

# ***COMUNE DI JESI (AN)***



**INDAGINE GEOLOGICA NELL'AREA SU CUI  
INSISTE L'EDIFICIO SCOLASTICO "PERCHI"  
IN LOCALITA' MINONNA DEL COMUNE DI JESI**

## ***ANALISI DEL QUADRO FESSURATIVO***

DATA: **Ottobre 2017**

SCALA:

DISEGNATORE:

ARCHIVIO:



CHIARAVALLE (AN) Via Cavour, 38  
Tel. 071/949279 Fax 071/949063  
E-MAIL m.mosca@fastnet.it

**DOTT. MASSIMO MOSCA**

**TAV.**

## **COMUNE DI JESI**



### **INDAGINE GEOLOGICA NELL'AREA SU CUI INSISTE L'EDIFICIO SCOLASTICO "PERCHI" IN LOCALITA' MINONNA DEL COMUNE DI JESI**

#### **ANALISI DEL QUADRO FESSURATIVO**

##### **-1- PREMESSA:**

Su incarico del Comune di Jesi, abbiamo effettuato una indagine tecnico-geologica nella zona su cui insiste l'edificio scolastico in esame, al fine esaminare il quadro fessurativo che ha interessato la struttura e poter dare, in funzione delle caratteristiche geotecniche rilevate nei terreni locali e in base alla indagine effettuata, le indicazioni per identificare le cause dei fenomeni rilevati e per poter risolvere le problematiche riscontrate.

Scopo dello studio sarà quello di definire, tenendo conto della normativa sismica (D.M. 14/01/2008):

##### ***IL MODELLO GEOLOGICO:***

- le condizioni geologiche del sito;
- la successione stratigrafica;
- i livelli freatici locali

##### ***IL MODELLO GEOTECNICO:***

- le proprietà meccaniche dei terreni interessati dagli interventi progettuali;
- i parametri meccanici necessari ad una esatta scelta della tipologia e al dimensionamento degli interventi;

##### ***LA CARATTERIZZAZIONE DELL'OPERA:***

- il tipo di fondazione realizzato, le profondità di imposta raggiunte
- i criteri di sistemazione idrogeologica effettuati (regimazione delle acque superficiali).

### **1.1 Normativa di riferimento relazione geologica-geotecnica**

#### **D.M. 14/01/2008**

Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni

#### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 2 febbraio 2009.

#### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. All. al voto n. 36 del 27/07/2007

#### **Eurocodice 8 (1998)**

#### **Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**

Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

#### **Eurocodice 7.1 (1997)**

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI

#### **Eurocodice 7.2 (2002)**

Progettazione geotecnica: Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

#### **Eurocodice 7.3 (2002)**

Progettazione geotecnica: Parte II: progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

**Leggi regionali** in materia di pianificazione e di vincolo idrogeologico

**Ordinanze** Autorità di Bacino Nazionale, regionale o interregionale.

#### **D.M. 11/03/1998**

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

### **1.2 Metodologia:**

L'indagine è stata eseguita mediante:

1. rilevamento geologico e geomorfologico dell'area e raccolta dati bibliografici;
2. esecuzione di n. 1 prova penetrometrica statica eseguita con apparecchio Pagani TG 63 (200kN), spinta fino alle quote di interesse;
3. esecuzione di un sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati soggetti a prove di laboratorio (prova edometrica, limiti di consistenza e caratteristiche volumetriche);
4. esecuzione di scavi in aderenza alle fondazioni nei punti di maggior interesse per verificare la tipologia delle stesse e le profondità di imposta;
5. esecuzione di n. 1 sezione topografica, ortogonale all'area di intervento, con riportata la successione geologica;
6. correlazione dei dati stratigrafici, geotecnici, idrologici e ricostruzione della successione stratigrafica;
7. esecuzione di una indagine geofisica a mezzo Holisurface per il calcolo della velocità equivalente delle onde di taglio Vs30;
8. elaborazione dati, stesura relazione finale.

A fine relazione è riportata una planimetria con l'ubicazione dei sondaggi, la sezione geologica con la successione dei terreni, la colonna stratigrafica, il diagramma penetrometrico rappresentante la resistenza statica alla penetrazione, misurata in continuo, e i certificati delle analisi di laboratorio.



## **-2- INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GENERALITA':**

Il manufatto in esame ricade in un'area a deposizione alluvionale (IV ordine dei terrazzi del fiume Esino) nella zona Sud-Est del centro abitato di Jesi; la morfologia locale è tipicamente pianeggiante.

I terreni presenti in zona di origine alluvionale sono costituiti da argille, argille-sabbiose, passanti in profondità a ghiaie e sabbie; nell'area, essenzialmente nel settore opposto alla entrata del plesso scolastico, è stato effettuato un riporto di terreno dello spessore massimo di circa 1,3 mt. finalizzato a livellare l'area su cui è stata impostata la scuola.

Il complesso alluvionale poggia su di un substrato pliocenico di fondo, di origine marina, presente a profondità di circa 29-30 m. dal p.c. attuale.

### **2.1 Stratigrafia:**

In base ai dati rilevati nei sondaggi, la successione dei terreni, nella zona in esame, è così schematizzabile:

- A-** dal p.c. a 0,8÷1,3 mt., *terreno vegetale, terreno di riporto* prevalentemente limo argilloso con inclusi elementi calcarei a spigoli vivi;
- B-** da 0,8÷1,3 mt. a -5,2-5,3 mt., *argille limose marroni di deposizione alluvionale* con livelli millimetrici sabbiosi nocciola a bassa-media consistenza ed inclusi ghiaiosi. Il sedimento si presenta in superficie, sotto il terreno di riporto, fino a profondità di - 2,0 mt, sovraconsolidato per essiccamento;
- C-** da 5,2-5,3 mt. a fine fori, *ghiaia e sabbia addensata* con sottili livelli limoso argillosi centimetrici intercalati di colore grigiastro.

Nella zona è presente un livello di falda, rilevato in un pozzo locale, che nel periodo in esame si stabilizza a- 8,5 mt. dal p.c. attuale.

### **-3- PARAMETRI MECCANICI:**

Si riportano di seguito, nella tav. allegata, i parametri che caratterizzano le proprietà fisico-meccaniche dei terreni attraversati, dedotti dalle misure in sito delle resistenze meccaniche e dalla correlazione di tali dati con i valori ricavati dalle analisi di laboratorio (vedi certificati allegati). Il campione di terreno analizzato è stato prelevato a quota di -3,30 mt dal p.c. attuale, caratterizzante pertanto il comportamento dei terreni maggiormente soggetti ai carichi trasmessi dalle fondazioni dell'edificio. Il terreno si presenta con buone caratteristiche meccaniche con coefficiente edometrico medio relativo ai carichi applicati di 200 cm/Kg e pertanto ascrivibile a terreni di media compressibilità. Il coefficiente di ritiro dei materiali analizzati è invece alto dimostrando una estrema sensibilità nei confronti della riduzione di umidità.

La distinzione stratigrafica a cui fa riferimento la tabella sottostante, schematizzante i parametri geotecnici da attribuire ai terreni locali, è riportata nello schema precedente (paragr. 2.1):

<b>LITOLOGIA</b>	<b><math>\varphi</math></b>	<b><math>\gamma(\text{gr/cmc})</math></b>	<b><math>C(\text{kg/cm}^2)</math></b>	<b><math>C_u(\text{tonn/m}^2)</math></b>	<b>Modulo edometrico (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>B</b>	22°÷24°	1,98	0,1÷0,2	8 ÷10	158-212 *
<b>C</b>	35°÷38°	2,0	--	--	

\*= prova edometrica

---

**Legenda:**

$\varphi$  = angolo di attrito;  $\gamma$  = peso di volume;  $C$  = coesione;  $C_u$  = coesione non drenata.

#### **-4- CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE:**

Ai fini della definizione **dell'azione sismica** viene individuata la categoria di sottosuolo di riferimento, riferendosi alle suddivisioni tabellate nell'ambito della nuova normativa (D.M. 14/01/2008 Tab. 3.2.II e Tab 3.2.III).

#### **CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO**

##### **DETERMINAZIONE DELLE VS30 – PROVA SISMICA**

Ai fini della classificazione dei terreni secondo quanto prescritto dall'art. 3.2.2 delle norme tecniche NTC 08 (D.M. 14/01/2008), la velocità delle onde S per la classificazione sismica del terreno è stata ricavata mediante una doppia prova sismica, attiva e passiva, ovvero operando mediante una tecnica (Holi-Surface) che permette l'analisi congiunta dei diagrammi derivati da prove sismiche attive e passive effettuate in sito così da limitare fortemente il grado di incertezza del dato sperimentale. In particolare si sono effettuate prove di sismica attiva (Analisi delle velocità di gruppo - MFA) e passiva (HVSr) utilizzando un geofono triassiale modello GEMINI-2 (Pasi srl) con frequenza di risonanza di 2 Hz ed un acquisitore dati a 24 bit reali.

Sono state effettuate (vedi fig.1):

- una acquisizione di microtremori (sismica passiva) di circa 20 minuti (H1), ubicata nella zona di indagine;
- una acquisizione delle componenti radiali e trasversali delle onde di Rayleigh in modalità attiva (Vf1-Hf1) nello stesso punto ove è stata realizzata la prova passiva;

Le prove denominata H1, Vf1 e sono state successivamente elaborate ed interpretate con software dedicato, determinando così la velocità delle onde S, che permette di individuare la categoria di suolo in ottemperanza alle norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008).

<b>STRUMENTO - CONDIZIONI DI ANALISI</b>	
<b>Prova passiva - HVSr</b>	<b>Prova attiva – Rayleigh and Love Waves</b>
Strumento: GEMINI-2 Data: 20/10/2016 Sampling frequency (Hz): 64 Window length (sec): 25 Length of analysed dataset (min): 17.4 Tapering (%): 8 Smoothing (%): 10	Strumento: GEMINI-2 Data: 20/10/2016 Offset: 55.0.5 m n. Shot: 4

## ACQUISIZIONE

Prima di iniziare la registrazione è stato opportunamente preparato il terreno mediante la rimozione di tutto quello che potrebbe interferire nel contatto strumento-terreno. Dopo aver preparato la superficie si è proceduto alla posa dello strumento sul terreno con attenzione per la messa in bolla ed il controllo delle tre componenti di registrazione (orizzontali e verticale) che debbono essere libere di registrare (tale operazione viene fatta osservando la traccia sismica per ciascuna componente nel computer collegato all'acquisitore); effettuata l'acquisizione dei dati si è proceduto al controllo in campagna delle curve e della qualità della prova.

Nel caso specifico l'ancoraggio a terra dello strumento è stato effettuato, per entrambe le prove, mediante appositi piedini adatti a luoghi con la presenza di superfici rigide.

Successivamente si procede alla registrazione in modalità attiva delle velocità di gruppo delle onde generate mediante uno scoppio con un offset di circa 50-60 m (nello specifico 55 m) e subito dopo alla registrazione in modalità passiva.

Fig. 1 – Ubicazione prove H1 e Vf1



## Prova HVSR

In modalità passiva l'acquisizione è stata di circa 20 min, da questi sono stati poi eliminati i disturbi registrati durante la prova: nello specifico i disturbi sono stati moderati con un utilizzo della traccia pari a circa l' 87.0% (17,4 min)

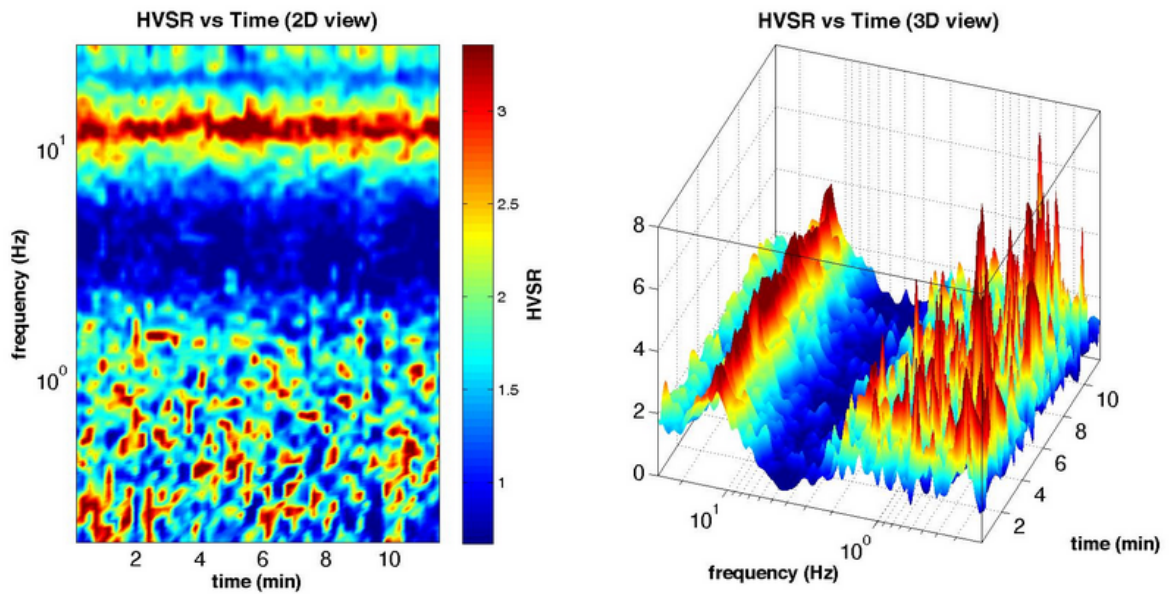


Figura 2a: persistenza del segnale sismico

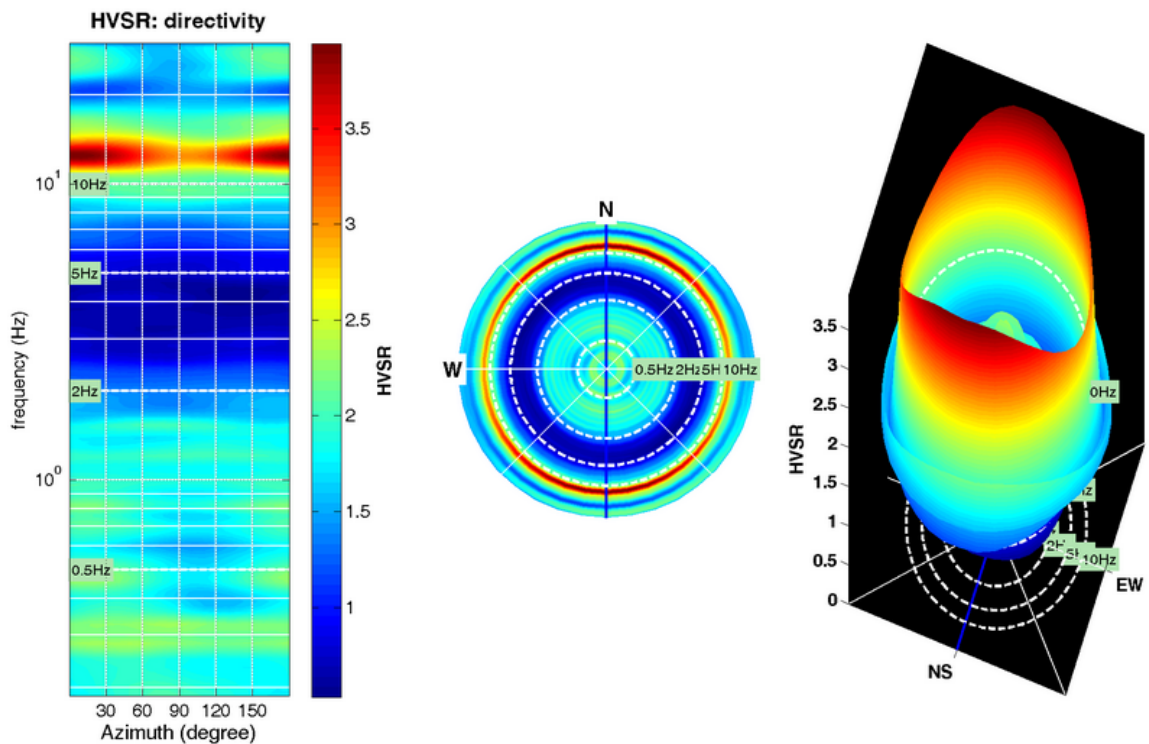


Figura 2b: direttività del segnale sismico



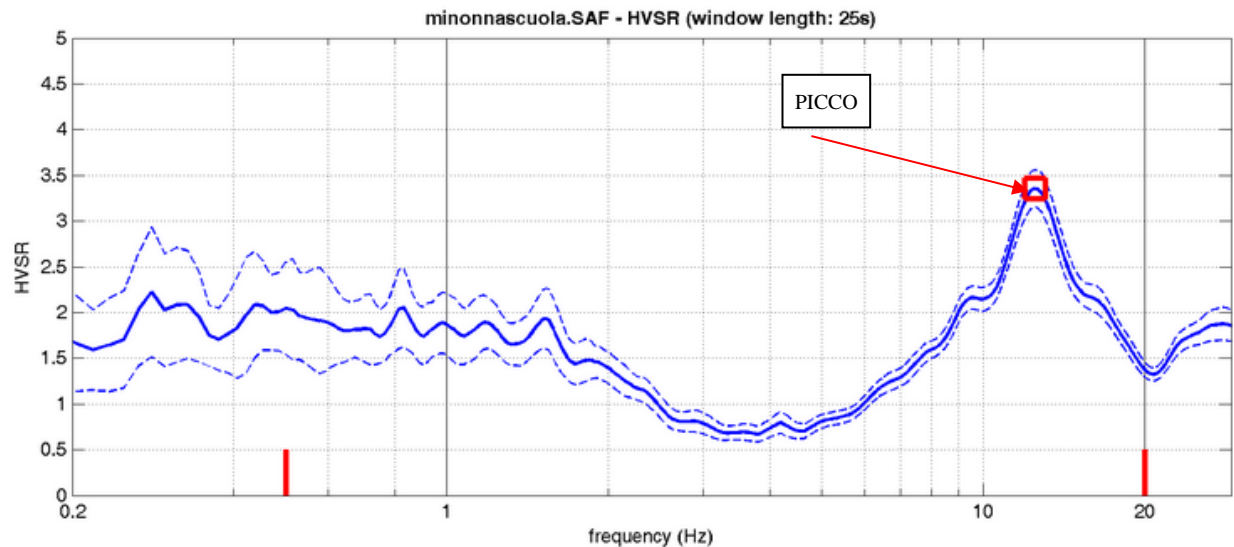


Figura 3: Andamento della curva H/V (componenti orizzontali su componenti verticali) durante la registrazione

L'analisi della curva mostra la presenza di un picco di risonanza principale alla frequenza di circa 12,5 Hz.

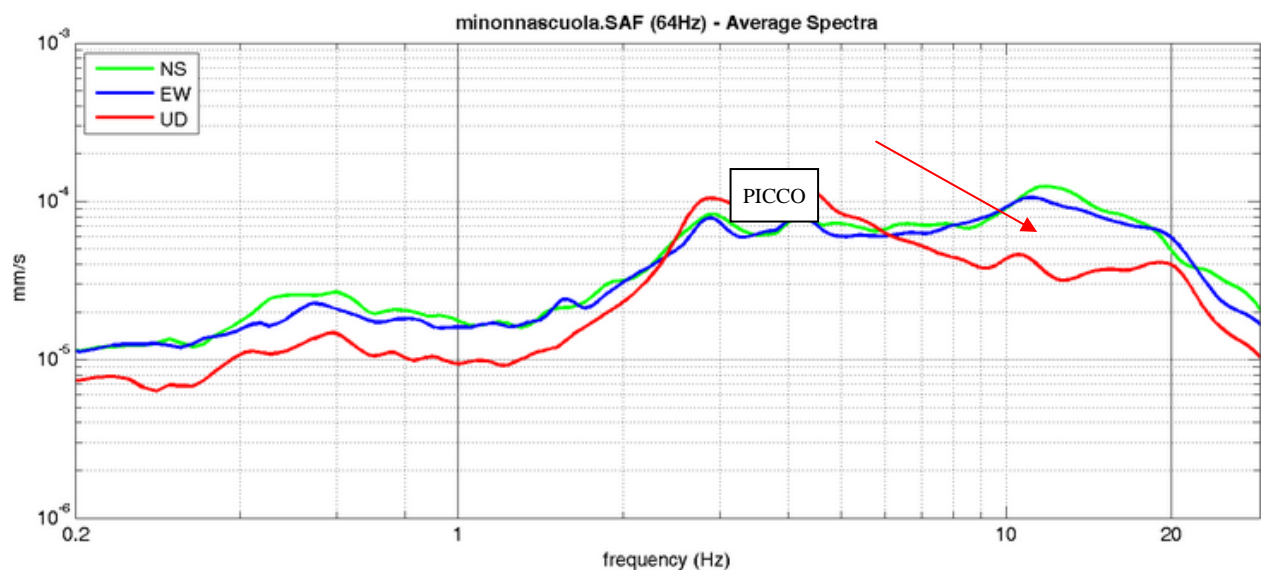


Figura 4: single component spectra

Per la stima delle Vs30 vengono individuati sul grafico “SINGLE COMPONENT SPECTRA” (vedi figura 4) i tratti in cui l'andamento delle tre componenti indicanti la velocità delle onde sismiche nel sottosuolo, subiscono variazioni, sovrapposizioni o bruschi decadimenti di una delle tre componenti. Mediante il vincolo con la prova di sismica attiva è possibile ricostruire le velocità delle onde S nel sottosuolo.

<b>CRITERIA SESAME</b>
------------------------

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 12.5 ( $\pm 5.9$ )

Peak HVSR value: 3.4 ( $\pm 0.2$ )

**==== Criteria for a reliable H/V curve =====**

#1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]:  $12.490 > 0.4$  (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]:  $17487 > 200$  (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

**==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====**

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.1Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 18.5Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]:  $3.4 > 2$  (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_f < \epsilon(f_0)$ ]:  $5.864 > 0.625$  (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.204 < 1.58$  (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.

## ANALISI DELLE ONDE DI RAYLEIGH - INTERPRETAZIONE DEI DATI

In modalità attiva la prova è stata effettuata attraverso la registrazione della sollecitazione sismica derivante da n. 4 shot verticali generati alla distanza di 55.0 m dal punto di registrazione. Le onde di Rayleigh nelle due componenti verticale e radiale e di Love generate sono state analizzate con software dedicato (HoliSurface) mediante la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis) fino ad ottenere la relativa curva di dispersione delle velocità di gruppo (vedi fig 5).

Si è proceduto quindi all'analisi congiunta delle due componenti verticale e radiale dell'onda di di Rayleigh con la curva HVSR fino a definire un modello di velocità delle onde S nei primi 30 m di terreno che soddisfacesse tutte le curve sperimentali (vedi fig. 5), tale modello ha definito per il sito in esame un valore delle **Vs30 pari a 297 m/s.**

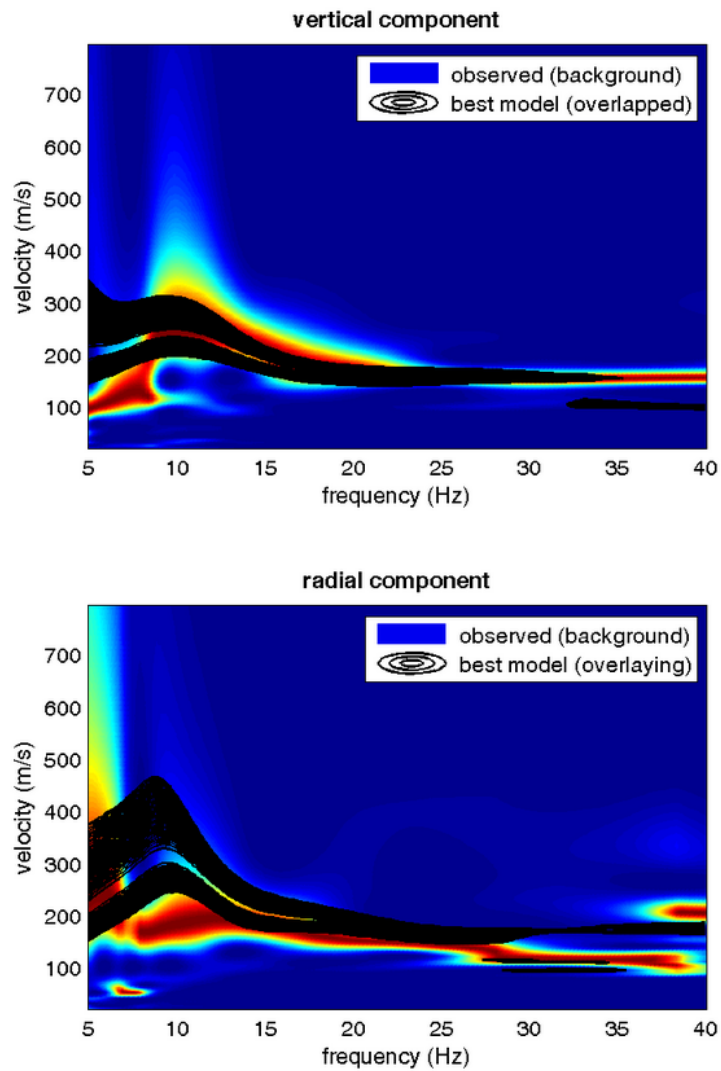
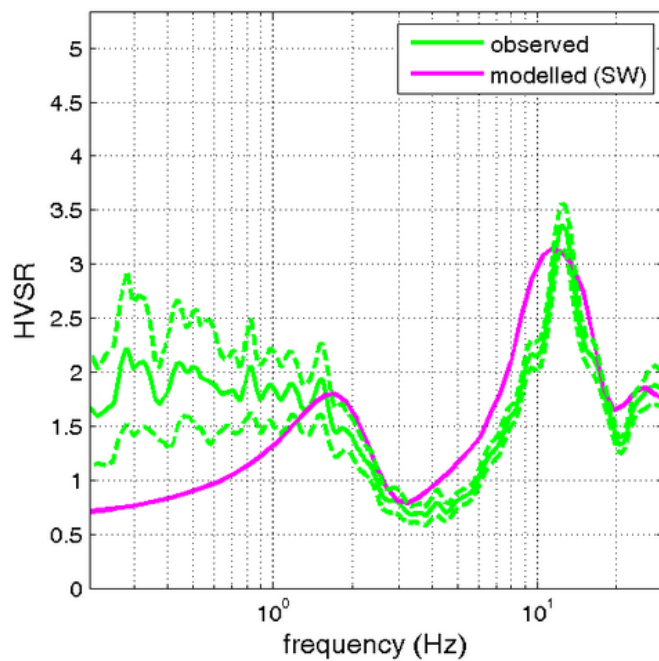


Figura 5: Curva di dispersione dell'onda di Rayleigh e Love (verticale e radiale) osservate (rosso) e sintetica (nero) e andamento della curva H/V osservata (verde) e sintetica (magenta) ricostruite a partire dalla stratigrafia sismica di figura 6





*Modello sintetico più prossimo ad entrambe le curve:*

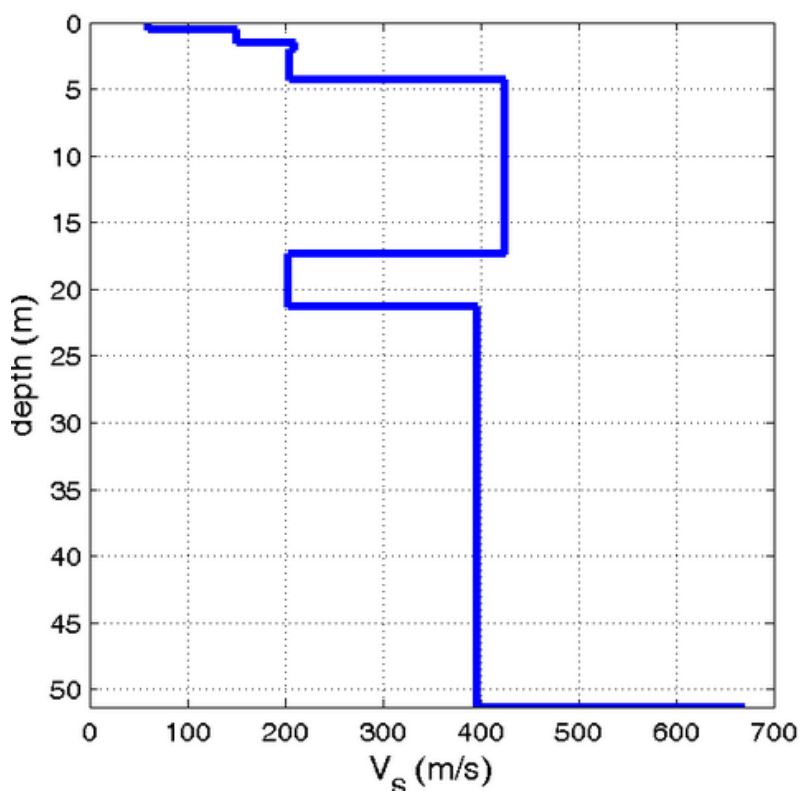


Figura 6: stratigrafia sismica in funzione della velocità delle onde S

Vs (m/s)	60	150	210	205	425	203	396	670
Thickness (m)	0.6	1.0	0.5	2.3	13.0	4.0	30.0	semispazio

## Risultati

Dal profilo di velocità ottenuto e rappresentato nel paragrafo precedente, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$ . (velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio), parametro necessario per la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Sulla base dei dati descritti si è ottenuto un valore di  $V_{s30} (0 - 30 \text{ m}) = 297 \text{ m/sec}$ .

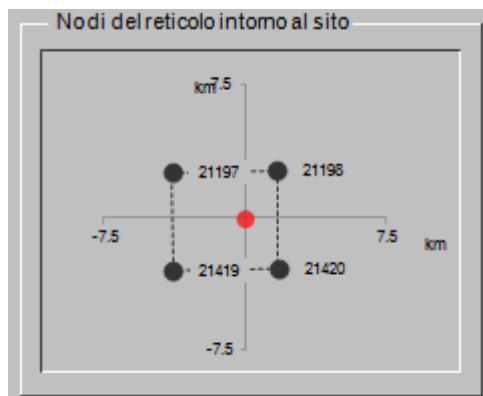
Il terreno presente nell'area in esame, appartiene alla **Categoria "C"**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fina).

### **-5- AZIONE SISMICA (D.M. 14/01/2008):**

Al fine di determinare l'**azione sismica locale** si sono utilizzate le procedure di calcolo relative a:

- ✓ pericolosità sismica di base propria del sito
- ✓ risposta sismica locale

Il valore dell'**accelerazione massima attesa su suolo rigido orizzontale  $a_g$**  è stato determinato utilizzando il programma "*Spettri\_NTC ver.1.0.3.xls*" del Consiglio Superiore dei LL.PP.; per il sito in esame si è ottenuto un valore di  **$a_g$  0,240 g**, con tempi di ritorno pari a  $T_R$  949 anni (SLV).



Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	60	0,072	2,474	0,288
Danno (SLD)	101	0,092	2,466	0,301
Salvaguardia vita (SLV)	949	0,240	2,473	0,322
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0,311	2,462	0,332
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

La **risposta sismica locale** è data dal prodotto di due coefficienti  $S_S$  e  $S_T$  (tab. 3.2.V) :

$$S = S_S \times S_T$$

dove:

$S_S$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica

L'amplificazione stratigrafica è funzione della categoria di sottosuolo, l'amplificazione topografica è funzione della morfologia dei luoghi (la categoria di sottosuolo caratteristica dell'area in esame è la **C** [tab.3.2.II], la categoria topografica, essendo l'area pianeggiante, è classificata come **T1** "*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* " [tab. 3.2.VI]).

Di conseguenza i coefficienti da attribuire al terreno in esame sono:

$$S_S = 1,7 - 0,6 \times 2,473 \times \frac{0,240}{0,98} = 1,33$$

$$S_T = 1$$

Di conseguenza i coefficienti da attribuire al terreno in esame sono:

$$S_S = 1,33$$

$$S_T = 1$$

Da cui si evince che  $S = 1,33 \times 1 = 1,33$

Ne deriva che l'**accelerazione massima attesa** è:

$$a_{\max} = S \times a_g = 1,33 \times 0,240 = 0,32 \text{ g}$$

### **5.1 Vita nominale – classi d'uso – periodo di riferimento:**

Il progetto è finalizzato alla sistemazione di un edificio esistente, ad uso scolastico; la vita nominale delle strutture è pari a  $V_n \leq 50$  anni; la classe d'uso in presenza di azioni sismiche è classe IV con relativo coefficiente d'uso  $C_u = 2,0$ . Il periodo di riferimento per l'azione sismica è  $V_r = V_n \times C_u = 100$  anni.

### **-6- L'EDIFICIO: QUADRO FESSURATIVO - CAUSE:**

L'edificio scolastico in esame, ad un piano, è una struttura in cemento armato realizzata negli anni '80, con fondazioni superficiali a plinti poste a quota di - 1,60-1,80 mt dal p.c. circostante. Attualmente in zona è rilevabile la presenza, nel settore occidentale dell'area, di uno spessore di circa 1,0-1,3 mt di terreno di riporto realizzato per livellare il terreno onde permettere l'imposta della struttura su quote omogenee. Tale soluzione costruttiva ha comportato, considerando profondità di imposta dei plinti omogenee, una diminuzione dell'incastro delle opere fondali ricadenti in tale settore rispetto al piano campagna originario.

La struttura presenta lesioni con fratture a 45° sugli spigoli N e NE; altre lesioni meno accentuate sono presenti lungo tutto il lato E dell'edificio anche con andamento suborizzontale al contatto tra muri di tamponamento e travi portanti (foto 3).

Nel marciapiede, in corrispondenza dei plinti e dei muri perimetrali, sono presenti lesioni e distacchi tra la struttura e il marciapiede stesso. Da notizie raccolte i dissesti si sono manifestati essenzialmente nell'ultimo anno ed in particolare dal mese di maggio 2017 in poi. Il quadro fessurativo indica che i cedimenti delle fondazioni sono avvenuti principalmente lato N-NE, dove le opere fondali poggiano sui terreni argillosi più superficiali per la presenza degli spessori di riporto prima descritti, con diminuzione dell'incastro, mentre nel lato opposto le lesioni sono pressoché inesistenti.

In fase di indagine si sono effettuati **scavi in aderenza alle opere fondali** che hanno permesso di verificare le quote di imposta e la tipologia delle stesse; durante l'apertura degli scavi non si sono avute venute d'acqua e si è verificata la presenza di un drenaggio realizzato con ghiaia protetta da tessuto non tessuto anch'essa completamente asciutta.

I **cedimenti riscontrati** nella struttura sono dovuti a fenomeni di ritiro dei terreni di posa delle fondazioni legati sia ad un incastro insufficiente delle opere fondali, specialmente nel settore dove sono presenti i riporti, sia alle condizioni atmosferiche particolari degli ultimi anni. La presenza del drenaggio perimetrale ha inoltre contribuito ad escludere la presenza di acqua nei terreni più superficiali, accentuando il fenomeno di essiccamento dei terreni di imposta delle fondazioni.

Dai dati rilevati nei sondaggi effettuati è possibile notare l'elevata consistenza dei terreni più superficiali che appaiono attualmente sovraconsolidati per essiccamento (vedi resistenza alla penetrazione ed alla rottura [qu] nel sondaggio e nella CPT).

Il volume naturale dei terreni, diminuisce progressivamente in funzione del ritiro delle argille dovuto alla diminuzione di umidità.

L'escursione termica e l'igrometria stagionale hanno giocato, anch'esse, un concomitante ruolo negativo nei confronti del comportamento dei terreni e dei conseguenti cedimenti, tenuto conto come sopra ricordato, dell'incastro ridotto delle opere fondali rispetto al p.c. originario specialmente nel settore N. ed E. dell'edificio.

*Foto 1: sondaggio stratigrafico*



*Foto 2: scavo in aderenza alla fondazione*



*Foto 3: quadro fessurativo*



I sopralluoghi e le indagini stratigrafiche effettuate hanno comunque permesso, in ogni caso, di escludere la presenza di problemi di stabilità dell'area e dell'edificio .

#### **-7- CRITERI DI RISANAMENTO:**

Sulla base di quanto sopra descritto, tenuto conto:

- della capacità portante dei terreni,
- dei fenomeni di ritiro tipici dei terreni argillo limosi
- della geometria e dell'incastro delle opere fondali
- delle condizioni meteorologiche degli ultimi anni
- della assenza di acque di infiltrazione nelle fondazioni dell'edificio
- del quadro fessurativo riscontrato nella struttura

si è giunti ad analizzare le varie soluzioni di intervento prospettabili :

Appare **improponibile** l'adozione di **sottofondazioni** realizzate mediante trave continua in c.l.s. armata e/o un approfondimento delle quote di imposta dei plinti attuali, viste le profondità già raggiunte e la geometria delle fondazioni esistenti, in quanto l'intervento evidentemente risulterebbe molto invasivo e di difficile realizzazione, con possibilità di un futuro comportamento disomogeneo della struttura nei confronti di ulteriori cedimenti differenziali.



Anche l'adozione di una sottofondazione realizzata con **micropali tipo tubfix** che vada ad immersarsi nella fondazione attuale e trasferisca i carichi della stessa, ai terreni ghiaiosi di fondo, oltre a risultare anch'essa molto invasiva, potrebbe creare fenomeni di comportamento disomogeneo tra le varie parti dell'edificio interessate dall'intervento e non.

La soluzione tecnicamente più prospettabile nella situazione analizzata può essere rappresentata da un intervento con **iniezione di resine** utilizzando la tecnica dei **pali colonnari** che abbia la finalità essenzialmente di migliorare il comportamento meccanico dei terreni, evitando ulteriori cedimenti. In fase esecutiva l'iniezione delle resine dovrà tenere conto della possibilità di azioni di sollevamento tarando in maniera opportuna le pressioni di iniezione.

L'intervento con pali colonnari in resina ha come lato positivo quello di avere ridotti ingombri delle macchine operatrici, con possibilità di intervento anche in zone poco accessibili.

Le caratteristiche peculiari di un palo in resina armata sono legate essenzialmente alla tecnica di esecuzione. Viene preventivamente eseguito un foro, di diametro variabile tra 85 e 100 mm, mediante l'utilizzo di uno strumento che permette la perforazione senza asportazione del terreno. Nella seconda fase, il foro viene dilatato fino a raggiungere un diametro compreso tra 100 e 120 mm, mediante costipamento radiale del terreno stesso, ottenuto tramite un dilatatore idraulico (packer). Nel foro viene quindi inserita l'armatura del palo, costituita da un tubolare in acciaio, esternamente filettato ed internamente cavo, con diametro pari a 60 mm e spessore 8 mm. Infine, in corrispondenza di tre punti distinti lungo l'armatura, si procede con una tripla iniezione di resina, che va a diffondersi sia internamente al tubolare in acciaio che nell'intercapedine tra questo e il terreno. La resina espandente utilizzata per l'iniezione, che va a costituire di fatto un riempimento, è una resina bi-componente, originata dalla miscelazione in dosi opportune di poliolo e disocianato di difenilmetano. Non appena entrano in contatto, i due composti, originariamente allo stato liquido, danno origine ad una reazione chimica che fa espandere velocemente il prodotto iniettato, fino ad aumentare di 15-20 volte il proprio volume. Grazie al dosaggio di acqua nella miscela, si possono determinare le proprietà finali della resina.

I pali così realizzati consentono di ottenere una resistenza del sistema palo-terreno sia lungo il fusto che, in minima parte, in corrispondenza della punta. In particolare, il contributo alla resistenza conferito dal terreno lungo il fusto è reso possibile grazie alla modalità esecutiva del palo stesso, all'azione espandente della resina ed al buon grado di rugosità in corrispondenza dell'interfaccia palo-terreno. La resina può essere iniettata con modalità differenti in modo da ottenere densità diverse e, di conseguenza, diverse caratteristiche meccaniche.

## **-8- CONCLUSIONI:**

Sulla base del quadro fessurativo riscontrato nell'edificio scolastico ubicato in località Borgo Minonna in comune di Jesi, in relazione alle indagini geologiche svolte in sito, che hanno permesso di caratterizzare i terreni di fondazione dell'edificio, e la geometrie delle opere fondali, è stato possibile determinare che i cedimenti riscontrati sono essenzialmente dovuti al ritiro dei terreni di posa delle fondazioni come conseguenza delle condizioni meteorologiche degli ultimi anni che hanno accentuato il fenomeno del ritiro delle argille. L'escursione termica e l'igrometria stagionale hanno giocato, un concomitante ruolo negativo nei confronti del comportamento dei terreni e dei conseguenti cedimenti, essenzialmente nel settore nord orientale dell'edificio, dove la presenza dei riporti di terreno hanno diminuito l'incastro delle fondazioni rispetto al p.c. originario. Le indagini stratigrafiche e i sopralluoghi effettuati permettono comunque di escludere la presenza di problemi di instabilità dell'area e dell'edificio.

Sulla base di quanto sopra descritto, al fine di migliorare il comportamento statico della struttura si consiglia di adottare come intervento ottimale quello costituito da **iniezione di resine** utilizzando la tecnica dei **pali colonnari**. Tale intervento ha la finalità di migliorare il comportamento meccanico dei terreni, limitando azioni localizzate di irrigidimento delle strutture con possibilità di innesco di nuovi cedimenti differenziali.

In fase esecutiva l'iniezione delle resine dovrà tenere conto della possibilità di azioni di sollevamento tarando opportunamente le pressioni di iniezione.

Chiaravalle, ottobre 2017

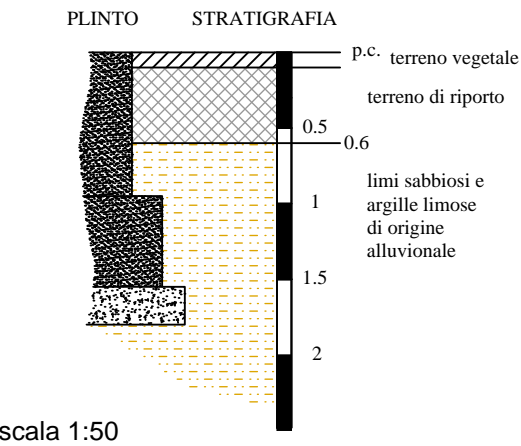
### ***Allegati alla relazione:***

- planimetria schema fondale
- corografia scala 1:5.000
- planimetria ubicazione sondaggi scala 1:500
- sezione geologica scala 1:200
- diagramma penetrometrico (CPT)
- colonna stratigrafica
- certificati analisi di laboratorio

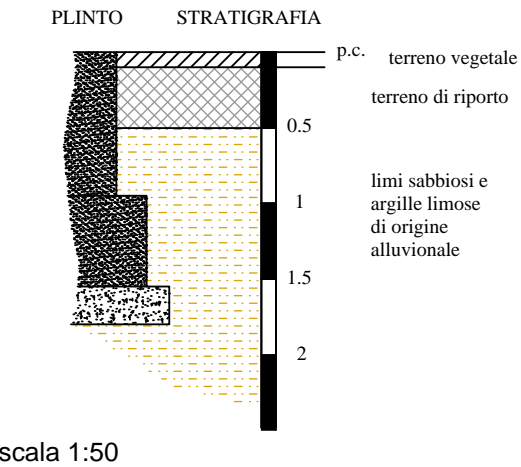


# PLANIMETRIA DELLO SCHEMA FONDALE DELL'EDIFICIO

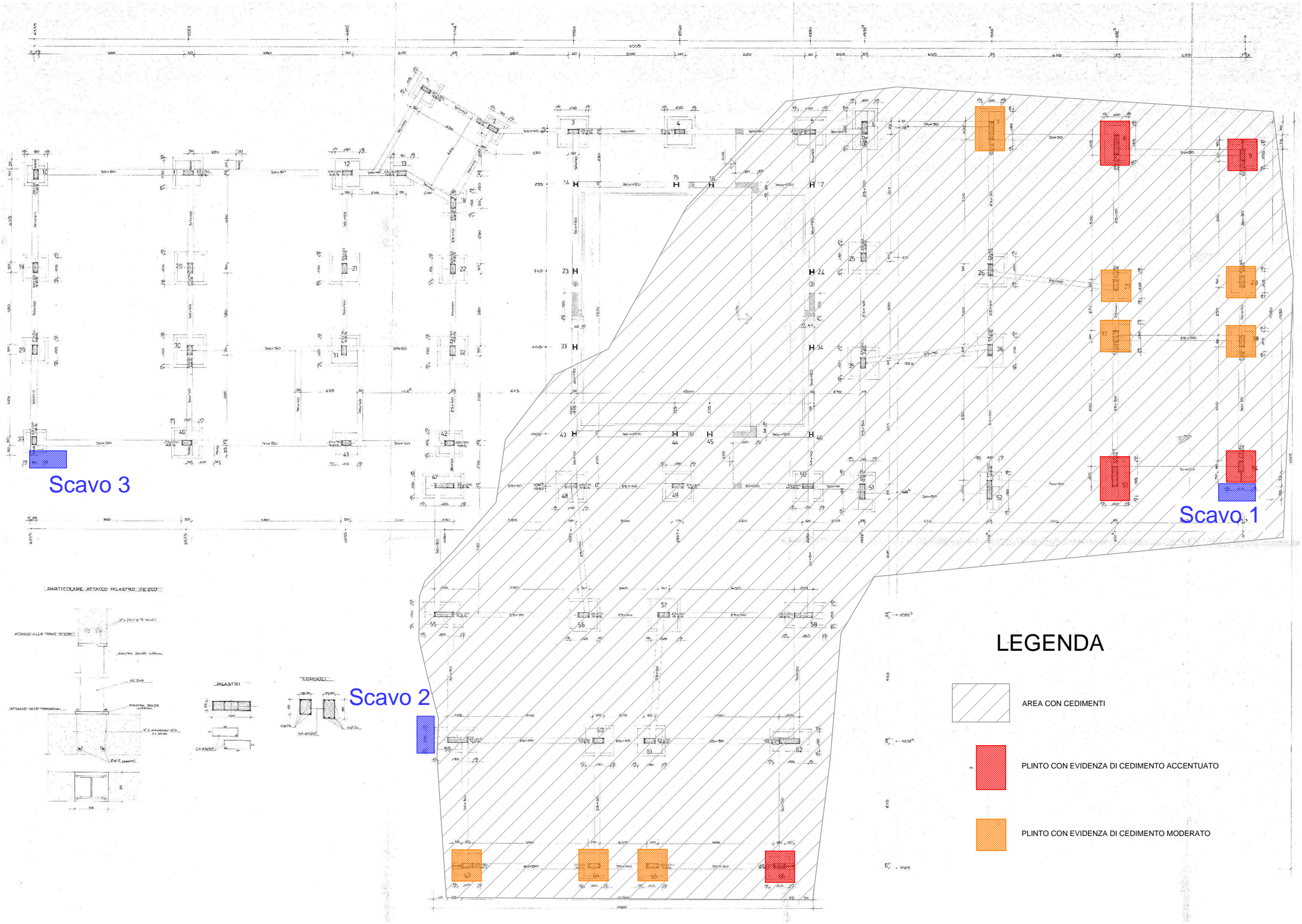
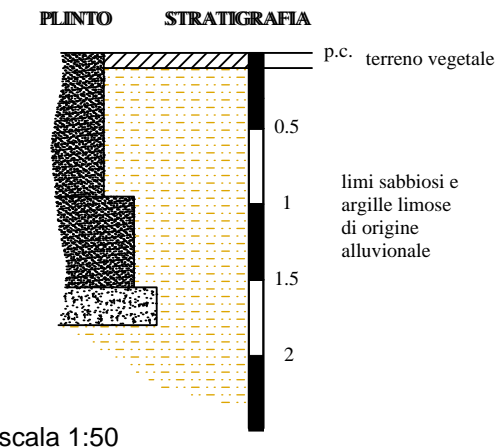
Scavo 1



Scavo 2



Scavo 3



# COROGRAFIA

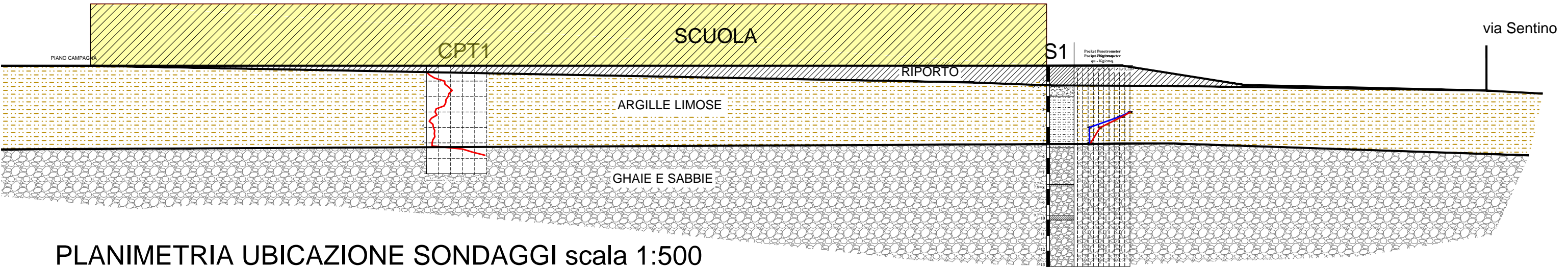
## CARTA TECNICA NUMERICA COMUNE DI JESI

scala 1:5.000

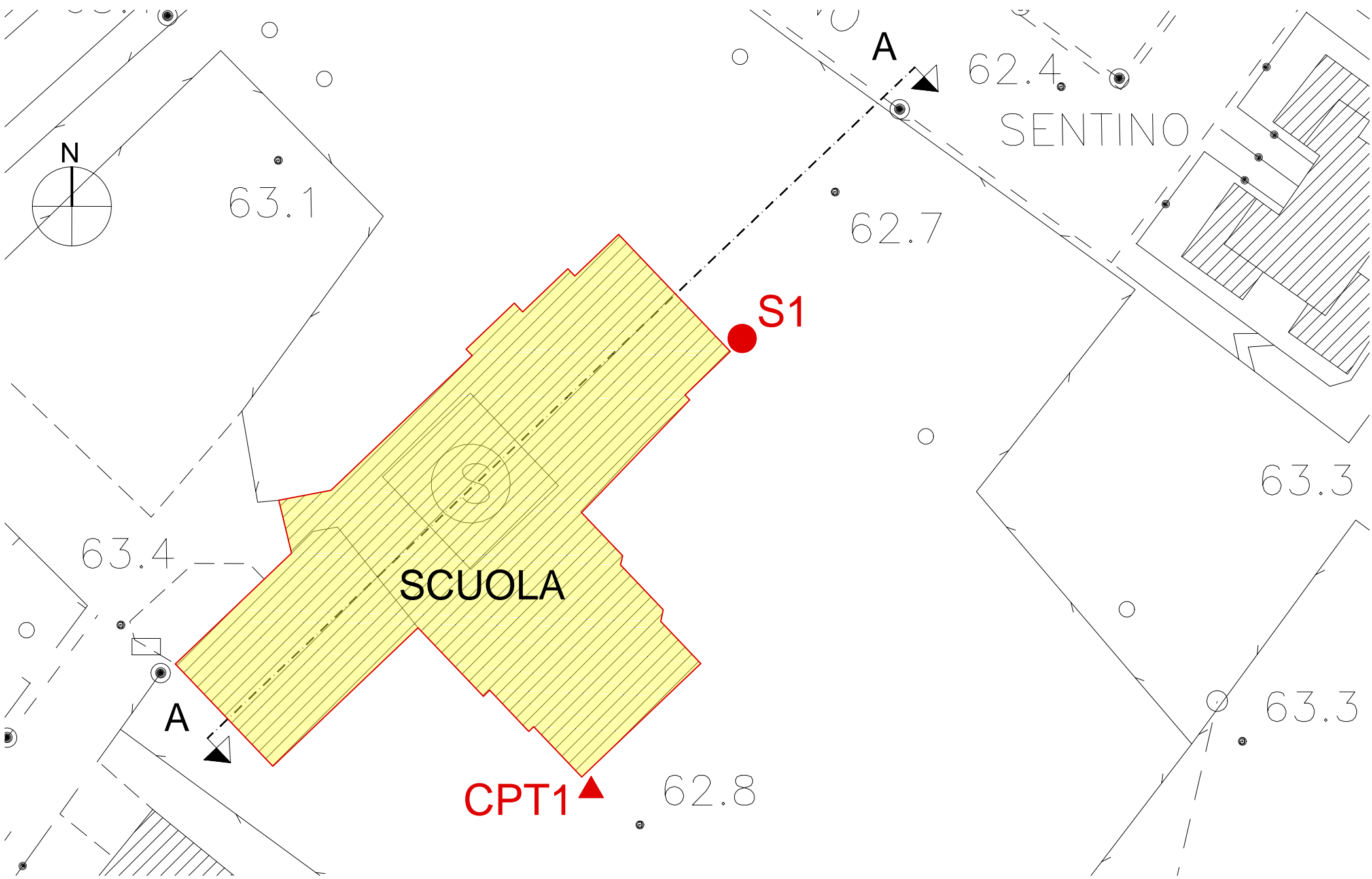




SEZIONE A-A SCALA 1:200



PLANIMETRIA UBICAZIONE SONDAGGI scala 1:500



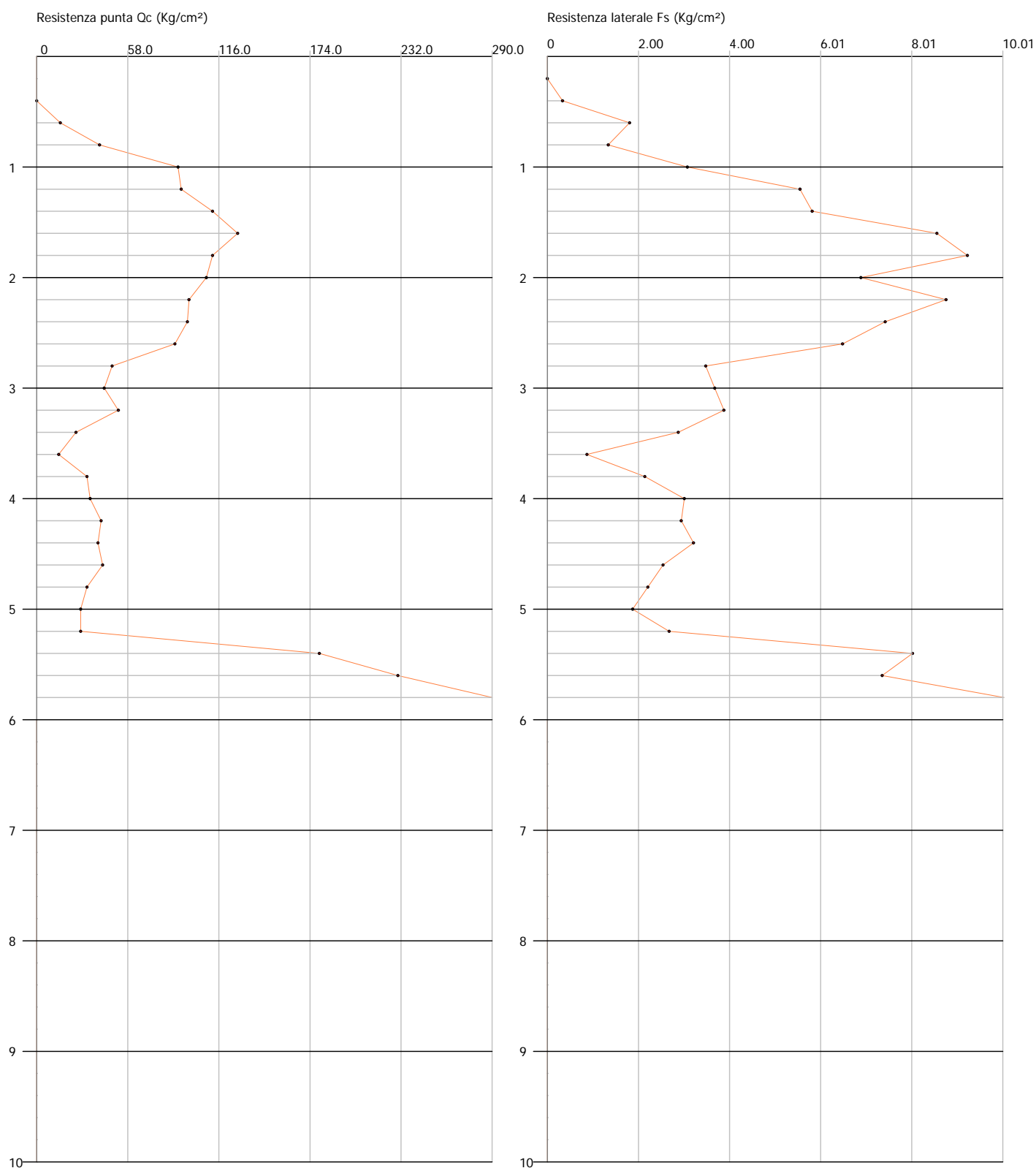
LEGENDA

- **S1** SONDAGGIO STRATIGRAFICO
- ▲ **CPT1** PROVA PENETROMETRICA STATICA
- A ▲ A TRACCIA SEZIONE

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1  
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: COMUNE DI JESI (AN)  
Cantiere: SCUOLA ELEMENTARE "PERCHI"  
Località: LOC. MINONNA

Data: 29/09/2017



**STUDIO MOSCA**

Geologia

CHIARAVALLE (AN) Via Cavour, 38  
Tel. 071/949279 - Fax. 071/949063**SONDAGGIO N°: S1****Data: 26-09-2017**

Committente: Comune di Jesi

Lavoro: scuola elementare

Cantiere: Jesi- Borgo Minonna

Sistema di perforazione: C.c. Diametro: 100 Quota:

Profondità	Stratigrafia	Camp. Prof. Camp.	Descrizione terreno		Cu Kg/cmq.	Pocket Penetrometer qu - Kg/cmq. — qu min. — qu max.
1			terreno limo argilloso marrone con inclusi ciottolosi a spigolo vivo (RIPORTO)	RIPORTO		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1.3						
2			limo sabbioso asciutto fortemente essiccato			
3			argilla limosa nocciola a struttura caotica con elementi sabbiosi ossidati. Presenza di apparati radicali in filamenti fino a circa -3.5 m dal p.c.			
3.3		C1				
3.7						
4						
5						
5.3						
6			ghiaia in matrice sabbiosa addensata, poligenica e con elementi arrotondati	DEPOSITI ALLUVIONALI		
7						
7.7						
7.8			livello argilloso plastico di colore grigio			
8						
9						
9.7			livello argilloso nocciola			
10						
11						
12			FINE SONDAGGIO			
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
NOTE:			MISURA FALDA ACQUIFERA		INFILTRAZIONI IDRICHE	
livello di falda misurato presso un pozzo irriguo posto a circa 50 m dal punto di sondaggio			Data: 26-09-2017	Profondità: -8,5 m da p.c.	Quota rivestimento:	Profondità:

**STUDIO MOSCA**

Geologia

CHIARAVALLE (AN) Via Cavour, 38  
Tel. 071/949279 - Fax. 071/949063**SONDAGGIO N°: S1****Data: 26-09-2017**

Committente: Comune di Jesi

Lavoro: scuola elementare

Cantiere: Jesi- Borgo Minonna

Sistema di perforazione: C.c. Diametro: **100** Quota:

Profondità	Stratigrafia	Camp. Prof. Camp.	Descrizione terreno		Cu Kg/cmq.	Pocket Penetrometer qu - Kg/cmq. — qu min. — qu max.
1 1.3			 RIPORTO			
2						
3						
3.3 3.7		C1				
4						
5 5.3			 DEPOSITI ALLUVIONALI			
6						
7						
7.7 7.8						
8						
9			 DEPOSITI ALLUVIONALI			
9.7						
10						
11						
12						
13			 DEPOSITI ALLUVIONALI			
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
NOTE:			MISURA FALDA ACQUIFERA		INFILTRAZIONI IDRICHE	
livello di falda misurato presso un pozzo irriguo posto a circa 50 m dal punto di sondaggio			Data:	Profondità:	Quota rivestimento:	Profondità:
			26-09-2017	-8,5 m da p.c.		



**LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979**

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità  
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE  
CANTIERECOMUNE DI JESI  
SCUOLA ELEMENTARE GEMMA PERCHI - LOC. MINONNA

CERTIFICATO

09517001

data di emissione

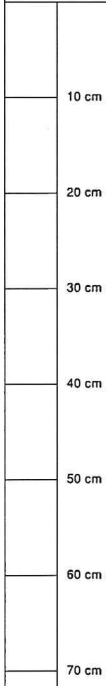
30/10/17

**RIFERIMENTI DEL CAMPIONE**

denominazione sondaggio 1 campione 2 profondità 3,3 m  
verbale d'accettazione 0509/17  
data di ricevimento 16/10/17  
data d'apertura 17/10/17  
tipo di terreno limo con argilla  
classe di qualità Q5 (AGI 77)

**DESCRIZIONE VISIVA**

ASTM D2488

CAMPIONE			PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
	10 cm		0,56	>0,2	caratteristiche volumetriche limiti di consistenza edometrica IL	CONTENITORE: fustella metallica
	20 cm		0,58	DIMENSIONI: [cm]                      ϕ = 8,5                      L = 35		
	30 cm	0,55	>0,2	GRANULOMETRIA: limo con argilla		
	40 cm			COLORE: marrone		
	50 cm			UMIDITA': umido		
	60 cm			PLASTICITA': media		
	70 cm			RESISTENZA A SECCO: alta		
						DILATANZA: nessuna
						TENACITA': media
						CONSISTENZA (PP): estremamente consistente
						STRUTTURA: omogenea
						REAZIONE HCl: forte
						ODORE: nessuno
						ALTRO: inclusi carbonatici; tracce di materia organica

Sperimentatore  
Simone SerfilippiFIRMATO DIGITALMENTE DA  
Dr. Ugo Sergio Orazi  
Direttore del Laboratorio

pagina 1/1

**LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979**

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità  
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE  
CANTIERECOMUNE DI JESI  
SCUOLA ELEMENTARE GEMMA PERCHI - LOC. MINONNA

CERTIFICATO

09517002

data di emissione

30/10/17

**RIFERIMENTI DEL CAMPIONE**

denominazione sondaggio 1 campione 2 profondità 3,3 m

verbale d'accettazione 0509/17

data di ricevimento 16/10/17

data d'apertura 17/10/17

tipo di terreno limo con argilla

classe di qualità Q5 (AGI 77)

**DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE**

UNI CEN ISO/TS 17892-1 - UNI CEN ISO/TS 17892-2 - UNI CEN ISO/TS 17892-3 - ASTM D7263

w	%	21,1
$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	1,98
$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1,64
$\rho_s$	Mg/m <sup>3</sup>	
e	-	
n	%	
$S_R$	-	

note:

Sperimentatore  
**Simone Serfilippi**

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA  
**Dr. Ugo Sergio Orazi**  
Direttore del Laboratorio



**LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979**

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità  
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE  
CANTIERECOMUNE DI JESI  
SCUOLA ELEMENTARE GEMMA PERCHI - LOC. MINONNA

CERTIFICATO

09517003

data di emissione

30/10/17

**RIFERIMENTI DEL CAMPIONE**

denominazione sondaggio 1 campione 2 profondità 3,3 m

verbale d'accettazione 0509/17

data di ricevimento 16/10/17

data d'apertura 17/10/17

tipo di terreno limo con argilla

classe di qualità Q5 (AGI 77)

**DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA**

ASTM D4318 - ASTM D4943

w <sub>L</sub>	%	42,9
w <sub>P</sub>	%	23,6
I <sub>P</sub>	%	19,3
w <sub>S</sub>	%	
R <sub>S</sub>	-	

note:

Sperimentatore  
Simone Serfilippi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA  
Dr. Ugo Sergio Orazi  
Direttore del Laboratorio

**LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979**

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità  
Certificato UNI EN ISO 9001associato ALIG  
www.laborazi.itCOMMITTENTE  
CANTIERECOMUNE DI JESI  
SCUOLA ELEMENTARE GEMMA PERCHI - LOC. MINONNA

CERTIFICATO

09517004

data di emissione

30/10/17

## RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione sondaggio 1 campione 2 profondità 3,3 m

verbale d'accettazione 0509/17

data di ricevimento 16/10/17

data d'apertura 17/10/17

tipo di terreno limo con argilla

classe di qualità Q5 (AGI 77)

**PROVA EDOMETRICA**

UNI CEN ISO/TS 17892-5

$\sigma_v$	$\varepsilon_v$	e	M	$C_v$
kPa	%	-	kPa	m <sup>2</sup> /s
12,5				
25				
50				
100	0,15		21277	
200	0,62		15873	5,3E-08
400	1,88		17021	4,0E-08
800	4,23		23256	
1600	7,67		41775	
3200	11,50			
800	9,98			
200	8,04			
50				
12,5				

A	mm <sup>2</sup>	2000
H <sub>0</sub>	mm	20
w <sub>0</sub>	%	21,1
$\rho_0$	Mg/m <sup>3</sup>	1,98
$\rho_{d0}$	Mg/m <sup>3</sup>	1,64
$\rho_s$	Mg/m <sup>3</sup>	
e <sub>0</sub>	-	
S <sub>R0</sub>	-	

note:

Sperimentatore  
Dr. Michele Orazi Ph.D.

pagina 1/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA  
Dr. Ugo Sergio Orazi  
Direttore del Laboratorio

# LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità  
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE  
CANTIERE

COMUNE DI JESI  
SCUOLA ELEMENTARE GEMMA PERCHI - LOC. MINONNA

## RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione sondaggio 1 campione 2 profondità 3,3 m  
verbale d'accettazione 0509/17  
data di ricevimento 16/10/17  
data d'apertura 17/10/17  
tipo di terreno limo con argilla  
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO

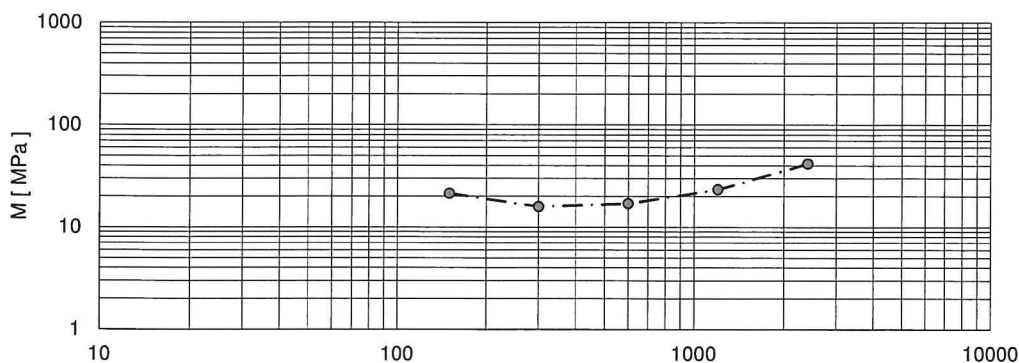
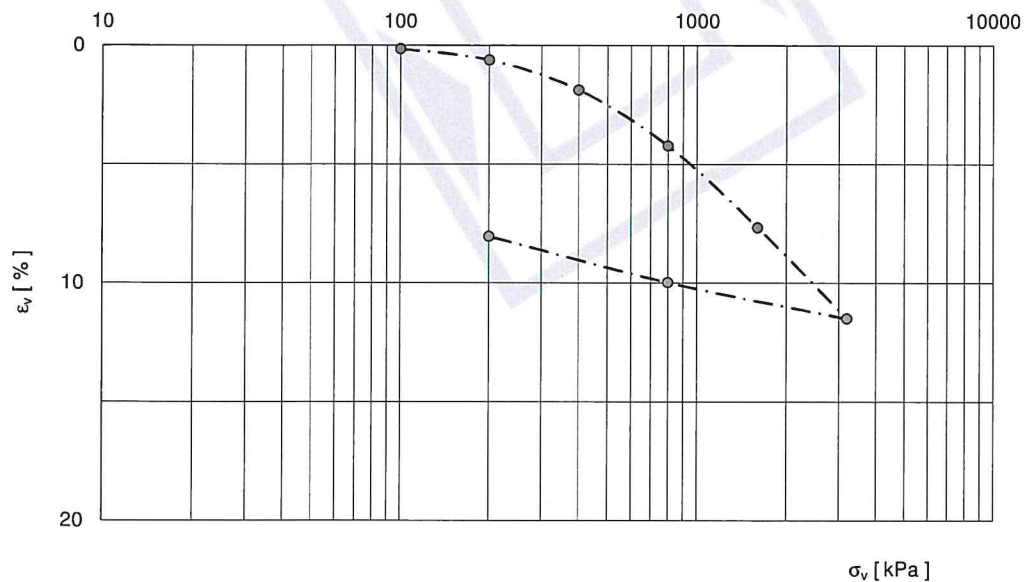
09517004

data di emissione

30/10/17

## PROVA EDOMETRICA

UNI CEN ISO/TS 17892-5



Sperimentatore  
Dr. Michele Orazi Ph.D.

pagina 2/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA  
Dr. Ugo Sergio Orazi  
Direttore del Laboratorio

**LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979**

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità  
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE  
CANTIERECOMUNE DI JESI  
SCUOLA ELEMENTARE GEMMA PERCHI - LOC. MINONNA**RIFERIMENTI DEL CAMPIONE**

denominazione sondaggio 1 campione 2 profondità 3,3 m

verbale d'accettazione 0509/17

data di ricevimento 16/10/17

data d'apertura 17/10/17

tipo di terreno limo con argilla

classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO

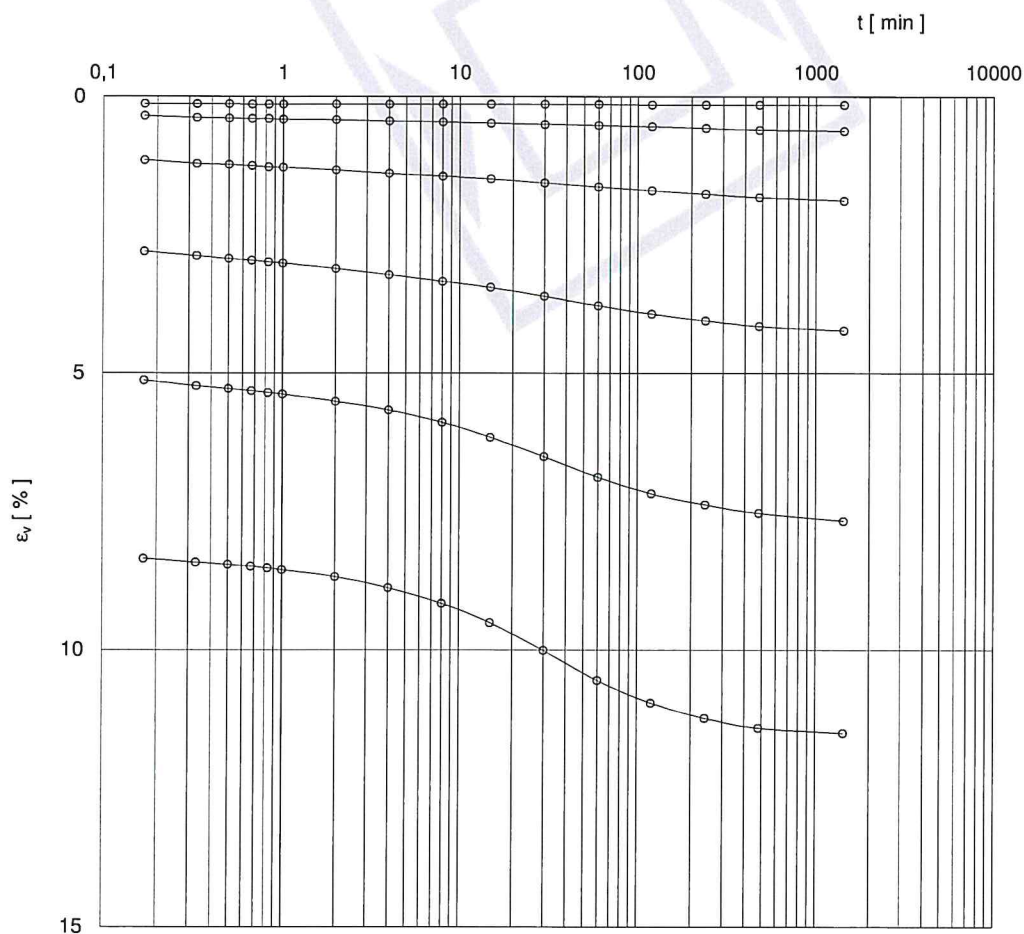
09517004

data di emissione

30/10/17

**PROVA EDOMETRICA**

UNI CEN ISO/TS 17892-5

Sperimentatore  
**Dr. Michele Orazi Ph.D.**

pagina 3/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA  
**Dr. Ugo Sergio Orazi**  
Direttore del Laboratorio