

PROGRAMMA DI RIQUALIFICAZIONE URBANA

PRU_IP - Bando Periferie Reggiane/Santa Croce

Sub-comparto Ambito Centro Intermodale (CIM) ed ex Officine Reggiane

capannone 19, capannone 18, capannone 17, piazzale Europa,

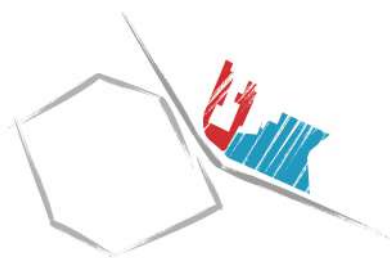
braccio storico di viale Ramazzini e capannone 15

PRU_IP-1a.bis

Sub-comparto Ambito Santa Croce

via Gioia, via Talami, via Veneri sud e viale Ramazzini ovest

PRU_IP-1b



elaborato 7

relazione di compatibilità geologica, idrogeologica e sismica,
comprensiva di analisi e approfondimenti di microzonazione

SINDACO

Luca Vecchi

ASSESSORE RIGENERAZIONE URBANA E DEL TERRITORIO

Alex Pratissoli

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO "BANDO PERIFERIE"

DIRETTORE AREA COMPETITIVITA' E INNOVAZIONE SOCIALE

Massimo Magnani

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO URBANISTICO

DIRIGENTE DEL SERVIZIO RIGENERAZIONE E QUALITA' URBANA

Elisa Iori

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

progettazione urbana: Devis Sbarzaglia

Andrea Anceschi, Matilde Bianchi, Elisa Bonoretti, Stella Ferrari, Maddalena Fortelli, Giada Grosoli, Daniela Lepori, Marina Parmiggiani, Francesca Saccani, Anna Scuteri, Mariapia Terenziani

valsat: Raffaele Fenderico

coordinamento amministrativo: Giovanna Vellani

Claudia Bortolani, Cristina Romani



Dott. Geol. STEFANO CASTAGNETTI

GEOLOGIA E PROTEZIONE CIVILE

via Argini Sud, 24 - 43022 BASILICANOVA (PR)

0521.681244 – 338.8740794 e-mail: studio@stefacasta.it



STU Reggiane Spa
Conoscenza, Innovazione, Creatività, Memoria - Società per la Trasformazione Urbana in Reggio Emilia
Piazza Prampolini, 1 - 42121 Reggio Emilia - stureggiane@reggiamail.it
Numero REA: RE 302129 - Codice Fiscale e Partita IVA 02662420351



Reggio Emilia
**città
delle persone**

“PRU_IP - Bando Periferie Reggiane/Santa Croce”

**Sub-comparto Ambito Centro Intermodale (CIM) ed ex Officine Reggiane
Capannone 19, capannone 18, capannone 17, piazzale Europa,
braccio storico di viale Ramazzini e capannone 15**

PRU_IP - 1a.bis

Variante in ampliamento al PRU_IP-1a “Area Reggiane”

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA, COMPRENSIVA DI ANALISI E APROFONDIMENTI DI MICROZONAZIONE

i Geologi:

Dott. Stefano Castagnetti

Dott. Marco Baldi



Data: **Giugno 2017**

1. PREMESSE

La presente “Relazione di compatibilità geologica, idrogeologica e sismica, comprensiva di analisi e approfondimenti di microzonazione” si riferisce al sub-comparto est del Programma di Riqualficazione Urbana denominato “PRU_IP - Bando Periferie Reggiane/Santa Croce”; tale PRU si compone di due distinti sub-comparti:

- il sub-comparto est, oggetto della presente Relazione, è denominato PRU_IP - 1a.bis “Ambito Centro Intermodale (CIM) ed ex Officine Reggiane - Capannone 19, capannone 18, capannone 17, piazzale Europa, braccio storico di viale Ramazzini e capannone 15”, ricade all'interno del sub-ambito “Area Reggiane” parte del Polo Funzionale PF-4 e amplia il perimetro del Programma di Riqualficazione Urbana denominato “PRU_IP-1a”, primo stralcio attuativo dell'area, già approvato con DCC n. 42894/174 del 15.12.2014;
- il sub-comparto ovest, denominato PRU_IP - 1b “Ambito Santa Croce - via Gioia, via Talami, via Veneri sud e viale Ramazzini ovest”, interessa perlopiù aree ricadenti all'interno dell'Ambito di riqualficazione AR-10 ed è oggetto di interventi di riqualficazione/riuso temporaneo che per loro natura non necessitano di approfondimenti geologici a scala territoriale.

L'area di analisi, che occupa parte del sedime su cui si sviluppavano le ex Officine Reggiane, si colloca nella cintura nord del centro storico del capoluogo, in adiacenza alla stazione ferroviaria storica (Fig. 1).

Lo studio è stato svolto nel rispetto delle seguenti norme nazionali e regionali:

- O.P.C.M. n° 3274/2003 e ss.mm.ii *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”* e ss.mm.ii;
- D.G.R. Emilia-Romagna n° 1677 del 24/10/2005 *“Prime indicazione applicative in merito al D.M. 14 settembre 2005 recante Norme tecniche per le costruzioni”*;
- D.M. 14.01.2008 *“Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni”* e Circolare Ministero Infrastrutture 2 febbraio 2009, n° 617 – istruzioni per l'applicazione delle *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”* di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- L.R. 30 ottobre 2008, n° 19 *“Norme per la riduzione del rischio sismico”* e s.m.i.;
- D.G.R. 21 dicembre 2015, n. 2193: *“Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112”*.

PRU_IP - Bando Periferie Reggiane/Santa Croce



Fig. 1 – Inquadramento territoriale

L'obiettivo dello studio è stato quello di caratterizzare l'area sotto il profilo geologico, litologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico, al fine di accertare la compatibilità delle previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio.

Per la definizione delle caratteristiche del sottosuolo è stata progettata ed eseguita una nuova campagna di indagini consistente nell'esecuzione di n° 2 prove SCPT spinte a -30.00 m dal piano campagna e n° 15 prove CPTU spinte a -15.00 m dal p.c.. Le indagini sono state affidate alla ditta ELETTIPI srl di Ferrara e realizzate nel mese di maggio 2017.

Inoltre si è fatto riferimento alla numerose indagini geognostiche e geofisiche disponibili nell'area in questione e nell'immediato intorno, acquisite e fatte eseguire durante gli studi di Microzonazione Sismica del territorio comunale, commissionati dal Comune di Reggio Emilia allo scrivente professionista nel periodo compreso tra il 2008 ed il 2013.

Si è fatto altresì riferimento al Piano della Caratterizzazione redatto ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. nel febbraio 2014 e a firma di p.i. Ettore Morini e dott. ing. geol. Andrea Bruschi.

Infine sono stati acquisite le indagini e le risultanze della campagne di indagine geognostica eseguite a corredo dei Progetti di recupero del capannone 19 “Tecnopolo” (dott. geol. Thomas Gemelli, marzo 2011) e del Progetto di recupero dei capannoni 17 e 18 e di riqualificazione di Piazzale Europa (dott. geol. Stefano Castagnetti e dott. geol. Marco Baldi, ottobre 2014).

La ricerca bibliografica e le verifiche di campagna hanno consentito di realizzare i seguenti elaborati:

- Tav. 1 – Carta geologica (scala 1:10.000);
- Tav. 2 – Carta idrogeologica (scala 1:15.000);
- Tav. 3 – Planimetria delle indagini geognostiche (scala 1:2.500);
- Allegato n° 1 – Indagini geognostiche;
- Allegato n° 2 – Indagini geofisiche.

2. MODELLO GEOLOGICO

2.1 Caratteri geologici e morfologici

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino perisuturale Padano, legato all'orogenesi dell'Appennino settentrionale, la cui successione di depositi pliocenico – quaternaria si è accresciuta da ovest verso est, mostrando nel complesso un carattere regressivo. Tale successione presenta alla base sabbie e peliti torbiditiche, seguite verso l'alto da complessi sedimentari fluvio-deltizi progradanti, a loro volta ricoperti al tetto da depositi continentali.

L'areale in studio ricade nella fascia di transizione tra alta e media pianura e si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano.

Più in particolare si caratterizza per la presenza di depositi alluvionali, riferibili alla deposizione operata nel tempo dai corsi d'acqua di provenienza appenninica, nello specifico il T. Crostolo, che hanno dato origine ad ampie conoidi coalescenti, con ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali e limi prevalenti o comunque abbondanti nelle aree di interconoide.

I depositi affioranti risultano costituiti da alternanze di litofacies argillose, limose e ghiaiose a stratificazione lenticolare, la cui granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che le hanno originate: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per tracimazione avvenuta in zone distali dall'alveo attivo.

Il materiale sedimentato ha subito intensi processi di consolidazione, comunemente noti come fenomeno della subsidenza, che interessa l'intero bacino padano. Tale fenomeno è ancora più accentuato nei contesti urbani, quale è la città di Reggio Emilia, laddove si è assistito alla

sovrapposizione di livelli antropici nel corso dei secoli, accompagnati da interventi di drenaggio e bonifica delle acque superficiali e, in particolare dal dopoguerra, con importanti prelievi di acque sotterranee.

Con riferimento alla “*Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG*”, i depositi alluvionali affioranti nell'areale di studio (cfr. Tav. 1) sono attribuibili al **Supersistema Emilia-Romagnolo** e possono essere così distinti:

- *Subsistema di Ravenna – Unità di Modena* (Olocene): ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso-argillosa. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore;
- *Subsistema di Ravenna* (Pleistocene sup. – Olocene): ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura di limi argillosi. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m.

L'area di intervento si colloca su terreni attribuiti al Subsistema di Ravenna – Unità di Modena (Tav. 1).

È opportuno sottolineare che la porzione superficiale dell'areale in esame è costituita da materiali di riporto e dai resti delle numerose e articolate costruzioni, che hanno caratterizzato l'espansione nel secolo scorso del polo produttivo delle ex Officine Reggiane.

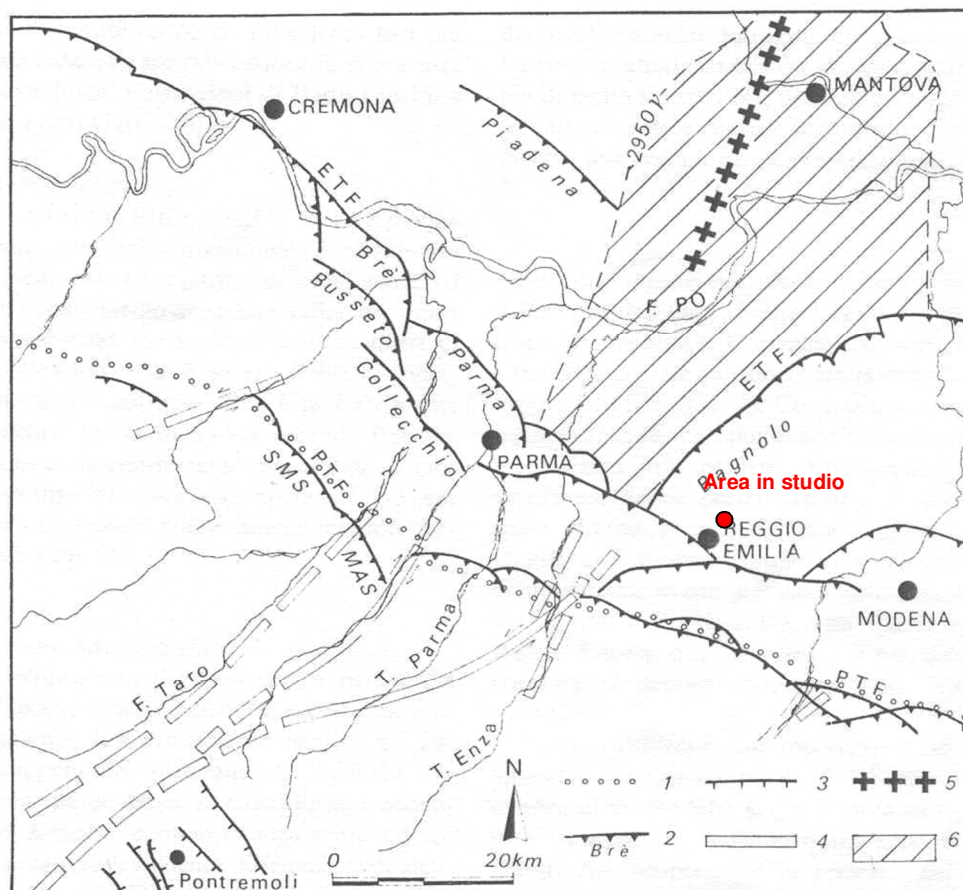
Sotto il profilo morfologico, l'area in studio si colloca a quote comprese tra 50 e 48 m s.l.m., risulta sub-pianeggiante e si inserisce in un contesto caratterizzato da una pendenza media di circa 5% verso il quadrante nord-orientale. Le forme del territorio sono state in buona parte cancellate dalle intense trasformazioni antropiche.

2.2 Caratteri strutturali e sismici

Come detto, la fascia di territorio in esame, si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasce parallele di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE (Fig. 2), le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria (Boccaletti et al., 1985).

Il fascio più settentrionale (External Thrust Front = ETF), coincidente con l'allineamento Cremona-Parma-Reggio E., appartiene all'arco delle “Pieghe Emiliane”, che dall'Appennino vogherese si estendono fino alla linea del Sillaro: esso risulta costituito da un sistema di thrust ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di

movimento trascorrente. Inoltre a nord di Reggio Emilia è presente l'arco più esterno dell'ETF (pieghe Ferraresi), che si estende verso oriente e determina uno spiccato innalzamento del substrato miocenico spostandosi verso il territorio modenese.



1) Margine morfologico appenninico. 2) Strutture Agip citate nel testo. 3) Faglie normali della fossa tettonica della Lunigiana. 4) Linee trasversali di ordine maggiore. 5) Asse di alto del «basamento magnetico». 6) Massimo dell'anomalia magnetica residua (oltre 2950 γ).

Figura 2 - Schema strutturale del margine e del fronte appenninico (M. Bernini e G. Papani).

Il fascio meridionale (Pedeapenninic Thrust Front = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

In particolare la Linea dell'Enza, caratterizzata da un fascio di faglie e fratture comprese fra le valli del Termina e dell'Enza ed interpretata nel complesso come faglia trascorrente sinistra, ha determinato un arretramento dell'unità parmense rispetto a quella reggiana, con conseguente disallineamento del margine appenninico, ed un maggiore sollevamento del settore posto ad W di tale linea trasversale (Bernini e Papani, 1987).

Le ricerche in campo sismotettonico avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella *“Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”*

(2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare nel settore di territorio reggiano in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti dell'External Thrust Front (Fig. 3).

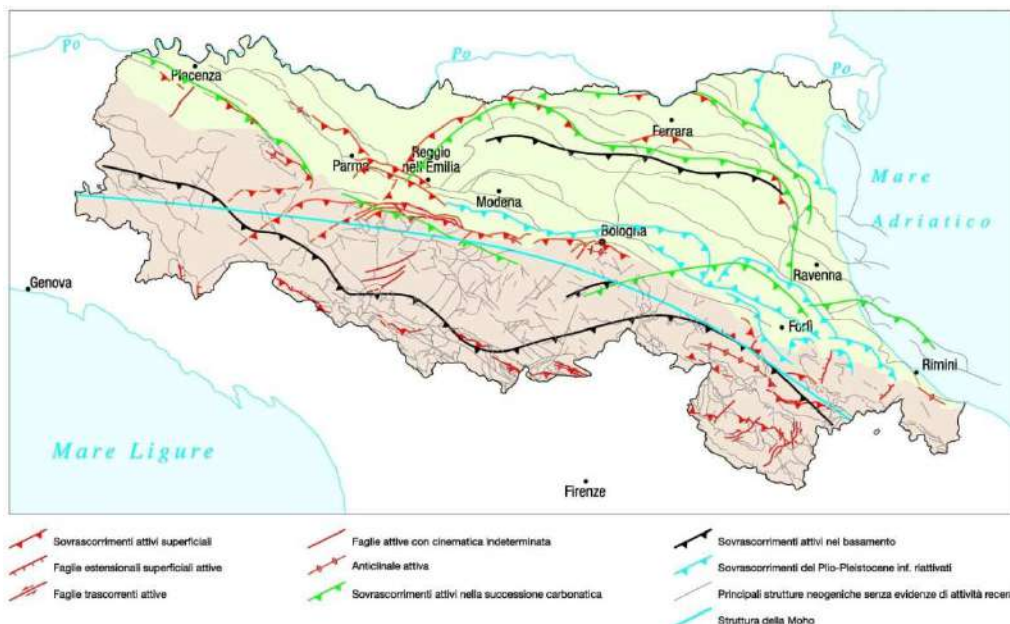


Fig. 3 – Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

Sotto il profilo sismico, gli studi sulla pericolosità sismica, promossi dall'INGV, hanno portato alla definizione di una zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone (Fig. 4), 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..

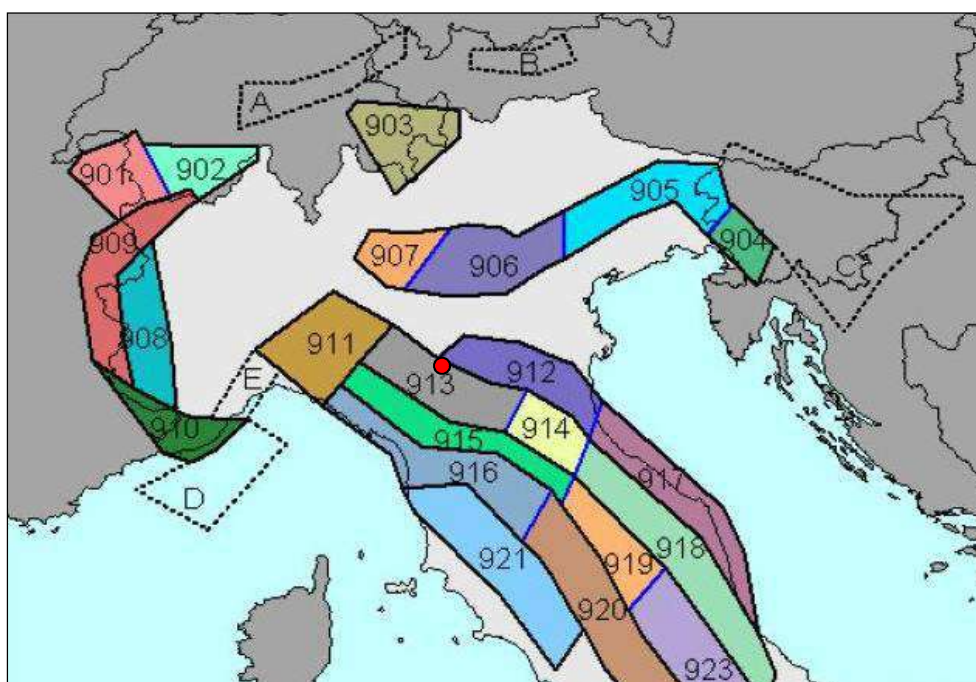


Fig. 4 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004" - INGV). Il punto rosso segna approssimativamente l'area di intervento.

In particolare il territorio di Reggio Emilia ricade nei pressi del limite che separa la zona sismogenetica "913" dalla zona "912".

La ZS 913 è caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, originati da movimenti prevalentemente compressivi NW con meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo, che dissecano la continuità longitudinale delle strutture sepolte attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a $Mw_{max}=5,91$.

Viceversa la ZS 912 rappresenta la porzione più esterna, sepolta dai sedimenti alluvionali, della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 5 e 8 km. Sulla base dei meccanismi focali, i valori di magnitudo massima previsti sono pari a $Mw_{max} = 6,14$.

A seguito dell'emanazione dell'Ordinanza PCM n° 3274/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e s.m.i., il Comune di Reggio Emilia è stato classificato sismico in **ZONA 3**, in quanto ricadente in aree ad elevato rischio sismico, di cui alla ODPC n° 2788/98.

Infatti sulla base della *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale* elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (aprile 2004), il territorio in questione si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a_{max}) compresa tra $0,150 \div 0,175$.

In Fig. 5 si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo $0,05^\circ$ relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo).

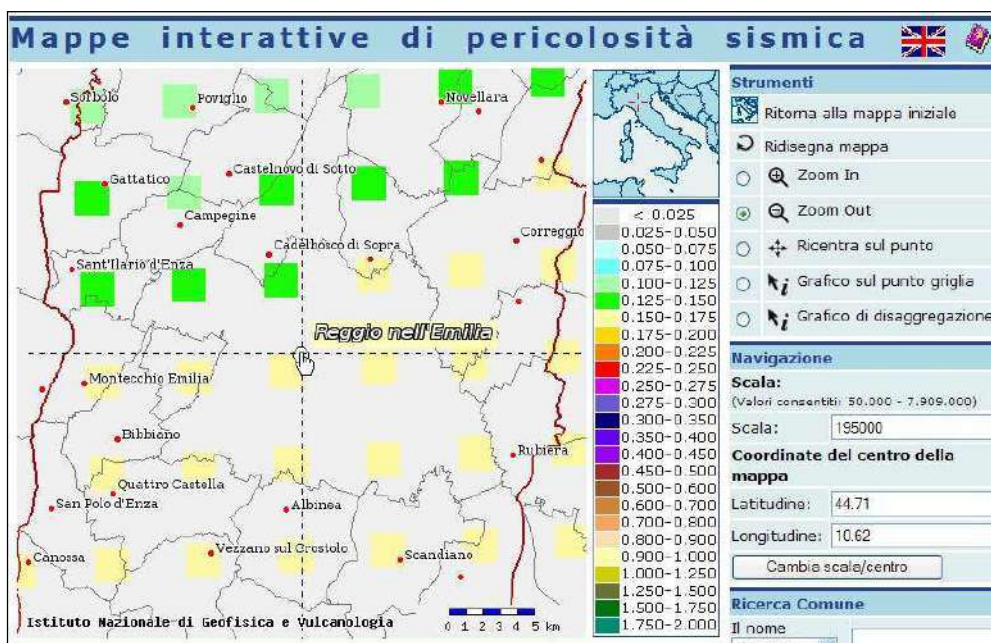


Fig. 5 – Stralcio della Mappa di pericolosità sismica del Comune di Reggio Emilia espressa in termini di a(g) per un Tempo di ritorno di 475 anni

Per una completa valutazione del terremoto di riferimento, si è provveduto ad estrarre dal Database macrosismico (DBMI15) dell'INGV, che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), gli eventi sismici che hanno storicamente interessato il territorio di Reggio Emilia in epoca storica (Tab. 1 – Fig. 6).

Is	data	epicentro	Io	Mw
8	1547 02 10 13:20	Reggio Emilia	7	5.14 ±0.34
7	1671 06 20 10:00	Modena-Reggio Emilia	7	5.25 ±0.72
7	1831 09 11 18:15	Reggiano	7-8	5.54 ±0.32
7	1832 03 13 03:30	Reggiano	7-8	5.53 ±0.18
6-7	1988 03 15 12:03:18	Reggiano	6	4.66 ±0.12
6-7	1465 04 07 15:30	Pianura Padana	5-6	4.51 ±0.34
6-7	1608 01 06 22:20	Reggio Emilia	5-6	4.51 ±0.34
6-7	1806 02 12	NOVELLARA	7	5.19 ±0.39
6-7	1811 07 15 22:44	SASSUOLO	6-7	5.25 ±0.40
6-7	1857 02 01	PARMENSE	6-7	5.09 ±0.25
6-7	1873 05 16 19:35	REGGIANO	6-7	5.09 ±0.59
6-7	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	6	5.02 ±0.22
6-7	1971 07 15 01:33:23	Parmense	8	5.64 ±0.09
6	1501 06 05 10:00	Appennino modenese	9	5.98 ±0.32
6	1505 01 03 02:00	Bolognese	8	5.57 ±0.25
6	1591 05 24	REGGIO EMILIA	6	4.72 ±0.34
6	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	6	5.29 ±0.22
6	1831 07 14 15:30	Reggiano	5-6	4.69 ±0.44
6	1918 05 06 08:05	Reggiano	5-6	4.52 ±0.69
6	1983 11 09 16:29:52	Parmense	6-7	5.06 ±0.09
6	1987 05 02 20:43:53	Reggiano	6	4.74 ±0.09
6	1996 10 15 09:56:02	Correggio	7	5.41 ±0.09
5-6	1547 03 24	Reggio Emilia		
5-6	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	7	5.76 ±0.09
5-6	1967 04 03 16:36:18	Reggiano	5-6	4.69 ±0.19
5-6	2000 06 18 07:42:08	Parmense	5-6	4.43 ±0.09

Tab. 1 – Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Reggio Emilia tra il 1000 e il 2014 (A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Loli e P. Gasperini (a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15> - parzialmente modificato)

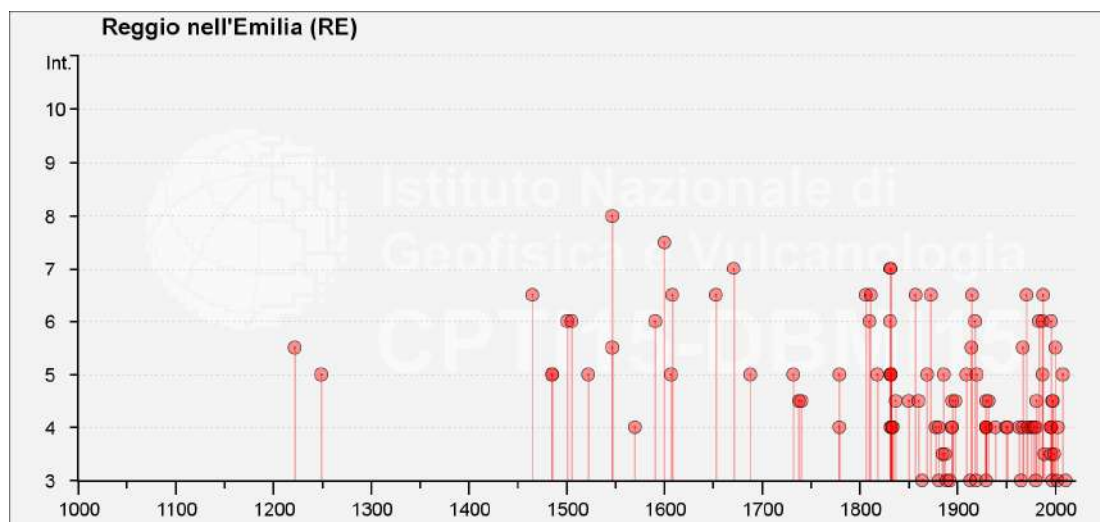


Fig. 6 - Rappresentazione grafica della storia sismica di Reggio Emilia limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3 (cfr. Tab. 1). A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolloi e P. Gasperini (a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>

3. CARATTERISTICHE LITOSTRATIMETRICHE

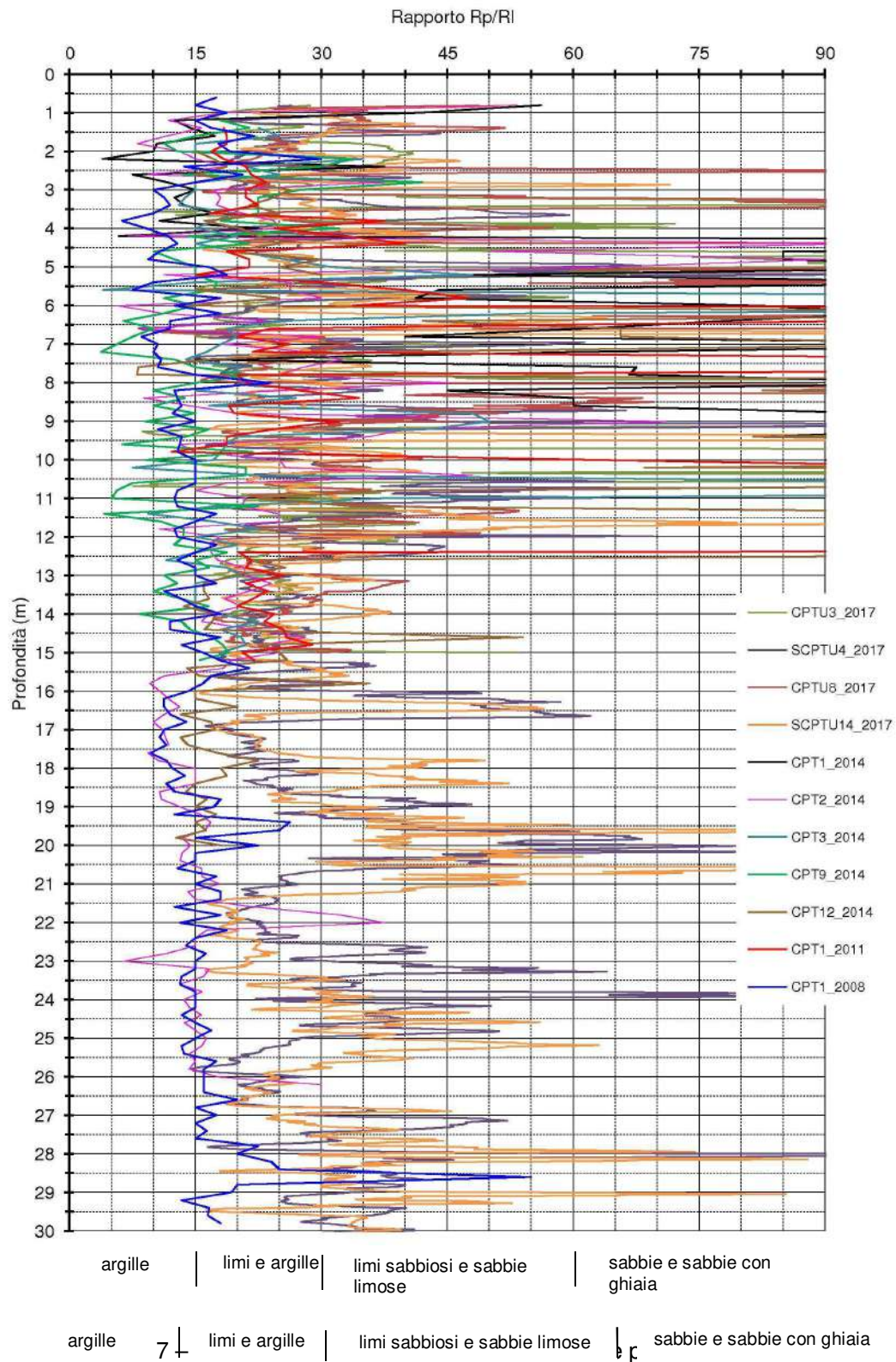
Le caratteristiche litostratimetriche dei terreni sono state desunte indirettamente dalle prove penetrometriche statiche eseguite in epoche diverse, utilizzando le correlazioni proposte da Begemann tra il rapporto R_p/R_I e la litologia e dai dati bibliografici relativi a perforazioni effettuate nelle vicinanze.

Nella Fig. 7 sono riportati i valori R_p/R_I di alcune delle numerose prove disponibili nell'areale, selezionate sulla base dell'ubicazione e della rappresentatività delle caratteristiche del sottosuolo.

L'assetto litostratimetrico dell'areale è caratterizzato dalla presenza di depositi granulometricamente fini, con locali intercalazioni di orizzonti grossolani (sabbie e ghiaie) di forma lenticolare. Si tratta di una successione litologica tipica della fascia esterna della conoide, dove si assiste alla rastremazione dei livelli grossolani, che vengono sostituiti da depositi più fini di piana alluvionale.

In particolare il sottosuolo è costituito da una coltre di terreni fini prevalentemente limo-argillosi che, a profondità comprese tra -2.00÷4.00 m e -13.00 m da p.c., sono più frequentemente interessati da locali intercalazioni di livelli a granulometria grossolana, costituiti da sabbie e sabbie-ghiaiose aventi conformazione nastriforme.

Come ricordato nel Cap. 2.1 l'orizzonte superficiale è costituito da materiali di riporto e da resti di costruzioni, che talora si spingono ad alcuni metri di profondità in corrispondenza di pozzetti e vasche di lavorazione (cfr. Piano della Caratterizzazione).



Per quanto riguarda l'assetto litostratigrafico profondo si è fatto riferimento ad alcune

perforazioni ubicate nell'intorno dell'area in studio (cfr. Tav. 1) e contenuti nel Database Geognostico del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e di seguito riportati.

Pozzo n° 200080P692B

00.00 – 5.00	informazione non disponibile
5.00 – 7.00	argilla
7.00 – 35.00	argilla e sabbia
35.00 – 37.00	ghiaia e sabbia
37.00 – 50.00	argilla
50.00 – 60.00	ghiaia

Pozzo n° 200080P608

00.00 – 10.00	argilla gialla
10.00 – 35.00	argilla cenere
35.00 – 36.20	sabbia
36.20 – 91.00	argilla cenere
91.00 – 94.00	sabbia

Perforazione n° 200120P406

00.00 – 02.00	materiale di riporto
02.00 – 05.00	argilla grigio-giallastra
05.00 – 05.50	sabbia fine debolmente limosa
05.50 – 09.00	argilla grigia
09.00 – 10.30	limo argilloso sabbioso
10.30 – 15.30	argilla grigia
15.30 – 18.20	argilla giallastra talora limosa
18.20 – 21.00	argilla limosa e sabbiosa grigiastra
21.00 – 24.20	argilla grigia scura
24.20 – 24.55	sabbia da fine a media
24.55 – 27.60	argilla grigia
27.60 – 30.40	limo argilloso e argilla limosa
30.40 – 31.00	sabbia fine limosa grigiastra
31.00 – 33.40	argilla limosa debolmente sabbiosa
33.40 – 34.20	sabbia fine limosa argillosa
34.20 – 34.60	limo argilloso debolmente sabbioso
34.60 – 51.00	argilla grigia e grigio-verde
51.00 – 61.00	argilla grigio verde talvolta limosa e livelletti sabbiosi
61.00 – 63.00	argilla grigia e grigio verdastra
63.00 – 65.20	argilla grigia con qualche livelletto di 15-20 cm torboso e livelletti centimetrici sabbiosi
65.20 – 73.00	argilla grigia talvolta sabbiosa
73.00 – 73.60	sabbia medio grossa grigia con abbondanti resti vegetali
73.60 – 76.00	sabbia medio grossa grigia con ciottoli

Per quanto concerne l'eventuale presenza di ordigni bellici nel sottosuolo, è stata attentamente esaminata la cartografia allegata al Piano della Caratterizzazione riportante l'ubicazione delle bombe lanciate durante i bombardamenti aerei del 1944 e distinte tra quelle esplose e quelle inesplose.

Inoltre è stata acquisita una certificazione prodotta in data 05 settembre 2011 dalla Fantuzzi Immobiliare Spa, proprietaria dell'area, in cui si attesta che il sito risulta completamente bonificato da residui bellici.

4. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Con riferimento allo studio *“Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia Romagna”* (Regione Emilia Romagna e Direzione Esplorazione Italia dell'ENI-AGIP S.p.A. - a cura di G. Di Dio – 1998), l'acquifero della pianura emiliano-romagnola è stato distinto in tre Unità Idrostratigrafiche Sequenziali (UIS) di rango superiore, denominate Gruppo Acquifero A – B e C, intese come singoli corpi geologici formati da gruppi di strati geneticamente legati, ossia depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione (cfr. Fig. 8).

Ogni UIS è separata da quelle adiacenti attraverso livelli scarsamente permeabili o impermeabili arealmente continui, che ne determinano l'isolamento idraulico.

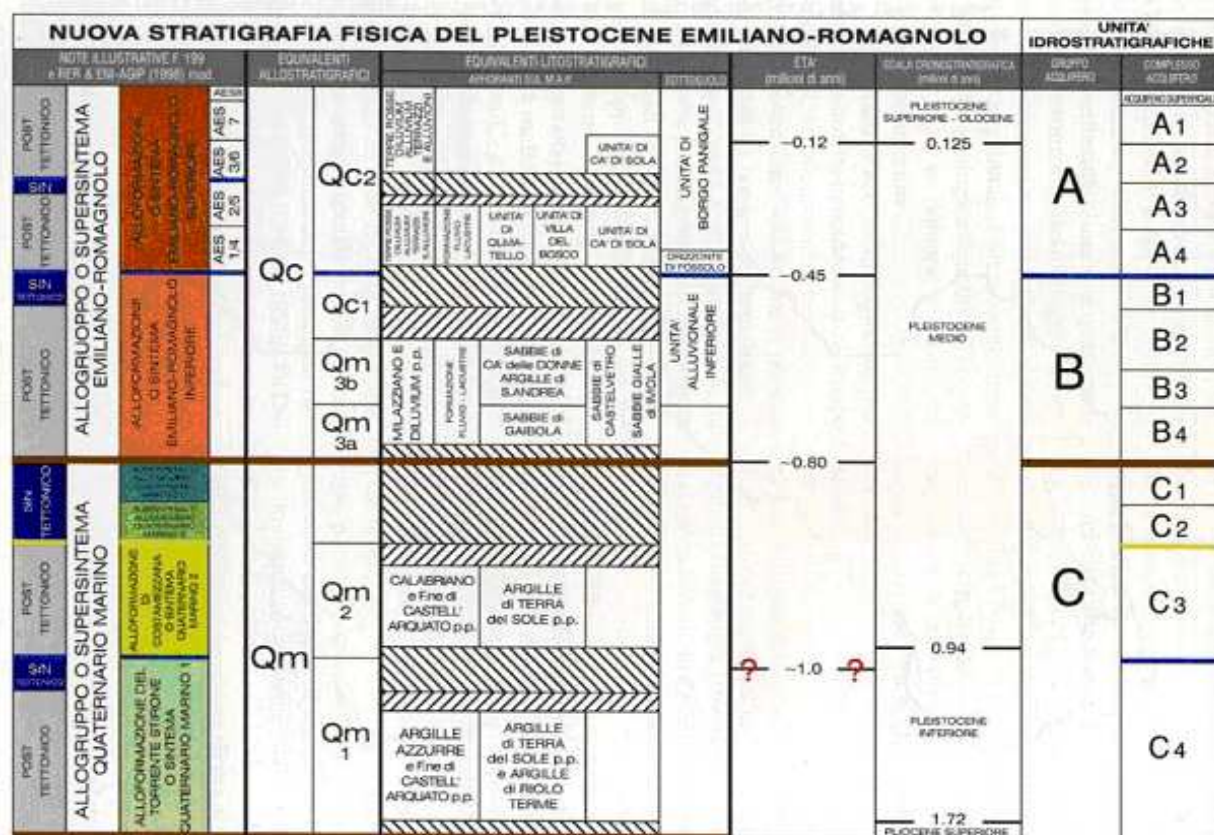


Fig. 8 - Schema geologico-stratigrafico e idrostratigrafico del Bacino Pleistocenico della Pianura Emiliano-Romagnola. (G. Di Dio, 2001)

Il sottosuolo del settore medio-alto della pianura reggiana è costituito da alternanze di orizzonti argillosi, limoso-argillosi e livelli sabbiosi e ghiaiosi fini che, in prossimità delle fasce di conoide, si incrementano percentualmente nei litotipi a granulometria maggiore.

L'areale in studio appartiene all'Unità Idrogeologica della conoide alluvionale minore del T. Crostolo.

L'edificio sedimentario alluvionale ospita un modesto sistema acquifero sotterraneo, le cui caratteristiche idrogeologiche sono in stretta relazione con le caratteristiche granulometriche dei

depositi. Mentre i depositi argilloso-limosi risultano sostanzialmente impermeabili, un grado di permeabilità variabile sia sotto il profilo verticale, che laterale può essere attribuito agli orizzonti sabbioso-ghiaiosi.

Il sistema idrogeologico locale può essere schematizzato secondo due unità sovrapposte con caratteristiche differenti. La prima unità costituisce l'acquifero freatico ed è costituita da orizzonti argilloso-limosi e limosi ai quali si intercalano strati e sequenze sabbiose e sabbioso-ghiaiose. Tali livelli costituiscono acquiferi a spessore variabile, che nell'insieme generano corpi tendenzialmente continui territorialmente, inclinati in direttrice settentrionale e collegati tra loro da sequenze a grado di permeabilità variabile. In corrispondenza dei paleoalvei e dei canali i livelli permeabili sono a diretto contatto con le acque superficiali, che ne determinano la ricarica.

La seconda unità, a carattere artesiano o confinato, è costituita da corpi sabbiosi e ghiaiosi di modesto spessore e ad assetto lentiforme, intercalati a potenti sequenze argillose e argilloso-limose.

L'area in studio insiste su depositi appartenenti al Gruppo Acquifero A (Fig. 9), il cui livello basale si colloca alla profondità di circa -120 m s.l.m. (-170 m da p.c.).

I dati bibliografici sul livello della falda, indicano una soggiacenza di circa -4.00÷5.00 m dal piano campagna, tuttavia nel corso delle indagini geognostiche realizzate nel mese di maggio 2017 sono stati misurati valori di soggiacenza minimi pari a -1.20 m dal p.c. (v. Tab. 2).

<i>prova</i>	<i>falda (m da p.c.)</i>		<i>prova</i>	<i>falda (m da p.c.)</i>		<i>prova</i>	<i>falda (m da p.c.)</i>
CPTU1	1,70		CPTU7	1,50		CPTU13	1,30
CPTU2	2,00		CPTU8	1,20		SCPTU14	1,40
CPTU3	1,75		CPTU9	1,70		CPTU15	1,50
SCPTU4	1,60		CPTU10	1,65		CPTU16	1,40
CPTU5	2,00		CPTU11	1,40		CPTU17	1,20
CPTU6	1,60		CPTU12	1,60			

Tab. 2 – Valori di soggiacenza della falda misurata nei fori delle prove penetrometriche (maggio 2017)

La direzione del flusso della falda sotterranea è orientata verso nord-est (Tav. 2).

Sulla base della litologia di superficie, della profondità del tetto delle ghiaie e delle caratteristiche dell'acquifero, l'area in questione si configura a grado di vulnerabilità medio, in accordo con quanto riportato sulla *“Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale della pianura emiliana delle province di Parma, Reggio E. e Modena* redatta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del CNR (1995).

In considerazione delle caratteristiche urbane dell'area in studio l'idrografia di superficie è

costituita dalle reti fognaria e scolante tombinate che recapitano le acque raccolte agli impianti di depurazione e da questi alla rete scolante naturale.

Subordinatamente all'efficienza delle opere di difesa idraulica, possono essere esclusi l'esondabilità e l'inondabilità dell'area in questione.

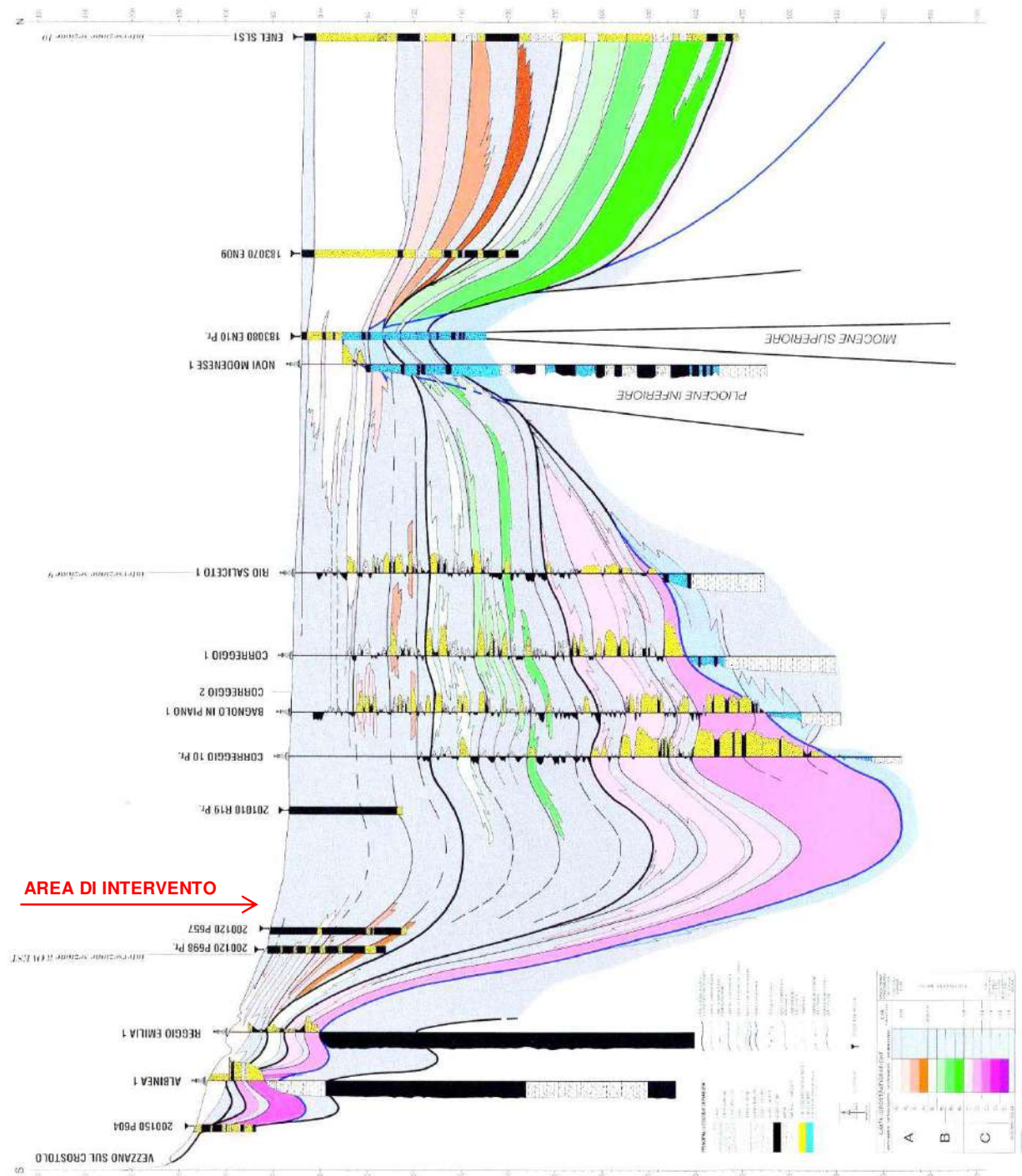


Fig. 9 – Sezione Geologica n. 26 (Fonte: "Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna")

5. MODELLO GEOTECNICO

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica dei terreni si è fatto riferimento alle numerose prove penetrometriche statiche realizzate nell'areale in epoche differenti (Tav. 3) (cfr. All. 1). Analogamente a quanto riportato nel capitolo 3, nella Fig. 10 sono riportati i valori R_p di alcune delle prove, selezionate sulla base dell'ubicazione e della rappresentatività delle caratteristiche del sottosuolo.

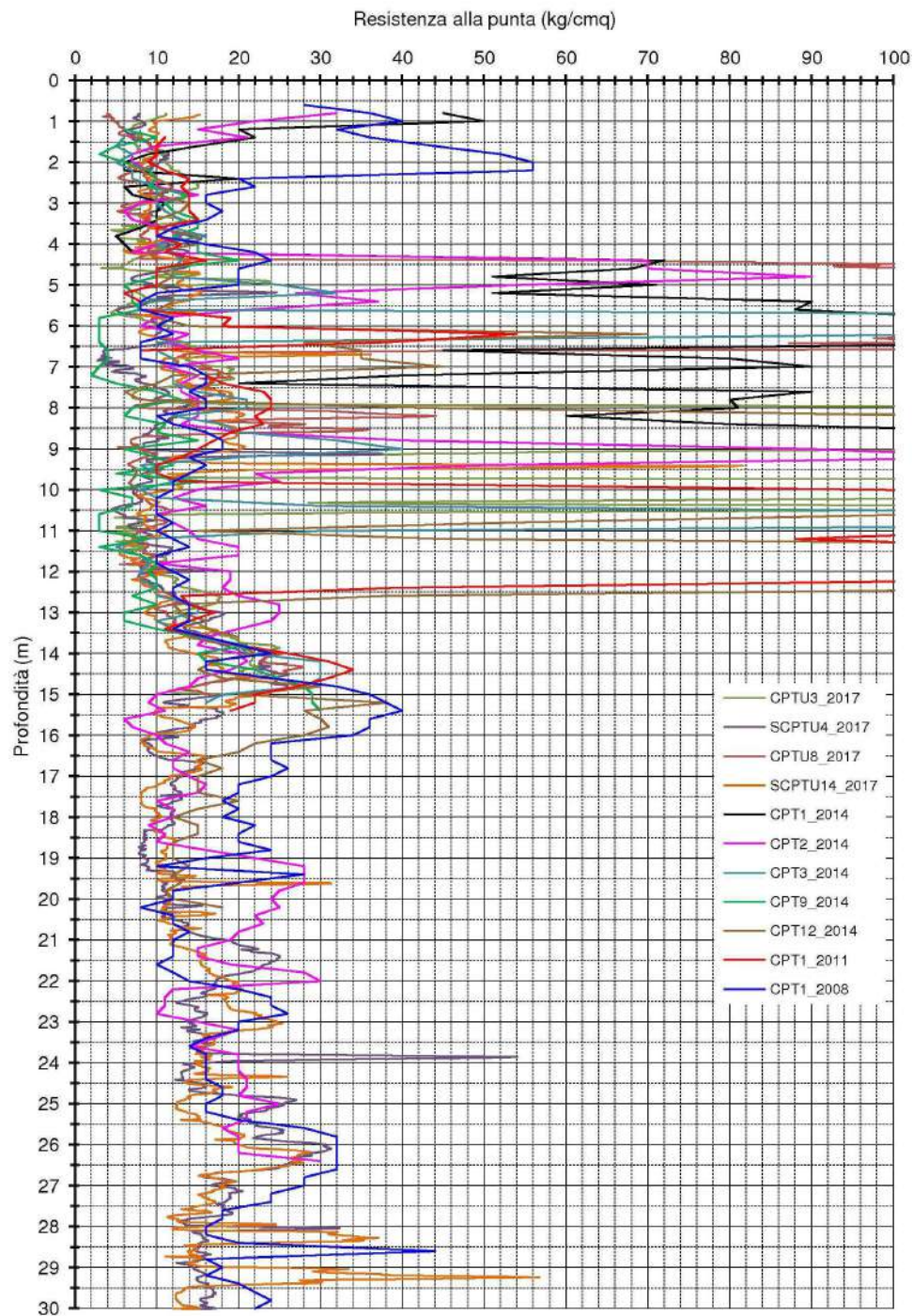


Fig. 10 – Valori della resistenza alla punta delle prove penetrometriche

Nell'ambito dell'area in studio, è stato possibile suddividere il sottosuolo in n° 4 unità litotecniche.

Si tratta di modello geotecnico preliminare, realizzato a livello di comparto e che dovrà essere affinato nelle successive fasi di progettazione, attraverso la specifica analisi delle indagini geognostiche ricadenti nelle singole aree di intervento.

Unità 0

È rappresentata dai depositi di copertura e si spinge sino ad una profondità di circa $1.40 \div 2.00$ m dal p.c.. Risulta costituita da depositi di riporto eterogenei. Tale unità non presenta particolare interesse per futuri interventi edificatori o progetti di consolidamento, in quanto il piano di posa delle fondazioni dovrà essere comunque spinto ad una quota inferiore.

Unità A

Si colloca al di sotto dell'Unità 0 ed è costituita da depositi argillosi e argilloso-limosi, che si spingono sino a profondità di circa -13.00 m da p.c. e all'interno della quale localmente si intercalano orizzonti sabbiosi appartenenti al successivo Livello B. I depositi fini sono caratterizzati da una consistenza da medio-bassa a bassa, con valori di R_p generalmente compresi tra 6 e 20 kg/cm^2 . Lungo alcune verticali di indagine (Prove CPT9_2014 e SCPTU4_2017), sono stati intercettati livelli a bassa consistenza con valori di R_p di $3 \div 4$ kg/cm^2 e spessore di $1 \div 1,5$ m.

Tale unità presenta un comportamento geotecnico di tipo coesivo e ad essa possono essere attribuiti i seguenti parametri:

- coesione non drenata (c_u) = $0.2 \div 0.6$ kg/cm^2
- angolo di attrito (φ_u) = 0°
- peso naturale del terreno (γ) = 1800 kg/m^3

Unità B

È costituita da livelli lenticolari di ghiaie e sabbie localizzati lungo alcune verticali di indagine tra le quote di $4 \div 7$ m e $8 \div 13$ m da p.c.. Lo spessore maggiore, variabile da 2 a 4 metri, è stato riscontrato in corrispondenza delle prove CPT1_2014, CPT8_2014, CPT12_2014, CPTU3_2017 e CPTU8_2017, mentre lungo le restanti verticali di indagine risultano assenti o intercalati con spessore modesto entro l'Unità A. Questi depositi sono caratterizzati da valori di R_p compresi tra 60 e oltre 200 kg/cm^2 .

Tale unità presenta un comportamento geotecnico di tipo granulare e ad esso possono essere attribuiti i seguenti parametri:

- coesione efficace (c') = 0 kg/cm²
- angolo di attrito (ϕ) = 33-36°
- peso naturale del terreno (γ) = 1950 kg/m³

Unità C

È costituita da depositi limo-argillosi con locali e sottili intercalazioni limo-sabbiose, di discreta consistenza, con valori di R_p mediamente compresi tra 10 e 30 kg/cm². Tale livello è presente oltre la quota di -13.00 m da p.c. e la sua continuità è stata accertata sino alla massima profondità investigata di circa -30.00 dal p.c..

Questo orizzonte presenta un comportamento geotecnico complessivamente di tipo coesivo e ad esso possono essere attribuiti i seguenti parametri:

- coesione non drenata (c_u) = 0.7÷0.9 kg/cm²
- angolo di attrito (ϕ_u) = 0°
- peso naturale del terreno (γ) = 1900 kg/m³

6. PERICOLOSITA' SISMICA

6.1 Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per la quali è stata progettata.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 *"Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni"*, la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali (Fig. 11), definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei seguenti tre parametri:

- a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla *pericolosità sismica su reticolo di riferimento*, riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO B delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

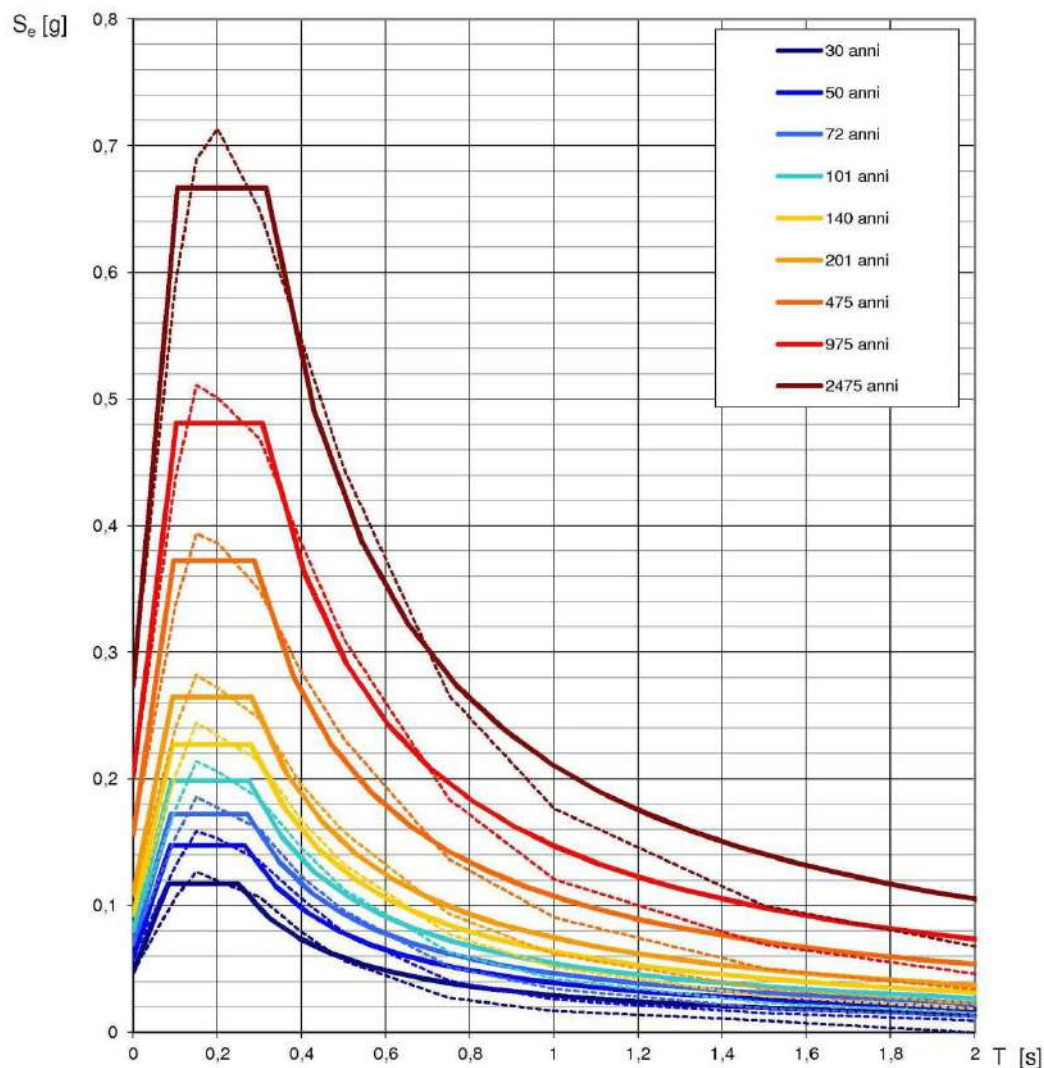
L'area oggetto di intervento è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

- Datum ED50: Longitudine = 10,64707° Latitudine = 44,69962°
- Datum WGS84: Longitudine = 10,64608° Latitudine = 44,69867°

I parametri delle forme spettrali sono riportati in Tab. 3 e sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "Spettri NTC ver. 1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,047	2,473	0,249
50	0,059	2,503	0,264
72	0,070	2,476	0,270
101	0,080	2,479	0,275
140	0,093	2,454	0,280
201	0,109	2,428	0,281
475	0,156	2,386	0,288
975	0,201	2,392	0,306
2475	0,274	2,438	0,316

Tab. 3 – Parametri della forma spettrale del sito di intervento.
(elaborazione effettuata mediante "Spettri NTC ver.1.0.3")



NOTA: Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 11 – Spettri di risposta elastici per i periodi di tempi di ritorno T_R su sito di riferimento rigido (elaborazione effettuata con "Spettri NTC ver.1.0.3")

6.2 Risposta sismica locale

Il moto generato da un terremoto in un sito è tuttavia influenzato dalle particolari condizioni locali (risposta sismica locale), cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

6.2.1 Categoria del sottosuolo di fondazione

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutata con riferimento alle 7 categorie del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione, definite dal D.M. 14.01.2008 *"Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni"*, in relazione alle caratteristiche geofisiche e geotecniche del sottosuolo.

In particolare i parametri da considerare (v. Tab. 5) sono riferiti alla velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri al di sotto della fondazione (V_{S30}).

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{S30} è definita dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

in cui: h_i = spessore in metri dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

Nei casi in cui la determinazione delle V_{S30} non sia disponibile, è previsto che la classificazione possa essere effettuata in base al numero di colpi della prova SPT (N_{SPT}), nei terreni a prevalente grana grossa, o alla coesione non drenata (c_u), nei terreni a prevalente grana fina.

Ai fini della determinazione dei profili delle velocità delle onde di taglio, si è fatto riferimento ai rilievi sismici disponibili nell'area in studio (Tav. 3 - All. 2) ed in particolare alle due prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU), alla prova MASW "K" e alla Re.Mi. eseguita all'interno del Capannone 19.

I valori di V_{S30} sono riportati in Tab. 4:

<i>indagine</i>	<i>Vs30 (m/s)</i>
SCPTU4	198
SCPTU14	206
MASW “K”	190
RE.MI.	245

Tab. 4 – Valori di Vs30 delle indagini sismiche eseguite nel comparto

Pertanto sulla base dei dati acquisiti è possibile attribuire il sottosuolo di fondazione dell'area di intervento alla **categoria C** (Tab. 5).

categoria di sottosuolo e descrizione		V_{S30}	N_{SPT}	C_u
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V _{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	>800 m/s		
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensate o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{S30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero N _{SPT30} >50 nei terreni a grana grossa e C _{u30} >250 kPa nei terreni a grana fina)	360÷800 m/s	>50	>250 kPa
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{S30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero 15<N _{SPT30} <50 nei terreni a grana grossa e 70<C _{u30} <250 kPa nei terreni a grana fina)	180÷360 m/s	15÷50	70÷250 kPa
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero N _{SPT30} <15 nei terreni a grana grossa e C _{u30} <70 kPa nei terreni a grana fina)	<180 m/s	<15	<70 kPa
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con V _{S30} >800 m/s)			
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V _{S30} inferiori a 100 m/s (ovvero 10<C _{u30} <20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	<100 m/s		10÷20 kPa
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti			

Tab. 5 – Categorie del sottosuolo di fondazione - D.M. 14/01/2008 Norme tecniche delle costruzioni (Tab. 3.2.II e 3.2.III mod.)

6.2.1 Effetti sismici locali

Amplificazione stratigrafica

L'areale risulta essere soggetto ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di depositi con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s.

Le misure effettuate con tromografo digitale (Tav. 3) hanno evidenziato un primo picco di frequenza a 1÷2 Hz di modesta ampiezza e un secondo picco di frequenza a circa 0,7÷0,8 Hz (Fig.

12), riconducibili a contrasti di impedenza situati a profondità rispettivamente comprese tra 50 e 100 m e tra 130 e 150 m.

Al fine di valutare il rischio di risonanza accoppiata struttura-terreno, sarà necessario verificare se la frequenza di risonanza fondamentale degli edifici in progetto corrisponde al valore di risonanza del terreno di fondazione.

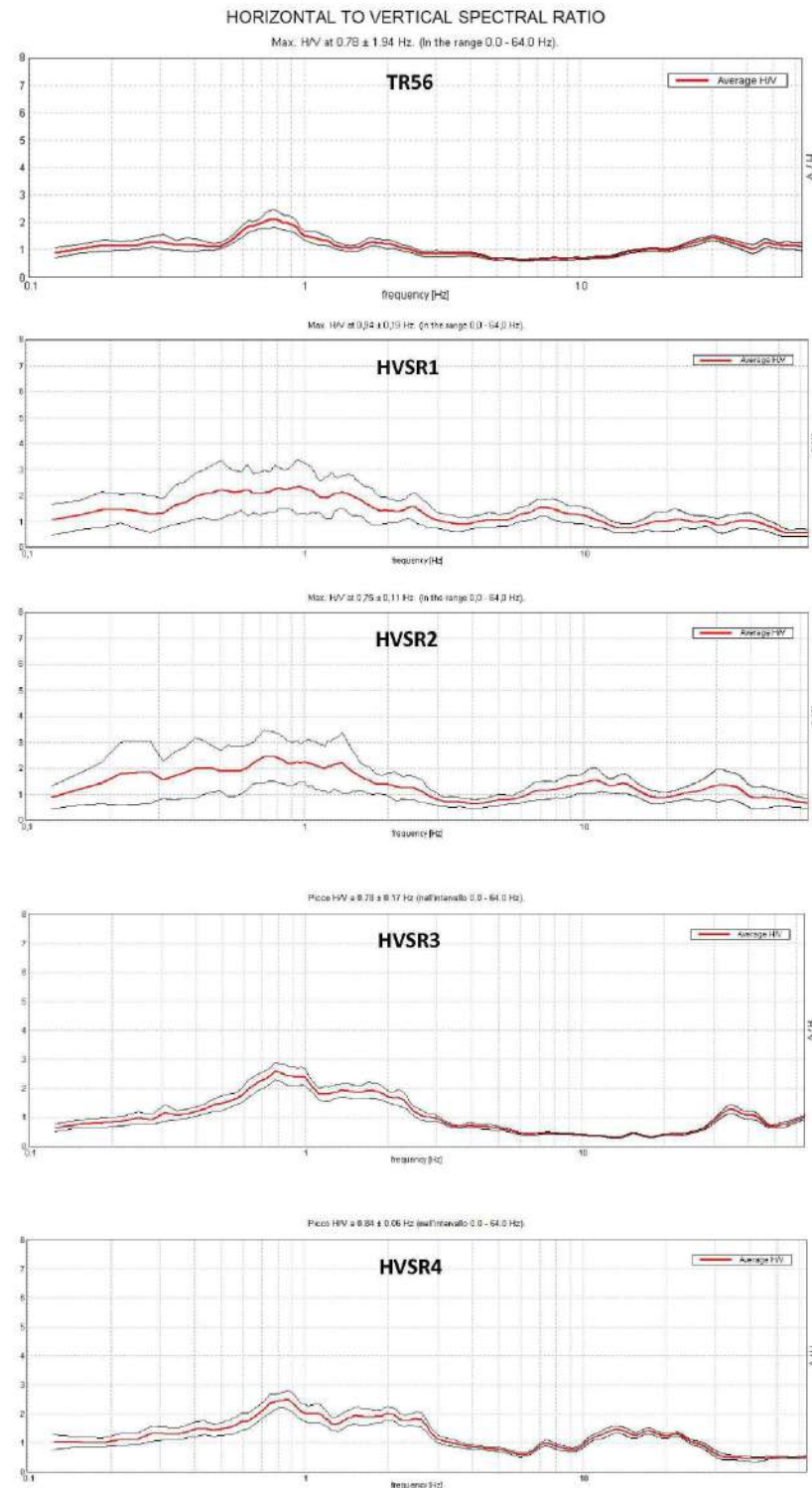


Fig. 12 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale delle misure tromografiche

Amplificazione topografica

La morfologia subpianeggiante permette di attribuire l'area di indagine alla categoria topografica T1 (Tab. 6), per la quale possono essere esclusi fenomeni di amplificazione di tipo topografico (Tab. 7).

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

Tab. 6 – Categorie topografiche (da NTC2008 tabella 3.2.IV)

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tab. 7 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (da NTC2008 tabella 3.2. VI)

Occorrenza di fenomeni di liquefazione

La possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione può essere esclusa, in quanto è stata accertata l'assenza di depositi sabbiosi di spessore significativo in falda entro i primi 15 metri di sottosuolo.

Fenomeni di cedimento postsismico

La presenza nel sottosuolo di depositi fini caratterizzati da valori di coesione talvolta inferiori a 70 kPa, non permette di escludere a priori il verificarsi di cedimenti post-sismici, dovuti alla riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

Pertanto sono state eseguite verifiche volte ad accertare l'effettiva occorrenza o meno di tale fenomeno (v. Cap. 7).

7. MICROZONAZIONE SISMICA

7.1 Analisi di secondo livello

L'area in oggetto ricade in una zona stabile suscettibile di amplificazioni locali per motivi litologici e stratigrafici.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità spettrale o di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi ($0.1s < T_0 < 0.5s$ - $0.5s < T_0 < 1.0s$ e di $0.5s < T_0 < 1.5s$), dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (DGR 21 dicembre 2015, n. 2193).

In considerazione dell'omogeneità delle caratteristiche litologiche, geomeccaniche e di risposta sismica locale dei terreni, l'areale in questione ricade nel settore di pianura denominato "Pianura 2" con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c..

I valori di riferimento delle V_{s30} , determinati sulla base dei classi di velocità contenuti nelle citate tabelle dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali, sono pari a 200 m/s.

Pertanto utilizzando la tabella "Pianura 2" dell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, i fattori di amplificazione (F.A.) per l'areale in esame sono riportati in Tab. 8:

	Fattori di Amplificazione (F.A.)
P.G.A.	1.7
Intensità spettrale o di Housner ($0.1s < T_0 < 0.5s$)	2.0
Intensità spettrale o di Housner ($0.5s < T_0 < 1.0s$)	3.0
Intensità spettrale o di Housner ($0.5s < T_0 < 1.5s$)	3.3

Tab. 8 - Valori dei Fattori di Amplificazione sismica per l'areale del PRU IP-1a

7.2 Approfondimenti di terzo livello

7.2.1 Moto sismico atteso

Le caratteristiche del moto sismico atteso sono rappresentate dallo spettro di risposta determinato attraverso le indicazioni contenute nell'Allegato 4 della DGR 21 dicembre 2015, n. 2193.

Tale Allegato fornisce lo spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari 5%) in Emilia-Romagna. Da tale spettro normalizzato è possibile ottenere lo spettro di risposta a probabilità uniforme del sito analizzato, moltiplicando i valori di questo (Tab. 9) per il valore PGA, che per l'areale in studio è pari a 0.156 (v. par. 6.1). Il grafico dello spettro risultante è rappresentato nella Fig. 13.

T	Sa/ag_{ref}	PGA
0	1	0,156
0,1	2,2100	0,34476
0,15	2,6080	0,406848
0,2	2,6562	0,414367
0,3	2,4033	0,374915
0,4	1,9394	0,302546
0,5	1,5050	0,23478
0,75	0,9172	0,143083
1	0,6359	0,0992
1,5	0,3608	0,056285
2	0,2462	0,038407

Tab. 9 – Valori dello spettro di risposta in accelerazione su suolo di tipo A per il sito in esame (DGR 2193/2015)

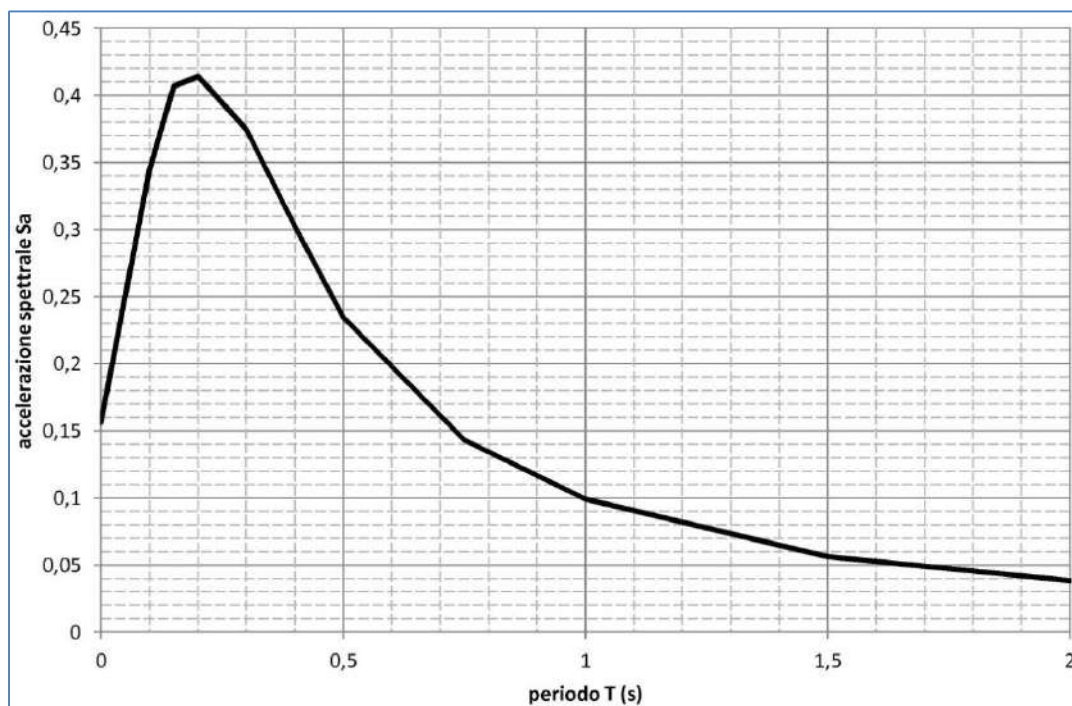


Fig. 13 – Spettro di risposta in accelerazione su suolo di tipo A per il sito in esame (DGR 2193/2015)

7.2.2 Verifica del rischio di liquefazione

Il rischio di liquefazione è stato valutato prendendo in considerazione le due verticali CPTU3_2017 e CPTU8_2017, nelle quali sono stati riscontrati spessori significativi delle lenti sabbiose.

Per liquefazione s'intende un processo d'incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI di *Iwasaki et al.* (1982). Le prove CPTU sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI è un parametro di sintesi che, mediante un valore numerico compreso tra 0 e 100, quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto di severità dell'azione sismica, e di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per poter valutare la severità degli effetti *Iwasaki* ha proposto la scala riportata in Tab. 10:

Valori di LPI	Rischio di liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Tab. 10 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo *Iwasaki*

Valutazioni più recenti riportate da *Sonmez* (2003) e riprese nella citata DRG 2193/2015, basate su sismi di magnitudo inferiore a quelli utilizzati da *Iwasaki*, consigliano tuttavia di rimodulare le classi di pericolosità come riportato in Tab. 11:

LPI
LPI = 0.00 - Liquefaction risk nul
LPI between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low
LPI between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Tab. 11 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo *Sonmez*

L'indice LPI è stato definito secondo quanto riportato nella DGR 2193/2015 nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

dove z_{crit} è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assume pari a 20 m.

La variabile $F(z)$ è pari a (Sonmez, 2003):

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } F_L \geq 1,2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18,427 \cdot F_L) && \text{per } 1,2 > F_L \geq 0,95 \\ F(z) &= 1 - F_L && \text{per } F_L \leq 0,95 \end{aligned}$$

In sostanza il rischio di liquefazione tiene conto del fattore di sicurezza calcolato strato per strato, ma ne valuta la significatività su tutto lo spessore del deposito.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$F_L = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

dove:

$CRR_{7.5}$ = Rapporto di resistenza ciclica per $M=7.5$ (*Cyclic Resistance Ratio*)

MSF = Fattore di scala della magnitudo (*Magnitude Scale Factor*)

K_σ = Fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR = rapporto di tensione ciclica (*Cyclic Stress Ratio*) = $CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}\right) \cdot r_d$

Nelle verifiche effettuate nel presente studio, per il calcolo del CRR sono stati utilizzati i metodi NCEER (modificato da *Roberson* 2010) e Boulanger & Idriss 2014 implementati dal programma CLIQ della *Geologimiki*.

In Fig. 14 e 15 vengono riportate, in forma di *flow-chart*, le procedure di calcolo di CRR utilizzate dal programma.

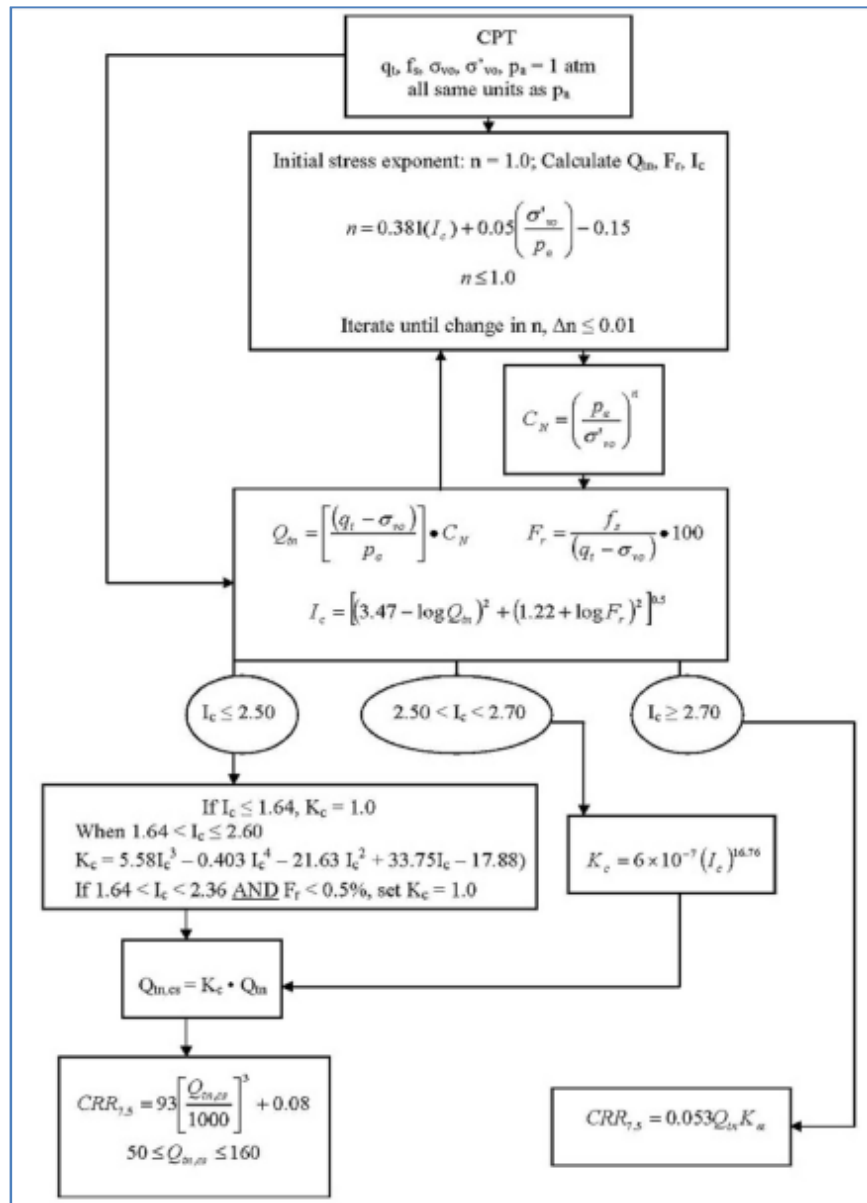


Fig. 14 – Flow chart della procedura di verifica NCEER modificata da *Robertson* (2010)

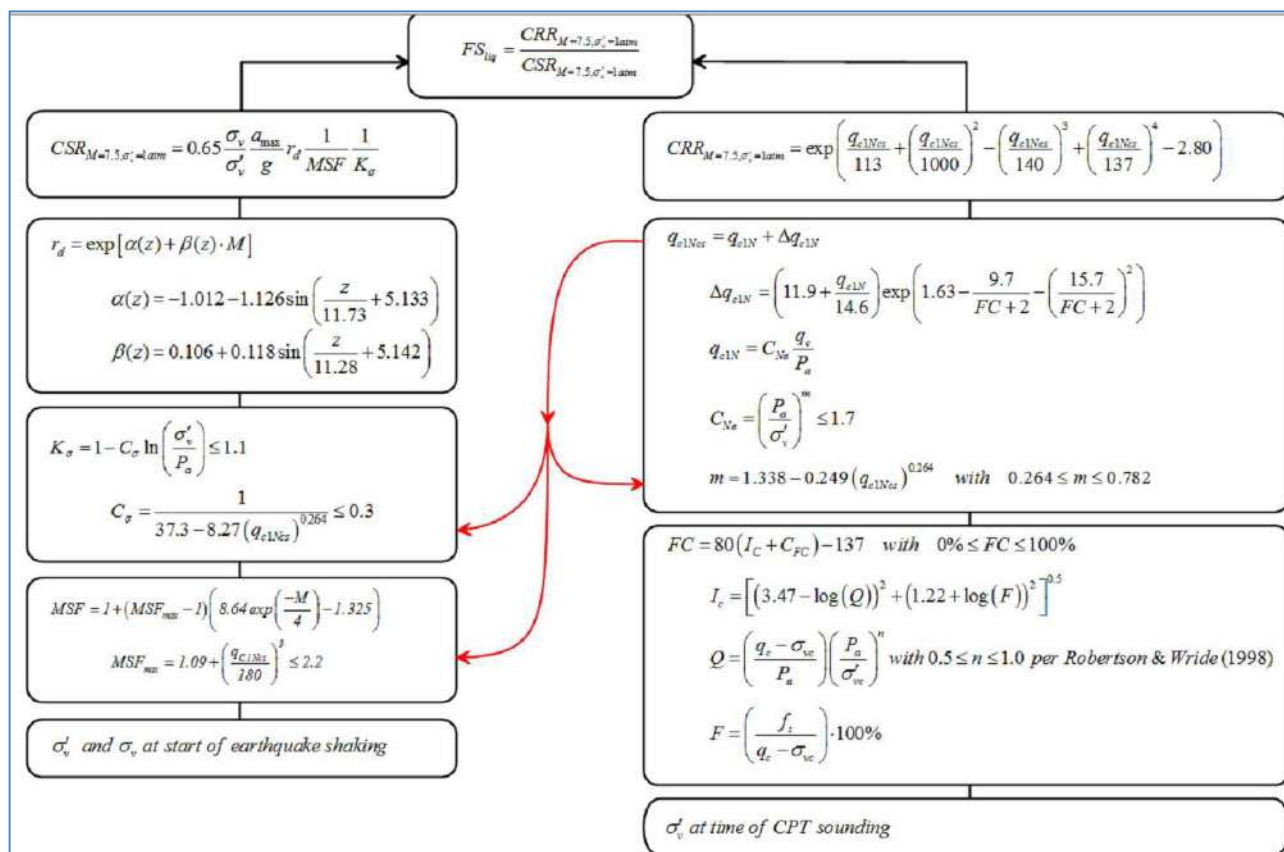


Fig. 15 – Flow chart della procedura di verifica Boulanger & Idriss (2014)

Magnitudo di riferimento

Per la valutazione del rischio di liquefazione è necessario valutare anche la magnitudo attesa, sempre in relazione al “periodo di riferimento per l’azione sismica”.

A scopo cautelativo le verifiche sono state eseguite assumendo il valore massimo della zona di riferimento (Zona 913) della classificazione ZS9 dell’INGV, pari a 5,91.

Analisi dei risultati

Le verifiche sono state condotte ipotizzando cautelativamente un livello di falda prossimo al piano campagna.

Per ciascuna prova sono riportati di seguito i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare (Figg. 16 e 17):

- Il confronto tra CSR e CCR
- La variazione del fattore di sicurezza
- La cumulata del valore di LPI
- La cumulata del valore del cedimento atteso

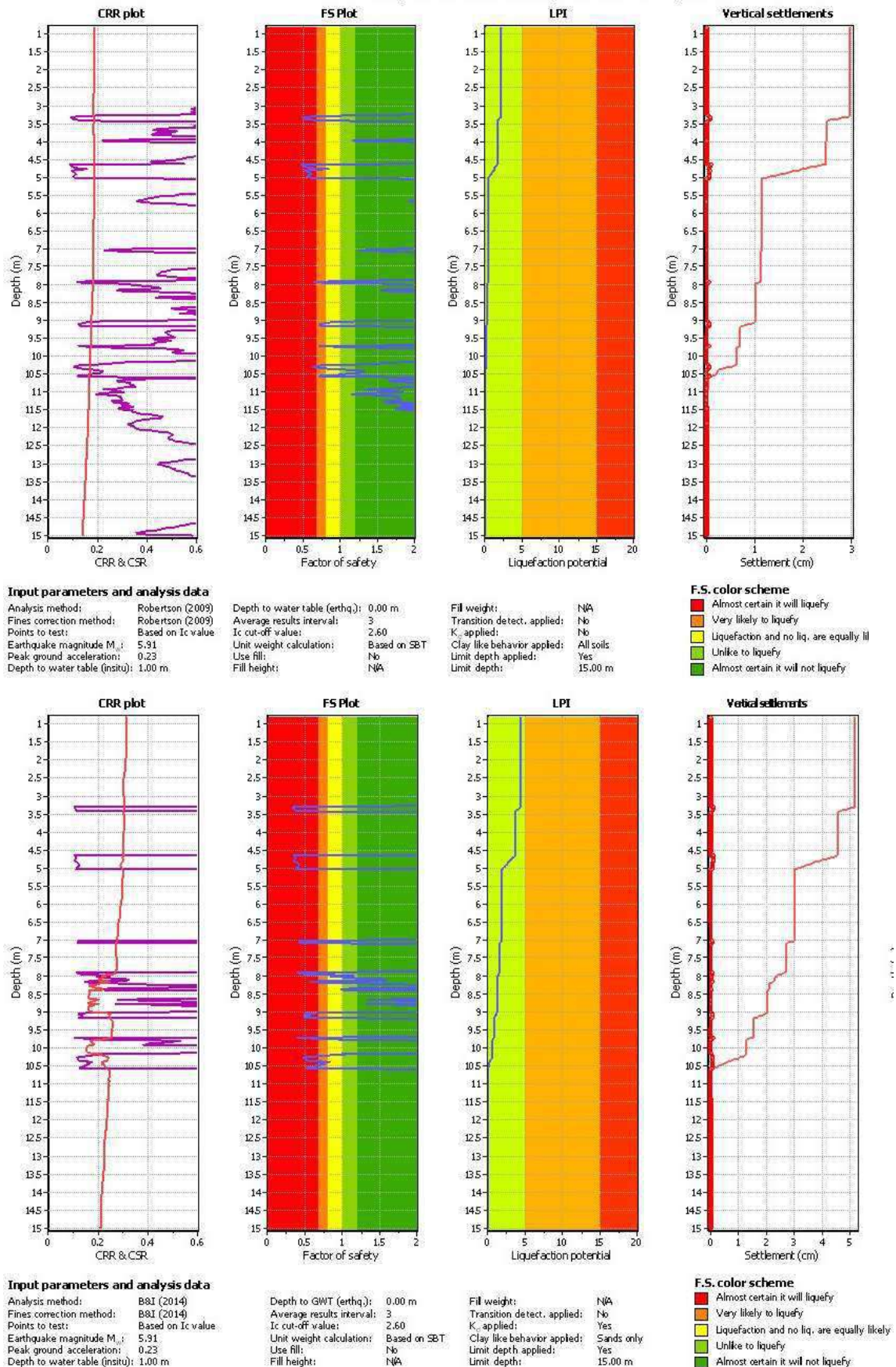


Fig. 16 – Grafici CPTU3 risultanti dalla verifica con Robertson 2010 (in alto) e Boulanger & Idriss 2014 (in basso)

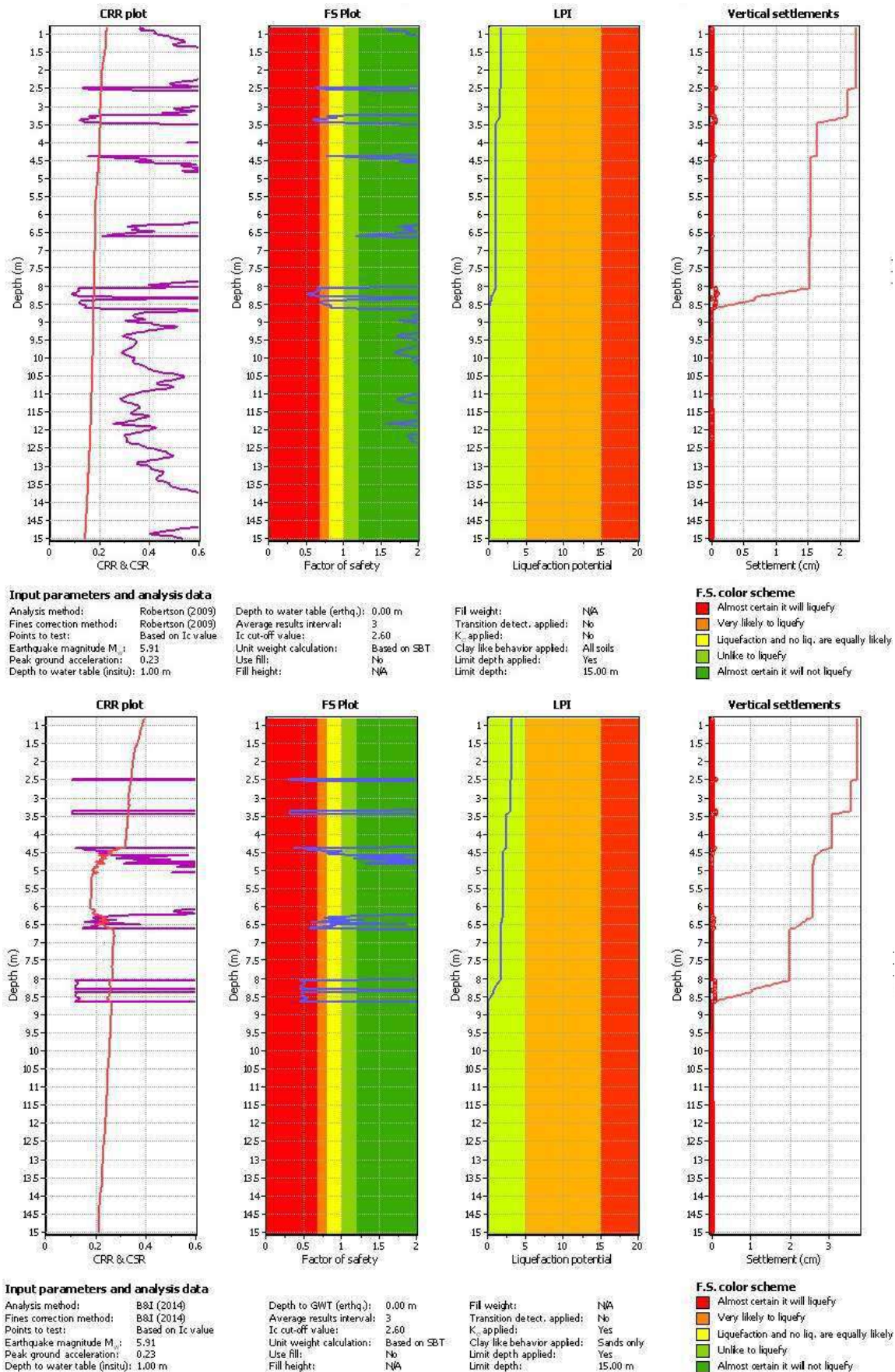


Fig. 17 – Grafici CPTU8 risultanti dalla verifica con Robertson 2010 (in alto) e Boulanger & Idriss 2014 (in basso)

I valori dell'indice LPI sono risultati i seguenti:

PROVA	LPI	
	Robertson (2010)	Boulanger & Idriss (2014)
CPTU3_2017	2,19	4,41
CPTU8_2017	1,52	3,24

Tab. 12 – Valori dell'indice di liquefazione

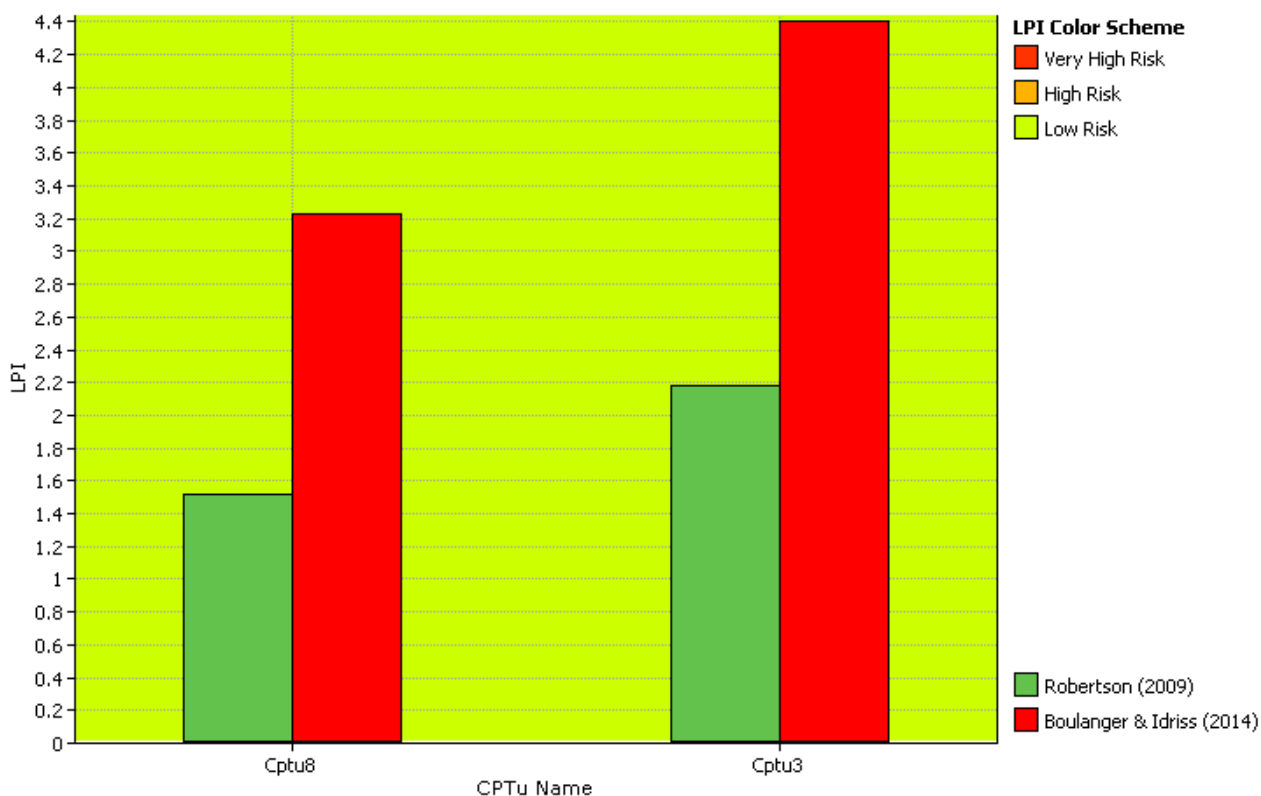


Fig. 18 – Grafico di riepilogo dei valori di LPI

Dalla tabella e dal grafico precedenti si può notare che le verifiche effettuate con il metodo Boulanger & Idriss 2014 portano ad una stima di LPI leggermente più elevata rispetto a Robertson 2010. Tuttavia nel complesso, come era da attendersi, viste le caratteristiche litostratigrafiche del territorio, il rischio di liquefazione risulta basso o tutt'al più moderato (verifica di B&I 2014), in relazione anche alla configurazione lenticolare dei depositi sabbiosi che caratterizzano l'areale indagato.

Si deve tenere presente che l'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova e pertanto gli effetti bi- e tri-dimensionali vengono trascurati. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, come nel caso in esame, l'effetto in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e "*lateral spreading*" anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la

non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione.

7.2.3 Cedimenti post-sismici

Il calcolo dei cedimenti post-sismici è stato effettuato con l'ausilio del programma di calcolo "CLiq" della Geologismiki Geotechnical Software.

In particolare nei sedimenti saturi a comportamento granulare, la stima dei cedimenti viene eseguita dal programma con la procedura di Robertson and Lisheng (2010), raffigurata nella *flow-chart* di Fig. 19. I risultati dell'analisi effettuata sulle prove CPTU3 e CPTU8 sono illustrati nel grafico "di Fig. 20.

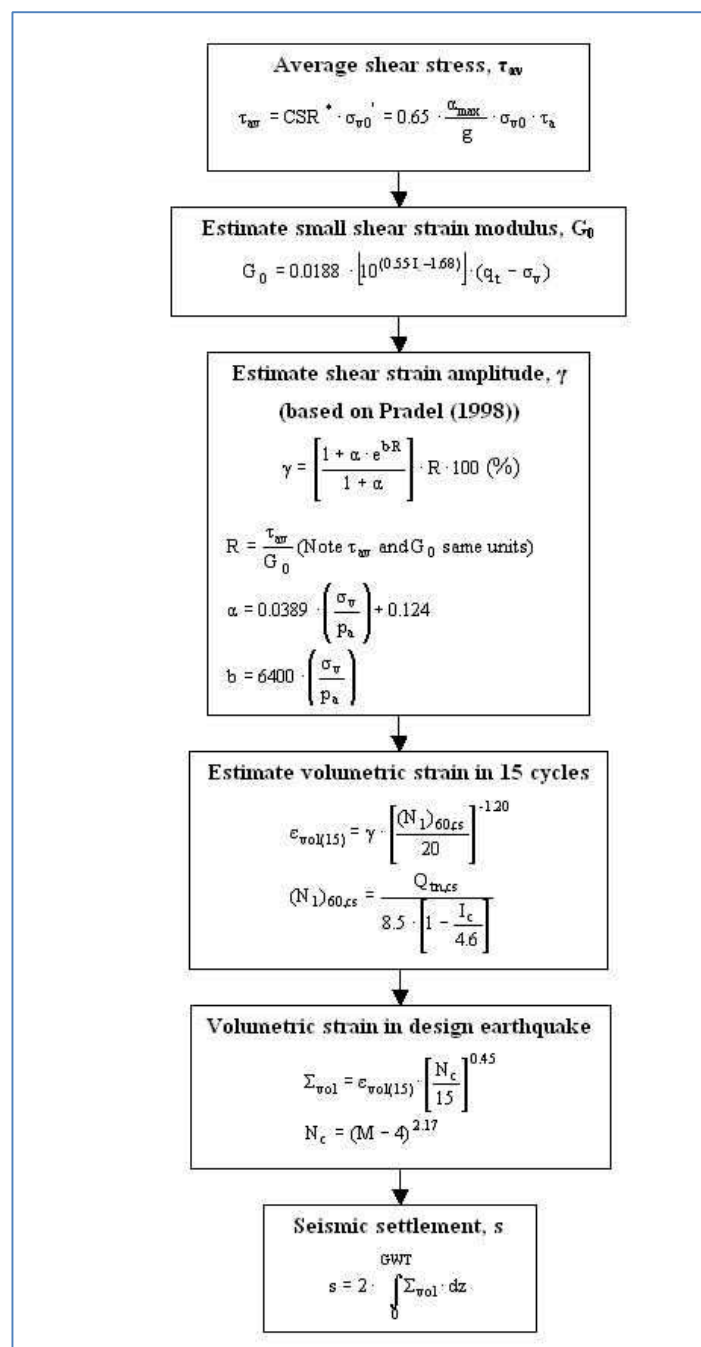


Fig. 19 – Flow chart della procedura di calcolo dei cedimenti post-sismici

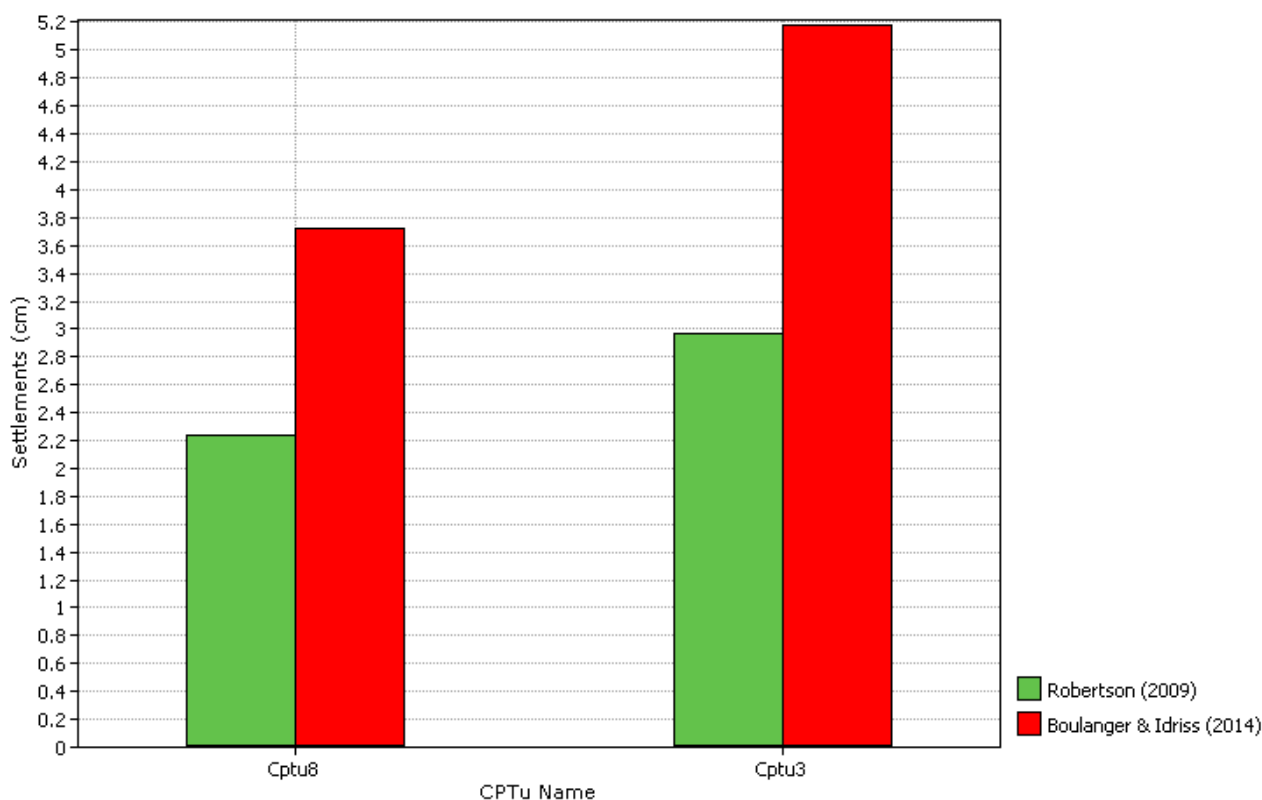


Fig. 20 – Riepilogo dei cedimenti post-sismici attesi

8. CONCLUSIONI

Lo studio effettuato consente di trarre le seguenti conclusioni:

- l'area interessata dalla variante risulta a tutti gli effetti stabile ed è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali granulometricamente fini (limoso-argillosi), con locali intercalazioni di orizzonti grossolani (sabbie e sabbie-ghiaiose) di forma lenticolare e conformazione nastriforme individuate a profondità comprese tra -2.00-4.00 m e -13.00 m da p.c.;
- l'esondabilità e l'inondabilità dell'area possono essere escluse, mentre la soggiacenza minima della falda è stimabile in circa -1.20 m dal piano campagna;
- la zona sismica di riferimento è la **“zona 3”** e il sottosuolo di fondazione può essere attribuito alla **categoria “C”**;
- sotto il profilo sismico gli effetti locali sono rappresentati dalla possibile amplificazione del segnale sismico, conseguente alla presenza di depositi con velocità delle onde di taglio (V_s) inferiori a 800 m/s;

- e) l'assetto litostratigrafico permette di escludere potenziali fenomeni di liquefazione, ovvero di diminuzione della resistenza al taglio causata dall'aumento di pressione interstiziale durante il verificarsi di un evento sismico, e cedimenti post-sismici significativi nei depositi a prevalente componente coesiva;
- f) la frequenza fondamentale di risonanza del sito è pari a circa $0,7 \div 0,8$ Hz, con un rapporto $H/V \approx 2$. Al fine di valutare il rischio di risonanza accoppiata struttura-terreno, sarà necessario verificare se la frequenza di risonanza fondamentale degli edifici in progetto corrisponde al valore di risonanza del terreno di fondazione.

Sulla base di quanto sopra esposto non emergono controindicazioni di natura geologica alla realizzazione della previsione urbanistica e delle opere e di conseguenza si esprime parere favorevole di compatibilità geologica, idrogeologica e sismica per l'attuazione del sub-comparto PRU IP-1a.bis "Ambito Centro Intermodale (CIM) ed ex Officine Reggiane - Capannone 19, capannone 18, capannone 17, piazzale Europa, braccio storico di viale Ramazzini e capannone 15", variante in ampliamento al PRU IP-1a, primo stralcio attuativo dell'area, già approvato con DCC n. 42894/174 del 15.12.2014.

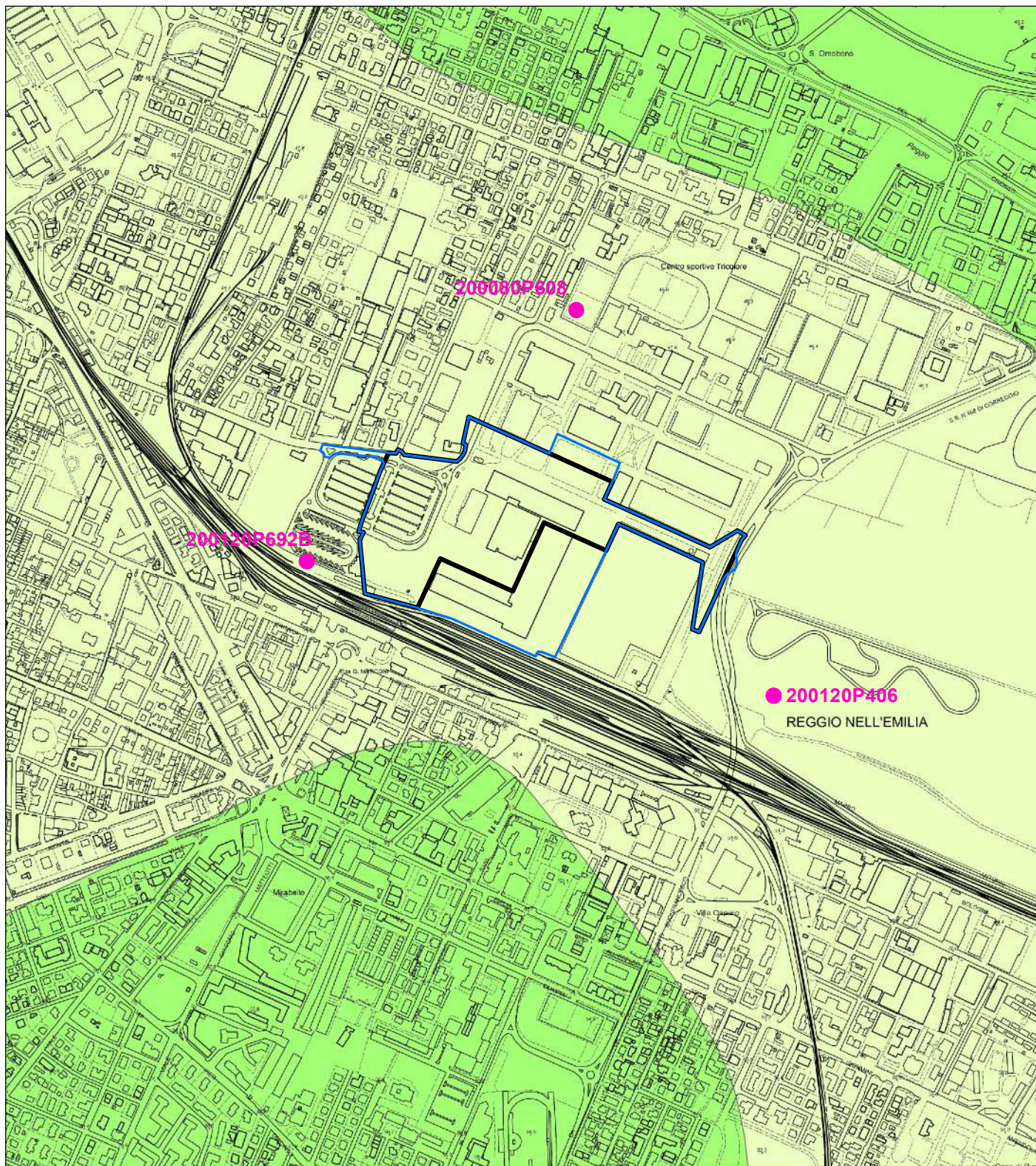
In considerazione del carattere preliminare e generale della presente relazione, si ricorda che, nel rispetto di quanto previsto dalla normativa vigente, nelle successive fasi progettuali dovranno obbligatoriamente essere effettuati specifici approfondimenti, finalizzati alla caratterizzazione geotecnica puntuale dei terreni di fondazione.

Basilicanova, giugno 2017

I Geologi

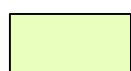

dott. Stefano Castagnetti


dott. Marco Baldi



TAV. 1 - CARTA GEOLOGICA (scala 1:10.000)

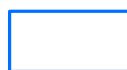
Legenda



Sintema Emiliano-Romagnolo Sup.
Subsinistema di Ravenna
Unità di Modena



Sintema Emiliano-Romagnolo Sup.
Subsinistema di Ravenna



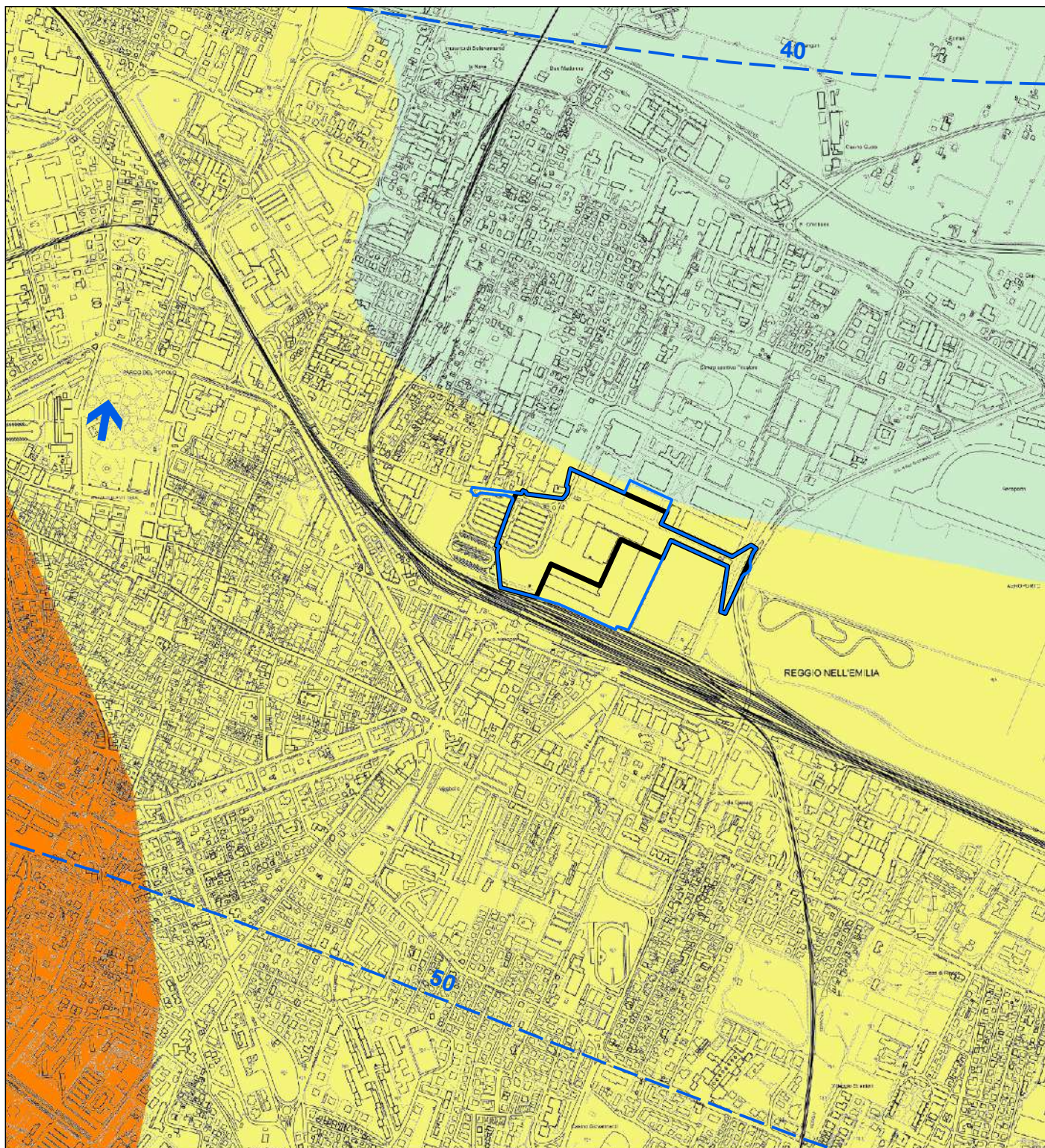
Perimetro sub-comparto
PRU_IP-1a.bis



Perimetro PRU_IP-1a



Dato litostratimetrico di riferimento



TAV. 2 - CARTA IDROGEOLOGICA (scala 1:15.000)

Legenda

 Perimetro sub-comparto PRU_IP-1a.bis

 Perimetro PRU_IP-1a

Idrogeologia

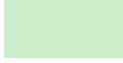
 Curva isopiezometrica riferita a l.m.

 Direzione di flusso della falda

Vulnerabilità degli Acquiferi

 Alta
(terreni prevalentemente ghiaiosi)

 Media
(terreni prevalentemente sabbiosi)

 Bassa
(terreni prevalentemente limo-argillosi)

TAV. 3
PLANIMETRIA DELLE INDAGINI
GEOGNOSTICHE
 (scala 1:2.500)

Legenda

- Perimetro sub-comparto PRU_IP-1a.bis
- Perimetro PRU_IP-1a

Indagini 2017

- Prova penetrometrica statica CPTU
- ⊕ Prova penetrometrica statica SCPTU
- ✱ Misura microtremori a stazione singola

Indagini 2014

- Prova penetrometrica statica
- Stendimento geoelettrico
- ✱ Misura microtremori a stazione singola

Indagini 2013

- Indagine sismica MASW
- ✱ Misura microtremori a stazione singola

Indagini 2011

- Prova penetrometrica statica
- Indagine sismica Re.Mi.

Indagini 2008

- Prova penetrometrica statica

Indagini 1997

- Sondaggio a carotaggio continuo



Allegato n° 1

Indagini geognostiche

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 01 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.70

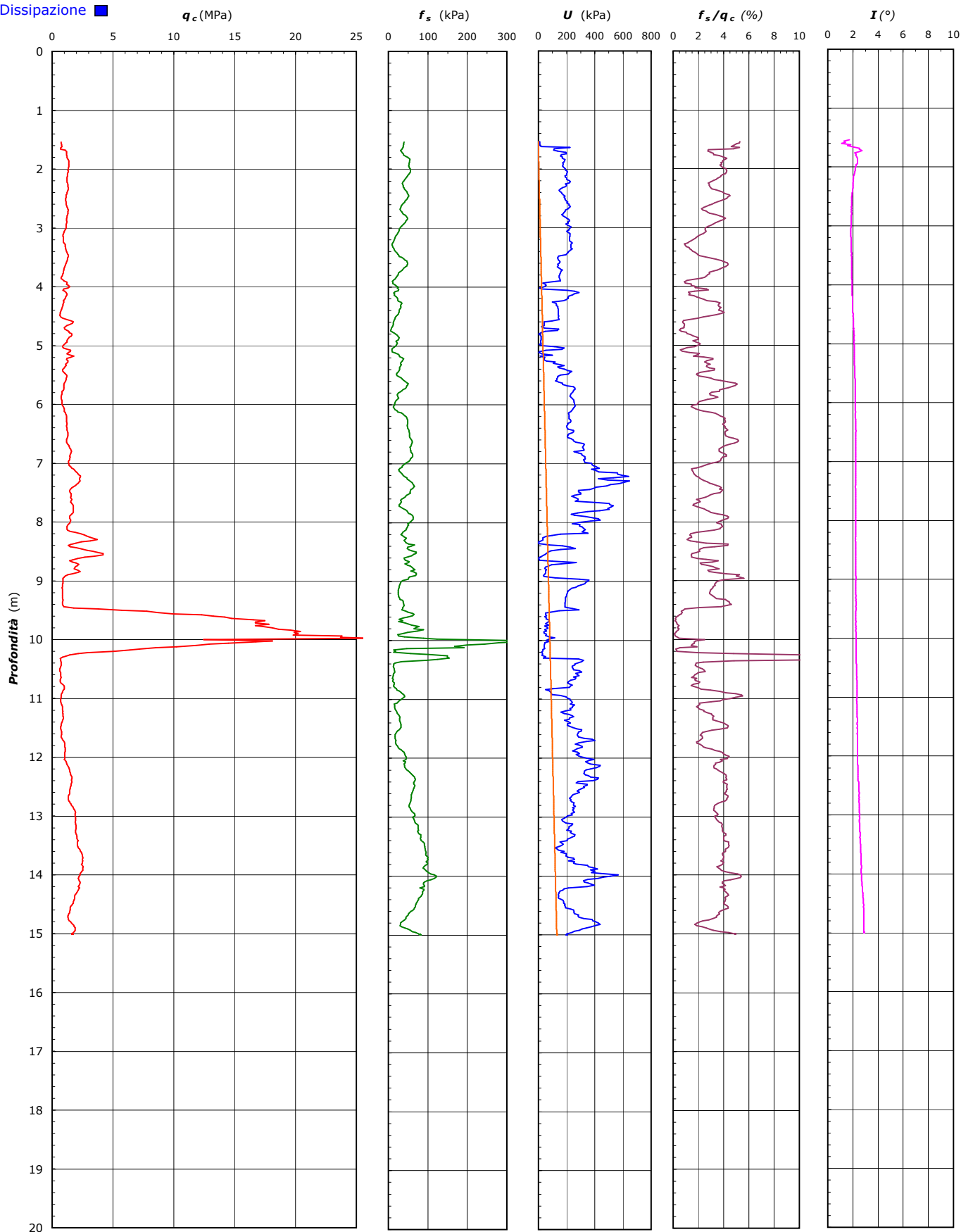
PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 1.52

LAT. (WGS 84): 44.698406° LONG. (WGS 84): 10.645029°

COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17361 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 01	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.70	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	1.52	LAT. (WGS 84): 44.698406° LONG. (WGS 84): 10.645029°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17361 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



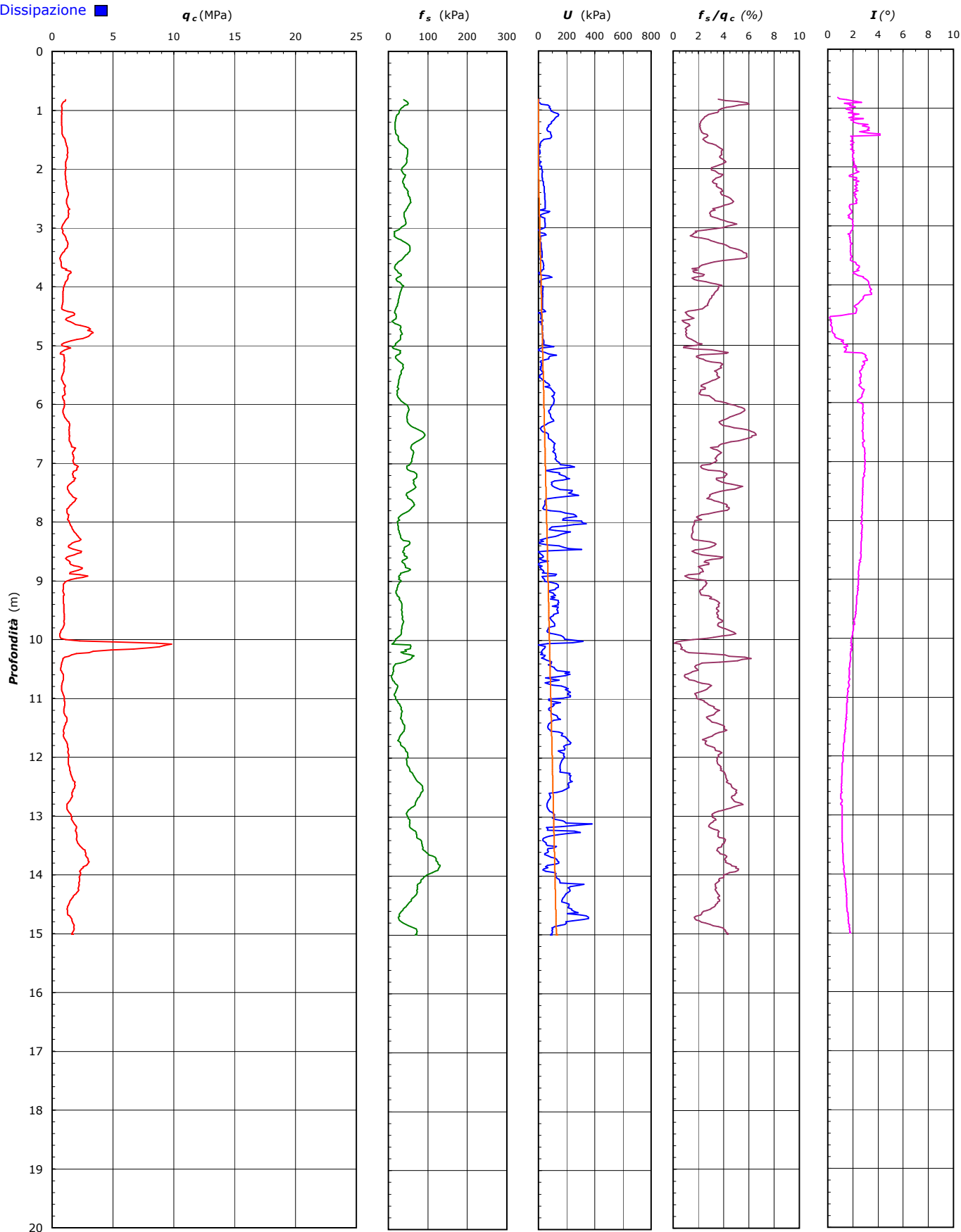
NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 02 PROF. FALDA (m da p.c.): 2.00 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80 LAT. (WGS 84): 44.698146° LONG. (WGS 84): 10.645076°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17362 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 02	PROF. FALDA (m da p.c.):	2.00	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.80	LAT. (WGS 84): 44.698146° LONG. (WGS 84): 10.645076°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17362 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 03 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.75

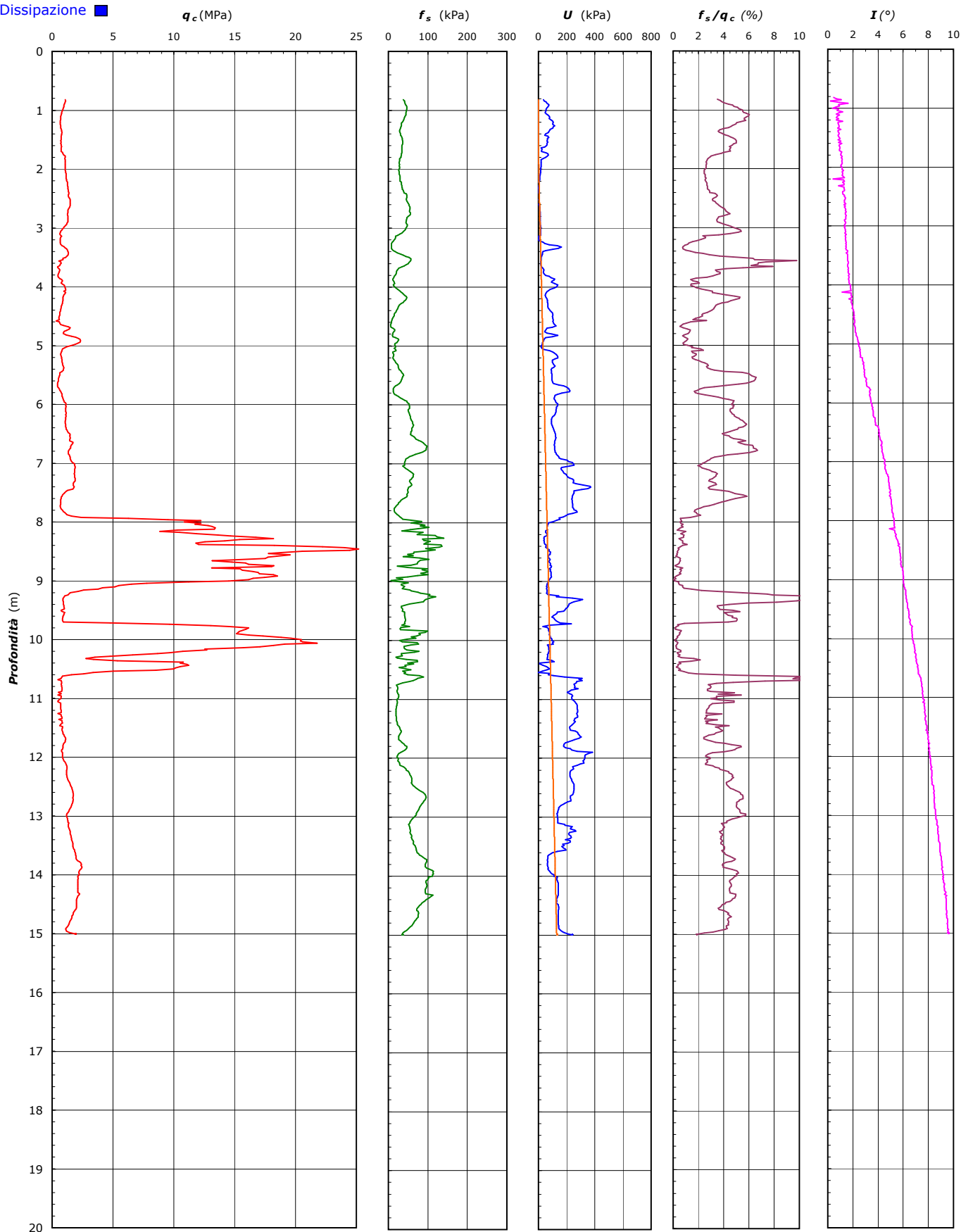
PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80

LAT. (WGS 84): 44.698233° LONG. (WGS 84): 10.645541°

COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17363 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 03	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.75	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.80	LAT. (WGS 84): 44.698233° LONG. (WGS 84): 10.645541°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17363 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: SCPTU 4

PROF. FALDA (m da p.c.): 1.60

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA: 31/05/17

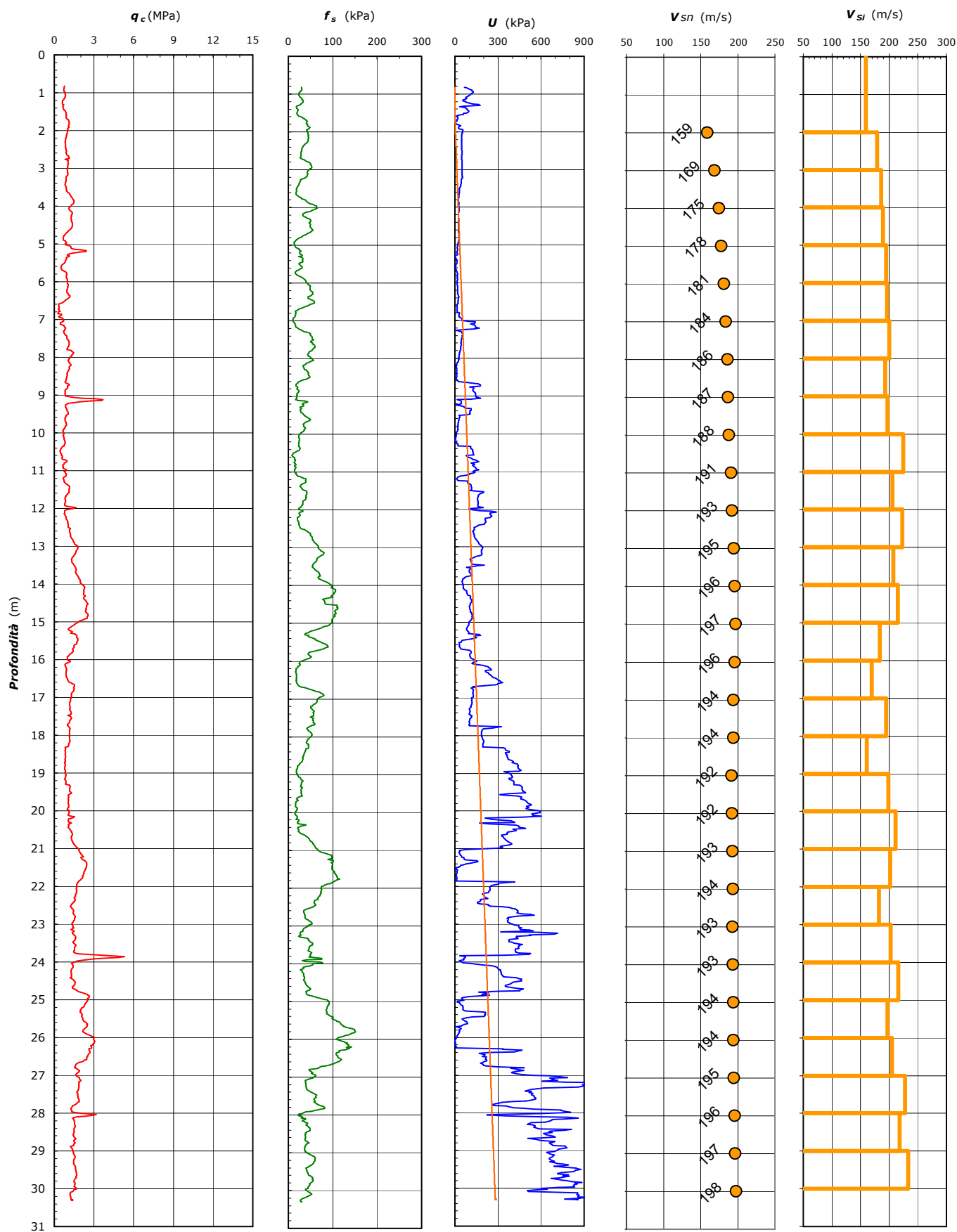
PREFORO (m da p.c.): 0.80

LAT. (WGS 84): 44.698209°

COMMESSA: 16583/17

C. SITO N°: S17364 del 05.06.17

LONG. (WGS 84): 10.645810°

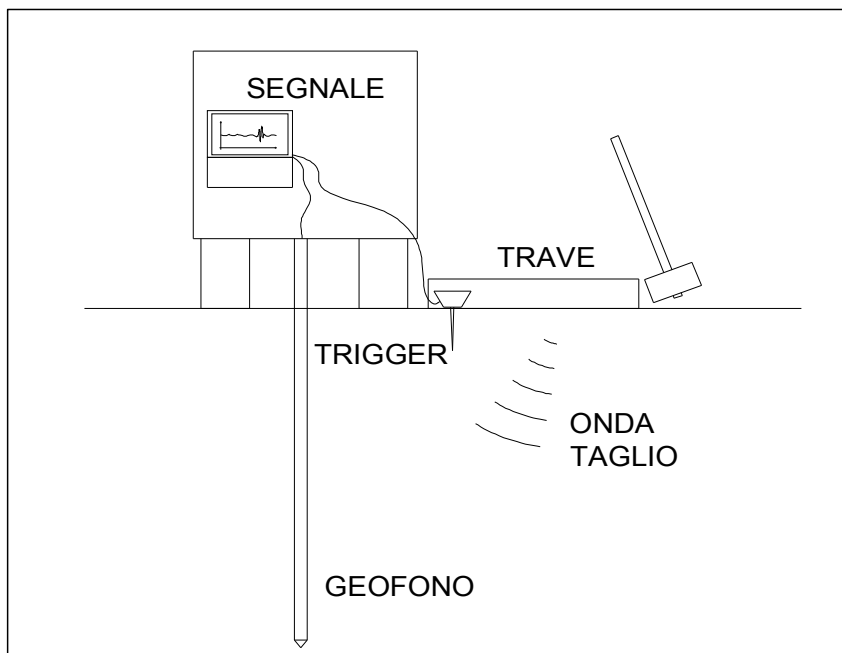


COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: SCPTU 4 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.60 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]
DATA: 31/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80 LAT. (WGS 84): 44.698209°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17364 del 05.06.17 LONG. (WGS 84): 10.645810°

Prova Down Hole ASTM D 7400



Profondità (m)	Ts (ms)	L (m)	Vs (m/s)	Vis (m/s)
1.0	T0	1.41	-	-
2.0	5.17	2.24	159	159
3.0	10.34	3.16	169	179
4.0	15.52	4.12	175	186
5.0	20.69	5.10	178	189
6.0	25.73	6.08	181	195
7.0	30.78	7.07	184	196
8.0	35.72	8.06	186	200
9.0	40.87	9.06	187	193
10.0	45.92	10.05	188	197
11.0	50.35	11.05	191	224
12.0	55.19	12.04	193	206
13.0	59.66	13.04	195	223
14.0	64.47	14.04	196	208
15.0	69.10	15.03	197	215
16.0	74.54	16.03	196	184
17.0	80.44	17.03	194	169
18.0	85.56	18.03	194	195
19.0	91.77	19.03	192	161
20.0	96.79	20.02	192	199
21.0	101.53	21.02	193	211
22.0	106.48	22.02	194	202
23.0	111.97	23.02	193	182
24.0	116.91	24.02	193	202
25.0	121.53	25.02	194	216
26.0	126.60	26.02	194	197
27.0	131.49	27.02	195	205
28.0	135.87	28.02	196	228
29.0	140.46	29.02	197	218
30.0	144.74	30.02	198	233

CATEGORIA SOTTOSUOLO

C

V_{s,30} = 198 m/s

D = Distanza centro trave generatrice ond
Profondità = Profondità punta da piano campagna
Ts = Tempo percorrenza onda di taglio
L = Lunghezza percorso onda di taglio
Vs = Velocità onde di taglio da piano campagna alla profondità indic = 1.00 m
Vis = Velocità onde di taglio nello strato di terreno compreso fra le due profondità indicate

COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°: SCPTU 4

DATA: 31/05/17

COMMESSA: 16583/17

PROF. FALDA (m da p.c.): 1.60

PREFORO (m da p.c.): 0.80

C. SITO N°: S17364 del 05.06.17

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

LAT. (WGS 84): 44.698209°

LONG. (WGS 84): 10.645810°

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia

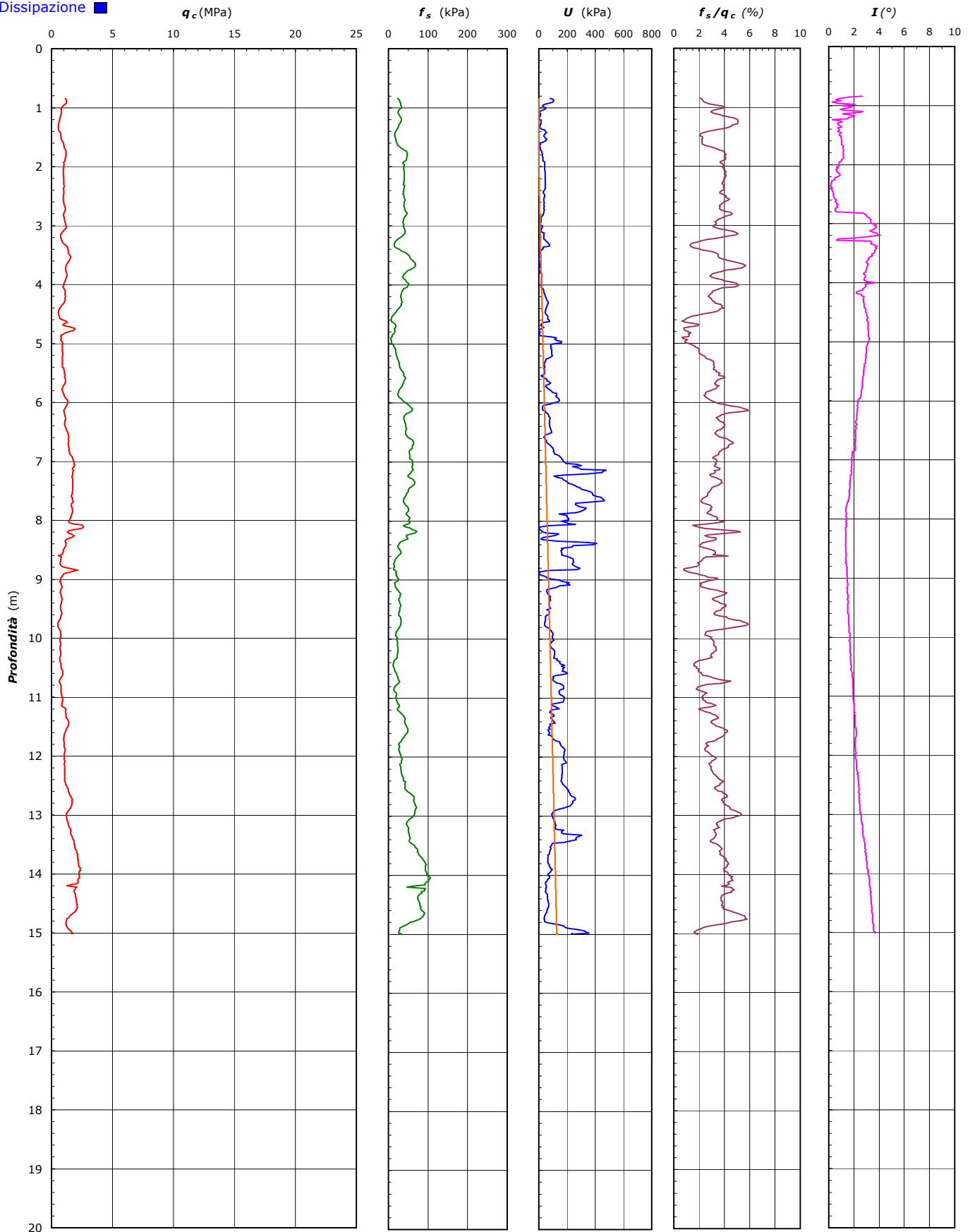


COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 05 PROF. FALDA (m da p.c.): 2.00 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.82 LAT. (WGS 84): 44.698064° LONG. (WGS 84): 10.646058°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17365 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 05	PROF. FALDA (m da p.c.):	2.00	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.82	LAT. (WGS 84): 44.698064° LONG. (WGS 84): 10.646058°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17365 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



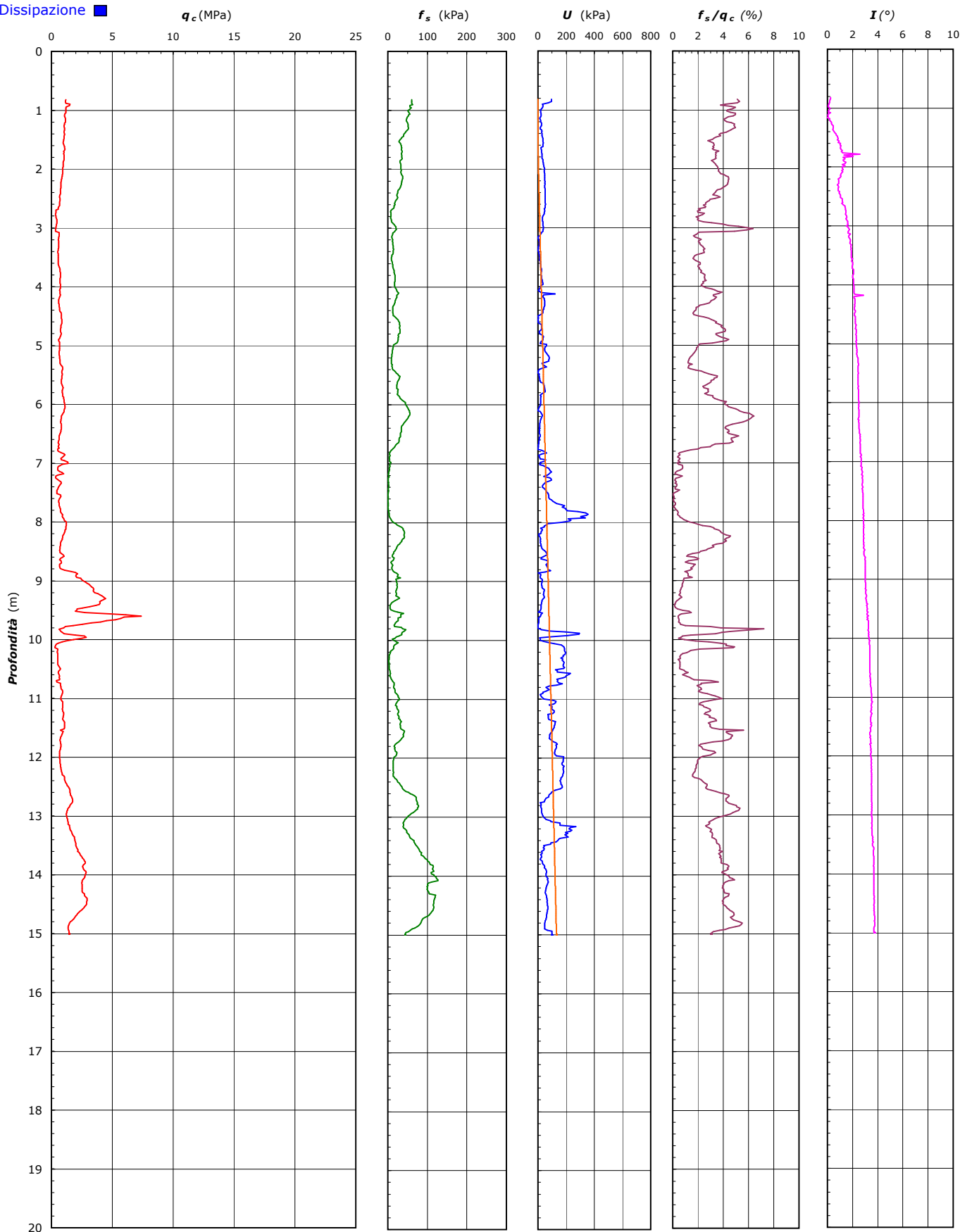
NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 06 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.60 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80 LAT. (WGS 84): 44.697767° LONG. (WGS 84): 10.646144°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17366 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 06	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.60	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.80	LAT. (WGS 84): 44.697767° LONG. (WGS 84): 10.646144°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17366 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



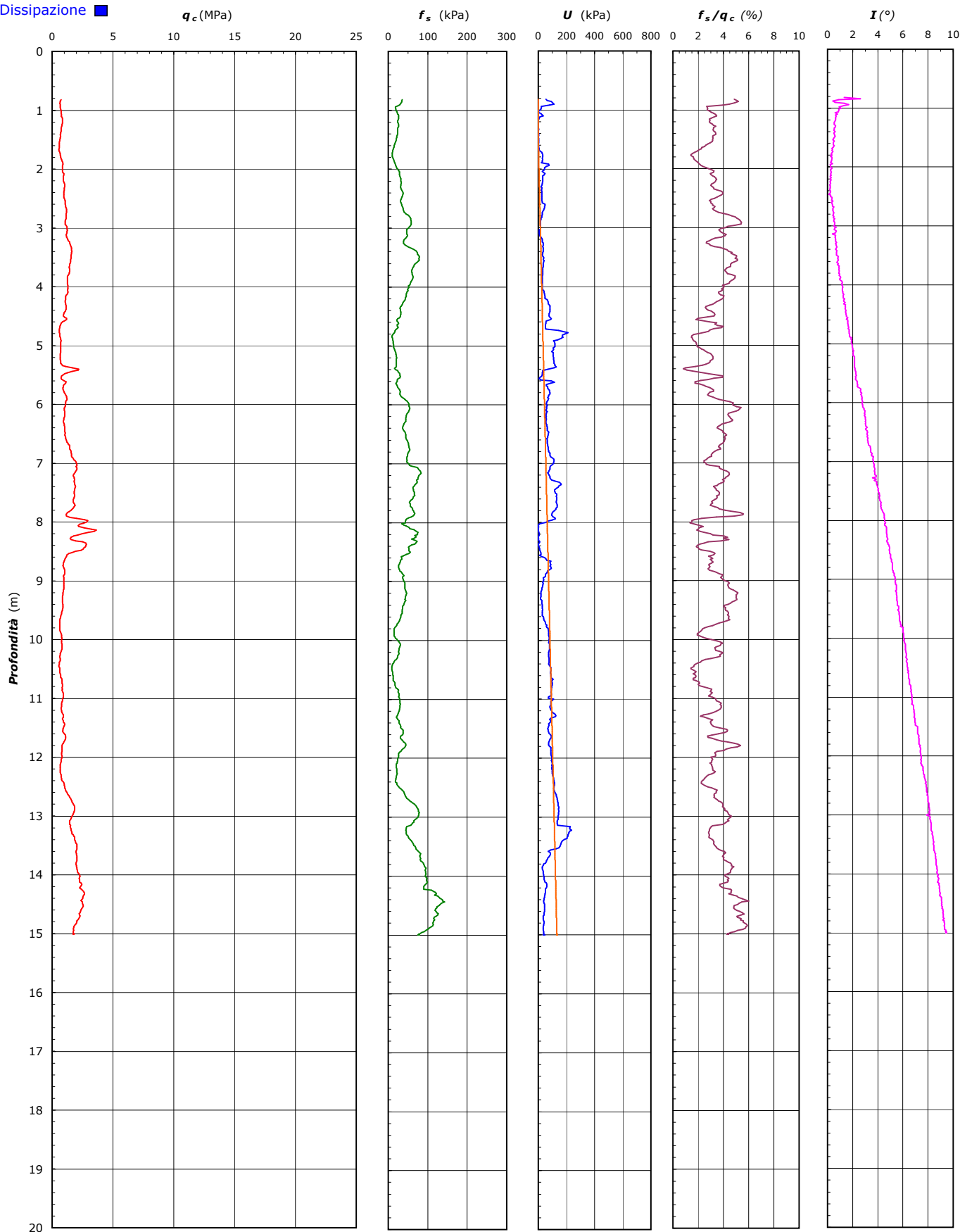
NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zzale Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 07 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.50 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80 LAT. (WGS 84): 44.697873° LONG. (WGS 84): 10.646556°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17367 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 07	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.50	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.80	LAT. (WGS 84): 44.697873° LONG. (WGS 84): 10.646556°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17367 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

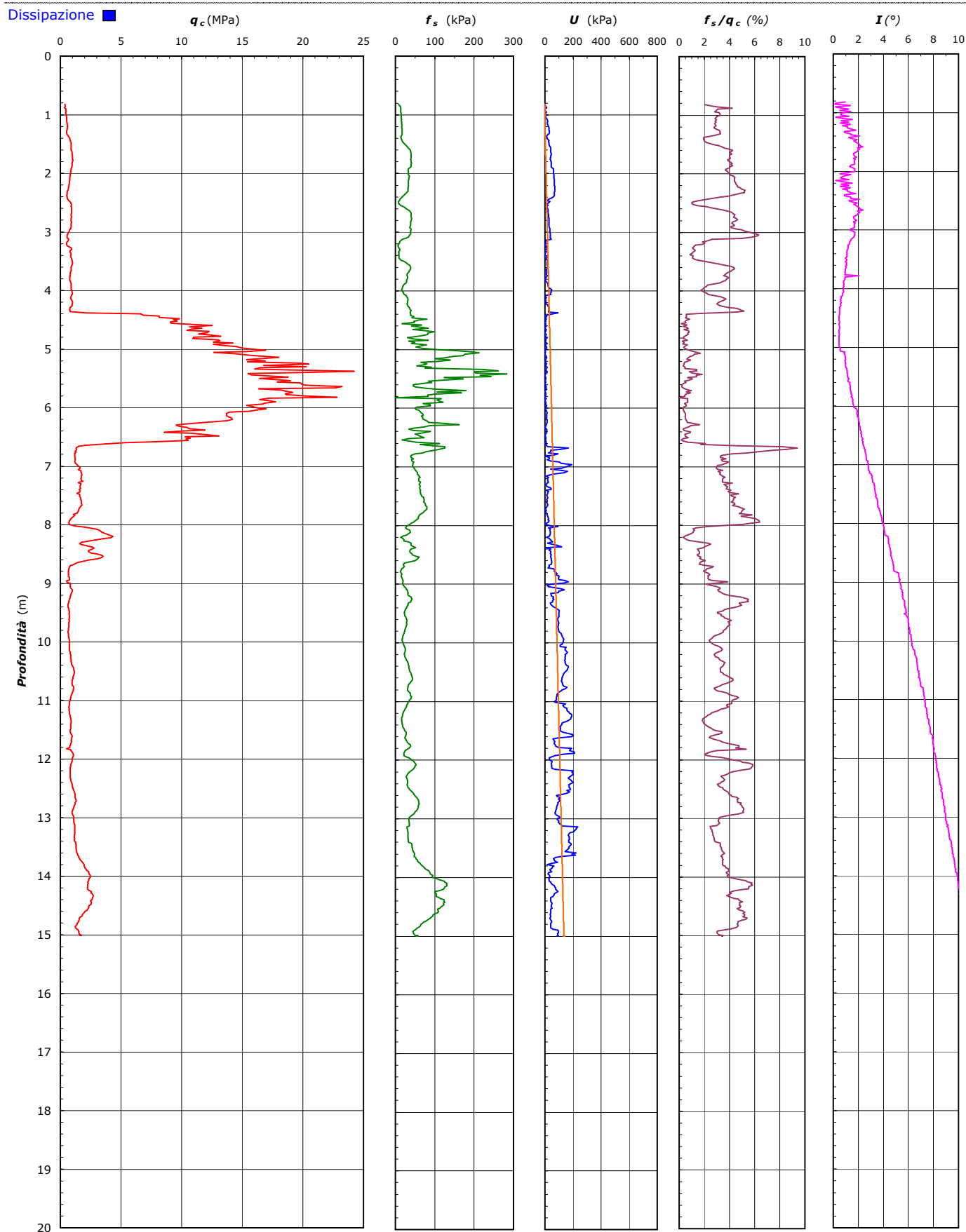
PROVA N°: CPTU 08 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.20

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80

LAT. (WGS 84): 44.697512° LONG. (WGS 84): 10.646705°

COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17368 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)****CANTIERE:** **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 08	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.20	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.80	LAT. (WGS 84): 44.697512° LONG. (WGS 84): 10.646705°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17368 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 09 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.70

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

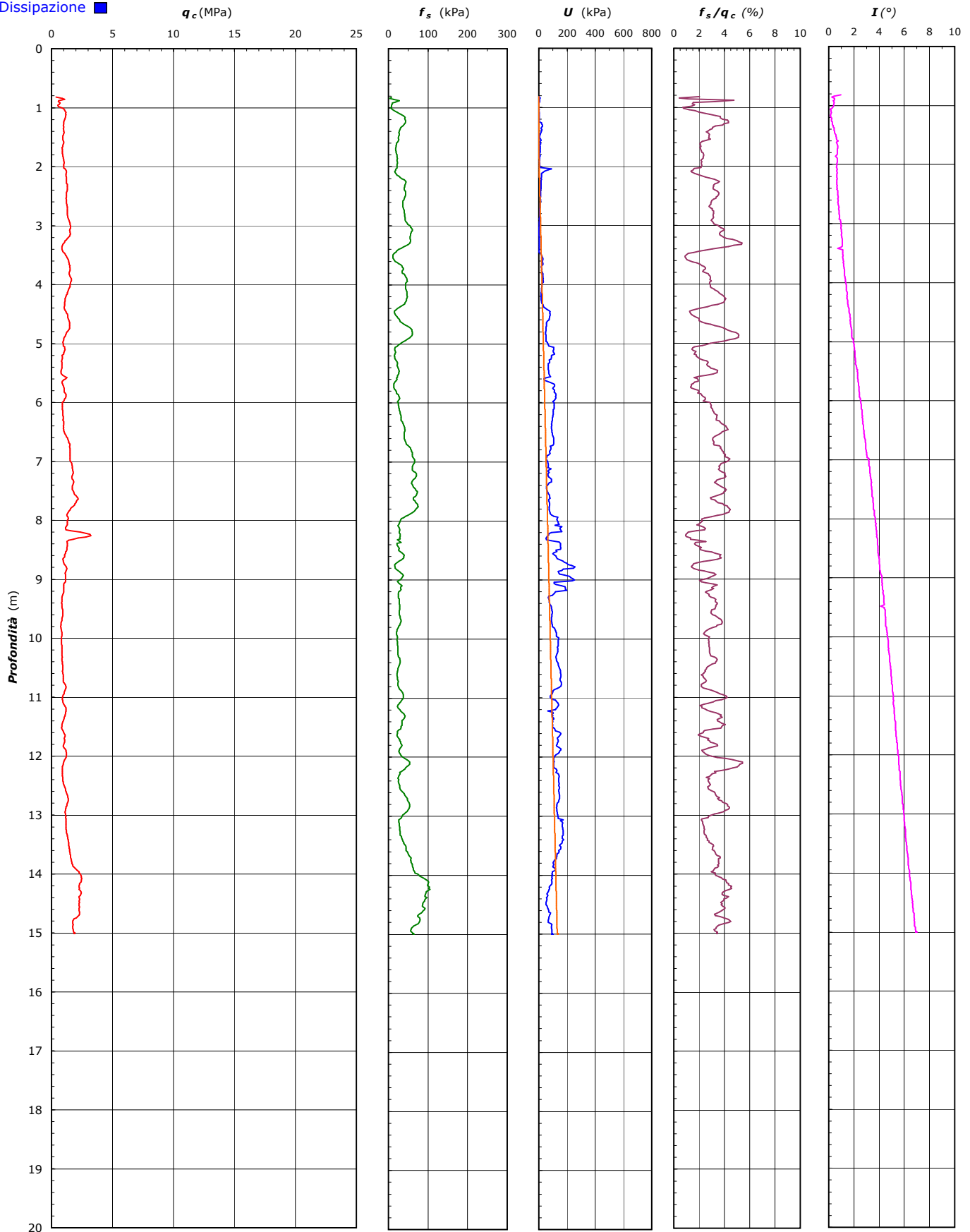
DATA: 29/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80

LAT. (WGS 84): 44.697685°

LONG. (WGS 84): 10.647134°

COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17369 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 09	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.70	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	29/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.80	LAT. (WGS 84): 44.697685° LONG. (WGS 84): 10.647134°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17369 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



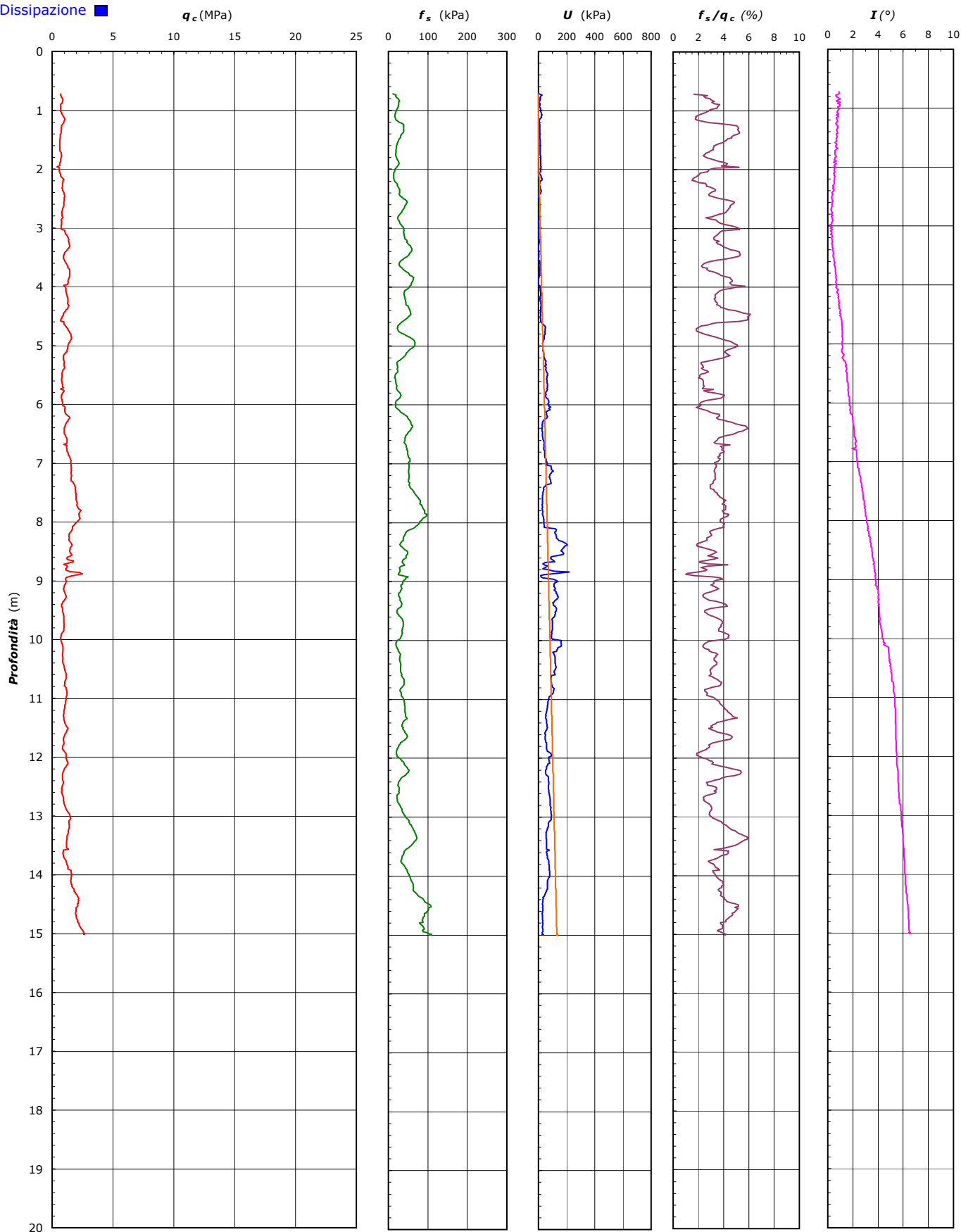
NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 10 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.65 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 30/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.70 LAT. (WGS 84): 44.697957° LONG. (WGS 84): 10.646994°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17370 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 10	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.65	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	30/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.70	LAT. (WGS 84): 44.697957° LONG. (WGS 84): 10.646994°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17370 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 11 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.40

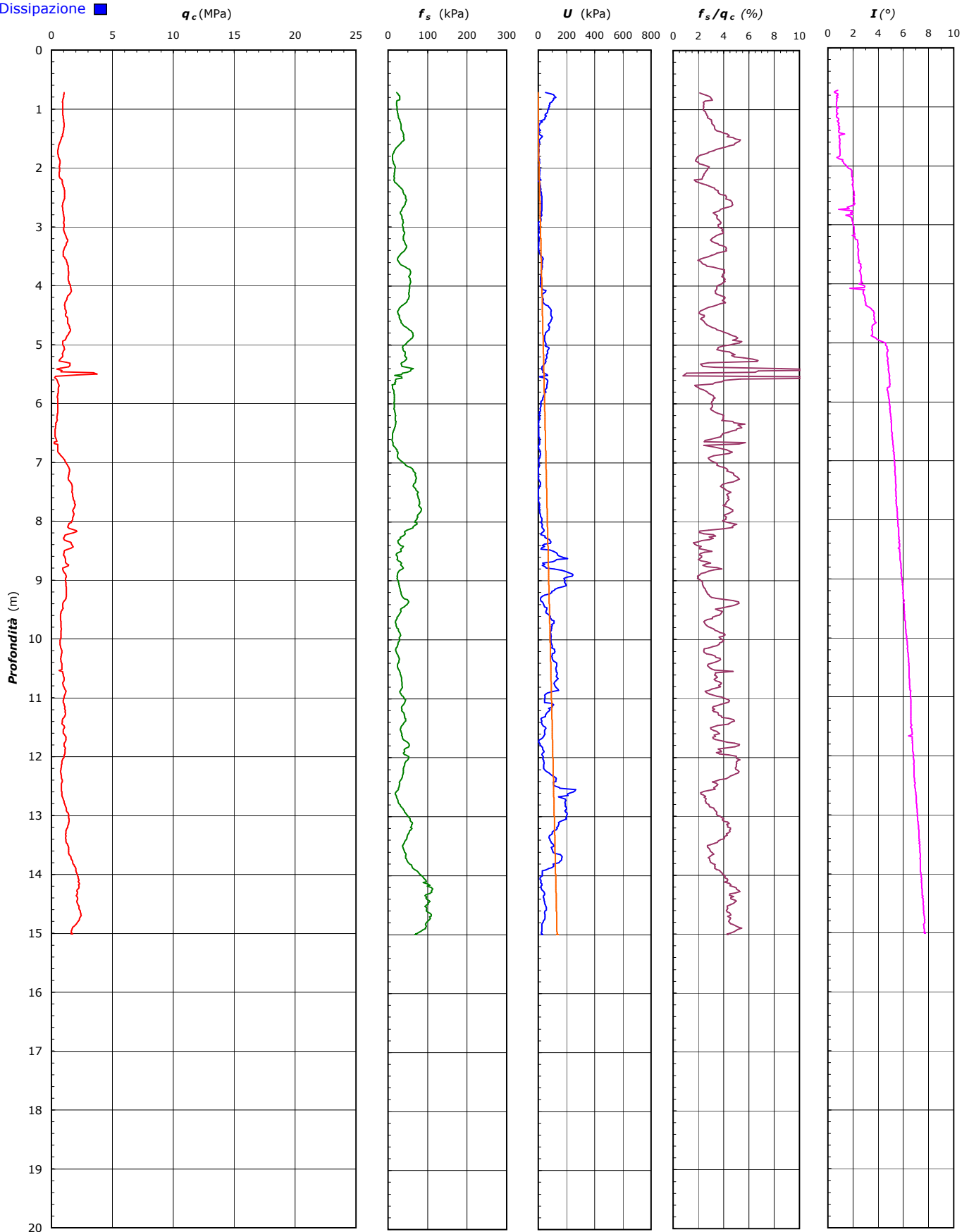
PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 30/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.70

LAT. (WGS 84): 44.698000° LONG. (WGS 84): 10.647360°

COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17371 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 11	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.40	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	30/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.70	LAT. (WGS 84): 44.698000° LONG. (WGS 84): 10.647360°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17371 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 12 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.60

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 30/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.82

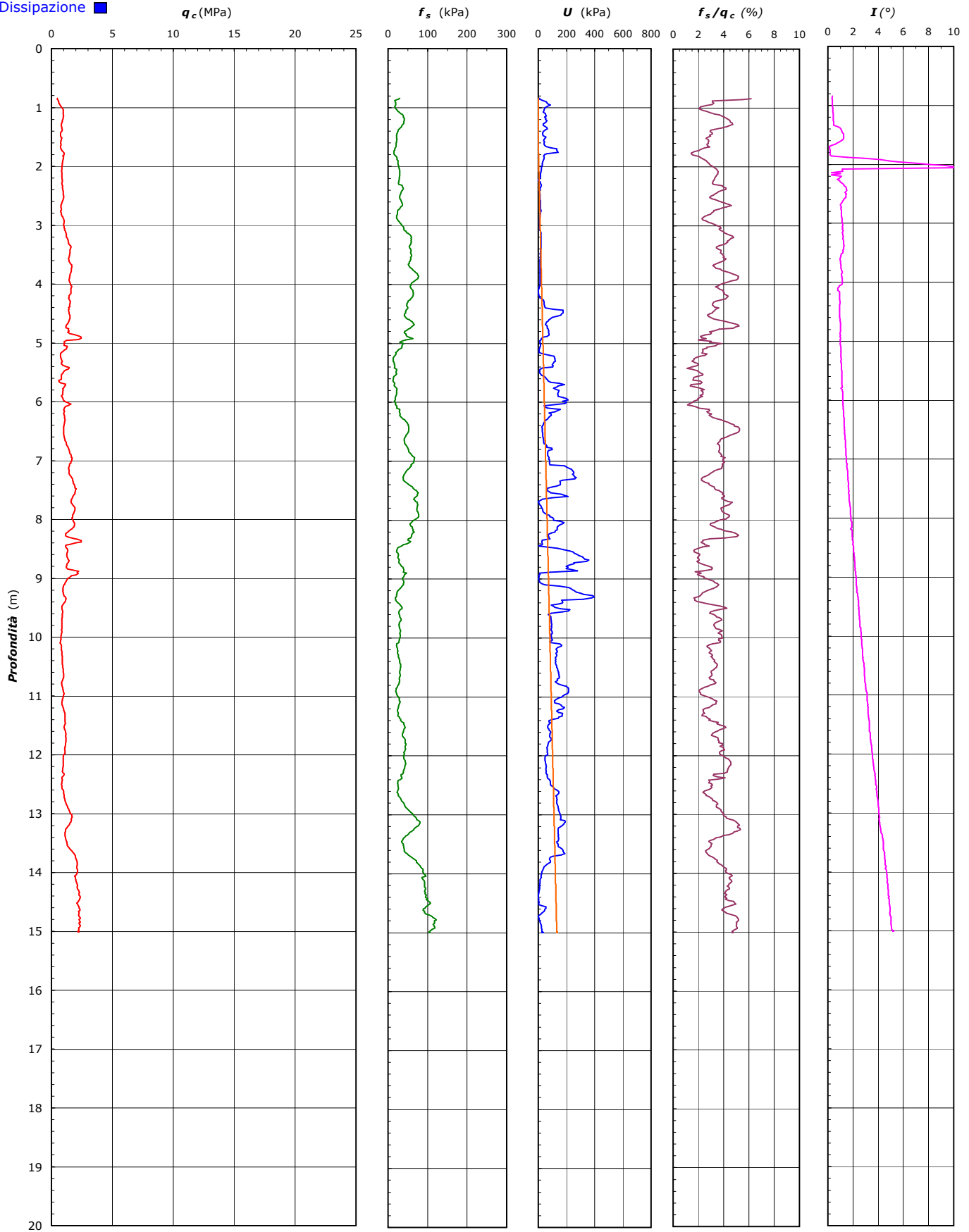
LAT. (WGS 84): 44.698218°

LONG. (WGS 84): 10.646949°

COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17372 del 05.06.17

OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 12	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.60	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	30/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.82	LAT. (WGS 84): 44.698218° LONG. (WGS 84): 10.646949°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17372 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 13 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.30

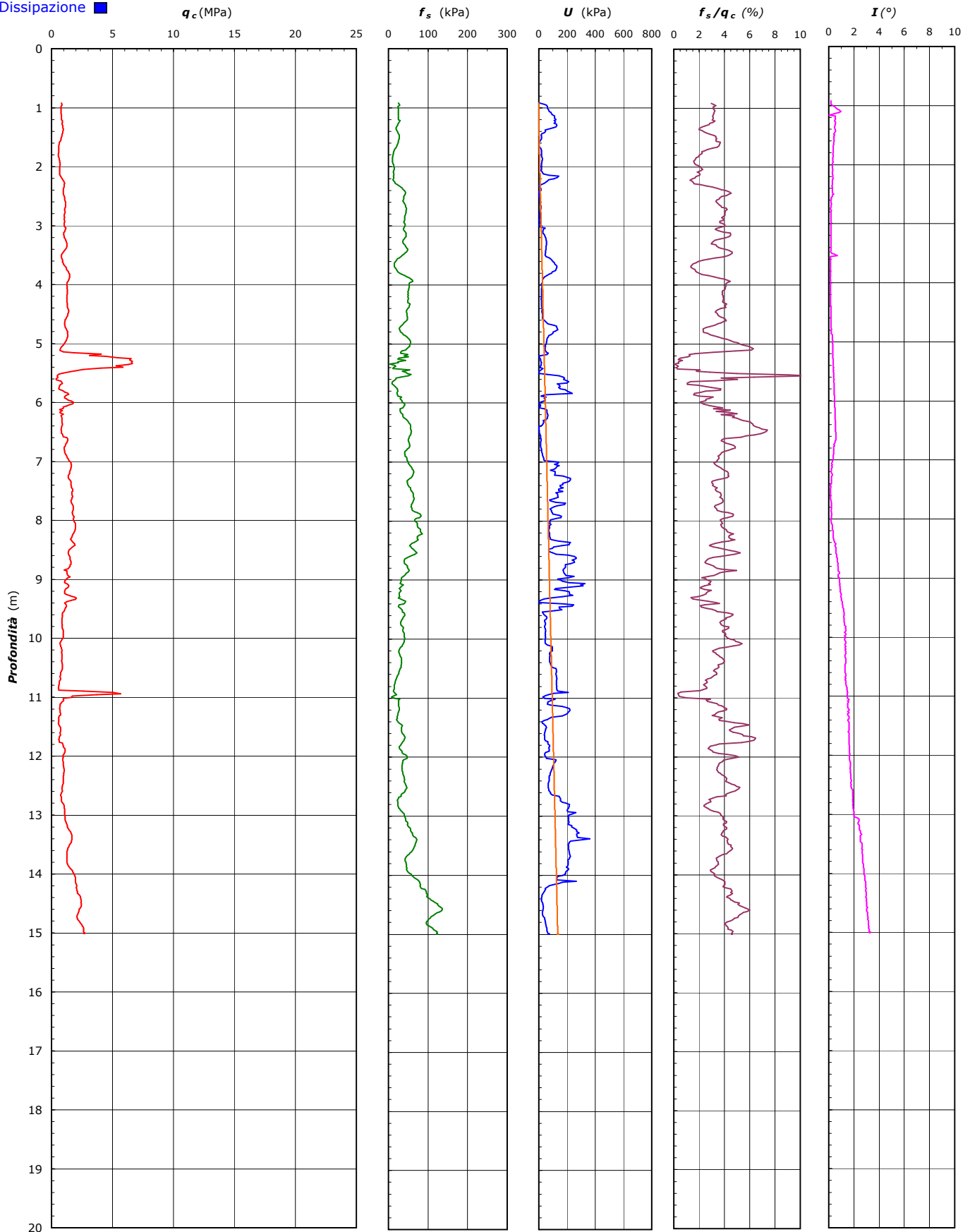
PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 30/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.90

LAT. (WGS 84): 44.698354° LONG. (WGS 84): 10.647312°

COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17373 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 13	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.30	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	30/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.90	LAT. (WGS 84): 44.698354° LONG. (WGS 84): 10.647312°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17373 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: SCPTU 14

PROF. FALDA (m da p.c.): 1.40

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA: 31/05/17

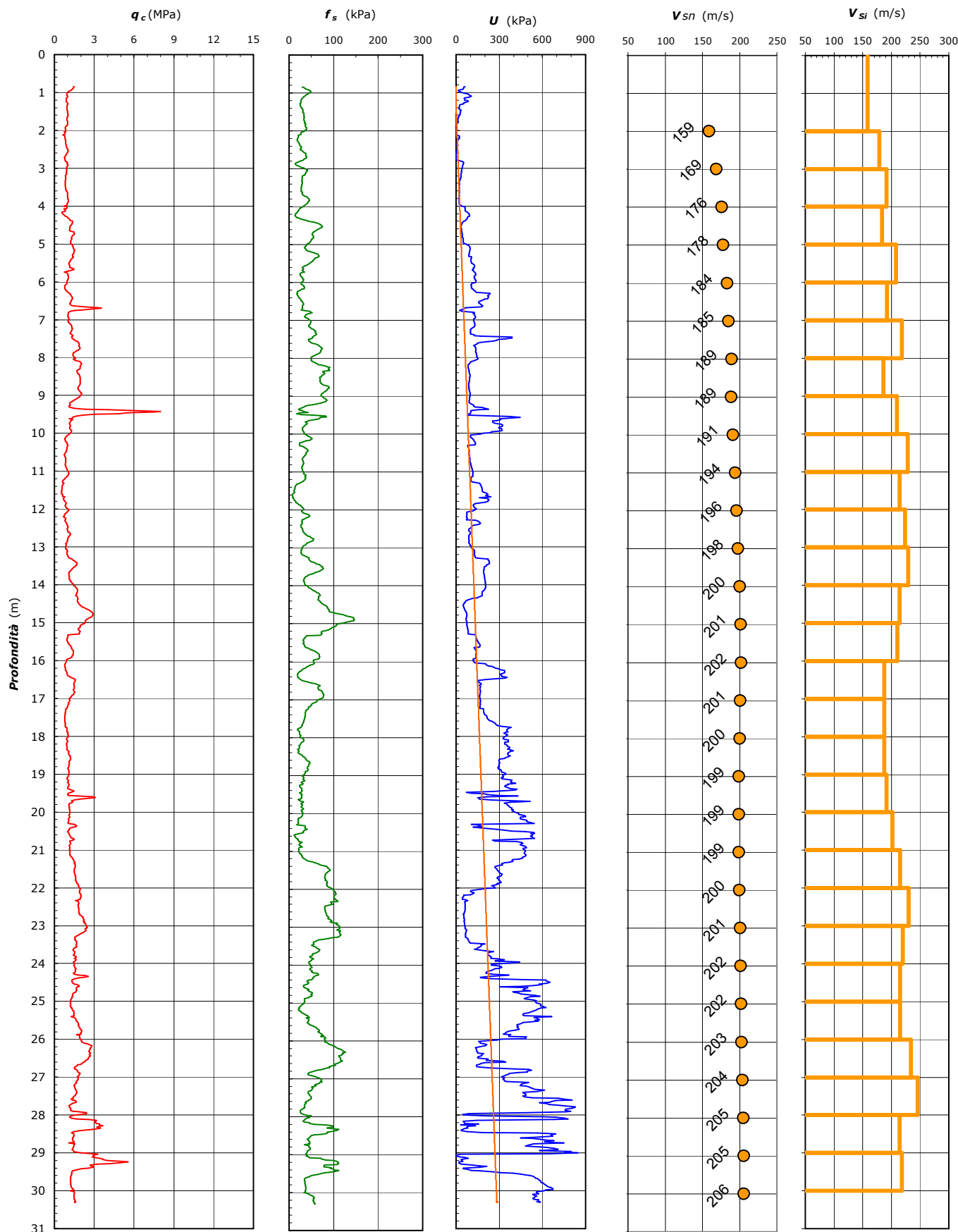
PREFORO (m da p.c.): 0.82

LAT. (WGS 84): 44.698447°

COMMESSA: 16583/17

C. SITO N°: S17374 del 05.06.17

LONG. (WGS 84): 10.647744°



COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: SCPTU 14

DATA: 31/05/17

COMMESSA: 16583/17

PROF. FALDA (m da p.c.): 1.40

PREFORO (m da p.c.): 0.82

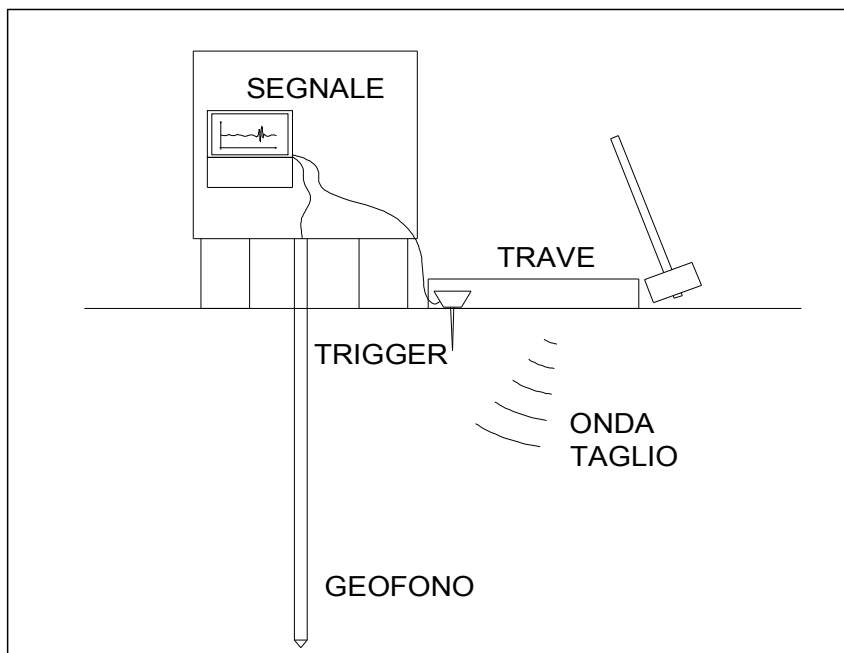
C. SITO N°: S17374 del 05.06.17

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

LAT. (WGS 84): 44.698447°

LONG. (WGS 84): 10.647744°

Prova Down Hole ASTM D 7400



Profondità (m)	Ts (ms)	L (m)	Vs (m/s)	Vis (m/s)
1.0	T0	1.41	-	-
2.0	5.18	2.24	159	159
3.0	10.35	3.16	169	179
4.0	15.38	4.12	176	191
5.0	20.70	5.10	178	183
6.0	25.44	6.08	184	208
7.0	30.58	7.07	185	192
8.0	35.11	8.06	189	218
9.0	40.45	9.06	189	186
10.0	45.19	10.05	191	210
11.0	49.55	11.05	194	228
12.0	54.20	12.04	196	214
13.0	58.66	13.04	198	224
14.0	63.02	14.04	200	229
15.0	67.68	15.03	201	214
16.0	72.42	16.03	202	210
17.0	77.73	17.03	201	188
18.0	83.05	18.03	200	188
19.0	88.37	19.03	199	188
20.0	93.58	20.02	199	192
21.0	98.52	21.02	199	202
22.0	103.17	22.02	200	215
23.0	107.51	23.02	201	230
24.0	112.05	24.02	202	220
25.0	116.69	25.02	202	215
26.0	121.34	26.02	203	215
27.0	125.61	27.02	204	234
28.0	129.68	28.02	205	246
29.0	134.35	29.02	205	214
30.0	138.93	30.02	206	218

CATEGORIA SOTTOSUOLO

C

V_{s,30} = 206 m/s

D = Distanza centro trave generatrice ond
Profondità = Profondità punta da piano campagna
Ts = Tempo percorrenza onda di taglio
L = Lunghezza percorso onda di taglio
Vs = Velocità onde di taglio da piano campagna alla profondità indic = 1.00 m
Vis = Velocità onde di taglio nello strato di terreno compreso fra le due profondità indicate

COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°: SCPTU 14

DATA: 31/05/17

COMMESSA: 16583/17

PROF. FALDA (m da p.c.): 1.40

PREFORO (m da p.c.): 0.82

C. SITO N°: S17374 del 05.06.17

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

LAT. (WGS 84): 44.698447°

LONG. (WGS 84): 10.647744°

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia

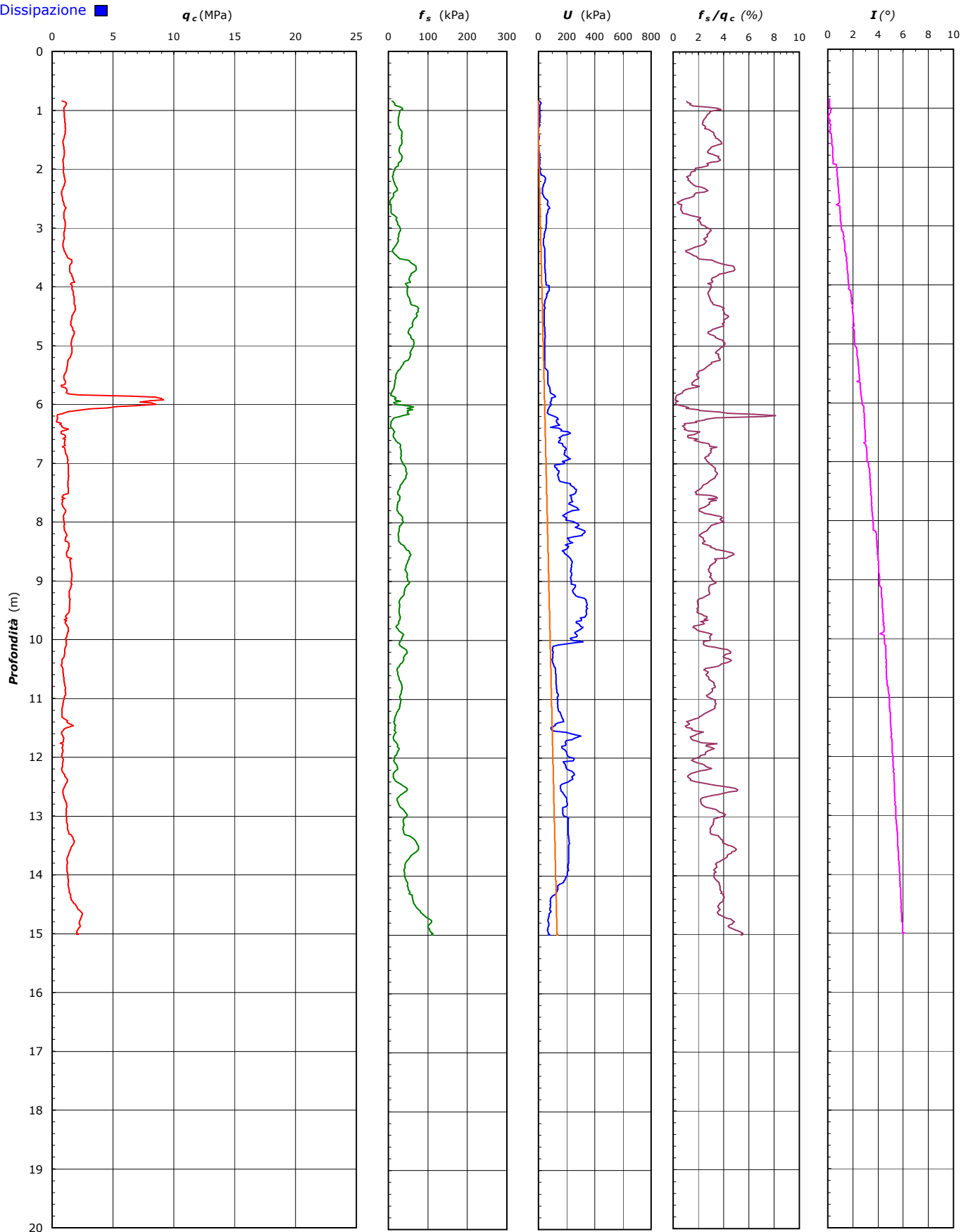


COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 15 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.50 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 30/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.82 LAT. (WGS 84): 44.698742° LONG. (WGS 84): 10.647497°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17375 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato

Dissipazione ■



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 15	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.50	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	30/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.82	LAT. (WGS 84): 44.698742° LONG. (WGS 84): 10.647497°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17375 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia

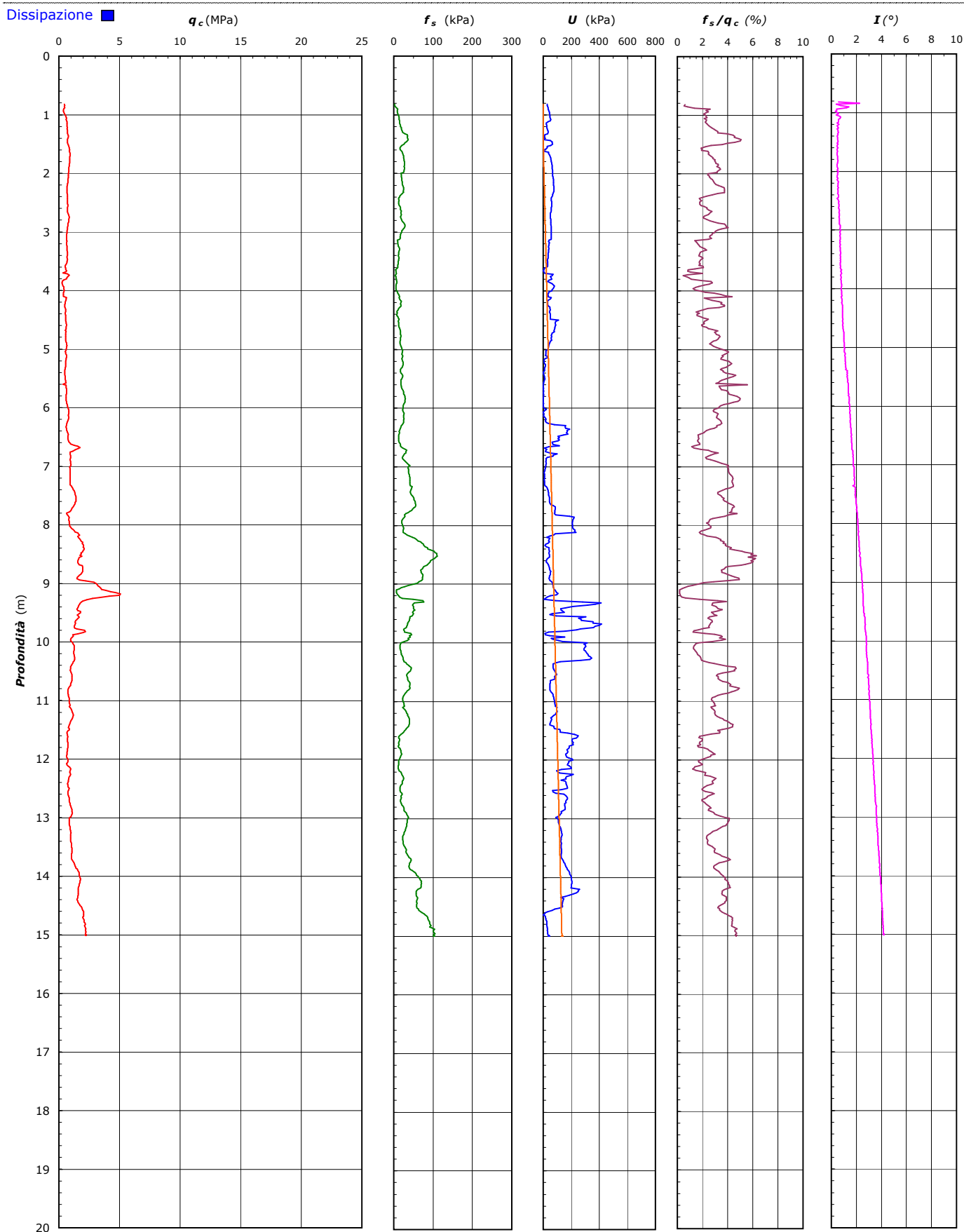


NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 16 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.40 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 30/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.80 LAT. (WGS 84): 44.698846° LONG. (WGS 84): 10.647902°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17376 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 16	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.40	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	30/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.80	LAT. (WGS 84): 44.698846° LONG. (WGS 84): 10.647902°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17376 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia

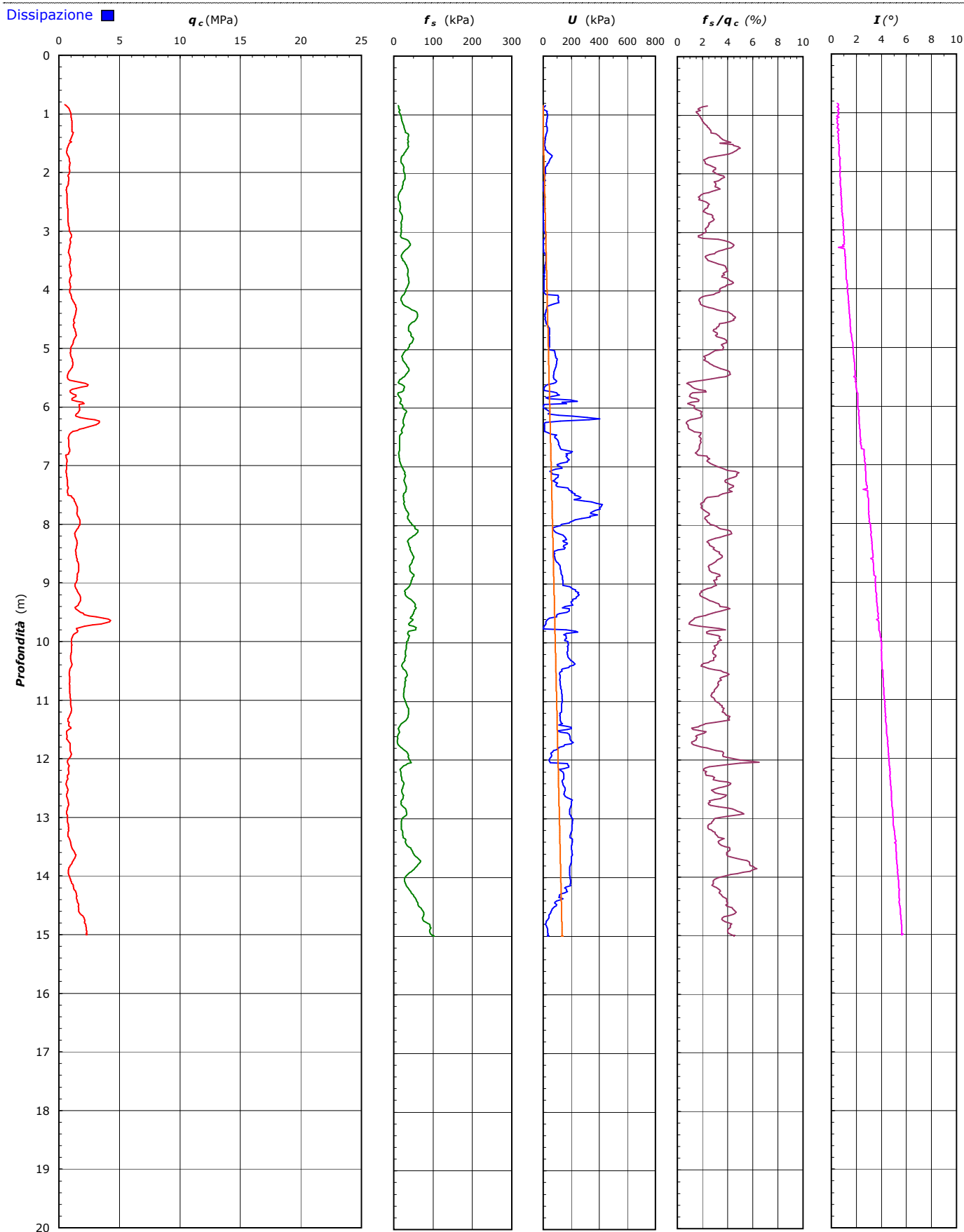


NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

COMMITTENTE: dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)

CANTIERE: P.zza Europa, Reggio Emilia

PROVA N°: CPTU 17 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.20 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 30/05/17 PREFORO (m da p.c.): 0.82 LAT. (WGS 84): 44.699127° LONG. (WGS 84): 10.647495°
COMMESSA: 16583/17 C. SITO N°: S17377 del 05.06.17 OPERATORE: L. Zanirato



COMMITTENTE: **dott. geol. Stefano Castagnetti - via Argini Sud 24 - Basilicanova (PR)**

CANTIERE: **P.zzale Europa, Reggio Emilia**

PROVA N°:	CPTU 17	PROF. FALDA (m da p.c.):	1.20	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	30/05/17	PREFORO (m da p.c.):	0.82	LAT. (WGS 84): 44.699127° LONG. (WGS 84): 10.647495°
COMMESSA:	16583/17	C. SITO N°:	S17377 del 05.06.17	OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

Località: P.zzale Europa, Reggio Emilia



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

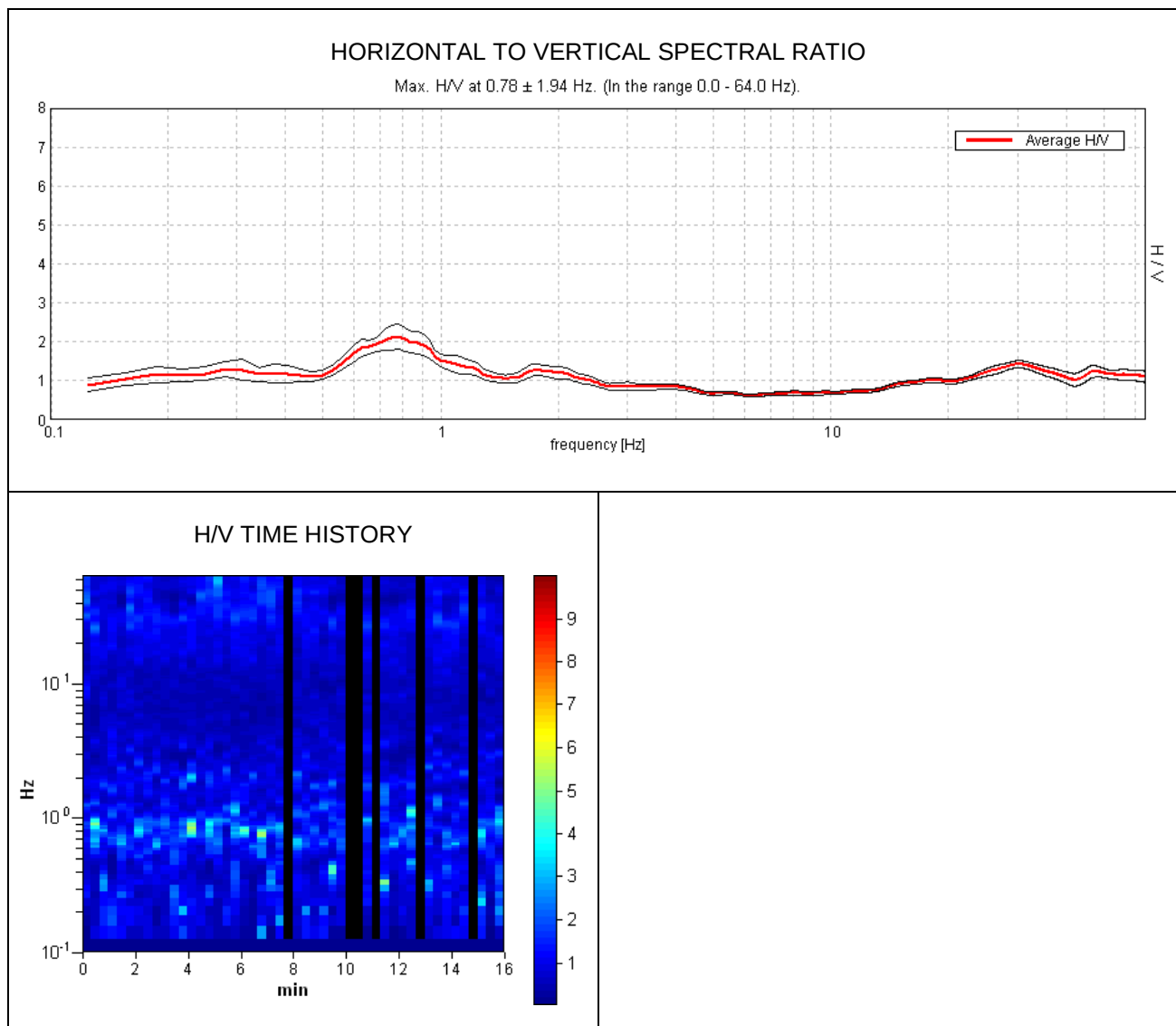
Allegato n° 2

Indagini geofisiche

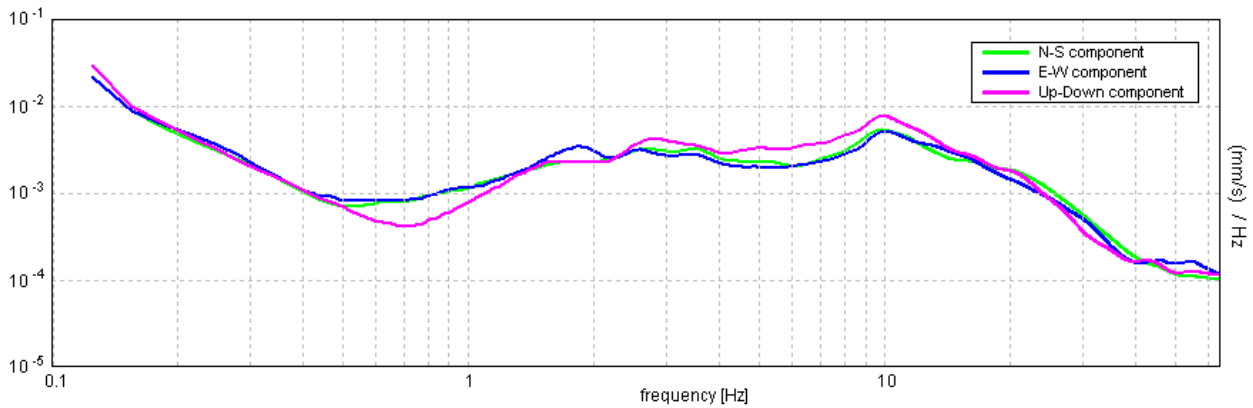
REGGIO4, TR056

Start recording: 05/06/13 14:11:26 End recording: 05/06/13 14:27:26
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Max. H/V at 0.78 ± 1.94 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$656.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 38 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.13 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.21243 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.94721 < 0.11719$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.16 < 2.0$	OK	

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
σ_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 σ_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

REGGIANE, HVSRI

Strumento: TRZ-0189/01-12

Inizio registrazione: 27/10/14 10:44:11 Fine registrazione: 27/10/14 11:00:11

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 60% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

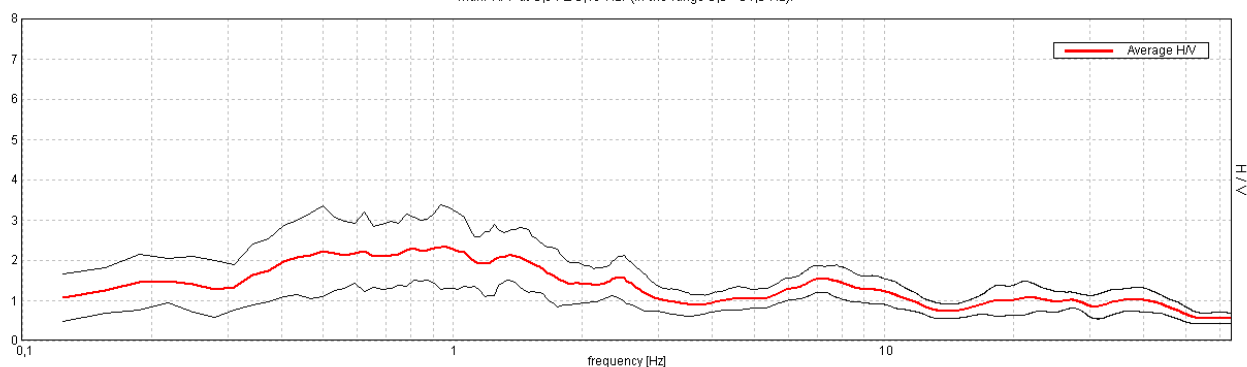
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

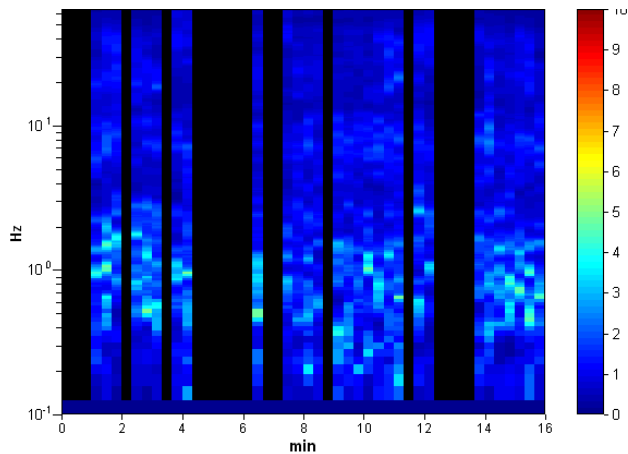
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

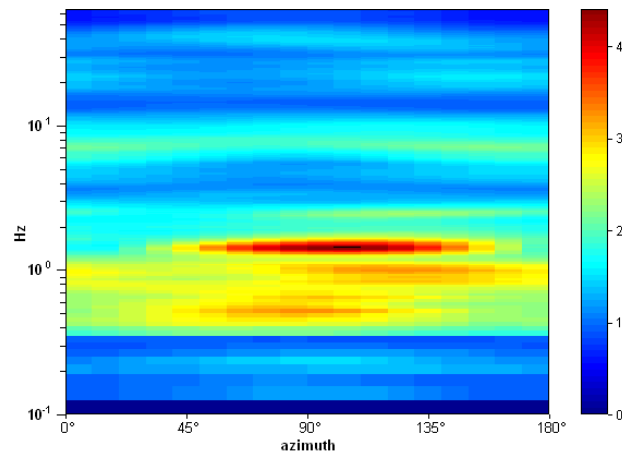
Max. H/V at $0,94 \pm 0,19$ Hz. (In the range 0,0 - 64,0 Hz).



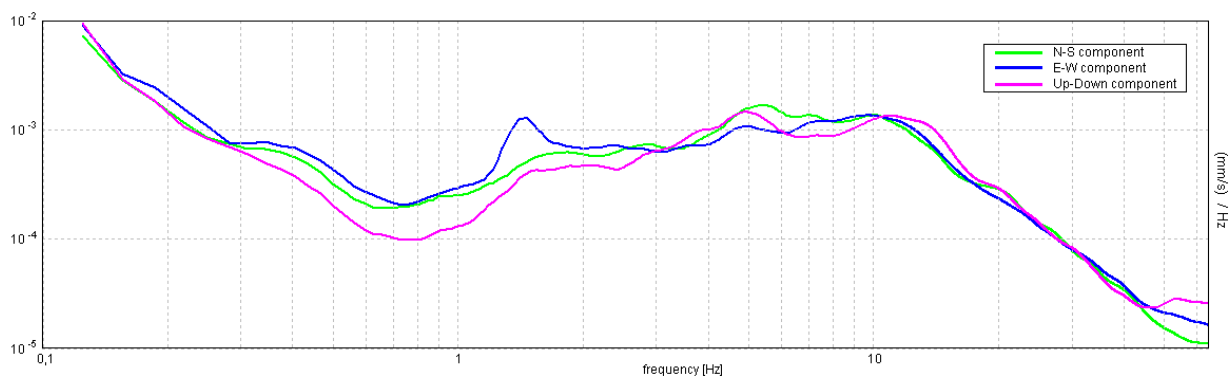
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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 $0,94 \pm 0,19$ Hz (nell'intervallo 0,0 - 64,0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0,94 > 0,50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$543,8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 46	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2,844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2,32 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0,19885 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0,18642 < 0,14063$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1,0555 < 2,0$	OK	

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
σ_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 σ_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

REGGIANE, HVSR2

Strumento: TRZ-0189/01-12

Inizio registrazione: 27/10/14 11:06:57 Fine registrazione: 27/10/14 11:22:57

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 69% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

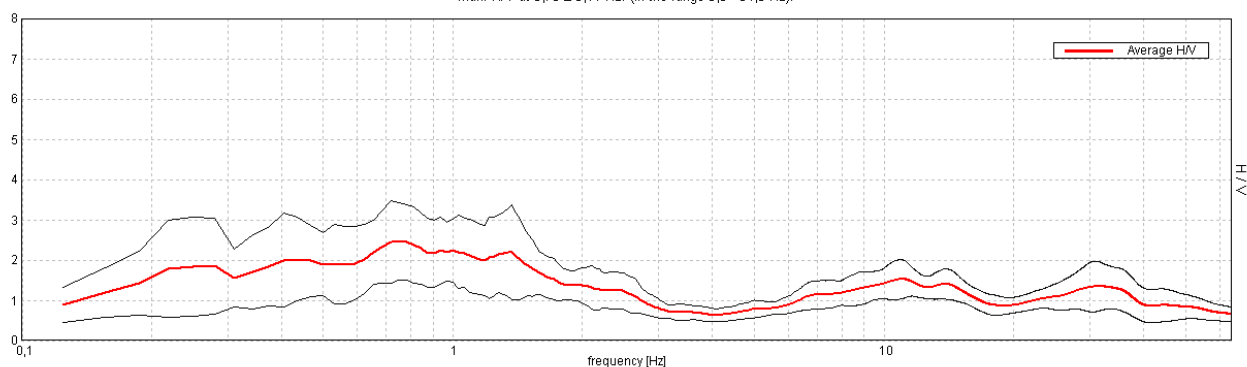
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

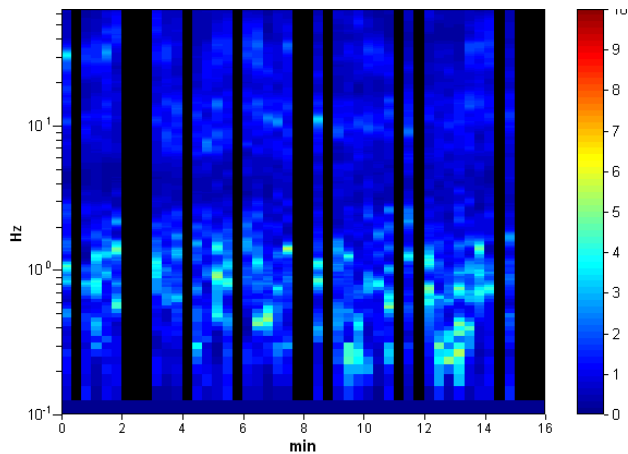
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

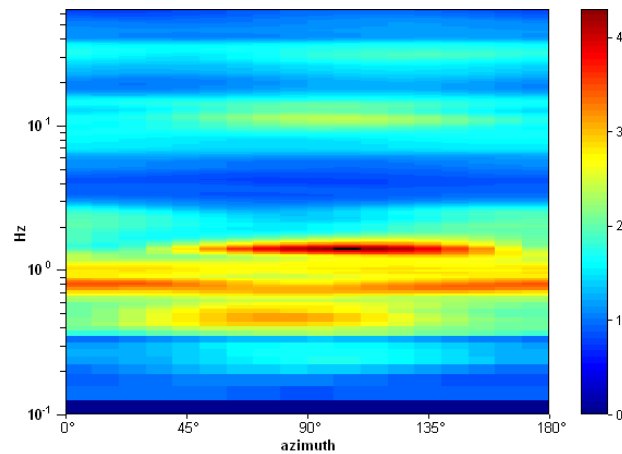
Max. H/V at $0,75 \pm 0,11$ Hz. (In the range 0,0 - 64,0 Hz).



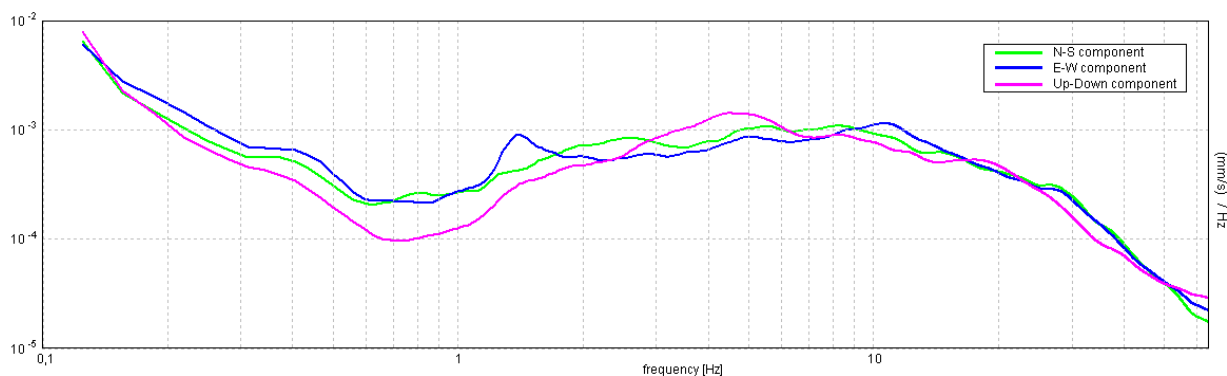
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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 $0,75 \pm 0,11$ Hz (nell'intervallo 0,0 - 64,0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0,75 > 0,50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$495,0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 37	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2,5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2,46 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0,15093 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0,1132 < 0,1125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0,9577 < 2,0$	OK	

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
σ_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 σ_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

PRU REGGIANE 2017, HVSr3

Strumento: TRZ-0189/01-12

Formato dati: 16 byte

Inizio registrazione: 09/06/17 13:51:12 Fine registrazione: 09/06/17 14:07:12

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 73% tracciato (selezione manuale)

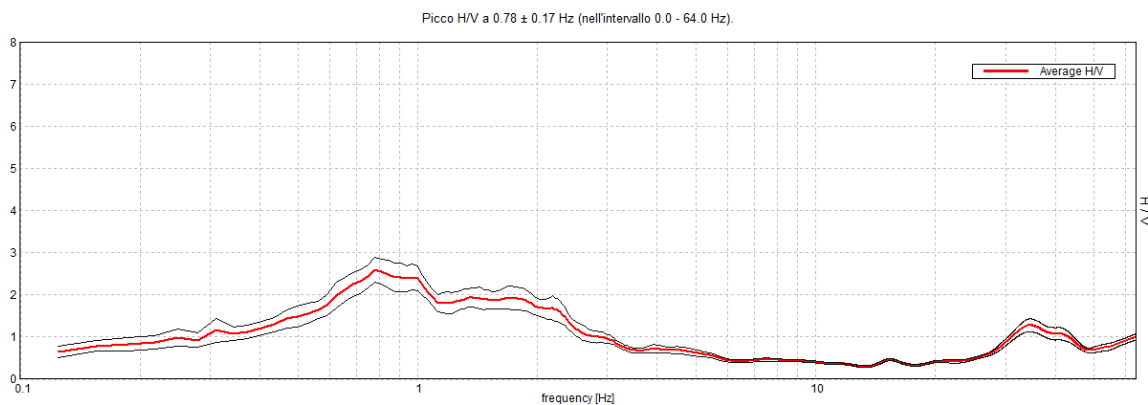
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

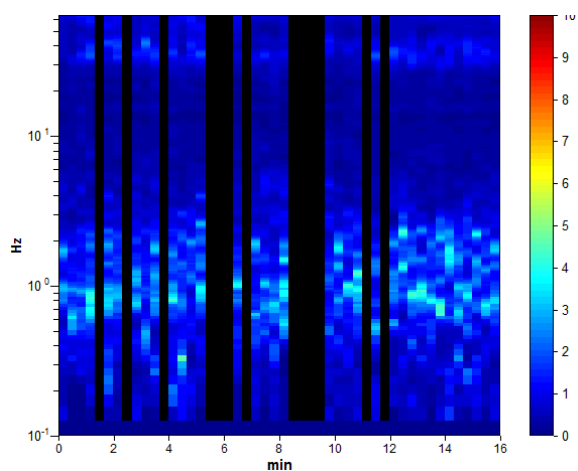
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

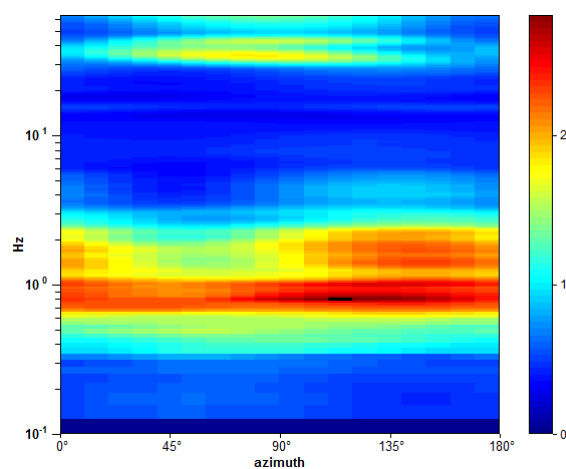
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



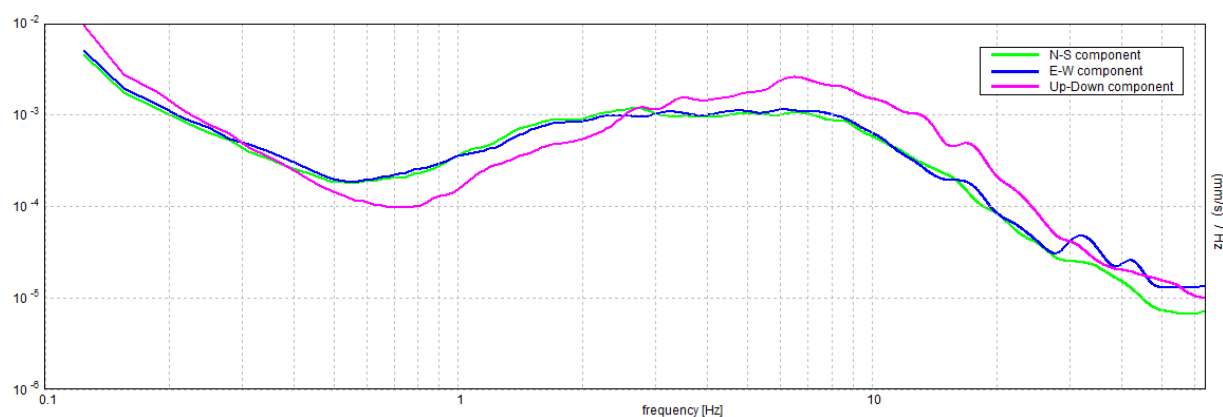
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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 0.78 ± 0.17 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$546.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 38	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.60 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.21594 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.1687 < 0.11719$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2981 < 2.0$	OK	

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
σ_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 σ_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

PRU REGGIANE 2017, HVSr 4

Strumento: TRZ-0189/01-12

Formato dati: 16 byte

Inizio registrazione: 09/06/17 14:17:40 Fine registrazione: 09/06/17 14:33:40

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)

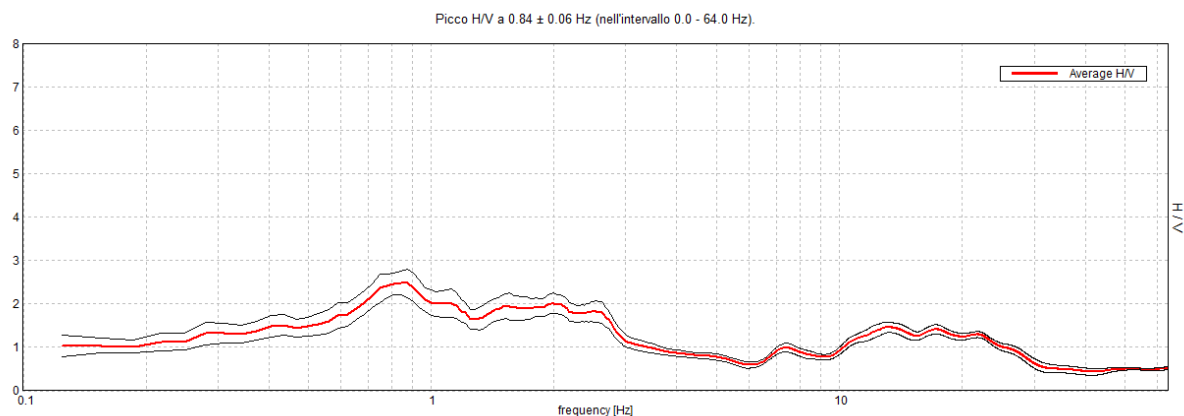
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

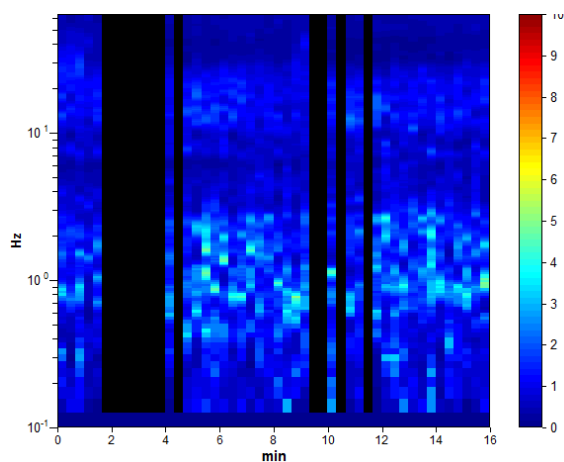
Tipo di liscio: Triangular window

Liscio: 10%

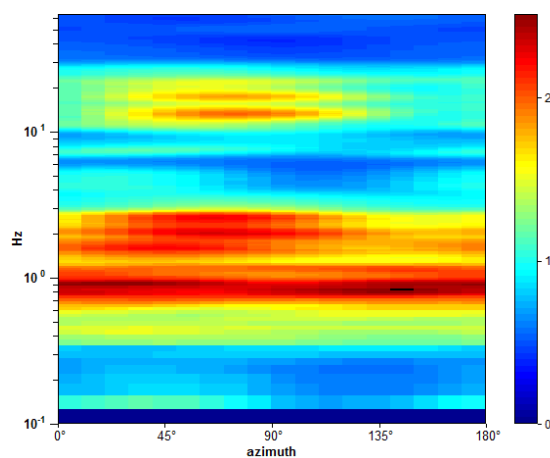
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



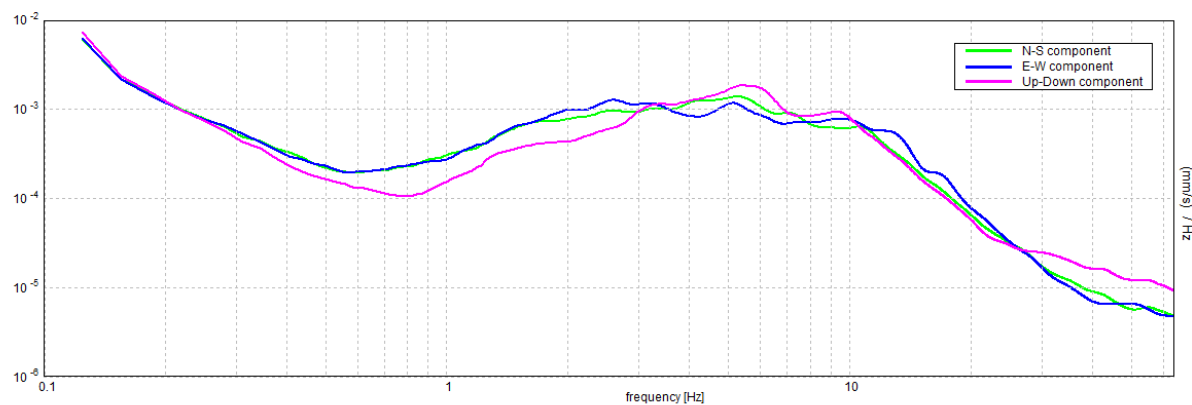
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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 0.84 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$607.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 42	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.48 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07251 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06118 < 0.12656$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2748 < 2.0$	OK	

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
σ_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 σ_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

COMMITTENTE

Dott. Geol. CASTAGNETTI STEFANO

Via Argini sud, 24
43030 BASILICANOVA (PARMA)

TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO

DETERMINAZIONE DELLE Vs30 AI FINI DELLA VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI CUI ALLA D.A.L. 112/2007

OGGETTO DELL'ELABORATO

**RELAZIONE DI INDAGINE GEOFISICA DI TIPO
SISMICO A RIFRAZIONE**

COMPARTO REGGIANE

LOCALIZZAZIONE

ITALIA

REGIONE: EMILIA ROMAGNA

PROVINCIA: REGGIO EMILIA

CODIFICA GENERALE ELABORATO

CODICE INTERNO	LOTTO	SETTORE DI ATTIVITA'	TIPO DOCUMENTO	N. ELABORATO
2480	K-L-M	G	REL	1

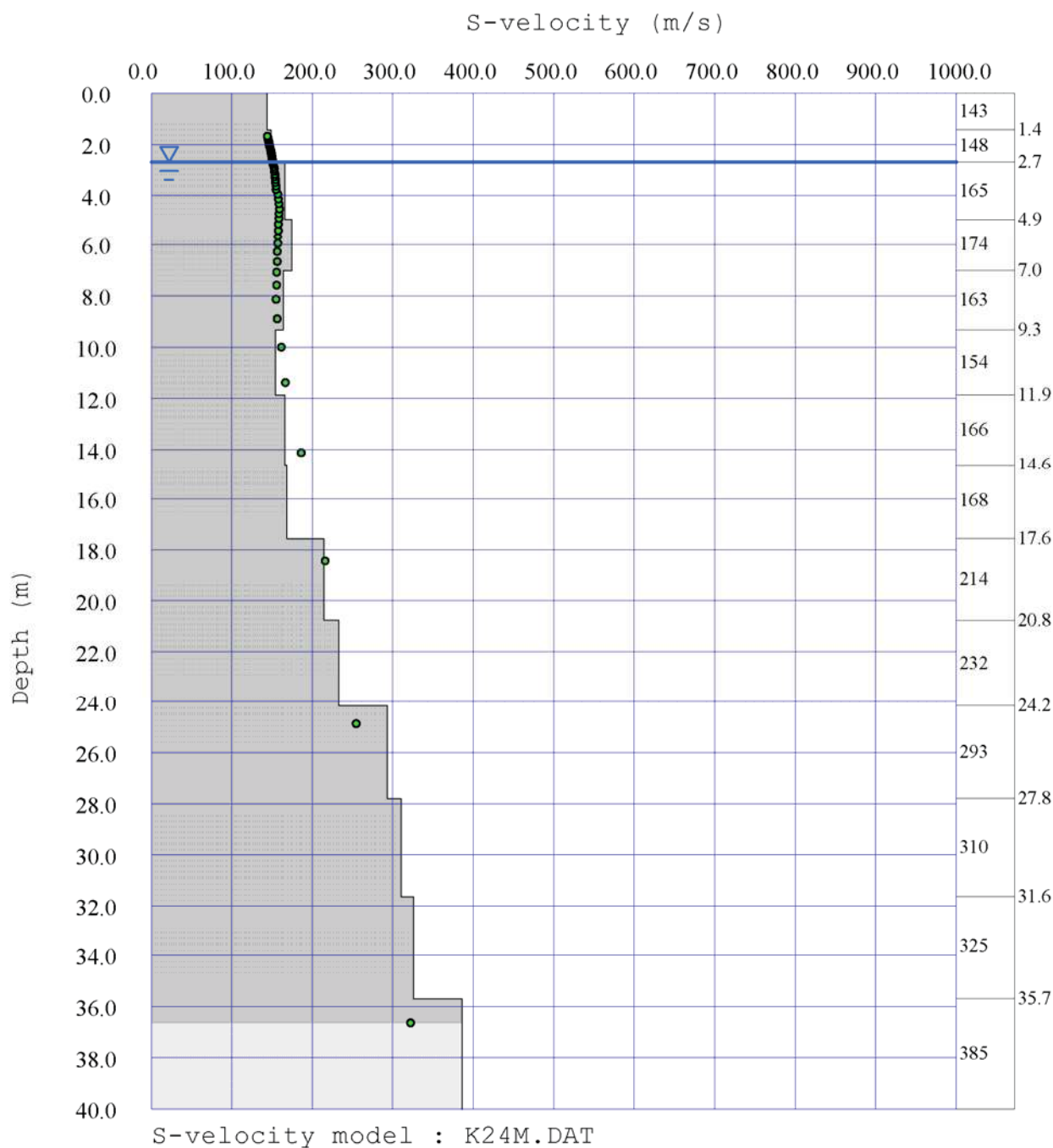
VERSIONE	DATA	OGGETTO
0	16/01/2009	1° EMISSIONE

DATI PROGETTISTA

Dott. Geol. Giorgio Masotti
Via di Mezzo, 90
41058 Vignola (MO) – Italy



Figura 15: ANDAMENTO DELLE VELOCITA' DI TAGLIO DELLE ONDE SISMICHE CON IL PROCESSO DI INVERSIONE - BASE "K"



7 ELABORAZIONE DATI RILEVATI - BASE "K"

- **ONDE V_p**

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine di sismica a rifrazione superficiale, ha portato alla classificazione sismo-stratigrafica dei terreni sottoposti a test investigativo di tipo geometrico e meccanico (profondità dei sismostrati e velocità sismiche longitudinali medie di riferimento).

Le osservazioni ricavate dall'interpretazione dei dati permettono di ricostruire un'immagine sismica del sottosuolo investigato costituita da **tre** sismostrati con $V_{p(media)}$ rispettivamente pari a **366 m/sec**, **1364 m/sec** e **1473 m/sec**.

Per quanto riguarda la profondità degli orizzonti sismo-stratigrafici si rimanda alla sezione riportata in **fig. 11**.

- **ONDE V_s**

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità effettiva pari a circa **36,50 ml.** dal piano campagna.

Dall'analisi delle elaborazioni si evidenzia la presenza dei seguenti livelli:

Velocità onde V_p e V_s ottenute dall'elaborazione MASW					
Strato	Quota da p.c. [m]	Spessore dello strato [m]	V_s [m/s]	V_p [m/s]	Peso di volume [kN/m³]
h1	-1,43	1,43	143	312	13,431
h2	-2,70	1,27	149	320	13,462
h3	-4,95	2,25	166	1477	17,461
h4	-7,03	2,08	175	1479	17,465
h5	-9,34	2,31	164	1477	17,459
h6	-11,87	2,53	154	1487	17,491
h7	-14,62	2,75	166	1513	17,574
h8	-17,58	2,96	168	1513	17,574
h9	-20,77	3,19	215	1549	17,687
h10	-24,18	3,41	233	1549	17,687
h11	-27,80	3,62	293	1596	17,832
h12	-31,65	3,85	310	1596	17,832
h13	-35,71	4,06	326	1596	17,832
h14	-48,57	12,86	386	1647	17,991

Al termine della elaborazione si è rilevato riscontrato una convergenza dei valori pari a **1.386292%**, come riportato nella tabella sottostante:

Iteration=0 RMS=14.685406 m/s (6.667939%)	Iteration=1 RMS=12.055246 m/s (5.333420%)
Iteration=2 RMS=9.905222 m/s (4.262135%)	Iteration=3 RMS=8.172220 m/s (3.421067%)
Iteration=4 RMS=6.785575 m/s (2.791689%)	Iteration=5 RMS=5.689612 m/s (2.320392%)
Iteration=6 RMS=4.830854 m/s (1.977424%)	Iteration=7 RMS=4.165925 m/s (1.727821%)
Iteration=8 RMS=3.657692 m/s (1.535715%)	Iteration=9 RMS=3.274821 m/s (1.386292%)

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. “Categoria di suolo e condizioni topografiche”, il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) può essere considerato come segue:

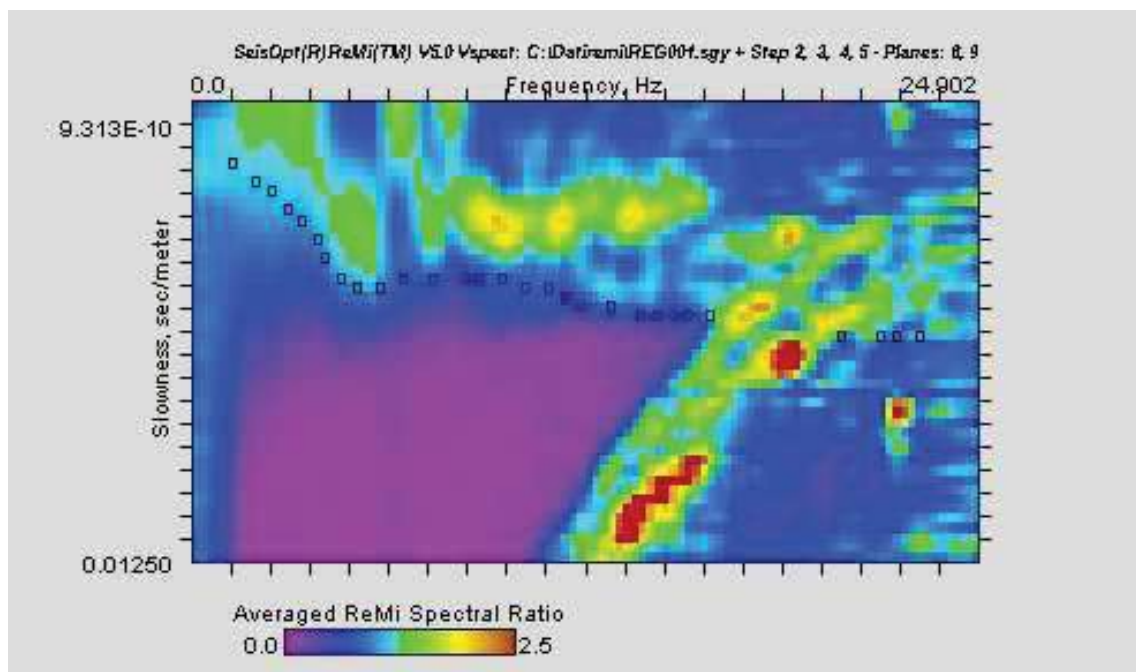
Calcolo $V_{s,30}$ ottenuto dall'elaborazione MASW					
Strato	Quota da p.c. [m]	h_i [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]	$\Sigma h_i / V_{s,i}$ [s]
h1	-1,43	1,43000	143	0,00998	
h2	-2,70	1,27000	149	0,00854	
h3	-4,95	2,25000	166	0,01356	
h4	-7,03	2,08000	175	0,01191	
h5	-9,34	2,31000	164	0,01409	
h6	-11,87	2,53000	154	0,01642	
h7	-14,62	2,75000	166	0,01656	
h8	-17,58	2,96000	168	0,01759	
h9	-20,77	3,19000	215	0,01487	
h10	-24,18	3,41000	233	0,01464	
h11	-27,80	3,62000	293	0,01234	
h12	-30,00	2,20000	310	0,00709	
h13	-30,00	0,00000	0	0,00000	
h14	-30,00	0,00000	0	0,00000	0,15760
			$V_{s,30}$	190	[m/s]

e) Onde di taglio Vs₃₀

Per quanto concerne le “Vs₃₀”, di seguito i grafici relativi allo spettro energetico del sottosuolo, alla curva di dispersione e all’individuazione delle “Vs” parziali con cui determinare la “Vs₃₀” secondo la seguente relazione:

$$\frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

Come si può prendere atto **Vs₃₀ = 245 m/s** per cui il sito cade nella **CLASSE “C”** (fig. 7), come risulta dall’Ordinanza 3274⁴ di cui di seguito un estratto.



⁴ **A** Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs₃₀ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs₃₀, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (N_{spt}>50 o coesione non drenata >250 kPa).

C Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs₃₀ compresi fra 180 e 360 m/s (15<N_{spt}<50, 70<cu<250 kPa).

D Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di Vs₃₀<180 m/s (N_{spt}<15, cu<70 kPa).

E Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di Vs₃₀ simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con Vs₃₀>800 m/s.

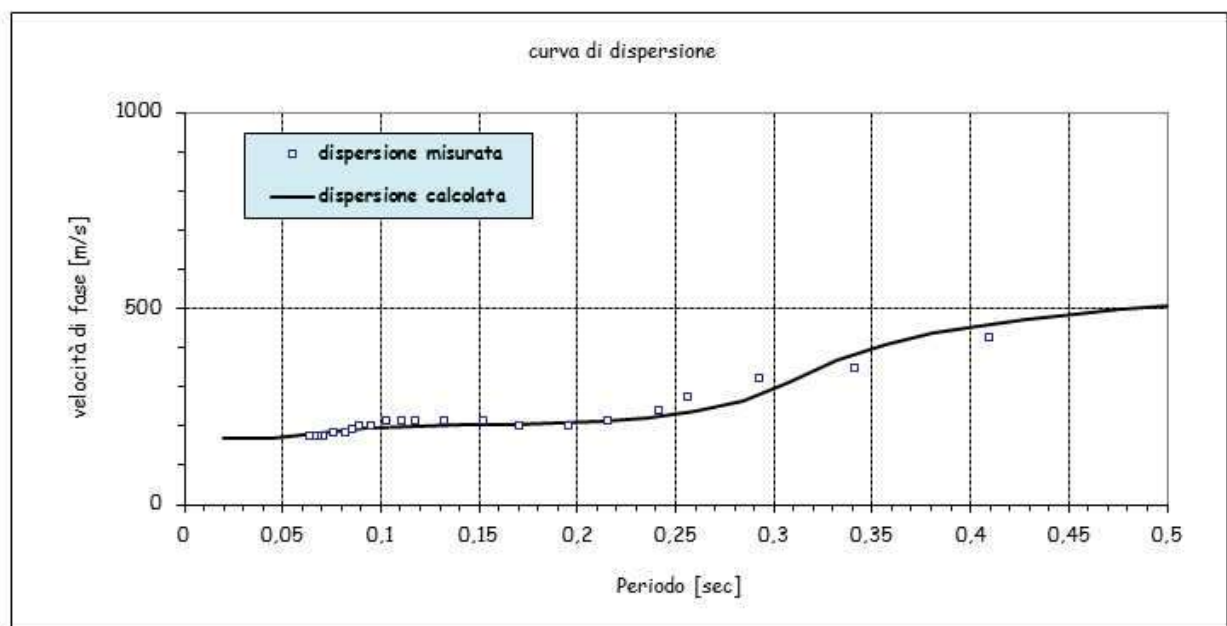
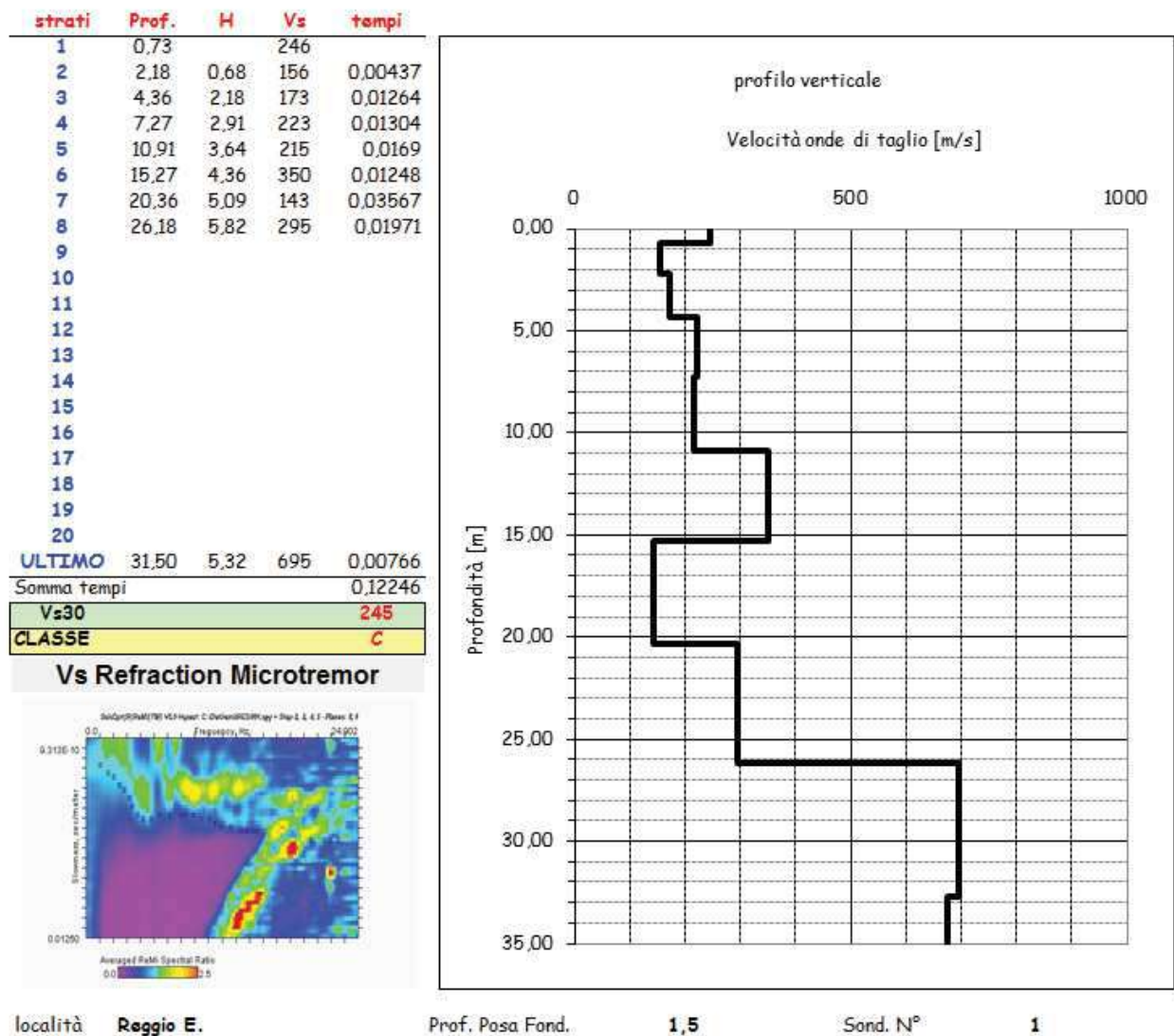


Fig. 7: Ricostruzione dell'andamento delle V_{s30} dell'area indagata e Curva di dispersione che rappresenta l'energia di propagazione del rumore.

COMMITTENTE:

Dr. Stefano Castagnetti
Via Argini Sud, 24
43022 Basilicanova (PR)

COMMESSA:

Indagine geofisica
Tomografia elettrica di superficie

LOCALITA':

Reggio Emilia
Piazzale Europa

TITOLO:

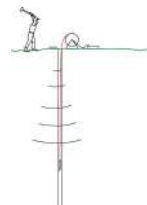
Relazione Tecnica

DATA:

Ottobre 2014

Via S. Cattania, 1/a
41012 Carpi (MO)

info@tecnogefisica.com
www.tecnogefisica.com



INDAGINE GEOFISICA

Committente: Dr. Stefano Castagnetti
Via Argini Sud, 24
43030 Basilicanova (PR)

Intervento: Tomografia elettrica di superficie

Località: Reggio Emilia
Piazzale Europa

INDICE

Premessa	2
La Tomografia Elettrica	4
Strumentazione utilizzata	5
Calcolo della resistività del terreno	6
Interpretazione del modello di inversione	6
Osservazioni	8
Scheda Linea A	10
Pseudosezione resistività apparente	11

Premessa

Nel mese di Ottobre 2014, su commissione di:

Dr. Stefano Castagnetti

Via Argini Sud, 24 - 43022 Basilicanova (PR)

È stata eseguita una linea di tomografia elettrica di superficie per la valutazione degli spessori delle litologie superficiali, in merito all'indagine geologica per "riqualificazione Piazzale Europa a Reggio Emilia".

Le indagini sono state ubicate come indicato dalla committenza in funzione anche delle possibilità operative al momento di esecuzione dell'indagine. (fig.1 e 2).



Fig.1 Ubicazione area di indagine



Fig.2 Ubicazione linea tomografia elettrica

Caratteristiche della tomografia elettrica eseguita:

Nome assegnato	Num. Elettrodi	Spaziatura elettrodoica (m)	Lunghezza stesa (m)	Array utilizzato
<i>Linea A</i>	<i>48</i>	<i>1</i>	<i>0-47</i>	<i>Dipolo - Dipolo</i>



Fig.3 Piazzamento tomografia elettrica



La Tomografia Elettrica

Tra i metodi geofisici utilizzati con maggior efficacia in campo geologico - ambientale, grazie alla loro sensibilità alle variazioni di porosità, di contenuto e di composizione chimica dell'acqua sotterranea, figurano quelli elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

Nell'ambito delle prospezioni geofisiche gli elementi che caratterizzano i terreni sono la resistività o resistenza specifica, che dipende dalla loro composizione litologica, stato di aggregazione, grado di saturazione in acqua e resistività di quest'ultima.

Dette proprietà sono utilizzate nella prospezione geoelettrica per determinare, mediante misure di superficie, la successione degli strati elettricamente differenziati presenti nel sottosuolo.

Per distinguere un determinato livello, all'interno di una successione litologica che lo include, è necessario che i rapporti di resistività siano relativamente elevati e che il rapporto spessore - profondità del tetto sia $\geq 0,35$.

Per lo studio geoelettrico dell'area da indagare si è utilizzata la tecnica della Tomografia Elettrica Automatizzata di Superficie.

La tomografia elettrica di superficie (T.E.S.) si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure elettriche, effettuate su un discreto numero di elettrodi posizionati sul terreno, lungo un profilo.

La ricostruzione tomografica della sezione verticale del profilo di terreno investigato è effettuata tramite appositi software di elaborazione che utilizzano generalmente il Metodo degli Elementi Finiti (FEM).

Il terreno al di sotto degli elettrodi è così suddiviso idealmente in un numero finito di maglie o celle (i cosiddetti "elementi finiti"), ciascuna di resistività omogenea ed incognita. La forma degli elementi è generalmente trapezoidale o rettangolare e le loro dimensioni sono determinate in base alla distanza tra gli elettrodi (metà della spaziatura tra due elettrodi adiacenti). La tomografia elettrica di superficie si basa quindi, sull'acquisizione di un elevato numero di misure elettriche, effettuate su un discreto numero di elettrodi sistemati sul terreno, lungo un profilo rettilineo.

La determinazione della resistività di ciascuna cella non è lineare, l'errore da minimizzare può presentare molti minimi locali, questo comporta, una volta definita la soglia di errore nei dati sperimentali, la possibilità di ottenere più di una soluzione che soddisfa l'equazione.

Allo scopo di ottenere l'errore minimo assoluto (quindi quello che si avvicina maggiormente alla soluzione teorica dell'equazione) si utilizzano metodologie di calcolo in grado di fissare il campo di variazione della resistività degli elementi finiti.

Strumentazione utilizzata

Per l'indagine è stato utilizzato il georesistivimetro SYSCAL JUNIOR Switch-72 della IRIS Instruments

Le caratteristiche tecniche dello strumento sono:

OUTPUT CURRENT SPECIFICATIONS

- Automatic ranging (microprocessor controlled)
- Intensity: up to 1250 mA
- Voltage: up to 400 V (800 V peak to peak)
- Power: up to 100 W
- Selectable cycle time of 0.25, 0.5, 1, 2, 4 or 8 s
- Current measurement precision: 0,5 % typical

INPUT VOLTAGE SPECIFICATIONS

- 2 simultaneous reception channels
- Measuring process: automatic ranging and calibration
- Input impedance : 100 MO
- Input voltage protection up to 1000V, range from -15 V to +15 V
- Power line rejection
- Voltage measurement precision: 0.5 % typical
- Noise reduction: continuous stacking selectable from 1 to 255 stacks
- SP compensation through automatic linear drift correction
- Resistivity accuracy: 0,5 % typical
- Induced polarization (chargeability) measured over 20 predefined windows
- Chargeability accuracy: 1 % of measured value for input voltage higher than 10 mV

GENERAL SPECIFICATIONS

- Weight: 13.8 kg
- Dimensions: 31 x 23 x 38 cm
- Weather proof
- Shock resistant fiber-glass case
- Operating temperature: -20 to +70 °C
- LCD display with 4 lines of 20 characters
- Data flash memory : more than 44 800 readings
- USB and serial link RS-232 for data download
- Possibility of data storage on external SD card with a capacity of 7 000 000 readings (option)
- Power supply: two internal rechargeable 12V

7.2 Ah batteries ; optional external 12V backup car battery for transmitter power

• Autonomy with internal battery: several thousands of readings

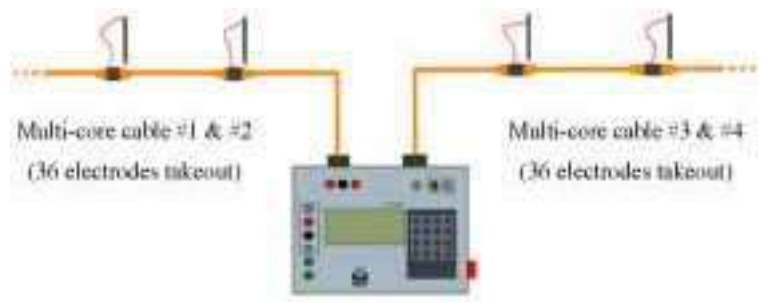
• Weight of a 18 takeout multi-core cable on a reel: about 15 kg (for 5m spacing)

• Emergency push button for security

In questa configurazione lo strumento è stato utilizzato con due catene da 24 elettrodi ciascuna, per un totale di 48 elettrodi.



SYSCAL JUNIOR Switch-72



FIELD LAY-OUT con due catene da 36 elettrodi



Esempio di disposizione strumentazione in campagna

Calcolo della resistività del terreno

Il calcolo della resistività è apparentemente semplice e può essere risolto con la conoscenza dei seguenti elementi:

- 1) posizione degli elettrodi (2 elettrodi di corrente [c1 e c2] e 2 di potenziale [p1 e p2] in genere interni agli altri 2 o in posizioni differenti a secondo della geometria adottata)
- 2) valore della corrente (I) introdotta e la differenza di potenziale ΔV misurata tra gli elettrodi di potenziale.

Quindi la RESISTENZA elettrica (R) che si misura è:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Da questo valore “strumentale” è possibile conoscere la resistività apparente (ρ_a) di un determinato strato del sottosuolo, a seconda della disposizione del quadripolo che si è scelto di utilizzare,

$$\rho_a = K \times R = K \times \frac{\Delta V}{I}$$

Dove K = dipende dalla disposizione elettrodica dei picchetti .

Nei sondaggi elettrici 2D o 3D in generale, una particolare attenzione inoltre è da riporre nella ricerca di una buona intensità del segnale, che è in genere inversamente proporzionale a K.

Interpretazione del modello di inversione

La distribuzione di resistività apparenti acquisite non può essere considerata rappresentativa delle proprietà elettriche del sottosuolo, perché deriva da una costruzione geometrica ideale. In realtà, la misura della resistività in ogni punto del sottosuolo è influenzata dalla resistività degli altri punti della pseudosezione. Per ricostruire la distribuzione reale della resistività elettrica a partire dalla pseudosezione occorre eseguire *l'inversione* dei dati.

Per l'inversione delle tomografie eseguite è stato utilizzato il software **Res2DINV** (Loke, 2003) che utilizza il Gauss-Newton last-squares method usando la tecnica del “Model Refinement” (Loke and Barker, 1996)

Il software effettua l'inversione completa 2D di profili elettrici di superficie ottenuti, con qualsiasi array di misura:

- Wenner (*alfa – beta - gamma*),
- Schlumberger,
- Dipolo-Dipolo,
- Polo-Dipolo,
- quadripolo generico

Utilizza il metodo degli elementi finiti in due dimensioni, per modellizzare la risposta elettrica del sottosuolo.

Gli elementi della maglia discreta sono trapezoidali per permettere la compensazione di qualsiasi tipo di dislivello tra le posizioni elettrode.

La dispersione della corrente nella terza dimensione spaziale (perpendicolare alla sezione di interesse) è tenuta di conto utilizzando le correzioni di Wannamaker.

L'algoritmo iterativo di inversione si basa sulla minimizzazione dell'errore quadratico medio tra i dati di campo ed i dati simulati mediante il F.E.M. (Finite Elements Method), secondo la metodologia proposta da Sasaki (1994). La convergenza dell'algoritmo è ottenuta con la stima automatica di un parametro di stabilizzazione, eseguita con il metodo dei coefficienti reciproci generalizzati, ripetuta ad ogni iterazione.

La riduzione dell'effetto del rumore presente nei dati è ottenuta con una regressione lineare iterativa (Ward, 1990) che permette di compensare l'impossibilità di conoscere le varianze statistiche di ciascun dato.

Il risultato è l'interpretazione del MODELLO DI INVERSIONE, rappresentato da una sezione di resistività reale ricostruita con precisione (nelle due dimensioni), con possibilità di selezionare le scale di tonalità dei colori per evidenziare in modo ottimale le EVENTUALI anomalie elettriche, presenti nel terreno.

Nel caso in esame si è scelto di suddividere i valori di resistività, partendo da un valore base di 5 Ohm x m, con una progressione aritmetica (fig. 4), visualizzati con tonalità di colore che vanno dal blu scuro per valori bassi di resistività fino al rosso - violetto, con valori di resistività crescenti.

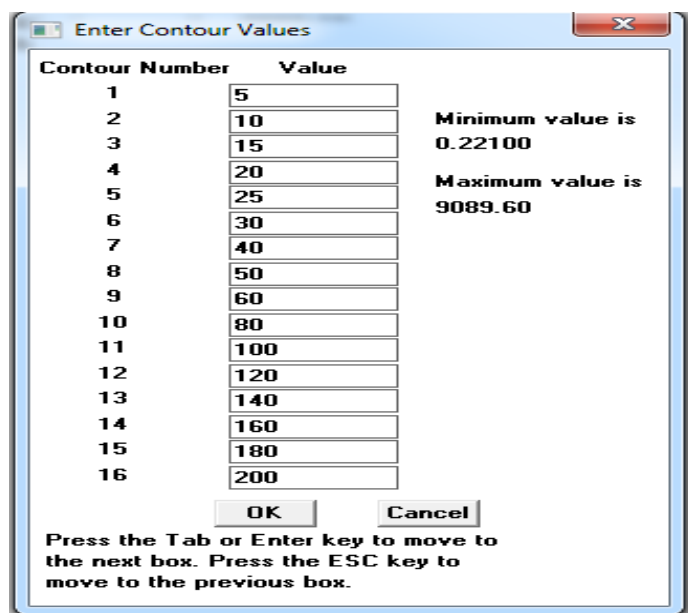
Il modello di inversione è visualizzato nella *scheda Linea A*. Nella scheda sono visualizzate, le caratteristiche dell'indagine:

Nome del file, tipo di Array utilizzato, numero di elettrodi utilizzati, spaziatura degli elettrodi, lunghezza totale linea e numero di data points misurati.

Successivamente dall'alto verso il basso sono visualizzate:

- la pseudosezione delle misure della resistività apparente,
- la pseudosezione della resistività apparente calcolata,
- la sezione del modello di inversione calcolato

con la scala delle profondità in valori logaritmici e i valori di resistività ottimizzati rispetto alla sezione.



Contour Number	Value
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25
6	30
7	40
8	50
9	60
10	80
11	100
12	120
13	140
14	160
15	180
16	200

Minimum value is 0.22100
Maximum value is 9089.60

OK Cancel

Press the Tab or Enter key to move to the next box. Press the ESC key to move to the previous box.

Fig.4 Valori di resistività apparente utilizzati (in progressione aritmetica)

Osservazioni

Per la taratura delle Tomografie elettriche di superficie e quindi per la ricostruzione del modello elettro stratigrafico della zona investigata sono state utilizzate le informazioni ottenute da prove penetrometriche eseguite in ottobre 2014 nel contesto dello studio geologico del progetto di riqualificazione dell'area. In particolare la Cpt n. 01 in vicinanza (ad est) della fine della stesa tomografica (progressiva 47 m) mentre la cpt. N. 2 circa in corrispondenza dell'inizio (progressiva 0m).

Utilizzando i dati derivanti da indagini dirette (sondaggi prove cpt ecc.), è in genere possibile associare alle varie stratificazioni elettriche, un ipotetico significato stratigrafico e/o litologico.

In linea generale, infatti è consigliabile associare un significato litologico, solamente dalla comparazione con prove dirette, poiché il valore di resistività dei terreni oltre che dalla componente litologica è fortemente influenzato anche dal grado di saturazione dei terreni (nonché dal contenuto salino dei fluidi stessi).

In relazione ai valori di resistività rilevati ed alla litologia dei terreni naturali, costituiti in prevalenza da terreni coesivi, che però presentano forti variazioni laterali con presenza di lenti granulari (sabbiosi e ghiaiosi), l'individuazione dei range di resistività elettrica, associabili con sufficiente sicurezza a differenze litologiche, è risultata particolarmente difficoltosa in relazione anche alla presenza di un diffuso riporto antropico superficiale (a spessore contenuto) che evidenziano in alcuni punti isolati anche di anomalie elettriche di natura non classificabile con sicurezza.

In linea generale inoltre ragionando in termini di morfologia deposizionale dei terreni naturali, è asseribile che le sequenze di deposizione naturale planiziale (quali quelle in esame) sono in genere rappresentate da forme lenticolari (ellissi schiacciate) che progressivamente degradano nei livelli vicini a diversa litologia (quindi diversa resistività) e che le zone con possibili riporti antropici, in genere associabili a punti "anomali" (su cui è sempre consigliabile eseguire verifiche dirette), presentano essenzialmente forme geometriche irregolari e non associabili alle sequenze deposizionali naturali, (cioè zone con distribuzione a "bolle" concentriche e localizzate, con variazione laterale di resistività in genere molto intensa).

In base a quanto sopra per la zona esaminata è possibile ricostruire il Modello elettro-stratigrafico sotto descritto:

- I. Strato superficiale di origine antropica, che essenzialmente presenta elevata resistività, con base ondulata, rilevabile in genere entro il 1° metro di profondità, che tendenzialmente presenta spessore maggiore (sino a -1/-1,5 m) circa in corrispondenza delle progressive 28-31. I valori di resistività in genere presentano valori $>100-120 \Omega \cdot m$.
- II. Orizzonte sufficientemente continuo ad andamento concorde con assetti deposizionali naturali, con media bassa resistività variabile tra $10/25-30 \Omega \cdot m$, con valori di resistività più bassi in ragione della maggiore presenza di componente litologica più conduttiva (argilla). Tale orizzonte presente immediatamente al di sotto dello strato I, è costituito con tutta probabilità da terreni essenzialmente fini, argillosi e limosi, con tutta probabilità saturi, rilevabili sino a profondità di -3/-4 m da pc verso la fine della stesa elettrica (progress. 35-47 m), mentre nella zona centro meridionale (sino circa a progress. 20 m) si rilevano anche a maggior profondità (-6/-7 m). Circa in corrispondenza delle progressive 29-32 è presente una localizzata anomalia elettrica (conduttiva), che potrebbe essere attribuibile a materiali naturali (argille/torbe sovra sature) oppure come apparirebbe più probabile per forma e morfologia, poco associabile a strutture

deposizionali naturali, a terreni di riporto antropico ad elevata conducibilità (terreni frammisti a materiali ferrosi? terreni permeati/impregnati da fluidi ad elevata conducibilità? ecc.).

- III. Livello a medio-alta resistività, con valori oscillanti tra 120 e 180-200 $\Omega \cdot m$, presenta elevata lenticolarità laterale, attribuibile a terreni a composizione ghiaiosa-sabbiosa, spessore non definibile e riconoscibile nella porzione centro settentrionale della stesa elettrica (da progressiva 22-23 e con sicurezza presente sino a progress. 38-40 m).

Scheda Linea A

File: Linea A

Array: Dipolo - Dipolo

Elettrodi: 48

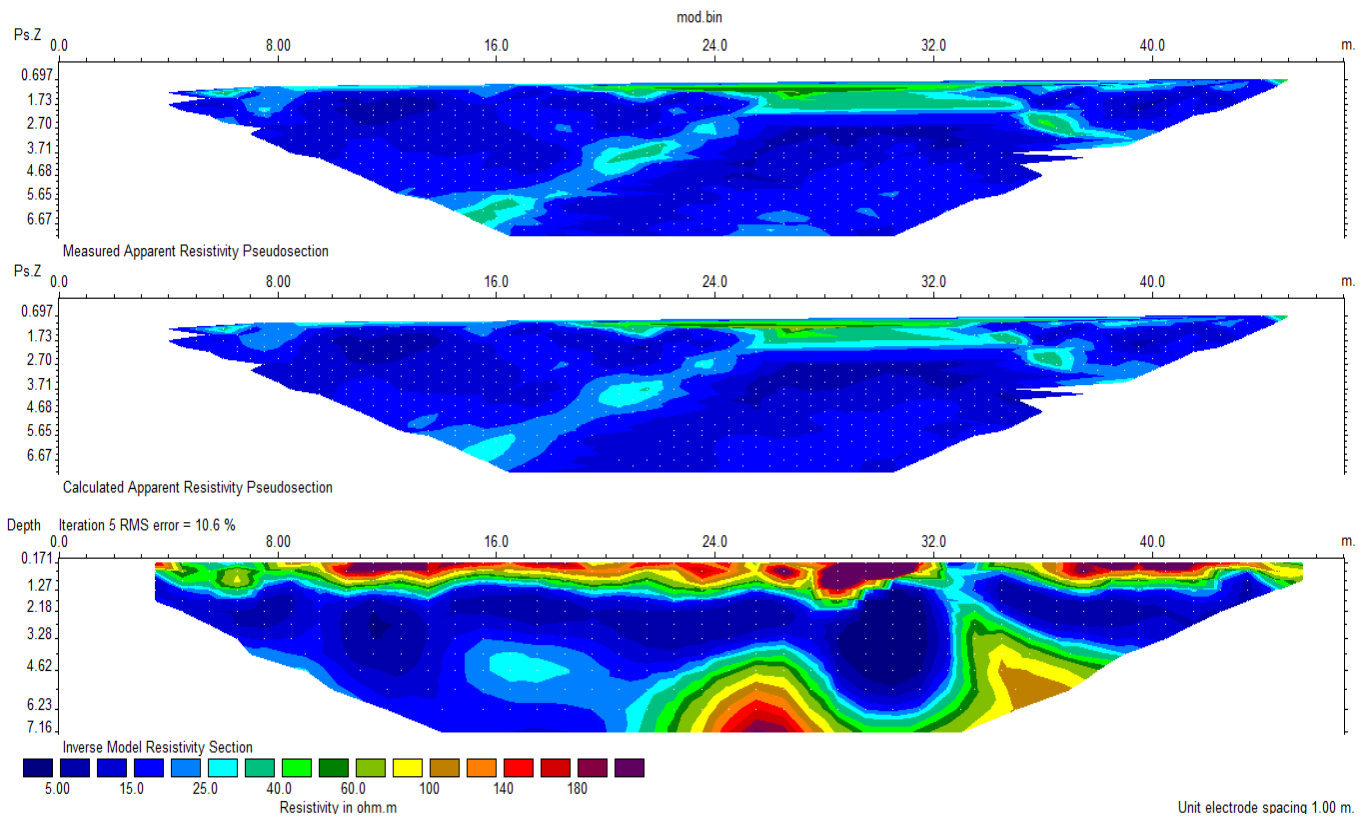
Spaziatura el.: 1 m

Lunghezza linea: 47 m

Data points inversione: 601

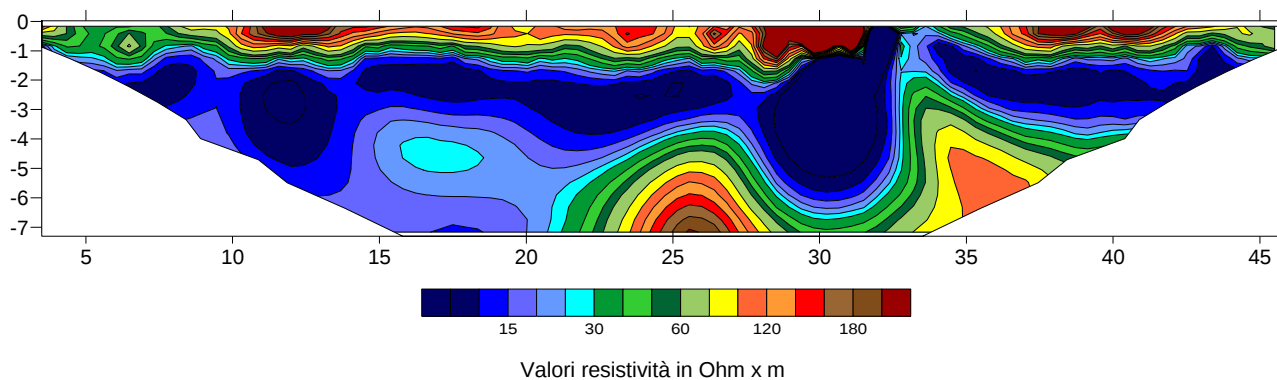


Ubicazione linea

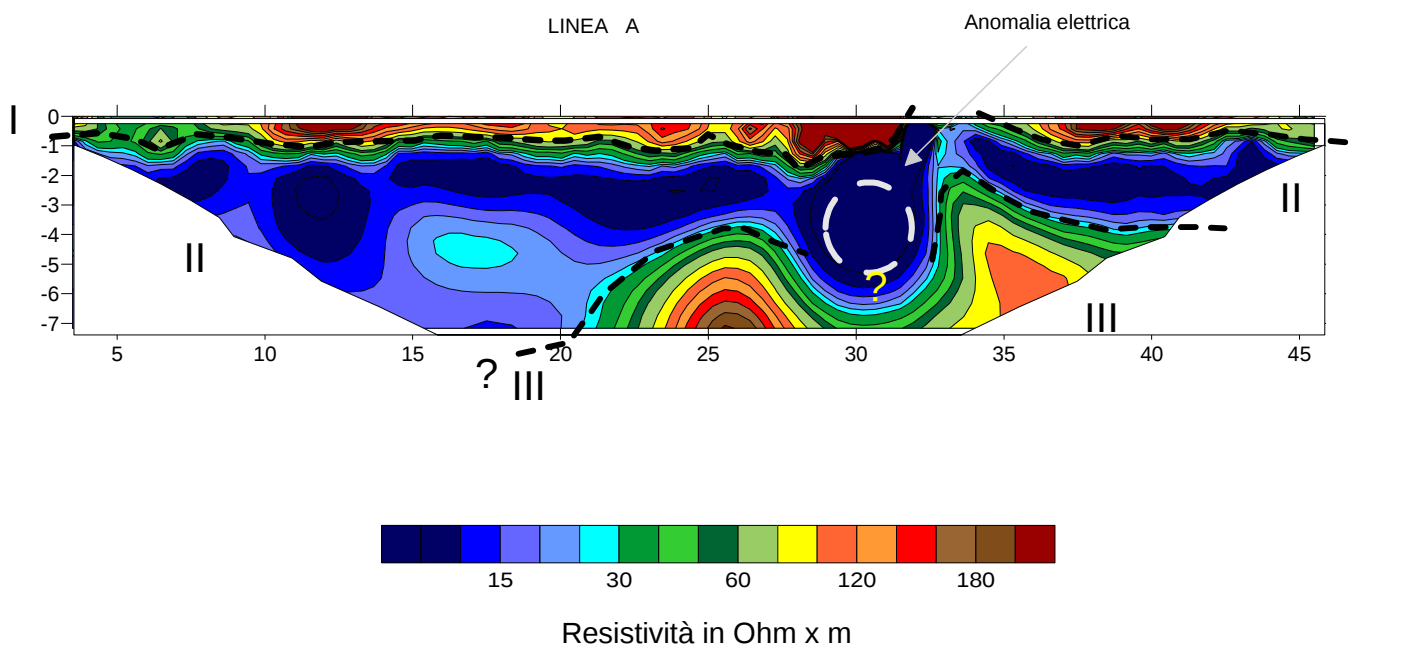


Pseudosezione resistività apparente

Linea A



Ipotesi interpretazione elettrostratigrafica



----- Possibile limite di separazione elettrostratigrafico