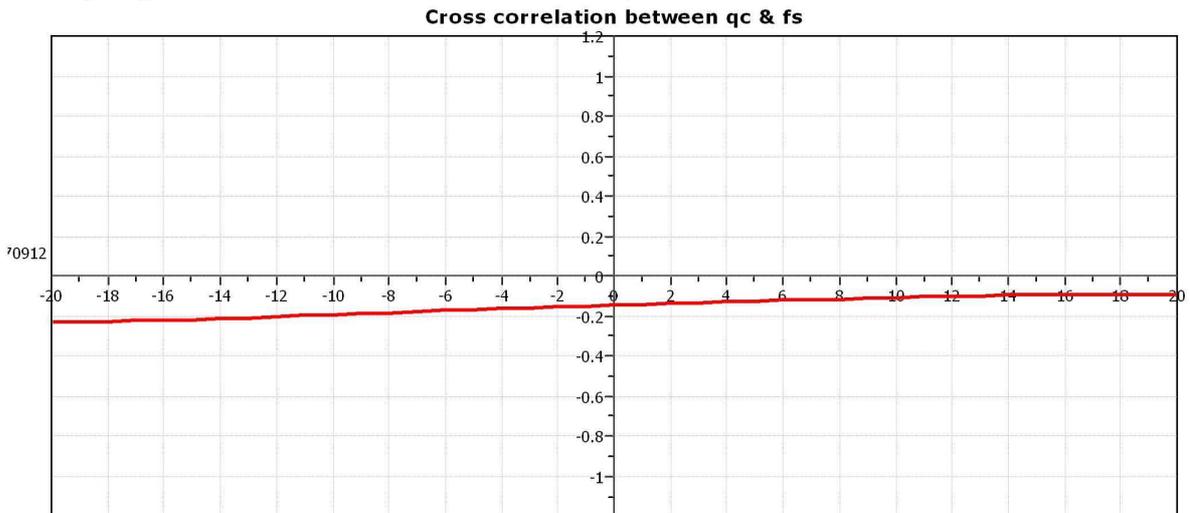
CPT: CPTU5

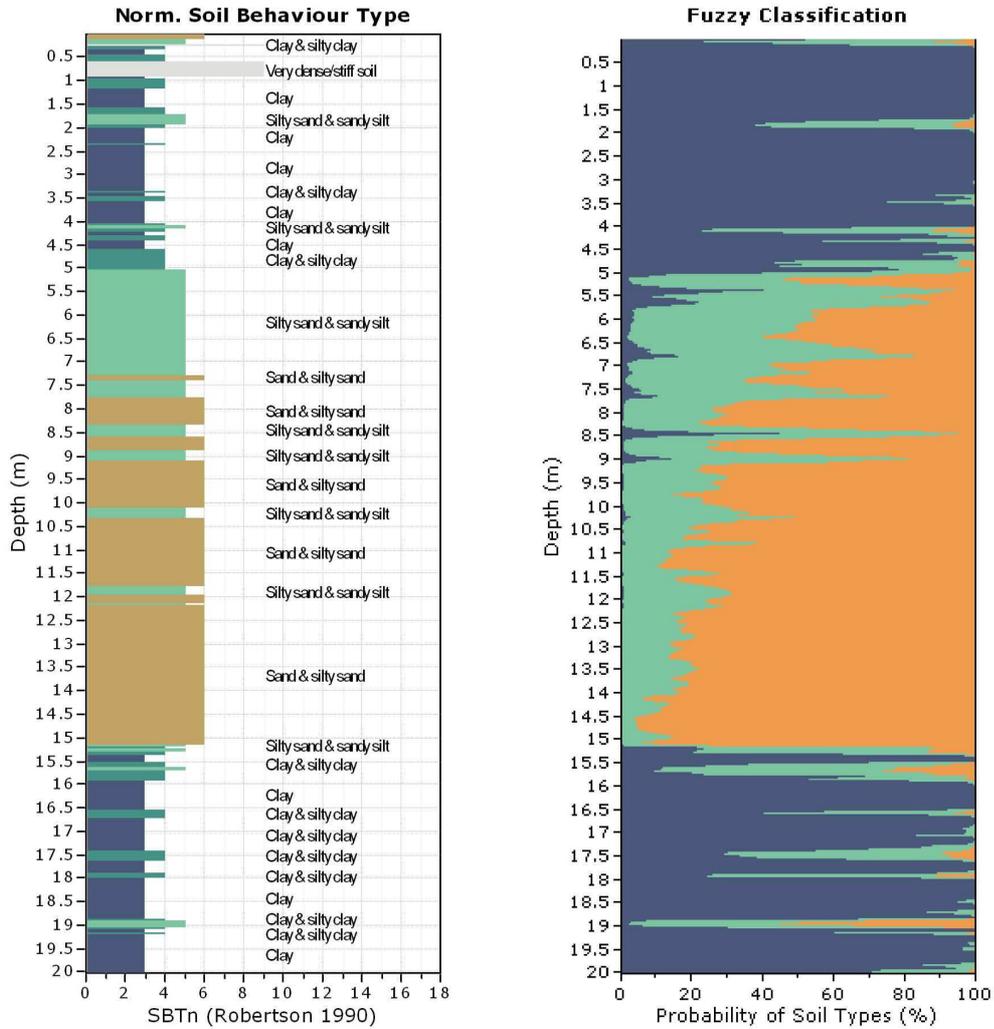
Total depth: 20.02 m, Date: 02/04/2019
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type: Unknown
 Cone Operator: Unknown

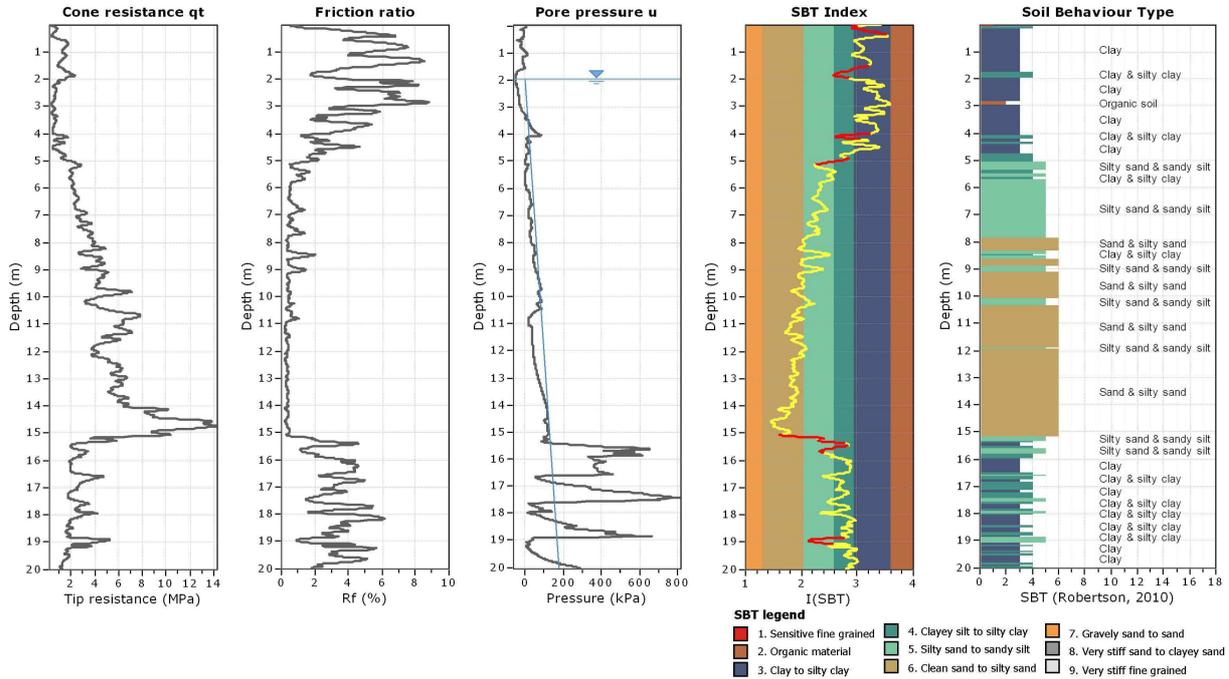
Project: Integrazione Lottizzazione
Location: San Pietro in Casale



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

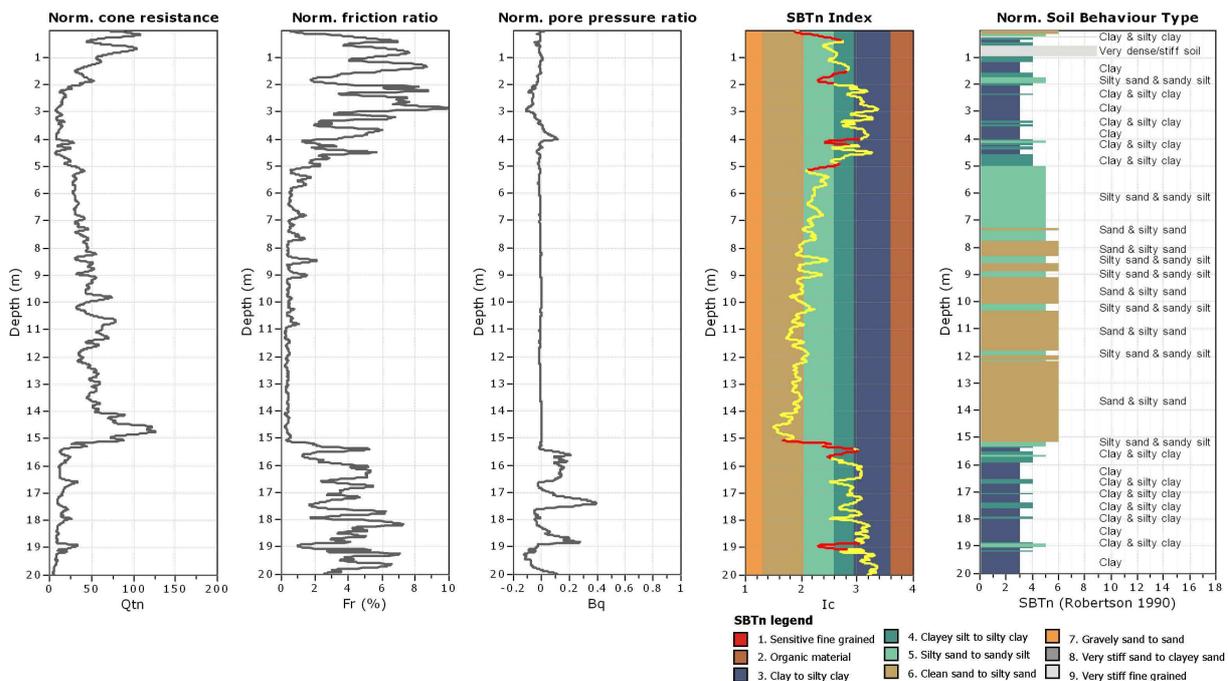






CPeT-IT v.1.7.6.42 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 19/04/2019, 16:05:11
 Project file:

8



CPeT-IT v.1.7.6.42 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 19/04/2019, 16:05:11
 Project file:

9

Fig. 6/5: moduli di restituzione grafica dell'indagine CPTU5.

This software is licensed to: Studio Geologia

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

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Relative Density, D_r (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

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

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

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

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

If $I_c > 2.20$

$a = 14$ for $Q_{tn} > 14$

$a = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$

$$M_{CPT} = a \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

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

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

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

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

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

Fig. 6/6: illustrazione del metodo di indagine utilizzato.

In merito alla più o meno concordanza fra CPT (eseguite sull'area in esame dallo scrivente, nell'anno 2017) e CPTU omologhe, si può considerare quanto segue: CPT 2 e CPTU 4 paiono concordare sufficientemente (sono state eseguite a pochi metri di distanza l'una dall'altra); CPT 3 e CPTU 5 introducono una lievemente maggiore aliquota di disomogeneità tuttavia possono considerarsi congrue. Ciò a confermare quanto riportato nella Relazione originaria circa l'assetto lito- deposizionale dell'area di lottizzazione ed a confermare altresì le connesse raccomandazioni/prescrizioni (per le quali si rimanda alla stessa relazione).

Di seguito si riporta una sezione di raffronto: su quella della Relazione originaria dell'anno 2017 si sono aggiunte le CPTU 4 e 5, potrà constatarsi come le divergenze siano nel complesso accettabili. Le nuove CPTU hanno potuto indagare profondità di 20 m dal p.c.

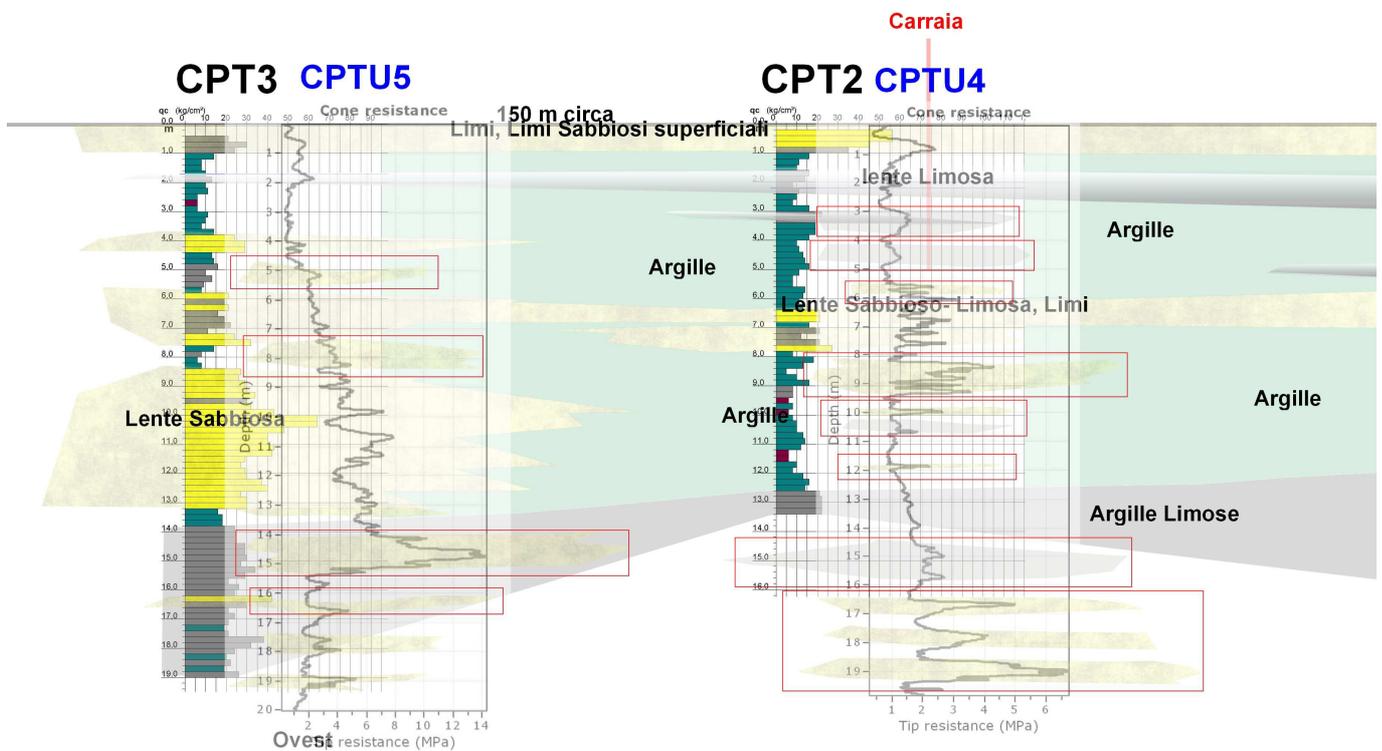


Fig. 6/7: sezione di raffronto a Scala Libera. Scala verticale diversa da quella orizzontale. Si sono evidenziati i corpi lenticolari di natura Sabbiosa, Sabbioso- Limosa o Limosa, Limoso- Sabbiosa di nuova/migliore definizione.

Di seguito si riporteranno le risultanze delle verifiche condotte sui dati delle CPTU 4 e 5 adottando il valore di PGA pari a 0,17 g e valori di Mw compresi fra 6,14 e 5,20 (come spiegato nella relazione originaria alla quale si rimanda).

Si sono utilizzati due metodi numerici di verifica: Boulanger & Idriss (2014) e Robertson & Wride/NCEER (2009- 2017). Come si vedrà i due metodi differiscono in maniera significativa, circa origini e limitazioni legate ai due metodi di verifica ed alle loro divergenze si rimanda alle dissertazioni riportate nella relazione originaria.

CPTU4, per PGA= 0,17 g (come derivante dallo Studio di RSL):

	Metodo di Boulanger & Idriss (2014)		Metodo di Robertson & Wride/NCEER (2009, 2017)	
Mw	ILP	Cedimenti in cm	ILP	Cedimenti in cm
6.14	0.3	inferiore a 1 cm	0.02	inferiore a 1 cm
5.90	0.2	inferiore a 1 cm	0.004	inferiore a 1 cm
5.50	0.2	inferiore a 1 cm	//	//
5.20	0.1	inferiore a 1 cm	//	//

Tab. 11: risultanze delle verifiche eseguite, nelle varie combinazioni di calcolo.

CPTU5, per PGA= 0,17 g (come derivante dallo Studio di RSL):

	Metodo di Boulanger & Idriss (2014)		Metodo di Robertson & Wride/NCEER (2009, 2017)	
Mw	ILP	Cedimenti in cm	ILP	Cedimenti in cm
6.14	14.2	maggiore di 20 cm	9.7	maggiore di 20 cm
5.90	12.9	maggiore di 20 cm	6.3	Inferiore di 20 cm
5.20	10.6	maggiore di 20 cm	1.4	Inferiore di 10 cm
	8.8	Inferiore di 20 cm	0.1	Circa 2 cm

Tab. 12: risultanze delle verifiche eseguite, nelle varie combinazioni di calcolo.

L'apposita Delibera Regionale (menzionata alla relazione originaria) riporta quanto segue:

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

Si può quindi concludere che, per l'area della lottizzazione in esame, il fenomeno della Liquefazione degli orizzonti saturi granulari rilevati, è differenziale: la porzione di Nord- Est dell'area in esame presenta Indici di Potenziale Liquefazione del tutto trascurabili. Sono riferibili infatti a spessori potenzialmente liquefacibili modestissimi ed originano cedimenti post- sismici del tutto controllabili da normali strutture fondali ed in elevazione. Nella porzione Sud- Ovest dell'area di lottizzazione in esame per contro si rilevano Indici di Potenziale Liquefazione sostanzialmente sempre Alti (a parte due combinazioni di verifica che allo stato attuale si possono trascurare per la descrizione in generale del fenomeno e per le finalità della presente relazione) e conseguente Pericolosità Alta.

Ovviamente le combinazioni di verifica sono più varie, a partire dalle considerazioni sulla più o meno corretta applicabilità di uno piuttosto che dell'altro Metodo di calcolo. Questo tema, di non poco conto e così stato incomprensibilmente complicato dalla Delibera Regionale può essere risolto solamente in fase di Autorizzazione/Deposito Sismico, ovvero in fase di Caratterizzazione e Progettazione di ogni

singolo intervento edificatorio, quando le more del DM/NTC consentono di adottare scelte prestazionali appositamente tarate ad ogni singolo intervento.

Chiaramente anche l'utilizzo del valore di Mw non può che far variare e pure sensibilmente il valore dell'ILP; ovviamente il valore maggiormente atteso (nei limiti non piccoli dei metodi di disaggregazione statistico- probabilistica dei dati sismici. Limiti per i quali si rimanda alla relazione originaria) riconduce, per l'area in esame a Potenziali compresi fra Nulli e Moderati mentre l'utilizzo del valore di Mw "meno probabile" ovvero più alto, riconduce a valori di ILP compresi fra Moderato e Alto. Il valore di Mw di 6,14 (indicato dall'INGV) è localmente ricondotto a percentuali di accadimento dell'1% mentre il valore di 5,20 è ricondotto a percentuali localmente comprese fra il 15 ed il 20% della distribuzione della Mw attesa. Questo valore di Mw è quindi quello localmente maggiormente atteso (fra i vari possibili). Ma siamo nel campo delle probabilità e che comunque in nessun modo escludono che localmente si possa avere un evento sismico di Magnitudo (w) maggiore di 6,00 (ad esempio appunto il 6.14), lo studio di disaggregazione indica solamente che tale evento è riconducibile ad una probabilità molto bassa. Molto semplicemente l'evento meno atteso è ovviamente il più pericoloso, non si può andare oltre tali considerazioni che possono essere considerate meramente "qualitative" e che comunque scarsamente si associano al fenomeno sismico. Anche per le aree del Terremoto dell'Emilia del 2012 (all'interno delle quali è inserito il territorio comunale in questione) l'evento maggiormente atteso era pari a circa 5,20 di Mw, eppure si sono dovuti registrare valori di Mw prossimi (se non maggiori) di 6,00.

Si ricorda ulteriormente come, sia nella relazione originaria sia nella presente relazione si siano riportati dati derivanti dagli strumenti di pianificazione urbanistica che riportano come il fenomeno della liquefazione fosse largamente atteso per l'intera area di lottizzazione in esame. Quindi piuttosto sorprende l'aver individuato una porzione d'area di lottizzazione in esame per la quale si può ragionevolmente asserire che la Liquefazione non rappresenta un fenomeno co- sismico attendibile. Osservando le Figg. 5/2 e 5/13 (di MSL) ci si potrebbe attendere che l'area a maggior pericolosità da liquefazione sia l'intera porzione Occidentale e di Nord- Ovest. Sarà quindi questo il tema geologico- co- sismico che in fase di indagine e di progettazione di ogni singolo lotto si dovrà affrontare: determinare appunto lotto per lotto le fasce di distribuzione del fenomeno della Liquefazione e dei suoi effetti (cedimenti). Si prescrive quindi che per ogni singolo lotto si realizzi almeno una prova CPTU sarebbe altresì altamente opportuno eseguire sondaggi stratigrafici per un numero di lotti singoli che possa rappresentare una massa critica sufficientemente rappresentativa, in corrispondenza di tali sondaggi sarebbe opportuno raccogliere campioni di terreno indisturbato in corrispondenza degli orizzonti granulari individuati come potenzialmente liquefacibili e su questi eseguire opportune analisi di Laboratorio Geotecnico (Granulometrie, Limiti di Atterberg, Fusi Liquefacibili ecc.).

Nelle more di quanto ampiamente riportato circa gli ampi limiti di definizione di un corretto modello per lo Studio di RSL si può altresì immaginare che per l'area (da individuarsi) come maggiormente liquefacibile si possa procedere alla validazione (o meno) / perfezionamento del modello di RSL utilizzato per la presente relazione. Si fa comunque osservare che tale modello ha già introdotto una riduzione non trascurabile del valore di PGA.

I Progettisti dovranno in tutti i casi già dall'attuale fase di indagine approcciarsi alla realizzazione dei singoli interventi con la più completa consapevolezza che il fenomeno co- sismico da liquefazione dovrà localmente essere affrontato con la massima attenzione e che la progettazione dei singoli interventi dovrà esserne informata sin dall'inizio, prevedendo anche azioni di mitigazione/riduzione sia della Pericolosità locale che della Vulnerabilità dei singoli edifici.

Punto 3:

Circa *“la richiesta di una chiara espressione favorevole per l'utilizzo dell'area rispetto agli strumenti urbanistici”* riportata dal documento di richiesta di integrazioni, oltre ad aver già palesato in altra parte della presente relazione dubbi sulla richiesta, si è a concludere che quanto sottolineato alle precedenti Pagg. 38 e 39 costituisce già espressione di *“utilizzabilità”* dell'area oggetto della presente relazione. Peccato però che, per il caso in esame, come per tanti altri casi, la *“sfera”* afferente alle Scienze della Terra non consenta di vibrare un Si o un No secco. Per il caso in esame ad esempio non si può escludere che l'area possa essere proficuamente edificata, certamente occorrerà seguire le prescrizioni sopra riportate. Lo scrivente non può che lasciare (ognuno faccia il suo lavoro!) ai Costruttori, ai Progettisti ed agli eventuali acquirenti le opportune e necessarie valutazioni tecniche, economiche ecc. connesse alla volontà di realizzare l'intervento complessivo e/o i singoli interventi e se del caso, come. Ovviamente s'è potuto constatare come, allo stato attuale delle conoscenze, una parte dell'area di lottizzazione in esame (come prescritto, da definirsi) presenti limitazioni da tenere in attenta considerazione. Ma lo scrivente ritiene di NON poter concludere nella presente fase che tali limitazioni escludano *tout- court* la realizzazione dell'intervento/dei singoli interventi.

A tal proposito non si può poi ulteriormente non aggiungere come il concetto di utilizzo dell'area debba essere messo in relazione al concetto di Rischio. Come già riportato nella relazione originaria, il Rischio (secondo quanto universalmente accettato, per esempio nelle nozioni di Protezione Civile) è correttamente descrivibile dalla seguente equazione:

R= P X V X E, dove:

R= Rischio;

P= Pericolo o Pericolosità;

V= Vulnerabilità;

E= Esposizione.

La Pericolosità ovvero il Pericolo è legato al potenziale (del) fenomeno, nel caso in questione al fenomeno co- sismico derivante dalla liquefazione degli orizzonti saturi granulari localmente rilevati, che per il caso in esame è già stato descritto.

Anche in ragione delle varie possibilità di combinazione di verifica, la fase giusta per determinare correttamente il livello di Pericolo è quella di Autorizzazione/Deposito Sismico, in quanto i dettami del DM/NTC essendo prestazionali possono indirizzare l'aspetto in questione. Si fa osservare che dover ad esempio affrontare un Pericolo Basso potrebbe consentire margini progettuali di intervento notevoli. Infatti si potrebbe decidere di mettere in campo anche azioni di riduzione delle componenti dell'equazione.

Ad esempio anche sulla stessa Pericolosità si potrebbero operare operazioni di riduzione. Qualora infatti i Progettisti lo dovessero ritenere necessario si potrebbe operare sui terreni granulari di fondazione potenzialmente liquefacibili (tale scelta non può essere eseguita in fase progettuale). La già citata Delibera Regionale e le pratiche discendenti dalle esperienze di ricostruzione del post sisma dell'Emilia del 2012 riportano la possibilità di mettere in atto interventi quali compattazioni dei terreni. Oppure si possono realizzare fondazioni profonde (pali, di varia tipologia ecc.), si possono altresì eseguire/realizzare apposite iniezioni e/o drenaggi. Ogni eventuale intervento dovrà essere attentamente ed appositamente pensato, progettato, realizzato ed anche, molto importante, testato. Tutte queste possibilità possono evidentemente variare il valore del Rischio (come derivante dalle attuali conoscenze) e far decidere se realizzare o meno i singoli interventi edificatori. Poiché ognuno di questi possibili interventi ha infatti un costo, entra in gioco un altro fattore: quello economico. Come si possa ritenere possibile esprimere in questa fase giudizi "chiari" non è dato sapere. Vale la pena intervenire in questa area? Dipende (anche) dalla possibilità (o meno) di spostare l'equilibrio economico d'intervento che ovviamente è quivi localmente più gravoso di un'area simile che non presenti problematiche di liquefazione. Ma come già ampiamente illustrato anche la "gravità" del Pericolo può essere (anzi dovrà essere) attentamente riconsiderata e quindi potrebbe far spostare (ed anche sensibilmente) l'"equazione economica". Ecco illustrati i limiti di ogni eventuale "espressione chiara in favore dell'utilizzo dell'area". Ciò in Scienza e Coscienza.

Resta poi, soprattutto da capire cosa si intenda, in Pianura Padana per "rischio" (in senso lato e diverso da quello sopra riportato- Rischio- e per riferirsi a ciò, più correttamente da sostituire col termine Pericolo/Pericolosità) da liquefazione, occorre tornare alle basi delle premesse di applicabilità dei metodi di indagine, questi traggono origine da situazioni 2D dove sostanzialmente un letto sabbioso molto esteso è confinato verso l'alto da depositi argillosi o comunque non liquefacibili. In tali situazioni il "rischio"/Pericolo è insito in cedimenti che possono essere molto rilevanti, in relazione alle spessori dei depositi ed ai meccanismi di veicolazione laterale nelle sabbie e non confinati da "accidenti" stratigrafici

quali brusche terminazioni frangiate verso le argille; la bibliografia tecnica di riferimento riporta episodi drammatici di perdite di piano o di tilting (rigido, in dipendenza delle caratteristiche degli edifici) di interi edifici. Durante l'evento sismico dell'Emilia del 2012 non si è registrato niente di tutto ciò, si è invece assistito a fuoriuscite di liquidi costituiti da sabbie ed acqua, da pozzi o da fratture nel terreno che hanno intasato vani più o meno interrati e/o riempito superfici varie, anche con fenomeni di risalita fluida particolarmente difficili da spiegare. Relativamente ai cedimenti, anche nei luoghi di maggior evidenza del fenomeno (San Carlo, Sant'Agostino ecc.) non si è assistito a cedimenti particolari, se non in casi particolari. In sostanza cedimenti centimetrici e/o cedimenti differenziali particolari hanno interessato solamente pochi edifici. Se il "rischio"/Pericolo dovesse ricondursi solamente alla messa in posto di qualche metro cubo di sabbia e/o altri fluidi occorrerà considerare una adeguata protezione anche nei confronti degli impianti tecnologici che saranno ospitati nei vari edifici da realizzarsi e/o di quant'altro contenuto e passibile di danneggiamento. Altri elementi di pericolo che purtroppo allo stato attuale delle conoscenze delle Scienze della Terra non si ha la possibilità di prevedere sono l'insorgenza di aperture nei terreni (dalle quali come detto potrebbero sgorgare fluidi derivanti da liquefazione). L'area in esame non presenta però le condizioni morfologiche (di dosso rilevato) da cui potrebbero aversi fenomeni di instabilità laterale.

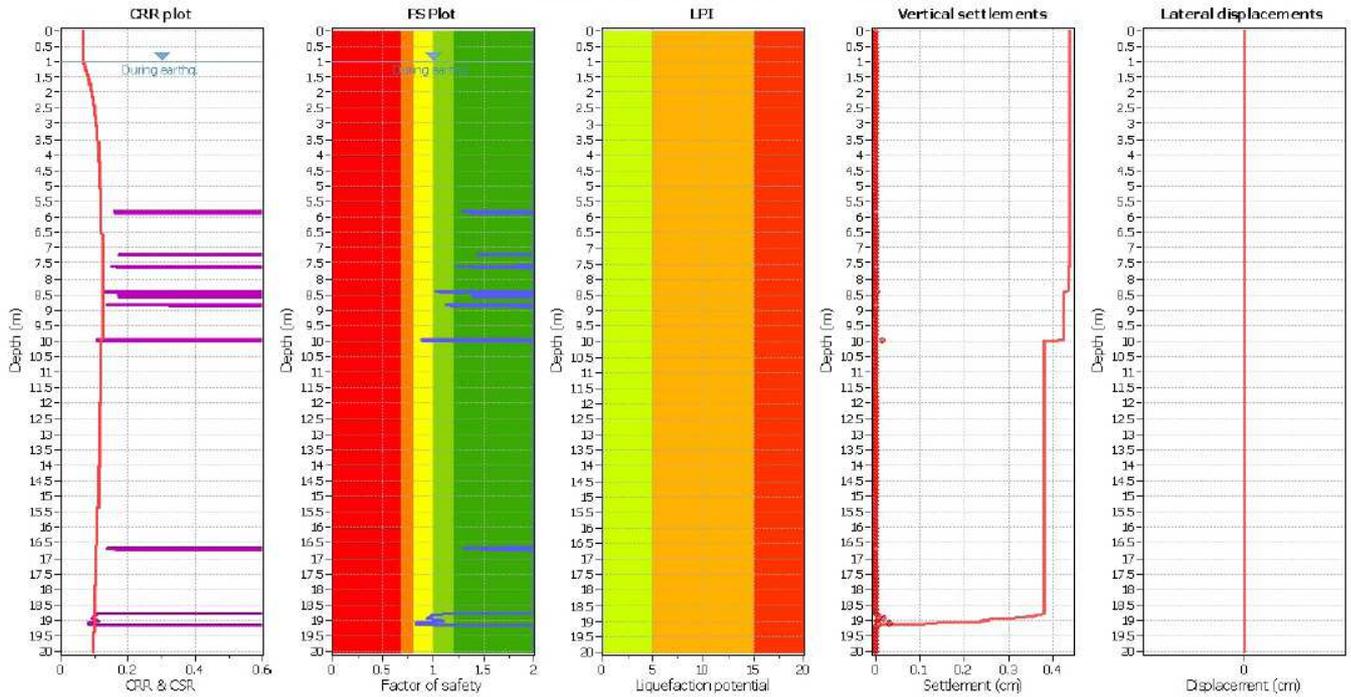
Di seguito si riportano le risultanze grafiche delle Verifiche eseguite (per le varie combinazioni di calcolo).

CPTU4: Metodo di Robertson & Wride/NCEER (2009 e seguenti), Mw da 6,14 a 5,90:

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU4

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (insitu): 1.90 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_{α} applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

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

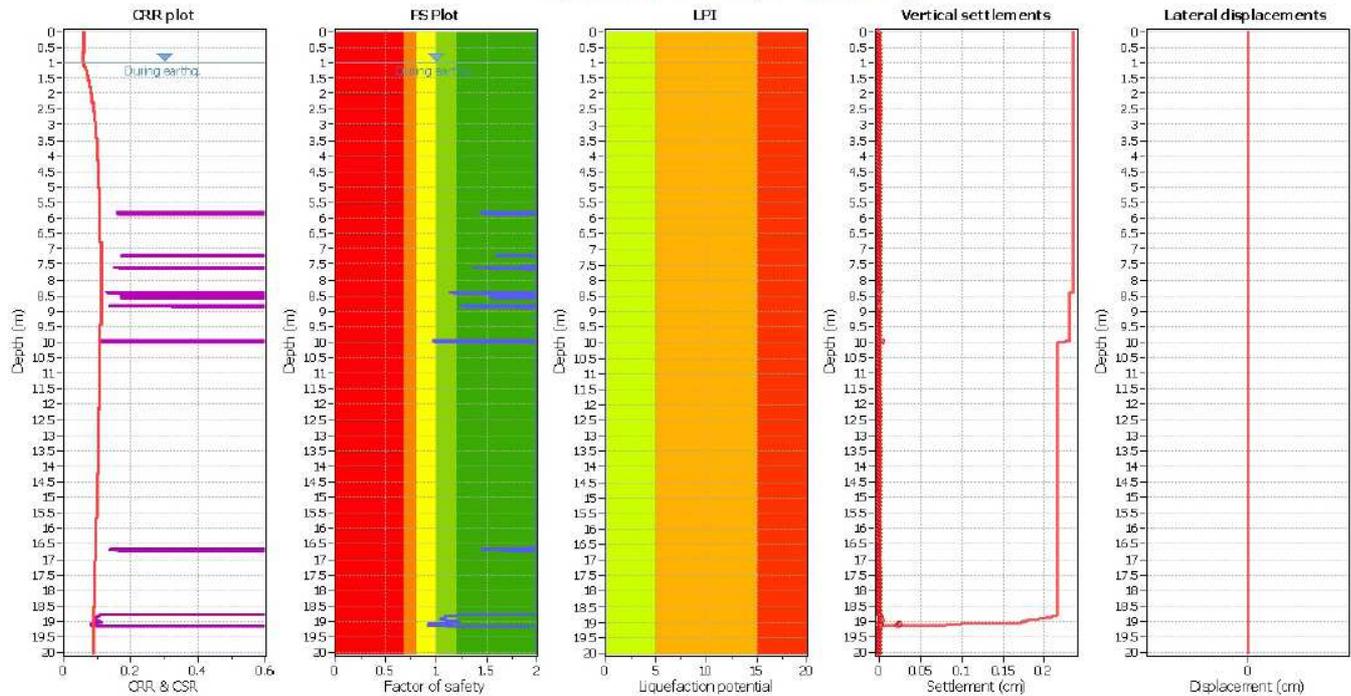
Clq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 16:47:29

5

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU4

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.90
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (insitu): 1.90 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_{α} applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

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

Clq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 16:51:15

5

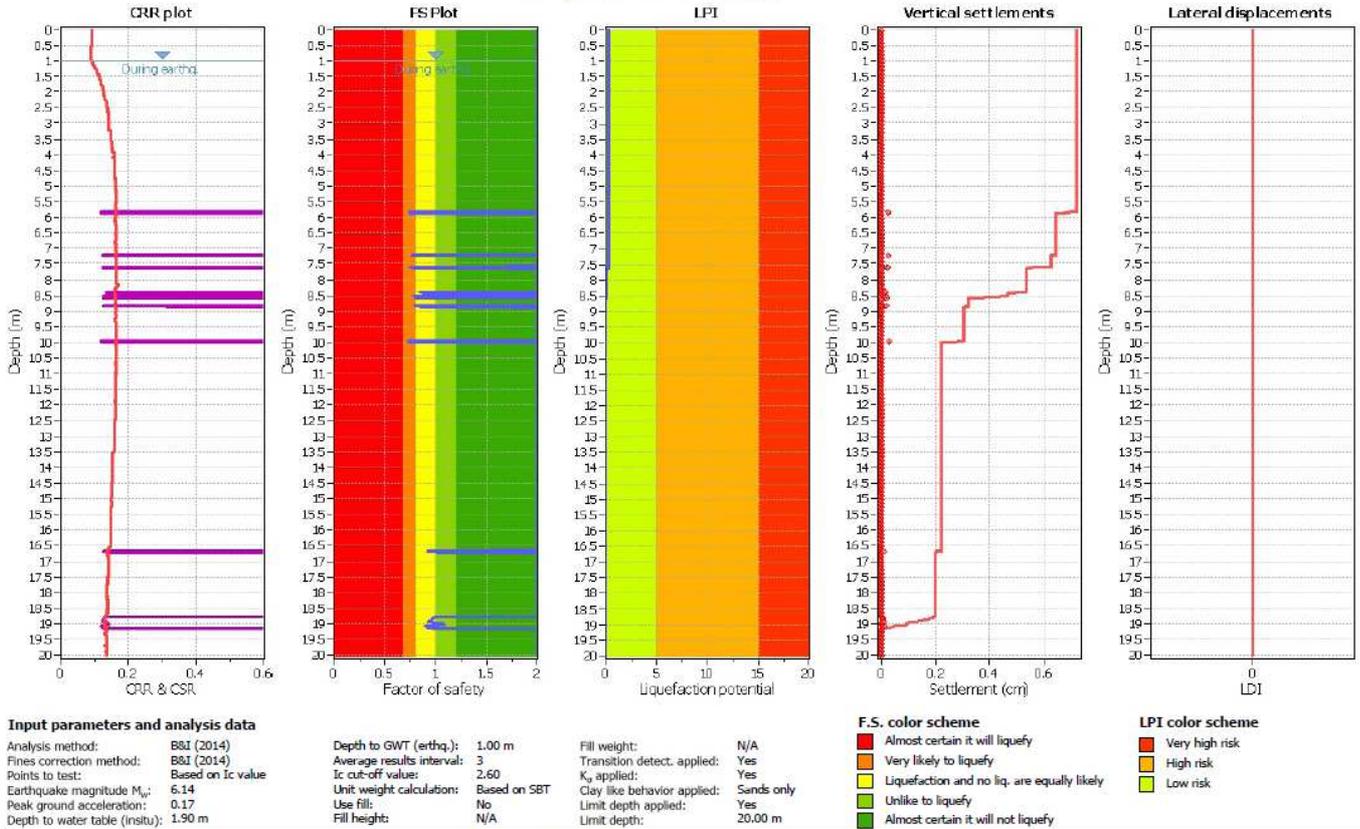
Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF\A-LAVORO\A-RaFFAELE ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 1 9-Gamberini\IQUF\CPTU4 ReW\ReW.clq

CPTU4: Metodo di Boulanger & Idriss (2014), Mw da 6,14 a 5,20:

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU4

Liquefaction analysis overall plot



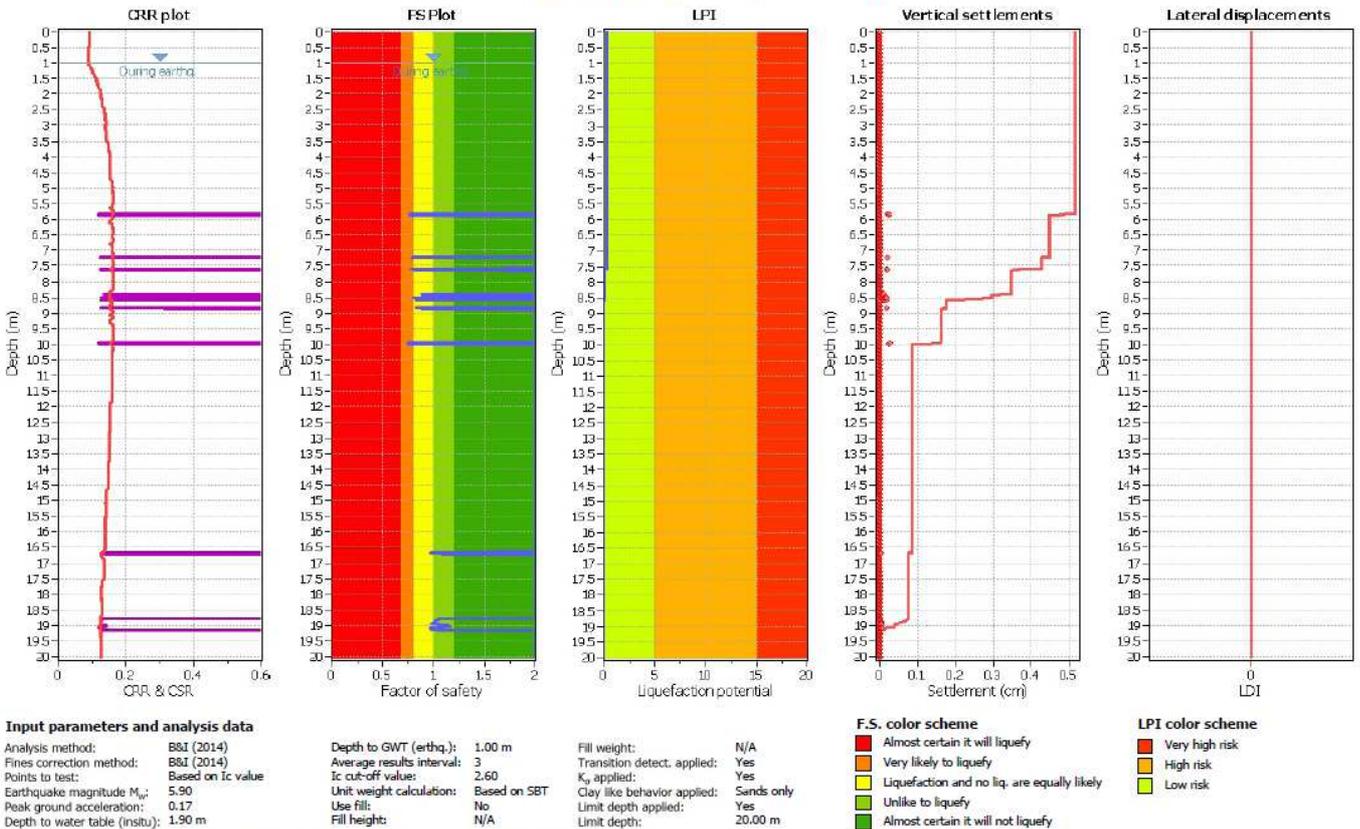
CLiq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 16:53:26

Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF(A-LAVORO)\A-Raffaele ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 1 9-Gamberini\IQUF\CPTU4 ReW\ReW.clg

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU4

Liquefaction analysis overall plot



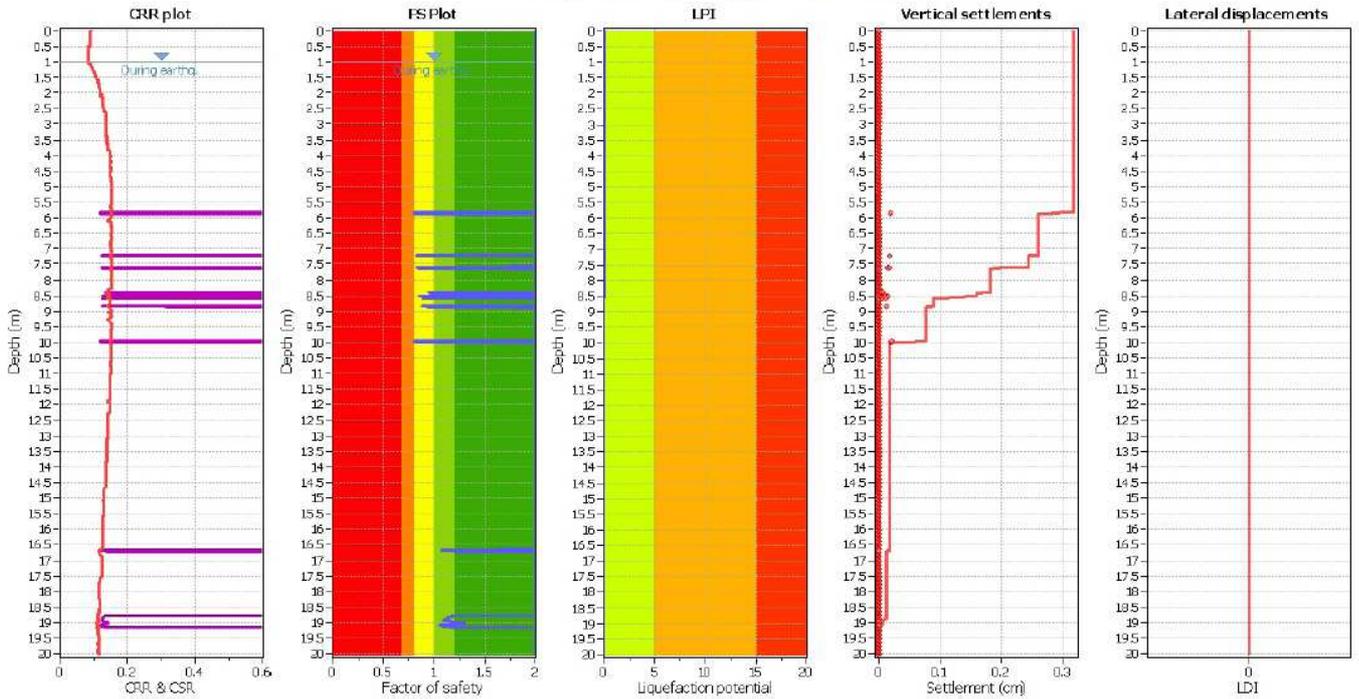
CLiq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 16:57:07

Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF(A-LAVORO)\A-Raffaele ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 1 9-Gamberini\IQUF\CPTU4 BeI\BeI.clg

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU4

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)
 Fines correction method: B&I (2014)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w : 5.50
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (in situ): 1.90 m

Depth to GWT (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_u applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

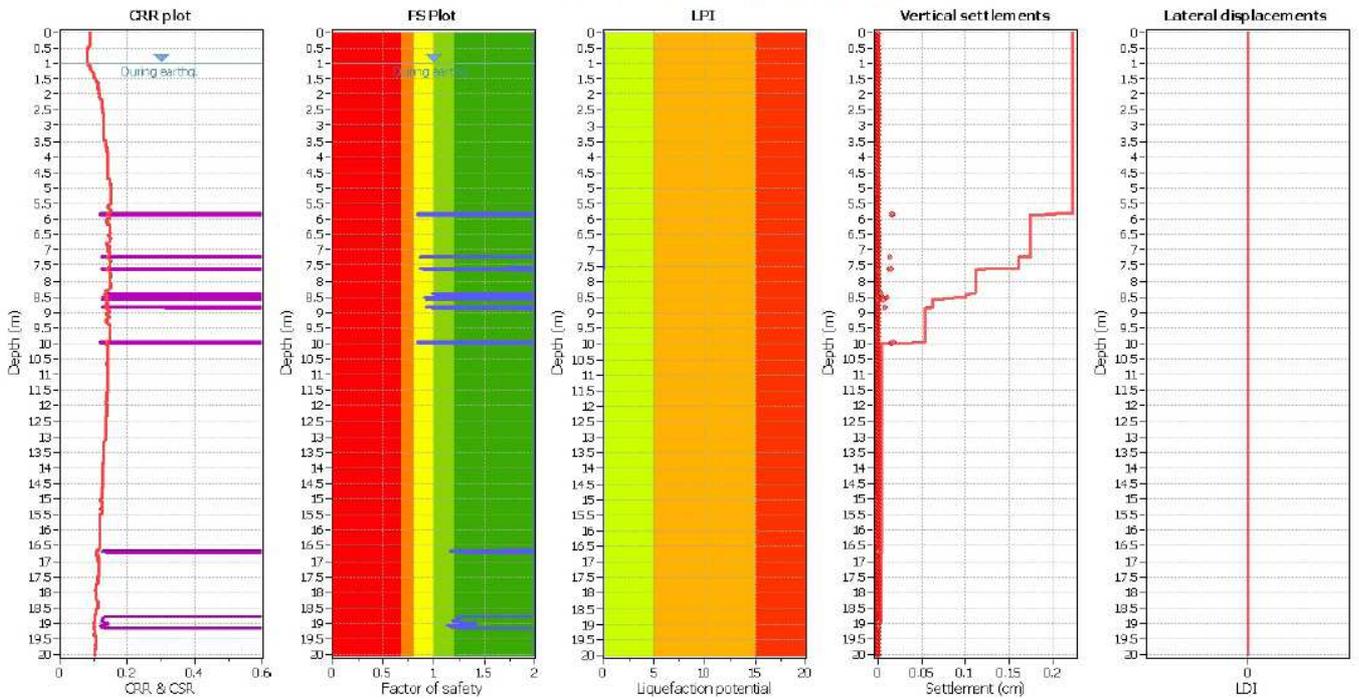
Almost certain it will liquefy
 Very likely to liquefy
 Liquefaction and no liq. are equally likely
 Unlike to liquefy
 Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Very high risk
 High risk
 Low risk

Cluq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 16:58:26
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF\A-LAVORO\A-RAFFAELE ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 1-9-Gamberini\IQUF\CPTU4 BeI\BeI.clq

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)
 Fines correction method: B&I (2014)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w : 5.20
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (in situ): 1.90 m

Depth to GWT (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_u applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

Almost certain it will liquefy
 Very likely to liquefy
 Liquefaction and no liq. are equally likely
 Unlike to liquefy
 Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Very high risk
 High risk
 Low risk

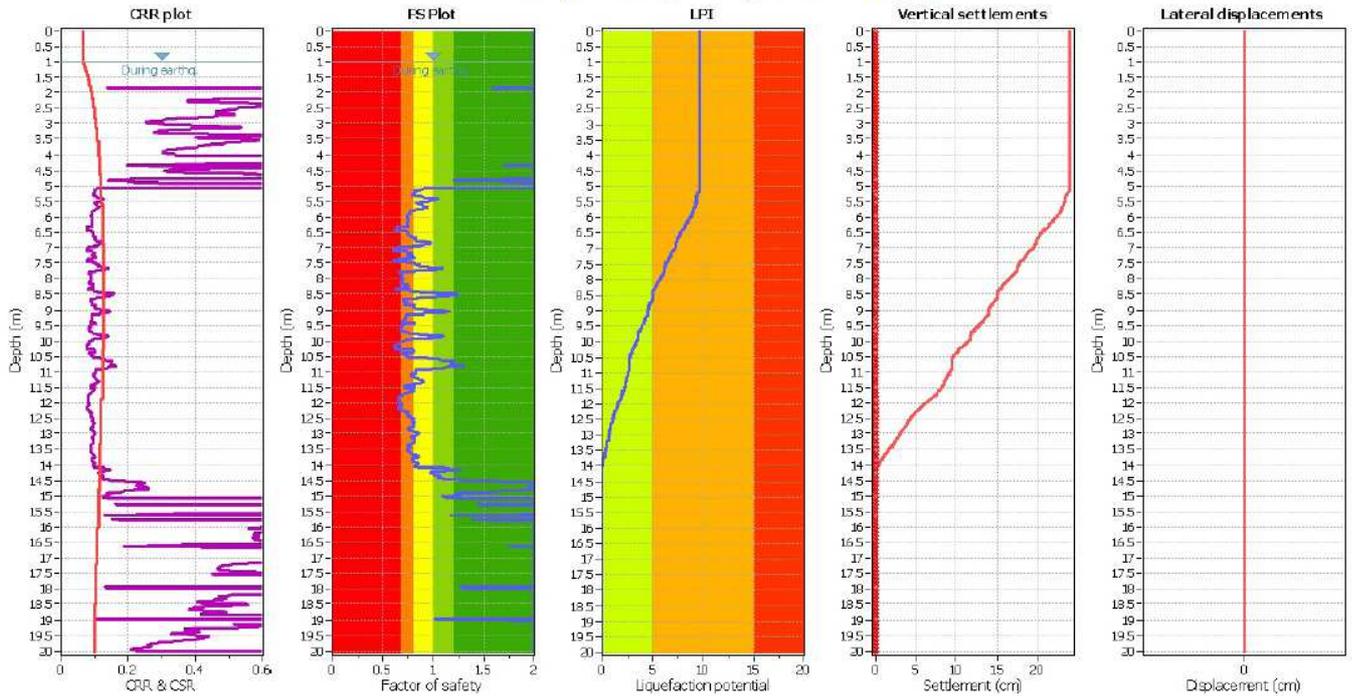
Cluq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 16:59:51
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF\A-LAVORO\A-RAFFAELE ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 1-9-Gamberini\IQUF\CPTU4 BeI\BeI.clq

CPTU5: Metodo di Robertson & Wride/NCEER (2009 e seguenti), Mw da 6,14 a 5,20:

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU5

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (in situ): 1.95 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_s applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

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

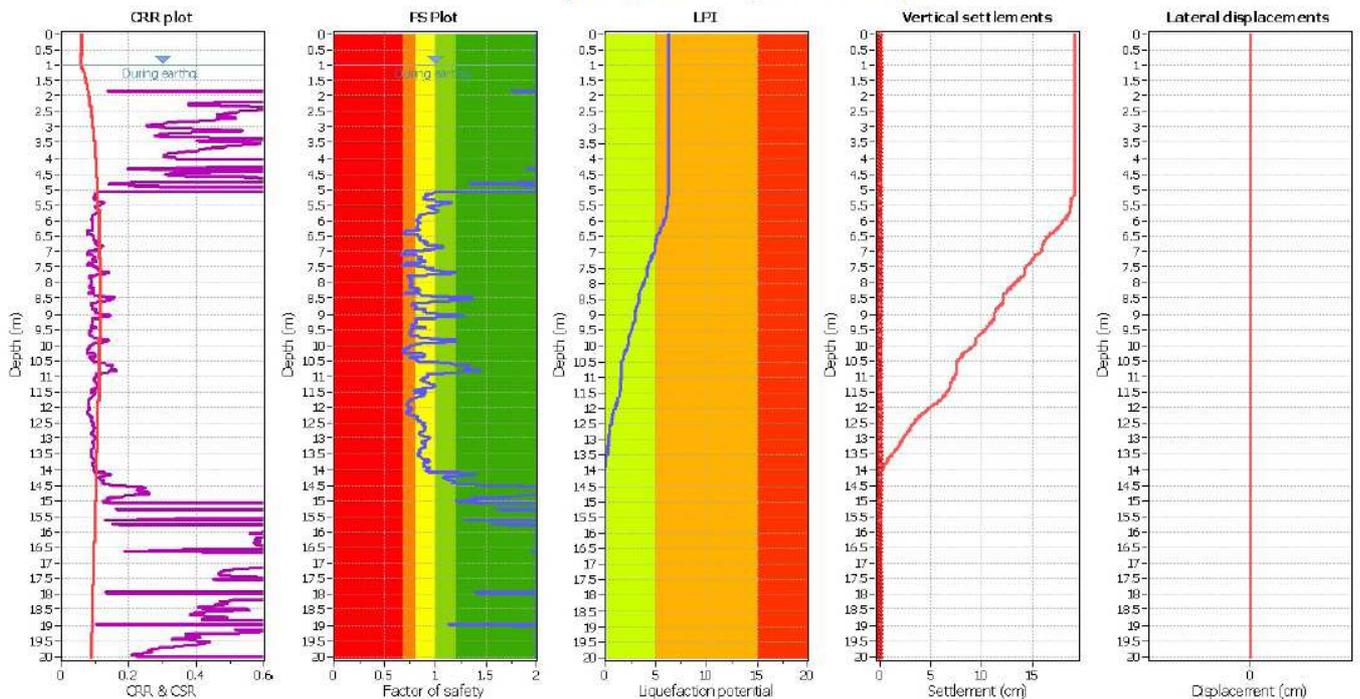
Clq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 17:15:41
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF\A-LAVORO\A-Raffaele RelAZIONI\2019\S.PietroCasale 1 9-Gamberini\IQUER\CPTU5 ReW\ReW.clg

5

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU5

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.90
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (in situ): 1.95 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_s applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

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

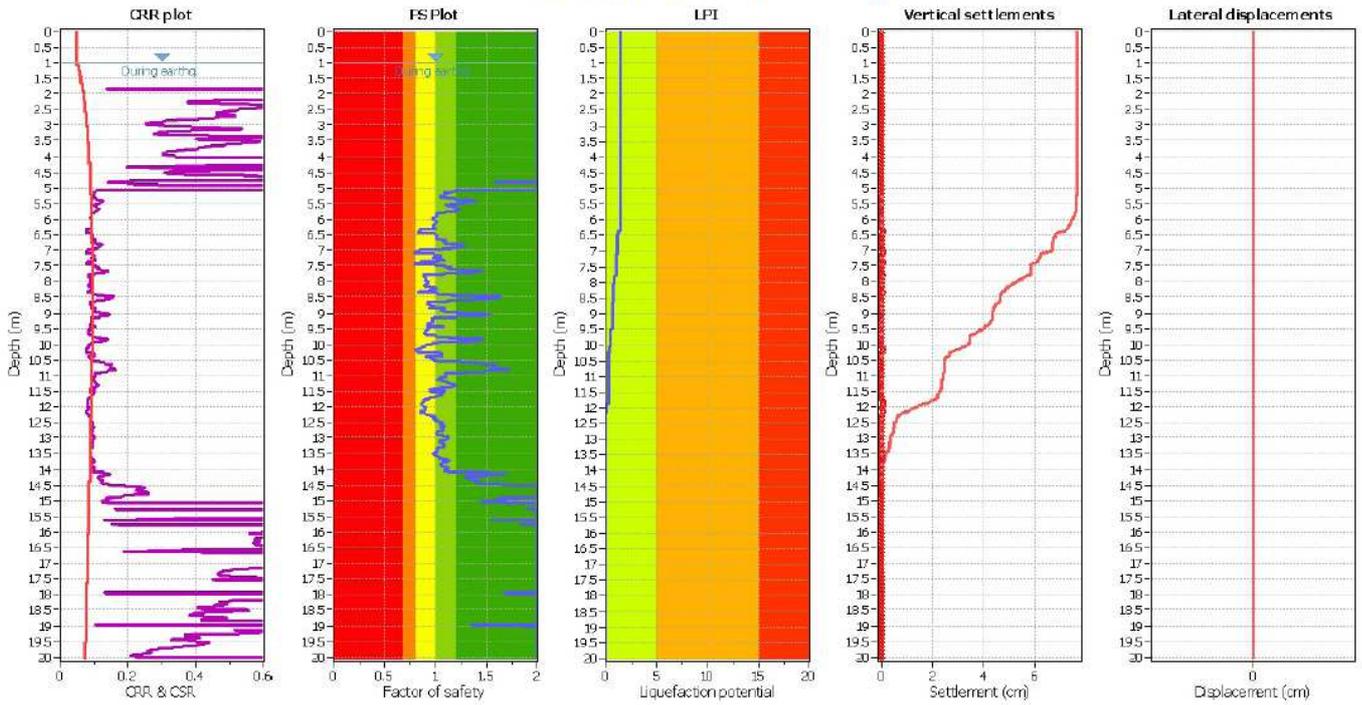
LPI color scheme

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

Clq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 17:17:31
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF\A-LAVORO\A-Raffaele RelAZIONI\2019\S.PietroCasale 1 9-Gamberini\IQUER\CPTU5 ReW\ReW.clg

5

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.50
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (instu): 1.95 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_u applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

Almost certain it will liquefy
 Very likely to liquefy
 Liquefaction and no liq. are equally likely
 Unlike to liquefy
 Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

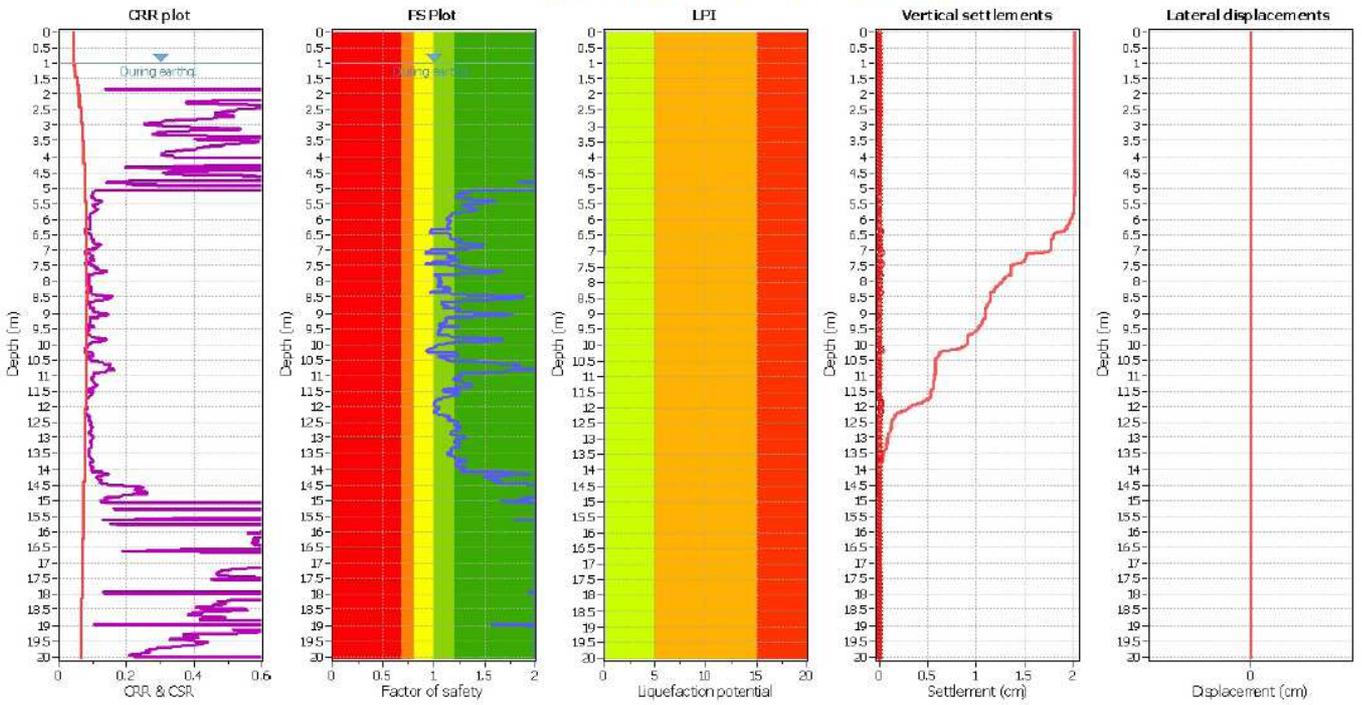
Very high risk
 High risk
 Low risk

Clq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 17:20:16
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF(A-LAVORO)\A-Raffaele ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 1 9-Gamberini\IQUF\CPTUS ReW\ReW.clq

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTUS

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.20
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (instu): 1.95 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_u applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

Almost certain it will liquefy
 Very likely to liquefy
 Liquefaction and no liq. are equally likely
 Unlike to liquefy
 Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Very high risk
 High risk
 Low risk

Clq v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 17:21:44
 Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAF(A-LAVORO)\A-Raffaele ReLAZIONI\2019\S.PietroCasale 1 9-Gamberini\IQUF\CPTUS ReW\ReW.clq

This software is licensed to: Studio Geologia

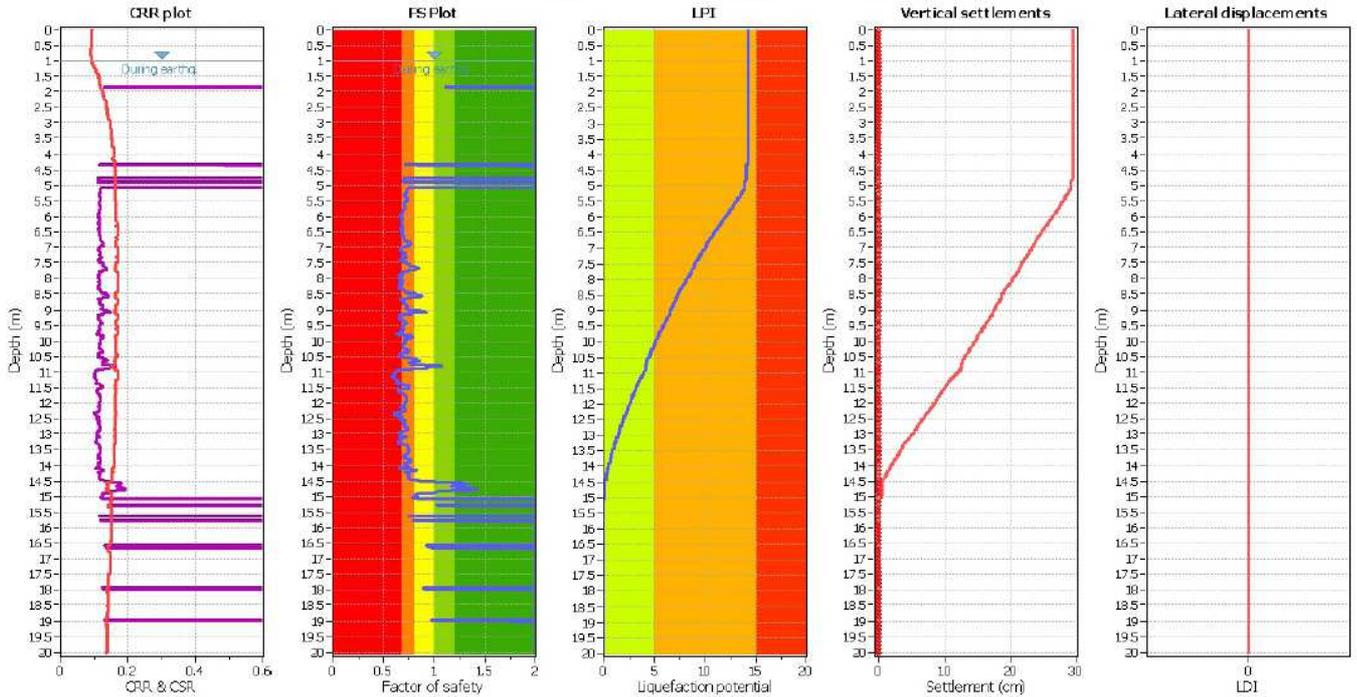
CPT name: CPTUS

CPTU5: Metodo di Boulanger & Idriss (2014), Mw da 6,14 a 5,20:

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU5

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)
 Fines correction method: B&I (2014)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (insitu): 1.95 m

Depth to GWT (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off values: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill heights: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

Almost certain it will liquefy
 Very likely to liquefy
 Liquefaction and no liq. are equally likely
 Unlike to liquefy
 Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Very high risk
 High risk
 Low risk

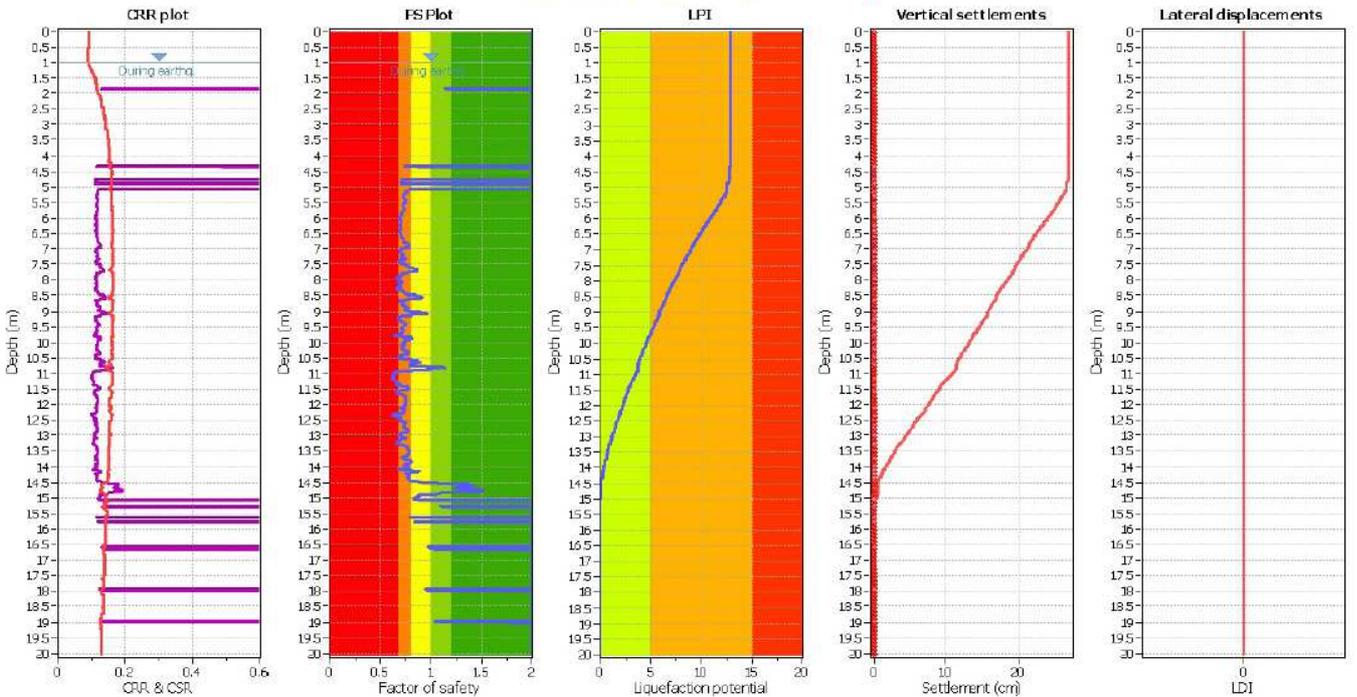
Clig v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 17:25:34

Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAFFAELA-LAVORO\A-Raffaele Relazioni\2019\S.PietroCasale 1-9-Gamberini\IQUF\CPTU BeI\Bel.clg

This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU5

Liquefaction analysis overall plot



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)
 Fines correction method: B&I (2014)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.90
 Peak ground acceleration: 0.17
 Depth to water table (insitu): 1.95 m

Depth to GWT (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off values: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill heights: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

Almost certain it will liquefy
 Very likely to liquefy
 Liquefaction and no liq. are equally likely
 Unlike to liquefy
 Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Very high risk
 High risk
 Low risk

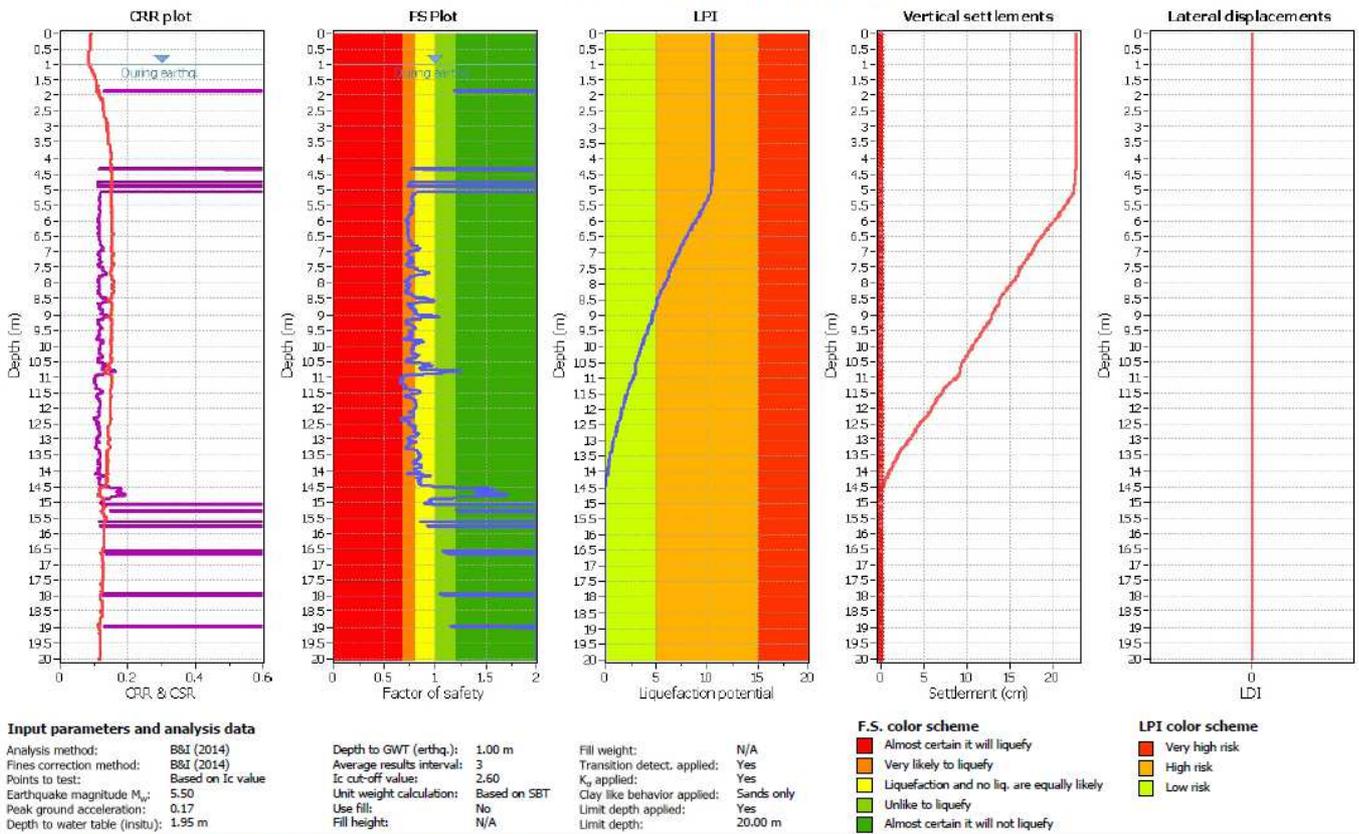
Clig v.2.1.6.11 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 19/04/2019, 17:26:39

Project file: C:\Users\BRUNALDI\Desktop\RAFFAELA-LAVORO\A-Raffaele Relazioni\2019\S.PietroCasale 1-9-Gamberini\IQUF\CPTU BeI\Bel.clg

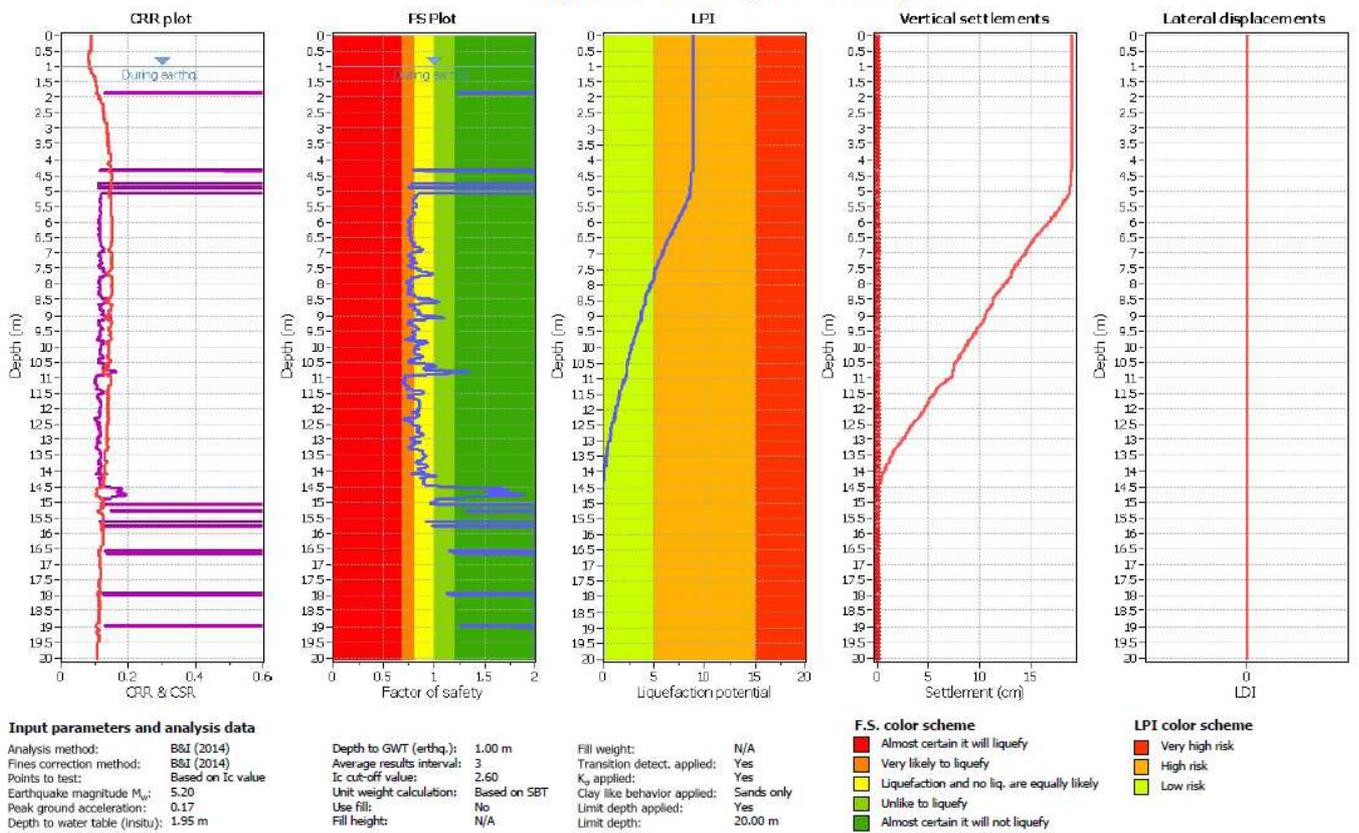
This software is licensed to: Studio Geologia

CPT name: CPTU5

Liquefaction analysis overall plot



Liquefaction analysis overall plot



Argenta, lì 19/04/2019

Raffaele Brunaldi, Geologo.

