

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**

COMUNE DI SOLAROLO

Provincia di Ravenna

PERMESSO DI RICERCA DI IDROCARBURI

“PONTE DEI GRILLI”

POZZO ESPLORATIVO ARMONIA 1dir

INTEGRAZIONI

allo STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE ed

ai DOCUMENTI PROGETTUALI

A seguito della richiesta del M.A.T.T.M. del 05.08.2015

**I.1 – Relazione geologica, modellazione  
sismica e modellazione geotecnica**

OTTOBRE 2015

## SOMMARIO

0 – PREMESSA.....	1
1 - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	2
2 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO DI INTERVENTO.....	3
2.1 - Descrizione del luogo.....	3
2.2 – Geomorfologia.....	3
2.3 - Geologia.....	4
2.4 – Inquadramento idrogeologico generale.....	4
2.5 - Studi di supporto agli S.U.G.: considerazioni sulla pericolosità dell’area e sulla fattibilità dell’intervento in progetto.....	4
3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI.....	5
3.1 - Criteri di indagine.....	5
3.2 - Descrizione delle indagini con standards di riferimento delle varie prove.....	6
3.2.1 - Prove penetrometriche.....	6
3.2.2 - Indagine sismica MASW.....	6
3.3 – Caratteristiche litologico-stratigrafiche dell’area d’intervento.....	7
3.4 – Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.....	8
3.5 – Categoria di sottosuolo.....	9
3.6 – Condizioni piezometriche di dettaglio.....	11
3.7 - Potenziale di liquefazione dei terreni.....	11
4 – MODELLAZIONE SISMICA.....	11
5 – CONCLUSIONI.....	15

### - ELABORATI CARTOGRAFICI

### - ALLEGATI

Allegato 1: Certificati prove penetrometriche

Allegato 2: Verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni

Allegato 3: Parametri sismici

Allegato 4: Indagine sismica MASW

Allegato 5: Approfondimento Idrologico Idraulico (Dott. Ing. Lorenzo Calvetti)

## **0 – PREMESSA**

Per incarico della AleAnna Resources LLC nella presente nota vengono esposti e commentati i risultati dell'indagine geologica e geologico-tecnica di supporto al progetto per la realizzazione del pozzo esplorativo per ricerca di idrocarburi denominato Armonia 1DIR, ubicato nel Comune di Solarolo (RA), all'interno del Permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli".

Il presente elaborato è stato redatto ai sensi del D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) ed è finalizzato alla caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito, necessaria per le verifiche della sicurezza e delle prestazioni attese (SLU e SLE del D.M. 14/01/2008).

Le verifiche finali della sicurezza e delle prestazioni attese, ai sensi del D.M. 14/01/2008, sono eseguite, tenendo in considerazione i dati della presente nota, da specifica professionalità (ingegnere strutturale).

In particolare il presente elaborato ricostruisce il modello geotecnico del sottosuolo, definendone i parametri caratteristici e il comportamento geomeccanico del volume di terreno direttamente o indirettamente interessato dall'opera in progetto.

Tenuto conto della complessità, dell'importanza, della rilevanza, dell'uso dell'opera da realizzare e delle conseguenze che l'intervento in progetto può produrre sulle aree circostanti è stata quindi approntata opportuna indagine geognostica che ha permesso, con le metodologie più idonee in relazione al contesto geologico in esame, di indagare (sia in superficie sia in profondità) il volume di terreno significativo.

## **1 - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO**

La presente nota è stata redatta in ottemperanza alla normativa vigente di seguito specificata:

### **- Decreto Ministeriale 14.01.2008**

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.

### **- Consiglio Superiore Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008 – Circolare 2 febbraio 2009.

### **- Consiglio Superiore Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale – Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007.

### **- Eurocodice 8 (1998)**

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: fondazioni, strutture, di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

### **- Eurocodice 7.1 (1997)**

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole generali - UNI

### **- Eurocodice 7.2 (2002)**

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI

### **- Eurocodice 7.3 (2002)**

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito - UNI

### **- Del. G.R. n. 857 del 17/06/2014**

Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio

### **- Piano Strutturale Comunale Associato (PSCA)**

L.R. 24 marzo 2000 n. 20 – "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio"

### **- L.R. n. 19 del 30/10/2008**

Delibera Assemblea Legislativa n. 112/2007 della Regione Emilia Romagna "Atto di indirizzo e coordinamento tecnico" per gli studi di microzonizzazione sismica.

Norme per la riduzione del rischio sismico – Testo coordinato con le modifiche apportate dalla L.R. 6 luglio 2009, n. 6 "Governo e riqualificazione solidale del territorio".

## **2 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO DI INTERVENTO**

### **2.1 - Descrizione del luogo**

L'area in esame (figg. 1-2) sorge nella porzione sud-orientale del territorio comunale di Solarolo (RA), ad una distanza di circa 1,60 Km in direzione est dal centro urbano, in prossimità del confine comunale con Faenza (a est).

Dal punto di vista fisiografico (fig. 2), l'area è pianeggiante con pendenze inferiori al 5%.

Dal punto di vista generale, l'area di ricerca presenta una densità medio-bassa di presenza antropica. Dal punto di vista infrastrutturale, a livello dell'area in esame (*Unità di Paesaggio 12-A Centuriazione*), si rileva un reticolo denso di strade provinciali. A livello generale, si segnala la presenza dell'Autostrada A14 a sud del comparto in oggetto e il tratto dell'Autostrada 14dir a nord-ovest del comparto in esame (vedi fig. 1a).

In particolare, il comparto d'interesse si pone in una porzione di terreno agricolo, adibita a coltura permanente, compresa fra la S.P. 22 (ad una distanza di circa 0,50 Km a sud-ovest) e il Torrente Senio (ad una distanza di circa 0,25 Km a sud-est). La quota altimetrica del comparto d'intervento è di circa 26,0 m s.l.m..

### **2.2 – Geomorfologia**

Al fine di ottenere un inquadramento generale delle caratteristiche geomorfologiche dell'area, partendo dall'acquisizione della Carta Geomorfologica da P.S.C. vigente, redatta ai sensi della L.R. 24 marzo 2000 n. 20, (fig. 2), è stato effettuato un rilievo di campagna all'interno del comparto d'intervento e in un intorno significativo di esso. Da detto rilievo è emerso quanto segue.

Tale indagine ha rilevato una situazione generale stabile dal punto di vista delle problematiche connesse alle forme di dissesto geomorfologico, in accordo con il carattere pianeggiante dell'area su cui insiste l'area oggetto di intervento (acclività <5%).

L'area si colloca in una zona caratterizzata da dossi fluviali sub-attuali, ovvero argini naturali costruiti dai corsi d'acqua attuali prima della loro arginatura artificiale (vedi fig. 2).

Si rileva che l'area in esame è esclusa dalle perimetrazioni delle alluvioni storiche (fig. 2a).

Si fa presente che la zona in oggetto si colloca in un'area subsidente (fig. 2b).

**Allo stato attuale, non si rilevano dunque particolari problematiche di carattere geomorfologico in grado di compromettere la fattibilità dell'intervento edilizio in progetto.**

### **2.3 - Geologia**

A livello generale, nel comparto d'interesse, affiorano le alluvioni dell'Unità di Modena (AES8a), porzione sommitale del Subsistema di Ravenna. Questa unità alluvionale, a sua volta è suddivisa in sotto-ambiti litologici.

Nell'area indagata, dall'analisi della Carta Geolitologica da P.S.C., l'area in esame è contraddistinta dalla presenza del sotto-ambito litologico costituito dalle Alluvioni dei dossi fluviali sub-attuali, caratterizzate da limi e sabbie prevalenti, con suoli di spessore molto esiguo (fig. 3).

### **2.4 – Inquadramento idrogeologico generale**

Riguardo le caratteristiche idrogeologiche dell'area oggetto di studio, si rileva che i terreni presenti sono contraddistinti da una permeabilità primaria per porosità in genere medio-alta e comunque variabile in relazione alla percentuale di frazione fine limoso argillosa presente.

Dall'analisi della Carta Idrogeologica (estratto P.S.C. fig. 3a), nell'area in esame, ai terreni affioranti viene attribuita una permeabilità  $K > 10^{-4}$  m/s. Tali terreni caratterizzano aree a scarso o nullo deflusso superficiale e sono più o meno direttamente correlati con importanti acquiferi sotterranei.

### **2.5 - Studi di supporto agli S.U.G.: considerazioni sulla pericolosità dell'area e sulla fattibilità dell'intervento in progetto**

Sono stati presi in considerazione gli elaborati cartografici redatti dall'Autorità di Bacino del Fiume Reno per il Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio, approvato con D.G.R. n. 1945 del 24/09/01 e anche ai sensi della Circ. Reg. 1288 dell'11/2/1983. Da tali elaborati (Perimetrazione Rischio idraulico e idrogeologico scala 1:25.000) l'area interessata dall'intervento in progetto risulta all'interno della fascia di pertinenza fluviale (fig. 4).

Dallo studio sulla pericolosità idrogeologica, sviluppato in ottemperanza a Piano di Bacino Vigenti con modifiche e anche ai sensi della Circ. Reg. 1288 dell'11/2/1983 (vedi estratto P.S.C. - Carta della Pericolosità Idrogeologica fig. 4a), l'area d'interesse risulta esclusa dalle perimetrazioni.

In riferimento alle eventuali problematiche di tipo idraulico, è stato eseguito un approfondimento idrologico idraulico realizzato dal Dott. Ing. Lorenzo Calvetti. Per i risultati di tale studio si rimanda all'allegato 5 del presente elaborato.

Dallo studio sulla pericolosità sismica locale, sviluppato anche ai sensi della Circ. Reg. 1288 dell'11/2/1983 (vedi estratto P.S.C. – vedi fig. 4b), l'area in esame viene classificata secondo la seguente Categoria di suolo di fondazione di cui al D.M. 14/09/2005:

*Categoria C/D: "Depositi di terreni granulari da sciolti a mediamente addensati, oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs30 variabili tra 180 e 360 m/s".*

La presenza di terreni di fondazione appartenenti a questa categoria è prevista in prevalenza nelle zone di bassa pianura e lungo le fasce dei dossi fluviali subattuali, ove localmente, in associazione a litotipi riferibili alla Categoria C, subaffiorano litotipi alluvionali sovente scarsamente consolidati, per spessori anche di oltre una ventina di metri, propriamente riferibili alla Categoria D della nuova normativa sismica nazionale.

Non si rilevano altre problematiche di carattere geologico tecnico in grado di compromettere la fattibilità dell'intervento in oggetto.

### **3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI**

#### **3.1 - Criteri di indagine**

Tenendo in considerazione le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del luogo di intervento, nonché tutte le prescrizioni della normativa e quelle derivate da strumenti sovraordinati di gestione del territorio, ai fini della definizione del modello geologico di sintesi per la progettazione è stata realizzata una campagna geognostica in corrispondenza del comparto d'intervento. In particolare sono stati eseguiti i seguenti approfondimenti conoscitivi (ubicazione punti d'indagine in fig. 5):

- ✓ Realizzazione di n° 1 prova penetrometrica statica CPT (allegato 1);
- ✓ Realizzazione di n° 1 prova penetrometrica con piezocono digitale CPTU (allegato 1);
- ✓ Esecuzione di indagine sismica MASW (allegato 4).

## **3.2 - Descrizione delle indagini con standards di riferimento delle varie prove**

### ***3.2.1 - Prove penetrometriche***

L'apparecchio utilizzato per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche è un penetrometro statico da 20 tonnellate fornito di punta conica tipo "Begemann" per la CPT e dotato di piezocono digitale per la CPTU.

Nella CPT l'operazione eseguita staticamente consiste nell'infiggere nel terreno a mezzo di un martinetto idraulico le aste misurando ai manometri ogni 20 cm la resistenza alla penetrazione (qc), l'attrito laterale locale (Fs), il rapporto di attrito (RF) e la pressione totale di spinta (Qt).

Elaborando le letture di campagna, è possibile risalire alle principali caratteristiche dei terreni attraversati. In particolare il rapporto di attrito fornisce una indicazione della granulometria e consente quindi di distinguere i terreni coesivi dai terreni incoerenti.

La CPTU consente l'infissione nel terreno, a mezzo di un martinetto idraulico, della punta elettrica digitale, registrando ogni 2 cm la resistenza alla penetrazione, l'attrito laterale locale, il rapporto di attrito e le sovrappressioni interstiziali. Elaborando le letture di campagna, è possibile risalire alle principali caratteristiche dei terreni attraversati (caratteristiche fisico meccaniche e pressione neutra).

I fori penetrometrici CPT1 e CPTU1 sono stati spinti fino alle profondità rispettivamente di -15,80 m e -19,86 m da p.c. e sono stati attrezzati con tubo piezometrico per rilevare eventuali livelli acquiferi.

I certificati delle prove penetrometriche sono riportati in allegato 1.

### ***3.2.2 - Indagine sismica MASW***

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio VS. Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.



La metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;
- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs.

Per il presente intervento è stato realizzato uno stendimento sismico Ps1 di lunghezza di 48 m.

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo delle analisi della prova MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" che il parametro Vs30 relativi al sottosuolo del sito indagato.

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità (Vs30) è calcolata con la seguente espressione:  $Vs30 = 30/(h_i/V_i)$ .

I profili MASW indicano una **Vs30 media pari a 224 m/s** (vedi allegato 4).

### **3.3 – Caratteristiche litologico-stratigrafiche dell'area d'intervento**

Dalle risultanze stratigrafiche delle indagini geognostiche condotte in corrispondenza del comparto d'intervento è stato possibile ricostruire verosimilmente il seguente assetto stratigrafico e litologico per il comparto interessato dall'intervento in progetto.

Nel comparto d'intervento sono stati individuati depositi alluvionali a composizione limoso argillosa alternati a livelli limoso sabbiosi, di caratteristiche fisico-meccaniche variabili da poco consistenti a mediamente consistenti.

Nella prova penetrometrica CPT1, al di sotto dell'orizzonte superficiale di suolo/terreno rimaneggiato, di spessore di circa 0,80 m, sono stati incontrati limi argillosi e limi sabbiosi da poco consistenti a mediamente consistenti, fino alla profondità di -6,60 m da p.c. attuale. Al di sotto di tale orizzonte, sono stati incontrati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate fino a -11,80 m da p.c.; procedendo in profondità, sono stati trovati limi argillosi e argille limose poco consistenti fino a -14,40 m da p.c. e da tale profondità e fino alla massima profondità indagata di -15,80 m da p.c. sono stati trovati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate.

Nella prova penetrometrica con piezocono digitale CPTU1, al di sotto dell'orizzonte superficiale di suolo/terreno rimaneggiato, di spessore di circa 0,60 m, sono stati incontrati limi argillosi e limi sabbiosi da poco consistenti a mediamente consistenti, fino alla profondità di -7,30 m da p.c. attuale. Al di sotto di tale orizzonte, sono stati incontrati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate fino a -11,70 m da p.c.; procedendo in profondità, sono stati trovati limi argillosi e argille limose poco consistenti fino a -13,50 m da p.c. e da tale profondità e fino a -14,50 m da p.c. sono stati trovati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate. Da tale profondità e fino alla massima profondità indagata di -19,86 m da p.c. attuale, sono stati trovati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate.

In sintesi nell'area in esame si possono raggruppare i seguenti orizzonti litologico-stratigrafici principali incontrati (figg. 6-6a):

- 1 – suolo/terreno rimaneggiato** (spessore massimo rilevato pari a 0,80 m);
- 2 – limi argillosi e limi sabbiosi poco consistenti** (dalla base dell'orizzonte 1 fino a una profondità di circa -7,30 m da p.c. in CPTU1);
- 3 – limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate** (dalla base dell'orizzonte 2 fino a una profondità di -11,80 m dall'attuale p.c. in CPT1);
- 4 – limi argillosi e argille limose poco consistenti** (dalla base dell'orizzonte 3 fino a una profondità di -14,40 m da p.c. in CPT1);
- 5 – limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensati** (dalla base dell'orizzonte 4 fino alla profondità di -15,80 m dall'attuale p.c. in CPT1);
- 6 – limi argillosi e argille limose da poco consistenti a mediamente consistenti** (dalla base dell'orizzonte 5 fino alla massima profondità indagata di -19,86 m da p.c. in CPTU1).

### **3.4 – Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni**

A seguito degli approfondimenti d'indagine svolti nell'area d'intervento è stato possibile attribuire i seguenti parametri geotecnici caratteristici agli orizzonti litologici principali, in termini di valori caratteristici, come indicato nelle NTC 2008 (6.2.2).

Orizzonte	Orizzonte fisico-meccanico (Stratigrafia schematica di riferimento)	PROFONDITA' (m)	$\phi_{uk}$ (°)	$C_{uk}$ (KPa)	$\gamma_d$ (kN/mc)	$\gamma_{sat}$ (kN/mc)	$E_d$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	Suolo/terreno rimaneggiato	0,00-0,80	25	15	15,00	18,50	1470
2	Limi argillosi e limi sabbiosi da poco consistenti a mediamente consistenti	0,80-7,30	28	40	17,50	19,00	4903
3	Limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate	7,30-11,80	30	0	17,00	19,00	11768
4	Limi argillosi e argille limose poco consistenti	11,80-14,40	0	30	18,00	19,00	3432
5	Limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate	14,40-15,80	30	0	17,50	19,00	10885
6	Limi argillosi e argille limose da poco consistenti a mediamente consistenti	15,80-19,86	0	40	17,00	19,00	4903

Dove:

$\phi_u$ = angolo di attrito

$\gamma$ = peso di volume del terreno

$C_u$ = coesione non drenata

$x_k$ = valore caratteristico

$E_d$ = modulo edometrico

### **3.5 – Categoria di sottosuolo**

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) propongono l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del sottosuolo, mediante cinque tipologie di suoli (A-B-C-D-E più altri due speciali: S1 e S2), da individuare attraverso la stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio mediate, ovvero sul numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media  $C_u$ . Dal punto di vista strettamente normativo si fa riferimento al punto 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche).

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti Categorie di Sottosuolo:

categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < C_{u30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine)
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 \text{ kPa} < C_{u,30} < 20 \text{ kPa}$ ), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

*Tabella 3.2.II (NTC) – Categorie di sottosuolo*

In base ai risultati dell'indagine sismica eseguita in corrispondenza del comparto in oggetto è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$  attraverso la seguente formula:

$$V_{s30} = 30 / \sum_i (h_i / V_i)$$

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato è di **224 m/sec**, indicante in riferimento al D.M. 14/01/2008, un **sottosuolo di categoria "C"**, ovvero si tratta di "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da*

valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{spt30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 \text{ kPa} < C_{u30} < 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fina)".

Per ulteriori dettagli si rimanda all'allegato 4.

### **3.6 – Condizioni piezometriche di dettaglio**

Dalle misure piezometriche effettuate all'interno dei fori piezometrici CPT 1 e CPTU 1, la falda si attesta alla profondità di circa -1,97 m da p.c. attuale.

Di detto fatto andrà tenuto debitamente conto al momento dell'esecuzione dell'intervento, impiegando opportuni accorgimenti finalizzati a evitare il franamento delle pareti dello scavo di fondazione. Vista la scarsa entità della falda suddetta, allo stato attuale d'indagine, non si ritiene necessaria l'adozione di particolari accorgimenti tipo *well point*, *jet grouting*, ecc..

### **3.7 - Potenziale di liquefazione dei terreni**

In considerazione della presenza nel comparto in esame di depositi recenti costituiti da limi sabbiosi e limi argillosi e considerando la presenza della falda alla profondità di circa -1,97 m da p.c. attuale, in ottemperanza alle NTC, è stata valutata la suscettibilità alla liquefazione dei terreni, utilizzando adeguati programmi di calcolo, partendo dai dati ottenuti con le indagini e dalle condizioni di sismicità del sito in esame riportate nel seguente capitolo.

**Dai calcoli eseguiti, si ottiene un coefficiente di sicurezza  $F_s$  (definito dal rapporto tra la resistenza tangenziale del terreno CRR e la tensione tangenziale ciclica CSR prodotta da un terremoto)  $> 1,25$ , pertanto il deposito esaminato non risulta liquefacibile in caso di sisma (allegato 2).**

## **4 – MODELLAZIONE SISMICA**

Nell'ambito dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 sono state individuate (anche per la Regione Emilia Romagna) 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle individuate dalla L. n. 64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova costituzione.

E' stata approvata la nuova classificazione sismica della Regione Emilia Romagna con L.R. n.19 del 30/10/2008. In riferimento a tale nuova classificazione sismica, il Comune di Solarolo (RA) è stato classificato in zona sismica 2.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/08, la stima della pericolosità sismica viene inoltre definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale per la determinazione dell'azione sismica.

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale del valore dell'accelerazione massima  $a_g$  al sito e dei parametri ( $F_0$  e  $T_c^*$ ), che permettono di definire gli spettri di risposta elastici per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR.

E' necessario pertanto determinare i parametri spettrali relativi al sito di intervento utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tab. 1 dell'allegato B del suddetto decreto.

Lo scuotimento al suolo così individuato deve essere corretto per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie:

- Categoria di sottosuolo **C**
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $SS= 1,50$  (tabella 3.2.V - NTC)
- Coefficiente di amplificazione topografica  $ST= 1,00$  (tabella 3.2.VI - NTC per categoria topografica T1 in tabella 3.2.IV)

Partendo dunque dai seguenti dati relativi alla costruzione in oggetto:

<b>Tipo di costruzione</b>	<b>1</b>
<b>Vita nominale VN</b>	<b>&lt; 10 anni</b>
<b>Classe d'uso</b>	<b>I</b>
<b>Coefficiente d'uso Cu</b>	<b>0,7</b>
<b>Vita o periodo di riferimento VR=VN x Cu</b>	<b>= 35 anni</b>

per il sito di interesse sono stati ricavati, mediante l'utilizzo del programma di calcolo della GeoStru, i seguenti parametri sismici (allegato 3):

*Sito in esame.*

*latitudine: 44,356215*

*longitudine: 11,869312*

Classe: 1

Vita nominale: 10

#### Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17403	Lat: 44,3730Lon: 11,8120	Distanza: 4921,534
Sito 2 ID: 17404	Lat: 44,3740Lon: 11,8819	Distanza: 2212,115
Sito 3 ID: 17626	Lat: 44,3240Lon: 11,8832	Distanza: 3752,440
Sito 4 ID: 17625	Lat: 44,3230Lon: 11,8134	Distanza: 5780,461

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 35 anni

Coefficiente cu: 0,7

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,063 g

Fo: 2,425

Tc\*: 0,262 [s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,063 g

Fo: 2,425

Tc\*: 0,262 [s]

#### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 66 [anni]

ag: 0,091 g

Fo: 2,402

Tc\*: 0,276 [s]

*Prevenzione dal collasso (SLC):*

*Probabilità di superamento: 5 %*

*Tr: 136 [anni]*

*ag: 0,123 g*

*Fo: 2,431*

*Tc\*: 0,283 [s]*

*Coefficienti Sismici*

*SLO:*

*Ss: 1,500*

*Cc: 1,630*

*St: 1,000*

*Kh: 0,019*

*Kv: 0,009*

*Amax: 0,923*

*Beta: 0,200*

*SLD:*

*Ss: 1,500*

*Cc: 1,630*

*St: 1,000*

*Kh: 0,019*

*Kv: 0,009*

*Amax: 0,923*

*Beta: 0,200*

*SLV:*

*Ss: 1,500*

*Cc: 1,610*

*St: 1,000*

*Kh: 0,027*

*Kv: 0,014*

*Amax: 1,334*

*Beta: 0,200*

*SLC:*

*Ss: 1,500*

*Cc: 1,590*

*St: 1,000*



*Kh: 0,044*

*Kv: 0,022*

*Amax: 1,805*

*Beta: 0,240*

## **5 – CONCLUSIONI**

In seguito agli approfondimenti geognostici effettuati in questa fase dallo scrivente, dai dati ad oggi a disposizione, è possibile affermare che l'intervento in progetto (esecuzione di un sondaggio esplorativo per ricerca di idrocarburi), con particolare riferimento alle opere che hanno interesse geotecnico (i.e. realizzazione di una struttura in c.a., tipo cantina, necessaria per la protezione della testa pozzo durante la perforazione del sondaggio esplorativo), potrà essere dimensionato con la messa in opera di fondazioni superficiali (tipo platea).

Per quanto concerne la presenza di un livello acquifero alla profondità di circa -2,00 m da p.c. attuale, in relazione alla scarsa entità di detta falda, allo stato attuale d'indagine, non si ritiene necessaria l'adozione di particolari accorgimenti tipo *well point*, *jet grouting*, ecc..

Certaldo, ottobre 2015

**Dott. Geol. Alessandro MURRATZU**

**Dott. Geol. Simone FIASCHI**

***ELABORATI CARTOGRAFICI***

# COROGRAFIA GENERALE

SCALA 1:25.000



## Legenda



Pozzo Eplorativo Armonia 1 dir

Fig. 1

# ESTRATTO P.S.C. CARTA INFRASTRUTTURE PER LA VIABILITA' CICLABILE E STRADALE

## Scala 1:25.000



- Confini comunali
  - Territorio pianificato
  - Corsi d'acqua
- Rete stradale**
- Classificazione rete stradale (PTCP)
- Autostrada
  - Rete regionale di base
  - Rete regionale di base di progetto (PTCP)
  - Rete di interesse provinciale
  - Altre strade provinciali
  - Strade di penetrazione e distribuzione urbana

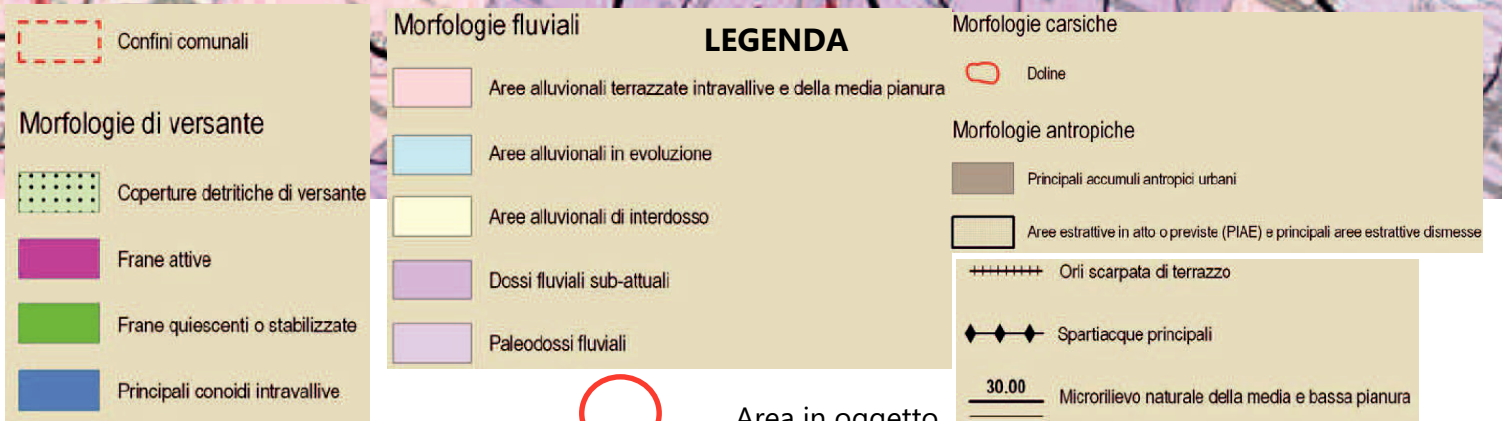
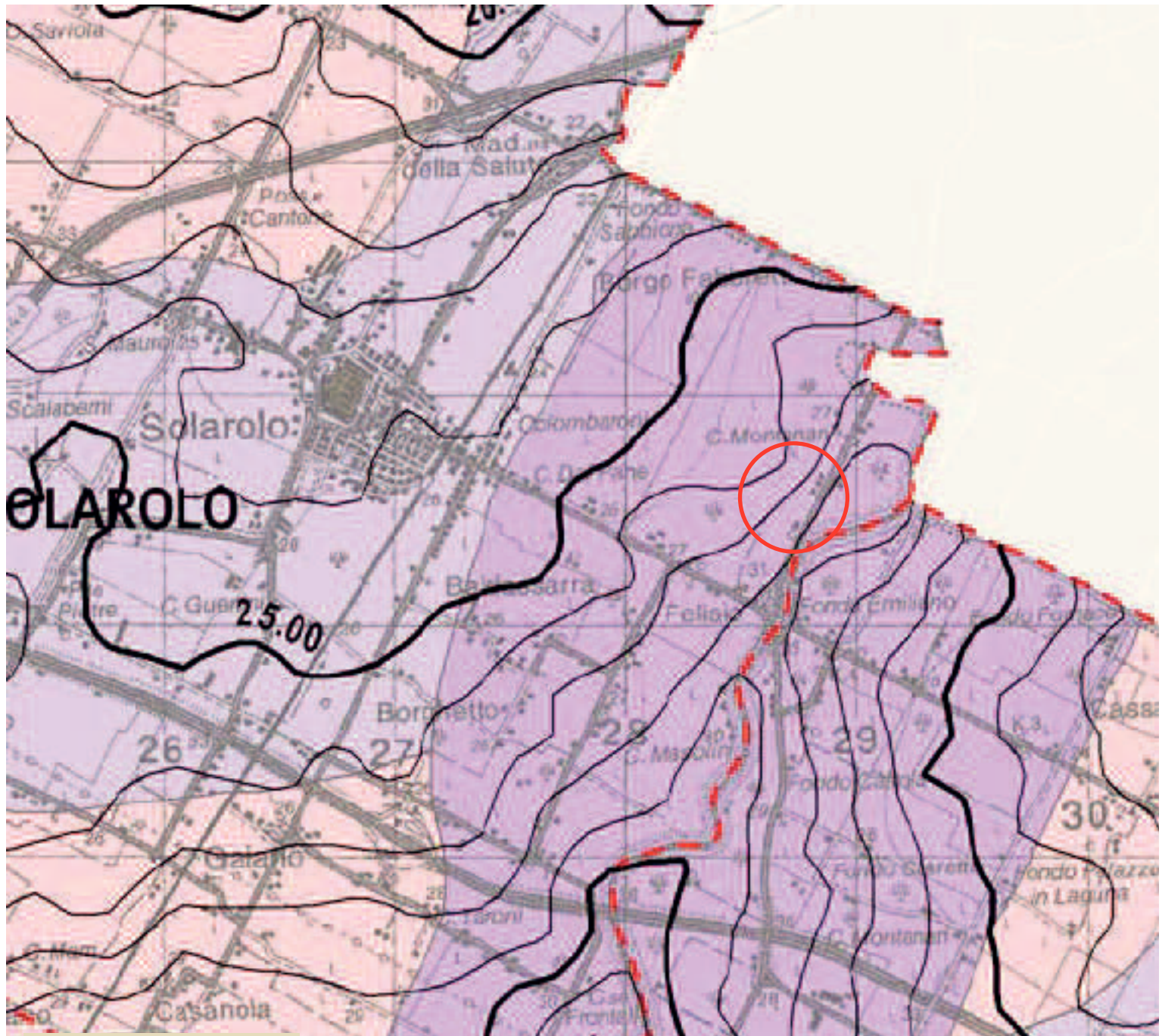
- Casello autostradale esistente
  - Casello autostradale di progetto (PTCP)
- Piste ciclabili <sup>1</sup>
- In previsione
  - Esistenti
- Rete ferroviaria**
- Classificazione rete ferroviaria
- Tratta principale (2 binari)
  - Tratta secondaria (1 binario)
  - Tratta di progetto (PTCP)
- Stazione ferroviaria
  - Scalo merci esistente
  - Scalo merci in progetto

Area in oggetto

Fig. 1a

# ESTRATTO P.S.C. CARTA GEOMORFOLOGICA

Scala 1:25.000



Area in oggetto

Fig. 2

# ESTRATTO P.S.C. CARTA DELLE ALLUVIONI STORICHE

Scala 1:25.000

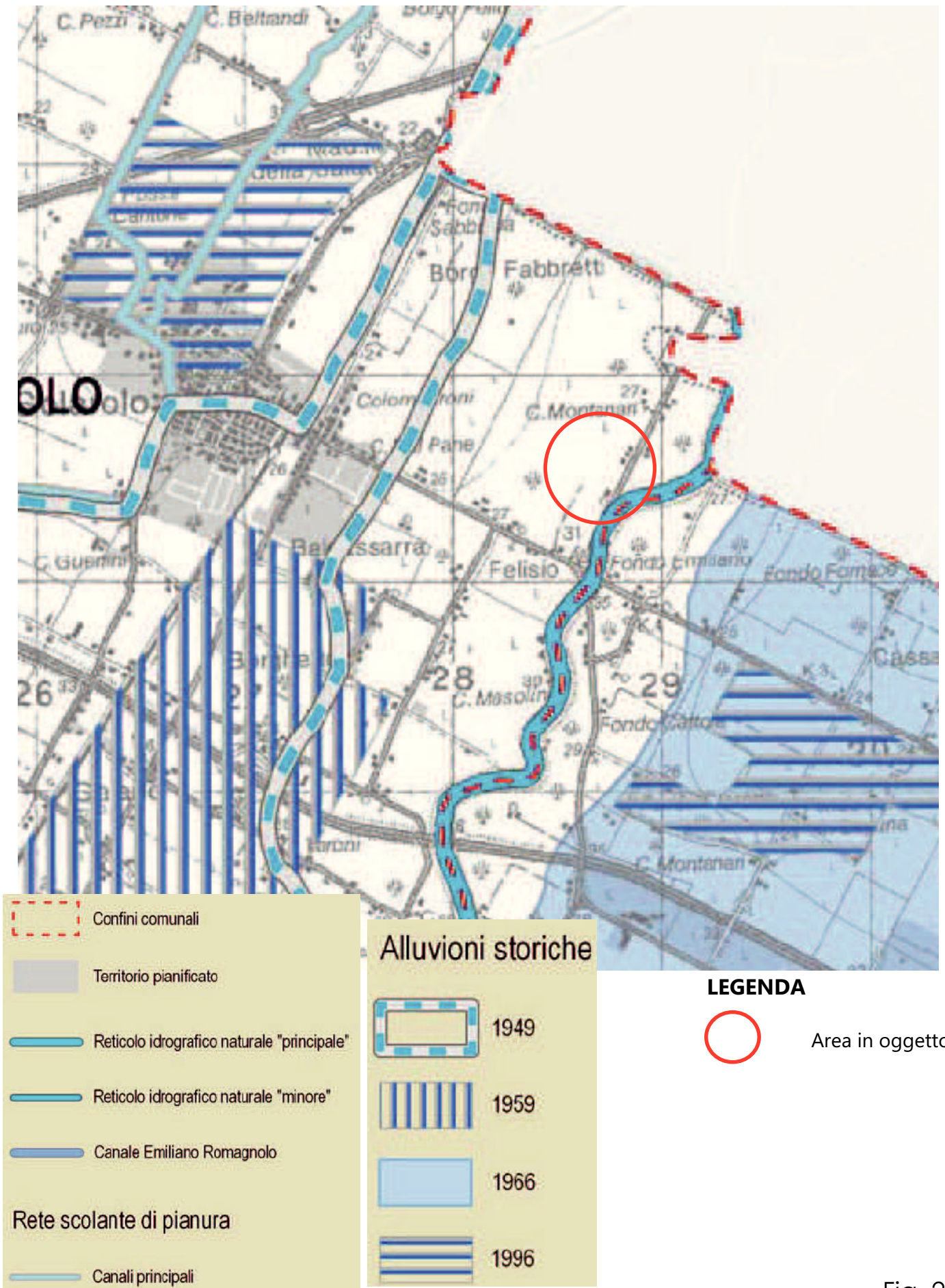


Fig. 2a

# ESTRATTO P.S.C. CARTA DELLA SUBSIDENZA

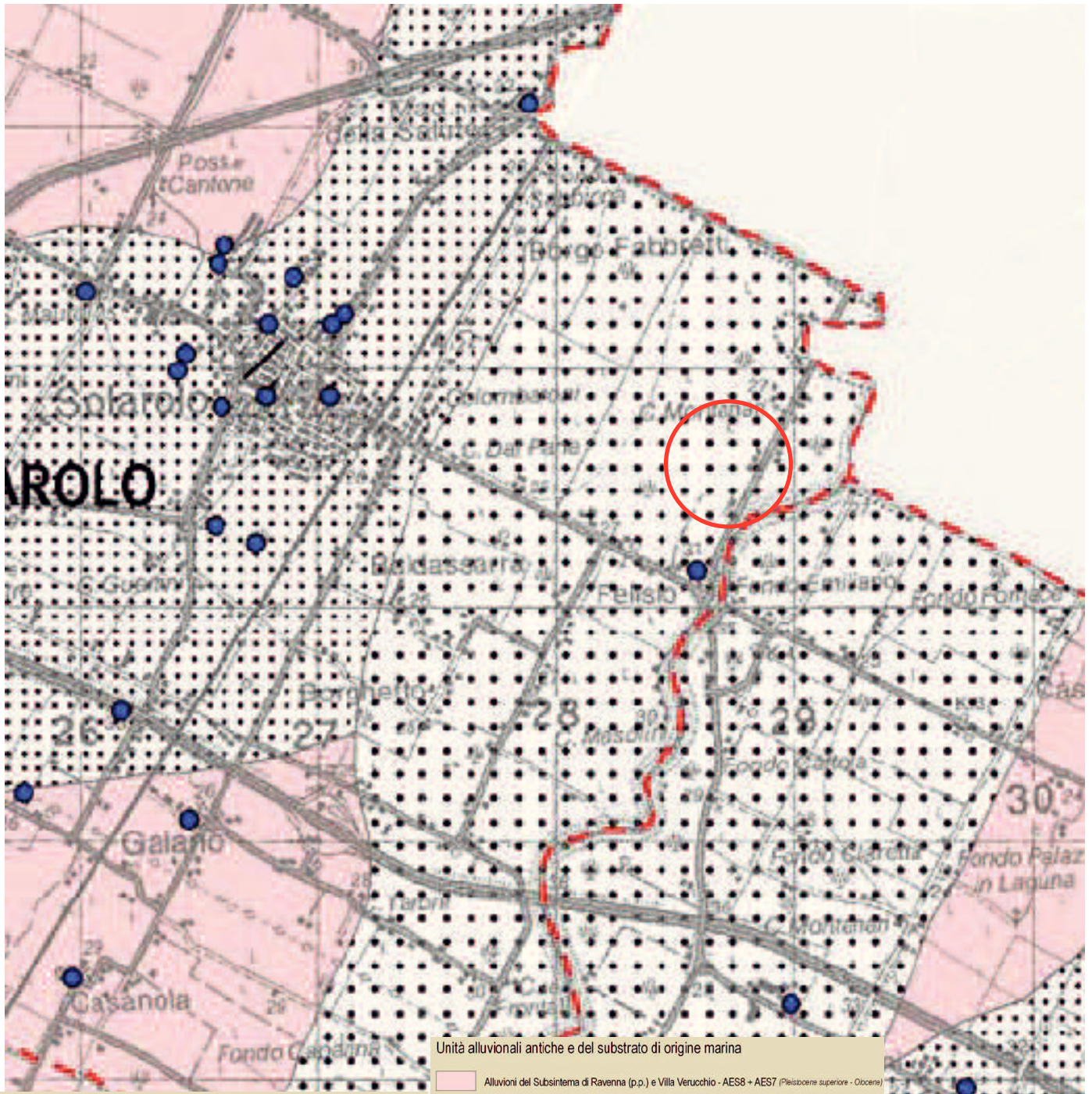
Scala 1:25.000



Fig. 2b

# ESTRATTO P.S.C. CARTA GEOLITOLOGICA

Scala 1:25.000



**LEGENDA**

Confini comunali

Coperture detritiche e alluvionali recenti

- Principali accumuli antropici urbani
- Principali depositi di versante (superficie S >= 2 Ha)
- Principali depositi di frana e paleofrana (superficie S >= 2 Ha)
- Principali depositi di conoide intravalliva
- Alluvioni dell'Unità di Modena - AES8a (deposizione in epoca post-romana)
- Alluvioni di interdosso (argille e limi prevalenti)
- Alluvioni dei dossi fluviali sub-attuali (limi e sabbie prevalenti)
- Alluvioni di paleodosso fluviale (limi e sabbie prevalenti)
- Alluvioni di fondovalle e depositi alluvionali in evoluzione (sabbie e ghiaie prevalenti)

Unità alluvionali antiche e del substrato di origine marina

- Alluvioni del Subsistema di Ravenna (p.p.) e Villa Verucchio - AES8 + AES7 (Pleistocene superiore - Olocene)
- Alluvioni del Subsistema di Bazzano - AES6 (Pleistocene medio)
- Alluvioni antiche dell'alta pianura - AES p.p. (Pleistocene medio)
- Formazione delle Sabbie Gialle - IMO (Pleistocene inferiore - medio)
- Formazione delle Argille Azzurre - FAA (Pliocene - Pleistocene inferiore)
- Litofacies arenaceo-sabbiosa - FAAa
- Litofacies calcarenitica "Spungone" - FAA3
- Formazione gessoso-solfifera - GES + Formazione a Colombacci - FCO (Messiniano)
- Formazione dei Ghioli di letto - GHL (Tortoniano - Messiniano)
- Formazione Marnoso - Arenacea - FMA (Langhiano - Tortoniano)
- Strati guida e litofacies
- Strato Contessa (calcareo)
- Colombine (calcareo)
- Unità caotica di Visignano (argille prevalenti)

Area in oggetto

Elementi di tettonica

- Principali linee di faglia e assi di piega

Indagini geognostiche (da archivi di PRG)

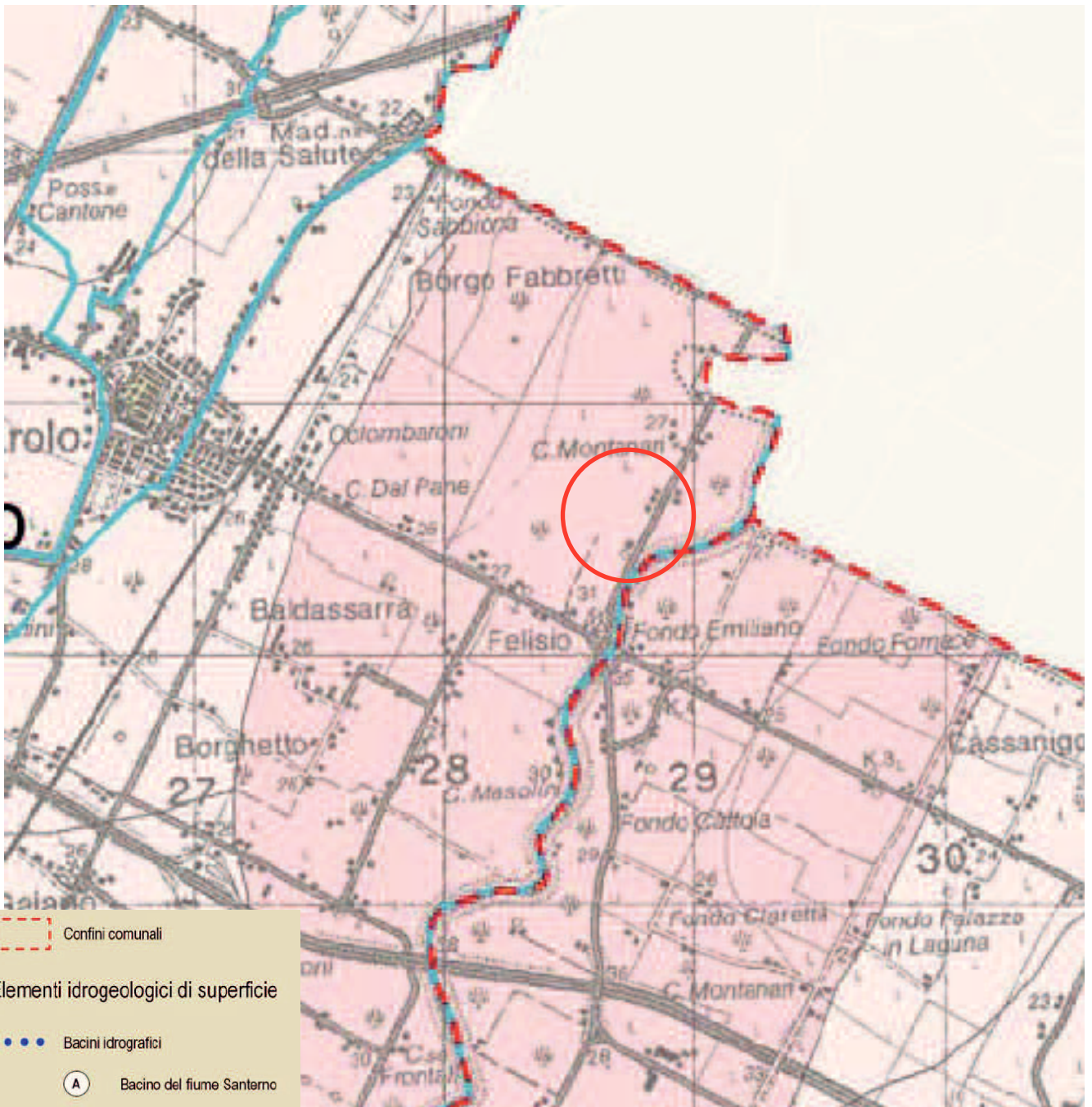
- Prove penetrometriche statiche (CPT)
- Prove penetrometriche dinamiche (DPM)

Fig. 3



# ESTRATTO P.S.C. CARTA IDROGEOLOGICA

Scala 1:25.000



Confini comunali

Elementi idrogeologici di superficie

- Bacini idrografici
- Bacino del fiume Santarno
- Bacino del fiume Senio
- Bacino del fiume Sintria
- Bacino del fiume Lamone
- Bacino del fiume Marzeno
- Bacino del fiume Montone

Reticolo idrografico

Principali invasi idrici

Sorgenti

Risorgive

Zonazione dei terreni e delle rocce affioranti in base al grado di permeabilità (G. Castany, 1982)

- Rocce e terreni permeabili ( $K > 10^{-4}$  m/s)  
(Formazione Gassoso-Solfifera, "Spungone", Formazione delle Sabbie Gialle, Alluvioni dei dossi fluviali sub-attuali, Alluvioni di fondovalle e depositi alluvionali in evoluzione)
- Rocce e terreni mediamente permeabili ( $10^{-4} < K < 10^{-7}$  m/s)  
(Membri prevalentemente arenacei della Formazione Marnoso-Arenacea, Litofacies arenaceo-sabbiosa della Formazione delle Argille Azzurre, Alluvioni di paleodosso fluviale, Alluvioni di interdosso)
- Rocce e terreni poco permeabili ( $10^{-7} < K < 10^{-9}$  m/s)  
(Membri prevalentemente pelitici della Formazione Marnoso-Arenacea, Litofacies pelitico-sabbiosa della Formazione delle Argille Azzurre)
- Rocce e terreni impermeabili ( $K < 10^{-9}$  m/s)  
Formazione dei Ghioli di Letto, Formazione delle Argille Azzurre)

## LEGENDA

Area in oggetto

Fig. 3a

# ESTRATTO P.S.C. CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO piani stralcio di bacino Scala 1:25.000



**B** Piano di stralcio per il bacino del fiume Senio<sup>1</sup>  
Autorità del bacino del Reno

**Rischio idraulico**

- Reticolo idrografico principale, minore, vallivo e di bonifica
- Fascia di pertinenza fluviale
- Fascia di raccordo
- Area ad elevata probabilità di inondazione (Tr = 25 anni)
- Area a bassa probabilità di inondazione (Tr = 500 anni)
- Area di potenziale allagamento
- Casse di espansione

**Rischio da frana**

- Unità idromorfologica elementare (UIE)
- R1 - Rischio moderato
- R2 - Rischio medio
- R3 - Rischio elevato
- R4 - Rischio molto elevato
- Casola Valsenio, abitato da consolidare (perimetro ai sensi della L. 445/1908)
- Zattaglia (perimetro ai sensi della L. 267/88)
- Unità idromorfologiche elementari non idonee ad usi urbanistici

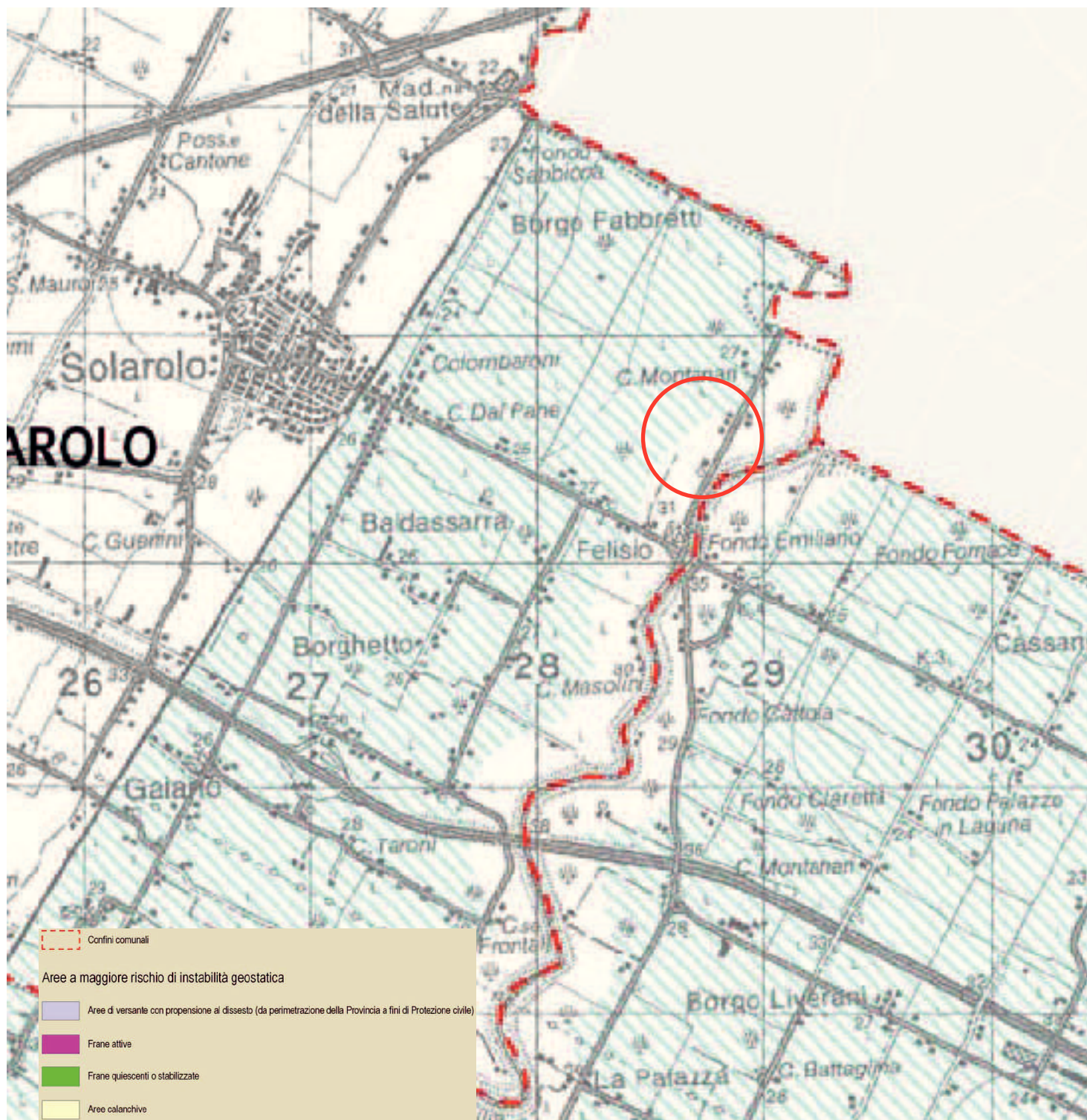
**LEGENDA**

Area in oggetto

Fig. 4

# ESTRATTO P.S.C. CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA

Scala 1:25.000



## LEGENDA


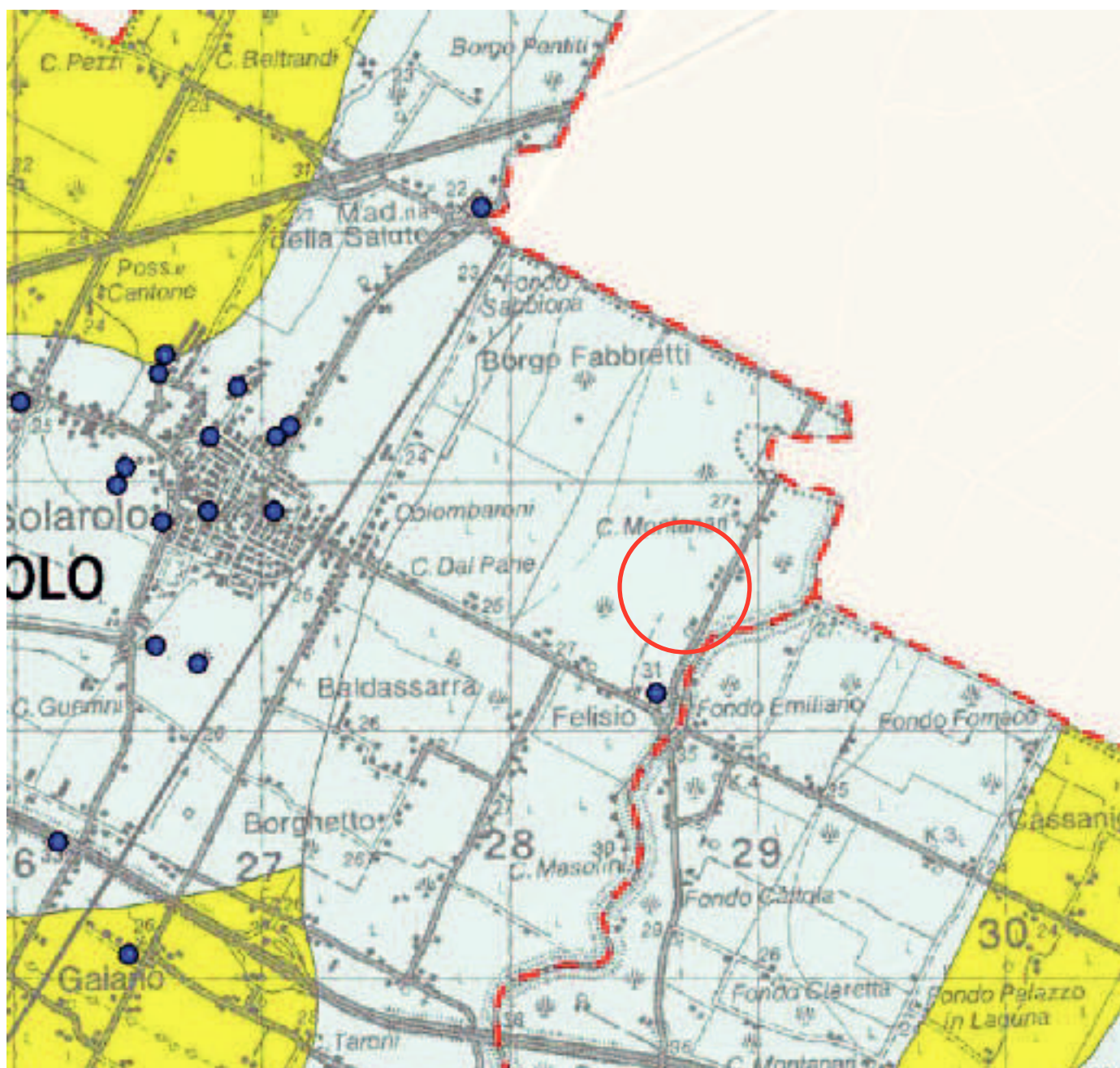
 Area in oggetto

Fig. 4a

# ESTRATTO P.S.C. CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Scala 1:25.000



--- Confini comunali

## LEGENDA

**Categorie di suolo di fondazione**

- A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati d'alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m
- B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decime di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s
- C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di VS30 compresi tra 180 e 360 m/s
- C/D - Depositi di terreni granulari da sciolti a mediamente addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di VS30 variabili tra <180 e 360 m/s
- E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di VS30 simili a quelli dei tipi C e C/D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con VS30 >> 360 m/s

--- Isobata 20 metri del substrato rigido

**Strutture geomorfologiche**

- Versanti con elevata propensione al dissesto
- Frane e depositi di versante
- Doline

**Indagini geognostiche**

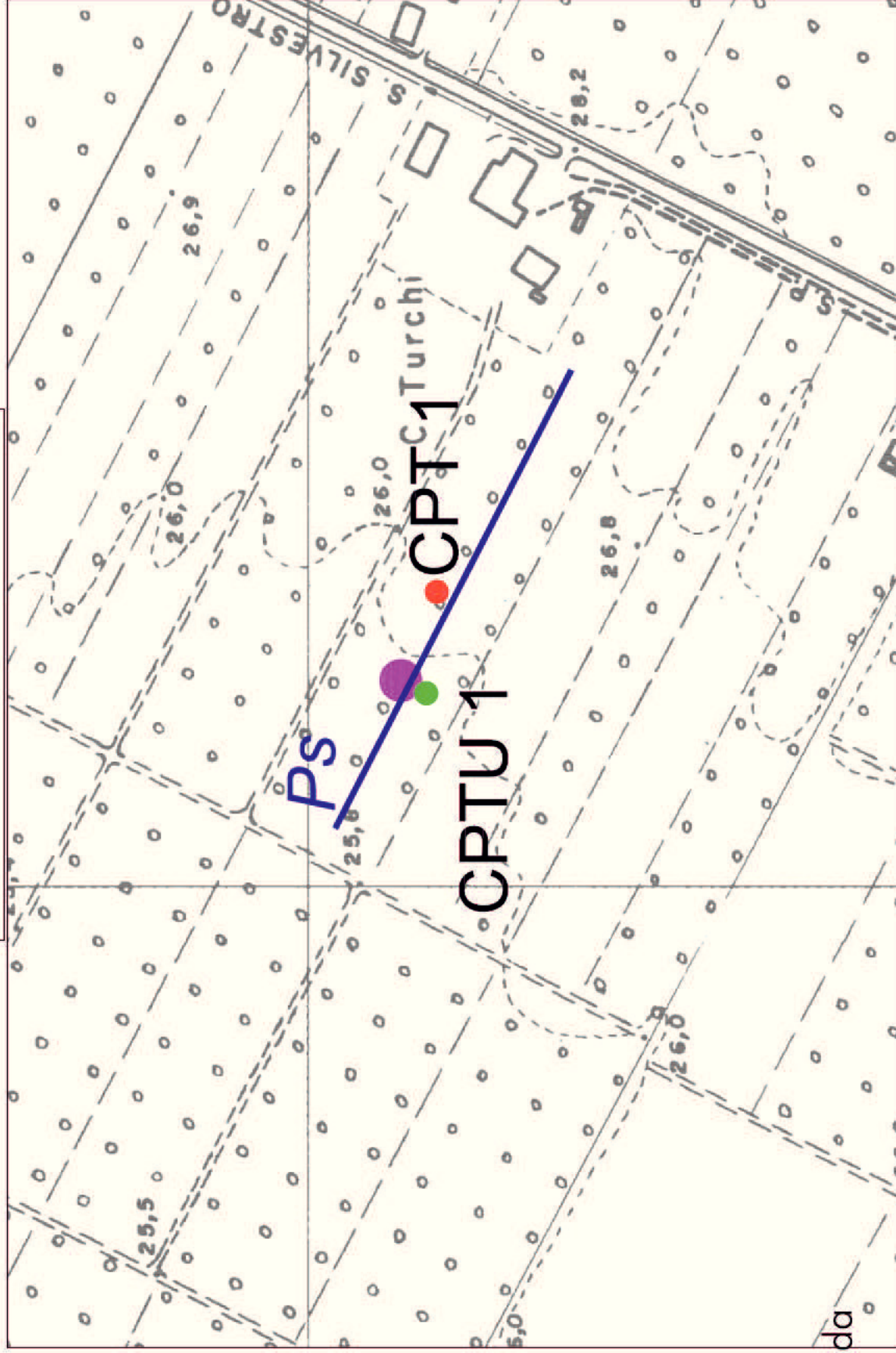
- Prove penetrometriche statiche (CPT)
- Prove penetrometriche dinamiche (DPM)

Area in oggetto

Fig. 4b

# UBICAZIONE INDAGINI

SCALA 1:500



Legenda

- CPT1 ● Prova penetrometrica statica
- CPTU 1 ● Prova penetrometrica statica con piezocono digitale
- CPTU Turchi ● Prova penetrometrica statica con piezocono digitale
- Ps Indagine sismica MASW
- Pozzo esplorativo

Fig. 5

# STRATIGRAFIA SCHEMATICA

Scala 1:100

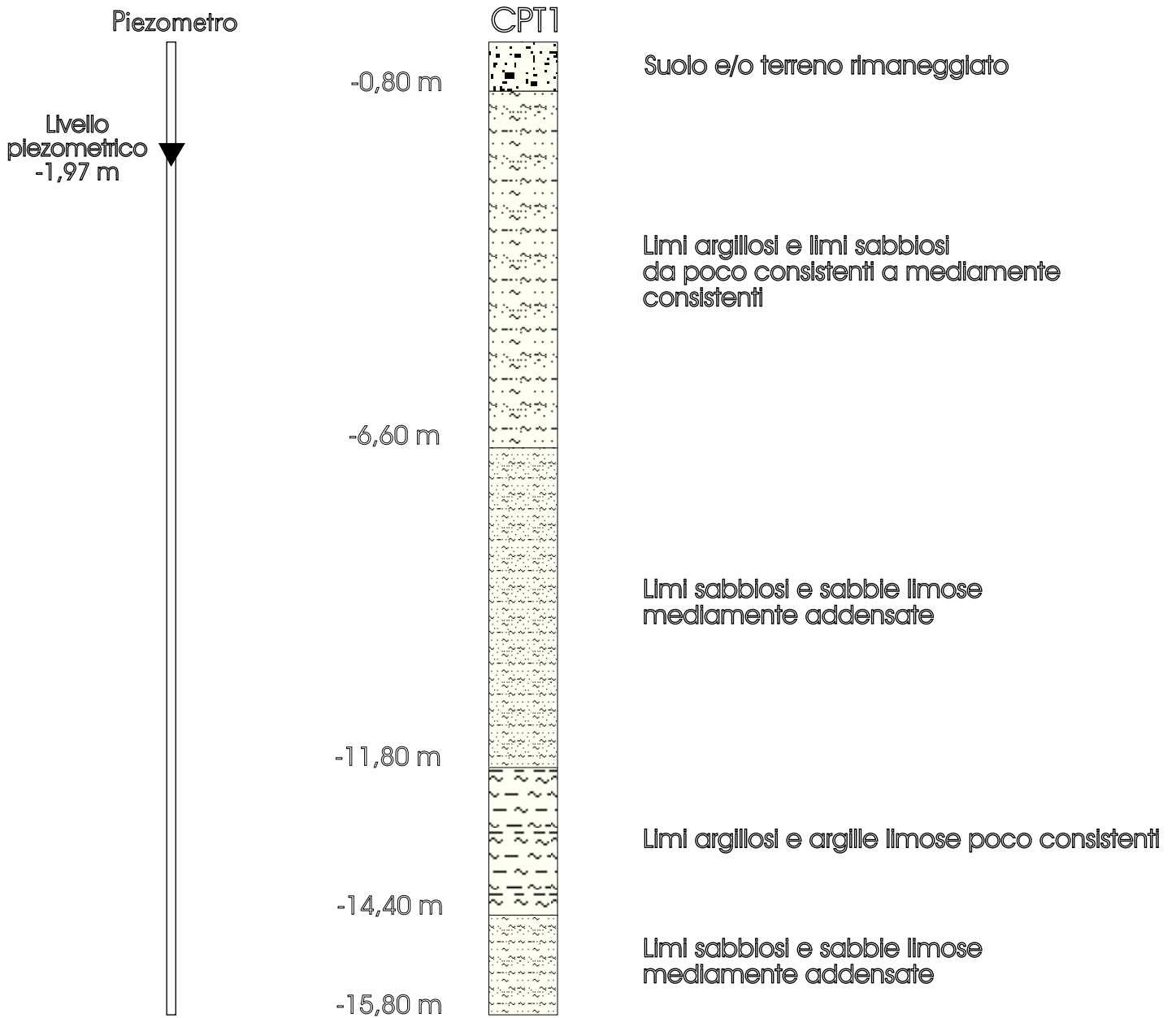


Fig. 6

# STRATIGRAFIA SCHEMATICA

Scala 1:100

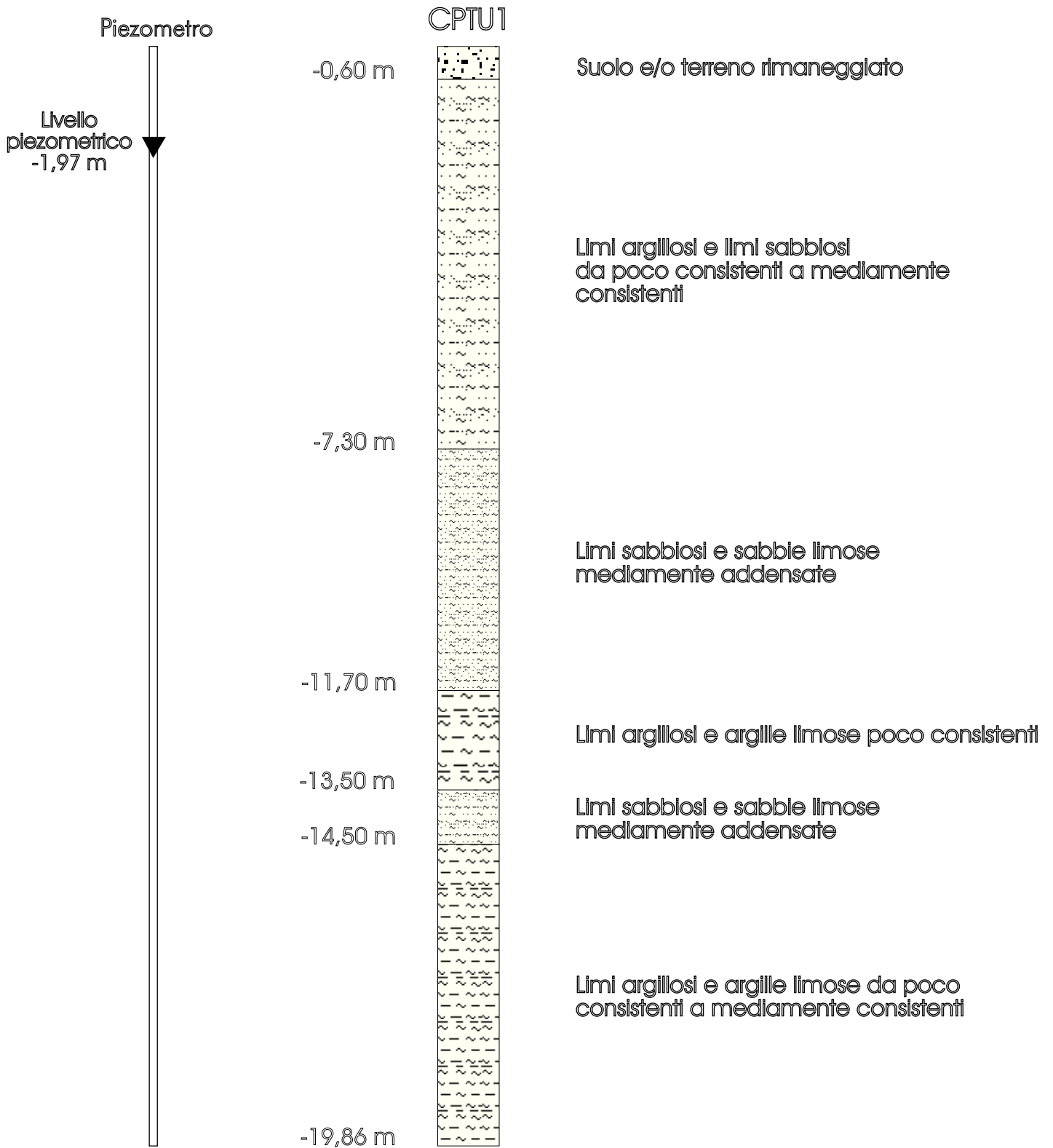


Fig. 6a

**ALLEGATO 1:**

*Certificati prove penetrometriche*



## PENETRATIO s.n.c.

di Lotti Giuseppe e Giani Paolo  
Via P.Maioli 37, 56028 San Miniato (PI)  
tel.0571418116  
PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

### PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

committente:	IdroGeo Service srl	data:	09/10/15
cantiere:	-	profondità prova:	15,80 m
località:	SP 7 _ Felisio (Solarolo, RA)	quota inizio:	p.c.
operatore:	Geol. G. Lotti e Geol. P. Giani	profondità falda:	1,97 da p.c.

### CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Penetrometro: statico/dinamico PAGANI TG 63-200 da 20 ton, autoancorante

Sistema di ancoraggio: aste elicoidali di serie (mm) Ø100x750

Sistema di misura: cella di carico AEP con visualizzatore Pagani

Punta: conica meccanica Ø 35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - ( area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )

Manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. =  $150 \text{ cm}^2$ )

Velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  (  $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$  )

Spinta massima rilevabile dalla cella di carico 200 kN

Passo di lettura 0,20 m



# PROVA PENETROMETRICA STATICA

## LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.0105-157

- committente : IdroGeo Service srl  
 - lavoro :  
 - località : SP 7 - loc. Felisio (Solarolo, RA)  
 - assist. cantiere :

- data : 09/10/2015  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : 1,97 da quota inizio

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,07	----	8,20	41,0	52,0	41,0	0,73	56,0
0,40	3,0	4,0	3,0	0,07	45,0	8,40	49,0	60,0	49,0	1,00	49,0
0,60	3,0	4,0	3,0	0,20	15,0	8,60	42,0	57,0	42,0	0,47	90,0
0,80	6,0	9,0	6,0	0,33	18,0	8,80	33,0	40,0	33,0	1,27	26,0
1,00	15,0	20,0	15,0	0,67	22,0	9,00	42,0	61,0	42,0	1,00	42,0
1,20	18,0	28,0	18,0	0,80	22,0	9,20	63,0	78,0	63,0	0,87	73,0
1,40	15,0	27,0	15,0	0,67	22,0	9,40	76,0	89,0	76,0	1,40	54,0
1,60	13,0	23,0	13,0	1,00	13,0	9,60	50,0	71,0	50,0	0,53	94,0
1,80	16,0	31,0	16,0	0,93	17,0	9,80	66,0	74,0	66,0	1,13	58,0
2,00	30,0	44,0	30,0	0,67	45,0	10,00	42,0	59,0	42,0	0,33	126,0
2,20	31,0	41,0	31,0	0,60	52,0	10,20	55,0	60,0	55,0	0,80	69,0
2,40	33,0	42,0	33,0	0,47	71,0	10,40	37,0	49,0	37,0	0,60	62,0
2,60	25,0	32,0	25,0	0,53	47,0	10,60	13,0	22,0	13,0	0,73	18,0
2,80	16,0	24,0	16,0	0,47	34,0	10,80	41,0	52,0	41,0	0,80	51,0
3,00	25,0	32,0	25,0	0,47	54,0	11,00	40,0	52,0	40,0	0,87	46,0
3,20	11,0	18,0	11,0	0,47	24,0	11,20	40,0	53,0	40,0	0,53	75,0
3,40	16,0	23,0	16,0	0,60	27,0	11,40	24,0	32,0	24,0	0,33	72,0
3,60	30,0	39,0	30,0	0,60	50,0	11,60	50,0	55,0	50,0	0,53	94,0
3,80	11,0	20,0	11,0	0,40	27,0	11,80	28,0	36,0	28,0	1,00	28,0
4,00	9,0	15,0	9,0	0,33	27,0	12,00	7,0	22,0	7,0	0,27	26,0
4,20	8,0	13,0	8,0	0,40	20,0	12,20	6,0	10,0	6,0	0,27	22,0
4,40	11,0	17,0	11,0	0,53	21,0	12,40	7,0	11,0	7,0	0,27	26,0
4,60	11,0	19,0	11,0	0,67	16,0	12,60	8,0	12,0	8,0	0,33	24,0
4,80	13,0	23,0	13,0	0,80	16,0	12,80	10,0	15,0	10,0	0,47	21,0
5,00	18,0	30,0	18,0	1,27	14,0	13,00	10,0	17,0	10,0	0,60	17,0
5,20	19,0	38,0	19,0	1,20	16,0	13,20	10,0	19,0	10,0	0,47	21,0
5,40	25,0	43,0	25,0	1,47	17,0	13,40	16,0	23,0	16,0	0,67	24,0
5,60	25,0	47,0	25,0	1,27	20,0	13,60	12,0	22,0	12,0	0,73	16,0
5,80	21,0	40,0	21,0	1,20	17,0	13,80	10,0	21,0	10,0	0,53	19,0
6,00	15,0	33,0	15,0	0,67	22,0	14,00	8,0	16,0	8,0	0,60	13,0
6,20	17,0	27,0	17,0	1,13	15,0	14,20	6,0	15,0	6,0	0,60	10,0
6,40	13,0	30,0	13,0	0,73	18,0	14,40	10,0	19,0	10,0	0,53	19,0
6,60	19,0	30,0	19,0	1,47	13,0	14,60	37,0	45,0	37,0	1,40	26,0
6,80	29,0	51,0	29,0	1,27	23,0	14,80	51,0	72,0	51,0	1,47	35,0
7,00	48,0	67,0	48,0	0,60	80,0	15,00	21,0	43,0	21,0	1,07	20,0
7,20	40,0	49,0	40,0	0,67	60,0	15,20	26,0	42,0	26,0	1,00	26,0
7,40	40,0	50,0	40,0	0,73	55,0	15,40	29,0	44,0	29,0	1,20	24,0
7,60	41,0	52,0	41,0	1,07	38,0	15,60	30,0	48,0	30,0	1,00	30,0
7,80	46,0	62,0	46,0	1,20	38,0	15,80	38,0	53,0	38,0	-----	----
8,00	23,0	41,0	23,0	0,73	31,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (senza anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

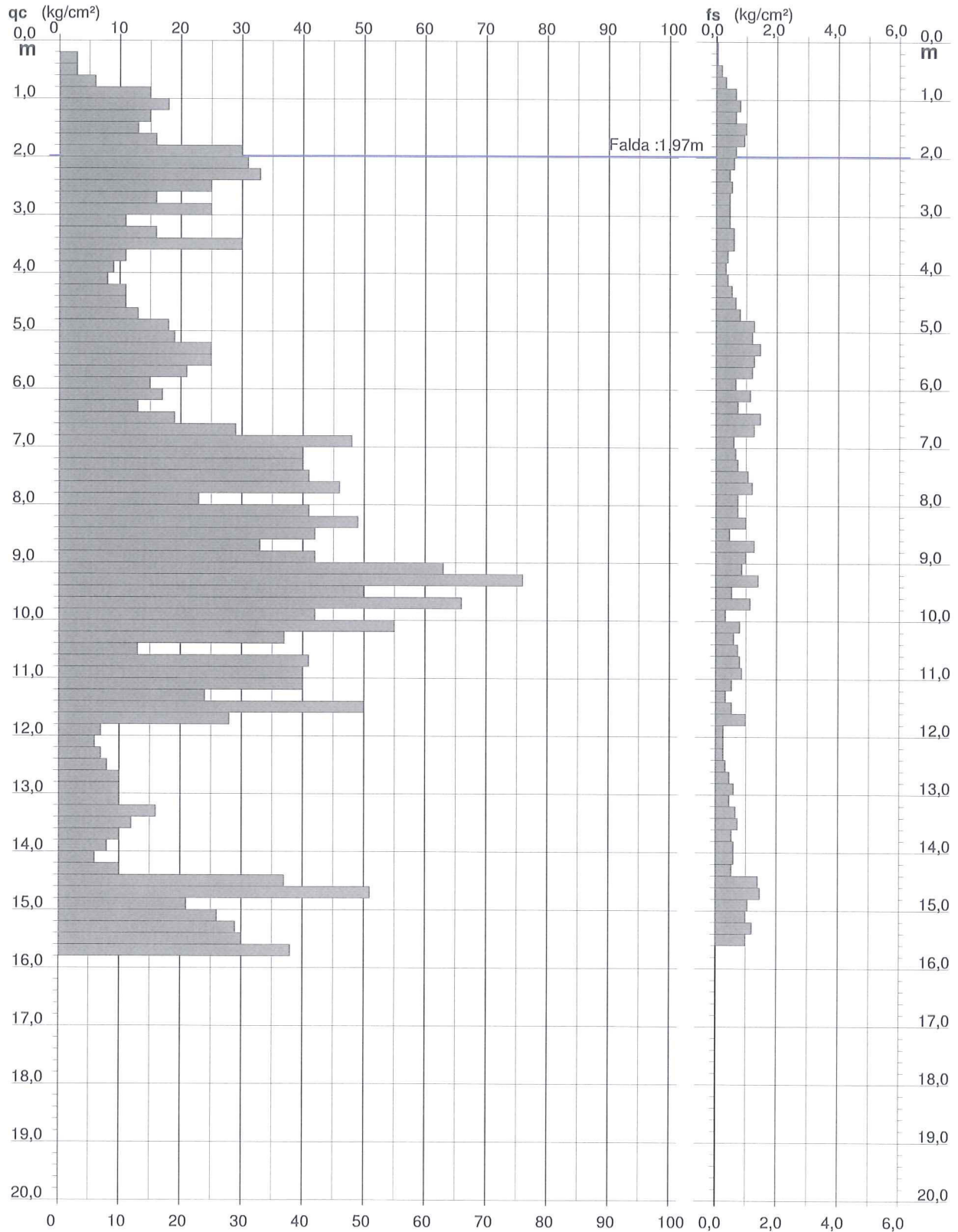
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

**CPT 1**

2.0105-157

- committente : IdroGeo Service srl  
 - lavoro :  
 - località : SP 7 - loc. Felisio (Solarolo, RA)  
 - assist. cantiere :

- data : 09/10/2015  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : 1,97 da quota inizio



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

## CPT 1

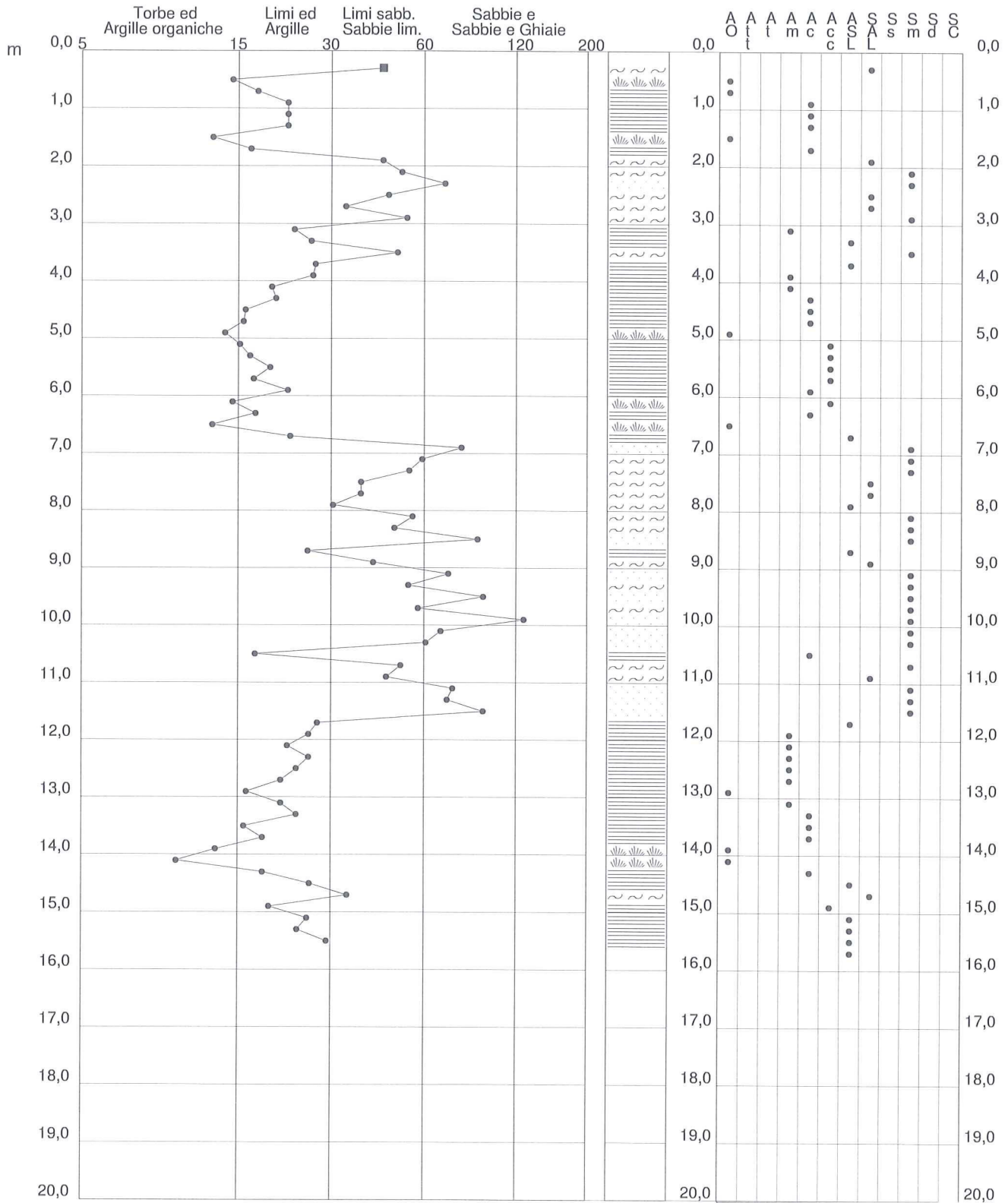
2.0105-157

- committente : IdroGeo Service srl  
 - lavoro :  
 - località : SP 7 - loc. Felisio (Solarolo, RA)  
 - assist. cantiere :

- data : 09/10/2015  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : 1,97 da quota inizio

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)





## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

### PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - (area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing$  35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. =  $150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  spinta)  $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

$$\text{fase 1 - resistenza alla punta} \quad q_c \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = L_1 \times C_t / 10$$

$$\text{fase 2 - resistenza laterale locale} \quad f_s \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$$

$$\text{fase 3 - resistenza totale} \quad R_t \text{ ( Kg )} = (L_t) \times C_t$$

$$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$$

- L1. punta = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta ( fase 1 )
- L2. totale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Lt. aste = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S$  ( Kg ), corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $C_t$  .

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta .

### CONVERSIONI

$$1 \text{ kN ( kiloNewton )} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t} - 1 \text{ MN ( megaNewton )} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$$

$$1 \text{ kPa ( kiloPascal )} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa ( MegaPascal )} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$$

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  **$F = (q_c / f_s)$**

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \%$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi

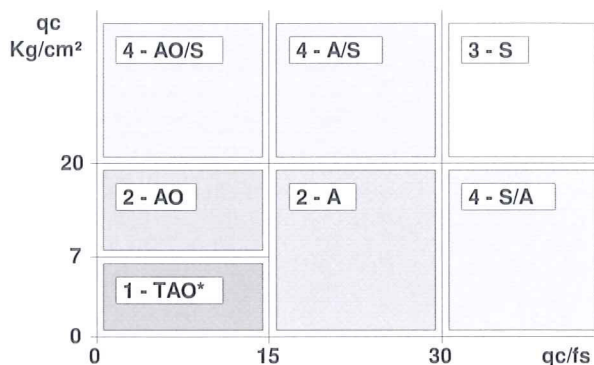
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$   
( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI      anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI      anche se  $( qc / fs ) < 30$



NATURA LITOLOGICA

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

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

- $\gamma$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma$ ' - qc - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma$ ' )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. : Eu -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = indice plastico]  
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (coefficiente di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. : Mo - qc - natura]  
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni : Dr - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  - Dr - qc -  $\sigma'_{vo}$  ]  
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976 )  
 $\emptyset'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme       $\emptyset'_{2s}$  - sabbia media uniforme/ fine ben gradata  
 $\emptyset'_{3s}$  - sabbia grossa uniforme/ media ben gradata  
 $\emptyset'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco limosa/ ghiaietto uniforme
- $\emptyset'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.       $\emptyset'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose
- Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
( g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/g) - Dr]



## PENETRATIO s.n.c.

di Lotti Giuseppe e Giani Paolo  
Via P.Maioli 37, 56028 San Miniato (PI)  
tel.0571418116  
PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

### PROVA PENETROMETRICA con piezocono digitale

committente:	IdroGeo Service srl	data:	09/10/15
cantiere:	-	profondità prova:	19,86 m
località:	SP 7 _ Felisio (Solarolo, RA)	quota inizio:	p.c.
operatore:	Geol. G. Lotti e Geol. P. Giani	profondità falda:	1,97 da p.c.

### CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Penetrometro: statico/dinamico PAGANI TG 63-200 da 20 ton, autoancorante

Sistema di ancoraggio: aste elicoidali di serie (mm) Ø100x750

Sistema di misura (Tecnopenta):

- G1-CPLS D [Piezocono digitale]
- D1-CPL Blue [interfaccia di comunicazione bluetooth fra cono e PC]
- G1-EST CPL Blue [misura della profondità con pulsante di avviamento acquisizione]
- Cavo di collegamento piezocono D1-CPL Blue
- Software di acquisizione e visualizzazione dati creato in ambiente labview

Velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec } (\pm 0,5 \text{ cm / sec})$

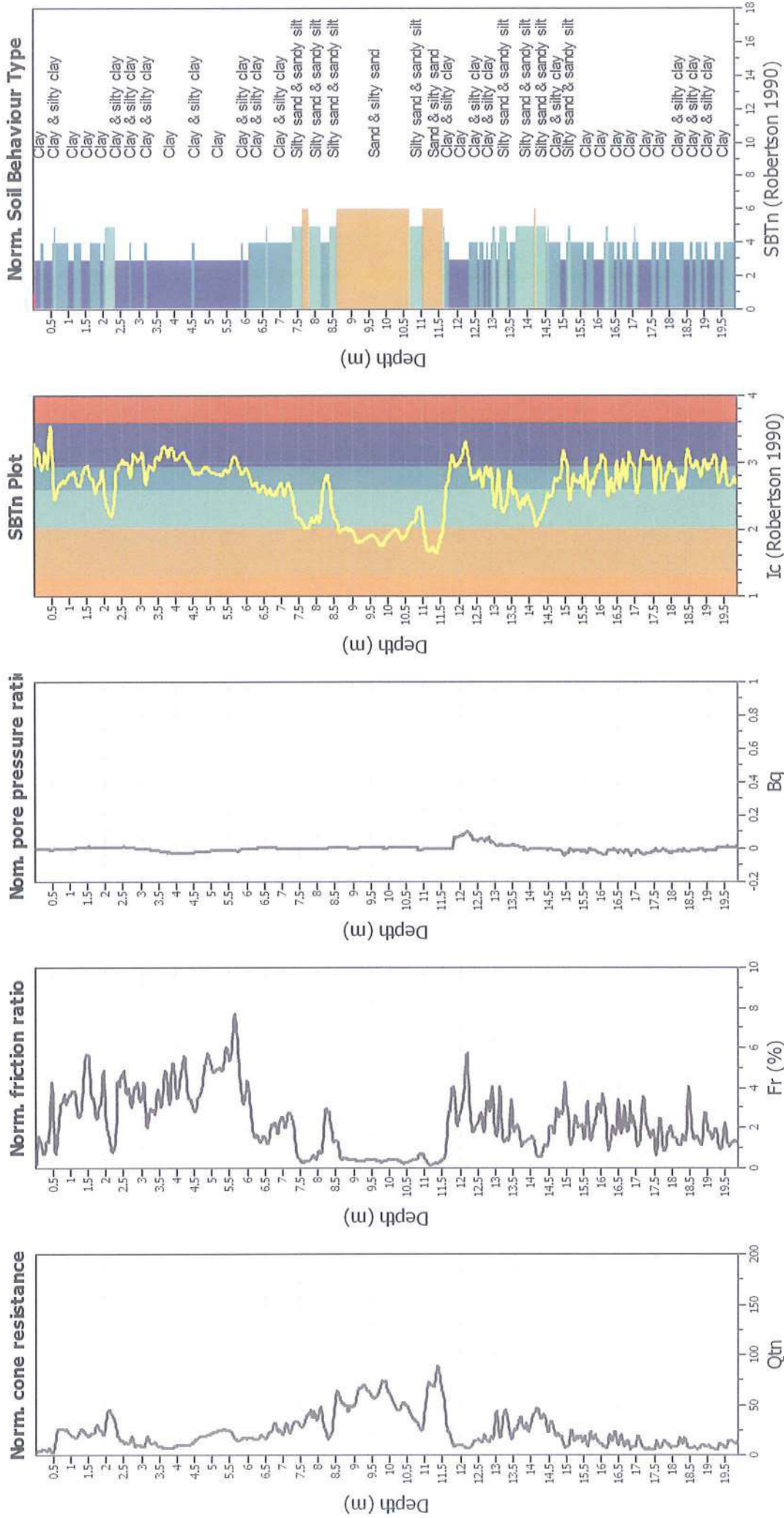
Spinta massima rilevabile dalla cella di carico 200 kN

Passo di lettura 2 cm





### CPT basic interpretation plots (normalized)



### Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.97 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_p$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	7.00	Unit weight calculation:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (msitu):	1.97 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

### SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
1	0.02	0.06	0.11	-0.26	79.44	13.73
2	0.05	0.18	0.36	0.00	55.41	13.73
3	0.06	0.29	0.61	0.00	56.30	13.73
4	0.08	0.27	2.03	0.00	62.56	13.73
5	0.11	0.21	3.99	-0.09	71.08	13.79
6	0.12	0.23	3.76	-0.09	73.55	13.93
7	0.14	0.26	3.31	-0.18	69.69	13.89
8	0.17	0.26	3.40	-0.09	65.19	13.87
9	0.18	0.30	3.22	-0.09	63.33	13.99
10	0.20	0.32	4.15	-0.18	58.00	14.02
11	0.23	0.38	3.20	0.00	54.55	13.91
12	0.24	0.36	2.12	-0.18	51.24	13.73
13	0.26	0.35	2.28	-0.18	54.73	13.73
14	0.29	0.27	2.93	-0.53	60.58	13.73
15	0.30	0.25	2.97	-0.70	68.82	13.73
16	0.32	0.22	3.25	-0.61	68.83	13.84
17	0.35	0.29	3.72	-0.61	64.74	14.12
18	0.37	0.38	5.10	-0.53	55.98	14.53
19	0.38	0.53	6.70	-0.35	53.01	14.87
20	0.40	0.50	8.05	-0.61	55.76	14.97
21	0.43	0.33	7.19	-0.97	66.78	14.89
22	0.44	0.22	6.99	-1.32	84.41	14.70
23	0.46	0.17	7.26	-1.49	98.34	14.60
24	0.49	0.17	7.06	-1.49	100.00	14.57
25	0.50	0.18	6.95	-1.58	94.82	14.58
26	0.52	0.24	6.63	-1.58	74.09	14.71
27	0.55	0.45	6.63	-1.32	53.90	14.82
28	0.57	0.68	5.96	-1.05	38.71	14.96
29	0.58	0.99	6.16	-0.70	30.73	15.25
30	0.60	1.27	9.39	0.00	28.66	15.90
31	0.63	1.50	19.51	1.14	29.58	16.50
32	0.64	1.56	27.41	1.58	31.55	16.94
33	0.67	1.59	33.79	2.63	33.76	17.20
34	0.69	1.57	39.32	3.07	36.07	17.38
35	0.70	1.51	44.21	3.34	38.18	17.50
36	0.72	1.51	48.05	3.34	39.57	17.59
37	0.75	1.54	50.60	3.78	39.68	17.65
38	0.76	1.59	50.80	3.86	39.48	17.69
39	0.78	1.59	51.68	3.95	39.78	17.70
40	0.80	1.53	52.88	3.78	41.00	17.72
41	0.83	1.47	54.69	3.60	42.51	17.73
42	0.84	1.43	54.96	3.51	41.70	17.69
43	0.86	1.57	47.39	-3.34	40.85	17.63
44	0.88	1.48	46.74	-3.16	39.87	17.58
45	0.90	1.47	47.93	-3.07	40.86	17.57
46	0.92	1.43	47.01	-2.55	41.75	17.56
47	0.94	1.37	47.03	-2.37	42.85	17.53
48	0.96	1.31	46.08	-2.11	44.09	17.51

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
49	0.98	1.27	45.86	-2.02	45.02	17.47
50	1.00	1.23	44.05	-1.93	46.00	17.42
51	1.02	1.16	42.20	-1.58	46.92	17.37
52	1.04	1.13	41.89	-1.40	47.80	17.37
53	1.06	1.16	45.18	1.67	47.95	17.37
54	1.08	1.15	42.56	2.11	48.09	17.36
55	1.10	1.10	40.38	2.55	48.56	17.30
56	1.12	1.06	40.29	2.81	49.68	17.25
57	1.14	1.01	38.89	3.34	50.33	17.19
58	1.16	0.99	35.45	3.95	49.33	17.11
59	1.18	1.05	32.70	5.18	46.58	17.04
60	1.20	1.15	31.66	7.02	43.39	17.02
61	1.22	1.23	31.32	8.96	40.72	17.04
62	1.24	1.32	31.93	10.36	39.02	17.10
63	1.26	1.40	34.57	11.15	38.10	17.21
64	1.28	1.47	38.43	11.94	37.65	17.32
65	1.30	1.53	40.62	12.99	37.57	17.42
66	1.32	1.57	44.09	13.35	38.30	17.52
67	1.34	1.52	48.20	13.61	40.62	17.63
68	1.36	1.43	56.22	13.43	43.87	17.75
69	1.38	1.38	62.29	13.52	46.97	17.86
70	1.40	1.36	67.01	13.61	49.39	17.92
71	1.42	1.29	69.04	13.35	51.52	17.95
72	1.44	1.23	69.87	13.43	53.04	17.94
73	1.46	1.22	67.82	13.43	53.71	17.92
74	1.48	1.21	66.83	13.43	54.08	17.89
75	1.50	1.16	65.41	13.61	54.54	17.84
76	1.52	1.13	61.82	13.87	55.12	17.78
77	1.54	1.09	58.37	14.05	54.81	17.71
78	1.56	1.10	55.33	14.40	53.27	17.65
79	1.58	1.17	51.83	14.93	49.35	17.58
80	1.60	1.32	45.97	15.63	45.83	17.53
81	1.62	1.34	45.04	15.80	43.85	17.49
82	1.64	1.31	45.51	15.89	44.17	17.48
83	1.66	1.28	45.60	15.98	44.30	17.45
84	1.68	1.29	42.22	16.16	43.63	17.42
85	1.70	1.33	41.27	16.59	40.17	17.43
86	1.72	1.67	43.53	17.65	36.33	17.50
87	1.74	1.88	44.50	18.09	33.54	17.57
88	1.76	1.86	44.28	18.26	33.10	17.59
89	1.78	1.78	45.04	18.17	34.35	17.58
90	1.80	1.66	45.02	18.17	36.80	17.55
91	1.82	1.46	44.77	18.00	40.19	17.54
92	1.84	1.32	47.23	18.17	40.19	17.50
93	1.86	1.61	41.43	13.52	40.30	17.54
94	1.88	1.51	49.14	13.35	40.74	17.59
95	1.90	1.34	52.68	12.99	45.56	17.66
96	1.92	1.20	55.71	12.82	50.21	17.69

**:: Field input data :: (continued)**

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
97	1.94	1.13	58.59	12.73	51.06	17.71
98	1.96	1.30	56.75	12.91	47.20	17.74
99	1.98	1.57	53.63	13.87	39.41	17.75
100	2.00	2.01	49.22	14.57	33.04	17.77
101	2.02	2.30	49.64	15.37	28.42	17.78
102	2.04	2.52	48.09	15.63	25.93	17.81
103	2.06	2.69	48.52	16.24	24.36	17.81
104	2.08	2.73	46.76	16.42	23.32	17.75
105	2.10	2.67	40.15	16.33	22.45	17.60
106	2.12	2.55	32.30	16.33	21.44	17.36
107	2.14	2.45	25.92	16.24	20.30	17.09
108	2.16	2.37	20.16	16.24	19.26	16.84
109	2.18	2.33	17.71	16.33	18.73	16.69
110	2.20	2.30	18.38	16.51	19.30	16.68
111	2.22	2.19	20.43	16.24	20.67	16.74
112	2.24	2.05	21.33	16.07	22.44	16.76
113	2.26	1.90	21.20	16.42	25.45	16.84
114	2.28	1.65	26.52	15.98	29.97	16.98
115	2.30	1.46	33.20	15.63	37.04	17.19
116	2.32	1.23	42.60	15.45	44.32	17.38
117	2.34	1.12	49.70	15.28	50.08	17.48
118	2.36	1.10	50.33	15.37	51.28	17.45
119	2.38	1.10	40.10	15.37	51.16	17.34
120	2.40	1.01	38.36	15.37	52.35	17.21
121	2.42	0.89	39.62	15.10	55.65	17.19
122	2.44	0.87	40.37	15.19	57.20	17.17
123	2.46	0.91	38.31	15.19	57.02	17.14
124	2.48	0.87	36.33	15.10	57.67	17.07
125	2.50	0.78	35.20	14.84	60.42	17.01
126	2.52	0.73	35.70	14.75	62.11	16.96
127	2.54	0.75	32.81	15.10	61.34	16.89
128	2.56	0.77	29.88	15.19	58.25	16.79
129	2.58	0.80	26.65	15.19	56.88	16.70
130	2.60	0.75	26.00	15.01	56.89	16.66
131	2.62	0.74	27.26	15.10	58.35	16.69
132	2.64	0.75	28.93	15.10	58.77	16.71
133	2.66	0.75	27.89	15.19	57.87	16.72
134	2.68	0.79	27.44	15.10	54.99	16.76
135	2.70	0.92	29.56	15.37	49.76	16.86
136	2.72	1.14	31.32	15.89	46.06	16.98
137	2.74	1.17	33.22	15.89	45.40	17.03
138	2.76	1.02	32.34	15.37	48.95	16.96
139	2.78	0.81	29.18	14.84	54.81	16.78
140	2.80	0.66	24.56	14.49	61.34	16.60
141	2.82	0.59	24.40	14.22	67.84	16.20
142	2.84	0.37	11.10	8.87	66.74	16.23
143	2.86	0.71	25.60	9.48	66.64	16.28
144	2.88	0.62	26.75	9.39	63.91	16.57

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	$q_c$ (MPa)	$f_s$ (kPa)	$u$ (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
145	2.90	0.62	25.33	9.39	64.12	16.53
146	2.92	0.68	23.39	9.48	61.83	16.43
147	2.94	0.65	20.44	9.66	60.38	16.32
148	2.96	0.61	18.95	9.57	61.01	16.22
149	2.98	0.60	18.88	9.57	61.89	16.14
150	3.00	0.58	17.53	9.75	63.11	16.13
151	3.02	0.56	18.57	9.66	64.59	16.12
152	3.04	0.55	19.11	9.57	66.76	16.15
153	3.06	0.53	19.70	9.57	68.44	16.19
154	3.08	0.53	20.89	9.66	69.24	16.26
155	3.10	0.56	22.56	9.66	65.90	16.35
156	3.12	0.68	23.12	10.10	57.02	16.46
157	3.14	0.93	22.43	10.80	47.33	16.52
158	3.16	1.13	21.32	11.15	40.88	16.58
159	3.18	1.21	22.43	11.15	39.13	16.62
160	3.20	1.13	23.60	10.98	40.97	16.66
161	3.22	1.00	24.19	10.62	45.05	16.61
162	3.24	0.84	22.14	10.36	49.84	16.49
163	3.26	0.72	19.77	9.92	53.83	16.34
164	3.28	0.69	19.14	9.75	55.10	16.28
165	3.30	0.74	19.72	9.66	54.38	16.26
166	3.32	0.74	18.48	9.66	54.52	16.28
167	3.34	0.70	20.29	9.48	54.64	16.27
168	3.36	0.73	19.36	9.48	53.29	16.30
169	3.38	0.82	19.00	9.57	51.09	16.34
170	3.40	0.84	21.22	9.57	51.68	16.37
171	3.42	0.72	20.95	9.22	55.42	16.36
172	3.44	0.63	20.02	9.04	60.93	16.32
173	3.46	0.59	21.71	8.87	64.03	16.30
174	3.48	0.60	21.26	8.78	65.03	16.28
175	3.50	0.59	19.69	8.52	64.28	16.22
176	3.52	0.58	18.20	8.69	63.33	16.11
177	3.54	0.58	16.42	8.60	62.81	16.02
178	3.56	0.56	15.61	8.52	62.14	15.93
179	3.58	0.56	14.68	8.52	64.07	15.91
180	3.60	0.51	16.13	8.34	66.77	15.92
181	3.62	0.49	16.98	8.25	71.11	15.98
182	3.64	0.47	18.05	7.99	74.49	16.05
183	3.66	0.46	20.19	8.08	76.28	16.13
184	3.68	0.48	20.84	8.08	75.53	16.18
185	3.70	0.51	20.30	7.90	75.33	16.17
186	3.72	0.46	19.49	7.90	73.87	16.11
187	3.74	0.49	17.55	7.81	72.57	16.03
188	3.76	0.51	16.52	7.90	68.96	15.95
189	3.78	0.52	15.35	7.81	66.47	15.88
190	3.80	0.53	14.38	7.90	65.07	15.84
191	3.82	0.53	14.47	7.73	66.73	15.94
192	3.84	0.52	19.57	5.62	69.19	16.09

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
193	3.86	0.53	21.17	5.79	72.19	16.25
194	3.88	0.52	22.50	5.71	73.76	16.33
195	3.90	0.52	24.60	5.79	74.78	16.39
196	3.92	0.53	24.53	5.79	74.77	16.41
197	3.94	0.53	23.58	5.79	72.87	16.39
198	3.96	0.56	22.57	6.06	70.34	16.34
199	3.98	0.58	21.24	6.23	66.80	16.29
200	4.00	0.61	19.57	6.23	63.58	16.24
201	4.02	0.64	19.05	6.32	61.27	16.26
202	4.04	0.67	21.08	6.50	60.71	16.34
203	4.06	0.68	23.41	6.59	61.32	16.45
204	4.08	0.68	24.74	6.59	62.50	16.54
205	4.10	0.68	26.59	6.76	63.73	16.61
206	4.12	0.68	28.48	6.67	65.07	16.68
207	4.14	0.67	29.41	6.76	66.16	16.71
208	4.16	0.66	29.16	6.67	67.00	16.74
209	4.18	0.67	31.08	6.94	68.26	16.78
210	4.20	0.65	32.78	7.20	69.41	16.83
211	4.22	0.65	33.25	7.11	70.13	16.83
212	4.24	0.65	31.90	7.29	69.49	16.81
213	4.26	0.66	30.87	7.38	67.36	16.70
214	4.28	0.66	24.48	4.83	64.97	16.58
215	4.30	0.66	22.59	4.92	62.70	16.43
216	4.32	0.66	21.72	5.00	61.26	16.37
217	4.34	0.68	20.80	4.92	60.23	16.36
218	4.36	0.69	21.30	4.83	59.76	16.36
219	4.38	0.68	21.55	5.18	59.11	16.38
220	4.40	0.72	21.64	5.18	58.21	16.40
221	4.42	0.74	21.89	5.36	56.30	16.42
222	4.44	0.78	21.98	5.62	54.62	16.45
223	4.46	0.82	22.46	5.97	52.74	16.49
224	4.48	0.86	22.84	6.06	50.80	16.54
225	4.50	0.92	23.41	6.41	49.18	16.59
226	4.52	0.96	24.60	6.59	48.19	16.67
227	4.54	0.99	26.79	6.85	48.01	16.77
228	4.56	1.02	29.21	7.02	48.51	16.87
229	4.58	1.02	31.48	7.11	49.11	16.97
230	4.60	1.04	33.94	7.46	49.35	17.06
231	4.62	1.09	36.02	7.55	48.90	17.13
232	4.64	1.13	37.28	7.99	48.29	17.19
233	4.66	1.15	38.48	8.17	48.05	17.25
234	4.68	1.17	40.69	8.34	48.33	17.31
235	4.70	1.17	42.54	8.43	48.67	17.37
236	4.72	1.19	44.41	8.60	48.94	17.42
237	4.74	1.21	46.22	8.78	49.44	17.49
238	4.76	1.21	50.12	9.04	50.69	17.57
239	4.78	1.19	54.97	9.04	52.42	17.66
240	4.80	1.18	58.51	9.39	53.22	17.71



## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
241	4.82	1.22	58.53	9.39	53.35	17.75
242	4.84	1.22	59.43	9.57	53.51	17.81
243	4.86	1.24	66.72	11.85	54.05	17.86
244	4.88	1.25	67.51	12.12	54.29	17.91
245	4.90	1.26	66.56	12.29	53.84	17.91
246	4.92	1.27	65.39	12.56	53.22	17.89
247	4.94	1.28	64.27	12.64	52.49	17.89
248	4.96	1.32	65.62	12.99	51.61	17.89
249	4.98	1.35	64.81	13.26	50.63	17.90
250	5.00	1.38	64.45	13.52	49.57	17.90
251	5.02	1.41	63.48	13.61	48.96	17.90
252	5.04	1.40	63.21	13.96	48.48	17.90
253	5.06	1.43	64.15	14.22	48.47	17.91
254	5.08	1.43	65.23	14.31	48.35	17.94
255	5.10	1.45	66.92	14.66	48.42	17.96
256	5.12	1.46	67.89	14.93	48.16	17.98
257	5.14	1.49	68.32	15.19	48.01	18.00
258	5.16	1.49	69.15	15.54	47.90	18.02
259	5.18	1.50	70.62	15.80	47.96	18.04
260	5.20	1.52	72.02	16.07	47.79	18.06
261	5.22	1.54	72.13	16.51	47.61	18.08
262	5.24	1.54	72.51	16.77	47.40	18.08
263	5.26	1.55	72.33	17.12	47.00	18.08
264	5.28	1.58	71.13	17.47	46.79	18.07
265	5.30	1.55	70.79	17.65	46.85	18.12
266	5.32	1.62	80.27	22.13	47.48	18.17
267	5.34	1.60	81.41	22.48	48.13	18.23
268	5.36	1.57	81.81	22.74	49.24	18.24
269	5.38	1.52	84.10	22.92	50.28	18.25
270	5.40	1.51	85.20	23.36	51.31	18.26
271	5.42	1.49	86.17	23.79	51.55	18.26
272	5.44	1.50	84.84	24.06	51.31	18.25
273	5.46	1.51	81.81	24.23	50.40	18.21
274	5.48	1.53	78.56	24.58	49.68	18.17
275	5.50	1.51	76.35	24.58	49.42	18.13
276	5.52	1.47	73.78	24.94	49.99	18.09
277	5.54	1.42	73.21	24.94	51.37	18.07
278	5.56	1.34	73.89	24.85	53.33	18.05
279	5.58	1.28	74.43	24.94	55.79	18.05
280	5.60	1.22	76.68	24.76	58.70	18.05
281	5.62	1.13	78.82	24.76	61.70	18.04
282	5.64	1.06	76.05	24.67	64.13	17.98
283	5.66	1.01	70.25	24.67	64.73	17.90
284	5.68	1.01	65.29	24.76	64.69	17.80
285	5.70	0.97	61.05	25.02	63.97	17.70
286	5.72	0.96	55.61	25.29	63.32	17.59
287	5.74	0.94	49.32	25.55	61.62	17.48
288	5.76	0.96	45.71	25.64	59.08	17.36

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
289	5.78	1.00	41.02	26.16	56.28	17.28
290	5.80	1.03	38.81	26.52	53.94	17.22
291	5.82	1.05	37.43	26.78	52.18	17.19
292	5.84	1.10	37.28	35.21	49.89	17.18
293	5.86	1.19	35.75	35.82	48.03	17.17
294	5.88	1.19	34.83	36.35	46.99	17.15
295	5.90	1.17	34.61	36.88	47.28	17.15
296	5.92	1.17	36.03	37.14	48.27	17.17
297	5.94	1.14	37.81	37.40	49.84	17.22
298	5.96	1.10	40.16	37.67	51.44	17.28
299	5.98	1.11	42.48	38.02	52.72	17.41
300	6.00	1.19	52.04	38.37	52.44	17.42
301	6.02	1.13	40.20	38.63	51.61	17.39
302	6.04	1.15	38.94	39.33	50.00	17.24
303	6.06	1.16	36.46	39.95	48.46	17.17
304	6.08	1.18	32.51	40.65	46.56	17.04
305	6.10	1.18	27.55	41.18	44.59	16.89
306	6.12	1.17	24.08	41.62	42.74	16.72
307	6.14	1.18	21.26	42.23	41.49	16.61
308	6.16	1.18	20.49	42.93	40.32	16.51
309	6.18	1.19	18.74	43.55	39.41	16.44
310	6.20	1.20	17.43	44.25	38.45	16.36
311	6.22	1.20	16.57	44.69	38.30	16.31
312	6.24	1.16	16.64	45.13	38.86	16.28
313	6.26	1.12	16.57	45.66	40.02	16.28
314	6.28	1.09	16.96	46.27	40.46	16.26
315	6.30	1.11	16.26	46.89	39.87	16.24
316	6.32	1.16	15.54	47.41	38.00	16.24
317	6.34	1.27	15.88	48.38	35.79	16.27
318	6.36	1.39	16.60	49.34	33.97	16.34
319	6.38	1.46	17.28	50.49	33.19	16.41
320	6.40	1.45	17.91	50.75	33.47	16.47
321	6.42	1.43	19.31	51.19	34.71	16.52
322	6.44	1.36	20.15	51.54	36.04	16.56
323	6.46	1.33	20.37	52.24	37.16	16.53
324	6.48	1.27	18.64	52.42	37.78	16.46
325	6.50	1.22	17.40	52.94	37.74	16.35
326	6.52	1.22	15.57	53.56	37.10	16.27
327	6.54	1.27	15.53	54.26	35.47	16.24
328	6.56	1.37	15.26	55.14	33.69	16.30
329	6.58	1.51	17.00	56.37	32.19	16.43
330	6.60	1.64	19.95	56.98	31.68	16.64
331	6.62	1.72	23.95	57.69	32.34	16.87
332	6.64	1.74	29.49	57.69	33.97	17.08
333	6.66	1.70	34.21	57.60	35.61	17.22
334	6.68	1.69	35.47	57.86	35.98	17.32
335	6.70	1.84	37.35	58.83	34.19	17.47
336	6.72	2.26	45.40	60.41	32.14	17.63

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
337	6.74	2.40	48.38	60.49	31.23	17.78
338	6.76	2.37	51.94	60.23	31.55	17.84
339	6.78	2.33	52.64	60.14	31.70	17.81
340	6.80	2.29	44.28	59.62	31.08	17.67
341	6.82	2.22	36.56	59.00	33.94	17.38
342	6.84	1.21	29.32	49.61	32.66	17.18
343	6.86	2.18	27.47	51.71	33.54	17.12
344	6.88	1.97	32.70	51.19	31.51	17.27
345	6.90	1.83	38.09	50.84	34.72	17.41
346	6.92	1.86	42.27	51.10	35.53	17.52
347	6.94	2.04	43.89	52.15	36.44	17.56
348	6.96	1.76	43.24	51.45	37.43	17.52
349	6.98	1.63	38.91	51.28	39.09	17.44
350	7.00	1.68	38.64	51.98	40.22	17.36
351	7.02	1.49	36.99	51.71	39.16	17.36
352	7.04	1.77	37.49	53.73	36.29	17.42
353	7.06	2.21	41.35	55.84	32.47	17.56
354	7.08	2.43	45.16	56.90	30.81	17.74
355	7.10	2.51	53.00	57.60	31.10	17.84
356	7.12	2.39	53.23	56.98	32.91	17.89
357	7.14	2.15	54.20	56.28	35.20	17.85
358	7.16	1.96	51.45	55.58	37.80	17.74
359	7.18	1.72	43.91	54.44	39.51	17.63
360	7.20	1.69	43.73	54.52	39.95	17.57
361	7.22	1.80	45.58	55.14	38.62	17.64
362	7.24	2.04	49.64	56.46	36.50	17.75
363	7.26	2.24	52.75	57.33	34.66	17.85
364	7.28	2.36	55.01	57.77	33.28	17.91
365	7.30	2.47	55.14	58.21	31.74	17.91
366	7.32	2.58	49.51	58.65	29.46	17.82
367	7.34	2.70	40.53	59.18	26.46	17.60
368	7.36	2.76	29.05	59.35	23.43	17.31
369	7.38	2.78	21.74	59.53	20.87	16.98
370	7.40	2.79	17.53	59.53	19.14	16.70
371	7.42	2.77	14.21	59.62	18.32	16.50
372	7.44	2.68	13.44	59.09	18.18	16.35
373	7.46	2.55	12.43	58.83	5.00	16.23
374	7.48	2.45	10.71	58.56	5.00	16.04
375	7.50	2.36	8.41	58.39	5.00	15.84
376	7.52	2.32	7.56	58.39	5.00	15.65
377	7.54	2.33	6.90	58.91	5.00	15.59
378	7.56	2.39	7.15	59.27	5.00	15.60
379	7.58	2.54	7.64	60.23	5.00	15.70
380	7.60	2.74	8.34	61.02	5.00	15.83
381	7.62	2.90	9.31	61.64	5.00	15.97
382	7.64	3.04	10.37	62.34	5.00	16.08
383	7.66	3.17	10.77	63.04	5.00	16.14
384	7.68	3.29	10.52	63.57	5.00	16.17

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
385	7.70	3.38	10.64	64.09	5.00	16.20
386	7.72	3.44	11.34	64.71	5.00	16.28
387	7.74	3.47	12.67	65.06	5.00	16.38
388	7.76	3.58	13.59	65.76	5.00	16.49
389	7.78	3.71	14.74	66.03	5.00	16.60
390	7.80	3.81	16.57	66.64	5.00	16.78
391	7.82	3.91	20.74	67.43	15.85	16.60
392	7.84	1.99	9.55	55.05	16.94	16.81
393	7.86	3.80	25.86	61.64	17.79	16.86
394	7.88	3.66	23.92	62.08	16.10	17.10
395	7.90	3.50	19.95	61.81	15.95	16.90
396	7.92	3.29	15.19	61.11	5.00	16.61
397	7.94	3.02	12.03	60.14	5.00	16.42
398	7.96	2.97	13.54	60.06	17.03	16.56
399	7.98	3.12	20.60	60.93	17.98	16.86
400	8.00	3.31	25.05	62.25	18.56	17.14
401	8.02	3.47	29.02	63.48	18.53	17.39
402	8.04	3.84	35.85	66.29	17.60	17.50
403	8.06	4.17	32.35	68.13	16.39	17.53
404	8.08	4.23	28.70	68.31	16.31	17.37
405	8.10	3.36	24.69	65.15	18.17	17.24
406	8.12	2.81	26.62	63.04	22.58	17.28
407	8.14	2.56	36.57	62.51	28.02	17.49
408	8.16	2.24	47.03	62.16	32.57	17.71
409	8.18	2.24	53.50	63.30	36.31	17.86
410	8.20	2.13	58.33	63.48	39.45	17.90
411	8.22	1.78	56.75	63.74	41.91	17.76
412	8.24	1.61	39.54	64.53	43.90	17.53
413	8.26	1.50	35.32	64.89	45.01	17.34
414	8.28	1.39	40.10	66.55	46.28	17.30
415	8.30	1.42	36.74	69.71	45.70	17.31
416	8.32	1.58	35.86	72.96	42.23	17.29
417	8.34	1.76	35.43	76.65	38.87	17.32
418	8.36	1.90	35.63	80.07	36.39	17.35
419	8.38	2.01	36.06	82.88	33.53	17.39
420	8.40	2.33	35.59	86.31	29.48	17.45
421	8.42	2.89	36.44	90.08	25.52	17.58
422	8.44	3.41	42.33	93.42	22.75	17.79
423	8.46	3.90	50.52	94.65	21.32	18.09
424	8.48	4.57	67.25	98.16	19.66	18.33
425	8.50	5.27	69.92	100.62	18.38	18.51
426	8.52	5.55	73.37	100.97	17.48	18.58
427	8.54	5.58	75.62	100.80	17.22	18.58
428	8.56	5.49	69.62	100.36	16.93	18.49
429	8.58	5.30	58.06	99.83	16.12	18.27
430	8.60	5.05	41.88	99.13	14.59	17.90
431	8.62	4.90	24.70	98.86	12.92	17.47
432	8.64	4.79	20.28	99.22	5.00	17.13

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
433	8.66	4.76	20.21	99.57	5.00	17.08
434	8.68	4.67	22.05	100.18	5.00	17.11
435	8.70	4.61	22.01	100.27	5.00	17.14
436	8.72	4.51	22.46	100.71	12.88	17.15
437	8.74	4.46	22.79	101.15	13.13	17.14
438	8.76	4.42	22.14	101.59	13.11	17.12
439	8.78	4.45	21.21	102.46	5.00	17.08
440	8.80	4.49	20.78	103.34	5.00	17.06
441	8.82	4.54	20.67	103.96	5.00	16.74
442	8.84	2.67	8.21	76.47	5.00	16.73
443	8.86	4.65	20.30	84.55	5.00	16.72
444	8.88	4.57	19.88	84.11	5.00	17.02
445	8.90	4.46	19.99	83.76	5.00	17.00
446	8.92	4.39	19.85	83.76	5.00	16.99
447	8.94	4.39	19.52	84.03	5.00	16.98
448	8.96	4.43	19.65	84.55	5.00	16.98
449	8.98	4.46	19.74	84.99	5.00	17.00
450	9.00	4.50	20.08	85.61	5.00	17.01
451	9.02	4.58	19.97	86.31	5.00	17.02
452	9.04	4.78	19.81	87.54	5.00	17.04
453	9.06	5.21	19.92	89.64	5.00	17.06
454	9.08	5.56	19.95	91.40	5.00	17.09
455	9.10	5.93	19.99	93.51	5.00	17.11
456	9.12	6.12	19.88	95.09	5.00	17.13
457	9.14	6.26	20.38	96.32	5.00	17.16
458	9.16	6.31	20.81	97.46	5.00	17.19
459	9.18	6.20	21.57	97.90	5.00	17.23
460	9.20	6.12	22.59	98.78	5.00	17.26
461	9.22	6.18	22.99	99.65	5.00	17.30
462	9.24	6.31	23.47	101.41	5.00	17.33
463	9.26	6.44	24.03	103.08	5.00	17.35
464	9.28	6.52	24.05	104.31	5.00	17.37
465	9.30	6.53	24.21	105.45	5.00	17.37
466	9.32	6.38	24.52	106.24	5.00	17.38
467	9.34	6.21	24.77	106.33	5.00	17.38
468	9.36	6.05	24.75	107.03	5.00	17.36
469	9.38	6.01	24.16	107.82	5.00	17.35
470	9.40	6.02	23.86	109.05	5.00	17.33
471	9.42	5.96	23.77	109.93	5.00	17.31
472	9.44	5.86	23.48	110.19	5.00	17.29
473	9.46	5.71	22.96	110.54	5.00	17.27
474	9.48	5.58	22.89	111.16	5.00	17.25
475	9.50	5.52	22.68	111.86	5.00	17.24
476	9.52	5.50	22.55	112.65	5.00	17.23
477	9.54	5.44	22.46	113.35	5.00	17.22
478	9.56	5.40	22.23	113.97	5.00	17.20
479	9.58	5.38	21.78	114.76	5.00	17.18
480	9.60	5.40	21.41	115.72	5.00	17.16

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
481	9.62	5.44	21.23	116.69	5.00	17.16
482	9.64	5.54	21.19	118.00	5.00	17.16
483	9.66	5.66	21.14	119.06	5.00	17.17
484	9.68	5.74	21.46	120.11	5.00	17.18
485	9.70	5.90	21.57	121.69	5.00	17.21
486	9.72	6.15	21.91	123.71	5.00	17.22
487	9.74	6.46	21.39	125.73	5.00	17.24
488	9.76	6.69	21.50	127.66	5.00	17.24
489	9.78	6.99	20.89	130.21	5.00	17.24
490	9.80	7.05	20.82	131.35	5.00	17.24
491	9.82	7.06	21.11	132.40	5.00	17.32
492	9.84	6.67	25.93	106.41	5.00	17.35
493	9.86	7.23	22.42	107.64	5.00	17.39
494	9.88	7.20	23.25	107.29	5.00	17.35
495	9.90	7.05	23.39	106.59	5.00	17.37
496	9.92	6.72	23.97	105.62	5.00	17.37
497	9.94	6.42	24.00	104.66	5.00	17.36
498	9.96	6.17	24.29	104.13	5.00	17.36
499	9.98	6.07	24.63	104.04	5.00	17.36
500	10.00	5.99	24.70	104.66	5.00	17.36
501	10.02	5.94	24.54	105.45	5.00	17.35
502	10.04	5.79	23.99	105.45	5.00	17.32
503	10.06	5.58	23.63	105.10	5.00	17.28
504	10.08	5.35	22.68	104.75	5.00	17.23
505	10.10	5.16	21.85	104.57	5.00	17.17
506	10.12	5.03	21.33	104.92	5.00	17.13
507	10.14	4.96	20.69	105.10	5.00	17.09
508	10.16	4.82	20.20	105.10	5.00	17.04
509	10.18	4.65	19.38	104.66	5.00	16.99
510	10.20	4.58	18.71	104.75	5.00	16.95
511	10.22	4.47	18.39	104.75	5.00	16.89
512	10.24	4.41	16.81	105.01	5.00	16.82
513	10.26	4.40	15.95	105.27	5.00	16.76
514	10.28	4.40	15.61	105.71	5.00	16.72
515	10.30	4.47	15.27	106.41	5.00	16.71
516	10.32	4.60	15.13	107.47	5.00	16.67
517	10.34	4.83	13.87	108.79	5.00	16.64
518	10.36	5.04	13.35	110.01	5.00	16.59
519	10.38	5.20	12.70	110.89	5.00	16.55
520	10.40	5.21	12.43	111.51	5.00	16.53
521	10.42	5.12	12.40	111.33	5.00	16.53
522	10.44	4.98	12.86	110.98	5.00	16.55
523	10.46	4.95	13.37	111.33	5.00	16.58
524	10.48	4.96	13.53	111.86	5.00	16.60
525	10.50	4.97	13.80	112.12	5.00	16.62
526	10.52	4.89	14.16	112.12	5.00	16.62
527	10.54	4.62	13.89	110.72	5.00	16.61
528	10.56	4.30	13.78	109.31	5.00	16.58

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
529	10.58	4.15	14.05	108.52	5.00	16.58
530	10.60	4.02	14.56	108.08	5.00	16.60
531	10.62	3.88	14.83	107.56	5.00	16.61
532	10.64	3.83	14.83	107.29	5.00	16.60
533	10.66	3.69	14.76	106.77	5.00	16.60
534	10.68	3.60	15.19	106.24	5.00	16.60
535	10.70	3.58	15.26	105.98	5.00	16.61
536	10.72	3.53	15.12	105.80	5.00	16.58
537	10.74	3.48	14.33	105.54	5.00	16.54
538	10.76	3.46	13.91	105.36	5.00	16.50
539	10.78	3.45	13.50	105.19	5.00	16.45
540	10.80	3.45	12.91	104.75	5.00	16.47
541	10.82	3.27	14.78	103.78	19.06	16.61
542	10.84	2.67	20.10	69.54	21.23	16.74
543	10.86	2.90	19.44	69.71	23.48	16.79
544	10.88	2.64	18.75	68.57	23.29	16.70
545	10.90	2.56	16.22	68.13	23.76	16.62
546	10.92	2.59	16.11	68.13	23.62	16.58
547	10.94	2.62	17.28	68.48	23.63	16.69
548	10.96	2.78	20.73	69.63	22.13	16.90
549	10.98	3.53	24.34	74.54	18.65	17.07
550	11.00	4.49	22.86	79.02	15.12	17.12
551	11.02	4.91	19.63	80.07	5.00	17.11
552	11.04	5.30	21.26	81.30	5.00	17.15
553	11.06	5.97	22.82	83.67	5.00	17.21
554	11.08	6.72	20.65	86.75	5.00	17.21
555	11.10	7.46	18.94	90.00	5.00	17.06
556	11.12	7.57	13.91	90.87	5.00	16.86
557	11.14	7.23	11.70	90.44	5.00	16.63
558	11.16	7.01	11.09	90.35	5.00	16.53
559	11.18	7.03	11.07	91.66	5.00	16.52
560	11.20	7.19	11.59	93.68	5.00	16.57
561	11.22	7.16	12.47	94.30	5.00	16.66
562	11.24	6.95	13.77	94.47	5.00	16.76
563	11.26	6.88	15.31	95.70	5.00	16.90
564	11.28	7.18	18.01	98.25	5.00	17.04
565	11.30	7.64	19.03	101.32	5.00	17.19
566	11.32	8.41	21.33	106.41	5.00	17.30
567	11.34	8.89	22.23	110.72	5.00	17.37
568	11.36	9.04	21.90	113.26	5.00	17.37
569	11.38	9.02	21.06	114.93	5.00	17.39
570	11.40	8.63	23.47	115.11	5.00	17.43
571	11.42	7.93	25.21	113.00	5.00	17.48
572	11.44	7.41	25.70	111.68	5.00	17.50
573	11.46	7.02	26.65	111.33	5.00	17.55
574	11.48	6.73	29.85	111.95	5.00	17.60
575	11.50	6.57	31.02	112.82	5.00	17.62
576	11.52	6.45	29.17	113.70	5.00	17.59

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
577	11.54	6.28	27.50	114.40	5.00	17.51
578	11.56	5.82	26.59	113.00	5.00	17.46
579	11.58	4.88	28.19	108.26	14.61	17.44
580	11.60	3.97	29.90	103.78	18.81	17.44
581	11.62	3.22	32.17	100.80	24.49	17.56
582	11.64	2.80	44.34	99.22	30.80	17.77
583	11.66	2.62	58.05	99.04	36.87	17.98
584	11.68	2.32	64.82	99.48	39.64	18.11
585	11.70	2.57	67.00	103.17	40.78	18.11
586	11.72	2.41	59.69	103.61	41.88	18.04
587	11.74	1.97	55.93	99.83	46.52	17.91
588	11.76	1.61	55.49	97.28	53.20	17.79
589	11.78	1.43	52.18	97.20	58.31	17.65
590	11.80	1.31	44.12	98.78	59.18	17.44
591	11.82	1.29	33.36	100.97	65.36	17.25
592	11.84	0.81	38.35	154.00	64.93	17.13
593	11.86	1.22	34.00	160.32	64.94	17.03
594	11.88	1.19	25.34	162.52	56.44	16.85
595	11.90	1.17	20.83	164.45	54.49	16.62
596	11.92	1.15	20.29	166.65	54.07	16.55
597	11.94	1.16	21.69	169.02	55.00	16.61
598	11.96	1.16	24.17	170.86	56.00	16.72
599	11.98	1.18	26.50	172.44	56.71	16.82
600	12.00	1.21	28.17	174.64	57.12	16.90
601	12.02	1.21	29.45	175.78	57.90	16.97
602	12.04	1.19	31.14	176.13	59.11	17.01
603	12.06	1.17	31.73	177.53	60.72	17.04
604	12.08	1.14	32.86	177.45	62.73	17.07
605	12.10	1.09	34.12	176.66	65.26	17.09
606	12.12	1.05	35.36	175.51	68.40	17.14
607	12.14	1.01	38.16	174.20	72.33	17.20
608	12.16	0.95	41.83	173.06	76.64	17.25
609	12.18	0.90	42.80	173.41	79.92	17.27
610	12.20	0.89	41.81	175.25	80.65	17.24
611	12.22	0.90	39.15	176.74	78.89	17.17
612	12.24	0.92	35.27	177.45	75.48	17.07
613	12.26	0.96	31.51	178.85	70.75	16.94
614	12.28	1.01	26.30	179.90	66.04	16.79
615	12.30	1.04	23.25	180.61	60.82	16.69
616	12.32	1.16	22.67	182.98	56.03	16.66
617	12.34	1.29	22.58	185.08	51.49	16.70
618	12.36	1.42	23.57	185.87	46.91	16.77
619	12.38	1.65	24.43	189.47	44.40	16.92
620	12.40	1.74	29.88	189.74	42.65	17.05
621	12.42	1.81	30.70	188.42	43.49	17.14
622	12.44	1.67	30.74	184.03	44.94	17.16
623	12.46	1.60	32.41	182.63	45.90	17.23
624	12.48	1.80	36.58	188.42	44.10	17.33



## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
625	12.50	2.05	37.85	191.06	43.28	17.44
626	12.52	1.88	40.69	184.03	43.51	17.45
627	12.54	1.79	37.58	184.47	46.65	17.43
628	12.56	1.63	39.14	184.12	48.52	17.41
629	12.58	1.64	40.58	189.47	50.51	17.42
630	12.60	1.59	39.79	190.26	51.06	17.39
631	12.62	1.53	36.52	193.69	49.09	17.34
632	12.64	1.78	34.81	201.06	44.21	17.33
633	12.66	2.15	35.26	208.26	38.49	17.43
634	12.68	2.54	39.66	210.99	36.63	17.54
635	12.70	2.33	42.64	203.00	38.80	17.61
636	12.72	1.91	44.39	194.39	44.77	17.68
637	12.74	1.74	52.83	196.06	49.70	17.74
638	12.76	1.81	54.86	205.54	52.35	17.76
639	12.78	1.64	48.77	185.00	53.26	17.70
640	12.80	1.57	47.51	194.83	53.89	17.61
641	12.82	1.62	45.09	204.66	51.50	17.56
642	12.84	1.81	41.49	215.11	46.48	17.78
643	12.86	2.52	66.43	191.49	45.46	18.01
644	12.88	2.20	72.66	185.70	47.78	18.20
645	12.90	1.88	74.74	181.66	52.34	18.20
646	12.92	1.90	72.03	185.96	51.01	18.16
647	12.94	2.30	64.52	195.97	42.55	18.18
648	12.96	3.20	64.91	206.95	34.27	18.27
649	12.98	3.95	72.38	213.62	29.47	18.43
650	13.00	4.29	79.48	212.74	26.52	18.54
651	13.02	4.79	76.41	211.78	24.39	18.59
652	13.04	5.18	75.99	209.76	23.11	18.55
653	13.06	4.80	69.67	194.66	24.97	18.49
654	13.08	3.60	71.09	175.87	29.71	18.40
655	13.10	2.89	70.77	164.98	37.52	18.31
656	13.12	2.32	70.79	156.55	45.67	18.27
657	13.14	1.93	78.50	151.98	51.57	18.27
658	13.16	2.05	81.47	165.51	46.87	18.32
659	13.18	3.09	70.94	184.65	36.80	18.31
660	13.20	3.86	58.90	190.62	28.84	18.27
661	13.22	4.23	59.94	190.09	24.30	18.24
662	13.24	4.81	57.93	191.85	22.04	18.30
663	13.26	5.24	62.30	192.72	20.94	18.37
664	13.28	5.19	67.67	187.89	21.30	18.45
665	13.30	4.96	69.54	181.22	22.27	18.48
666	13.32	4.85	69.83	179.29	23.39	18.44
667	13.34	4.41	63.60	173.06	24.20	18.25
668	13.36	3.79	44.30	165.94	25.54	17.98
669	13.38	3.30	39.11	160.94	28.11	17.79
670	13.40	2.88	46.32	156.02	32.98	17.81
671	13.42	2.50	53.74	151.90	40.23	17.95
672	13.44	2.08	64.72	146.54	47.89	18.02

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
673	13.46	1.80	65.75	147.07	50.62	17.99
674	13.48	2.09	53.05	157.25	45.51	17.90
675	13.50	2.61	46.65	169.10	36.91	17.87
676	13.52	3.24	50.64	175.43	32.92	17.97
677	13.54	3.30	59.93	169.46	32.12	18.07
678	13.56	3.11	57.54	164.10	33.41	18.10
679	13.58	2.97	56.00	160.06	34.53	18.13
680	13.60	3.12	66.67	160.50	34.16	18.26
681	13.62	3.59	75.56	168.23	32.52	18.42
682	13.64	3.95	78.06	170.25	30.31	18.49
683	13.66	4.10	73.86	167.61	28.61	18.51
684	13.68	4.28	74.18	165.94	26.59	18.45
685	13.70	4.55	63.67	166.30	24.45	18.33
686	13.72	4.59	51.38	164.80	22.71	18.11
687	13.74	4.20	40.69	157.60	22.65	17.88
688	13.76	3.74	38.99	151.11	24.11	17.74
689	13.78	3.47	39.62	147.51	25.56	17.70
690	13.80	3.51	38.60	147.07	26.13	17.78
691	13.82	3.79	47.29	148.56	28.46	17.68
692	13.84	2.43	33.79	100.09	27.41	17.75
693	13.86	4.07	44.08	110.10	27.05	17.79
694	13.88	4.04	50.51	107.29	25.36	17.95
695	13.90	3.58	47.96	102.20	27.49	17.85
696	13.92	2.95	35.91	97.81	30.00	17.63
697	13.94	2.67	33.18	96.93	31.75	17.57
698	13.96	2.96	44.26	100.18	30.95	17.71
699	13.98	3.50	47.33	108.61	29.31	17.88
700	14.00	3.63	48.52	108.79	27.55	18.03
701	14.02	4.04	59.10	109.66	26.63	18.21
702	14.04	4.49	68.77	112.39	25.29	18.39
703	14.06	4.92	71.80	115.11	24.19	18.49
704	14.08	4.99	71.59	113.44	23.09	18.49
705	14.10	5.06	65.64	112.39	22.19	18.42
706	14.12	5.13	59.75	113.35	20.73	18.30
707	14.14	5.25	50.30	115.20	18.33	18.06
708	14.16	5.47	31.50	117.92	15.90	17.80
709	14.18	5.66	29.85	119.23	14.27	17.59
710	14.20	5.63	31.22	119.15	14.27	17.60
711	14.22	5.49	31.67	117.13	15.01	17.59
712	14.24	5.03	30.36	113.61	16.04	17.50
713	14.26	4.51	26.30	110.37	16.93	17.33
714	14.28	4.28	21.77	109.49	17.14	17.18
715	14.30	4.40	21.97	112.47	17.37	17.29
716	14.32	4.76	33.04	115.46	18.10	17.59
717	14.34	4.92	42.67	115.90	19.09	17.88
718	14.36	4.95	47.94	115.81	20.03	18.03
719	14.38	4.86	50.36	114.23	20.90	18.08
720	14.40	4.66	50.24	111.86	21.84	18.08

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
721	14.42	4.46	49.81	110.01	23.29	18.03
722	14.44	3.95	47.10	106.94	24.49	17.79
723	14.46	3.26	26.35	103.69	26.32	17.49
724	14.48	2.89	26.55	102.55	28.30	17.31
725	14.50	2.88	36.02	103.96	31.69	17.62
726	14.52	3.10	54.25	107.21	33.06	18.06
727	14.54	3.71	75.78	112.12	32.11	18.38
728	14.56	4.19	81.38	114.76	30.69	18.59
729	14.58	4.35	87.49	114.58	29.93	18.66
730	14.60	4.27	86.79	112.21	30.21	18.64
731	14.62	4.02	78.56	109.49	30.74	18.54
732	14.64	3.78	70.28	107.56	31.10	18.33
733	14.66	3.37	51.51	104.22	31.78	18.06
734	14.68	2.95	42.08	101.67	33.87	17.85
735	14.70	2.64	48.62	99.30	37.98	17.87
736	14.72	2.49	58.58	97.99	42.57	18.07
737	14.74	2.56	74.75	99.48	43.64	18.28
738	14.76	2.95	82.40	105.01	42.14	18.37
739	14.78	2.99	69.93	104.57	40.87	18.31
740	14.80	2.67	62.44	101.15	41.44	18.14
741	14.82	2.41	56.87	97.99	43.92	18.10
742	14.84	2.45	67.67	100.62	44.11	18.16
743	14.86	2.79	72.07	95.62	43.24	18.24
744	14.88	2.75	67.22	92.89	43.44	18.15
745	14.90	2.21	54.16	87.71	46.64	17.88
746	14.92	1.72	40.20	83.94	52.96	17.59
747	14.94	1.47	40.09	83.32	60.83	17.44
748	14.96	1.28	45.43	83.06	68.77	17.44
749	14.98	1.15	45.27	86.05	70.92	17.42
750	15.00	1.32	39.48	91.05	66.93	17.35
751	15.02	1.46	36.25	94.56	61.76	17.27
752	15.04	1.43	35.03	95.62	60.35	17.21
753	15.06	1.36	33.34	95.70	60.77	17.16
754	15.08	1.37	32.03	98.07	53.51	17.13
755	15.10	2.00	28.29	105.89	40.97	17.17
756	15.12	2.89	28.18	113.88	31.60	17.34
757	15.14	3.50	36.66	116.78	27.98	17.56
758	15.16	3.58	42.34	114.58	29.01	17.69
759	15.18	2.92	40.27	108.08	32.35	17.60
760	15.20	2.35	32.64	103.69	37.47	17.41
761	15.22	2.04	30.75	101.59	43.72	17.41
762	15.24	1.90	45.54	101.50	47.38	17.62
763	15.26	2.22	55.83	106.68	45.69	17.88
764	15.28	2.76	57.90	111.95	42.77	18.03
765	15.30	2.71	61.67	110.10	41.65	18.04
766	15.32	2.44	54.83	106.50	42.80	17.92
767	15.34	2.30	44.48	104.57	42.58	17.73
768	15.36	2.36	39.70	105.10	41.65	17.67

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
769	15.38	2.48	47.60	106.33	40.70	17.77
770	15.40	2.66	53.08	107.12	39.99	17.84
771	15.42	2.67	47.60	105.10	40.03	17.82
772	15.44	2.43	45.20	102.82	41.76	17.72
773	15.46	2.13	43.42	99.92	45.25	17.58
774	15.48	1.86	36.56	97.99	46.78	17.43
775	15.50	1.98	33.05	101.50	41.12	17.30
776	15.52	2.72	28.54	109.93	36.46	17.39
777	15.54	2.84	39.32	109.31	35.89	17.49
778	15.56	2.32	41.05	104.22	40.98	17.51
779	15.58	1.82	34.98	99.30	50.09	17.44
780	15.60	1.47	40.69	97.63	59.99	17.39
781	15.62	1.29	43.78	99.92	62.49	17.42
782	15.64	1.65	39.09	108.52	54.13	17.49
783	15.66	2.31	41.16	116.86	40.64	17.60
784	15.68	3.26	42.48	123.01	33.08	17.72
785	15.70	3.53	43.24	122.04	30.97	17.75
786	15.72	2.94	40.72	115.37	32.52	17.60
787	15.74	2.47	30.54	111.33	36.57	17.44
788	15.76	2.26	33.52	110.19	40.03	17.46
789	15.78	2.34	45.16	111.68	42.12	17.68
790	15.80	2.57	53.84	114.32	40.88	17.90
791	15.82	2.95	56.39	117.57	39.10	18.04
792	15.84	3.04	60.72	116.69	43.25	17.94
793	15.86	1.55	46.17	91.05	45.53	17.99
794	15.88	2.68	65.19	98.25	50.46	17.95
795	15.90	2.25	61.02	93.24	48.72	18.01
796	15.92	1.91	52.22	90.87	53.32	17.88
797	15.94	1.85	52.97	91.84	55.03	17.77
798	15.96	1.89	49.69	95.26	53.86	17.69
799	15.98	1.91	41.58	97.55	52.92	17.60
800	16.00	1.81	42.07	96.23	55.89	17.57
801	16.02	1.55	49.76	95.44	60.44	17.58
802	16.04	1.49	45.97	97.72	64.92	17.53
803	16.06	1.39	40.65	99.04	66.05	17.42
804	16.08	1.34	38.96	100.36	66.25	17.32
805	16.10	1.37	36.66	102.46	65.11	17.25
806	16.12	1.40	34.13	104.48	63.68	17.15
807	16.14	1.33	29.33	105.36	62.93	16.95
808	16.16	1.22	21.59	106.24	60.83	16.65
809	16.18	1.27	15.79	109.58	52.99	16.40
810	16.20	1.67	14.51	115.90	40.12	16.41
811	16.22	2.56	17.62	124.24	31.97	16.72
812	16.24	3.11	24.88	127.31	30.31	17.16
813	16.26	2.92	36.41	123.18	32.55	17.37
814	16.28	2.48	33.70	117.83	36.90	17.37
815	16.30	2.19	29.08	115.72	41.45	17.34
816	16.32	2.06	37.35	115.63	43.86	17.55

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	$q_c$ (MPa)	$f_s$ (kPa)	$u$ (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
817	16.34	2.49	53.52	121.17	41.50	17.82
818	16.36	3.13	54.61	126.70	36.50	18.02
819	16.38	3.60	55.62	128.28	33.25	18.06
820	16.40	3.44	53.46	124.85	33.51	17.96
821	16.42	2.78	42.99	117.13	37.21	17.74
822	16.44	2.14	35.53	111.51	43.85	17.51
823	16.46	1.78	37.69	109.93	52.68	17.48
824	16.48	1.62	47.84	111.07	60.51	17.65
825	16.50	1.60	58.91	113.35	58.33	17.78
826	16.52	2.19	52.04	121.08	47.78	17.90
827	16.54	3.08	50.64	129.24	38.68	17.91
828	16.56	3.21	49.42	128.45	35.72	17.89
829	16.58	2.83	46.99	122.57	38.02	17.75
830	16.60	2.22	37.62	115.63	43.27	17.54
831	16.62	1.83	33.81	112.91	51.37	17.39
832	16.64	1.52	39.90	112.39	59.18	17.37
833	16.66	1.43	41.41	115.72	61.60	17.39
834	16.68	1.65	37.17	120.64	55.98	17.38
835	16.70	2.01	34.89	125.12	47.20	17.42
836	16.72	2.47	39.04	129.42	42.55	17.51
837	16.74	2.47	40.71	127.49	41.97	17.48
838	16.76	2.06	32.14	121.25	45.00	17.35
839	16.78	1.79	30.51	118.00	51.31	17.24
840	16.80	1.54	36.33	116.16	59.32	17.32
841	16.82	1.40	43.79	116.95	66.03	17.32
842	16.84	1.27	34.86	118.53	69.36	16.83
843	16.86	0.87	0.96	105.36	64.56	16.76
844	16.88	1.63	37.85	111.16	60.63	16.77
845	16.90	1.54	33.34	110.45	58.45	17.24
846	16.92	1.56	32.26	111.24	57.96	17.14
847	16.94	1.55	29.37	111.60	56.98	17.06
848	16.96	1.54	27.39	112.30	57.07	16.94
849	16.98	1.42	24.32	112.30	53.34	16.84
850	17.00	1.76	21.35	116.78	45.28	16.82
851	17.02	2.35	22.48	121.52	36.16	17.00
852	17.04	3.08	29.54	125.82	32.34	17.25
853	17.06	3.06	33.84	122.57	32.21	17.37
854	17.08	2.67	31.16	118.00	35.28	17.27
855	17.10	2.16	24.60	113.26	40.62	17.10
856	17.12	1.78	26.06	111.68	48.01	17.10
857	17.14	1.68	35.76	112.65	55.50	17.25
858	17.16	1.59	40.18	114.05	61.06	17.33
859	17.18	1.38	36.23	114.40	66.54	17.32
860	17.20	1.26	38.78	114.76	70.68	17.21
861	17.22	1.21	32.73	117.74	71.49	17.08
862	17.24	1.21	25.79	119.94	69.41	16.84
863	17.26	1.17	21.23	120.99	66.75	16.61
864	17.28	1.17	18.46	123.01	65.12	16.49

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
865	17.30	1.21	19.40	124.85	63.23	16.46
866	17.32	1.26	19.20	126.43	61.42	16.46
867	17.34	1.29	18.09	127.49	60.75	16.36
868	17.36	1.17	14.76	127.93	60.99	16.21
869	17.38	1.13	13.54	128.89	61.34	16.08
870	17.40	1.17	13.49	130.82	61.15	16.05
871	17.42	1.16	13.67	132.14	61.93	16.13
872	17.44	1.14	16.27	132.84	63.73	16.21
873	17.46	1.13	17.01	133.55	65.07	16.26
874	17.48	1.12	15.77	134.69	64.95	16.19
875	17.50	1.10	13.67	135.39	59.27	16.08
876	17.52	1.39	11.87	139.16	45.65	16.00
877	17.54	2.12	9.77	145.66	35.73	16.08
878	17.56	2.44	13.38	147.33	32.38	16.27
879	17.58	2.23	16.16	141.36	35.03	16.41
880	17.60	1.85	15.66	135.13	41.86	16.53
881	17.62	1.58	20.69	132.93	50.37	16.71
882	17.64	1.50	27.97	135.04	57.14	16.93
883	17.66	1.49	30.86	136.18	60.84	17.01
884	17.68	1.37	27.91	136.36	62.63	16.93
885	17.70	1.29	23.71	136.88	60.28	16.79
886	17.72	1.52	21.01	140.31	52.48	16.65
887	17.74	1.87	17.49	144.43	42.73	16.60
888	17.76	2.27	17.31	147.94	36.81	16.64
889	17.78	2.45	20.15	148.30	34.69	16.70
890	17.80	2.35	19.09	145.57	34.57	16.67
891	17.82	2.25	16.00	144.87	35.51	16.56
892	17.84	2.10	15.78	144.26	42.71	16.57
893	17.86	1.30	22.87	123.27	46.23	16.89
894	17.88	2.25	33.43	130.47	49.26	17.08
895	17.90	2.02	29.12	127.93	46.29	17.20
896	17.92	1.83	29.03	126.26	50.05	17.08
897	17.94	1.63	27.23	125.64	54.83	17.00
898	17.96	1.45	26.46	125.20	58.06	16.89
899	17.98	1.42	23.55	126.70	58.29	16.77
900	18.00	1.49	20.55	128.80	55.59	16.66
901	18.02	1.56	19.45	130.82	52.37	16.63
902	18.04	1.66	20.62	132.32	50.56	16.65
903	18.06	1.69	21.14	133.19	50.00	16.69
904	18.08	1.66	21.05	133.63	50.55	16.68
905	18.10	1.60	20.46	133.63	51.36	16.64
906	18.12	1.57	19.49	133.98	50.87	16.56
907	18.14	1.62	17.12	135.83	48.76	16.49
908	18.16	1.73	16.74	137.76	44.35	16.55
909	18.18	2.12	20.30	141.80	39.65	16.85
910	18.20	2.69	29.17	145.93	35.24	17.14
911	18.22	3.04	30.63	146.89	34.20	17.28
912	18.24	2.64	28.83	139.69	35.45	17.20

## :: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
913	18.26	2.25	24.36	135.04	40.37	17.02
914	18.28	1.83	22.80	132.05	45.53	17.02
915	18.30	1.91	31.83	137.23	45.52	17.21
916	18.32	2.54	36.77	145.31	40.64	17.44
917	18.34	2.99	36.92	149.61	36.24	17.58
918	18.36	3.08	40.10	147.68	35.52	17.54
919	18.38	2.61	32.44	140.92	37.54	17.38
920	18.40	2.22	25.69	137.67	41.89	17.19
921	18.42	1.97	29.75	136.88	49.84	17.27
922	18.44	1.67	43.32	136.53	60.09	17.48
923	18.46	1.46	50.95	138.90	68.34	17.57
924	18.48	1.41	45.38	140.57	71.93	17.52
925	18.50	1.36	39.85	142.24	70.47	17.35
926	18.52	1.38	33.47	145.22	67.00	17.19
927	18.54	1.47	28.96	147.86	62.51	17.01
928	18.56	1.50	24.49	149.53	58.42	16.85
929	18.58	1.53	21.13	151.19	56.13	16.67
930	18.60	1.48	18.42	152.33	54.16	16.54
931	18.62	1.53	17.43	154.27	53.24	16.50
932	18.64	1.57	19.14	155.32	52.98	16.51
933	18.66	1.51	18.55	155.67	54.45	16.50
934	18.68	1.40	17.52	155.32	56.98	16.43
935	18.70	1.30	16.95	155.50	59.71	16.33
936	18.72	1.22	15.26	156.55	59.75	16.22
937	18.74	1.31	13.45	159.27	58.00	16.22
938	18.76	1.42	16.34	161.64	55.07	16.29
939	18.78	1.51	17.13	163.57	51.91	16.38
940	18.80	1.65	15.73	166.03	48.36	16.40
941	18.82	1.78	16.23	168.49	45.66	16.48
942	18.84	1.89	19.34	169.46	45.38	16.55
943	18.86	1.77	18.53	166.91	47.74	16.96
944	18.88	2.05	38.10	156.90	51.72	17.25
945	18.90	1.86	41.35	151.37	55.63	17.51
946	18.92	1.74	43.40	148.82	59.56	17.42
947	18.94	1.54	33.12	149.17	61.33	17.29
948	18.96	1.54	31.07	151.46	59.79	17.13
949	18.98	1.68	29.67	154.71	56.82	17.08
950	19.00	1.74	27.39	156.46	52.79	17.02
951	19.02	1.86	25.41	158.74	50.88	17.05
952	19.04	1.91	30.16	159.18	50.79	17.05
953	19.06	1.76	27.66	157.34	52.78	16.97
954	19.08	1.55	21.10	156.20	55.31	16.77
955	19.10	1.45	19.97	156.29	57.10	16.56
956	19.12	1.38	17.44	157.87	57.60	16.43
957	19.14	1.39	15.64	159.80	56.45	16.32
958	19.16	1.44	15.14	162.08	57.05	16.37
959	19.18	1.38	19.58	162.70	59.64	16.41
960	19.20	1.23	17.91	162.61	63.30	16.45

**:: Field input data :: (continued)**

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
961	19.22	1.23	18.14	164.63	65.69	16.37
962	19.24	1.17	16.85	165.51	66.79	16.34
963	19.26	1.14	16.65	167.52	66.47	16.28
964	19.28	1.21	15.97	170.95	62.35	16.29
965	19.30	1.42	15.88	175.78	52.59	16.36
966	19.32	1.94	16.65	182.98	44.51	16.49
967	19.34	2.18	18.61	185.00	40.39	16.59
968	19.36	2.10	18.39	183.07	40.34	16.55
969	19.38	1.89	14.78	180.61	42.24	16.40
970	19.40	1.73	13.63	179.90	44.66	16.37
971	19.42	1.77	18.14	182.98	47.16	16.60
972	19.44	1.88	24.84	185.61	49.98	16.85
973	19.46	1.75	27.61	183.24	54.45	16.97
974	19.48	1.48	27.32	179.64	60.68	16.93
975	19.50	1.28	25.02	179.11	63.50	16.80
976	19.52	1.41	21.11	184.91	59.04	16.72
977	19.54	1.73	20.69	191.49	49.48	16.76
978	19.56	2.21	23.71	197.29	42.33	16.92
979	19.58	2.52	26.12	200.36	38.91	17.08
980	19.60	2.54	27.77	197.38	37.85	17.07
981	19.62	2.40	22.88	194.92	37.61	17.00
982	19.64	2.44	21.77	197.03	37.58	17.03
983	19.66	2.60	29.39	200.19	38.04	17.18
984	19.68	2.60	32.51	198.34	38.81	17.26
985	19.70	2.45	27.45	195.53	39.40	17.20
986	19.72	2.39	25.94	196.06	40.10	17.13
987	19.74	2.35	28.15	196.15	41.81	17.10
988	19.76	2.12	26.44	192.11	44.00	17.02
989	19.78	1.94	22.29	190.70	44.84	16.91
990	19.80	2.08	22.49	197.64	42.76	16.94
991	19.82	2.45	26.87	204.14	40.46	17.12
992	19.84	2.60	31.81	205.54	39.11	17.27
993	19.86	2.59	32.10	203.44	39.23	17.35

**Abbreviations**

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q <sub>c</sub> :	Measured cone resistance (MPa)
f <sub>s</sub> :	Sleeve friction resistance (kPa)
u:	Pore pressure (kPa)
Fines content:	Percentage of fines in soil (%)
Unit weight:	Bulk soil unit weight (kN/m <sup>3</sup> )



**ALLEGATO 2:**

*Verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni*



LIVE CHAT

Carrello

Mappa del sito

[area utente](#) [registrati](#) [recupera password](#)
[HOME](#) [AZIENDA](#) [PRODOTTI](#) [DOWNLOAD](#) [SERVIZI](#) [CONTATTI](#) [AREA UTENTE](#)
[Home](#)  
[GeoApp](#)
**Generale**[GeoStru earthquake](#)[GeoStru maps](#)[GeoStru SRTM](#)[Converter](#)[Computo](#)**Ingegneria**[Tutti i parametri  
sismici con un click](#)[Combinazioni delle  
azioni](#)[Calcolo di sezioni in  
CA](#)[Pressioni in galleria](#)**Geotecnica &  
Geologia**[Mappa zone  
sismogenetiche](#)[Debris Flow](#)[Analisi stabilita'  
superfici piane](#)[Tensioni Litostatiche](#)[Muri di sostegno](#)[Tiranti](#)[Newmark](#)[Carico limite](#)[Liquefazione](#)[Terre Rinforzate](#)[Scivolamento lungo  
un piano](#)[Caratterizzazione di  
ammassi rocciosi](#)[Caratterizzazione di  
Barton](#)[Barriere paramassi  
rigide ed elastiche](#)[Terrapieni paramassi](#)[Pali e micropali](#)[Paratie](#)[Prove di carico su pali](#)[Prove sismiche](#)[Downhole](#)[Classificazione suoli](#)[Cunei 3D](#)**Idrogeologia**[Curva Caratteristica](#)[Pozzi](#)**Ingenium Edizioni**La casa editrice del gruppo GeoStru  
dedita all'editoria tecnico scientifica.

Gli applicativi presenti in GeoApp sono stati realizzati a supporto del professionista e per la soluzione di semplici problematiche di analisi. Per casi particolarmente complessi la invitiamo a fare riferimento alla nostre applicazioni Desktop visitando la lista dei prodotti su [www.geostru.com](http://www.geostru.com) dove troverà il prodotto che fa a caso suo.

Metodo di calcolo

- Seed e Idriss
- Tokimatsu e Yoshimi

## Immissione Dati

Descrizione	
Profondità di calcolo (m)	19.86
Profondità della falda dal p. c. (m)	1.97
Peso di volume del terreno (t/mc)	1.90
Numero di colpi SPT o SCPT	4
Magnitudo del sisma (Richter)	6
Accelerazione sismica massima (g)	0.091
Tipo di deposito	<input type="radio"/> Sabbie pulite <input checked="" type="radio"/> Sabbie limose
Consistenza del deposito	<input checked="" type="radio"/> Sabbie sciolte <input type="radio"/> Sabbie medio-dense

Salva

Apri

Calcola

## Risultati

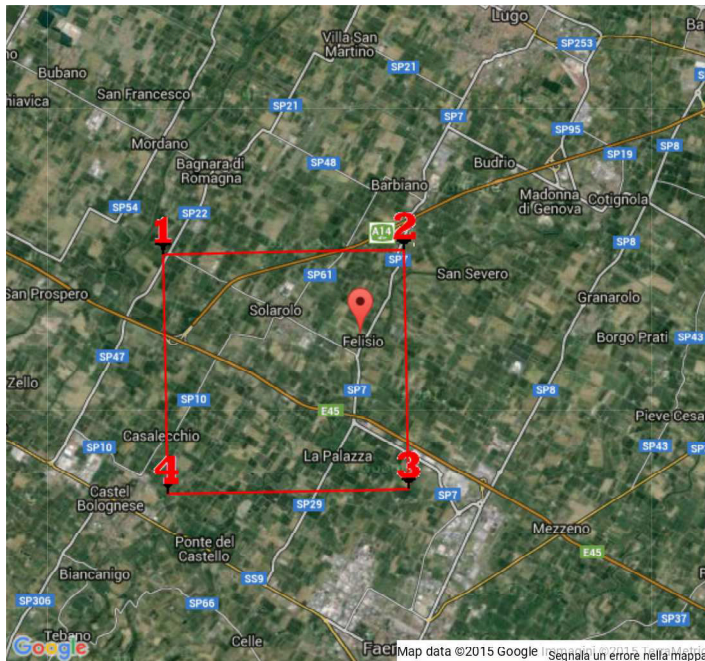
Pressione totale del terreno (kg/cmq)	3,7734
Pressione efficace del terreno (kg/cmq)	1,9844
Fattore correttivo per la frazione fine (%)	5,00
Numero di colpi standard corretto Na	2,5332
Resistenza alla liquefazione (R)	0,1128
Sforzo di taglio normalizzato (T)	0,0395
Coefficiente di sicurezza (Fs = R / T)	2,8564

Il deposito non è liquefacibile

**ALLEGATO 3:**

*Parametri sismici*

Via	<input type="text"/>	n°	<input type="text"/>
Comune	<input type="text"/>	solarolo	Cap <input type="text"/>
Provincia	<input type="text"/>	ravenna	<input type="button" value="Cerca"/>
Coordinate WGS84 (°)			
Latitudine	<input type="text"/>	44.355277	
Longitudine	<input type="text"/>	11.868333	<input type="button" value="Cerca"/>
Isole	<input type="text" value="-- Seleziona --"/>		



44.355277, 11.868334

 Visualizza vertici della maglia di appartenenza


#### Parametri sismici

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

(1)* Coordinate WGS84 (°)			
Latitudine	<input type="text" value="44.355277"/>	Longitudine	<input type="text" value="11.868334"/>
(1)* Coordinate ED50 (°)			
Latitudine	<input type="text" value="44,356215"/>	Longitudine	<input type="text" value="11,869312"/>
Classe dell'edificio			
<input type="text" value="I Presenza occasionale di persone, edifici agricoli..."/> Cu = 0.7			
Vita nominale			<input type="text" value="10"/>
<small>(Opere provvisorie &lt;=10, Opere ordinarie &gt;=50, Grandi opere &gt;=100)</small>			
Interpolazione			<input type="text" value="Media ponderata"/>
<input type="button" value="Calcola"/>			

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,063	2,425	0,262
Danno (SLD)	30	0,063	2,425	0,262
Salvaguardia vita (SLV)	66	0,091	2,402	0,276
Prevenzione collasso (SLC)	136	0,123	2,431	0,283
Periodo di riferimento per l'azione sismica:		7		

#### Calcolo dei coefficienti sismici

<input type="radio"/> Muri di sostegno <input checked="" type="radio"/> Paratie																										
<input checked="" type="radio"/> Stabilità dei pendii e fondazioni																										
<input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.																										
H (m)	<input type="text" value="1"/>																									
us (m)	<input type="text" value="0.1"/>																									
Categoria sottosuolo	<input type="text" value="C"/>																									
Categoria topografica	<input type="text" value="T1"/>																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Ss *</b></td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,63</td> <td>1,63</td> <td>1,61</td> <td>1,59</td> </tr> <tr> <td><b>Cc *</b></td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table>		SLO	SLD	SLV	SLC	<b>Ss *</b>	1,50	1,50	1,50	1,50	Amplificazione stratigrafica	1,63	1,63	1,61	1,59	<b>Cc *</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
	SLO	SLD	SLV	SLC																						
<b>Ss *</b>	1,50	1,50	1,50	1,50																						
Amplificazione stratigrafica	1,63	1,63	1,61	1,59																						
<b>Cc *</b>	1,00	1,00	1,00	1,00																						
Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00																						
<input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ]																										
<input type="text" value="0.6"/>																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0,019</td> <td>0,019</td> <td>0,027</td> <td>0,044</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0,009</td> <td>0,009</td> <td>0,014</td> <td>0,022</td> </tr> <tr> <td>Amax [m/s<sup>2</sup>]</td> <td>0,923</td> <td>0,923</td> <td>1,334</td> <td>1,805</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0,200</td> <td>0,200</td> <td>0,200</td> <td>0,240</td> </tr> </tbody> </table>	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0,019	0,019	0,027	0,044	kv	0,009	0,009	0,014	0,022	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,923	0,923	1,334	1,805	Beta	0,200	0,200	0,200	0,240
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																						
kh	0,019	0,019	0,027	0,044																						
kv	0,009	0,009	0,014	0,022																						
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,923	0,923	1,334	1,805																						
Beta	0,200	0,200	0,200	0,240																						
<input type="button" value="Calcola"/>																										

\* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

**ALLEGATO 4:**

*Indagine sismica MASW*

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.  
ESEGUITA IN LOC. FELISIO (S.P. 7), NEL COMUNE DI SOLAROLO (RA)**



*per per per per per per per*

**Ottobre 2015**

**Committente: IdroGeo Service s.r.l.**

**INDICE**

1 PREMESSE.....	3
2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH.....	3
3 IL METODO M.A.S.W.....	5
4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE.....	6
5 INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	7

**ALLEGATI:**

- *Grafici "common-shot gather", spettro di velocità, e profilo verticale onde S*
- *Report di calcolo*
- *Ubicazione*

## RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W. ESEGUITA IN LOC. FELISIO (S.P. 7), NEL COMUNE DI SOLAROLO (RA)



### 1 PREMESSE

La presente relazione descrive i risultati della prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) eseguita in località Felisio (nelle vicinanze della S.P. n. 7), nel territorio comunale di Solarolo (RA), su incarico della IdroGeo Service s.r.l..

L'indagine M.A.S.W. è stata eseguita con l'obiettivo di individuare le caratteristiche sismo-stratigrafiche dei litotipi presenti (velocità delle onde Sh), e la determinazione del parametro VS30, necessario al fine della classificazione dei suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, secondo la normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008).

### 2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

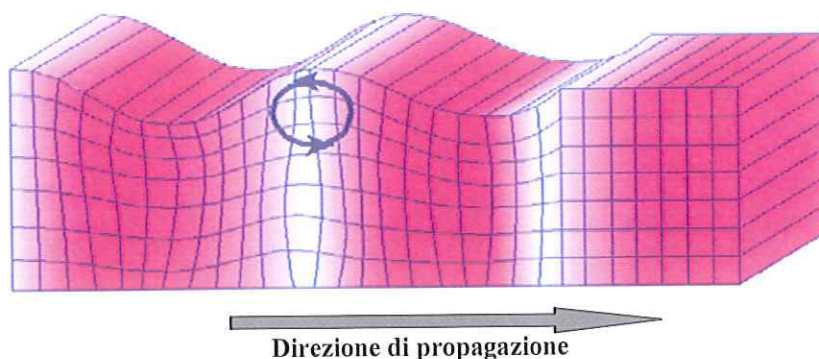
L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ .

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ .

La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).





**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

La determinazione della velocità delle onde di taglio VS tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dal DM 14/01/2008, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle Vs, è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga a una diversa velocità (velocità di fase) che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. (Fig. 2)

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.

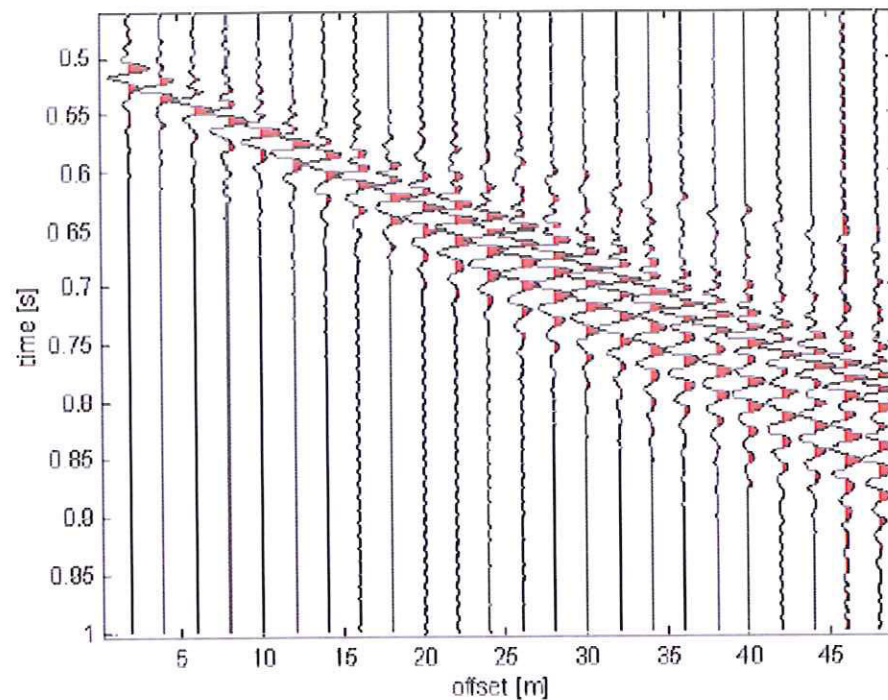


fig. 2 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato. Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

### **3 IL METODO M.A.S.W.**

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio VS.

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;
- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS.

Per ottenere un profilo Vs vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  e  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni.

Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella possibilità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico.

#### **4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE**

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB
- . distorsion: 0,01%
- . sampler:
  - 25 msec (191 punti)
  - 50 msec (383 punti)
  - 100 msec (756 punti)
  - 200 msec (1530 punti)
  - 400 msec (3060 punti)

800 msec (6121 punti)

1000 msec

- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00.

L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spaziati a 5 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2,0 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 2,0 m, 4,0 m e 10,0 m dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione : 1.000 msec.

Il profilo è da considerare orizzontale, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine del decimetro).

## **5 INTERPRETAZIONE DEI DATI**

Le diverse curve di dispersione ottenute risultano simili.

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo.

Il picking della curva di dispersione è stato eseguito riconoscendo il modo fondamentale e i primi due modi superiori utilizzando il grafico spettro di velocità/velocità di fase relativo allo shot con offset di 10,0 m, che è risultato con sufficiente grado di definizione.

Per la ricerca del modello sismico sono stati ipotizzati 4 orizzonti a differente velocità Vsh, e per il processo di inversione ci si è basati sulle caratteristiche geologiche note per l'area di

indagine. I diagrammi e il report relativi al procedimento di elaborazione ed inversione sono allegati alla presente relazione.

Di seguito sono riportate le velocità Vs e gli spessori dei livelli sismici costituenti il modello monodimensionale geofisico ricostruito:

- secondo il MODELLO MEDIO

strato n.	1	2	3	4
VS (m/s):	119	198	242	303
spessori (m):	4,2	3,9	7,6	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato n.	1	2	3	4
VS (m/s):	115	172	256	284
spessori (m):	3,64	2,47	7,78	

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine si ha:

- VS30 del modello medio: 224 m/s
- VS30 del modello migliore: 225 m/s

Fermo restando che la scelta della corretta categoria di suolo spetta al progettista, sulla base dei risultati della presente indagine sismica, la categoria di sottosuolo del sito in esame, a partire da quota zero di p.c., è assimilabile al **tipo C** secondo la tabella 3.2.11 delle NTC 2008, corrispondente a "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina)"

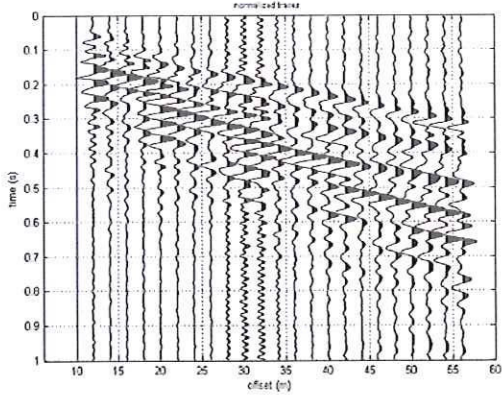
San Miniato 15/10/2015

**Penetratio s.n.c.**

Dott. Geol. G. Lotti

#1: uploading & processing (MASW analysis)

dataset: 10m.SGY  
 sampling: 0.131 ms  
 minimum offset: 10 m  
 geophone spacing: 2 m



resampling: 1, activate, cancel, save, accept

data selection: activate, cancel, save

filtering & spectra: filter, cancel, spectrum, spectrogram

refraction: refraction: 100, upload, save, clear refraction

other tools & setting: 1 00215, time length to visualize (s), done, flip traces, zero padding

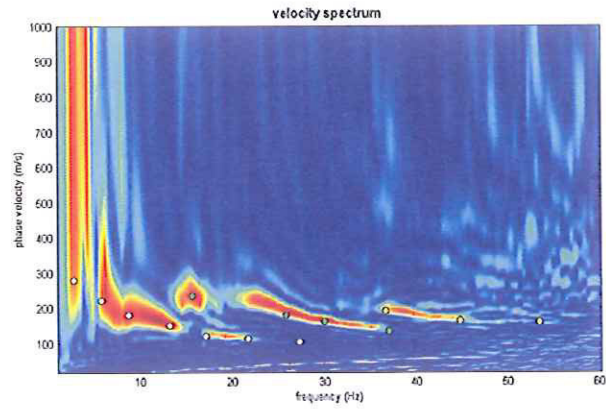
#2: velocity spectrum, modeling & picking (MASW & RMT analysis)

MASW compute velocity spectrum

phase velocity, RA, group velocity

handling the spectra: save, upload, merge

explore spectrum, mode separation



modeling: Va (m/s), Poisson, thickness (m), calculate, upload mod, save model, refresh, report

100	0.4	1
100	0.35	2
200	0.35	5
400	0.35	5
600	0.35	7
800	0.35	10
1200	0.3	2
0	0.2	

general setting: Rayleigh, Reference depth, HV body waves, HV modes (SV velocity)

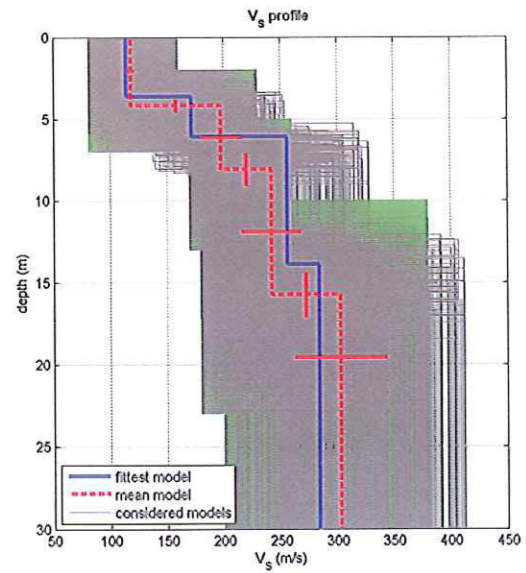
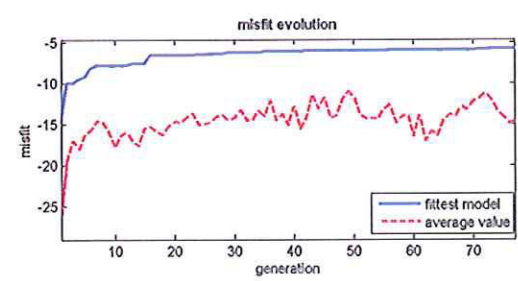
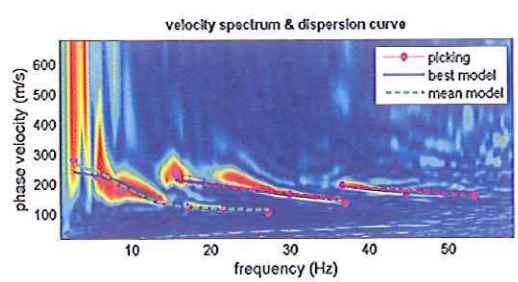
synthetics: ZVF, show DC, synthetics

vib/ice curves: input curve

picking: second higher, to select the start point of the considered mode click the right button, save picking, 10m solarolo.cdp, central picking

inversion: inversion, Joint DC-HV inv.

www.winmasw.com



dataset: 10m.SGY  
 dispersion curve: 10m solarolo.cdp  
 Vs30 (best model): 225 m/s  
 Vs30 (mean model): 224 m/s

www.winmasw.com

## Analyzing phase velocities

```

==o== SECTION#1
dataset: 10m.SGY
minimum offset (m): 10
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 0.131
Dispersion curve: 10m solarolo.cdp
Number of individuals: 60
Number of generations: 61

```

## Rayleigh-wave dispersion analysis

## Analyzing phase Velocities

```

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 81    2  170    3  180    5  200
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 160   7  230    6  260   10  380
Adopted Poisson values: 0.4    0.35    0.35    0.35

```

output folder: C:\studio giuseppe\lavori\sisimiche\output\_disp

## ==o== SECTION#2

## Rayleigh wave analysis

```

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -24.3507
-14.2252
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -20.2545
-10.9636
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -16.2964
-9.56172
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -15.4876
-8.98373
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -14.9441
-8.98373
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -14.7212
-7.85731
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -15.2743
-7.85731
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -16.4075
-7.77877
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -13.0057
-7.42721
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -12.7221
-7.02241
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -13.3502
-7.02241
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -14.4345
-6.39051
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -12.8894
-6.39051
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -14.139
-6.39051
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -14.5006
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -14.2871
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -15.9448
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -14.7573
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -13.7733
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -13.4852
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -13.5969
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -14.1773
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -14.7366
-6.37547
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -13.8933
-6.36224
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -14.715
-6.36224

```

winMASW\_report

Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -13.4459  
-6.36224  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -14.6076  
-6.36224  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -12.5623  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -11.6036  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -12.6329  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -14.152  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits: -13.4399  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits: -13.7709  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits: -13.4702  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits: -14.0573  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits: -13.9562  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits: -12.4991  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits: -13.4282  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits: -14.7156  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits: -14.2581  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits: -11.6362  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits: -13.4781  
-6.3487  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits: -12.5177  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits: -12.9072  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits: -13.1254  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits: -14.0565  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits: -13.8789  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits: -14.8023  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits: -12.385  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits: -14.6203  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits: -14.7124  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 52; average & best misfits: -14.5883  
-6.08965  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 53; average & best misfits: -13.3602  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 54; average & best misfits: -13.6864  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 55; average & best misfits: -16.5568  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 56; average & best misfits: -17.2897  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 57; average & best misfits: -16.2685  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 58; average & best misfits: -16.7067  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 59; average & best misfits: -16.1381  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 60; average & best misfits: -16.6529  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 61; average & best misfits: -15.7381  
-5.96626  
Forcing search space

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -18.1521



winMASW\_report

-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -15.9897  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -14.0008  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -14.2772  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -14.9672  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -12.3048  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -13.0518  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -13.1356  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -15.0528  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -13.7293  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -13.7329  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -14.6888  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -14.3094  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -11.3513  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -10.8321  
-5.96626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -10.6973  
-5.93778

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 117 214 247 308  
Thickness (m): 4.3 3.8 12

Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35  
Vp & Density Optimization

p14 =  
2

p15 =  
14

p16 =  
0.1001 0.2094 0.3186 0.4826 0.6272 0.7943 1.0000  
0.4220 0.6968 0.8105 1.0000 0 0 0  
0.6853 0.8377 1.0000 0 0 0 0  
0 0 0 0 0 0 0

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -6.2226  
-5.7665  
Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -6.0439  
-5.6461  
Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -6.0006  
-5.6227  
Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -5.9541  
-5.6049  
Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -5.8978  
-5.6049  
Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -5.7976  
-5.6047  
Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -5.771 -5.5997  
Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -5.7933  
-5.5997  
Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -5.7559  
-5.5997  
Optimizing Vp & Density - generation: 10; average & best misfits: -5.7521  
-5.598  
Optimizing Vp & Density - generation: 11; average & best misfits: -5.7313  
-5.597

```

winMASW_report
Optimizing Vp & Density - generation: 12; average & best misfits: -5.7485
-5.597
Optimizing Vp & Density - generation: 13; average & best misfits: -5.7443
-5.597
Optimizing Vp & Density - generation: 14; average & best misfits: -5.7375
-5.597
Optimizing Vp & Density - generation: 15; average & best misfits: -5.7104
-5.597
Optimizing Vp & Density - generation: 16; average & best misfits: -5.7276
-5.597
Number of models considered to calculate the average model: 749

```

```

#####
RESULTS
#####

```

```

Dataset: 10m.SGY
Analyzed curve/spectrum: 10m solarolo.cdp
Error using roots (line 28)
Input to ROOTS must not contain NaN or Inf.

```

Error in RayleighOmogeneo (line 30)

Error in fcnDispersione (line 27)

Error in fcnVelocita (line 58)

Error in finalpart\_DOC (line 152)

Error in swigaPRO3>launch\_Callback (line 1181)

Error in gui\_mainfcn (line 96)

Error in swigaPRO3 (line 17)

```

Error in
@(hobject,eventdata)swigaPRO3('launch_Callback',hobject,eventdata,guidata(hobject))

```

```

Error using waitfor
Error while evaluating uicontrol Callback

```

Analyzing phase velocities

```

==o== SECTION#1
dataset: 10m.SGY
minimum offset (m): 10
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 0.131
Dispersion curve: 10m solarolo.cdp
Number of individuals: 60
Number of generations: 61

```

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

```

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 81 2 170 3 180 5 200
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 160 7 230 6 260 10 380
Adopted Poisson values: 0.4 0.35 0.35 0.35

```

output folder: C:\studio giuseppe\lavori\sisliche\output\_disp

==0== SECTION#2

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -26.3569  
-14.2562  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -19.4166  
-9.95681  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -17.0792  
-9.95681  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -18.0457  
-9.48137  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -16.2632  
-9.19448  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -15.7472  
-8.06867  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -14.6262  
-7.80499  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -14.9097  
-7.80499  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -16.0853  
-7.80499  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -17.7971  
-7.79005  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -16.3727  
-7.79005  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -16.0714  
-7.75733  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -17.1817  
-7.53547  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -17.6591  
-7.53547  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -15.576  
-7.53547  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -15.3867  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -15.9759  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -16.3434  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -15.2859  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -14.737  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -14.8075  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -14.2772  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -13.7592  
-6.49961  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -15.0572  
-6.45633  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -14.9941  
-6.45633  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -14.8207  
-6.38677  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -14.0847  
-6.36914  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -13.9595  
-6.36914  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -14.5717  
-6.20059  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -14.2635  
-6.20059  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -13.367  
-6.20059  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits: -14.5142  
-6.20059  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits: -14.4983  
-6.20059  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits: -13.4102  
-6.20059  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits: -14.0522  
-6.08308

winMASW\_report

Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits: -12.1927  
-6.08308  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits: -14.6067  
-6.08308  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits: -13.8194  
-6.08308  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits: -15.1333  
-6.08308  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits: -12.8941  
-6.08308  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits: -15.5929  
-6.08308  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits: -14.3815  
-5.98285  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits: -11.4259  
-5.98285  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits: -13.1566  
-5.98285  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits: -11.8288  
-5.98285  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits: -14.2303  
-5.98285  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits: -14.0694  
-5.98285  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits: -12.0926  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits: -11.0472  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits: -11.7602  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits: -13.9151  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 52; average & best misfits: -14.343  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 53; average & best misfits: -14.3162  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 54; average & best misfits: -14.3705  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 55; average & best misfits: -13.1925  
-5.96251  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 56; average & best misfits: -12.7159  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 57; average & best misfits: -14.8677  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 58; average & best misfits: -14.106  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 59; average & best misfits: -14.012  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 60; average & best misfits: -16.4992  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 61; average & best misfits: -13.9918  
-5.94257  
Forcing search space

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -17.0488  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -15.9102  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -16.3889  
-5.94257  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -14.5946  
-5.94032  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -13.8435  
-5.94032  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -14.0435  
-5.94032  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -12.9416  
-5.94032  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -13.2148  
-5.94032  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -12.2876  
-5.87547  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -11.9004  
-5.83104  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -11.258

winMASW\_report

-5.79942  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -12.0044  
 -5.77645  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -13.313  
 -5.77645  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -14.0739  
 -5.77645  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -14.9257  
 -5.77645  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -14.6575  
 -5.77645

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 115 172 256 284  
 Thickness (m): 3.6 2.5 7.8

Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35  
 Vp & Density Optimization

p14 =

2

p15 =

14

p16 =

0.1001	0.2094	0.3186	0.4826	0.6272	0.7943	1.0000
0.4220	0.6968	0.8105	1.0000	0	0	0
0.6853	0.8377	1.0000	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -6.0487  
 -5.2449  
 Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -5.9003  
 -5.2449  
 Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -5.7089  
 -5.2449  
 Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -5.639 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -5.5751  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -5.5581  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -5.497 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -5.4962  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -5.4591  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 10; average & best misfits: -5.4738  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 11; average & best misfits: -5.5101  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 12; average & best misfits: -5.4945  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 13; average & best misfits: -5.4886  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 14; average & best misfits: -5.4286  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 15; average & best misfits: -5.3829  
 -5.1919  
 Optimizing Vp & Density - generation: 16; average & best misfits: -5.4071  
 -5.1919  
 Number of models considered to calculate the average model: 679

#####  
 RESULTS  
 #####

Dataset: 10m.SGY  
 Analyzed curve/spectrum: 10m solarolo.cdp

=====  
 Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====  
 MEAN MODEL

Vs (m/s): 119 198 242 303  
 Standard deviations (m/s): 3 17 26 41

Thickness (m): 4.2 3.9 7.6  
 Standard deviations (m): 0.4 1.0 1.4

Approximate values for vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 1165 579 703 843  
 Density (gr/cm3): 2.09 1.92 1.97 2.01  
 Vp/Vs ratio: 9.79 2.92 2.90 2.78  
 Poisson: 0.49 0.43 0.43 0.43  
 Shear modulus (MPa): 30 75 115 185  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

Fundamental mode

Mean model  
 f(Hz) VR(m/s)  
 2.72657 269.111  
 5.70301 243.3794  
 8.67946 197.5202  
 13.1441 140.0561  
 17.0835 123.0857  
 21.6357 117.2299  
 27.2385 114.9311

First higher mode

Mean model  
 15.5953 209.6871  
 25.7502 179.5364  
 29.9523 166.96  
 36.9557 146.4876

Second higher mode

Mean model  
 36.6055 189.8894  
 44.747 177.3927  
 53.4137 159.2913

=====  
 SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 115 172 256 284  
 thickness (m): 3.6372 2.4722 7.7846

Approximate values for vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 1767 539 430 519  
 Density (gr/cm3): 2.19 1.90 1.85 1.90  
 Vp/Vs ratio: 15.37 3.13 1.68 1.83  
 Poisson: 0.50 0.44 0.23 0.29  
 Shear modulus (MPa): 29 56 121 153  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model  
 F(Hz) VR(m/s)  
 2.72657 243.8626  
 5.70301 229.9041  
 8.67946 207.854  
 13.1441 140.3789  
 17.0835 121.2447  
 21.6357 114.4934  
 27.2385 111.6709

First higher mode)  
 best model  
 15.5953 215.2782  
 25.7502 177.252  
 29.9523 163.5094  
 36.9557 146.3274

Second higher mode)  
 best model  
 36.6055 190.8714  
 44.747 170.255  
 53.4137 157.8981

Vs5 (mean model): 127 m/s  
 Vs5 (best model): 126 m/s

Vs20 (mean model): 198 m/s  
 Vs20 (best model): 204 m/s

Vs30 (mean model): 224 m/s  
 Vs30 (best model): 225 m/s

==0== SECTION#6

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cu30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

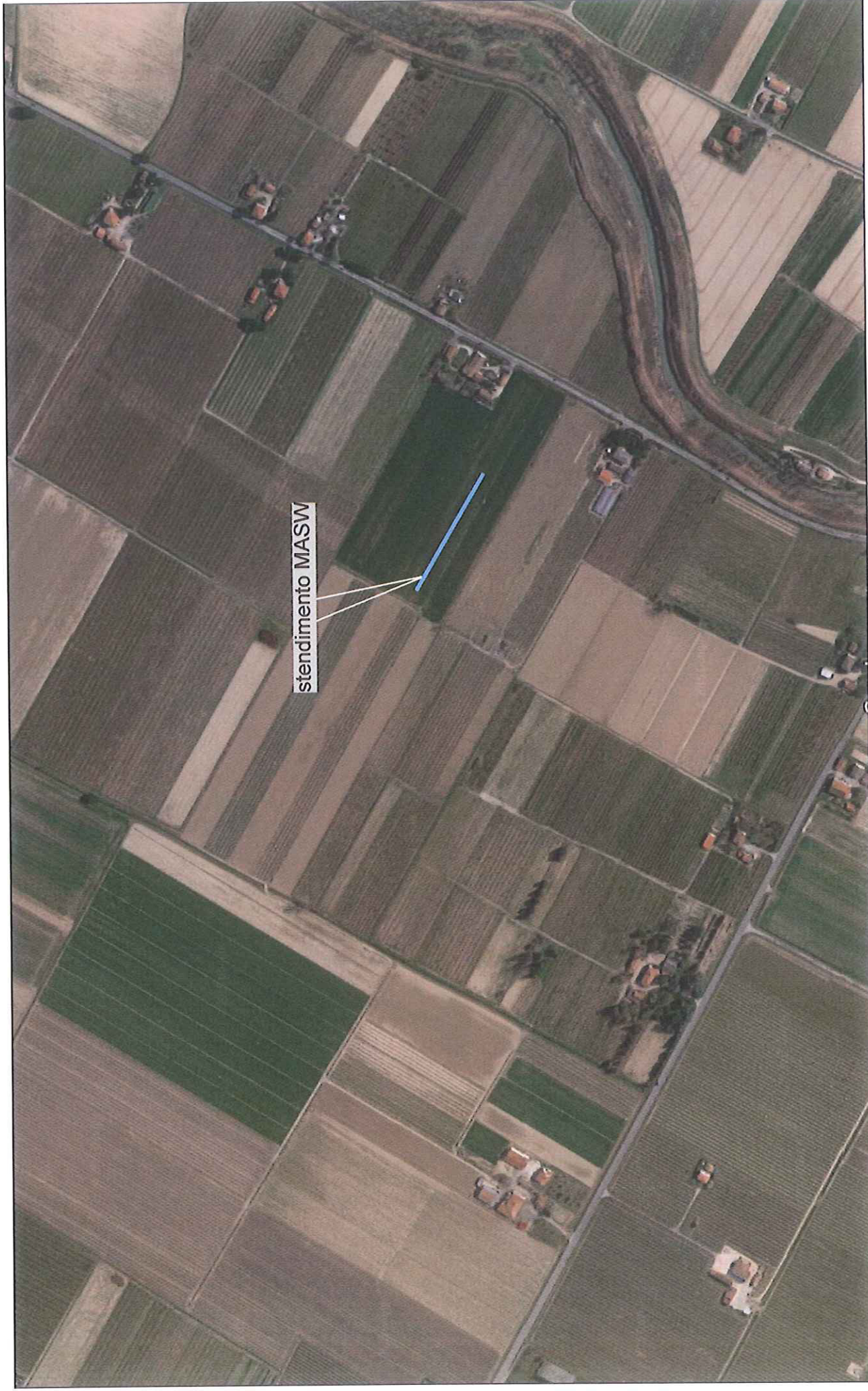
S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Results saved in the folder "c:\studio giuseppe\lavori\sismiche\output\_disp".

=====  
 winMASW  
 Surface Waves & Beyond  
 www.winmasw.com

Number of models used to define the mean model: 679  
 Vs5 for the best model: 126  
 Vs30 for the best model: 225  
 Analyzing phase velocities

Elapsed time is 233.656036 seconds.



ubicazione stendimento MASW (base Google Maps)



**ALLEGATO 5:**

*Approfondimento Idrologico Idraulico (Dott. Ing. Lorenzo Calveti)*

**RELAZIONE IDRAULICA DI SUPPORTO ALLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE PER LA  
REALIZZAZIONE DEL POZZO ESPLORATIVO "ARMONIA 1dir" PER LA RICERCA DI  
IDROCARBURI GASSOSI**

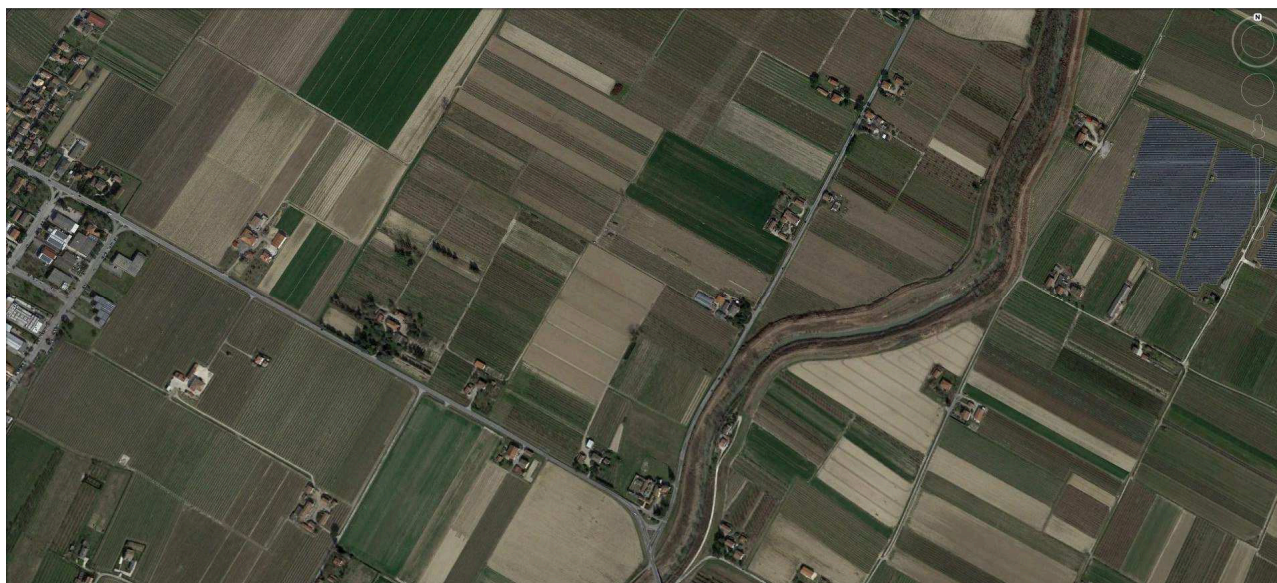
\*\*\*\*\*

## 1 - Premessa

La presente valutazione idraulica si pone come strumento di ausilio per la valutazione degli eventuali adeguamenti necessari alla realizzazione di una postazione sonda per ricerca idrocarburi gassosi (Armonia 1DIR), con annessa viabilità all'interno dell'area, indicata in planimetria catastale con il toponimo "Felisio di sotto", con accesso dalla Strada Provinciale n°7 "San Silvestro – Felisio".

Detto pozzo esplorativo ricade all'interno del Permesso di Ricerca "Ponte dei Grilli".

L'area in esame (fig. 1) sorge nella porzione sud-orientale del territorio comunale di Solarolo (RA), ad una distanza di circa 1,60 Km in direzione est dal centro urbano, in prossimità del confine comunale con Faenza (a est).



**FIGURA 1. Area del Permesso di ricerca su foto aerea – google Earth 2015 -**

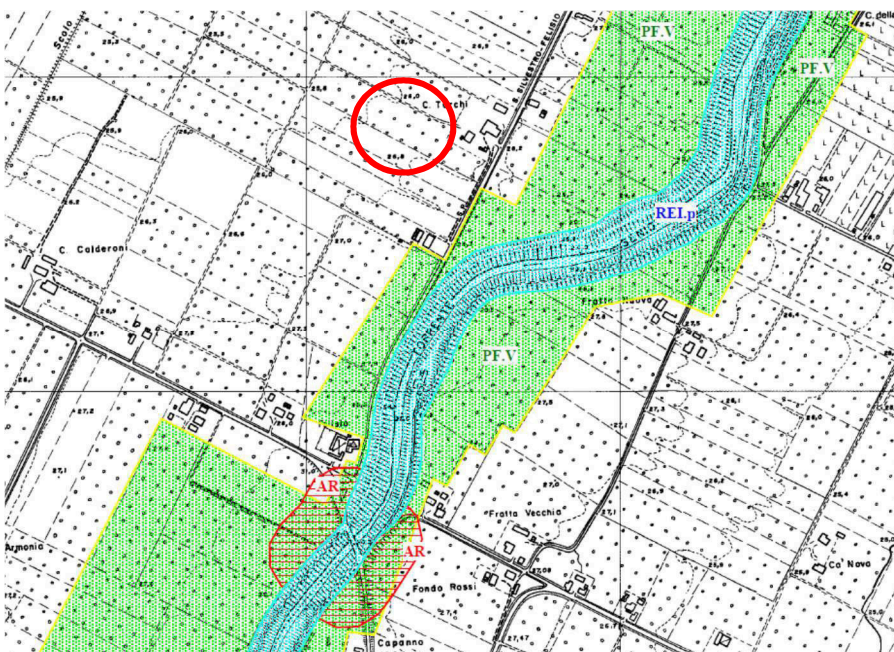
Dal punto di vista fisiografico, l'area appare pianeggiante con pendenze inferiori al 5% e presenta una densità medio-bassa di presenza antropica. Dal punto di vista infrastrutturale, a livello dell'area in esame (Unità di Paesaggio 12-A Centuriazione), si rileva un reticolo denso di strade provinciali, mentre a livello generale, si segnala la presenza dell'Autostrada A14 a sud del comparto in oggetto e il tratto dell'Autostrada 14dir a nord-ovest del comparto in esame (vedi fig. 1a).



### 3 - Piano di Assetto Idrogeologico

Il Piano di Bacino dell' Autorità di bacino del Fiume Reno fornisce un utile quadro conoscitivo sulle condizioni di pericolosità idraulica del territorio del Bacino idrografico del Torrente Senio. Tra gli elaborati cartografici di supporto al piano, ed in particolare all'interno del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico, con riferimento alla Revisione Generale del Piano Stralcio per il bacino del Torrente Senio, sono infatti prodotte le carte del rischio idraulico ed assetto della rete idrografica, di cui di seguito viene riportato un estratto del relativo elaborato grafico.

Si evince come, in prossimità dell'area in studio, il territorio si caratterizzi per la presenza di Aree ad



alta probabilità di inondazione, nonché fasce di pertinenza fluviale.

In particolare, il cantiere di perforazione sorgerà in un'area che lambisce la fascia di pertinenza fluviale del torrente Senio, non ricadendo all'interno di aree ad alta probabilità di inondazione, seppur sia rilevata la presenza di una zona ad alto rischio nelle immediate vicinanze della

zona di ubicazione del sondaggio.

Pur non avendo vincoli ostativi specifici sotto il profilo normativo, si approfondiscono nel seguente paragrafo gli aspetti inerenti il rischio idraulico del cantiere temporaneo.

Si riporta inoltre come la Direttiva Alluvioni 2007/60/CE classifichi la zona di interesse come soggetta a rischio alluvioni poco frequenti.

#### LEGENDA



**RELp**  
**RELmr**  
**RELmt**

Reticolo idrografico corsi d'acqua principali, secondari e minori (art. 15 delle norme di piano)  
(Il simbolo "RELp" indica il reticolo idrografico principale, quello "RELmr" il reticolo idrografico minore e quello "RELmt" il reticolo idrografico minuto)



**AR** Aree ad alta probabilità di inondazione (art.16 delle norme di piano)



**PF.M**  
**PF.V**  
**PF.MLi**  
**PF.VLi**  
**PF.VRT**

Fasce di pertinenza fluviale (art.18 delle norme di piano)  
(Il simbolo "PF.M" indica le fasce di pertinenza fluviale generalmente localizzate in zone montane o pedecollinari, quello "PF.V" indica le fasce di pertinenza fluviale generalmente localizzate in zone di pianura.  
I simboli "PF.M.Li" e "PF.V.Li" indicano le fasce di pertinenza fluviale da considerare anche come aree di localizzazione interventi.  
Il simbolo "PF.V.RT" indica le fasce di pertinenza fluviale di recupero territoriale)



**L3** Aree di localizzazione interventi (art. 17 delle norme di piano)

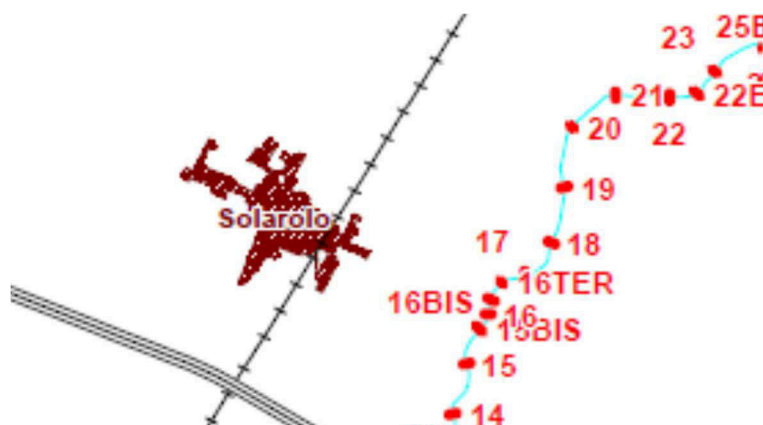
#### 4 – Valutazione della fattibilità dell'intervento

La realizzazione dell'area di cantiere comporta una modifica limitata e locale alla quota di imposta dei terreni, oltre che alla realizzazione di una viabilità carrabile di accesso.

L'area interessata dal cantiere risulta esterna alle perimetrazioni indicanti l'alta probabilità di inondazione, così come indicato dall'Autorità di Bacino del Fiume Reno.

In particolare l'analisi idrologica ed idraulica contenuta nella Relazione al Piano Stralcio ha prodotto la stima delle portate e dei livelli idrici nel Torrente Senio e nelle aree contermini per i tempi di ritorno 20, 30, 100 e 200 anni, con conseguente perimetrazione delle aree ad elevato rischio.

In particolare, per l'area di interesse, si riportano di seguito le stime dei massimi livelli per i vari tempi di ritorno con durata 24h.



**FIGURA 2. Individuazione delle sezioni di verifica**

Sezioni			Tr=20 anni			Tr=30 anni			Tr=50 anni			Tr=200 anni			
Codice	Dist. Progr. [m]	Localizzazione	Livello ammis. [m]	Portata max [m³/s]	Livello idrico [m]	Sup. liv. ammis. [m]	Portata max [m³/s]	Livello idrico [m]	Sup. liv. ammis. [m]	Portata max [m³/s]	Livello idrico [m]	Sup. liv. ammis. [m]	Portata max [m³/s]	Livello idrico [m]	Sup. liv. ammis. [m]
16Ter	32674		34.26	328	31.76	-2.50	350	31.97	-2.29	381	32.27	-1.99	456	32.92	-1.34
17	32444		33.89	328	31.51	-2.38	349	31.72	-2.17	381	32.02	-1.87	456	32.68	-1.21
18	32038		33.45	328	31.12	-2.33	349	31.33	-2.12	381	31.62	-1.83	456	32.27	-1.18

Con riferimento alla condizione di massimo rischio, ovvero di battente con Tr200, la massima altezza idraulica viene valutata come **+32,92 slm**, ovvero -1,34 m rispetto alla quota arginale circostante.

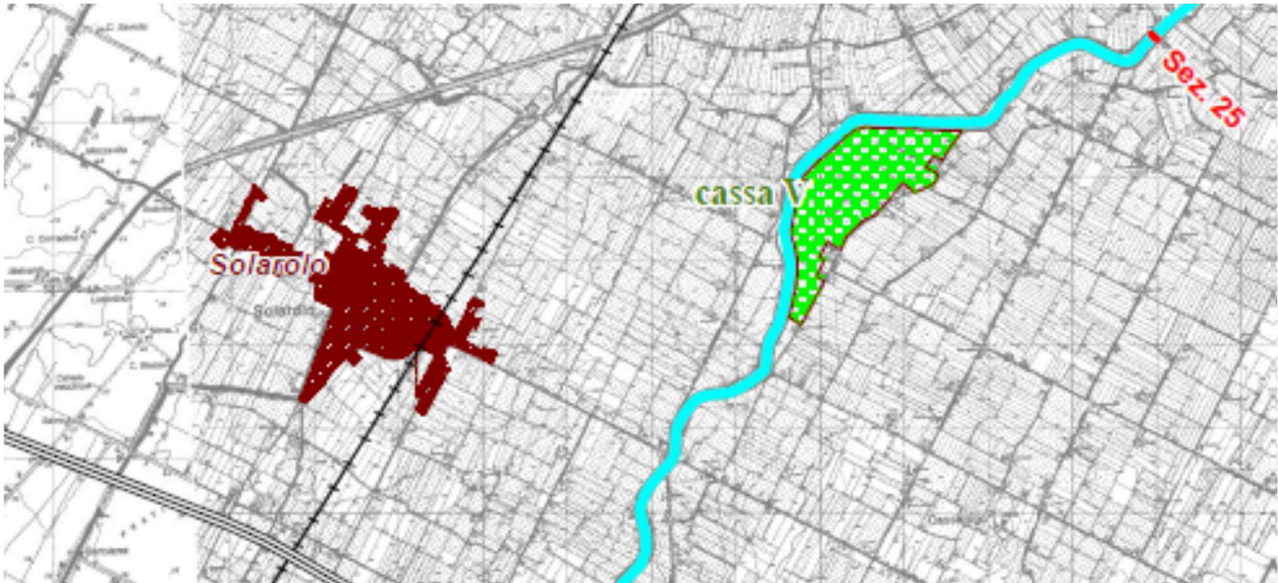
Le norme relative all'assetto della rete idrografica, che pongono limitazioni all'uso del suolo ed allo svolgimento di attività antropiche, regolamentano le seguenti tipologie di aree:

1. il "reticolo idrografico";
2. le aree ad alta probabilità di inondazione;
3. le aree costituenti la "fascia di pertinenza fluviale";
4. le aree necessarie per la realizzazione degli interventi strutturali;

5. il bacino imbrifero di pianura e pedecollinare.

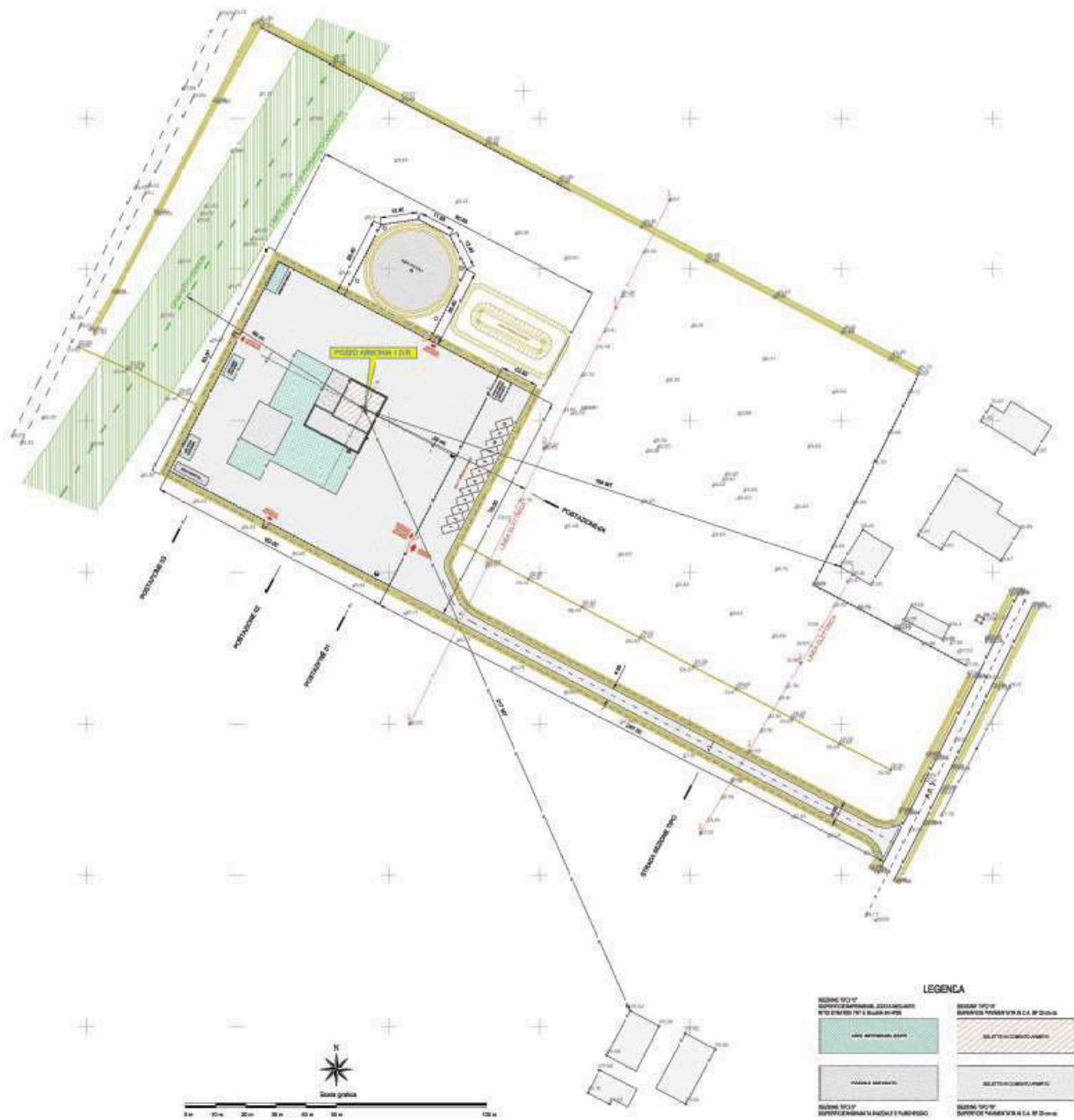
Come appena verificato, vengono escluse le tipologie n°1-2-3.

Dall'analisi del Piano Stralcio, si evince inoltre come l'area di cantiere non vada ad interessare aree necessarie per la realizzazione di interventi strutturali, quali casse d'espansione ed interventi di sistemazione e risezionamento del tronco fluviale (Rif. Tav. C – Relazione Piano Stralcio).



**FIGURA 3. Tav. C – Relazione Piano Stralcio: interventi strutturali. Estratto**

Per quanto attiene infine l'ubicazione all'interno del bacino imbrifero di pianura e pedecollinare, l'intervento in progetto, peraltro limitato ad una attività esplorativa e temporanea, appare rispettare le prescrizioni dell'art.20 delle norme del PSAI, in merito alle limitazioni delle variazioni delle caratteristiche che inducono un incremento degli apporti d'acqua nella rete idrografica, dal momento che non è prevista la realizzazione di superfici impermeabili, salvo situazioni limitate e puntuali e comunque connesse all'attività temporanea del cantiere.



**FIGURA 4. Area d'Intervento**

## 5 - Conclusioni

La realizzazione dell'area temporanea di cantiere appare compatibile con le risultanze degli studi e valutazioni idrauliche effettuate.

Per quanto concerne il rischio idraulico, l'intervento in progetto, risulta in condizioni di sicurezza idraulica anche per eventi con TR200 anni, garantendo il non aggravio delle condizioni delle aree limitrofe, sempre con tempo di ritorno di 200 anni.

In riferimento all'evento duecentennale, ed in generale al verificarsi di situazione meteorologiche rilevanti, il responsabile di cantiere avrà cura di verificare costantemente lo stato di monitoraggio pluviometrico ed idrometrico disponibile in tempo reale mediante il Servizio Idro- Meteo-Clima dell'Arpa Emilia Romagna ([http://www.arpa.emr.it/sim/?idrologia/dati\\_e\\_grafici](http://www.arpa.emr.it/sim/?idrologia/dati_e_grafici)) con riferimento alle stazione pluviometrica ed idrometrica di Castelbolognese, i cui dati sono costantemente disponibili ed aggiornati ogni 15 minuti.

Qualora l'idrometro di riferimento dovesse evidenziare il raggiungimento della soglia di guardia equivalente all'evento duecentennale, o comunque un rischio esondazione, oppure nel caso di emissione di un bollettino di allerta, saranno attivate le procedure operative di evacuazione del personale e chiusura dell'intera area di cantiere, che comunque risulterà, con tutte le sue attrezzature e pertinenze, in condizioni di sicurezza idraulica per eventi con TR200.

Certaldo, Ottobre 2015

Ing. Lorenzo Calvetti