

Committenti:



Comune di  
Reggio Emilia



Comune di  
Casalgrande

Provincia di Reggio Emilia

Livello di progettazione:

## PROGETTO ESECUTIVO STRALCIO 1

Progetto:

### INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC. SAN DONNINO



Progettista:

ing. Luca Piacentini



via Belvedere 6, 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO)

Titolo elaborato:

### PROGETTO STRUTTURALE

### RELAZIONE SPECIALISTICHE SUI RISULTATI SPERIMENTALI

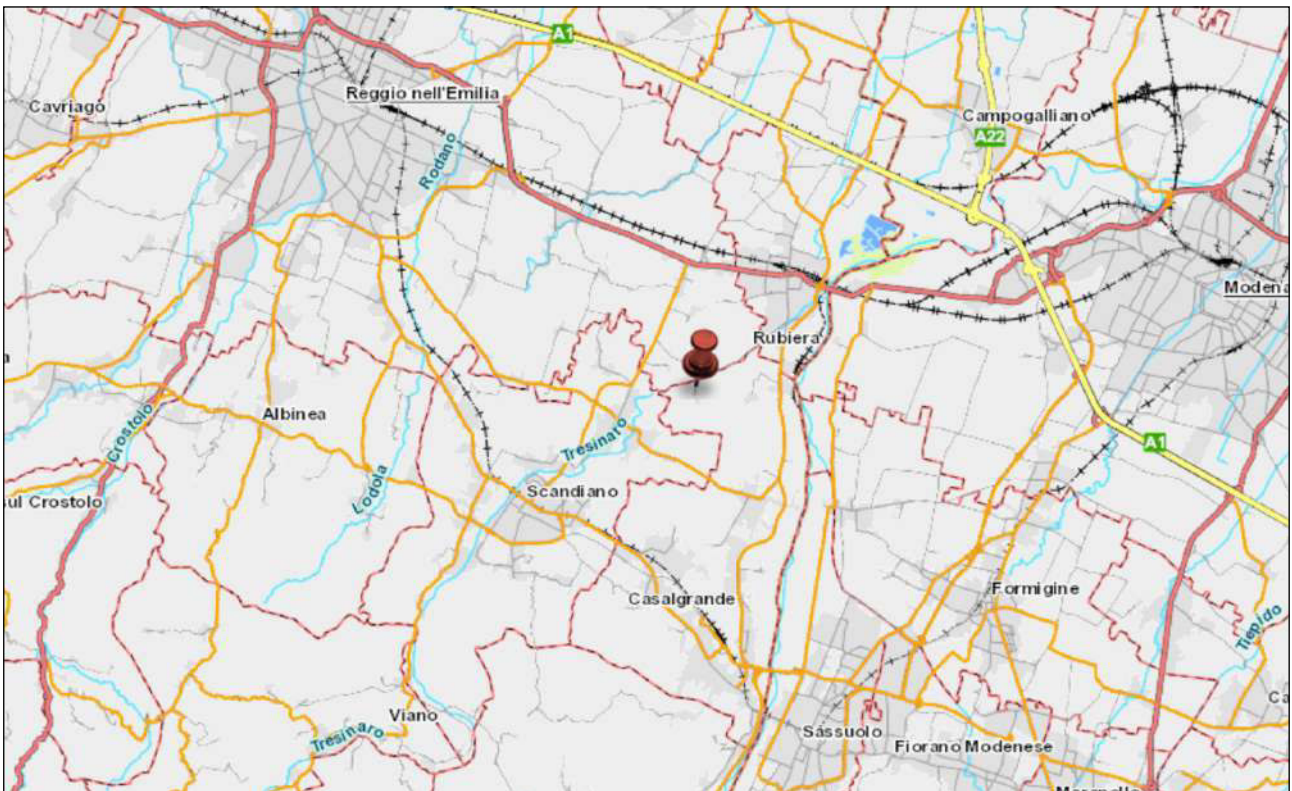
Scala:

-

RIFERIMENTI DOCUMENTO

STR-104		CODICE PROG.	CODICE DOCUMENTO	REV.	
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDDATO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	10/08/2020	EMISSIONE	AFR	LPI	LPI









**COGEO STUDIO GEOLOGICO**

Dott. Cocetti Marcello - Dott. Cocetti Pier Luigi  
Via Giardini Sud n° 127 - 41026 Pavullo nel Frignano (MODENA)  
TEL: 0536/324537 - E-MAIL: cogeo.geologia@gmail.com



# Relazione Geologica e Sismica

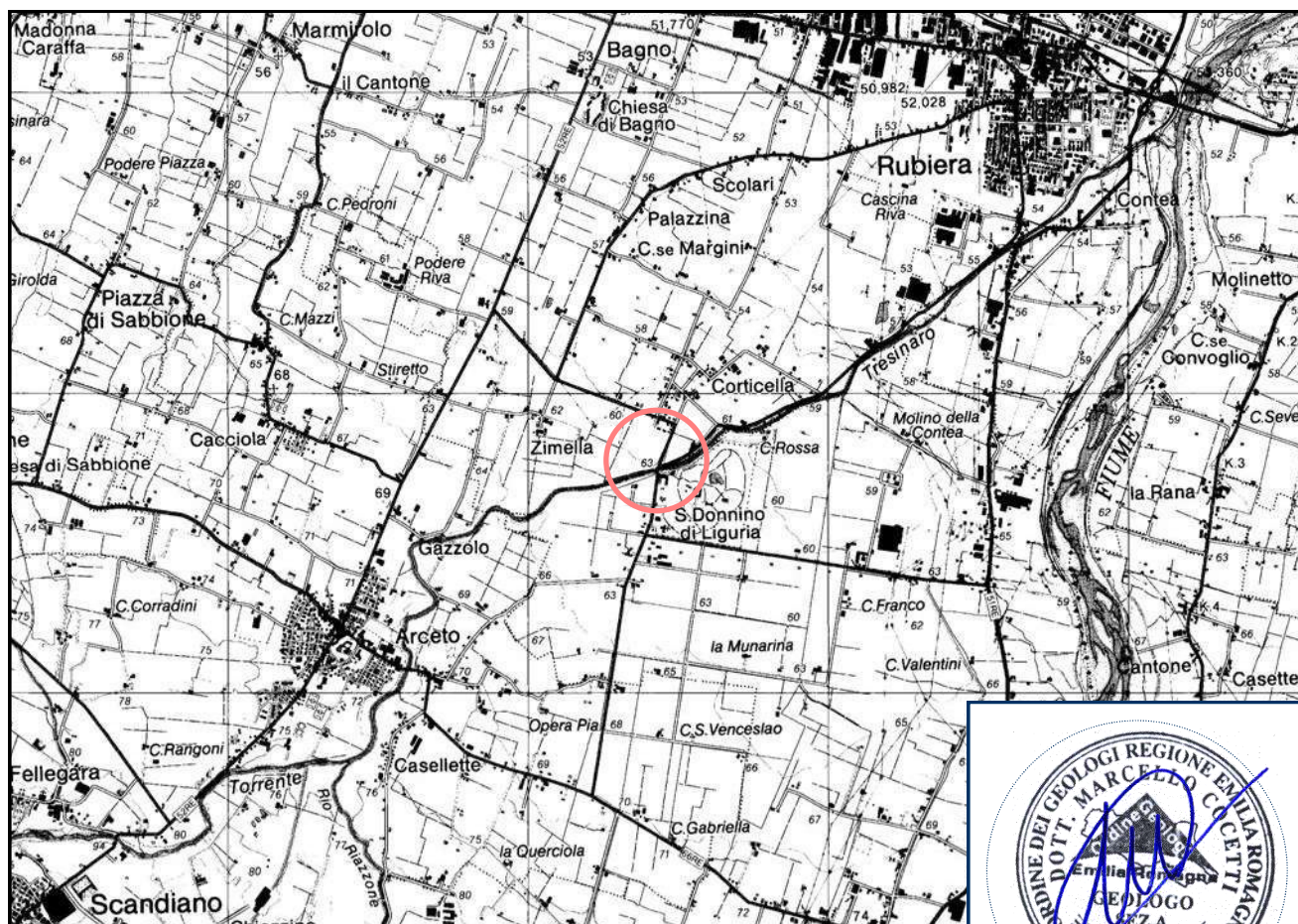
**OGGETTO** : **INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO**

**LOCALITÀ** : **S. DONNINO DI LIGURIA - CORTICELLA**

**COMUNI** : **CASALGRANDE - REGGIO EMILIA**

**COMMITTENTE** : **AMM. COMUNALI DI REGGIO EMILIA E CASALGRANDE**

**PROGETTO** : **PIACENTINI INGEGNERI**



UBICAZIONE DELL'INTERVENTO      SCALA 1:50'000

1 Km

TAV. 201.,

COORD. UTM-ED50

Est: 638852

Nord: 943487







## INDICE

### 1. RELAZIONE GEOLOGICA

- 1.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO
- 1.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LITOLOGIA
- 1.3 IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA
- 1.4 RISCHIO IDRAULICO
- 1.5 VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI
- 1.6 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PARAMETRI NOMINALI
  - 1.6.1 Prova Penetrometrica Statica (CPTU)
  - 1.6.2 Sondaggio a Carotaggio continuo S1
  - 1.6.3 Prospezione Sismica MASW
  - 1.6.4 RegISTRAZIONI sismiche passive HVSR

### 2. RELAZIONE SISMICA

- 2.1 STORIA SISMICA REGIONALE
- 2.2 PERICOLOSITA' SISMICA (Zonazioni)
- 2.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA (DM 17/01/2018)
- 2.4 STUDI E APPROFONDIMENTI SISMICI PREGRESSI
- 2.5 RISPOSTA SISMICA LOCALE
  - 2.5.1 Modello Sismico Stratigrafico
  - 2.5.2 Curve di degradazione dei Materiali
  - 2.5.3 Gli Input Sismici
  - 2.5.4 Amplificazioni per la pianificazione Urbanistica (RER)
  - 2.5.5 Spettri in Accelerazione a fini ingegneristici

### 3. RELAZIONE GEOTECNICA

- 3.1 DATI DI PROGETTO
  - 3.1.1 Opera in Progetto
  - 3.1.2 Parametri Caratteristici
- 3.2 VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE
- 3.3 QUADRO CONCLUSIVO

### 4. CONCLUSIONI

## RIFERIMENTI NORMATIVI

DM 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)  
DGR RER 2193/2015 - (Aggiornamento Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica)  
DM 10/10/2012 (Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo)  
Circ. 02/02/09 n°617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.  
DM 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni)  
DAL RER 112/2007 (Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica)  
O.P.C.M. n° 3274 del 20 Marzo 2003 (Normativa antisismica)  
D.M.LL.PP. 11/03/1988  
D.M. 21/01/1981  
Circ. LL.PP. n° 21597/81  
Circ. R.E.R n° 12831  
R.D. 03/12/23 n° 3267 e succ. mod. e integr.  
T.L. 27/06/1985 n° 312



## RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:25000.  
TAVOLA 201SO

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:10000.  
SEZIONE 201140

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:5000.  
ELEMENTO 201144

ESTRATTO CATASTALE Scala 1:1000. COMUNE DI CASALGRANDE.  
FOGLIO 4; MAPPALE 143, 144.

ESTRATTO CATASTALE Scala 1:1000. COMUNE DI REGGIO EMILIA.  
FOGLIO 279; MAPPALE 378, 379, 380.

CARTA GEOLOGICA PROGETTO CARG  
SEZIONE 201140

CARTA SEZIONI GEOLOGICHE E PROVE GEOGNOSTICHE  
SEZIONE 201140

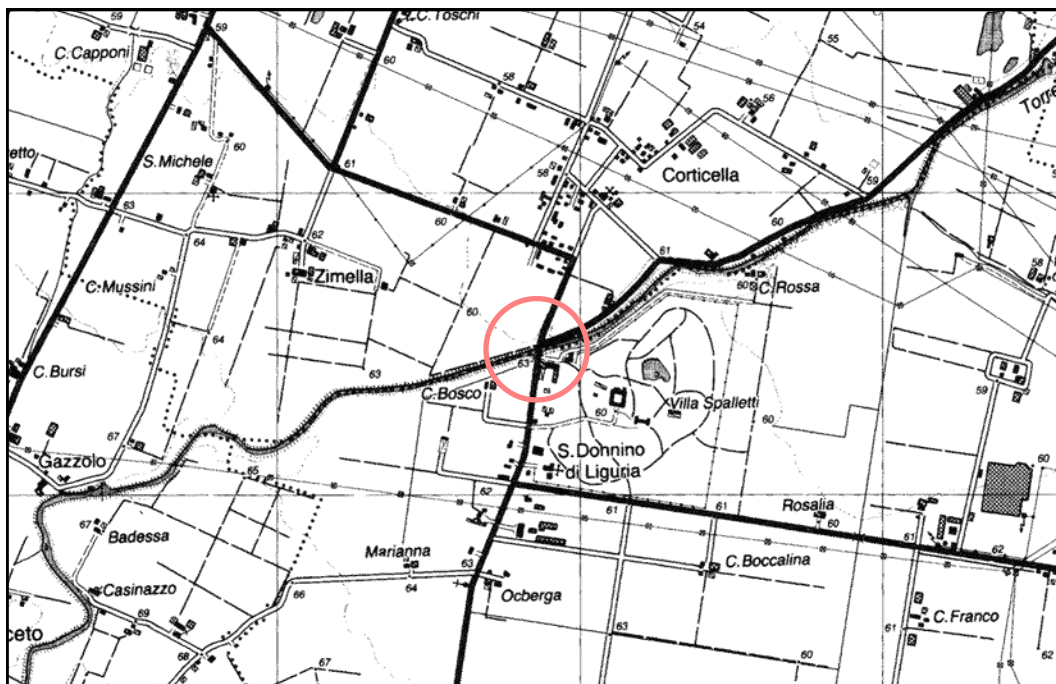
## TAVOLE ED ALLEGATI

- TAV. 1, 2 - Localizzazione del sito su cartografia CTR
  - TAV. 3 - Morfometria del Versante a scala 1:5000
  - TAV. 4 - Carta Geologica CARG a scala 1:10000
  - TAV. 5 - Carta Litologia Superficiale e Prove Geognostiche RER
  - TAV. 6 - Carta Sezioni Geologiche e Prove Geognostiche RER
  - TAV. 7 - Sezione Litologica RER N°104
  - TAV. 8 - Foto Satellitare con Prove Geognostiche
  - TAV. 9 - Planimetria del Progetto con Prove Geognostiche
  - TAV. 10 - Sezione Terreno-Ponte in Progetto
  - TAV. 11 - Stratigrafia Geotecnica
  - TAV. 12 - Modello Sismo-Stratigrafico per Risposta Sismica Locale
- ALLEGATO A - Sondaggio a Carotaggio Continuo
- ALLEGATO B - Elaborazione Prova Penetrometrica Statica CPTU
- ALLEGATO C - Prospezione Sismica MASW
- ALLEGATO D - Registrosioni Sismiche HVSR
- ALLEGATO E - Tabulati Calcoli di Liquefazione



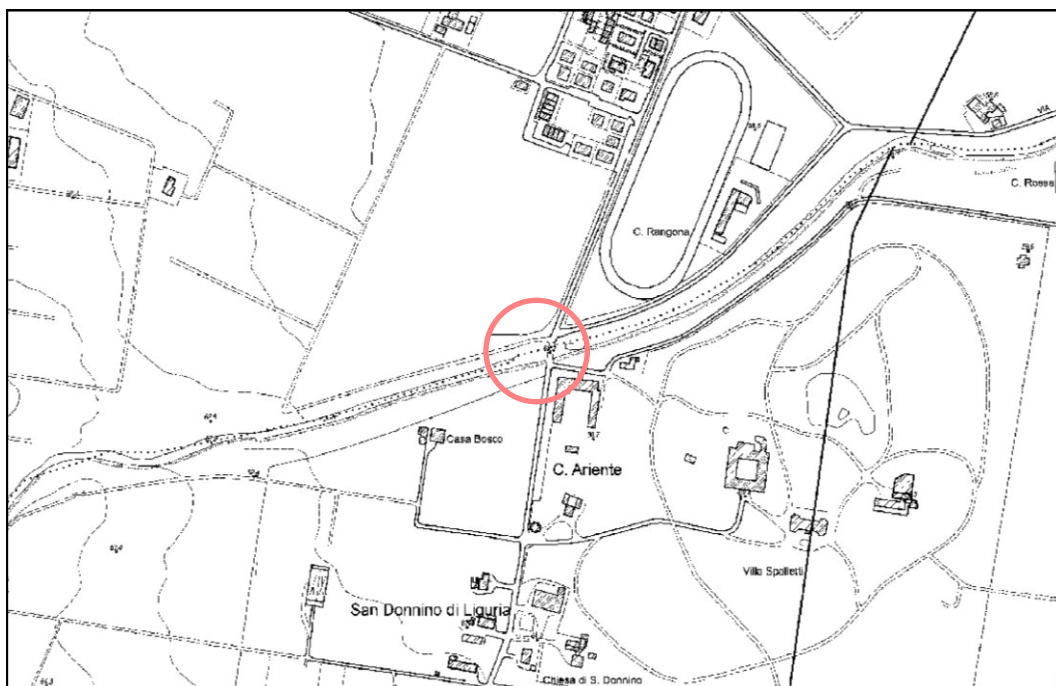
## CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:25'000  
TAVOLA 201SO  
TAV. 1



## CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:10'000  
SEZIONE 201140  
TAV. 2



 UBICAZIONE DEL SITO



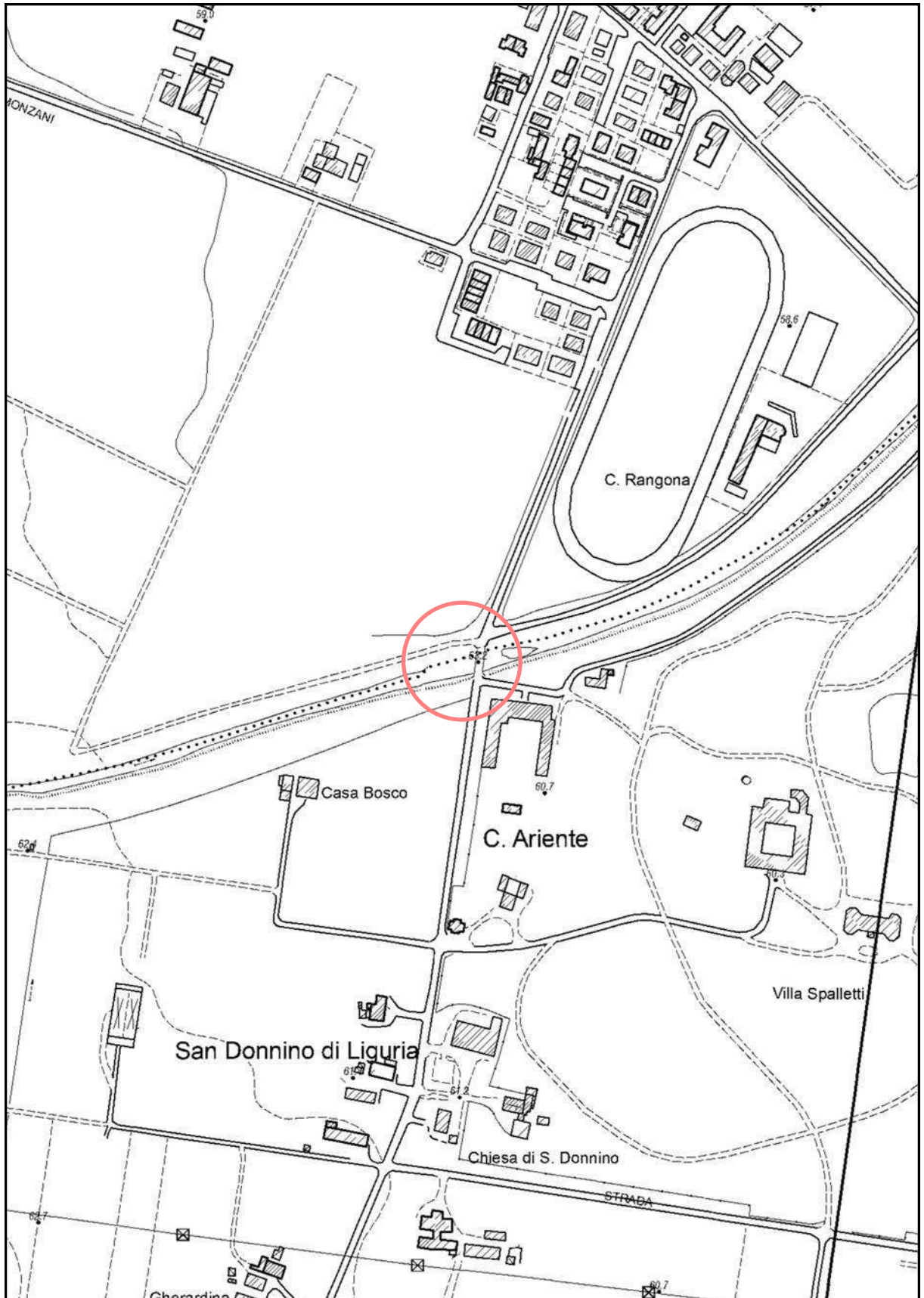


## CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:5'000

ELEMENTO

TAV. 3

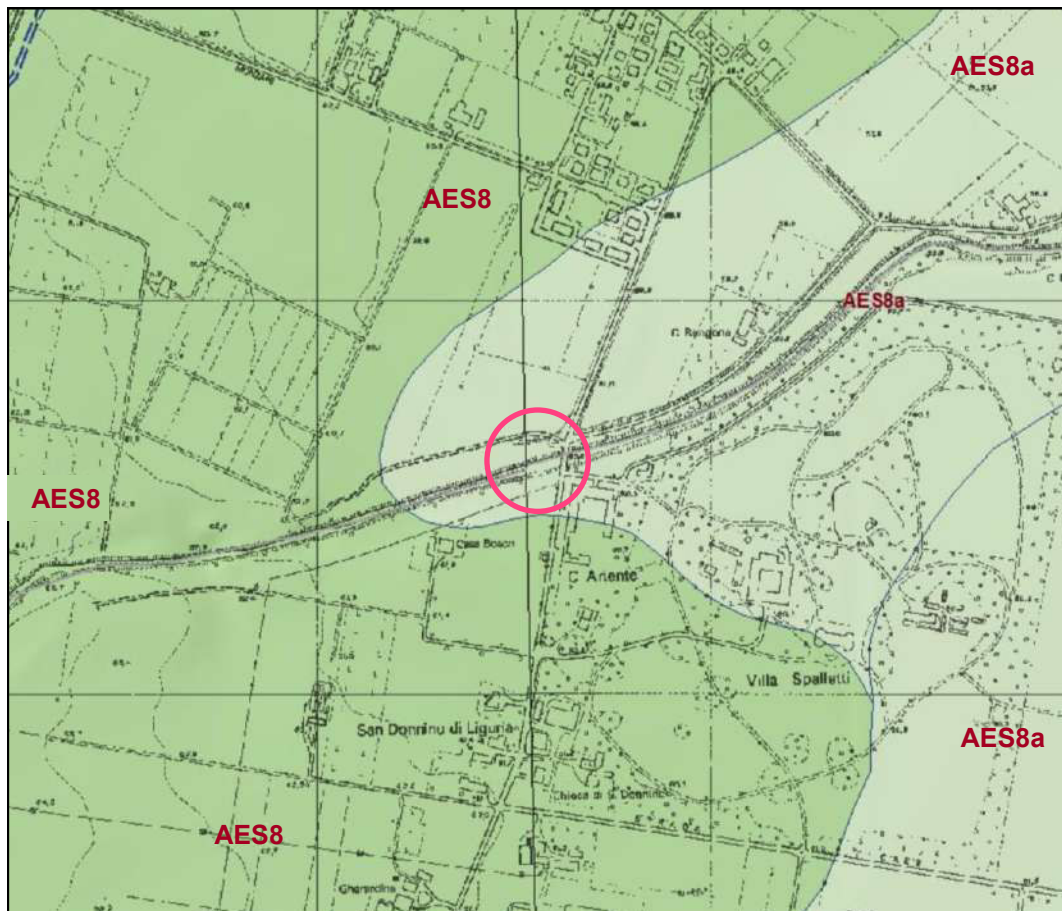




## CARTA GEOLOGICA CARG

Scala 1:10'000

TAV. 4



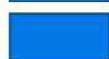
### Depositi quaternari continentali



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento



b1a - Deposito alluvionale in evoluzione fissato da vegetazione

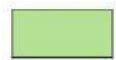


b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

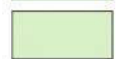


h - Deposito antropico

### Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano



AES8 - Subsistema di Ravenna



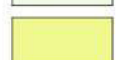
AES8a - Unità di Modena



AES7b - Unità di Vignola



AES7a - Unità di Niviano



AEI - Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore



CMZ - Sistema di Costamezzana



FAA - Argille Azzurre



FAA7 - Argille Azzurre - membro di Monte Arnone

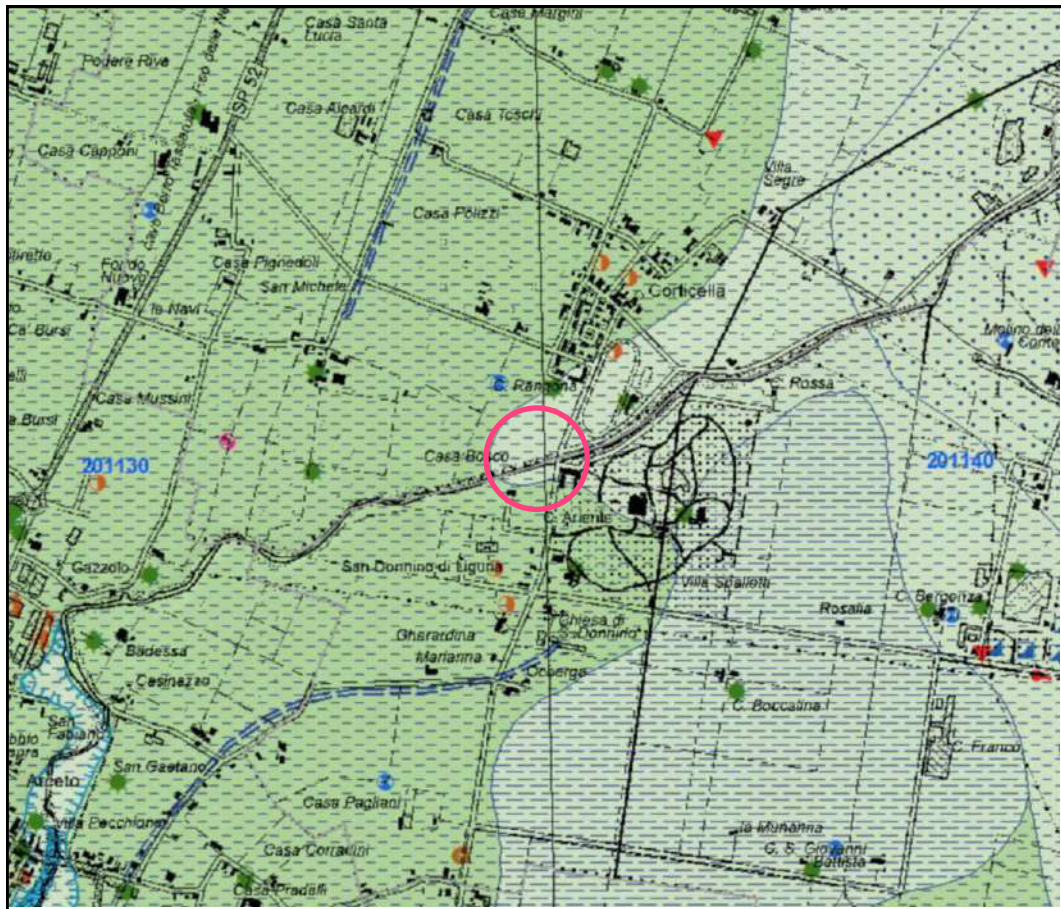




## CARTA LITOLOGIA SUPERFICIALE E PROVE GEOGNOSTICHE RER

Scala 1:20'000

TAV. 5



### Prove puntuali

- ▼ misure di microtremore a stazione singola (HVSr)
- ☼ pozzo per acqua
- ⊗ prova CPT con punta elettrica
- ⊕ prova CPT con punta elettrica con piezocono
- ⊙ prova CPT con punta meccanica
- ▣ prova dinamica con penetrometro leggero (DPL)

### Linee geomorf./antrop. (10K)

- ▬ orlo di terrazzo fluviale
- ▬▬▬ traccia di alveo fluviale abbandonato

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

- ▬▬▬ Argilla - Piana alluvionale
- ▬▬▬ Limo - Piana alluvionale
- ▬▬▬ Limo Sabbioso - Piana alluvionale

### Coperture quaternarie (10K)

- ▬▬▬ AES8 - Subsistema di Ravenna
- ▬▬▬ AES8a - Unità di Modena

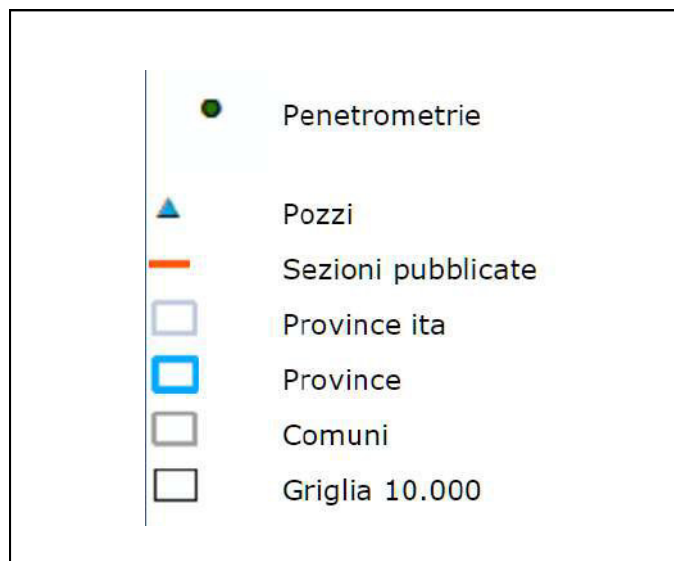
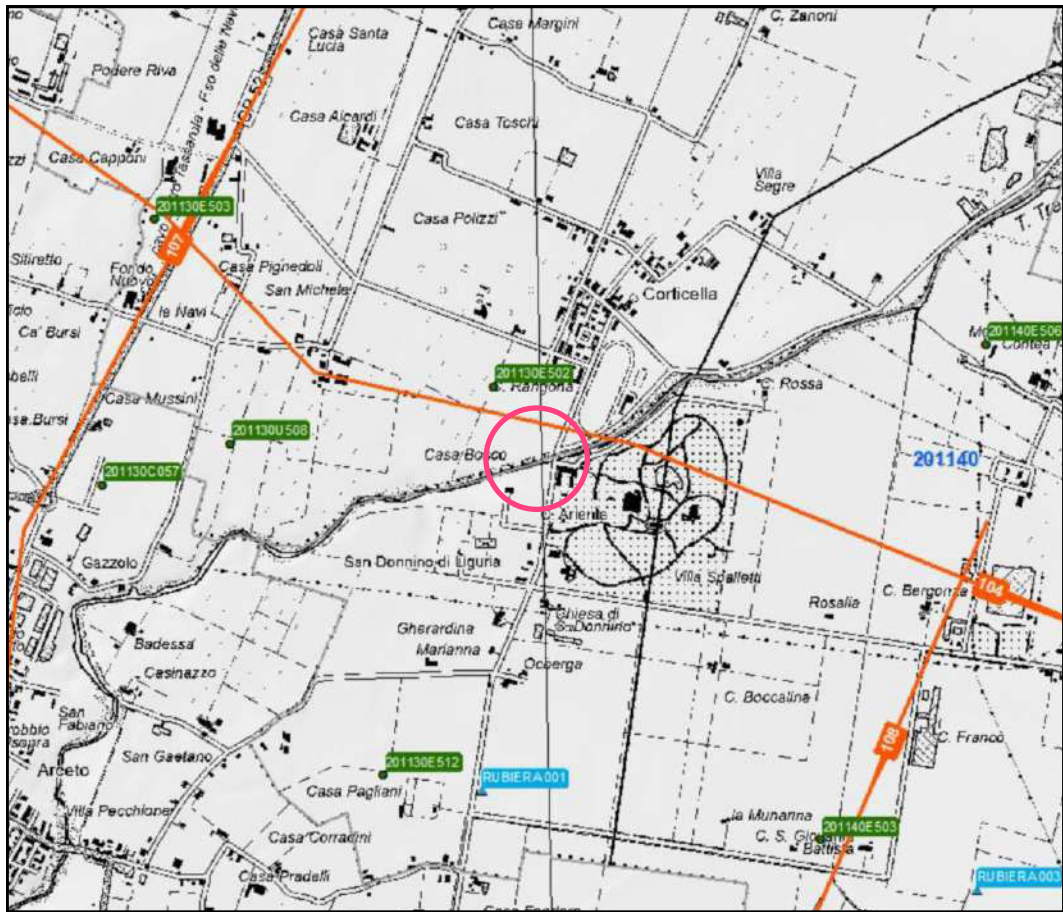




## CARTA SEZIONI GEOLOGICHE E PROVE GEONOSTICHE RER

Scala 1:20'000

TAV. 6

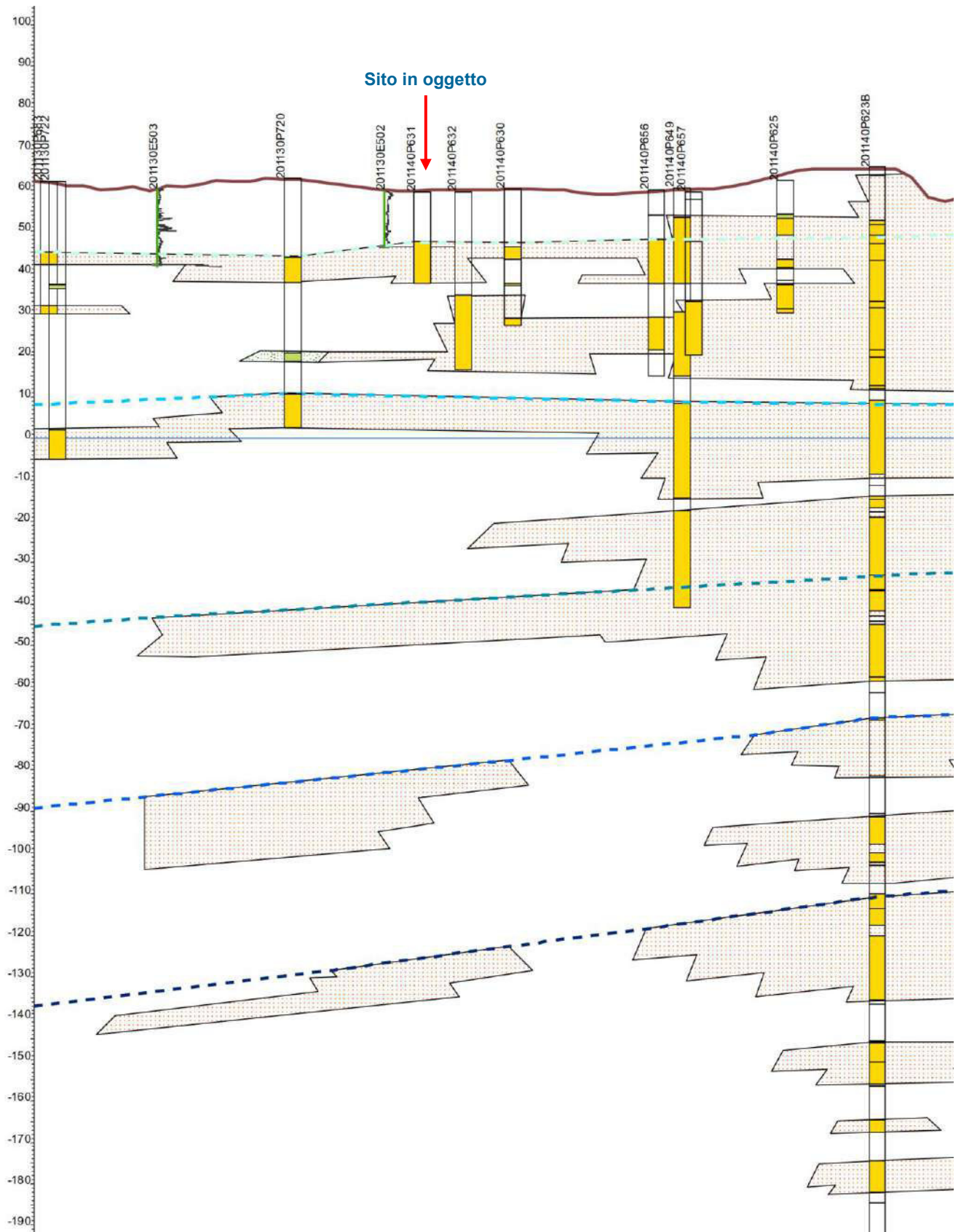




## SEZIONE LITOLOGICA RER N°104

Scala 1:10'000

TAV. 7



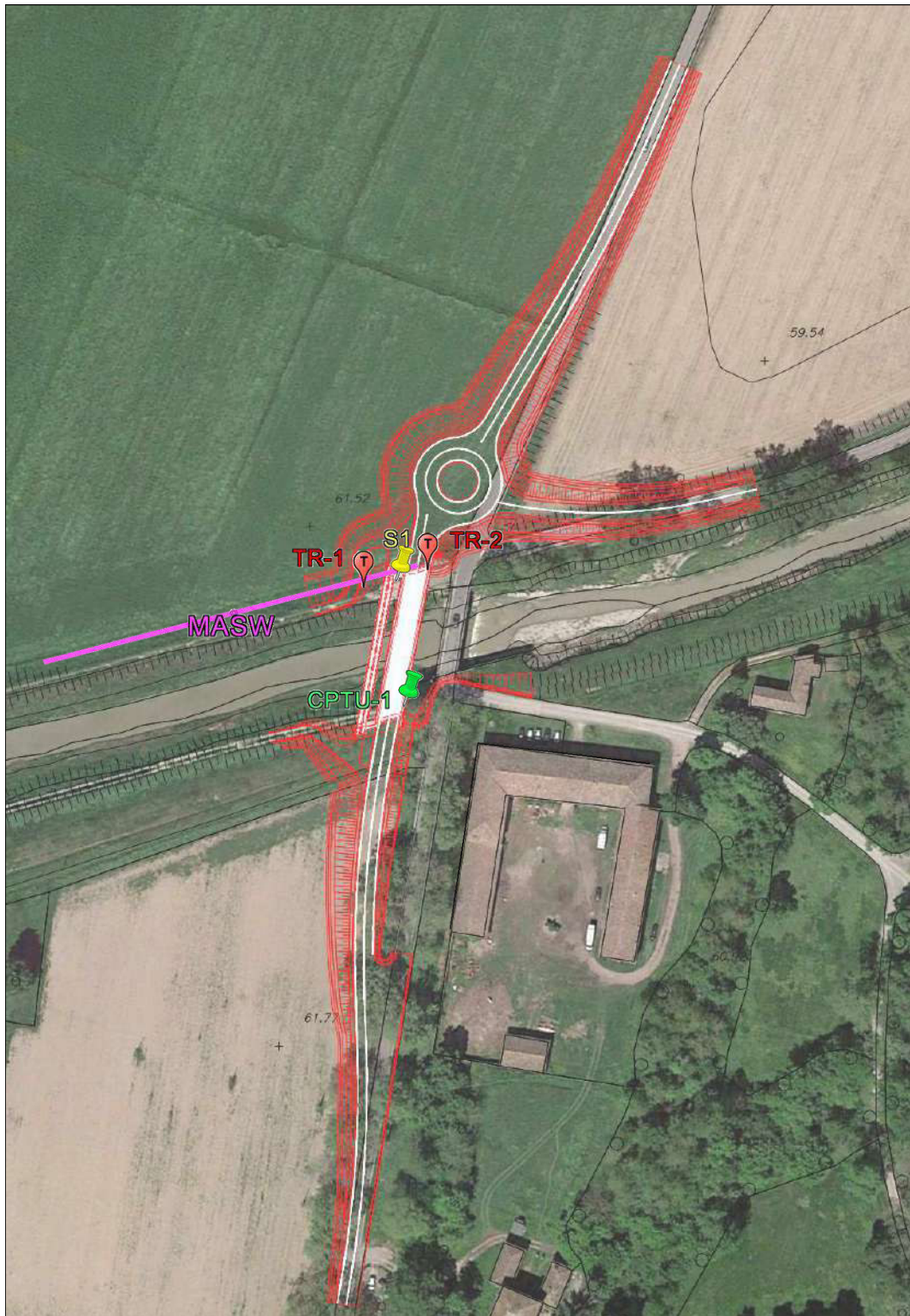




## FOTO SATELLITARE CON PROVE GEOGNOSTICHE

Scala 1:12000

TAV. 8



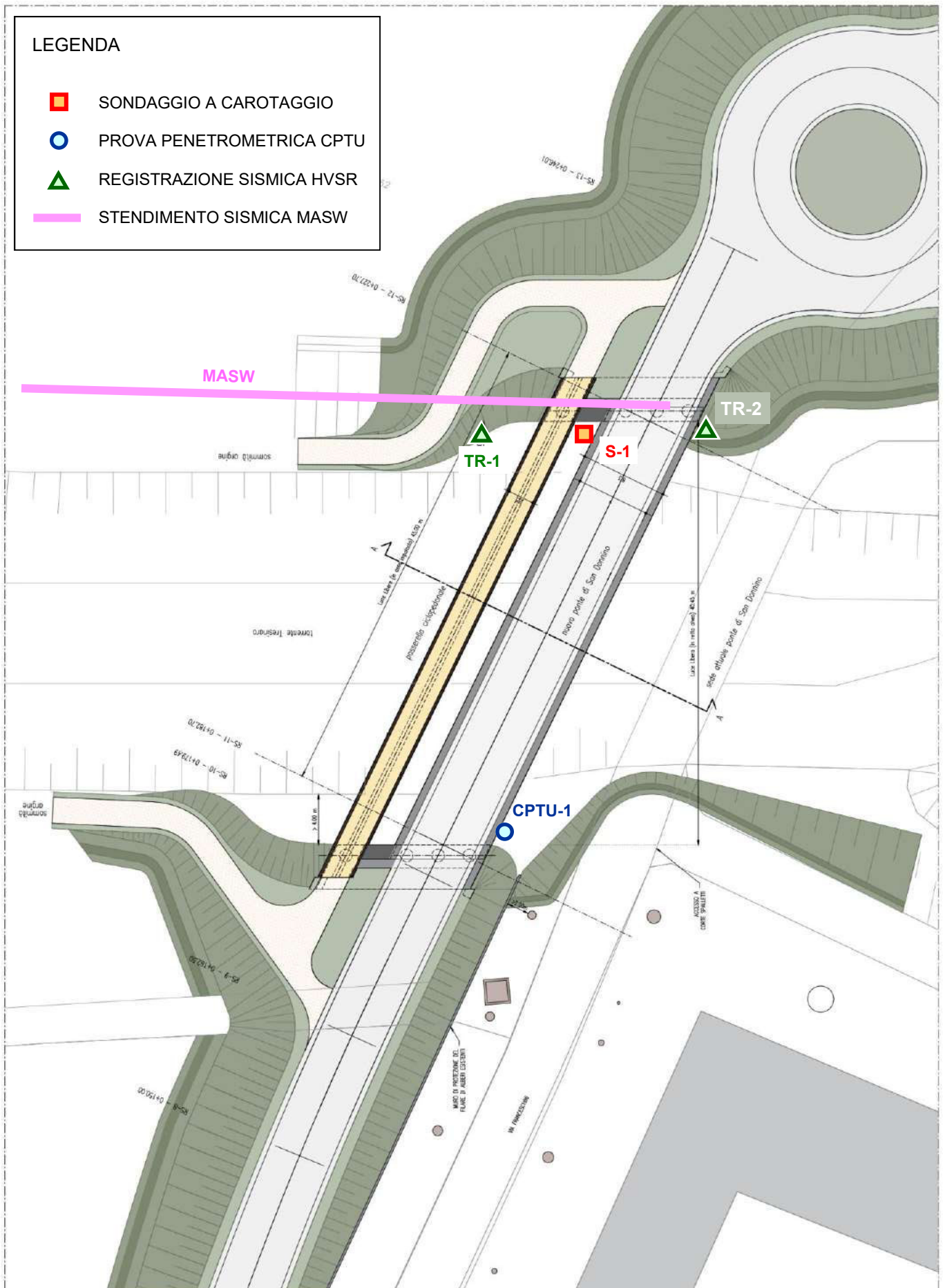




## PIANTA DEL PROGETTO CON PROVE GEOGNOSTICHE

Scala 1:500

TAV. 9

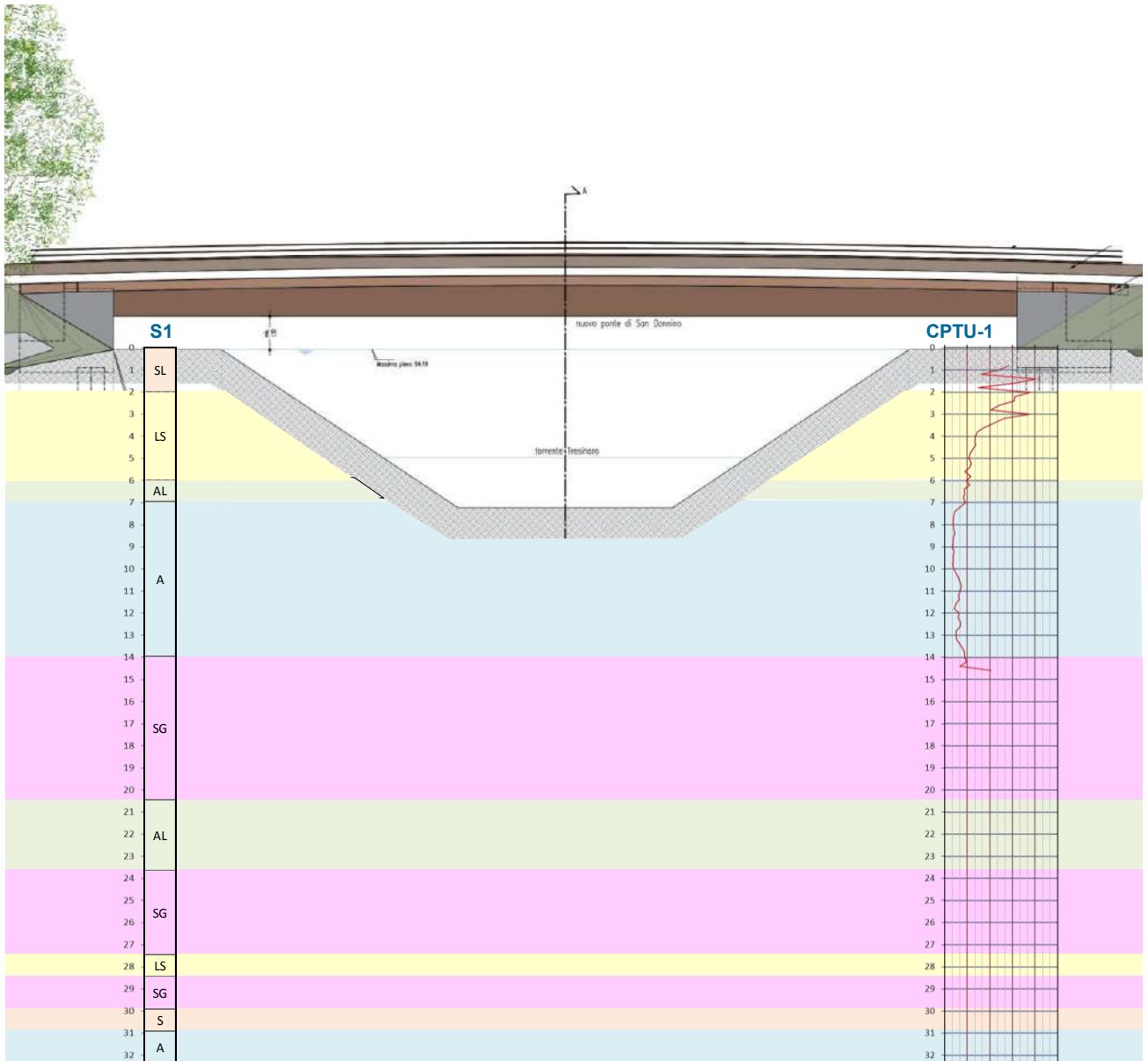




## SEZIONE TERRENO—PONTE IN PROGETTO

Scala 1:300

TAV. 10



### LEGENDA

G	Terreni prevalentemente Ghiaiosi
SG	Sabbie con Ghiaie
S	Litologie prevalentemente Sabbiose
SL	Sabbie Limose
LS	Limi Sabbiosi
L	Litologie prevalentemente Limose
LA	Limi Argillosi
AL	Argille Limose
A	Litologie prevalentemente Argillose



## STRATIGRAFIA GEOTECNICA

Fuori Scala

TAV. 11

Profondità		S	Descrizione Litologica	Laboratorio <sup>(1)</sup>				Nspt <sup>(1)</sup>		CPTU <sup>(2)</sup>				
da [m]	a [m]			Camp	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	Cu [KPa]	$\phi'$ [°]	C' [KPa]	Num Colpi	$\phi'$ [°]	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	Cu [KPa]	$\phi'$ [°]	Ed [KPa]
0.0	2.0	SL	Terreno di Riporto. Sabbie e sabbie limose							20		31		23500
2.0	6.0	LS	Limi e Limi sabbiosi	C1 [2÷2.5] C2 [4.2÷4.7]	53 94	28.3	4.6			20	100	26	7200	
6.0	7.0	AL	Argille Limose							20	100	22	7900	
7.0	14.0	A	Argille e Argille limose	C3 [7.5÷8.0] C4 [10.5÷11]		32.2	6.5			19	70		6000	
14.0	20.5	SG	Ghiaie in matriche limo sabbiosa					>50 [14.6] 44 [17.4] 55 [19.5]	45 43 40	20 <sup>(3)</sup>				
20.5	23.7	AL	Argille limose	C5 [22÷22.7]	120	26.8	7.4			19 <sup>(2)</sup>				
23.7	27.5	SG	Ghiaie in abbondante matrice limo sabbiosa					41 [24.0]	40	20 <sup>(3)</sup>				
27.5	28.5	LS		C6	19	32.7	3.3			19 <sup>(3)</sup>				
28.5	30.0	SG	Sabbie con Ghiaie							20 <sup>(3)</sup>				
30.0	31.0	S	Sabbie					23	34	19 <sup>(3)</sup>				
31.0	32.5	A								19 <sup>(3)</sup>				

NOTA: (1) Parametri nominali; (2) Parametri caratteristici; (3) Parametri presunti



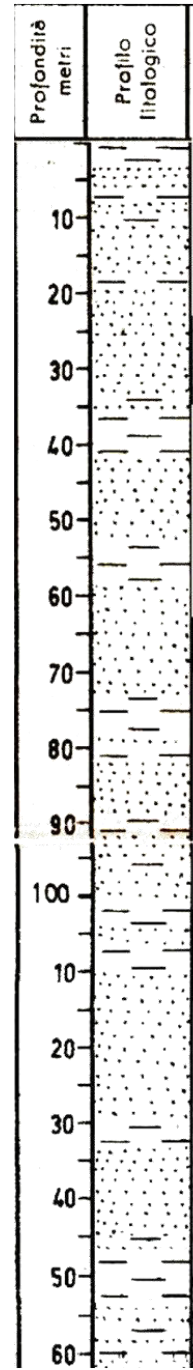
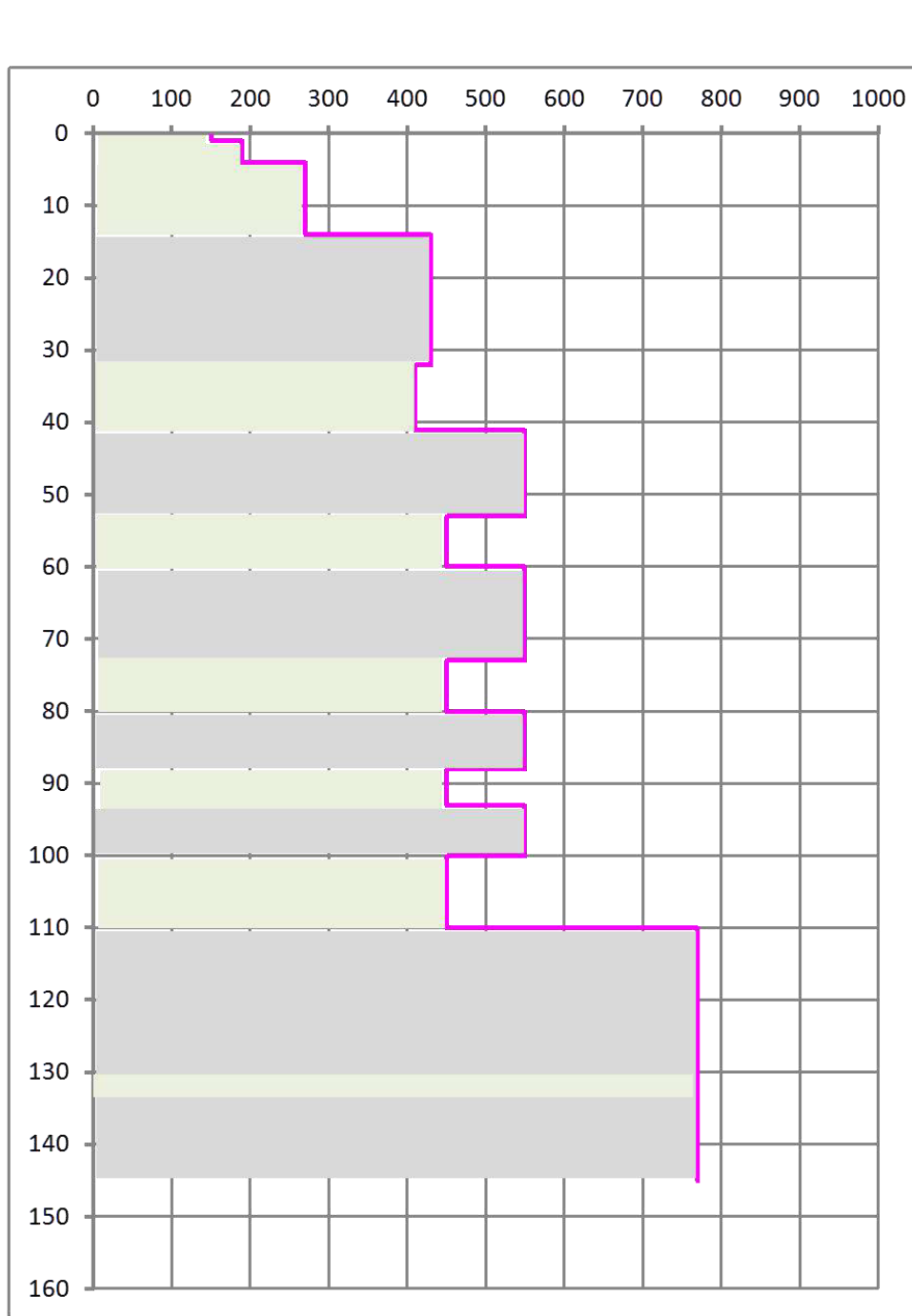


## MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO PER RSL

Scala 1:1000

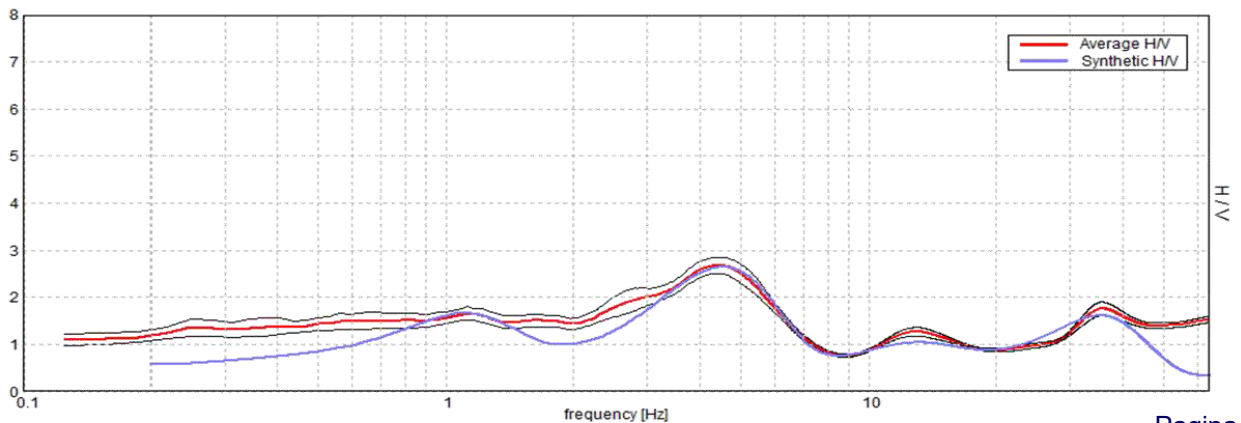
TAV. 12

POZZO AGIP (Rubiera1)



HVSR-02

Max. H/V at  $4.38 \pm 0.21$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





## 1.RELAZIONE GEOLOGICA

### 1.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La pianura fra *Reggio* e *Rubiera* è attraversata da una fitta rete drenante orientata in prevalenza da SO a NE.

I drenaggi minori sono costituiti da canali e scoli che sottostanno gerarchicamente, procedendo da Ovest ad Est, rispettivamente al *T. Crostolo*, al *R. Acqua Chiara*, al *T. Rodano* ed al *T. Tresinaro*.

Il *Torrente Crostolo* è l'unico che affluisca direttamente in Po, confluendo in esso tutti gli altri torrenti ad eccezione del *T. Tresinaro* che fu deviato alla periferia Est di *Rubiera* nel *F. Secchia*.

Al limite Nord della provincia scorre il *Fiume Po*, che presso *Boretto* devia bruscamente verso N-NE, abbandonando l'asse mediano della Pianura Padana.

Si possono distinguere quattro unità geomorfologiche principali, disposte in senso Nord/Est-Sud/Ovest, aventi ciascuna per se stessa caratteri omogenei:

- La prima unità corrisponde ai "Terrazzi Pleistocenici" pedepenninici; essa è delimitata da nette scarpate ed è compresa tra le quote di 150/100 m s.l.m.

- La seconda unità compresa tra le quote di 100 e 40 m s.l.m. corrisponde all'alta pianura e morfologicamente è costituita dalle conoidi dei corsi d'acqua appenninici (località in oggetto).

- La terza unità, localizzabile a Nord della *Via Emilia*, coincide con la media pianura e si spinge sino ad una ideale linea congiungente i centri di *Boretto-Guastalla-Reggiolo*: è percorsa da lunghi dossi sinuosi che si elevano rispetto alle aree circostanti.

- La quarta unità, altimetricamente compresa fra le quote di 20 e 7 m. s.l.m. si trova a Nord della fascia sopra descritta e coincide con la bassa pianura dominata da antiche valli, ora bonificate.

La pianura appare omogenea soltanto ad una analisi superficiale, in verità essa si compone di forme differenziate prodotte da processi geologici differenti. Molteplici sono le forme rilevabili dalla foto interpretazione e dall'analisi delle carte topografiche: terrazzi, conoidi, fontanili, scarpate, dossi, depressioni vallive, ecc.



## 1.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LITOLOGIA

Nell'area affiorano i terreni quaternari continentali che appartengono alla successione neogenico–quaternaria del margine appenninico–padano e sono rappresentati da depositi fluviali, di conoide e di piana alluvionale. I sedimenti continentali costituiscono la parte sommitale del riempimento quaternario della avanfossa padana e costituiscono un ciclo sedimentario (Qc in RICCI LUCCHI *et al.*, 1982) che si sovrappone sul precedente ciclo Quaternario marino (Qm) che affiora estesamente nelle aree marginali del bacino.

Si fa qui riferimento alla documentazione prodotta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Le unità affioranti sono state distinte facendo riferimento alla “Carta Geologica progetto CARG” che, per i depositi del margine appenninico e dell'antistante pianura, utilizza una suddivisione geologica delle unità basata sulla stratigrafia sequenziale.

### *ALLOGRUPPO EMILIANO-ROMAGNOLO*

L'unità comprende tutti i depositi alluvionali quaternari presenti nell'area e corrisponde al ciclo Qc di Ricci Lucchi *et al.* (1982). Il limite inferiore, affiorante nelle aree pedecollinari è discordante sui depositi costieri delle sabbie gialle ed è individuabile in alcuni pozzi profondi, oltre che nelle sezioni sismiche AGIP (Regione Emilia – Romagna & ENI – AGIP, 1998).

### *ALLOFORMAZIONE EMILIANO-ROMAGNOLA SUPERIORE (AES)*

L'unità è stata suddivisa in cinque allomembri sovrapposti, in ognuno la parte inferiore è a costituzione prevalentemente fine, mentre la parte superiore è prevalentemente grossolana.

Costituita da sedimenti grossolani e fini nella alta pianura e prevalentemente fini nella media pianura. I due cicli superiori (allomembri) sono affioranti, mentre i tre inferiori sono solo sepolti. Limite inferiore inconforme nelle porzioni affioranti e nell'alta pianura, dubitativamente inconforme nelle porzioni sepolte della media pianura. *Pleistocene medio? - Olocene.*

Scendendo nel dettaglio, l'area oggetto dell'indagine ricade sull'Alloformazione Emiliano–Romagnola (AES8).

### *Allomembro di Ravenna (AES8)*

Elemento sommitale dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola, comprende in prevalenza limi, limi sabbiosi e limi argillosi. Limite inferiore inconforme su AES7 (affiorante nelle cave e visibile in sondaggio) nell'alta pianura, dubitativamente inconforme nel resto della pianura. Limite superiore coincidente con il piano topografico. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. L'unità è coincidente in gran parte con l'ultimo interglaciale. Le aree soggette a sedimentazione solida an-





che dopo la fine dell'età romana sono state differenziate. Potenza da 0 a oltre 20 m. *Olocene (età radiometrica della base: 11.000 -8.000 anni).*

### **AES8a - unità di Modena**

Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). *Post-VI secolo d.C.*

### **Allomembro di Villa Verucchio (AES7)**

Comprende ghiaie, sabbie, limi e argille di ambiente alluvionale organizzati in una successione ciclica suddivisa in due unità di rango inferiore: unità di Vignola, costituente la parte sommitale prevalentemente grossolana, e unità di Niviano, costituente la parte inferiore prevalentemente fine dell'Allomembro. Base discordante, e tetto coincidente con la superficie topografica. Potenza da 0 a 50 metri circa. *Pleistocene superiore-Olocene.*

### **AES7a-Unità di Niviano**

Depositi alluvionali limoso – sabbiosi nelle porzioni affioranti, limosi e subordinatamente ghiaioso sabbiosi nelle porzioni sepolte. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Nel sottosuolo la base coincide con l'abbandono delle condizioni di conoide ghiaiosa del tetto del ciclo sottostante, correlabile dubitativamente con l'intervallo interglaciale tirreniano. Contatto superiore coincidente con la superficie topografica nelle aree intravallive, sepolto da AES7B e AES8 nell'alta pianura. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione < 5 metri, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Spessore affiorante < 10 m. *Pleistocene sup.*

I terreni del sito in oggetto fanno parte dell'*Unità di Modena* (Allomembro di Ravenna): si tratta per lo più di terreni limosi e limoso-sabbiosi in superficie per passare a terreni più argillosi e quindi in profondità, oltre i -10 m dal p.c. a terreni ghiaioso-sabbiosi .

In genere i materiali più grossolani come le ghiaie e le sabbie si sviluppano in superficie solo in corrispondenza del corso d'acqua principale (*F.Secchia*) e formano delle digitazioni allungate che vengono ricoperte da sedimenti più fini, quando le acque di esondazione hanno ormai una energia di trasporto molto più bassa.

Al contrario nell'area, presso il percorso del *T.Tresinaro*, siamo ad un distanza notevole dal *Fiume Secchia*, in una condizione di deposizione a minor energia per cui in superficie abbiamo depositi prevalentemente limosi ed argillosi mentre le ghiaie sono rare.

Questi sedimenti fini affiorano frequentemente nelle immediate vicinanze dei corsi d'acqua minori e nelle fasce più esterne agli alvei dei corsi d'acqua principali.



### 1.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

Il settore di pianura indagato è caratterizzato da una specifica rete drenante, rappresentata da corpi idrici naturali uniti ai corsi d'acqua artificiali, che scorrono prevalentemente seguendo l'andamento del terreno circostante, da sud-ovest verso nord-est.

Le aste di deflusso secondarie svolgono per lo più la funzione di solo canale di scolo, tuttavia si possono anche osservare corsi d'acqua ad uso irriguo o promiscuo.

Il corpo idrico principale è costituito dal *Fiume Secchia*, caratterizzato da un andamento sinuoso verso sud, mentre nel settore più settentrionale, a causa della diminuzione della sezione di deflusso, ha un andamento più rettilineo e continuo. Anche il deflusso dei corsi d'acqua minori, ha un andamento verso nord-est.

La prima falda libera, che si incontra nelle porzioni centrali delle conoidi è spesso separata da quelle sottostanti e dalla superficie attraverso orizzonti limo-argillosi.

Questa marcata compartimentazione porta ad una palese differenziazione fra gli acquiferi profondi e quelli superficiali.

Gli strati di separazione tra i vari compartimenti, gli acquitardi, nonostante possiedano potenze di oltre una ventina di metri, non riescono a garantire una totale protezione dall'inquinamento.

Gli acquiferi costituenti le conoidi minori sono di modesta entità e, a seguito della limitata circolazione idrica unita alla dispersione di inquinanti data dall'elevata pressione antropica, presenta qualità delle acque molto più scadenti.

La falda acquifera sotterranea principale è di tipo "monostrato indifferenziato".

Dagli studi eseguiti e dalla soggiacenza della falda riportata nella *Carta Idrogeologica* (TAV.B1.3 del PSC di Casalgrande) il livello piezometrico si attesterebbe attorno ai 50m s.l.m., tenuto conto della quota del sito, si avrebbe una profondità della falda, rispetto al p.c. di almeno 10 m. I dati concordano con le misure piezometriche eseguite nel sondaggio S1, spinto fino ad una profondità di -32 m dal p.c.: il livello della falda è stato infatti misurato al passaggio fra l'argilla e il terreno ghiaioso-sabbioso sottostante, a circa -14 m dal piano campagna.



## 1.4 RISCHIO IDRAULICO

Nello studio sul rischio idraulico riportato nel PSC di Casalgrande l'area è stata suddivisa in "Fasce Fluviali".

Queste fasce fluviali identificano porzioni di territorio interessate da eventi di piena del Fiume Secchia, con tempi di ritorno significativi e che presentano differente grado di pericolosità. Tali fasce sono state tracciate in funzione delle portate di piena e dei diversi elementi dell'alveo che ne determinano la connotazione fisica: caratteristiche geomorfologiche, dinamica evolutiva, opere idrauliche, caratteristiche naturali ed ambientali. Pertanto le aree adiacenti ai corsi d'acqua sono state suddivise nelle seguenti aree:

- Fascia di deflusso della piena (Fascia A): è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena. Per i corsi d'acqua principali la piena di riferimento ha portata non inferiore all'80% di quella con tempo di ritorno (TR) di 200 anni;

- Fascia di esondazione (Fascia B): esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni, dimensionate per la stessa portata. Per i corsi d'acqua principali si assume come riferimento la piena con TR=200 anni;

- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C): è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Per i corsi d'acqua principali si assume come riferimento la piena con TR=500 anni.

Nella TAV B1.2 del Piano Strutturale Comunale (PSC di Casalgrande) sono state riportate le Fasce fluviali contenute nel PTCP e che corrispondono al vigente P.A.I.

Dalla carta si può notare che l'area non ricade in nessuna delle fasce sopra descritte per cui il rischio idraulico è quasi nullo, anche perché i corsi d'acqua minori hanno un pericolosità bassa.





## 1.5 VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

Nella Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi (vedi Tavola B1.4 del PSC di Casalgrande) sono riportati i tematismi relativi alla Vulnerabilità degli Acquiferi all'inquinamento dell'Alta pianura reggiana compresa fra il *Torrente Crostolo* ed il *Fiume Secchia*, elaborata nel 1992 dal C.N.R. in collaborazione con AGAC.

Tale carta della vulnerabilità individua aree a potenziale rischio di contaminazione delle acque sotterranee.

La carta è il risultato di un percorso tecnico-scientifico avviato negli anni '80 e che ha portato agli inizi degli anni '90 alla definizione di una metodologia di lavoro di riferimento da parte del Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del C.N.R.

La metodologia consente di definire il grado di vulnerabilità degli acquiferi nei confronti di una eventuale sostanza inquinante proveniente dalla superficie del suolo a partire dai seguenti parametri:

- la litologia di superficie;
- la profondità del tetto delle ghiaie;
- la soggiacenza della falda;
- la caratterizzazione dell'acquifero (libero o confinato).

La *Carta della Vulnerabilità* che ne è derivata classifica le diverse porzioni di territorio in sei classi di vulnerabilità (da estremamente elevata a molto bassa), in funzione del combinarsi dei parametri sopra descritti.

L'area oggetto di indagine rientra in un'area a grado di vulnerabilità basso in quanto in superficie abbiamo terreni prevalentemente limosi ed argillosi, quindi con basso grado di permeabilità (spessori maggiori di 10 m), mentre i terreni ghiaiosi e sabbiosi, molto più permeabili e vulnerabili, si collocano in profondità protetti dallo strato sovrastante impermeabile.

## 1.6 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PARAMETRI NOMINALI

Per la caratterizzazione geologico, litologica, geotecnica e stratigrafica dell'area oggetto dell'intervento, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:



- n°1 Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di 6 campioni;
- n°1 Prova penetrometrica statica CPTU
- n°1 Prospezione sismica con stendimento MASW
- n°2 RegISTRAZIONI sismiche a stazione singola HVSR

La disposizione planimetrica delle prove geognostiche viene indicata nella “Foto Satellitare con Prove Geognostiche”, riportata nella tavola 8, a pagina 10, e sulla “Pianta del Progetto con Prove Geognostiche”, nella tavola 9, a pagina 11.

### 1.6.1 Prova Penetrometrica Statica CPTU

Le prove penetrometriche statiche permettono di acquisire il valore di resistenza della punta all'infissione e dell'attrito laterale variabili con il variare delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni. La conoscenza di questi parametri viene poi ottenuta attraverso l'ausilio di correlazioni empiriche che permettono una stima delle caratteristiche tecniche dei terreni attraversati e di definire un profilo stratigrafico.

Le prove sono state eseguite con un penetrometro statico CPTU le cui caratteristiche sono dettagliate nei rapporti di prova allegati. L'acquisizione dei dati avviene ogni cm di avanzamento e le prove sono state spinte a profondità variabili, fino al rifiuto strumentale. I dati penetrometrici ( $R_p$ ,  $f_s$ ) sono stati elaborati per ricavare i principali parametri tessiturali e meccanici dei sedimenti attraversati, riportati nei rapporti di prova allegati, e per eseguire la verifica alla liquefazione con metodi semplificati, come dettagliato nel capitolo 3.2.5.

La resistenza al taglio non drenata è stata ricavata dalla classica relazione che viene utilizzata per i penetrometri statici:

$$C_u = (Q_c - \sigma'_v) / N_k; \quad \text{con } N_k = 20$$

Per l'angolo di attrito sono state messe a confronto diverse relazioni empiriche. Le relazioni hanno fornito differenze minime attorno a 1 o 2 gradi per le sabbie: fra queste correlazioni è stata scelta la relazione di Koppejan poiché fornisce i valori più conservativi, quindi a vantaggio della sicurezza dei calcoli.



Viene di seguito riportata la tabella di sintesi dei principali parametri nominali delle prova penetrometrica statica (CPTU).

Questa tabella riporta la resistenza alla punta del penetrometro (Rp) e la classica suddivisione dei dati secondo una natura prevalentemente coesiva o incoerente del materiale.

I principali dati nominali del terreno che vengono forniti nella tabella sono: Cu (kg/cm<sup>2</sup>), Ed (kg/cm<sup>2</sup>), φ (°), Mo (kg/cm<sup>2</sup>).

I dati verranno rielaborati in modo statistico per ottenere i parametri caratteristici secondo il DM 17/01/2018 e verranno forniti nel paragrafo 3.1.2 e nell'allegato B.

### PROVA PENETROMETRICA STATICA

### CPT-01

PROFONDITA'		NATURA COESIVA				NATURA INCOERENTE				Rp
da	a	Cu	Ed	Nc	Qa	φ	Mo	Nq	Qa	
m	m	(KPa)	(KPa)		(KPa)	(KPa)	(°)		(KPa)	(KPa)
0.8	2.0	-	-	-	-	33.5	31889	27.6	245	8.23
2.2	6.0	133	9718	5.14	228	27.7	21038	14.3	371	5.29
6.2	7.0	128	9740	5.14	220	23.2	11136	8.8	370	2.78
7.2	14.4	78	6565	5.14	134	-	-	-	-	1.67
14.6	14.6	-	-	-	-	23.9	24556	9.5	875	6.14

<p>Cu= Coesione non drenata                  Ed= Modulo Edometrico                  Nc= Fattore di capacità portante terrenp coesivo                  Qa<sub>1</sub>= Carico ammissibile semplificato (Terzaghi)                  Mo= Modulo Confinato                  Nq= Fattore di capacità portante terreno incoerente                  Qa<sub>2</sub>= Carico ammissibile semplificato (Terzaghi)</p>
---

Argille Cu:	$(Q_c - \sigma'_{vo}) / n$	; n= 20	
Argille Ed:	$(Q_c - \sigma'_{vo}) \cdot 1.35 \cdot I_c$		(Tonni e Gottardi 2011)
Ang.Att. φ' =	1) $14.4 + 4.8 \ln(Q_c) - 4.5 \cdot \sigma_v'$ 2) $9.8 + 4.96 \ln(Q_c / \sigma_v')$ 3) $5.8 + 5.21 \ln(Q_c / \sigma_v')$ 4) $5.9 + 4.76 \ln(Q_c / \sigma_v')$		Durgunougu & Mitchell (1973-1975) Caquot Koppejan De Beer (1965-1967)
Sabbie Mo:	Mo=4·Qc per Qc<10 Mpa Mo=2·Qc+20 Mpa per 10<Qc<50 Mpa Mo=120·Qc per Qc>50 Mpa		(Lumne & Christophersen 1983)





Altri parametri, come il modulo di taglio iniziale ( $G_0$ ), la velocità delle onde trasversali ricavate con la CPTU ( $V_s$ ), la permeabilità ( $K$ ), il grado di sovraconsolidazione (OCR) la densità relativa ( $D_r$ ), vengono forniti nell'Allegato B ("Prova Penetrometrica Statica CPTU Grafici ed elaborazioni").

Per i parametri sismici (modulo di taglio e velocità delle onde  $S$ ) si è ricorso alle seguenti formule di Robertson, 1992:

$$G_0 = 0,0188 \cdot [10^{0,55 \cdot I_c + 1,68}] \cdot (q_c - \sigma_{v0})$$

$$V_s = \left[ 10^{0,55 \cdot I_c + 1,68} \cdot \frac{(q_c - \sigma_{v0})}{P_a} \right]^{0,5} \quad \text{(Robertson, 1992)}$$

La permeabilità( $K$ ), il modulo di sovraconsolidazione(OCR) e la densità relativa( $D_r$ ),vengono calcolate con le seguenti espressioni:

**Robertson 2010**

$$\log(k) = 0.952 - 3.04 \cdot I_c \quad \text{per } 1 < I_c \leq 3.27$$

$$\log(k) = -4.52 - 1.37 \cdot I_c \quad \text{per } 3.27 < I_c \leq 4$$

**Mayne e Kemper, 1988**

$$\sigma'_c = 0.243 \cdot (q_c)^{0.96}$$

$$OCR = 0.37 \cdot \left( \frac{q_c - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right)^{1.01}$$

Formulazione empirica Baldi ed altri (1978-1983)

$$D_r = \frac{1}{C_2} \cdot \ln \left[ \frac{q_c}{C_0 \cdot (\sigma'_{v0})^{C_1}} \right]$$

La permeabilità della formula di Robertson è espressa in m/s.

Infine, per la classificazione litologica degli strati, che sta a monte alla elaborazione dei dati con le formule sopra descritte, si è ricorso alla classificazione di Robertson (1986-90):

CLASSIFICAZIONE ROBERTSON 1986		
Sabbie Addensate	$I_c < 1.31$	
Sabbie - Sabbie Limose	$1.31 < I_c < 2.05$	
Limi Sabbiosi - Sabbie Limose	$2.05 < I_c < 2.60$	
Argille Limose -Limi Argillosi	$2.60 < I_c < 2.95$	
Argille - Argille Limose	$2.95 < I_c < 3.60$	
Materiale Organico	$I_c > 3.60$	

$Q = (q_c - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$	Resistenza alla punta normalizzata
$F = 100(F_s / (q_c - \sigma_{v0}))$	Friction Ratio
$I_c = (3.47 - \log(Q)^2 + (\log(F) + 1.22)^2)^{0.5}$	Indice di comportamento del terreno
$FC = 1.75 I_c^{3.25} - 3.7$	Contenuto di Fine (%)

## 1.6.2 Sondaggio a carotaggio continuo S1

### 1.6.2.1 Prove di Laboratorio

Sulla sponda SX del *Torrente Tresinaro* è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo spinto fino a -32 m dal p.c. dal quale sono stati prelevati 6 campioni indisturbati di terreno sui quali sono state eseguite le seguenti indagini di laboratorio:

- Descrizione dei campioni
- Contenuto d'acqua
- Peso di volume con fustella tarata
- Massa Volumica dei grani (<4mm)
- Limiti di Atterberg (Limite Liquido, Limite Plastico e Indice di Plasticità)
- Analisi Granulometriche combinate (vaghiatura e sedimentazione)
- Prove di taglio diretto CD
- Prova Triassiale CIU

Scendendo nel dettaglio sui campioni sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

C	Prof.	DESC02	CNTA01	MVT01	PSG01	LLLP01	GRT03	DSCD01	TxCIU02	TxUU02	TxUU02a	VTM01	VERP01
1	2.00-2.50	1			1	1	1	1				1	1
2	4.20-4.70	1			1	1	1		1			1	1
3	7.50-8.00	1	1		1	2	2	1					1
4	10.50-11.00	1			1	1	1		1	1			1
5	22.00-22.70	1			1	1	1		1		2		1
6	27.90-28.50	1	1	1	1	1	1	1				1	1

LEGENDA S=Sondaggio; C=campione

DESC02 Estrazione/apertura di campioni indisturbati, descrizione geotecnica e foto

CNTA01 Contenuto in acqua

MVT01 Peso di volume con fustella tarata

PSG01 Massa volumica dei grani su terre < 4 mm

LLLP01 Determinazione di Limite Liquido, Limite Plastico e calcolo IP

GRT03 Analisi granulometrica combinata per vaghiatura e sedimentazione con areometro

DSCD01 Prova di taglio diretto CD (shearbox test), eseguita su tre provini

TxCIU02 Prova triassiale CIU, eseguita su 3 provini, compresi saturazione e rilievo pressioni interstiziali.

TxCIU02a Prova triassiale CIU, compresa saturazione del provino e rilievo pressioni interstiziali.

TxUU02 Prova triassiale non consolidata, non drenata (U.U.), eseguita su tre provini, esclusa saturazione degli stessi

TxUU02a Prova triassiale non consolidata, non drenata (U.U.), esclusa saturazione del provino

VTM01 Prova di taglio con scissometro motorizzato da laboratorio su terreni coesivi

V ERP01 Emissione Rapporto di prova (per ogni campione o per ogni serie di prove in sito eseguite nell'ambito di uno stesso intervento in cantiere)

### 1.6.2.2 Parametri di Laboratorio

Riportiamo le tabelle riassuntive dei dati di laboratorio.



La seguente tabella riguarda i parametri meccanici ( $C_u$ ,  $C'$ ,  $\phi'$ ) ricavati dalle prove di laboratorio di taglio semplice e triassiali:

SOND	Camp	Q AGI	PROFONDITA'		DSCD01		TXCIU02		TXUU02	TXUU02a	VERP01
			da	a	$\phi'$	$C'$	$\phi'$	$C'$	Cu	Cu	Cu
			(m)	(m)	[°]	[KPa]	[°]	[KPa]	[KPa]	[KPa]	[KPa]
S1	C1	Q5	2.00	2.50	28.3	4.6					53
	C2	Q5	4.20	4.70			X	X			94
	C3	Q5	7.50	8.00	32.2	6.5					
	C4	Q5	10.50	11.00			X	X	X		
	C5	Q5	22.00	22.70			26.8	7.4		120	
	C6	Q5	27.90	28.50	32.7	3.3					19

### 1.6.2.3 Parametri Nominali da Nspt in foro

Infine riportiamo i parametri ricavabili dalle Nspt in foro:

$\gamma = 1.9 \text{ T/m}^3$		Acqua = 14 m											
Profondità - Nspt						Natura granulare							
N	H	Hc	$\gamma'$	$\sigma'$	$N_{spt}$	$D_{r1}$	$D_{r2}$	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$Mo_1$	$Mo_2$	E
-	[m]	[m]	[T/m <sup>3</sup> ]	[T/m <sup>2</sup> ]	-	[%]	[%]	[°]	[°]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	14.6	7.3	1.9	13.9	50	99	100	45	45	45	35500	30000	49497
2	17.4	16.0	0.9	14.4	44	94	95	45	45	43	31240	27480	46433
3	19.5	18.5	0.9	16.6	55	98	100	>45	>45	44	39050	32100	51913
4	24.0	21.8	0.9	19.6	41	84	82	43	44	40	29110	26220	44822
5	30.0	27.0	0.9	24.3	23	62	57	35	37	34	16330	18660	33571

$D_{r1}$	Densità relativa (Gibbs & Holtz, 1957)
$D_{r2}$	Densità relativa (Meyerhof, 1957)
$\phi_1$	Angolo di attrito interno (Schmertmann, 1975; tutti i tipi di suolo)
$\phi_2$	Angolo di attrito interno (De Mello, Sabbie valida per $\phi < 38^\circ$ )
$\phi_3$	Angolo di attrito interno (Ishido, 1974)
$Mo_1$	Modulo confinato (Farrent)
$Mo_2$	Modulo confinato (Webb)
E	Modulo elastico di Young (Tornaghi et al.)





### 1.6.3 Prospezione Sismica MASW

La prospezione sismica multicanale in onde di superficie (Multi-channel Analysis of Surface Waves; Park, Miller & Xia, 1999) è una tecnica attiva che prevede la registrazione tramite un apposito registratore digitale (sismografo) della propagazione delle onde di superficie, Rayleigh e Love (Rayleigh in questo caso), a partire da un punto di energizzazione in superficie (shot) a un array di punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica.

La tecnica sfrutta la proprietà delle onde di superficie di essere dispersive nei mezzi multi-strato. L'analisi della dispersione del "groundroll" permette di ricavare la curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Dalla velocità delle onde di Rayleigh si ricava la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), poiché  $V_r = (0.85 \div 0.9)V_s$ .

Le  $V_s$  rappresentano un parametro utile a definire la rigidità dei terreni in quanto sono ad essa legate dalla relazione:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

dove:

$\mu$  = modulo di taglio (costante del mezzo)

$\rho$  = densità del mezzo.

#### Procedure di campagna e acquisizione dei dati

Per generare le onde di superficie necessarie alla prospezione, è stata utilizzata una massa battente, su piastra in teflon, collegata a un sistema di trigger a sua volta collegato all'apparato di registrazione, in modo da comunicare in automatico al sismografo l'istante in cui iniziare la memorizzazione dei dati dei singoli ricevitori.

Sono stati utilizzati geofoni con asse strumentale verticale, posizionati sul terreno ad intervalli regolari in funzione della profondità di indagine richiesta, e collegati tramite morsetti bipolari ad un cavo elettrico multicanale, che a sua volta è collegato al sistema di registrazione.

Si è proceduto con la prospezione effettuando i tiri (shot) energizzanti in testa allo stendimento e quindi la registrazione digitale delle tracce sismiche ad ogni tiro effettuato.



I segnali sismici arrivati ai singoli geofoni sono stati acquisiti da un sismografo a 24 canali di registrazione simultanea. I segnali, dopo opportuna amplificazione, conversione del segnale da analogico a digitale ed eventuale filtraggio, sono stati registrati ed archiviati su personal computer.

### Elaborazione dei dati

Dall'analisi delle tracce acquisite si ottiene la curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel dominio delle frequenze, rappresentata da un grafico a contour che mette in relazione la frequenza (f) e la velocità di fase (v) delle onde stesse, legate dalla relazione:

$$\lambda = v/f$$

dove:

$\lambda$  = lunghezza d'onda.

Lo scopo dell'indagine è quello di ottenere infine un modello di sottosuolo in termini di velocità delle onde di taglio attraverso il processo di inversione mediante apposito software delle curve di dispersione ottenute.

Dall'indagine seguita nell'area si è ricavato il seguente modello di sottosuolo (per altri dettagli si veda l'allegato C):

MODELLO DI SOTTOSUOLO MEDIO

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	150	0.43
4.00	3.00	190	0.43
14.00	10.00	270	0.43
30.00	16.00	430	0.43
inf.	inf.	450	0.43

$$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 311 \text{ m/s}$$

Il modello così ottenuto è congruente con le due prove HVSR che sono state tarate tramite il sondaggio e la prova CPTU.

### 1.6.4 Registrazioni Sismiche Passive HVSR

Presso la prova MASW ed il sondaggio a carotaggio sono state eseguite 2 registrazioni sismiche di tipo passivo che assieme alle al-



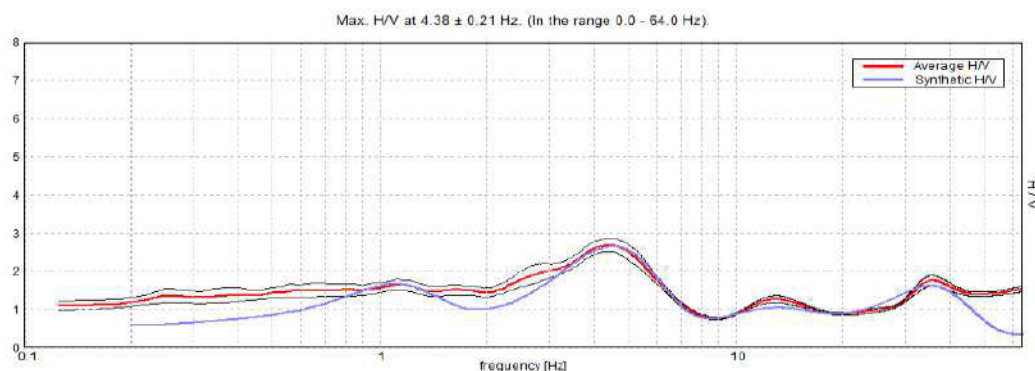
tre conoscenze geologiche e stratigrafiche (pozzo AGIP Rubiera1) hanno permesso di ricostruire il modello sismo-stratigrafico in profondità per la risposta sismica locale (vedi tavola 12).

Le misure delle  $V_{s30}$  sono state ottenute dalla frequenza di oscillazione del sito misurata con tromografo Micromed.

La misura si basa sulla registrazione dei microtremori tramite i rapporti spettrali (H/V) fra le componenti orizzontali e verticali del moto (Noghooshi e Igarashi 1970). La frequenza fondamentale di risonanza ( $F_r$ ) dello strato relativa alle onde S è pari a:

$$F_r = V_s / (4 \cdot h)$$

Di seguito si riporta il grafico H/V-Hz della registrazione sismica TR-2 effettuata presso il sondaggio S1 (la registrazione TR-1 ha comunque fornito risultati simili, vedi allegato D): si noti il confronto fra la curva H/V teorica (blu) e quella sperimentale (rosso):



Estendendo il ragionamento a tutti gli strati ed eseguendo l'inversione della velocità con ricostruzione teorica del grafico delle frequenze si ottiene la seguente interpretazione stratigrafica:

Bottom of the layer [m]	Thickness [m]	$V_s$ [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	100	0.45
4.00	3.30	180	0.45
14.00	10.00	260	0.45
32.00	18.00	430	0.40
41.00	9.00	410	0.40
53.00	12.00	550	0.35
60.00	7.00	450	0.40
73.00	13.00	550	0.35
80.00	7.00	450	0.40
88.00	8.00	550	0.35
93.00	5.00	450	0.40
100.00	7.00	550	0.35
110.00	10.00	450	0.40
inf.	inf.	770	0.35

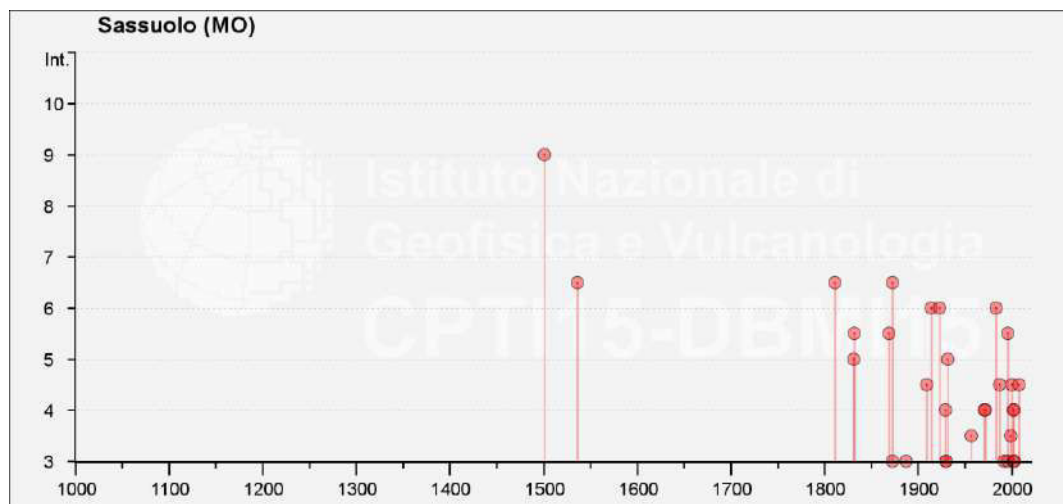
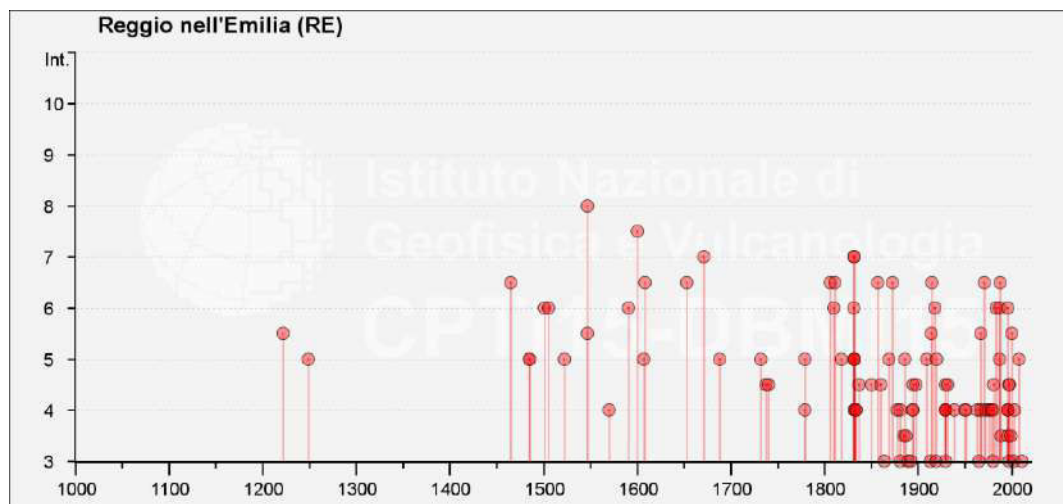


## 2. RELAZIONE SISMICA

### 2.1 STORIA SISMICA REGIONALE

Le osservazioni e i dati sismologici storici e strumentali attualmente disponibili indicano che, relativamente alla sismicità nazionale, la provincia di Reggio Emilia è interessata da una sismicità di livello medio e medio - basso, con terremoti storici che più volte hanno raggiunto intensità pari al VII-VIII grado della scala MCS (Mercalli – Cancani – Sieberg).

Si è quindi provveduto ad estrarre dal Catalogo Parametrico Italiano dei Terremoti (CPTI-15) le storie sismiche di *Reggio Emilia* e di *Sassuolo*, che sono i centri abitati di maggiori dimensioni più vicini all'areale in studio. Sotto si riportano le tabelle di sintesi:







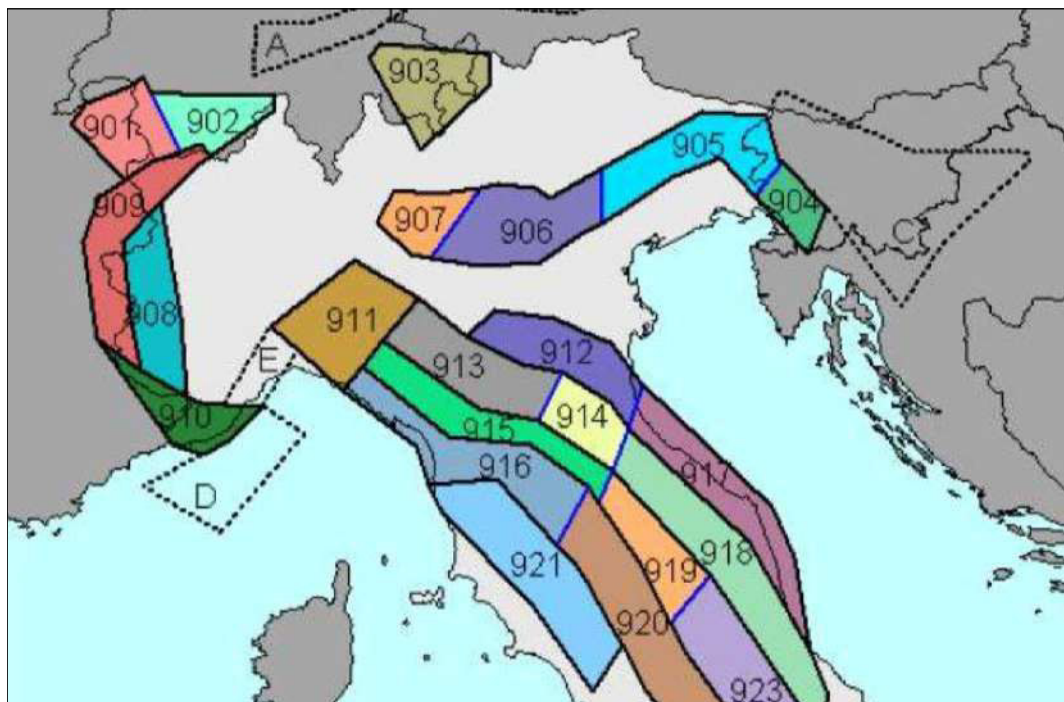
## 2.2 PERICOLOSITA' SISMICA

### 2.2.1 La zonazione Sismogenetica.

I recenti studi sulla pericolosità sismica promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, hanno portato alla definizione di una zonazione sismogenetica del territorio nazionale, denominata ZS9, che prevede l'individuazione di 36 "zone-sorgente", i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

Le zone della Provincia di Reggio Emilia in cui si concentra maggiormente l'attività sismica sono: il margine appenninico-padano (ZS913 della zonazione ZS9), la cui attività è presumibilmente legata al fronte del thrust pedeappenninico; la parte settentrionale della pianura (ZS912), ovvero la zona al di sopra della dorsale attiva delle Pieghe Ferraresi, e l'alto Appennino (ZS915), dove il risentimento è dovuto anche alla sismicità della vicina Garfagnana.

Il territorio del *Comune di Casalgrande* ricade nella zona sismogenetica 913, caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa.





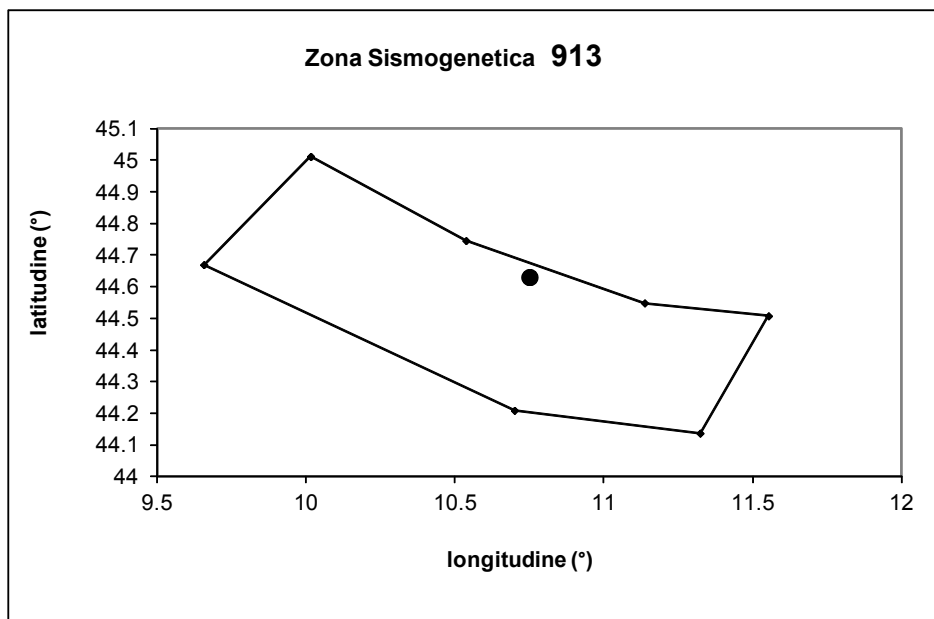
La maggior parte dei terremoti che si verificano in questa zona, avvengono a profondità comprese tra 12 e 20 km.

Sulla base dei meccanismi focali, i valori di magnitudo massima previsti per la ZS913 sono pari a  $M_{w_{max}} = 6.14$ .

ZONA SISMOGENETICA		913
CORDINATE DEI VERTICI:		
longitudine	latitudine	distanza (km)
<b>10.015694</b>	<b>45.011757</b>	72
<b>10.537289</b>	<b>44.745728</b>	21
<b>11.13718</b>	<b>44.548515</b>	32
<b>11.553079</b>	<b>44.507702</b>	65
<b>11.32331</b>	<b>44.136684</b>	71
<b>10.699876</b>	<b>44.208866</b>	47
<b>9.656718</b>	<b>44.669632</b>	86
<b>10.015694</b>	<b>45.011757</b>	72
PUNTO RICHIESTO: <b>CASALGRANDE (RE)</b>		
longitudine	latitudine	
<b>10.750436</b>	<b>44.63041</b>	

**APPENNINO EMILIANO-ROMAGNOLO**

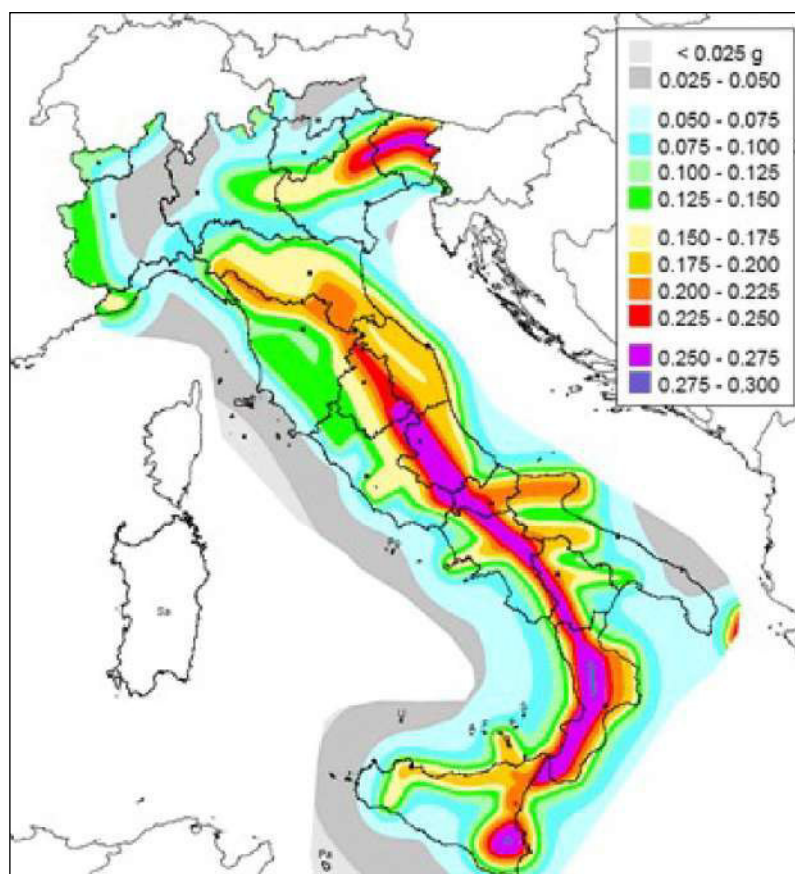
$M_w = 6.14$





## 2.2.2 Pericolosità Sismica Locale

Per la valutazione della pericolosità sismica di base, il primo riferimento è costituito dalla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (MPS15 - edizione 2015), elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. In tale mappa sono indicati i valori di accelerazione di picco al suolo  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un Tempo di ritorno di 475 anni) riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s, Cat. A del D.M. 17.01.2018) per l'intero territorio nazionale.

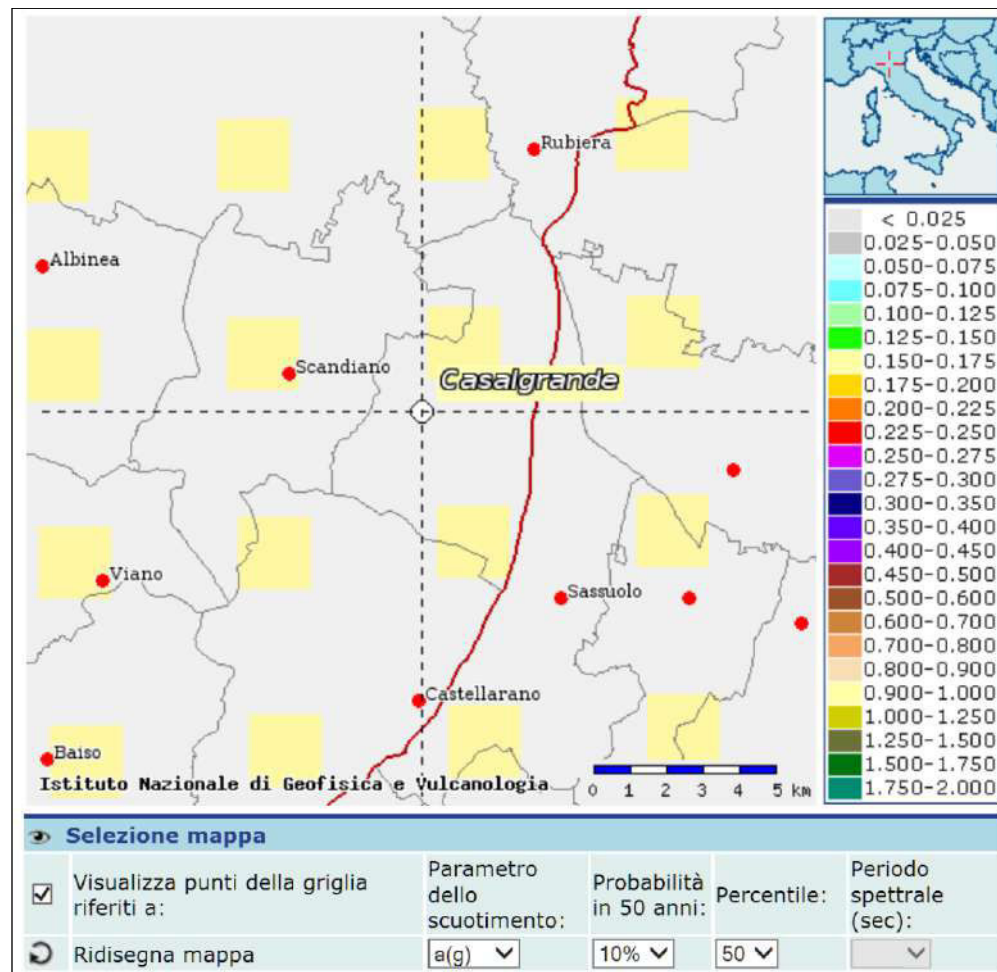


Il lavoro dell'INGV non si è limitato alla elaborazione della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, ma sono stati avviati altri progetti, tra qui quello che ha portato alla predisposizione di strumenti gestionali interattivi della MPS stessa.

Più in particolare è stato progettato e messo online un sistema che consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della



pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°. Le mappe riportano due distinti parametri dello scuotimento di rilevante interesse ingegneristico:  $a(g)$  (accelerazione orizzontale massima del suolo) e  $Se(T)$  (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo  $T$ , in accelerazione).



Dalla carta si evince che il territorio del Comune di Casalgrande ricade in un areale caratterizzato da valori di  $a_{max}$  che variano da un minimo di 0.150 g ad un massimo di 0.175 g. Tali valori sono coerenti con quanto riportato nell'Allegato A4 della DAL Regione Emilia-Romagna n°112 del 2 maggio 2007, che attribuisce al Comune di Casalgrande un valore di accelerazione di piccolo al suolo  $a_g$  (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di 0.161 g.





## 2.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA METODO SEMPLIFICATO

In base alla classificazione contenuta nell'ordinanza del PCM. n° 3274 del 20 Marzo 2003, il comune di *Casalgrande* ricade nella Zona Sismica n°2 con  $a_g$  di ancoraggio dello spettro = 0.25 g.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [ $a_g/g$ ]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ $a_g/g$ ]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Nelle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/2008 e DM 17/01/2018) l'accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, non viene più riferita ai territori comunali ma ad una griglia di riferimento specifica.

Quindi per ottenere i parametri di riferimento bisogna introdurre la latitudine e la longitudine del luogo e il tempo di ritorno: ad esempio, per il sito in questione, con un  $T_r=475$  anni si ottiene una accelerazione massima  $a_g=0.161g$ .

Anche nel DM 17/01/2018, per l'approccio semplificato, il suolo viene suddiviso nelle classiche cinque classi (vedi tab.3.2.II):

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

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

La classificazione avviene in base alla velocità delle onde S nel terreno, entro i primi 30 m di profondità dal p.c.



Se non si è in possesso della velocità delle onde S la normativa più recente (DM 17/01/2018) non prevede più le correlazioni fra la velocità delle onde S e il numero dei colpi dello Standard Penetration Test ( $N_{spt}$ ) oppure fra le Vs e le Cu.

### 2.3.1 Classificazione del suolo in base alle Vs30

Per il calcolo della  $V_{S30}$  equivalente, rappresentativa dell'intero pacco di strati di 30 m di spessore, si ricorre alla relazione:

$$V_{S30} = 30 / \sum (h_i / V_{S30i})$$

Le misure delle  $V_{S30}$  sono state ottenute sia dalla frequenza di oscillazione del sito misurata con 2 registrazioni di tipo HVSR, sia da una misura diretta della velocità della propagazione delle onde di superficie (Rayleigh) misurate con tecnica MASW. Entrambe le tecniche hanno fornito valori di Vs simili e prossimi a 300 m/s.

Si riporta qui sotto la tabella delle Vs ottenuta con la prospezione sismica MASW eseguita in sito (vedi allegato C):

MODELLO DI SOTTOSUOLO MEDIO

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	150	0.43
4.00	3.00	190	0.43
14.00	10.00	270	0.43
30.00	16.00	430	0.43
inf.	inf.	450	0.43

Elaborando le varie velocità secondo la formula precedente si ottiene, per una profondità  $h = 0$  m dal p.c. la seguente velocità delle onde S nei primi 30 metri di terreno:

$$V_{S30} = \mathbf{311} \text{ m/s}$$

Dopo aver calcolato le  $V_{S30}$  (velocità delle onde S equivalenti), si individua il tipo di suolo corrispondente: nel nostro caso (vedi anche tab.3.2.II nella pagina precedente), si hanno valori delle onde S con:  $360 < V_{S30} < 800$  m/s e quindi possiamo adottare un suolo C.



### 2.3.2 Spettro di Risposta Elastico (DM 17/01/2018)

Ai fini del DM 14/09/2005 e successive modifiche e dell'OPCM 3274 va definito lo spettro di risposta elastico, in accelerazione, per il sito in esame. Tale spettro indica, per ciascuna frequenza, la risposta allo scuotimento massimo (da terremoto) di un oscillatore elastico smorzato semplice (che rappresenta un edificio teorico 'tipo') con frequenza propria pari alla frequenza considerata.

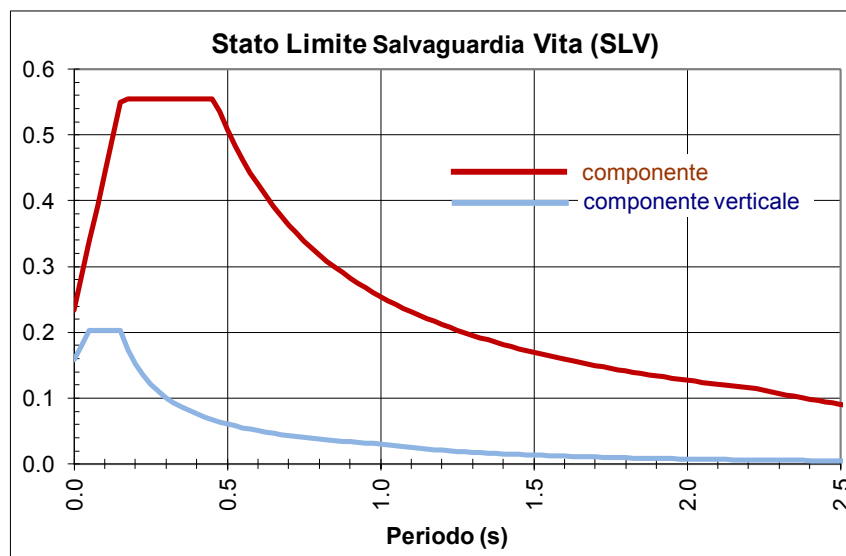
Secondo l'ultima versione del DM 17/01/2018 (§ 3.2.3.2.1) tale spettro va calcolato secondo le formule sottostanti che valgono per le componenti orizzontali del moto del suolo.

Forma dello spettro elastico di riferimento	
Accelerazione. Componenti orizzontali. <span style="float: right;">§.3.2.3.2.1</span>	
$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

$S = S_s \times S_T$	coeff. ampl. stratigrafica x coeff. ampl. topografica tab.3.2V-VI
$\eta = (10 / (5 + \xi))^{1/2}$	$\xi$ è lo smorzam. in % (normalmente 5%, diversamente si valuta in base alle caratteristiche dell'edificio)
$F_o$	fatt. amplif. spettrale max orizz. (> 2.2, allegato alla norma)
$T_c = C_c \times T_c^*$	( $C_c$ in tab.3.2V e $T_c^*$ in allegato alla norma)
$T_B = T_c / 3$	
$T_D = 4 a_g / g + 1.6$	

Con T si intende il periodo fondamentale di risonanza dell'edificio (espresso in secondi) e con  $a_g$  l'accelerazione massima di picco del sottosuolo (PGA) in caso di terremoto ( $m/s^2$ ).

Elaborando i dati ottenuti si ottiene per un **suolo tipo C**, un tempo di ritorno  $T_r=475$  anni (opere ordinarie,  $V_n=50$  anni e classe d'uso II), una amplificazione topografica  **$S_t=1.0$**  e un coefficiente di smorzamento pari al 5% le seguenti forme spettrali:



Quindi dalla sintesi dei dati è possibile fornire per il sito in oggetto il seguente quadro:

- 1) La categoria del suolo di fondazione è la C.
- 2) L'accelerazione orizzontale di picco PGA (Peak Ground Acceleration), riferita ad un suolo C, è di 0.57 g, con  $T_r=475$  anni (dove  $g$  = accelerazione di gravità = 9.81 m/s<sup>2</sup>).
- 3) Il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  e il coefficiente  $C_c$  sono quelli relativi alla categoria di suolo di fondazione C descritti nella tabella 3.2.IV. del DM 17/01/2018.

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

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

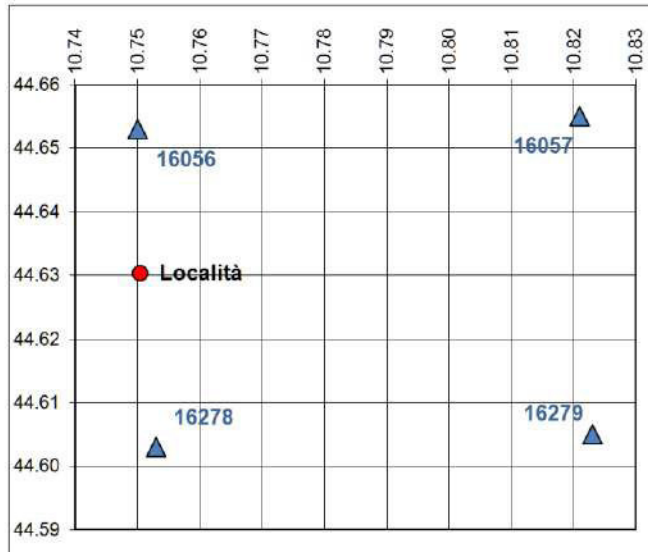
Per i dettagli si veda l' [ALLEGATO D](#) e il DM 17/01/2018.





Coordinate geografiche della località in esame				
	LON	LAT	Tolleranza	
	[°]	[°]	[°]	[km]
Località	10.7504	44.6304	0.0001	0.014

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo				
ID	LON	LAT	DIST [°]	[km]
16056	10.7500	44.6530	0.0226	2.514
16057	10.8210	44.6550	0.0559	6.222
16278	10.7530	44.6030	0.0275	3.057
16279	10.8230	44.6050	0.0576	6.407



#### CARATTERISTICHE TERRENO

Topografia		<b>T1</b>
Coeff. topografico	<b>S<sub>T</sub></b>	<b>1.0</b>
Categoria suolo		<b>C</b>

#### VITA DELLA STRUTTURA

Vita nominale	<b>V<sub>N</sub></b>	<b>50</b>	[anni]
Classe d'uso	<b>C<sub>U</sub></b>	<b>II</b>	
Vita di riferimento	<b>V<sub>R</sub></b>	<b>50</b>	[anni]

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a <sub>g</sub>	0.161 g
F <sub>0</sub>	2.368
T <sub>C</sub>	0.291 s
S <sub>S</sub>	1.471
C <sub>C</sub>	1.579
S <sub>T</sub>	1.000
q	1.000

#### Parametri dipendenti

S	1.471
η	1.000
T <sub>B</sub>	0.153 s
T <sub>C</sub>	0.459 s
T <sub>D</sub>	2.245 s



## 2.4 STUDI ED APPROFONDIMENTI SISMICI PREGRESSI

Il PSC di Casalgrande, attuando gli indirizzi previsti dal PTCP, ha realizzato una cartografia della pericolosità sismica locale, ad una scala di maggior dettaglio, individuando le parti del territorio caratterizzate dai differenti scenari di pericolosità sismica locale.

Le analisi svolte hanno individuato le seguenti parti del territorio:

- aree che non necessitano di approfondimento, in quanto si ritiene il pericolo sismico assente o trascurabile: si tratta di parti di territorio per le quali gli studi di I livello non hanno individuato specifiche controindicazioni all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso;
- aree che necessitano di una seconda fase di approfondimento, al fine di valutare la pericolosità sismica:
  - aree oggetto di approfondimenti semplificati di II livello;
  - aree oggetto di analisi approfondita (III livello).

L'area oggetto di intervento ricade negli approfondimenti di II livello per cui, se si vuole approfondire tali studi, si rimanda alle verifiche (analisi semplificata tramite le tabelle regionali) che sono già state sviluppate a carico dell'amministrazione comunale e riportate all'interno del PSC stesso. Tuttavia, visto che l'area non risulta coperta dagli studi comunali (II liv.) e visto che dai dati ricavati dalle indagini geognostiche in sito e dalle analisi di laboratorio sono emersi livelli limo-sabbiosi, soprattutto per gli strati più superficiali, sono comunque stati predisposti approfondimenti di III livello, per un calcolo della suscettibilità alla liquefazione nel caso in cui siano presenti falde sospese entro lenti sabbiose. Infatti la falda principale, sia dalle carte del PSC che nel sondaggio a carotaggio continuo, viene posta in profondità, al tetto delle ghiaie.

## 2.5 RISPOSTA SISMICA LOCALE

### 2.5.1 Modello Sismo Stratigrafico del Terreno

Per la risposta sismica locale si è utilizzata la prospezione MASW fino alla profondità di 30 metri quindi le 2 registrazioni

sismiche HVSR tarate sul sondaggio a carotaggio continuo e sulla prova penetrometrica statica CPTU in modo da vincolare il passaggio fra il primo strato, quello argilloso, con il secondo strato quello sabbioso-ghiaioso, in modo che la curva sintetica ottenuta dalla tecnica HVSR fosse compatibile con la stratigrafia, anche quella più profonda.

La stratigrafia oltre i 30 m dal p.c. è stata quindi confrontata con i pozzi e le stratigrafie presenti nel database della regione e soprattutto con il vicino sondaggio AGIP Rubiera1.

Dalla sintesi dello studio si è ottenuta la seguente stratigrafia sismica (vedi anche tavola 11 a pagina 13) che è stata introdotta nel codice di calcolo EERA e nel software STRATA, per la verifica del modello e per il calcolo dell'amplificazioni di sito e delle accelerazioni sismiche attese al sito per i vari stati limite.

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO

Depth Down (m)	Thicness (m)	Soil Type	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	Vs (m/s)
1.0	1.0	Argilla 18	18	150
4.0	3.0	Argilla 19	19	190
14.0	10.0	Argilla 19	19	270
32.0	18.0	Sabbia 20	20	430
41.0	9.0	Argilla 19	19	410
53.0	12.0	Sabbia 21	21	550
60.0	7.0	Argilla 20	20	450
73.0	13.0	Sabbia 21	21	550
80.0	7.0	Argilla 20	20	450
88.0	8.0	Sabbia 21	21	550
93.0	5.0	Argilla 20	20	450
100.0	7.0	Sabbia 21	21	550
110.0	10.0	Argilla 20	20	450
	Half-Space	Bedrock		770

Per altri dettagli sul modello sismo stratigrafico si rimanda alle tavole 6, 7 e 12, rispettivamente alle pagine 8, 9 e 14.

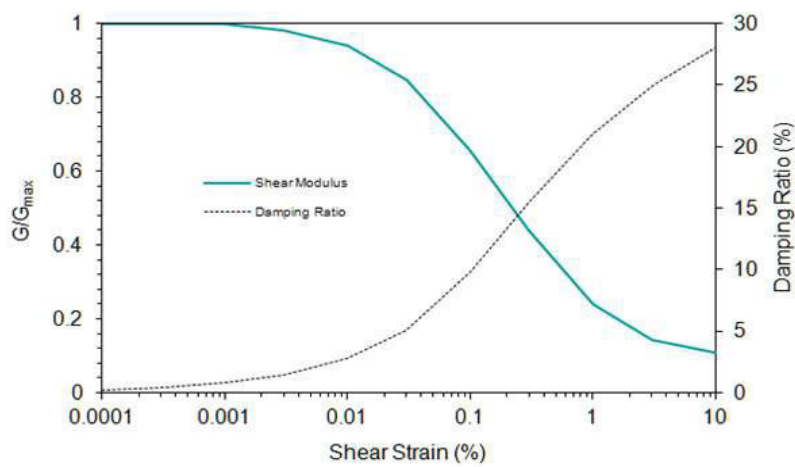
### 2.5.2 Curve di degradazione dei Materiali

Per le curve di degradazione dei materiali si sono utilizzate le classiche curve note in letteratura: per le argille quelle di Seed & Sun (1989); per le sabbie quelle di Seed & Idriss (1970), le più usate in letteratura per questo tipo di studi e di default nei codici di calcolo EERA e STRATA.



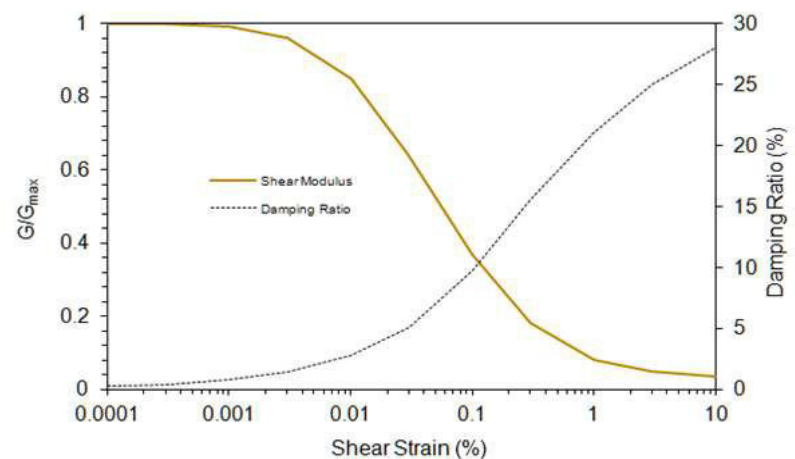
*Modulus for clay (Seed and Sun, 1989) upper range and damping for clay (Idriss 1990)*

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.981	0.003	1.4
0.01	0.941	0.01	2.8
0.03	0.847	0.03	5.1
0.1	0.656	0.1	9.8
0.3	0.438	0.3	15.5
1	0.238	1	21
3	0.144	3.16	25
10	0.11	10	28



*Modulus for sand (Seed & Idriss 1970) - Upper Range and damping for sand (Idriss 1990) - (about LRng from SI 1970)*

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	0.99	0.001	0.8
0.003	0.96	0.003	1.4
0.01	0.85	0.01	2.8
0.03	0.64	0.03	5.1
0.1	0.37	0.1	9.8
0.3	0.18	0.3	15.5
1	0.08	1	21
3	0.05	3	25
10	0.035	10	28







### 2.5.3 Gli input Sismici

Per poter confrontare i risultati, escludere gli errori e avere un quadro più completo sulle scelte operate, si sono utilizzati 2 software differenti (EERA e STRATA) e 2 tipi di input sismici:

- 1) 3 input forniti dalla regione per una stima della amplificazione sismica di III livello, ma solitamente non utilizzati ad uso ingegneristico per via del loro tempo di ritorno ( $T_r=475$  anni);
- 2) 7 input sismici (come prevede la normativa) prelevati dai database nazionali ed europei tramite apposito software e scalati in base al tempo di ritorno e allo stato limite che interessa;

### 2.5.4 Amplificazioni per la pianificazione urbanistica

E' stata eseguita l'analisi di risposta sismica locale (RSL) per l'area studiata (analisi di III livello) così come indicato nella DAL RER 112/2007, nel DGR 2193/2015, ed infine nel DGR 630/2019.

Nell'analisi di II livello è sufficiente la conoscenza delle  $V_s$  30 o  $V_{sh}$  e della profondità del bedrock sismico, per calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento (vedi tabelle A2 e formule degli allegati delle direttive regionali).

Nelle prime 2 direttive (2193/ 2007 e 630/2015) questi fattori di amplificazione erano espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/ SIo), per prefissati intervalli di periodi, dove PGAo e SIo sono rispettivamente l' accelerazione massima orizzontale e l' Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti da una griglia e ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)), mentre PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie.

Nell'ultima direttiva si sono introdotti altri coefficienti di amplificazione non solo tenendo conto del rapporto delle accelerazioni massime fra suolo di riferimento e risposta sismica locale (PGA/PGAo) e di Intensità di Housner (SI/SIo), ma si sono introdotti anche i rapporti fra integrazioni di accelerazioni (SA1, SA2, SA3, SA4) per prefissati periodi di tempo e si è introdotto atteso al sito (HSM): in più nel III livello di approfondimento si sono introdotti



anche gli scuotimenti in accelerazione ( $\text{cm/sec}^2$ ) per diversi periodi di tempo ( H10408, H20711, H30515).

Per il calcolo degli effetti locali, nelle indagini di III livello, si sono impiegati come segnali di riferimento i dati contenuti nel database regionale disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica). Sulla base di questi dati è stato possibile calcolare, gli accelerogrammi e lo spettri di risposta riferiti ad un periodo di ritorno di 475 anni e ad uno smorzamento  $\zeta = 5\%$ .

La modellazione numerica dei dati ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software EERA, che è un software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali che, eseguendo una sequenza di analisi lineari complete, è in grado raggiungere valori di rigidezza G e di smorzamento D compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio. La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, si compone di due fasi:

- 1) elaborazione del modello;
- 2) simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

La prima fase consiste nell'inserire i dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio (in questo caso Casalgrande).

Questi tre segnali o input sismici, sono stati "scalati" rispetto ad una griglia di riferimento (coordinate lat e long) e sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto:

- 1) impulsivo (codice 46);
- 2) con ampio contenuto in frequenze (codice 126);
- 3) con componente predominante alle alte frequenze (codice 354).

Dopo aver determinato gli input sismici, è necessaria la costruzione del modello del sottosuolo, rappresentato da strati (layer) a differente tessitura e diversi valori delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

La stratigrafia che caratterizza il modello deriva dalla sintesi delle indagini eseguite in sito (2 registrazioni sismiche HVSR, una prospezione MASW, 1 sondaggio a carotaggio continuo, pozzi RER e sondaggio profondo Rubiera1 dell'AGIP).



Per quanto riguarda l'attribuzione delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ai differenti layer costituenti la colonna litologica schematica, vengono utilizzati i risultati derivanti dalla tomografia.

La seconda fase (elaborazione degli effetti indotti dai sisma di progetto), consente di ottenere gli "spettri di risposta".

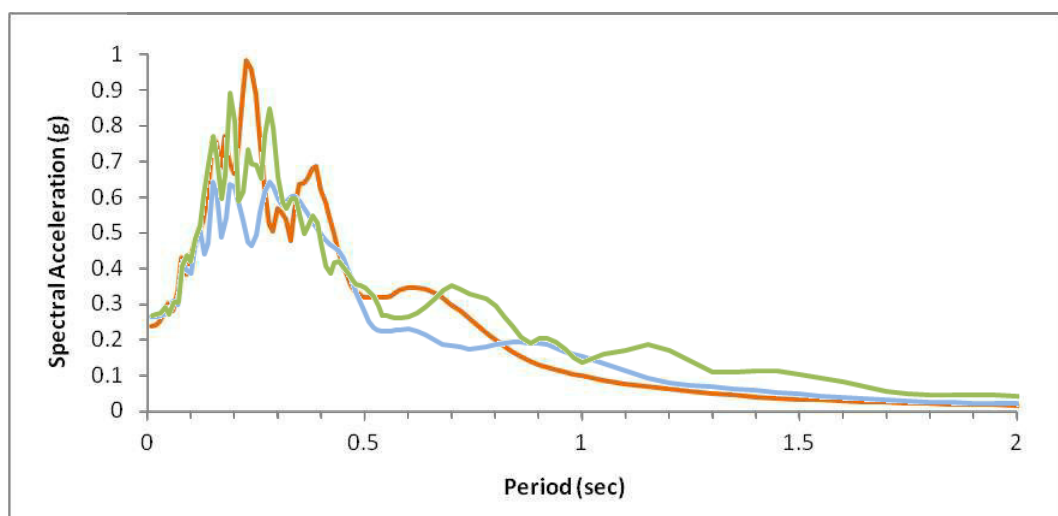
Nel foglio di calcolo EERA vengono riprodotti gli spettri di accelerazione (PGA), di velocità (PGV) e di spostamento per ognuno dei tre segnali scaricati dal sito della regione.

Con il programma EERA sono stati ricostruiti sia gli spettri riferiti al modello locale del terreno che gli spettri riferiti al bedrock sismico di riferimento (SUOLO A del DM 01/17/2018).

Lo spettro calcolato al suolo di riferimento (somma dei 3 spettri in output ricavati dai segnali 46, 125, 354), è stato quindi confrontato con lo spettro di risposta normalizzato al suolo di riferimento fornito dalla regione. Dal confronto è emerso che lo spettro calcolato con EERA è praticamente sovrapponibile allo spettro di risposta in accelerazione ricavato utilizzando l'apposita griglia fornita nell'Allegato A4 del DGR 630/2019 ( $a_{ref} = 0.161$ ).

Nel grafico riportato sotto la sovrapposizione fra i tre spettri di accelerazione ricavati dai tre segnali di riferimento forniti dal database della regione e riferiti al modello locale.

In rosso il segnale impulsivo (46), in blu il segnale con alto contenuto in frequenze (126), in verde, infine, il segnale con componente predominante alle alte frequenze (354).

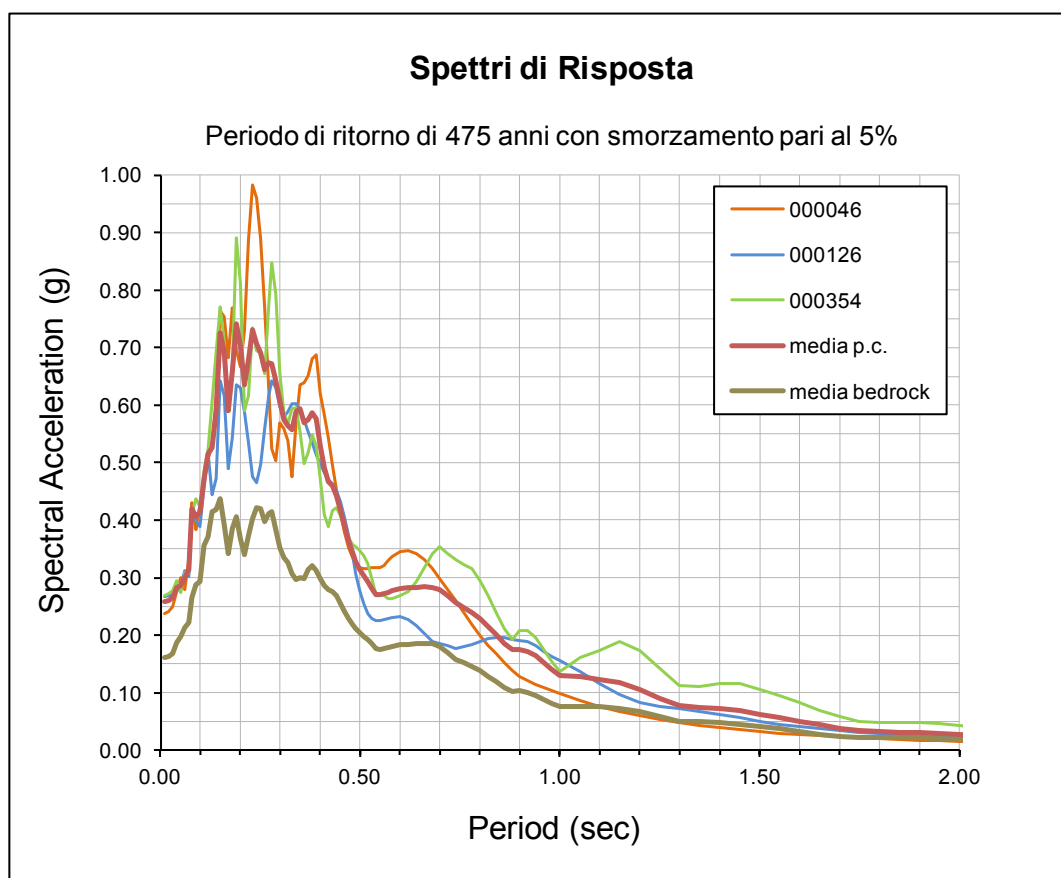




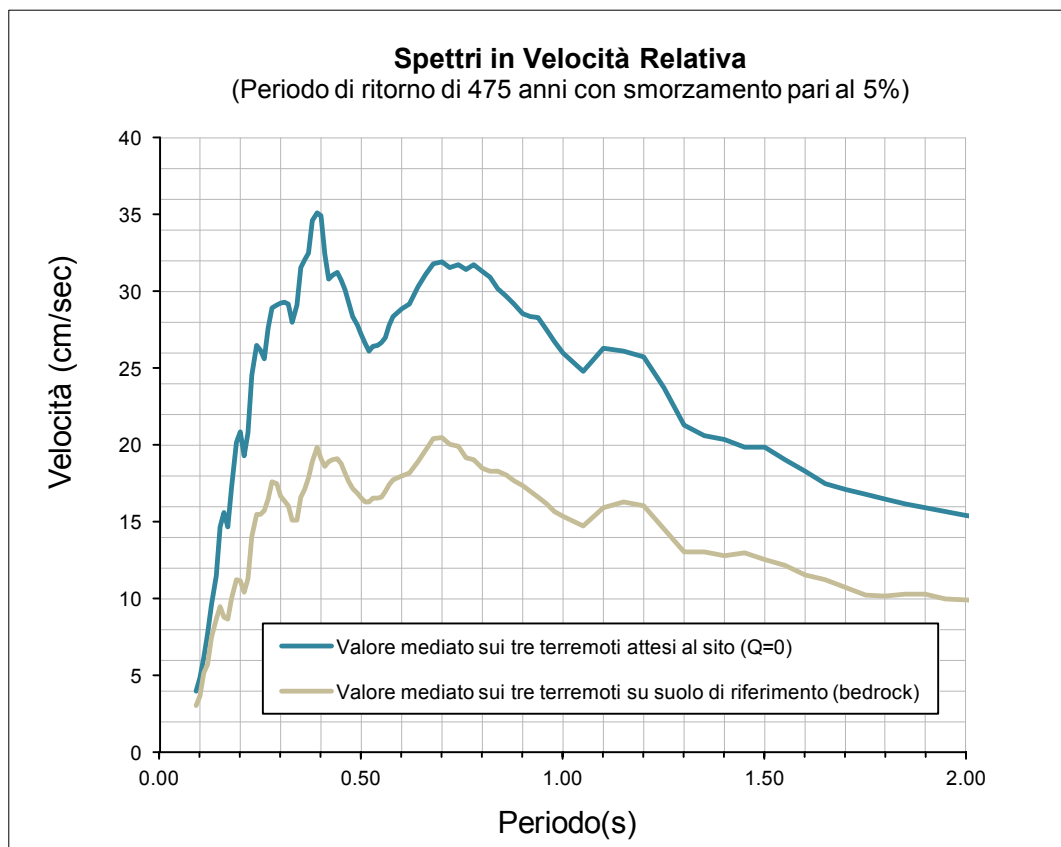
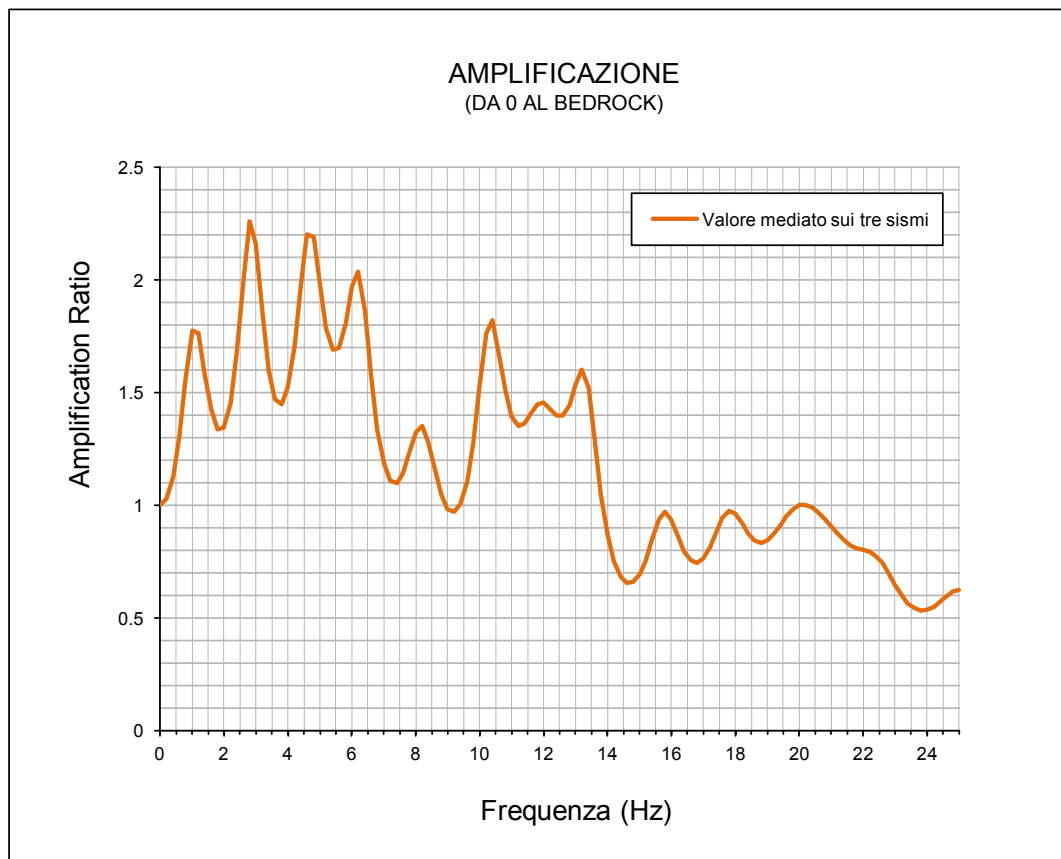
I dati in output (dati in accelerazione, spostamento e velocità e le frequenze di amplificazione) sono stati rielaborati e mediati:

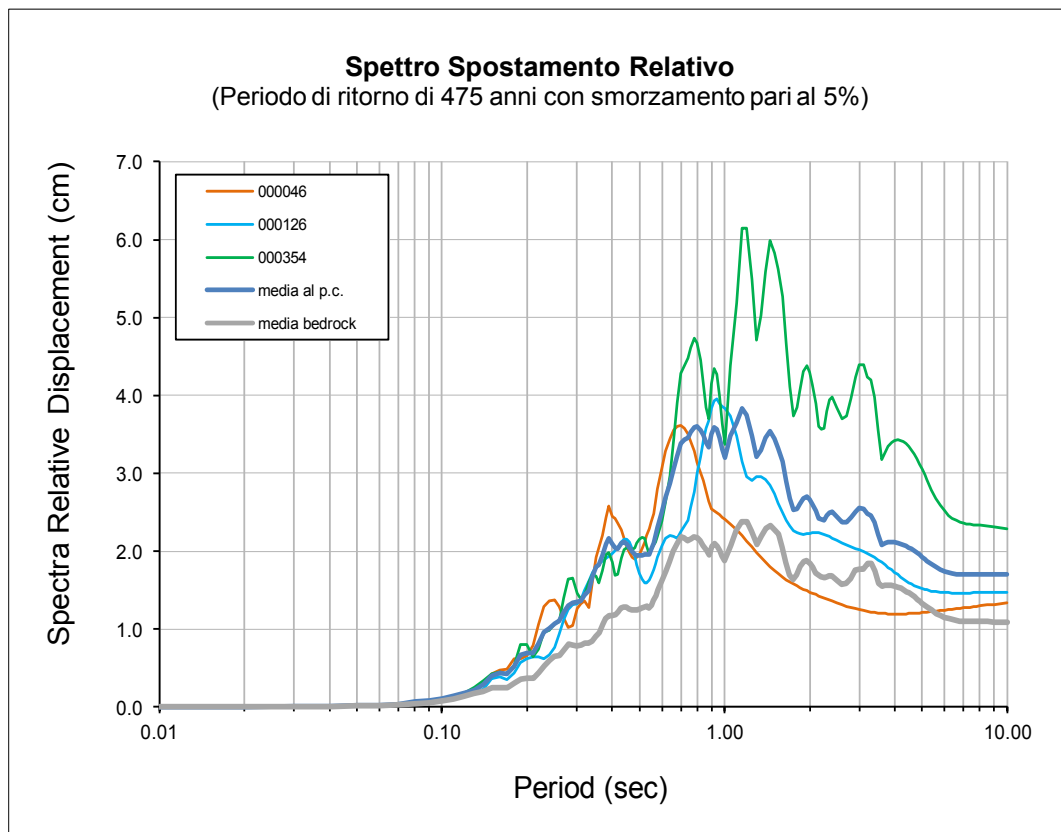
Di seguito vengono riportati i seguenti grafici:

- Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 3 input della regione, e la loro media.
- La funzione di amplificazione locale come rapporto tra l'ampiezza dello spettro al suolo e quello in corrispondenza del bedrock per un valore di smorzamento critico pari al 5%
- Il grafico dello spettro di pseudo velocità relativo ottenuto sempre dalla media delle tre velocità ottenute dalle 3 elaborazioni separate.
- Il grafico dello spettro di spostamento relativo mediato sempre sui 3 output sismici.
- i coefficienti di amplificazione sismica espressi come rapporti degli integrali delle accelerazioni(SA/SAo) e come rapporti degli integrali delle velocità relative (rapporto di Intensità di Housner, SI/SIo), per prefissati intervalli di tempo.









Dagli spettri in accelerazione (primo grafico) si ottiene subito il fattore di amplificazione PGA/PGAo e per integrazione dello spettro in accelerazione, per prefissati periodo di tempo, le nuove amplificazioni richieste dalla delibera regionale DGR 630/2019:

**ACCELERAZIONE MAX. ORIZZ. AL TEMPO T=0**

PGA = 0.258      PGAo = 0.161

**AMPLIFICAZIONI IN ACCELERAZIONE**

FAPGA = PGA/PGAo = **1.60**

**INTEGRALI DEGLI SPETTRI IN ACCELERAZIONE**

SA1 = 226 cm/s      SAo1 = 134 cm/s  
 SA2 = 126 cm/s      SAo2 = 79 cm/s  
 SA3 = 77 cm/s      SAo3 = 46 cm/s  
 SA4 = 164 cm/s      SAo4 = 103 cm/s

**AMPLIFICAZIONI (FA)**

FA1 = SA1/Sao(0.1\_0.5) = **1.68**  
 FA2 = SA2/Sao(0.4\_0.8) = **1.59**  
 FA3 = SA3/Sao(0.7\_1.1) = **1.65**  
 FA4 = SA4/Sao(0.5\_1.5) = **1.59**



Dagli spettri in Pseudo Velocità Relativa (terzo grafico) integrando rispetto al tempo, si ottengono le amplificazione di Housner così come richiesto dalle delibere regionali.

Si noti come a partire dalla delibera regionale DGR 2193/2015 viene aggiunta una nuova amplificazione, cioè il rapporto SI3/SI03 con integrazione della velocità compresa 0.5 e 1.5 secondi:

INTEGRALI DEGLI SPETTRI IN VELOCITA'		AMPLIFICAZIONI DI HOUSNER (FH)	
SI1 = 10.05 cm	SI01 = 5.88 cm	SI1/SI0 (0.1_0.5) = <b>1.71</b>	
SI2 = 14.97 cm	SI02 = 9.19 cm	SI1/SI0 (0.5_1.0) = <b>1.63</b>	
SI3 = 26.57 cm	SI03 = 16.36 cm	SI1/SI0 (0.5_1.5) = <b>1.62</b>	

Infine nella delibera DGR 630/2019 vengono introdotti i nuovi parametri  $H_{SM}$ ,  $H_{0.48}$ ,  $H_{0.711}$ ,  $H_{0.515}$ , ovvero lo scuotimento in accelerazione ( $cm/s^2$ ) atteso al sito per i seguenti intervalli di periodi:  $0.4s \leq T \leq 0.8s$ ,  $0.7s \leq T \leq 1.1s$  e  $0.5s \leq T \leq 1.5s$

SCUOTIMENTI ATTESI AL SITO	
$ASl_{UHS}/0.4s =$	<b>336</b> $cm/s^2$
$HSM_{(0.1_0.5)} =$	<b>566</b> $cm/s^2$
$H1_{(0.4_0.8)} =$	<b>315</b> $cm/s^2$
$H2_{(0.7_1.1)} =$	<b>193</b> $cm/s^2$
$H3_{(0.5_1.5)} =$	<b>411</b> $cm/s^2$

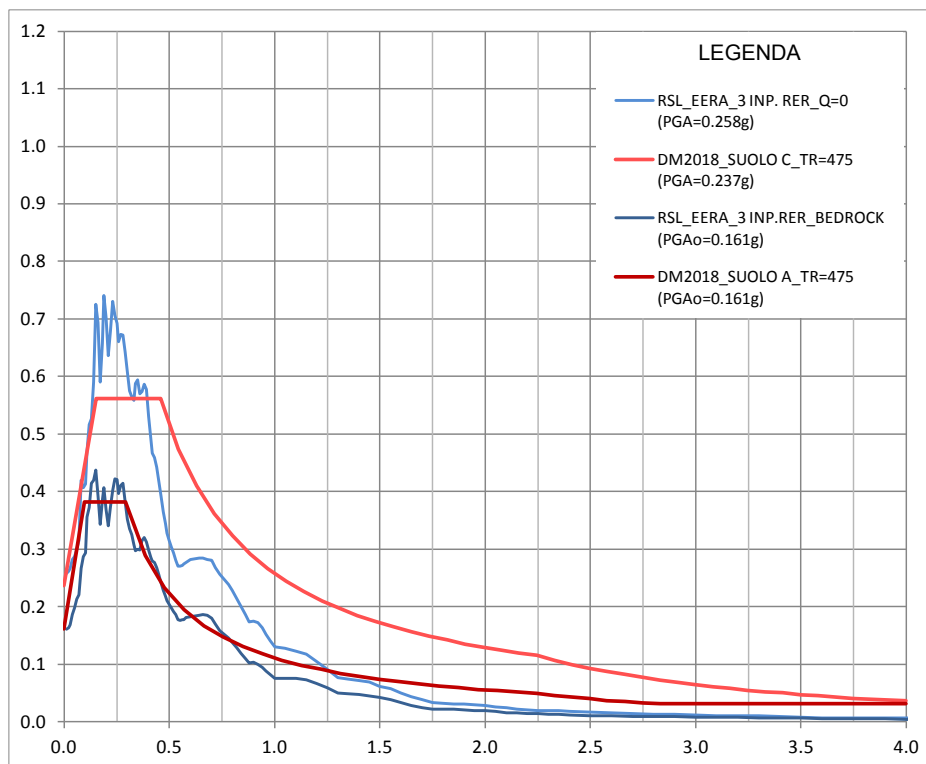
Nel grafico riportato nella pagina seguente, si distingue in blu l'accelerazione spettrale del modello sismico del terreno ricavato con EERA al BedRock e alla quota di progetto ( $Q=0$ ), in rosso gli spettri di accelerazione ricavati con il metodo semplificato, dalle formule riportate nelle norme tecniche per le costruzioni (vedi DM 14/01/2008 e DM 17/03/2018).

Si noti come lo spettro di accelerazione, somma dei 3 spettri ottenuto da EERA (46+126+354), sia sensibilmente maggiore rispetto



agli spettri locali ottenuti dal metodo semplificato delle NTC.

Nel grafico seguente si riporta il confronto fra lo spettro ottenuto con EERA e quelli della normativa semplificata (suolo C).



Per il calcolo dello spettro in accelerazione e delle amplificazioni sismiche, si sono seguite le direttive e le normative RER, utilizzando i 3 input sismici forniti dalla regione.

Visto i tempi di ritorno che è di 475 anni, e viste le scelte progettuali, teoricamente i 3 input regionali potrebbero essere sufficientemente precisi anche per essere utilizzati a scopo ingegneristico, viste le scelte ingegneristiche.

Tuttavia, visto che la normativa nazionale impone l'uso di almeno 7 input sismici per il calcolo della risposta sismica locale (RSL), confronteremo i risultati ottenuti in questa prima fase, con un altro modello sismo-stratigrafico utilizzando il software STRATA ed introducendo in esso 7 input sismici spettro compatibili, scaricati dai database italiani ed internazionali, tramite il software REXEL.



## 2.5.5 Spettri in Accelerazione a fini ingegneristici

### 2.5.5.1 Note sugli Accelerogrammi di Input

I segnali di riferimento forniti dalla RER (disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale), sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica “European Strong Motion Database” attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 5% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati “Italian accelerometric Archive”. Quindi se dobbiamo produrre materiale allo scopo della pianificazione territoriale (mappe di amplificazione, ecc.) o se al limite siamo in presenza di un’opera la cui vita di riferimento e lo stato limite conducono ad un periodo di ritorno di 475 anni, possiamo utilizzare gli input sismici forniti dalla regione, altrimenti bisogna ricorrere ad una procedura un po’ più complessa e a software specifici (REXEL) per la ricerca di input sismici più appropriati (la normativa nazionale impone l’utilizzo di 7 input). In ogni caso è sempre utile confrontare gli input regionali con quelli ricavati ad hoc tramite programmi come REXEL.

### 2.5.5.2 Dati di disaggregazione

L’estrazione degli accelerogrammi di input (tramite software specifici) prevede la determinazione di altri parametri oltre il valore di  $a_g$ : in particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di disaggregazione (come ad esempio la variabilità in termini di magnitudo e distanza), reperibili nel sito dell’Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale.

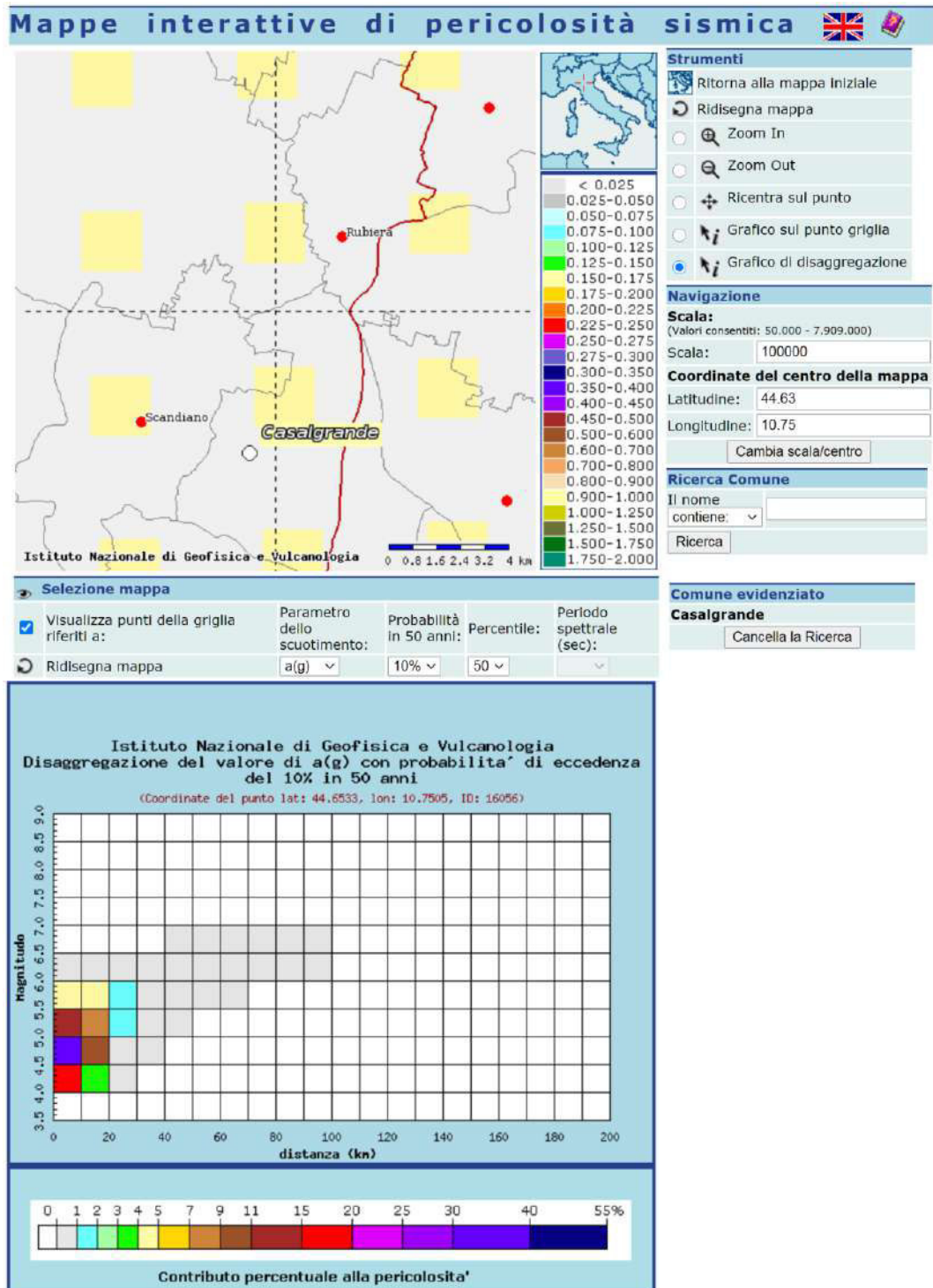
Si accede ad una pagina web in cui va indicato il comune oggetto d’indagine (o le coordinate del sito), la probabilità di accadimento in 50 anni ed il percentile. Si seleziona una probabilità la più vicina al periodo di ritorno relativo al progetto di cui ci dobbiamo occupare. Si ricordi che ai sensi dell’Allegato B delle norme tecniche per le costruzioni, il periodo di ritorno ( $T_r$ ) è legato alla vita di ri-





ferimento ( $V_r$ ) ed alla probabilità di superamento della vita di riferimento ( $P_{vr}$ ) dalla seguente relazione:  $TR = -VR / \ln(1-P_{vr})$

Pertanto, verificato il periodo di ritorno relativo alla scelta di progettazione effettuata, si cerca nel sopraccitato sito INGV qual è il valore di  $P_{vr}$  ( $V_r$  è fissa a 50anni) corrispondente al valore di  $Tr$  (secondo la predetta formula) corrispondente o più simile al periodo di ritorno di progetto. Per tempi di ritorno di 475 anni si trova una corrispondenza esatta nella suddetta mappa.





Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.900	8.560	0.823

Pertanto, per l'opera in progetto si è selezionata la probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 475 anni.

Il range di  $a_g$  indicato nella mappa INGV è confrontabile con quello calcolato con il foglio di calcolo del Consiglio Superiore dei lavori pubblici ( $a_g=0.160$ ).

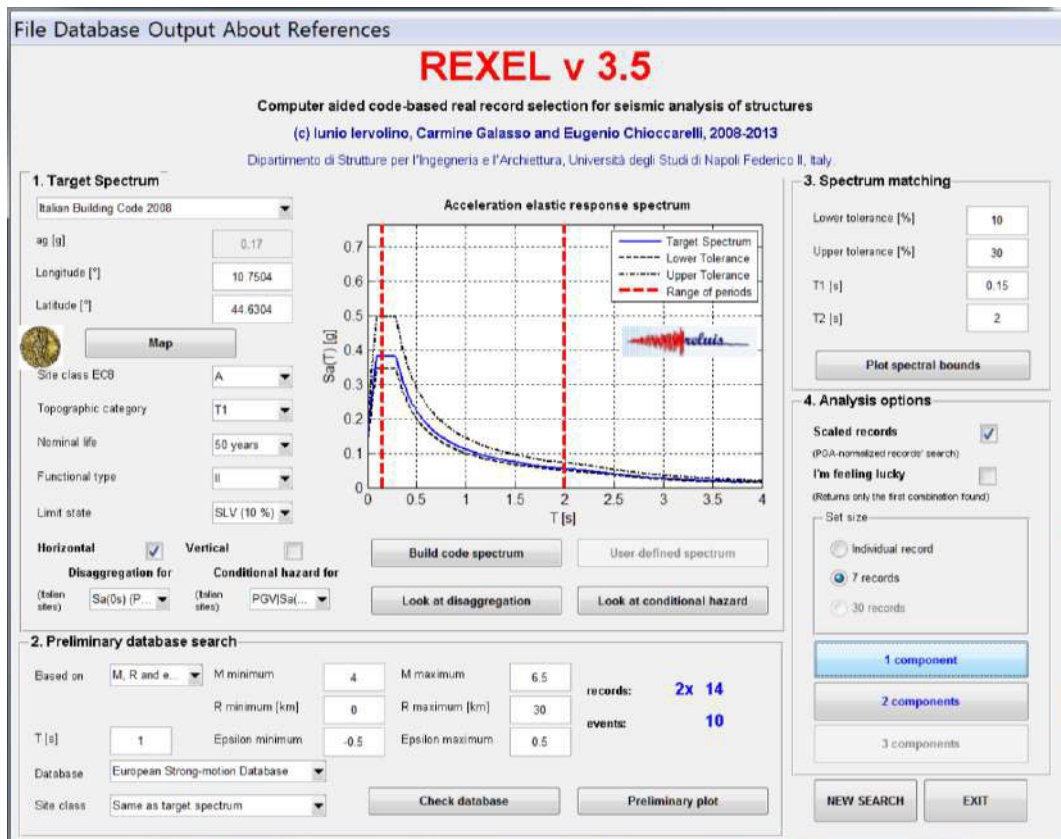
Nelle tabelle seguenti si riporta un riepilogo dei dati necessari alla risposta sismica locale:

RIEPILOGO PARAMETRI SISMICI PER LA RSL	
Coordinate del sito (ED50)	LAT 44.2274
	LONG 10.7752
Parametri Progettazione	Vita Nominale = 50 anni
	Coefficiente d'uso = 1.0
	Stato limite di riferimento = SLV, SLD, SLO
	Tempo di ritorno = 475, 50, 30 anni
Acc. Orizzontale max al sito ( $a_g$ )	$a_g=0.161$ (SLV), $a_g=0.062$ (SLD), $a_g=0.050$ (SLO)
Dati di disaggregazione	Magnitudo $4 < M < 6.5$
	Distanza $0 < R < 20$ (SLV), $0 < R < 30$ (SLV), $0 < R < 40$ (SLO)

Naturalmente il medesimo processo va ripetuto anche per tempi di ritorno più bassi corrispondenti allo SLD e allo SLO.

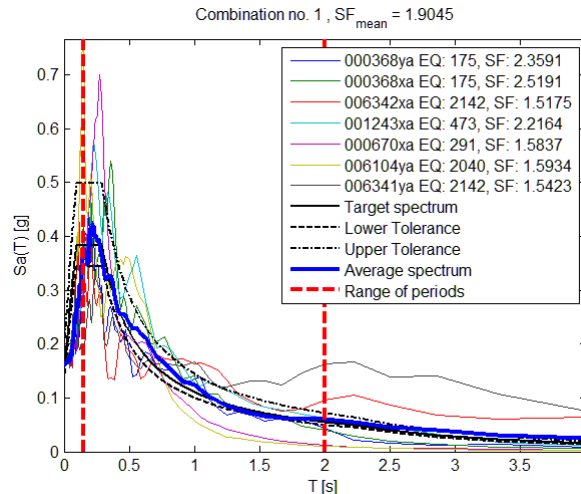
### 2.5.5.3 Estrazione di Accelerogrammi naturali

Il software Rexel (in questo caso si è utilizzata la versione 3.5 beta) permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali per applicazioni ingegneristiche, ma anche di pianificazione territoriale, da più banche dati, quali la banca dati europea ESD (Ambra-seys et al., 2004; [http://www.isesd.hi.is/ESD\\_Local/frameset.htm](http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm)), la banca dati italiana ITACA (Working Group ITACA 2010; <http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet/>) e la banca dati Simbad (Smerzini e Paolucci, 2011; [http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD\\_Database\\_Polimi.pdf](http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD_Database_Polimi.pdf)), mediante una finestra windows abbastanza semplice che si interfaccia all'ambiente MATLAB.



Senza entrare nei dettagli d'uso del programma REXEL è stato possibile, dopo aver immesso le coordinate del sito, la vita nominale e la classe d'uso, i dati di disaggregazione, la banca dati (nazionale od europea) ed altri parametri per lo più di tolleranze e di analisi, l'estrazione di 7 accelerogrammi naturali (nella immagine sopra riportata si sono estratti gli input per lo SLV, si è eseguito il medesimo procedimento anche per lo SLD e per lo SLO). Come esempio, si riportano di seguito i segnali selezionati, per l'area studiata e con tempi di ritorno di  $T_r=475$  anni, dall'European Strong-motion Database.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9
6342	2142	ST2556	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4
1243	473	ST575	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8
670	291	ST238	Umbria Marche (aftershock)	06/10/1997	5.5
6104	2040	ST1370	Kozani (aftershock)	11/06/1995	4.8
6341	2142	ST2497	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4
mean:					5.8



Infine si riporta un grafico allegato ai dati scaricati in REXEL che mostra i set di record trovati.

#### 2.5.5.4 RSL per l'opera in progetto ( $T_r=475$ anni)

Dopo aver scaricato i 7 input sismici con il programma REXEL ed averli caricati nel programma STRATA e dopo aver introdotto lo stesso modello del suolo introdotto in EERA anche in STRATA, rappresentato da strati a differente tessitura, diversi valori delle onde S e del modulo G, si ottiene in output un unico spettro in accelerazione (media geometrica) che può essere comparato, sia con quello della normativa semplificata, che con quello ottenuto con EERA, (in questo caso gli input sono solamente i 3 RER, con  $T_r=475$  anni e con  $a_g=0.161$ ).

Si riporta il modello sismo-stratigrafico introdotto in STRATA:

File Edit Tools Window Help				
General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results				
Site Profile				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.00	Argilla 18	150.00
2	1.00	3.00	Argilla 19	190.00
3	4.00	10.00	Argilla 19	270.00
4	14.00	18.00	Sabbia 20	430.00
5	32.00	9.00	Argilla 19	410.00
6	41.00	12.00	Sabbia 21	550.00
7	53.00	7.00	Argilla 20	450.00
8	60.00	13.00	Sabbia 21	550.00
9	73.00	7.00	Argilla 20	450.00
10	80.00	8.00	Sabbia 21	550.00
11	88.00	5.00	Argilla 20	450.00
12	93.00	7.00	Sabbia 21	550.00
13	100.00	10.00	Argilla 20	450.00
14	110.00	Half-Space	Bedrock	770.00



La schermata dei risultati finali di STRATA: nella tabella lo spettro in accelerazione riferito al suolo 0, con il riassunto degli input sismici utilizzati (in alto a sinistra) e con l'output di ogni singolo spettro in accelerazione, la media e lo scarto quadratico medio.

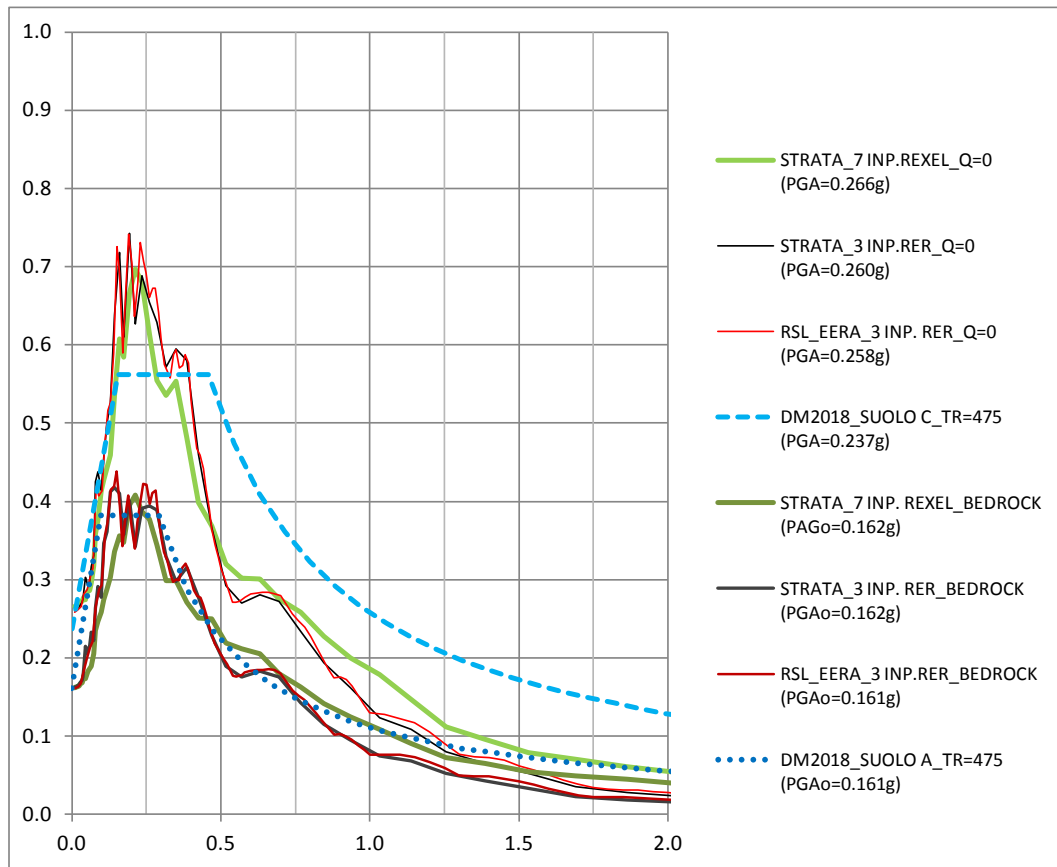
Period (s)	000368ba_rec	000368ba_rec	000577ba_rec	001243va_rec	006104ya_rec	005341ya_rec	006342va_rec	Median	Log Stdev	
1	0.01	0.264401	0.291403	0.276957	0.283258	0.272314	0.235021	0.24213	0.265778	0.0802832
2	0.0110367	0.264472	0.291573	0.277027	0.283318	0.272441	0.235225	0.242295	0.2659	0.0800927
3	0.012181	0.264559	0.291781	0.277114	0.283396	0.272596	0.235455	0.242487	0.266052	0.0799074
4	0.0134438	0.264665	0.292035	0.27722	0.283486	0.272784	0.235758	0.242745	0.266241	0.0796547
5	0.0148376	0.264795	0.292347	0.277349	0.283595	0.273013	0.236132	0.242875	0.266445	0.0794824
6	0.0163759	0.264953	0.29273	0.277505	0.283728	0.273297	0.236594	0.243239	0.266728	0.0791059
7	0.0180736	0.265147	0.293201	0.277695	0.283893	0.273646	0.23717	0.243697	0.267079	0.0786306
8	0.0198474	0.265413	0.293688	0.277924	0.28411	0.274073	0.237893	0.244311	0.267513	0.0779373
9	0.0220154	0.265706	0.294452	0.278175	0.284342	0.274596	0.238802	0.245087	0.26806	0.0774477
10	0.0242978	0.266062	0.295337	0.278517	0.284506	0.275251	0.239844	0.246063	0.26872	0.0762224
11	0.0268169	0.266505	0.296488	0.27893	0.284921	0.27607	0.241395	0.247322	0.269591	0.0748293
12	0.0295971	0.267084	0.29807	0.279426	0.285253	0.277125	0.243479	0.248638	0.270678	0.0732756
13	0.0326655	0.267793	0.300841	0.28008	0.285628	0.278734	0.246437	0.250966	0.272275	0.0708334
14	0.0360521	0.268931	0.303585	0.28181	0.286491	0.280557	0.251352	0.254878	0.274859	0.0689256
15	0.0397897	0.269913	0.305226	0.283104	0.285448	0.280785	0.258177	0.259647	0.277058	0.0588581
16	0.0439149	0.268493	0.307053	0.277176	0.290956	0.279962	0.240246	0.249388	0.274556	0.0773735
17	0.0484677	0.271173	0.311816	0.277984	0.293734	0.286628	0.256574	0.259509	0.280609	0.0628366
18	0.0534926	0.28378	0.320022	0.285182	0.294421	0.290481	0.289668	0.246339	0.286395	0.0776863
19	0.0590384	0.273046	0.323584	0.278798	0.29315	0.285458	0.300088	0.251443	0.285732	0.0790773
20	0.0651591	0.269846	0.318045	0.301117	0.300718	0.288567	0.326209	0.266773	0.295174	0.0764166
21	0.0719144	0.292651	0.33139	0.314649	0.310826	0.330194	0.337342	0.312997	0.318227	0.0488453
22	0.0793701	0.311237	0.34423	0.33635	0.415628	0.40731	0.402241	0.330831	0.358418	0.128213
23	0.0875087	0.295505	0.321997	0.349273	0.423818	0.523223	0.369883	0.396026	0.374683	0.18897
24	0.0966804	0.337305	0.441756	0.326463	0.37904	0.556233	0.383933	0.522371	0.413213	0.207097

Lo spettro riportato nell'esempio come media de 7 spettri elaborati in STRATA è relativo ad un tempo di ritorno  $T_r=475$  anni, per lo SLV: il procedimento è stato quindi ripetuto anche per ricavare gli spettri in accelerazione per lo SLD e lo SLO.

Si riporta nella pagina deguente il confronto fra gli spettri in accelerazione ricavati in EERA e in STRATA utilizzando nel primo caso i 3 input regionali, nel secondo caso i 7 input ricavati da REXEL ed introdotti in STRATA.

Il confronto permette di verificare che i 3 input regionali, con tempo di ritorno fissi di 475 anni, che in genere non sono ritenuti idonei ad un uso ingegneristico (soprattutto quando l'opera richiede tempi di ritorno diversi da 475 anni), in questo caso producono uno spettro in accelerazione che non si discosta molto da quello calcolato con STRATA+7 INPUT REXEL. Infatti lo spettro in accelerazione ottenuto con EERA è solo di poco superiore (picco massimo) a quello ottenuto con STRATA mentre, se come ultima verifica introduciamo in STRATA i 3 input regionali, otteniamo spettri in accelerazione praticamente sovrapponibili.





SUOLO C - TR=475			
a(g)	T(s)	a(g)	T(s)
0.000	0.161	0.000	<b>0.237</b>
0.097	0.382	0.153	0.562
0.291	0.382	0.459	0.562
0.384	0.289	0.544	0.474
0.477	0.233	0.629	0.410
0.570	0.195	0.714	0.361
0.663	0.167	0.799	0.323
0.756	0.147	0.884	0.291
0.849	0.131	0.969	0.266
0.942	0.118	1.054	0.244
1.035	0.107	1.139	0.226
1.128	0.098	1.224	0.210
1.221	0.091	1.309	0.197
1.314	0.084	1.394	0.185

EERA + 3 INPUT RER			
a(g)	T(s)	a(g)	T(s)
0.010	0.161	0.010	<b>0.258</b>
0.020	0.163	0.020	0.261
0.030	0.168	0.030	0.266
0.040	0.186	0.040	0.282
0.050	0.198	0.050	0.287
0.060	0.213	0.060	0.300
0.070	0.221	0.070	0.315
0.080	0.266	0.080	0.420
0.090	0.287	0.090	0.407
0.100	0.293	0.100	0.413
0.110	0.356	0.110	0.470
0.120	0.372	0.120	0.516
0.130	0.415	0.130	0.526
0.140	0.419	0.140	0.590

STRATA + 3 INPUT RER			
a(g)	T(s)	a(g)	T(s)
0.010	0.162	0.010	<b>0.260</b>
0.011	0.162	0.011	0.260
0.012	0.163	0.012	0.260
0.013	0.163	0.013	0.261
0.015	0.163	0.015	0.261
0.016	0.163	0.016	0.261
0.018	0.164	0.018	0.262
0.020	0.164	0.020	0.263
0.022	0.165	0.022	0.264
0.024	0.166	0.024	0.265
0.027	0.167	0.027	0.266
0.030	0.169	0.030	0.268
0.033	0.171	0.033	0.271
0.036	0.176	0.036	0.275

STRATA + 7 INPUT REXEL			
a(g)	T(s)	a(g)	T(s)
0.010	0.162	0.010	<b>0.266</b>
0.011	0.162	0.011	0.266
0.012	0.162	0.012	0.266
0.013	0.162	0.013	0.266
0.015	0.163	0.015	0.266
0.016	0.163	0.016	0.267
0.018	0.163	0.018	0.267
0.020	0.164	0.020	0.267
0.022	0.164	0.022	0.268
0.024	0.165	0.024	0.269
0.027	0.165	0.027	0.270
0.030	0.167	0.030	0.271
0.033	0.168	0.033	0.272
0.036	0.171	0.036	0.275

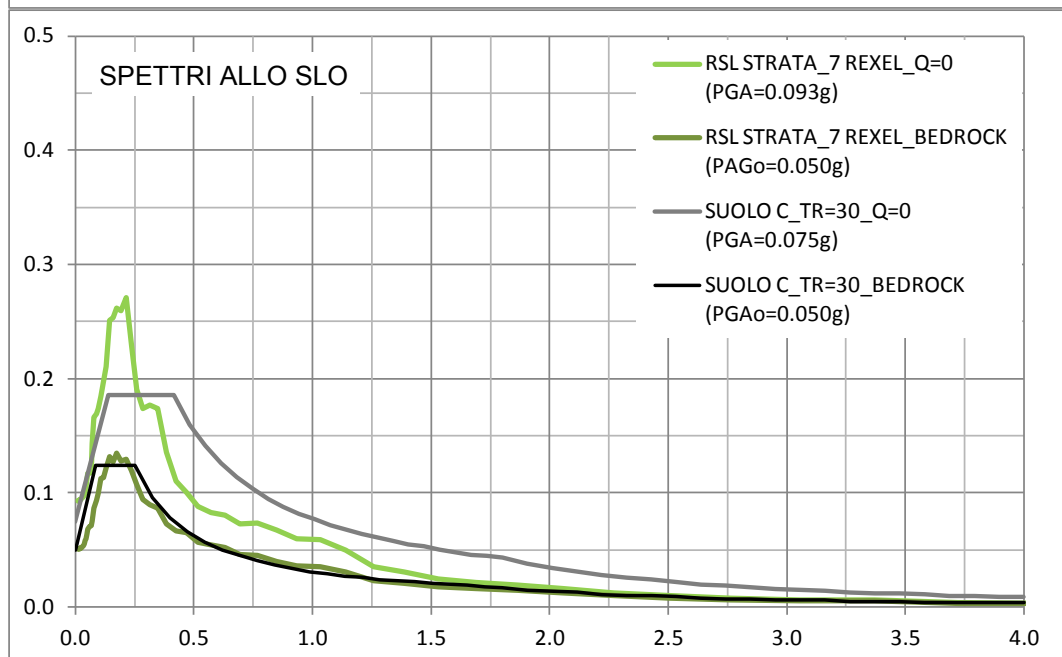
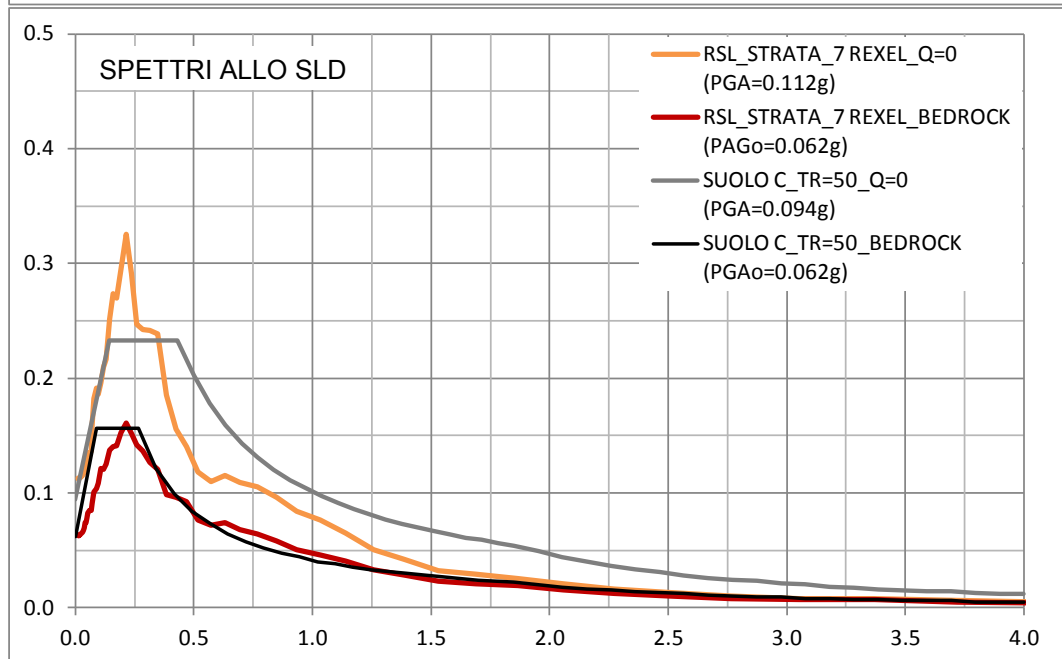
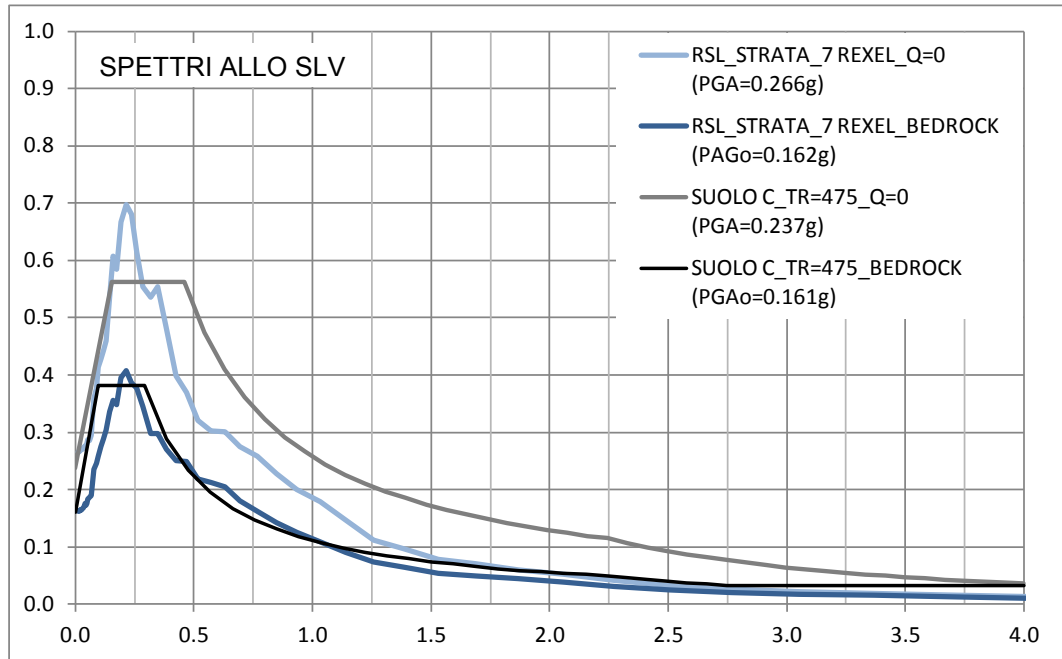
Tornando ai risultati ottenuti con STRATA, con un modello che tiene conto di 7 input sismici, come da normativa nazionale, si fornisce nelle pagine seguenti gli spettri di risposta elastici in accelerazione orizzontale per lo SLV, per lo SLD e per lo SLO.

Sono disponibili sia i formati grafici che tabulari degli spettri in accelerazione e se il progettista lo ritiene opportuno, possono essere forniti i 7 accelerogrammi di output per una eventuale analisi dinamica.



### TABELLE SPETTRI ELASTICI IN ACCELERAZIONE ALLO SLV, SLD, SLO

RSL-TR=475 (7 INPUT REXEL+STRATA)				RSL-TR=50 (7 INPUT REXEL+STRATA)				RSL - TR=30 (7 INPUT REXEL+STRATA)			
BEDROCK		Q=0		BEDROCK		Q=0		BEDROCK		Q=0	
a(g)	T(s)	a(g)	T(s)	a(g)	T(s)	a(g)	T(s)	a(g)	T(s)	a(g)	T(s)
0.0100	<b>0.1621</b>	0.0100	<b>0.2658</b>	0.0100	<b>0.0625</b>	0.0100	<b>0.1123</b>	0.0100	<b>0.0506</b>	0.0100	<b>0.0929</b>
0.0110	0.1622	0.0110	0.2659	0.0110	0.0626	0.0110	0.1124	0.0110	0.0506	0.0110	0.0930
0.0122	0.1623	0.0122	0.2661	0.0122	0.0626	0.0122	0.1125	0.0122	0.0507	0.0122	0.0931
0.0134	0.1625	0.0134	0.2662	0.0134	0.0627	0.0134	0.1126	0.0134	0.0508	0.0134	0.0932
0.0148	0.1627	0.0148	0.2664	0.0148	0.0629	0.0148	0.1127	0.0148	0.0509	0.0148	0.0933
0.0164	0.1629	0.0164	0.2667	0.0164	0.0630	0.0164	0.1129	0.0164	0.0510	0.0164	0.0935
0.0181	0.1632	0.0181	0.2671	0.0181	0.0632	0.0181	0.1131	0.0181	0.0512	0.0181	0.0936
0.0199	0.1635	0.0199	0.2675	0.0199	0.0635	0.0199	0.1134	0.0199	0.0514	0.0199	0.0939
0.0220	0.1640	0.0220	0.2681	0.0220	0.0639	0.0220	0.1137	0.0220	0.0517	0.0220	0.0942
0.0243	0.1647	0.0243	0.2687	0.0243	0.0644	0.0243	0.1142	0.0243	0.0520	0.0243	0.0945
0.0268	0.1655	0.0268	0.2696	0.0268	0.0650	0.0268	0.1147	0.0268	0.0524	0.0268	0.0949
0.0296	0.1666	0.0296	0.2707	0.0296	0.0658	0.0296	0.1154	0.0296	0.0529	0.0296	0.0955
0.0327	0.1683	0.0327	0.2723	0.0327	0.0671	0.0327	0.1165	0.0327	0.0537	0.0327	0.0964
0.0361	0.1712	0.0361	0.2749	0.0361	0.0697	0.0361	0.1180	0.0361	0.0551	0.0361	0.0981
0.0398	0.1760	0.0398	0.2771	0.0398	0.0741	0.0398	0.1220	0.0398	0.0580	0.0398	0.1009
0.0439	0.1734	0.0439	0.2746	0.0439	0.0742	0.0439	0.1236	0.0439	0.0598	0.0439	0.1047
0.0485	0.1762	0.0485	0.2806	0.0485	0.0776	0.0485	0.1330	0.0485	0.0634	0.0485	0.1120
0.0535	0.1830	0.0535	0.2864	0.0535	0.0826	0.0535	0.1350	0.0535	0.0683	0.0535	0.1174
0.0590	0.1857	0.0590	0.2857	0.0590	0.0843	0.0590	0.1333	0.0590	0.0703	0.0590	0.1171
0.0652	0.1893	0.0652	0.2952	0.0652	0.0846	0.0652	0.1363	0.0652	0.0710	0.0652	0.1177
0.0719	0.2054	0.0719	0.3182	0.0719	0.0910	0.0719	0.1591	0.0719	0.0751	0.0719	0.1430
0.0794	0.2348	0.0794	0.3584	0.0794	0.1005	0.0794	0.1821	0.0794	0.0867	0.0794	0.1659
0.0876	0.2461	0.0876	0.3767	0.0876	0.1039	0.0876	0.1910	0.0876	0.0931	0.0876	0.1693
0.0967	0.2582	0.0967	0.4132	0.0967	0.1080	0.0967	0.1858	0.0967	0.0994	0.0967	0.1739
0.1067	0.2744	0.1067	0.4277	0.1067	0.1213	0.1067	0.1961	0.1067	0.1125	0.1067	0.1847
0.1178	0.2884	0.1178	0.4433	0.1178	0.1206	0.1178	0.2096	0.1178	0.1135	0.1178	0.1975
0.1300	0.3034	0.1300	0.4593	0.1300	0.1251	0.1300	0.2165	0.1300	0.1219	0.1300	0.2105
0.1435	0.3360	0.1435	0.5359	0.1435	0.1375	0.1435	0.2516	0.1435	0.1314	0.1435	0.2507
0.1583	0.3564	0.1583	0.6081	0.1583	0.1401	0.1583	0.2734	0.1583	0.1269	0.1583	0.2536
0.1747	0.3475	0.1747	0.5849	0.1747	0.1408	0.1747	0.2701	0.1747	0.1347	0.1747	0.2619
0.1929	0.3956	0.1929	0.6669	0.1929	0.1521	0.1929	0.2951	0.1929	0.1281	0.1929	0.2598
0.2128	0.4081	0.2128	0.6977	0.2128	0.1609	0.2128	0.3254	0.2128	0.1291	0.2128	0.2708
0.2349	0.3869	0.2349	0.6802	0.2349	0.1514	0.2349	0.2914	0.2349	0.1195	0.2349	0.2296
0.2593	0.3774	0.2593	0.6143	0.2593	0.1421	0.2593	0.2468	0.2593	0.1072	0.2593	0.1906
0.2861	0.3447	0.2861	0.5546	0.2861	0.1362	0.2861	0.2424	0.2861	0.0940	0.2861	0.1736
0.3158	0.2983	0.3158	0.5358	0.3158	0.1267	0.3158	0.2414	0.3158	0.0899	0.3158	0.1768
0.3486	0.2982	0.3486	0.5538	0.3486	0.1204	0.3486	0.2387	0.3486	0.0865	0.3486	0.1738
0.3847	0.2709	0.3847	0.4811	0.3847	0.0981	0.3847	0.1849	0.3847	0.0728	0.3847	0.1357
0.4246	0.2503	0.4246	0.3990	0.4246	0.0964	0.4246	0.1557	0.4246	0.0664	0.4246	0.1102
0.4686	0.2496	0.4686	0.3688	0.4686	0.0926	0.4686	0.1405	0.4686	0.0654	0.4686	0.1001
0.5172	0.2190	0.5172	0.3204	0.5172	0.0762	0.5172	0.1182	0.5172	0.0568	0.5172	0.0885
0.5708	0.2119	0.5708	0.3024	0.5708	0.0721	0.5708	0.1100	0.5708	0.0547	0.5708	0.0827
0.6300	0.2054	0.6300	0.3013	0.6300	0.0738	0.6300	0.1153	0.6300	0.0525	0.6300	0.0807
0.6953	0.1800	0.6953	0.2754	0.6953	0.0681	0.6953	0.1089	0.6953	0.0459	0.6953	0.0725
0.7674	0.1625	0.7674	0.2582	0.7674	0.0643	0.7674	0.1054	0.7674	0.0452	0.7674	0.0738
0.8469	0.1419	0.8469	0.2276	0.8469	0.0583	0.8469	0.0964	0.8469	0.0397	0.8469	0.0671
0.9347	0.1247	0.9347	0.1996	0.9347	0.0506	0.9347	0.0836	0.9347	0.0363	0.9347	0.0600
1.0316	0.1086	1.0316	0.1788	1.0316	0.0462	1.0316	0.0761	1.0316	0.0355	1.0316	0.0591
1.1386	0.0900	1.1386	0.1465	1.1386	0.0404	1.1386	0.0650	1.1386	0.0309	1.1386	0.0498
1.2566	0.0729	1.2566	0.1114	1.2566	0.0326	1.2566	0.0501	1.2566	0.0232	1.2566	0.0356
1.3869	0.0646	1.3869	0.0962	1.3869	0.0281	1.3869	0.0417	1.3869	0.0208	1.3869	0.0305
1.5307	0.0544	1.5307	0.0786	1.5307	0.0228	1.5307	0.0325	1.5307	0.0177	1.5307	0.0245
1.6894	0.0495	1.6894	0.0699	1.6894	0.0208	1.6894	0.0288	1.6894	0.0160	1.6894	0.0217
1.8645	0.0450	1.8645	0.0604	1.8645	0.0190	1.8645	0.0250	1.8645	0.0148	1.8645	0.0191
2.0578	0.0385	2.0578	0.0528	2.0578	0.0152	2.0578	0.0208	2.0578	0.0126	2.0578	0.0163
2.2711	0.0306	2.2711	0.0419	2.2711	0.0120	2.2711	0.0163	2.2711	0.0099	2.2711	0.0127
2.5066	0.0246	2.5066	0.0324	2.5066	0.0102	2.5066	0.0131	2.5066	0.0079	2.5066	0.0100
2.7665	0.0202	2.7665	0.0260	2.7665	0.0081	2.7665	0.0100	2.7665	0.0061	2.7665	0.0076
3.0533	0.0173	3.0533	0.0214	3.0533	0.0069	3.0533	0.0081	3.0533	0.0057	3.0533	0.0065
3.3698	0.0157	3.3698	0.0189	3.3698	0.0070	3.3698	0.0079	3.3698	0.0053	3.3698	0.0059
3.7192	0.0121	3.7192	0.0149	3.7192	0.0049	3.7192	0.0059	3.7192	0.0034	3.7192	0.0040
4.1048	0.0099	4.1048	0.0121	4.1048	0.0042	4.1048	0.0049	4.1048	0.0029	4.1048	0.0034
4.5303	0.0065	4.5303	0.0081	4.5303	0.0026	4.5303	0.0032	4.5303	0.0018	4.5303	0.0022
5.0000	0.0046	5.0000	0.0059	5.0000	0.0019	5.0000	0.0024	5.0000	0.0013	5.0000	0.0016





## 3. RELAZIONE GEOTECNICA

### 3.1. DATI DI PROGETTO

#### 3.1.1 Opera in progetto

Il progetto riguarda la ricostruzione del ponte sul *Torrente Tresinaro* presso le località *S.Donnino di Liguria* in comune di Casalgrande e Corticella in comune di Reggio Emilia.

L'ubicazione della nuova struttura viene riportata nelle tavole 8 e 9, rispettivamente alle pagine 10 e 11 della relazione geologica, dove vengono evidenziate anche le prove geognostiche eseguite in sito (1 sondaggio S1, 1 CPTU, 1 prospezione MASW ed infine 2 prove a sismica passiva HVSR).

Dalle indagini svolte risulta un terreno costituito per i primi 6/7 m di limi con qualche livello sabbioso, quindi fra -7 e -14 m dal p.c. si hanno argille, quindi, oltre i -14 m, sabbie con ghiaie.

#### 3.1.2 Parametri Caratteristici

Seguono le tabelle riassuntive dei parametri geotecnici ricavati dalla elaborazione della prova penetrometrica statica CPTU-1:

I dati sono stati rielaborati al 5° percentile di distribuzione della media così da ottenere i valori caratteristici ( $X_k$ ).

Il valori di progetto ( $X_d$ ) vengono ricavati da quelli caratteristici secondo il DM 17/01/2018 (vedi tabella 6.2.II).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

I dati sono stati elaborati per grandi superfici, come accade nel caso di fondazioni superficiali.

Per le tabelle complete, i grafici e i tabulati si veda l'allegato B.

Nella pagina seguente verranno riportati i parametri caratteristici  $C_u$ ,  $\phi$ , ed i parametri di compressibilità:



TABELLA STATISTICA 5° PERCENTILE ( $\phi$ ,  $\phi$ ) - PROVA PENETROMETRICA CPT-01  
(Valori Caratteristici e di Progetto per grandi superfici)

COMMITTENTE:	AMM COMUNALE			DATA:	01/07/2020						
COMUNE:	CASALGRANDE			H <sub>2</sub> O:	- 1 m						
LOCALITA' :	S.DONNINO (CASALGRANDE)			PENETROMETRO STATICO CPT							
PENETROMETRO STATICO				Natura granulare ( $\phi$ )				Natura Coesiva (Cu)			
H	Qc	IC	FC	$\phi_m$	Num Dat (DevSt)	$\phi_k$	$\phi_d$	C <sub>um</sub>	Num Dat (DevSt)	C <sub>uk</sub>	C <sub>ud</sub>
[m]	[MPa]	-	%	[°]		[°]	[°]	[KPa]		[KPa]	[KPa]
0.2 - 2.0	8.2	2.0	14	33.5	7 (2.0)	31.9	26.4				
2.2 - 6.0	5.3	2.4	26	27.7	20 (2.9)	26.6	21.8	133	2 (6.7)	99	71
6.2 - 7.0	2.8	2.8	44	23.2	5 (0.8)	22.4	18.2	128	4 (6.5)	104	74
7.2 - 14.4	1.7	3.1	66					78	37 (24.3)	72	51
14.6 - 14.6	6.1	2.2	20	23.9	1.0	21.9	17.8				

$\phi_m$ = Dato medio dell'angolo di attrito interno dello strato
$\phi_k$ = Valore caratteristico dell'angolo di attrito (5° percentile di distribuzione della media)
$\phi_d$ = Valore di progetto dell'angolo di attrito interno del terreno
C <sub>um</sub> = Dato medio della coesione non drenata
C <sub>uk</sub> = Valore caratteristico della coesione non drenata (5° percentile di distribuzione della media)
C <sub>ud</sub> = Valore di progetto della coesione non drenata

TABELLA STATISTICA 5° PERCENTILE (M<sub>o</sub>, E<sub>d</sub>) - PROVA PENETROMETRICA CPT-01  
(valori caratteristici e di progetto)

COMMITTENTE:	AMM COMUNALE			DATA:	01/07/2020						
COMUNE:	CASALGRANDE			H <sub>2</sub> O:	- 1 m						
LOCALITA' :	S.DONNINO (CASALGRANDE)			PENETROMETRO STATICO CPT							
PENETROMETRO STATICO				Natura granulare ( $\phi$ )				Natura Coesiva (Cu)			
H	Qc	IC	FC	M <sub>om</sub>	Num Dat (DevSt)	M <sub>ok</sub>	M <sub>od</sub>	E <sub>d</sub>	Num Dat (DevSt)	E <sub>dk</sub>	E <sub>dd</sub>
[m]	[MPa]	-	%	[KPa]		[KPa]	[KPa]	[KPa]		[KPa]	[KPa]
0.2 - 2.0	8.2	2.0	14	31889	7 (10499.3)	23560	23560				
2.2 - 6.0	5.3	2.4	26	21038	20 (9714.9)	17184	17184	9718	2 (321.3)	7236	7236
6.2 - 7.0	2.8	2.8	44	11136	5 (1373.3)	9260	9260	9740	4 (370.8)	7922	7922
7.2 - 14.4	1.7	3.1	66					6565	37 (1993.7)	6004	6004
14.6 - 14.6	6.1	2.2	20	24556	1.0	15890	15890				

M <sub>om</sub> = Media del Modulo Confinato
M <sub>ok</sub> = Valore Caratteristico del Modulo Confinato (5° percentile di distribuzione della media)
M <sub>od</sub> = Valore di Progetto del Modulo Confinato
E <sub>d</sub> = Media del Modulo Edometrico
E <sub>dk</sub> = Valore Caratteristico del Modulo Edometrico (5° percentile di distribuzione della media)
E <sub>dd</sub> = Valore di Progetto del Modulo Edometrico





Per altri dati, elaborazioni e tabelle relative alle caratteristiche del terreno ricavate dalle prove penetrometriche statiche ed in particolare alla prova CPT-1 si rimanda all'allegato A.

Infine, nella tabella sottostante, si riportano le formule utilizzate per l'elaborazione statistica dei dati nominali da quali si sono ricavati i parametri caratteristici.

N=1	Piccole	Cu	$X_k = \text{inv.norm}(0.05; M; M \cdot \text{Cov} \cdot 0.88)$	$X_k = \text{valore caratteristico}; M = \text{valore medio}; \text{Cov} = 0.25 \text{ (Coeff. di variazione)}$
		$\phi$	$X_k = \text{inv.norm}(0.05, M, M \cdot \text{Cov})$	$X_k = \text{valore caratteristico}; M = \text{valore medio}; \text{Cov} = 0.07 \text{ (Coeff. di variazione)}$
	Grandi	Cu	$X_k = \text{inv.norm}(0.05; M; M \cdot \text{Cov} \cdot 0.88)$	$X_k = \text{valore caratteristico}; M = \text{valore medio}; \text{Cov} = 0.25 \text{ (Coeff. di variazione)}$
		$\phi$	$X_k = \text{inv.norm}(0.05, M, M \cdot \text{Cov})$	$X_k = \text{valore caratteristico}; M = \text{valore medio}; \text{Cov} = 0.05 \text{ (Coeff. di variazione)}$
N ≤ 5	Piccoli vol.	Cu	$X_k = \text{inv.lognorm}(0.05, Y, S)$	$Y = \text{Ln}(M) - (S^2 / 2); S = \text{Ln}(1 + [(C_1 \cdot M)^2 / M])^{0.5}; C_1 = 0.25 \text{ (Coefficiente di variazione)}$
		$\phi$	$X_k = M - 1.645 \cdot \sigma$	$X_k = \text{valore caratteristico}; M = \text{valore medio}; \sigma = \text{deviazione standard}$
	Grandi vol.	Cu	$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$	$Y = \text{Ln}(M) - (S^2 / 2); S = \text{Ln}(1 + [(C_1 \cdot M)^2 / M])^{0.5}; C_1 = 0.25 \text{ (coeff variaz.); } n = \text{numero camp.}$
		$\phi$	$X_k = M - 1.645 \cdot \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$	$X_k = \text{valore caratteristico}; M = \text{valore med}; \sigma = \text{Dev. Stand. Popolaz.}; n = \text{num camp}$
N > 5	Piccoli vol.	Cu	$X_k = \text{inv.lognorm} [\text{Prob}; \text{Ln}(X) - 0.5 \cdot \text{Ln}(1 + \sigma^2 / M^2); \text{Ln}(1 + \sigma^2 / M^2)^{0.5}]$	Distribuzione LogNormale; Prob=0.05% M = Media dati; $\sigma$ = Deviazione Standard
		$\phi$	$X_k = \text{inv.norm} (\text{Prob}; M; \sigma)$	Distribuzione Normale. Prob=0.05%; M = Media dati; $\sigma$ = Deviazione Standard
	Grandi vol.	Cu	$X_k = M - t(n-1) \cdot \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \right)$	M = Media; $\sigma$ = Deviazione Standard; $t(n-1)$ = Student 2 code = INV.T(probabilità; gradi_libertà) = INV.T(0.1; (n-1))
		$\phi$	Media della Popolazione	

Queste formule e i relativi metodi di elaborazione dei dati sono state illustrate dal dott. Luca Nori durante i corsi di aggiornamento professionale organizzati dalla Regione Emilia Romagna.

### STRATIGRAFIA SUPERFICIALE DA CPTU (Da 0 a -14 m)

Visto l'esito della elaborazione della prova penetrometrica statica CPTU-1, ed esaminate anche le elaborazioni delle altre prove eseguite in sito, si possono fornire le seguenti unità stratigrafiche comprese nel primo strato coesivo, fino a -14 m dal p.c.:



### **UNITA' A: da 0.0 a -2.0 m dal p.c. (SL, Sabbie e sabbie limose)**

$$\phi'_k = 31^\circ; \quad C'_K \sim 0-5 \text{ KPa (presunto);}$$

### **UNITA' B: da -2 a -6 m dal p.c. (LS, limi e limi sabbiosi)**

$$C_{u_k} = 100 \text{ KPa}; \quad E_{d_k} = 7200 \text{ KPa}; \\ \phi'_k = 26^\circ; \quad C'_K \sim 0-10 \text{ KPa (presunto);}$$

### **UNITA' C: da -6 m a -7 m dal p.c. (AL, Argille Limose)**

$$C_{u_k} = 100 \text{ KPa}; \quad E_{d_k} = 7900 \text{ KPa}; \\ \phi'_k = 22^\circ; \quad C'_K \sim 5-10 \text{ KPa (presunto);}$$

### **UNITA' D: da -7 m a -14 m dal p.c. (A, Argille e Argille Limose)**

$$C_{u_k} = 70 \text{ KPa}; \quad E_{d_k} = 6000 \text{ KPa}; \\ \phi'_k = 20^\circ; \quad C'_K \sim 5-10 \text{ KPa (presunto);}$$

Per i dettagli sulla stratigrafia dell'area si rimanda alle tavole 10 e 11 alle pagine 12 e 13. Nella Tavola 10 a pagina 12 la stratigrafia riportata tiene conto anche del sondaggio S1, mentre la tabella a pagina 13 riporta anche i parametri di laboratorio e le Nspt in foro.

## **3.2 VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE**

### **3.2.1 Generalità**

Vengono descritti di seguito i principali metodi per il calcolo della suscettibilità a liquefazione dei terreni sabbiosi saturi.

Tali metodi fanno parte dei metodi semplificati che si basano su risultati di prove in situ quali sono le prove penetrometriche statiche, dinamiche o le prove sismiche a rifrazione. In particolare prendere qui in esame i metodi basati sulle prove penetrometriche statiche. Il fattore di sicurezza,  $F_s$  nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è per definizione il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica CRR (Cyclic Resistance Ratio), e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica CSR.



$$\text{Si ha dunque: } F_s = \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}}$$

La stima del fattore di sicurezza  $F_s$  passa attraverso la valutazione delle due quantità CSR e CRR.

### 3.2.2 Domanda di Resistenza alla liquefazione (CSR).

Il carico sismico, CSR, dipende dalla magnitudo  $M$  e dalla massima accelerazione in superficie,  $a_{max}$ .

Per una magnitudo  $M=7.5$  CSR è espresso dalla seguente relazione:

$$\text{CSR} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{\text{MSF } K_\sigma}$$

Essendo:

- $a_{max}$  picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto
- $g$  accelerazione di gravità
- $\sigma_{v0}$  e  $\sigma'_{v0}$  tensione verticale geostatica totale ed efficace
- $r_d$  coefficiente riduttivo delle tensioni
- MSF fattore di scala per la magnitudo
- $K_\sigma$  f attore correttivo per il sovraccarico (metodi di Idriss e Boulanger 2014 per prove CPT)

*Coefficiente riduttivo delle tensioni  $r_d$*

Metodo di: **Eurocodice 8, Robertson e Wride (1997)**

$$\begin{aligned} r_d &= 1.0 - 0.00765z & z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d &= 1.174 - 0.0267z & 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0.774 - 0.008z & 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0.5 & z > 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Metodo di: **Idriss Boulanger (2004), Idriss Boulanger (2014)**

$$r_d = e^{\alpha(z)+\beta(z)M}$$

con:

$$\begin{aligned} \alpha(z) &= -1.012 - 1.126 \text{sen} \left( \frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \\ \beta(z) &= 0.106 + 0.118 \text{sen} \left( \frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \end{aligned}$$



### *Fattore di scala per la magnitudo*

Per terremoti con magnitudo diversa da 7.5 si applica un fattore correttivo *MSF*. Le equazioni utilizzate, da diversi metodi, per il calcolo di *MSF* vengono di seguito riportate.

Metodo di: **Idriss e Boulanger (2004)**

$$\begin{aligned} MSF &= 6.9e^{\frac{-M}{4}} - 0.058 && \text{per } M > 5.2 \\ MSF &= 1.8 && \text{per } M \leq 5.2 \end{aligned}$$

Metodo di: **Monaco e Marchetti (2005), Robertson e Wride (1997)**

$$\begin{aligned} MSF &= \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-3.3} && \text{per } M \leq 7.5 \\ MSF &= \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} && \text{per } M > 7.5 \end{aligned}$$

Metodo di: **Idriss e Boulanger (2014)**

$$\begin{aligned} MSF &= 1 + (MSF_{\max} - 1) \left(8.64e^{\frac{-M}{4}} - 1.325\right) \\ MSF_{\max} &= 1.09 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{180}\right)^3 \leq 2.2 && \text{Per prova CPT} \end{aligned}$$

### Fattore di correzione per sovraccarico

L'equazione utilizzata per il calcolo di  $K_{\sigma}$  viene di seguito riportata:

**Prova CPT**

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) \leq 1.1$$

con:

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 0.3$$

## 3.2.3 Resistenza alla liquefazione (CRR) da prove CPT

Metodo: **Robertson e Wride (1997)**

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove penetrometriche statiche viene stimata dagli autori con la seguente espressione:



$$\begin{aligned} \text{CRR} &= 0.883 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 && \text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50 \\ \text{CRR} &= 93 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 && \text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160 \end{aligned}$$

La grandezza  $(Q_{c1N})_{cs}$  rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

dove:

$$K_c = 1 \quad I_c \leq 1.64$$

$$\begin{aligned} K_c &= -0.403I_c^4 + 5.58I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 \\ I_c &> 1.64 \end{aligned}$$

$$q_{c1N} = C_Q \left( \frac{q_c}{P_a} \right)$$

con:

$$C_Q = \left( \frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n$$

Il coeff.  $I_c$  (indice di comportamento) si calcola con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q - 3.47)^2}$$

con:

$$Q = \left( \frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left( \frac{P_a}{\sigma_{v0}} \right)^n \qquad F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100\%$$

dove:

$q_c$  è resistenza alla punta misurata durante la prova CPT  
 $f_s$  è l'attrito laterale specifico misurato durante la prova CPT  
 $\sigma_{v0}$  è la pressione verticale totale  
 $\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale efficace

L'esponente  $n$  assume inizialmente il valore unitario.

Se  $I_c \geq 2.6$  si conferma il valore  $n=1$  altrimenti si calcola  $q_{c1N}$  con la relazione scritta sopra e si ricalcola  $I_c$  con la relazione:





$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log q_{c1N} - 3.47)^2}$$

Se  $I_c > 2.6$  si ricalcola  $q_{c1n}$ , utilizzando  $n=0.75$  altrimenti si conferma il valore  $n=0.5$ .

Metodo: **Idriss e Boulanger (2004)**

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) viene stimata attraverso la seguente espressione:

$$CRR = e^{\left[ \frac{q_{c1N}}{540} + \left( \frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]}$$

dove:

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

$$C_Q = \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{1.338 - 0.294(q_{c1N})^{0.264}}$$

Tale curva è utilizzabile anche per materiali con frazione fina non trascurabile. In tal caso la resistenza penetrometrica normalizzata,  $q_{c1N}$ , deve essere ricondotta ad un valore equivalente per sabbie pulite  $(q_{c1N})_{cs}$  ad esempio mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

Il fattore correttivo  $K_c$  è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 22.63I_c^2 + 5.58I_c^3 - 0.403I_c^4 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

Il parametro di comportamento del terreno,  $I_c$ , da inserire è una funzione della resistenza alla punta,  $q_c$ , e della resistenza laterale del manicotto,  $f_s$ , misurate nelle prove CPT. In particolare:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log q_{c1N} - 3.47)^2}$$

con

$$Q = \frac{(q_c - \sigma_{v0})}{P_a} \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

resistenza penetrometrica normalizzata, e



$$F = \left( \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \right) 100\%$$

resistenza laterale normalizzata.

L'esponente n varia tra 0.5 per le sabbie pulite ed 1.0 per materiali di tipo argilloso.

Metodo: **Idriss e Boulanger (2014)**

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) viene stimata attraverso la seguente espressione:

$$CRR = e^{\left[ \frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.8 \right]}$$

dove:

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad q_{c1N} = C_N \frac{q_c}{P_a}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left( 11,9 + \frac{q_{c1N}}{14,6} \right) e^{1,63 - \frac{9,7}{FC+2} - \left( \frac{15,7}{FC+2} \right)^2} \quad C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1,338 - 0,249(q_{c1Ncs})^{0,264}} \leq 1,7$$

FC è la frazione di fine. Questa può essere stimata con la formula:

$$FC = 80(I_c + C_{FC}) - 137 \quad 0\% \leq FC \leq 100\%$$

con  $I_c$  indice di comportamento che può essere stimato con la procedura di Robertson e Wride (1997).

Il coeff.  $I_c$  (indice di comportamento) si calcola con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q - 3.47)^2}$$

con:

$$Q = \left( \frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100\%$$

dove:

$q_c$  è resistenza alla punta misurata durante la prova CPT

$f_s$  è l'attrito laterale specifico misurato durante la prova CPT

$\sigma_{v0}$  è la pressione verticale totale

$\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale efficace

L'esponente n assume inizialmente il valore unitario.

Se  $I_c \geq 2.6$  si conferma il valore  $n=1$  altrimenti si calcola  $q_{c1N}$  con la relazione scritta sopra e si ricalcola  $I_c$  con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log q_{c1N} - 3.47)^2}$$

Se  $I_c > 2.6$  si ricalcola  $q_{c1N}$ , utilizzando  $n=0.75$  altrimenti si conferma il valore  $n=0.5$ .



### 3.2.4 Indice del Potenziale di Liquefazione

Un indice rappresentativo del rischio di liquefazione, applicabile ai metodi che precedono il calcolo del fattore di sicurezza è l'indice del potenziale di liquefazione.

IL calcolo dell'Indice di Liquefazione è stato eseguito con il metodo di Sonmez (2003).

$$I_L = \int_{z=0}^{20} F(z)w(z)dz$$

dove:

$$F(z) = 1 - FS \quad FS < 0.95$$

$$F(z) = 2 \cdot 10^{-6} e^{-18.427FS} \quad 0.95 \leq FS < 1.2$$

$$F(z) = 0 \quad FS \geq 1.2$$

$$w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \left(1.0 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Il potenziale della propensione alla liquefazione è infine definito come nella seguente tabella:

Indice di Liquefazione ( $I_L$ )	Potenziale di Liquefazione
$I_L = 0$	Nulla (Non liquefacibile)
$0 < I_L \leq 2$	Basso
$2 < I_L \leq 5$	Moderato
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$I_L > 15$	Molto alto



### 3.2.5 Calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione

Si riporta il quadro conclusivo del potenziale di liquefazione per la verticale di indagine della prova penetrometrica statica CPTU, secondo le teorie dei maggiori studiosi (Robertson e Wride, 1978; Idriss & Boulanger, 2004; Idriss & Boulanger, 2014), così come consigliato nella DAL RER 112/2007, DGR RER 2193/2015 e DGR RER 630/2019.

Robertson & Wride	(1978):	IL = 0.006	(BASSO)
Idriss & Boulanger	(2004):	IL = 0.363	(BASSO)
Idriss & Boulanger	(2014):	IL = 3.953	(MODERATO)

Ricordiamo che i parametri di input sismici, per i calcoli della suscettibilità alla liquefazione, sono stati i seguenti:

Mw	= 6.14	(Carta delle Zone sismo-genetiche)
ag <sub>max</sub>	= 0.266	(Calcolato con la RSL)

In conclusione, per l'area in questione, si può verificare un rischio alla liquefazione da basso a moderato con potenziale di liquefazione che non supera mai il valore di 5 (vedi tabella di Sonmez della pagina precedente).

Si vuole sottolineare che, a favore della sicurezza, è stata considerata la falda ad una profondità di -1 m dal p.c. poiché a tale profondità sono state rinvenute tracce di acqua nella prova CPTU: tuttavia nella cartografia ufficiale la falda principale viene collocata più in profondità in corrispondenza del primo livello ghiaioso, come viene confermato dalla misura piezometrica eseguita nel foro del sondaggio S1 che la pone a circa -14 m dal p.c.

Le curve della soggiacenza della falda riportate nella *Carta Idrogeologica* (TAV.B1.3 del PSC di Casalgrande) confermano la presenza della falda a profondità maggiori di -10 m dal p.c.

### 3.3 QUADRO CONCLUSIVO

Esaminato l'insieme delle prove seguite nell'area si fornisce il seguente quadro geologico e stratigrafico:

1) Il sito presenta uno spessore di depositi superficiali prevalentemente limo-argillosi dalle discrete caratteristiche meccaniche: ta-



li depositi mostrano uno spessore di circa 14 m: il sondaggio a carotaggio continuo S1 mostra spessi banchi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi a partire da -14 fino a -30 m dal p.c.;

2) L'interpretazione sismo-stratigrafica è stata ricostruita fino a 30 metri tramite le prove geognostiche (1 MASW, 2 registrazioni sismiche HVSR, 1 sondaggio a carotaggio, 1 prova penetrometrica statica: lo studio di pozzi e sezioni geotecniche nel database regionale ha permesso invece di ricostruire la stratigrafia anche in profondità, fino a raggiungere il badrock sismico;

3) Durante l'esecuzione della prova CPTU sono state intercettate tracce di acqua in superficie, ma la falda è stata misurata nel sondaggio ad una profondità di -14 m dal p.c. in corrispondenza del tetto sabbioso-ghiaioso in accordo con le curve piezometriche riportate nella cartografia del PSC;

4) La permeabilità è generalmente bassa, tipica dei terreni limosi ed argillosi e tende a diminuire con la profondità: i primi 3 m mostrano una permeabilità  $K \sim E \cdot 10^{-6}$  m/s, poi da -3 a -6 m dal p.c. si ha una permeabilità  $K \sim E \cdot 10^{-7}$  m/s; lo strato fra -6 e -7 m dal p.c. mostra  $K \sim E \cdot 10^{-8}$  m/s, ed infine da -7 a -14 m si ha un  $K \sim E \cdot 10^{-9}$ ;

5) E' stata eseguita una Risposta Sismica Locale (RSL) seguendo prima le direttive regionali, in modo da poter ricavare le amplificazioni sismiche in termini di rapporti fra gli integrali delle accelerazioni e delle velocità, poi, utilizzando il medesimo modello sismo-stratigrafico del terreno, è stata elaborata una risposta sismica locale a scopo puramente ingegneristico, fornendo al progettista gli spettri in accelerazione allo SLV, allo SLD e allo SLO;

6) Utilizzando l'accelerazione massima al sito di riferimento ottenuta dalla RSL ( $a_{g_{max}}=0.266g$ ) ed impostando una ipotetica falda a -1 m dal p.c., si è quindi proceduto alla verifica alla liquefazione (Robertson e Wride, 1978; Idriss & Boulanger, 2004; Idriss & Boulanger, 2014) che ha mostrato una suscettibilità da bassa a moderata (Idriss & Boulanger, 2014), sempre con falda a -1 m dal p.c.;

7) Nell'allegato A viene fornito il sondaggio a Carotaggio continuo, nel B l'elaborazione statistica della prova CPTU (parametri caratteristici), nell'allegato C la prospezione MASW, nell'allegato D le due registrazioni di sismica passiva HVSR, ed infine nell'allegato E i tabulati delle verifiche alla liquefazione.





## 4. CONCLUSIONI

Il progetto riguarda la ricostruzione del ponte sul *Torrente Tresinaro* presso le località *S.Donnino di Liguria*, in comune di Casalgrande e di *Corticella*, in comune di Reggio Emilia.

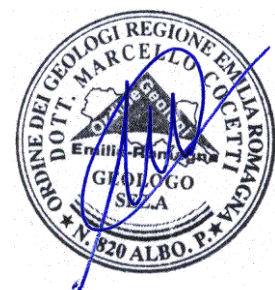
L'ubicazione della nuova struttura viene riportata nelle tavole 8 e 9, rispettivamente alle pagine 10 e 11, dove vengono evidenziate anche le prove geognostiche eseguite in sito (1 sondaggio a carotaggio continuo, 1 prova penetrometrica statica CPTU, 1 prospezione MASW ed infine 2 registrazioni passive HVSR).

Dallo studio eseguito si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Le indagini hanno evidenziato l'esistenza di depositi limosi ed argillosi per almeno 14 metri; terreni più limosi fino a -6 m; più argillosi da -6 a -14 m dal p.c. A profondità maggiori di -14 metri dal p.c. abbiamo potenti banchi di ghiaie in matrice limo-sabbiosa;
  - Nella relazione vengono forniti i parametri nominali e caratteristici degli strati di terreno esaminati dalle indagini geognostiche;
  - Nel foro del sondaggio a carotaggio continuo è stata misurato il livello dell'acqua ad una profondità di -14 m dal p.c., al passaggio fra le unità limo-argillose e quelle granulari (sabbie e ghiaie);
  - La permeabilità del terreno è da bassa a praticamente nulla, comportamento tipico dei terreni limo-argillosi ed argillosi, con valori medi di  $K \sim E \cdot 10^{-7} / E \cdot 10^{-8}$  m/s fino a -6.0 m dal p.c., per scendere a valori ancora più bassi fino  $K \sim E \cdot 10^{-9}$  m/s, più in profondità fino al tetto del livello ghiaioso;
  - L'area in esame non risulta avere particolari criticità idrauliche, mentre dall'analisi della prova penetrometrica statica si possono ridurre al minimo i fenomeni di liquefazione anche in presenza della falda a -1.0 m dal p.c. (La verifica di liquefazione, anche con il metodo di Boulanger 2014, ha fornito un rischio "moderato");
- Pertanto, dal punto di vista geologico e geotecnico, si rilascia parere favorevole ai lavori previsti per la costruzione del ponte.

Pavullo, Luglio 2020

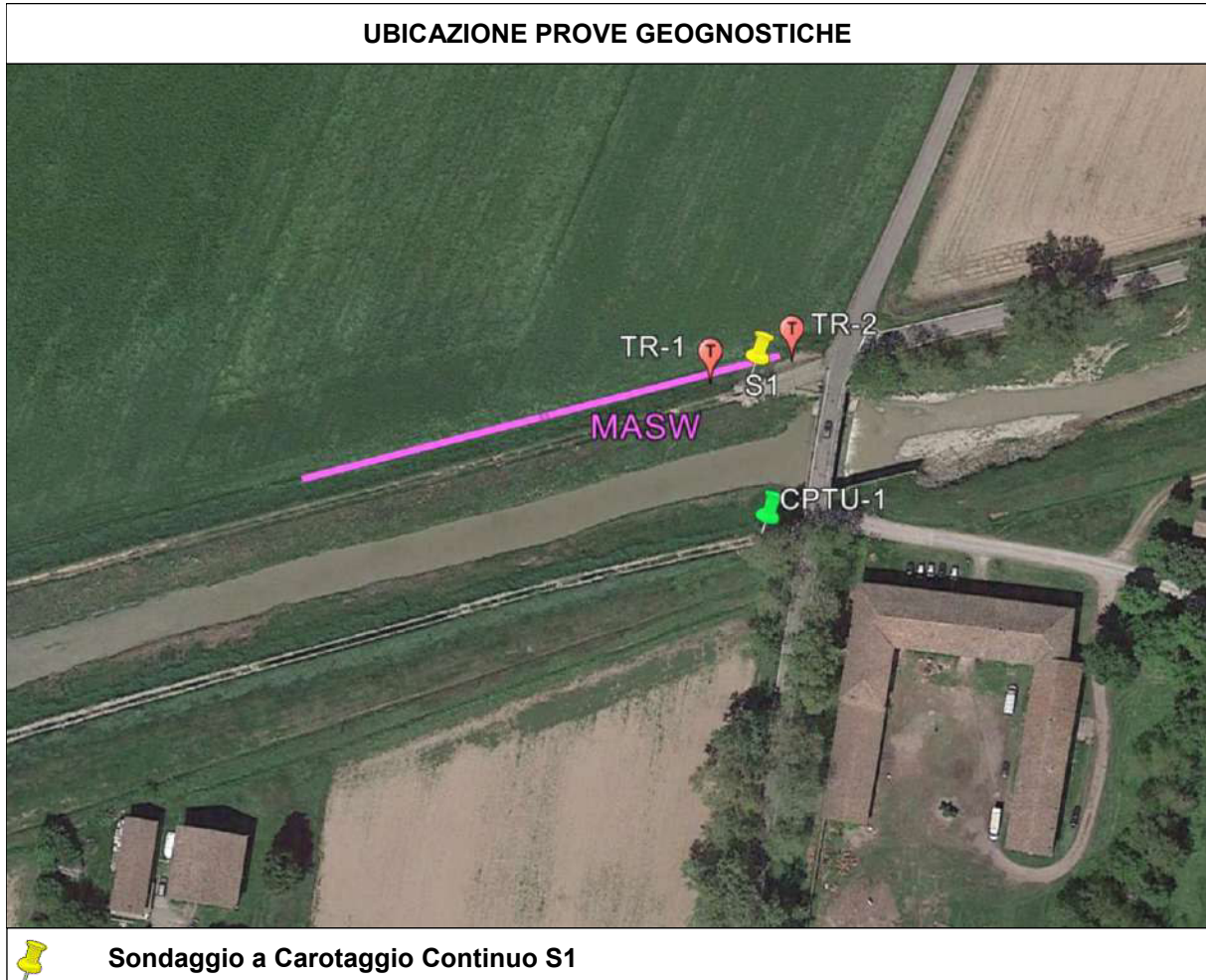
IL GEOLOGO





# ALLEGATO A

## SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO S1





Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**

**Committente: Comune di Casalgrande**

**Località : San Donnino di Liguria**

**SONDAGGIO GEOGNOSTICO NELL'AMBITO  
DELL'"INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E  
COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A  
QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC. SAN DONNINO"**

**Data di esecuzione 24, 25 e 26 giugno 2020**

**Documentazione stratigrafica e fotografica dei lavori**

---

**Montanari Perforazioni S.r.l.**

Sede Legale e Amministrativa : Via Repubblica, 53 42123 Rivalta - Reggio Emilia - Italy

C.C.I.A.A. n. 93437 - Reg. Tribunale di RE n. 4488 - C.F. e P.IVA : 00185910353

Tel. e Fax : +39.0522.560113 - E-mail : [info@montanariperforazioni.it](mailto:info@montanariperforazioni.it) - Web : [www.montanariperforazioni.it](http://www.montanariperforazioni.it)



**Montanari Perforazioni srl**

via della Repubblica, 53 - 42123 Reggio Emilia Italy  
C.F. - P.IVA 00185910353  
e-mail : info@montanariperforazioni.it

Committente Comune di Casalgrande (RE)	Località S. Donnino	Quota Ass. P.C. Riferimento quote piano campagna	Coordinate Geografiche	Sondaggio S1 pag.1
Indagine Sondaggio geognostico	Operatore Emilio Montanari	Responsabile	Certificato n.	Fine esecuzione lavori 26/06/2020
Tipo Perforazione Carotaggio continuo	Utensile carotiere tipo S diam.101 mm	Profondità raggiunta 32,50 mt.	Tipo Sonda A-65	Esecuzione stratigrafia dott. geol. M. Cristina Cavazzoni

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T.	Pocket Penetrometer	Vane Test	Campioni Indisturbati	Falda
1	[Ghiaia e frammenti di laterizi]	Ghiaia e frammenti di laterizi	0.40					
		terreno di riporto limoso sabbioso marrone con ghiaietto e frammenti di laterizi	0.95					
		terreno di riporto limo sabbioso nocciola con ghiaietto e rari frammenti di laterizi debolmente compattato	1.95		1,5 2 2	5		
2		Campione 1 - Shelby	2.45				2.00 S	
3	[sabbia limosa nocciola debolmente compatta]	sabbia limosa nocciola debolmente compatta	3.60		1,2 1,2 1,3 1,3	4 3,5 3,5		
		argilla debolmente limosa nocciola consistente	4.20		1,5 2,7 4,5			4.20
		Campione 2 - Shelby	4.65		5	F.S.		S
5	[argilla limosa nocciola mediamente consistente]	argilla limosa nocciola mediamente consistente	5.65		2,2 1,8 1,6 1,8			
		argilla nocciola scuro con calcinelli consistente	6.80		2 2,6 3 3 3			
		limo argilloso nocciola con calcinelli, mediamente consistente	7.50		2,7 3 3,4 2,4			7.50
8		campione 3 - Shelby	7.95		2,2		S	
9	[sabbia limosa nocciola con calcinelli debolmente compattata]	sabbia limosa nocciola con calcinelli debolmente compattata	8.30		1,4			
		limo argilloso nocciola debolmente consistente	8.60		1 2,1 2,5			
		argilla a tratti debolmente limosa nocciola, con velature di ossidazione brune, consistente - orizzonte di argilla più scura da -9 a -9,25 mt	10.00		2,7 4 2,8 3,2 2,7			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
Carotaggio:Carotaggio continuo

Sonda:A-65





**Montanari Perforazioni srl**

via della Repubblica, 53 - 42123 Reggio Emilia Italy  
C.F. - P.IVA 00185910353  
e-mail : info@montanariperforazioni.it

Committente Comune di Casalgrande (RE)	Località S. Donnino	Quota Ass. P.C. Riferimento quote piano campagna	Coordinate Geografiche	Sondaggio S1 pag.3
Indagine Sondaggio geognostico	Operatore Emilio Montanari	Responsabile	Certificato n.	Fine esecuzione lavori 26/06/2020
Tipo Perforazione Carotaggio continuo	Utensile carotiere tipo diam. 101 mm	Profondità raggiunta 32,50 mt.	Tipo Sonda A-65	Esecuzione stratigrafia dott. geol. M. Cristina Cavazzoni

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T.	Pocket Penetrometer	Vane Test	Campioni Indisturbati	Falda	
21		ghiaie eterometriche ed eteromorfiche in scarsa matrice limoso-sabbioso nocciola debolmente addensate alternanza di orizzonti con matrice più abbondante	20.50						
		argilla grigia con rari orizzonti centimetrici limoso-sabbiosi debolmente-mediamente consistente			1,6	4			
					1,5		3,5		
					1,3				
					1,5				
22		argilla grigia scura consistente	22.00		1,6				
		campione 5 - Osterberg	22.10		1,4	3,5			
23		argilla debolmente limosa grigia con frustoli carboniosi mediamente consistente	22.55		1,2		22.10	O	
		livello di ghiaia in matrice limoso- sabbiosa grigia	22.80		1,3				
			23.00		2			22.55	
					2				
					2,7				
24		argilla grigio-verde con calcinelli nei primi 15 cm, consistente	23.60		3,5				
		argilla limosa grigio-verde mediamente consistente	23.80	19-21-20 24.00 PC	3,8				
		ghiaia eteromorfica centimetrica in abbondante matrice limoso-sabbiosa grigio-verde mediamente compattata	24.80		3,5				
25		ghiaia eterometrica ed eteromorfica in matrice limoso-sabbiosa grigio-verde sciolta satura							
26		ghiaia eteromorfica centimetrica in abbondante matrice limoso-sabbiosa grigio-verde mediamente compattata orizzonte compattato da -26,85 a -27,35	26.20						
27		limo sabbioso debolmente argilloso grigio-verde poco consistente	27.35						
28		campione 6 - Shelby	27.90		1		27.90	S	
			28.35		0,7				
29		alternanza di orizzonti di sabbia limosa, limo argilloso, ghiaie medio-fini in matrice sabbiosa, sabbie di media granulometria da -29 a -29,30, rari orizzonti di sabbia scura con sost. organica							
			30.00					28.35	

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
Carotaggio:Carotaggio continuo

Sonda:A-65





**Montanari Perforazioni srl**

via della Repubblica, 53 - 42123 Reggio Emilia Italy  
 C.F. - P.IVA 00185910353  
 e-mail : info@montanariperforazioni.it

Committente Comune di Casalgrande (RE)	Località S. Donnino	Quota Ass. P.C. Riferimento quote piano campagna	Coordinate Geografiche	Sondaggio S1 pag.4
Indagine Sondaggio geognostico	Operatore Emilio Montanari	Responsabile	Certificato n.	Fine esecuzione lavori 26/06/2020
Tipo Perforazione Carotaggio continuo	Utensile carotiere tipo S diam. 101 mm	Profondità raggiunta 32,50 mt.	Tipo Sonda A-65	Esecuzione stratigrafia dott. geol. M. Cristina Cavazzoni

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T.	Pocket Penetrometer	Vane Test	Campioni Indisturbati	Falda
31		sabbia di media granulometria nocciola sciolta satura	31.15	5-10-13 30.00 PC				
32		argilla passante da nocciola scuro a nocciola con calcinelli e frustoli carboniosi consistente	32.50		3,1 3,2 3,5 3,2 3,5 2,7 2,5			
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
 Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
 Carotaggio:Carotaggio continuo

Sonda:A-65



Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**







Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**







Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**







Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**







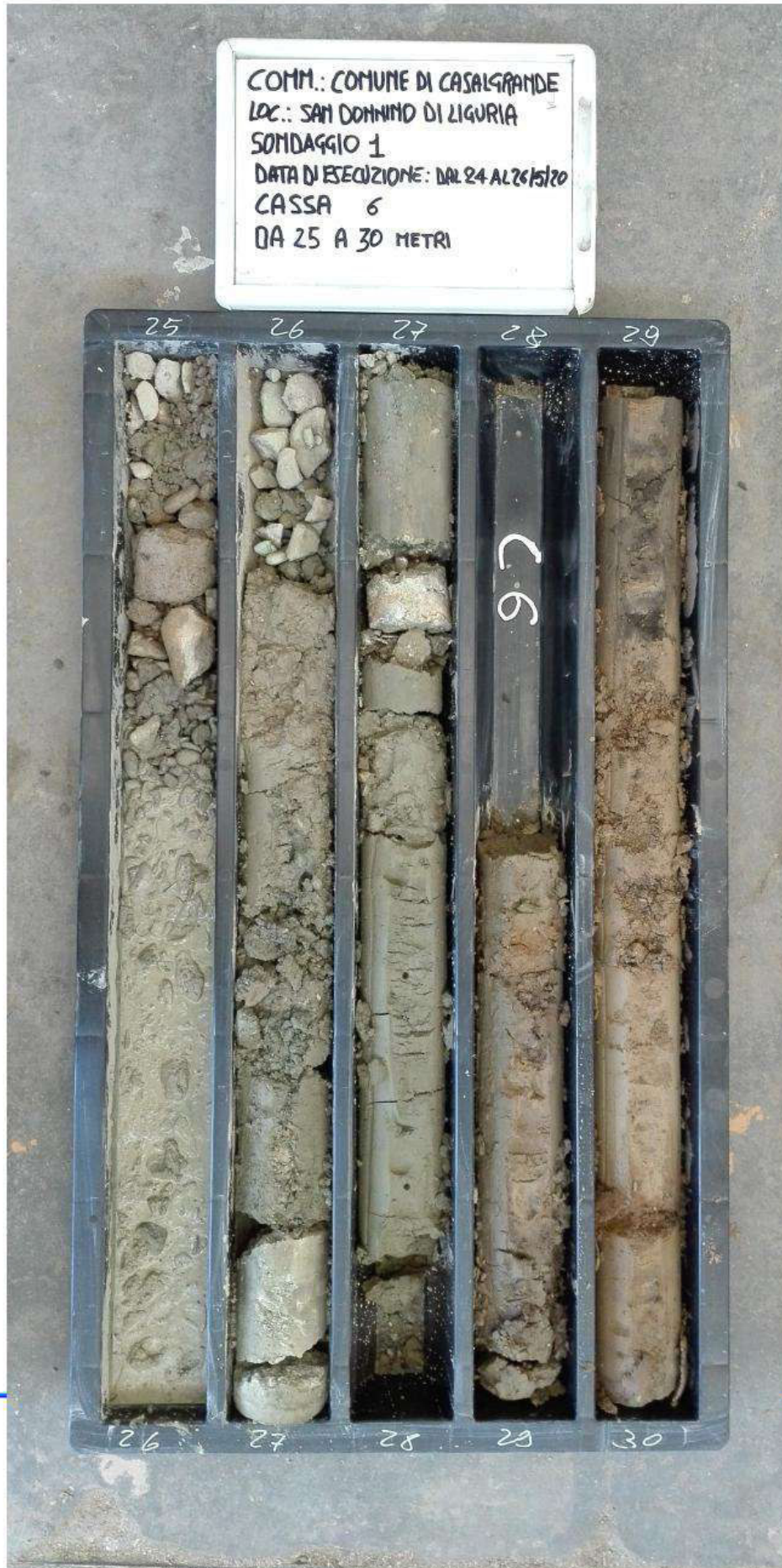
Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**







Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**

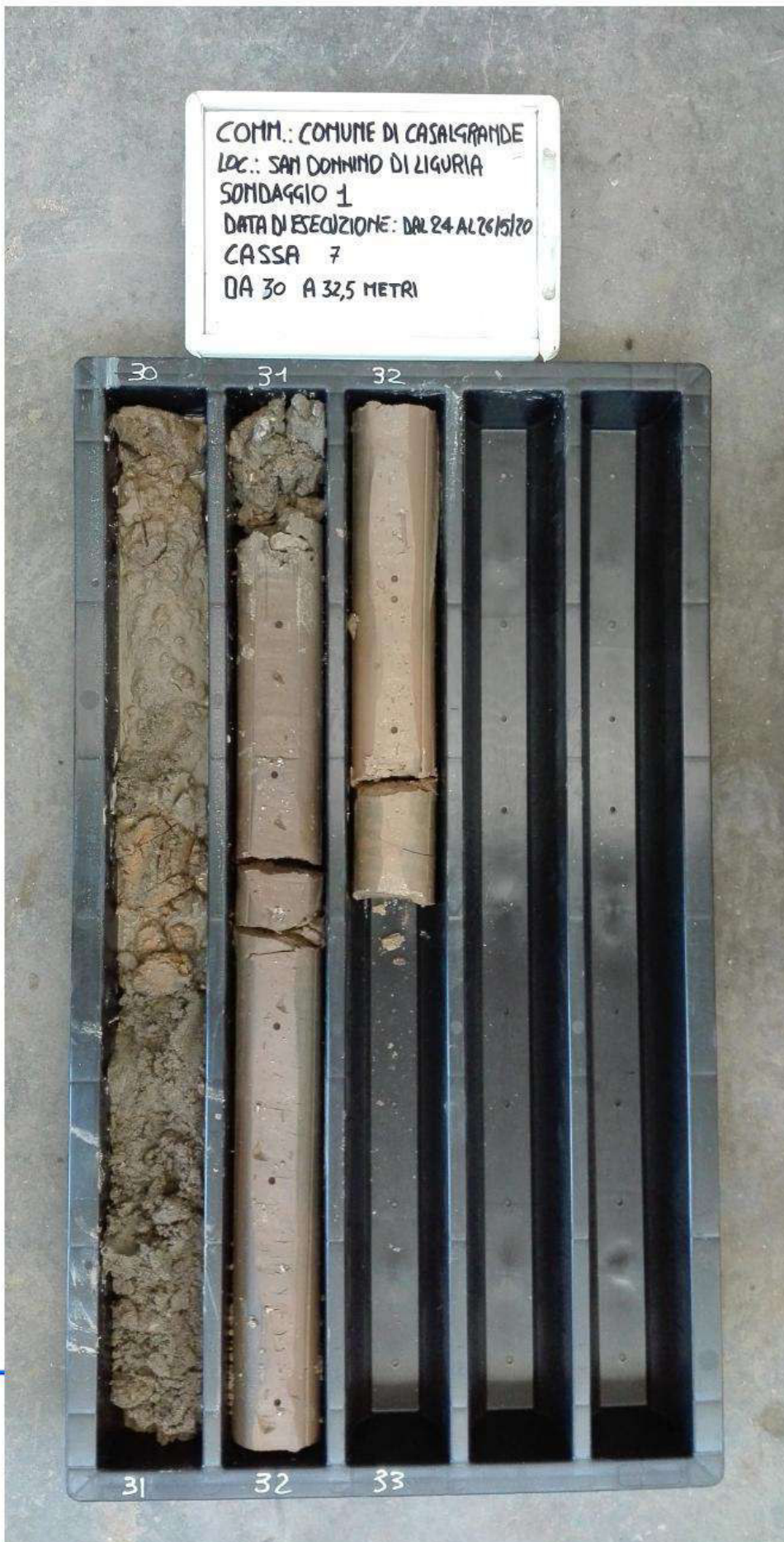


ioni.it





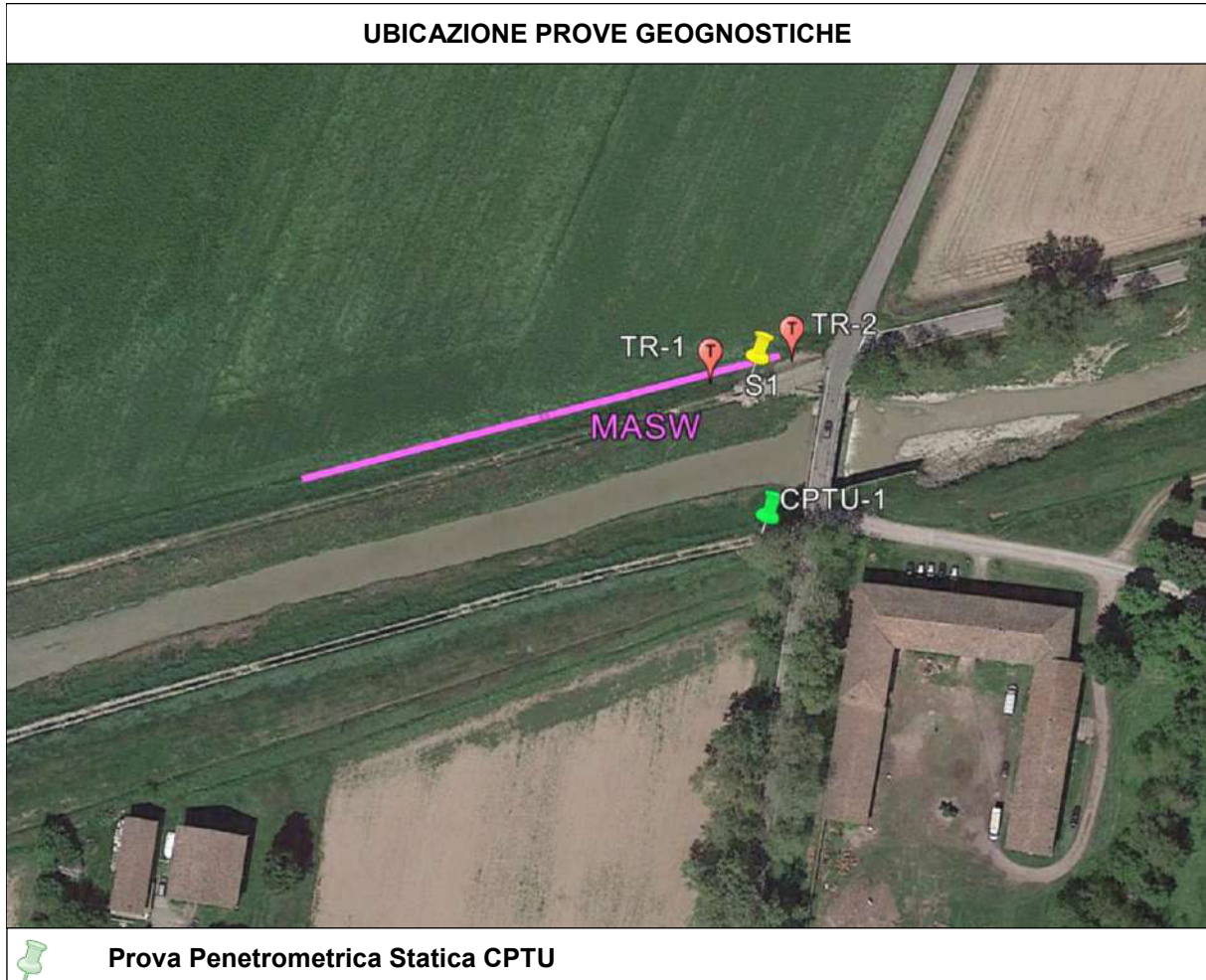
Impresa  
**Montanari Perforazioni S.r.l.**



# ALLEGATO B

## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU

### GRAFICI ED ELABORAZIONI







**Prove Penetrometriche srl**  
 Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
 059 535046  
 info@provepenetrometriche.com

**CPT: 1**

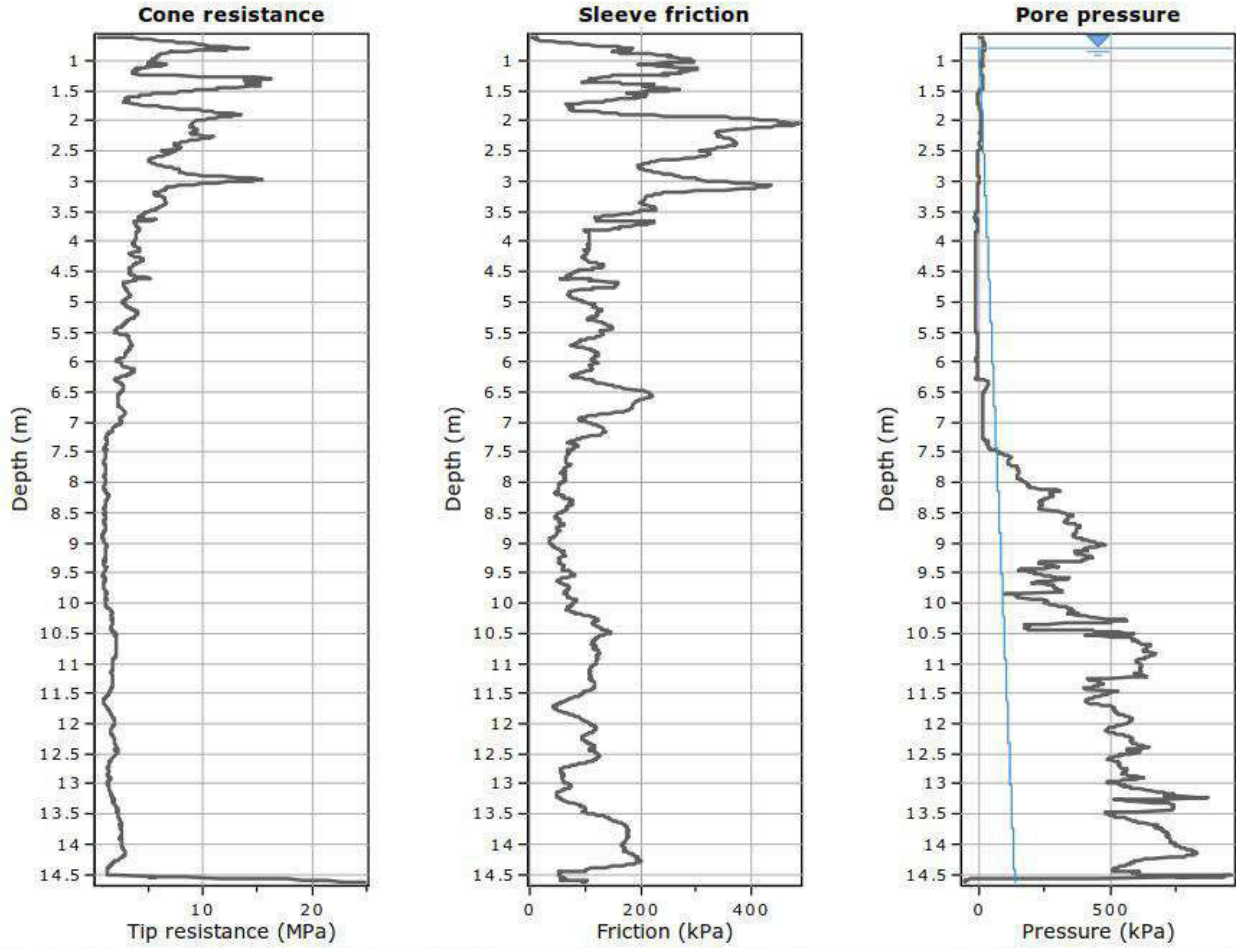
Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020

Cone Type:

**Project: Studio Geologico Cogeo**

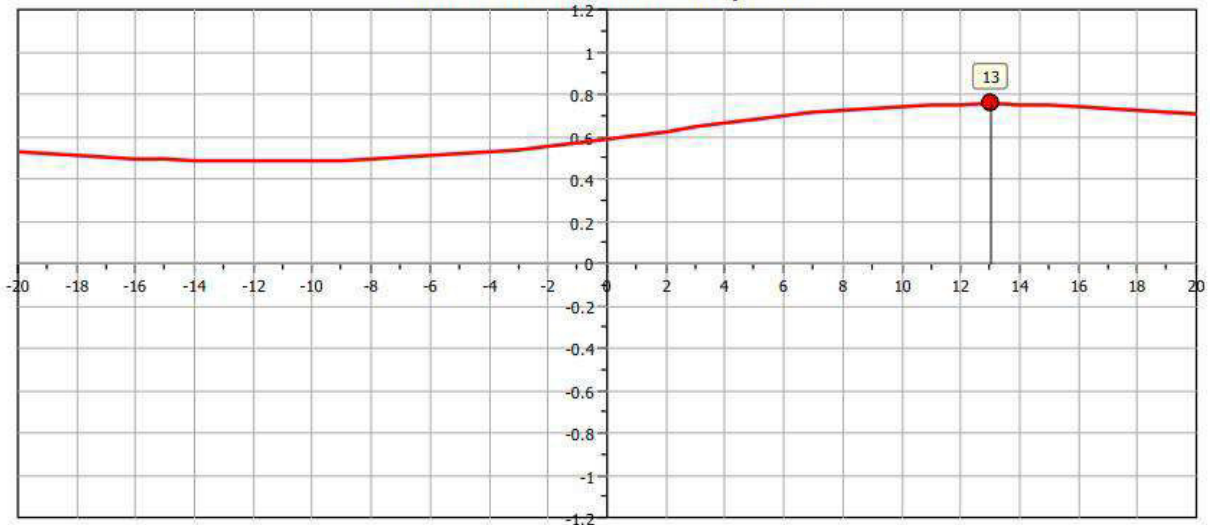
Cone Operator: Dott. Stefano Vigni

**Location: Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria**



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

**Cross correlation between qc & fs**



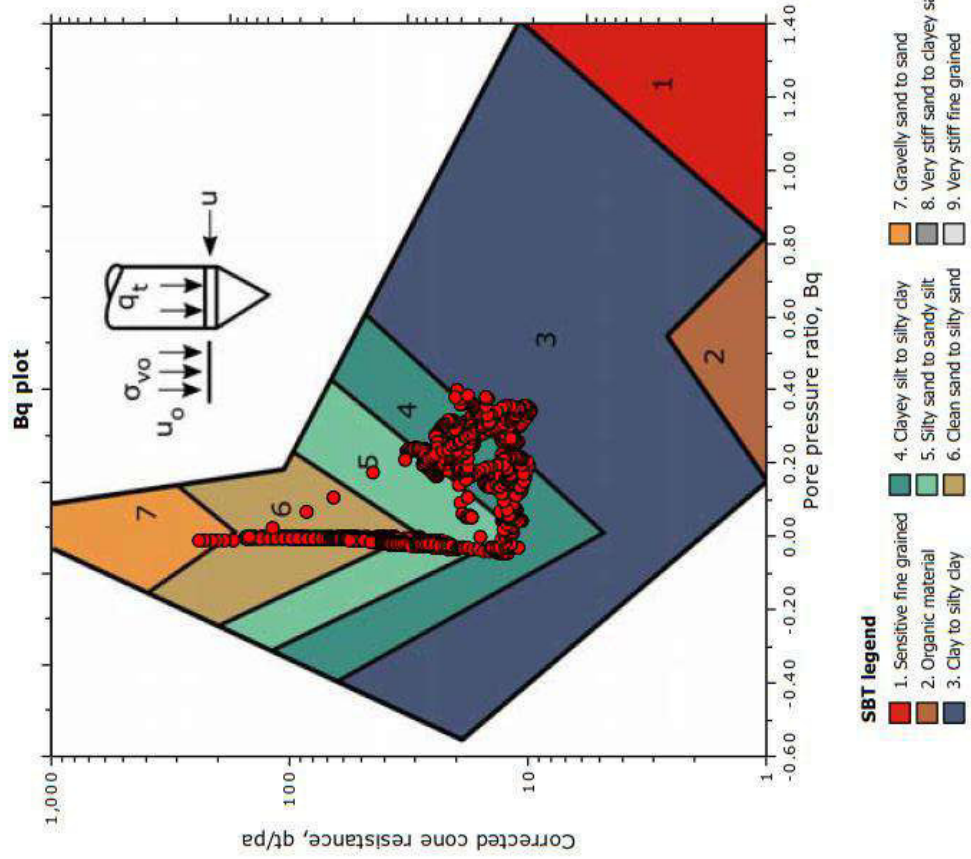
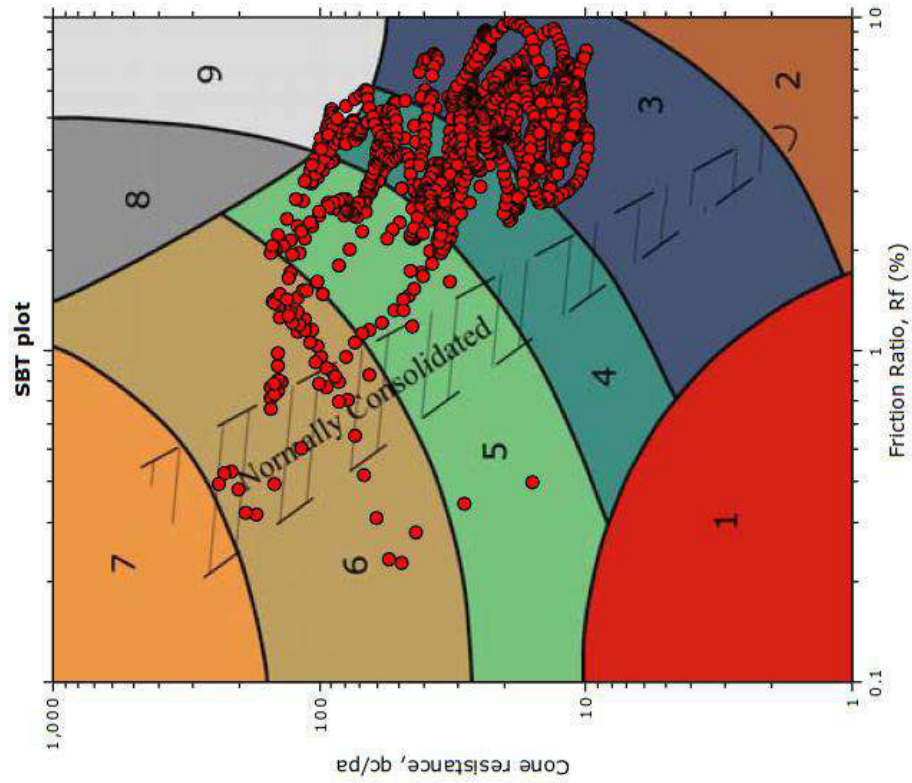


**PROVE PENETROMETRICHE**  
 Prove Penetrometriche srl  
 Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
 059 535046  
 info@provepenetrometriche.com

**Project:** Studio Geologico Cogeo  
**Location:** Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria

**CPT: 1**  
 Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020  
 Cone Type:  
 Cone Operator: Dott. Stefano Vigni

**SBT - Bq plots**







**PROVE PENETROMETRICHE**  
 Prove Penetrometriche srl  
 Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
 059 535046  
 info@provepenetrometriche.com

**Project:** Studio Geologico Cogeo  
**Location:** Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria

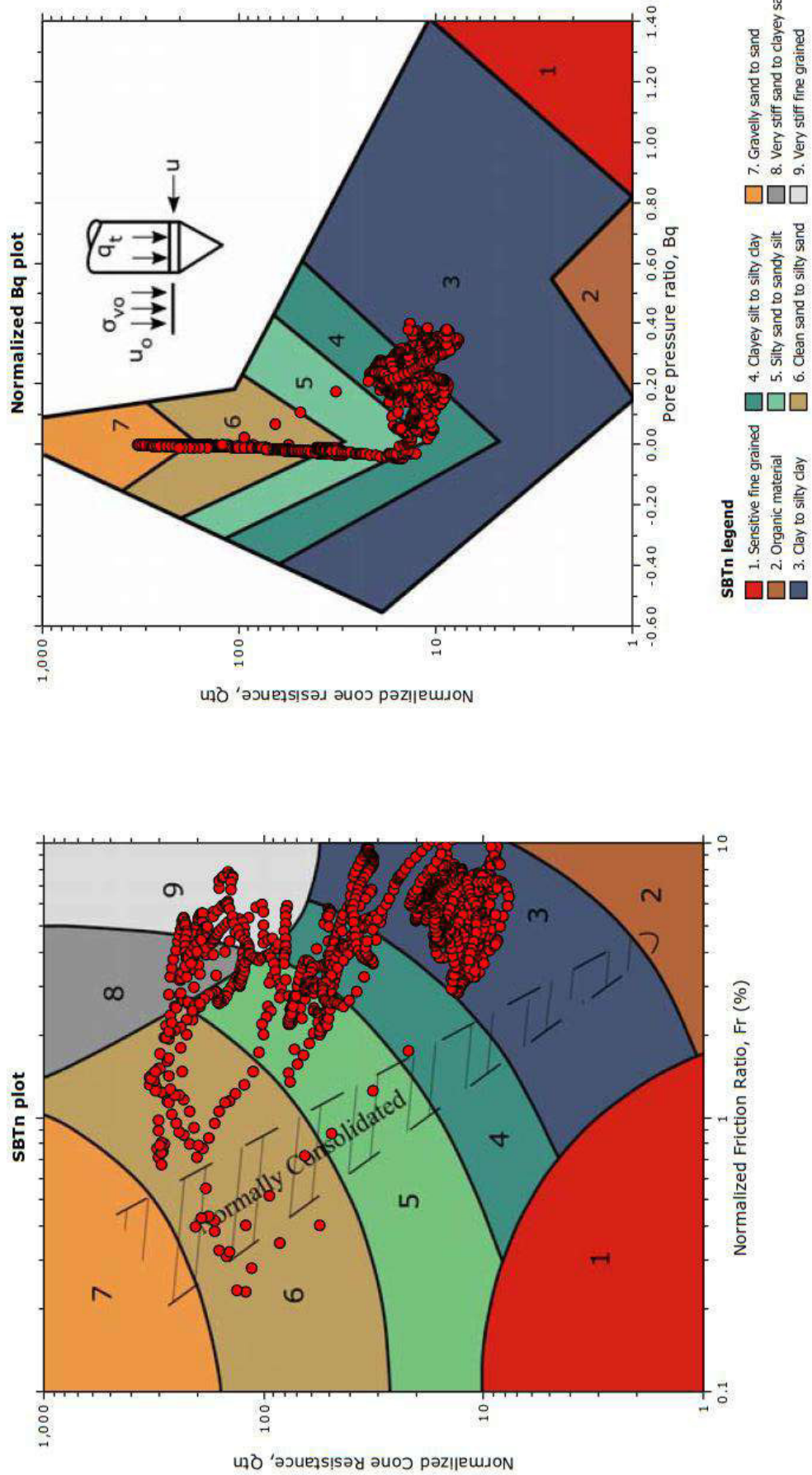
**CPT: 1**

Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020

Cone Type:

Cone Operator: Dott. Stefano Vigni

**SBT - Bq plots (normalized)**





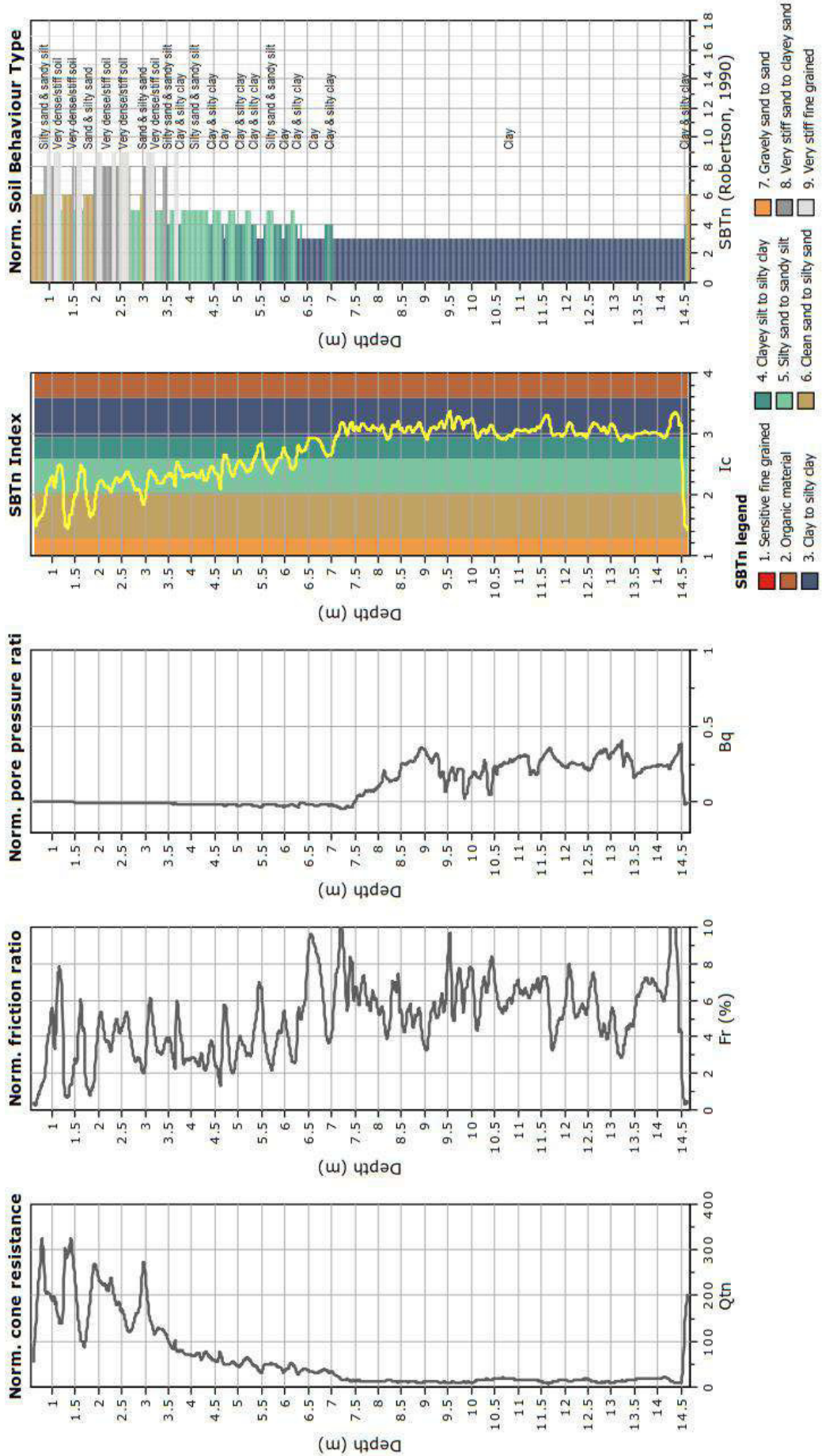
**Prove Penetrometriche srl**  
Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
059 535046  
info@provepenetrometriche.com

**CPT: 1**

Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020

Cone Type:  
Cone Operator: Dott. Stefano Vigni

**Project:** Studio Geologico Cogeo  
**Location:** Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria







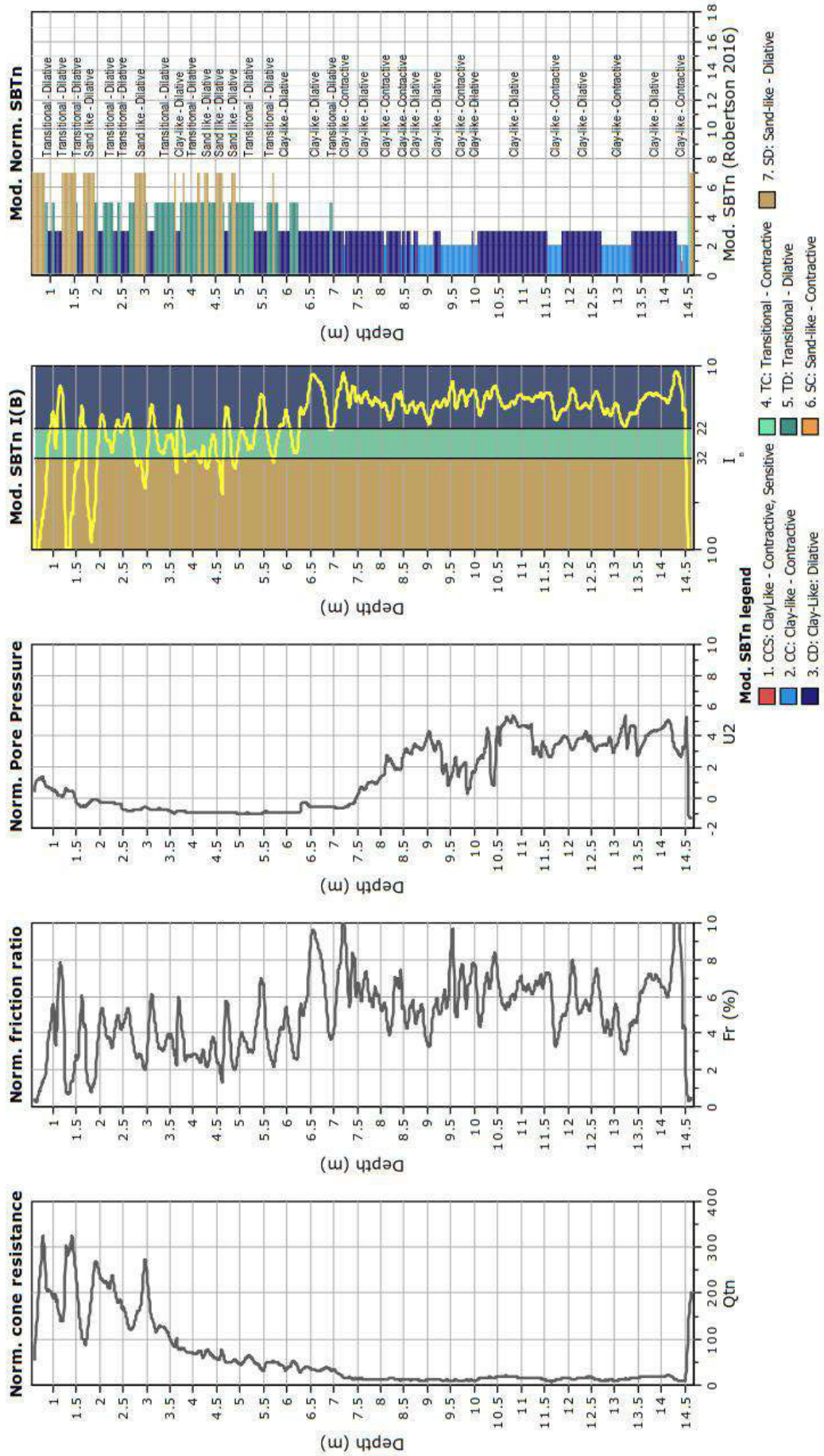
**Prove Penetrometriche srl**  
Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
059 535046  
info@provepenetrometriche.com

**Project:** Studio Geologico Cogeo  
**Location:** Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria

**CPT: 1**

Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020

Cone Type:  
Cone Operator: Dott. Stefano Vigni





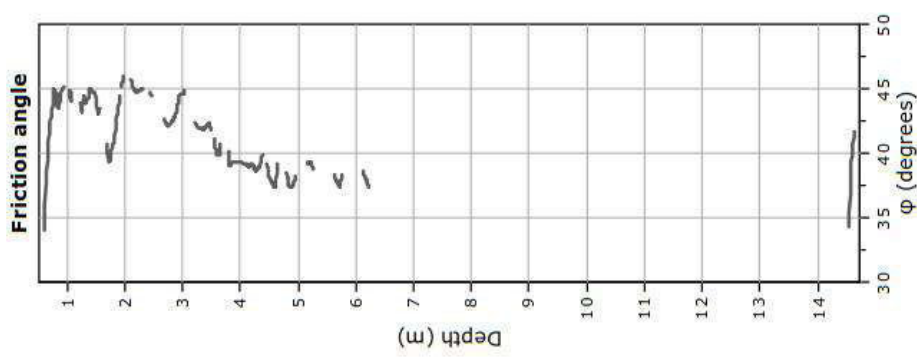
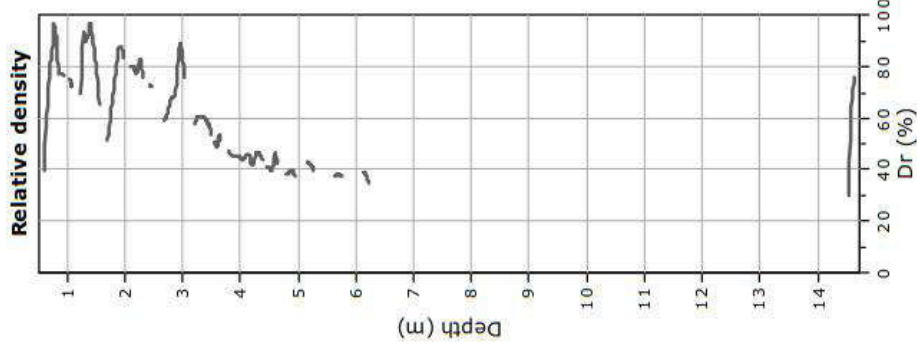
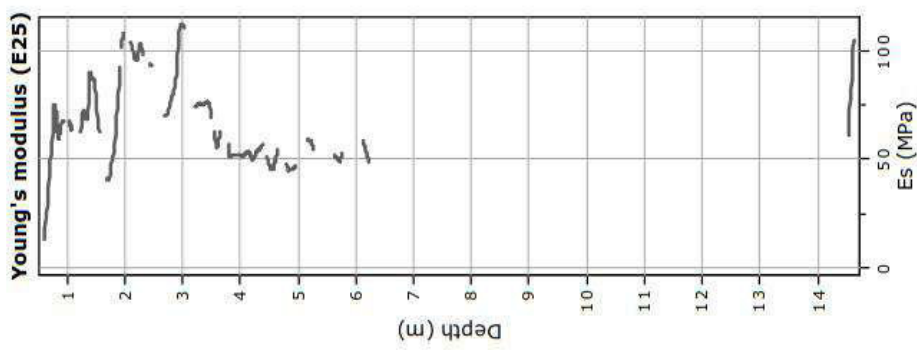
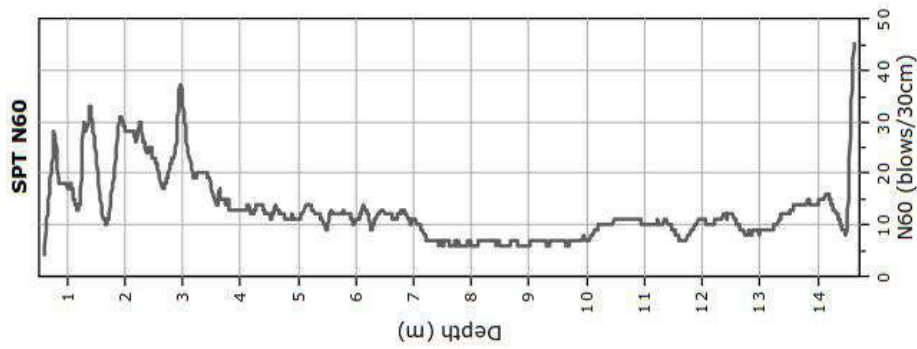
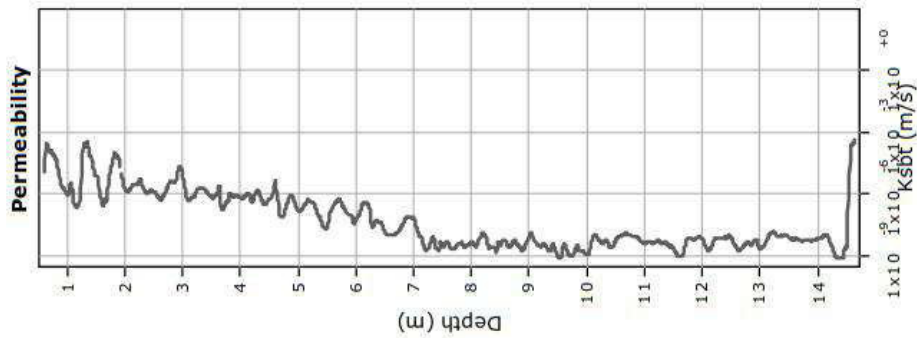
**Prove Penetrometriche srl**  
Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
059 535046  
info@provepenetrometriche.com

**CPT: 1**

Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020

Cone Type:  
Cone Operator: Dott. Stefano Vigni

**Project: Studio Geologico Cogeo**  
**Location: Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria**



**Calculation parameters**

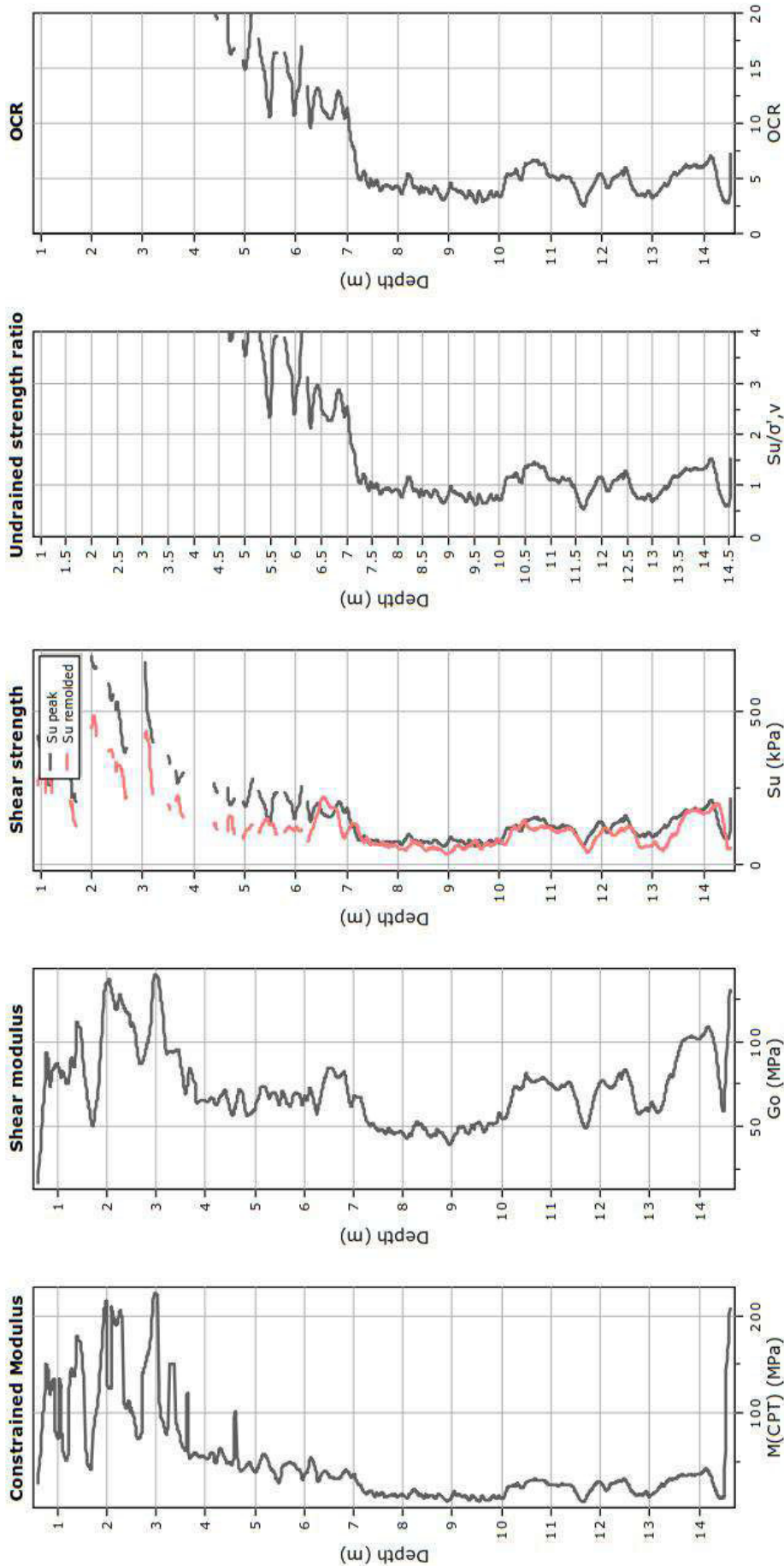
Permeability: Based on  $S_{BT,n}$   
SPT  $N_{60}$ : Based on  $I_c$  and  $q_c$   
Young's modulus: Based on variable alpha using  $I_c$  (Robertson, 2009) ● — User defined estimation data  
Relative density constant,  $C_{Dr}$ : 350.0  
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)



**PROVE PENETROMETRICHE**  
 Prove Penetrometriche srl  
 Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
 059 535046  
 info@provepenetrometriche.com

**CPT: 1**  
 Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020  
 Cone Type:  
 Cone Operator: Dott. Stefano Vigni

**Project: Studio Geologico Cogeo**  
**Location: Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria**



**Calculation parameters**  
 Constrained modulus: Based on variable  $\alpha$  using  $I_c$  and  $Q_{ch}$  (Robertson, 2009)  
 Go: Based on variable  $\alpha$  using  $I_c$  (Robertson, 2009)  
 Undrained shear strength cone factor for clays,  $N_{k,c}$ : 14  
 OCR factor for clays,  $N_{k,c}$ : 0.33  
 — User defined estimation data  
 — Flat Dilatometer Test data





**Prove Penetrometriche srl**  
 Via Per Modena 8 - Castelnuovo Rangone (MO)  
 059 535046  
 info@provepenetrometriche.com

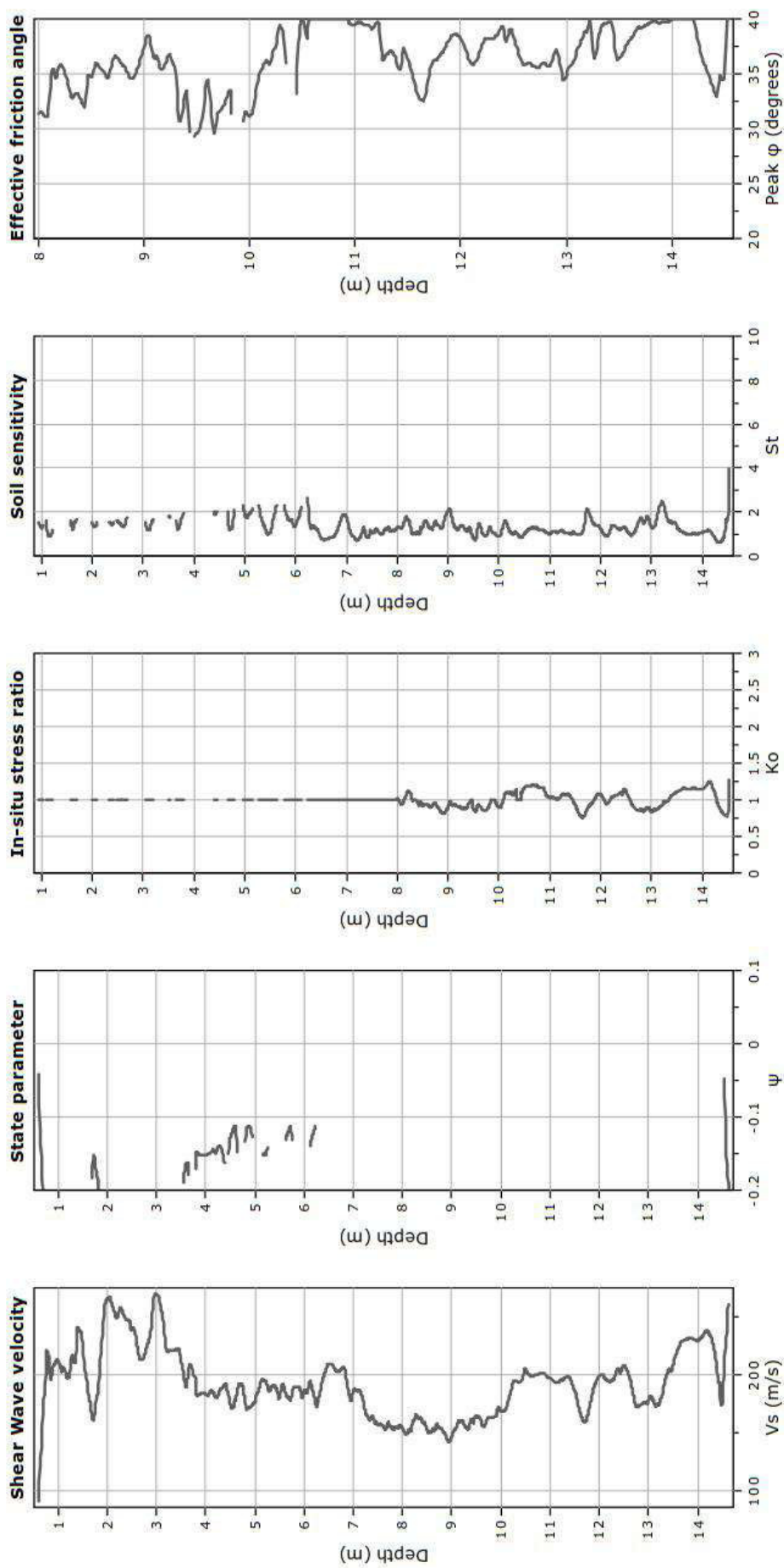
**CPT: 1**

Total depth: 14.63 m, Date: 7/1/2020

Cone Type:

Cone Operator: Dott. Stefano Vigni

**Project:** Studio Geologico Cogeo  
**Location:** Casalgrande (RE), fraz. San Donnino di Liguria



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00  
 ● User defined estimation data



ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA STATICA

CPT-01

COMMITTENTE:	AMM COMUNALE
COMUNE:	CASALGRANDE
LOCALITA' :	S.DONNINO (CASALGRANDE)
DATA:	01/07/2020

Acqua - 1 m

Prof H (m)	Qc (MPa)	Qt -	Fr -	Ic -	FC %	LITOLOGIA (Robertson)	σ <sub>vo</sub> (KPa)	U (KPa)	σ <sub>v'</sub> (KPa)	Cu (KPa)	Ed (KPa)	φ (°)	Mo (KPa)
0.2													
0.4													
0.6													
0.8	8.5	211.9	1.0	1.68	5.7	Sabbie e Sabbie Limose	15.5	0.0	15.5	-	-	36	33844
1.0	7.1	203.2	3.5	2.11	16.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	20.5	0.0	20.5	-	-	34	28527
1.2	4.9	151.8	6.0	2.38	25.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	24.6	2.0	22.6	-	-	31	19542
1.4	12.1	253.5	1.4	1.74	7.0	Sabbie e Sabbie Limose	28.4	4.0	24.4	-	-	35	44227
1.6	9.1	207.1	2.6	2.01	13.1	Sabbie e Sabbie Limose	32.9	6.0	26.9	-	-	34	36477
1.8	4.4	109.7	2.8	2.20	18.9	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	35.1	8.0	27.1	-	-	30	17743
2.0	11.4	228.1	2.3	1.93	11.1	Sabbie e Sabbie Limose	41.5	10.0	31.5	-	-	34	42864
2.2	9.3	198.1	4.8	2.24	20.3	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	46.8	12.0	34.8	-	-	33	37288
2.4	9.3	187.2	4.3	2.20	19.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	50.7	14.0	36.7	-	-	32	37056
2.6	7.3	148.0	5.0	2.31	23.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	54.4	16.0	38.4	-	-	31	29088
2.8	6.2	122.0	4.0	2.29	22.0	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	57.1	18.0	39.1	-	-	30	24609
3.0	11.3	194.3	2.6	2.01	13.3	Sabbie e Sabbie Limose	62.6	20.0	42.6	-	-	32	42651
3.2	7.8	141.6	5.1	2.34	23.9	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	67.4	22.0	45.4	-	-	30	31311
3.4	6.5	115.9	3.5	2.26	21.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	69.2	24.0	45.2	-	-	30	26184
3.6	5.3	94.0	3.9	2.35	24.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	72.6	26.0	46.6	-	-	28	21171
3.8	4.4	77.9	4.4	2.44	28.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	75.9	28.0	47.9	-	-	27	17561
4.0	4.0	70.0	2.9	2.34	24.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	77.5	30.0	47.5	-	-	27	16150
4.2	4.0	67.8	2.9	2.35	24.4	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	81.3	32.0	49.3	-	-	27	16068
4.4	4.1	67.8	2.9	2.35	24.4	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	85.4	34.0	51.4	-	-	27	16576
4.6	3.7	59.8	2.8	2.38	25.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	88.2	36.0	52.2	-	-	26	14739
4.8	3.4	53.9	4.2	2.54	32.3	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	93.7	38.0	55.7	-	-	25	13542
5.0	3.3	51.2	2.7	2.42	27.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	94.7	40.0	54.7	-	-	25	13048
5.2	3.6	53.6	3.8	2.50	30.7	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	101.2	42.0	59.2	-	-	25	14264
5.4	3.4	49.8	4.1	2.55	33.0	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	105.2	44.0	61.2	-	-	25	13525
5.6	2.6	38.6	5.8	2.73	42.2	Argille Limose e Limi Argillosi	109.1	46.0	63.1	129	9491	24	10542
5.8	3.5	49.6	2.9	2.45	28.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	111.1	48.0	63.1	-	-	25	14076
6.0	2.8	39.3	4.7	2.67	38.7	Argille Limose e Limi Argillosi	116.2	50.0	66.2	138	9945	24	11313
6.2	3.4	45.2	3.6	2.54	32.4	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	119.7	52.0	67.7	-	-	24	13458
6.4	2.6	34.9	4.8	2.71	40.9	Argille Limose e Limi Argillosi	123.2	54.0	69.2	127	9310	23	10460
6.6	2.6	33.2	8.8	2.91	52.7	Argille Limose e Limi Argillosi	131.8	56.0	75.8	129	10107	23	10591
6.8	2.5	30.6	8.8	2.94	54.3	Argille Limose e Limi Argillosi	135.1	58.0	77.1	121	9559	22	9956
7.0	2.8	34.6	4.8	2.71	41.0	Argille Limose e Limi Argillosi	135.5	60.0	75.5	136	9985	23	11217
7.2	2.0	24.4	7.4	2.95	55.2	Argille	139.1	62.0	77.1	97	7716	-	-
7.4	1.3	16.2	8.2	3.11	66.0	Argille	138.7	64.0	74.7	63	5254	-	-
7.6	1.2	14.8	7.2	3.10	65.4	Argille	140.1	66.0	74.1	57	4763	-	-
7.8	1.1	13.7	7.2	3.12	67.1	Argille	142.9	68.0	74.9	54	4519	-	-
8.0	1.2	13.7	6.5	3.09	65.0	Argille	145.9	70.0	75.9	55	4566	-	-
8.2	1.2	13.9	5.4	3.04	61.0	Argille	148.0	72.0	76.0	56	4571	-	-
8.4	1.3	14.5	6.6	3.08	64.1	Argille	155.0	74.0	81.0	61	5116	-	-
8.6	1.2	12.7	6.1	3.10	65.6	Argille	155.9	76.0	79.9	54	4490	-	-
8.8	1.2	12.5	5.9	3.10	65.4	Argille	159.3	78.0	81.3	54	4504	-	-
9.0	1.0	11.0	5.3	3.11	66.4	Argille	159.8	80.0	79.8	47	3956	-	-
9.2	1.2	13.0	5.2	3.05	61.8	Argille	166.2	82.0	84.2	58	4788	-	-
9.4	1.1	11.3	6.3	3.15	69.2	Argille	170.4	84.0	86.4	52	4460	-	-
9.6	1.1	10.6	7.9	3.23	75.5	Argille	176.3	86.0	90.3	52	4514	-	-
9.8	1.1	10.3	7.4	3.22	75.0	Argille	178.8	88.0	90.8	50	4390	-	-
10.0	1.2	11.2	7.5	3.20	73.1	Argille	184.5	90.0	94.5	57	4916	-	-
10.2	1.5	13.8	6.1	3.07	63.6	Argille	189.8	92.0	97.8	72	5988	-	-
10.4	1.8	15.4	7.8	3.11	66.2	Argille	199.5	94.0	105.5	86	7263	-	-
10.6	2.0	16.5	7.9	3.09	64.8	Argille	205.2	96.0	109.2	96	7980	-	-
10.8	2.2	18.2	6.4	3.00	58.3	Argille	208.0	98.0	110.0	105	8519	-	-
11.0	2.0	16.0	7.4	3.08	64.1	Argille	212.0	100.0	112.0	95	7939	-	-
11.2	1.8	14.1	7.5	3.13	67.4	Argille	214.0	102.0	112.0	85	7182	-	-
11.4	1.9	14.5	7.4	3.11	66.5	Argille	218.6	104.0	114.6	90	7525	-	-
11.6	1.5	11.0	8.0	3.23	75.0	Argille	218.4	106.0	112.4	68	5958	-	-
11.8	1.3	10.1	5.2	3.14	68.3	Argille	213.2	108.0	105.2	59	4958	-	-
12.0	1.9	14.3	5.7	3.04	61.3	Argille	226.3	110.0	116.3	90	7367	-	-
12.2	1.8	12.6	7.9	3.18	71.3	Argille	233.4	112.0	121.4	84	7189	-	-
12.4	2.1	14.8	6.2	3.05	62.3	Argille	236.8	114.0	122.8	98	8081	-	-
12.6	2.1	14.5	6.9	3.09	64.9	Argille	242.7	116.0	126.7	100	8343	-	-
12.8	1.5	10.5	6.5	3.18	71.8	Argille	238.4	118.0	120.4	71	6064	-	-
13.0	1.5	10.7	5.1	3.11	66.3	Argille	238.3	120.0	118.3	70	5901	-	-
13.2	1.6	11.2	4.8	3.08	63.8	Argille	242.3	122.0	120.3	75	6206	-	-
13.4	2.0	13.8	4.5	2.99	57.9	Argille	250.3	124.0	126.3	95	7643	-	-
13.6	2.4	15.3	6.2	3.04	61.4	Argille	262.9	126.0	136.9	114	9345	-	-
13.8	2.6	15.7	7.9	3.11	66.0	Argille	272.9	128.0	144.9	125	10472	-	-
14.0	2.7	15.7	7.9	3.11	66.1	Argille	277.2	130.0	147.2	127	10627	-	-
14.2	2.9	17.0	7.3	3.06	62.5	Argille	281.8	132.0	149.8	139	11456	-	-
14.4	2.0	10.6	11.2	3.34	84.1	Argille	283.8	134.0	149.8	93	8373	-	-
14.6	6.1	45.0	1.2	2.24	20.3	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	277.0	136.0	141.0	-	-	24	24556



# GRAFICO PROVA PENETROMETRICA STATICA

CPT-01

COMMITTENTE: AMM COMUNALE	LOCALITA' : S.DONNINO (CASALGRANDE)	
COMUNE: CASALGRANDE	DATA: 01/07/2020	Acqua = - 1 m

Resistenza alla Punta (Kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/Rl

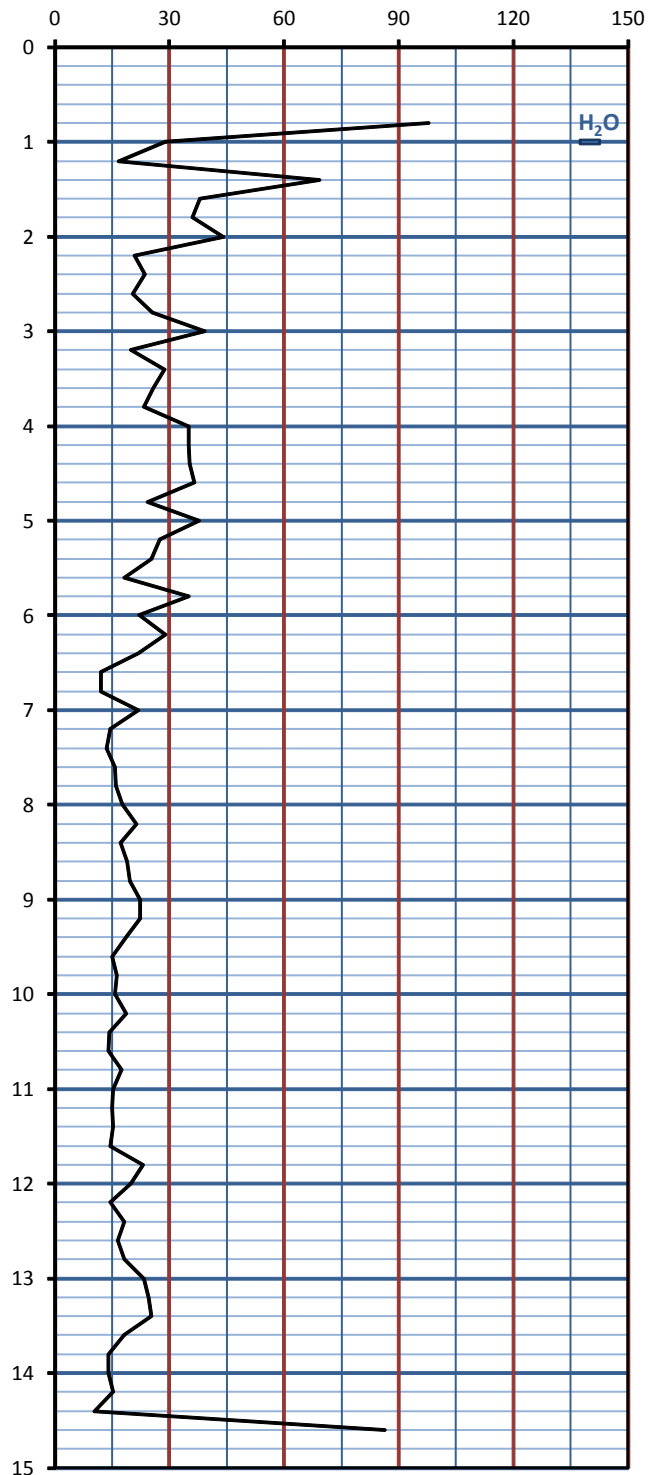
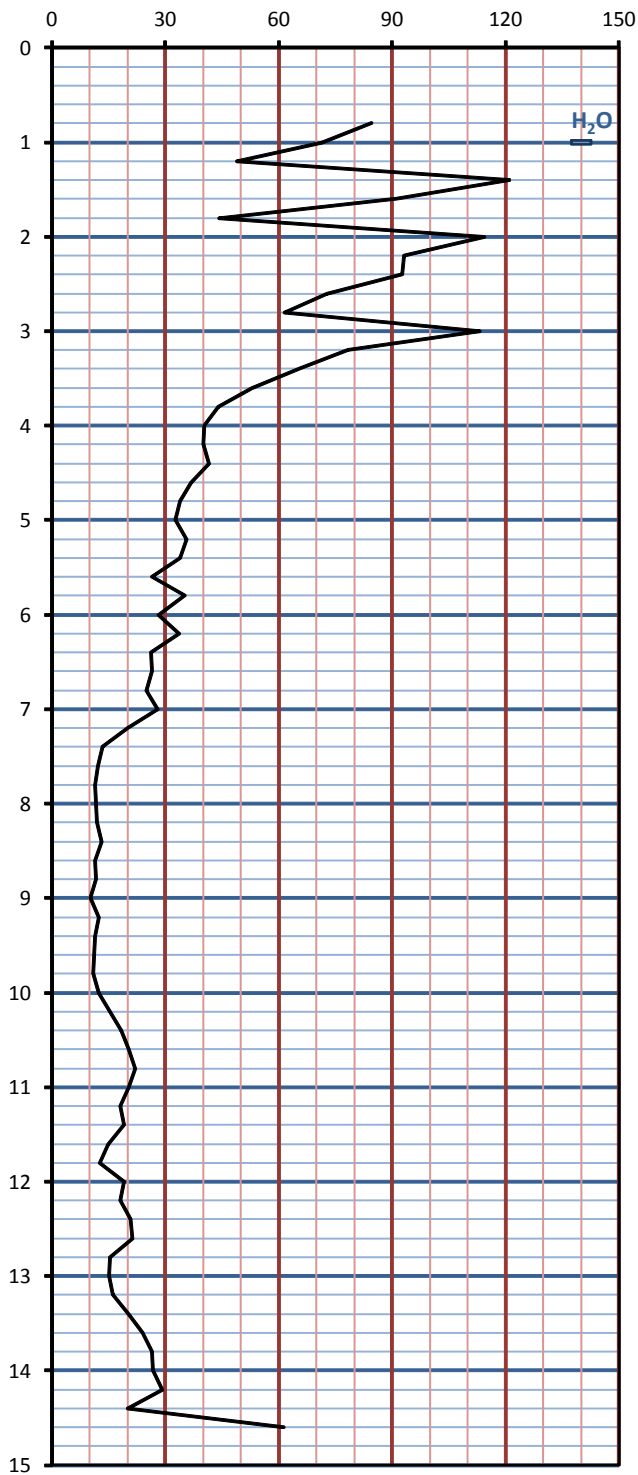




TABELLA STATISTICA 5° PERCENTILE ( $\phi$ ,  $C_u$ ) - PROVA PENETROMETRICA CPT-01  
(Valori Caratteristici e di Progetto per grandi superfici)

COMMITTENTE:	AMM COMUNALE			DATA:	01/07/2020						
COMUNE:	CASALGRANDE			H <sub>2</sub> O:	- 1 m						
LOCALITA' :	S.DONNINO (CASALGRANDE)			PENETROMETRO STATICO CPT							
PENETROMETRO STATICO				Natura granulare ( $\phi$ )				Natura Coesiva ( $C_u$ )			
H	Qc	IC	FC	$\phi_m$	Num Dat	$\phi_k$	$\phi_d$	$C_{um}$	Num Dat	$C_{uk}$	$C_{ud}$
[m]	[MPa]	-	%	[°]	(DevSt)	[°]	[°]	[KPa]	(DevSt)	[KPa]	[KPa]
0.2 - 2.0	8.2	2.0	14	33.5	7 (2.0)	31.9	26.4				
2.2 - 6.0	5.3	2.4	26	27.7	20 (2.9)	26.6	21.8	133	2 (6.7)	99	71
6.2 - 7.0	2.8	2.8	44	23.2	5 (0.8)	22.4	18.2	128	4 (6.5)	104	74
7.2 - 14.4	1.7	3.1	66					78	37 (24.3)	72	51
14.6 - 14.6	6.1	2.2	20	23.9	1.0	21.9	17.8				

$\phi_m$ = Dato medio dell'angolo di attrito interno dello strato
$\phi_k$ = Valore caratteristico dell'angolo di attrito (5° percentile di distribuzione della media)
$\phi_d$ = Valore di progetto dell'angolo di attrito interno del terreno
$C_{um}$ = Dato medio della coesione non drenata
$C_{uk}$ = Valore caratteristico della coesione non drenata (5° percentile di distribuzione della media)
$C_{ud}$ = Valore di progetto della coesione non drenata

TABELLA STATISTICA 5° PERCENTILE ( $M_o$ ,  $E_d$ ) - PROVA PENETROMETRICA CPT-01  
(valori caratteristici e di progetto)

COMMITTENTE:	AMM COMUNALE			DATA:	01/07/2020						
COMUNE:	CASALGRANDE			H <sub>2</sub> O:	- 1 m						
LOCALITA' :	S.DONNINO (CASALGRANDE)			PENETROMETRO STATICO CPT							
PENETROMETRO STATICO				Natura granulare ( $\phi$ )				Natura Coesiva ( $C_u$ )			
H	Qc	IC	FC	$M_{om}$	Num Dat	$M_{ok}$	$M_{od}$	$E_{dm}$	Num Dat	$E_{dk}$	$E_{dd}$
[m]	[MPa]	-	%	[KPa]	(DevSt)	[KPa]	[KPa]	[KPa]	(DevSt)	[KPa]	[KPa]
0.2 - 2.0	8.2	2.0	14	31889	7 (10499.3)	23560	23560				
2.2 - 6.0	5.3	2.4	26	21038	20 (9714.9)	17184	17184	9718	2 (321.3)	7236	7236
6.2 - 7.0	2.8	2.8	44	11136	5 (1373.3)	9260	9260	9740	4 (370.8)	7922	7922
7.2 - 14.4	1.7	3.1	66					6565	37 (1993.7)	6004	6004
14.6 - 14.6	6.1	2.2	20	24556	1.0	15890	15890				

$M_{om}$ = Media del Modulo Confinato
$M_{ok}$ = Valore Caratteristico del Modulo Confinato (5° percentile di distribuzione della media)
$M_{od}$ = Valore di Progetto del Modulo Confinato
$E_{dm}$ = Media del Modulo Edometrico
$E_{dk}$ = Valore Caratteristico del Modulo Edometrico (5° percentile di distribuzione della media)
$E_{dd}$ = Valore di Progetto del Modulo Edometrico





ALTRI PARAMETRI PROVA CPT-01

Falda 1.0 m

Qt	Fr	Ic	FC	LITOLOGIA	L-h <sub>2</sub> O	Vs	G <sub>o</sub>	K	OCR	Cu	Ed	Dr	φ	Mo
-	-	-	%	Robertson		m/s	Mpa	m/s	-	KPa	KPa	%	°	KPa
211.9	1.0	1.68	5.7	Sabbie e Sabbie Limose		184	67	7.0E-05	-	-	-	109	35.9	33844
203.2	3.5	2.11	16.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose		222	103	3.5E-06	-	-	-	96	33.8	28527
151.8	6.0	2.38	25.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	217	99	5.3E-07	-	-	-	76	31.5	19542
253.5	1.4	1.74	7.0	Sabbie e Sabbie Limose	L	229	109	4.5E-05	-	-	-	111	35.4	44227
207.1	2.6	2.01	13.1	Sabbie e Sabbie Limose	L	235	116	7.1E-06	-	-	-	96	33.6	36477
109.7	2.8	2.20	18.9	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	184	68	1.9E-06	-	-	-	65	30.2	17743
228.1	2.3	1.93	11.1	Sabbie e Sabbie Limose	L	251	133	1.2E-05	-	-	-	101	34.0	42864
198.1	4.8	2.24	20.3	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	275	164	1.4E-06	-	-	-	90	32.5	37288
187.2	4.3	2.20	19.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	268	155	1.8E-06	-	-	-	88	32.2	37056
148.0	5.0	2.31	23.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	254	138	8.3E-07	-	-	-	76	30.9	29088
122.0	4.0	2.29	22.0	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	230	110	1.0E-06	-	-	-	68	30.0	24609
194.3	2.6	2.01	13.3	Sabbie e Sabbie Limose	L	263	147	6.8E-06	-	-	-	92	32.5	42651
141.6	5.1	2.34	23.9	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	267	154	7.1E-07	-	-	-	75	30.4	31311
115.9	3.5	2.26	21.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	233	113	1.2E-06	-	-	-	67	29.6	26184
94.0	3.9	2.35	24.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	222	101	6.3E-07	-	-	-	57	28.4	21171
77.9	4.4	2.44	28.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	213	92	3.4E-07	-	-	-	48	27.4	17561
70.0	2.9	2.34	24.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	192	73	6.8E-07	-	-	-	44	27.0	16150
67.8	2.9	2.35	24.4	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	192	73	6.4E-07	-	-	-	43	26.8	16068
67.8	2.9	2.35	24.4	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	195	75	6.5E-07	-	-	-	44	26.8	16576
59.8	2.8	2.38	25.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	187	68	5.3E-07	-	-	-	38	26.2	14739
53.9	4.2	2.54	32.3	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	198	78	1.7E-07	-	-	-	33	25.4	13542
51.2	2.7	2.42	27.1	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	180	62	4.0E-07	-	-	-	31	25.4	13048
53.6	3.8	2.50	30.7	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	198	78	2.2E-07	-	-	-	34	25.4	14264
49.8	4.1	2.55	33.0	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	199	79	1.6E-07	-	-	-	31	25.0	13525
38.6	5.8	2.73	42.2	Argille Limose e Limi Argillosi	L	196	76	4.4E-08	14.8	129	9491	20	23.7	10542
49.6	2.9	2.45	28.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	190	71	3.2E-07	-	-	-	31	25.0	14076
39.3	4.7	2.67	38.7	Argille Limose e Limi Argillosi	L	195	75	7.0E-08	15.1	138	9945	21	23.8	11313
45.2	3.6	2.54	32.4	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	197	76	1.7E-07	-	-	-	28	24.5	13458
34.9	4.8	2.71	40.9	Argille Limose e Limi Argillosi	L	192	72	5.2E-08	13.4	127	9310	17	23.2	10460
33.2	8.8	2.91	52.7	Argille Limose e Limi Argillosi	L	219	98	1.3E-08	12.7	129	10107	16	22.8	10591
30.6	8.8	2.94	54.3	Argille Limose e Limi Argillosi	L	215	94	1.1E-08	11.7	121	9559	13	22.4	9956
34.6	4.8	2.71	41.0	Argille Limose e Limi Argillosi	L	199	78	5.2E-08	13.2	136	9985	18	23.1	11217
24.4	7.4	2.95	55.2	Argille	L	194	74	9.6E-09	9.3	97	7716	-	-	-
16.2	8.2	3.11	66.0	Argille	L	171	56	3.2E-09	6.2	63	5254	-	-	-
14.8	7.2	3.10	65.4	Argille	L	161	49	3.4E-09	5.6	57	4763	-	-	-
13.7	7.2	3.12	67.1	Argille	L	158	47	2.9E-09	5.2	54	4519	-	-	-
13.7	6.5	3.09	65.0	Argille	L	157	46	3.5E-09	5.2	55	4566	-	-	-
13.9	5.4	3.04	61.0	Argille	L	153	43	5.3E-09	5.3	56	4571	-	-	-
14.5	6.6	3.08	64.1	Argille	L	165	52	3.8E-09	5.5	61	5116	-	-	-
12.7	6.1	3.10	65.6	Argille	L	156	45	3.3E-09	4.8	54	4490	-	-	-
12.5	5.9	3.10	65.4	Argille	L	156	45	3.4E-09	4.7	54	4504	-	-	-
11.0	5.3	3.11	66.4	Argille	L	146	38	3.1E-09	4.2	47	3956	-	-	-
13.0	5.2	3.05	61.8	Argille	L	157	45	4.8E-09	4.9	58	4788	-	-	-
11.3	6.3	3.15	69.2	Argille	L	158	46	2.4E-09	4.3	52	4460	-	-	-
10.6	7.9	3.23	75.5	Argille	L	165	51	1.3E-09	4.0	52	4514	-	-	-
10.3	7.4	3.22	75.0	Argille	L	162	49	1.4E-09	3.9	50	4390	-	-	-
11.2	7.5	3.20	73.1	Argille	L	170	54	1.7E-09	4.2	57	4916	-	-	-
13.8	6.1	3.07	63.6	Argille	L	178	60	4.1E-09	5.3	72	5988	-	-	-
15.4	7.8	3.11	66.2	Argille	L	200	79	3.1E-09	5.9	86	7263	-	-	-
16.5	7.9	3.09	64.8	Argille	L	209	86	3.6E-09	6.3	96	7980	-	-	-
18.2	6.4	3.00	58.3	Argille	L	207	84	6.9E-09	6.9	105	8519	-	-	-
16.0	7.4	3.08	64.1	Argille	L	207	84	3.9E-09	6.1	95	7939	-	-	-
14.1	7.5	3.13	67.4	Argille	L	200	78	2.8E-09	5.4	85	7182	-	-	-
14.5	7.4	3.11	66.5	Argille	L	204	81	3.1E-09	5.5	90	7525	-	-	-
11.0	8.0	3.23	75.0	Argille	L	190	69	1.4E-09	4.2	68	5958	-	-	-
10.1	5.2	3.14	68.3	Argille	L	164	50	2.6E-09	3.8	59	4958	-	-	-
14.3	5.7	3.04	61.3	Argille	L	195	73	5.1E-09	5.4	90	7367	-	-	-
12.6	7.9	3.18	71.3	Argille	L	205	82	2.0E-09	4.8	84	7189	-	-	-
14.8	6.2	3.05	62.3	Argille	L	206	82	4.6E-09	5.6	98	8081	-	-	-
14.5	6.9	3.09	64.9	Argille	L	213	89	3.6E-09	5.5	100	8343	-	-	-
10.5	6.5	3.18	71.8	Argille	L	187	66	1.9E-09	4.0	71	6064	-	-	-
10.7	5.1	3.11	66.3	Argille	L	178	59	3.1E-09	4.1	70	5901	-	-	-
11.2	4.8	3.08	63.8	Argille	L	180	60	4.0E-09	4.3	75	6206	-	-	-
13.8	4.5	2.99	57.9	Argille	L	193	71	7.2E-09	5.3	95	7643	-	-	-
15.3	6.2	3.04	61.4	Argille	L	220	96	5.0E-09	5.8	114	9345	-	-	-
15.7	7.9	3.11	66.0	Argille	L	241	117	3.2E-09	6.0	125	10472	-	-	-
15.7	7.9	3.11	66.1	Argille	L	243	119	3.2E-09	6.0	127	10627	-	-	-
17.0	7.3	3.06	62.5	Argille	L	247	123	4.5E-09	6.5	139	11456	-	-	-
10.6	11.2	3.34	84.1	Argille	L	238	113	8.1E-10	4.0	93	8373	-	-	-
45.0	1.2	2.24	20.3	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	L	218	92	1.4E-06	-	-	-	35	23.9	24556



<p>Cu= Coesione non drenata                  Ed= Modulo Edometrico                  Nc= Fattore di capacità portante terrenp coesivo                  Qa<sub>1</sub>= Carico ammissibile semplificato (Terzaghi)                  Mo= Modulo Confinato                  Nq= Fattore di capacità portante terreno incoerente                  Qa<sub>2</sub>= Carico ammissibile semplificato (Terzaghi)</p>	<table border="1"> <tr> <td><math>I_c &lt; 1.26</math></td> <td>FC (%) = 0</td> </tr> <tr> <td><math>1.26 &lt; I_c &lt; 3.5</math></td> <td>FC (%) = <math>1.75I_c^{3.25} - 3.7</math></td> </tr> <tr> <td><math>I_c &gt; 3.5</math></td> <td>FC (%) = 1000</td> </tr> </table>	$I_c < 1.26$	FC (%) = 0	$1.26 < I_c < 3.5$	FC (%) = $1.75I_c^{3.25} - 3.7$	$I_c > 3.5$	FC (%) = 1000
$I_c < 1.26$	FC (%) = 0						
$1.26 < I_c < 3.5$	FC (%) = $1.75I_c^{3.25} - 3.7$						
$I_c > 3.5$	FC (%) = 1000						

<p>Qc = Resistenza alla punta del penetrometro                  Qt = <math>(Qc - \sigma'_{v0}) / (\sigma'_{v0})^n</math>                  Fr = <math>100 \cdot (Fs / (Qc - \sigma'_{v0}))</math>                  Ic = <math>[(3.47 - \log(Q))^2 + (\log(F) + 1.22)^2]^n</math>                  FC = <math>1.75 \cdot IC^{3.25} - 3.7</math></p>	<p>Resistenza alla punta normalizzata                  Friction Ratio                  Indice di comportamento del terreno                  Contenuto di Fine (%)</p>
---	---

Argille Cu:	$(Qc - \sigma'_{v0}) / n$	; n = 20	
Argille Ed:	$(Qc - \sigma'_{v0}) \cdot 1.35 \cdot Ic$		(Tonni e Gottardi 2011)
Ang.Att. $\phi'$ =	1) $14.4 + 4.8 \ln(Qc) - 4.5 \cdot \sigma'_{v0}$ 2) $9.8 + 4.96 \ln(Qc/\sigma'_{v0})$ 3) $5.8 + 5.21 \ln(Qc/\sigma'_{v0})$ 4) $5.9 + 4.76 \ln(Qc/\sigma'_{v0})$		Durgunougu & Mitchell (1973-1975) Caquot Koppejan De Beer (1965-1967)
Sabbie Mo:	Mo=4·Qc per Qc<10 Mpa Mo=2·Qc+20 Mpa per 10<Qc<50 Mpa Mo=120·Qc per Qc>50 Mpa		(Lumne & Christophersen 1983)

$V_s = 10^{(0.55 \cdot Ic + 1.68)} \cdot (Qt - \sigma'_{v0}) / 1)^{0.5}$
$Go = (\gamma/g) \cdot V_s^2$
<p>K =</p> <p>Se <math>Ic &lt; 3.27</math>  <math>K = 10^{(0.952 - 3.04 \cdot Ic)}</math></p> <p>Se <math>Ic &gt; 3.27</math>  <math>K = 10^{(-4.52 - 1.37 \cdot Ic)}</math></p>

### DEFINIZIONE DENSITA' RELATIVA (Dr)

Formulazione empirica Baldi ed altri (1978-1983)

$$D_r = \frac{1}{C_2} \cdot \ln \left[ \frac{q_c}{C_0 \cdot (\sigma'_{v0})^{C_1}} \right]$$

### **Mayne e Kemper, 1988**

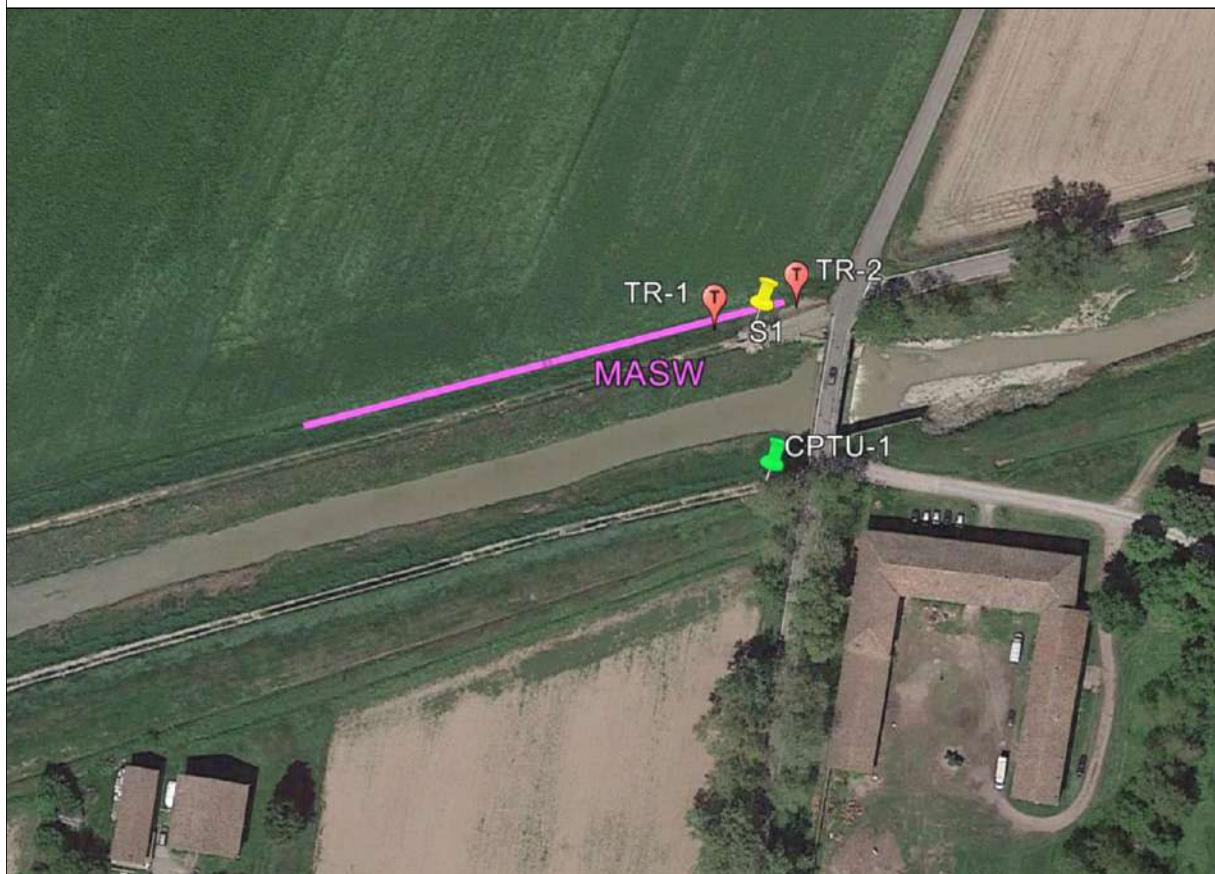
$$\sigma'_c = 0.243 \cdot (q_c)^{0.96}$$

$$OCR = 0.37 \cdot \left( \frac{q_c - \sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right)^{1.01}$$

# ALLEGATO C

## PROSPEZIONE SISMICA MASW

UBICAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE



— Prospezione Sismica MASW





## PROSPEZIONE SISMICA MULTICANALE IN ONDE DI SUPERFICIE (MASW)

La prospezione sismica multicanale in onde di superficie (Multichannel Analysis of Surface Waves; Park, Miller & Xia, 1999) è una tecnica attiva che prevede la registrazione tramite un apposito registratore digitale (sismografo) della propagazione delle onde di superficie, Rayleigh e Love (Rayleigh in questo caso), a partire da un punto di energizzazione in superficie (shot) a un array di punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica. La tecnica sfrutta la proprietà delle onde di superficie di essere dispersive nei mezzi multi-strato. L'analisi della dispersione del "groundroll" permette di ricavare la curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh. Dalla velocità delle onde di Rayleigh si ricava la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), poiché  $V_r = (0.85 \div 0.9)V_s$ .

Le  $V_s$  rappresentano un parametro utile a definire la rigidità dei terreni in quanto sono ad essa legate dalla relazione:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

dove:

$\mu$  = modulo di taglio (costante del mezzo)

$\rho$  = densità del mezzo.

### Procedure di campagna e acquisizione dei dati

Per generare le onde di superficie necessarie alla prospezione, è stata utilizzata una massa battente, su piastra in teflon, collegata a un sistema di trigger a sua volta collegato all'apparato di registrazione, in modo da comunicare in automatico al sismografo l'istante in cui iniziare la memorizzazione dei dati dei singoli ricevitori.

Sono stati utilizzati geofoni con asse strumentale verticale, posizionati sul terreno ad intervalli regolari in funzione della profondità di indagine richiesta, e collegati tramite morsetti bipolari ad un cavo elettrico multicanale, che a sua volta è collegato al sistema di registrazione.

Si è proceduto con la prospezione effettuando i tiri (shot) energizzanti in testa allo stendimento e quindi la registrazione digitale delle tracce sismiche ad ogni tiro effettuato.

I segnali sismici arrivati ai singoli geofoni sono stati acquisiti da un sismografo a 24 canali di registrazione simultanea. I segnali, dopo opportuna amplificazione, conversione del segnale da analogico a digitale ed eventuale filtraggio, sono stati registrati ed archiviati su personal computer.

### Elaborazione dei dati

Dall'analisi delle tracce acquisite si ottiene la curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel dominio delle frequenze, rappresentata da un grafico a contour che mette in relazione la frequenza ( $f$ ) e la velocità di fase ( $v$ ) delle onde stesse, legate dalla relazione:

$$v = \lambda f$$

dove:

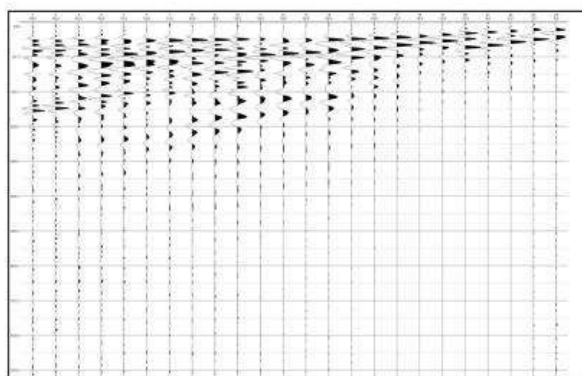
$\lambda$  = lunghezza d'onda.

Lo scopo dell'indagine è quello di ottenere infine un modello di sottosuolo in termini di velocità delle onde di taglio attraverso il processo di inversione mediante apposito software delle curve di dispersione ottenute.

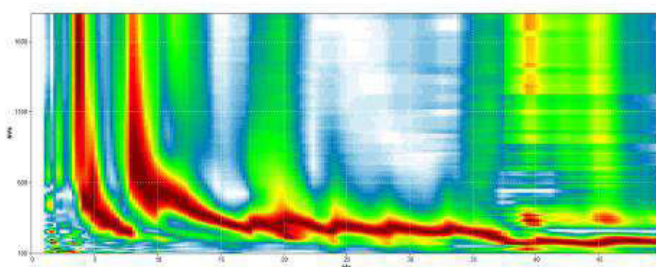




## PROSPEZIONE SISMICA MULTICANALE IN ONDE DI SUPERFICIE (MASW)



*Esempio di sismogramma a 24 tracce*



*Esempio di spettro delle velocità di fase delle onde di Rayleigh*

### Strumentazione utilizzata

Registratore digitale: sismografo AMBROGEO ECHO 24/2002 Seismic Unit, 16 bit, 24 canali;  
Ricevitori: 24 geofoni verticali a 4.5 Hz.

### Parametri di acquisizione

Energizzazione: mazza battente da 6 kg;  
Distanza intergeofonica: 5 m;  
Lunghezza stendimento: 115 m;  
Intervallo di campionamento: 0.131 ms  
Lunghezza tracce: 1000 ms



# PROSPEZIONE SISMICA MULTICANALE IN ONDE DI SUPERFICIE (MASW)

Ripresa fotografica



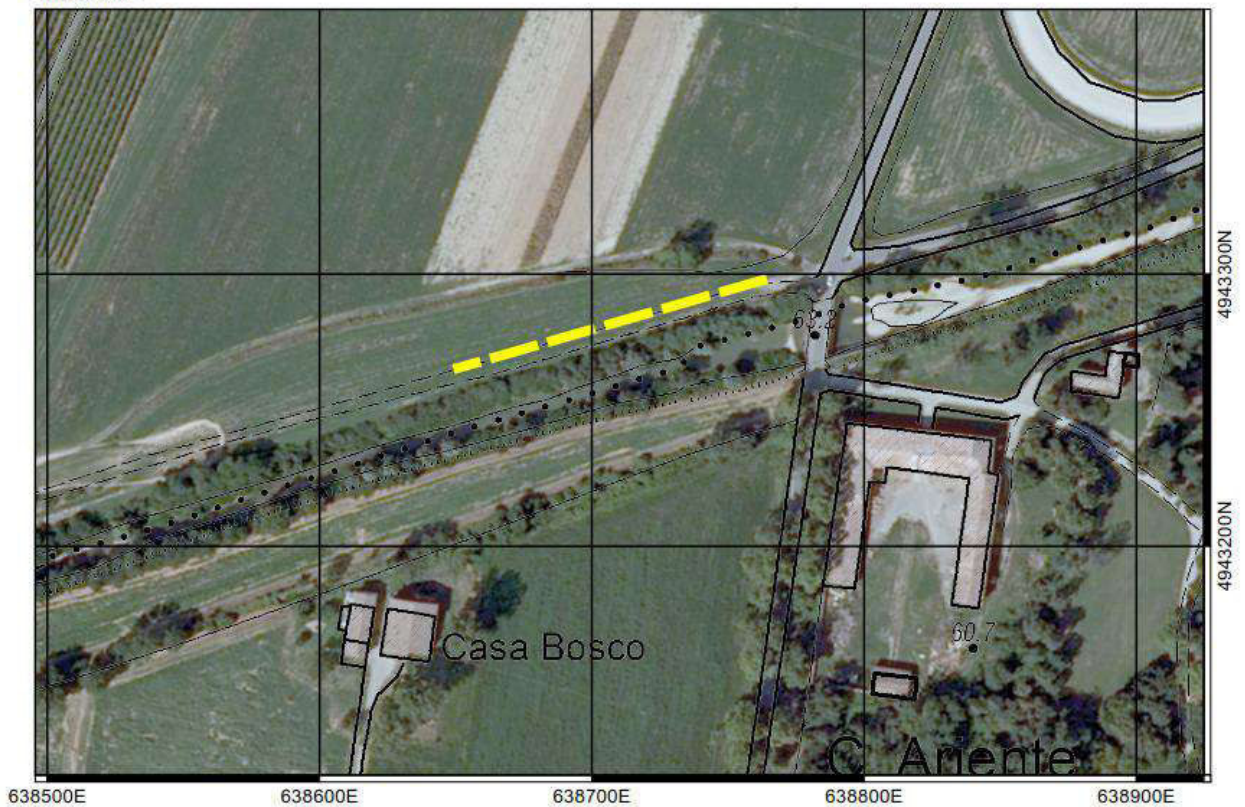
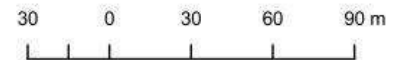
Località:

S. Donnino di Liguria  
Comune di Casalgrande (RE)

Data:

26/06/2020

Ubicazione







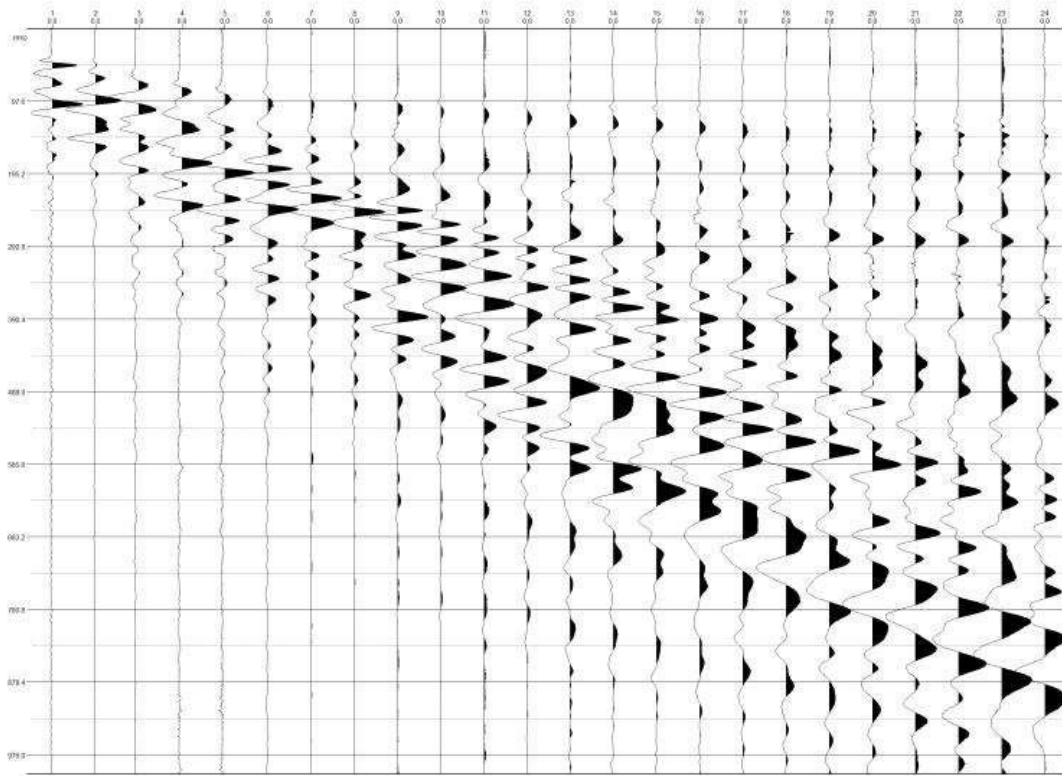
## SISMICA ATTIVA MULTICANALE IN ONDE DI SUPERFICIE

Località: S. Donnino di Liguria, Comune di Casalgrande (RE)

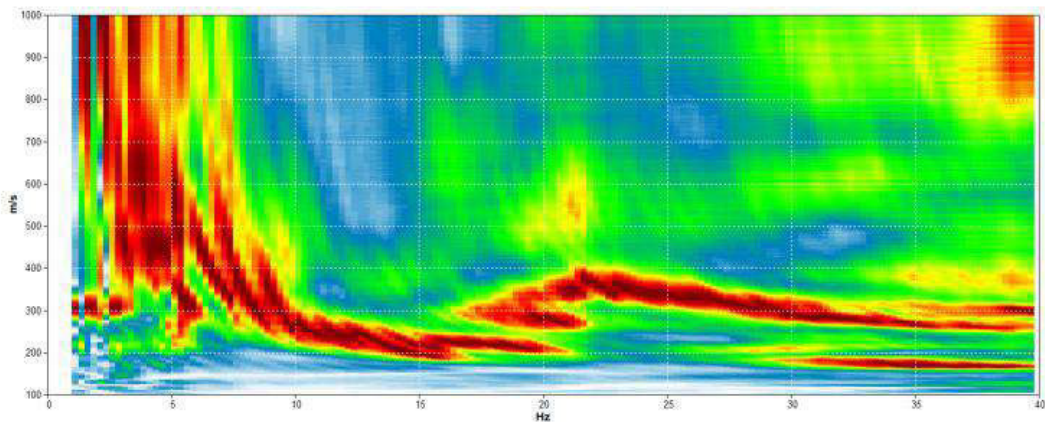
Numero di canali: 24

Geometria dell'array (x): 0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0 60.0 65.0 70.0 75.0 80.0 85.0 90.0 95.0 100.0 105.0 110.0 115.0 m.

SISMOGRAMMA DELLE 24 TRACCE ACQUISITE



SPETTRO DELLE VELOCITÀ DI FASE DELLE ONDE DI SUPERFICIE (RAYLEIGH)

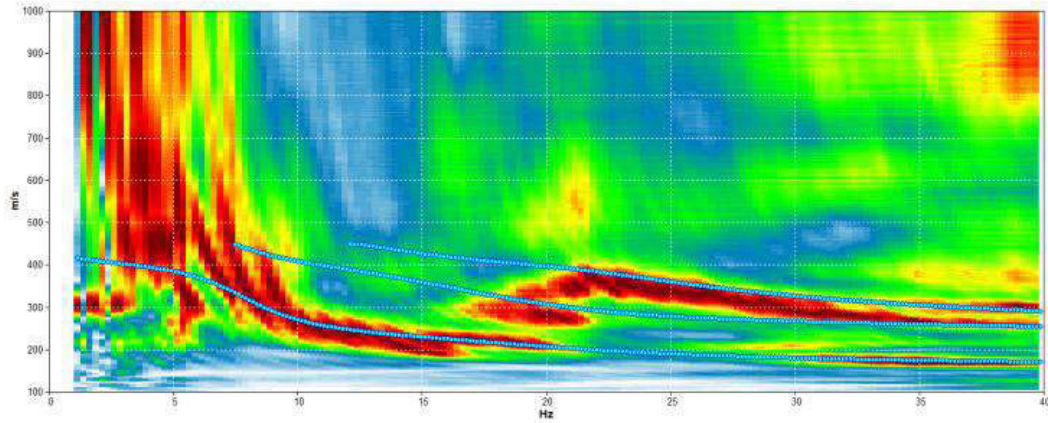




**SISMICA ATTIVA MULTICANALE IN ONDE DI SUPERFICIE**

**Località:** S. Donnino di Liguria, Comune di Casalgrande (RE)

**CURVA DI DISPERSIONE MODELLATA DELLE VELOCITÀ DI FASE DELLE ONDE DI RAYLEIGH**

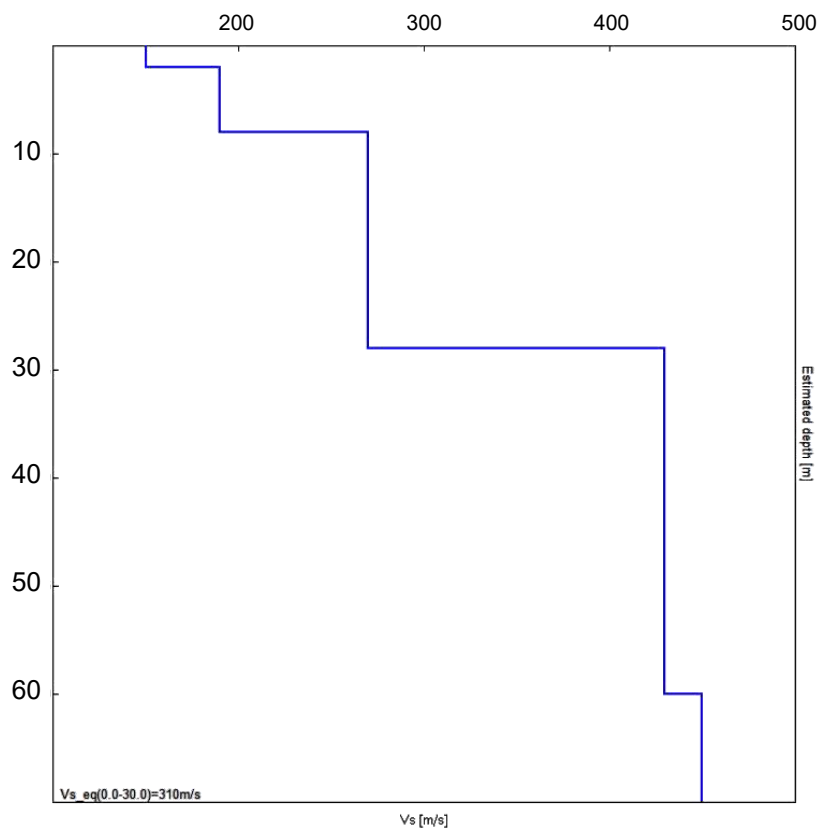


**MODELLO DI SOTTOSUOLO MEDIO**

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	150	0.43
4.00	3.00	190	0.43
14.00	10.00	270	0.43
30.00	16.00	430	0.43
inf.	inf.	450	0.43

**$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 311 \text{ m/s}$**

**PROFILO DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO ( $Vs$ )**

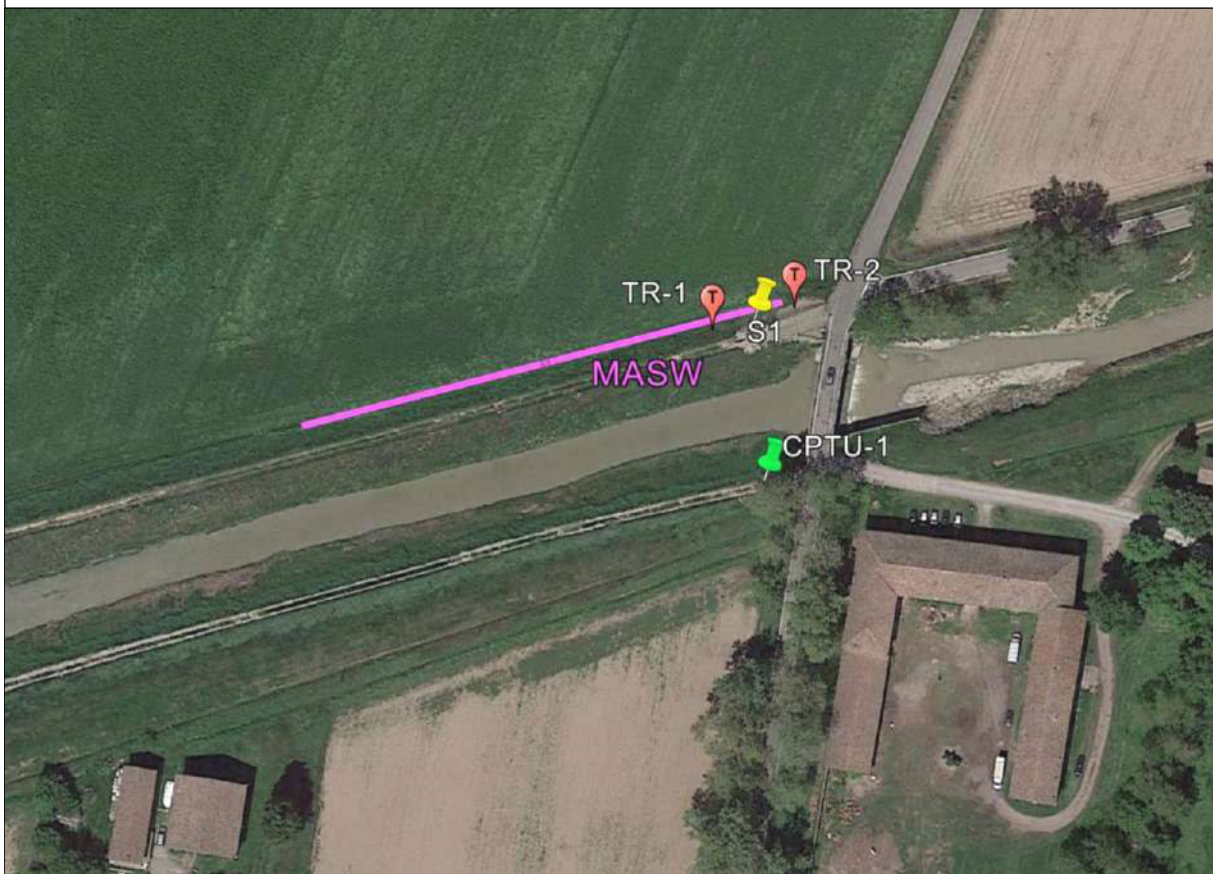




# ALLEGATO D

## REGISTRAZIONI SISMICHE HVSR

UBICAZIONE REGISTRAZIONE SISMICA



Registrazione sismica a stazione singola HVSR



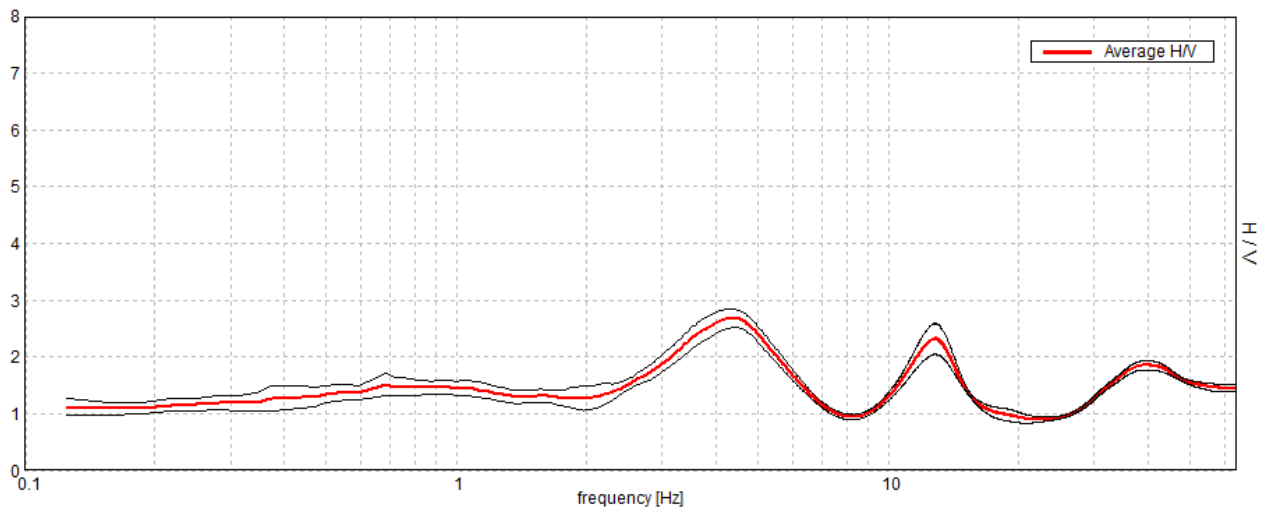
20\_060

TR\_01

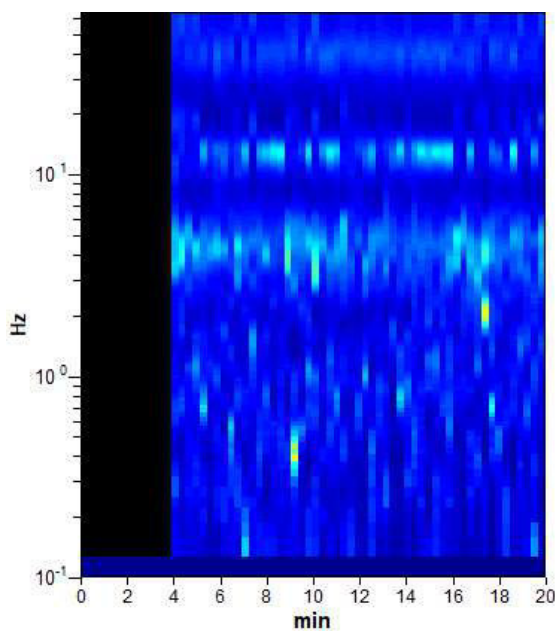
Instrument: TRS-0016/01-06  
Data format: 16 byte  
Full scale [mV]: 51  
Start recording: 04/07/20 11:27:09 End recording: 04/07/20 11:47:10  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
GPS location: 010°44.9655 E, 44°37.7811 N (108.9 m)  
(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples  
Satellite no.: 04  
Trace length: 0h20'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 18 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 22%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

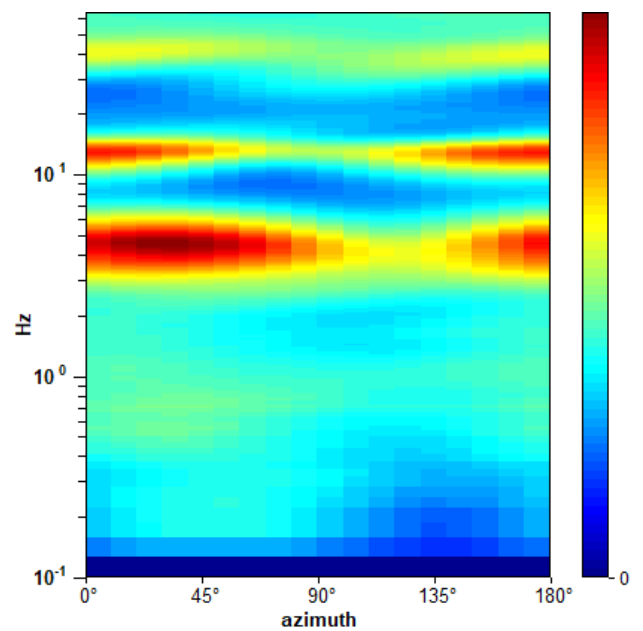
Max. H/V at  $4.38 \pm 0.16$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



### H/V TIME HISTORY

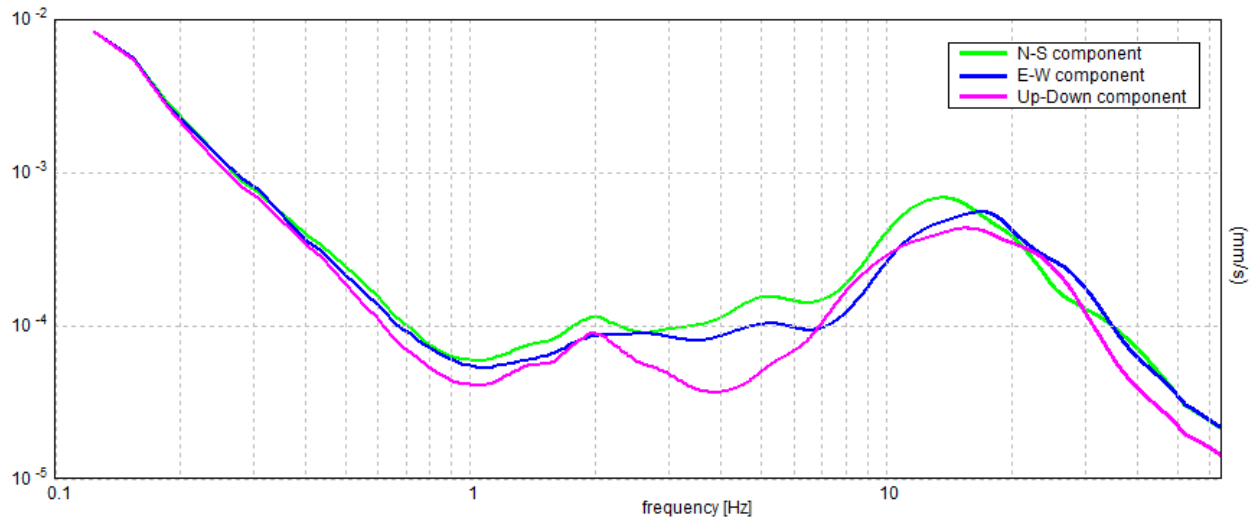


### DIRECTIONAL H/V



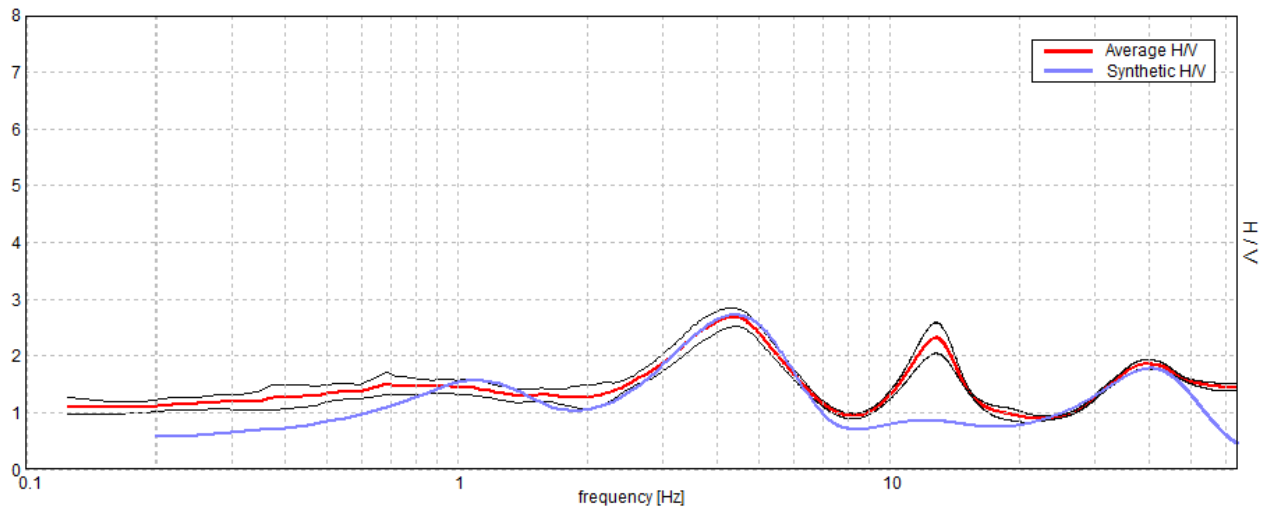


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

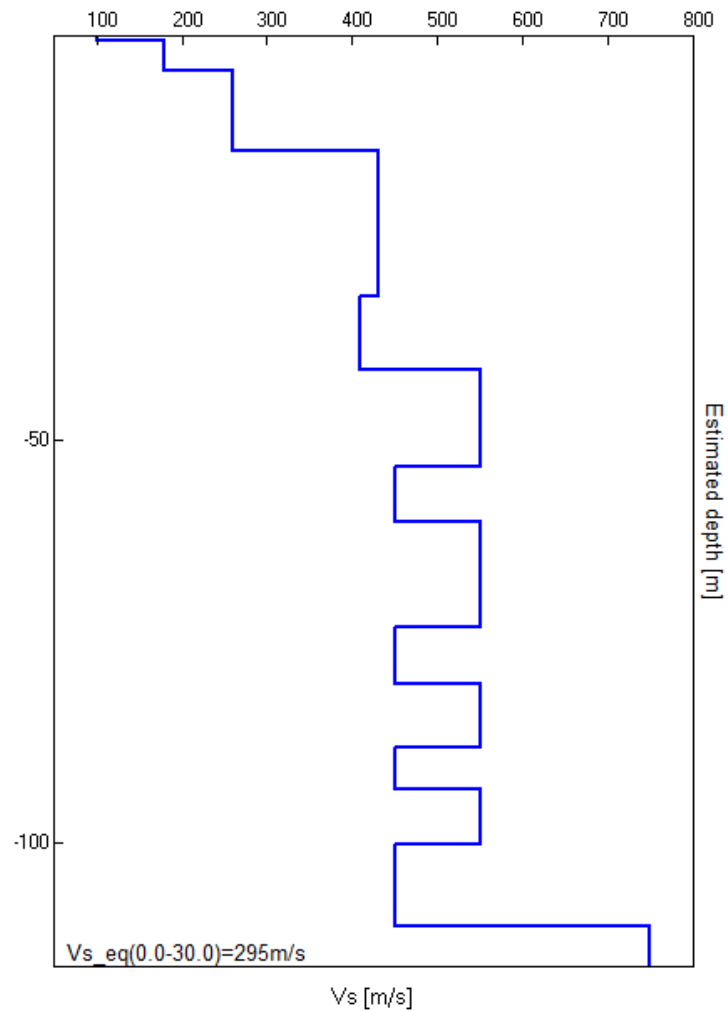
Max. H/V at  $4.38 \pm 0.16$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	100	0.45
4.30	3.70	180	0.45
14.30	10.00	260	0.45
32.30	18.00	430	0.40
41.30	9.00	410	0.40
53.30	12.00	550	0.35
60.30	7.00	450	0.40
73.30	13.00	550	0.35
80.30	7.00	450	0.40
88.30	8.00	550	0.35
93.30	5.00	450	0.40
100.30	7.00	550	0.35
110.30	10.00	450	0.40
inf.	inf.	750	0.35

**Vs\_eq(0.0-30.0)=295m/s**







[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $13.03 \pm 0.6$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	13.03 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	13291.9 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 626	<b>OK</b>	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	8.719 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	18.844 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	3.77 > 2	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04633  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.6037 < 0.65156	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1773 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 4.38 ± 0.16 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.38 > 0.56	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	4173.8 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 211 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.188 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	6.625 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	2.68 > 2	<b>OK</b>	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03667  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.16044 < 0.21875	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1631 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



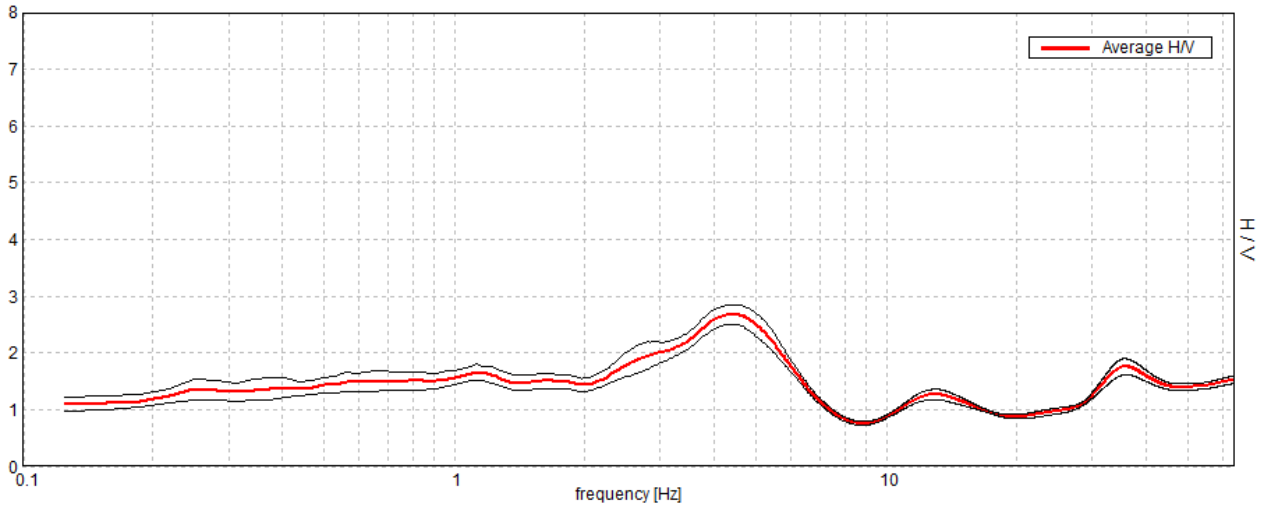
# 20\_060

# TR\_02

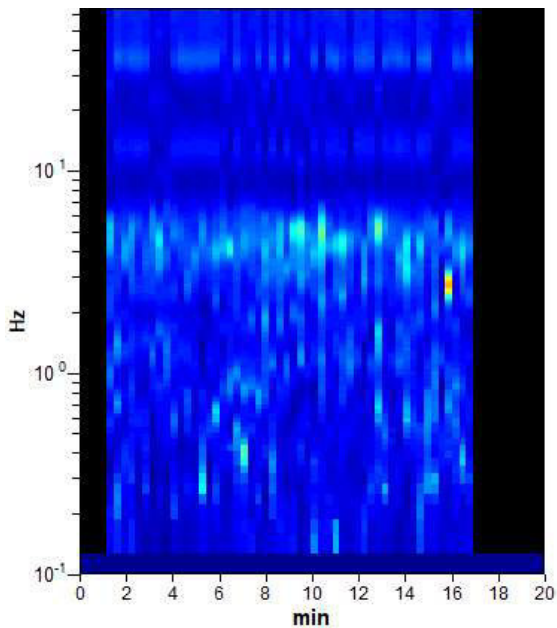
Instrument: TRS-0016/01-06  
Data format: 16 byte  
Full scale [mV]: 51  
Start recording: 04/07/20 12:07:25      End recording: 04/07/20 12:27:26  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
GPS location: 010°44.9727 E, 44°37.7822 N (102.7 m)  
(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples  
Satellite no.: 04  
Trace length: 0h20'00".      Analyzed 79% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 18 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 22%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

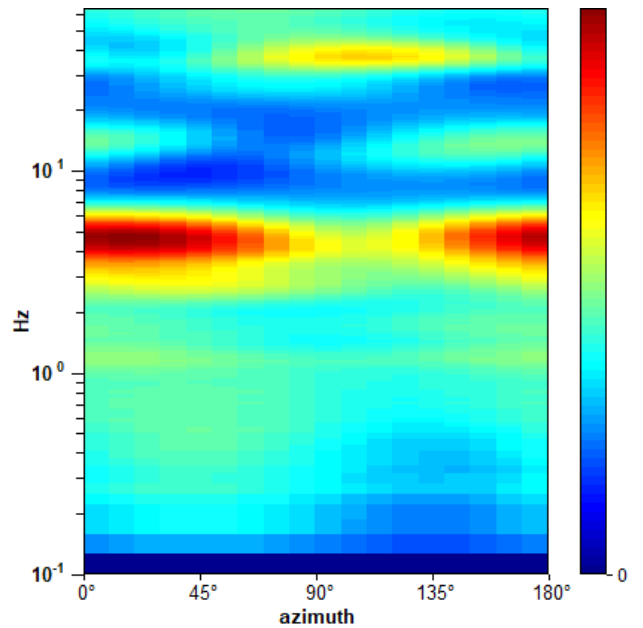
Max. H/V at 4.38 ± 0.21 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



## H/V TIME HISTORY

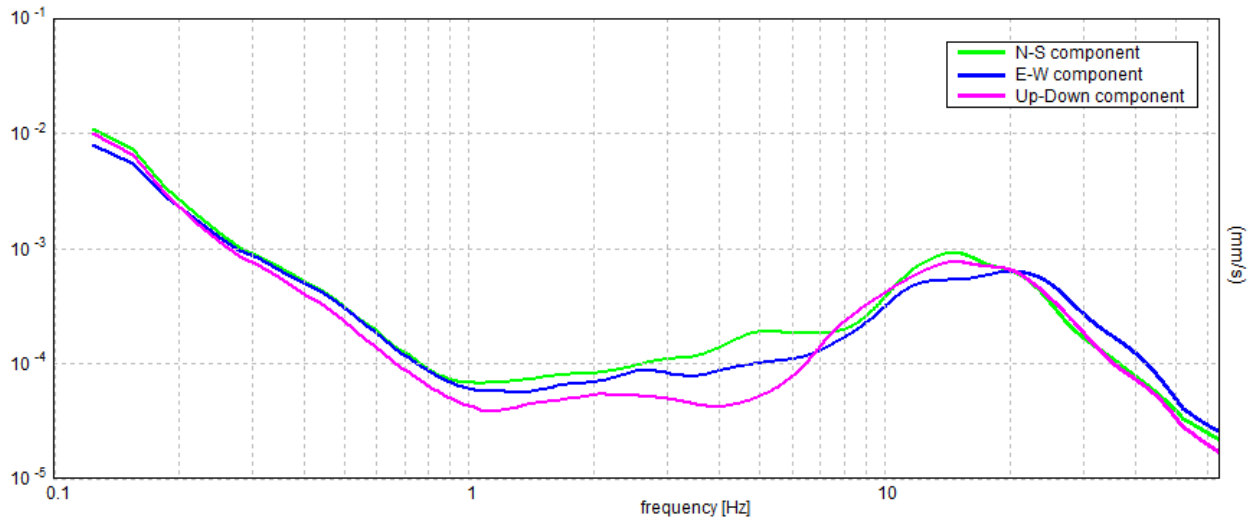


## DIRECTIONAL H/V



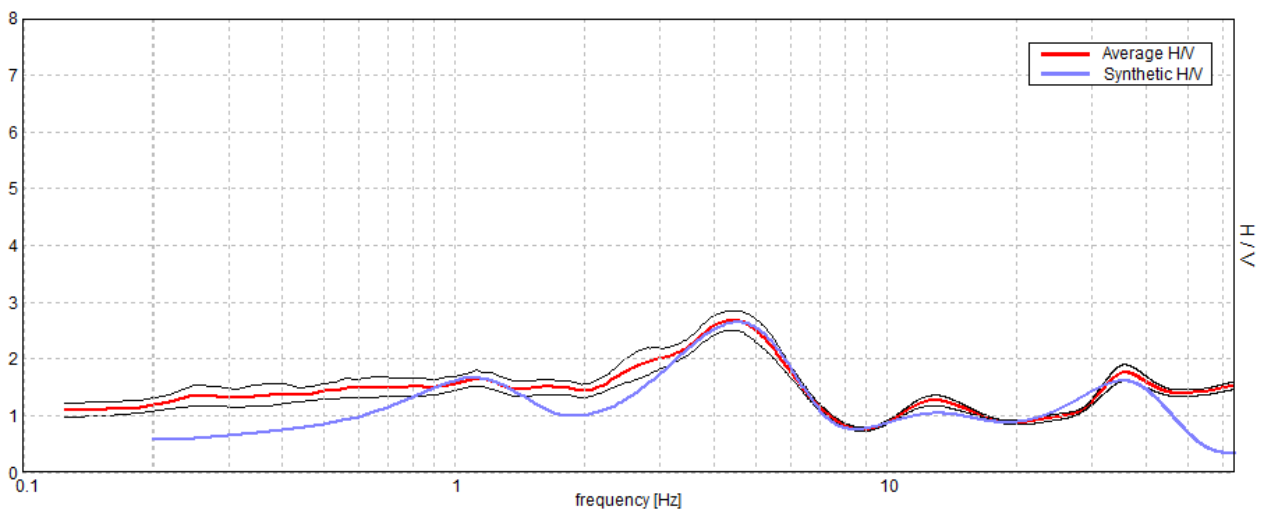


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $4.38 \pm 0.21$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

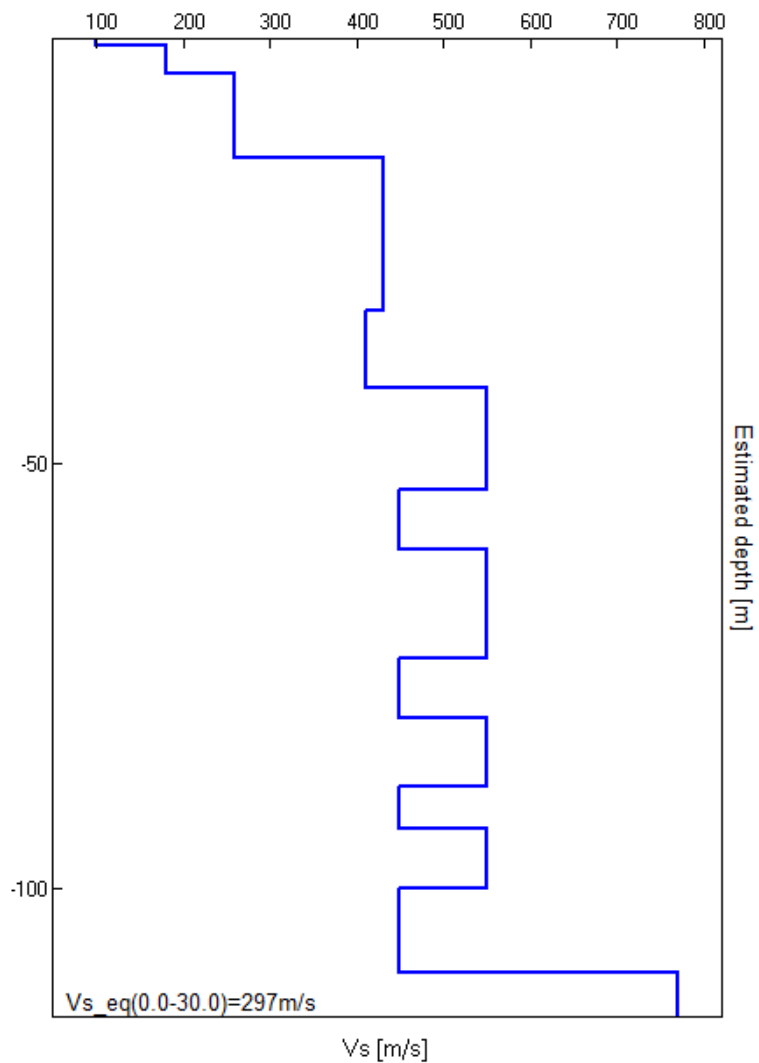






Bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	100	0.45
4.00	3.30	180	0.45
14.00	10.00	260	0.45
32.00	18.00	430	0.40
41.00	9.00	410	0.40
53.00	12.00	550	0.35
60.00	7.00	450	0.40
73.00	13.00	550	0.35
80.00	7.00	450	0.40
88.00	8.00	550	0.35
93.00	5.00	450	0.40
100.00	7.00	550	0.35
110.00	10.00	450	0.40
inf.	inf.	770	0.35

**Vs\_eq(0.0-30.0)=297m/s**





[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $4.38 \pm 0.21$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.38 > 0.56	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	4095.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 211 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	6.656 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	2.68 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.04841  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.21181 < 0.21875$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.169 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# **ALLEGATO E**

TABULATI CALCOLI DI LIQUEFAZIONE

## Richiami teorici

La verifica a liquefazione viene eseguita usando metodi di **analisi dinamica semplificata**. In particolare tutte le metodologie usate eseguono l'analisi in termini di **tensioni totali**.

In questi metodi il carico sismico (CSR) è determinato mediante un'analisi 1-D della risposta sismica locale del sito condotta in termini di tensioni totali, prescindendo quindi dallo sviluppo delle sovrappressioni neutre tipiche del processo di liquefazione.

Il rapporto di tensione ciclica (CSR) è confrontato con la resistenza a liquefazione, espressa attraverso il rapporto di resistenza ciclica (CRR) che può essere stimato utilizzando i risultati di prove in situ.

La sicurezza nei confronti della liquefazione è valutata in termini di coeff. di sicurezza:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Il fattore di sicurezza FS è indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare.

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta  $FS \leq \eta$  dove  $\eta$  dipende dal metodo usato.

### Metodo di calcolo della domanda di resistenza a liquefazione CSR

Il carico sismico, CSR, dipende dalla magnitudo  $M$  e dalla massima accelerazione in superficie,  $a_{max}$ .

Per una magnitudo  $M=7.5$  CSR è espresso dalla seguente relazione

$$CSR = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF K_G}$$

essendo

$a_{max}$	picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto
$g$	accelerazione di gravità
$\sigma_{v0}$ e $\sigma'_{v0}$	tensione verticale geostatica totale ed efficace
$r_d$	coefficiente riduttivo delle tensioni
MSF	fattore di scala per la magnitudo
$K_G$	fattore correttivo per il sovraccarico (metodi di Idriss e Boulanger 2014 per prove SPT e CPT)

### *Coefficiente riduttivo delle tensioni $r_d$*

Metodo di: **Eurocodice 8, Robertson e Wride (1997)**

$$\begin{aligned} r_d &= 1.0 - 0.00765z & z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d &= 1.174 - 0.0267z & 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0.774 - 0.008z & 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0.5 & z > 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Metodo di: **Idriss Boulanger (2004), Idriss Boulanger (2014)**

$$r_d = e^{\alpha(z) + \beta(z)M}$$

con:

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \operatorname{sen} \left( \frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \quad \beta(z) = 0.106 + 0.118 \operatorname{sen} \left( \frac{z}{11.28} + 5.142 \right)$$

### *Fattore di scala per la magnitudo*

Per terremoti con magnitudo diversa da 7.5 si applica un fattore correttivo MSF.

Le equazioni utilizzate, dai diversi metodi, per il calcolo di MSF vengono di seguito riportate.



**Metodo di: Idriss e Boulanger (2004)**

$$\text{MSF} = 6.9e^{\frac{-M}{4}} - 0.058 \quad \text{per } M > 5.2$$

$$\text{MSF} = 1.8 \quad \text{per } M \leq 5.2$$

**Metodo di: Monaco e Marchetti (2005), Robertson e Wride (1997)**

$$\text{MSF} = \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-3.3} \quad \text{per } M \leq 7.5$$

$$\text{MSF} = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \quad \text{per } M > 7.5$$

**Metodo di: Idriss e Boulanger (2014)**

$$\text{MSF} = 1 + (\text{MSF}_{\max} - 1) \left(8.64e^{\frac{-M}{4}} - 1.325\right)$$

$$\text{MSF}_{\max} = 1.09 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{180}\right)^3 \leq 2.2 \quad \text{Per prova CPT}$$

*Fattore di correzione per sovraccarico*

L'equazione utilizzata per il calcolo di  $K_\sigma$  viene di seguito riportata:

**Prova CPT**

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) \leq 1.1$$

con:

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 0.3$$

**Metodi di calcolo della resistenza a liquefazione CRR***Metodi usati con le prove CPT***Metodo: Robertson e Wride (1997)**

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove penetrometriche statiche viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$\text{CRR} = 0.883 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$\text{CRR} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right]^3 + 0.08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$$

La grandezza  $(q_{c1N})_{cs}$  rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

dove:

$$K_c = 1 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -0.403I_c^4 + 5.58I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

$$q_{c1N} = C_Q \left( \frac{q_c}{P_a} \right)$$

con:

$$C_Q = \left( \frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n$$

Il coeff.  $I_c$  (indice di comportamento) si calcola con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q - 3.47)^2}$$

con:

$$Q = \left( \frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100\%$$

dove:

$q_c$  è resistenza alla punta misurata durante la prova CPT

$f_s$  è l'attrito laterale specifico misurato durante la prova CPT

$\sigma_{v0}$  è la pressione verticale totale

$\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale efficace

L'esponente  $n$  assume inizialmente il valore unitario.

Se  $I_c \geq 2.6$  si conferma il valore  $n=1$  altrimenti si calcola  $q_{c1N}$  con la relazione scritta sopra e si ricalcola  $I_c$  con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log q_{c1N} - 3.47)^2}$$

Se  $I_c > 2.6$  si ricalcola  $q_{c1N}$ , utilizzando  $n=0.75$  altrimenti si conferma il valore  $n=0.5$ .

#### Metodo: **Idriss e Boulanger (2004)**

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) viene stimata attraverso la seguente espressione:

$$CRR = e^{\left[ \frac{q_{c1N}}{540} + \left( \frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]}$$

dove:

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

$$C_Q = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294 (q_{c1N})^{0.264}}$$

Tale curva è utilizzabile anche per materiali con frazione fina non trascurabile. In tal caso la resistenza penetrometrica normalizzata,  $q_{c1N}$ , deve essere ricondotta ad un valore equivalente per sabbie pulite  $(q_{c1N})_{cs}$  ad esempio mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

Il fattore correttivo  $K_c$  è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75 I_c - 22.63 I_c^2 + 5.58 I_c^3 - 0.403 I_c^4 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

Il parametro di comportamento del terreno,  $I_c$ , da inserire è una funzione della resistenza alla punta,  $q_c$ , e della resistenza laterale del manicotto,  $f_s$ , misurate nelle prove CPT. In particolare:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log q_{c1N} - 3.47)^2}$$

con

$$Q = \frac{(q_c - \sigma_{v0})}{P_a} \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

resistenza penetrometrica normalizzata, e

$$F = \left( \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \right) 100\%$$

resistenza laterale normalizzata.

L'esponente n varia tra 0.5 per le sabbie pulite ed 1.0 per materiali di tipo argilloso.

#### Metodo: **Idriss e Boulanger (2014)**

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) viene stimata attraverso la seguente espressione:

$$CRR = e^{\left[ \frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.8 \right]}$$

dove:

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$q_{c1N} = C_N \frac{q_c}{P_a}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left( 11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6} \right) e^{1.63 - \frac{9.7}{FC+2} - \left( \frac{15.7}{FC+2} \right)^2}$$

$$C_N = \left( \frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.249 (q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 1.7$$

FC è la frazione di fine. Questa può essere stimata con la formula:

$$FC = 80(I_c + C_{FC}) - 137 \quad 0\% \leq FC \leq 100\%$$

con  $I_c$  indice di comportamento che può essere stimato con la procedura di Robertson e Wride (1997).

Il coeff.  $I_c$  (indice di comportamento) si calcola con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q - 3.47)^2}$$

con:

$$Q = \left( \frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100\%$$

dove:

$q_c$  è resistenza alla punta misurata durante la prova CPT

$f_s$  è l'attrito laterale specifico misurato durante la prova CPT

$\sigma_{v0}$  è la pressione verticale totale

$\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale efficace

L'esponente n assume inizialmente il valore unitario.

Se  $I_c \geq 2.6$  si conferma il valore  $n=1$  altrimenti si calcola  $q_{c1N}$  con la relazione scritta sopra e si ricalcola  $I_c$  con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log q_{c1N} - 3.47)^2}$$

Se  $I_c > 2.6$  si ricalcola  $q_{c1N}$ , utilizzando  $n=0.75$  altrimenti si conferma il valore  $n=0.5$ .

## Calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI)

Il calcolo dell'Indice di Liquefazione è stato eseguito con il metodo di Sonmez (2003).

$$I_L = \int_{z=0}^{20} F(z)w(z)dz$$

dove:

$$F(z) = 1 - FS \quad FS < 0.95$$

$$F(z) = 2 \cdot 10^{-6} e^{-18.427FS} \quad 0.95 \leq FS < 1.2$$

$$F(z) = 0 \quad FS \geq 1.2$$

$$w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \left(1.0 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Il potenziale di liquefazione è definito come:

Indice di liquefazione ( $I_L$ )	Potenziale di liquefazione
$I_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 2$	Bassa
$2 < I_L \leq 5$	Moderata
$5 < I_L \leq 15$	Alta
$I_L > 15$	Molto alta

## Dati

### Dati stratigrafia

#### Parametri per il calcolo del potenziale di liquefazione

Simbologia adottata

$n^\circ$	Indice dello strato
Descrizione	Descrizione strato
h	Spessore dello strato espresso in [m]
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
Cu	Coefficiente di Uniformità
$d_{50}$	Diametro della curva granulometrica del passante al 50 per cento espresso in [mm]
fine	Contenuto di fine presente nello strato espressa in [%]

$n^\circ$	Descrizione	h	$\gamma$	$\gamma_s$	Cu	$d_{50}$	Fine noto	fine	S/A
		[m]	[kg/mc]	[kg/mc]		[mm]		[%]	
1	Sabbie Limose	2.00	2000	2000	2.500	0.100	NO	--	Sabbia
2	Limi e Limi Sabbiosi	4.00	2000	2000	2.500	0.100	NO	--	Sabbia
3	Argille Limose	1.00	2000	2000	2.500	0.100	NO	--	Argilla
4	Argille	7.00	1900	1900	2.500	0.010	NO	--	Argilla
5	Ghiaie	6.50	2000	2000	0.000	0.010	NO	--	Sabbia

### Prova CPT

Simbologia adottata

$n^\circ$	Numero d'ordine dei valori delle misure della prova;
$z_i$	Profondità alla quale viene effettuata la misura della prova espressa in [m];
$q_c$	Resistenza alla punta della prova CPT espressa in [kg/cmq].
$f_s$	Resistenza laterale della prova CPT espressa in [kg/cmq].

n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>
	[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]
1	0.61	5.51	0.03	95	1.55	56.29	2.17	189	2.49	77.60	3.47
2	0.62	37.52	0.15	96	1.56	54.45	2.31	190	2.50	75.56	3.56
3	0.63	44.25	0.14	97	1.57	47.11	2.30	191	2.51	74.54	3.55
4	0.64	51.49	0.11	98	1.58	44.76	2.28	192	2.52	72.81	3.55
5	0.65	54.35	0.12	99	1.59	43.13	2.29	193	2.53	72.30	3.57
6	0.66	63.12	0.20	100	1.60	36.71	2.05	194	2.54	70.67	3.57
7	0.67	71.48	0.31	101	1.61	33.55	2.19	195	2.55	69.44	3.56
8	0.68	74.74	0.44	102	1.62	31.30	2.09	196	2.56	66.99	3.53
9	0.69	79.23	0.59	103	1.63	30.90	1.85	197	2.57	65.36	3.49
10	0.70	86.88	0.82	104	1.64	32.32	1.76	198	2.58	61.59	3.42
11	0.71	92.18	0.83	105	1.65	34.26	1.60	199	2.59	59.86	3.37
12	0.72	98.91	0.95	106	1.66	32.83	1.54	200	2.60	57.21	3.24
13	0.73	100.75	1.00	107	1.67	33.14	1.51	201	2.61	55.47	3.17
14	0.74	101.66	1.15	108	1.68	28.96	1.46	202	2.62	54.66	3.09
15	0.75	109.21	1.32	109	1.69	28.45	1.35	203	2.63	53.13	2.93
16	0.76	117.57	1.60	110	1.70	30.79	1.09	204	2.64	52.72	2.86
17	0.77	122.16	1.76	111	1.71	38.14	0.94	205	2.65	52.82	2.58
18	0.78	130.42	1.84	112	1.72	38.24	0.87	206	2.66	52.82	2.47
19	0.79	144.59	2.04	113	1.73	41.40	0.71	207	2.67	53.64	2.38
20	0.80	106.15	1.87	114	1.74	47.01	0.77	208	2.68	54.25	2.40
21	0.81	122.87	1.91	115	1.75	53.53	0.76	209	2.69	55.47	2.36
22	0.82	124.40	1.99	116	1.76	59.96	0.75	210	2.70	56.80	2.30
23	0.83	98.20	1.75	117	1.77	66.38	0.86	211	2.71	57.92	2.25
24	0.84	89.73	1.67	118	1.78	72.40	0.85	212	2.72	60.26	2.19
25	0.85	72.60	1.64	119	1.79	72.40	0.85	213	2.73	61.69	2.17
26	0.86	73.32	1.83	120	1.80	81.17	0.86	214	2.74	64.24	2.14
27	0.87	67.40	1.76	121	1.81	89.22	0.79	215	2.75	67.81	2.15
28	0.88	64.95	2.17	122	1.82	99.83	0.79	216	2.76	69.34	2.16
29	0.89	63.32	2.40	123	1.83	102.58	0.85	217	2.77	73.42	2.17
30	0.90	61.18	2.53	124	1.84	107.17	1.01	218	2.78	75.15	2.17
31	0.91	62.61	2.78	125	1.85	110.13	1.31	219	2.79	78.52	2.19
32	0.92	62.92	2.71	126	1.86	114.00	1.45	220	2.80	80.35	2.25
33	0.93	60.47	2.74	127	1.87	122.67	1.56	221	2.81	80.86	2.28
34	0.94	60.77	2.79	128	1.88	129.81	1.72	222	2.82	81.37	2.36
35	0.95	59.45	2.86	129	1.89	136.03	1.78	223	2.83	80.86	2.39
36	0.96	58.63	3.00	130	1.90	136.95	1.99	224	2.84	81.17	2.47
37	0.97	57.51	3.09	131	1.91	131.95	2.45	225	2.85	81.88	2.54
38	0.98	55.88	3.19	132	1.92	129.50	2.65	226	2.86	83.31	2.57
39	0.99	55.68	3.19	133	1.93	126.14	2.99	227	2.87	87.29	2.65
40	1.00	54.45	3.20	134	1.94	117.16	3.88	228	2.88	89.02	2.70
41	1.01	53.53	3.24	135	1.95	113.70	3.99	229	2.89	94.73	2.80
42	1.02	53.33	3.23	136	1.96	111.25	4.14	230	2.90	103.30	2.87
43	1.03	52.21	3.06	137	1.97	106.97	4.35	231	2.91	108.19	2.90
44	1.04	57.00	2.69	138	1.98	104.42	4.57	232	2.92	120.73	2.93
45	1.05	69.85	2.41	139	1.99	99.32	4.73	233	2.93	133.48	3.02
46	1.06	62.92	2.28	140	2.00	97.59	4.88	234	2.94	138.68	3.08
47	1.07	57.21	2.15	141	2.01	94.73	4.93	235	2.95	147.55	3.28
48	1.08	50.37	2.82	142	2.02	93.51	5.03	236	2.96	157.54	3.30
49	1.09	64.75	2.52	143	2.03	91.87	5.20	237	2.97	156.83	3.31
50	1.10	57.61	2.57	144	2.04	91.67	5.31	238	2.98	154.59	3.33
51	1.11	46.50	2.98	145	2.05	92.28	5.30	239	2.99	147.24	3.51
52	1.12	41.71	3.30	146	2.06	91.87	5.21	240	3.00	136.44	3.64
53	1.13	41.30	3.33	147	2.07	91.37	5.19	241	3.01	125.63	3.87
54	1.14	43.44	3.31	148	2.08	91.37	4.86	242	3.02	116.14	4.07
55	1.15	38.65	3.30	149	2.09	91.16	4.78	243	3.03	107.37	4.26
56	1.16	38.54	3.20	150	2.10	92.89	4.61	244	3.04	102.58	4.37
57	1.17	36.91	3.10	151	2.11	93.30	4.50	245	3.05	94.42	4.53
58	1.18	36.71	2.97	152	2.12	95.24	4.28	246	3.06	87.08	4.72
59	1.19	37.22	2.97	153	2.13	95.95	4.18	247	3.07	80.66	4.78
60	1.20	37.32	3.00	154	2.14	96.87	4.07	248	3.08	75.76	4.70
61	1.21	40.18	2.88	155	2.15	96.77	3.86	249	3.09	71.58	4.51
62	1.22	39.46	2.63	156	2.16	95.34	3.77	250	3.10	69.85	4.50
63	1.23	43.54	2.59	157	2.17	93.91	3.75	251	3.11	68.22	4.47
64	1.24	44.66	2.76	158	2.18	91.98	3.69	252	3.12	67.20	4.39
65	1.25	77.50	1.64	159	2.19	90.96	3.70	253	3.13	67.61	4.20
66	1.26	98.91	1.56	160	2.20	91.37	3.70	254	3.14	67.20	3.85
67	1.27	124.10	1.56	161	2.21	91.87	3.70	255	3.15	64.04	3.46
68	1.28	150.30	1.46	162	2.22	95.24	3.73	256	3.16	63.43	3.29
69	1.29	166.72	1.26	163	2.23	98.10	3.73	257	3.17	61.90	3.06
70	1.30	152.55	1.17	164	2.24	104.52	3.72	258	3.18	60.06	2.82
71	1.31	146.22	1.16	165	2.25	110.84	3.75	259	3.19	57.72	2.65
72	1.32	141.74	1.27	166	2.26	111.86	3.76	260	3.20	57.10	2.59
73	1.33	141.33	1.29	167	2.27	109.62	3.84	261	3.21	57.31	2.50
74	1.34	156.42	1.28	168	2.28	107.88	3.86	262	3.22	57.31	2.46
75	1.35	155.81	1.05	169	2.29	102.79	3.96	263	3.23	59.24	2.42
76	1.36	152.96	1.04	170	2.30	97.38	4.01	264	3.24	61.79	2.36
77	1.37	146.73	1.79	171	2.31	92.18	4.02	265	3.25	64.45	2.31
78	1.38	143.27	1.83	172	2.32	90.04	4.03	266	3.26	66.28	2.28
79	1.39	146.53	2.29	173	2.33	86.88	4.04	267	3.27	66.99	2.28
80	1.40	153.77	2.44	174	2.34	84.43	4.07	268	3.28	67.81	2.28
81	1.41	156.63	2.29	175	2.35	81.78	4.08	269	3.29	67.30	2.27
82	1.42	152.14	2.26	176	2.36	80.45	4.08	270	3.30	67.30	2.27
83	1.43	146.02	2.25	177	2.37	77.91	4.11	271	3.31	66.89	2.26
84	1.44	133.89	2.36	178	2.38	76.48	4.12	272	3.32	67.20	2.26
85	1.45	116.65	2.71	179	2.39	76.27	4.07	273	3.33	67.50	2.24
86	1.46	116.65	2.71	180	2.40	76.27	4.03	274	3.34	67.81	2.20
87	1.47	116.65	2.71	181	2.41	77.60	3.95	275	3.35	68.42	2.19
88	1.48	95.75	2.96	182	2.42	79.94	3.84	276	3.36	68.52	2.21
89	1.49	95.75	2.79	183	2.43	81.78	3.78	277	3.37	68.22	2.23
90	1.50	91.87	2.75	184	2.44	82.49	3.71	278	3.38	66.99	2.26
91	1.51	89.73	2.45	185	2.45	81.47	3.66	279	3.39	66.28	2.27
92	1.52	80.35	2.28	186	2.46	81.47	3.66	280	3.40	65.57	2.31
93	1.53	78.01	2.10	187	2.47	81.47	3.66	281	3.41	64.34	2.37
94	1.54	71.28	1.93	188	2.48	64.24	3.35	282	3.42	63.63	2.42



n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>
	[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]
283	3.43	62.71	2.45	377	4.37	40.28	1.36	471	5.31	32.02	1.28
284	3.44	60.06	2.47	378	4.38	39.46	1.40	472	5.32	31.81	1.36
285	3.45	59.55	2.48	379	4.39	38.95	1.44	473	5.33	31.30	1.39
286	3.46	59.55	2.48	380	4.40	37.93	1.48	474	5.34	30.39	1.43
287	3.47	59.55	2.48	381	4.41	37.42	1.47	475	5.35	30.29	1.44
288	3.48	55.27	2.16	382	4.42	36.61	1.45	476	5.36	29.78	1.48
289	3.49	53.94	2.16	383	4.43	35.79	1.42	477	5.37	29.37	1.50
290	3.50	53.02	2.16	384	4.44	34.87	1.32	478	5.38	28.65	1.53
291	3.51	50.48	2.11	385	4.45	34.67	1.26	479	5.39	28.65	1.54
292	3.52	49.46	2.08	386	4.46	34.67	1.26	480	5.40	27.53	1.58
293	3.53	48.44	2.04	387	4.47	34.67	1.26	481	5.41	26.51	1.61
294	3.54	47.52	1.95	388	4.48	35.69	0.97	482	5.42	25.59	1.63
295	3.55	46.80	1.86	389	4.49	35.89	0.94	483	5.43	23.56	1.64
296	3.56	46.09	1.64	390	4.50	35.79	0.93	484	5.44	22.84	1.63
297	3.57	46.29	1.55	391	4.51	34.87	0.88	485	5.45	22.84	1.63
298	3.58	45.68	1.46	392	4.52	34.16	0.86	486	5.46	22.84	1.63
299	3.59	42.93	1.38	393	4.53	33.55	0.84	487	5.47	21.01	1.40
300	3.60	43.24	1.33	394	4.54	33.45	0.83	488	5.48	20.60	1.41
301	3.61	47.21	1.28	395	4.55	34.77	0.80	489	5.49	20.29	1.41
302	3.62	46.70	1.36	396	4.56	35.59	0.79	490	5.50	20.50	1.41
303	3.63	58.73	1.35	397	4.57	39.16	0.76	491	5.51	21.92	1.42
304	3.64	57.51	1.33	398	4.58	40.89	0.72	492	5.52	23.35	1.43
305	3.65	54.66	1.33	399	4.59	45.27	0.76	493	5.53	25.39	1.45
306	3.66	38.54	2.31	400	4.60	49.15	0.75	494	5.54	30.08	1.44
307	3.67	39.77	2.45	401	4.61	54.76	0.78	495	5.55	31.71	1.42
308	3.68	38.14	2.47	402	4.62	45.78	0.61	496	5.56	32.94	1.40
309	3.69	38.95	2.45	403	4.63	38.95	1.21	497	5.57	33.65	1.36
310	3.70	39.56	2.39	404	4.64	40.18	1.22	498	5.58	33.65	1.32
311	3.71	39.87	2.33	405	4.65	39.46	1.18	499	5.59	33.85	1.27
312	3.72	40.89	2.17	406	4.66	38.14	1.23	500	5.60	33.96	1.21
313	3.73	41.20	2.09	407	4.67	32.22	1.61	501	5.61	34.26	1.12
314	3.74	41.30	1.99	408	4.68	31.51	1.59	502	5.62	34.47	1.09
315	3.75	41.40	1.83	409	4.69	29.16	1.76	503	5.63	34.47	1.05
316	3.76	41.81	1.79	410	4.70	28.86	1.74	504	5.64	34.67	0.99
317	3.77	42.32	1.75	411	4.71	29.06	1.74	505	5.65	34.77	0.98
318	3.78	42.73	1.77	412	4.72	28.76	1.70	506	5.66	34.87	0.96
319	3.79	43.44	1.68	413	4.73	28.86	1.68	507	5.67	35.28	0.94
320	3.80	43.34	1.56	414	4.74	28.96	1.67	508	5.68	35.59	0.93
321	3.81	42.22	1.13	415	4.75	29.37	1.69	509	5.69	36.10	0.91
322	3.82	42.01	1.07	416	4.76	29.98	1.65	510	5.70	36.40	0.89
323	3.83	41.60	1.09	417	4.77	29.88	1.28	511	5.71	37.02	0.84
324	3.84	40.69	1.12	418	4.78	30.79	1.24	512	5.72	36.81	0.82
325	3.85	40.48	1.13	419	4.79	30.90	1.23	513	5.73	35.89	0.84
326	3.86	39.87	1.16	420	4.80	31.51	1.09	514	5.74	34.87	0.92
327	3.87	39.97	1.16	421	4.81	31.71	1.01	515	5.75	34.87	0.97
328	3.88	39.87	1.16	422	4.82	32.22	0.83	516	5.76	34.67	1.04
329	3.89	39.87	1.17	423	4.83	32.53	0.79	517	5.77	34.98	1.14
330	3.90	40.28	1.18	424	4.84	33.55	0.77	518	5.78	34.98	1.18
331	3.91	40.28	1.18	425	4.85	34.06	0.77	519	5.79	34.57	1.21
332	3.92	40.48	1.18	426	4.86	34.57	0.77	520	5.80	34.26	1.22
333	3.93	40.69	1.17	427	4.87	35.38	0.75	521	5.81	33.34	1.25
334	3.94	40.58	1.16	428	4.88	35.59	0.75	522	5.82	32.94	1.26
335	3.95	40.48	1.16	429	4.89	36.00	0.76	523	5.83	32.73	1.29
336	3.96	39.97	1.17	430	4.90	35.89	0.77	524	5.84	31.30	1.34
337	3.97	39.97	1.18	431	4.91	34.87	0.79	525	5.85	30.69	1.34
338	3.98	39.56	1.18	432	4.92	34.36	0.80	526	5.86	30.49	1.34
339	3.99	39.46	1.18	433	4.93	32.94	0.84	527	5.87	30.18	1.34
340	4.00	39.16	1.18	434	4.94	32.12	0.87	528	5.88	29.88	1.34
341	4.01	38.75	1.17	435	4.95	30.90	0.92	529	5.89	30.08	1.34
342	4.02	38.24	1.17	436	4.96	30.29	0.94	530	5.90	30.18	1.33
343	4.03	37.73	1.16	437	4.97	29.47	1.00	531	5.91	29.88	1.29
344	4.04	37.73	1.15	438	4.98	29.16	1.02	532	5.92	29.27	1.27
345	4.05	37.93	1.15	439	4.99	28.76	1.03	533	5.93	28.04	1.26
346	4.06	38.54	1.16	440	5.00	28.04	1.08	534	5.94	25.39	1.24
347	4.07	39.26	1.17	441	5.01	27.94	1.11	535	5.95	24.37	1.23
348	4.08	40.79	1.17	442	5.02	28.35	1.18	536	5.96	23.25	1.21
349	4.09	41.40	1.17	443	5.03	28.76	1.21	537	5.97	22.13	1.22
350	4.10	42.01	1.16	444	5.04	29.78	1.27	538	5.98	22.54	1.26
351	4.11	42.73	1.15	445	5.05	30.39	1.27	539	5.99	23.76	1.30
352	4.12	43.13	1.15	446	5.06	31.30	1.25	540	6.00	25.19	1.32
353	4.13	43.24	1.16	447	5.07	31.61	1.25	541	6.01	27.12	1.34
354	4.14	43.54	1.16	448	5.08	32.94	1.25	542	6.02	27.63	1.33
355	4.15	43.13	1.07	449	5.09	33.75	1.27	543	6.03	28.04	1.29
356	4.16	43.54	1.11	450	5.10	35.28	1.32	544	6.04	27.74	1.22
357	4.17	42.62	1.13	451	5.11	36.00	1.34	545	6.05	27.94	1.18
358	4.18	38.85	1.14	452	5.12	37.73	1.42	546	6.06	28.04	1.18
359	4.19	35.69	1.13	453	5.13	38.75	1.42	547	6.07	29.16	1.19
360	4.20	34.57	1.13	454	5.14	39.26	1.42	548	6.08	30.90	1.20
361	4.21	34.06	1.12	455	5.15	40.79	1.40	549	6.09	33.04	1.21
362	4.22	34.77	1.11	456	5.16	41.71	1.36	550	6.10	35.38	1.22
363	4.23	35.89	1.10	457	5.17	42.62	1.31	551	6.11	38.65	1.24
364	4.24	37.42	1.08	458	5.18	42.42	1.30	552	6.12	39.26	1.24
365	4.25	39.26	1.05	459	5.19	42.01	1.32	553	6.13	39.67	1.22
366	4.26	43.13	1.04	460	5.20	41.81	1.35	554	6.14	39.36	1.14
367	4.27	44.56	1.05	461	5.21	41.30	1.36	555	6.15	38.95	1.11
368	4.28	45.58	1.06	462	5.22	40.79	1.35	556	6.16	38.65	1.08
369	4.29	46.29	1.08	463	5.23	39.67	1.30	557	6.17	37.42	1.01
370	4.30	46.80	1.09	464	5.24	39.05	1.26	558	6.18	36.30	0.99
371	4.31	46.50	1.12	465	5.25	38.85	1.22	559	6.19	35.28	0.97
372	4.32	45.68	1.12	466	5.26	38.54	1.20	560	6.20	34.36	0.95
373	4.33	45.07	1.13	467	5.27	37.73	1.16	561	6.21	33.04	0.88
374	4.34	44.25	1.16	468	5.28	34.87	1.12	562	6.22	32.22	0.85
375	4.35	42.01	1.26	469	5.29	33.34	1.15	563	6.23	30.90	0.82
376	4.36	40.89	1.31	470	5.30	32.32	1.23	564	6.24	27.33	0.84

n°	z <sub>1</sub>	a <sub>c</sub>	f <sub>e</sub>	n°	z <sub>1</sub>	a <sub>c</sub>	f <sub>e</sub>	n°	z <sub>1</sub>	a <sub>c</sub>	f <sub>e</sub>
	[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]
565	6.25	25.49	0.85	659	7.19	14.99	1.43	753.0	8.13	12.13	0.57
566	6.26	23.96	0.88	660	7.20	13.87	1.41	754.0	8.14	12.85	0.57
567	6.27	21.82	1.04	661	7.21	13.56	1.38	755.0	8.15	12.24	0.54
568	6.28	21.01	1.11	662	7.22	13.15	1.28	756.0	8.16	12.54	0.52
569	6.29	20.90	1.19	663	7.23	13.05	1.22	757.0	8.17	12.95	0.51
570	6.30	21.01	1.23	664	7.24	12.54	1.11	758.0	8.18	13.56	0.52
571	6.31	22.84	1.26	665	7.25	12.44	1.07	759.0	8.19	14.58	0.54
572	6.32	23.76	1.27	666	7.26	12.34	1.04	760.0	8.20	15.09	0.60
573	6.33	24.47	1.28	667	7.27	12.54	0.99	761.0	8.21	14.99	0.65
574	6.34	26.31	1.33	668	7.28	12.75	0.97	762.0	8.22	14.99	0.67
575	6.35	26.82	1.37	669	7.29	13.36	0.92	763.0	8.23	14.99	0.65
576	6.36	27.33	1.44	670	7.30	13.66	0.90	764.0	8.24	14.79	0.66
577	6.37	28.04	1.55	671	7.31	13.87	0.87	765.0	8.25	14.68	0.68
578	6.38	28.35	1.59	672	7.32	14.58	0.80	766.0	8.26	14.58	0.73
579	6.39	28.55	1.63	673	7.33	14.58	0.76	767.0	8.27	14.07	0.79
580	6.40	28.86	1.67	674	7.34	14.58	0.76	768.0	8.28	13.46	0.83
581	6.41	29.37	1.74	675	7.35	14.28	0.79	769.0	8.29	12.85	0.86
582	6.42	29.37	1.78	676	7.36	14.07	0.83	770.0	8.30	12.24	0.85
583	6.43	29.47	1.84	677	7.37	13.36	0.91	771.0	8.31	11.83	0.82
584	6.44	29.47	1.84	678	7.38	12.85	0.94	772.0	8.32	11.73	0.79
585	6.45	29.47	1.84	679	7.39	12.03	0.97	773.0	8.33	12.03	0.78
586	6.46	28.25	2.12	680	7.40	11.83	0.96	774.0	8.34	12.34	0.79
587	6.47	28.14	2.20	681	7.41	11.73	0.90	775.0	8.35	12.24	0.83
588	6.48	27.63	2.25	682	7.42	11.52	0.88	776.0	8.36	12.13	0.84
589	6.49	27.12	2.30	683	7.43	11.11	0.85	777.0	8.37	12.24	0.82
590	6.50	25.80	2.35	684	7.44	11.11	0.85	778.0	8.38	12.13	0.77
591	6.51	25.19	2.35	685	7.45	11.11	0.85	779.0	8.39	11.93	0.75
592	6.52	24.88	2.37	686	7.46	13.46	0.73	780.0	8.40	11.93	0.72
593	6.53	24.47	2.39	687	7.47	13.15	0.77	781.0	8.41	11.52	0.73
594	6.54	24.57	2.40	688	7.48	12.54	0.77	782.0	8.42	11.11	0.74
595	6.55	24.57	2.40	689	7.49	12.24	0.75	783.0	8.43	10.60	0.75
596	6.56	24.37	2.40	690	7.50	11.93	0.76	784.0	8.44	10.60	0.75
597	6.57	24.37	2.40	691	7.51	11.73	0.77	785.0	8.45	10.60	0.75
598	6.58	24.37	2.38	692	7.52	11.52	0.75	786.0	8.46	12.95	0.66
599	6.59	24.27	2.35	693	7.53	11.62	0.75	787.0	8.47	12.13	0.63
600	6.60	24.37	2.33	694	7.54	11.83	0.75	788.0	8.48	11.73	0.63
601	6.61	24.17	2.24	695	7.55	12.34	0.75	789.0	8.49	11.52	0.64
602	6.62	23.76	2.20	696	7.56	12.54	0.74	790.0	8.50	11.01	0.59
603	6.63	23.66	2.18	697	7.57	12.85	0.72	791.0	8.51	10.71	0.55
604	6.64	23.45	2.14	698	7.58	12.95	0.71	792.0	8.52	11.11	0.54
605	6.65	23.45	2.12	699	7.59	12.64	0.70	793.0	8.53	11.62	0.53
606	6.66	23.56	2.10	700	7.60	12.54	0.70	794.0	8.54	11.83	0.52
607	6.67	23.66	2.07	701	7.61	12.24	0.70	795.0	8.55	12.03	0.52
608	6.68	23.56	2.06	702	7.62	11.83	0.70	796.0	8.56	11.93	0.51
609	6.69	23.66	2.05	703	7.63	10.91	0.71	797.0	8.57	11.83	0.50
610	6.70	23.76	2.04	704	7.64	10.71	0.70	798.0	8.58	11.83	0.51
611	6.71	23.86	2.03	705	7.65	10.60	0.69	799.0	8.59	11.93	0.52
612	6.72	24.27	2.03	706	7.66	10.71	0.70	800.0	8.60	11.83	0.55
613	6.73	24.68	2.03	707	7.67	10.81	0.72	801.0	8.61	11.42	0.59
614	6.74	24.88	2.03	708	7.68	10.81	0.75	802.0	8.62	11.32	0.60
615	6.75	25.29	2.03	709	7.69	11.01	0.80	803.0	8.63	11.01	0.58
616	6.76	26.41	2.03	710	7.70	11.42	0.80	804.0	8.64	10.71	0.57
617	6.77	27.02	2.02	711	7.71	11.62	0.80	805.0	8.65	10.50	0.57
618	6.78	27.63	2.00	712	7.72	11.83	0.78	806.0	8.66	10.71	0.56
619	6.79	28.35	1.97	713	7.73	11.62	0.75	807.0	8.67	11.11	0.59
620	6.80	28.76	1.95	714	7.74	11.52	0.70	808.0	8.68	11.11	0.62
621	6.81	29.27	1.93	715	7.75	11.62	0.68	809.0	8.69	11.42	0.67
622	6.82	30.08	1.83	716	7.76	11.73	0.67	810.0	8.70	11.73	0.67
623	6.83	30.08	1.77	717	7.77	12.13	0.67	811.0	8.71	12.03	0.66
624	6.84	30.29	1.71	718	7.78	12.24	0.67	812.0	8.72	12.54	0.61
625	6.85	30.18	1.58	719	7.79	12.13	0.69	813.0	8.73	12.54	0.58
626	6.86	29.98	1.52	720	7.80	11.93	0.70	814.0	8.74	12.34	0.56
627	6.87	29.78	1.37	721	7.81	11.62	0.64	815.0	8.75	12.34	0.55
628	6.88	29.67	1.30	722	7.82	11.73	0.62	816.0	8.76	12.24	0.54
629	6.89	29.16	1.24	723	7.83	11.83	0.62	817.0	8.77	12.03	0.56
630	6.90	28.35	1.14	724	7.84	12.03	0.63	818.0	8.78	11.93	0.57
631	6.91	27.84	1.09	725	7.85	12.03	0.65	819.0	8.79	11.42	0.58
632	6.92	27.12	1.05	726	7.86	11.73	0.68	820.0	8.80	11.11	0.57
633	6.93	26.10	0.99	727	7.87	11.42	0.69	821.0	8.81	11.01	0.55
634	6.94	25.80	0.97	728	7.88	11.01	0.70	822.0	8.82	10.81	0.54
635	6.95	25.29	0.94	729	7.89	11.01	0.69	823.0	8.83	10.60	0.54
636	6.96	25.08	0.95	730	7.90	11.22	0.67	824.0	8.84	10.40	0.53
637	6.97	25.49	0.98	731	7.91	11.32	0.66	825.0	8.85	10.20	0.53
638	6.98	26.61	1.06	732	7.92	11.62	0.66	826.0	8.86	9.89	0.53
639	6.99	27.02	1.10	733	7.93	11.62	0.67	827.0	8.87	9.59	0.52
640	7.00	27.63	1.13	734	7.94	11.73	0.70	828.0	8.88	9.38	0.51
641	7.01	27.84	1.18	735	7.95	11.83	0.71	829.0	8.89	9.28	0.50
642	7.02	26.92	1.21	736	7.96	12.03	0.70	830.0	8.90	9.28	0.46
643	7.03	25.59	1.25	737	7.97	12.03	0.68	831.0	8.91	9.28	0.44
644	7.04	23.35	1.30	738	7.98	12.03	0.66	832.0	8.92	9.59	0.41
645	7.05	22.84	1.33	739	7.99	12.03	0.65	833.0	8.93	9.69	0.40
646	7.06	22.23	1.34	740	8.00	11.93	0.61	834.0	8.94	9.89	0.39
647	7.07	21.11	1.35	741	8.01	11.83	0.60	835.0	8.95	10.20	0.38
648	7.08	20.60	1.38	742	8.02	11.73	0.59	836.0	8.96	10.50	0.38
649	7.09	19.58	1.44	743	8.03	11.62	0.57	837.0	8.97	10.81	0.38
650	7.10	19.48	1.46	744	8.04	11.22	0.56	838.0	8.98	11.11	0.39
651	7.11	19.37	1.47	745	8.05	11.01	0.56	839.0	8.99	11.22	0.40
652	7.12	19.27	1.47	746	8.06	10.71	0.56	840.0	9.00	11.22	0.40
653	7.13	19.07	1.46	747	8.07	10.50	0.56	841.0	9.01	12.54	0.40
654	7.14	18.97	1.46	748	8.08	10.40	0.56	842.0	9.02	12.64	0.41
655	7.15	18.25	1.47	749	8.09	10.30	0.56	843.0	9.03	13.36	0.44
656	7.16	17.64	1.48	750	8.10	10.40	0.57	844.0	9.04	13.77	0.45
657	7.17	16.32	1.46	751	8.11	11.01	0.57	845.0	9.05	13.66	0.46
658	7.18	15.60	1.44	752	8.12	11.52	0.57	846.0	9.06	13.15	0.47

n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>
	[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]
847	9.07	12.54	0.49	941	10.01	11.52	0.84	1035	10.95	18.86	1.30
848	9.08	12.34	0.50	942	10.02	11.62	0.85	1036	10.96	18.46	1.31
849	9.09	12.13	0.52	943	10.03	11.62	0.85	1037	10.97	18.56	1.31
850	9.10	12.13	0.55	944	10.04	11.83	0.82	1038	10.98	18.56	1.31
851	9.11	12.24	0.57	945	10.05	12.24	0.80	1039	10.99	18.25	1.33
852	9.12	12.54	0.61	946	10.06	13.15	0.76	1040	11.00	18.05	1.32
853	9.13	12.64	0.66	947	10.07	13.97	0.74	1041	11.01	18.15	1.30
854	9.14	12.34	0.66	948	10.08	14.38	0.73	1042	11.02	18.25	1.28
855	9.15	12.13	0.66	949	10.09	14.99	0.73	1043	11.03	18.66	1.24
856	9.16	12.13	0.65	950	10.10	15.40	0.73	1044	11.04	18.76	1.22
857	9.17	12.03	0.65	951	10.11	16.62	0.71	1045	11.05	18.76	1.21
858	9.18	11.93	0.67	952	10.12	17.13	0.74	1046	11.06	18.25	1.22
859	9.19	11.83	0.67	953	10.13	17.44	0.78	1047	11.07	18.15	1.21
860	9.20	11.73	0.68	954	10.14	17.74	0.80	1048	11.08	18.05	1.19
861	9.21	11.73	0.69	955	10.15	17.95	0.84	1049	11.09	18.15	1.17
862	9.22	11.93	0.68	956	10.16	18.25	0.87	1050	11.10	18.15	1.17
863	9.23	12.24	0.64	957	10.17	18.25	0.89	1051	11.11	18.15	1.17
864	9.24	12.24	0.61	958	10.18	18.15	0.95	1052	11.12	18.05	1.17
865	9.25	11.93	0.59	959	10.19	18.05	1.00	1053	11.13	17.95	1.18
866	9.26	11.42	0.57	960	10.20	17.84	1.07	1054	11.14	17.54	1.20
867	9.27	11.32	0.56	961	10.21	17.84	1.10	1055	11.15	17.44	1.18
868	9.28	11.52	0.56	962	10.22	17.95	1.17	1056	11.16	17.54	1.18
869	9.29	11.52	0.57	963	10.23	18.05	1.23	1057	11.17	17.84	1.17
870	9.30	11.11	0.58	964	10.24	18.15	1.26	1058	11.18	18.15	1.18
871	9.31	11.42	0.57	965	10.25	18.56	1.28	1059	11.19	18.15	1.19
872	9.32	10.71	0.56	966	10.26	18.15	1.32	1060	11.20	18.56	1.20
873	9.33	10.40	0.57	967	10.27	17.95	1.35	1061	11.21	18.86	1.21
874	9.34	10.30	0.57	968	10.28	17.84	1.34	1062	11.22	19.17	1.21
875	9.35	10.50	0.59	969	10.29	18.05	1.34	1063	11.23	19.37	1.20
876	9.36	10.50	0.63	970	10.30	18.76	1.31	1064	11.24	19.48	1.20
877	9.37	10.71	0.65	971	10.31	19.17	1.29	1065	11.25	19.37	1.19
878	9.38	11.11	0.67	972	10.32	19.58	1.26	1066	11.26	19.17	1.20
879	9.39	11.73	0.68	973	10.33	19.37	1.26	1067	11.27	19.07	1.21
880	9.40	12.64	0.66	974	10.34	19.07	1.26	1068	11.28	19.07	1.22
881	9.41	13.15	0.66	975	10.35	19.17	1.25	1069	11.29	18.86	1.26
882	9.42	12.54	0.65	976	10.36	18.66	1.27	1070	11.30	18.76	1.27
883	9.43	11.83	0.63	977	10.37	18.25	1.27	1071	11.31	18.66	1.29
884	9.44	11.83	0.63	978	10.38	17.74	1.32	1072	11.32	18.66	1.29
885	9.45	11.83	0.63	979	10.39	17.44	1.34	1073	11.33	18.97	1.29
886	9.46	12.03	0.77	980	10.40	17.33	1.36	1074	11.34	19.17	1.29
887	9.47	11.52	0.79	981	10.41	17.44	1.37	1075	11.35	19.27	1.29
888	9.48	11.01	0.80	982	10.42	17.33	1.41	1076	11.36	19.48	1.28
889	9.49	10.60	0.80	983	10.43	17.33	1.41	1077	11.37	19.27	1.29
890	9.50	10.40	0.81	984	10.44	17.33	1.41	1078	11.38	19.27	1.29
891	9.51	10.30	0.83	985	10.45	18.35	1.51	1079	11.39	18.86	1.28
892	9.52	10.10	0.86	986	10.46	18.35	1.53	1080	11.40	18.15	1.25
893	9.53	9.79	0.88	987	10.47	19.78	1.57	1081	11.41	17.74	1.25
894	9.54	9.59	0.88	988	10.48	20.29	1.60	1082	11.42	17.44	1.24
895	9.55	9.69	0.85	989	10.49	20.90	1.59	1083	11.43	17.44	1.24
896	9.56	10.20	0.81	990	10.50	21.11	1.54	1084	11.44	17.44	1.24
897	9.57	11.01	0.74	991	10.51	21.62	1.49	1085	11.45	17.74	1.11
898	9.58	12.13	0.68	992	10.52	21.52	1.47	1086	11.46	17.13	1.10
899	9.59	12.75	0.63	993	10.53	21.01	1.44	1087	11.47	16.21	1.07
900	9.60	12.64	0.60	994	10.54	21.52	1.38	1088	11.48	16.01	1.05
901	9.61	12.34	0.59	995	10.55	21.62	1.36	1089	11.49	15.81	1.04
902	9.62	12.03	0.57	996	10.56	21.72	1.35	1090	11.50	15.19	1.04
903	9.63	11.93	0.55	997	10.57	21.82	1.33	1091	11.51	14.89	1.03
904	9.64	11.52	0.55	998	10.58	21.92	1.33	1092	11.52	14.38	1.01
905	9.65	11.22	0.57	999	10.59	21.41	1.31	1093	11.53	13.97	0.99
906	9.66	10.40	0.60	1000	10.60	21.92	1.26	1094	11.54	13.36	0.94
907	9.67	10.30	0.62	1001	10.61	21.92	1.24	1095	11.55	13.05	0.92
908	9.68	10.20	0.64	1002	10.62	21.92	1.26	1096	11.56	12.54	0.87
909	9.69	10.30	0.67	1003	10.63	21.82	1.26	1097	11.57	11.93	0.83
910	9.70	10.30	0.69	1004	10.64	22.13	1.26	1098	11.58	11.62	0.81
911	9.71	10.30	0.73	1005	10.65	22.13	1.25	1099	11.59	11.22	0.77
912	9.72	10.30	0.74	1006	10.66	22.43	1.24	1100	11.60	11.01	0.75
913	9.73	10.50	0.76	1007	10.67	22.84	1.22	1101	11.61	10.81	0.72
914	9.74	10.60	0.78	1008	10.68	22.94	1.24	1102	11.62	10.71	0.71
915	9.75	10.60	0.78	1009	10.69	22.43	1.28	1103	11.63	10.50	0.68
916	9.76	10.91	0.78	1010	10.70	22.13	1.31	1104	11.64	10.40	0.65
917	9.77	11.01	0.77	1011	10.71	21.82	1.30	1105	11.65	10.30	0.61
918	9.78	11.42	0.74	1012	10.72	22.03	1.28	1106	11.66	10.40	0.59
919	9.79	11.73	0.72	1013	10.73	22.54	1.25	1107	11.67	10.81	0.55
920	9.80	11.93	0.70	1014	10.74	22.54	1.26	1108	11.68	11.22	0.53
921	9.81	12.34	0.67	1015	10.75	22.54	1.27	1109	11.69	11.52	0.51
922	9.82	12.64	0.66	1016	10.76	22.33	1.29	1110	11.70	12.34	0.47
923	9.83	13.05	0.66	1017	10.77	22.13	1.31	1111	11.71	12.75	0.46
924	9.84	13.46	0.68	1018	10.78	21.52	1.34	1112	11.72	13.66	0.44
925	9.85	12.64	0.69	1019	10.79	21.41	1.34	1113	11.73	13.97	0.44
926	9.86	12.03	0.74	1020	10.80	21.52	1.35	1114	11.74	14.38	0.46
927	9.87	11.93	0.74	1021	10.81	21.62	1.34	1115	11.75	14.48	0.48
928	9.88	11.93	0.73	1022	10.82	21.41	1.35	1116	11.76	14.89	0.50
929	9.89	11.83	0.74	1023	10.83	21.52	1.36	1117	11.77	14.99	0.52
930	9.90	11.93	0.74	1024	10.84	21.52	1.37	1118	11.78	15.30	0.56
931	9.91	12.13	0.76	1025	10.85	21.82	1.34	1119	11.79	15.70	0.60
932	9.92	12.13	0.78	1026	10.86	22.03	1.32	1120	11.80	16.01	0.61
933	9.93	12.44	0.84	1027	10.87	22.03	1.32	1121	11.81	16.42	0.66
934	9.94	13.05	0.91	1028	10.88	21.62	1.33	1122	11.82	16.52	0.69
935	9.95	12.95	0.92	1029	10.89	21.11	1.33	1123	11.83	16.72	0.74
936	9.96	12.44	0.93	1030	10.90	20.80	1.33	1124	11.84	16.93	0.77
937	9.97	12.13	0.92	1031	10.91	20.50	1.34	1125	11.85	17.44	0.83
938	9.98	11.93	0.88	1032	10.92	19.48	1.36	1126	11.86	17.54	0.86
939	9.99	11.62	0.84	1033	10.93	19.07	1.35	1127	11.87	18.25	0.90
940	10.00	11.73	0.84	1034	10.94	18.97	1.32	1128	11.88	18.56	0.92



n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>e</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>e</sub>	n°	z <sub>i</sub>	q <sub>c</sub>	f <sub>e</sub>
	[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]		[m]	[kg/cm]	[kg/cm]
1129	11.89	18.86	0.97	1223	12.83	14.58	0.64	1317.00	13.77	26.41	1.95
1130	11.90	19.17	0.98	1224	12.84	14.28	0.67	1318.00	13.78	26.41	1.95
1131	11.91	19.68	0.99	1225	12.85	14.28	0.66	1319.00	13.79	26.72	1.93
1132	11.92	20.09	1.01	1226	12.86	14.68	0.65	1320.00	13.8	27.12	1.91
1133	11.93	20.39	1.01	1227	12.87	14.99	0.65	1321.00	13.81	27.12	1.91
1134	11.94	20.70	1.04	1228	12.88	15.30	0.65	1322.00	13.82	27.23	1.92
1135	11.95	20.70	1.06	1229	12.89	15.81	0.65	1323.00	13.83	27.23	1.93
1136	11.96	20.90	1.09	1230	12.90	16.21	0.64	1324.00	13.84	27.23	1.93
1137	11.97	20.90	1.11	1231	12.91	16.62	0.64	1325.00	13.85	27.43	1.92
1138	11.98	20.90	1.15	1232	12.92	16.52	0.64	1326.00	13.86	26.72	1.94
1139	11.99	20.80	1.16	1233	12.93	16.42	0.65	1327.00	13.87	26.31	1.95
1140	12.00	20.60	1.19	1234	12.94	16.21	0.65	1328.00	13.88	26.41	1.95
1141	12.01	20.50	1.20	1235	12.95	16.01	0.66	1329.00	13.89	26.51	1.94
1142	12.02	20.19	1.22	1236	12.96	15.19	0.66	1330.00	13.9	26.41	1.93
1143	12.03	19.88	1.24	1237	12.97	14.68	0.67	1331.00	13.91	26.31	1.92
1144	12.04	19.27	1.28	1238	12.98	14.28	0.67	1332.00	13.92	26.61	1.9
1145	12.05	18.97	1.29	1239	12.99	14.07	0.71	1333.00	13.93	26.92	1.89
1146	12.06	18.56	1.31	1240	13.00	14.28	0.74	1334.00	13.94	26.72	1.88
1147	12.07	18.15	1.31	1241	13.01	14.38	0.77	1335.00	13.95	26.61	1.89
1148	12.08	17.44	1.32	1242	13.02	14.58	0.80	1336.00	13.96	26.51	1.87
1149	12.09	16.93	1.33	1243	13.03	15.19	0.82	1337.00	13.97	26.51	1.86
1150	12.10	16.42	1.31	1244	13.04	15.09	0.80	1338.00	13.98	26.82	1.83
1151	12.11	16.52	1.28	1245	13.05	15.30	0.79	1339.00	13.99	27.23	1.82
1152	12.12	16.42	1.26	1246	13.06	15.30	0.79	1340.00	14	27.02	1.83
1153	12.13	16.52	1.25	1247	13.07	15.19	0.76	1341.00	14.01	27.23	1.83
1154	12.14	16.62	1.23	1248	13.08	15.19	0.72	1342.00	14.02	27.43	1.83
1155	12.15	16.62	1.22	1249	13.09	15.70	0.67	1343.00	14.03	27.43	1.84
1156	12.16	17.13	1.18	1250	13.10	16.11	0.66	1344.00	14.04	27.63	1.85
1157	12.17	17.44	1.15	1251	13.11	16.21	0.65	1345.00	14.05	28.04	1.87
1158	12.18	18.15	1.11	1252	13.12	16.11	0.62	1346.00	14.06	28.25	1.87
1159	12.19	18.76	1.09	1253	13.13	16.42	0.55	1347.00	14.07	28.45	1.87
1160	12.20	18.97	1.07	1254	13.14	16.62	0.53	1348.00	14.08	28.65	1.88
1161	12.21	19.58	1.04	1255	13.15	16.83	0.53	1349.00	14.09	29.16	1.87
1162	12.22	19.68	1.03	1256	13.16	17.23	0.54	1350.00	14.1	29.67	1.87
1163	12.23	20.09	1.03	1257	13.17	17.33	0.54	1351.00	14.11	30.29	1.86
1164	12.24	20.19	1.04	1258	13.18	17.84	0.55	1352.00	14.12	30.9	1.9
1165	12.25	20.19	1.04	1259	13.19	18.05	0.53	1353.00	14.13	31.1	1.93
1166	12.26	20.19	1.05	1260	13.20	18.25	0.52	1354.00	14.14	31.2	1.96
1167	12.27	20.29	1.05	1261	13.21	17.84	0.52	1355.00	14.15	30.79	1.99
1168	12.28	20.39	1.05	1262	13.22	18.56	0.53	1356.00	14.16	30.49	2.02
1169	12.29	20.60	1.09	1263	13.23	19.17	0.58	1357.00	14.17	30.29	2.04
1170	12.30	20.50	1.10	1264	13.24	19.27	0.59	1358.00	14.18	30.08	2.04
1171	12.31	20.70	1.14	1265	13.25	20.29	0.58	1359.00	14.19	29.27	2.07
1172	12.32	20.90	1.15	1266	13.26	18.76	0.65	1360.00	14.2	28.65	2.09
1173	12.33	21.01	1.18	1267	13.27	18.76	0.66	1361.00	14.21	27.02	2.14
1174	12.34	21.01	1.20	1268	13.28	18.86	0.67	1362.00	14.22	26.61	2.14
1175	12.35	21.52	1.22	1269	13.29	19.17	0.69	1363.00	14.23	26.1	2.1
1176	12.36	21.62	1.25	1270	13.30	19.37	0.77	1364.00	14.24	25.59	2.11
1177	12.37	21.62	1.27	1271	13.31	19.58	0.81	1365.00	14.25	25.08	2.12
1178	12.38	21.72	1.30	1272	13.32	19.78	0.86	1366.00	14.26	23.25	2.18
1179	12.39	21.92	1.29	1273	13.33	20.39	0.95	1367.00	14.27	22.23	2.2
1180	12.40	22.74	1.28	1274	13.34	20.80	0.96	1368.00	14.28	20.7	2.19
1181	12.41	23.15	1.28	1275	13.35	21.21	0.98	1369.00	14.29	20.29	2.17
1182	12.42	23.11	1.18	1276	13.36	21.92	0.98	1370.00	14.3	19.27	2.13
1183	12.43	23.11	1.18	1277	13.37	22.13	0.99	1371.00	14.31	18.97	2.09
1184	12.44	23.11	1.18	1278	13.38	22.43	1.06	1372.00	14.32	18.35	2.06
1185	12.45	23.86	1.24	1279	13.39	22.54	1.10	1373.00	14.33	17.74	1.96
1186	12.46	23.66	1.27	1280	13.40	22.94	1.10	1374.00	14.34	17.44	1.92
1187	12.47	23.66	1.29	1281	13.41	23.15	1.11	1375.00	14.35	17.03	1.85
1188	12.48	23.56	1.30	1282	13.42	23.45	1.11	1376.00	14.36	16.11	1.72
1189	12.49	23.25	1.32	1283	13.43	23.45	1.11	1377.00	14.37	15.5	1.62
1190	12.50	22.84	1.34	1284	13.44	23.45	1.11	1378.00	14.38	15.19	1.51
1191	12.51	22.43	1.35	1285	13.45	22.84	1.03	1379.00	14.39	14.89	1.4
1192	12.52	21.92	1.36	1286	13.46	23.05	1.07	1380.00	14.4	14.48	1.21
1193	12.53	20.90	1.37	1287	13.47	23.45	1.11	1381.00	14.41	14.17	1.14
1194	12.54	20.50	1.37	1288	13.48	23.56	1.15	1382.00	14.42	13.77	1.09
1195	12.55	20.09	1.36	1289	13.49	23.86	1.22	1383.00	14.43	13.77	1.09
1196	12.56	19.27	1.33	1290	13.50	23.96	1.28	1384.00	14.44	13.77	1.09
1197	12.57	18.97	1.31	1291	13.51	23.66	1.32	1385.00	14.45	14.68	0.57
1198	12.58	18.56	1.30	1292	13.52	24.06	1.40	1386.00	14.46	14.17	0.58
1199	12.59	17.95	1.31	1293	13.53	24.68	1.45	1387.00	14.47	13.87	0.59
1200	12.60	17.23	1.27	1294	13.54	24.68	1.48	1388.00	14.48	13.87	0.59
1201	12.61	16.83	1.25	1295	13.55	24.57	1.52	1389.00	14.49	13.97	0.59
1202	12.62	16.62	1.23	1296	13.56	24.57	1.55	1390.00	14.5	14.17	0.58
1203	12.63	16.21	1.17	1297	13.57	24.88	1.58	1391.00	14.51	14.38	0.58
1204	12.64	16.11	1.13	1298	13.58	25.39	1.60	1392.00	14.52	22.23	0.57
1205	12.65	16.01	1.08	1299	13.59	25.80	1.61	1393.00	14.53	58.84	0.59
1206	12.66	15.91	1.00	1300	13.60	25.90	1.63	1394.00	14.54	51.8	0.6
1207	12.67	15.70	0.97	1301	13.61	25.80	1.68	1395.00	14.55	85.35	0.63
1208	12.68	15.30	0.94	1302	13.62	25.70	1.70	1396.00	14.56	117.16	0.72
1209	12.69	14.89	0.86	1303	13.63	26.41	1.75	1397.00	14.57	155.91	0.61
1210	12.70	14.79	0.82	1304	13.64	27.02	1.79	1398.00	14.58	180.49	0.62
1211	12.71	14.79	0.77	1305	13.65	26.92	1.81	1399.00	14.59	195.27	0.6
1212	12.72	14.68	0.72	1306	13.66	26.61	1.85	1400.00	14.6	206.18	0.82
1213	12.73	14.58	0.66	1307	13.67	26.31	1.89	1401.00	14.61	217.6	1.12
1214	12.74	14.48	0.64	1308	13.68	26.41	1.89	1402.00	14.62	233.31	1.11
1215	12.75	14.48	0.63	1309	13.69	26.41	1.89	1403.00	14.63	252.99	1.01
1216	12.76	14.68	0.61	1310	13.70	26.51	1.88				
1217	12.77	14.79	0.60	1311	13.71	26.41	1.91				
1218	12.78	14.79	0.60	1312	13.72	26.21	1.92				
1219	12.79	15.19	0.60	1313	13.73	25.80	1.93				
1220	12.80	15.40	0.60	1314	13.74	26.10	1.92				
1221	12.81	15.30	0.61	1315	13.75	26.51	1.93				
1222	12.82	14.99	0.63	1316	13.76	26.51	1.94				

Dati Strumento

Fattore correttivo che tiene conto del diametro del foro di sondaggio	$C_b=1.00$
Fattore correttivo che tiene conto della lunghezza delle aste	$C_r=1.00$
Fattore correttivo che tiene conto del tipo di campionatore	$C_s=1.00$
Fattore correttivo che tiene conto dell'efficienza del sistema di infissione usato	$C_e=1.00$

Dati Situ

Magnitudo dell'evento sismico	M	6.14	
Accelerazione massima su sito di riferimento rigido	$a_g$	1.850	[m/s <sup>2</sup> ]
Fattore di amplificazione spettrale	F0	2.54	
Categoria di sottosuolo	C		
Coefficiente amplificazione stratigrafica	Ss	1.413	
Presenza di sovraccarico al piano campagna	$p_0$	0.00	[kg/mq]
Profondità della falda dal piano campagna	$Z_w$	1.00	[m]
<b>Accelerazione massima</b>	<b><math>a_{max}/g</math></b>	<b>0.266</b>	

Controlli Normativa

	U.M.	Sito	Minimo normativo	Esito
Magnitudo		6.14	5.00	OK
Accelerazione massima	[%]	0.266	0.100	OK
Profondità media della falda	[m]	1.00	15.00	OK
Pressione alla punta prova CPT	[kg/cm <sup>2</sup> ]	11.02	180.00	OK
				<b>Verifica non richiesta</b>

**Risultati analisi liquefazione***Simbologia adottata*

$z_i$	Profondità alla quale viene calcolato il fattore di sicurezza espressa in [m]
$\sigma_v^*$	tensione verticale efficace calcolata alla profondità $z_i$ espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\sigma_v$	tensione verticale totale calcolata alla profondità $z_i$ espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$r_d$	coefficiente correttivo di riduzione delle tensioni con la profondità $z_i$
MSF	coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma
CSR	resistenza a taglio mobilitata espressa in termini di rapporto di tensione ciclica
CRR	sforzo di taglio indotto dal sisma espresso in termini di rapporto di resistenza ciclica
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra CRR e CSR)



**Metodo Robertson e Wride (1997) - CPT**

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.) 0.006  
 Rischio di liquefazione Bassa

Risultati analisi da prove CPT								
Robertson e Wride (1997)		Idriss e Boulanger (2004)		Idriss e Boulanger (2014)				
z [m]	[kg/cm	[kg/cm	[kg/cm	rd	MSF	CSR	CRR	FS
14.230	53.502	1.453	2.776	0.794	1.935	0.136	100.000	100.000
14.240	52.292	1.454	2.778	0.794	1.935	0.136	100.000	100.000
14.250	51.083	1.455	2.780	0.794	1.935	0.136	100.000	100.000
14.260	46.854	1.456	2.782	0.793	1.935	0.136	100.000	100.000
14.270	44.484	1.457	2.784	0.793	1.935	0.136	100.000	100.000
14.280	40.952	1.458	2.786	0.793	1.935	0.136	100.000	100.000
14.290	39.982	1.459	2.788	0.792	1.935	0.135	100.000	100.000
14.300	37.622	1.460	2.790	0.792	1.935	0.135	100.000	100.000
14.310	36.907	1.461	2.792	0.792	1.935	0.135	100.000	100.000
14.320	35.464	1.462	2.794	0.792	1.935	0.135	100.000	100.000
14.330	34.045	1.463	2.796	0.791	1.935	0.135	100.000	100.000
14.340	33.335	1.464	2.798	0.791	1.935	0.135	100.000	100.000
14.350	32.374	1.465	2.800	0.791	1.935	0.135	100.000	100.000
14.360	30.256	1.466	2.802	0.791	1.935	0.135	100.000	100.000
14.370	28.845	1.467	2.804	0.790	1.935	0.135	100.000	100.000
14.380	28.117	1.468	2.806	0.790	1.935	0.135	100.000	100.000
14.390	27.413	1.469	2.808	0.790	1.935	0.135	100.000	100.000
14.400	26.460	1.470	2.810	0.790	1.935	0.135	100.000	100.000
14.410	25.735	1.471	2.812	0.789	1.935	0.135	100.000	100.000
14.420	24.807	1.472	2.814	0.789	1.935	0.135	100.000	100.000
14.430	24.786	1.473	2.816	0.789	1.935	0.135	100.000	100.000
14.440	24.765	1.474	2.818	0.788	1.935	0.135	100.000	100.000
14.450	26.800	1.475	2.820	0.788	1.935	0.135	100.000	100.000
14.460	25.625	1.476	2.822	0.788	1.935	0.135	100.000	100.000
14.470	24.926	1.477	2.824	0.788	1.935	0.135	100.000	100.000
14.480	24.905	1.478	2.826	0.787	1.935	0.135	100.000	100.000
14.490	25.109	1.479	2.828	0.787	1.935	0.135	100.000	100.000
14.500	25.538	1.480	2.830	0.787	1.935	0.135	100.000	100.000
14.510	25.989	1.481	2.832	0.787	1.935	0.135	100.000	100.000
14.520	43.621	1.482	2.834	0.786	1.935	0.135	100.000	100.000
14.530	75.897	1.483	2.836	0.786	1.935	0.134	0.121	0.897
14.540	75.473	1.484	2.838	0.786	1.935	0.134	0.120	0.892
14.550	86.665	1.485	2.840	0.786	1.935	0.134	0.141	1.046
14.560	105.358	1.486	2.842	0.785	1.935	0.134	0.189	1.405
14.570	127.855	1.487	2.844	0.785	1.935	0.134	0.274	2.043
14.580	147.963	1.488	2.846	0.785	1.935	0.134	0.381	2.839
14.590	160.025	1.489	2.848	0.784	1.935	0.134	100.000	100.000
14.600	168.909	1.490	2.850	0.784	1.935	0.134	100.000	100.000
14.610	178.205	1.491	2.852	0.784	1.935	0.134	100.000	100.000
14.620	191.007	1.492	2.854	0.784	1.935	0.134	100.000	100.000
14.630	207.049	1.493	2.856	0.783	1.935	0.134	100.000	100.000

**Indice di Liquefazione : 0.006**  
**Rischio di Liquefazione: Bassa**

Help

**Metodo Idriss e Boulanger (2004) - CPT**

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.)      0.363  
 Rischio di liquefazione                              Bassa

Risultati analisi da prove CPT								
Robertson e Wiide (1997)		Idriss e Boulanger (2004)			Idriss e Boulanger (2014)			
z [m]	[kg/cm	[kg/cm	[kg/cm	rd	MSF	CSR	CRR	FS
14.230	64.679	1.453	2.776	0.708	1.429	0.164	100.000	100.000
14.240	63.308	1.454	2.778	0.708	1.429	0.164	100.000	100.000
14.250	61.940	1.455	2.780	0.708	1.429	0.164	100.000	100.000
14.260	57.145	1.456	2.782	0.708	1.429	0.164	100.000	100.000
14.270	54.471	1.457	2.784	0.707	1.429	0.164	100.000	100.000
14.280	50.497	1.458	2.786	0.707	1.429	0.164	100.000	100.000
14.290	49.414	1.459	2.788	0.707	1.429	0.164	100.000	100.000
14.300	46.774	1.460	2.790	0.707	1.429	0.164	100.000	100.000
14.310	45.980	1.461	2.792	0.706	1.429	0.164	100.000	100.000
14.320	44.373	1.462	2.794	0.706	1.429	0.164	100.000	100.000
14.330	42.797	1.463	2.796	0.706	1.429	0.164	100.000	100.000
14.340	42.011	1.464	2.798	0.706	1.429	0.163	100.000	100.000
14.350	40.948	1.465	2.800	0.705	1.429	0.163	100.000	100.000
14.360	38.603	1.466	2.802	0.705	1.429	0.163	100.000	100.000
14.370	37.046	1.467	2.804	0.705	1.429	0.163	100.000	100.000
14.380	36.246	1.468	2.806	0.705	1.429	0.163	100.000	100.000
14.390	35.473	1.469	2.808	0.705	1.429	0.163	100.000	100.000
14.400	34.427	1.470	2.810	0.704	1.429	0.163	100.000	100.000
14.410	33.634	1.471	2.812	0.704	1.429	0.163	100.000	100.000
14.420	32.618	1.472	2.814	0.704	1.429	0.163	100.000	100.000
14.430	32.597	1.473	2.816	0.704	1.429	0.163	100.000	100.000
14.440	32.577	1.474	2.818	0.703	1.429	0.163	100.000	100.000
14.450	34.818	1.475	2.820	0.703	1.429	0.163	100.000	100.000
14.460	33.528	1.476	2.822	0.703	1.429	0.163	100.000	100.000
14.470	32.763	1.477	2.824	0.703	1.429	0.163	100.000	100.000
14.480	32.743	1.478	2.826	0.703	1.429	0.163	100.000	100.000
14.490	32.970	1.479	2.828	0.702	1.429	0.163	100.000	100.000
14.500	33.445	1.480	2.830	0.702	1.429	0.163	100.000	100.000
14.510	33.944	1.481	2.832	0.702	1.429	0.163	100.000	100.000
14.520	53.676	1.482	2.834	0.702	1.429	0.163	100.000	100.000
14.530	73.170	1.483	2.836	0.701	1.429	0.163	0.104	0.637
14.540	72.543	1.484	2.838	0.701	1.429	0.163	0.103	0.632
14.550	84.904	1.485	2.840	0.701	1.429	0.162	0.119	0.735
14.560	105.652	1.486	2.842	0.701	1.429	0.162	0.152	0.936
14.570	131.153	1.487	2.844	0.701	1.429	0.162	0.206	1.269
14.580	154.178	1.488	2.846	0.700	1.429	0.162	0.292	1.798
14.590	168.221	1.489	2.848	0.700	1.429	0.162	0.390	2.405
14.600	178.672	1.490	2.850	0.700	1.429	0.162	0.515	3.173
14.610	189.702	1.491	2.852	0.700	1.429	0.162	0.742	4.577
14.620	205.036	1.492	2.854	0.699	1.429	0.162	1.453	8.960
14.630	224.483	1.493	2.856	0.699	1.429	0.162	4.868	30.027

**Indice di Liquefazione : 0.363**  
**Rischio di Liquefazione: Bassa**

Help

**Metodo Idriss e Boulanger (2014) - CPT**

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.) 3.953  
 Rischio di liquefazione Moderata

Risultati analisi da prove CPT									
Robertson e Wride (1997)		Idriss e Boulanger (2004)			Idriss e Boulanger (2014)				
z [m]	[kg/cm	[kg/cm	[kg/cm	rd	MSF	CSR	CRR	FS	
3.510	138.118	0.451	0.702	0.952	1.291	0.199	0.249	1.252	
3.520	136.662	0.452	0.704	0.952	1.283	0.200	0.243	1.212	
3.530	135.078	0.453	0.706	0.952	1.275	0.201	0.236	1.171	
3.540	133.492	0.454	0.708	0.951	1.267	0.203	0.230	1.133	
3.550	132.151	0.455	0.710	0.951	1.261	0.204	0.225	1.102	
3.560	130.198	0.456	0.712	0.951	1.251	0.205	0.218	1.060	
3.570	129.860	0.457	0.714	0.951	1.250	0.206	0.217	1.053	
3.580	128.547	0.458	0.716	0.951	1.244	0.207	0.212	1.026	
3.590	124.618	0.459	0.718	0.951	1.226	0.210	0.200	0.955	
3.600	124.666	0.460	0.720	0.950	1.227	0.210	0.201	0.955	
3.610	128.813	0.461	0.722	0.950	1.245	0.207	0.213	1.030	
3.620	128.779	0.462	0.724	0.950	1.245	0.207	0.213	1.029	
3.630	140.940	0.463	0.726	0.950	1.306	0.197	0.262	1.329	
3.640	139.643	0.464	0.728	0.950	1.299	0.199	0.256	1.289	
3.650	136.893	0.465	0.730	0.949	1.284	0.201	0.244	1.212	
3.660	120.734	0.466	0.732	0.949	1.210	0.213	0.189	0.888	
3.670	122.711	0.467	0.734	0.949	1.218	0.212	0.195	0.918	
3.680	120.438	0.468	0.736	0.949	1.209	0.214	0.189	0.882	
3.690	121.478	0.469	0.738	0.949	1.213	0.213	0.191	0.898	
3.700	122.132	0.470	0.740	0.948	1.216	0.213	0.193	0.907	
3.710	122.379	0.471	0.742	0.948	1.217	0.213	0.194	0.911	
3.720	124.222	0.472	0.744	0.948	1.225	0.211	0.199	0.941	
3.730	124.373	0.473	0.746	0.948	1.225	0.211	0.199	0.943	
3.740	124.184	0.474	0.748	0.948	1.224	0.211	0.199	0.939	
3.750	123.796	0.475	0.750	0.947	1.223	0.212	0.197	0.932	
3.760	124.100	0.476	0.752	0.947	1.224	0.212	0.198	0.936	
3.770	124.596	0.477	0.754	0.947	1.226	0.211	0.200	0.944	
3.780	125.115	0.478	0.756	0.947	1.228	0.211	0.201	0.953	
3.790	125.631	0.479	0.758	0.947	1.231	0.211	0.203	0.961	
3.800	124.912	0.480	0.760	0.946	1.228	0.211	0.200	0.948	
3.810	120.814	0.481	0.762	0.946	1.211	0.214	0.189	0.881	
3.820	120.066	0.482	0.764	0.946	1.208	0.215	0.187	0.869	
3.830	119.645	0.483	0.766	0.946	1.206	0.215	0.188	0.863	
3.840	118.805	0.484	0.768	0.946	1.203	0.216	0.184	0.850	
3.850	118.588	0.485	0.770	0.945	1.202	0.216	0.183	0.847	
3.860	117.969	0.486	0.772	0.945	1.199	0.217	0.182	0.838	
3.870	118.111	0.487	0.774	0.945	1.200	0.217	0.182	0.839	
3.880	117.940	0.488	0.776	0.945	1.199	0.217	0.181	0.836	
3.890	117.961	0.489	0.778	0.945	1.199	0.217	0.181	0.836	
3.900	118.401	0.490	0.780	0.945	1.201	0.217	0.182	0.842	
3.910	118.422	0.491	0.782	0.944	1.201	0.217	0.182	0.842	

**Indice di Liquefazione : 3.953**  
**Rischio di Liquefazione: Moderata**

Help

