

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

SULLE INDAGINI ESEGUITE PER IL PIANO URBANISTICO

ATTUATIVO AMBITO ASP_AN1.8

IN COMUNE DI IMOLA (BO)

Committente:

Zini Elio s.r.l.

Via I Maggio 47 - 40026 Imola (BO)

C.F. e P. IVA 01543211203

Pavirani s.r.l.

Via Gaspari 5/2 – 40033 Casalecchio di Reno (BO)

Imola 21 dicembre '20



Castellari Ambiente Studio Associato via M. Zanotti 12/d - 40026 Imola (BO)

Tel 334 2075125 - 0542 616063 mail: castellari.geo@gmail.com

P. Iva 01508931209 C. F. CSTMRZ60R01E289N

Sommario

1	PREMESSA	3
2	VINCOLISTICA	4
2.1	PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI	4
2.2	PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE	5
2.3	MICROZONAZIONE SISMICA	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE.....	8
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	8
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	10
4	STRATIGRAFIA DELLE UNITÀ QUATERNARIE CONTINENTALI.....	11
4.1	SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO.....	11
4.2	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI)	12
4.3	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)	13
4.4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	15
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO DEL SOTTOSUOLO	16
5.1	INDAGINI PREGRESSE IN PROSSIMITÀ DEL SITO	16
5.2	INDAGINI ESEGUITE NELLA PRESENTE CAMPAGNA DI INDAGINI	16
6	PROGETTAZIONE GEOTECNICA.....	25
7	SISMICITÀ DELL'AREA	28
7.1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO ATTRAVERSO PROVE HVSR	30
7.2	PROVE PREGRESSE: MASW E RE. MI.	44
7.3	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	45
8	CONCLUSIONI	47

1 Premessa

Su incarico di Zini Elio s.r.l. è stata eseguita un'indagine geologica e geotecnica per il Piano Urbanistico Attuativo dell'ambito 1.8, a Imola, intesa ad accertare alcune caratteristiche geomeccaniche dei terreni su cui dovranno effettuarsi gli interventi come da progetto.

Si sono pertanto individuati i tipi litologici e alcune proprietà dei terreni medesimi, che verranno descritti di seguito.



Figura 1: Ubicazione area di intervento

L'indagine è stata eseguita direttamente sull'area mediante l'esecuzione di n° 8 prove penetrometriche statiche, 2 sondaggi a carotaggio continuo attrezzati a piezometro e 2 prove tomografiche HVSR, sono state inoltre considerati ed analizzati i dati di precedenti indagini eseguite in aree limitrofe ed i dati di indagini fornite dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della regione Emilia-Romagna.

2 Vincolistica

Di seguito vengono riportati i vincoli e gli strumenti di pianificazione che interessano direttamente l'area in oggetto.

2.1 Piano di gestione del rischio alluvioni

Il piano di gestione del rischio alluvioni della Regione Emilia-Romagna fornisce le “Mappe di Pericolosità ed Elementi Esposti” e le “Mappe del Rischio alluvioni”, queste sono riferite o al “Reticolo naturale principale e secondario” oppure al “Reticolo secondario di pianura”. L'area oggetto di studio è ricompresa nelle tavole “239 NO - Imola”. Sia la “Mappa di pericolosità ed elementi esposti” relativa al Reticolo naturale principale e secondario che la carta relativa al Reticolo secondario di pianura indicano l'area indagata come P2-M (alluvioni poco frequenti, tempo di ritorno tra 100 e 200 anni, media probabilità).

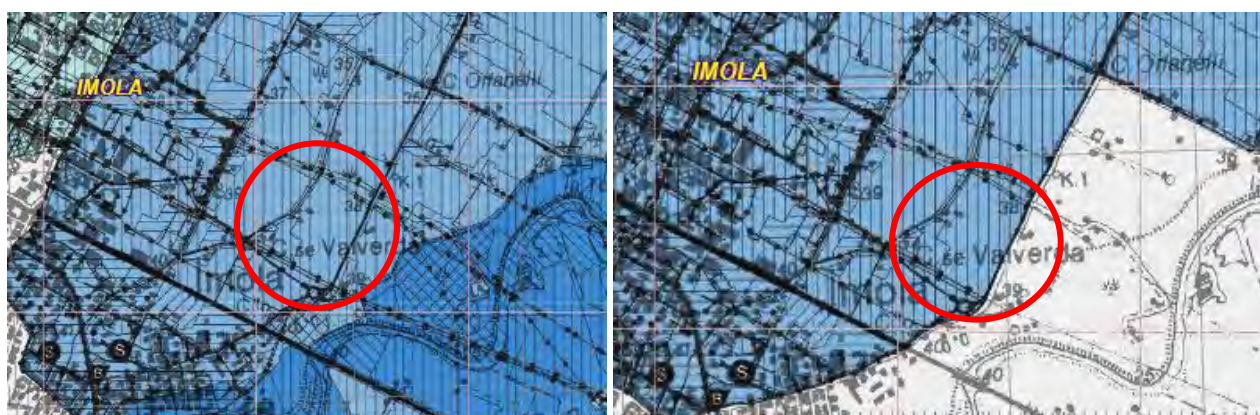


Figura 2 e Figura 3: Mappa di pericolosità ed elementi esposti, reticolo naturale principale e secondario e reticolo secondario di pianura

Sulla base delle Mappe di Pericolosità sono elaborate le mappe del Rischio di seguito riportate.

La “Mappa del rischio alluvioni” classifica l'area in oggetto risulta: R2 (rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche. per la carta relativa al Reticolo naturale principale e secondario, mentre R1 (rischio moderato o nullo).



Figura 4 e Figura 5: Mappa del rischio alluvioni, reticolo naturale principale e secondario e reticolo secondario di pianura

2.2 Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale

La tavola 2 A - *Rischio da frana, assetto dei versanti e gestione delle acque meteoriche*, foglio IV, allegata al Piano territoriale di coordinamento provinciale indica che l'area in oggetto appartiene all'ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura, assoggettandola perciò all'articolo 4.8 delle norme tecniche d'attuazione.

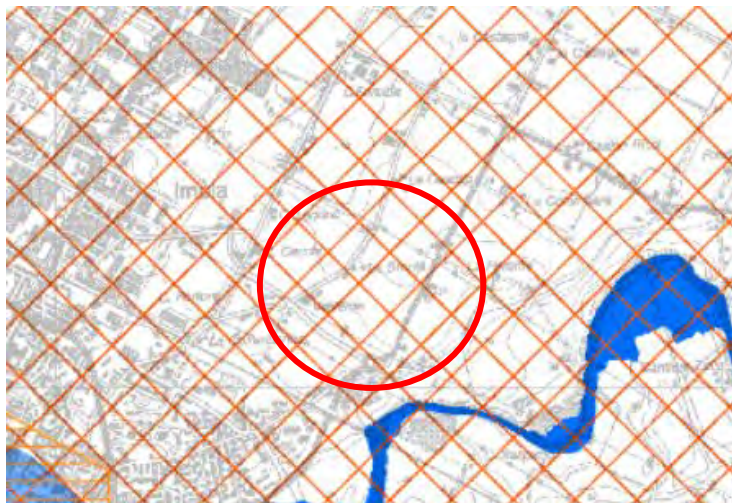


Figura 6: Tav. 2 A, foglio IV

2.3 Microzonazione sismica

Di seguito vengono riportate le tavole di microzonazione sismica relative all'area in oggetto.

La **tavola 2 - Potenziale liquefazione nelle aree di pianura** indica che i criteri per la potenziale liquefazione non sono del tutto verificati, nonostante le analisi di liquefazione effettuate dalla Regione Emilia-Romagna e dal Circondario Imolese nei dintorni dell'area in oggetto abbiano dato esiti prevalentemente negativi. Dai dati Arpa la soggiacenza della falda nell'area indagata risulta maggiore di 3,5 m da p.c.

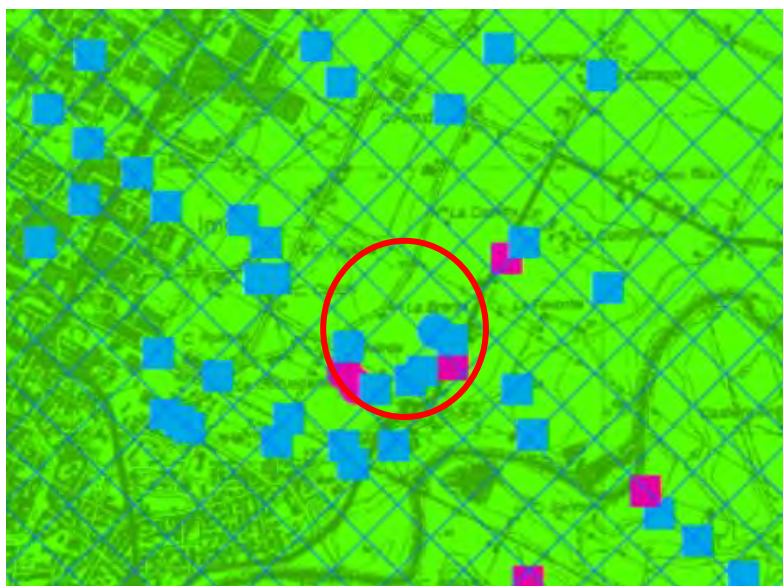


Figura 7: Tav. 2 Potenziale liquefazione nelle aree di pianura

La **tavola 3 - Potenziali cedimenti post-sismici nelle aree di pianura** indica che l'area in oggetto è caratterizzata da un'influente presenza di depositi coesivi molto soffici. I triangoli indicano le analisi dei cedimenti effettuate dalla Regione Emilia-Romagna: i triangoli azzurri indicano cedimenti post-sismici non attesi per assenza di sedimenti con $C_u < 70 \text{ KPa}$ entro la profondità di 10 m dal p.c., mentre i triangoli verdi indicano cedimenti post-sismici non attesi per ridotto spessore cumulato (max 2 m) di sedimenti con $C_u < 70 \text{ KPa}$ entro la profondità di 10 m dal p.c.

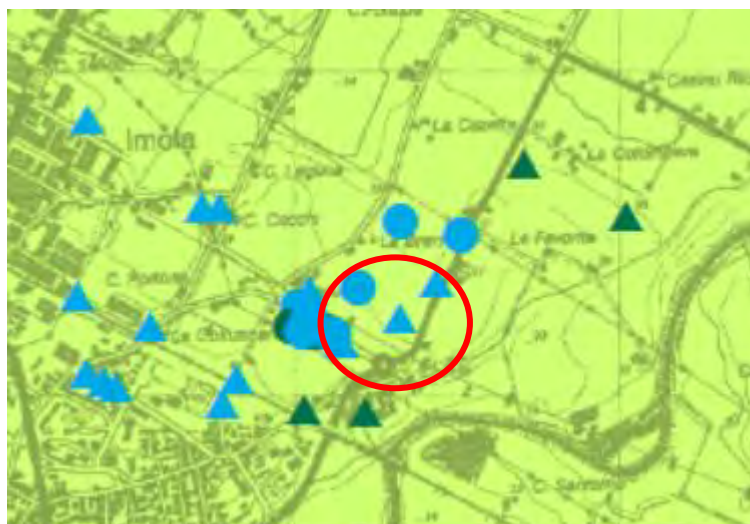


Figura 8: Tav. 3 Potenziali cedimenti post-sismici nelle aree di pianura

La **Tav. 5 Foglio 3 - Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali - analisi di I livello** indica che l'area in oggetto viene classificata come "A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche".



Figura 9: Tav. 5.3 Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali - analisi di I livello

La **Tav. 10 Foglio 3 - Carta di sintesi** indica che la zona indagata è ricompresa nelle aree oggetto di approfondimento di secondo livello.



Figura 10: Tav. 10.3 - Carta di sintesi

3 Inquadramento geologico regionale

3.1 Inquadramento geologico strutturale

Il Bacino Padano costituisce il riempimento dell'avanfossa plio-pleistocenica sviluppatasi al margine della catena appenninica in via di sollevamento. Al suo limite meridionale, il Bacino Padano è delimitato da un importante fronte di accavallamento, noto come Pedepenninic Thrust Front o PTF (Boccaletti et al., 1985). Il PTF, un lineamento tettonico allungato parallelamente all'Appennino e segmentato da numerose linee tettoniche trasversali (Castellarin et al., 1985), separa la catena in via di sollevamento a sud da un'area fortemente subsidente a nord.

Le ricerche condotte dall'AGIP nel corso degli ultimi decenni hanno fornito le basi per la ricostruzione della struttura profonda del Bacino Padano mediante l'interpretazione di profili sismici (Pieri & Groppi, 1981; Dondi et al., 1982; Castellarin et al., 1985; Dondi & D'Andrea, 1986; Dalla et al., 1992). Recentemente, sulla base di criteri stratigrafico-sequenziali, Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) e Regione Lombardia & ENI-Divisione Agip (2000) hanno suddiviso il Bacino Padano in sette sequenze deposizionali, delimitate a base e a tetto da superfici di inconformità e da superfici correlative di continuità stratigrafica (figura 1). Queste sequenze, i cui limiti marcano importanti fasi di ristrutturazione del bacino nel corso dell'orogenesi, con denudamento delle aree marginali e incremento della subsidenza in quelle centrali, mostrano un grado di deformazione progressivamente decrescente dal basso verso l'alto, con valori minimi in corrispondenza della successione medio e tardoquaternaria.

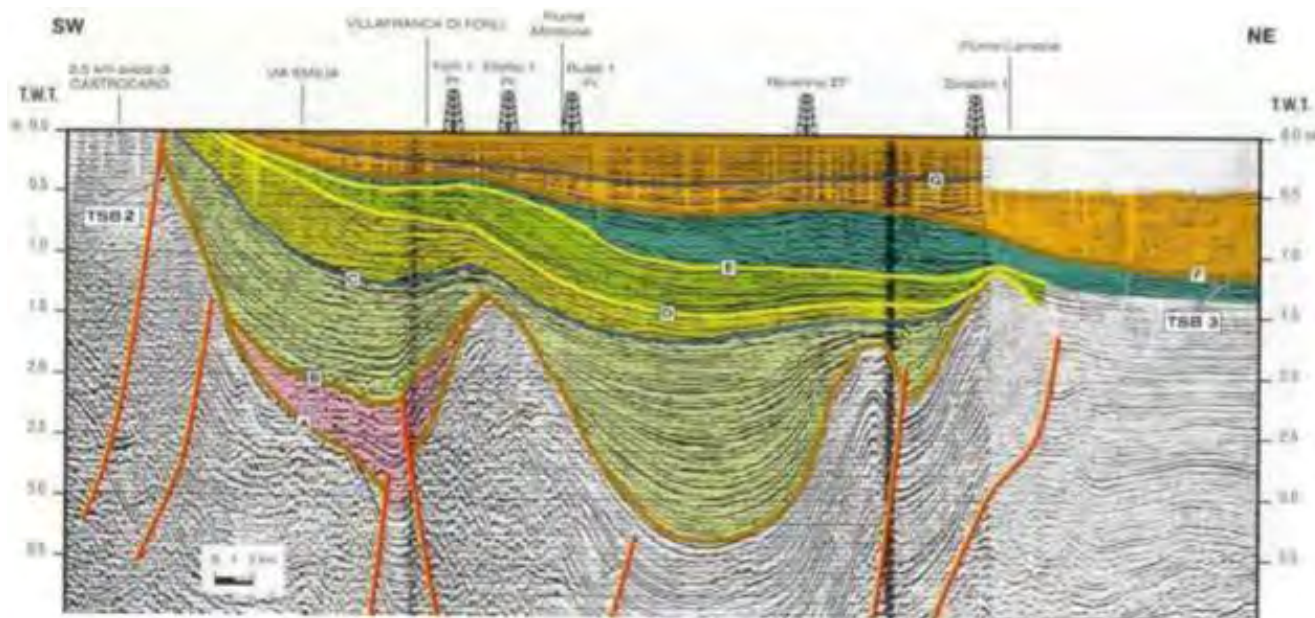


Figura 11: sezione sismica che illustra la struttura del Bacino Padano e la sua suddivisione in sequenze deposizionali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il basso grado di deformazione tettonica della sequenza deposizionale più recente (situata al di sopra della discontinuità "G" in figura 11) consente una buona preservazione dei rapporti originari tra facies all'interno dei depositi datati agli ultimi 400.000 anni. Ricostruzioni stratigrafiche e sedimentologiche di dettaglio

all'interno di questa sequenza, basate sullo studio di sondaggi a carotaggio continuo profondi fino a 200m, hanno messo in luce come una ciclicità deposizionale alla scala milankoviana, definita dall'alternanza di cicli glaciale/interglaciale di circa 100.000 anni di durata, rappresenti il principale elemento di controllo dell'architettura stratigrafica (Amorosi et al., 2004; Amorosi & Colalongo, 2005), permettendo l'attribuzione delle superfici trasgressive a successivi episodi interglaciali (stadi isotopici dell'ossigeno 1, 5e, 7, 9 e 11 in Fig. 12 - Amorosi & Colalongo, 2005).

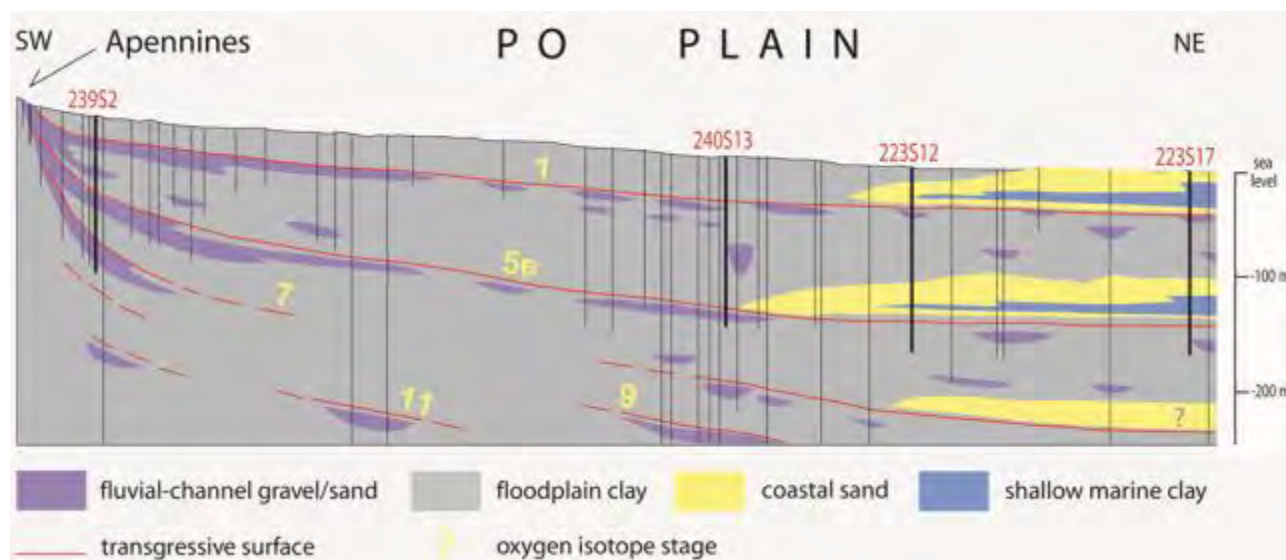


Figura 12: stratigrafia del Bacino Padano, dal margine appenninico al Mare Adriatico, e sua suddivisione in sequenze trasgressivo-regressive legate alla ciclicità milankoviana dei 100.000 anni. Si osservino i rapporti stratigrafici tra depositi di conoide alluvionale (in viola) e litorali (in giallo), separati da superfici trasgressive (da Amorosi & Colalongo, 2005).

Come osservabile in figura 12, i depositi tardoquaternari al margine del Bacino Padano sono dominati da spessi accumuli di sedimenti di conoide alluvionale, che costituiscono i principali acquiferi dell'intera area padana. Si tratta di spessi pacchi di ghiaie amalgamate, sovrapposti e saldati lateralmente per spessori complessivi dell'ordine delle centinaia di metri e con un'estensione laterale di decine di km parallelamente al margine appenninico. Questi corpi tendono a sfrangiarsi verso la pianura, interdigitandosi con sedimenti limoso-argillosi di piana inondabile e dando origine a caratteristiche sequenze trasgressivo-regressive.

A valle dei conoidi alluvionali il Bacino Padano è dominato da spessi pacchi di depositi di piana inondabile, che si interpongono tra i corpi di conoide alluvionale ed un secondo sistema di acquiferi, legato all'attività del Fiume Po. La piana costiera, infine, presenta caratteristici corpi sabbiosi cuneiformi di spiaggia, derivanti dalla migrazione della linea di costa verso terra durante le maggiori pulsazioni trasgressive, seguita dalla progradazione dei sistemi costieri (delta e spiagge) durante le successive fasi di stazionamento alto del livello del mare (fig.12).

3.2 Inquadramento geologico

Il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano; la porzione sud-occidentale, pari a circa il 40%, è costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo mentre la maggior parte del foglio, nord-orientale, appartiene alla Pianura Padana.

Le unità geologiche affioranti nel settore appenninico appartengono alla Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola (da qui in avanti UMR), alla Successione evaporitica messiniana e alla Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico.

Si tratta di successioni che non hanno subito importanti traslazioni orizzontali e perciò ritenute autoctone. Le successioni affioranti si immergono a monoclinale, piuttosto regolarmente, verso nord-est e in pianura sono ricoperte dai depositi alluvionali padani (fig. 12).

Per la regolare immersione verso nord-est, l'età delle formazioni affioranti è sempre più giovane procedendo da sud-ovest verso nord-est.

Arealmente la maggior estensione delle unità appenniniche affioranti è rappresentata dai terreni plio-pleistocenici, mentre la maggiore caratterizzazione dei rilievi è dovuta alla "vena del gesso" messiniana, che per la sua peculiarità lito-logica caratterizza in modo evidente da un lato gli aspetti naturalistici, quali ad esempio geositi e clima, dall'altro gli insediamenti umani e la storia dell'area.

L'unità stratigrafica affiorante più antica è la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (FMA), di cui il Membro di Dovadola (Tortoniano inferiore) costituisce nel foglio in esame l'unità stratigraficamente più bassa mentre la parte alta è rappresentata dal Membro di Borgo Tossignano (Tortoniano superiore) che rappresenta la fine della sedimentazione torbiditica nell'avanfossa miocenica.

Il passaggio al Messiniano presenta iniziali condizioni di mare aperto (ambiente epibatiale dell'unità Ghioli di Letto, GHL) a cui fa seguito il graduale abbassamento relativo del livello del mare che porta all'instaurarsi di bacini confinati caratterizzati da forte evaporazione, fino ad ambienti di "sabka" in cui si è sedimentata la Formazione della Vena del Gesso (VGS). Dopo la crisi di salinità del Messiniano si instaurano condizioni di lago-mare e laguna, testimoniati dai depositi della Formazione a Colombacci (FCO) (ricci Lucchi et alii, 1982).

Le unità messiniane, tuttavia, sono qui rappresentate da una successione incompleta per la presenza di una superficie inconforme che oblitera di frequente i termini più alti quali la FCO, mentre forti disturbi tettonici in destra del torrente Sintria (un affluente di destra del torrente Senio), alterano il passaggio dai depositi fini appartenenti a GHL e VGS.

Un contatto paraconcordante separa i depositi continentali e di laguna appartenenti a FCO da quelli francamente marini delle Marne di Cella (CEA) e di avanfossa appartenenti alle Argille Azzurre (FAA) di età compresa tra il Pliocene basale, età delle Marne di Cella, e la parte alta del Pleistocene inferiore, tetto delle Argille Azzurre. Per tutta la durata del Pliocene si mantengono condizioni di sedimentazione bacinali;

tuttavia, nel Pliocene Medio, si depositano anche sedimenti legati a locali condizioni euxiniche (litofacies tripolacea, FAAttr) e depositi clastici organogeni

Dal Pleistocene inferiore si instaura un trend marcatamente regressivo; entro i depositi di FAA si osserva infatti un graduale passaggio da condizioni di scarpata continentale ad ambienti litorali, come evidenziato dalle peliti di Terra del Sole (FAAtr). Nell'area del foglio è stato inoltre descritto, per la prima volta, un ulteriore ciclo trasgressivo-regressivo (Arenarie e Argille di Savignano) al tetto di FAA, attribuito alla parte terminale del Pleistocene inferiore (Amorosi et alii, 1998b; Vaiani, 2000) e correlato con le Arenarie e Argille di Savignano (Farabegoli, 1987), già descritte nel Foglio 256 Rimini (2005). Al di sopra di questi sedimenti con una superficie discordante erosiva su FAAtr e localmente sulle Arenarie e Argille di Savignano si hanno le Sabbie di Imola (Amorosi et alii, 1998a). Si tratta di depositi medio pleistocenici, essenzialmente litorali, che costituiscono le unità marine più alte del margine appenninico.

La successione marina è troncata al tetto dai depositi ghiaiosi e sabbiosi alluvionali del Supersistema Emiliano-Romagnolo di età Pleistocene medio-Olocene. Questi depositi sono presenti in lembi discontinui nelle valli appenniniche, dove corrispondono a depositi di terrazzi intravallivi, mentre occupano interamente il settore di pianura del foglio 239.

4 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali

4.1 Supersistema emiliano-romagnolo

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersistema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di Ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini di età più antica. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, al margine del bacino padano il Supersistema Emiliano-Romagnolo appoggia in discordanza angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola. Il limite superiore coincide col piano topografico.

Nell'insieme, la geometria dell'unità è marcatamente cuneiforme, con spessori variabili da poche decine di metri nei pressi del margine pedecollinare sino a circa 330 metri nella zona depocentrale, ubicata nel settore settentrionale del Foglio.

L'età del Supersistema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (700 000 anni B.P. - Attuale).

4.2 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersintema Emiliano-Romagnolo. Considerata la profondità media- mente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna) alla quale viene intercettato il tetto di AEI nel sottosuolo della pianura del Foglio 239, sono pochi i casi di sondaggi in grado di descriverne l'organizzazione delle facies.

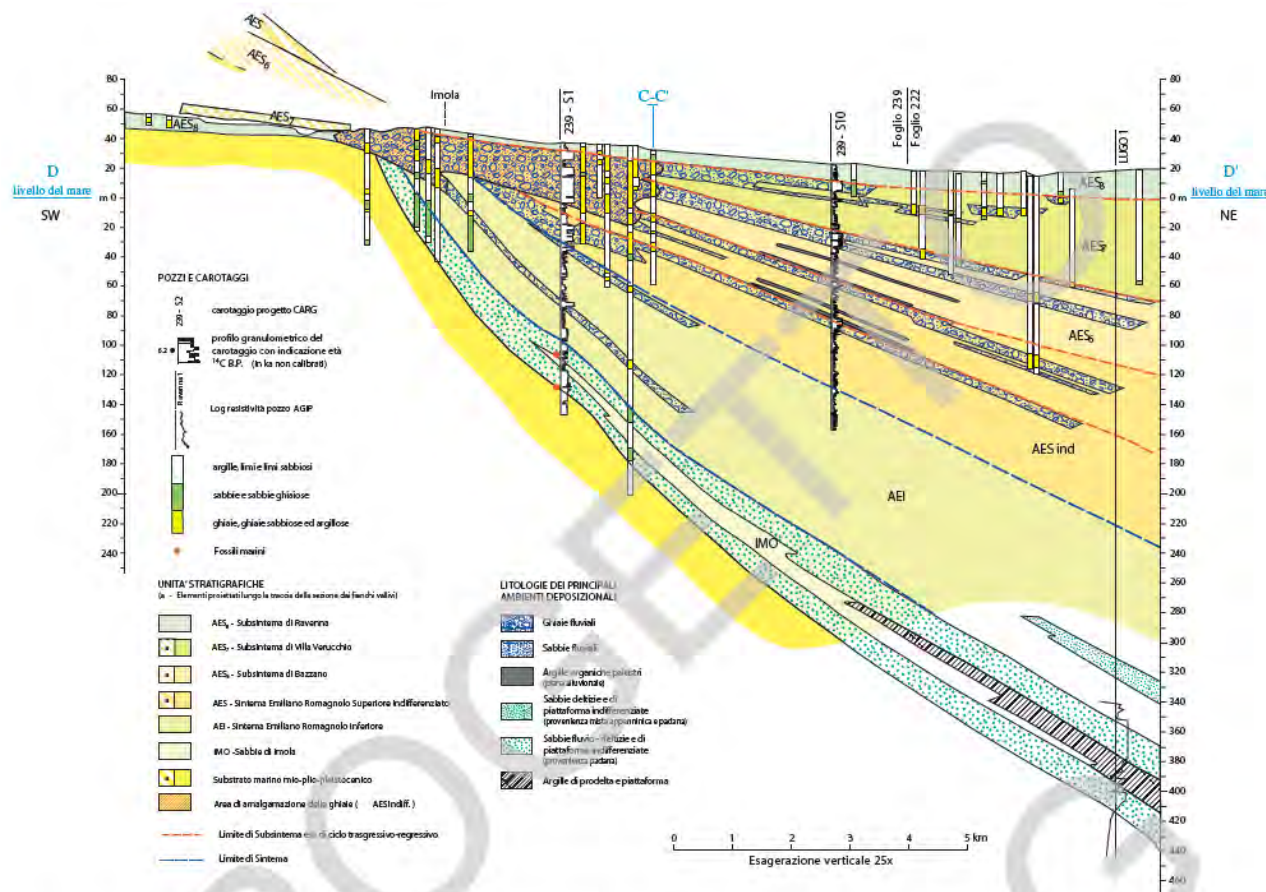


Figura 13: stratigrafia del Supersistema Emiliano Romagnolo nell'area del fiume Santerno

In corrispondenza del sondaggio 239-S1, che attraversa l'intero Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore raggiungendone la base intorno a -140 m dal piano campagna, AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie.

Sequenze positive di canale fluviale, a base erosiva e relativamente elevato contenuto in ghiaia, sono riconoscibili in corrispondenza delle principali aste fluviali sulla base della Banca Dati Geologici della Regione Emilia- Romagna.

L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale con abbondante sviluppo d'aree topograficamente depresse di tipo palustre, colmate in seguito ad episodi di rotta fluviale.

Lo spessore di AEI diminuisce rapidamente verso il margine della pianura, a causa di fenomeni erosivi precedenti la messa in posto di AES e il sintema non è mai affiorante al margine appenninico.

Nel sondaggio 239 - S1, dove è riconoscibile in carota il contatto tra AEI e i sottostanti depositi litorali riferiti alle Sabbie di Imola a una profondità di quasi - 140 m dal piano campagna, AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri.

L'età attribuita ad AEI è, per posizione stratigrafica, il Pleistocene medio. In regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata tra 350-450 ka e 650 ka.

4.3 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione più recente del Supersintema Emiliano-Romagnolo e comprende la totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del Foglio Faenza. Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 210 metri nel sottosuolo di Borgo Cotignola, in corrispondenza della zona depocentrale. Nel settore occidentale del Foglio (poco a nord di Imola), dove il margine del Bacino Padano, segnato dall'adiacente catena appenninica, è più vicino, lo spessore di AES è di circa 80-100 metri.

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi e localmente su AEI (figg. 18 e 19). Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati.

I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Terrazzi alluvionali appartenenti a subsintemi differenti sono separati da ampie scarpate erosive e spesso si caratterizzano per diversa giacitura e differente grado di evoluzione pedogenetica.

Dei diversi subsintemi che compongono AES, cinque (AES4, AES5, AES6, AES7 e AES8) sono chiaramente identificabili nell'area del Foglio Faenza. AES4, AES5, AES6 e AES7 affiorano unicamente nel settore intravallivo e allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, mentre AES8 affiora in tutta l'area di pianura.

AES è caratterizzata al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale fine (limi e argille, frequentemente torbose, e subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (definita principalmente da ghiaie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante. Lo spessore dei corpi grossolani diminuisce in modo evidente sottocorrente, muovendosi da SW verso NE. In particolare, in aree prossimali (sottosuolo di Imola e di Faenza) le ghiaie si presentano frequentemente amalgamate in corpi di circa 20 metri o 30 metri di spessore.

All'interno dei singoli cicli deposizionali i corpi grossolani passano verso l'alto da geometrie prevalentemente nastriformi, individuabili nella porzione pelitica dei cicli, a geometrie prevalentemente tabulari e tabulari-allungate, caratteristiche delle porzioni prevalentemente grossolane (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi *et alii*, 2003).

L'età della base di AES è attribuita al Pleistocene medio (350-450 ka secondo regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

4.3.1 Subsistema di Ravenna (AES8)

È l'elemento sommitale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende la maggior parte dei depositi quaternari affioranti nel Foglio Faenza.

Al tetto di AES8 è stata inoltre distinta e cartografata un'unità di rango inferiore denominata Unità di Modena (AES8a).

Nei settori intravallivi e allo sbocco delle valli appenniniche il Subsistema di Ravenna è costituito da depositi di terrazzo alluvionale. I singoli ordini di terrazzo sono separati da scarpate di pochi metri. I depositi di terrazzo sono generalmente costituiti da circa due metri di ghiaie, sovrastati da una copertura limoso-sabbiosa il cui profilo di alterazione pedogenetica può raggiungere circa un metro di spessore.

In posizione più distale rispetto allo sbocco delle valli appenniniche, AES8 affiora estesamente e la sua parte sommitale è costituita da depositi sabbioso-limosi di canale, argine e rotta fluviale, organizzati in corpi sedimentari di spessore plurimetrico a geometria prevalentemente nastriforme. Questi fanno transizione laterale a sedimenti prevalentemente argillosi e subordinatamente limosi e sabbiosi di piana inondabile (bacino interfluviale). I corpi ghiaiosi sono rari.

In pianura, al di sopra dell'orizzonte palustre sono presenti depositi alluvionali.

Età: Pleistocene superiore-Olocene (13 ka-Attuale), su base radiometrica.

4.4 Inquadramento geologico dell'area oggetto di studio

L'area di indagine si trova circa 2,3 km a sud della Autostrada A14, tra via Lughese, via Patarini e via Valverda, in comune di Imola (BO).

L'area è attualmente caratterizzata da usi agricoli, è pianeggiante ed il piano campagna è impostato ad una quota topografica di circa 37 metri s.l.m.

La zona oggetto d'indagine si situa sui depositi alluvionali del fiume Santerno, appartenenti al Subsistema AES8 Subsistema di Ravenna, già descritto precedentemente. La gestione delle acque è affidata alla rete di fossi lungo strada ed interpoderali.

Il principale collettore naturale delle acque in prossimità della zona in oggetto è fiume Santerno, che scorre tra 380 e 700 m a SE.

Di seguito si riporta la cartografia geologica dell'area oggetto d'indagine.



Figura 14:– Carta Geologica del Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia-Romagna

5 Indagini geognostiche e modello del sottosuolo

5.1 Indagini pregresse in prossimità del sito

5.1.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Il sondaggio seguito in via Patarini (ubicato in allegato 1), e commissionato allo scrivente parte di Con Ami ha individuato la seguente stratigrafia, le profondità sono espresse in m da piano campagna:

- 0,0 - 1,1 m: terreno di riporto
- 1,1 – 7,2 m: limo con sabbia e limo argilloso di colore marrone
- 7,2 – 16,70 m: ghiaia con sabbia debolmente limosa
- 16,7 – 18,0 m: limo sabbioso debolmente argilloso
- 18,0 – 20,0 m: argilla limosa grigia

La falda è presente a 16,0 m di profondità dal p.c.

5.1.2 Acquisizione MASW – Re.Mi.

In maggio 2018 è stata eseguita una prova MASW accoppiata a Re.Mi. nell'area in oggetto. Nel capitolo 7 "Sismicità dell'area verranno decritti i risultati ottenuti. L'ubicazione è nell'allegato 1.

5.2 Indagini eseguite nella presente campagna di indagini

5.2.1 Prove CPT

Dopo aver eseguito un sopralluogo per rilevare la geomorfologia e la litologia superficiale dell'area d'intervento, considerate le dimensioni e le caratteristiche dell'area da indagare, è stata eseguita una campagna d'indagini consistente in n.8 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte fino a rifiuto.

Scopo della campagna d'indagini è rilevare la resistenza, l'uniformità e alcune caratteristiche geotecniche dei terreni, la presenza di terreno rimaneggiato e/o di riporto e di individuare il livello statico della falda freatica, se presente.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche è stato utilizzato un penetrometro "olandese" tipo "GOUDA" della Ditta "Pagani" di Piacenza, da ton 20, pari a kN 200, di potenza di spinta, con punta meccanica e manicotto laterale di attrito tipo "Begemann". Le dimensioni della punta sono quelle dello Standard europeo:

- diametro: mm 35,7;
- angolo di apertura: 60°;
- area punta: cm² 10;
- diametro manicotto: mm 35,7;
- lunghezza manicotto: mm 133;
- Friction Area: cm² 150;
- velocità di avanzamento costante cm/sec 2,0.

Durante l'esecuzione delle prove vengono misurate la resistenza alla punta R_p (kg/cm²) e l'attrito al manicotto laterale R_l (kg/cm²).

Tutte le profondità sono riferite al piano di campagna esistente al momento dell'esecuzione delle prove.

Nell'area è presente un primo strato limoso sabbioso di spessore compreso tra 1,5 e 2,0 m circa, seguito da terreni limoso argillosi, con livelli argilloso limosi fino a circa 5,0/7,0 m di profondità. A seguire è presente uno strato sabbioso ghiaioso molto addensato.

Per quanto riguarda gli acquiferi sotterranei nel corso dell'esecuzione delle prove penetrometriche non è stata rinvenuta la presenza di falda.

CPT 1				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 - 1,4	Limi sabbiosi ad addensamento medio alto	1, 85	133	26
1,4 – 2,0	Limi argillosi a consistenza media	1,85	93	25
2,0 – 3,0	Argille limose a consistenza medio bassa	1,85	79	24
3,0 – 4,4	Limi argillosi a consistenza media	1,85	109	25
4,4 – 5,2	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

CPT 2				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 - 1,6	Limi sabbiosi ad addensamento alto	1, 85	223	28
1,6 – 2,6	Limi argillosi a consistenza alta	1,85	185	27
2,6 – 5,4	Limi argillosi a consistenza medio alta	1,85	133	25
5,4 – 5,8	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

CPT 3				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 – 2,2	Limi argillosi ad addensamento medio alto	1, 85	132	26
2,2 – 3,4	Limi argillosi a consistenza media	1,85	102	25
3,4 – 5,0	Limi argillosi a consistenza medio alta	1,85	137	26
5,0 – 5,2	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

CPT 4				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 - 1,8	Limi sabbiosi ad addensamento alto	1, 85	216	27
1,8– 2,4	Limi argillosi a consistenza medio alta	1,85	140	26
2,4– 3,2	Limi argillosi a consistenza media	1,85	95	25
3,2 – 5,2	Limi argillosi a consistenza medio alta	1,85	151	26
5,2– 5,6	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

CPT 5				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 - 1,4	Limi sabbiosi ad addensamento medio alto	1, 85	156	26
1,4 – 2,2	Limi argillosi a consistenza media	1,85	120	25
2,2 – 3,8	Argille limose a consistenza medio bassa	1,85	76	24
3,8 – 7,0	Limi argillosi a consistenza media	1,85	114	25
7,0 – 7,6	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

CPT 6				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 - 1,6	Limi sabbiosi ad addensamento medio alto	1, 85	149	27
1,6 – 2,0	Limi argillosi a consistenza medio alta	1,85	134	26
2,0 – 4,0	Argille limose a consistenza media	1,85	85	24
4,0 – 5,2	Limi argillosi a consistenza medio alta		141	26
5,2 – 7,2	Limi argillosi a consistenza media	1,85	89	25
7,2 – 7,6	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

CPT 7				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 – 2,0	Limi sabbiosi ad addensamento alto	1, 85	169	27
2,0 – 2,6	Argille limose a consistenza medio bassa	1,85	77	24
2,6 – 5,4	Limi argillosi a consistenza medio alta	1,85	110	25
5,4 – 5,8	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

CPT 8				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu KPa	Ø
0,0 – 2,0	Sabbie limose ad addensamento alto	1, 85	210	27
2,0 – 3,6	Limi argillosi a consistenza media	1,85	94	25
3,6 – 6,2	Limi sabbiosi ad addensamento medio alto	1,85	157	26
6,2 – 6,4	Sabbie ghiaiose ad addensamento elevato	1, 85	-	28

5.2.2 Sondaggi a carotaggio continuo

Nella campagna di indagini sono stati effettuati due sondaggi spinti fino a 20 metri di profondità. Lo scopo di questa indagine aveva come obiettivo quello di ricavare la stratigrafia dell'area indagata, l'ubicazione della falda. In entrambi i sondaggi è stata inoltre eseguita una prova penetrometrica standard (SPT) in corrispondenza di un livello ghiaioso per trarne alcuni parametri geomeccanici. Nei sondaggi realizzati infine sono stati collocati 2 piezometri Norton posti fino a 20 metri dal piano campagna, fessurati da -8.0 a -20.0 m.

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una macchina perforatrice CMV MK900 D1 avente come attrezzo perforatore un carotiere semplice di diametro Ø 101 mm, le prove sono state effettuate con il metodo del carotaggio continuo.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nell'allegato 1.

I due sondaggi presentano un andamento simile, di seguito una breve descrizione;

Nei primi metri, dal piano campagna fino a 2,40/2,60 metri di profondità si evince la presenza di limi e limi sabbiosi con presenza di calcinelli.

I limi sono seguiti da argille limose con calcinelli fino ad una profondità di 4,00/4,80 metri.

Nel primo sondaggio a differenza del secondo è stato individuato un piccolo strato limo argilloso tra 4,00 e 4,50 metri di profondità.

In entrambi segue poi uno strato caratterizzato da ghiaie a granulometria medio-fine con clasti da arrotondati a subarrotondati in matrice limo-sabbiosa aventi però differente spessore. Infatti, in S1 si colloca ad una profondità compresa tra i 5,00 e i 10,30 metri e in S2 tra i 6,70 e i 10,00 metri di profondità.

Successivamente è stato individuato in entrambi i sondaggi uno strato di limo e limo argilloso con abbondanti calcinelli, avente uno spessore rispettivamente di 1,30 metri in S1 e 1,80 metri in S2.

Il secondo sondaggio prosegue poi con due piccoli strati non presenti in S1: il primo caratterizzato da argilla limosa con abbondanti calcinelli (da 11,80 a 12,60 metri) ed il secondo da limo passante a limo sabbioso (da 12,60 a 13,30 metri).

Entrambi i sondaggi proseguono con uno strato ghiaioso a granulometria media-fine, a tratti grossolana, avente clasti da arrotondati a subarrotondati con presenza di sabbia e limo. In S1 si colloca tra 11,60 e 16,40 metri di profondità ed in S2 tra 13,30 e 17,30 metri di profondità. Nel primo sondaggio questo strato non è continuo ed è infatti interrotto da un sottile strato limoso posto ad una profondità compresa tra 12,60 e i 13,00 metri.

Sotto le ghiaie è stato individuato uno strato di limo con argilla in cui sono presenti abbondanti calcinelli (S1: 16,40 – 19,30 m; S2: 17,30 – 20,00 m).

Per finire in S1 da 19,30 a 20,00 metri di profondità si trovano delle sabbie fini limose.

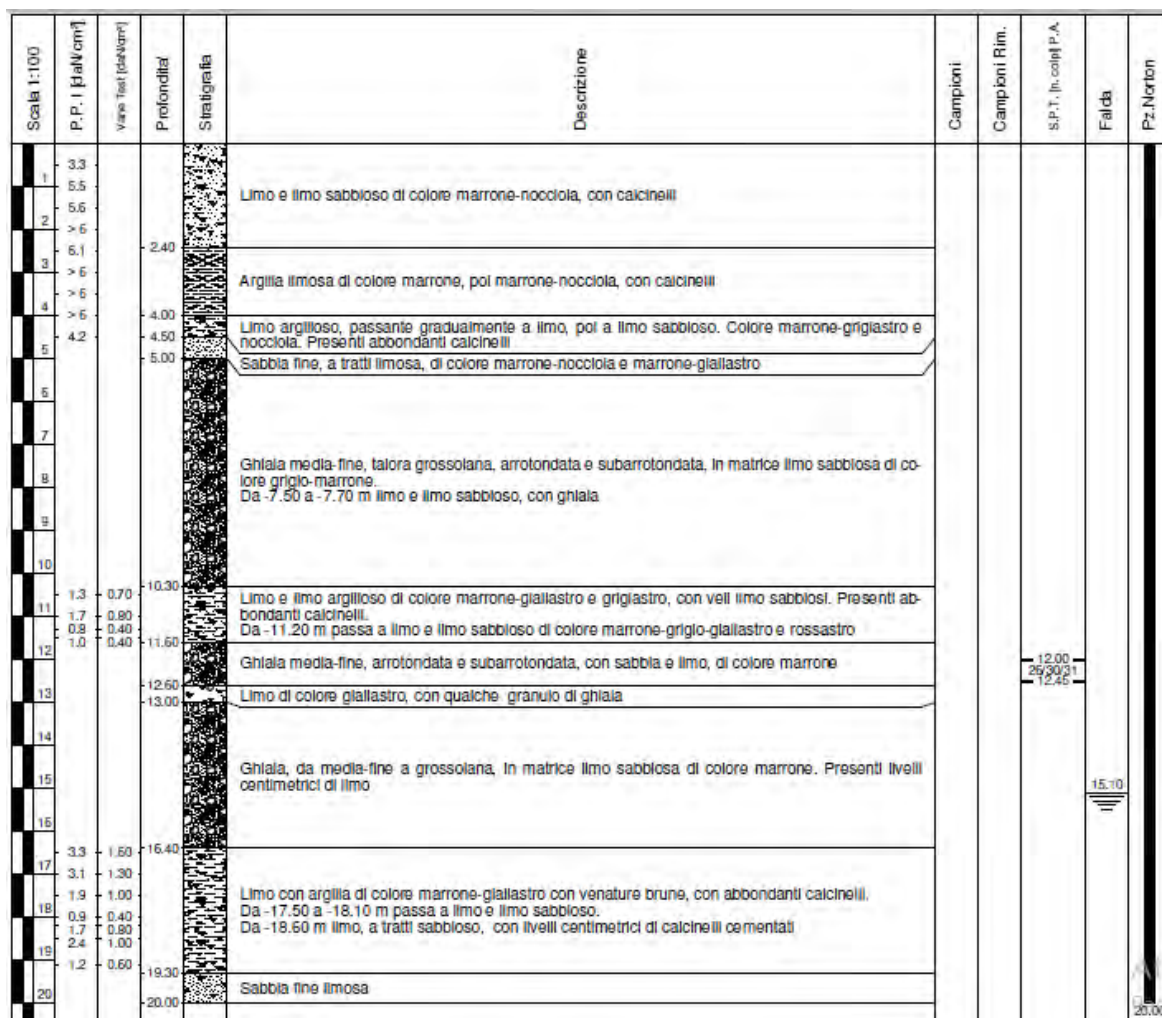


Figura 15:– Sezione stratigrafica ricavata dal sondaggio S1

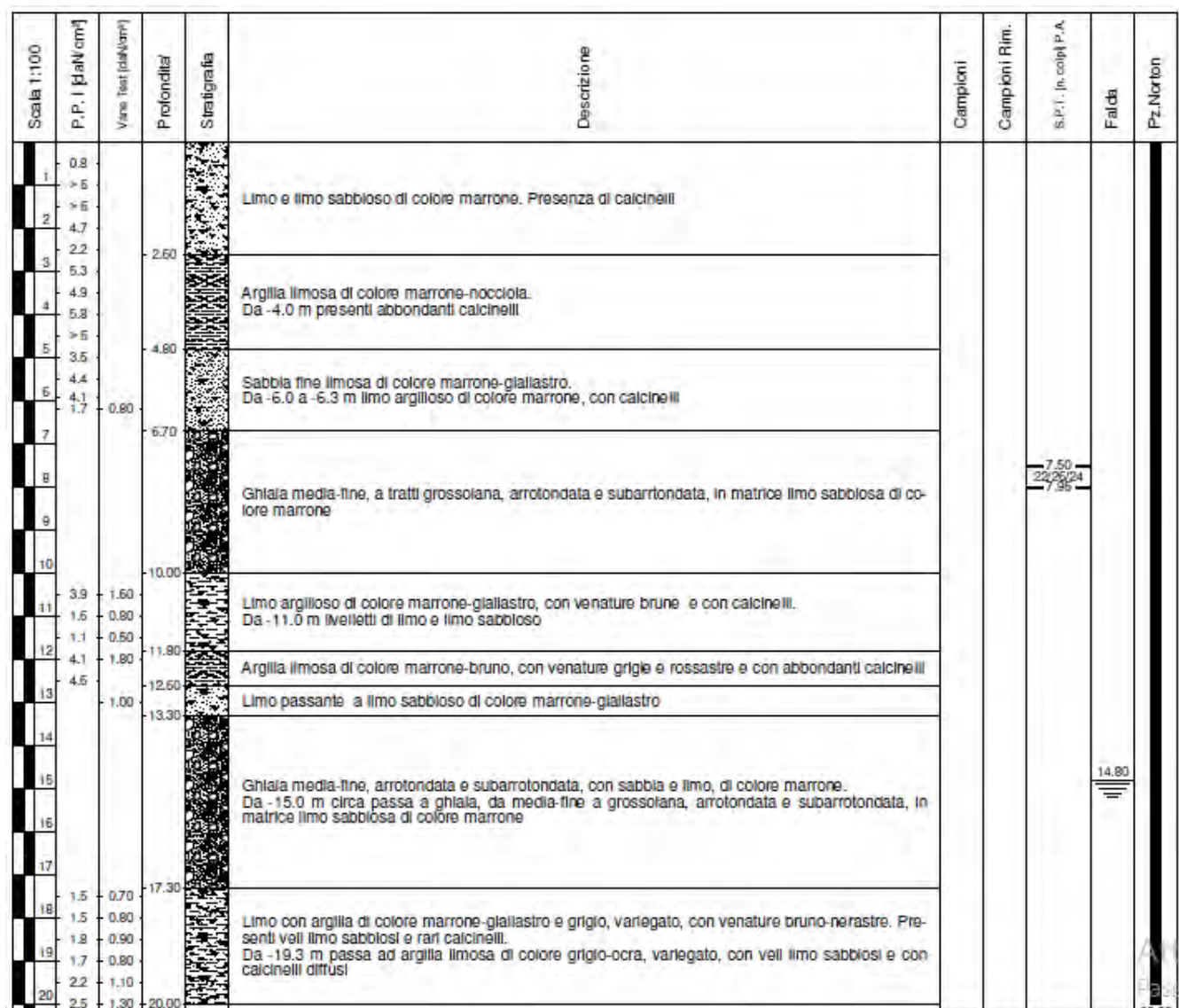


Figura 16:– Sezione stratigrafica ricavata dal sondaggio S2

Nel sondaggio S1 è stata individuata la falda ad una profondità di 15.10 metri dal piano campagna e nel sondaggio S2 ad una profondità di 14.80 metri.

5.2.3 SPT

Nel piano di indagini era prevista anche l'esecuzione di due SPT (Prove Penetrometriche Dinamiche), eseguite all'interno dei fori di sondaggio S1 e S2. Tali prove consentono di determinare la resistenza alla penetrazione dinamica che il terreno indagato offre, vengono realizzate a fondo foro o alla quota di interesse, dove viene interrotta l'esecuzione del preforo. La prova SPT consiste nel far cadere ripetutamente un maglio DI 63,5 kg da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato un campionatore di dimensioni standardizzate che durante la penetrazione registra:

- il numero di colpi del maglio necessari a fare il primo avanzamento di 15 cm (N1)
- Il numero di colpi necessari a fare il secondo avanzamento di 15 cm (N2)
- Il numero di colpi necessario a fare il terzo avanzamento di 15 cm (N3)

complessivamente avremo un avanzamento del campionatore di 45 cm.

Generalmente del primo avanzamento non si tiene conto in quanto si ritiene che non sia rappresentativo delle condizioni di addensamento in sito poiché il terreno nei primi 15 cm al di sotto della quota base del terreno si assume che sia in condizioni disturbate. I parametri presi in considerazione sono N2 e N3 che sommati determinano il valore di N_{SPT} .

Dal valore di N_{SPT} tramite delle correlazioni si possono ricavare diversi parametri, tra cui l'angolo di attrito del terreno indagato e la sua densità relativa.

Come prima anticipato, all'interno dei due fori di sondaggio è stata eseguita una prova SPT utilizzando una punta chiusa. Nel sondaggio S1 la prova SPT è stata eseguita ad una profondità dal piano campagna di 7,50 metri raggiungendo i 7,95 metri di profondità a seguito dei 3 avanzamenti di 15 cm l'uno, in corrispondenza di ghiaie in matrice limo sabbiosa. Il secondo sondaggio S2, realizzato anch'esso su ghiaie con sabbia e limo, è stato eseguito ad una profondità di 12,00 metri e terminato a 12,45 metri a seguito dei 3 avanzamenti.

Rispettivamente il numero di colpi nel primo sondaggio per i tre avanzamenti sono stati: 22, 26 e 24. Nel secondo sondaggio: 26, 30 e 31.

Da questi dati sono stati ricavati l'angolo di attrito e la densità relativa della porzione indagata dalle SPT in S1 e S2, di seguito i valori ricavati;

SPT1-S1

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	61.00	12.00-12.45	61.00	Meyerhof 1957	86.93

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	61.00	12.00-12.45	$N1,60=36.05$	Wolff (1989) N160	37.23

SPT2

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	50.00	7.50-7.95	50.00	Meyerhof 1957	94.29

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	50.00	7.50-7.95	N1,60=37.47	Wolff (1989) N160	37.6

La porzione del livello di ghiaia indagato in S1 ad una profondità compresa tra 12,00 e 12,45 è caratterizzato da un angolo di attrito di 37,23° ed una densità relativa (%) di 86.93. Quello indagato in S2, tra 7.50 e 7.95 è caratterizzato da un angolo d'attrito di 37.6° e una densità relativa (%) di 94.29.

5.2.4 Monitoraggio piezometrico

In data 21/01/2021 sono stati collocati due piezometri Norton all'interno dei due fori di sondaggio S1 e S2 al fine di mantenere monitorato il livello della falda nel tempo. I due piezometri sono stati collocati sino ad una profondità di 20,00 metri dal piano campagna, costituiti da un tubo in PVC con diametro di 2". In particolare, sia nel primo piezometro collocato in S1 che nel secondo piezometro collocato in S2 il tubo microfessurato si trova nel tratto compreso tra -8,00 e -20 metri di profondità dal piano campagna, mentre tra 0,00 e -8,00 metri di profondità è collocato un tratto di tubo cieco.

A fine installazione dei piezometri è stato eseguito in entrambi lo spurgo. Il livello dell'acqua rilevato in S1 era a -15.10 m dal p.c. mentre quello in S2 era collocato a -14.80 m dal p.c.

Precedentemente sono stati effettuati due monitoraggi nel piezometro che è stato collocato nel sondaggio realizzato in Via Pantarini (ubicazione in allegato 2 – "Sondaggio via Pantarini"), di seguito i dati relativi:

- in data 09/09/2020 è stato effettuato il primo monitoraggio della falda: la soggiacenza misurata è 14,80 m da piano campagna.
- In data 30/03/2021 è stato effettuato il secondo monitoraggio della falda: la soggiacenza misurata è 14,76 m da piano campagna.

Questi dati risultano essere molto simili alla soggiacenza misurata nei piezometri in S1 e S2 in data 21/01/2021.

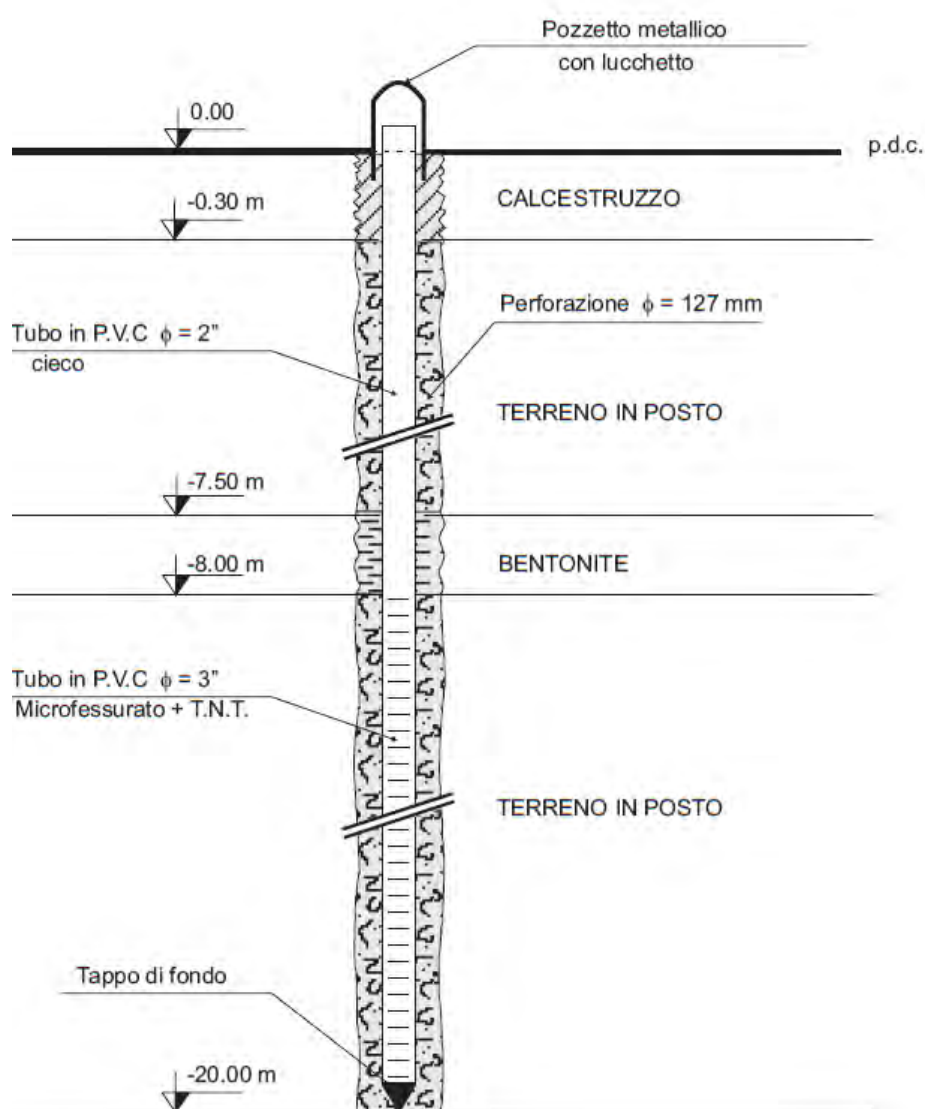


Figura 17:– Schema installazione piezometro Norton

6 Progettazione geotecnica

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni":

6.1.2 PRESCRIZIONI GENERALI

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica di cui al § 6.2.1.

Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini definite dal progettista in base alla tipologia dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica di cui al § 6.2.2, unitamente alle analisi per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive devono essere illustrati in una specifica relazione geotecnica.

6.2.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

6.2.2 INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo

influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista.

Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito. [...]

Per la verifica delle condizioni di sicurezza e delle prestazioni di cui al successivo § 6.2.4, la scelta dei valori caratteristici delle quote piezometriche e delle pressioni interstiziali deve tenere conto della loro variabilità spaziale e temporale.

Le prove di laboratorio, sulle terre e sulle rocce, devono essere eseguite e certificate dai laboratori di prova di cui all'art. 59 del DPR 6 giugno 2001, n. 380. I laboratori su indicati fanno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

6.2.4 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel rispetto dei principi e delle procedure indicate al § 2.6 .

6.2.4.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU), come definito al §2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$$

dove $E_{inst,d}$ è il valore di progetto dell'azione instabilizzante, $E_{stb,d}$ è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori γ_F riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd \quad (6.2.1)$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b] essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad (6.2.2a)$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right], \quad (6.2.2b)$$

e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]. \quad (6.2.3)$$

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri geotecnici di progetto X_k/γ_M e dei parametri geometrici di progetto a_d . Il coefficiente parziale di sicurezza γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con $\gamma_E = \gamma_F$.

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

Per le verifiche nei confronti di stati limite ultimi non espressamente trattati nei successivi paragrafi, da 6.3 a 6.11, si utilizza l'Approccio 1 con le due combinazioni (A1+M1+R1) e (A2+M2+R2). I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

7 Sismicità dell'area

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Imola, ricadeva in una zona classificata in classe II.

Nel mese di Marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

In riferimento a tale bozza il Comune di Imola ricade in classe 2, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Imola è stato classificato in classe di sismicità 2 (zona a media sismicità).

Di seguito si riporta uno stralcio della normativa più recente: D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle norme tecniche sulle costruzioni":

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni"

3.2 AZIONE SISMICA

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i = spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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

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

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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 $i > 30^\circ$

Nelle verifiche geotecniche consideriamo la classificazione ora vigente che definisce l'area di studio appartenente alla classe di sismicità 2, pertanto il grado di sismicità è pari a $S = 9$.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **categoria C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**

Inoltre sulla base della classificazione nazionale che fa ricadere l'area in esame in classe 2, i valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in tale classe sono pari ad $a_g = 0.25g$.

7.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HVSR

Traccia 1

Inizio registrazione: 24/11/20 10:16:46 Fine registrazione: 24/11/20 10:36:46

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

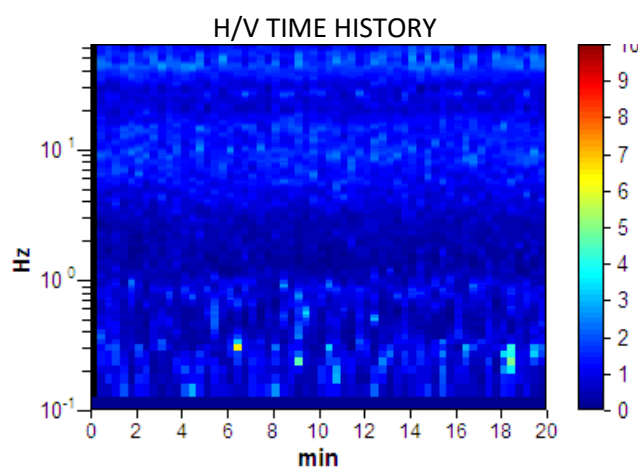
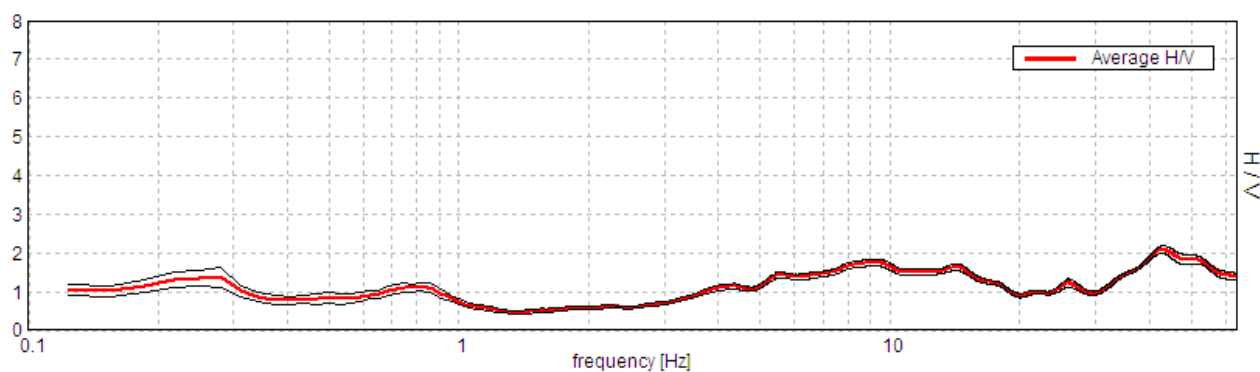
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

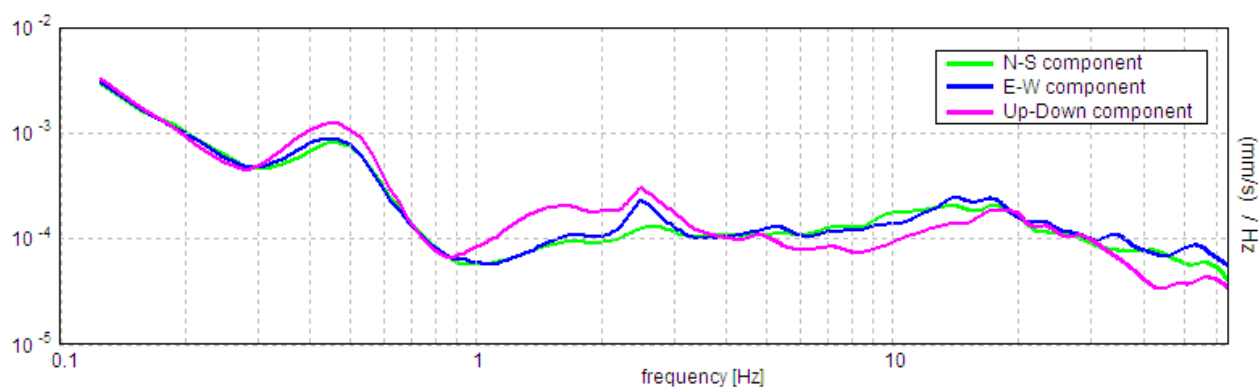
Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

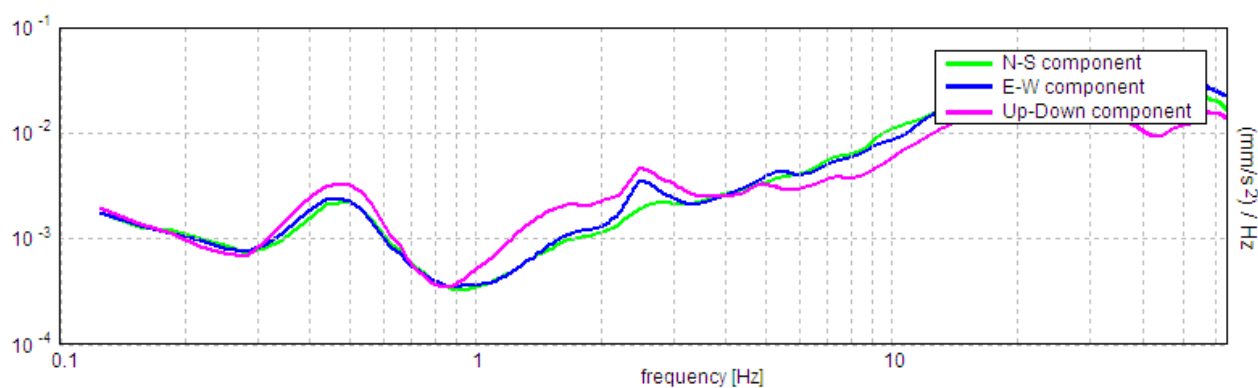


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

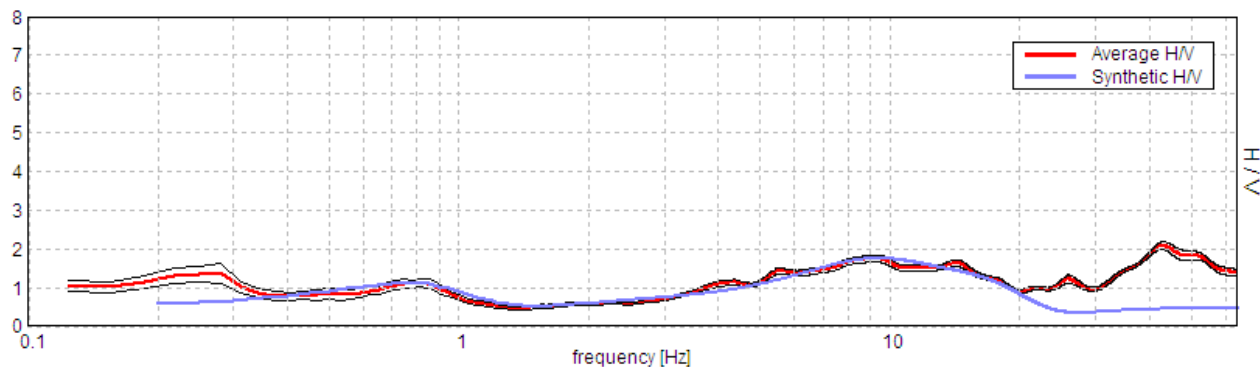


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



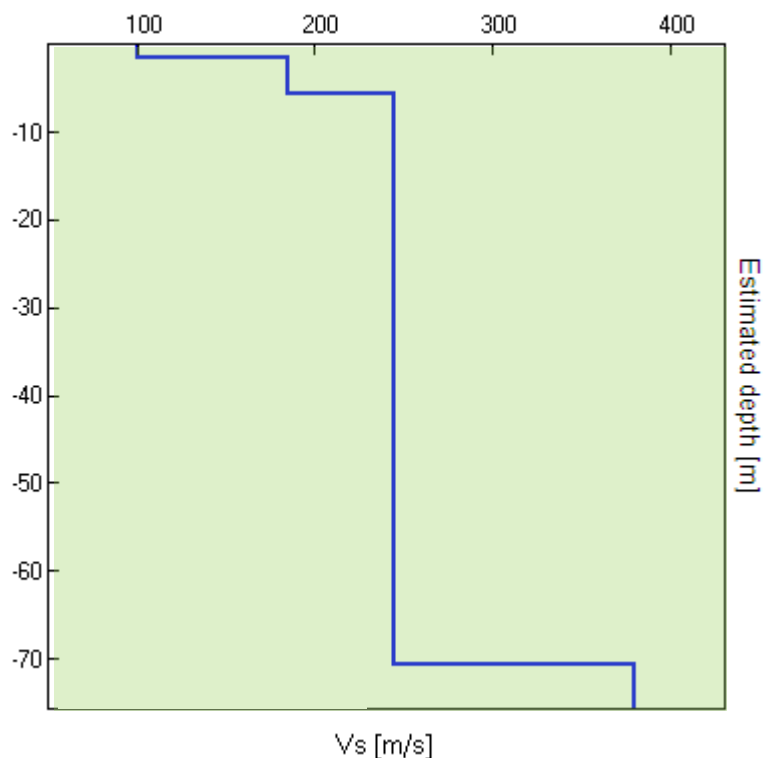
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità.

Litologia indicativa da tabella 1	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
Terreno vegetale	1.60	1.60	100
Limi e argille tenere	5.60	4.00	185
Limi e argille medie, ghiaia	70.60	65.00	245
Substrato non rigido	inf.	inf.	380



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 210 \text{ m/s} \pm 40 \text{ m/s}$$

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borchardt, 1994]

TIPO DI SUOLO	V_s min [m/s]	V_s media [m/s]	V_s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 42.81 ± 0.32 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve			
[All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$42.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$50518.8 > 200$	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1364	OK	
Criteria for a clear HVSR peak			
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	31.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	52.254 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.08 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0075 < 0.05$	OK	
$s_f < e(f_0)$	$0.32094 < 2.14063$	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	$0.0949 < 1.58$	OK	

La frequenza di risonanza caratteristica o di riferimento del terreno è $F_0 \cong 9,0$ Hz

Traccia 2

Inizio registrazione: 24/11/20 10:51:45 Fine registrazione: 24/11/20 11:11:45

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

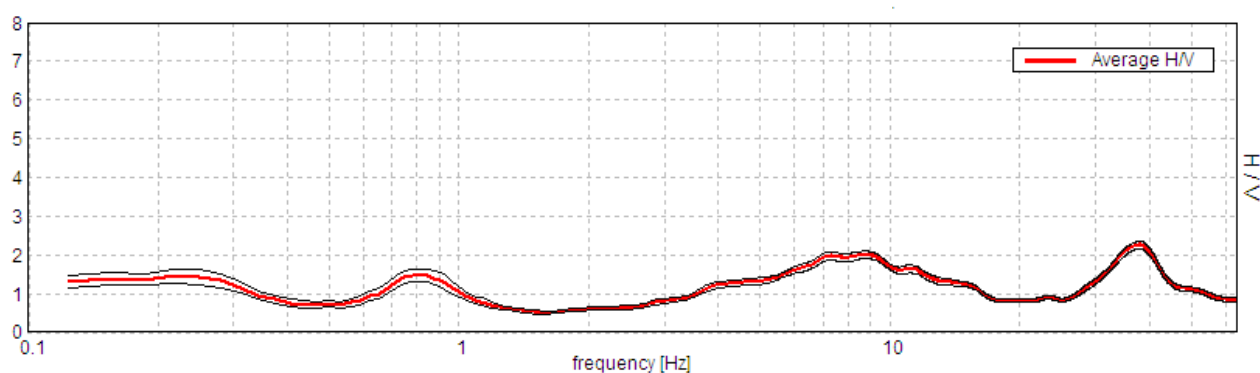
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

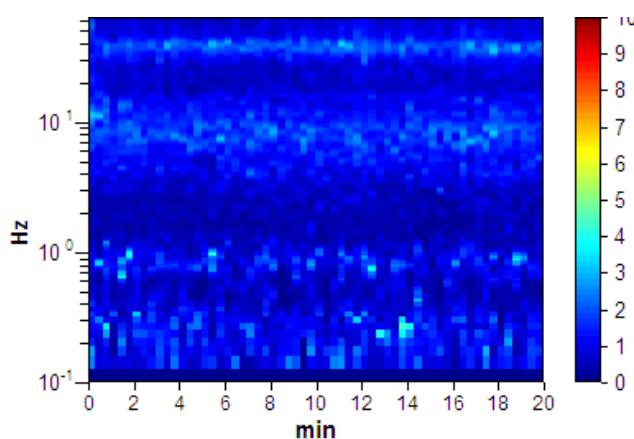
Lisciamento: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

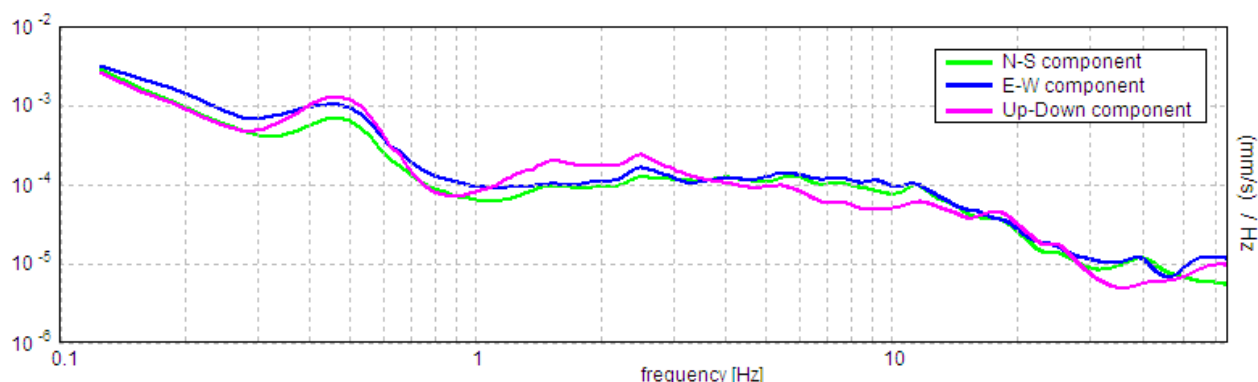


H/V TIME HISTORY

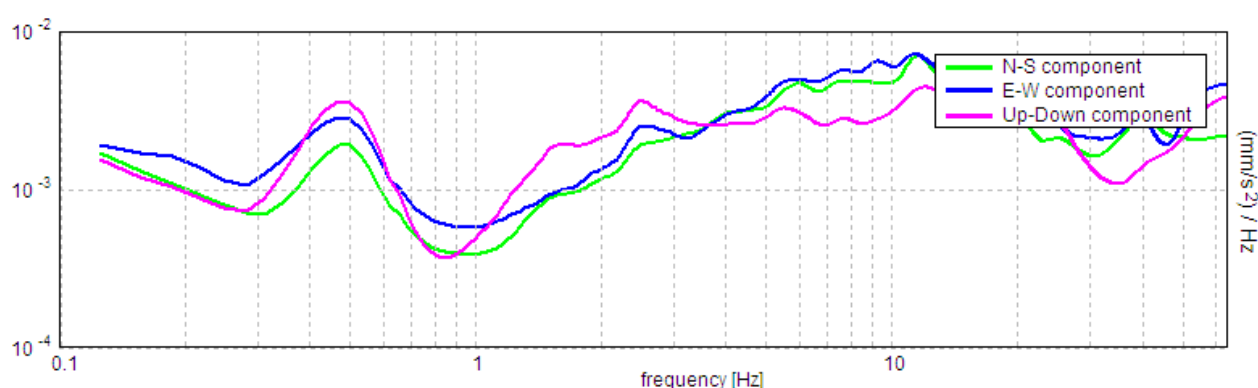


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

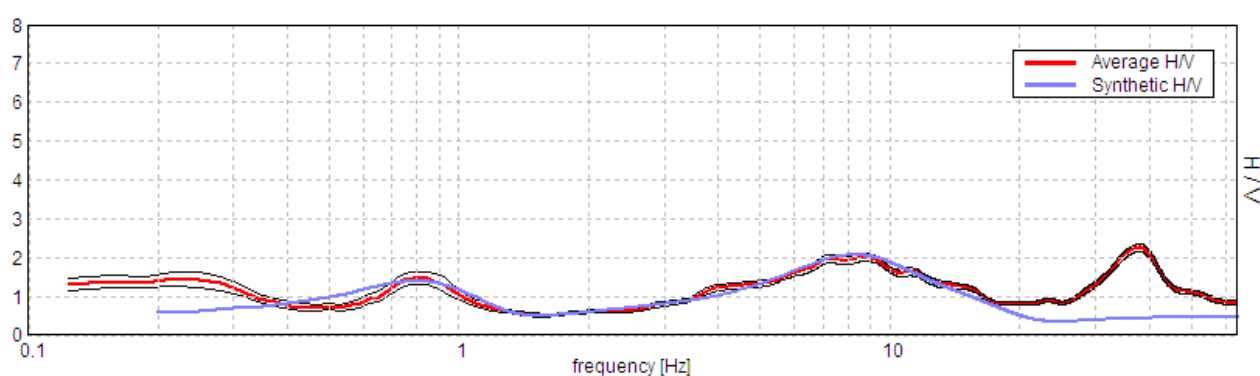


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



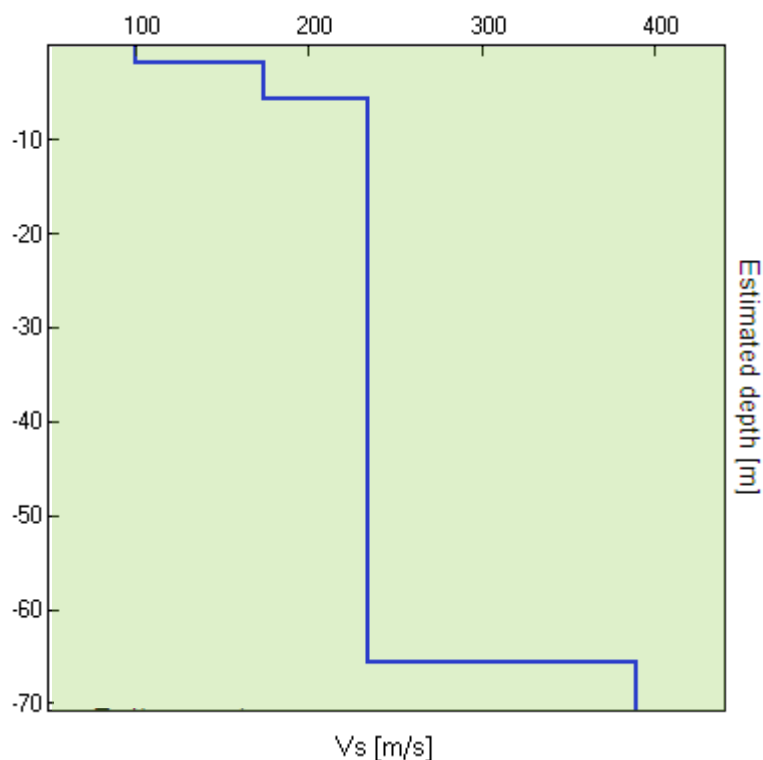
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità.

Litologia indicativa da tabella 1	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
Terreno vegetale	1.80	1.80	100
Limi e argille tenere	5.70	3.90	175
Limi e argille medie, ghiaia	65.70	60.00	235
Substrato non rigido	inf.	inf.	390



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente V_{s30} , valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 210 \text{ m/s} \pm 40 \text{ m/s}$$

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borchardt, 1994]

TIPO DI SUOLO	V_s min [m/s]	V_s media [m/s]	V_s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 37.81 ± 1.29 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve			
[All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$37.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$45375.0 > 200$	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1444	OK	
Criteria for a clear HVSR peak			
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	28.25 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	48.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.25 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04855 < 0.05$	OK	
$s_f < e(f_0)$	$1.2889 < 1.89063$	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	$0.097 < 1.58$	OK	

La frequenza di risonanza caratteristica o di riferimento del terreno è $F_0 \cong 9,0$ Hz

PARAMETRI SISMICI da GEOSTRU

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame: C

Coordinate espresse in ED50: Latitudine: 44,358121° Longitudine: 11,737245°

Coordinate espresse in WGS84: Latitudine: 44.357182° Longitudine: 11.736263°

Classe d'uso I: costruzioni con presenza occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe d'uso III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi; industrie con attività pericolose per l'ambiente; reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV; ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza; dighe rilevanti per un loro eventuale collasso.

Classe d'uso IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla

gestione della Protezione Civile in caso di calamità. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie di collegamento tra capoluoghi di provincia, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per le vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e centrali idroelettriche.

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1 18068	17401	44,3709	11,6722	5362,964
Sito 2	17402	44,3720	11,7421	1588,146
Sito 3	17624	44,3220	11,7436	4050,152
Sito 4	17623	44,3209	11,6737	6527,528

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente Cu: 1,0

Parametri sismici:

	P _{VR} %	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,066	2,408	0,260
Danno SLD	63	50	0,084	2,396	0,268
Salvaguardia vita SLV	10	475	0,204	2,441	0,299
Prevenzione collasso SLC	5	975	0,256	2,494	0,314

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

ag = accelerazione di gravità

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s ²)	Beta (-)
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,966	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,025	0,013	1,235	0,200
SLV	1,400	1,560	1,000	0,080	0,040	2,807	0,280
SLC	1,320	1,540	1,000	0,095	0,047	3,316	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica Amax = acc. max attesa al sito

Kh = coeff, sismico verticale

Kv = coeff. Sismico orizzontale

Beta = coeff. riduzione acc.max

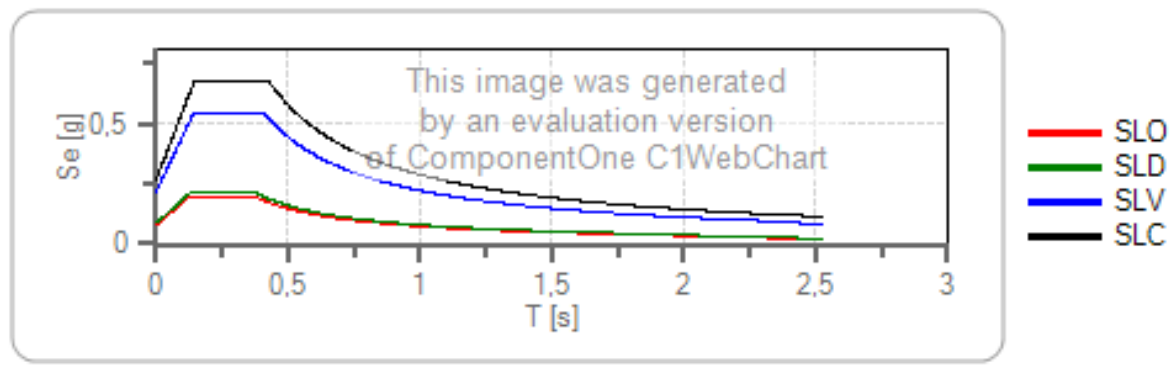
Zona 1 = 0,35g

Zona 2 = 0,25g

Zona 3 = 0,15g

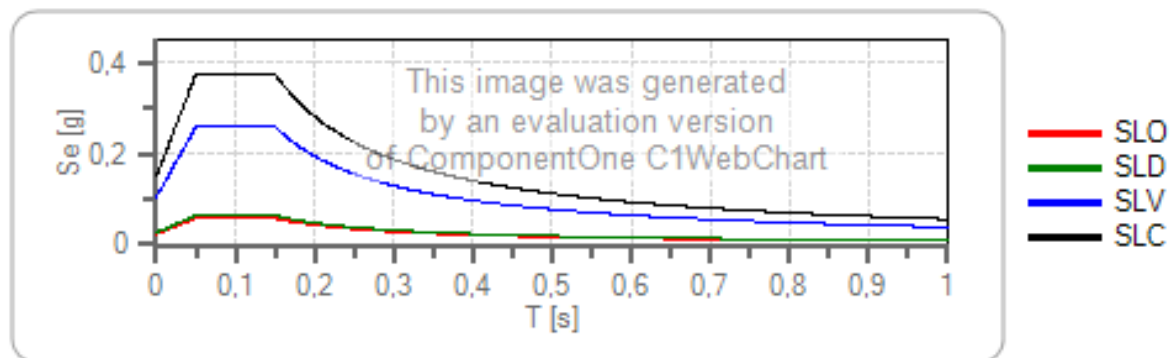
Zona 4 = 0,05g

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



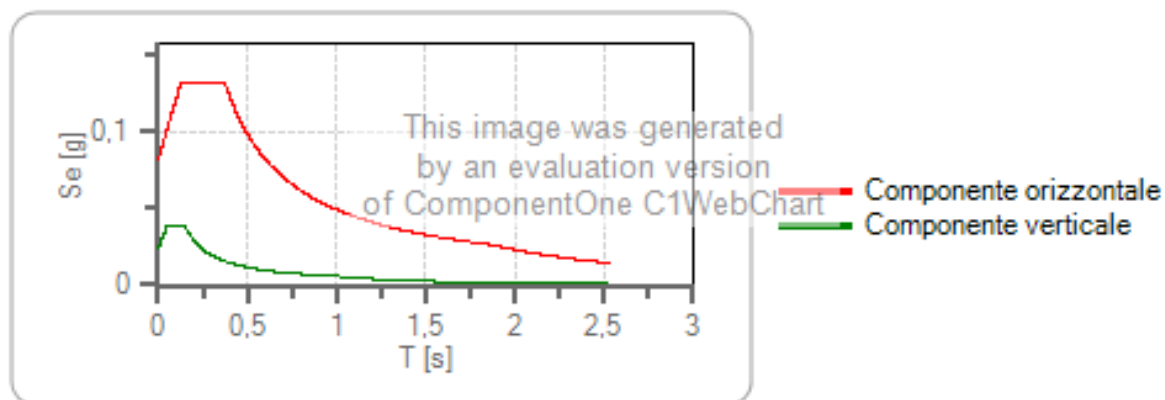
	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	1,0	0,066	2,408	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,863
SLD	1,0	0,084	2,396	0,268	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,435	1,936
SLV	1,0	0,204	2,441	0,299	1,400	1,560	1,000	1,400	1,000	0,156	0,467	2,418
SLC	1,0	0,256	2,494	0,314	1,320	1,540	1,000	1,320	1,000	0,161	0,483	2,625

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



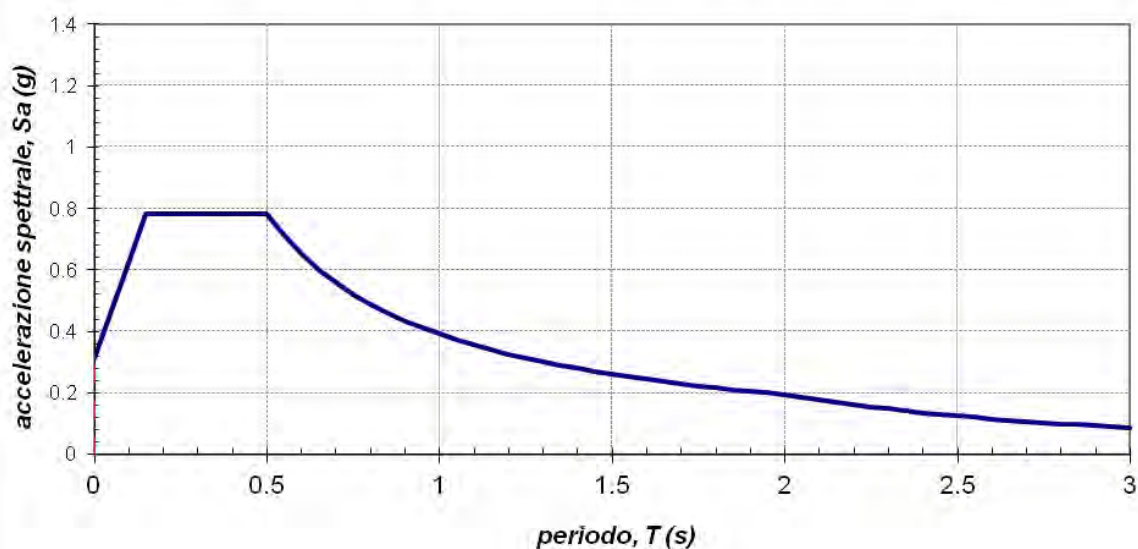
	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	1,0	0,066	2,408	0,260	1,000	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1,0	0,084	2,396	0,268	1,000	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1,0	0,204	2,441	0,299	1,000	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1,0	0,256	2,494	0,314	1,000	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettri di progetto per lo stato limite: SLO



	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO h	1,0	0,066	2,408	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,500	0,142	0,427	1,863
SLO v	1,0	0,066	2,408	0,260	1,500	1,640	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

Spettro risposta elastico orizzontale su suolo rigido



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa
Margine B	C	0.25	1.25	0.15	0.5	2	0	0	0,3125

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di a_{refg} di ogni comune, lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

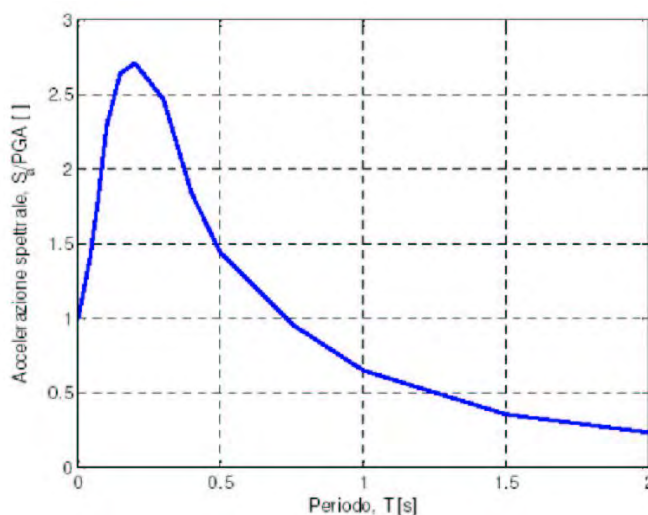


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
Sa/a _{re}	1,000	2,210	2,608	2,656	2,403	1,939	1,505	0,917	0,635	0,360	0,246
f	0	0	0	2	3	4	0	2	9	8	2

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

Valore di a_{refg} per il comune di Imola = 0,2029

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media $i < 15^\circ$	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	St =1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	St =1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	St =1.4

Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180 – 360

Parametri per il profilo stratigrafico

$S = 1,25$, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA

L'area di intervento è morfologicamente classificabile come Margine appenninico-padano tipo B

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 200 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (DGR n.630 del 29/04/2019)

F.A. P.G.A.: accelerazione di picco orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito.

F.A. S.I.: Intensità spettrale di risposta in velocità relativo a tre intervalli.

F.A. S.A.: Intensità spettrale di risposta in accelerazione relativo a quattro intervalli.

MARGINE APPENNINICO-PADANO: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m;

MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. P.G.A.	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5

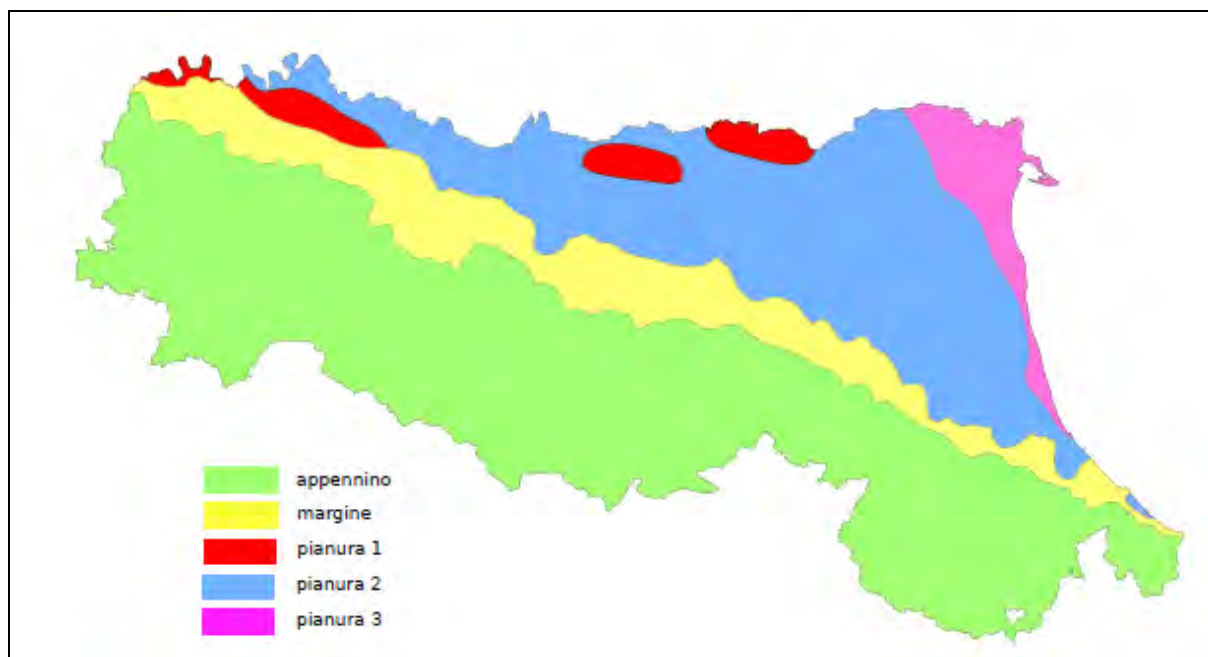
Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0
F.A. SI3	3.3	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0

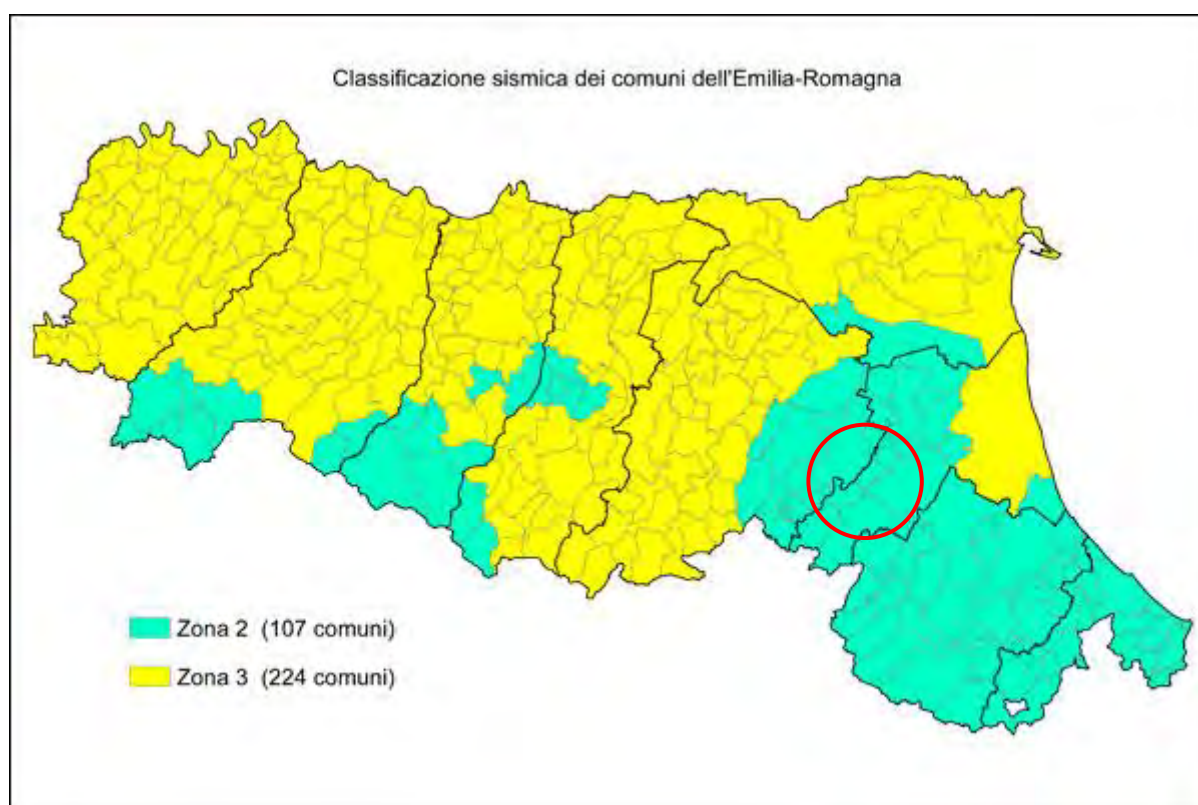
Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
F.A. SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
F.A. SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
F.A. SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

F.A. **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici



Nuova classificazione sismica NTC 2018 – Comune di Imola

Sintesi

- Il terreno indagato è classificabile come sito **C**;
- La velocità stimata è pari a **Vs30 = 210 m/s**;
- È prevista una nuova lottizzazione con manufatto classificabili come classe d'uso **II**;
- La frequenza caratteristica del sito è **Fo $\cong$ 9,0 Hz**;
- L'accelerazione di gravità del sito è **ag = 0,204 (SLV)**;
- L'accelerazione massima è **Amax = 2,807 (SLV)**;
- L'accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità per il comune di Imola è **g (a_{refg}) = 0,2029**;
- La categoria topografica è **T1**;
- L'area ricade in **Zona 2 = 0,25g**;
- L'area è classificabile come **Margine appenninico-padano di tipo B**;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica su base regionale quelli relativi alla fascia di velocità pari a 200 m/s, tali coeff. non sono vincolanti ai fini della progettazione:

PGA = 1,6	SA1 per l'intervallo 0,1s<To<0,5s = 1,8
SI1 per l'intervallo 0,1s<To<0,5s = 1,9	SA2 per l'intervallo 0,4s<To<0,8s = 2,8
SI2 per l'intervallo 0,5s<To<1,0s = 2,8	SA3 per l'intervallo 0,7s<To<1,1s = 2,9
SI3 per l'intervallo 0,5s<To<1,5s = 3,1	SA4 per l'intervallo 0,5s<To<1,5s = 2,9

7.2 Prove pregresse: MASW e Re. Mi.

In maggio 2018 è stata eseguita nell'area in oggetto una campagna di prove sismiche per la valutazione della Vs del terreno.

Le Vs sono state valutate sulla base di uno stendimento sismico attivo/passivo tipo MASW/Re. Mi. e di una prova sismica speditiva di acquisizione passiva del rumore sismico ambientale, effettuata con strumento tromografico portatile ad alta risoluzione.

Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alla frequenza di circa 8,5 Hz (basso rapporto spettrale H/V<2), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 metri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re. Mi. si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (Vs), e in particolare si è misurata una Vs30 a partire dal suolo pari circa a 336,3 m/s.

Sulla base dei dati geofisici si fornisce di seguito l'aggiornamento della caratterizzazione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2015. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi della DAL 112/2007.

L'area di studio è classificabile nel macro contesto denominato <<Margine appenninico di tipo B: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, caratterizzato da spessore di terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato geologico>>.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 1,6;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 1,7;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 2,1;
- FA SI (0.5s-1.5s) = 2.2.

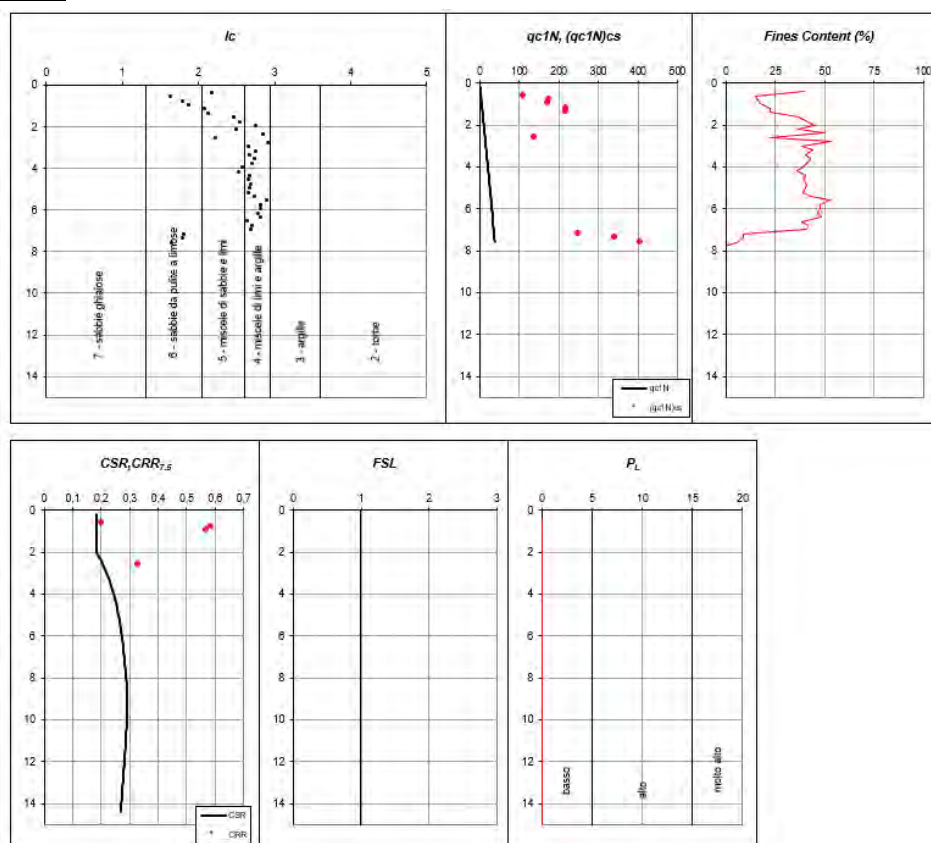
7.3 Verifica alla liquefazione

Le verifiche a liquefazione sono state effettuate sui valori ottenuti dalle prove CPT5 e CPT 6, ovvero quelle che hanno indagato la profondità maggiore; lungo tutta la verticale di terreno indagata è stato ottenuto un potenziale di liquefazione basso.

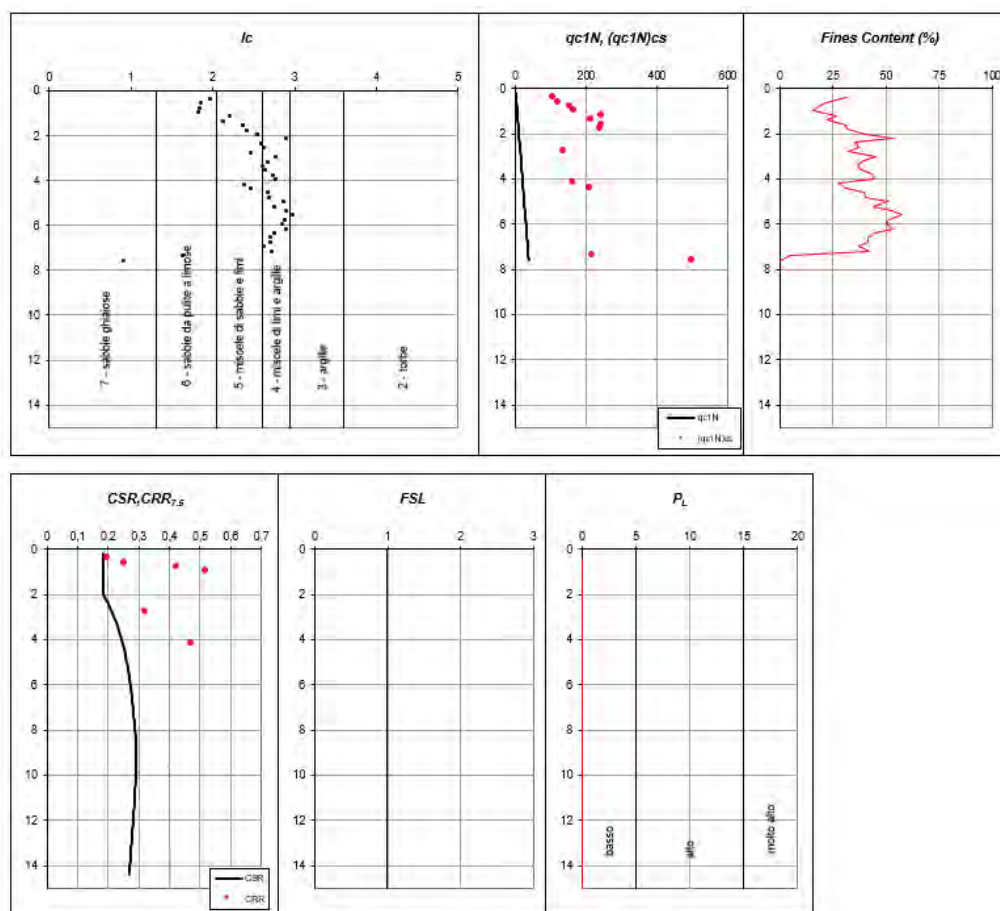
I valori impostati per il calcolo sono:

- $A_{max} = 0,285$
- Gamma terreno = 1,9 t/m³
- Soggiacenza falda = 2,0 m
- $M = 5,8$

CPT5



CPT6



8 Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- Nei primi metri sono presenti dei limi e limi sabbiosi, seguiti da argille limose fino ad una profondità di 4,00/4,80 metri. Nel primo sondaggio a differenza del secondo è stato individuato un piccolo strato limo argilloso tra 4,00 e 4,50 metri di profondità. In entrambi seguono poi delle ghiaie a granulometria medio-fine fino ad una profondità di 6,70/10,00 metri. Successivamente uno strato di limo e limo argilloso. Il secondo sondaggio prosegue poi con due piccoli strati non presenti in S1: il primo caratterizzato da argilla limosa ed il secondo da limo passante a limo sabbioso. Entrambi i sondaggi proseguono con uno strato ghiaioso a granulometria media-fine con presenza di sabbia e limo, fino a 16,40/17,30 metri di profondità. Nel primo sondaggio questo strato non è continuo ed è infatti interrotto da un sottile strato limoso. Sotto le ghiaie sono presenti dei limi e per finire in S1 da 19,30 a 20,00 metri di profondità si trovano delle sabbie fini limose.
- Nel sondaggio S1 è stata individuata la falda ad una profondità di 15.10 metri dal piano campagna e nel sondaggio S2 ad una profondità di 14.80 metri.
- Dalle prove SPT sono stati ricavati i valori di angolo di attrito e di densità relativa riferiti al tratto indagato. In S1 il tratto compreso tra 12.00 e 12.45 metri di profondità è caratterizzato da un angolo di attrito di 37.23° ed una densità relativa (%) di 86.93. in S2 il tratto compreso tra 7.50 e 7.95 è caratterizzato da un angolo d'attrito di 37.6° e una densità relativa (%) di 94.29.
- Sulla base dei dati calcolati per la Vs30 la categoria del sottosuolo individuata è la **C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s.**
- lungo tutta la verticale di terreno indagata è stato ottenuto un potenziale di liquefazione basso.
- L'ambito ASP_AN 1.8 risulta edificabile senza prescrizioni particolari.
- Essendo la presente una relazione geologica per un intero ambito, al momento della costruzione dei singoli fabbricati, sarà necessario approfondire le indagini geologiche con opportuni studi finalizzati al tipo di costruzione progettata.

Imola 21 dicembre '20

Il geologo
Dott. Maurizio Castellari



CA studio
associato

Allegato 1

Ubicazione indagini





CA studio
associato
Allegato 2

Stratigrafia Sondaggio via Patarini

 SOGEO[®] S.p.A. INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Patto n. 43 - 48022 S. Patto di LUGO (RA) Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-rl.com Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decr. n. 005754 del 05/07/2010	COMMITTENTE: Castellari Ambiente - Studio Associato			SOND.N°: Pz.1	PROF.(m): 20.00
	CANTIERE: Imola (BO) Via Patarini			QUOTA (m): p.d.c.	
	PERFORATRICE: Ellattari EK200/STR			LATITUDINE (°):	
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo			LONGITUDINE (°):	
	RIVESTIMENTO: Ø 127			ATTREZZO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	
PIEZOMETRO: Installato piezometro Ø 2" a -20.0 m (fessurato da -5.0 a -20.0 m)				DATA INIZ-FINE: 04/09/2020-04/09/2020	
				SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 161-20	CERTIFICATO N°: C20-062-1	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 07/09/2020	PAGINA N°: 1 di 1	

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	Falda	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Pz Norton	Tubo Down Hole
1	> 6		0.20		Suolo limoso sabbioso di colore marrone, con resti vegetali						
2	> 6		1.10		Terreno di riporto costituito da limo di colore marrone, con scarse macerie						
3	2.2										
4	2.4										
5	5.5	1.00			Limo con sabbia passante a limo debolmente argilloso di colore marrone						
6	4.9										
7	1.6	0.80									
8	1.4	0.40									
9	4.0	1.50									
10	2.2		7.20								
11											
12					Ghiaia con sabbia, debolmente limosa, di colore marrone, con clasti eterometrici, da arrotondati a subarrotondati. Sono presenti livelli decimetrici di limo sabbioso argilloso di colore marrone, con ghiaia						
13	1.0	0.60									
14											
15	1.4	0.60									
16											
17			16.70								
18					Limo sabbioso, debolmente argilloso, di colore marrone, con livelli centimetrici con ghiaia						
19	1.4	0.70	18.00								
20	1.7	0.80			Argilla limosa di colore grigio con bande marroni, che diminuiscono in profondità. Presenti livelli centimetrici con ghiaia						
21	1.3	0.70									
22	1.7	0.80	20.00								
23											
24											
25											

Note:
Livello acqua rilevato a fine sondaggio.

CA studio
associato

Allegato 3

Prove penetrometriche

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 1**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,20	----	2,80	20,0	37,0	20,0	1,07	19,0
0,40	38,0	56,0	38,0	1,33	28,0	3,00	19,0	35,0	19,0	0,93	20,0
0,60	46,0	66,0	46,0	0,87	53,0	3,20	22,0	36,0	22,0	1,53	14,0
0,80	60,0	73,0	60,0	1,47	41,0	3,40	25,0	48,0	25,0	1,13	22,0
1,00	44,0	66,0	44,0	1,87	24,0	3,60	28,0	45,0	28,0	2,47	11,0
1,20	40,0	68,0	40,0	1,60	25,0	3,80	31,0	68,0	31,0	2,67	12,0
1,40	38,0	62,0	38,0	1,80	21,0	4,00	32,0	72,0	32,0	3,00	11,0
1,60	28,0	55,0	28,0	2,07	14,0	4,20	43,0	88,0	43,0	2,47	17,0
1,80	27,0	58,0	27,0	2,67	10,0	4,40	43,0	80,0	43,0	2,27	19,0
2,00	23,0	63,0	23,0	2,53	9,0	4,60	84,0	118,0	84,0	4,27	20,0
2,20	20,0	58,0	20,0	2,13	9,0	4,80	345,0	409,0	345,0	2,53	136,0
2,40	18,0	50,0	18,0	1,40	13,0	5,00	370,0	408,0	370,0	2,20	168,0
2,60	21,0	42,0	21,0	1,13	19,0	5,20	400,0	433,0	400,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 2**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	2,20	----	3,20	33,0	80,0	33,0	3,47	10,0
0,40	32,0	65,0	32,0	1,87	17,0	3,40	33,0	85,0	33,0	3,33	10,0
0,60	49,0	77,0	49,0	1,60	31,0	3,60	31,0	81,0	31,0	3,13	10,0
0,80	84,0	108,0	84,0	1,80	47,0	3,80	35,0	82,0	35,0	2,80	13,0
1,00	93,0	120,0	93,0	2,60	36,0	4,00	47,0	89,0	47,0	3,87	12,0
1,20	82,0	121,0	82,0	2,73	30,0	4,20	40,0	98,0	40,0	3,73	11,0
1,40	67,0	108,0	67,0	2,47	27,0	4,40	47,0	103,0	47,0	4,07	12,0
1,60	68,0	105,0	68,0	2,60	26,0	4,60	43,0	104,0	43,0	3,80	11,0
1,80	62,0	101,0	62,0	2,60	24,0	4,80	40,0	97,0	40,0	2,47	16,0
2,00	57,0	96,0	57,0	3,33	17,0	5,00	43,0	80,0	43,0	3,47	12,0
2,20	55,0	105,0	55,0	2,47	22,0	5,20	39,0	91,0	39,0	2,93	13,0
2,40	52,0	89,0	52,0	2,80	19,0	5,40	50,0	94,0	50,0	7,07	7,0
2,60	52,0	94,0	52,0	2,33	22,0	5,60	239,0	345,0	239,0	0,67	358,0
2,80	43,0	78,0	43,0	3,80	11,0	5,80	455,0	465,0	455,0	-----	----
3,00	38,0	95,0	38,0	3,13	12,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\varnothing$ = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 3**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,53	----	3,00	25,0	54,0	25,0	1,53	16,0
0,40	31,0	54,0	31,0	1,40	22,0	3,20	30,0	53,0	30,0	1,67	18,0
0,60	43,0	64,0	43,0	1,53	28,0	3,40	33,0	58,0	33,0	3,07	11,0
0,80	46,0	69,0	46,0	1,87	25,0	3,60	37,0	83,0	37,0	2,87	13,0
1,00	30,0	58,0	30,0	1,00	30,0	3,80	40,0	83,0	40,0	3,07	13,0
1,20	38,0	53,0	38,0	1,33	28,0	4,00	44,0	90,0	44,0	3,33	13,0
1,40	38,0	58,0	38,0	1,60	24,0	4,20	39,0	89,0	39,0	3,00	13,0
1,60	39,0	63,0	39,0	1,80	22,0	4,40	38,0	83,0	38,0	3,20	12,0
1,80	43,0	70,0	43,0	1,60	27,0	4,60	41,0	89,0	41,0	2,07	20,0
2,00	45,0	69,0	45,0	1,80	25,0	4,80	50,0	81,0	50,0	2,60	19,0
2,20	45,0	72,0	45,0	2,07	22,0	5,00	69,0	108,0	69,0	8,53	8,0
2,40	32,0	63,0	32,0	1,80	18,0	5,20	150,0	278,0	150,0	0,87	173,0
2,60	37,0	64,0	37,0	1,93	19,0	5,40	456,0	469,0	456,0	-----	----
2,80	21,0	50,0	21,0	1,93	11,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\varnothing$ = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 4**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,87	----	3,00	30,0	63,0	30,0	2,60	12,0
0,40	55,0	83,0	55,0	1,67	33,0	3,20	31,0	70,0	31,0	2,73	11,0
0,60	60,0	85,0	60,0	1,60	37,0	3,40	35,0	76,0	35,0	3,07	11,0
0,80	77,0	101,0	77,0	2,47	31,0	3,60	36,0	82,0	36,0	3,60	10,0
1,00	66,0	103,0	66,0	2,27	29,0	3,80	44,0	98,0	44,0	3,80	12,0
1,20	66,0	100,0	66,0	2,33	28,0	4,00	51,0	108,0	51,0	4,67	11,0
1,40	71,0	106,0	71,0	2,60	27,0	4,20	50,0	120,0	50,0	4,20	12,0
1,60	65,0	104,0	65,0	3,00	22,0	4,40	56,0	119,0	56,0	4,53	12,0
1,80	57,0	102,0	57,0	3,20	18,0	4,60	50,0	118,0	50,0	4,80	10,0
2,00	44,0	92,0	44,0	4,00	11,0	4,80	43,0	115,0	43,0	3,67	12,0
2,20	44,0	104,0	44,0	3,80	12,0	5,00	41,0	96,0	41,0	2,67	15,0
2,40	38,0	95,0	38,0	2,80	14,0	5,20	48,0	88,0	48,0	2,53	19,0
2,60	22,0	64,0	22,0	2,40	9,0	5,40	32,0	70,0	32,0	0,67	48,0
2,80	26,0	62,0	26,0	2,20	12,0	5,60	390,0	400,0	390,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 5**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,00	----	4,00	28,0	47,0	28,0	1,27	22,0
0,40	20,0	35,0	20,0	0,53	37,0	4,20	31,0	50,0	31,0	2,33	13,0
0,60	39,0	47,0	39,0	1,40	28,0	4,40	34,0	69,0	34,0	2,53	13,0
0,80	60,0	81,0	60,0	1,40	43,0	4,60	37,0	75,0	37,0	2,87	13,0
1,00	57,0	78,0	57,0	2,20	26,0	4,80	38,0	81,0	38,0	2,93	13,0
1,20	57,0	90,0	57,0	2,20	26,0	5,00	40,0	84,0	40,0	3,00	13,0
1,40	57,0	90,0	57,0	2,93	19,0	5,20	42,0	87,0	42,0	3,13	13,0
1,60	41,0	85,0	41,0	3,07	13,0	5,40	39,0	86,0	39,0	2,87	14,0
1,80	38,0	84,0	38,0	2,47	15,0	5,60	29,0	72,0	29,0	2,60	11,0
2,00	25,0	62,0	25,0	2,33	11,0	5,80	32,0	71,0	32,0	2,13	15,0
2,20	38,0	73,0	38,0	2,00	19,0	6,00	29,0	61,0	29,0	1,80	16,0
2,40	20,0	50,0	20,0	1,00	20,0	6,20	28,0	55,0	28,0	1,67	17,0
2,60	39,0	54,0	39,0	1,27	31,0	6,40	26,0	51,0	26,0	2,07	13,0
2,80	15,0	34,0	15,0	0,87	17,0	6,60	39,0	70,0	39,0	1,80	22,0
3,00	19,0	32,0	19,0	1,13	17,0	6,80	33,0	60,0	33,0	2,33	14,0
3,20	19,0	36,0	19,0	1,07	18,0	7,00	39,0	74,0	39,0	3,33	12,0
3,40	21,0	37,0	21,0	1,00	21,0	7,20	196,0	246,0	196,0	5,60	35,0
3,60	19,0	34,0	19,0	0,80	24,0	7,40	276,0	360,0	276,0	5,93	47,0
3,80	18,0	30,0	18,0	1,27	14,0	7,60	366,0	455,0	366,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 6**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,53	----	4,00	26,0	55,0	26,0	1,60	16,0
0,40	19,0	27,0	19,0	0,73	26,0	4,20	44,0	68,0	44,0	2,67	16,0
0,60	33,0	44,0	33,0	1,13	29,0	4,40	52,0	92,0	52,0	4,00	13,0
0,80	49,0	66,0	49,0	1,27	39,0	4,60	47,0	107,0	47,0	3,47	14,0
1,00	58,0	77,0	58,0	2,67	22,0	4,80	43,0	95,0	43,0	3,40	13,0
1,20	53,0	93,0	53,0	2,13	25,0	5,00	32,0	83,0	32,0	2,93	11,0
1,40	56,0	88,0	56,0	2,53	22,0	5,20	36,0	80,0	36,0	2,33	15,0
1,60	44,0	82,0	44,0	2,47	18,0	5,40	26,0	61,0	26,0	2,73	10,0
1,80	42,0	79,0	42,0	2,47	17,0	5,60	25,0	66,0	25,0	1,80	14,0
2,00	35,0	72,0	35,0	2,20	16,0	5,80	24,0	51,0	24,0	2,07	12,0
2,20	19,0	52,0	19,0	1,60	12,0	6,00	27,0	58,0	27,0	1,13	24,0
2,40	27,0	51,0	27,0	1,27	21,0	6,20	19,0	36,0	19,0	0,93	20,0
2,60	23,0	42,0	23,0	0,93	25,0	6,40	22,0	36,0	22,0	0,93	24,0
2,80	26,0	40,0	26,0	1,13	23,0	6,60	24,0	38,0	24,0	0,73	33,0
3,00	18,0	35,0	18,0	0,80	22,0	6,80	22,0	33,0	22,0	1,00	22,0
3,20	18,0	30,0	18,0	0,93	19,0	7,00	29,0	44,0	29,0	1,07	27,0
3,40	22,0	36,0	22,0	1,13	19,0	7,20	26,0	42,0	26,0	1,87	14,0
3,60	23,0	40,0	23,0	1,33	17,0	7,40	194,0	222,0	194,0	0,93	208,0
3,80	22,0	42,0	22,0	1,93	11,0	7,60	455,0	469,0	455,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 7**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,73	----	3,20	29,0	52,0	29,0	1,87	16,0
0,40	47,0	73,0	47,0	1,40	34,0	3,40	31,0	59,0	31,0	2,20	14,0
0,60	68,0	89,0	68,0	2,13	32,0	3,60	32,0	65,0	32,0	2,53	13,0
0,80	66,0	98,0	66,0	1,47	45,0	3,80	36,0	74,0	36,0	2,47	15,0
1,00	72,0	94,0	72,0	1,93	37,0	4,00	41,0	78,0	41,0	2,67	15,0
1,20	62,0	91,0	62,0	1,80	34,0	4,20	38,0	78,0	38,0	2,40	16,0
1,40	64,0	91,0	64,0	1,73	37,0	4,40	37,0	73,0	37,0	2,40	15,0
1,60	62,0	88,0	62,0	2,33	27,0	4,60	35,0	71,0	35,0	2,40	15,0
1,80	58,0	93,0	58,0	2,40	24,0	4,80	37,0	73,0	37,0	2,60	14,0
2,00	32,0	68,0	32,0	2,73	12,0	5,00	31,0	70,0	31,0	1,33	23,0
2,20	19,0	60,0	19,0	1,93	10,0	5,20	26,0	46,0	26,0	1,80	14,0
2,40	20,0	49,0	20,0	1,27	16,0	5,40	36,0	63,0	36,0	1,60	22,0
2,60	18,0	37,0	18,0	1,13	16,0	5,60	48,0	72,0	48,0	1,20	40,0
2,80	23,0	40,0	23,0	1,07	22,0	5,80	468,0	486,0	468,0	-----	----
3,00	25,0	41,0	25,0	1,53	16,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 8**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,33	----	3,60	27,0	54,0	27,0	1,93	14,0
0,40	29,0	34,0	29,0	0,93	31,0	3,80	40,0	69,0	40,0	1,80	22,0
0,60	68,0	82,0	68,0	1,13	60,0	4,00	43,0	70,0	43,0	2,20	20,0
0,80	79,0	96,0	79,0	2,00	40,0	4,20	52,0	85,0	52,0	2,80	19,0
1,00	88,0	118,0	88,0	2,20	40,0	4,40	54,0	96,0	54,0	2,67	20,0
1,20	83,0	116,0	83,0	3,33	25,0	4,60	44,0	84,0	44,0	2,87	15,0
1,40	69,0	119,0	69,0	2,07	33,0	4,80	42,0	85,0	42,0	2,80	15,0
1,60	66,0	97,0	66,0	2,20	30,0	5,00	48,0	90,0	48,0	2,67	18,0
1,80	64,0	97,0	64,0	2,60	25,0	5,20	52,0	92,0	52,0	2,67	19,0
2,00	39,0	78,0	39,0	2,73	14,0	5,40	43,0	83,0	43,0	1,73	25,0
2,20	29,0	70,0	29,0	2,07	14,0	5,60	60,0	86,0	60,0	1,47	41,0
2,40	26,0	57,0	26,0	1,60	16,0	5,80	38,0	60,0	38,0	1,20	32,0
2,60	25,0	49,0	25,0	1,60	16,0	6,00	78,0	96,0	78,0	1,47	53,0
2,80	26,0	50,0	26,0	1,20	22,0	6,20	55,0	77,0	55,0	2,33	24,0
3,00	27,0	45,0	27,0	1,20	22,0	6,40	119,0	154,0	119,0	2,27	53,0
3,20	28,0	46,0	28,0	1,67	17,0	6,60	499,0	533,0	499,0	-----	----
3,40	26,0	51,0	26,0	1,80	14,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

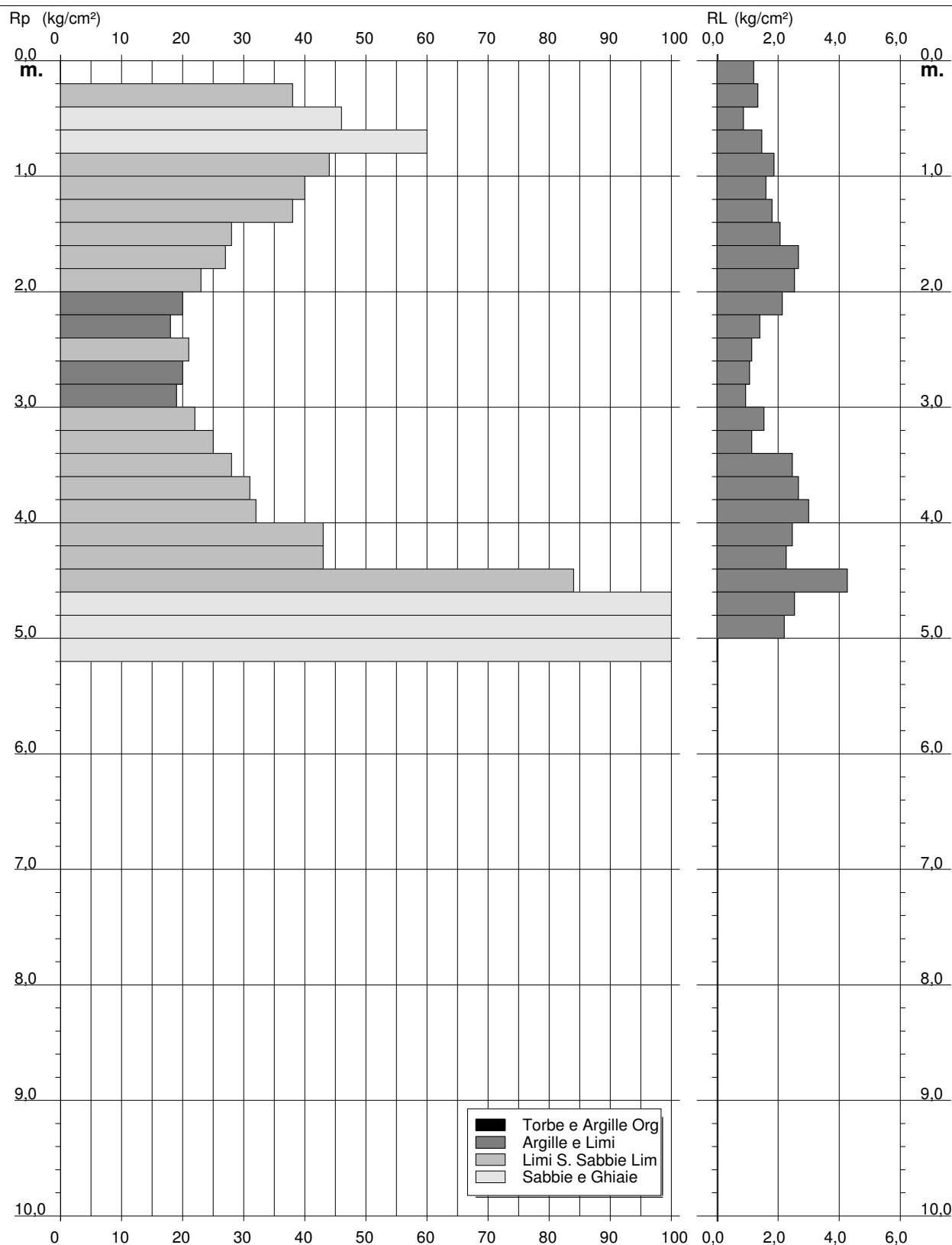
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



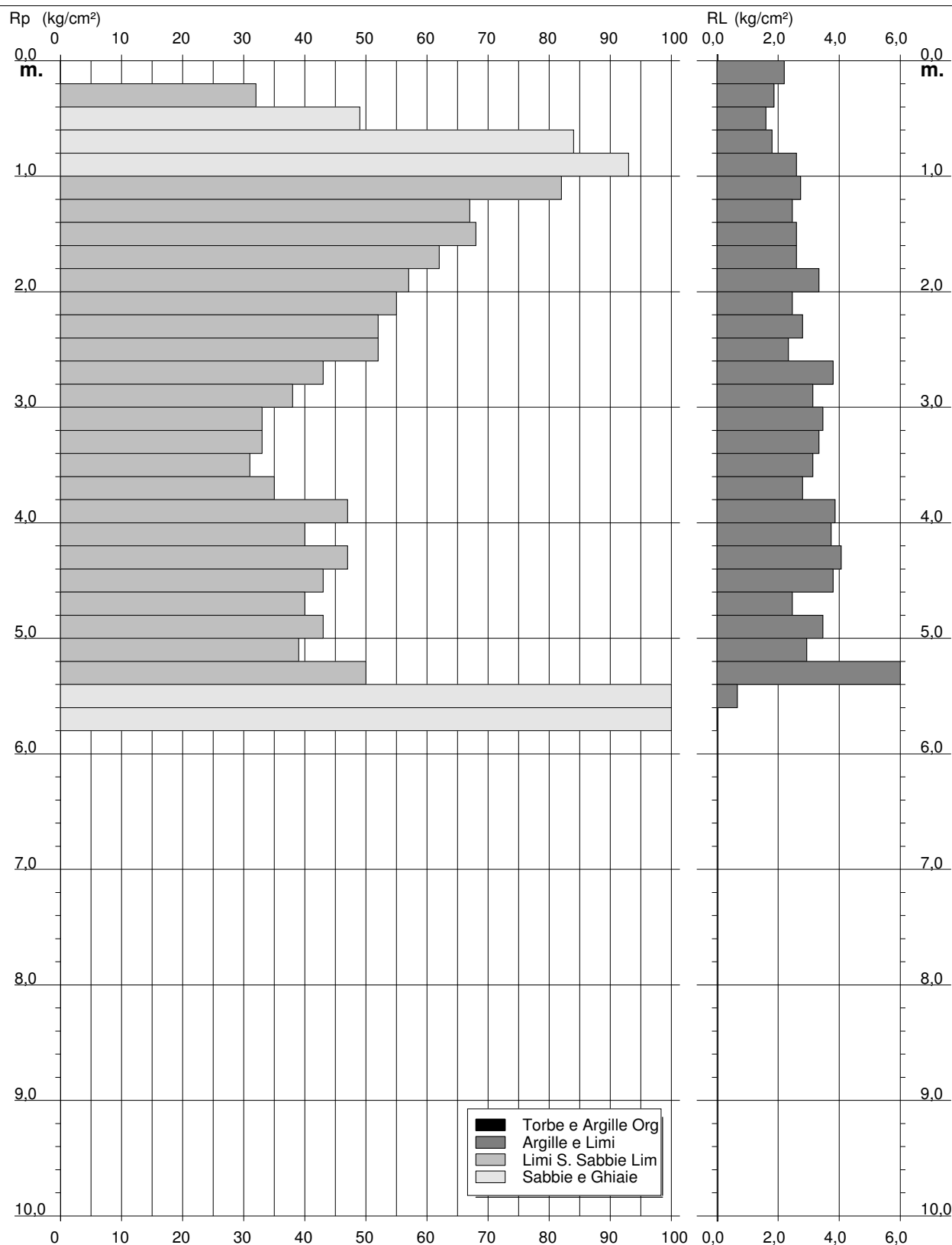
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



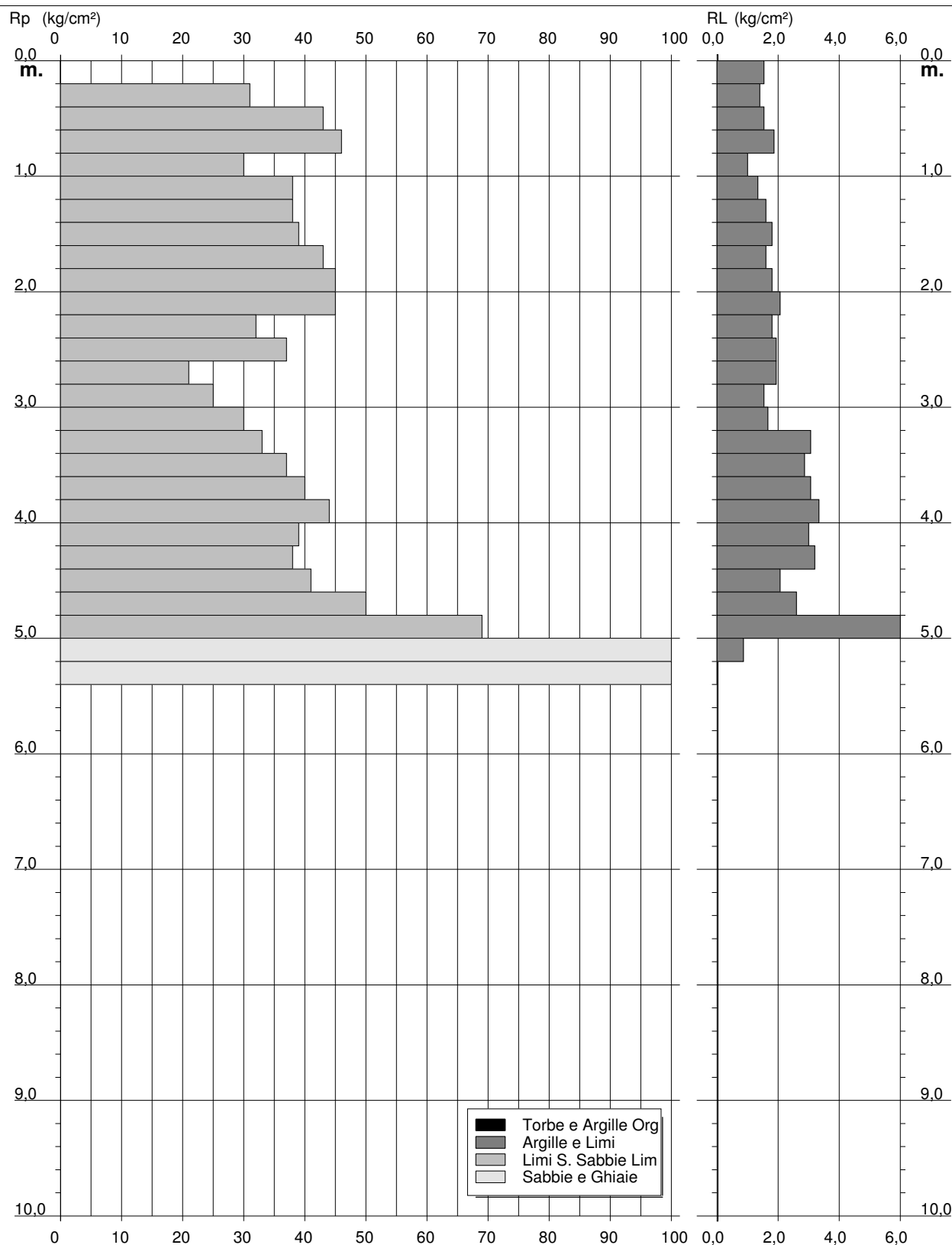
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



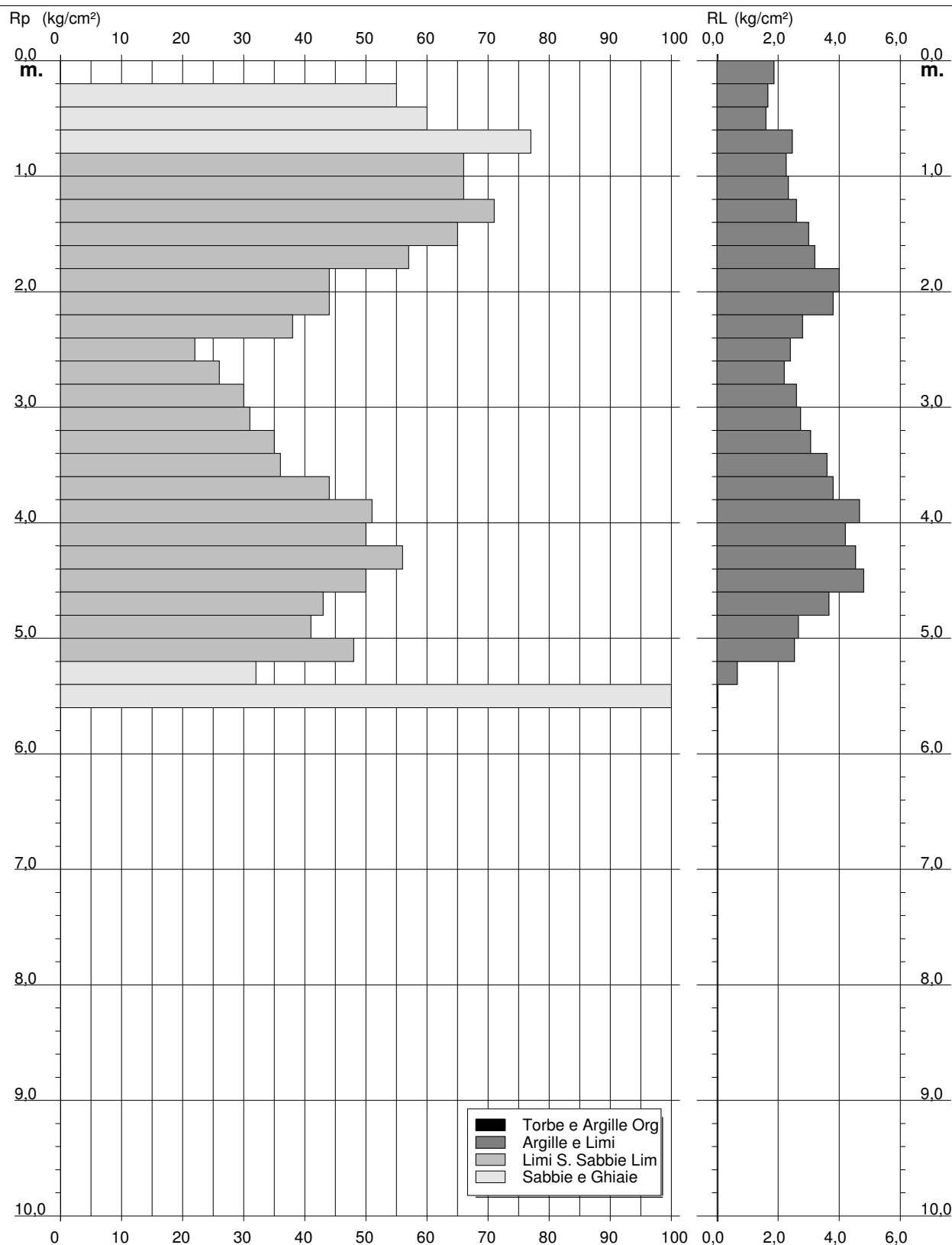
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



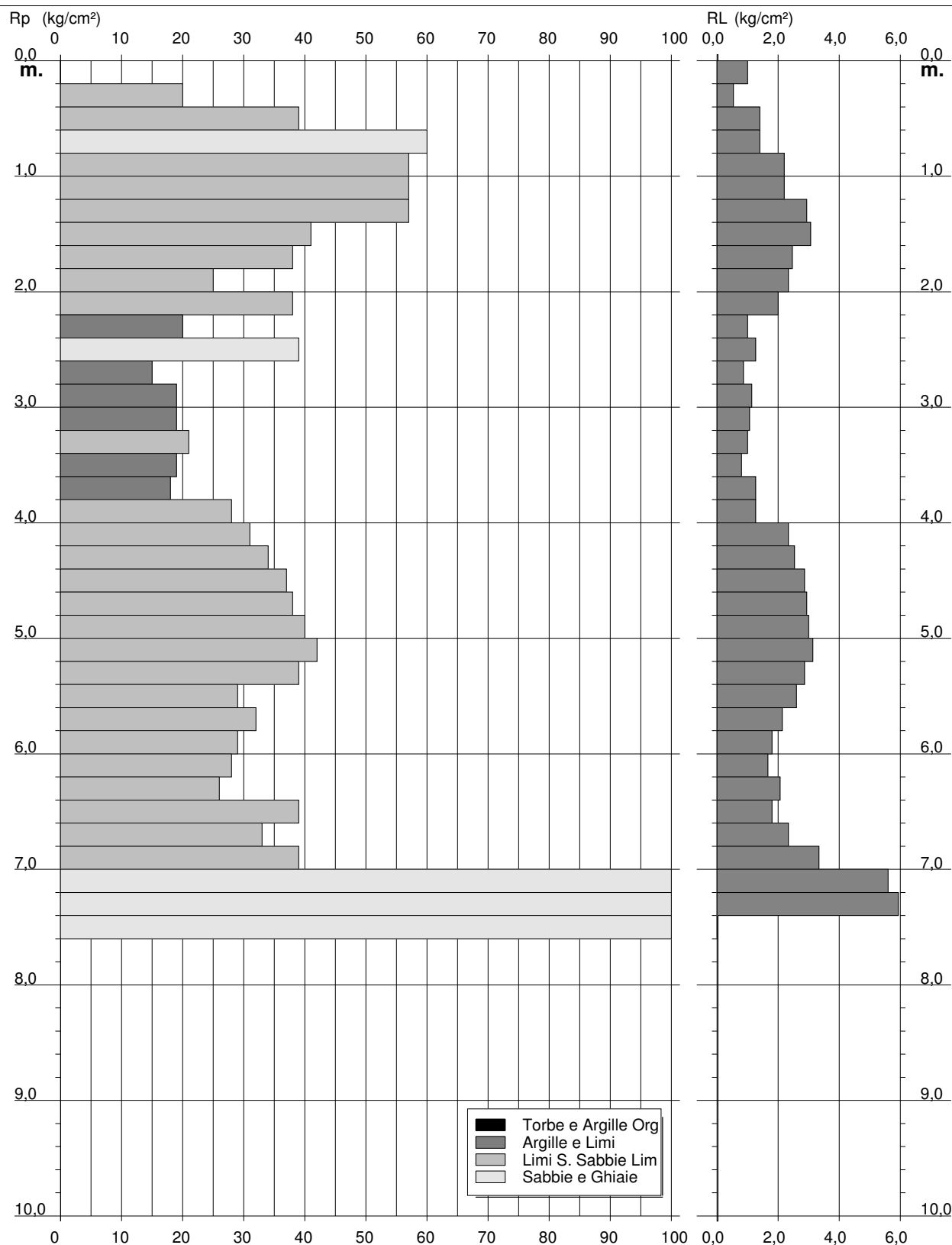
PROVA PENETROMETRICA STATICA **DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT 5

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



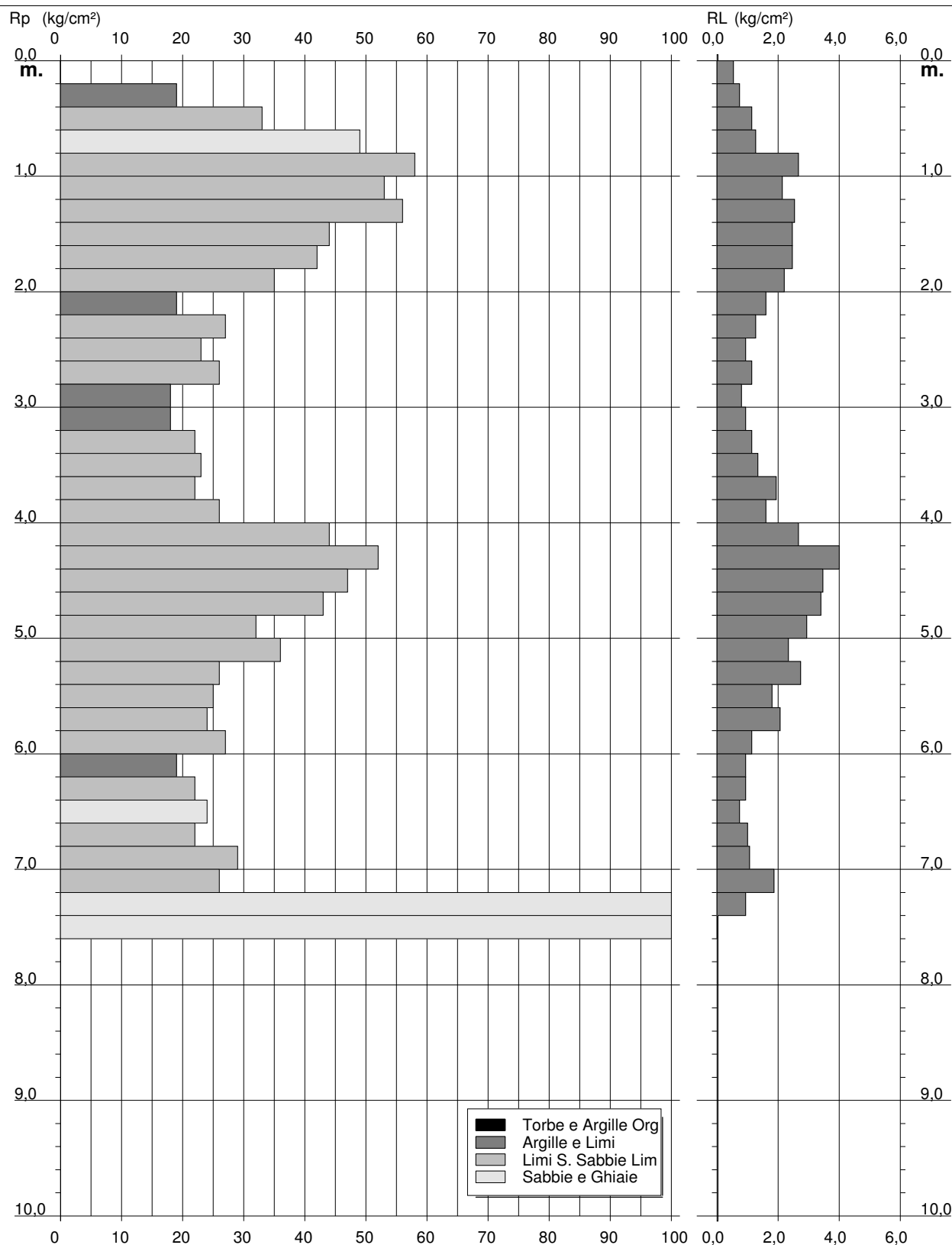
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 6

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



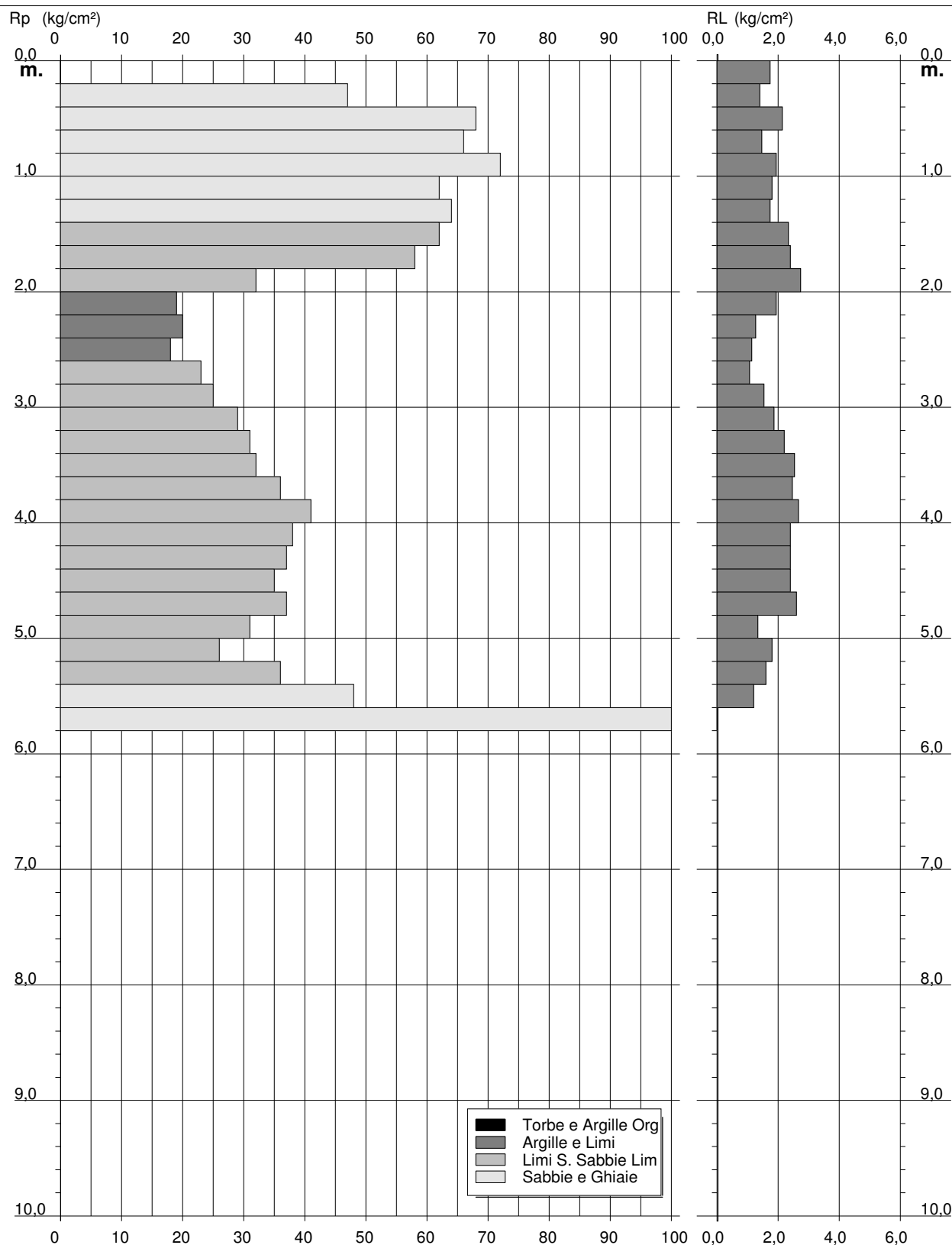
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 7

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



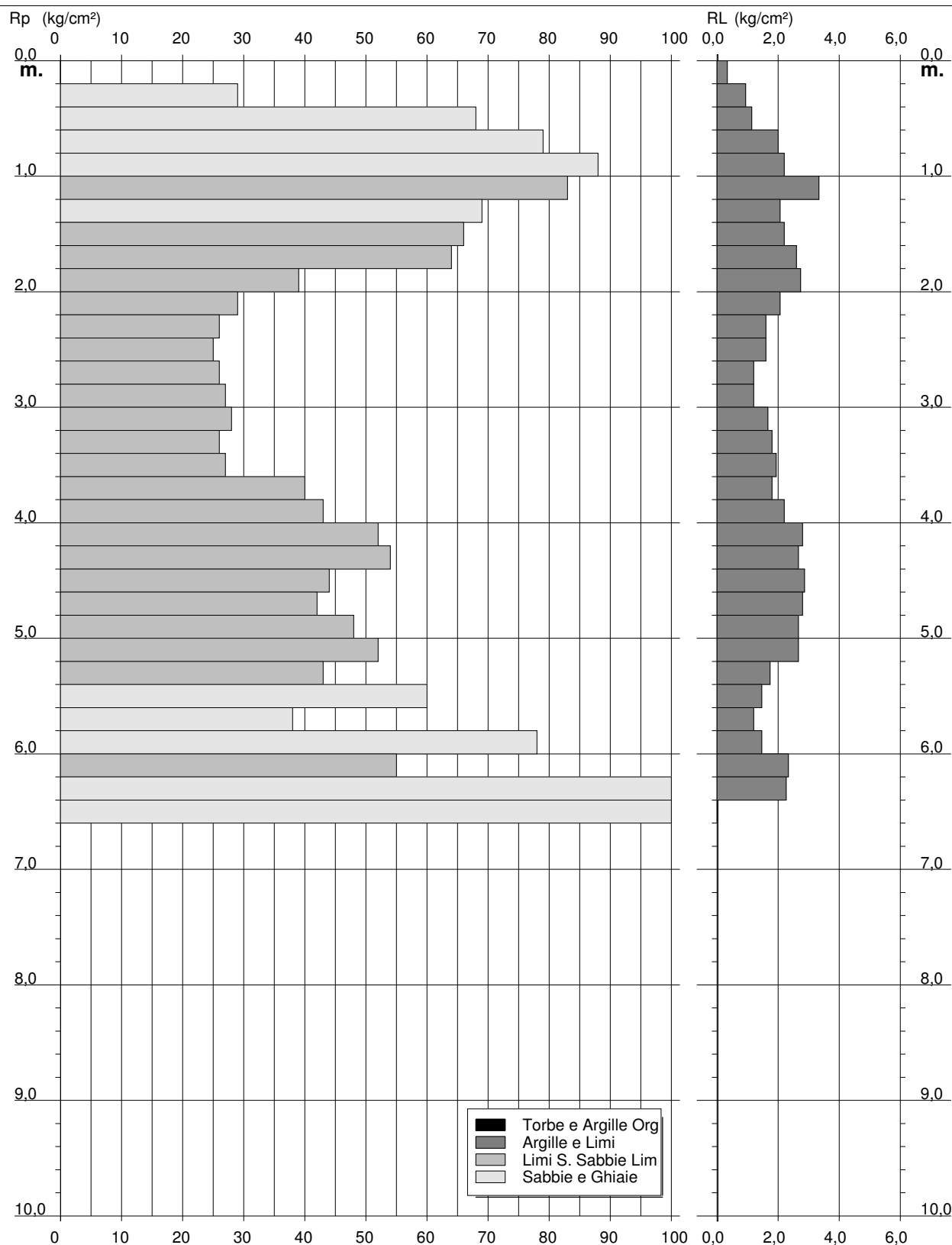
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



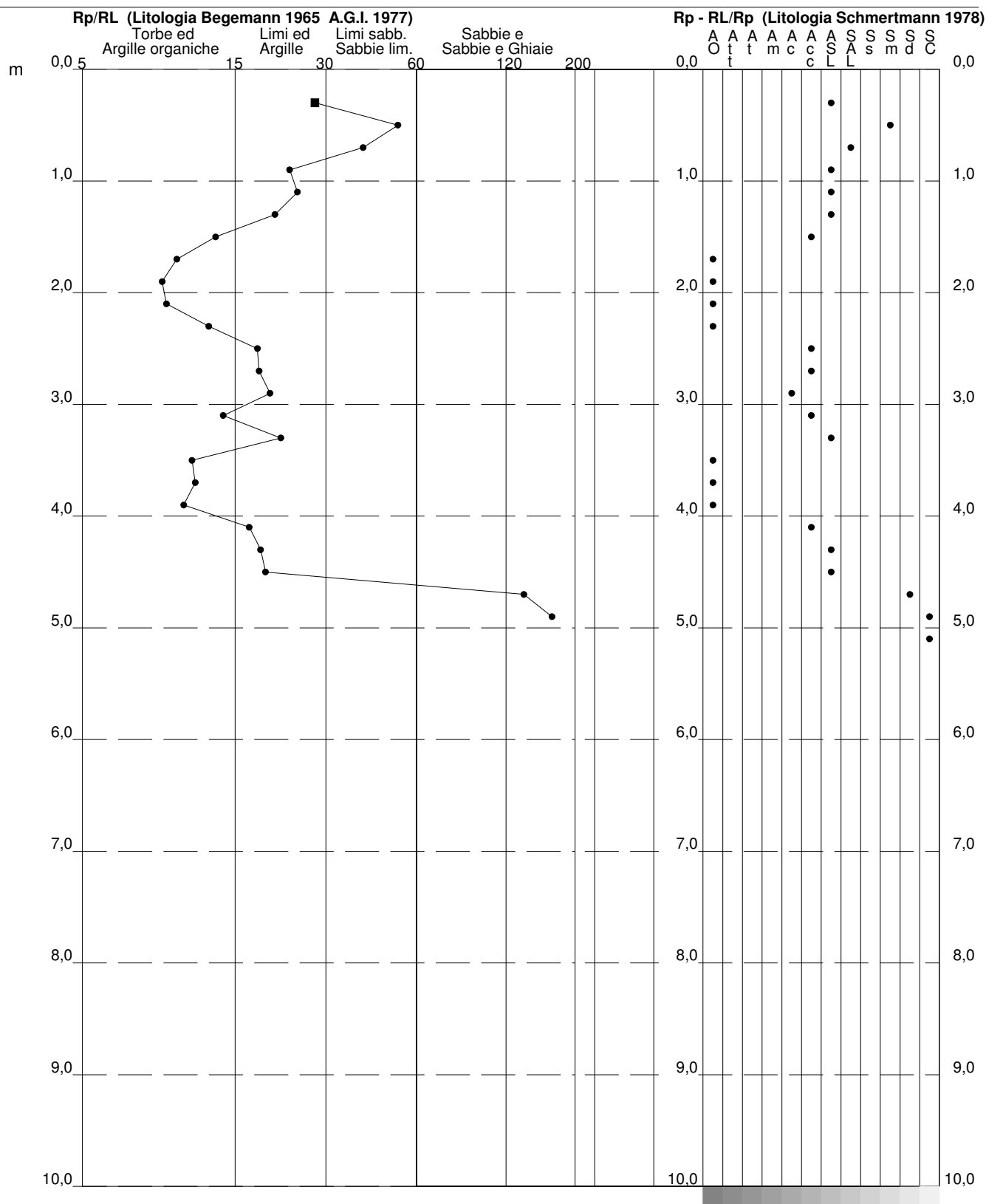
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



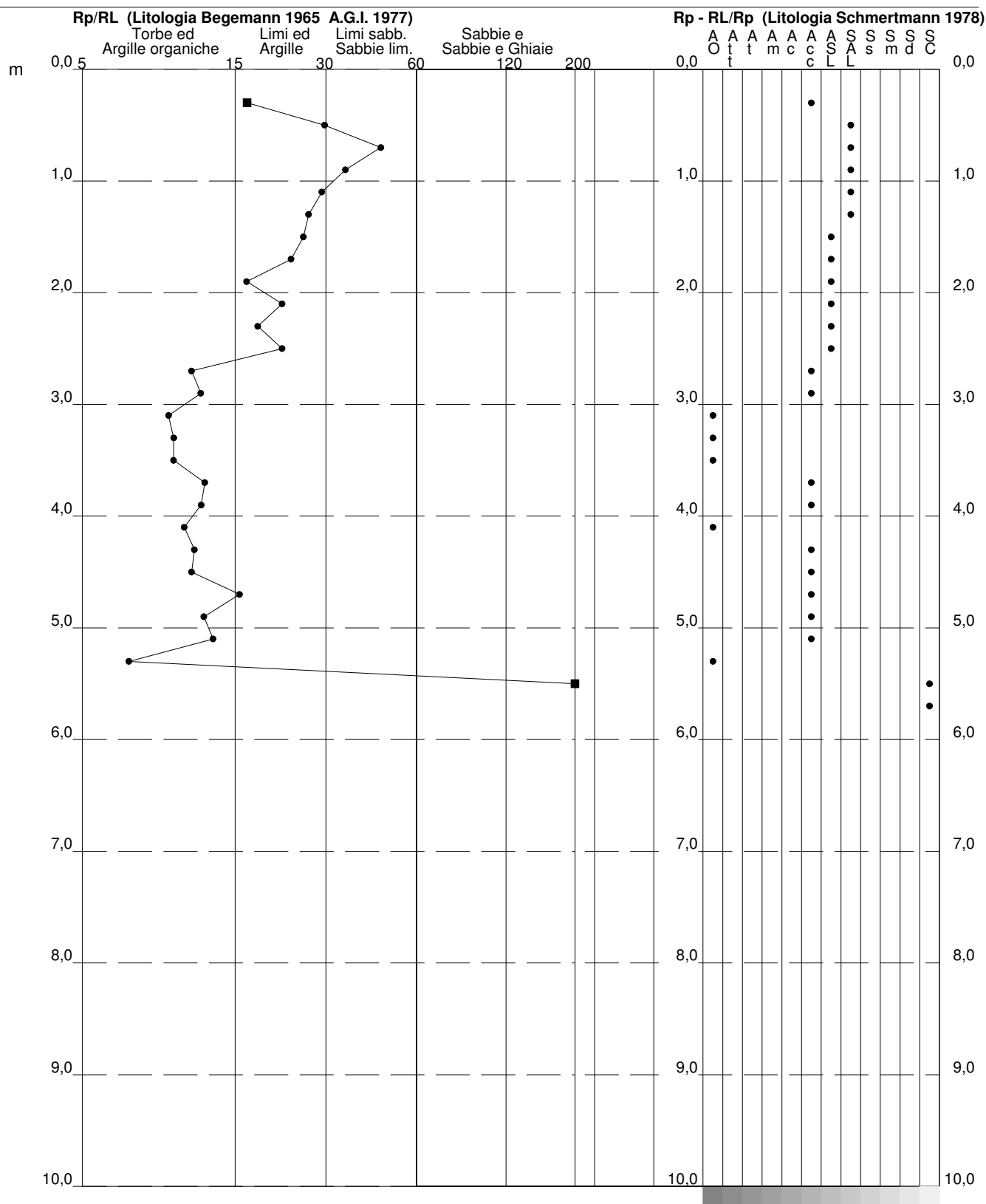
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



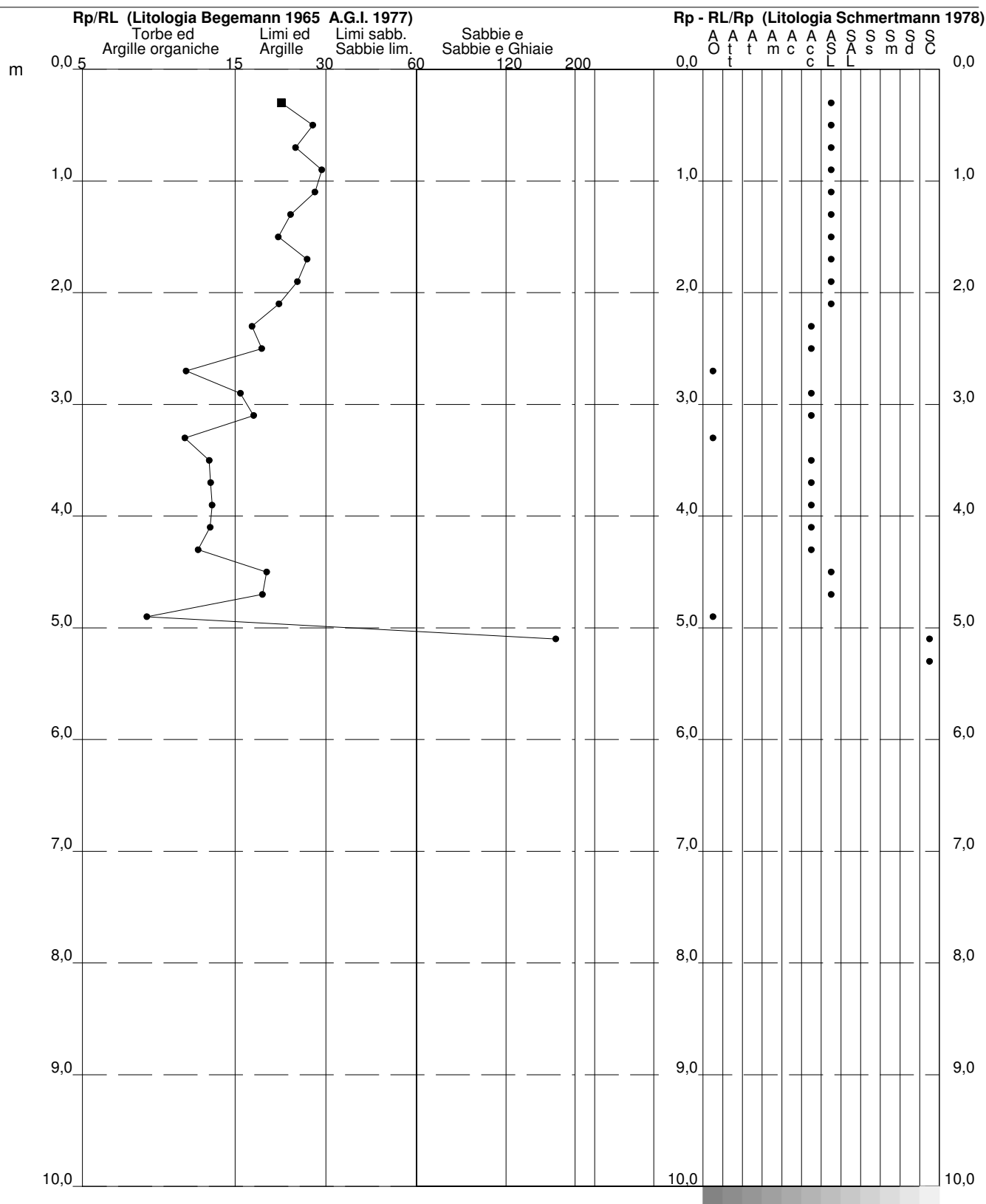
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



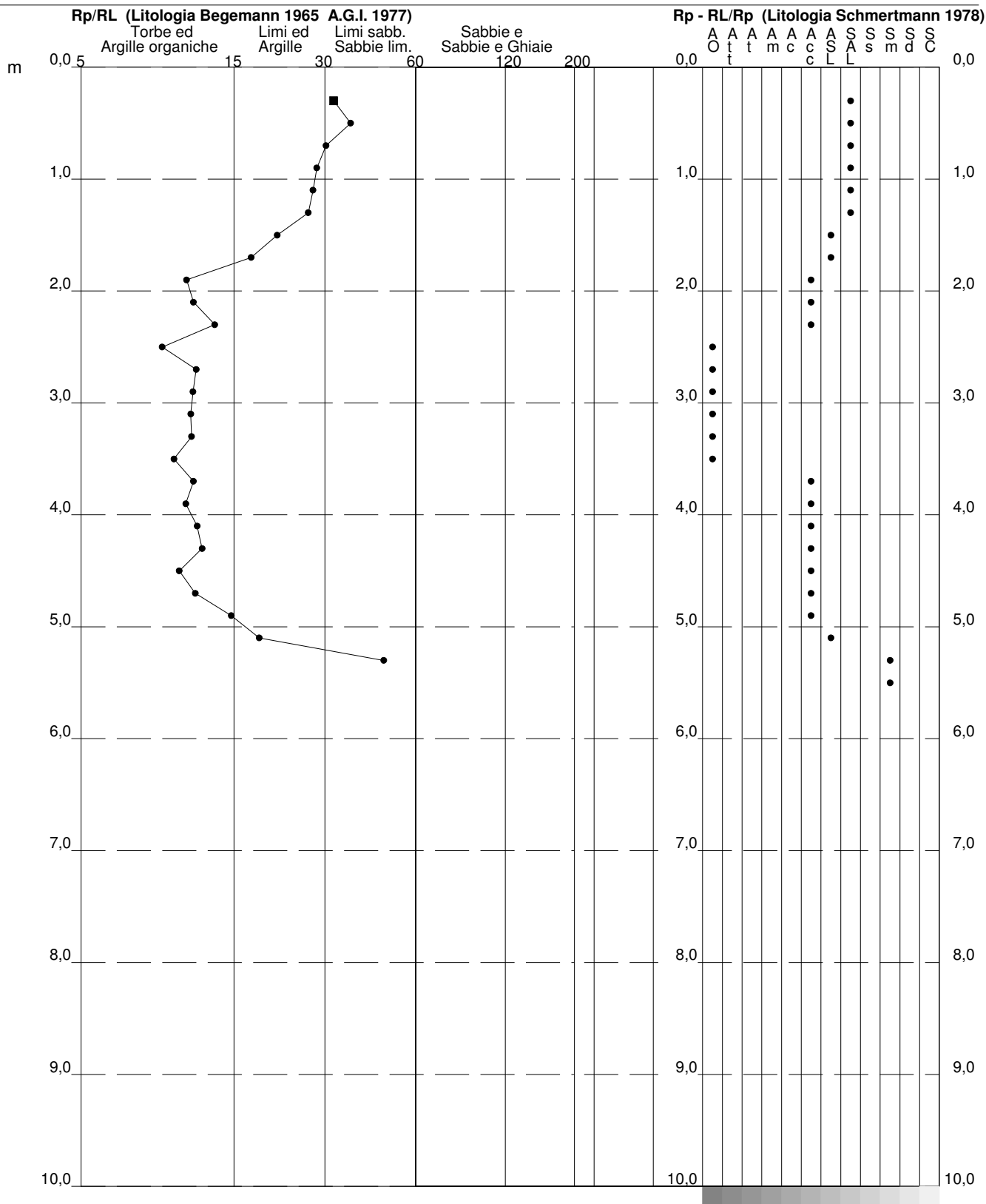
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 4

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



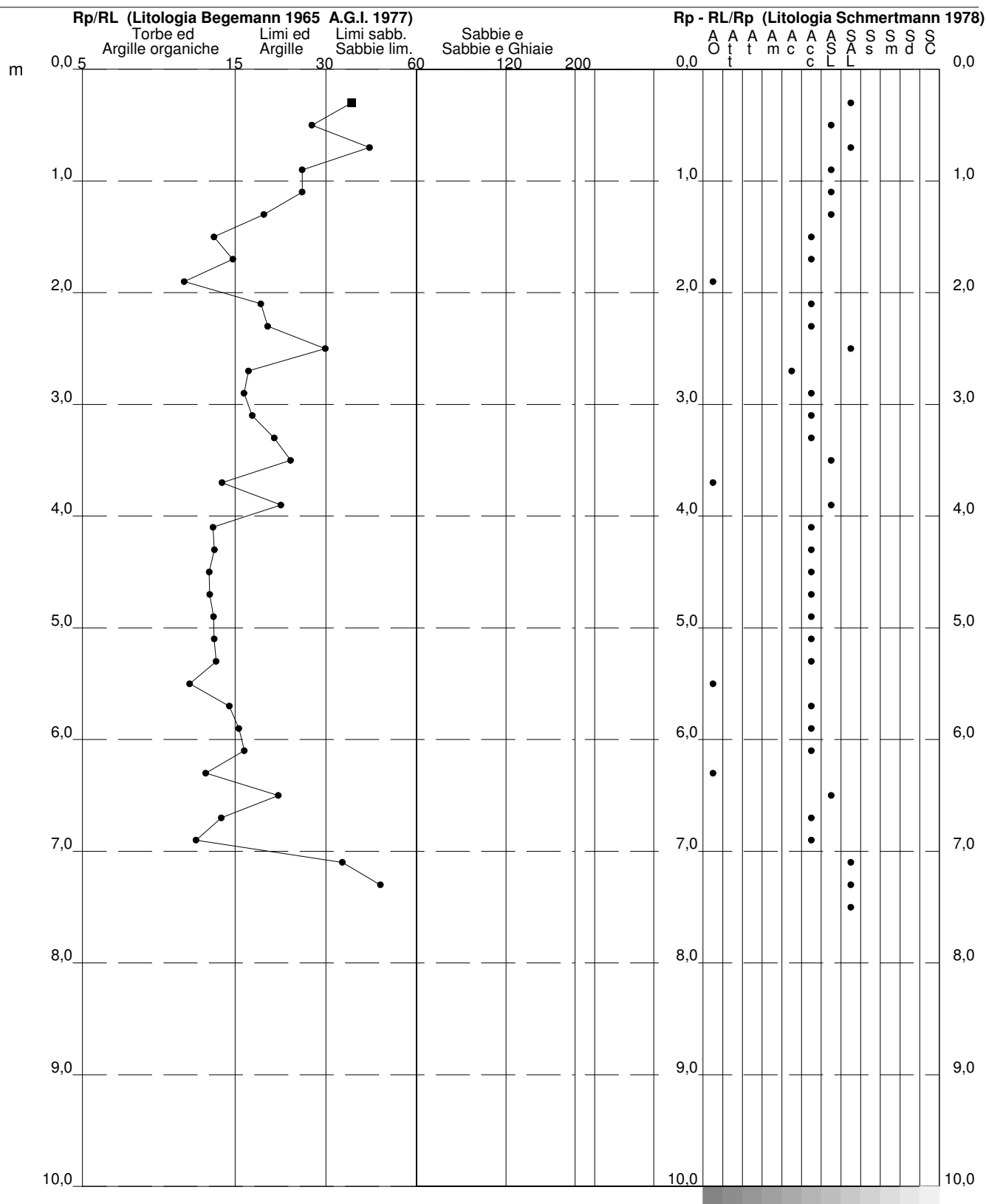
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 5

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



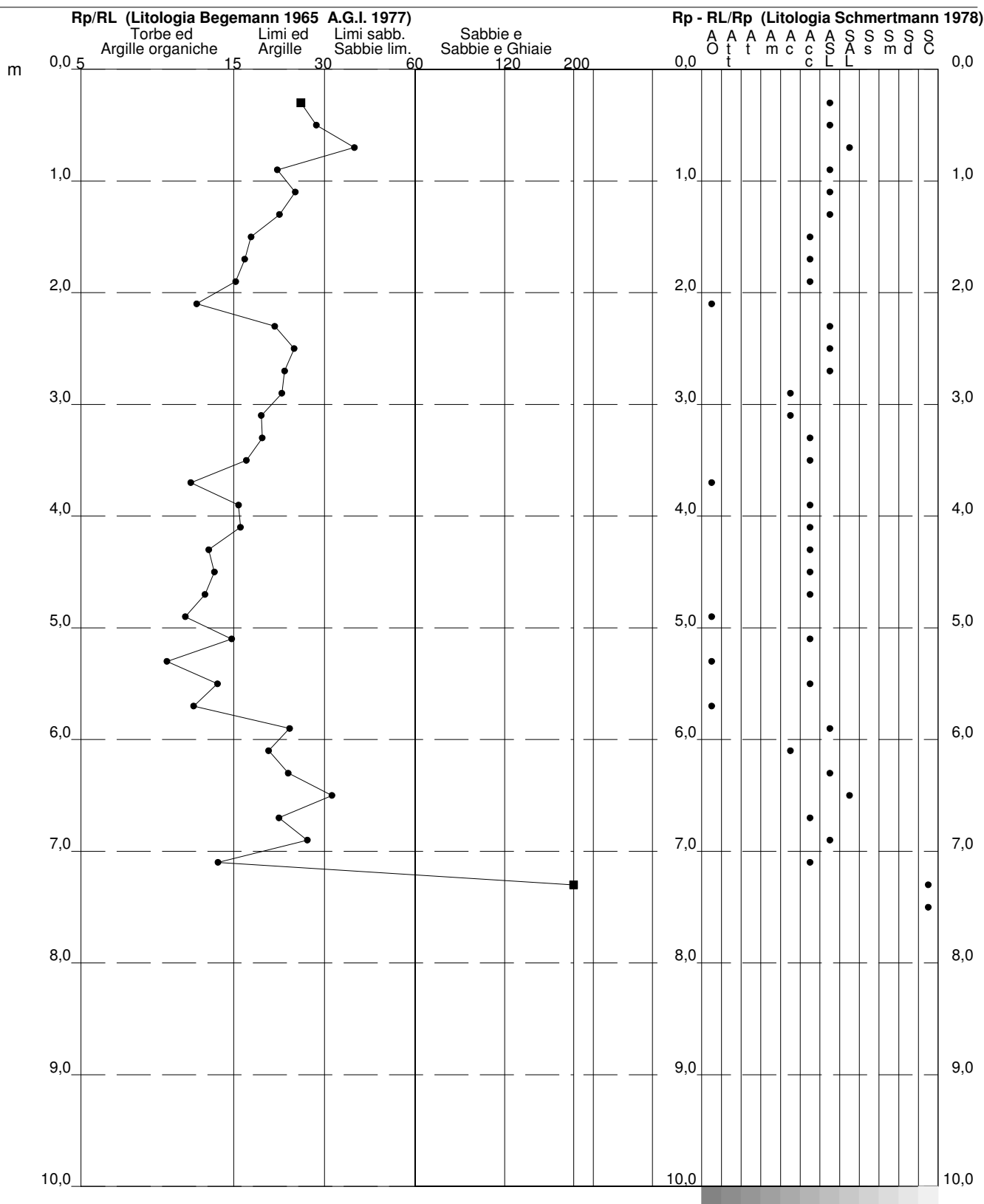
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 6

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



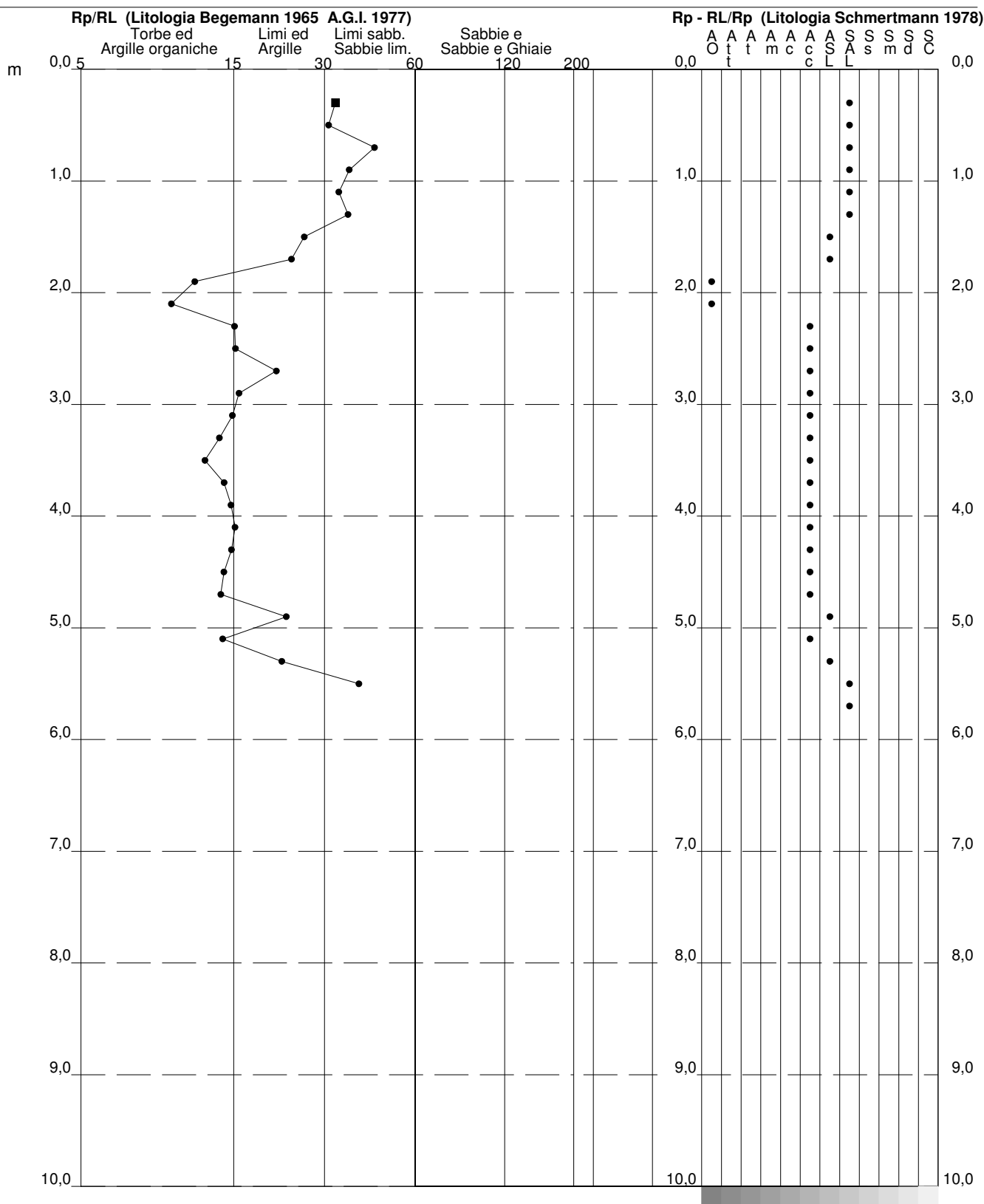
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 7

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



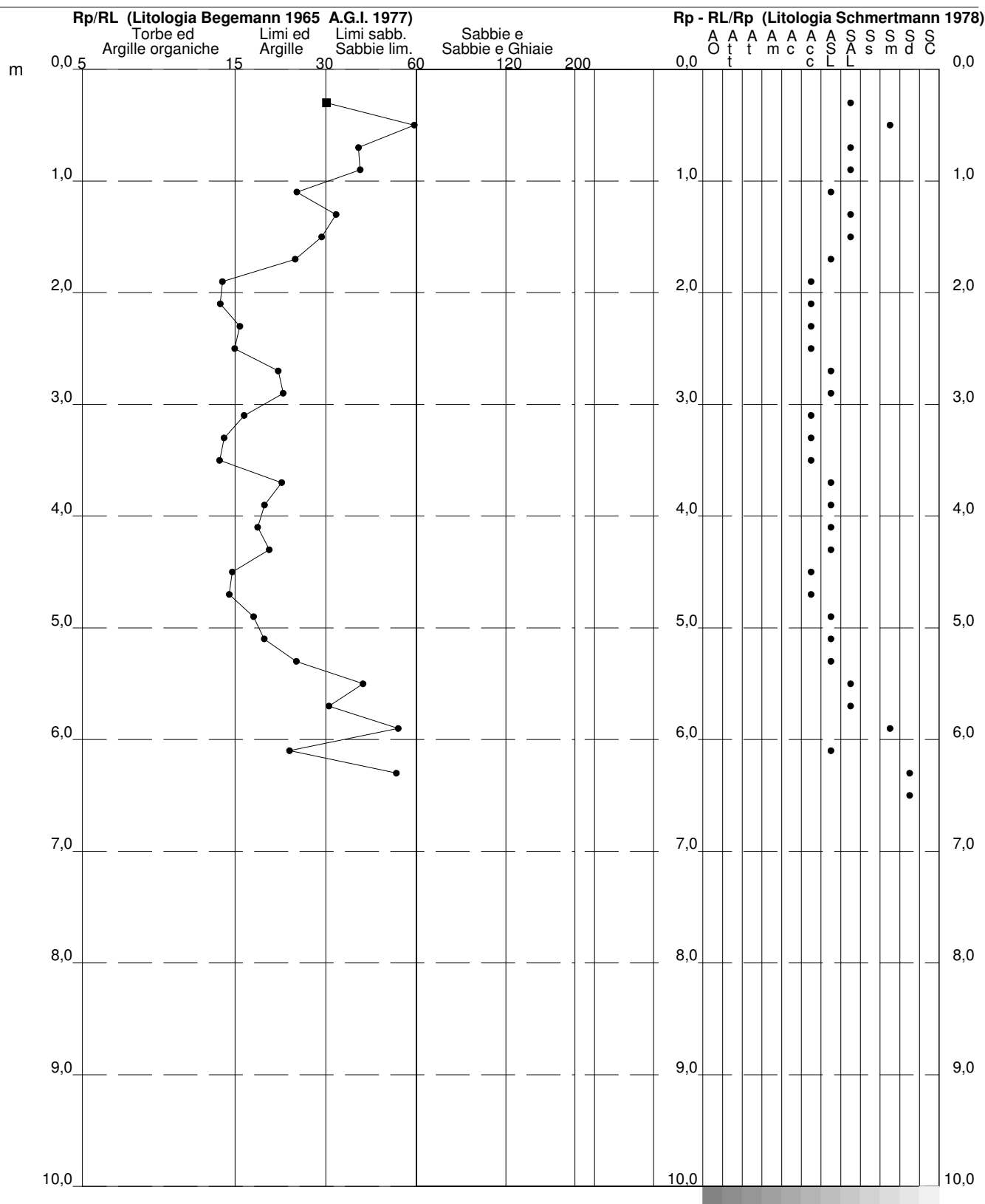
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 8

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- localit  : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,40	38	28	4/:/:	1,85	0,07	1,27	99,9	215	323	114	100	42	43	45	46	44	30	0,258	63	95	114		
0,60	46	53	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	99	42	43	44	46	43	31	0,255	77	115	138		
0,80	60	41	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	32	0,258	100	150	180		
1,00	44	24	4/:/:	1,85	0,19	1,47	83,5	249	374	132	85	40	41	43	45	41	31	0,206	73	110	132		
1,20	40	25	4/:/:	1,85	0,22	1,33	59,0	227	340	120	77	39	41	42	44	40	30	0,181	67	100	120		
1,40	38	21	4/:/:	1,85	0,26	1,27	45,7	215	323	114	72	38	40	42	44	39	30	0,164	63	95	114		
1,60	28	14	4/:/:	1,85	0,30	0,97	27,5	164	246	84	58	36	38	40	43	37	28	0,125	47	70	84		
1,80	27	10	4/:/:	1,85	0,33	0,95	23,2	161	242	81	54	36	38	40	42	36	28	0,114	45	68	81		
2,00	23	9	4/:/:	1,85	0,37	0,87	18,2	148	221	69	46	34	37	39	42	34	28	0,093	38	58	69		
2,20	20	9	4/:/:	1,85	0,41	0,80	14,6	136	204	60	39	33	36	38	41	33	27	0,077	33	50	60		
2,40	18	13	2///	1,85	0,44	0,75	12,1	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,60	21	19	4/:/:	1,85	0,48	0,82	12,3	140	210	63	36	33	36	38	41	32	27	0,071	35	53	63		
2,80	20	19	4/:/:	1,85	0,52	0,80	10,8	136	204	60	33	33	35	38	41	32	27	0,064	33	50	60		
3,00	19	20	2///	1,85	0,55	0,78	9,5	133	200	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,20	22	14	4/:/:	1,85	0,59	0,85	9,8	144	216	66	33	33	35	38	41	31	28	0,064	37	55	66		
3,40	25	22	4/:/:	1,85	0,63	0,91	9,9	155	232	75	36	33	36	38	41	32	28	0,070	42	63	75		
3,60	28	11	4/:/:	1,85	0,67	0,97	10,0	164	246	84	38	33	36	38	41	32	28	0,076	47	70	84		
3,80	31	12	4/:/:	1,85	0,70	1,03	10,2	176	264	93	40	34	36	39	41	32	29	0,081	52	78	93		
4,00	32	11	4/:/:	1,85	0,74	1,07	9,9	182	272	96	40	34	36	39	41	32	29	0,080	53	80	96		
4,20	43	17	4/:/:	1,85	0,78	1,43	13,5	244	366	129	49	35	37	39	42	34	30	0,102	72	108	129		
4,40	43	19	4/:/:	1,85	0,81	1,43	12,7	244	366	129	48	35	37	39	42	33	30	0,099	72	108	129		
4,60	84	20	4/:/:	1,85	0,85	2,80	27,8	476	714	252	70	38	40	42	44	37	33	0,159	140	210	252		
4,80	345	136	3:::	1,85	0,89	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	575	863	1035		
5,00	370	168	3:::	1,85	0,93	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	617	925	1110		
5,20	400	--	3:::	1,85	0,96	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	667	1000	1200		

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,40	32	17	4/./	1,85	0,07	1,07	99,9	181	272	96	96	41	43	44	46	43	29	0,245	53	80	96		
0,60	49	31	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	31	0,258	82	123	147		
0,80	84	47	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	33	0,258	140	210	252		
1,00	93	36	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	33	0,258	155	233	279		
1,20	82	30	4/./	1,85	0,22	2,73	99,9	465	697	246	100	42	43	45	46	43	33	0,258	137	205	246		
1,40	67	27	4/./	1,85	0,26	2,23	92,8	380	570	201	91	41	42	44	45	41	32	0,227	112	168	201		
1,60	68	26	4/./	1,85	0,30	2,27	80,0	385	578	204	88	40	42	43	45	41	32	0,218	113	170	204		
1,80	62	24	4/./	1,85	0,33	2,07	61,5	351	527	186	82	40	41	43	45	40	32	0,198	103	155	186		
2,00	57	17	4/./	1,85	0,37	1,90	48,5	323	485	171	77	39	40	42	44	39	31	0,180	95	143	171		
2,20	55	22	4/./	1,85	0,41	1,83	41,2	312	467	165	73	38	40	42	44	38	31	0,169	92	138	165		
2,40	52	19	4/./	1,85	0,44	1,73	34,5	295	442	156	69	38	40	42	44	38	31	0,157	87	130	156		
2,60	52	22	4/./	1,85	0,48	1,73	31,2	295	442	156	67	37	39	41	43	37	31	0,151	87	130	156		
2,80	43	11	4/./	1,85	0,52	1,43	22,4	244	366	129	59	36	38	40	43	36	30	0,128	72	108	129		
3,00	38	12	4/./	1,85	0,55	1,27	17,6	215	323	114	53	35	38	40	42	35	30	0,112	63	95	114		
3,20	33	10	4/./	1,85	0,59	1,10	13,6	187	281	99	47	35	37	39	42	34	29	0,096	55	83	99		
3,40	33	10	4/./	1,85	0,63	1,10	12,6	187	281	99	45	34	37	39	42	33	29	0,092	55	83	99		
3,60	31	10	4/./	1,85	0,67	1,03	10,9	176	264	93	42	34	36	39	41	33	29	0,084	52	78	93		
3,80	35	13	4/./	1,85	0,70	1,17	11,8	198	298	105	45	34	37	39	42	33	29	0,090	58	88	105		
4,00	47	12	4/./	1,85	0,74	1,57	16,0	266	400	141	53	35	38	40	42	34	31	0,113	78	118	141		
4,20	40	11	4/./	1,85	0,78	1,33	12,3	227	340	120	47	35	37	39	42	33	30	0,096	67	100	120		
4,40	47	12	4/./	1,85	0,81	1,57	14,2	266	400	141	51	35	37	40	42	34	31	0,107	78	118	141		
4,60	43	11	4/./	1,85	0,85	1,43	12,0	244	366	129	47	35	37	39	42	33	30	0,096	72	108	129		
4,80	40	16	4/./	1,85	0,89	1,33	10,4	227	340	120	43	34	36	39	41	33	30	0,088	67	100	120		
5,00	43	12	4/./	1,85	0,93	1,43	10,9	244	366	129	45	34	37	39	42	33	30	0,091	72	108	129		
5,20	39	13	4/./	1,85	0,96	1,30	9,1	229	343	117	41	34	36	39	41	32	30	0,081	65	98	117		
5,40	50	7	4/./	1,85	1,00	1,67	11,9	283	425	150	48	35	37	39	42	33	31	0,099	83	125	150		
5,60	239	358	3:::	1,85	1,04	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	39	0,258	398	598	717		
5,80	455	--	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	758	1138	1365		

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,40	31	22	4/./	1,85	0,07	1,03	99,9	176	264	93	95	41	43	44	46	43	29	0,241	52	78	93		
0,60	43	28	4/./	1,85	0,11	1,43	99,9	244	366	129	97	42	43	44	46	43	30	0,246	72	108	129		
0,80	46	25	4/./	1,85	0,15	1,53	99,9	261	391	138	92	41	42	44	45	42	31	0,230	77	115	138		
1,00	30	30	4/./	1,85	0,19	1,00	51,7	170	255	90	72	38	40	42	44	39	29	0,164	50	75	90		
1,20	38	28	4/./	1,85	0,22	1,27	55,4	215	323	114	75	39	40	42	44	39	30	0,176	63	95	114		
1,40	38	24	4/./	1,85	0,26	1,27	45,7	215	323	114	72	38	40	42	44	39	30	0,164	63	95	114		
1,60	39	22	4/./	1,85	0,30	1,30	39,9	221	332	117	69	38	40	42	44	38	30	0,157	65	98	117		
1,80	43	27	4/./	1,85	0,33	1,43	38,9	244	366	129	70	38	40	42	44	38	30	0,159	72	108	129		
2,00	45	25	4/./	1,85	0,37	1,50	36,1	255	383	135	69	38	40	41	44	38	31	0,156	75	113	135		
2,20	45	22	4/./	1,85	0,41	1,50	32,1	255	383	135	66	37	39	41	43	38	31	0,149	75	113	135		
2,40	32	18	4/./	1,85	0,44	1,07	18,8	181	272	96	53	35	38	40	42	35	29	0,111	53	80	96		
2,60	37	19	4/./	1,85	0,48	1,23	20,4	210	315	111	56	36	38	40	42	36	30	0,119	62	93	111		
2,80	21	11	4/./	1,85	0,52	0,82	11,2	140	210	63	34	33	35	38	41	32	27	0,067	35	53	63		
3,00	25	16	4/./	1,85	0,55	0,91	11,6	155	232	75	39	33	36	38	41	33	28	0,077	42	63	75		
3,20	30	18	4/./	1,85	0,59	1,00	12,1	170	255	90	43	34	36	39	41	33	29	0,088	50	75	90		
3,40	33	11	4/./	1,85	0,63	1,10	12,6	187	281	99	45	34	37	39	42	33	29	0,092	55	83	99		
3,60	37	13	4/./	1,85	0,67	1,23	13,6	210	315	111	48	35	37	39	42	34	30	0,098	62	93	111		
3,80	40	13	4/./	1,85	0,70	1,33	14,0	227	340	120	49	35	37	39	42	34	30	0,102	67	100	120		
4,00	44	13	4/./	1,85	0,74	1,47	14,8	249	374	132	51	35	37	40	42	34	31	0,107	73	110	132		
4,20	39	13	4/./	1,85	0,78	1,30	11,9	221	332	117	46	34	37	39	42	33	30	0,094	65	98	117		
4,40	38	12	4/./	1,85	0,81	1,27	10,9	215	323	114	44	34	37	39	42	33	30	0,089	63	95	114		
4,60	41	20	4/./	1,85	0,85	1,37	11,4	232	349	123	45	34	37	39	42	33	30	0,092	68	103	123		
4,80	50	19	4/./	1,85	0,89	1,67	13,8	283	425	150	51	35	37	40	42	34	31	0,107	83	125	150		
5,00	69	8	4/./	1,85	0,93	2,30	19,6	391	586	207	61	37	39	41	43	35	32	0,134	115	173	207		
5,20	150	173	3:::	1,85	0,96	--	--	--	--	--	87	40	42	43	45	39	36	0,212	250	375	450		
5,40	456	--	3:::	1,85	1,00	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	760	1140	1368		

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 4

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,40	55	33	3:::	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	31	0,258	92	138	165		
0,60	60	37	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	32	0,258	100	150	180		
0,80	77	31	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	33	0,258	128	193	231		
1,00	66	29	4/::	1,85	0,19	2,20	99,9	374	561	198	99	42	43	44	46	43	32	0,254	110	165	198		
1,20	66	28	4/::	1,85	0,22	2,20	99,9	374	561	198	94	41	43	44	46	42	32	0,238	110	165	198		
1,40	71	27	4/::	1,85	0,26	2,37	99,7	402	604	213	93	41	42	44	45	41	32	0,234	118	178	213		
1,60	65	22	4/::	1,85	0,30	2,17	75,6	368	553	195	87	40	42	43	45	40	32	0,213	108	163	195		
1,80	57	18	4/::	1,85	0,33	1,90	55,4	323	485	171	79	39	41	43	44	39	31	0,188	95	143	171		
2,00	44	11	4/::	1,85	0,37	1,47	35,1	249	374	132	68	38	39	41	43	38	31	0,153	73	110	132		
2,20	44	12	4/::	1,85	0,41	1,47	31,2	249	374	132	66	37	39	41	43	37	31	0,147	73	110	132		
2,40	38	14	4/::	1,85	0,44	1,27	23,3	215	323	114	59	36	38	40	43	36	30	0,126	63	95	114		
2,60	22	9	4/::	1,85	0,48	0,85	12,7	144	216	66	38	33	36	38	41	33	28	0,075	37	55	66		
2,80	26	12	4/::	1,85	0,52	0,93	13,0	158	237	78	42	34	36	39	41	33	28	0,084	43	65	78		
3,00	30	12	4/::	1,85	0,55	1,00	13,1	170	255	90	45	34	37	39	42	34	29	0,092	50	75	90		
3,20	31	11	4/::	1,85	0,59	1,03	12,6	176	264	93	45	34	37	39	42	33	29	0,090	52	78	93		
3,40	35	11	4/::	1,85	0,63	1,17	13,6	198	298	105	47	35	37	39	42	34	29	0,097	58	88	105		
3,60	36	10	4/::	1,85	0,67	1,20	13,1	204	306	108	47	35	37	39	42	34	30	0,096	60	90	108		
3,80	44	12	4/::	1,85	0,70	1,47	15,7	249	374	132	52	35	38	40	42	34	31	0,110	73	110	132		
4,00	51	11	4/::	1,85	0,74	1,70	17,8	289	434	153	56	36	38	40	42	35	31	0,120	85	128	153		
4,20	50	12	4/::	1,85	0,78	1,67	16,3	283	425	150	54	36	38	40	42	35	31	0,115	83	125	150		
4,40	56	12	4/::	1,85	0,81	1,87	17,7	317	476	168	57	36	38	40	43	35	31	0,122	93	140	168		
4,60	50	10	4/::	1,85	0,85	1,67	14,5	283	425	150	52	35	38	40	42	34	31	0,109	83	125	150		
4,80	43	12	4/::	1,85	0,89	1,43	11,4	244	366	129	46	34	37	39	42	33	30	0,094	72	108	129		
5,00	41	15	4/::	1,85	0,93	1,37	10,2	232	349	123	43	34	36	39	41	32	30	0,087	68	103	123		
5,20	48	19	4/::	1,85	0,96	1,60	11,9	272	408	144	48	35	37	39	42	33	31	0,098	80	120	144		
5,40	32	48	3:::	1,85	1,00	--	--	--	--	--	33	33	35	38	41	31	29	0,064	53	80	96		
5,60	390	--	3:::	1,85	1,04	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	650	975	1170		

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 5

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,40	20	37	4/./	1,85	0,07	0,80	99,9	136	204	60	80	39	41	43	44	41	27	0,191	33	50	60		
0,60	39	28	4/./	1,85	0,11	1,30	99,9	221	332	117	93	41	42	44	45	42	30	0,234	65	98	117		
0,80	60	43	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	32	0,258	100	150	180		
1,00	57	26	4/./	1,85	0,19	1,90	99,9	323	485	171	94	41	43	44	46	42	31	0,236	95	143	171		
1,20	57	26	4/./	1,85	0,22	1,90	91,9	323	485	171	89	41	42	44	45	41	31	0,221	95	143	171		
1,40	57	19	4/./	1,85	0,26	1,90	75,8	323	485	171	86	40	42	43	45	41	31	0,208	95	143	171		
1,60	41	13	4/./	1,85	0,30	1,37	42,5	232	349	123	71	38	40	42	44	39	30	0,162	68	103	123		
1,80	38	15	4/./	1,85	0,33	1,27	33,4	215	323	114	66	37	39	41	43	38	30	0,146	63	95	114		
2,00	25	11	4/./	1,85	0,37	0,91	19,3	155	232	75	49	35	37	39	42	35	28	0,100	42	63	75		
2,20	38	19	4/./	1,85	0,41	1,27	26,0	215	323	114	61	36	39	41	43	37	30	0,132	63	95	114		
2,40	20	20	4/./	1,85	0,44	0,80	13,1	136	204	60	36	33	36	38	41	33	27	0,072	33	50	60		
2,60	39	31	3:::	1,85	0,48	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	36	30	0,124	65	98	117		
2,80	15	17	2///	1,85	0,52	0,67	8,6	123	184	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,00	19	17	2///	1,85	0,55	0,78	9,5	133	200	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,20	19	18	2///	1,85	0,59	0,78	8,8	140	210	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,40	21	21	4/./	1,85	0,63	0,82	8,8	149	223	63	30	32	35	37	40	31	27	0,057	35	53	63		
3,60	19	24	2///	1,85	0,67	0,78	7,6	162	244	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,80	18	14	2///	1,85	0,70	0,75	6,8	178	267	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,00	28	22	4/./	1,85	0,74	0,97	8,8	175	263	84	36	33	36	38	41	32	28	0,070	47	70	84		
4,20	31	13	4/./	1,85	0,78	1,03	9,0	184	276	93	38	33	36	38	41	32	29	0,075	52	78	93		
4,40	34	13	4/./	1,85	0,81	1,13	9,5	195	293	102	40	34	36	39	41	32	29	0,080	57	85	102		
4,60	37	13	4/./	1,85	0,85	1,23	10,0	210	315	111	42	34	36	39	41	32	30	0,084	62	93	111		
4,80	38	13	4/./	1,85	0,89	1,27	9,8	216	324	114	42	34	36	39	41	32	30	0,084	63	95	114		
5,00	40	13	4/./	1,85	0,93	1,33	9,9	227	340	120	42	34	36	39	41	32	30	0,085	67	100	120		
5,20	42	13	4/./	1,85	0,96	1,40	10,0	238	357	126	43	34	36	39	41	32	30	0,087	70	105	126		
5,40	39	14	4/./	1,85	1,00	1,30	8,7	237	355	117	40	34	36	39	41	32	30	0,079	65	98	117		
5,60	29	11	4/./	1,85	1,04	0,98	5,9	276	414	87	29	32	35	37	40	30	29	0,055	48	73	87		
5,80	32	15	4/./	1,85	1,07	1,07	6,2	281	421	96	31	32	35	38	40	30	29	0,060	53	80	96		
6,00	29	16	4/./	1,85	1,11	0,98	5,4	302	453	87	27	32	34	37	40	29	29	0,051	48	73	87		
6,20	28	17	4/./	1,85	1,15	0,97	5,1	316	474	84	25	31	34	37	40	29	28	0,047	47	70	84		
6,40	26	13	4/./	1,85	1,18	0,93	4,6	330	494	78	22	31	34	37	40	29	28	0,041	43	65	78		
6,60	39	22	4/./	1,85	1,22	1,30	6,8	310	465	117	35	33	35	38	41	31	30	0,068	65	98	117		
6,80	33	14	4/./	1,85	1,26	1,10	5,3	344	515	99	28	32	35	37	40	30	29	0,054	55	83	99		
7,00	39	12	4/./	1,85	1,30	1,30	6,3	337	506	117	33	33	35	38	41	30	30	0,065	65	98	117		
7,20	196	35	3:::	1,85	1,33	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	39	38	0,217	327	490	588		
7,40	276	47	3:::	1,85	1,37	--	--	--	--	--	99	42	43	45	46	40	40	0,256	460	690	828		
7,60	366	--	3:::	1,85	1,41	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	610	915	1098		

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 6

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- località : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	19	26	2:///	1,85	0,07	0,78	99,9	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	33	29	4:/:	1,85	0,11	1,10	99,9	187	281	99	88	40	42	43	45	42	29	0,215	55	83	99
0,80	49	39	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	42	31	0,237	82	123	147
1,00	58	22	4:/:	1,85	0,19	1,93	99,9	329	493	174	94	41	43	44	46	42	31	0,239	97	145	174
1,20	53	25	4:/:	1,85	0,22	1,77	83,9	300	451	159	87	40	42	43	45	41	31	0,213	88	133	159
1,40	56	22	4:/:	1,85	0,26	1,87	74,1	317	476	168	85	40	41	43	45	40	31	0,206	93	140	168
1,60	44	18	4:/:	1,85	0,30	1,47	46,4	249	374	132	73	38	40	42	44	39	31	0,170	73	110	132
1,80	42	17	4:/:	1,85	0,33	1,40	37,8	238	357	126	69	38	40	41	44	38	30	0,156	70	105	126
2,00	35	16	4:/:	1,85	0,37	1,17	26,4	198	298	105	60	36	38	41	43	37	29	0,131	58	88	105
2,20	19	12	2:///	1,85	0,41	0,78	14,1	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	27	21	4:/:	1,85	0,44	0,95	16,2	161	242	81	47	35	37	39	42	34	28	0,096	45	68	81
2,60	23	25	4:/:	1,85	0,48	0,87	13,1	148	221	69	39	34	36	38	41	33	28	0,078	38	58	69
2,80	26	23	4:/:	1,85	0,52	0,93	13,0	158	237	78	42	34	36	39	41	33	28	0,084	43	65	78
3,00	18	22	2:///	1,85	0,55	0,75	9,1	132	198	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	18	19	2:///	1,85	0,59	0,75	8,4	141	211	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	22	19	4:/:	1,85	0,63	0,85	9,1	149	224	66	31	32	35	38	41	31	28	0,060	37	55	66
3,60	23	17	4:/:	1,85	0,67	0,87	8,7	158	237	69	31	32	35	38	41	31	28	0,061	38	58	69
3,80	22	11	4:/:	1,85	0,70	0,85	7,9	169	254	66	29	32	35	37	40	30	28	0,055	37	55	66
4,00	26	16	4:/:	1,85	0,74	0,93	8,3	176	264	78	33	33	35	38	41	31	28	0,064	43	65	78
4,20	44	16	4:/:	1,85	0,78	1,47	13,9	249	374	132	50	35	37	40	42	34	31	0,104	73	110	132
4,40	52	13	4:/:	1,85	0,81	1,73	16,1	295	442	156	55	36	38	40	42	34	31	0,116	87	130	156
4,60	47	14	4:/:	1,85	0,85	1,57	13,5	266	400	141	50	35	37	40	42	34	31	0,104	78	118	141
4,80	43	13	4:/:	1,85	0,89	1,43	11,4	244	366	129	46	34	37	39	42	33	30	0,094	72	108	129
5,00	32	11	4:/:	1,85	0,93	1,07	7,5	226	340	96	35	33	35	38	41	31	29	0,068	53	80	96
5,20	36	15	4:/:	1,85	0,96	1,20	8,3	229	344	108	38	33	36	38	41	31	30	0,075	60	90	108
5,40	26	10	4:/:	1,85	1,00	0,93	5,7	268	402	78	26	32	34	37	40	29	28	0,049	43	65	78
5,60	25	14	4:/:	1,85	1,04	0,91	5,3	283	424	75	23	31	34	37	40	29	28	0,045	42	63	75
5,80	24	12	4:/:	1,85	1,07	0,89	5,0	296	445	72	21	31	34	37	40	29	28	0,040	40	60	72
6,00	27	24	4:/:	1,85	1,11	0,95	5,2	305	457	81	24	31	34	37	40	29	28	0,047	45	68	81
6,20	19	20	2:///	1,85	1,15	0,78	3,8	322	484	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	22	24	4:/:	1,85	1,18	0,85	4,1	331	496	66	16	30	33	36	39	28	28	0,030	37	55	66
6,60	24	33	3:::	1,85	1,22	--	--	--	--	--	18	31	33	36	39	28	28	0,034	40	60	72
6,80	22	22	4:/:	1,85	1,26	0,85	3,8	354	531	66	14	30	33	36	39	27	28	0,028	37	55	66
7,00	29	27	4:/:	1,85	1,30	0,98	4,4	361	542	87	23	31	34	37	40	29	29	0,044	48	73	87
7,20	26	14	4:/:	1,85	1,33	0,93	4,0	372	557	78	19	31	33	36	39	28	28	0,036	43	65	78
7,40	194	208	3:::	1,85	1,37	--	--	--	--	--	87	40	42	43	45	39	38	0,213	323	485	582
7,60	455	--	3:::	1,85	1,41	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	40	0,258	758	1138	1365

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 7

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : P.U.A. nuova lottizzazione
- localit  : Via Pietro Patarini, Imola (BO)
- note :

- data : 24/11/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA													NATURA GRANULARE												
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo				
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
0,40	47	34	3:::	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	31	0,258	78	118	141				
0,60	68	32	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	32	0,258	113	170	204				
0,80	66	45	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	32	0,258	110	165	198				
1,00	72	37	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	32	0,258	120	180	216				
1,20	62	34	3:::	1,85	0,22	--	--	--	--	--	92	41	42	44	45	41	32	0,231	103	155	186				
1,40	64	37	3:::	1,85	0,26	--	--	--	--	--	90	41	42	44	45	41	32	0,222	107	160	192				
1,60	62	27	4:::	1,85	0,30	2,07	71,3	351	527	186	85	40	41	43	45	40	32	0,207	103	155	186				
1,80	58	24	4:::	1,85	0,33	1,93	56,6	329	493	174	80	39	41	43	44	40	31	0,190	97	145	174				
2,00	32	12	4:::	1,85	0,37	1,07	23,6	181	272	96	57	36	38	40	43	36	29	0,123	53	80	96				
2,20	19	10	2///	1,85	0,41	0,78	14,1	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
2,40	20	16	4:::	1,85	0,44	0,80	13,1	136	204	60	36	33	36	38	41	33	27	0,072	33	50	60				
2,60	18	16	2///	1,85	0,48	0,75	10,9	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
2,80	23	22	4:::	1,85	0,52	0,87	12,0	148	221	69	38	33	36	38	41	32	28	0,074	38	58	69				
3,00	25	16	4:::	1,85	0,55	0,91	11,6	155	232	75	39	33	36	38	41	33	28	0,077	42	63	75				
3,20	29	16	4:::	1,85	0,59	0,98	11,8	167	251	87	42	34	36	39	41	33	29	0,085	48	73	87				
3,40	31	14	4:::	1,85	0,63	1,03	11,7	176	264	93	43	34	36	39	41	33	29	0,087	52	78	93				
3,60	32	13	4:::	1,85	0,67	1,07	11,3	181	272	96	43	34	36	39	41	33	29	0,086	53	80	96				
3,80	36	15	4:::	1,85	0,70	1,20	12,2	204	306	108	45	34	37	39	42	33	30	0,093	60	90	108				
4,00	41	15	4:::	1,85	0,74	1,37	13,5	232	349	123	49	35	37	39	42	34	30	0,101	68	103	123				
4,20	38	16	4:::	1,85	0,78	1,27	11,6	215	323	114	45	34	37	39	42	33	30	0,091	63	95	114				
4,40	37	15	4:::	1,85	0,81	1,23	10,6	210	315	111	43	34	36	39	41	33	30	0,086	62	93	111				
4,60	35	15	4:::	1,85	0,85	1,17	9,3	203	305	105	40	34	36	39	41	32	29	0,079	58	88	105				
4,80	37	14	4:::	1,85	0,89	1,23	9,5	213	319	111	41	34	36	39	41	32	30	0,081	62	93	111				
5,00	31	23	4:::	1,85	0,93	1,03	7,2	230	344	93	34	33	35	38	41	31	29	0,066	52	78	93				
5,20	26	14	4:::	1,85	0,96	0,93	6,0	255	382	78	27	32	34	37	40	30	28	0,051	43	65	78				
5,40	36	22	4:::	1,85	1,00	1,20	7,9	241	361	108	37	33	36	38	41	31	30	0,073	60	90	108				
5,60	48	40	3:::	1,85	1,04	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	33	31	0,094	80	120	144				
5,80	468	--	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	780	1170	1404				

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 8

2.010496-071

- committente :
- lavoro :
- località :
- note :

Dott. Geol. Maurizio Castellari
P.U.A. nuova lottizzazione
Via Pietro Patarini, Imola (BO)

- data :
- quota inizio :
- prof. falda :
- pagina :

24/11/2020
Piano Campagna
Falda non rilevata
1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	29	31	3:::	1,85	0,07	--	--	--	--	--	93	41	42	44	45	43	29	0,233	48	73	87
0,60	68	60	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	32	0,258	113	170	204
0,80	79	40	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	33	0,258	132	198	237
1,00	88	40	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	33	0,258	147	220	264
1,20	83	25	4:::	1,85	0,22	2,77	99,9	470	706	249	100	42	43	45	46	43	33	0,258	138	208	249
1,40	69	33	3:::	1,85	0,26	--	--	--	--	--	92	41	42	44	45	41	32	0,231	115	173	207
1,60	66	30	4:::	1,85	0,30	2,20	77,0	374	561	198	87	40	42	43	45	41	32	0,214	110	165	198
1,80	64	25	4:::	1,85	0,33	2,13	64,0	363	544	192	83	40	41	43	45	40	32	0,201	107	160	192
2,00	39	14	4:::	1,85	0,37	1,30	30,2	221	332	117	64	37	39	41	43	37	30	0,141	65	98	117
2,20	29	14	4:::	1,85	0,41	0,98	18,9	167	251	87	51	35	37	40	42	35	29	0,108	48	73	87
2,40	26	16	4:::	1,85	0,44	0,93	15,8	158	237	78	46	34	37	39	42	34	28	0,093	43	65	78
2,60	25	16	4:::	1,85	0,48	0,91	13,9	155	232	75	42	34	36	39	41	33	28	0,085	42	63	75
2,80	26	22	4:::	1,85	0,52	0,93	13,0	158	237	78	42	34	36	39	41	33	28	0,084	43	65	78
3,00	27	22	4:::	1,85	0,55	0,95	12,2	161	242	81	41	34	36	39	41	33	28	0,083	45	68	81
3,20	28	17	4:::	1,85	0,59	0,97	11,6	164	246	84	41	34	36	39	41	33	28	0,082	47	70	84
3,40	26	14	4:::	1,85	0,63	0,93	10,2	158	237	78	37	33	36	38	41	32	28	0,073	43	65	78
3,60	27	14	4:::	1,85	0,67	0,95	9,8	162	243	81	37	33	36	38	41	32	28	0,073	45	68	81
3,80	40	22	4:::	1,85	0,70	1,33	14,0	227	340	120	49	35	37	39	42	34	30	0,102	67	100	120
4,00	43	20	4:::	1,85	0,74	1,43	14,3	244	366	129	50	35	37	40	42	34	30	0,105	72	108	129
4,20	52	19	4:::	1,85	0,78	1,73	17,1	295	442	156	56	36	38	40	42	35	31	0,119	87	130	156
4,40	54	20	4:::	1,85	0,81	1,80	16,9	306	459	162	56	36	38	40	42	35	31	0,119	90	135	162
4,60	44	15	4:::	1,85	0,85	1,47	12,4	249	374	132	48	35	37	39	42	33	31	0,098	73	110	132
4,80	42	15	4:::	1,85	0,89	1,40	11,1	238	357	126	45	34	37	39	42	33	30	0,092	70	105	126
5,00	48	18	4:::	1,85	0,93	1,60	12,5	272	408	144	49	35	37	39	42	33	31	0,101	80	120	144
5,20	52	19	4:::	1,85	0,96	1,73	13,1	295	442	156	50	35	37	40	42	34	31	0,105	87	130	156
5,40	43	25	4:::	1,85	1,00	1,43	9,9	244	366	129	43	34	36	39	41	32	30	0,087	72	108	129
5,60	60	41	3:::	1,85	1,04	--	--	--	--	--	54	35	38	40	42	34	32	0,113	100	150	180
5,80	38	32	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	37	33	36	38	41	31	30	0,073	63	95	114
6,00	78	53	3:::	1,85	1,11	--	--	--	--	--	61	37	39	41	43	35	33	0,133	130	195	234
6,20	55	24	4:::	1,85	1,15	1,83	11,3	312	467	165	48	35	37	39	42	33	31	0,099	92	138	165
6,40	119	53	3:::	1,85	1,18	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	35	0,171	198	298	357
6,60	499	--	3:::	1,85	1,22	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	832	1248	1497



CA studio
associato

Allegato 4

Sondaggi a carotaggio continuo

 SOGEO S.R.L. INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA) Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decr. n. 005754 del 05/07/2010		COMMITTENTE: CASTELLARI AMBIENTE Studio Associato	SOND.N°: S.1	PROF.(m): 20.00
		CANTIERE: Imola (BO) - Via Lughese	QUOTA (m): p.d.c.	
		PERFORATRICE: CMV MK900 D1	LATITUDINE (°):	
		METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 21/01/2021-21/01/2021	
PIEZOMETRO: Installato piezometro Norton Ø 2" a -20.00 m dal p.d.c. (fessurato da -8.0 a -20.0 m)			SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 227-20	CERTIFICATO N°: C21-004-1	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021	PAGINA N°: 1 di 1

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1	3.3									
	5.5									
2	5.6				Limo e limo sabbioso di colore marrone-nocciola, con calcinelli					
	> 6									
3	5.1		2.40							
	> 6									
4	> 6		4.00		Argilla limosa di colore marrone, poi marrone-nocciola, con calcinelli					
	> 6									
5	4.2		4.50		Limo argilloso, passante gradualmente a limo, poi a limo sabbioso. Colore marrone-grigiastro e nocciola. Presenti abbondanti calcinelli					
			5.00		Sabbia fine, a tratti limosa, di colore marrone-nocciola e marrone-giallastro					
6										
7										
8					Ghiaia media-fine, talora grossolana, arrotondata e subarrotondata, in matrice limo sabbiosa di colore grigio-marrone.					
					Da -7.50 a -7.70 m limo e limo sabbioso, con ghiaia					
9										
10										
	1.3	0.70	10.30		Limo e limo argilloso di colore marrone-giallastro e grigiastro, con veli limo sabbiosi. Presenti abbondanti calcinelli.					
11	1.7	0.80			Da -11.20 m passa a limo e limo sabbioso di colore marrone-grigio-giallastro e rossastro					
	0.8	0.40								
12	1.0	0.40	11.60		Ghiaia media-fine, arrotondata e subarrotondata, con sabbia e limo, di colore marrone			12.00 26/30/31 12.45		
13			12.60		Limo di colore giallastro, con qualche granulo di ghiaia					
			13.00							
14										
15					Ghiaia, da media-fine a grossolana, in matrice limo sabbiosa di colore marrone. Presenti livelli centimetrici di limo				15.10	
16										
	3.3	1.50	16.40							
17	3.1	1.30								
	1.9	1.00			Limo con argilla di colore marrone-giallastro con venature brune, con abbondanti calcinelli.					
18	0.9	0.40			Da -17.50 a -18.10 m passa a limo e limo sabbioso.					
	1.7	0.80			Da -18.60 m limo, a tratti sabbioso, con livelli centimetrici di calcinelli cementati					
19	2.4	1.00								
	1.2	0.60	19.30							
20					Sabbia fine limosa					
			20.00							
21										
22										
23										
24										
25										

Note:
Livello acqua rilevato a fine sondaggio.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

 SOGEO S.R.L. INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA) Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decr. n. 005754 del 05/07/2010		COMMITTENTE: CASTELLARI AMBIENTE Studio Associato			SOND.N°: S.2	PROF.(m): 20.00
		CANTIERE: Imola (BO) - Via Lughese			QUOTA (m): p.d.c.	
		PERFORATRICE: CMV MK900 D1			LATITUDINE (°):	
		METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo			LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm			DATA INIZ-FINE: 22/01/2021-22/01/2021	
PIEZOMETRO: Installato piezometro Norton Ø 2" a -20.00 m dal p.d.c. (fessurato da -8.0 a -20.0 m)					SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 227-20	CERTIFICATO N°: C21-004-2	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 25/01/2021		PAGINA N°: 1 di 1	

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1	0.8									
	> 6									
2	> 6				Limo e limo sabbioso di colore marrone. Presenza di calcinelli					
	4.7									
3	2.2		2.60							
	5.3									
4	4.9				Argilla limosa di colore marrone-nocciola. Da -4.0 m presenti abbondanti calcinelli					
	5.8									
5	> 6		4.80							
	3.5									
6	4.4				Sabbia fine limosa di colore marrone-giallastro. Da -6.0 a -6.3 m limo argilloso di colore marrone, con calcinelli					
	4.1	0.80								
7	1.7		6.70							
8					Ghiaia media-fine, a tratti grossolana, arrotondata e subarrotondata, in matrice limo sabbiosa di colore marrone			7.50 22/26/24 7.95		
9										
10			10.00							
11	3.9	1.60			Limo argilloso di colore marrone-giallastro, con venature brune e con calcinelli. Da -11.0 m livelletti di limo e limo sabbioso					
	1.6	0.80								
12	1.1	0.50	11.80		Argilla limosa di colore marrone-bruno, con venature grigie e rossastre e con abbondanti calcinelli					
	4.1	1.80								
13	4.6		12.60		Limo passante a limo sabbioso di colore marrone-giallastro					
		1.00								
14			13.30							
15					Ghiaia media-fine, arrotondata e subarrotondata, con sabbia e limo, di colore marrone. Da -15.0 m circa passa a ghiaia, da media-fine a grossolana, arrotondata e subarrotondata, in matrice limo sabbiosa di colore marrone				14.80	
16										
17										
18	1.5	0.70	17.30							
	1.5	0.80			Limo con argilla di colore marrone-giallastro e grigio, variegato, con venature bruno-nerastre. Presenti veli limo sabbiosi e rari calcinelli. Da -19.3 m passa ad argilla limosa di colore grigio-ocra, variegato, con veli limo sabbiosi e con calcinelli diffusi					
19	1.8	0.90								
	1.7	0.80								
20	2.2	1.10								
	2.5	1.30	20.00							
21										20.00
22										
23										
24										
25										

Note:
Livello acqua rilevato a fine sondaggio.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



SOGEO s.r.l.
INGEGNERIA GEOTECNICA ED AMBIENTALE
Via S. Ruffino n. 43 - 48022 S. Ruffino di Lupo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: CASTELLARI AMBIENTE Studio Ass.

LOCALITA': Imola (BO) - Via Lugheze

SONDAGGIO N: S.1

RIF. N° : 227-20

ALLEGATO A: C21-004-1

DATA: 21/01/2021



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Cassa 4 da -15.0 a -20.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m



SOGEO[®] s.r.l.
INDAGNI GEOTECNICHE ED AMBIENTALI
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di Lugo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: CASTELLARI AMBIENTE Studio Ass.

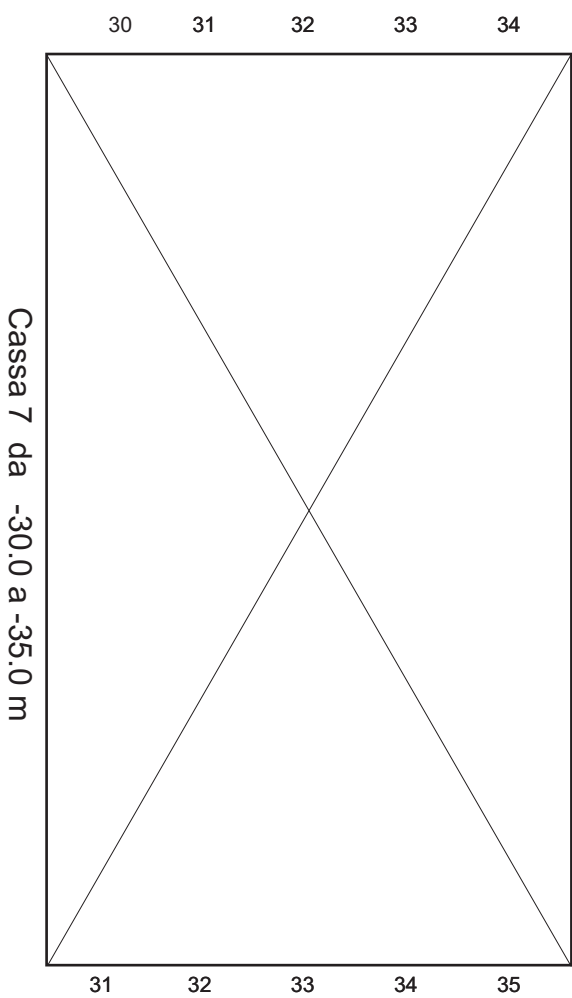
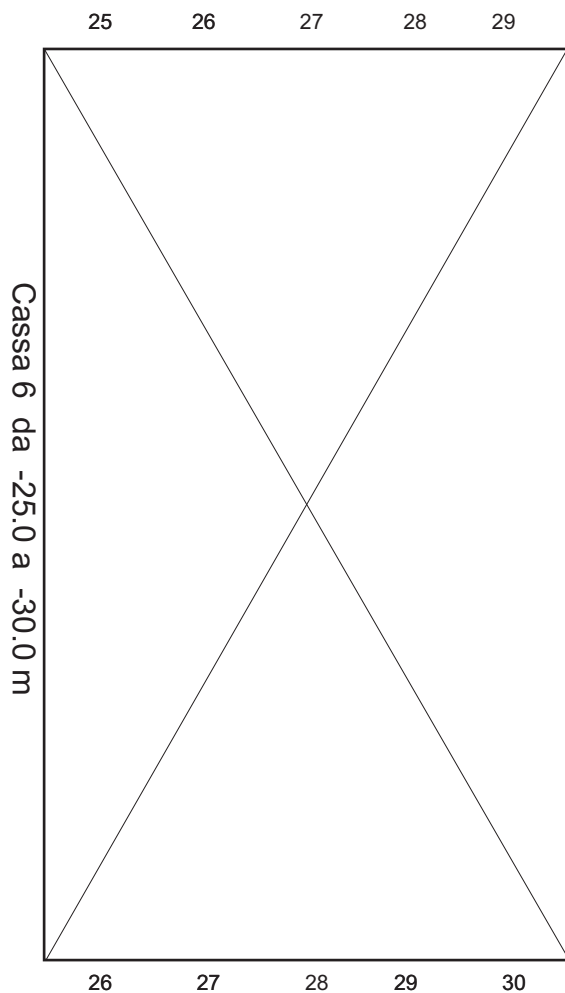
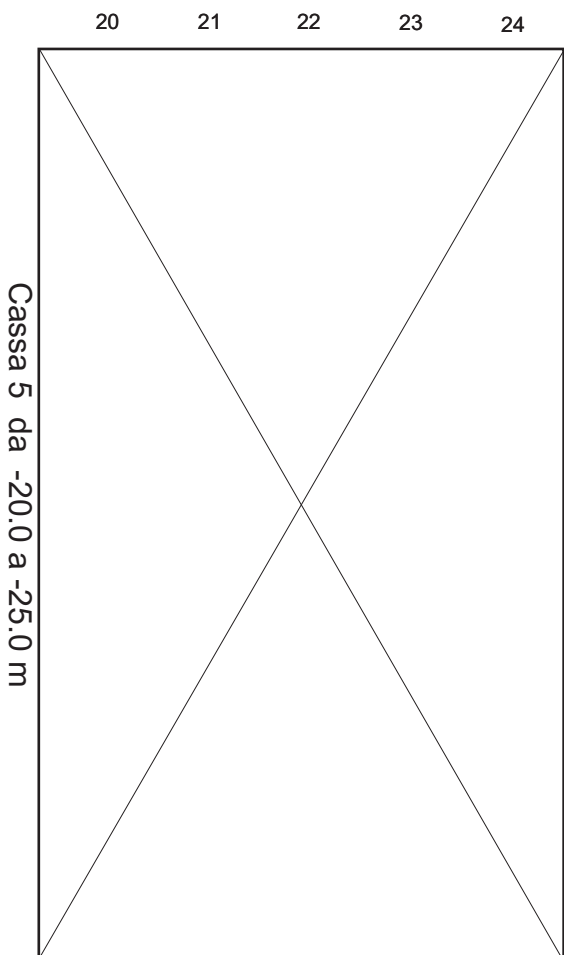
LOCALITA': Imola (BO) - Via Lugheese

SONDAGGIO N: S.1

RIF. N° : 227-20

ALLEGATO A: C21-004-1

DATA: 21/01/2021





SOGEO
s.r.l.
INGEGNERIA GEOTECNICA ED AMBIENTALE
Via S. Pietro n. 43 - 48022 S. Pietro di Lugo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: CASTELLARI AMBIENTE Studio Ass.

LOCALITA': Imola (BO) - Via Lugheze

SONDAGGIO N: S.2

RIF. N° : 227-20

ALLEGATO A: C21-004-2

DATA: 22/01/2021



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Cassa 4 da -15.0 a -20.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



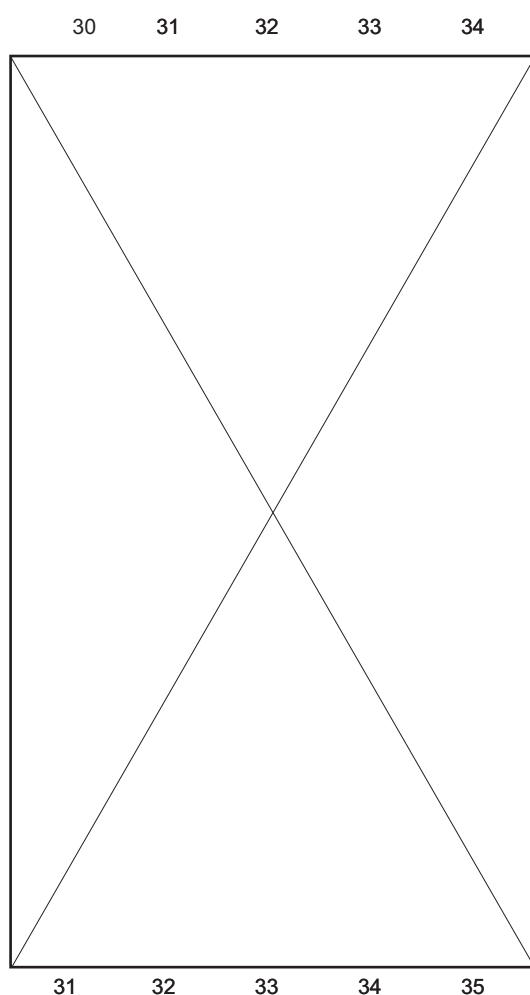
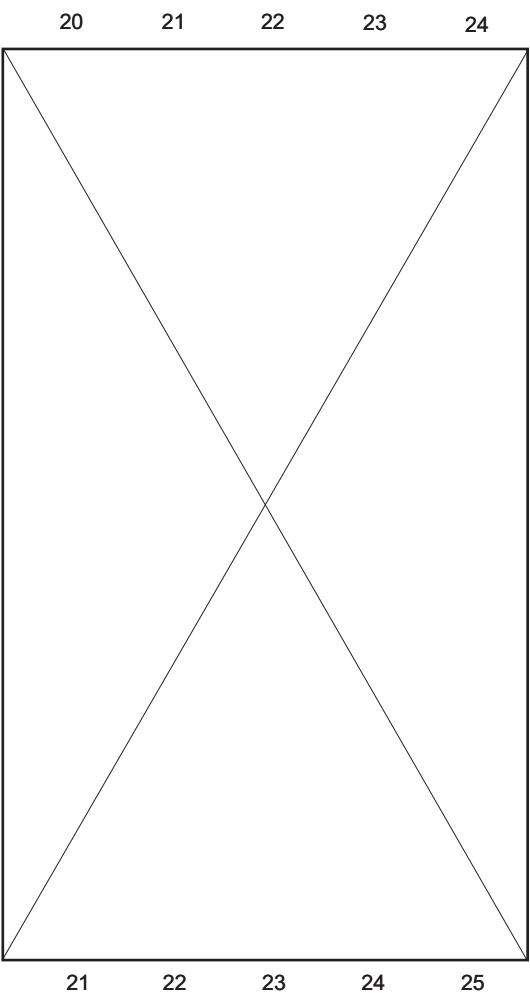
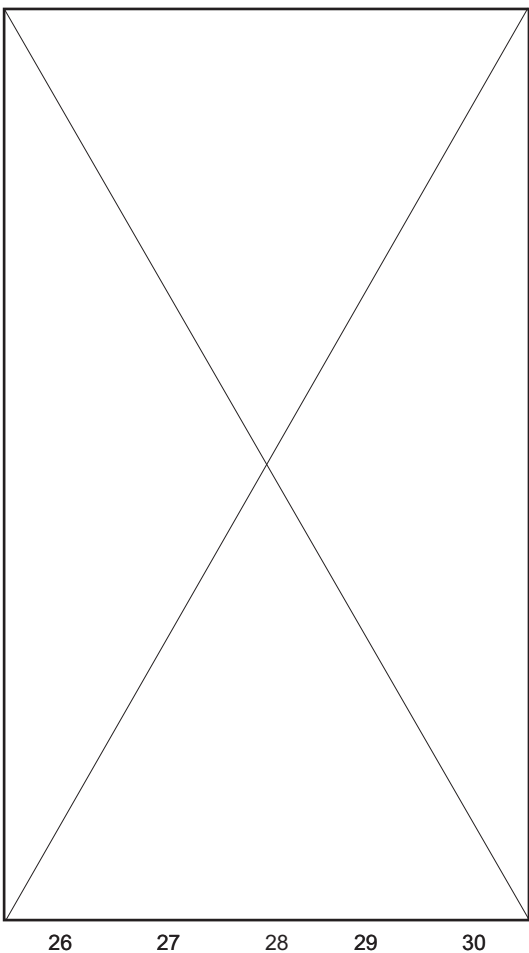
Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m



SOGEO[®] s.r.l.
INDAGNI GEONOSTICHE ED AMBIENTALI
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di Lugo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: CASTELLARI AMBIENTE Studio Ass. **LOCALITA':** Imola (BO) - Via Lugheese
RIF. N° : 227-20 **ALLEGATO A:** C21-004-2

SONDAGGIO N: S.2
DATA: 22/01/2021



The logo for CA studio associato, featuring the letters 'CA' in a bold, sans-serif font, with 'studio associato' in a smaller, lighter font to the right. Below the text is a stylized graphic of a tree or plant with several branches.

CA studio
associato

Allegato 5

Indagine Sismica



**INDAGINE SISMICA mediante la tecnica del rapporto spettrale H/V a
stazione singola eseguita con tromografo digitale TROMINO-Micromed ed
elaborazione dei dati mediante software GRILLA-Micromed**

CANTIERE: via Patarini – Imola (BO)

LAVORO: P.U.A. nuova lottizzazione

COMMITTENTE: dr.geol. Maurizio Castellari

Faenza, Novembre 2020

Dr. Geol. Bruno Gardegni



INDICE

Ubicazione indagine	3
Indagine geofisica e interpretazione	4
Parametri sismici e spettri di risposta	11
Spettri di risposta	14
Coefficienti di amplificazione sismica	19
Conclusioni	22

Dr. Geol. Bruno Gardegni



UBICAZIONE INDAGINE

Scopo della presente relazione è la caratterizzazione sismica di un'area ubicata nel Comune di Imola in via Patarini dove è prevista la realizzazione di una nuova lottizzazione, pertanto è stata redatta una relazione geologica a cui verrà allegata la presente relazione sismica, inoltre sono state eseguite 8 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità di circa 5-8 m, tali prove sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed, lo strumento è stato posizionato tra le prove penetrometriche eseguite.

L'area è inquadrata nella carta topografica 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna all'interno del quadrante 239 NO Imola, nel C.T.R. 1:10.000 nella sezione 239010 Imola e nel C.T.R. 1:5.000 risulta inquadrato nell'elemento 239012 Imola Est.

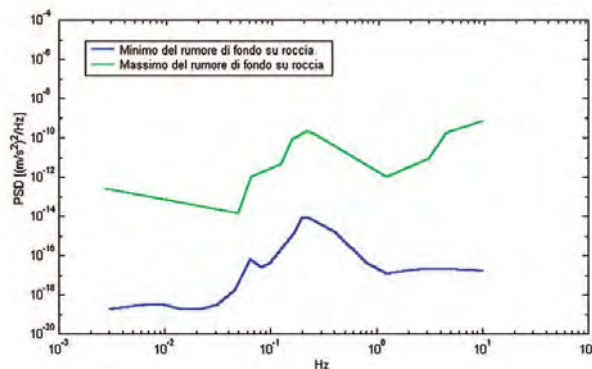


● Ubicazione tromino - ● Prove CPT

INDAGINE GEOFISICA e INTERPRETAZIONE

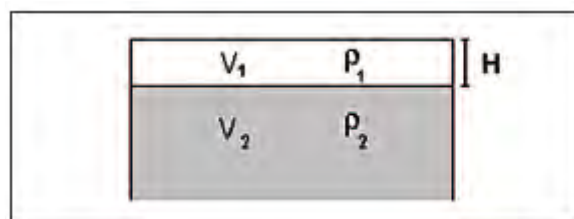
Il rumore sismico ambientale o microtremore è generato da fenomeni atmosferici e attività antropica e riguarda oscillazioni molto piccole ($10\text{-}15 \text{ m/s}^2$) in termini di accelerazione.

Nelle zone dove non è presente una sorgente di rumore locale o il terreno è roccioso o pianeggiante lo spettro in frequenza del rumore di fondo è rappresentato nel grafico sotto ed è costituito da un minimo, la curva blu, e da un massimo, la curva verde (secondo USGS).



Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica con apparecchio tomografico digitale **TROMINO**, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della V_{S30} in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Le basi teoriche dell'H/V sono schematizzabili nel modello a seguire attraverso due strati, uno strato-tipo e lo strato bedrock o assimilabile al bedrock, gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e velocità delle onde (V_1 e V_2).



La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = V_{s1} / 4H$$

dove f è la frequenza e H lo spessore dello strato sismico.

Inoltre, questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tromografico **TROMINO** permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l'effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La V_{S30} viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtrempi, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma, il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore non è generato come nelle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con un frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, il rumore sismico viene registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 20 o 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all'adattamento della curva sperimentale e quella teorica.

Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME 2006.

Lo strumento viene orientato a N oltre al posizionamento orizzontale ottenuto tramite la messa in bolla dello stesso, inoltre la base di appoggio dello strumento, ossia il terreno, deve essere anch'essa pianeggiante e occorre quindi rimuovere lo strato appena superficiale erboso.

Dalla registrazione del rumore sismico si ricavano:

1 - Le curve HVSR ottenute con il software Grilla secondo la procedura base (Castellaro et al. 2005) con i parametri:

- a – larghezza delle finestre d'analisi 20 s
 - b – lisciamiento triangolare con ampiezza 10%
 - c – rimozione automatica delle finestre di disturbo principale
 - d – rimozione manuale delle finestre di disturbo ancora presenti
- 2 – le curve dello spettro di velocità nelle 3 componenti del moto.

Di seguito si riportano i dati relativi all'acquisizione sismica:

Traccia 1

Inizio registrazione: 24/11/20 10:16:46 Fine registrazione: 24/11/20 10:36:46

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

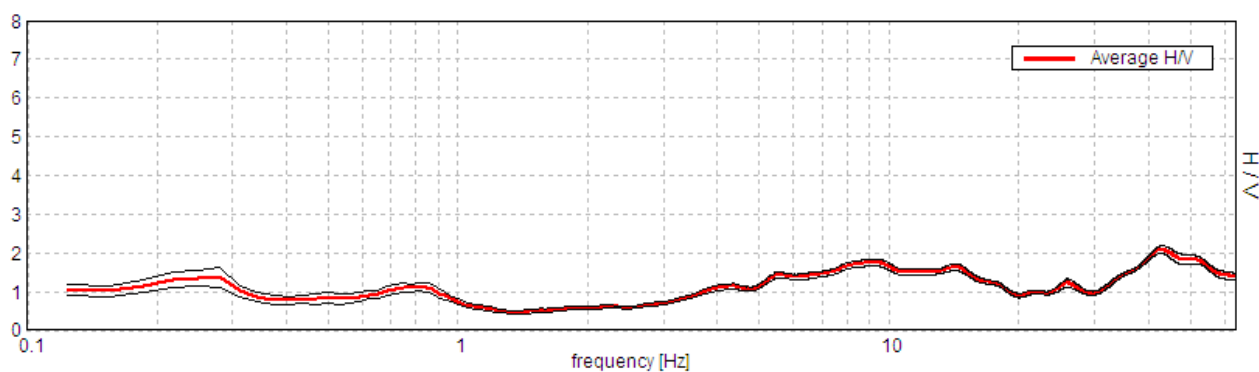
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamo: Triangular window

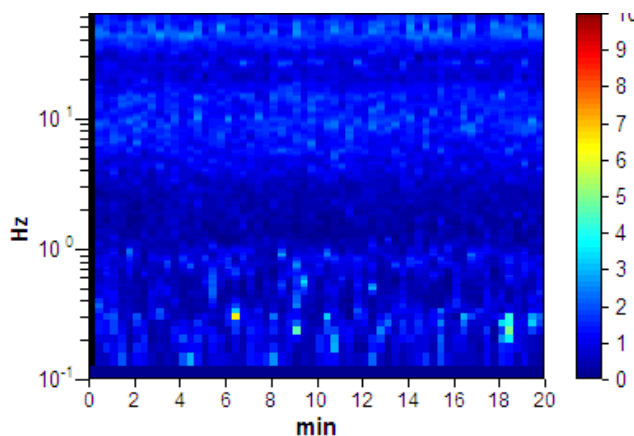
Lisciamo: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremoni registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

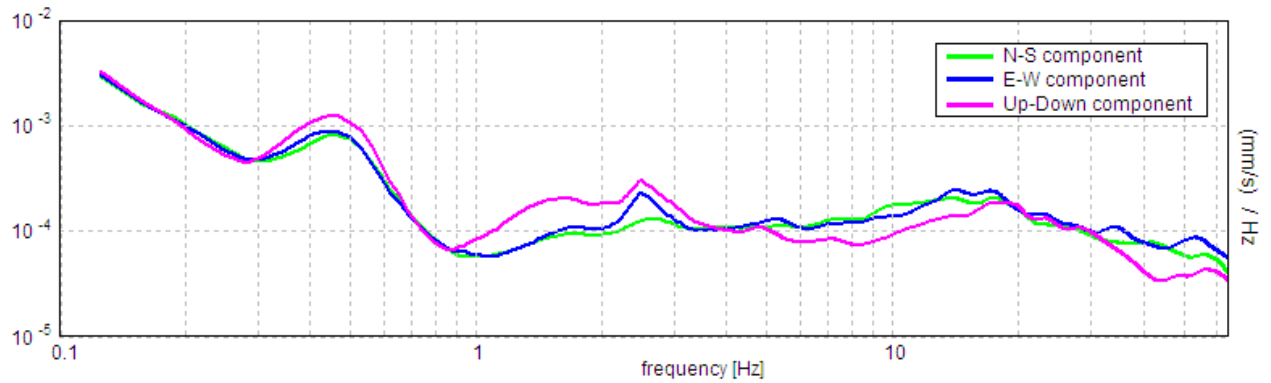


H/V TIME HISTORY

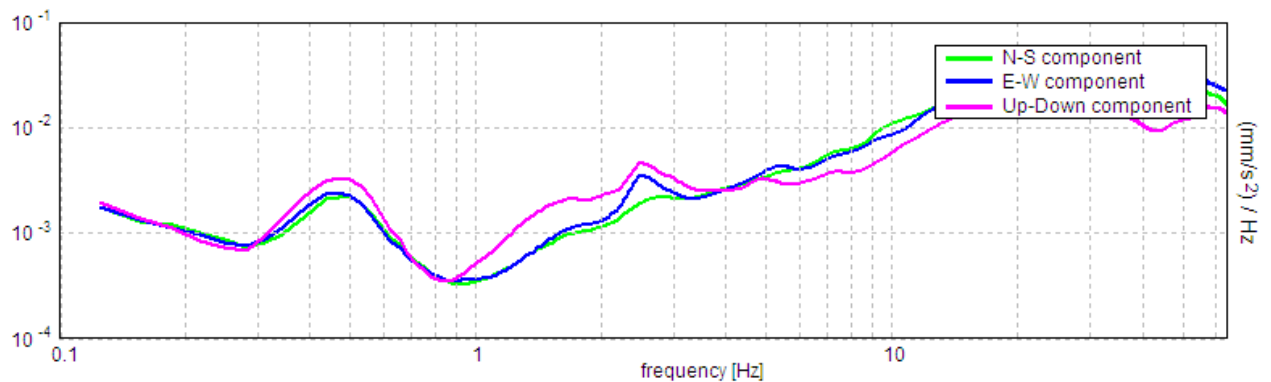


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

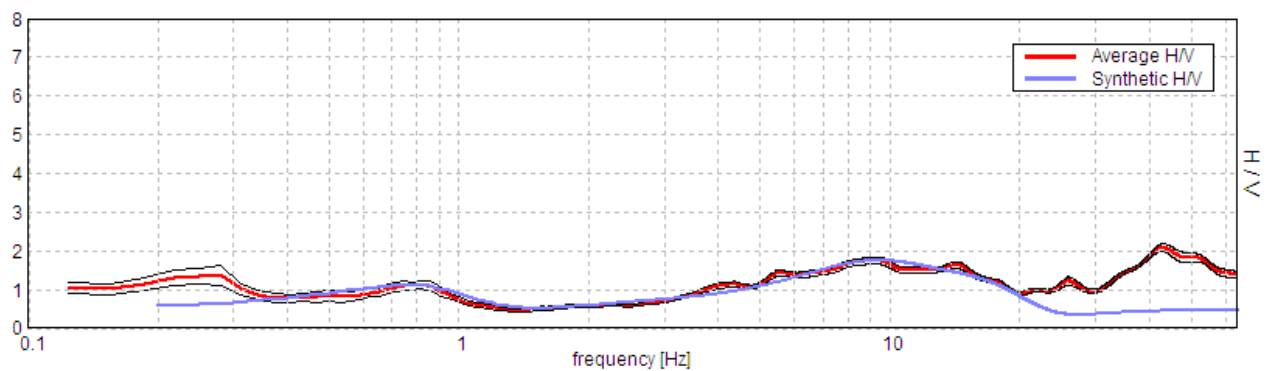


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



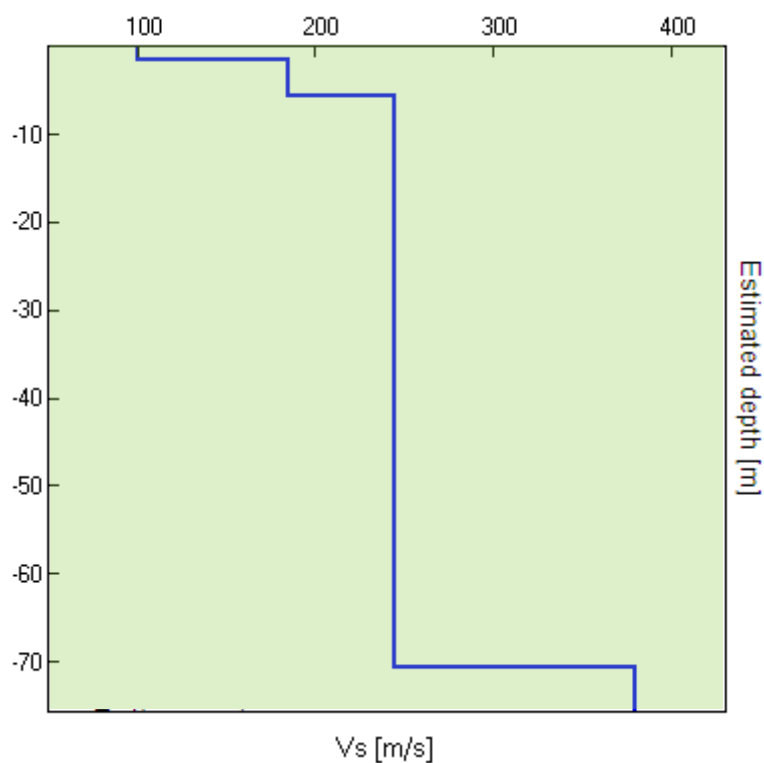
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore V_s , e quindi il relativo grafico dell'andamento della V_s in profondità,.

Litologia indicativa da tabella 1	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	V_s [m/s]
Terreno vegetale	1.60	1.60	100
Limi e argille tenere	5.60	4.00	185
Limi e argille medie, ghiaia	70.60	65.00	245
Substrato non rigido	inf.	inf.	380



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente V_{s30} , valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 210 \text{ m/s} \pm 40 \text{ m/s}$$

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borchardt, 1994]

TIPO DI SUOLO	V _s min [m/s]	V _s media [m/s]	V _s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 42.81 ± 0.32 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
f₀ > 10 / L_w	42.81 > 0.50	OK	
n_c(f₀) > 200	50518.8 > 200	OK	
s_A(f) < 2 for 0.5f₀ < f < 2f₀ if f₀ > 0.5Hz s_A(f) < 3 for 0.5f₀ < f < 2f₀ if f₀ < 0.5Hz	Superato 0 volte su 1364	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f⁻ in [f₀/4, f₀] A_{H/V}(f⁻) < A₀ / 2	31.188 Hz	OK	
Exists f⁺ in [f₀, 4f₀] A_{H/V}(f⁺) < A₀ / 2	52.254 Hz	OK	
A₀ > 2	2.08 > 2	OK	
f_{peak}[A_{H/V}(f) ± s_A(f)] = f₀ ± 5%	0.0075 < 0.05	OK	
s_f < e(f₀)	0.32094 < 2.14063	OK	
s_A(f₀) < q(f₀)	0.0949 < 1.58	OK	

La frequenza di risonanza caratteristica o di riferimento del terreno è Fo ≈ 9,0 Hz

Traccia 2

Inizio registrazione: 24/11/20 10:51:45 Fine registrazione: 24/11/20 11:11:45

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

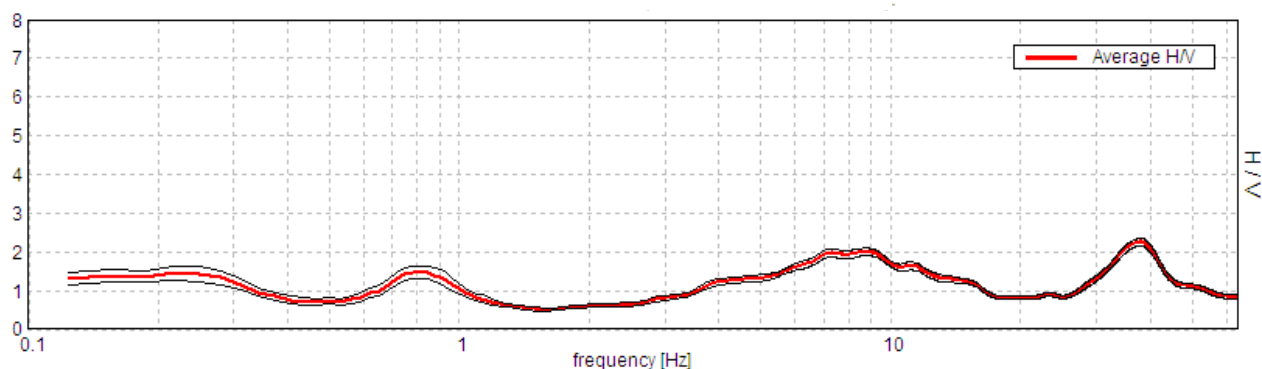
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

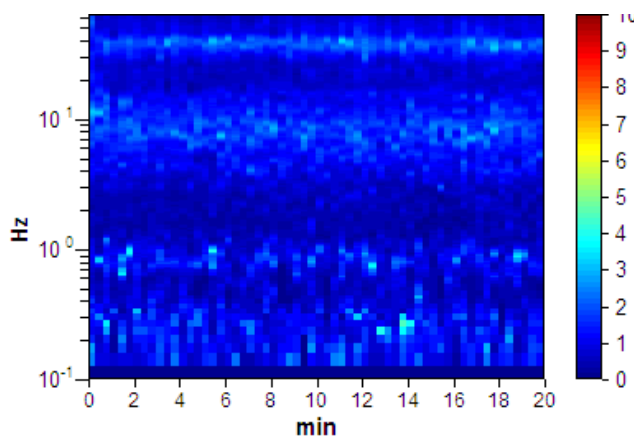
Lisciamento: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

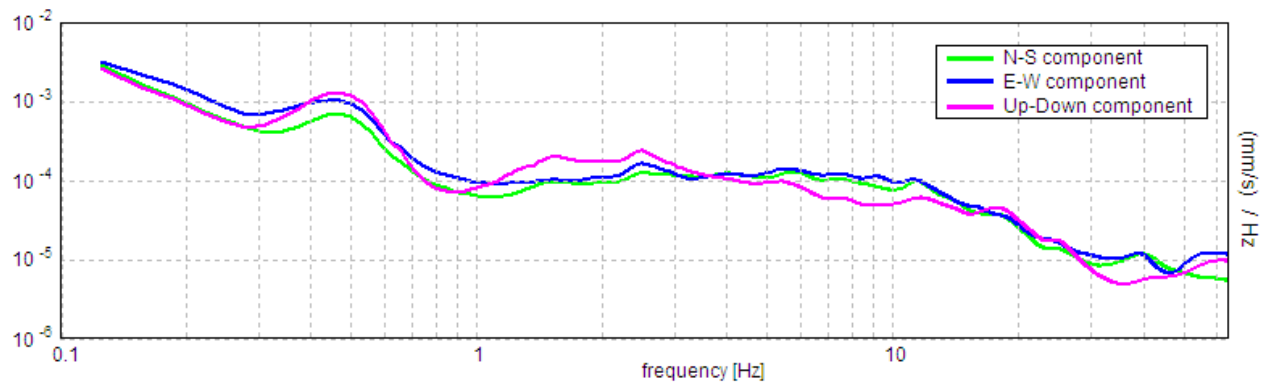


H/V TIME HISTORY

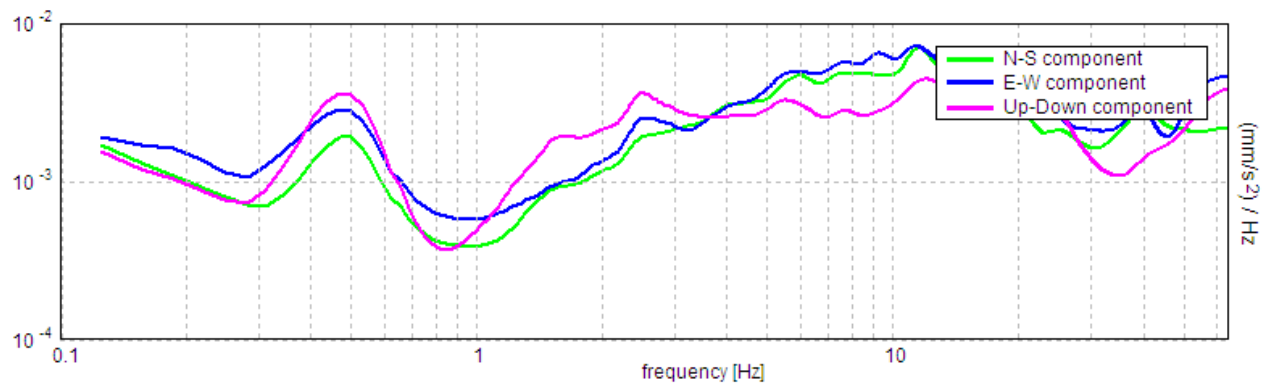


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

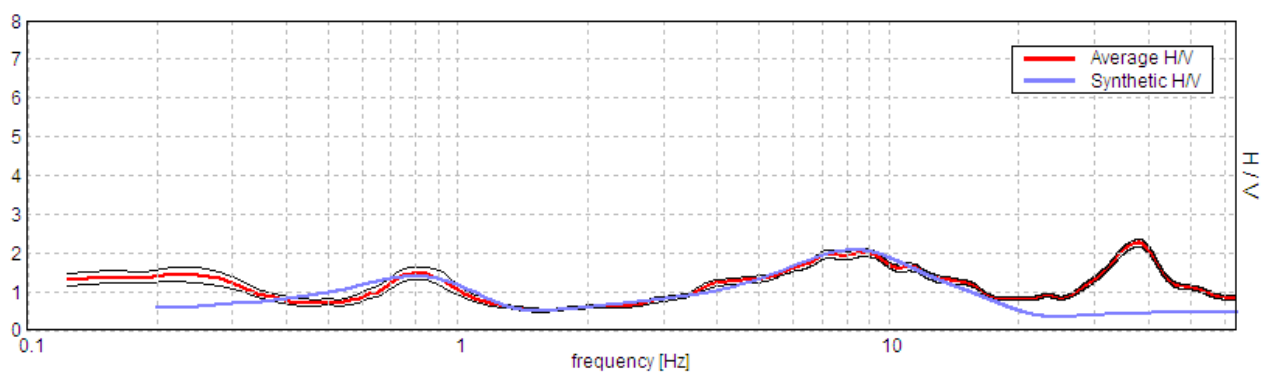


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



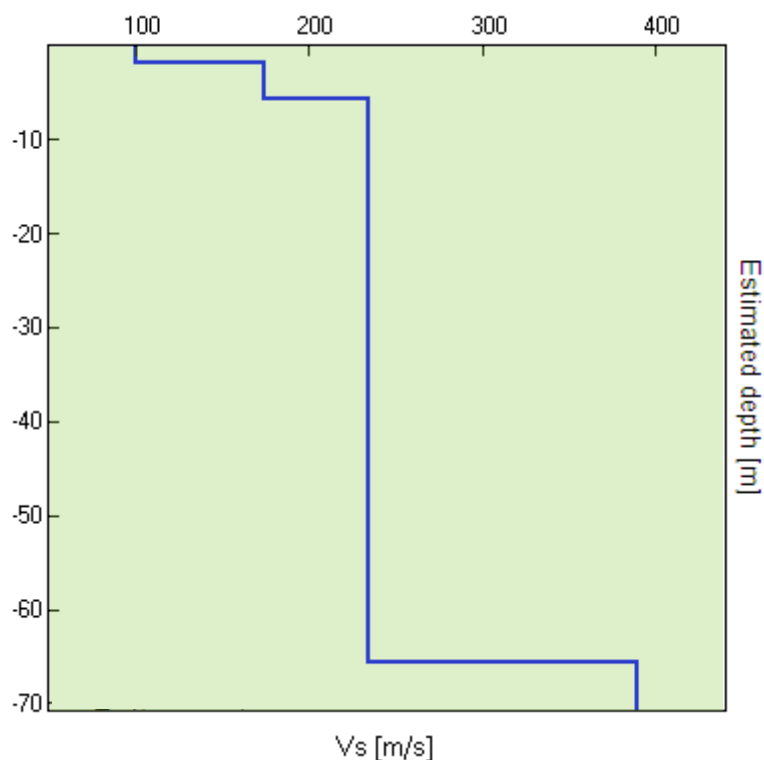
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore V_s , e quindi il relativo grafico dell'andamento della V_s in profondità,

Litologia indicativa da tabella 1	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	V_s [m/s]
Terreno vegetale	1.80	1.80	100
Limi e argille tenere	5.70	3.90	175
Limi e argille medie, ghiaia	65.70	60.00	235
Substrato non rigido	inf.	inf.	390



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente V_{s30} , valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 210 \text{ m/s} \pm 40 \text{ m/s}$$

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borchardt, 1994]

TIPO DI SUOLO	V _s min [m/s]	V _s media [m/s]	V _s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 37.81 ± 1.29 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
f₀ > 10 / L_w	37.81 > 0.50	OK	
n_c(f₀) > 200	45375.0 > 200	OK	
s_A(f) < 2 for 0.5f₀ < f < 2f₀ if f₀ > 0.5Hz s_A(f) < 3 for 0.5f₀ < f < 2f₀ if f₀ < 0.5Hz	Superato 0 volte su 1444	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f⁻ in [f₀/4, f₀] A_{H/V}(f⁻) < A₀ / 2	28.25 Hz	OK	
Exists f⁺ in [f₀, 4f₀] A_{H/V}(f⁺) < A₀ / 2	48.813 Hz	OK	
A₀ > 2	2.25 > 2	OK	
f_{peak}[A_{H/V}(f) ± s_A(f)] = f₀ ± 5%	0.04855 < 0.05	OK	
s_f < e(f₀)	1.2889 < 1.89063	OK	
s_A(f₀) < q(f₀)	0.097 < 1.58	OK	

La frequenza di risonanza caratteristica o di riferimento del terreno è Fo ≈ 9,0 Hz

PARAMETRI SISMICI da GEOSTRU

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame: C

Coordinate espresse in ED50: Latitudine: 44,358121° Longitudine: 11,737245°

Coordinate espresse in WGS84: Latitudine: 44.357182° Longitudine: 11.736263°

Classe d'uso I: costruzioni con presenza occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe d'uso III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi; industrie con attività pericolose per l'ambiente; reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV; ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza; dighe rilevanti per un loro eventuale collasso.

Classe d'uso IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della Protezione Civile in caso di calamità. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie di collegamento tra capoluoghi di provincia, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per le vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e centrali idroelettriche.

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1	17401	44,3709	11,6722	5362,964
Sito 2	17402	44,3720	11,7421	1588,146
Sito 3	17624	44,3220	11,7436	4050,152
Sito 4	17623	44,3209	11,6737	6527,528

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente C_u : 1,0

Parametri sismici:

	P_{VR} %	Tr (anni)	a_g (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,066	2,408	0,260
Danno SLD	63	50	0,084	2,396	0,268
Salvaguardia vita SLV	10	475	0,204	2,441	0,299
Prevenzione collasso SLC	5	975	0,256	2,494	0,314

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R = 35$ anni

Tr = periodo di riferimento

a_g = accelerazione di gravità

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s²)	Beta (-)
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,966	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,025	0,013	1,235	0,200
SLV	1,400	1,560	1,000	0,080	0,040	2,807	0,280
SLC	1,320	1,540	1,000	0,095	0,047	3,316	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica

Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica Amax = acc. max attesa al sito

Kh = coeff. sismico verticale

Kv = coeff. Sismico orizzontale

Beta = coeff. riduzione acc.max

Zona 1 = 0,35g

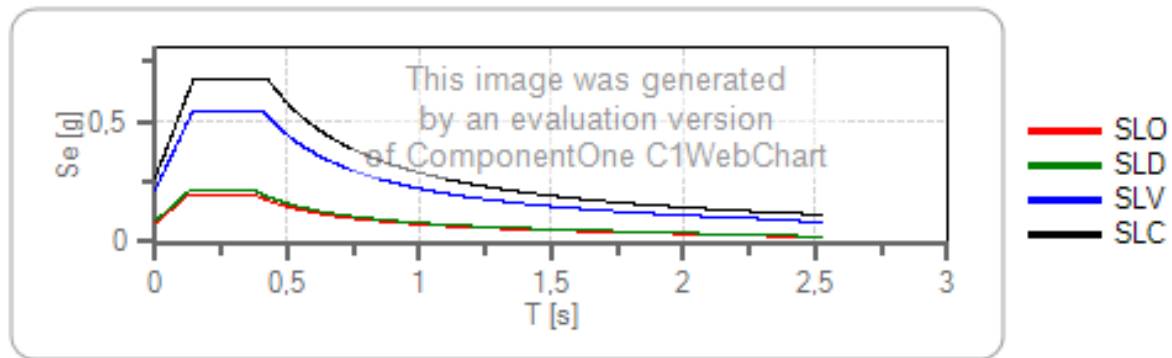
Zona 2 = 0,25g

Zona 3 = 0,15g

Zona 4 = 0,05g

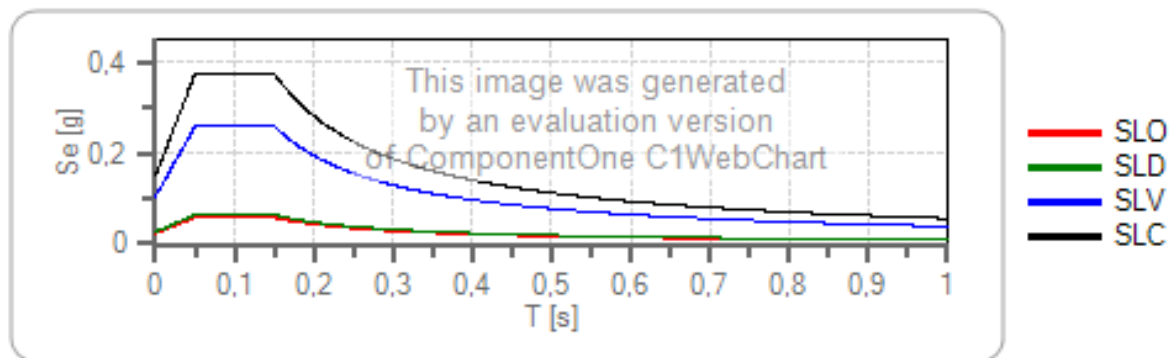
SPETTRI DI RISPOSTA da GEOSTRU

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	1,0	0,066	2,408	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,863
SLD	1,0	0,084	2,396	0,268	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,435	1,936
SLV	1,0	0,204	2,441	0,299	1,400	1,560	1,000	1,400	1,000	0,156	0,467	2,418
SLC	1,0	0,256	2,494	0,314	1,320	1,540	1,000	1,320	1,000	0,161	0,483	2,625

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

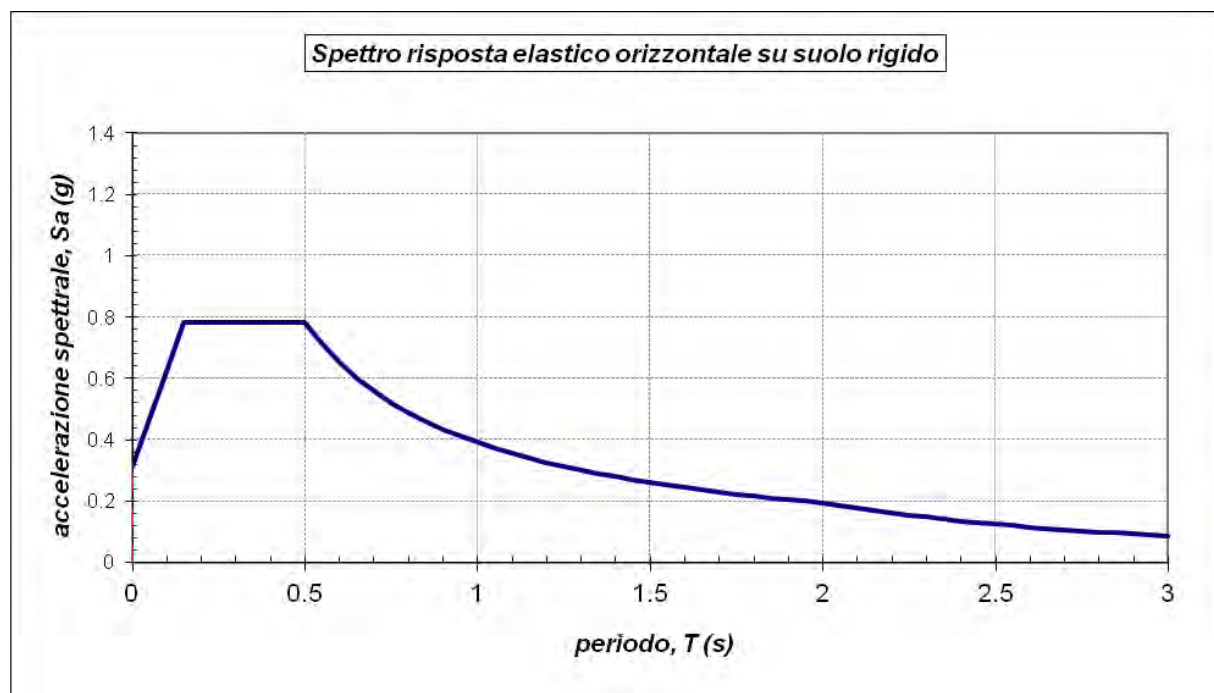


	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	1,0	0,066	2,408	0,260	1,000	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1,0	0,084	2,396	0,268	1,000	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1,0	0,204	2,441	0,299	1,000	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1,0	0,256	2,494	0,314	1,000	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettri di progetto per lo stato limite: SLO



	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO h	1,0	0,066	2,408	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,500	0,142	0,427	1,863
SLO v	1,0	0,066	2,408	0,260	1,500	1,640	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa
Margine B	C	0.25	1.25	0.15	0.5	2	0	0	0,3125

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di a_{refg} di ogni comune, lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

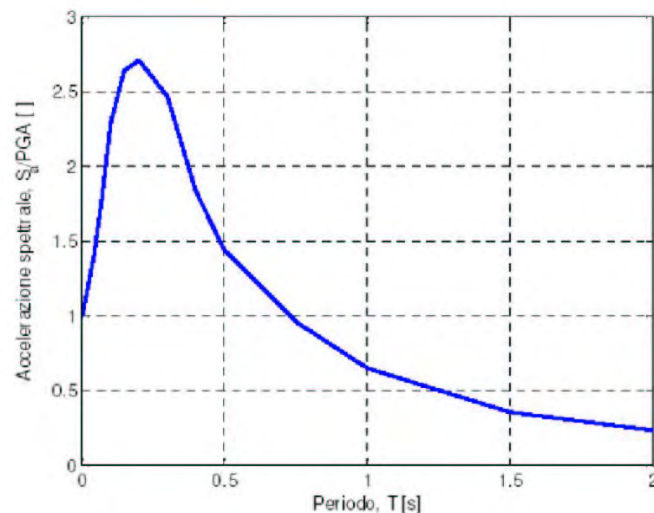


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
Sa/a _{ref}	1,0000	2,2100	2,6080	2,6562	2,4033	1,9394	1,5050	0,9172	0,6359	0,3608	0,2462

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

Valore di a_{refg} per il comune di Imola = 0,2029

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media $i < 15^\circ$	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	St = 1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	St = 1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	St = 1.4

Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180 – 360

Parametri per il profilo stratigrafico

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA

L'area di intervento è morfologicamente classificabile come Margine appenninico-padano tipo B
Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 200 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (DGR n.630 del 29/04/2019)

F.A. P.G.A.: accelerazione di picco orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito.

F.A. S.I.: Intensità spettrale di risposta in velocità relativo a tre intervalli.

F.A. S.A.: Intensità spettrale di risposta in accelerazione relativo a quattro intervalli.

MARGINE APPENNINICO-PADANO: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m;

MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. P.G.A.	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5

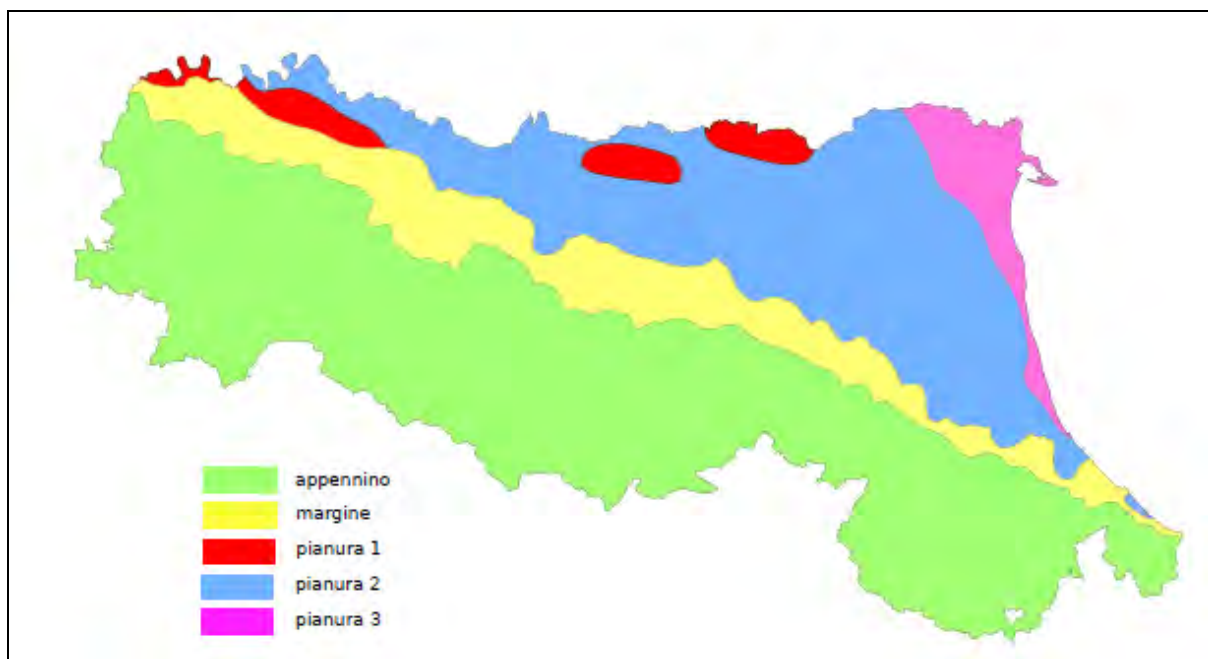
Fattore di Amplificazione PGA

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0
F.A. SI3	3.3	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0

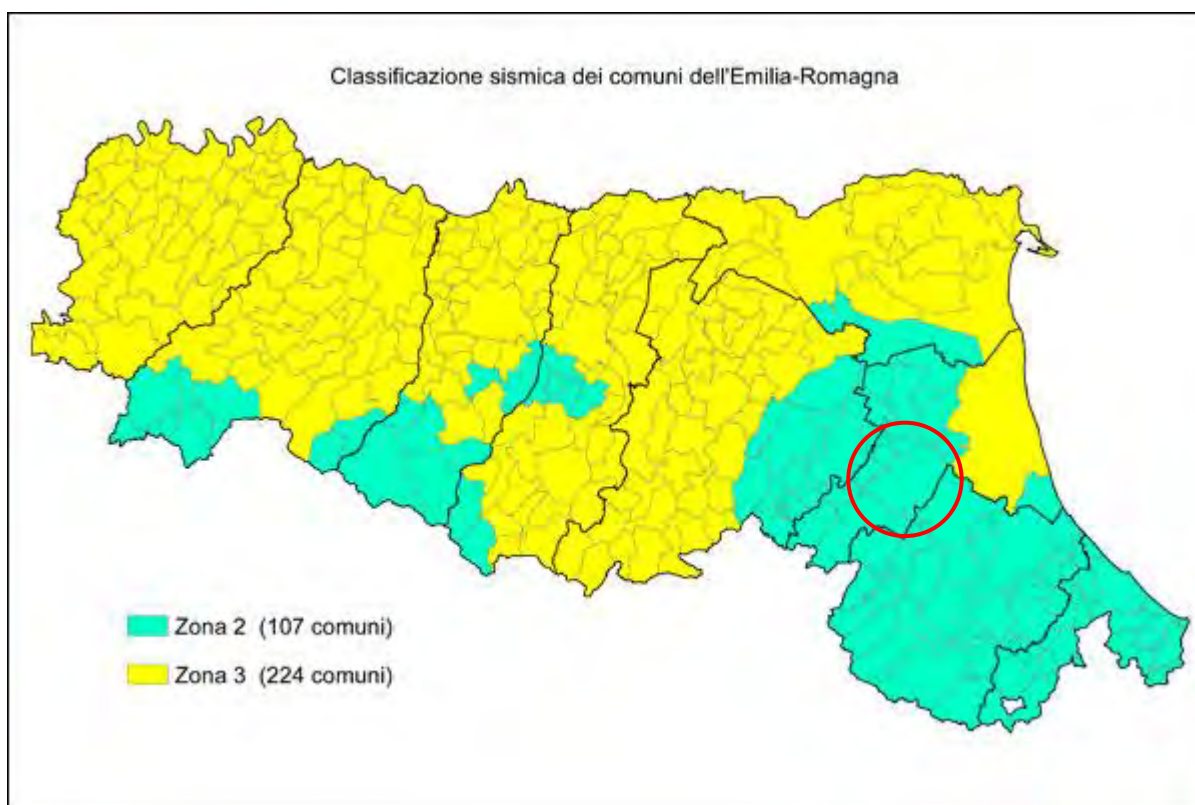
Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
F.A. SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
F.A. SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
F.A. SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

F.A. **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici



Nuova classificazione sismica NTC 2018 – Comune di Imola

CONCLUSIONI

- Il terreno indagato è classificabile come sito **C**;
- La velocità stimata è pari a **$V_{s30} = 210$ m/s**;
- E' prevista una nuova lottizzazione con manufatto classificabili come classe d'uso **II**;
- La frequenza caratteristica del sito è **$F_0 \cong 9,0$ Hz**;
- L'accelerazione di gravità del sito è **$a_g = 0,204$ (SLV)**;
- L'accelerazione massima è **$A_{max} = 2,807$ (SLV)**;
- L' accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità per il comune di Imola è **$g(a_{refg}) = 0,2029$** ;
- La categoria topografica è **T1**;
- L'area ricade in **Zona 2 = 0,25g**;
- L'area è classificabile come **Margine appenninico-padano di tipo B**;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica su base regionale quelli relativi alla fascia di velocità pari a 200 m/s, tali coeff. non sono vincolanti ai fini della progettazione:

PGA = 1,6	SA1 per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,8$
SI1 per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,9$	SA2 per l'intervallo $0,4s < T_0 < 0,8s = 2,8$
SI2 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,0s = 2,8$	SA3 per l'intervallo $0,7s < T_0 < 1,1s = 2,9$
SI3 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 3,1$	SA4 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 2,9$

Faenza, Novembre 2020

Dr. Geol. Bruno Gardegni



Via Valsellustra 32
40060 Dozza - BOLOGNA



Studio Samuel Sangiorgi
Geologia Applicata

Comune:

COMUNE DI IMOLA (BO)

Oggetto:

Indagine geofisica di superficie mediante tecnica combinata MASW/Re.Mi. e registrazioni HVSR in via Val-verda, Ambito ASP_AN1.8, Comune di Imola (BO)

RELAZIONE GEOFISICA (DGR 2193/2015)

Stesura:

Maggio 2018

Elaborazione:

Dott. Geol. Antonio Milioto

Committente:

Dott. Geol. Maurizio Castellari



tel/fax 0542 640279

mail info@studiosamuelsangiorgi.eu

www.studiosamuelsangiorgi.eu



1. Premessa

Lo Studio scrivente è stato incaricato dal dott. geol. Maurizio Castellari di eseguire un'indagine finalizzata alla stima delle velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni di un'area da inserire all'interno del POC del Comune di Imola (BO). L'area di studio è localizzata in via Valverda, all'interno dell'Ambito ASP_AN1.8, in Comune di Imola (Figura 1).

Le V_s sono state valutate sulla base di uno stendimento sismico attivo/passivo tipo MASW/Re.Mi. e di una prova sismica speditiva di acquisizione passiva del rumore sismico ambientale, effettuata con strumento tromografico portatile ad alta risoluzione.

Si fornisce infine la stima delle velocità equivalenti di legge (V_{sH} ; V_{s30}) ai sensi della DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna.

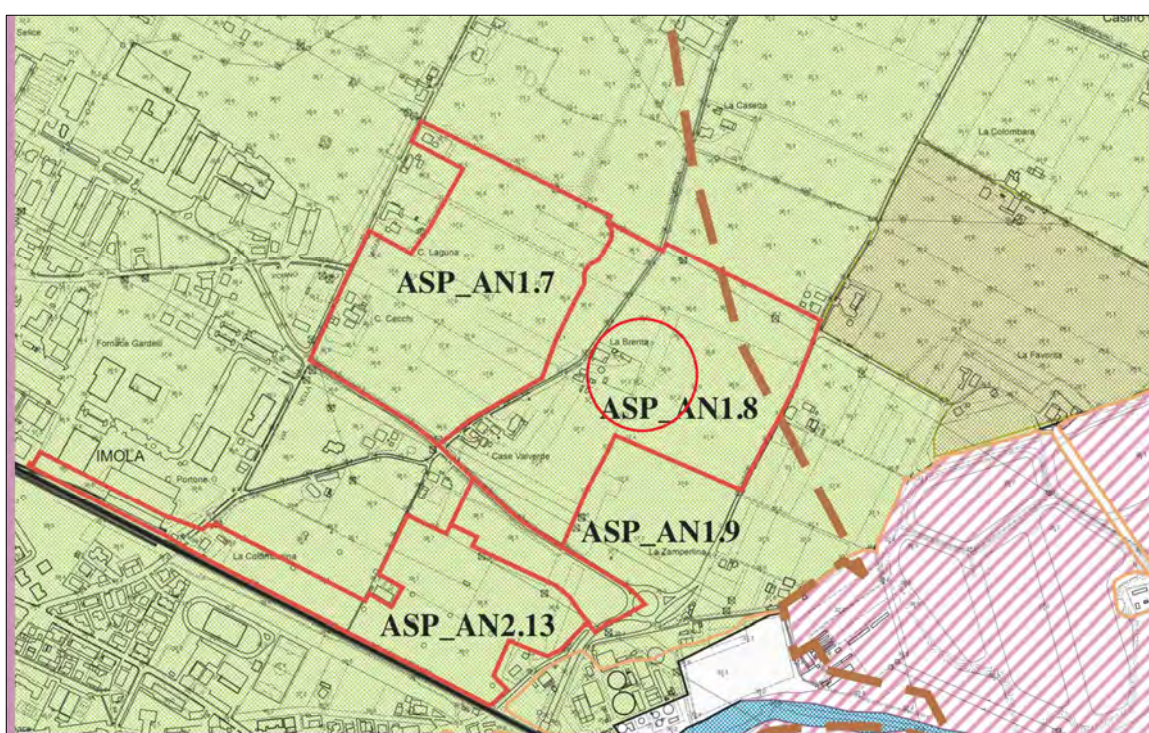


Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle indagini geofisiche eseguite (stralcio scheda d'ambito PSC Imola e foto <<Google Earth>>)



2. Modalità d'indagine

2.1 Stendimento MASW/Re.Mi.

Si tratta di una prova geofisica basata sull'analisi delle onde sismiche superficiali e mediante la quale è possibile ricostruire un profilo verticale monodimensionale della velocità delle onde "S" fino alla profondità di 30 m ed oltre. Tale risultato è ottenuto mediante registrazioni di segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (piastra-martello), registrazioni del rumore sismico ambientale (tecnica passiva) e, successivamente, dall'analisi delle onde superficiali registrate. La combinazione delle due acquisizioni offre il vantaggio che la curva di dispersione sperimentale "combinata" può essere definita tra 0 e 60 Hz, quindi sia a basse che ad alte frequenze, e che è possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) fino a profondità maggiori di 30 metri, in funzione del sito e delle caratteristiche della sorgente.

Le acquisizioni sono state elaborate con il software GEOGIGA SURFACE PLUS. L'analisi dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata FK o FV) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Il risultato di tale analisi permette di costruire lo spettro di potenza mediante il quale è possibile ricavare la curva di dispersione sperimentale delle onde "R". Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica permette di determinare un profilo 1D verticale della velocità V_s , compatibile con la curva sperimentale ottenuta.

L'acquisizione dei dati è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo digitale a 24 bit di marca ABEM (mod. RAS-24) e 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz. La lunghezza totale della linea sismica è stata di 69 m, con un intervallo costante tra i ricevitori pari a 3 m. Il campionamento temporale per le registrazioni passive è stato pari a 2 ms e la durata pari a 32 s, mentre per le registrazioni attive il campionamento è stato pari a 0,5 ms e la durata pari a 2 s. Per questa indagine sono state acquisite complessivamente 15 registrazioni.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.

*Figura 2 - Stendimento sismico
MASW/Re.Mi.*



2.2 Registrazione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale “TrominoR” in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto periodo. Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l'analisi tomografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Igashiri, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L'elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza f_r del sottosuolo

$$f_r = V_s/4 \cdot H \quad \text{con} \quad H = \text{spessore dello strato}$$

In questo modo, le misure tomografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un'indagine non invasiva e l'acquisizione avviene tramite l'utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d'indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. La traccia acquisita viene elaborata tramite l'utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario “smoothing” (lisciamento) del segnale, poi la rappresentazione grafica dell'amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tomografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell'acquisizione di 20 minuti. L'elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito pari al 10%. Per la prova espletata, la registrazione ha necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 25% della traccia acquisita.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.



Figura 3 – Registrazione HVSR

3. Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2015)

Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alla frequenza di circa 8,5 Hz (basso rapporto spettrale $H/V < 2$), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 metri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re.Mi. si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (V_s), e in particolare si è misurata una V_{s30} a partire dal suolo pari circa a 336,3 m/s.

Sulla base dei dati geofisici si fornisce di seguito l'aggiornamento della caratterizzazione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2015. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi della DAL 112/2007.

L'area di studio è classificabile nel macro contesto denominato <<**Margine appenninico di tipo B: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, caratterizzato da spessore di terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato geologico**>>.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 1,6;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 1,7;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 2,1;
- FA SI (0.5s-1.5s) = 2.2.

Elaborazione: dott. geol. Antonio Milioto

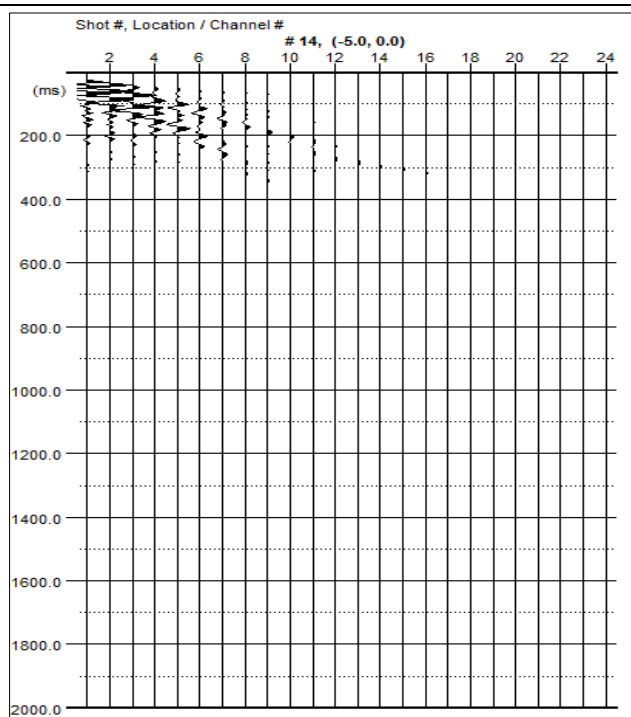


PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA ATTIVA MASW/PASSIVA MASW/Re.Mi.

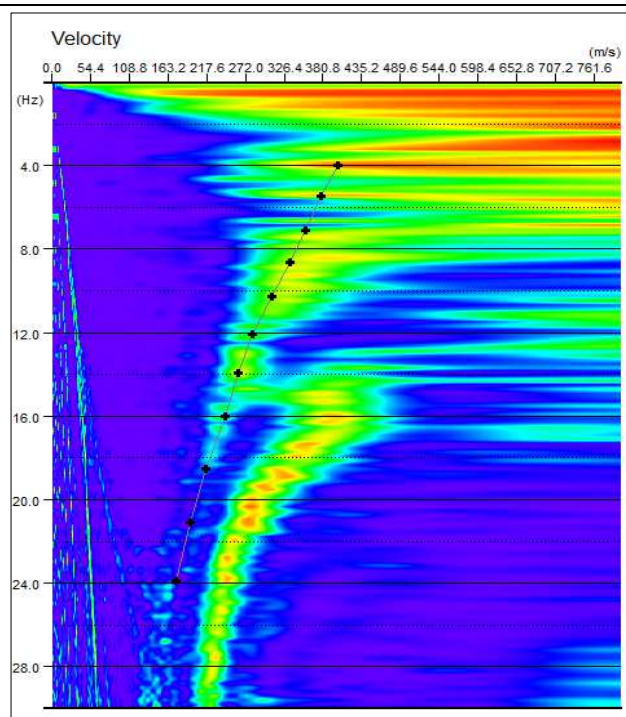
Ambito ASP_AN1.8, via Valverda – Comune di Imola (BO)

n° tracce	Δx (m)	L tot (m)	Δt (ms)	T (s)
15	3,0	69,0	0,5/2,0	2,0/32,0

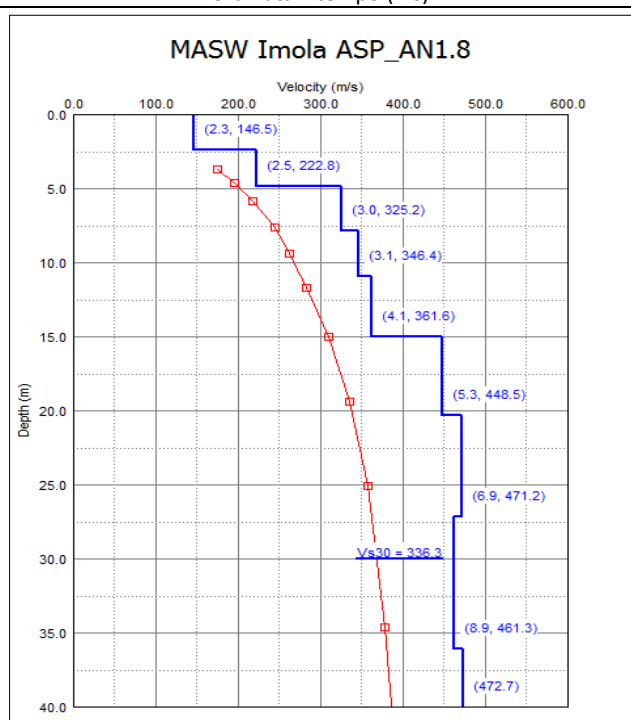
Δx : interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt : passo di campionamento; T: durata registrazione.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza tra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio $f-v$ e Picking della curva sperimentale delle onde R (croci nere).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di V_s e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_s (m/s)
1	2.3	2.3	146.5
2	4.8	2.5	222.8
3	7.8	3.0	325.2
4	10.9	3.1	346.4
5	15.0	4.1	361.6
6	20.3	5.3	448.5
7	27.2	6.9	471.2
8	36.1	8.9	461.3
9	∞	∞	472.7

$$V_{s30} = 336.3 \pm 10\% \text{ [m/s]}$$

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di V_{s30} calcolato.

IMOLA - ASP_N1.8, via Valverda, TR1

Instrument: TRZ-0108/01-10

Start recording: 30/04/18 12:28:20 End recording: 30/04/18 12:48:21

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)

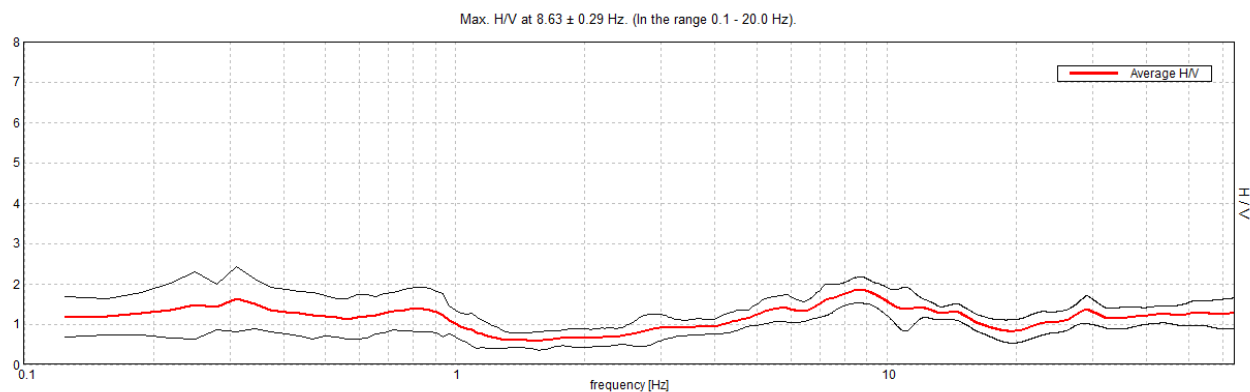
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

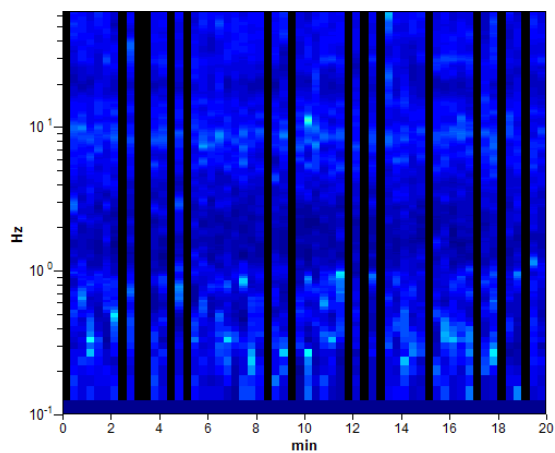
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

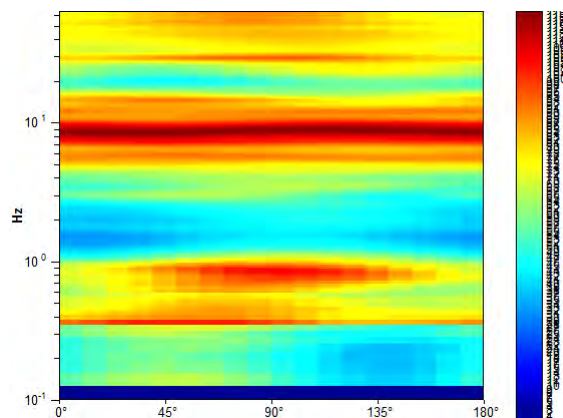
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



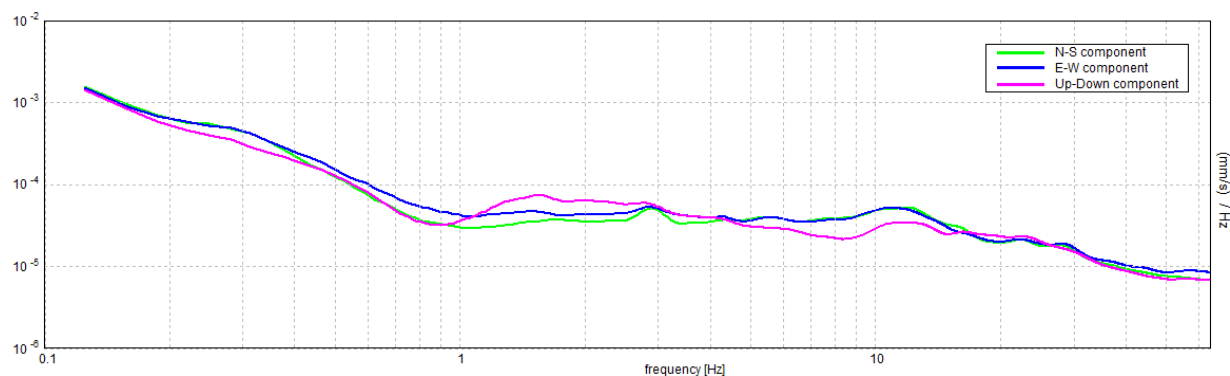
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 8.63 ± 0.29 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$8.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$7762.5 > 200$	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 415 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.84 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01643 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.14175 < 0.43125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.158 < 1.58$	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