ALLEGATO 8

Ambito 1 del POC

Elaborato:

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

Località:

San Pietro in Casale (BO); Via Stagno.

Committente:

Studio di Architettura Gamberini e Mazzoni.

Studio Geologico

BRUNALDI RAFFAELE

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

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

RELAZIONE DI INTEGRAZIONE A PRECEDENTE RELAZIONE, REDATTA DALLO SCRIVENTE IN DATA 19/07/2018 E RELATIVA ALL'AMBITO 1 DEL POC, IN LOCALITÀ SAN PIETRO IN CASALE (BO), VIA STAGNO.

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'Ing. A. Savi del Servizio Pianificazione Urbanistica dell'Area Pianificazione Territoriale della Città Metropolitana di Bologna. In ispecie si risponderà alle osservazioni circa la Pericolosità Sismica (di seguito riportate).

1 **Rispetto alla pericolosità sismica,** nella Tav.2a del PSC l'aerea viene considerata non a rischio di liquefazione. Tuttavia la Relazione geologica pone in dubbio tali indicazioni, poiché dalle verifiche eseguite la zona presenta criticità.
Pertanto si ritiene necessario approfondire tali aspetti con un approfondimento di III livello.

2 In particolare, si richiedono le seguenti integrazioni:
- calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica in termini di accellerazione massima orizzontale (PGA/PGAO) e di intensità di Housner (SI/SIO), la definizione dei fattori di amplificazione locale (FA) dovranno essere ricavati da apposita modellistica di simulazione sismica secondo le varie necessità. I criteri di elaborazione ed i dati di ingresso dovranno essere esposti, anche in formato numerico, nella Relazione geologica;
3 - gli spettri di risposta sismica delle aree critiche, per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%;
4 - la determinazione dell'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) per le due verticali indagate dalle CPT 2 e 3 (per la criticità dell'area);
5 - chiara espressione favorevole per l'utilizzo dell'area rispetto agli strumenti urbanistici.

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 19/07/2018.

Si procederà seguendo i punti sopra indicati.

Punto 1:

Lo scrivente nella relazione originaria rilevava alcune incongruenze fra i vari livelli di pianificazione, circa la tematica del rischio (che sarebbe più opportuno individuare come Pericolosità, come si vedrà ben oltre) sismico (co- sismico) da Liquefazione (degli orizzonti saturi granulari). Nella fattispecie è vero che nella Tav. 2a del P.S.C. l'area in esame viene individuata come non soggetta a liquefazione, occorre però precisare che, come riportato alle Figg. 13/10 (Pag. 64) e 3/11 (Pag.65) della

relazione originaria, sia dall'analisi della Tav. 1.a: Pericolosità Sismica, Aree Suscettibili di Effetti di Sito che dall'analisi della Tav. 2.a Microzonazione Sismica Semplificata (dell'aggiornamento dell'Ottobre 2013) del P.S.C. Reno, Galliera- Terre di Pianura, per lo spigolo sud- occidentale dell'area in esame, si individuano problematiche di liquefazione, che sono presenti anche ad Est dell'area in esame.

Si osservi che anche la Fig. 13/9 di Pag. 62 (Tav. 3 Integrazione: Carta Macro Zone Sismiche del P.S.C.) conferma tale problematica. In difformità da quanto riportato alla Fig. 15/5 di Pag. 91 (Tav. A: Pericolosità Sismica, Tavola Sovracomunale delle Aree Suscettibili di Effetti Locali del P.S.C. Reno, Galliera- Terre di Pianura) che riporta come per tutta l'area (e per aree contermini) si evidenzino propensioni alla Liquefazione/Addensamento. Similmente dicasi per la Fig. 15/6 di Pag. 92 (Stralcio della Tav. 2C: Rischio Sismico, Carta delle aree suscettibili di effetti locali del PTCP della Prov. di Bologna, che individua l'area in esame come L1: potenzialmente soggetta ad amplificazione con potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione.

Ora dovrà ammettersi che non è compito né questione in capo allo scrivente mettere in accordo i vari piani e strumenti di pianificazione territoriale, questo è compito di altri. Ma comunque tutto ciò rende non corretto quanto espresso al Punto 1 (di cui sopra) della Richiesta di Integrazioni, ovvero che sia la relazione (originaria) dello scrivente a mettere in dubbio le indicazioni di non rischio (Pericolosità in vero) dell'area circa la Liquefazione.

È peraltro evidente che la cartografia di PSC, date le finalità di pianificazione dello strumento, non possa esprimersi alla scala di dettaglio che invece è fra gli obiettivi di una Relazione di Caratterizzazione Geologica di definizione dell'areale. A seguito di analisi geomorfologico, geologiche, litodeposizionali e stratigrafiche, seppur puntuali è compito del Professionista Geologo meglio definire le campiture delle cartografie di Pianificazione. Tuttavia si osserva quanto segue: lo scrivente ritiene (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, si procederà 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. 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- 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. Pare invece molto più utile aver riportato problematiche e limitazioni locali (meglio identificate che non dalla

cartografia di massima, del PSC) ed aver indicato come tali limitazioni dovranno essere affrontate nelle seguenti fasi (di indagine, di progettazione ecc.) anche ma non solo, dal raffittimento delle indagini puntuali che si dovranno eseguire nelle successive fasi di intervento. Per lo stesso motivo si ritiene logico che anche le definizioni sismiche di dettaglio puntuale debbano essere ricondotte ad ogni singolo intervento edificatorio.

Nonostante tale convinzione, stante la richiesta del Punto 1, 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 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).

Evidentemente il presente livello di indagine (Relazione originaria) si è basato anche (ovviamente non solo) su alcune indagini puntuali in situ, il loro numero e la loro tipologia è funzionale alla fase di studio.

Punto 2 e Punto 3

Onde rispondere alle rishieste di Integrazione di cui ai sopra elencati punti 2 e 3 occorre eseguire apposito Studio di Risposta Sismica Locale.

Anche per i motivi sopra citati, 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 puri- ettometrici (sino a Kilometrici) di deposizioni sciolte, dove le caratteristiche geo- meccaniche e geofisiche dei terreni sono definibili sino a profondità molto ridotte e 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!?

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Si osserva con grande soddisfazione invece che 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 profittevoli 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 data-base 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), 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.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

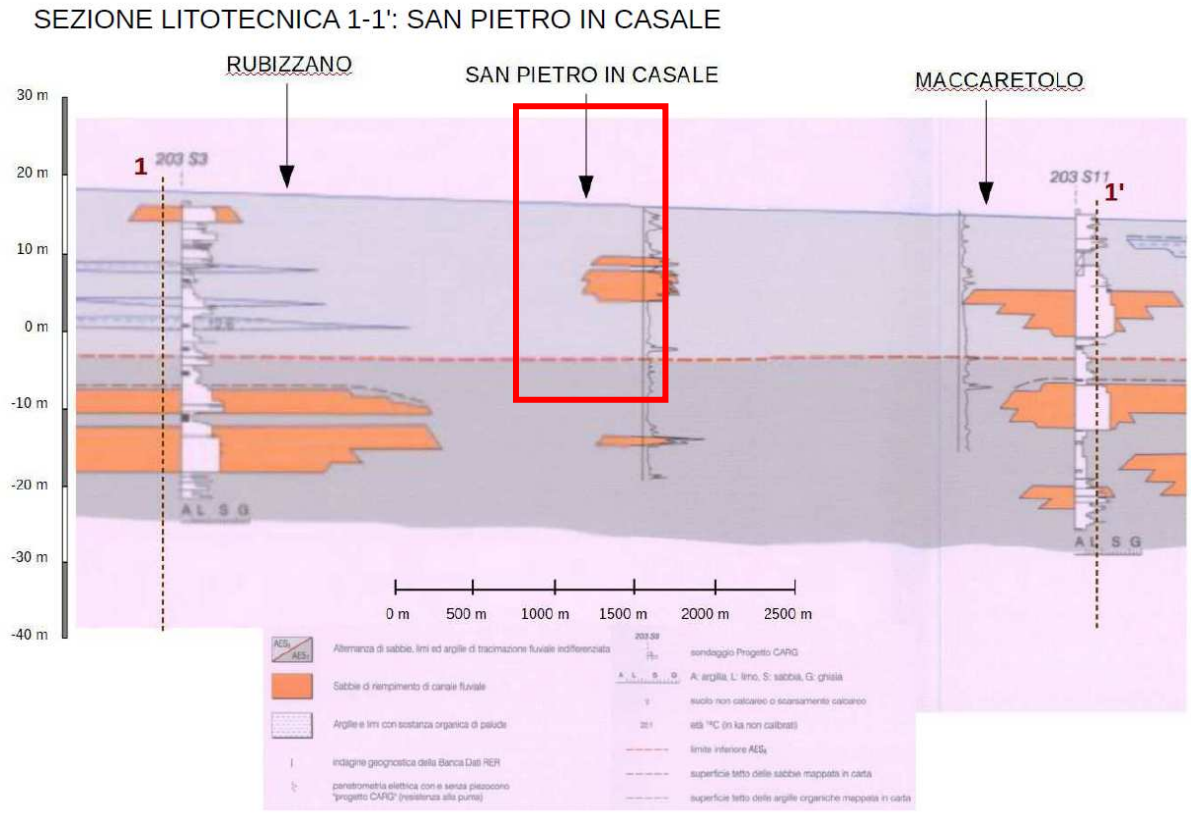


Fig. 1: stralcio a Scala Libera della Sez. 1- 1' del lavoro di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. La sezione locale (riportata alla relazione originaria) è in buon accordo con la presente sezione.

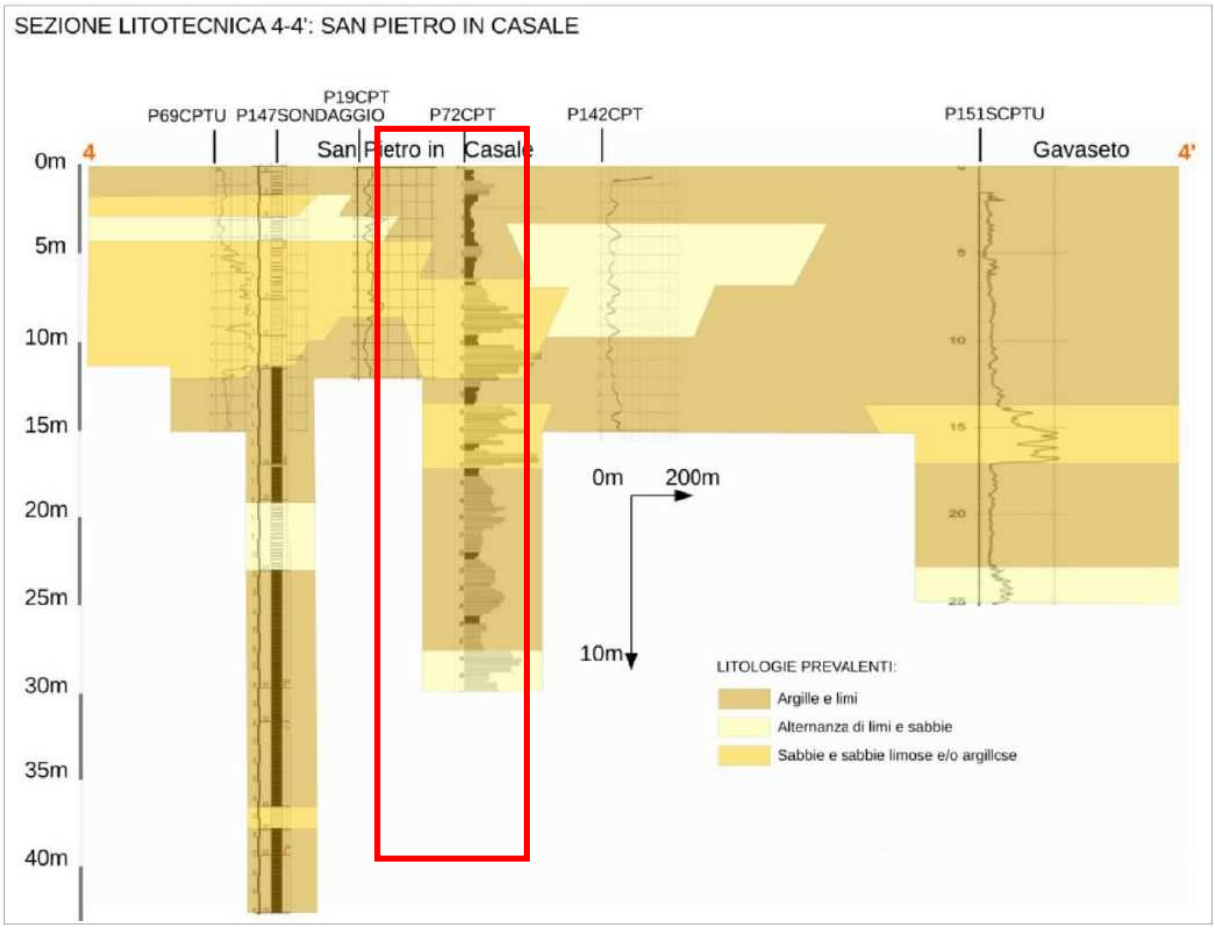


Fig. 2: stralcio a Scala Libera della Sez. 1- 1' del lavoro di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. La sezione locale (riportata alla relazione originaria) è in buon accordo con la presente sezione.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

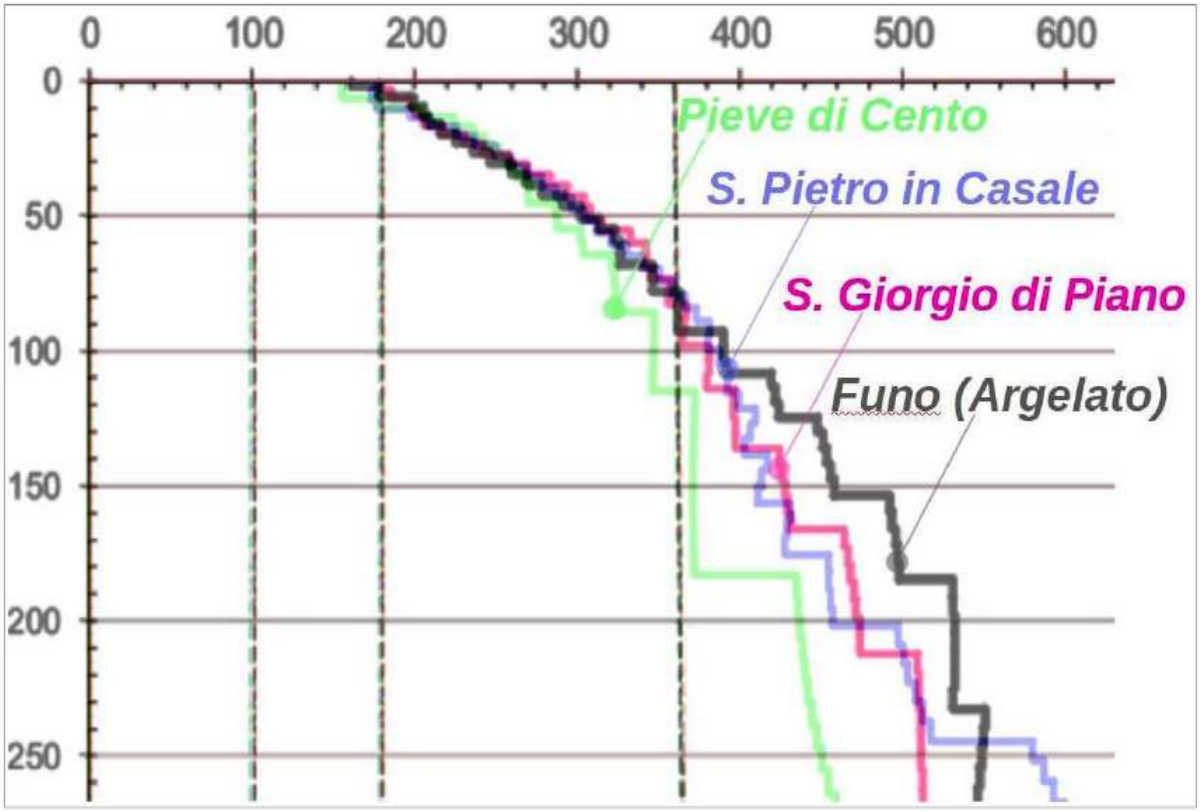


Fig. 3: confronto fra modelli stratigrafici di Vs (discendenti da misure ESAC) del lavoro di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale.

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 MSIIL 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:

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

che sostituita nella (1) pone:

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

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:

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

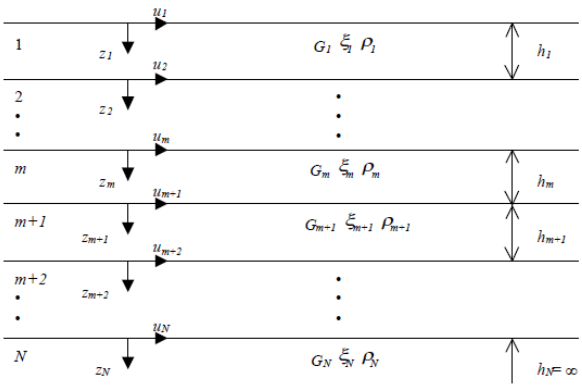


Fig. 4/1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

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:

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

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z,t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}\right] e^{i\omega t} \qquad (9)$$

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

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

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

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:

$$u_{m+1}(0,t) = u_m(h_m,t) \qquad (12)$$

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

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

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

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

$$\tau_m(h_m,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m e^{ik_m^* h_m} - Fe^{ik^* h_m}\right] e^{i\omega t} \qquad (15)$$

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

$$\tau_{m+1}(0,t) = \tau_m(h_m,t) \qquad (16)$$

ovvero

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

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

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

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

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

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

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0,t) = ik_1^* G_1^* \left[E_1 - F1\right] e^{i\omega t} = 0$$

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:

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

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,

$$\dot{u}(z,t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z,t) \qquad \ddot{u}(z,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z,t) \qquad (22)$$

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

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

$$A_{mn}(\omega)=\frac{u_m}{u_n}=\frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n}=\frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n}=\frac{E_m+F_m}{E_n+F_n} \quad (23)$$

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

$$\gamma(z,t)=\frac{\partial u}{\partial z}=ik^*\left(Ee^{ik^+z}-Fe^{-ik^+z}\right)e^{i\omega t} \quad (24)$$

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.

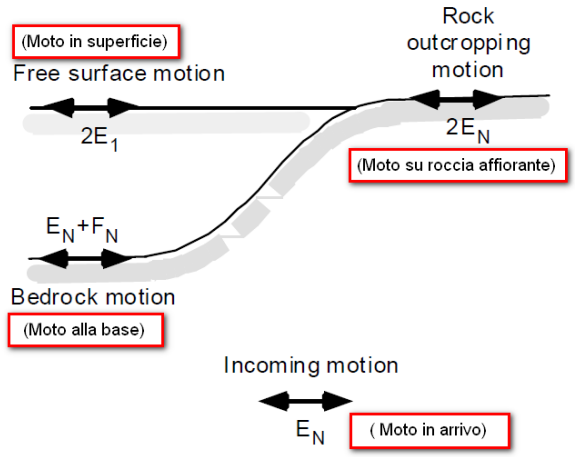


Fig. 4/2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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(γ)* adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

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

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

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

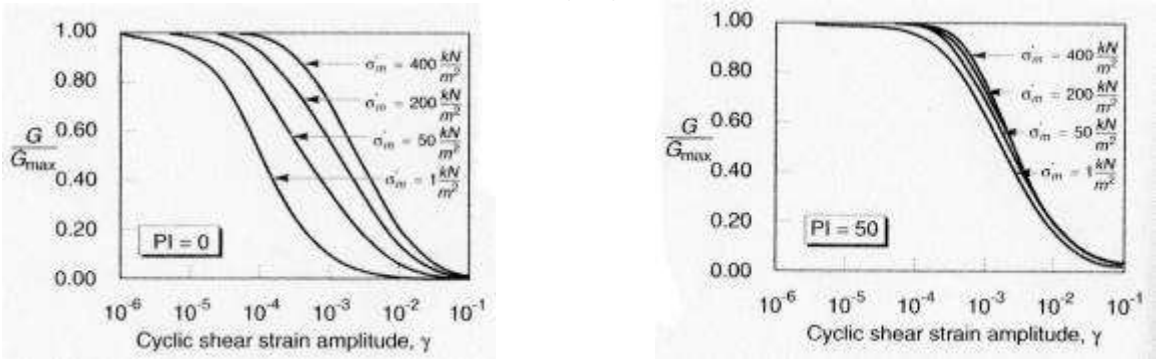
$$n(PI)=\begin{cases}0.0 & per\ PI=0\\ 3.37\times10^{-6}PI^{1.404} & per\ 0<PI\le15\\ 7.0\times10^{-7}PI^{1.976} & per\ 15<PI\le70\\ 2.7\times10^{-5}PI^{1.115} & per\ PI>70\end{cases} \quad (27)$$

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.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com



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:

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

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

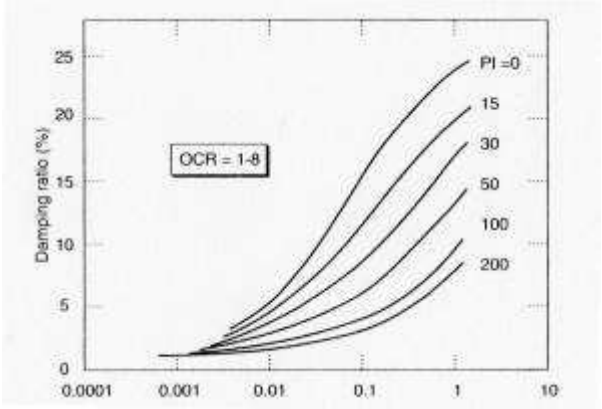


Fig. 4/4:Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Studio di RSL, risultanze:

Dati generali:

Descrizione	RSL per Verifica Liquefazione
Committente	Studio Gamberini
Cantiere	Via Stagno San Pietro in Casale (BO)
Operatore della prova	Raffaele Brunaldi
Responsabile della prova	Raffaele Brunaldi
Data della prova	d.C./03/2019
Latitudine	44.7062911987305[°]
Longitudine	11.3956079483032[°]

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Terreni

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

Stratigrafia:

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	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.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

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 poche centinaia di metri dall'area in esame e che potrà quindi essere ritenuto sufficientemente caratterizzante l'area stessa.

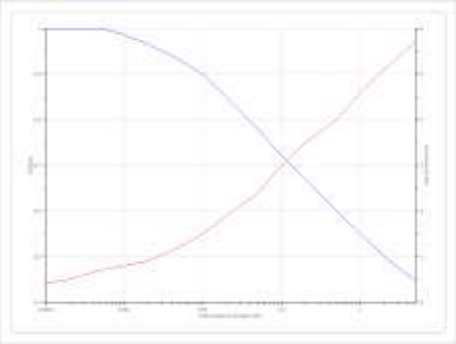
Seed et al. (1986) Sand - Lower Bound:

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. 5/2.

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

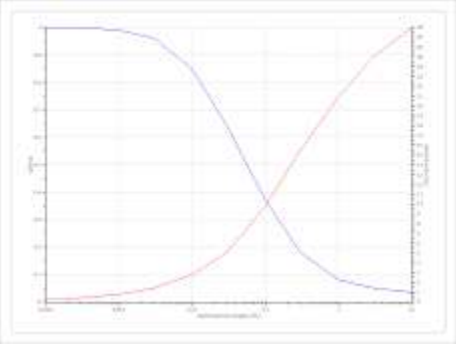


Tab. 3 e Fig. 5/3.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

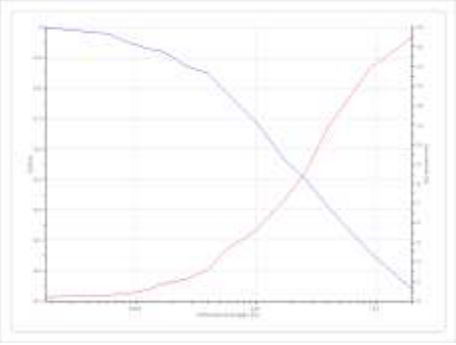
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000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



Tab. 4 e Fig. 5/4.

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

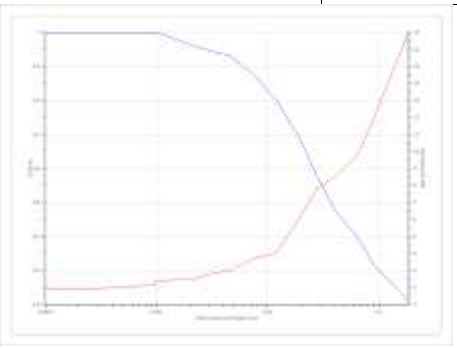


Tab. 5 e Fig. 5/5.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Limo Argilloso Str2 SPCasale:

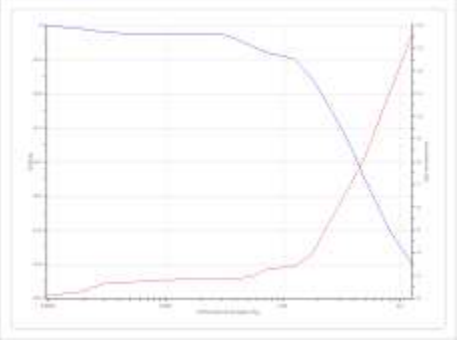
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.950
0.0002	1.000	0.0002	1.950
0.0003	1.000	0.0003	1.950
0.0005	1.000	0.0005	2.000
0.00075	1.000	0.00075	2.100
0.00097	1.000	0.00097	2.100
0.001	1.000	0.001	2.400
0.0022	0.960	0.0022	2.500
0.0031	0.945	0.0031	2.800
0.0046	0.930	0.0046	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. 5/6.

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. 5/7.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

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:

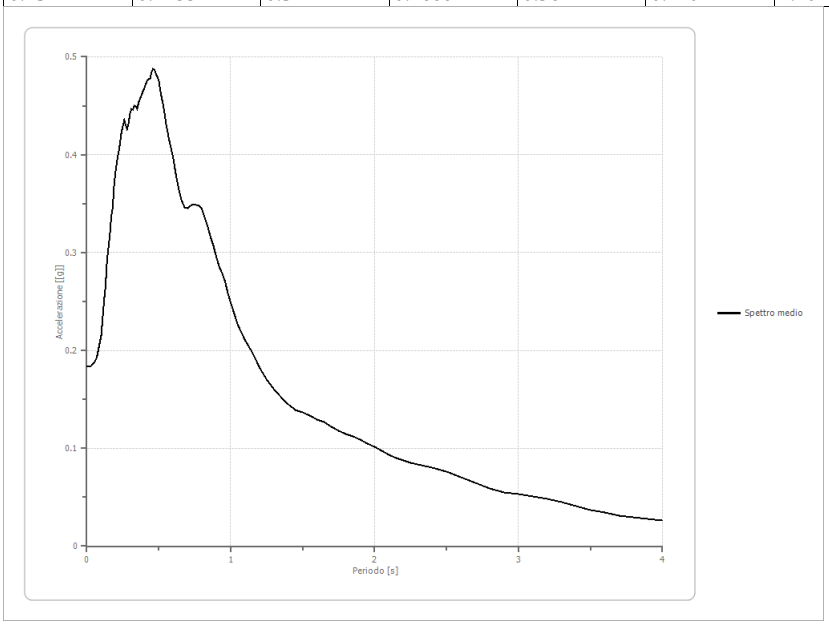
Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	**Int. Housner input [m]**	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	**FA**
0.100	0.500	**0.057**	0.072	0.200	**1.267**
0.500	1.000	**0.098**	0.200	0.500	**2.034**
0.100	1.500	**0.252**	0.460	0.067	**1.821**
0.100	2.500	**0.438**	0.818	0.040	**1.868**

Tab. 8.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Spettro medio di risposta elastico:

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [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		

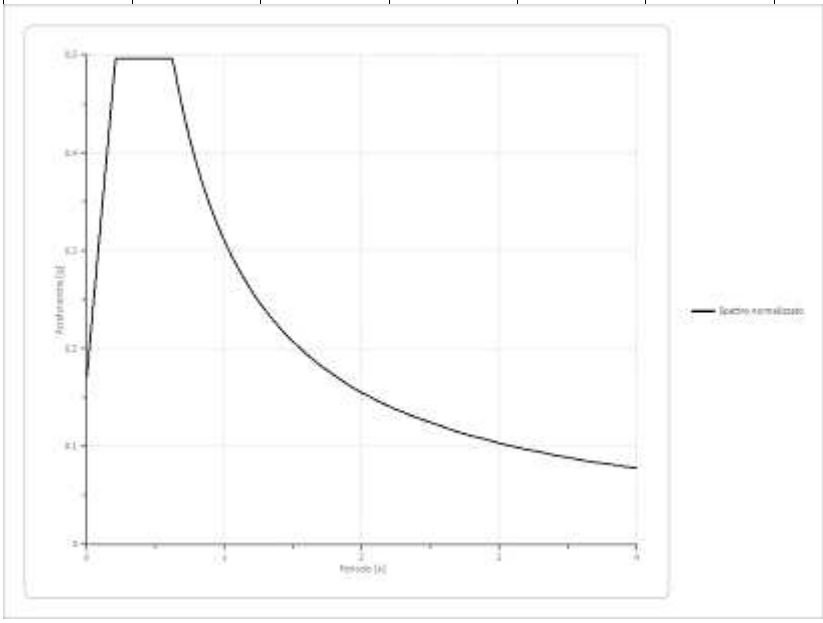


Tab. 9, Fig. 5/8.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Spettro normalizzato di risposta elastico:

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	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. 5/9.

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.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Confronto tra gli spettri:

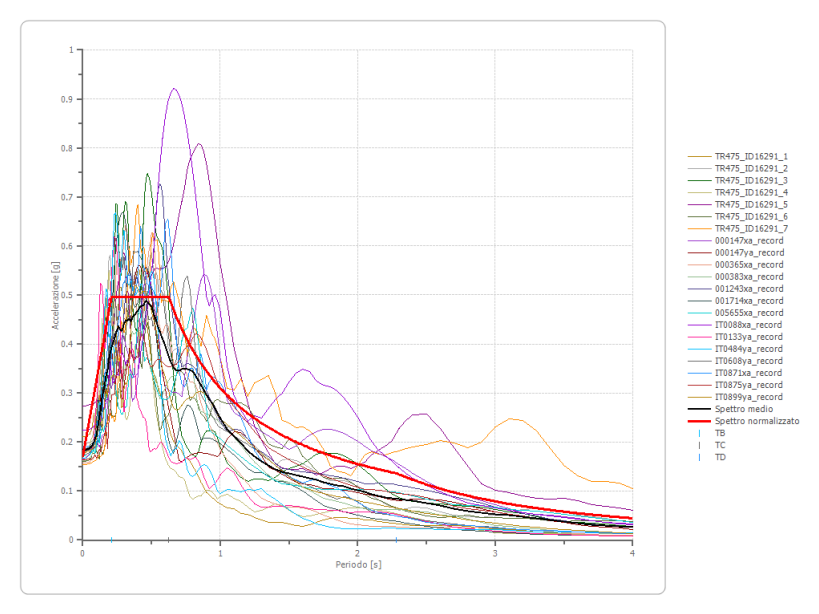


Fig. 5/10.

Confronto spettro normativa:

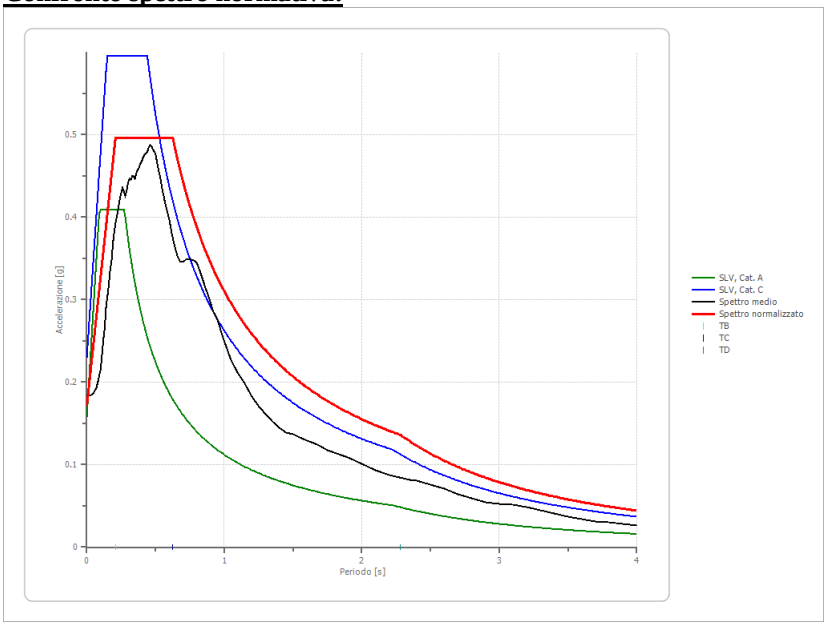


Fig. 5/11.

Si sono quindi riportati con dovizia di particolari i dati richiesti da Punti 2 e 3 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 tratte dallo Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

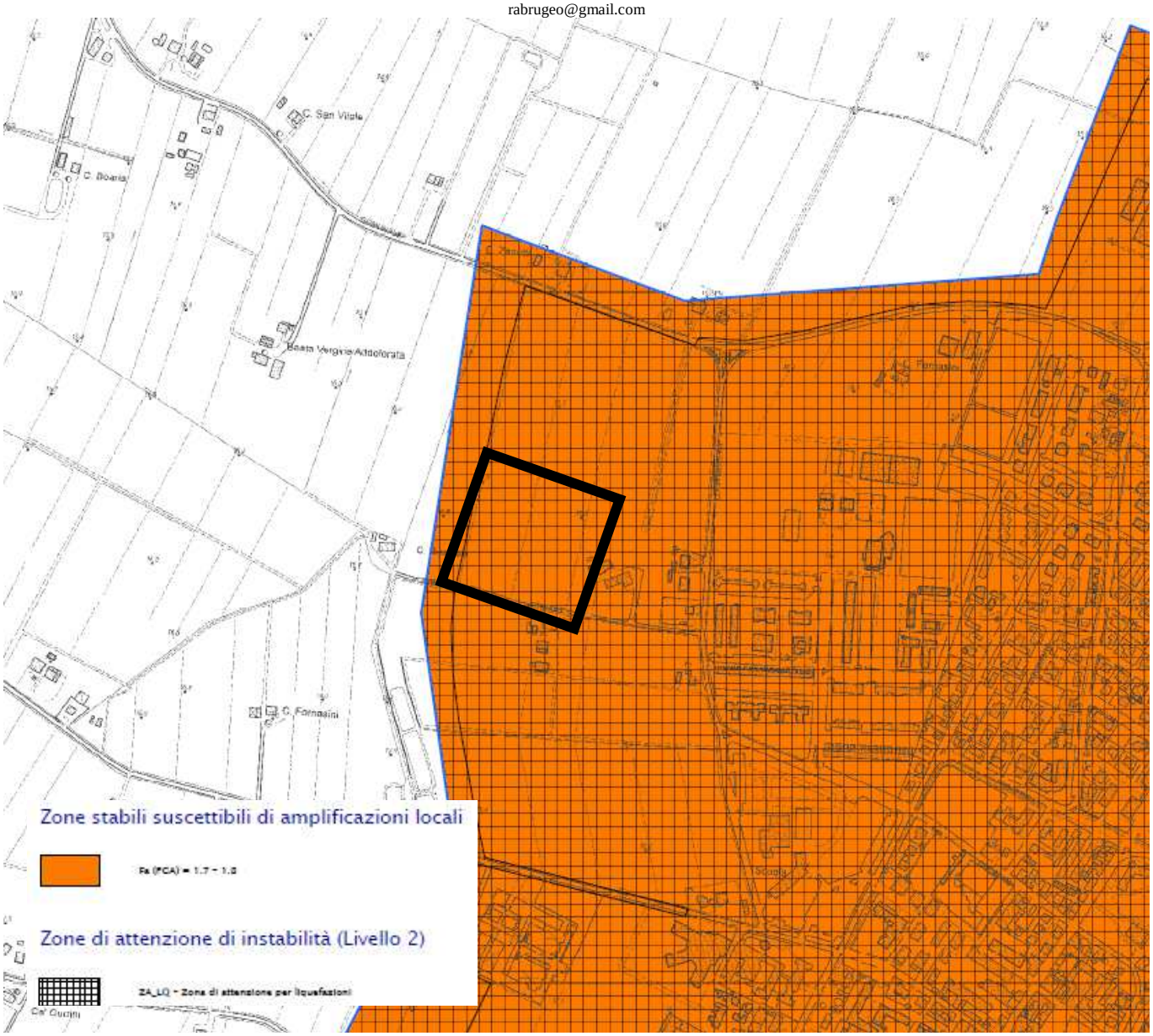


Fig. 5/12: Stralcio a Scala Libera della Tav. 6: FA PGA dello Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. **Secondo lo Studio, la FA PGA è compresa fra 1,7 e 1,8.**

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

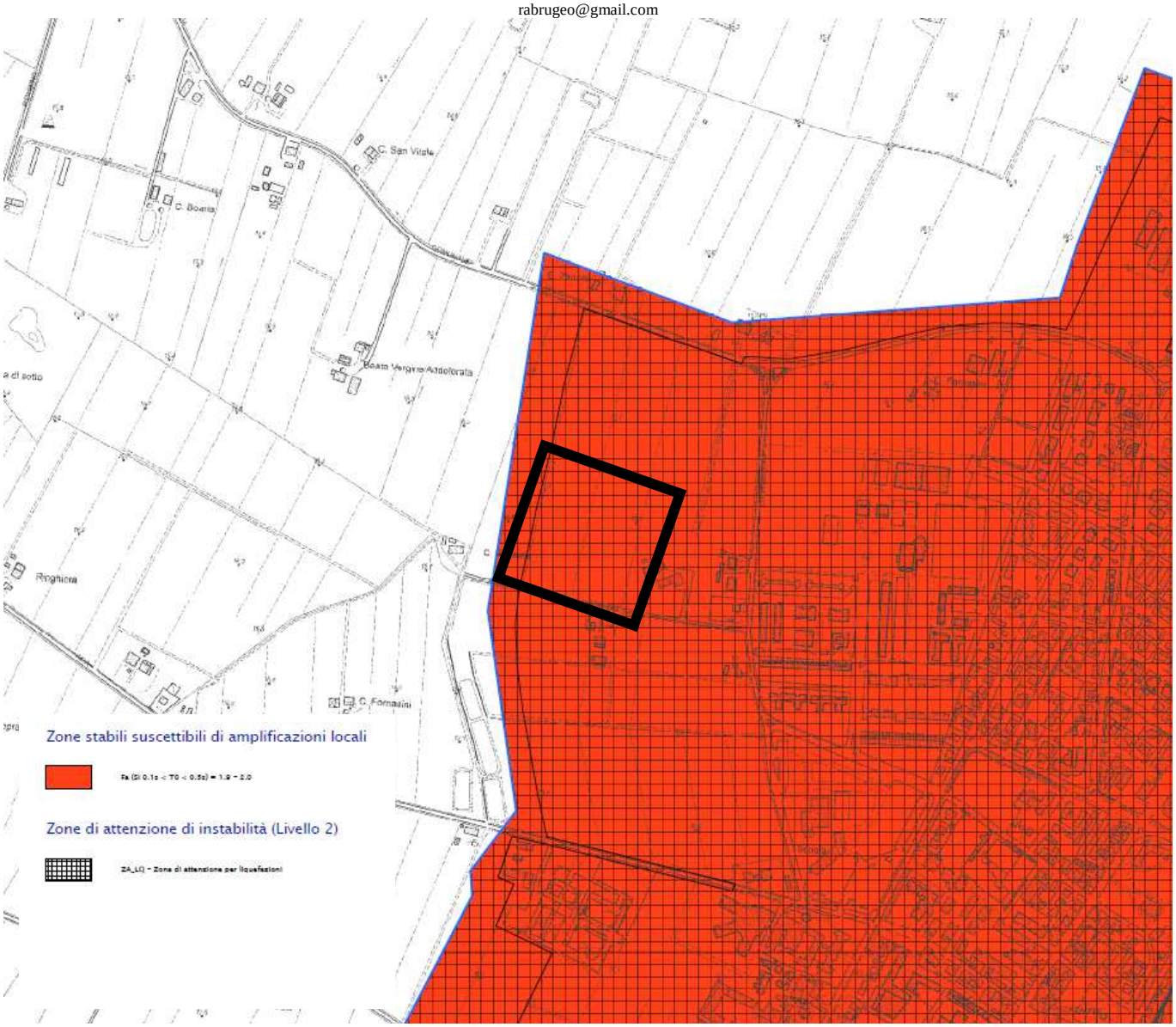


Fig. 5/12: Stralcio a Scala Libera della Tav. 6: FA fra 0,1 e 0,5 s dello Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. Secondo lo Studio, la FA è compresa fra 1,9 e 2,0.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

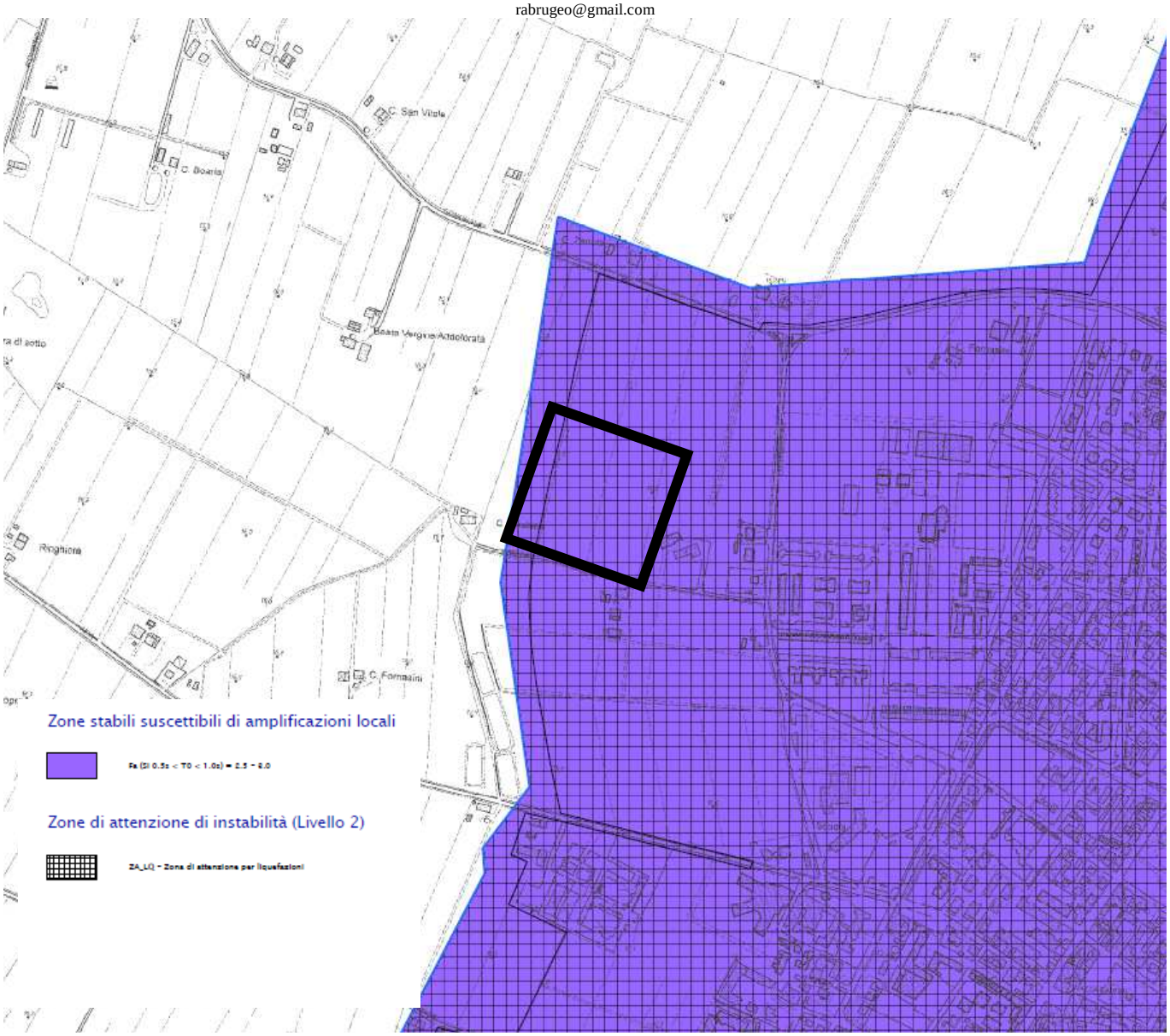


Fig. 5/13: Stralcio a Scala Libera della Tav. 7: FA fra 0,5 e 1,0 s dello Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. Secondo lo Studio, la FA è compresa fra 2,5 e 3,0.

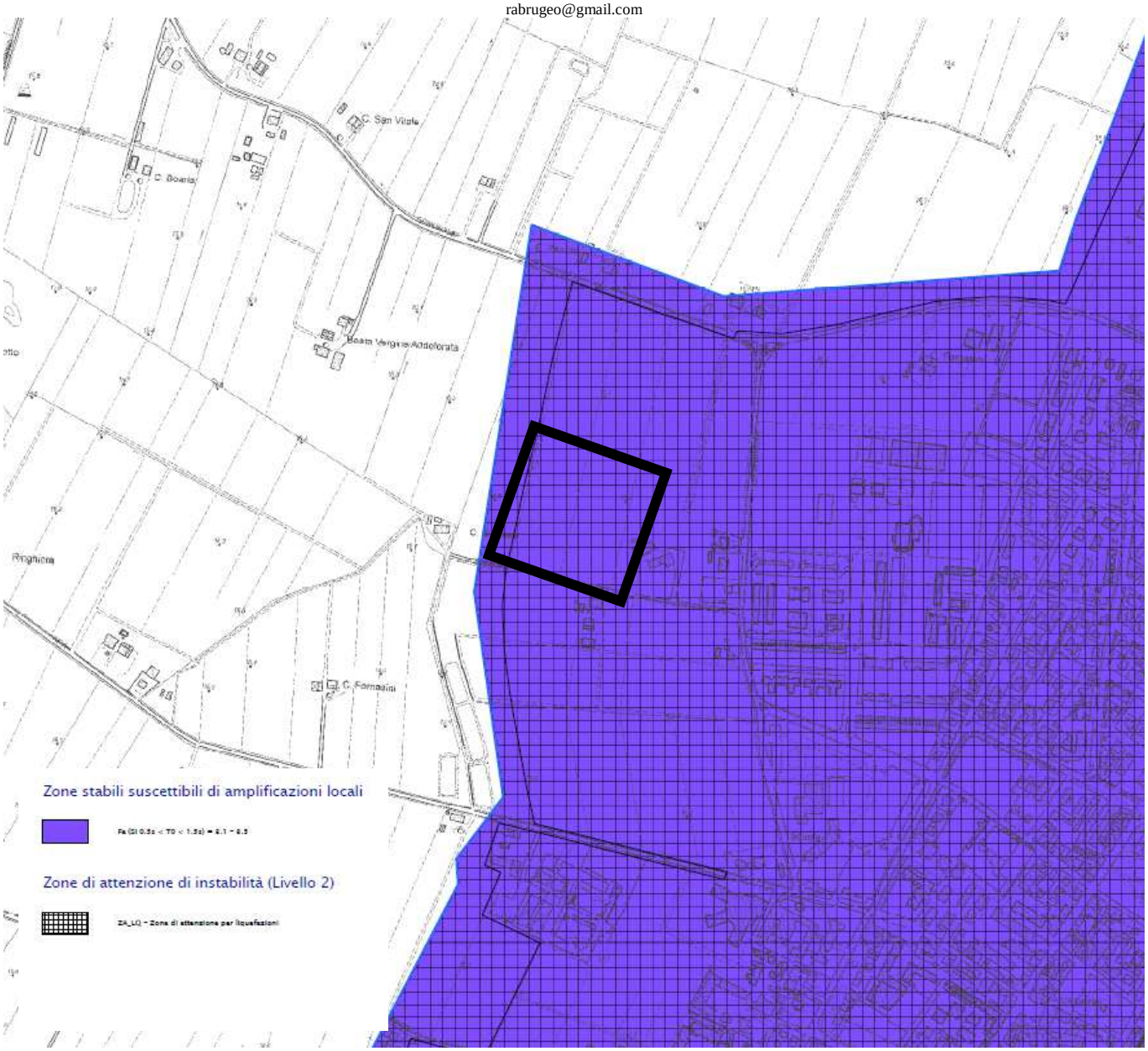


Fig. 5/14: Stralcio a Scala Libera della Tav. 8: FA fra 0,5 e 1,5 s dello Studio di MSIIL del Comune di San Pietro in Casale. Secondo lo Studio, la FA è compresa fra 3,1 e 3,5.

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).

Punto 4 Verifiche alla liquefazione:

Per rispondere alle richieste del Punto 4 (come riportato/enumerato in premessa) si sono eseguite due ulteriori CPTU: la CPTU2 corrispondente al punto di esecuzione dell'"originaria" CPT 2 e la CPTU

3 anch'essa corrispondente al punto d'esecuzione dell'"originaria" CPT 3 (di seguito si riportano i moduli di restituzione grafica in seguito raffrontati con quelli della CPTU1 per la quale si rimanda alla relazione originaria). Dalla comparazione delle restituzioni stratigrafiche si potrà considerare la continuità della stratigrafia locale fra CPTU 1, 2 e 3.

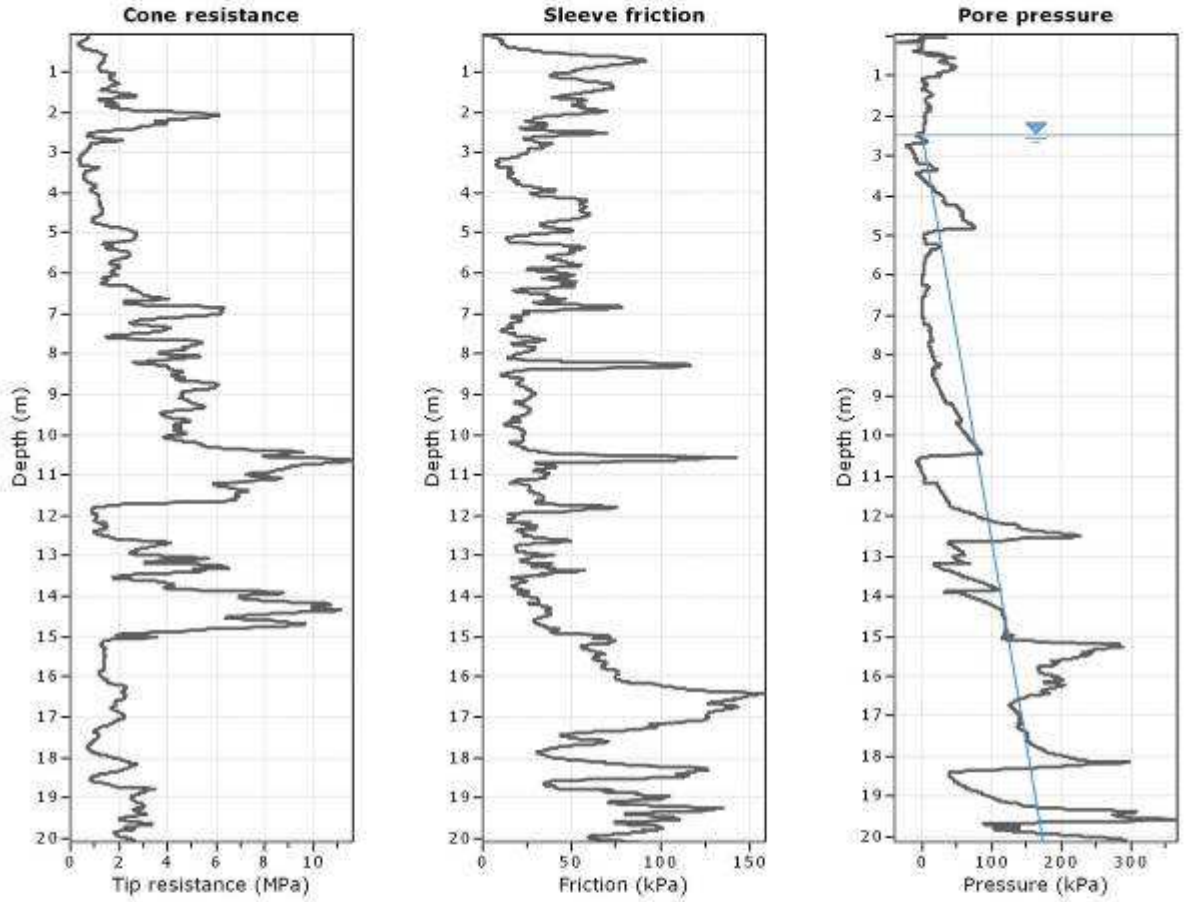
Poiché i metodi di verifica numerici e semplificati sono stati elaborati per l'utilizzo di indagini del tipo CPTU, si ritiene ben più corretto eseguire CPTU piuttosto che CPT (come indicato dal documento di richiesta di integrazioni), ovviamente si può operare anche sulla base delle risultanze delle indagini CPT (e lo scrivente ha più volte operato in tale senso) ma è più corretto operare su dati che per il fenomeno in questione possono essere ritenuti di miglior qualità. Ovviamente 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) i di seguito riportai 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 dal Progettista.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

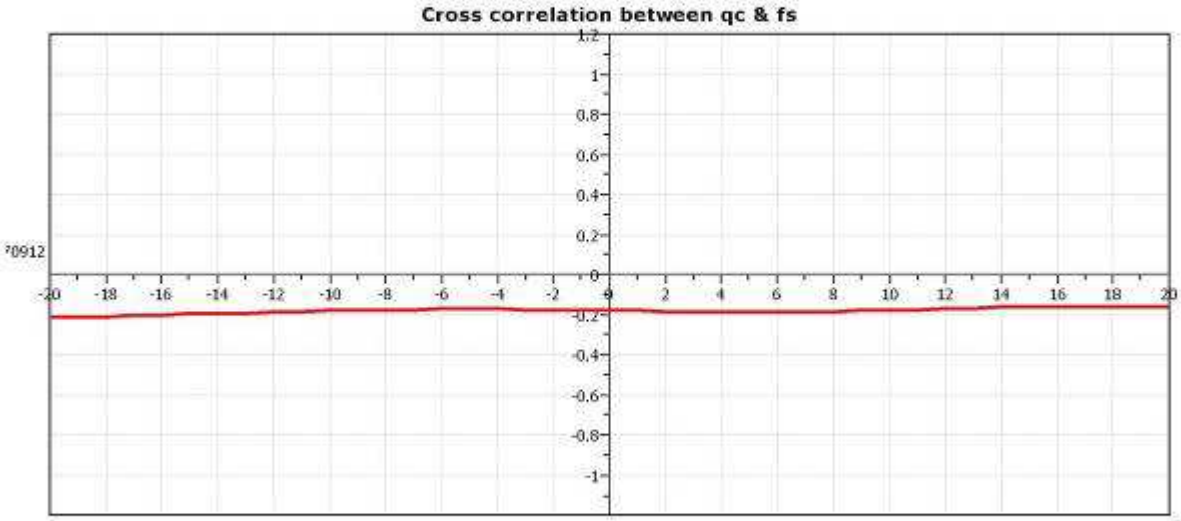
GeoLogismiki
Geotechnical Engineers
Merarhias 56
http://www.geologismiki.gr

CPT: CPTU2
Total depth: 20.10 m, Date: 05/02/2019
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

Project: Ambito 1
Location: San Pietro in Casale



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



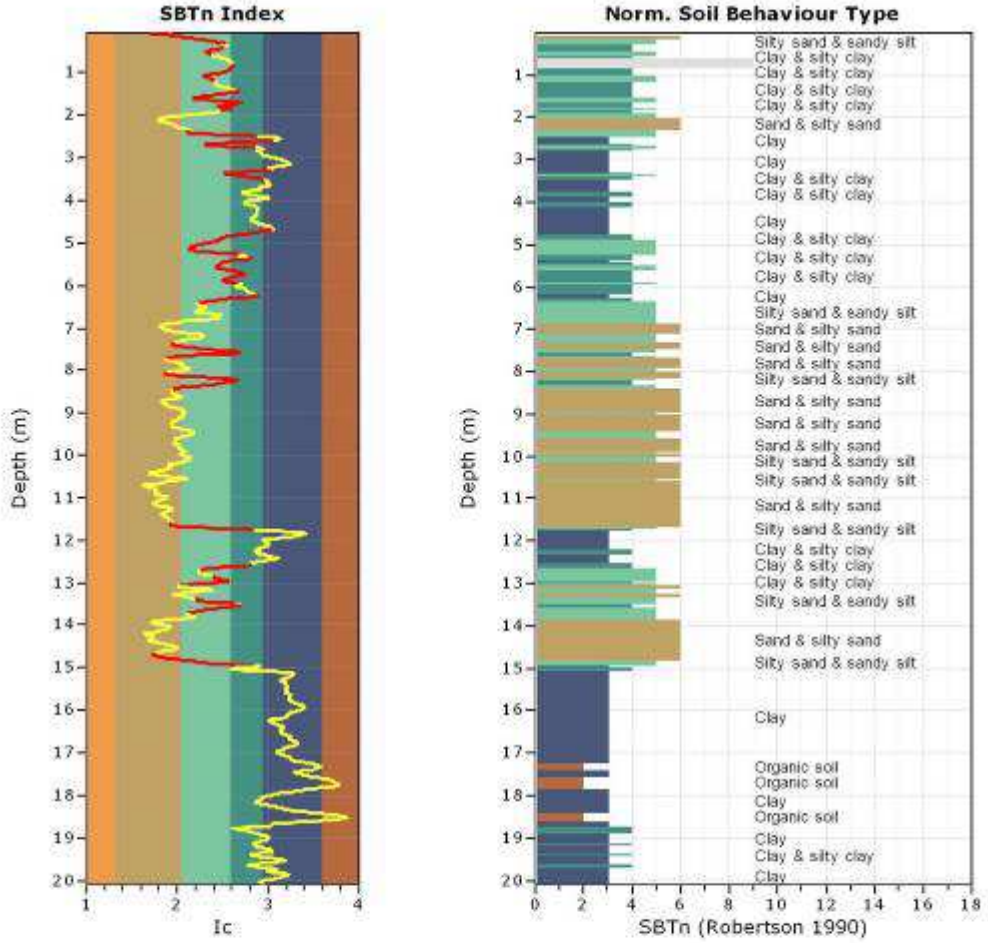
Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT
Summary Details & Plots

Short description

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

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



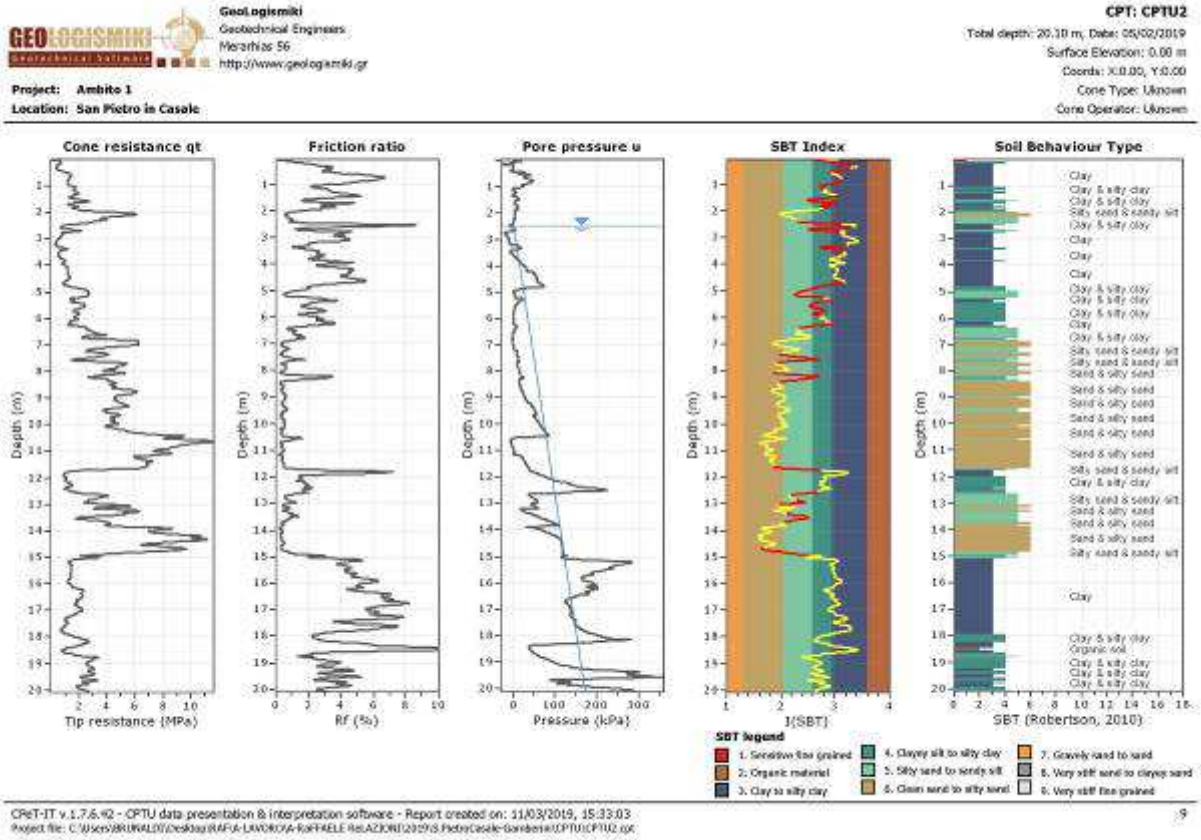
Transition layer algorithm properties

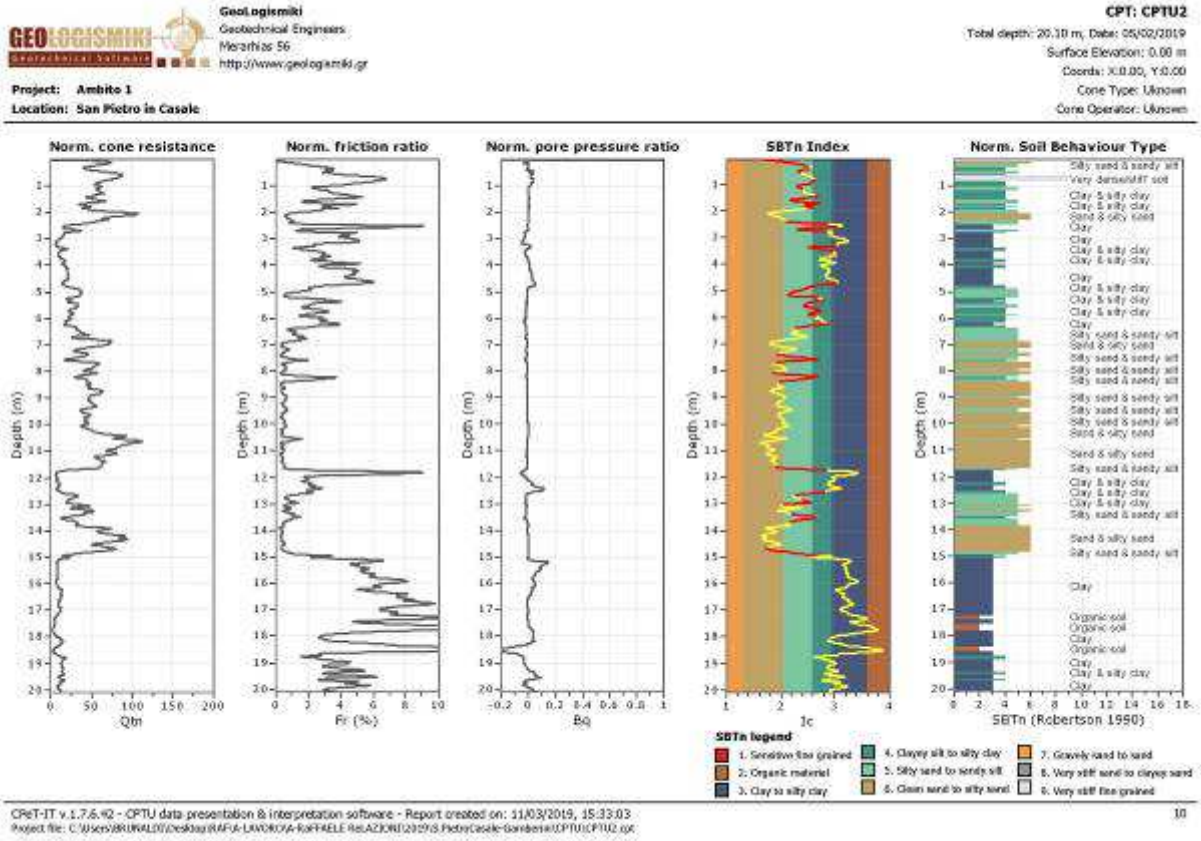
I_c minimum check value:	1.70
I_c maximum check value:	3.00
I_c change ratio value:	0.0010
Minimum number of points in layer:	4

General statistics

Total points in CPT file:	2013
Total points excluded:	524
Exclusion percentage:	26.03%
Number of layers detected:	33

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com





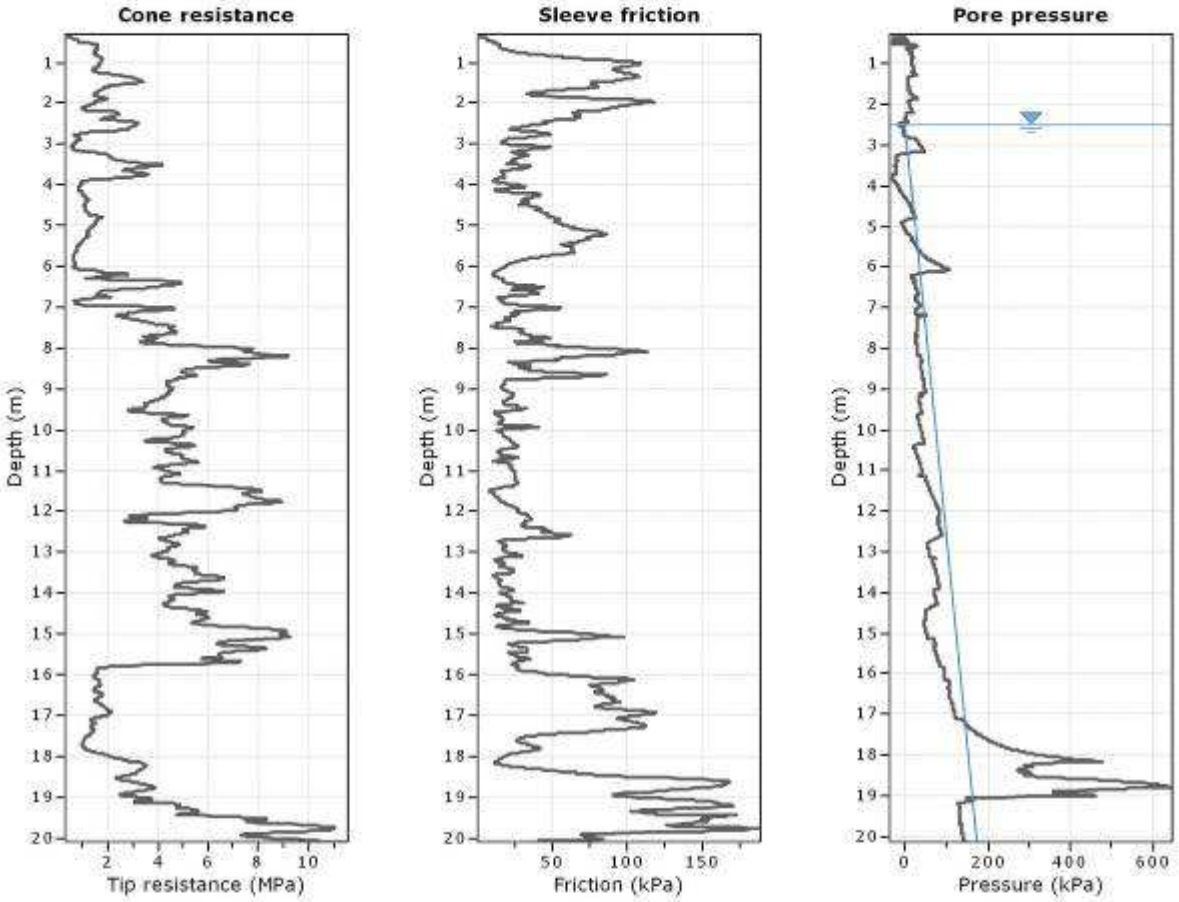
Figg. 6/1: moduli di restituzione grafica dell'indagine CPTU2.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

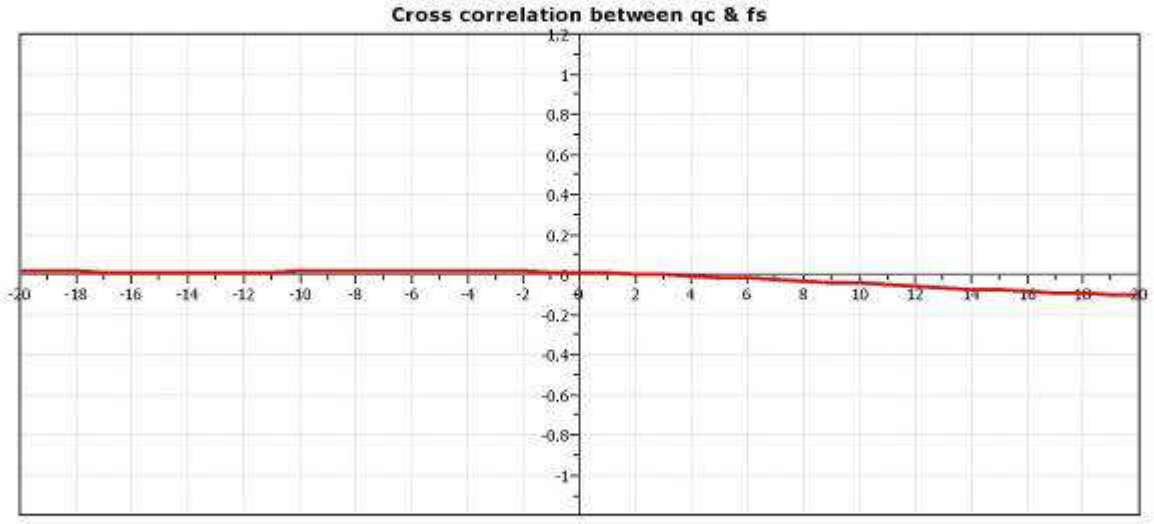
GeoLogismiki
Geotechnical Engineers
Merarhias 56
http://www.geologismiki.gr

CPT: CPTU 3
Total depth: 20.10 m, Date: 05/02/2019
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

Project: Ambito 1
Location: San Pietro in Casale



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



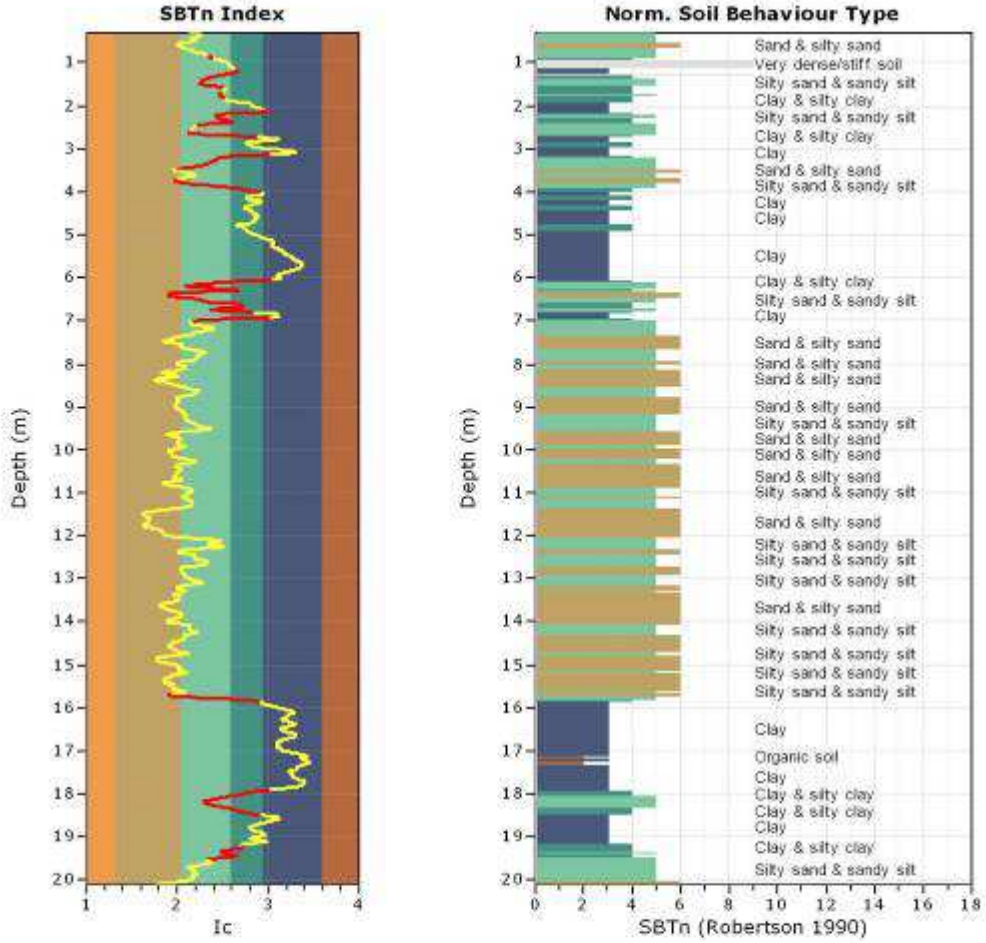
Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT
Summary Details & Plots

Short description

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

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



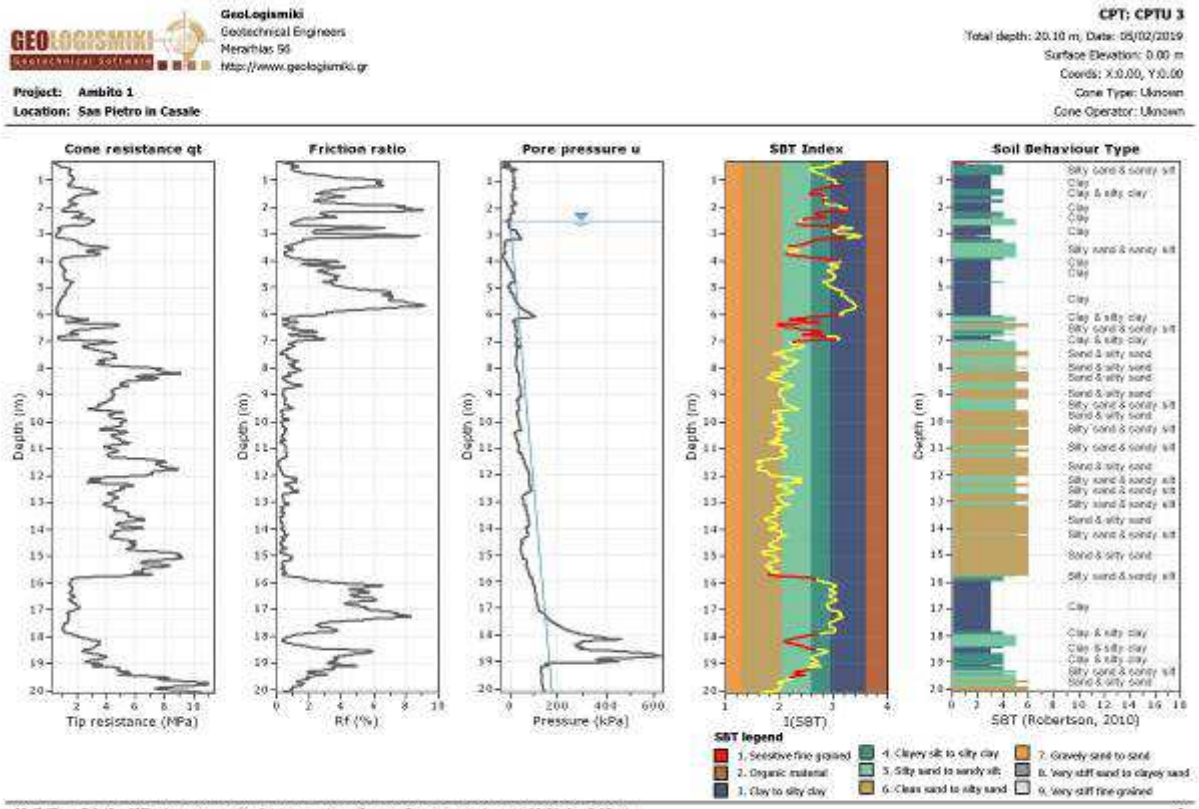
Transition layer algorithm properties

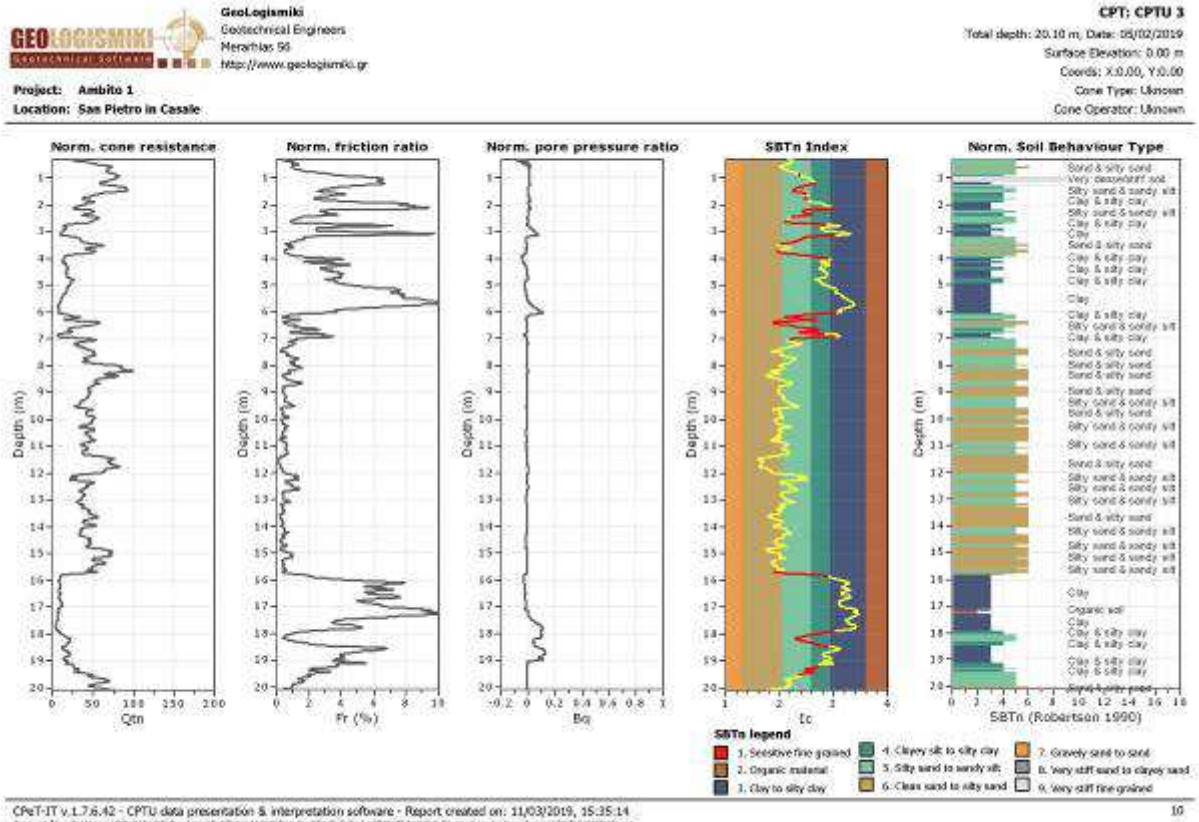
I_c minimum check value:	1.70
I_c maximum check value:	3.00
I_c change ratio value:	0.0010
Minimum number of points in layer:	4

General statistics

Total points in CPT file:	1983
Total points excluded:	386
Exclusion percentage:	19.47%
Number of layers detected:	24

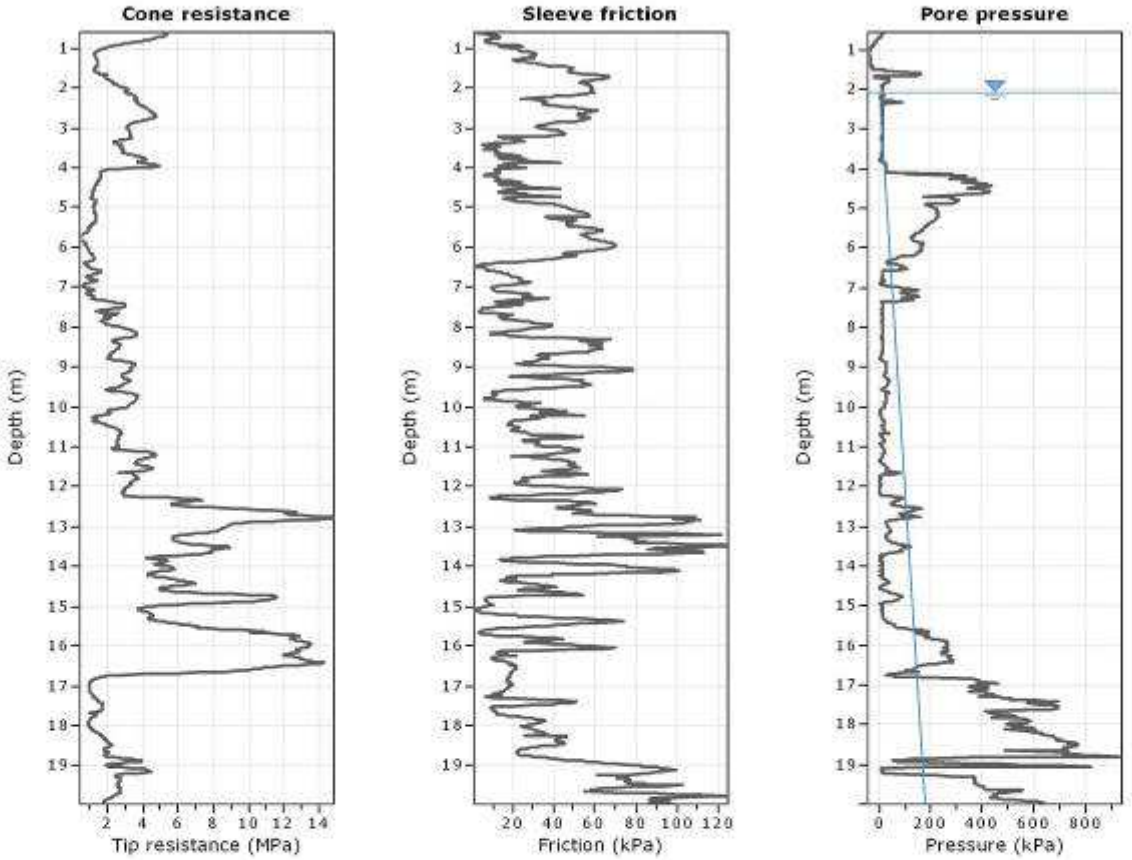
Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com



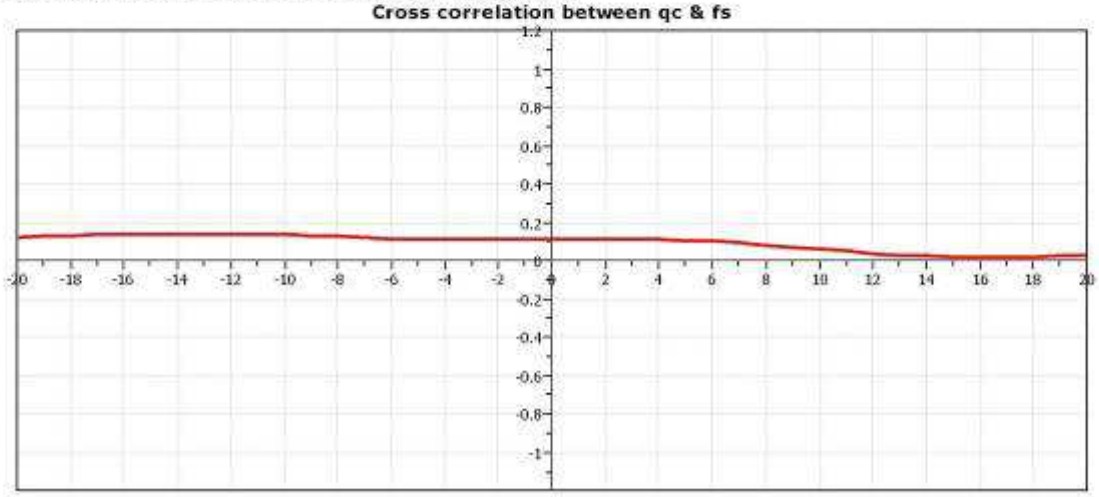


Figg. 6/2: moduli di restituzione grafica dell'indagine CPTU3.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com



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



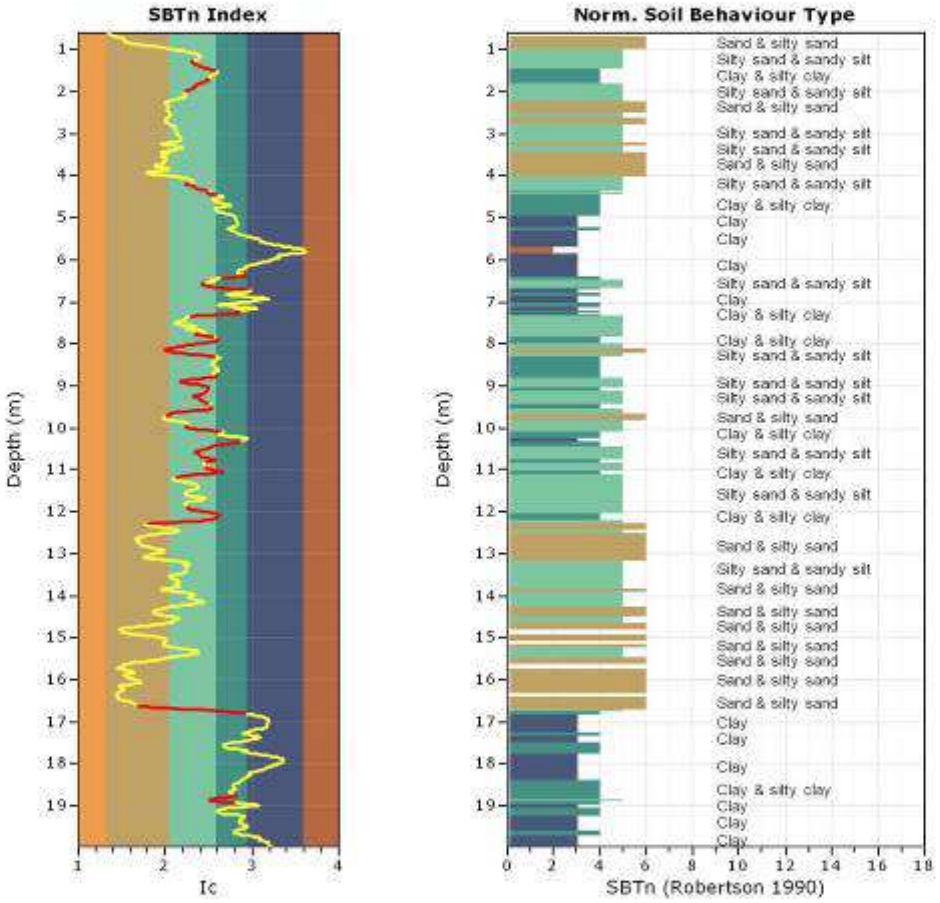
Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT
Summary Details & Plots

Short description

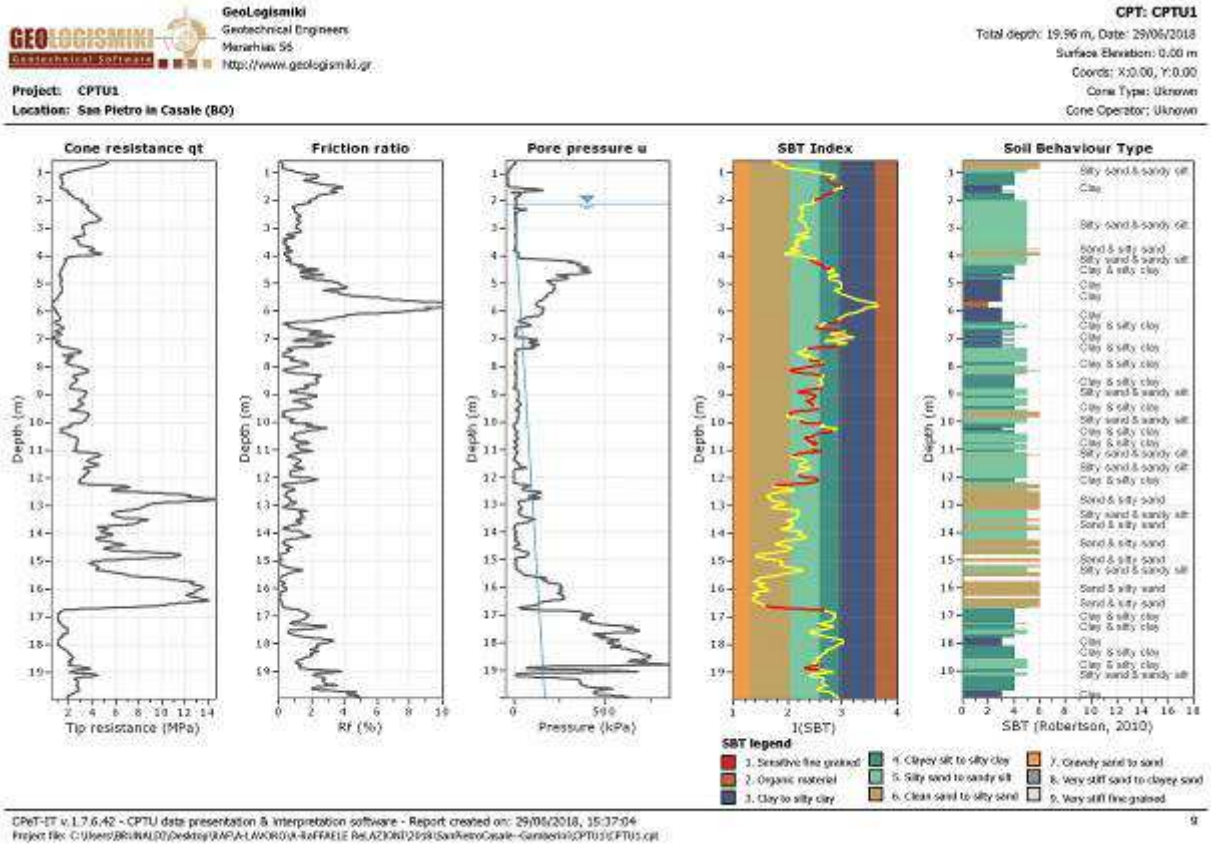
The software will delete data when the cone is in transition from either clay to sand or vise-versa. To do this the software requires a range of I_c values over which the transition will be defined (typically somewhere between $1.80 < I_c < 3.0$) and a rate of change of I_c. Transitions typically occur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

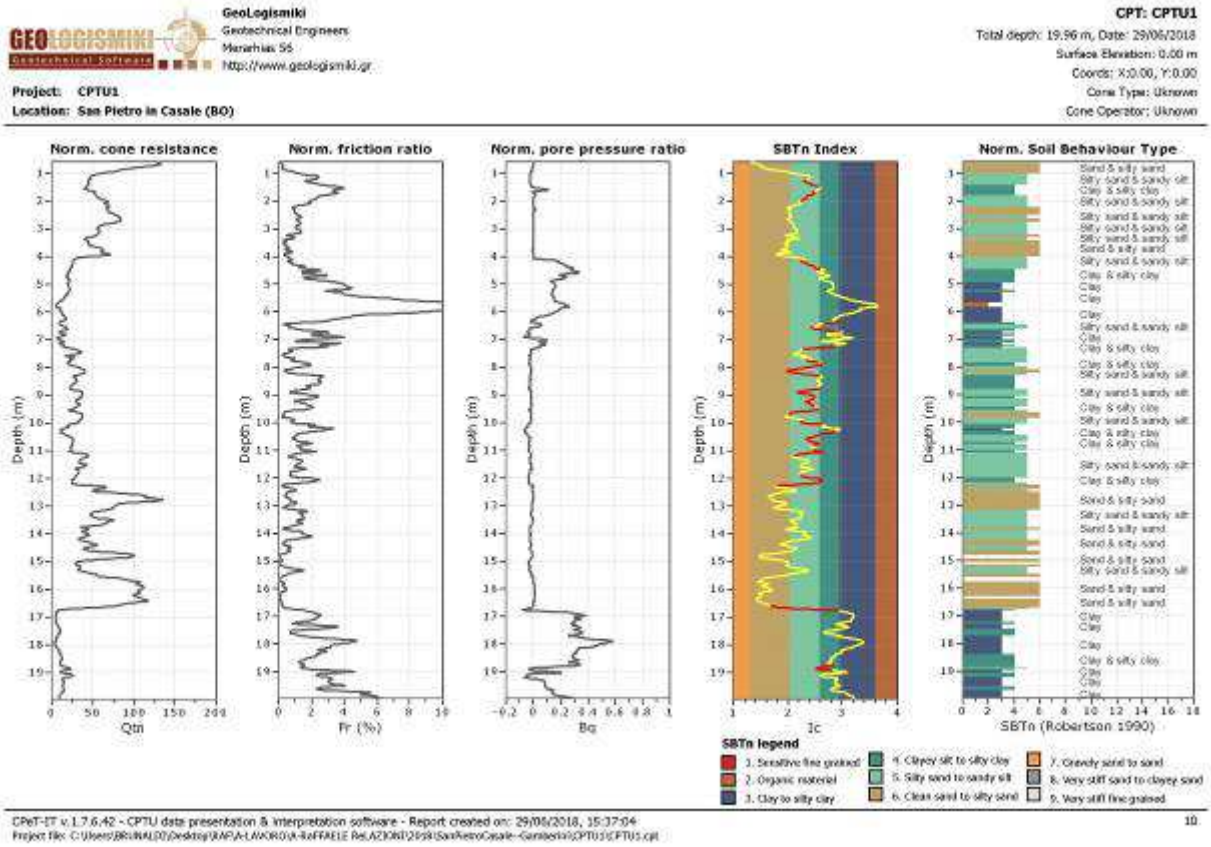
The SBT_n plot below, displays in red the detected transition layers based on the parameters listed below the graphs.



Transition layer algorithm properties		General statistics	
I_c minimum check value:	1.70	Total points in CPT file:	971
I_c maximum check value:	3.00	Total points excluded:	241
I_c change ratio value:	0.0010	Exclusion percentage:	24.82%
Minimum number of points in layer:	4	Number of layers detected:	26

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com





Figg. 6/3: risultanze della C.P.T.U. 1 (dalla relazione originaria).

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

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) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Relative Density, Dr (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

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

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

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

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

If $I_c > 2.20$

$\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$

$\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \le 14$

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

If $I_c \le 2.20$

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

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

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

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

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

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

$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)$ 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, Su(rem) (kPa) ::

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))}\right]^{1.25}$$ 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, Ko ::

$K_O = (1 - \sin\varphi') \cdot OCR^{\sin\varphi'}$

(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' (°) ::

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

(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. 6/4: illustrazione del metodo di indagine utilizzato.

Di seguito si riporteranno le risultanze delle verifiche condotte sui dati delle CPTU 2 e 3 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.

CPTU2, 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	8.0	16 circa	4.2	11 circa
5.90	7.2	15 circa	2.3	8 circa
5.20	4.5	10 circa	0	0

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

CPTU3, 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	9.0	21 circa	6.3	20 circa
5.90	7.9	19 circa	3.9	15 circa
5.20	4.5	11 circa	0	0

Tab. 13: risultanze delle verifiche eseguite, nelle varie combinazioni di calcolo.

CPTU1 (da Relazione Originaria), 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	6.2	14 circa	3.1	10 circa
5.90	5.4	13 circa	1.6	7 circa
5.20	3.2	12 circa	0	0

Tab. 14: 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’aria in esame, nelle varie combinazioni di calcolo il Potenziale locale di liquefazione è compreso fra Nullo e Alto.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Ovviamente le combinazioni di verifica sono fra le 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 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 (a smentire quanto riportato al punto 1 del documento di richiesta di Integrazioni). Che poi i dati discendenti dalle varie fasi di pianificazioni non siano fra di loro congrui, beh questo è un aspetto che non consta allo scrivente. Il quale invece ha correttamente riportato ogni dato "di monte" dal quale si ripete, risulta appunto come il fenomeno locale co- sismico della Liquefazione degli orizzonti saturi granulare fosse localmente previsto.

Punto 5:

Circa *"la richiesta di una chiara espressione favorevole per l'utilizzo dell'area rispetto agli strumenti urbanistici"* riportata dal documento di richiesta di integrazioni da parte della Città

Metropolitana, si è a far osservare che non si comprende il significato della richiesta. L'area dovrebbe essere utilizzabile per i fini edificatori e non per fini urbanistici (la questione risulta mal posta e/o mal forumata). Gli strumenti urbanistici a vario livello (PTCP, PSC, MSIIL) hanno dato indicazioni circa potenziali limitazioni/penalizzazioni all'utilizzo dell'area in esame. Lo scrivente li ha illustrati sia nella relazione originaria sia in quella presente approfondendo lo studio di tali componenti di limitazione. Nella fattispecie il limite/penalizzazione maggiore è costituito dalla propensione alla liquefazione degli orizzonti granulari saturi localmente rilevati.

La presente integrazione che comprende un presente approfondimento di indagine che la Città Metropolitana ha richiesto di eseguire nella presente fase (precedente a quella di Autorizzazione/Deposito sismico per i singoli interventi edificatori) non ha cambiato la sostanza della Pericolosità locale già individuata nella relazione originaria: v'è rischio di Liquefazione. Si ripete: come già riportato dai documenti di pianificazione e come illustrato dallo scrivente (nelle due fasi: originaria e attuale). Si ripete ulteriormente che ove i documenti di pianificazione non sono in accordo fra di loro, beh questo disaccordo deve essere considerato risolto dalle conclusioni della relazione originaria (e della presente relazione che comunque è in continuità ed accordo con quella originaria).

Ferme restando le considerazioni sulle varie fasi di approfondimento, ripetutamente riportate dallo scrivente nella presente e nella originaria relazione, in merito alla richiesta di chiarezza, si espone quanto segue:

l'area è edificabile con limitazioni/penalizzazioni, ogni singola edificazione dovrà cioè affrontare limitazioni/penalizzazione la cui entità dovrà essere attentamente considerata in relazione ad elementi non secondari ed allo stato attuale non conoscibili. Fra tali elementi si citerà la natura delle strutture fondali, la loro rigidità, l'attitudine o meno delle strutture fondali ed in elevazione (similmente dicasi per finiture ed impianti ecc.) ad accettare cedimenti post sismici ecc. Gli stessi cedimenti post- sismici dovranno essere attentamente valutati sulla base delle stesse caratteristiche testè citate. Lo Studio di RSL eseguito nella presente relazione potrà essere ulteriormente rivisitato/implementato sempre in considerazione delle reali componenti tecniche. Approfondimenti circa la conoscenza geologica, stratigrafica, geotecnica, sismica ecc. dei vari lotti si renderanno necessari e potranno far variare il giudizio sulle possibilità di realizzare ogni singolo intervento. Come ripetuto innumere volte, la fase corretta di approfondimento è quella ove tutte le componenti del progetto sono note e possono essere modificate a seguito di un processo reiterativo fra analisi e progettazione.

Si ritiene che non sia possibile essere più chiari di così e di aver apportato ogni elemento attinente alle Scienze della Terra per far si che eventuali investitori/Costruttori e Progettisti si approccino all'area in esame con le necessarie conoscenze. Si ripete ulteriormente (ormai prossimi alla noia) che molti di

questi elementi erano già presenti negli strumenti di pianificazione e si aggiunge che la presente relazione di Integrazione non ha modificato l'assetto complessivo illustrato dalla relazione originaria.

E non si può non osservare come il concetto di utilizzo dell'area debba anche 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.

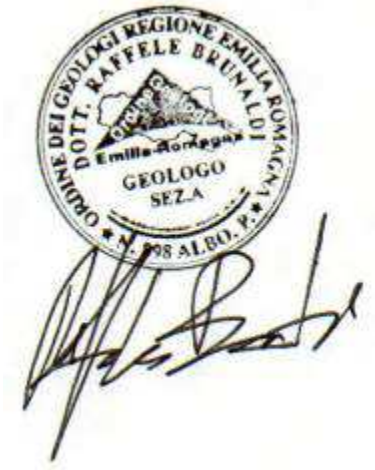
La **P**ericolosità ovvero il **P**ericolo è legato al potenziale (del) fenomeno, nel caso in questione al fenomeno co- sismico derivante dalla liquefazione degli orizzonti saturi granulari localmente rilevati, e per il caso in esame, come visto il potenziale (Pericolo/Pericolosità) è compreso fra Nullo ed Alto, in dipendenza delle varie combinazioni di calcolo dell'ILP (Indice di Potenziale Liquefazione, che descrive numericamente il pericolo di cui all'oggetto).

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), 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? Si, è possibile spostare l'equilibrio economico di intervento che ovviamente è localmente più penalizzante di un'area similare 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 spessore 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.

Studio di Geologia Raffaele Brunaldi
Argenta (FE), Via A. da Brescia 11.
Tel. e Fax: 0532 852858; Cell: 3355373693
rabrugeo@gmail.com

Argenta, l'11/03/2019 Raffaele Brunaldi, Geologo.