



Progetto

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

IMMOBILE DENOMINATO "PALAZZO MUNICIPALE" sito in Piazza del Popolo n.31 - Faenza

IMMOBILE DENOMINATO "EX SCUOLA MEDIA COVA (SCUOLA MUSICA)" sito in via Cavour n.5 - Faenza

IMMOBILE DENOMINATO "PALAZZO ZANELLI" sito in via Zanelli n.4 - Faenza

IMMOBILE "LICEO CLASSICO E.TORRICELLI" sito in via Pascoli - Faenza

Convenzione del 19/03/2018. Reg. Gen. n. 4402 - Reg. Part. n. 2862

Committente	Progettista	Progettista
SILVI ADRIATICA S.r.l Unipersonale via Caravaggio, 125 65125 Pescara T +39 085 3888100 F +39 085 3888200 info@carlomaesca.it	Ing. Lorenzo RINALDI Via del Circuito 231 65124 - PESCARA T +39 085 4155535 F +39 085 4155535 ingrinaldil@inwind.it	Ing. Ing. Floredano CORSI Viale J. F. Kennedy, 47 65123 - PESCARA T +39 085 8433542 F +39 085 8433543 studiocorsifloredano@gmail.com



Collaboratori
Arch. Paola Daniela MANCINI Viale J. F. Kennedy, 47 65123 - PESCARA T +39 085 8433542 F +39 085 8433543 studioarchmancini@gmail.com Arch. Ilaria RINALDI , Ing. Cristian TRIOZZI Via del Circuito 231 65124 - PESCARA T +39 085 4155535 F +39 085 4155535 ingrinaldil@inwind.it 

Contenuto

RELAZIONE GEOLOGICA DI SINTESI

elaboraz.	Scala	N° Prog.	tipo	N° tav
verificato	dell'ag.	data	REL	03
		18.06.2018		

COMUNE DI FAENZA

PROVINCIA DI RAVENNA

COMMITTENTE : STUDIO D'INGEGNERIA RINALDI & CORSI



INDAGINI PENETROMETRICHE E PROVE SISMICHE
PROPEDEUTICHE ALLA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DI IMMOBILI PUBBLICI

RELAZIONE GEOLOGICA DI SINTESI

DOTT. GEOL. ELISEO MARRONE

CONSULENZE GEOFISICHE:
DOTT. GEOL. EMANUELE TERRENZIO



DATA: GIUGNO 2018

INDICE

1.0 PREMESSA	pag. 2
2.0 STUDI E INDAGINI BIBLIOGRAFICHE	pag. 2
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO	pag. 3
2.2 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA	pag. 4
3.0 INDAGINI GEOGNOSTICHE	pag. 5
3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	pag. 6
3.2 PROVE SISMICHE TIPO ESAC	pag. 7
4.0 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE, GEOMECCANICHE E SISMICHE	pag. 7
4.1 AREA 1: EDIFICI EX-COVA	pag. 8
4.2 AREA 2: EDIFICI COMUNALI PALAZZO ZANELLI	pag. 8
4.3 AREA 3: EDIFICI TEATRO MASINI E RESIDENZA COMUNALE	pag. 9
5.0 CONCLUSIONI	pag. 9

ALLEGATI

UBICAZIONE TOPOGRAFICA – Scala 1: 25.000

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE – Scala 1: 2.500

DATI E DIAGRAMMI PENETROMETRICI

ACQUISIZIONE E ANALISI DATI CON TECNICA ESAC

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1.0 PREMESSA

Per incarico dello Studio d'Ingegneria Rinaldi & Corsi è stata effettuata una campagna di indagini in sito consistita nell'esecuzione di prove penetrometriche e prove sismiche.

Lo scopo del presente lavoro è quello di fornire alcuni dati geognostici di dettaglio, necessari ad una prima valutazione della sicurezza di tre edifici pubblici.

I siti indagati sono ubicati nel centro storico del comune di Faenza (*via Cavour, via Zanelli e piazza Nenni*); gli edifici sono rispettivamente:

- . l'ex-scuola media "Cova" che oggi ospita un centro culturale;
- . il palazzo Zanelli, struttura della metà del Settecento e attuale sede di uffici comunali;
- . il teatro Masini, struttura fondata e costruita verso la fine del Settecento, con annesso residenze comunali.

Le informazioni sui terreni fondali ottenute dalle prove consentono di caratterizzare i siti da un punto di vista stratigrafico, geomeccanico e sismico; la stratigrafia e i valori di resistenza al taglio (stimati con NSPT) sono stati acquisiti mediante due prove penetrometriche dinamiche, le velocità delle onde Vs e la definizione di categoria di suolo sono state ottenute da due prove sismiche tipo ESAC.

I punti d'indagine sono visualizzati nella carta topografica alla scala 1: 25.000 e più precisamente nello stralcio cartografico alla scala 1: 2.500. Le coordinate sono le seguenti (*sistema WGS 84*):

area 1 (zona ex-Cova) → latitudine **44.2869**, longitudine **11.8785**;

area 2 (zona palazzo Zanelli) → latitudine **44.2860**, longitudine **11.8810**;

area 3 (zona teatro Masini) → latitudine **44.2857**, longitudine **11.8822**.



Foto 1 - Immagine satellitare: ○ siti in esame.

2.0 STUDI E INDAGINI BIBLIOGRAFICHE

Le indagini in sito effettuate in data 4-5-2018, sono state precedute da una breve rassegna bibliografica dei documenti geologici riguardanti le aree oggetto di prova. Allo scopo sono stati consultati il Foglio Geologico 239 - Faenza, alla scala 1: 50.000, il portale della regione Emilia Romagna e la banca dati prove geognostiche (diagrammi CPT e DP, *Perigeo e Geo Land*), documentazione di convegni (Faenza, 2012), lavori professionali e relazioni geologiche (A.A. Vari).

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO

La zona in esame si colloca nel bacino sedimentario della Valle Padana, compreso tra il fiume Po a Nord e dalle colline dell'Appennino Romagnolo a Sud. Il contesto geologico è il risultato di una serie di eventi che hanno portato al ricoprimento del settore meridionale della fossa occupata dall'alto Adriatico a partire dalla fase centrale dell'orogenesi alpina e di quella appenninica; l'attuale assetto è la risultante di fasi erosive alternate a fasi sedimentarie, in relazione a una dinamica di abbassamenti del substrato, di subsidenza del materasso alluvionale con conseguenti arresti della regressione marina o episodi di ingressione e formazione di fasi lagunari. Solo nel Quaternario più recente l'assetto tettonico manifesta un equilibrio e alla prevalente tendenza alla subsidenza e deposizione marina subentra un periodo di fenomeni sedimentari fluviali ai quali è concomitante il progressivo ritiro del mare, fino alla configurazione dell'attuale costa. Il Quaternario è contraddistinto da una fase deposizionale marina iniziale (Pleistocene) e una fase deposizionale continentale (Olocene) che prosegue anche attualmente.

Le successioni del margine padano-adriatico affioranti nell'area faentina appartengono al supersistema Emiliano-Romagnolo Superiore, costituito da depositi alluvionali e deltizi organizzati in successioni cicliche. L'unità comprende il sub-sistema di Ravenna, ghiaie sabbie e argille di terrazzo alluvionale, di conoide alluvionale e di piana alluvionale, la cui parte sommitale è data dall'unità di Modena, sabbie argille limi e subordinatamente ghiaie di piana alluvionale.

L'area in esame è parte integrante del sub-sistema di Ravenna e dell'Unità di Modena; si rilevano alluvioni terrazzate in copertura ad un conoide alluvionale deposto dal fiume Lamone. I siti esaminati risultano sub-pianeggianti, la quota altimetrica di riferimento è di circa 35 metri s.l.m. costante per quasi tutta la zona investigata. I depositi in questo contesto sono caratterizzati da successioni regolari di alluvioni e suoli poco evoluti; i litotipi risultano a granulometrie prevalentemente fini: limi, argille e sabbie, subordinatamente e occasionalmente ghiaie. In senso stratigrafico, si riscontrano sedimenti limosi e sabbiosi in prevalenza, ma con tutta una serie di lenti, livelli, interdigitazioni di sabbie e argille, oltre a inclusioni più grossolane (ghiaie), con spessori decimetrici fino a qualche metro, a volte con scarsa continuità laterale; seguono in successione, in contatto trasgressivo, i sedimenti ghiaiosi e il substrato alluvionale non rigido, infine le unità marine sottostanti.

da Carta Geologica d'Italia - scala 1: 50.000 *modificato*

(Foglio Geologico 239 – Faenza)

a cura di ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Legenda

SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE PADANO-ADRIATICO SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Depositi alluvionali e localmente delti organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. Limite inferiore inconforme sulle Sabbie di Imola (IM0). Limite superiore coincidente col piano topografico. Comprende il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) non affiorante, ed il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Spessore massimo: circa 310 m nel sottosuolo della pianura. **PLEISTOCENE MEDIO - OLOCENE** (~ 700.000 anni BP - Attuale).

SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

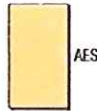
Ghiaie, sabbie, limi ed argille di terrazzo alluvionale, conoidi alluvionale e piana alluvionale. L'unità è parzialmente suddivisa in subsistemi (AES₈, AES₇, AES₆, AES₅ ed AES₄). Ogni subsistema è limitato in affioramento da una scarpata di terrazzo fluviale. Nel sottosuolo ogni subsistema è correlato con un ciclo di sedimenti alluvionali fin alla base e via via più grossolani verso il tetto.

Nei settori di interfuvio, le porzioni più antiche di questa unità non sono state differenziate in subsistemi. Si tratta di depositi prevalentemente fini, con subordinate ghiaie e sabbie grossolane in lenti discontinue alla base, dove hanno spessore fino a 5 m e costituiscono dei canali che incidono il substrato. Verso l'alto si passa ad un'alternanza di limi sabbiosi e sabbie limose con livelli di calcinelli e locali accumuli di noduli ferro manganesiferi. Questi depositi diventano via-via più fini verso l'alto. Presenti all'interno dell'intera unità alcuni suoli intercalati.

Limite inferiore inconforme sulle sottostanti unità marine. Limite superiore coincidente col piano topografico.

Spessore massimo: circa 210 m nel sottosuolo della pianura.

PLEISTOCENE MEDIO - OLOCENE (350.000 - 400.000 anni BP - Attuale).



AES

Subsistema di Ravenna

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di terrazzo alluvionale, conoidi alluvionale e piana alluvionale. Limite inferiore inconforme su AES₇ e sulle sottostanti unità marine. Limite superiore coincidente col piano topografico e costituito da un suolo relativamente poco evoluto, non calcareo, con fronte di alterazione compreso tra 0,5 e 1,5 m (Inceptisuolo) e contenente reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano, oppure da un suolo poco evoluto, calcareo (Entisuolo). La presenza di quest'ultimo identifica localmente l'Unità di Modena (AES_{8a}).

Spessore massimo: 20 m circa nel sottosuolo della pianura.

PLEISTOCENE SUP.-OLOCENE (13 ka - Attuale), definita su base radiometrica. Dove l'unità di Modena non è presente, il tetto del Subsistema di Ravenna è datato su base archeologica e radiometrica al periodo romano.



AES₈

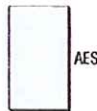
Unità di Modena

Costituisce la parte sommitale di AES₈. Comprende sabbie, argille, limi e, subordinatamente, ghiaie di piana alluvionale.

Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonato a parzialmente carbonatato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Limite superiore coincidente col piano topografico e definito da un suolo calcareo privo di reperti archeologici di età romana o più antichi.

Spessore massimo 10 m circa nel sottosuolo della pianura.

Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale), definita su base archeologica.



AES_{8a}

L'area investigata si colloca in sinistra idrografica del fiume Lamone, un corso d'acqua importante che dalla Toscana scorre fino in Romagna. Dalla Colla di Casaglia a circa 1.190 metri nel comune di Borgo San Lorenzo (Firenze), attraversa Marradi, Brisighella e Faenza, infine sfocia nel mare Adriatico presso Marina Romea nella Pineta di San Vitale; il corso totale è di circa 90 km. Nel contesto faentino l'asta principale ha forma asimmetrica e andamento meandriforme. L'area non è attraversata dal reticolo idrografico principale; le acque superficiali e meteoriche scorrono in canali creati da vari interventi antropici che nel tempo hanno modificato la morfologia naturale e il deflusso dei corsi d'acqua. L'acqua sotterranea risulta assente fino alla profondità indagata (~ 10 m dal piano campagna).

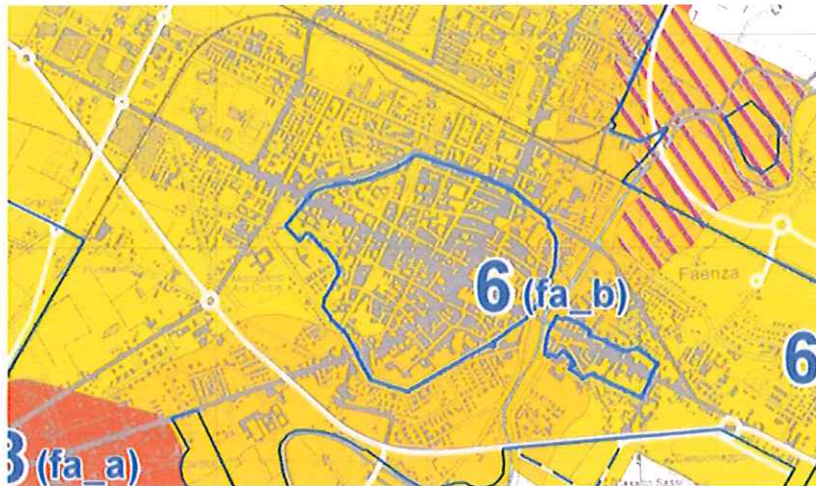
2.2 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA

Dalla consultazione della bibliografia disponibile in ambito geosismico si evince che il comune di Faenza è stato oggetto di studi recenti (2009) che hanno portato alla redazione di una carta di microzonazione di II° livello (PSC 2009, *Carta di Microzonazione Sismica del Comune di Faenza – Vari Autori*).

Si riporta di seguito uno stralcio cartografico dell'area in esame.

Carta di microzonazione sismica del comune di Faenza

Scala 1: 10.000 - modificato



Legenda

Zone di amplificazione stratigrafica:²

6 (fa_a)

$FA_{0,1-0,5s} = 1,7$

Ambito di corride terrazzato con successioni regolari di alluvioni fini mediamente compatte (AES8), poggianti a profondità variabili tra 10/25 su ghiaie e substrato alluvionale "non rigido" (AES7) (zona urbana di Faenza p.p.)

6 (fa_b)

$FA_{0,1-0,5s} = 1,7$

Ambito di corride terrazzato e piana di fondovalle con successioni irregolari di alluvioni fini più o meno compatte e parzialmente ghiaiose (AES8, AES8a), poggianti a profondità variabili tra 5/15m su ghiaie e substrato alluvionale "non rigido" (AES7) (zona urbana di Faenza p.p.)

² - il valore di FA è relativo all'intervallo spettrale $0.1s < t < 0.5s$

Le aree in esame ricadono nell'ambito **6(fa_a)** per quanto riguarda il palazzo Cova e il palazzo Zanelli, in ambito **6(fa_b)** per il teatro Masini; il fattore di amplificazione sismica risulta essere uguale a **1.7**.

3.0 INDAGINI GEOGNOSTICHE

I dati stratigrafici geotecnici e sismici sono stati acquisiti attraverso una campagna di indagini geognostiche; in particolare, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche DP e due prove sismiche ESAC. I fori di prova DP1 e DP2 sono stati inizialmente esplorati mediante trivellazione con punta elicoidale di diametro 101 mm per 0,40 e 0,80 m dal piano campagna; i campioni ottenuti sono stati sottoposti a test speditivi di consistenza. Le prove penetrometriche in sito hanno raggiunto le profondità di -10,0 m (DP1) e - 8,90 m (DP2) dal piano campagna. A fine prova è stato installato un tubo di rivestimento in pvc e contestualmente sono state compiute alcune verifiche piezometriche dell'acqua sotterranea. Gli stendimenti sismici hanno comportato l'allestimento di 24 geofoni in linea per una lunghezza di 48 metri.



Foto 2, 3, 4 - Trivella elicoidale, tubo di rivestimento in pvc e lettura piezometrica.

Le letture effettuate hanno rilevato tracce di umidità a fondo foro in DP1 (-10 m); inoltre l'estrazione delle aste ha evidenziato presenza di umidità dalla 5ª asta in poi (- 4,90 m dal piano campagna). Il foro di prova n° 2 (DP2) a fine indagine è risultato occluso, a circa - 2,90 m dal p.c., mentre la presenza di umidità è rilevata dalla 4ª asta in poi (- 3,90 m dal p.c.). Dai dati in sito si può escludere la presenza di falda freatica fino alla quota investigata mentre è possibile la presenza di piccoli acquiferi intercalati a varie profondità stratigrafiche, ma di limitata continuità verticale e laterale. I dati bibliografici di zone circostanti ma non propriamente limitrofe, indicano la presenza di acqua sotterranea a circa - 8.0 metri dal piano campagna.

3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

La tipologia standard di prova (*Norme di riferimento DIN 4094*) prevede l'infissione nel terreno di una punta conica per mezzo di un meccanismo di battitura, facendo cadere da altezza costante un maglio di 30 kg di peso. Il conteggio dei colpi necessari all'avanzamento di tratto di asta di 10 cm permette di utilizzare le relazioni empiriche che si utilizzano per prove SPT.

L'attrezzatura utilizzata è stata la seguente:

- . penetrometro dinamico medio (classificazione ISSMFE 1988) tipo Penny 30;
- . maglio di 30 Kg;
- . altezza di caduta m 0,20;
- . aste di lunghezza m 1,0 e peso 2,4 kg;
- . penetrazione standard cm 10;
- . punta conica a perdere di area 10 cm².

L'interpretazione dei risultati consente di valutare con buona approssimazione la stratigrafia lungo la verticale di sondaggio e la resistenza dinamica alla penetrazione: permette inoltre di correlare N_{10} a N_{SPT} (*Standard Penetration Test*), quindi stimare l'angolo di attrito interno ϕ nei terreni granulari :

. $\phi = 15 + \sqrt{N_{SPT} \times 15}$ (*relazione di SHIOI e FUKUNI, 1982*) oppure, utilizzando la formula della Japanese National Railway, $\phi = 0.3 N_{SPT} + 20$.

Per quanto riguarda i terreni coesivi, è possibile dare una stima della resistenza al taglio non drenata, sempre utilizzando le correlazioni con SPT, ma tenendo conto dei chiari limiti dello strumento in funzione della profondità (*per l'attrito lungo la batteria di aste*).

Per le caratteristiche costruttive del penetrometro utilizzato possono essere usate le seguenti correlazioni:

rapporto N_{10}/N_{SPT}

per terreni prevalentemente coesivi

$$N_{10}/N_{SPT} \geq 0.7 \div 0.8 \text{ per } 8 \leq N_{10} \leq 14$$

$$N_{10}/N_{SPT} \geq 0.8 \div 1.0 \text{ per } 14 \leq N_{10} \leq 18$$

per terreni prevalentemente granulari

$$N_{10}/N_{SPT} \geq 0.95 \div 1.0 \text{ per } 8 \leq N_{10} \leq 15$$

$$N_{10}/N_{SPT} \geq 1.0 \div 1.2 \text{ per } 15 \leq N_{10} \leq 30$$

Le prove vengono di norma condotte fino al rifiuto strumentale, cioè fino al limite di potenza dell'apparecchio (*60 colpi/10 cm di avanzamento*); i valori più attendibili si riferiscono agli strati più superficiali (0 ÷ 6,0 m).

L'ubicazione delle prove in sito è riportata nella planimetria allegata alla scala 1: 2.500.

3.2 PROVE SISMICHE TIPO ESAC

L'esecuzione delle prove sismiche ESAC ha previsto la disposizione dei geofoni verticali secondo geometrie ad "L". Tali misurazioni sono in linea di principio analoghe alle acquisizioni delle prove MASW, la differenza è costituita dalla procedura di acquisizione e di stima della curva di dispersione sperimentale. Le misure sismiche passive sono basate sulla registrazione del rumore ambientale: vibrazioni del terreno indotte da attività antropiche (il traffico, il rumore derivante da cantieri) o da fenomeni naturali, definite microtremori. Il vantaggio principale delle tecniche passive basate sul rumore ambientale (isotropo) sono le informazioni relative alla propagazione di onde a bassa frequenza e quindi le informazioni estraibili dalla curva di dispersione a profondità elevate, compatibilmente alla lunghezza dell'array. Alla base di questa tecnica c'è l'assunzione della omnidirezionalità del rumore. Per l'acquisizione del segnale sismico è stato utilizzato un sismografo digitale Doremi della Sara Electronics Instruments srl dotato di 24 canali e geofoni verticali da 4,5 hz.

Le attrezzature utilizzate per l'esecuzione delle prove ESAC sono le seguenti:

- *un sismografo 24 canali Sara Elec. ins.*
- *24 geofoni verticali con frequenza propria: 4.5 hz*
- *geometria stendimento: 16(x),8(y)*
- *distanza intergeofonica: 2.0 m*
- *tempo di campionamento: 1 ms*
- *frequenza di campionamento: 200-500 hz*

L'interpretazione dei dati passa attraverso l'autocorrelazione spaziale cioè per una particolare frequenza la velocità di fase è uguale a quella che fa sì che l'autocorrelazione spaziale stimata descrive meglio la funzione di Bessel; il minor scarto tra Frequenza/Velocità di fase permette di estrarre la relativa curva di dispersione utile alla ricostruzione del modello d'inversione delle velocità. I migliori risultati si ottengono per profili Vs normalmente dispersivi in cui la curva di dispersione coincide con quella del modo fondamentale. Quando, di contro, si verificano delle inversioni di velocità delle Vs allora la curva dispersiva effettiva coincide con quella relativa al modo fondamentale solo per alcune frequenze rappresentando un ostacolo all'interpretazione.

La velocità equivalente delle Vs è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio S dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

4.0 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE, GEOMECCANICHE E SISMICHE

Le caratteristiche stratigrafiche dell'area sono state desunte tenendo conto dell'interpretazione di tutte le prospezioni geognostiche eseguite, dirette e indirette. I dati analitici evidenziano i rapporti tra le varie litologie, distinte sulla base delle loro caratteristiche fisico-meccaniche (unità litotecniche). Definiti quindi i tipi litologici, si è proceduto alla distinzione di dettaglio di tre aree.

4.1 AREA 1: EDIFICI EX-COVA

La stratigrafia è ricostruita sulla base del preforo con trivella, della prova DP1 e del grafico Vs (ESAC 1):

- . dal p.c. a 0,10 m $\Rightarrow$ suolo vegetale;
- . da 0,10 m a 0,70 m $\Rightarrow$ terreno di riporto: limo avana misto a sabbia, brecce, trovanti antropici;
- . da 0,70 m a 2,70 m $\Rightarrow$ limi alterati e paleosuoli; poco consistenti, plastici;
- . da 2,70 m a 3,40 m $\Rightarrow$ limo mediamente consistente;
- . da 3,40 m a 8,60 m $\Rightarrow$ sabbie alluvionali in alternanza a limi; a tratti limose, da poco a mediamente addensate, con intercalazioni di ghiaie (6,20 ÷ 6,60); i litotipi limoso-argillosi sono mediamente consistenti (4,0 ÷ 4,40; 7,30 ÷ 7,60);
- . da 8,60 m a 9,50 m $\Rightarrow$ limo mediamente consistente;
- . da 9,50 m a 10,0 m $\Rightarrow$ sabbie mediamente addensate.

Dalle correlazioni dei dati ottenuti e dall'esperienza personale dello scrivente si possono assegnare i seguenti valori:

a – suolo vegetale, riporto, limo, paleosuoli:

- . NSPT = 4
- . Vs = 200 m/s

b – sabbie e sabbie limose, sabbie con ghiaia:

- . NSPT = 9 ÷ 14
- . Vs = 280 m/s

c – limo mediamente consistente:

- . NSPT = 7
- . Vs = 280 m/s

4.2 AREA 2: EDIFICI COMUNALI PALAZZO ZANELLI

La stratigrafia del sito è ricostruita sulla base del preforo e della prova DP1:

- . dal p.c. a 0,10 m $\Rightarrow$ suolo vegetale;
- . da 0,10 m a 0,70 m $\Rightarrow$ terreno di riporto: limo poco consistente con trovanti antropici;
- . da 0,70 m a 3,50 m $\Rightarrow$ terreni granulari sabbiosi, complessivamente poco addensati, localmente misti ad antichi riporti antropici mediamente addensati a geometria irregolare; presenza di trovanti (a varie quote);
- . da 3,50 m a 6,0 m $\Rightarrow$ limi da poco a mediamente consistenti, a tratti sabbiosi;
- . da 6,0 m a 6,90 m $\Rightarrow$ limo argilloso mediamente consistente;
- . da 6,90 m a 8,90 m $\Rightarrow$ limi sabbiosi consistenti e sabbie addensate, a tratti ghiaiose.

Dalla correlazione dei valori ottenuti tra prove dirette e indirette, dall'esperienza personale dello scrivente si possono assegnare i seguenti valori:

a – suolo, riporto, terreni granulari:

- . NSPT = 4 ÷ 8
- . Vs = 220 m/s

b – limi e limi argillosi:

- . NSPT = 7
- . Vs = 220 m/s

c – limi sabbiosi, sabbia, sabbia con ghiaia:

- . NSPT = 14 ÷ 23
- . Vs = 300 m/s

4.3 AREA 3: EDIFICI TEATRO MASINI E RESIDENZA COMUNALE

La stratigrafia del sito è ricostruita sulla base di indagini bibliografiche (CPT, via Castellani) e prove in sito limitrofe (DP30, via Zanelli), dei valori e del grafico Vs (ESAC2):

- . dal p.c. a 2,0 m $\Rightarrow$ terreni di riporto, suoli;
- . da 2,0 m a 3,50 m $\Rightarrow$ limi da poco a mediamente consistenti;
- . da 3,50 m a 7,0 m $\Rightarrow$ limo moderatamente consistente, a tratti argilloso, con livelli di sabbie;
- . da 7,0 m a 11,0 m $\Rightarrow$ limi sabbiosi mediamente consistenti e sabbie con intercalazioni ghiaiose.

Dall' esperienza personale dello scrivente si possono assegnare i seguenti valori:

a – riporto, suoli:

- . NSPT = 4
- . Vs = 220 m/s

b – limi, limi argillosi:

- . NSPT = 6
- . Vs = 220 m/s

c – limo sabbioso e sabbie:

- . NSPT = 8 ÷ 15
- . Vs = 300 m/s

L'elaborazione dei dati delle due prove sismiche ESAC definiscono i rapporti tra i diversi sismostrati presenti nell'area e la definizione del parametro Vs30. La ricostruzione del quadro geofisico emerso dalle indagini fa ritenere il sito oggetto di studio appartenente alla categoria di **suolo C** (con Vs30 $\approx$ 300 ÷ 302 m/s):

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)."

Il confronto tra prove ESAC e una prova MASW, effettuata presso il museo delle ceramiche e reperita dal portale della Regione Emilia Romagna (*Banca dati prove geognostiche*), avvalorata il modello interpretativo ottenuto anche con tecniche diverse (Vs30_{MASW} = 345 m/s $\rightarrow$ suolo C.)

5.0 CONCLUSIONI

Per incarico dello Studio d'Ingegneria Rinaldi & Corsi è stata redatta la presente relazione di sintesi, a conclusione di una campagna di indagini geognostiche e sismiche; lo scopo del lavoro è stato quello di ottenere alcune informazioni sui terreni fondali di immobili nel comune di Faenza: gli edifici sono ubicati in via Cavour (ex-Cova), via Zanelli (palazzo Zanelli) e Piazza Nenni (teatro Masini).

La consultazione dei documenti geologici in prima fase e le indagini geognostiche in seguito hanno verificato gli aspetti geologici geomeccanici e sismici necessari ad una prima valutazione di sicurezza delle strutture edilizie; i siti occupano aree pianeggianti, con presenza di riporto, suoli, coltri in copertura a sedimenti limosi, sabbiosi e argillosi di genesi alluvionale.

Le indagini geognostiche si sono avvalse di n° 4 prove in sito (penetrometriche dinamiche e sismiche ESAC); i fori di prova non hanno rilevato la presenza di acqua sotterranea fino alla quota di circa - 10 m dal piano campagna.

La ricostruzione del quadro geofisico emerso dalle indagini ESAC fa ritenere l'area appartenente alla categoria di **suolo C** (con Vs30 $\approx$ 300 m/s).

Le caratteristiche di resistenza al taglio dei tipi litologici, correlabili con i valori di NSPT ottenuti, sono state considerate alle varie profondità raggiunte dalle prove e sono riportate in dettaglio nel capitolo 4°.

Si resta a disposizione per chiarimenti in merito.

Dott. Geol. Eliseo Marrone

Pescara, giugno 2018



Documentazione bibliografia consultata

Foglio Geologico 239 Faenza – da *Carta Geologica d'Italia scala 1: 50.000* - APAT

Perigeo Indagini Geologiche – *Archivio Settore Urbanistica, comune di Faenza*

PSC 2009, *Carta di Microzonazione Sismica del Comune di Faenza – Vari Autori*

Geo Land, Indagini CPT – *Microzonazione, comune di Faenza*

Lavori professionali e Relazioni Geologiche – Vari Autori (SGT sas, G. Andreatta)

Convegno Microzonazione sismica dei Comuni nell'Ambito Faentino, aprile 2012 – *Stefano Marabini*

Banca dati della Regione Emilia-Romagna

ALLEGATI

Scala 1: 25.000



Nord

☐ Area in esame



UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

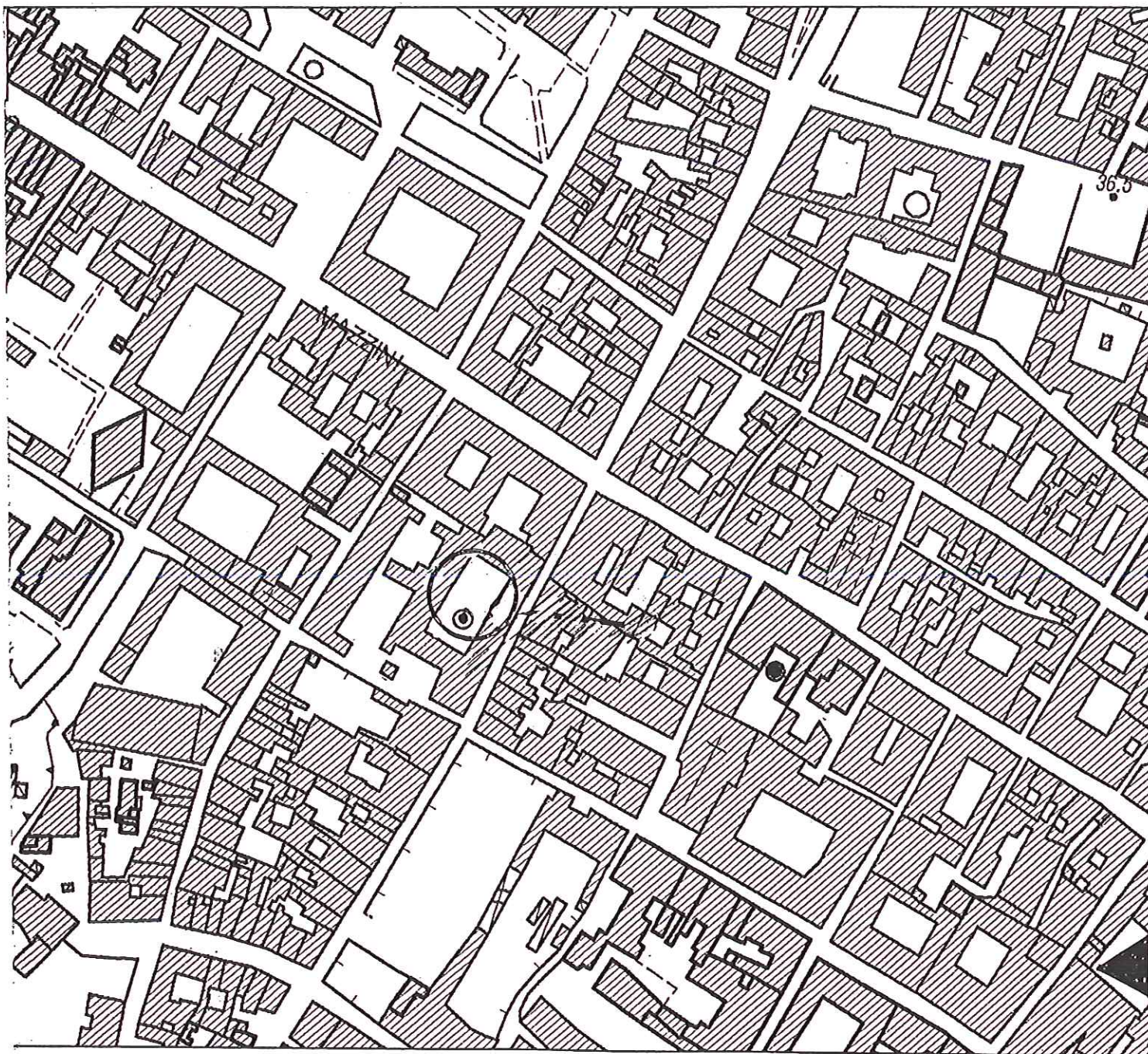
Scala 1: 2.500

⊙ Prova penetrometrica dinamica n. 1

● Prova penetrometrica dinamica n. 2

○ Prova sismica tipo ESAC n. 1

▲ Prova sismica tipo ESAC n. 2



INDAGINI AREA 1

Edifici ex Cova, via Cavour n.7

- a) Dati e diagrammi penetrometrici
- b) Prova sismica tipo ESAC

Prova penetrometrica dinamica DPM

Peso maglio: 30 kg
 Altezza di caduta: 20 cm
 Area di punta: 10 cmq
 Peso aste: 2,9 kg

Committente:
 Località: Faenza, RA
 Data esecuzione: 4-5-2018
 Numero prova: 1
 Profondità Falda: -

Profondità (m)	Numero colpi	Rd (kg/cm ²)	Profondità (m)	Numero colpi	Rd (kg/cm ²)
0,10	0		4,10	5	
0,20	0		4,20	8	
0,30	0		4,30	5	
0,40	0		4,40	6	
0,50	7		4,50	10	
0,60	15		4,60	12	
0,70	6		4,70	6	
0,80	3		4,80	13	
0,90	2		4,90	5	
1,00	2		5,00	5	
1,10	1		5,10	4	
1,20	2		5,20	7	
1,30	2		5,30	13	
1,40	4		5,40	6	
1,50	3		5,50	7	
1,60	3		5,60	8	
1,70	3		5,70	12	
1,80	3		5,80	6	
1,90	5		5,90	12	
2,00	3		6,00	7	
2,10	3		6,10	9	
2,20	3		6,20	13	
2,30	3		6,30	16	
2,40	2		6,40	10	
2,50	4		6,50	12	
2,60	3		6,60	12	
2,70	2		6,70	9	
2,80	4		6,80	7	
2,90	6		6,90	6	
3,00	6		7,00	5	
3,10	6		7,10	12	
3,20	5		7,20	13	
3,30	5		7,30	14	
3,40	7		7,40	5	
3,50	9		7,50	6	
3,60	10		7,60	6	
3,70	7		7,70	9	
3,80	10		7,80	9	
3,90	7		7,90	7	
4,00	5		8,00	13	

Prova penetrometrica dinamica DPM

	Peso maglio:	30 kg
	Altezza di caduta:	20 cm
	Area di punta:	10 cmq
	Peso aste:	2,9 kg

Committente:	
Località:	Faenza, RA
Data esecuzione:	4-5-2018
Numero prova:	1
Profondità Falda:	-

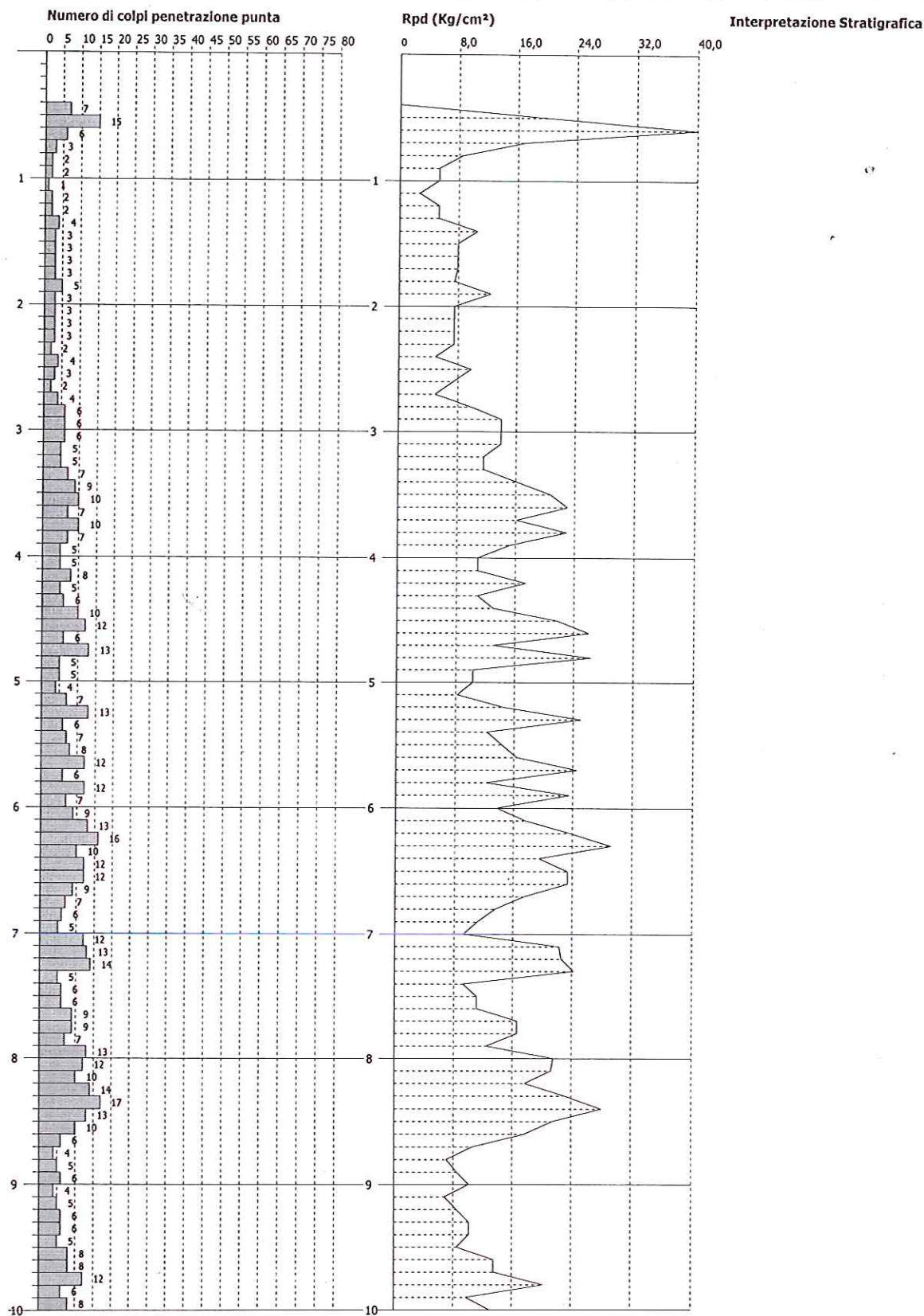
[illegible]

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente :
 Cantiere :
 Località : Faenza - RA

Data :04/05/2018

Scala 1:48



ACQUISIZIONE E ANALISI DEI DATI CON TECNICA ESAC

1.0 Cenni teorici

La prova sismica tipo Esac è un'estensione della prova Spac (Spatial auto correlation) in cui i geofoni verticali sono disposti secondo geometrie ad "L", "T" o "X". Tali misurazioni sono in linea di principio analoghe alle acquisizioni delle prove per onde di Rayleigh con sorgente attiva (Es. MASW). L'unica differenza è costituita dalla procedura di acquisizione e di stima della curva di dispersione sperimentale. Infatti, le misure sismiche passive non richiedono una sorgente artificiale ma sono basate sulla registrazione del rumore ambientale, che consiste in vibrazioni del terreno indotte da attività antropiche (come il traffico, il rumore derivante da cantieri), o da fenomeni naturali; tali vibrazioni del terreno prendono il nome di microtremori. Il vantaggio principale delle tecniche passive, rispetto a quelle attive, è che basandosi sul rumore ambientale isotropo si ha la possibilità di ottenere informazioni relative alla propagazione di onde a bassa frequenza e quindi di estendere le informazioni estraibili dalla curva di dispersione a profondità elevate compatibilmente alla lunghezza dell'array. Quindi alla base di questa tecnica c'è l'assunzione della omnidirezionalità del rumore.

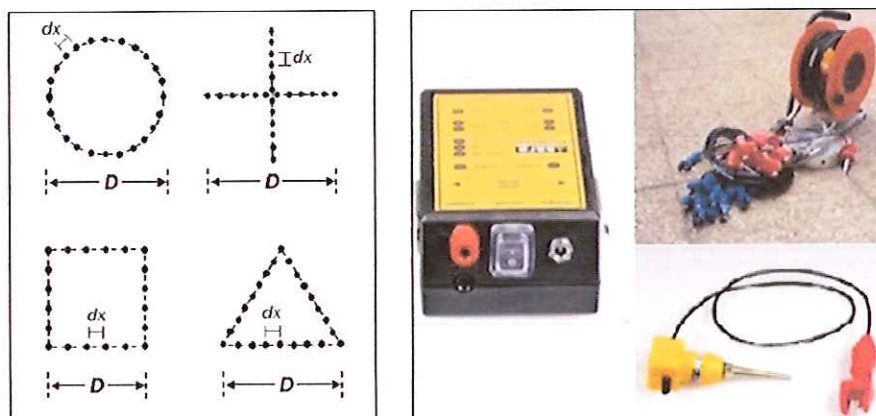


Figura 1: Esempi di geometrie tipo per prova Esac/Spac e strumentazione utilizzata.

2.0 Dati sperimentali

Per l'acquisizione del segnale sismico è stato utilizzato un sismografo digitale Doremi della Sara Electronics Instruments srl dotato di 24 canali e geofoni verticali da 4,5 hz. Di seguito si elencano le caratteristiche di acquisizione impiegate nel cantiere in oggetto:

Per l'acquisizione sono stati utilizzati:

- un sismografo 24 canali Sara Elec. ins.
- 24 geofoni verticali con frequenza propria: 4.5 hz
- Geometria stendimento: 16(x),8(y)
- distanza intergeofonica: 2.0 m
- tempo di campionamento: 1 ms
- frequenza di campionamento: 200-500 hz

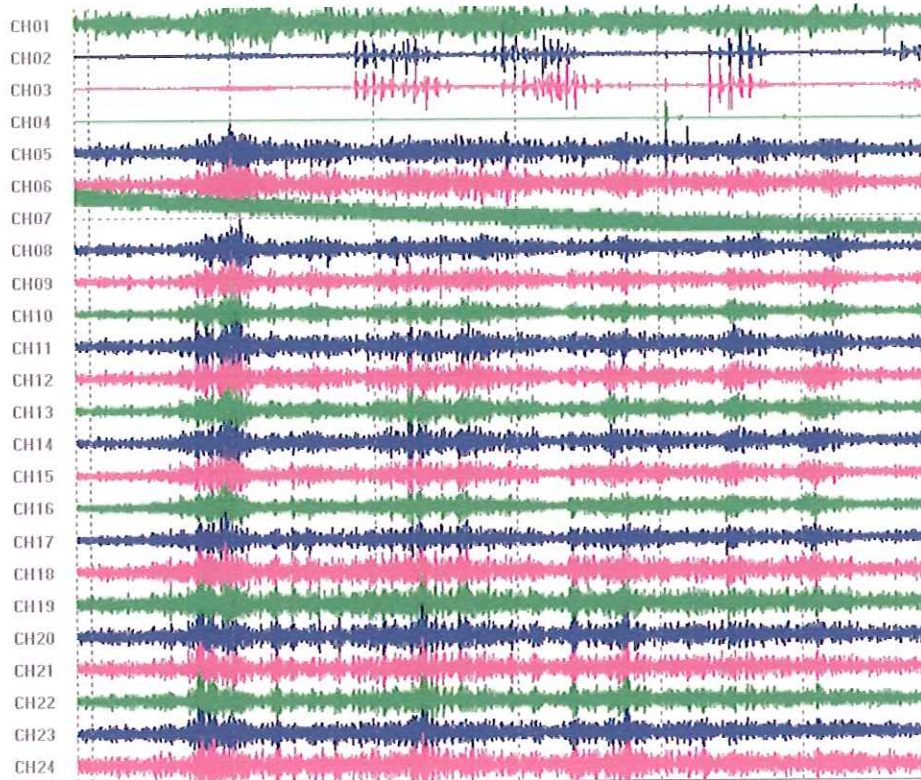


Figura 2: Tracce sperimentali.

3.0 Interpretazione

L'interpretazione dei dati passa attraverso l'autocorrelazione spaziale cioè per una particolare frequenza la velocità di fase è uguale a quella che fa sì che l'autocorrelazione spaziale stimata descrive meglio la funzione di Bessel; il minor scarto tra Frequenza/Velocità di Fase permette di estrarre la relativa curva di dispersione utile alla ricostruzione del modello d'inversione delle velocità. I migliori risultati si ottengono per profili Vs normalmente dispersivi in cui la curva di dispersione coincide con quella del modo fondamentale. Quando, di contro, si verificano delle inversioni di velocità delle Vs allora la curva dispersiva effettiva coincide con quella relativa al modo fondamentale solo per alcune frequenze rappresentando un ostacolo all'interpretazione.

La velocità equivalente delle Vs è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio S dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

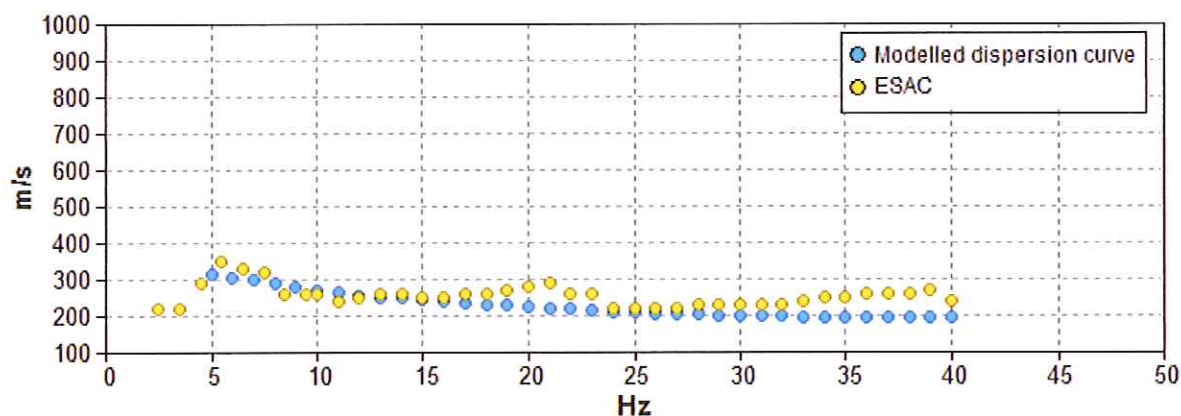


Figura 3: Curva di dispersione.

4.0 Conclusioni

E' stata condotta una campagna di acquisizione delle onde di superficie tramite tecnica Esac volta alla definizione delle V_s per ricostruire il modello del sottosuolo ed individuare una categoria di suolo secondo quanto espressamente richiesto dal DM 17/01/18 e successive integrazioni.

I dati acquisiti hanno definito una velocità media $V_{s30} = 300$ m/s che colloca il sito investigato nella **categoria di suolo C**.

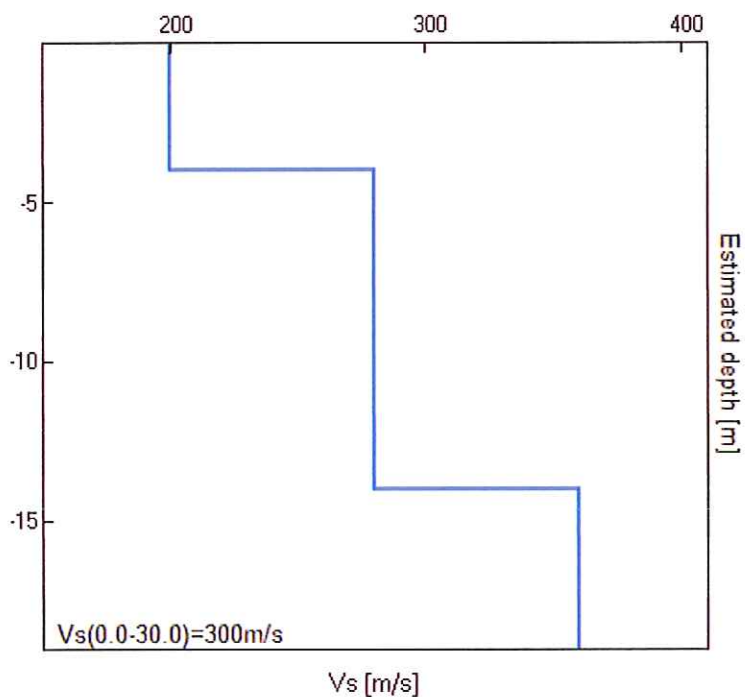


Figura 4: Profilo V_s numerico

Piano di riferimento: $z=0$ [m]

V_{s30} [m/s]: 300

Tipo di suolo: C

Spessore strato (m)	Profondità (m)	Vs (m/s)
4,0	-4,0	200
10,0	-14,0	280
inf.	inf.	350

Tabella 1: Caratteristiche dei sismostrati

Tipo di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Tipo C: Deposit di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

Tipo D: Deposit di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

Tipo E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

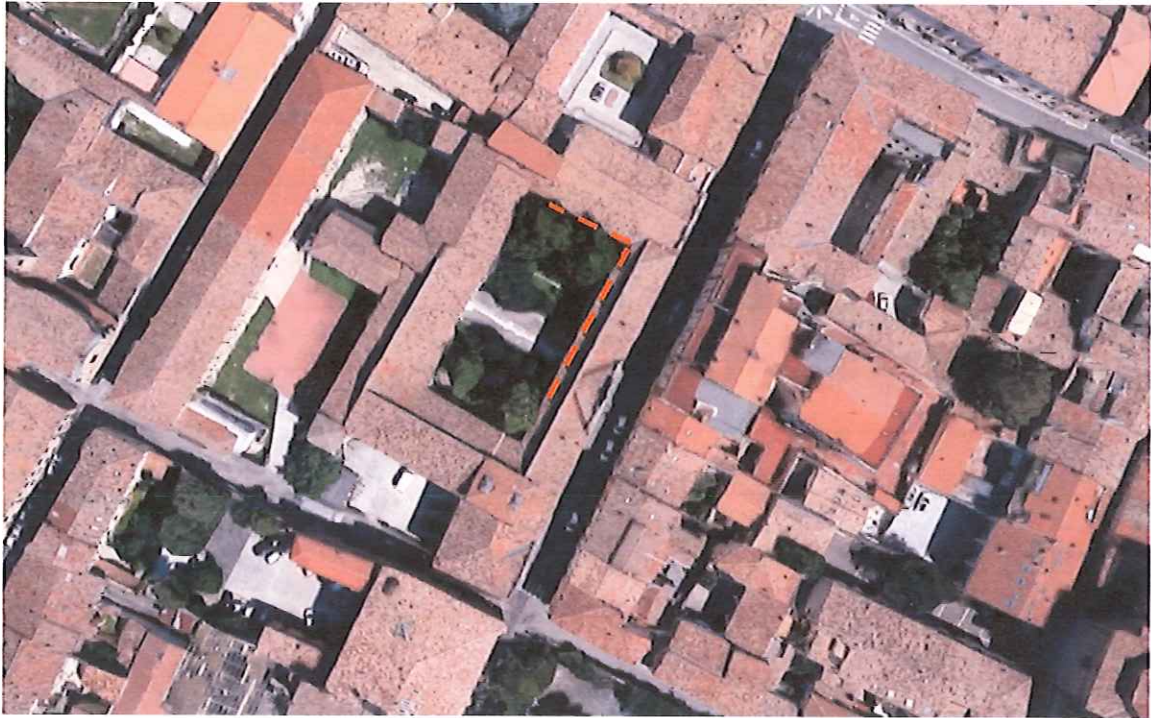


Foto 1: Ubicazione linea sismica ESAC



Foto 2: Linea sismica a 24 geofoni in onde P

INDAGINI AREA 2

Edifici comunali Palazzo Zanelli, via Zanelli n. 4

a) Dati e diagrammi penetrometrici

Prova penetrometrica dinamica DPM

Peso maglio: 30 kg
 Altezza di caduta: 20 cm
 Area di punta: 10 cmq
 Peso aste: 2,9 kg

Committente:
 Località: Faenza, RA
 Data esecuzione: 4-5-2018
 Numero prova: 2
 Profondità Falda: -

Profondità (m)	Numero colpi	Rd (kg/cm ²)	Profondità (m)	Numero colpi	Rd (kg/cm ²)
0,10	0		4,10	6	
0,20	0		4,20	6	
0,30	0		4,30	6	
0,40	0		4,40	5	
0,50	0		4,50	5	
0,60	1		4,60	6	
0,70	2		4,70	4	
0,80	4		4,80	5	
0,90	5		4,90	5	
1,00	4		5,00	4	
1,10	8		5,10	5	
1,20	5		5,20	6	
1,30	8		5,30	5	
1,40	5		5,40	6	
1,50	4		5,50	5	
1,60	5		5,60	5	
1,70	5		5,70	7	
1,80	8		5,80	6	
1,90	11		5,90	6	
2,00	8		6,00	6	
2,10	9		6,10	8	
2,20	5		6,20	10	
2,30	6		6,30	9	
2,40	9		6,40	9	
2,50	8		6,50	9	
2,60	5		6,60	9	
2,70	9		6,70	10	
2,80	16		6,80	9	
2,90	5		6,90	12	
3,00	3		7,00	11	
3,10	2		7,10	12	
3,20	3		7,20	13	
3,30	3		7,30	15	
3,40	44		7,40	17	
3,50	13		7,50	17	
3,60	4		7,60	20	
3,70	5		7,70	21	
3,80	5		7,80	23	
3,90	5		7,90	23	
4,00	4		8,00	22	

Prova penetrometrica dinamica DPM

	Peso maglio:	30 kg
	Altezza di caduta:	20 cm
	Area di punta:	10 cmq
	Peso aste:	2,9 kg

Committente:

Località: Faenza, RA

Data esecuzione: 4-5-2018

Numero prova: 2

Profondità Falda: -

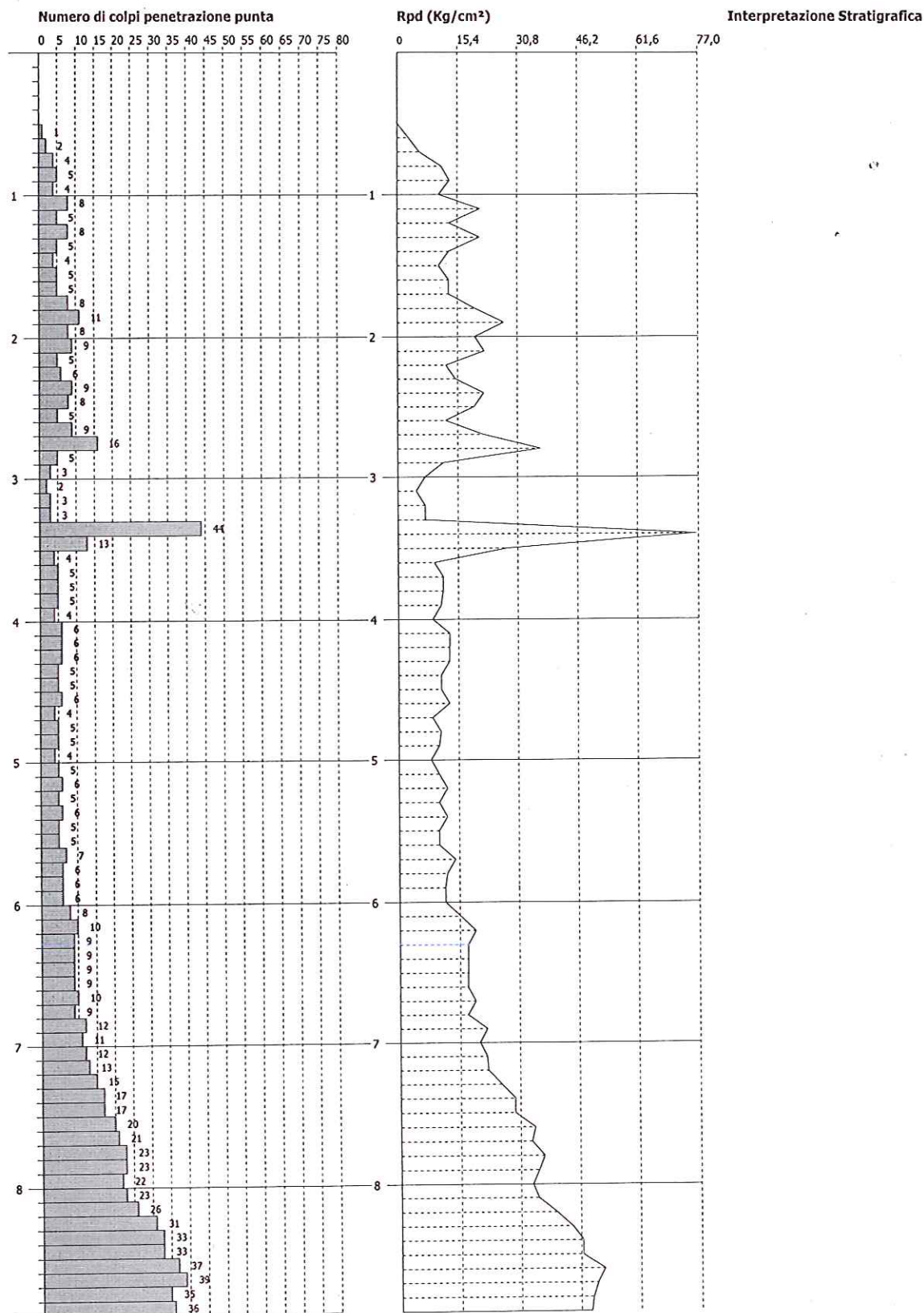
[illegible]

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente :
 Cantiere :
 Località : Faenza - RA

Data :04/05/2018

Scala 1:43



INDAGINI AREA 3

Edifici Teatro Masini e residenza comunale, piazza Nenni n.3

a) Prova sismica tipo ESAC

ACQUISIZIONE ED ANALISI DEI DATI CON TECNICA ESAC

1.0 Cenni teorici

La prova sismica tipo Esac è un'estensione della prova Spac (Spatial auto correlation) in cui i geofoni verticali sono disposti secondo geometrie ad "L", "T" o "X". Tali misurazioni sono in linea di principio analoghe alle acquisizioni delle prove per onde di Rayleigh con sorgente attiva (Es. MASW). L'unica differenza è costituita dalla procedura di acquisizione e di stima della curva di dispersione sperimentale. Infatti, le misure sismiche passive non richiedono una sorgente artificiale ma sono basate sulla registrazione del rumore ambientale, che consiste in vibrazioni del terreno indotte da attività antropiche (come il traffico, il rumore derivante da cantieri), o da fenomeni naturali; tali vibrazioni del terreno prendono il nome di microtremori. Il vantaggio principale delle tecniche passive, rispetto a quelle attive, è che basandosi sul rumore ambientale isotropo si ha la possibilità di ottenere informazioni relative alla propagazione di onde a bassa frequenza e quindi di estendere le informazioni estraibili dalla curva di dispersione a profondità elevate compatibilmente alla lunghezza dell'array. Quindi alla base di questa tecnica c'è l'assunzione della omnidirezionalità del rumore.

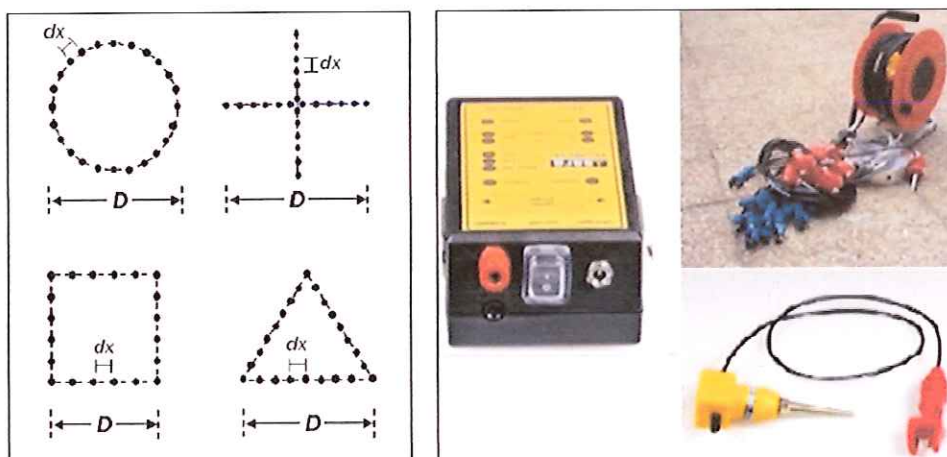


Figura 1: Esempi di geometrie tipo per prova Esac/Spac e strumentazione utilizzata.

2.0 Dati sperimentali

Per l'acquisizione del segnale sismico è stato utilizzato un sismografo digitale Doremi della Sara Electronics Instruments srl dotato di 24 canali e geofoni verticali da 4,5 hz. Di seguito si elencano le caratteristiche di acquisizione impiegate nel cantiere in oggetto:

Per l'acquisizione sono stati utilizzati:

- un sismografo 24 canali Sara Elec. ins.
- 24 geofoni verticali con frequenza propria: 4.5 hz
- Geometria stendimento: 16(x),8(y)
- distanza intergeofonica: 2.0 m
- tempo di campionamento: 1 ms
- frequenza di campionamento: 200-500 hz

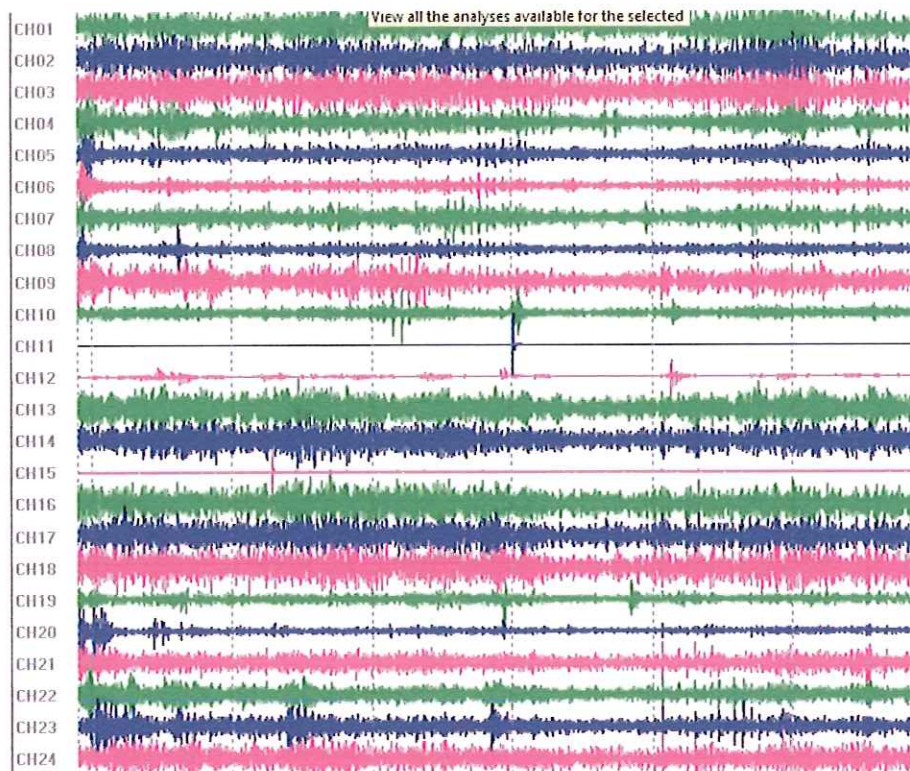


Figura 2: Tracce sperimentali.

3.0 Interpretazione

L'interpretazione dei dati passa attraverso l'autocorrelazione spaziale cioè per una particolare frequenza la velocità di fase è uguale a quella che fa sì che l'autocorrelazione spaziale stimata descrive meglio la funzione di Bessel; il minor scarto tra Frequenza/Velocità di Fase permette di estrarre la relativa curva di dispersione utile alla ricostruzione del modello d'inversione delle velocità. I migliori risultati si ottengono per profili Vs normalmente dispersivi in cui la curva di dispersione coincide con quella del modo fondamentale. Quando, di contro, si verificano delle inversioni di velocità delle Vs allora la curva dispersiva effettiva coincide con quella relativa al modo fondamentale solo per alcune frequenze rappresentando un ostacolo all'interpretazione.

La velocità equivalente delle Vs è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio S dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

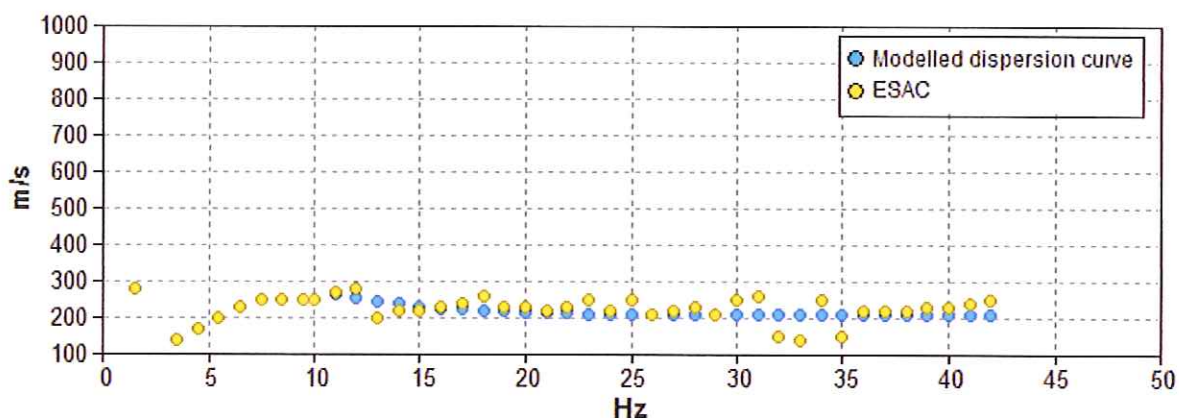


Figura 3: Curva di dispersione.

4.0 Conclusioni

E' stata condotta una campagna di acquisizione delle onde di superficie tramite tecnica Esac volta alla definizione delle V_s per ricostruire il modello del sottosuolo ed individuare una categoria di suolo secondo quanto espressamente richiesto dal DM 17/01/18 e successive integrazioni.

I dati acquisiti hanno definito una velocità media $V_{s30} = 302$ m/s che induce a collocare il sito in esame nella categoria di suolo C.

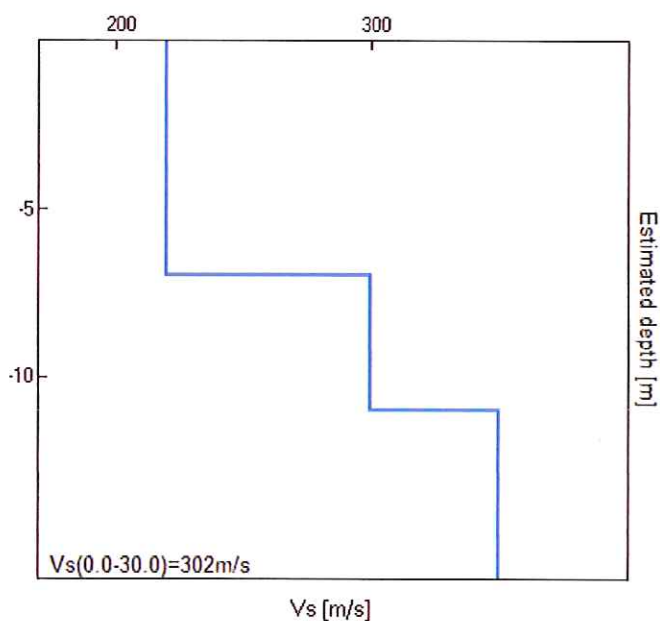


Figura 4: Profilo V_s numerico.

Piano di riferimento :..... $z=0$ [m]

V_{s30} [m/s]:..... 302

Tipo di suolo :..... C

Spessore strato (m)	Profondità (m)	Vs (m/s)
7,0	-7,0	220
4,0	-11,0	300
inf.	inf.	350

Tabella 1: Caratteristiche dei sismostrati.

Tipo di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

Tipo D: Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

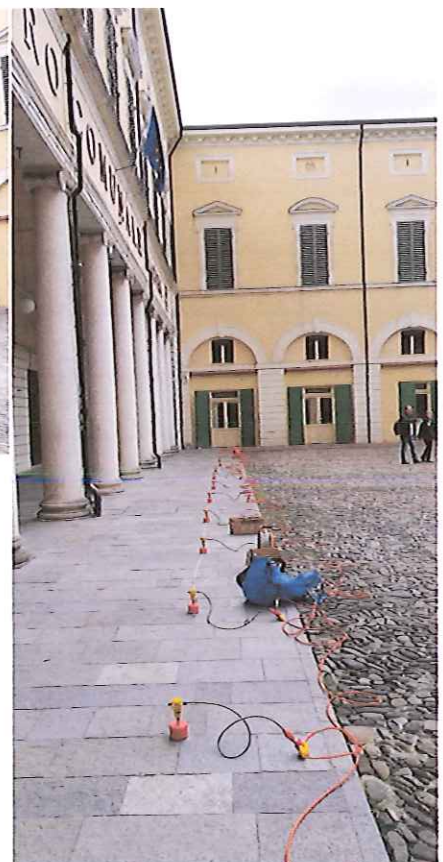
Tipo E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).



Foto 1: Ubicazione linea sismica



Foto 2,3: Linea sismica a 24 geofoni in onde P



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 - Preforo a distruzione e rivestimento in pvc. Foto 2- Esecuzione di prova penetrometrica DP1.



Foto 3 - Controlli piezometrici in DP1. Foto 4,5 - Esecuzione di prova sismica ESAC (stendimento1).



Foto 6 - Preforo e rivestimento (foro DP2). Foto 7 - Prova DP2. Foto 8 - Verifica piezometrica in DP2.

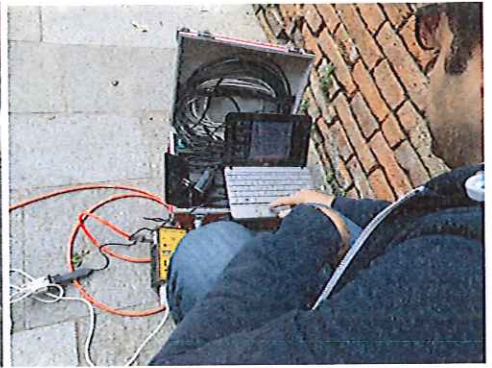


Foto 9,10,11 - Esecuzione di prova sismica ESAC (n° 2) : stendimento geofonico e acquisizione dati.