

CA studio
associato

RELAZIONE GEOLOGICA

SULLE INDAGINI ESEGUITE PER IL PIANO URBANISTICO
ATTUATIVO AMBITO ASP_AN2.9 VIA LASIE
IN COMUNE DI IMOLA (BO)

Committente:

Zini Elio s.r.l.

Via I maggio 47

40026 Imola



Imola 25 marzo '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	10
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	10
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	12
4	STRATIGRAFIA DELLE UNITÀ QUATERNARIE CONTINENTALI	15
4.1	SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO.....	15
4.2	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)	21
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	25
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE	27
6.1	INDAGINI PREGRESSE IN PROSSIMITÀ DEL SITO	27
6.2	INDAGINI ESEGUITE NELLA PRESENTE CAMPAGNA DI INDAGINI	30
7	PROGETTAZIONE GEOTECNICA	33
8	SISMICITÀ DELL'AREA	37
8.1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO ATTRAVERSO PROVE DOWN HOLE	39
9	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	41
10	CONCLUSIONI.....	44

1 Premessa

Su incarico di Zini Elio s.r.l. è stata eseguita un'indagine geologica e geotecnica per il Piano Urbanistico Attuativo di via Lasie, 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° 3 prove penetrometriche statiche, 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)*.

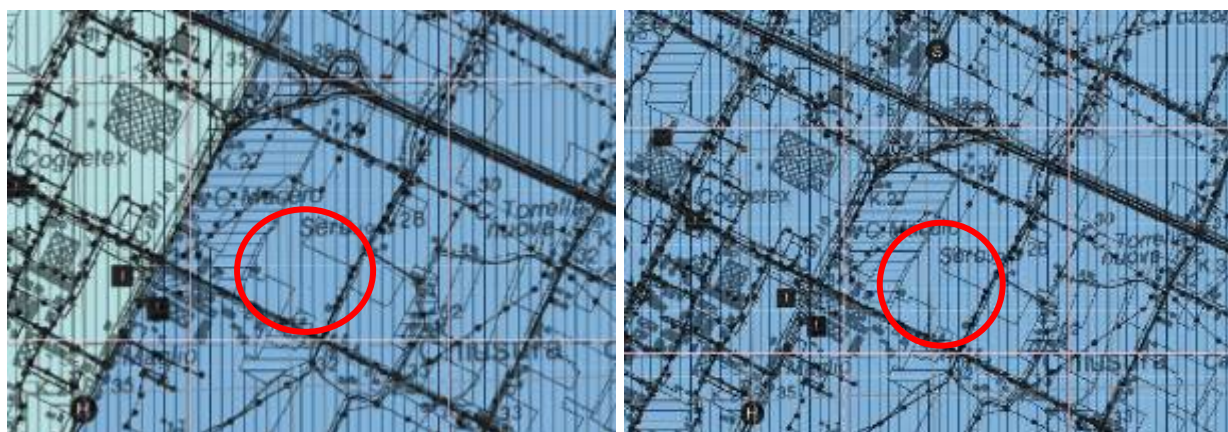


Figura 3: Mappa di pericolosità ed elementi esposti, reticolo naturale principale e secondario e reticolo secondario di pianura

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).

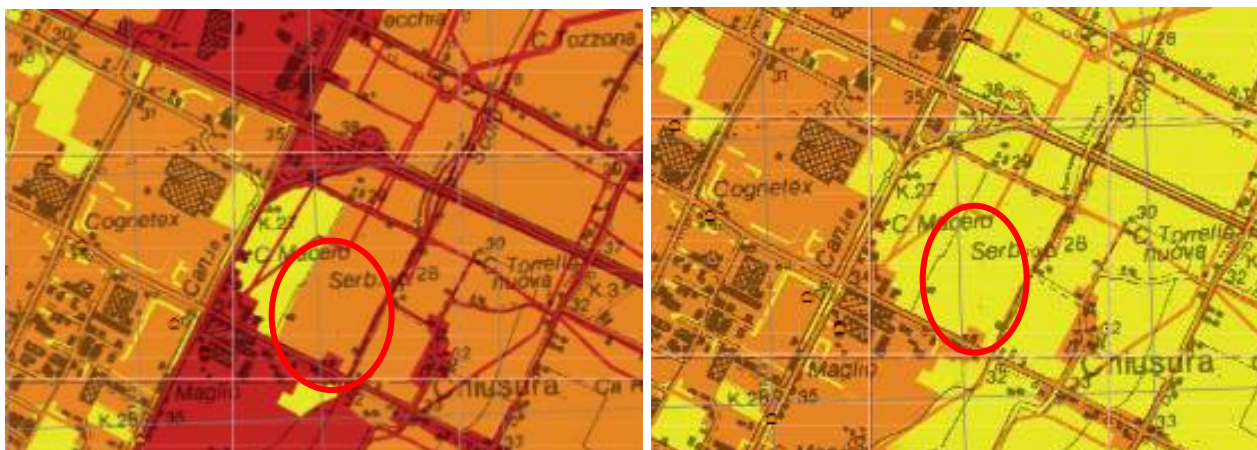


Figura 3: Mappa del rischio alluvioni, reticolo naturale principale e secondario e reticolo secondario di pianura

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.

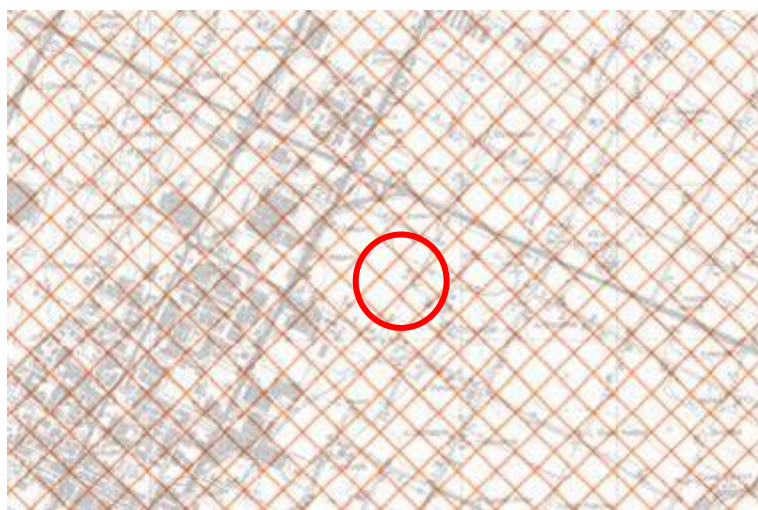


Figura 4: Tav. 2 A, foglio IV

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 5: 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'ininfluente 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 6: 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".

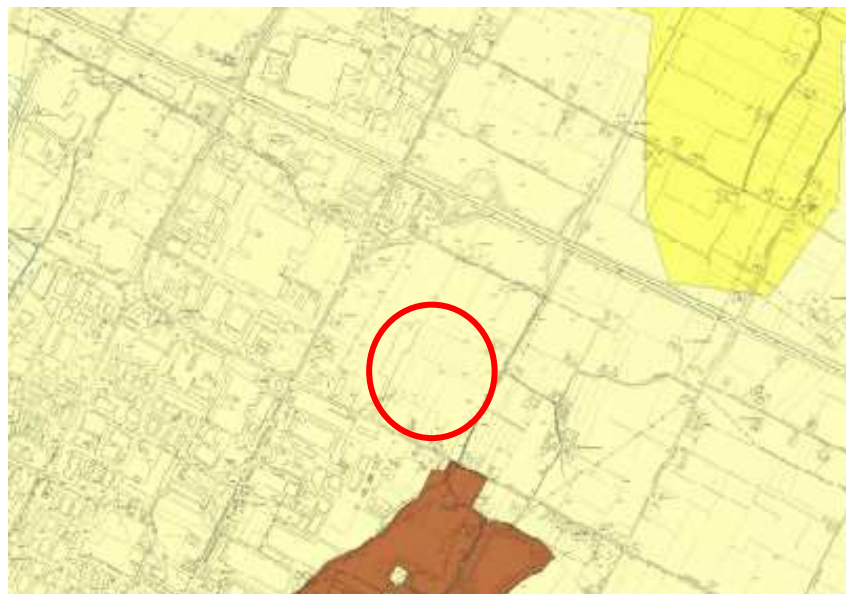


Figura 7: Tav. 5.3 Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali - analisi di I livello

La Tav. 7 Foglio 3 - Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione PGA - Analisi di II livello indica che il fattore di amplificazione PGA per l'area oggetto di studio è 1,4.



Figura 8: Tav. 7.3 - Fattori di amplificazione PGA

La Tav. 8 Foglio 3 - Fattori di amplificazione SI (0.1-0.5 secondi) il fattore di amplificazione SI tra 0,1 e 0,5 secondi per l'area oggetto di studio è 1,7.



Figura 9: Tav. 8.3 - Fattori di amplificazione SI 0,1-0,5 sec

La Tav. 9 Foglio 3 - Fattori di amplificazione SI (0.5-1,0 secondi) il fattore di amplificazione SI tra 0,5 e 0,1 secondi per l'area oggetto di studio è 2,0.



Figura 10: Tav. 9.3 - Fattori di amplificazione SI 0,5-1,0 sec

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

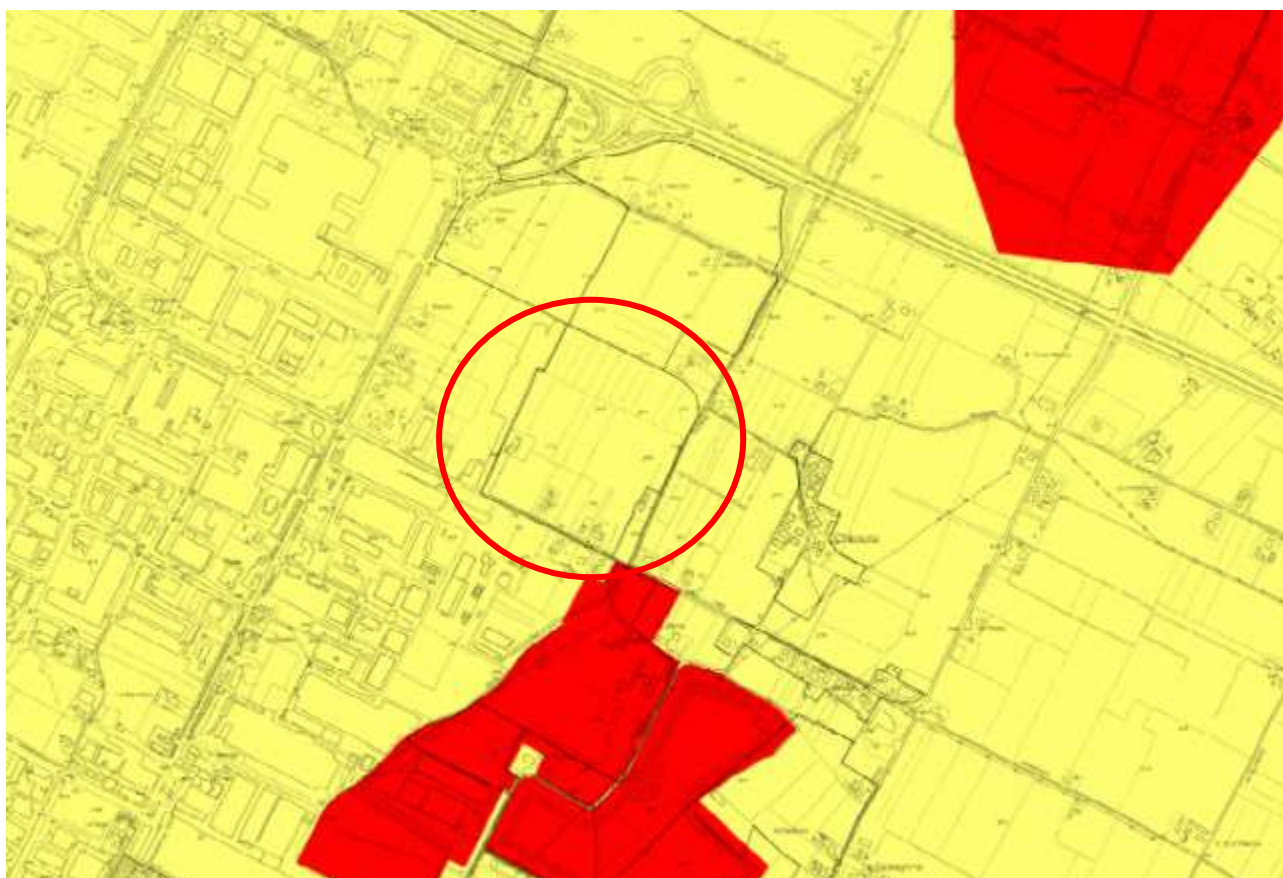


Figura 11: Tav. 10.3 - *Carta di sintesi*

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.

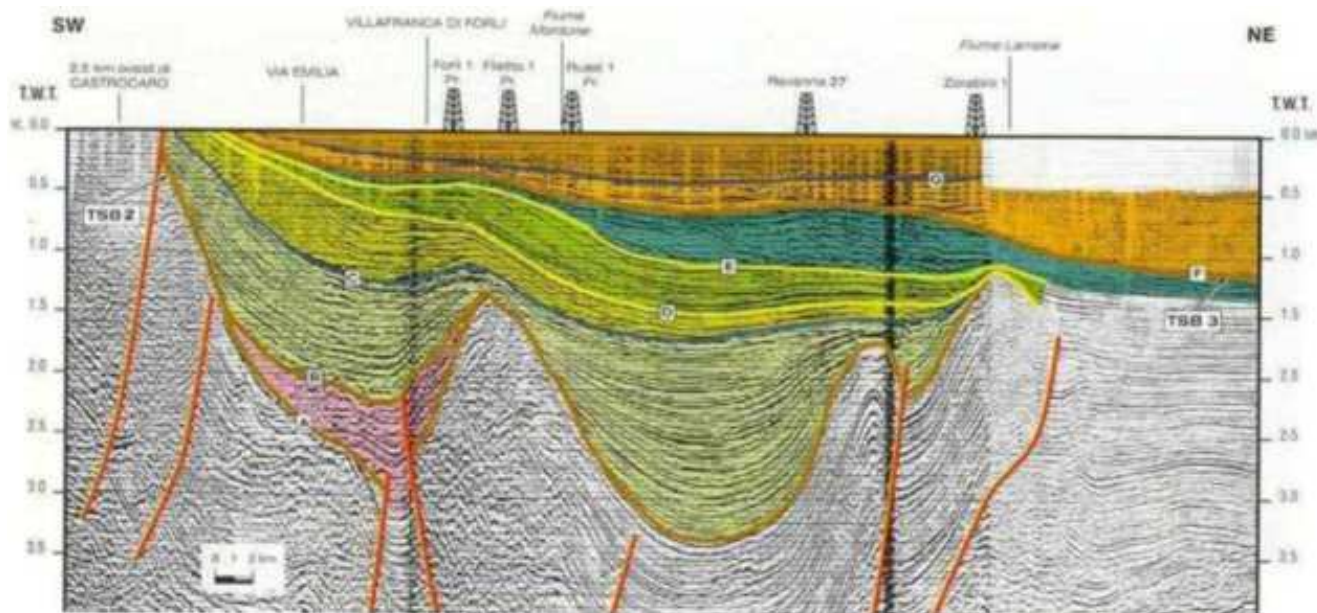


Figura 12: sezione sismica che illustra la struttura del Bacino Padano e la sua suddivisione in sequenze deposizionali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il basso grado di deformazione tettonica della sequenza deposizionale più recente (situata al di sopra della discontinuità "G" in figura 12) 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).

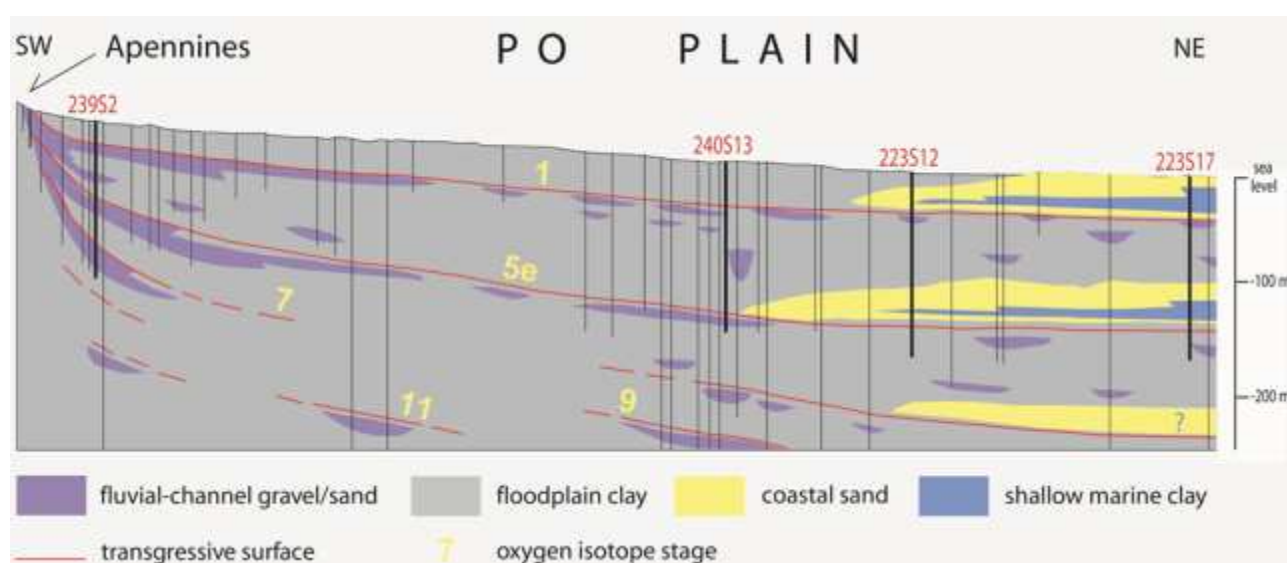


Figura 13: stratigrafia del Bacino Padano, dal margine appenninico al Mare Adriatico, e sua suddivisione in sequenze trasgressivo-regressive legate alla ciclicità milankoviana dei 100.000 anni. Si osservino i rapporti stratigrafici tra depositi di conoide alluvionale (in viola) e litorali (in giallo), 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.

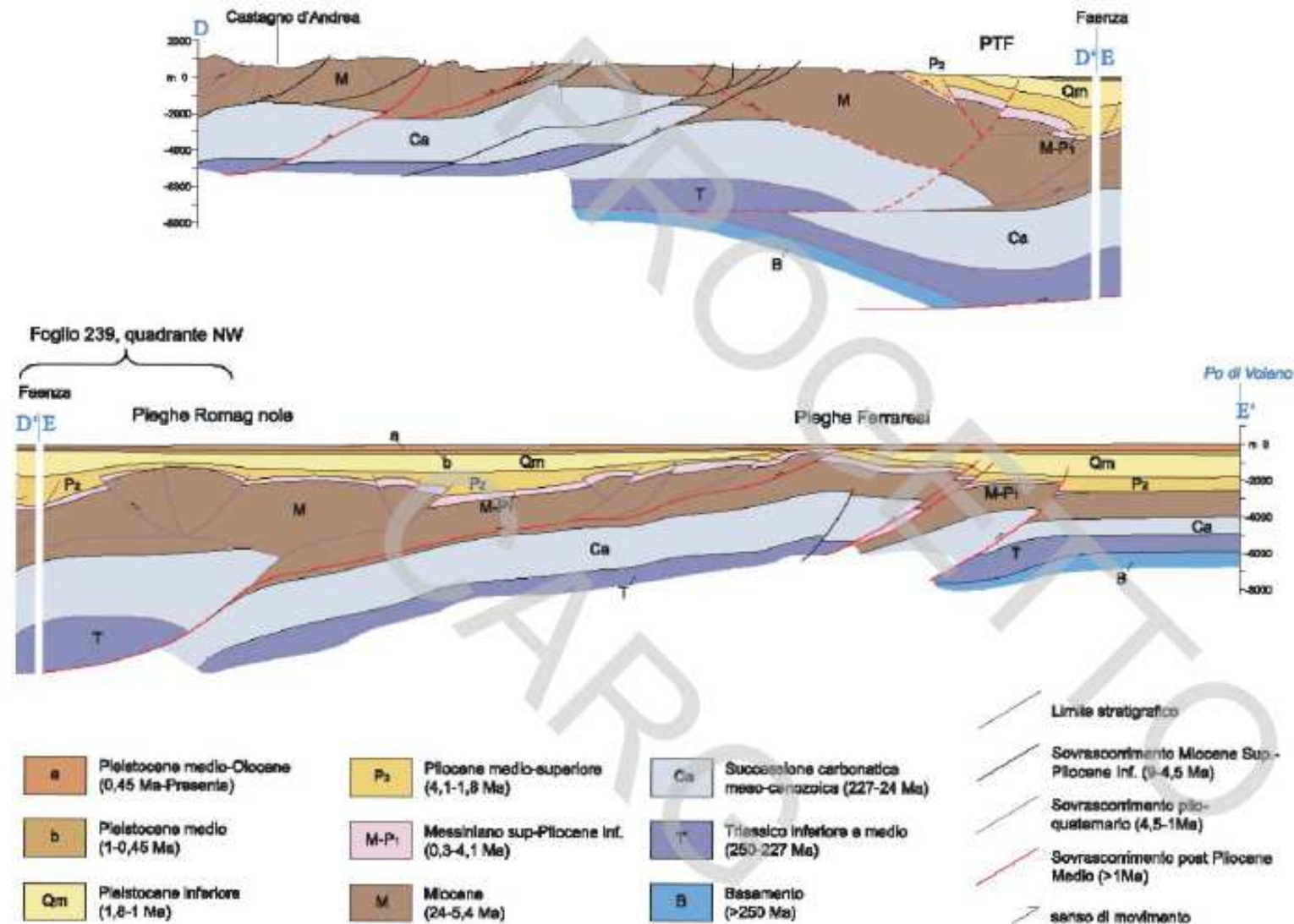


Fig.14 - Sezione geologico-strutturale dal crinale dell'Appennino tosko-romagnolo al Po (da BOCCALETTI et alii, 2004).

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.

In numerosi fogli della carta geologica d'Italia alla scala 1:50 000, (fogli 199, 219, 240-241, 256, 2005; fogli 180, 220, 221, 238, 255, in stampa) il Supersistema Emiliano-Romagnolo comprende due sistemi distinti (Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo. Nel Foglio 239 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati unicamente nel sottosuolo della pianura. 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 (Fig. 19).

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

4.1.1 Sistema emiliano-romagnolo inferiore (AEI)

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Considerata la profondità mediamente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna – vedi figg 19 e 20) 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.

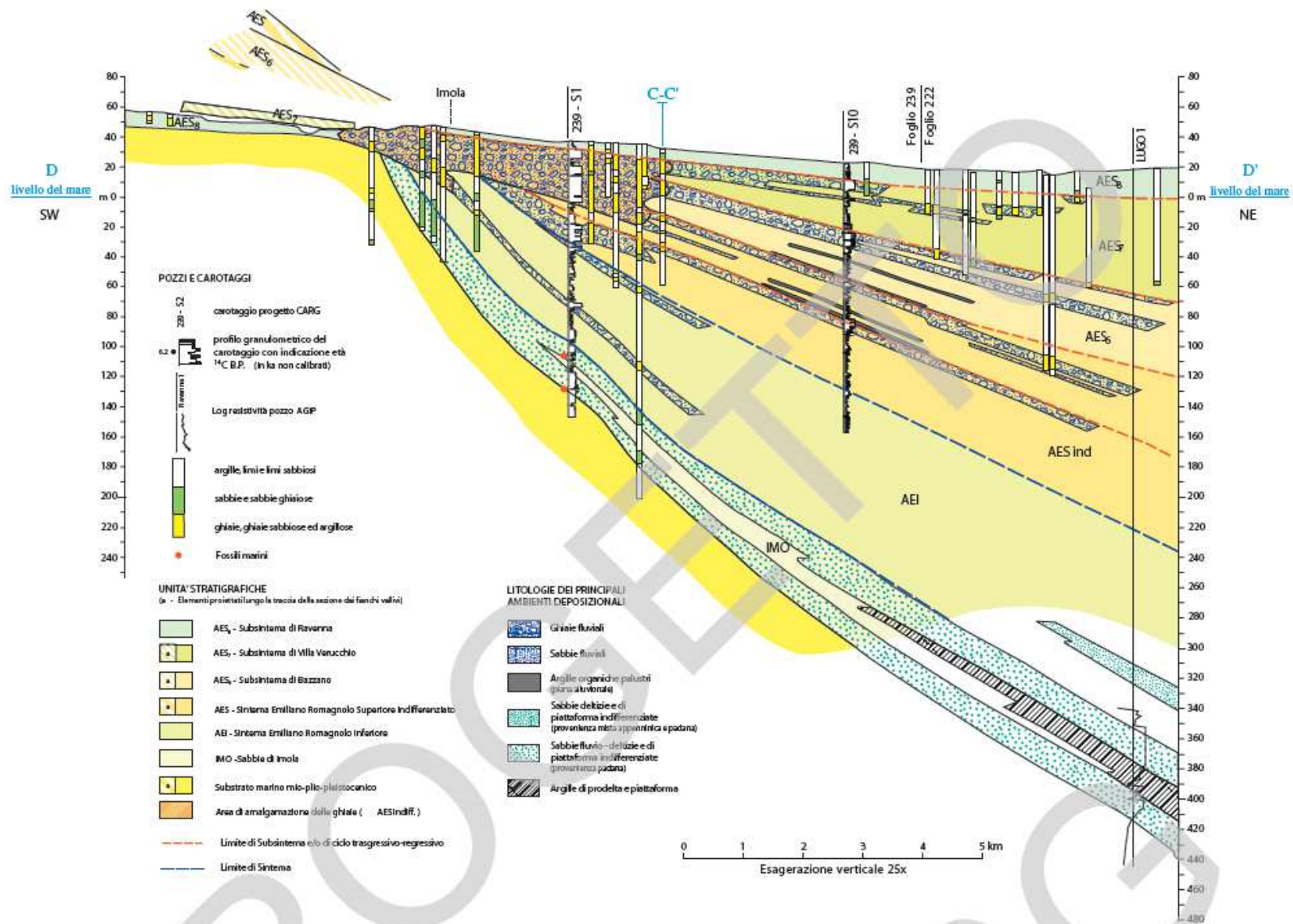


Fig.15 *Stratigrafia del Supersistema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Santerno.*

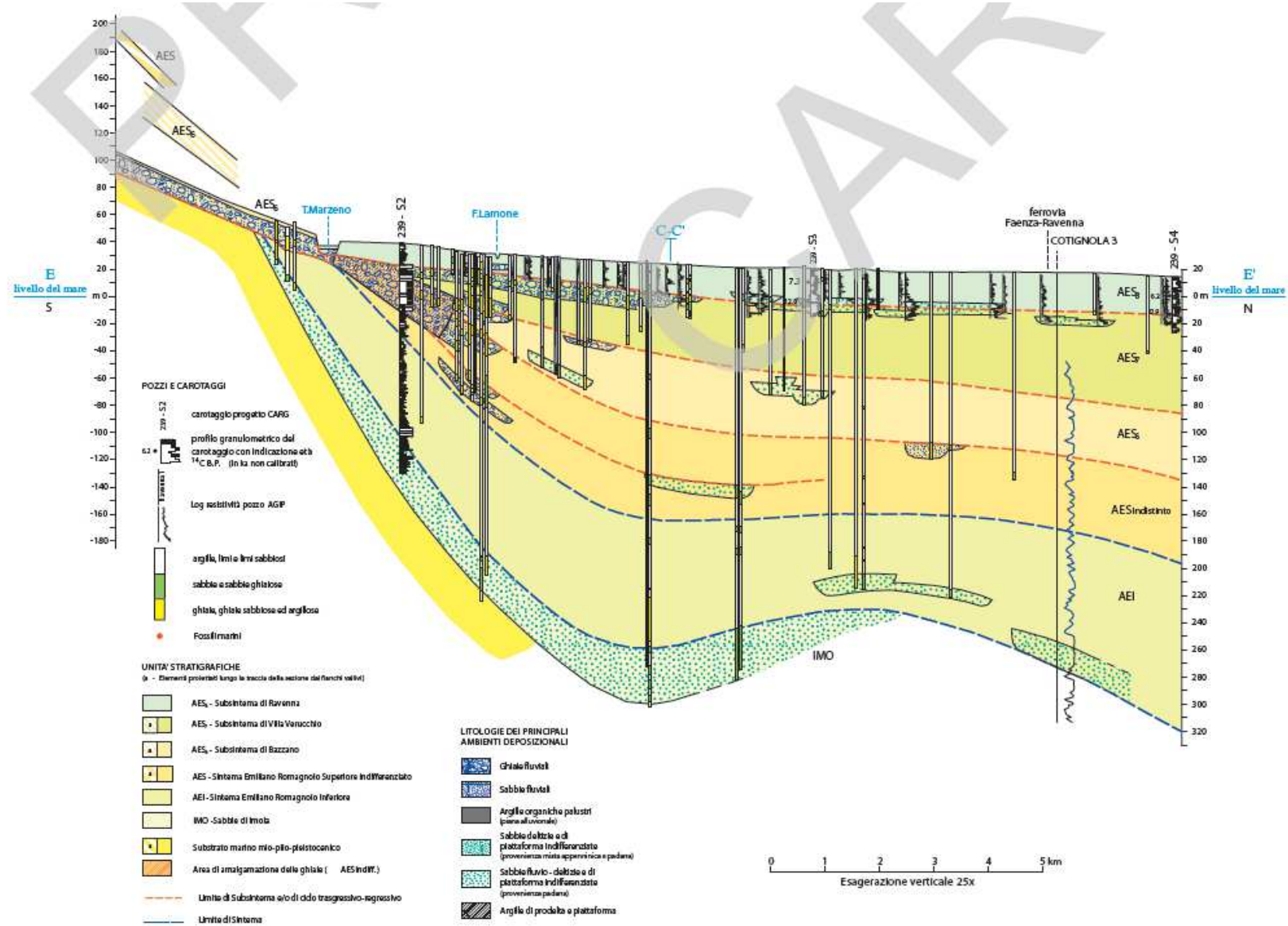


Fig.16 *Stratigrafia del Supersistema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Lamone.*

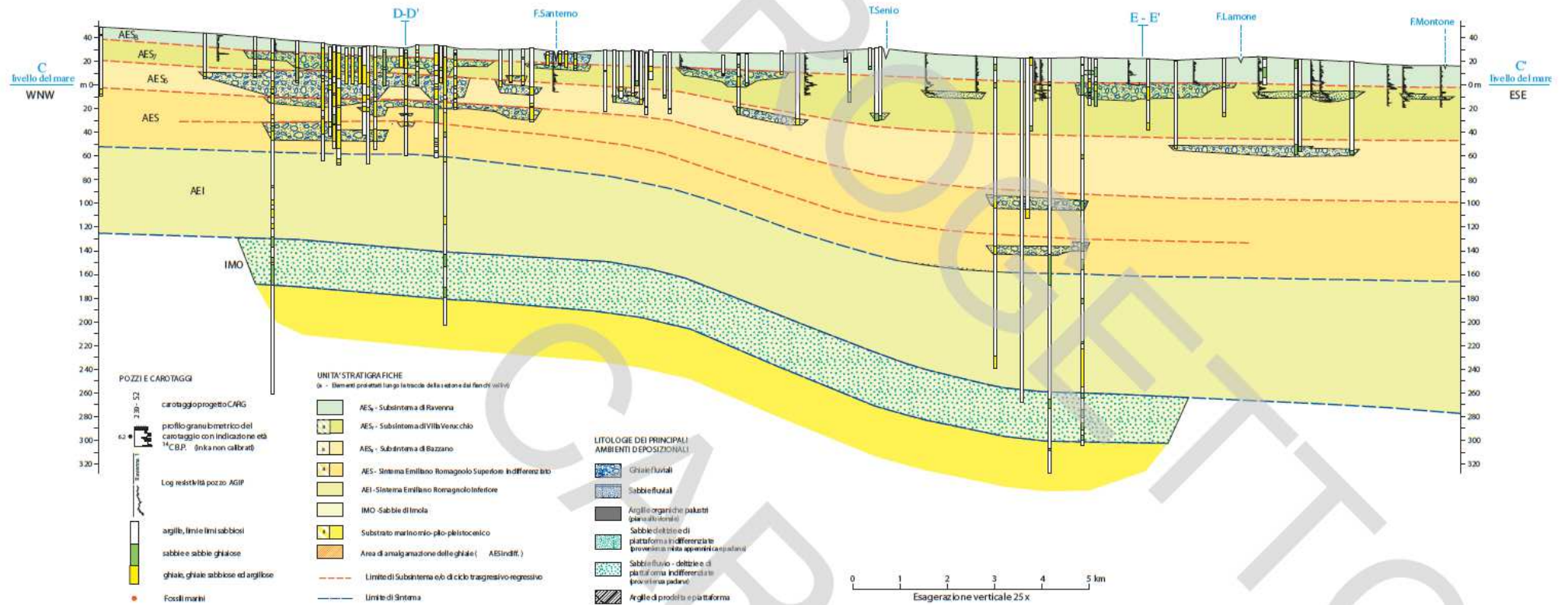


Fig. 17 *Stratigrafia del Supersistema Emiliano-Romagnolo lungo una sezione parallela al margine appenninico.*

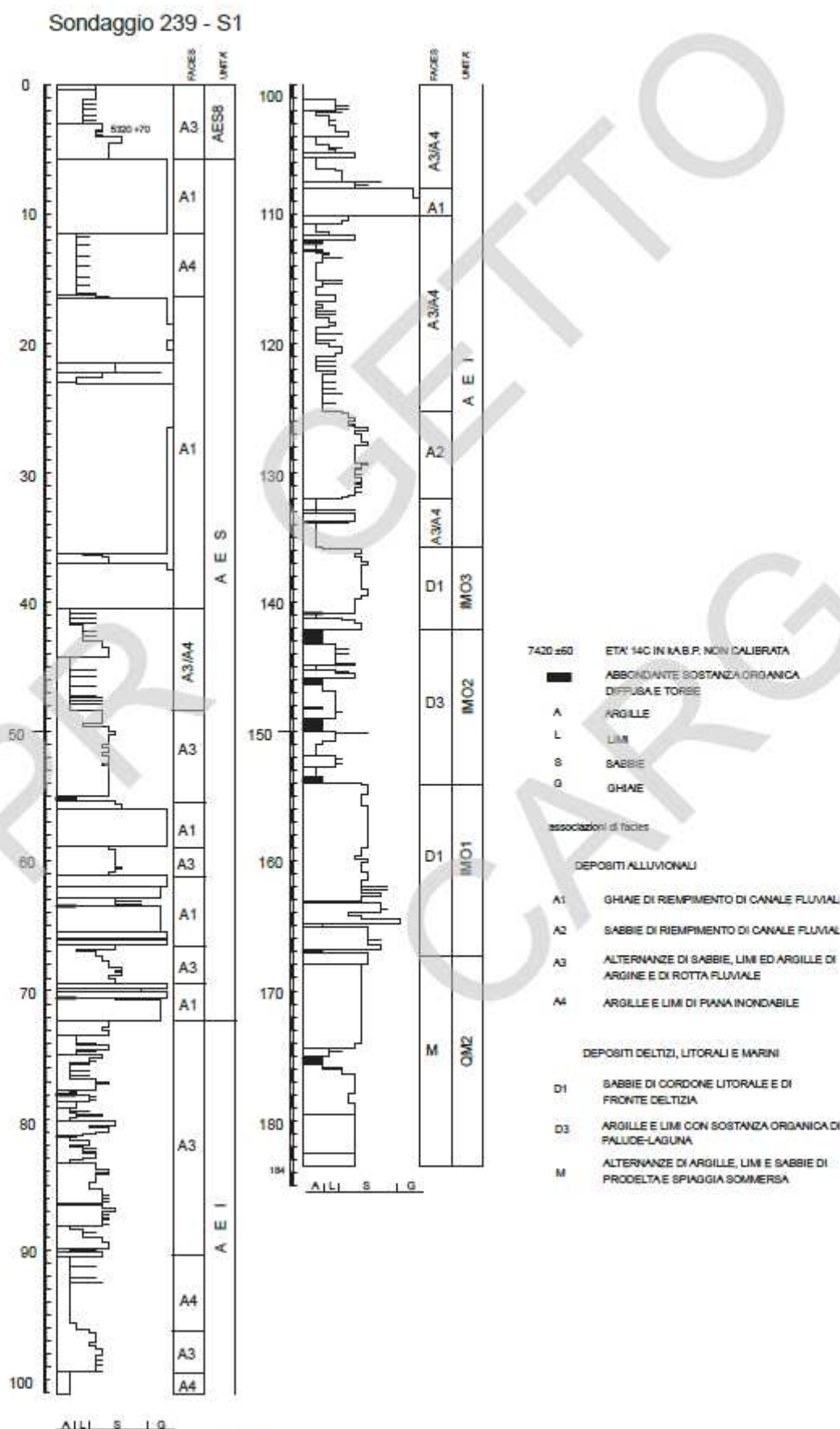


Fig. 18 *Stratigrafia e facies del sondaggio a carotaggio continuo 239-S1.*

In corrispondenza del sondaggio 239-S1 (fig. 18), che attraversa l'intero Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore raggiungendone la base intorno a – 140 m dal piano campagna (fig. 16), in accordo con quanto riscontrato su gran parte del sottosuolo bolognese (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; 2001; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna, in stampa) AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie. Caratteristica di questa unità è la frequente presenza di sequenze granulometriche negative alla scala dei 2-5 metri, associata allo scarso sviluppo di paleosuoli. Orizzonti di argille organiche e concentrazioni di legni sono frequenti a vari livelli stratigrafici. 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. Informazioni del tutto analoghe si traggono anche dall'osservazione del sondaggio 239 S2, l'altro che attraversa per intero l'unità in questione.

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 (figg 18 e 19) 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 (figg 18 e 21), AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri. È da sottolineare il caratteristico colore grigio-verde dei limi e delle argille attribuiti a questa unità, che contrasta fortemente con il colore grigio-nocciola o giallo-bruno del sovrastante Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

Tutti i caratteri sopra descritti sono indicativi di questa unità nel settore più prossimo alla catena appenninica, tuttavia l'osservazione della porzione più settentrionale della sezione geologica riportata in fig. 19 mostra che in AEI sono presenti pure dei corpi sabbiosi spessi fino a una ventina di metri. Come si vede dalla sezione tali livelli sabbiosi non proseguono verso il margine appenninico dove AEI è caratterizzato da depositi alluvionali decisamente fini, ma al contrario paiono proseguire verso nord. Viste le caratteristiche geometriche, la natura di queste sabbie è probabilmente padana, in analogia con quanto osservato nei fogli più settentrionali e con quanto indicato in Riserve Idriche della Regione Emilia- Romagna (si veda in particolare la carta riportante lo spessore cumulativo dei depositi permeabili del gruppo acquifero B, cui l'unità AEI corrisponde, regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) Tali sabbie rappresenterebbero quindi degli apparati deltizi padani che giungevano sino a questo settore della pianura emiliano-romagnola all'epoca di AEI e trovavano il loro massimo sviluppo nella zona più subsidente posta a nord della anticlinale indicata in fig. 19.

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.

4.2 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 (figg 19 e 20). 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 (figg 18 e 20).

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.

Nei settori di margine appenninico compresi tra aste fluviali contigue (interfluvi) la distinzione di AES in subsintemi non è facilmente eseguibile. Qui infatti non sono più ben riconoscibili le scarpate di erosione fluviale che nelle aste vallive maggiori separano i diversi subsintemi. Per questo motivo, nei settori di interfluvio si è provveduto a una generica attribuzione dei depositi ad AES. In queste aree l'unità è caratterizzata da limi sabbiosi o sabbie limose, con rari livelli più grossolani. Al loro interno questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di paleosuoli con fronte di alterazione spesso fino ad alcuni metri. Anche la superficie topografica presenta depositi intensamente pedogenizzati. Qui i suoli (Alfisuoli) sono generalmente policiclici e di spessore fino a cinque-sei metri. Questi depositi presentano una caratteristica geometria cuneiforme, con spessori che vanno da pochi metri nei settori montani ad alcune decine di metri verso il limite con l'antistante pianura. Dal punto di vista stratigrafico, essi generalmente costituiscono l'equivalente laterale indistinto di AES4 e AES5.

Nel sottosuolo di pianura del Foglio Faenza, l'interpretazione di profili sismici ha messo in luce il limite localmente discordante tra AES e la sottostante AEI (regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Il limite superiore di AES corrisponde alla superficie topografica. Tra i pochi sondaggi di qualità che attraversano interamente AES si segnalano i tre sondaggi 239 S1, 239 S2 e 239 S10.

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 (sondaggio 239 – S1 in fig 18) o 30 metri (sondaggio 239 – S2 in fig 19) 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). Il caratteristico *pattern* radiale delle paleocorrenti e l'apertura a ventaglio in pianta dei corpi grossolani a partire dalla terminazione in pianura delle valli intramontane consente l'attribuzione della parte alta dei cicli a sistemi coalescenti di conoidi alluvionali dominate da processi fluviali (Amorosi *et alii*, 1997).

Analogamente a quanto operato nei fogli limitrofi, la base dei cicli sedimentari qui definiti come subsistemi è posta convenzionalmente in prossimità del tetto di questi corpi grossolani di canale fluviale. Questa scelta ha un significato essenzialmente operativo, in quanto permette una immediata correlazione con i cicli trasgressivo-regressivi cartografati nel sottosuolo della piana costiera romagnola (vedi anche l'approfondita discussione degli aspetti concettuali in Amorosi & Colalongo, 2005). In quest'ottica, le porzioni argilloso-limose basali dei cicli individuati nel sottosuolo del Foglio 239 vengono correlate con i depositi marino marginali trasgressivi (TST) e di stazionamento alto (HST) che costituiscono le porzioni basali dei cicli riconosciuti nel sottosuolo della piana costiera, mentre i corpi ghiaiosi di canale fluviale corrisponderebbero ai depositi di caduta del livello marino (FST) e successivi sedimenti di stazionamento basso (LST).

L'architettura dei cicli deposizionali è chiaramente documentata lungo gli assi dei fiumi principali, laddove i contrasti litologici sono più marcati. In aree molto prossimali, dove i corpi ghiaiosi appartenenti a cicli deposizionali distinti sono frequentemente amalgamati, i diversi subsistemi sono virtualmente indistinguibili (figg 18 e 19). All'estremo opposto, in settori scarsamente interessati dall'attività fluviale, dove i depositi grossolani sono scarsi o assenti (aree interfluviali, di interconoide e nei settori più settentrionali), l'assenza di forti contrasti litologici determina problemi concreti nella definizione dei limiti di ciclo.

La correlazione tra i subsistemi distinti in affioramento e i cicli deposizionali identificati in sottosuolo è problematica a causa della scarsa preservazione dei depositi alluvionali al margine appenninico, dell'assenza di superfici guida fisicamente tracciabili e di notevoli difficoltà nella datazione di depositi continentali oltre il limite di risoluzione del ^{14}C (Amorosi *et alii*, 1996).

Per quanto riguarda i subsintemi sommitali (AES8 e AES7), il grande numero di sondaggi disponibili e, soprattutto, il controllo cronologico tramite datazioni al ^{14}C , forniscono un quadro sufficientemente affidabile per la correlazione tra le porzioni affioranti e quelle sepolte. I subsintemi sottostanti possono essere correlati tentativamente, per posizione stratigrafica, ai complessi acquiferi A2-A4 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998).

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

4.2.1 Subsintema 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 Subsintema 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.

Il tetto di AES8, che coincide col piano topografico, presenta suoli a diverso grado di evoluzione, con orizzonte superiore da calcareo (Entisuoli, tipici dell'unità di Modena) a non calcareo (Inceptisuoli).

In prossimità del margine del bacino e nei settori di pianura in cui AES8a non è presente, al tetto di AES8 si rinvenivano suoli maggiormente evoluti, non calcarei o scarsamente calcarei, sviluppatasi in un intervallo di tempo superiore a 1500 anni. Questi Inceptisuoli presentano un orizzonte superficiale decarbonatato di colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, di spessore variabile tra 0,5 e 1,5 m, al di sotto del quale è presente un orizzonte ad accumulo di carbonato di calcio sotto forma di concrezioni o concentrazioni soffici. Questi suoli sono associati a ritrovamenti di reperti archeologici di età variabile dal Neolitico, al Bronzo e Ferro, fino al Romano.

In pianura, al di sopra dell'orizzonte palustre sono presenti depositi alluvionali. I corpi ghiaiosi in questo caso si estendono su una superficie nettamente inferiore rispetto a quella relativa alle ghiaie al tetto di AES7, come documentato dalla cartografia riportata nel foglio allegato alla carta geologica. Al di sopra delle ghiaie, fino alla superficie topografica, sono presenti depositi

prevalentemente limoso-sabbiosi di argine e rotta fluviale. Questi, nelle aree più prossime alla catena, sono frequentemente caratterizzati al loro interno da una successione spessa circa 4 metri, costituita da quattro sottili sequenze a gradazione positiva, ciascuna interessata al tetto da un Inceptisuolo variamente arricchito in sostanza organica, al cui interno si ritrovano reperti Neolitici ed Eneolitici sia rimaneggiati che in posto.

Lo spessore massimo del Subsintema di Ravenna nel sottosuolo del Foglio Faenza è di circa 20 m. Nei casi in cui la parte sommitale di AES7 non sia contraddistinta da depositi grossolani di canale fluviale, il limite basale di AES8 è definito, analogamente a quanto recentemente documentato per l'area ravennate (Amorosi & Marchi, 1999), da un orizzonte sovraconsolidato che, oltre che per un limitato incremento di resistenza alla punta, si caratterizza in prove penetrometriche con il piezocono per il brusco incremento di resistenza laterale e per la diminuzione della pressione interstiziale dovuta al passaggio verso il basso da argille molli grigio scure, ricche in legni e frustoli carboniosi, ad sedimenti fini più compatti grigio-nocciola ricchi in concrezioni carbonatiche. Allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, dove la base di AES8 è caratterizzata da depositi ghiaiosi amalgamati con quelli di AES7, il limite tra i due subsintemi è virtualmente indistinguibile. Età: Pleistocene superiore-Olocene (13 ka-Attuale), su base radiometrica.

5 Inquadramento geologico dell'area oggetto di studio

L'area di indagine si trova circa 700 m a sud della Autostrada A14, tra via Lasie e via Fossetta, 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 31 metri s.l.m..

La zona oggetto d'indagine si situa sui depositi alluvionali del fiume Santerno e del Rio Gambellara, appartenenti al Subsintema AES8 Subsintema 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 il Rio Gambellara, rettificato antropicamente, che scorre circa 1150 m a WNW.

A circa 350 m in direzione NW scorre il Canale dei Mulini, opera idraulica antropica lunga 42 km realizzata nel medioevo, che ricalca in parte il tracciato di un canale romano.

Di seguito si riporta la cartografia geologica dell'area oggetto d'indagine (fig. 19).

Nel corso della presente campagna d'indagini sono state eseguite n.3 prove penetrometriche statiche per verificare la stratigrafia ed alcuni parametri caratteristici dei terreni su cui s'imposteranno gli interventi in progetto ed un'indagine sismica con una prospezione MASW ed HVSR.

Sono state inoltre prese in considerazione indagini eseguite in precedenza in prossimità dell'area in oggetto e indagini fornite dal Servizio Geologico della regione Emilia Romagna e messe a disposizione sulla cartografia interattiva del medesimo sito web.

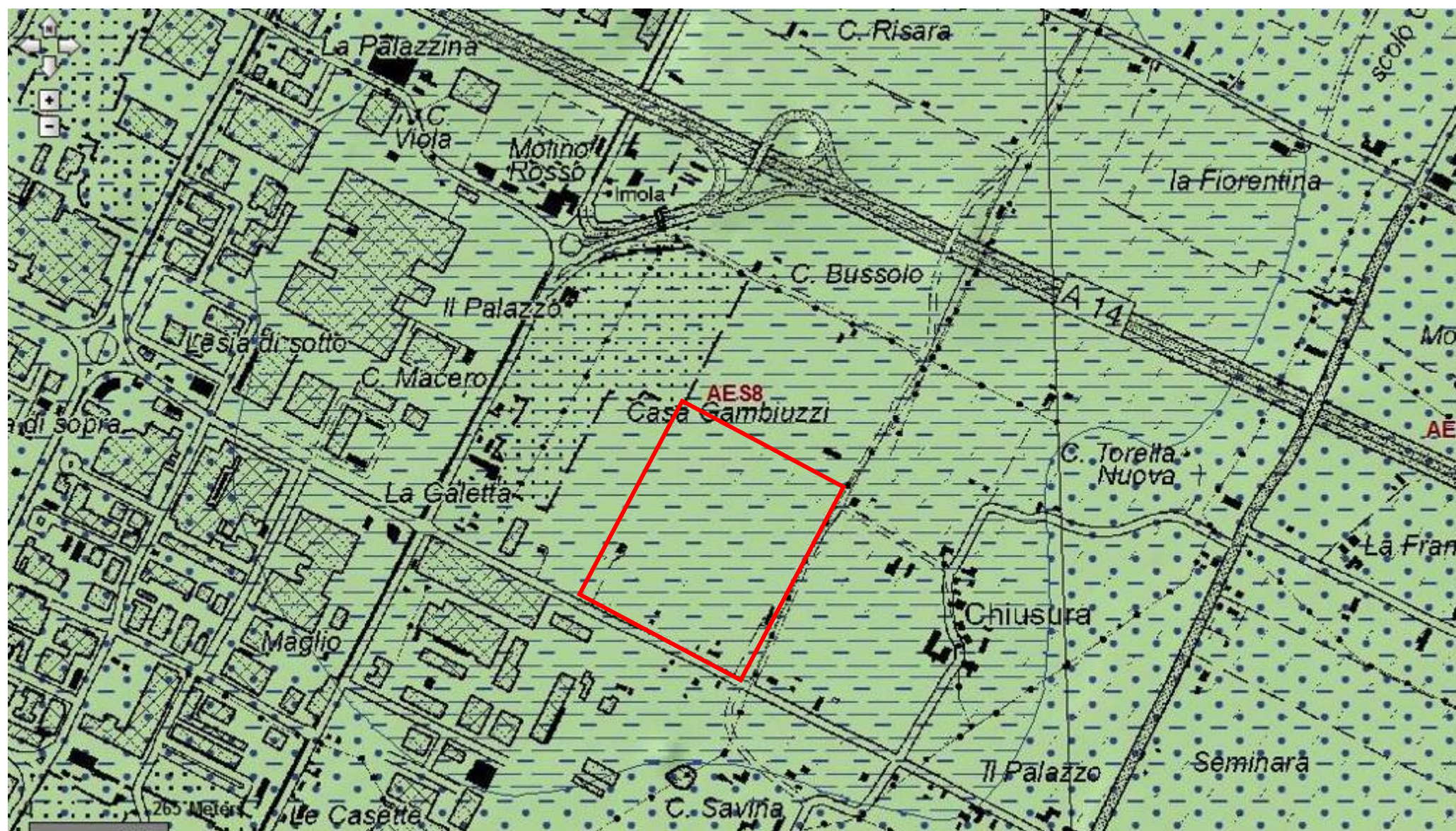


Figura 19:– Carta Geologica del Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia Romagna

6 Indagini geognostiche

6.1 Indagini pregresse in prossimità del sito

6.1.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Il sondaggio ha individuato la seguente stratigrafia, le profondità sono espresse in m da piano campagna:

- 0,0-0,5 m: terreno di riporto
- 0,5-2,4: argilla limosa
- 2,4-3,0: sabbia debolmente limosa
- 3,0-6,8: argilla limosa
- 6,8-6,9: sabbia fine
- 6,9-18,6: ghiaia sabbiosa
- 18,6-19,7: limo argilloso
- 19,7-30,0: ghiaia sabbiosa.

6.1.2 Down Hole

All'interno del foro di carotaggio in data febbraio 2006, da parte della ditta PROGEO s.r.l., è stata eseguita una prospezione geofisica con metodologia sismica (down hole), al fine di determinare le caratteristiche elastiche dei terreni; i moduli dinamici elastici sono correlati alle velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) per il loro modo di propagazione.

Le misure sono state effettuate in fori rivestiti con tubo in pvc del diametro interno di 3" con letture dei tempi ogni metro lineare di profondità, iniziando dal fondo del foro.

L'indagine down hole è stata effettuata, fino alla profondità accessibile alla strumentazione (30 m),. Per la prova in foro con tecnica down hole è stata utilizzata una sonda Progeo realizzata in materiale plastico nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due triplette di ricevitori (uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 6 ricevitori) determinando così ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione, per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

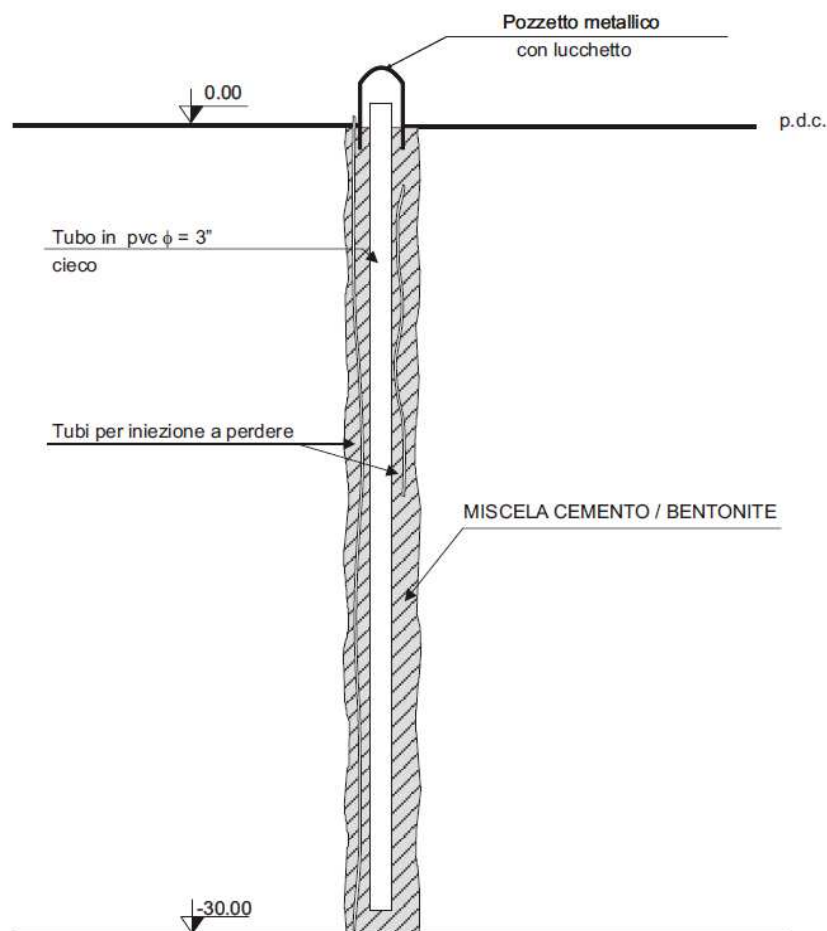


Figura 20: Schema Down Hole

Le indagini geofisiche sono state finalizzate quindi, in funzione della classificazione del suolo, alla determinazione in dettaglio delle variazioni verticali di velocità sismica delle onde di compressione (V_p) e delle onde di taglio (V_{sh}) per ricavare moduli e parametri elastici dinamici (Elasticità Edin, Taglio Gdin, Compressibilità Kdin, Coefficiente di Poisson ν).

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) e il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio. Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive similari; il generatore usato e denominato "Hammer Blow" è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.



L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso; tale apparato ha la possibilità di essere orientato sul piano orizzontale mediante l'utilizzo di "aste in alluminio" (vedasi foto allegata a fianco).

Tale apparato (sonda 3D) è formato da due gruppi di sensori composti ciascuno da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) tra loro ortogonali; l'interdistanza fra i due gruppi è di 1 m. (vedasi foto a lato).

Oltre alla sonda calettata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione. Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i 6 canali della sonda 3D, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro.

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode dotata di estremo dettaglio di campionatura (0.02 millisec) tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su pc.

I files dei dati sono così realizzati:

canale 1 - segnale del geofono orizzontale superiore direzione ortogonale (H2)

canale 2 - segnale del geofono orizzontale inferiore direzione ortogonale (H2)

canale 3 - segnale del geofono orizzontale superiore direzione parallela (H1)

canale 4 - segnale del geofono orizzontale inferiore direzione parallela (H1)

canale 5 - segnale del geofono verticale superiore (V)

canale 6 - segnale del geofono verticale inferiore (V)

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 5 sia sul geofono del canale 6 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Analogamente per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (S) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Modulo elastico	Qualità geomeccaniche
$E_d < 3 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ $E_s < 1,5 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$	Insufficiente
$3 \times 10^4 < E_d < 4 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ $2 \times 10^3 < E_s < 3 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$	Sufficiente
$4 \times 10^4 < E_d < 6 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ $3 \times 10^3 < E_s < 5 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$	Buono
$6 \times 10^4 < E_d < 15 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ $5 \times 10^3 < E_s < 15 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$	Ottimo

6.2 Indagini eseguite nella presente campagna di indagini

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.3 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.

Sulla base di quanto sopra riportato, si può definire il modello geologico dell'area, così ricostruito:

Prova CPT1

- Da 0,00 a 0,80 m di profondità da p.c.: terreno vegetale,
- Da 0,80 a 1,6 m di profondità da p.c.: limi argillosi a consistenza medio elevata,
- Da 1,6 a 4,4 m di profondità da p.c.: limi sabbiosi ad addensamento molto elevato,
- Da 4,4 a 5,6 m di profondità da p.c.: limi argillosi a consistenza elevata,
- Da 5,6 a oltre 6,4 m di profondità da p.c.: ghiaia in matrice sabbiosa, rifiuto strumentale.

Prova CPT2. La prova è stata effettuata su di uno strato di terreno di riporto spesso 0,5 m riportato sul piano di campagna.

- Da 0,00 a 0,50 m di profondità da p.c.: terreno di riporto eterogeneo,
- Da 0,50 a 1,6 m di profondità da p.c.: limi argillosi a consistenza medio bassa,
- Da 1,6 a 3,2 m di profondità da p.c.: limi sabbiosi ad addensamento medio,
- Da 3,2 a 4,2 m di profondità da p.c.: limi argillosi a consistenza media,
- Da 4,2 a 6,2 m di profondità da p.c.: limi sabbiosi ad addensamento medio,
- Da 6,2 a oltre 7,2 m di profondità da p.c.: ghiaia in matrice sabbiosa, rifiuto strumentale.

Prova CPT1

- Da 0,00 a 1,0 m di profondità da p.c.: terreno vegetale,
- Da 1,0 a 2,6 m di profondità da p.c.: limi argillosi a consistenza medio/medio elevata,
- Da 2,6 a 4,2 m di profondità da p.c.: limi sabbiosi ad addensamento molto elevato,
- Da 4,2 a 5,6 m di profondità da p.c.: limi argillosi a consistenza medio elevata,
- Da 5,6 a oltre 5,8 m di profondità da p.c.: ghiaia in matrice sabbiosa, rifiuto strumentale.

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

CPT 1				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu kg/cm ²	Ø
0,0-0,8	Terreno vegetale	1,65	0,46	-
0,8-1,6	limi argillosi a consistenza medio elevata	1,85	1,12	-
1,6-3,2	limi sabbiosi ad addensamento molto elevato	1,85	2,76	29
4,4-5,6	limi argillosi a consistenza elevata	1,85	1,44	-
5,6- >6,4	Ghiaie sabbiose	1,95	-	32
CPT 2				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu kg/cm ²	Ø
0,0-0,5	Terreno di riporto eterogeneo	1,65	0,3	-
0,5-1,6	limi argillosi a consistenza medio bassa	1,85	0,53	-
1,6-3,2	limi sabbiosi ad addensamento medio	1,85	1,00	28
3,2-4,2	limi argillosi a consistenza media	1,85	0,82	-
4,2-6,2	limi sabbiosi ad addensamento medio	1,85	0,94	28
6,2 - > 7,2	Ghiaie sabbiose	1,95	-	32
CPT 3				
PROFONDITA' (m)	LITOLOGIA	Y' t/m ³	Cu kg/cm ²	Ø
0,0-1,0	Terreno vegetale	1,65	0,59	-
1,0-2,6	limi argillosi a consistenza medio/medio elevata	1,85	1,10	-
2,6-4,2	limi sabbiosi ad addensamento molto elevato	1,85	1,83	28
4,2-5,6	limi argillosi a consistenza medio elevata	1,85	1,09	-
5,6- >5,8	Ghiaie sabbiose	1,95	-	32

7 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:

$$E_d \leq R_d \quad (6.2.1)$$

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.

8 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, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S 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 V_S 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, $V_{S,eq}$ (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	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.
B	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.
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.
D	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.
E	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.

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 $a_g = 0.25g$.

8.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove Down Hole

Le indagini geofisiche sono consistite nella realizzazione di una prova in foro eseguita con tecnica down hole e spinta fino alla profondità massima raggiungibile dalla strumentazione (30 m) nel sondaggio geognostico realizzato allo scopo. L'indagine in oggetto ha consentito di ottenere una distribuzione nel sottosuolo, con partizioni ogni metro, delle velocità delle onde di taglio S nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna.

La caratterizzazione dei materiali in oggetto può quindi soddisfare i requisiti relativi alla entrata in vigore del nuovo decreto ministeriale.

E' stato calcolato il valore di V_{seq} a partire dalla profondità di 1 metro dal piano campagna fino a fondo foro (30 m); tale valore è di **253 m/sec** e, come prescrive la legge, rientra nella classificazione del terreno secondo la **categoria C**.

COMMITTENTE	SO GEO
CONO SISMICO	S4
Località	IMOLA
Data acquisizione	21/11/08

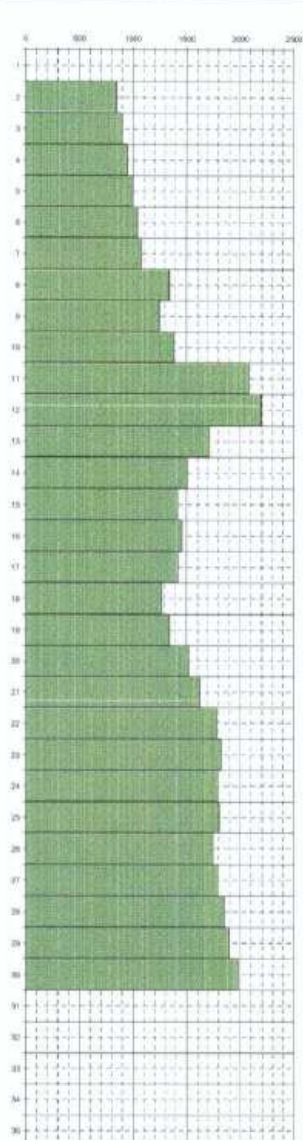
Codice lavoro 769/2006



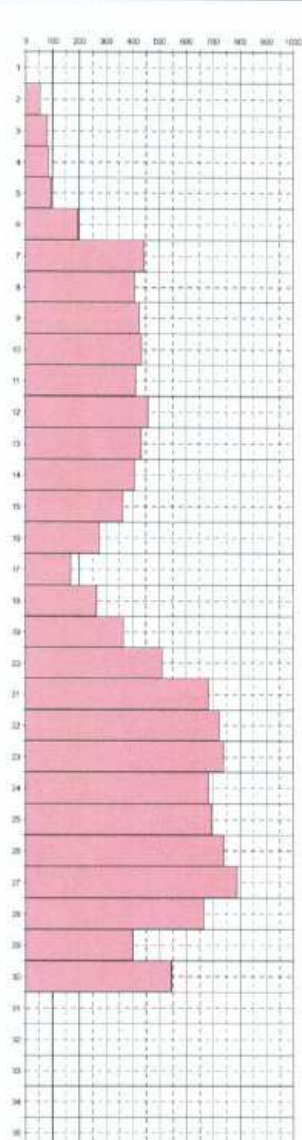
Profondità	Vp	Vs	v	γ	E _{sn}	G _{sn}	K _{sn}
m/sec	m/sec			Ton/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²

0							
1							
2	844	52	0.50	1.83	152	51	13266
3	903	79	0.50	1.86	358	119	15288
4	948	85	0.50	1.88	412	138	17000
5	986	93	0.50	1.89	502	168	18504
6	1044	196	0.48	1.91	2220	749	20242
7	1080	441	0.40	1.92	10674	3812	17799
8	1339	409	0.45	2.00	9908	3420	32072
9	1247	423	0.44	1.98	10326	3597	26532
10	1386	432	0.45	2.02	11114	3843	34355
11	2081	411	0.48	2.18	11098	3750	91148
12	2194	456	0.48	2.20	13789	4667	101726
13	1715	432	0.47	2.10	11710	3994	57609
14	1511	408	0.46	2.05	10147	3473	43066
15	1413	362	0.46	2.02	7919	2703	37581
16	1461	277	0.48	2.04	4706	1588	42187
17	1420	167	0.49	2.03	1714	574	40846
18	1268	265	0.48	1.98	4193	1419	30624
19	1343	364	0.46	2.00	7921	2712	33229
20	1518	512	0.44	2.05	15741	5481	40889
21	1625	683	0.39	2.08	27511	9877	42743
22	1784	724	0.40	2.12	31677	11302	53552
23	1823	738	0.40	2.12	33023	11776	56248
24	1793	682	0.42	2.12	28416	10038	55997
25	1804	695	0.41	2.12	29497	10439	56398
26	1742	739	0.39	2.11	32588	11720	49506
27	1793	789	0.38	2.12	37046	13422	51486
28	1854	667	0.43	2.13	27531	9655	61782
29	1892	398	0.48	2.14	10199	3453	73443
30	1974	545	0.46	2.16	19015	6517	78952
31							
32							
33							
34							
35							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



Legenda parametri dinamici					
Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	Ton/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E _{sn}	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G _{sn}	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K _{sn}	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
α	Coefficiente di Poisson				

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI P.C.M. n° 3341 del 14/09/2005)

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

$V_{s30} = 253$ m/sec
 $G_s = 1321$ Kg/cm²

CATEGORIA SUOLO = C

Figura 28: Down Hole

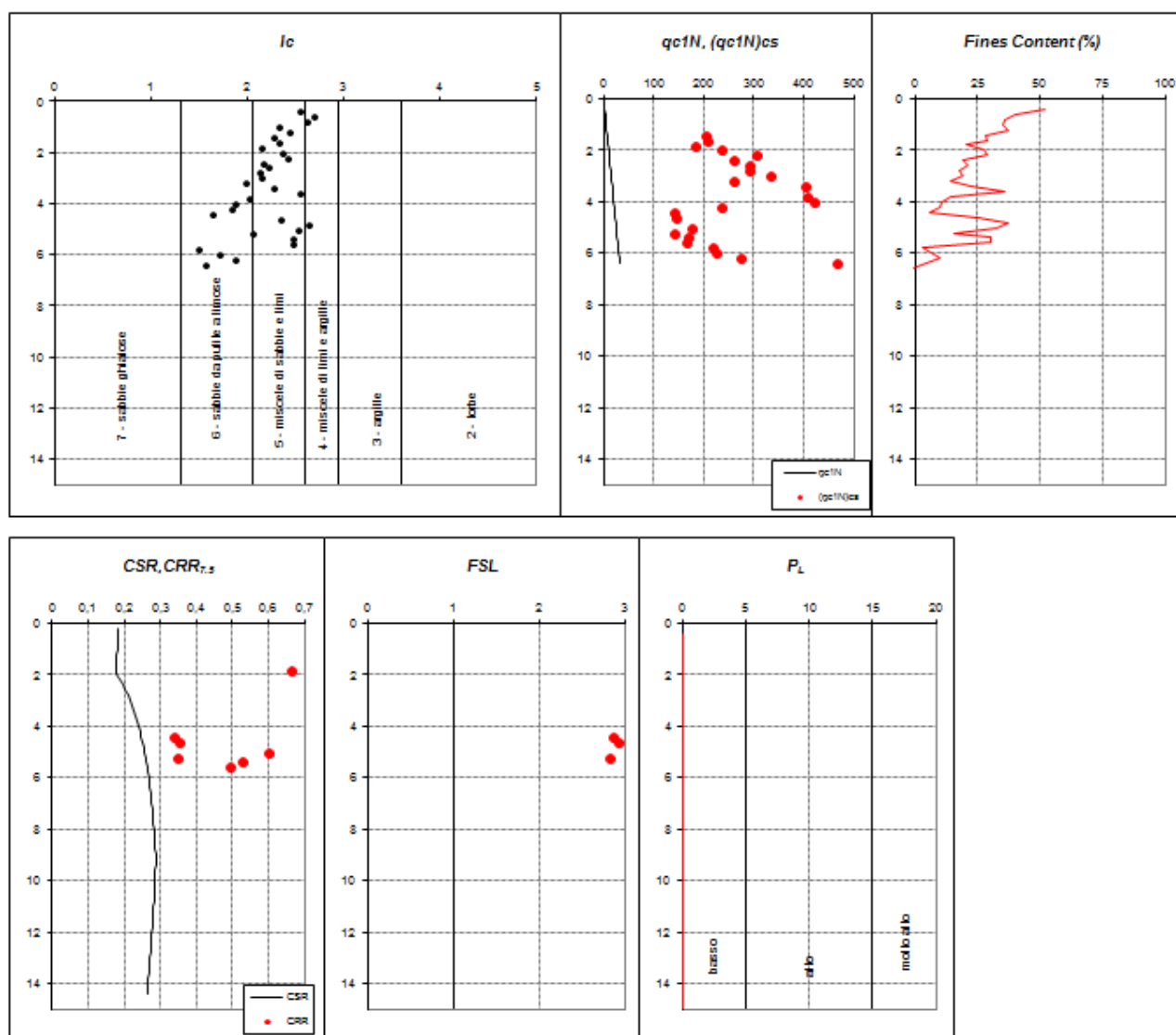
9 Verifica alla liquefazione

Le verifiche a liquefazione sono state effettuate sui valori ottenuti dalle prove effettuate; lungo tutta la verticale di terreno indagata è stato ottenuto un potenziale di liquefazione basso.

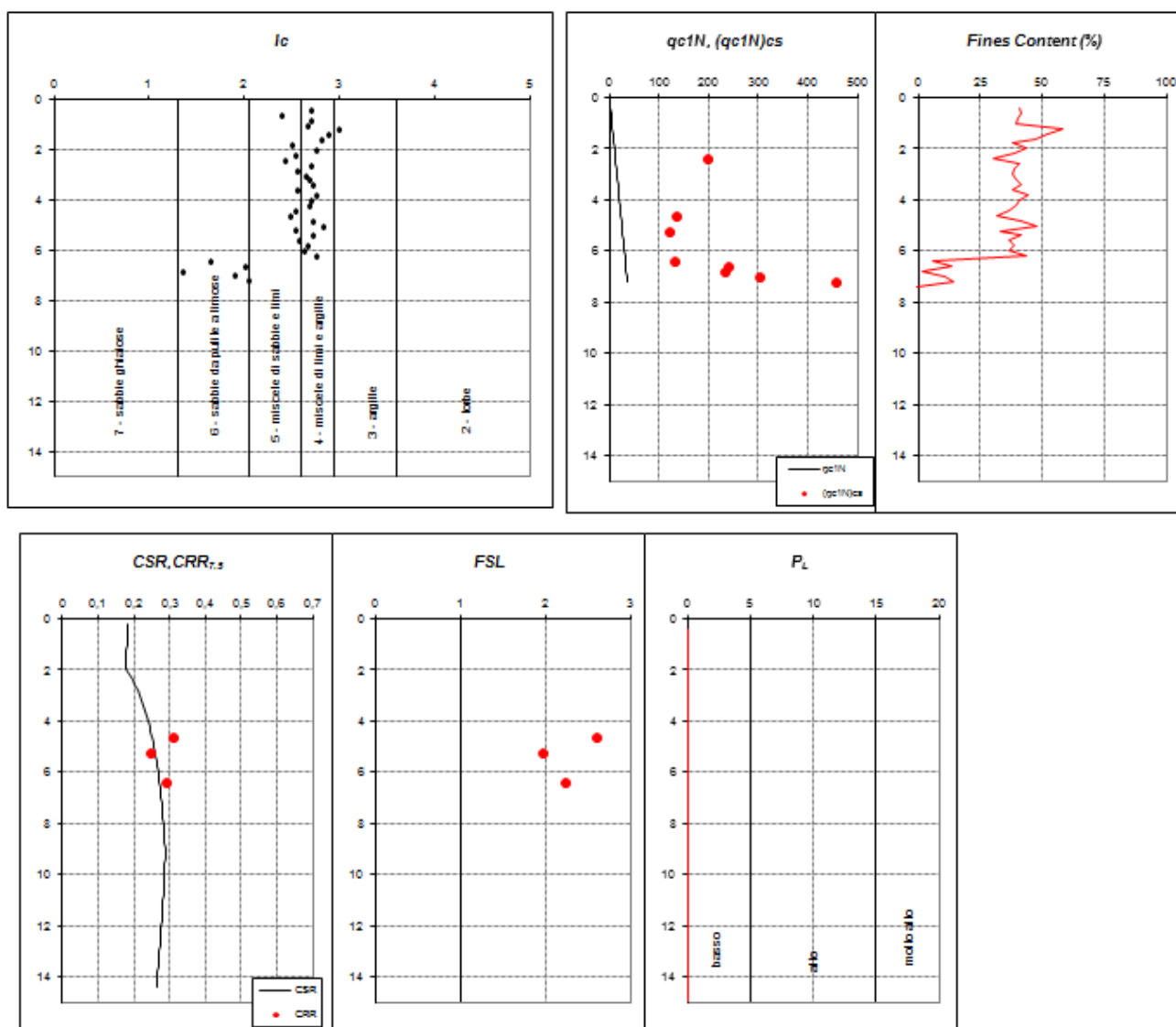
I valori impostati per il calcolo sono:

- $A_{max} = 0,028$
- $\text{Gamma terreno} = 1,9 \text{ t/m}^3$
- Soggiacenza falda = 2,0 m
- $M = 6,0$

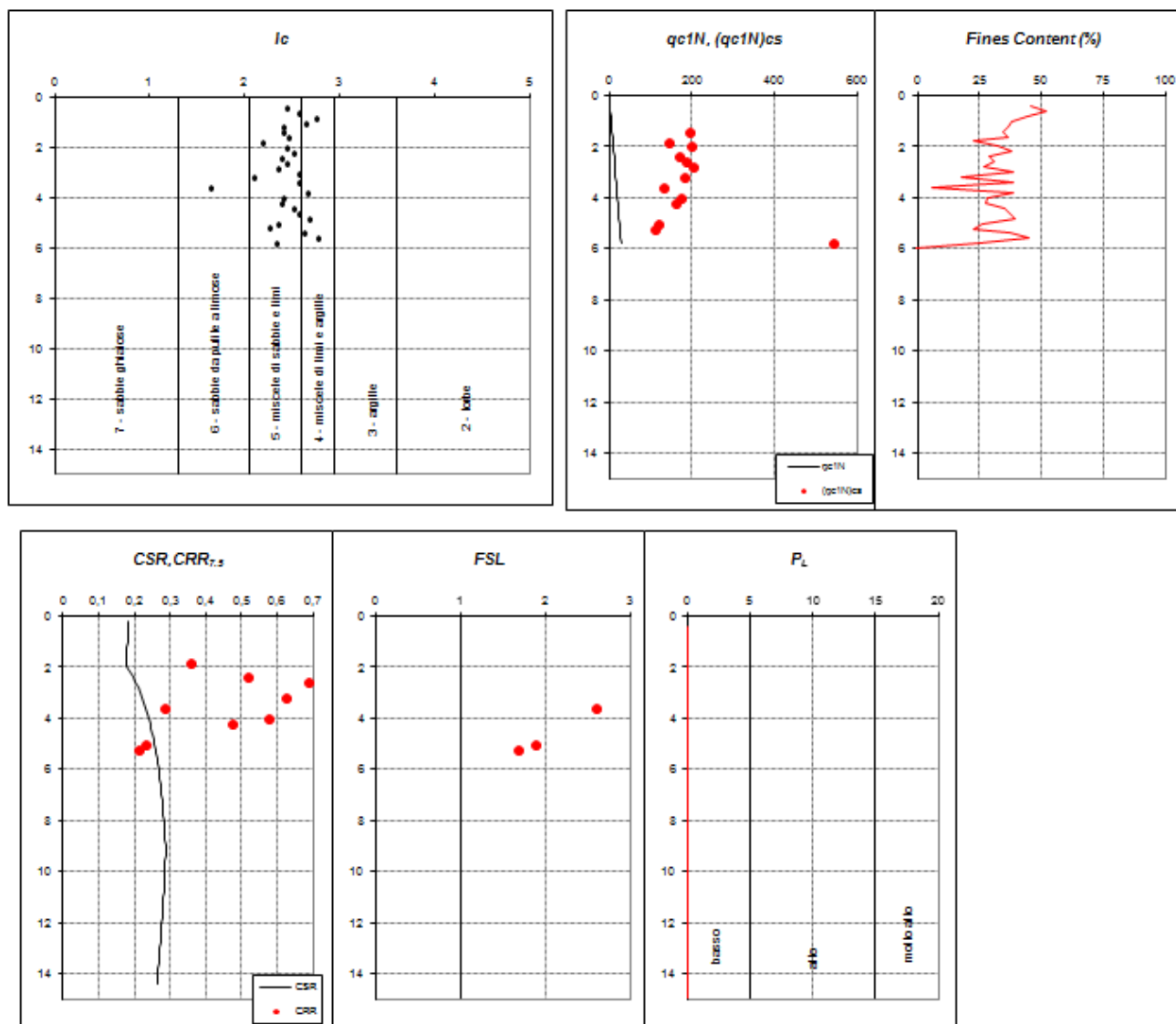
CPT1



CPT2



CPT3



10 Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- I terreni sono omogenei nell'area, infatti, nella zona indagata è presente un primo strato di circa 0,5 / 1,0 m di terreno di riporto o vegetale, seguito da alternanze metriche di limi argillosi e limi sabbiosi generalmente caratterizzati da consistenza medio buona dovuta a sovraconsolidazione. Le ghiaie sono state individuate a circa 5,6 m da p.c.
- Nello strato di terreno analizzato insiste una falda freatica nello strato ghiaioso ad una profondità di circa 15,3 m dal piano campagna; tale livello deve però essere considerato soggetto ad oscillazioni, in particolare innalzamenti, a seguito di periodi caratterizzati da intense precipitazioni;
- Sulla base dei dati calcolati per la V_{s30} 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 V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s.**
- Le caratteristiche litologiche dei terreni e l'assenza di falda idrica assicurano l'impossibilità di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico.
- L'ambito ASP_AN2.9 VIA LASIE, IMOLA (BO) 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 25 marzo '20

Il geologo

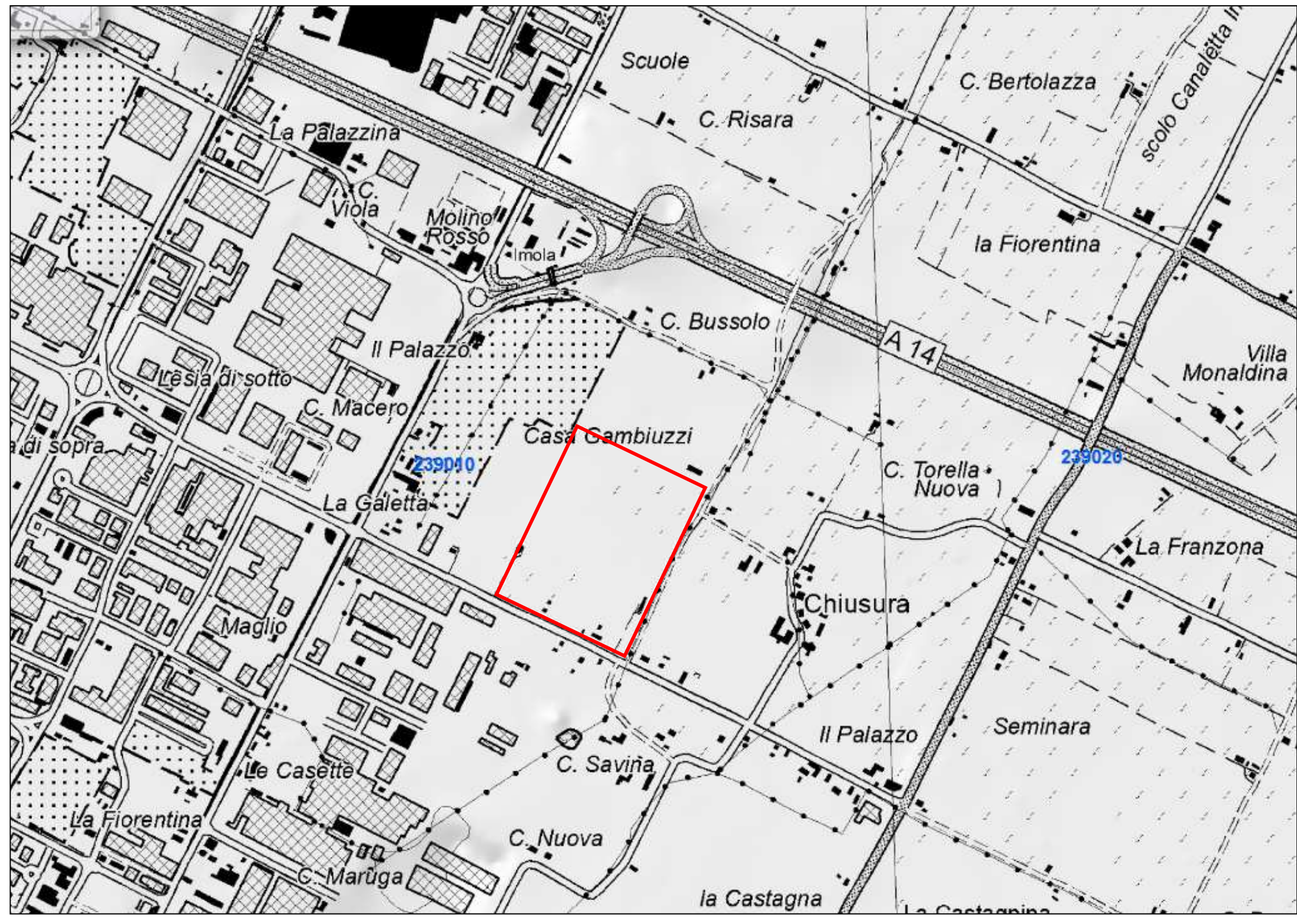
Dott. Maurizio Castellari



The logo for CA studio associato, featuring the letters 'CA' in a bold, sans-serif font, with 'studio associato' in a smaller, lighter font below it. The logo is positioned in the center of the page, behind the main text.

Allegato 1

CTR 1:10.000



A large, faint, stylized logo of CA studio associato, consisting of the letters 'CA' in a bold, sans-serif font, with 'studio associato' in a smaller, lighter font below it, and a stylized tree-like graphic below the text.

Allegato 2

Ubicazione indagini



CA studio
associato

Allegato 3

Stratigrafia Sondaggio



COMMITTEE ON THE GOVERNMENT OF THE DISTRICT OF COLUMBIA

CANTIERE: Inola

PERFORATRICE: cingolata CMV MK900 D1

METODO PERFORAZ: Carotaggio continuo

ATTREZZO PERFORAZ: Carotiere Ø 101 mm

PROF. (m): 20.9M

QUOTA (m): p.d.c.

DATA INIZ - 29/01/1999

DATA FINE

SCALA 1:100

RIVESTIMENTO: Ø127 mm

PIEZOMETRO:

Foro richiesto a -10.60 ml dal p.d.c.

CA studio
associato

Allegato 4

Prove penetrometriche

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

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- 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	----	----	--	0,73	----	3,40	123,0	233,0	123,0	8,27	15,0
0,40	9,0	20,0	9,0	0,67	13,0	3,60	85,0	209,0	85,0	7,00	12,0
0,60	8,0	18,0	8,0	0,73	11,0	3,80	189,0	294,0	189,0	6,40	30,0
0,80	11,0	22,0	11,0	0,93	12,0	4,00	230,0	326,0	230,0	2,33	99,0
1,00	22,0	36,0	22,0	1,40	16,0	4,20	134,0	169,0	134,0	0,60	223,0
1,20	25,0	46,0	25,0	1,87	13,0	4,40	93,0	102,0	93,0	1,33	70,0
1,40	41,0	69,0	41,0	1,93	21,0	4,60	45,0	65,0	45,0	2,33	19,0
1,60	41,0	70,0	41,0	1,60	26,0	4,80	38,0	73,0	38,0	2,00	19,0
1,80	52,0	76,0	52,0	2,47	21,0	5,00	43,0	73,0	43,0	1,33	32,0
2,00	49,0	86,0	49,0	3,80	13,0	5,20	74,0	94,0	74,0	1,93	38,0
2,20	59,0	116,0	59,0	3,07	19,0	5,40	47,0	76,0	47,0	1,87	25,0
2,40	80,0	126,0	80,0	3,80	21,0	5,60	46,0	74,0	46,0	1,07	43,0
2,60	84,0	141,0	84,0	3,87	22,0	5,80	170,0	186,0	170,0	2,07	82,0
2,80	101,0	159,0	101,0	5,00	20,0	6,00	170,0	201,0	170,0	3,87	44,0
3,00	115,0	190,0	115,0	3,07	38,0	6,20	190,0	248,0	190,0	5,40	35,0
3,20	113,0	159,0	113,0	7,33	15,0	6,40	385,0	466,0	385,0	-----	----

- 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. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- 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	----	----	--	0,27	----	3,80	21,0	40,0	21,0	0,80	26,0
0,40	4,0	8,0	4,0	0,33	12,0	4,00	19,0	31,0	19,0	0,73	26,0
0,60	9,0	14,0	9,0	0,80	11,0	4,20	19,0	30,0	19,0	0,67	28,0
0,80	10,0	22,0	10,0	0,73	14,0	4,40	23,0	33,0	23,0	1,13	20,0
1,00	11,0	22,0	11,0	1,13	10,0	4,60	33,0	50,0	33,0	1,80	18,0
1,20	9,0	26,0	9,0	1,07	8,0	4,80	29,0	56,0	29,0	1,40	21,0
1,40	11,0	27,0	11,0	1,20	9,0	5,00	22,0	43,0	22,0	0,93	24,0
1,60	14,0	32,0	14,0	1,40	10,0	5,20	29,0	43,0	29,0	1,20	24,0
1,80	27,0	48,0	27,0	2,07	13,0	5,40	25,0	43,0	25,0	0,87	29,0
2,00	23,0	54,0	23,0	2,00	12,0	5,60	27,0	40,0	27,0	0,87	31,0
2,20	33,0	63,0	33,0	1,80	18,0	5,80	24,0	37,0	24,0	0,73	33,0
2,40	38,0	65,0	38,0	2,53	15,0	6,00	24,0	35,0	24,0	0,93	26,0
2,60	30,0	68,0	30,0	1,80	17,0	6,20	22,0	36,0	22,0	0,60	37,0
2,80	32,0	59,0	32,0	1,53	21,0	6,40	107,0	116,0	107,0	3,80	28,0
3,00	26,0	49,0	26,0	1,20	22,0	6,60	150,0	207,0	150,0	0,80	187,0
3,20	22,0	40,0	22,0	1,07	21,0	6,80	198,0	210,0	198,0	5,20	38,0
3,40	20,0	36,0	20,0	1,07	19,0	7,00	219,0	297,0	219,0	11,67	19,0
3,60	26,0	42,0	26,0	1,27	21,0	7,20	294,0	469,0	294,0	-----	----

- 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 3**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- 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	----	----	--	0,67	----	3,20	68,0	94,0	68,0	3,40	20,0
0,40	10,0	20,0	10,0	0,60	17,0	3,40	46,0	97,0	46,0	0,47	99,0
0,60	9,0	18,0	9,0	0,80	11,0	3,60	78,0	85,0	78,0	4,47	17,0
0,80	9,0	21,0	9,0	1,07	8,0	3,80	49,0	116,0	49,0	1,80	27,0
1,00	14,0	30,0	14,0	1,33	10,0	4,00	45,0	72,0	45,0	1,60	28,0
1,20	25,0	45,0	25,0	1,67	15,0	4,20	44,0	68,0	44,0	1,27	35,0
1,40	31,0	56,0	31,0	1,60	19,0	4,40	32,0	51,0	32,0	1,67	19,0
1,60	29,0	53,0	29,0	1,00	29,0	4,60	35,0	60,0	35,0	1,47	24,0
1,80	37,0	52,0	37,0	1,73	21,0	4,80	28,0	50,0	28,0	0,93	30,0
2,00	34,0	60,0	34,0	1,73	20,0	5,00	38,0	52,0	38,0	0,87	44,0
2,20	31,0	57,0	31,0	1,33	23,0	5,20	43,0	56,0	43,0	1,53	28,0
2,40	34,0	54,0	34,0	1,67	20,0	5,40	32,0	55,0	32,0	1,20	27,0
2,60	36,0	61,0	36,0	2,07	17,0	5,60	23,0	41,0	23,0	15,20	2,0
2,80	48,0	79,0	48,0	3,07	16,0	5,80	200,0	428,0	200,0	-----	----
3,00	43,0	89,0	43,0	1,73	25,0						

- 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)

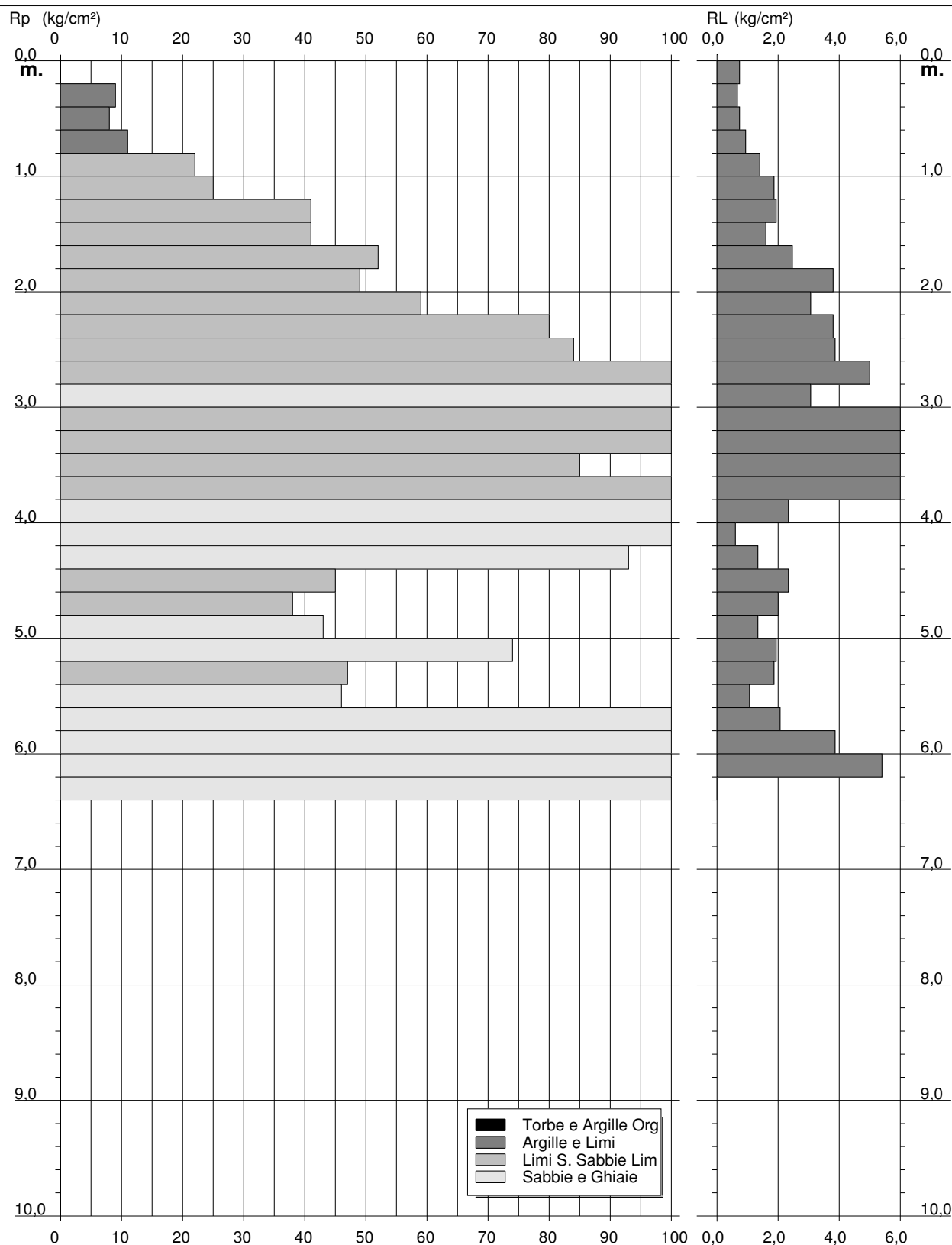
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 04/02/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



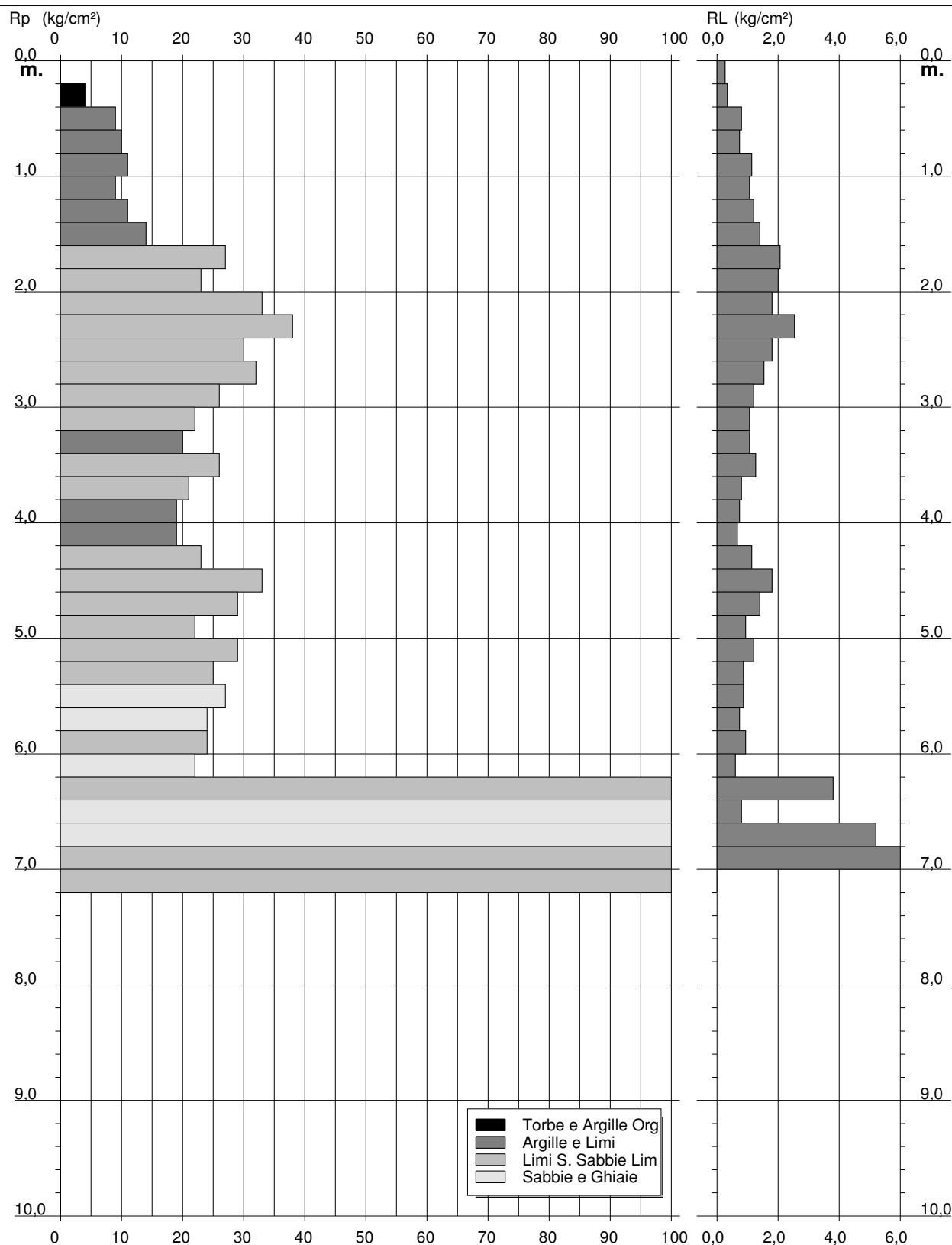
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 04/02/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



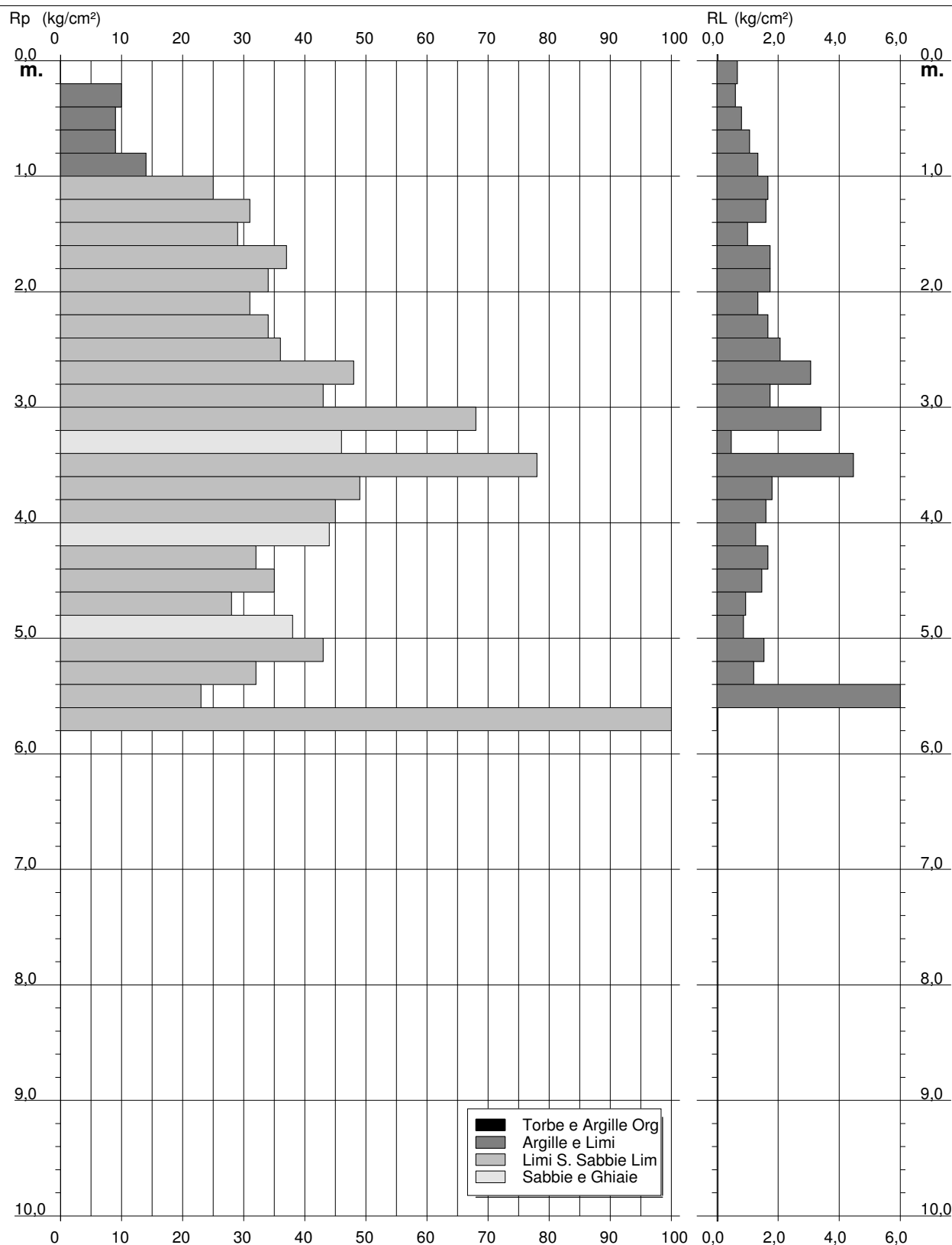
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 04/02/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



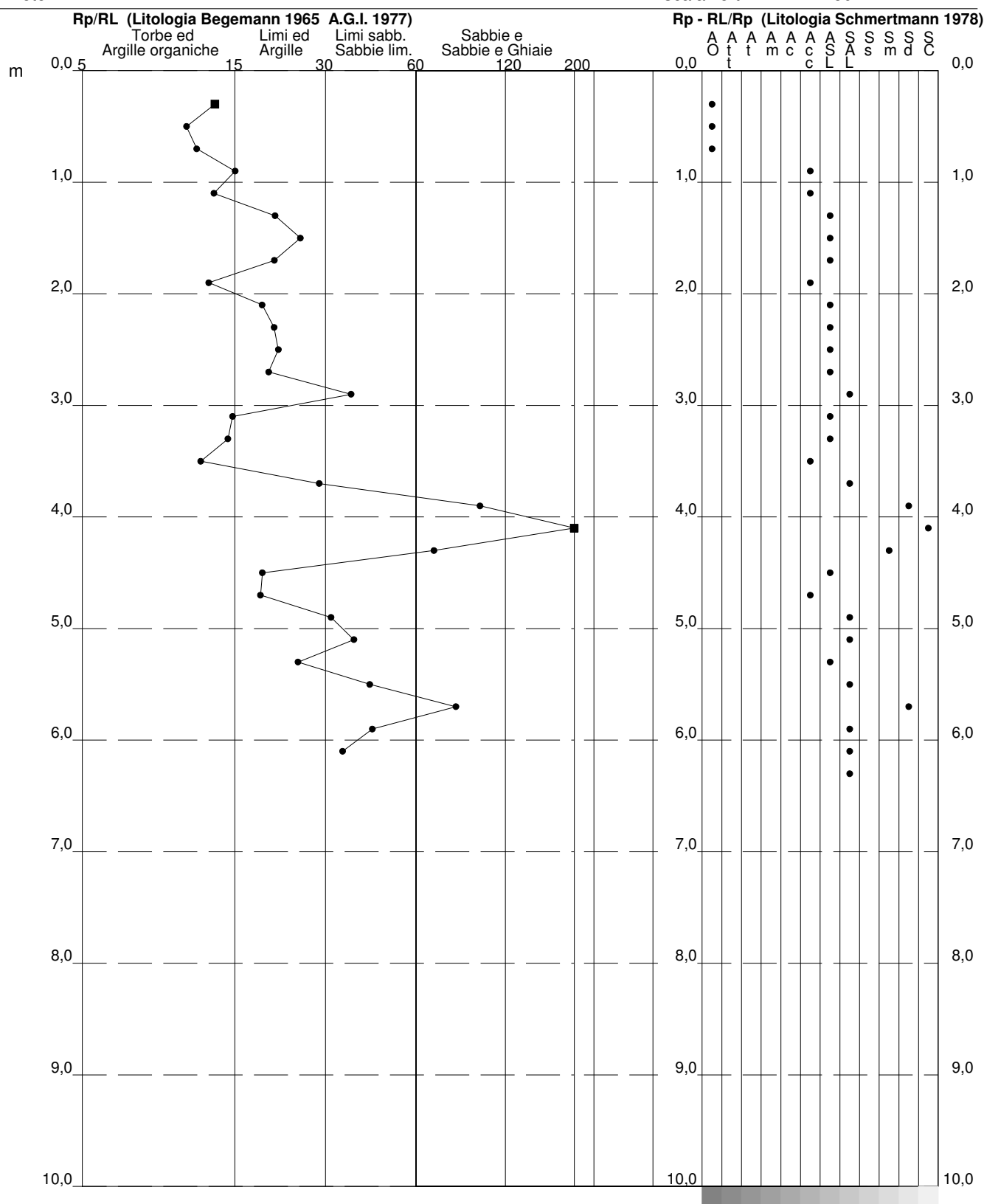
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



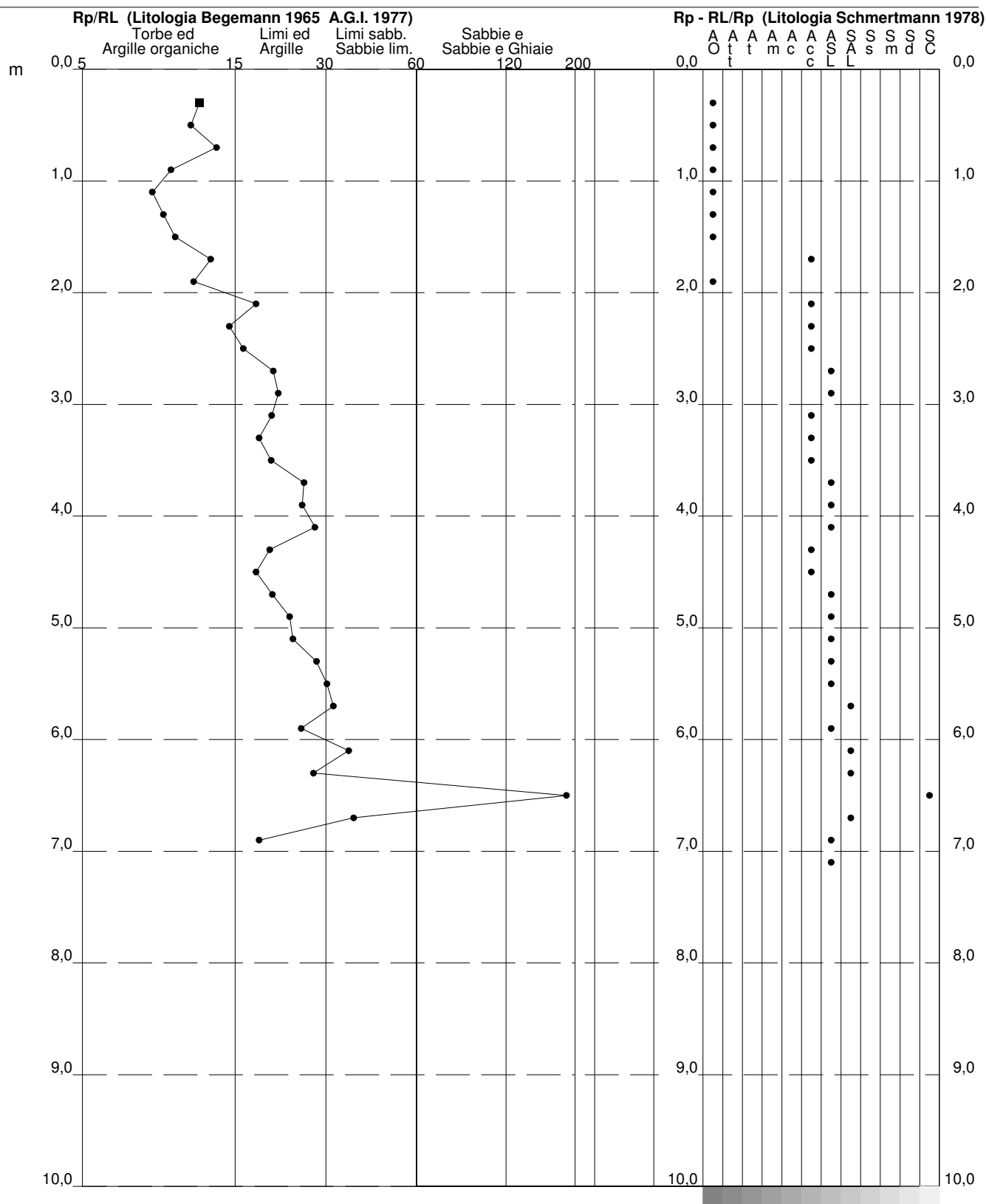
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



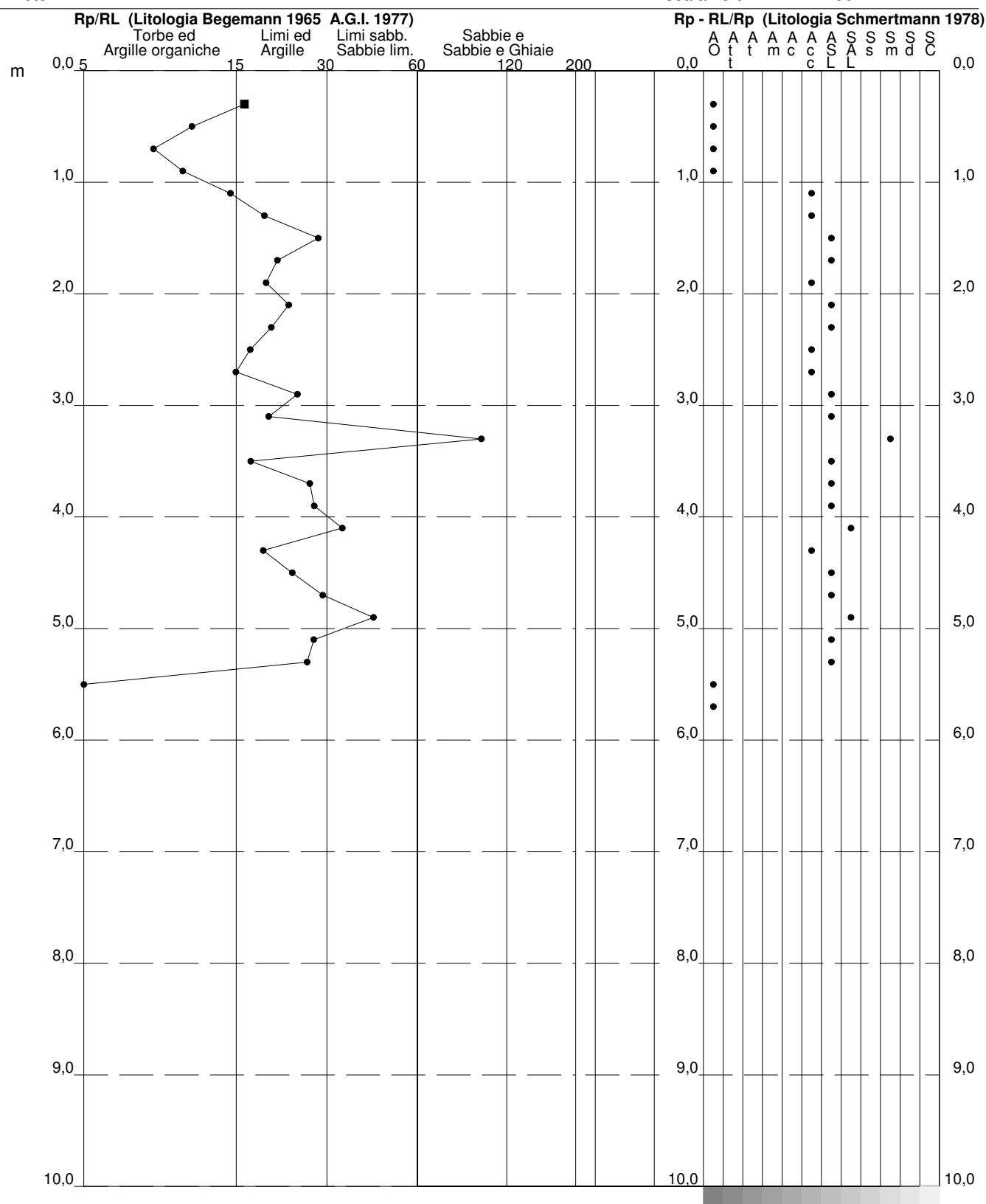
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- 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. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- 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	9	13	2////	1,85	0,07	0,45	60,0	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	8	11	2////	1,85	0,11	0,40	31,2	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	11	12	2////	1,85	0,15	0,54	31,4	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	22	16	4:/:	1,85	0,19	0,85	42,0	144	216	66	61	37	39	41	43	38	28	0,134	37	55	66
1,20	25	13	4:/:	1,85	0,22	0,91	36,6	155	232	75	61	37	39	41	43	38	28	0,133	42	63	75
1,40	41	21	4:/:	1,85	0,26	1,37	50,2	232	349	123	74	38	40	42	44	39	30	0,172	68	103	123
1,60	41	26	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	52	21	4:/:	1,85	0,33	1,73	49,4	295	442	156	76	39	40	42	44	39	31	0,178	87	130	156
2,00	49	13	4:/:	1,85	0,37	1,63	40,2	278	417	147	72	38	40	42	44	38	31	0,164	82	123	147
2,20	59	19	4:/:	1,85	0,41	1,97	45,0	334	502	177	76	39	40	42	44	39	32	0,177	98	148	177
2,40	80	21	4:/:	1,85	0,44	2,67	59,0	453	680	240	84	40	41	43	45	40	33	0,203	133	200	240
2,60	84	22	4:/:	1,85	0,48	2,80	56,8	476	714	252	84	40	41	43	45	40	33	0,202	140	210	252
2,80	101	20	4:/:	1,85	0,52	3,37	65,2	572	859	303	88	40	42	43	45	40	34	0,218	168	253	303
3,00	115	38	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	91	41	42	44	45	40	35	0,227	192	288	345
3,20	113	15	4:/:	1,85	0,59	3,77	63,4	640	961	339	89	40	42	43	45	40	34	0,220	188	283	339
3,40	123	15	4:/:	1,85	0,63	4,10	65,4	697	1046	369	90	41	42	44	45	40	35	0,225	205	308	369
3,60	85	12	4:/:	1,85	0,67	2,83	38,4	482	723	255	76	39	40	42	44	38	33	0,178	142	213	255
3,80	189	30	4:/:	1,85	0,70	6,30	97,3	1071	1607	567	100	42	43	45	46	41	37	0,258	315	473	567
4,00	230	99	3:::	1,85	0,74	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	39	0,258	383	575	690
4,20	134	223	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	39	35	0,217	223	335	402
4,40	93	70	3:::	1,85	0,81	--	--	--	--	--	75	38	40	42	44	38	33	0,173	155	233	279
4,60	45	19	4:/:	1,85	0,85	1,50	12,8	255	383	135	48	35	37	39	42	33	31	0,100	75	113	135
4,80	38	19	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	43	32	3:::	1,85	0,93	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	33	30	0,091	72	108	129
5,20	74	38	3:::	1,85	0,96	--	--	--	--	--	63	37	39	41	43	36	32	0,138	123	185	222
5,40	47	25	4:/:	1,85	1,00	1,57	11,0	266	400	141	46	34	37	39	42	33	31	0,094	78	118	141
5,60	46	43	3:::	1,85	1,04	--	--	--	--	--	44	34	37	39	42	32	31	0,090	77	115	138
5,80	170	82	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	89	40	42	43	45	39	37	0,218	283	425	510
6,00	170	44	3:::	1,85	1,11	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	39	37	0,215	283	425	510
6,20	190	35	3:::	1,85	1,15	--	--	--	--	--	91	41	42	44	45	39	37	0,225	317	475	570
6,40	385	--	3:::	1,85	1,18	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	40	0,258	642	963	1155

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- 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	4	12	1***	1,85	0,07	0,20	21,8	8	12	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	9	11	2////	1,85	0,11	0,45	36,1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	10	14	2////	1,85	0,15	0,50	28,8	85	128	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	11	10	2////	1,85	0,19	0,54	23,8	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	9	8	2////	1,85	0,22	0,45	15,2	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	11	9	2////	1,85	0,26	0,54	15,6	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	14	10	2////	1,85	0,30	0,64	16,3	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	27	13	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	12	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	33	18	4:/:	1,85	0,41	1,10	21,8	187	281	99	56	36	38	40	42	36	29	0,119	55	83	99
2,40	38	15	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	30	17	4:/:	1,85	0,48	1,00	15,7	170	255	90	48	35	37	39	42	34	29	0,100	50	75	90
2,80	32	21	4:/:	1,85	0,52	1,07	15,5	181	272	96	49	35	37	39	42	34	29	0,101	53	80	96
3,00	26	22	4:/:	1,85	0,55	0,93	11,9	158	237	78	40	34	36	39	41	33	28	0,080	43	65	78
3,20	22	21	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	20	19	4:/:	1,85	0,63	0,80	8,5	149	224	60	28	32	35	37	40	31	27	0,054	33	50	60
3,60	26	21	4:/:	1,85	0,67	0,93	9,5	160	240	78	36	33	36	38	41	32	28	0,070	43	65	78
3,80	21	26	4:/:	1,85	0,70	0,82	7,7	171	256	63	27	32	34	37	40	30	27	0,052	35	53	63
4,00	19	26	2////	1,85	0,74	0,78	6,7	189	284	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	19	28	2////	1,85	0,78	0,78	6,3	203	304	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	23	20	4:/:	1,85	0,81	0,87	6,8	206	310	69	27	32	34	37	40	30	28	0,051	38	58	69
4,60	33	18	4:/:	1,85	0,85	1,10	8,7	202	302	99	38	33	36	38	41	32	29	0,075	55	83	99
4,80	29	21	4:/:	1,85	0,89	0,98	7,1	221	332	87	32	33	35	38	41	31	29	0,063	48	73	87
5,00	22	24	4:/:	1,85	0,93	0,85	5,6	249	374	66	22	31	34	37	40	29	28	0,042	37	55	66
5,20	29	24	4:/:	1,85	0,96	0,98	6,5	249	373	87	30	32	35	38	40	30	29	0,059	48	73	87
5,40	25	29	4:/:	1,85	1,00	0,91	5,6	270	405	75	24	31	34	37	40	29	28	0,046	42	63	75
5,60	27	31	3:::	1,85	1,04	--	--	--	--	--	26	32	34	37	40	29	28	0,050	45	68	81
5,80	24	33	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	21	31	34	37	40	29	28	0,040	40	60	72
6,00	24	26	4:/:	1,85	1,11	0,89	4,8	308	462	72	20	31	34	37	40	28	28	0,039	40	60	72
6,20	22	37	3:::	1,85	1,15	--	--	--	--	--	17	30	33	36	39	28	28	0,032	37	55	66
6,40	107	28	4:/:	1,85	1,18	3,57	24,9	606	910	321	70	38	40	42	44	36	34	0,160	178	268	321
6,60	150	187	3:::	1,85	1,22	--	--	--	--	--	81	39	41	43	44	38	36	0,193	250	375	450
6,80	198	38	3:::	1,85	1,26	--	--	--	--	--	90	41	42	44	45	39	38	0,223	330	495	594
7,00	219	19	4:/:	1,85	1,30	7,30	54,5	1241	1862	657	93	41	42	44	45	39	38	0,232	365	548	657
7,20	294	--	3:::	1,85	1,33	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	490	735	882

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Tabanelli Saverio
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 04/02/2020
- 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	10	17	2////	1,85	0,07	0,50	68,4	85	128	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	9	11	2////	1,85	0,11	0,45	36,1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	9	8	2////	1,85	0,15	0,45	25,2	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	14	10	2////	1,85	0,19	0,64	29,4	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	25	15	4/::	1,85	0,22	0,91	36,6	155	232	75	61	37	39	41	43	38	28	0,133	42	63	75
1,40	31	19	4/::	1,85	0,26	1,03	35,4	176	264	93	65	37	39	41	43	38	29	0,144	52	78	93
1,60	29	29	4/::	1,85	0,30	0,98	28,1	167	251	87	59	36	38	40	43	37	29	0,128	48	73	87
1,80	37	21	4/::	1,85	0,33	1,23	32,3	210	315	111	65	37	39	41	43	38	30	0,143	62	93	111
2,00	34	20	4/::	1,85	0,37	1,13	25,4	193	289	102	59	36	38	40	43	37	29	0,128	57	85	102
2,20	31	23	4/::	1,85	0,41	1,03	20,1	176	264	93	54	36	38	40	42	35	29	0,113	52	78	93
2,40	34	20	4/::	1,85	0,44	1,13	20,3	193	289	102	55	36	38	40	42	35	29	0,116	57	85	102
2,60	36	17	4/::	1,85	0,48	1,20	19,7	204	306	108	55	36	38	40	42	35	30	0,116	60	90	108
2,80	48	16	4/::	1,85	0,52	1,60	25,7	272	408	144	63	37	39	41	43	37	31	0,138	80	120	144
3,00	43	25	4/::	1,85	0,55	1,43	20,6	244	366	129	57	36	38	40	43	36	30	0,123	72	108	129
3,20	68	20	4/::	1,85	0,59	2,27	33,6	385	578	204	72	38	40	42	44	38	32	0,164	113	170	204
3,40	46	99	3:::	1,85	0,63	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	35	31	0,121	77	115	138
3,60	78	17	4/::	1,85	0,67	2,60	34,5	442	663	234	73	38	40	42	44	38	33	0,169	130	195	234
3,80	49	27	4/::	1,85	0,70	1,63	18,0	278	417	147	56	36	38	40	42	35	31	0,120	82	123	147
4,00	45	28	4/::	1,85	0,74	1,50	15,2	255	383	135	52	35	37	40	42	34	31	0,109	75	113	135
4,20	44	35	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	50	35	37	40	42	34	31	0,104	73	110	132
4,40	32	19	4/::	1,85	0,81	1,07	8,8	193	289	96	38	33	36	38	41	32	29	0,075	53	80	96
4,60	35	24	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	28	30	4/::	1,85	0,89	0,97	7,0	223	335	84	31	32	35	38	40	31	28	0,060	47	70	84
5,00	38	44	3:::	1,85	0,93	--	--	--	--	--	41	34	36	39	41	32	30	0,081	63	95	114
5,20	43	28	4/::	1,85	0,96	1,43	10,3	244	366	129	44	34	37	39	42	32	30	0,089	72	108	129
5,40	32	27	4/::	1,85	1,00	1,07	6,8	253	380	96	33	33	35	38	41	31	29	0,064	53	80	96
5,60	23	2	4/::	1,85	1,04	0,87	5,0	286	428	69	21	31	34	37	40	29	28	0,039	38	58	69
5,80	200	--	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	40	38	0,237	333	500	600

A large, faint, stylized logo of a tree or branching structure, rendered in shades of blue and green, serves as a background for the central text.

CA studio
associato

Allegato 5

Indagine Sismica

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 della Fossetta, Ambito ASP_AN2.9, 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 della Fossetta, all'interno dell'Ambito ASP_AN2.9, 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.

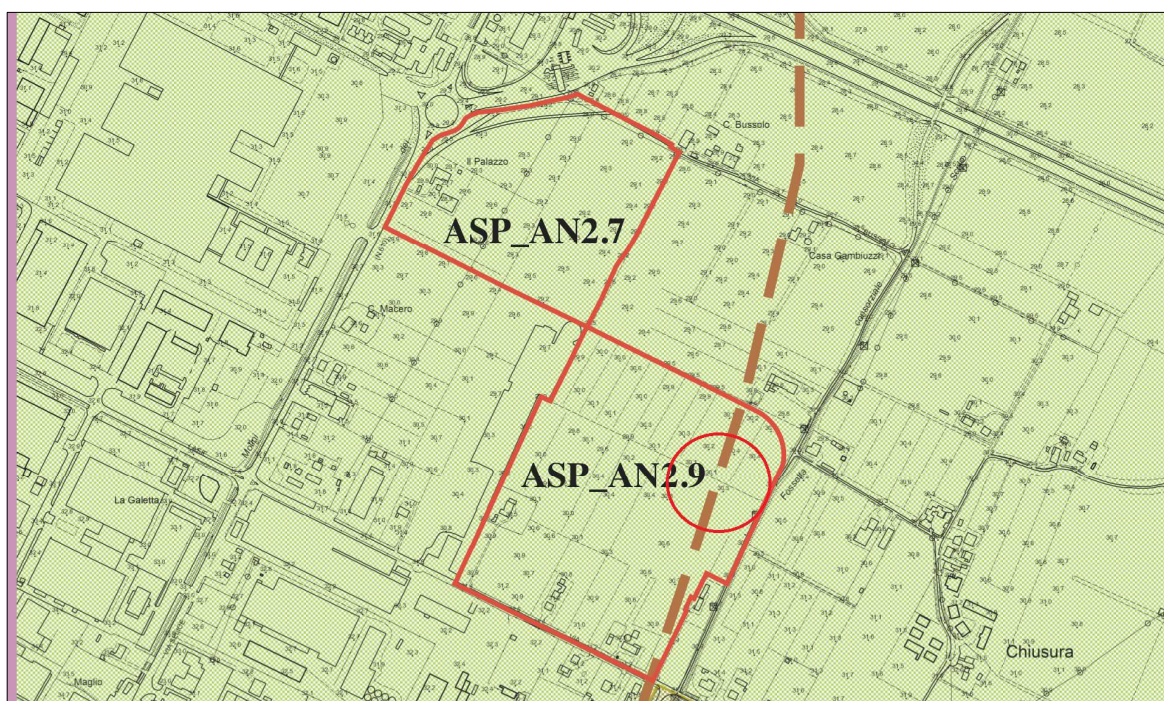


Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle indagini geofisiche eseguite (stralcio Topografia RER 1:10.000 e foto <<Google Earth>>)



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 13% 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 alle frequenze di circa 4 e 8 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 332,7 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 <<*Pianura 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.*>>.

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

- FA (PGA) = 1,5;
- 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

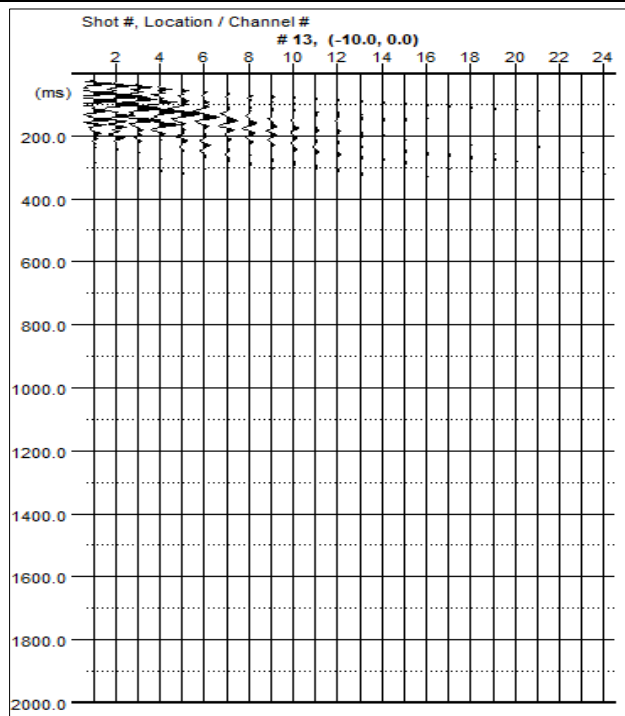


PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA ATTIVA MASW/PASSIVA MASW/Re.Mi.

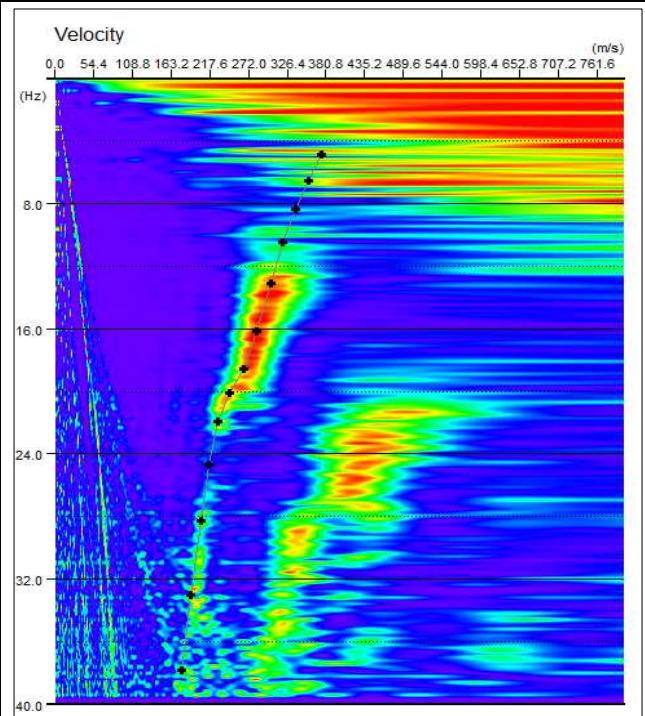
Ambito ASP_AN2.9, via della Fossetta – Comune di Imola (BO)

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

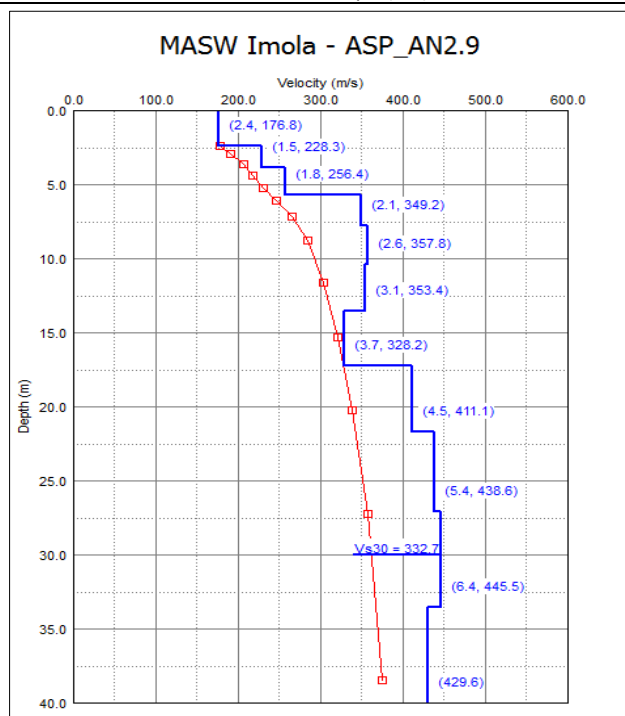
Δx : interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt : passo di campionamento; T: durata registrazione.



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	2.4	2.4	176.8
2	3.9	1.5	228.3
3	5.7	1.8	256.4
4	7.8	2.1	349.2
5	10.4	2.6	357.8
6	13.5	3.1	353.4
7	17.2	3.7	328.2
8	21.7	4.5	411.1
9	27.1	5.4	438.6
10	33.5	6.4	445.5
11	∞	∞	429.6

$$V_{s30} = 332.7 \pm 10\% \text{ [m/s]}$$

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

IMOLA - ASP_N2.9, via della Fossetta, TR1

Instrument: TRZ-0108/01-10

Start recording: 30/04/18 11:04:59 End recording: 30/04/18 11:25:00

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)

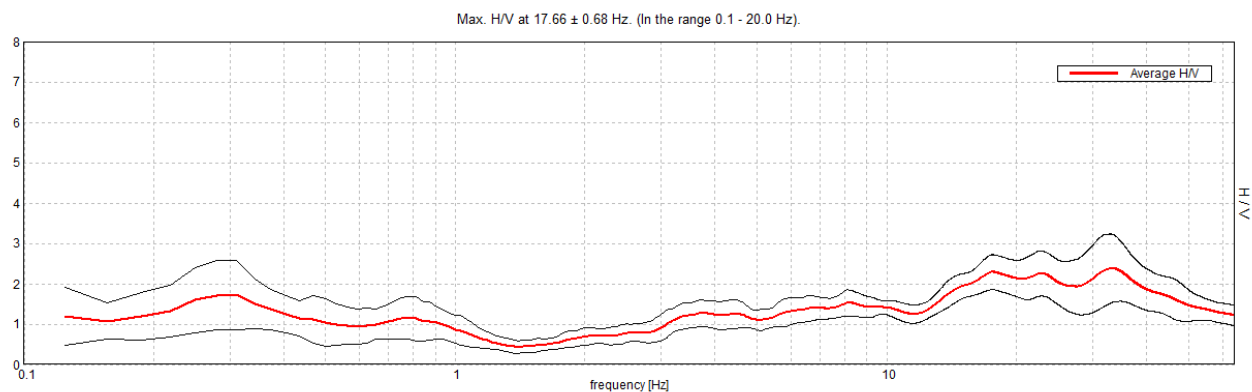
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

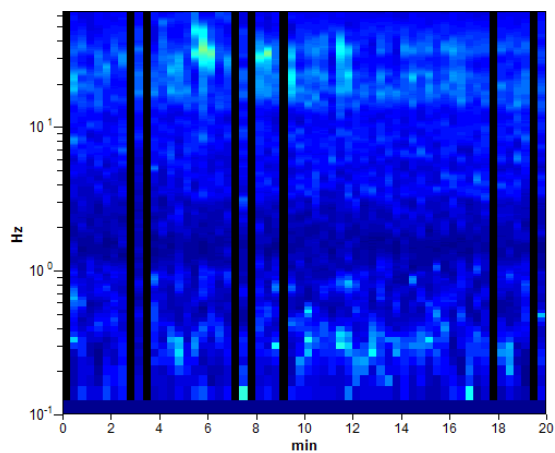
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

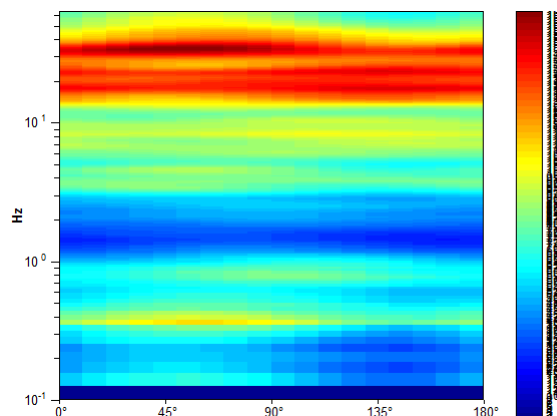
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



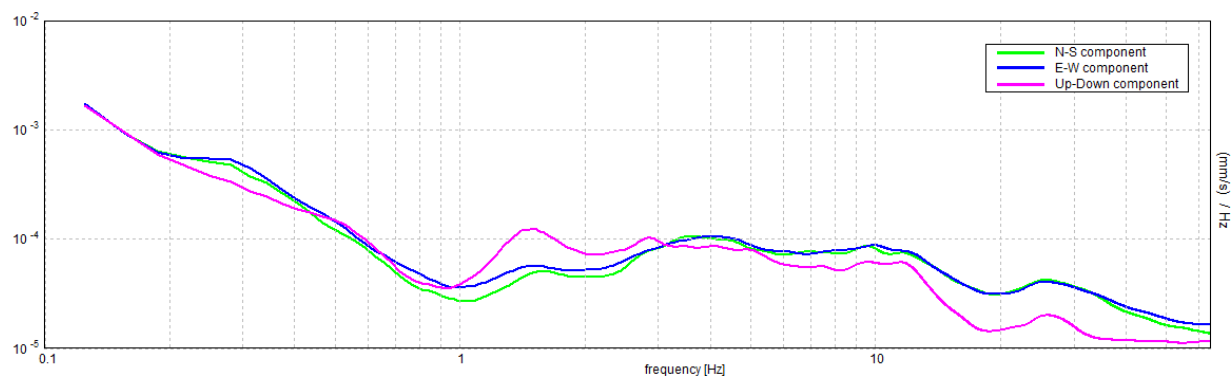
H/V TIME HISTORY



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 17.66 ± 0.68 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$17.66 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$18362.5 > 200$	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 848 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.29 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01899 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.3353 < 0.88281$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2138 < 1.58$	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