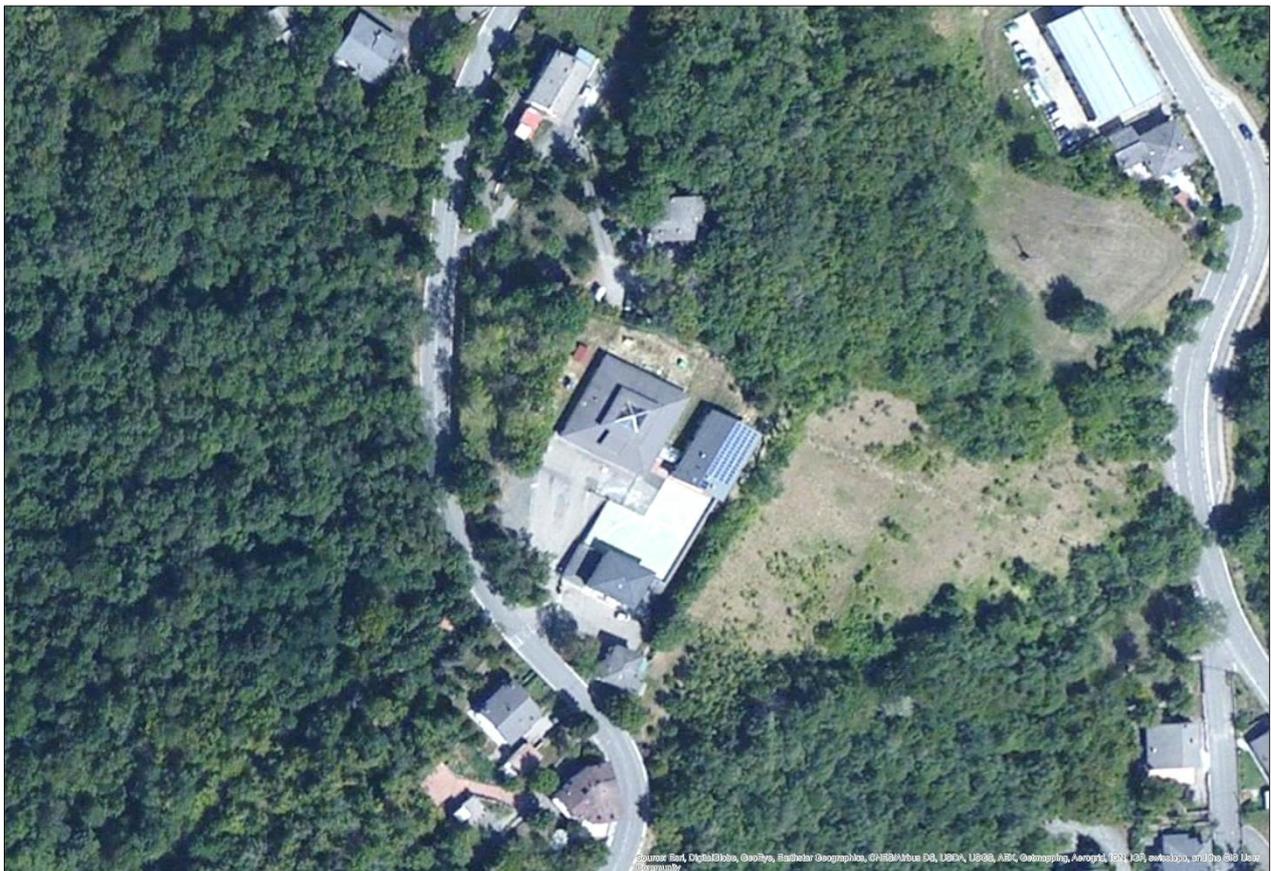


Comune di Montefiorino

Provincia di Modena

RELAZIONE GEOTECNICA PER IL MIGLIORAMENTO DELLA SCUOLA
MATERNA H. C. ANDERSEN



Novembre 2015

Committente: Comune di Montefiorino

Sommario

1. Introduzione	3
1.1 Premessa e ubicazione area di studio	3
2. Inquadramento Geotecnico	5
3. Sismicità dell'area e azione sismica in base al D.M. 14/01/2008	7
4. Indagini svolte e descrizione metodi	8
5. Modello geologico e geotecnico	15
5.1 modello sismico di sito	20
6. Analisi di risposta sismica e azione sismica di superficie	23
6. Calcolo capacità portante e scorrimento platea di fondazione	26
7. Conclusioni	28
Bibliografia	29

1. Introduzione

1.1 Premessa e ubicazione area di studio

La presente relazione è stata redatta, ai sensi del D.M. 14/01/2008 e della Circolare 02/02/2009 n. 617, L.R. 19-2008 “Norme per la Riduzione del Rischio Sismico”, su incarico del Comune di Montefiorino (MO). Nel mese di settembre 2015 è stato elaborato il presente studio volto a produrre il modello geotecnico della scuola materna H.C. Andersen in località Pianellino. Il modello geotecnico è stato realizzato sulla base di prove penetrometriche svolte nell’anno 2003 dal Dott. Geol. Gasperini e fornite dal Comune di Montefiorino per la redazione del presente studio. In aggiunta alle indagini pregresse nel mese di settembre 2015 è stata eseguita una prova sismica *Masw* per la determinazione della V_{s30} e per assegnare la categoria di suolo, secondo le norme antisismiche vigenti. Il presente studio sarà utilizzato per sviluppare un progetto di miglioramento strutturale.

La zona di studio si trova a 600 m a sud dal centro abitato di Montefiorino, in provincia di Modena (fig. 1.1). La quota del sito è di circa 800 m s.l.m. L’area di studio è rappresentata sulla carta topografica Regionale alla scala 1:25.000 nel quadrante “235 NE” e dall’elemento “235040 – Montefiorino” in scala 1:10000.

2. Inquadramento Geotecnico

L'area di studio, ricadente nell'alto appennino, può essere inquadrata geotecnicamente grazie all'utilizzo della cartografia geologica del progetto CARG, consultabile tramite i portali del servizio geologico regionale, alla scala 1:10000.

Di seguito sono descritte in sintesi le caratteristiche geotecniche dell'area di studio distinte in base alle unità affioranti nell'intorno (fig. 2.1), tratte dalla sezione geologica "235040 – Montefiorino", rilevata alla scala 1:10000.

La geologia della località Pianellino è visibile in fig. 2.1. Il pianellino sorge in una zona di cresta estesa dove è subaffiorante (affiorano in maniera disuniforme ed è presente una strato di alterazione di spessore variabile) la formazione rocciosa conosciuta come Formazione di Monghidoro (sigla MOH, aree di colore beige in fig. 2.1).

La Formazione rocciosa è costituita da alternanze di arenarie (sabbie cementate e litificate) e peliti marnose (argille e calcari litificati e cementati), queste alternanze hanno un rapporto arenarie/peliti > 1 , cioè prevale lo strato più competente a livello meccanico.

L'area della scuola Andersen dal punto di vista geologico e geotecnico a scala cartografica è caratterizzata dalla presenza di un'unica formazione. Attraverso le indagini geotecniche sarà creato un modello geotecnico che individuerà lo spessore dello strato alterato del *bedrock*.

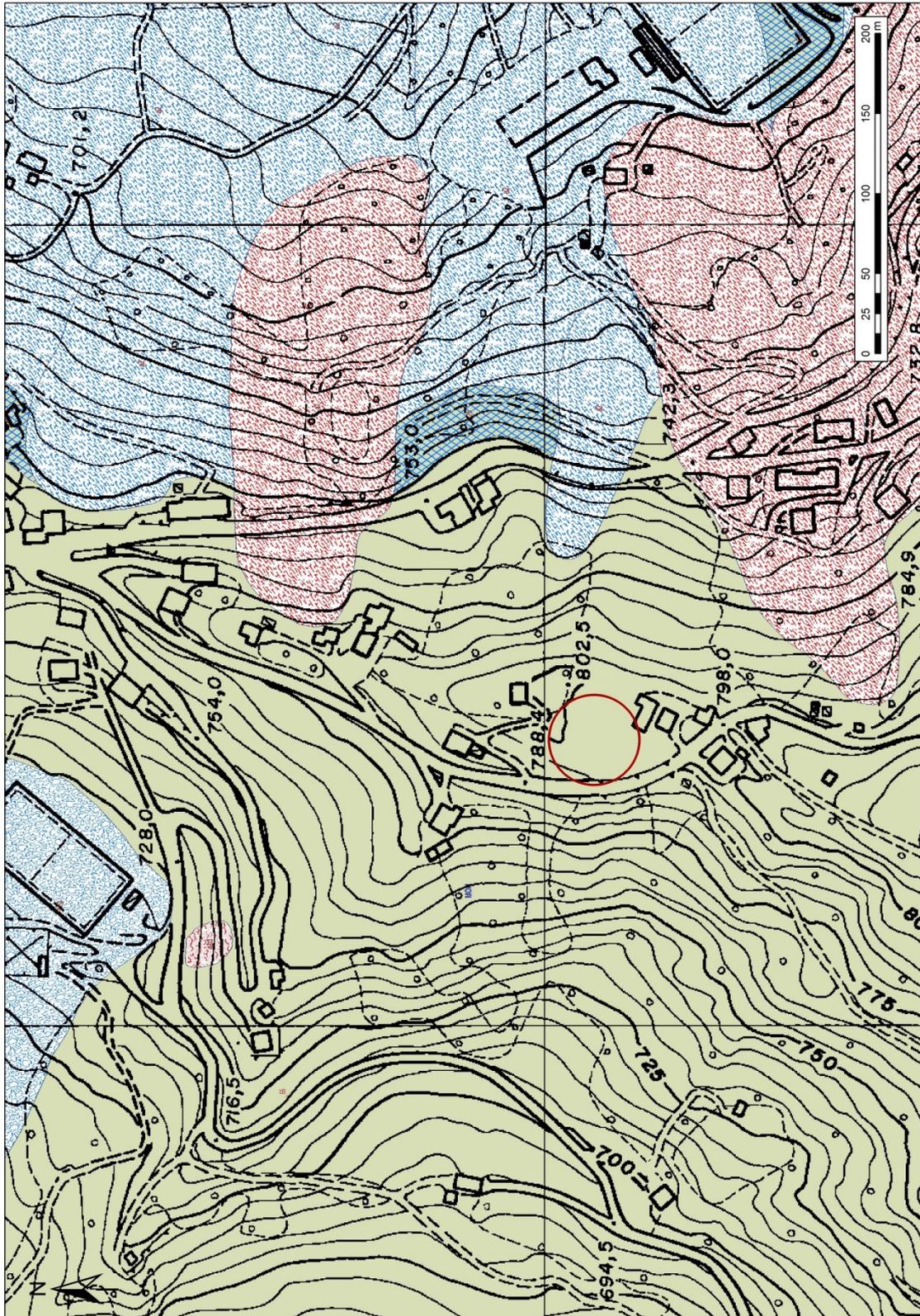


Fig. 2.1 Inquadramento geologico dell'area di studio. Estratto dalla carta geologica sezione 235040. Con la circonferenza rossa è inquadrata l'area di studio, la sigla MOH significa Formazione di Monghidoro.

3. Sismicità dell'area e azione sismica in base al D.M. 14/01/2008

Sulla base dei contenuti del D.M. 14/01/2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” è stato definito il parametro di accelerazione massima attesa a_g in relazione ad un tempo di riferimento TR stimato di 712 anni (Stato limite di salvaguardia della vita, edificio in classe d'uso 3). Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (ED50): Latitudine: 44.353650°, Longitudine 10.950940° tale parametro è risultato pari ad a_{g0} attesa= 0.184 g, tale valore è riferito all'accelerazione al suolo rigido (a_{g0}) e tempo di ritorno di 712 anni. Il valore di accelerazione verrà successivamente moltiplicato per i coefficienti dovuti alla categoria di sottosuolo e topografica che verranno descritti nei prossimi capitoli.

4. Indagini svolte e descrizione metodi

La ricostruzione del modello geotecnico ha utilizzato quattro prove penetrometriche dinamiche (DPSH) eseguite nell'anno 2003, per un adeguamento delle fondazioni della scuola materna, la quale iniziava a presentare un cedimento rilevante, concentrato soprattutto nella facciata dell'ingresso esposta a sud. Oltre a queste quattro prove penetrometriche, sono stati svolti tre saggi con escavatore che hanno confermato quanto rilevato con le prove DPSH.

Le quattro prove sono individuate in planimetria con ortofoto nella figura 4.1. In tale figura sono presenti per ogni punto l'etichetta che rappresenta due informazioni: il codice identificativo e la profondità di ritrovamento del *bedrock*, espressa in metri.

Per la caratterizzazione sismica è stata realizzata una prova sismica a onde di superficie tipo MASW (PARK et al., 1999), lo stendimento è visibile in fig. 4.2.

Nelle fig. 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 sono presenti le schede delle prove penetrometriche ubicate in fig. 4.1.



Fig. 4.1 – dettaglio ubicazioni indagini. Le etichette dei singoli punti (prove DPSH) mostrano il codice identificativo della prova e la profondità di ritrovamento del bedrock per la suddetta prova.



Fig. 4.2 – Foto rappresentante lo stendimento di geofoni per l'indagine sismica a onde di superficie MASW (PARK et al., 1999).



PROVE PENETROMETRICHE
Via per Modena, 8 - Tel. 059/535046 - 41051 CASTELNUOVO R. (MO)
p.IVA e C.F. 00812530368

Certificato: 01603D4b

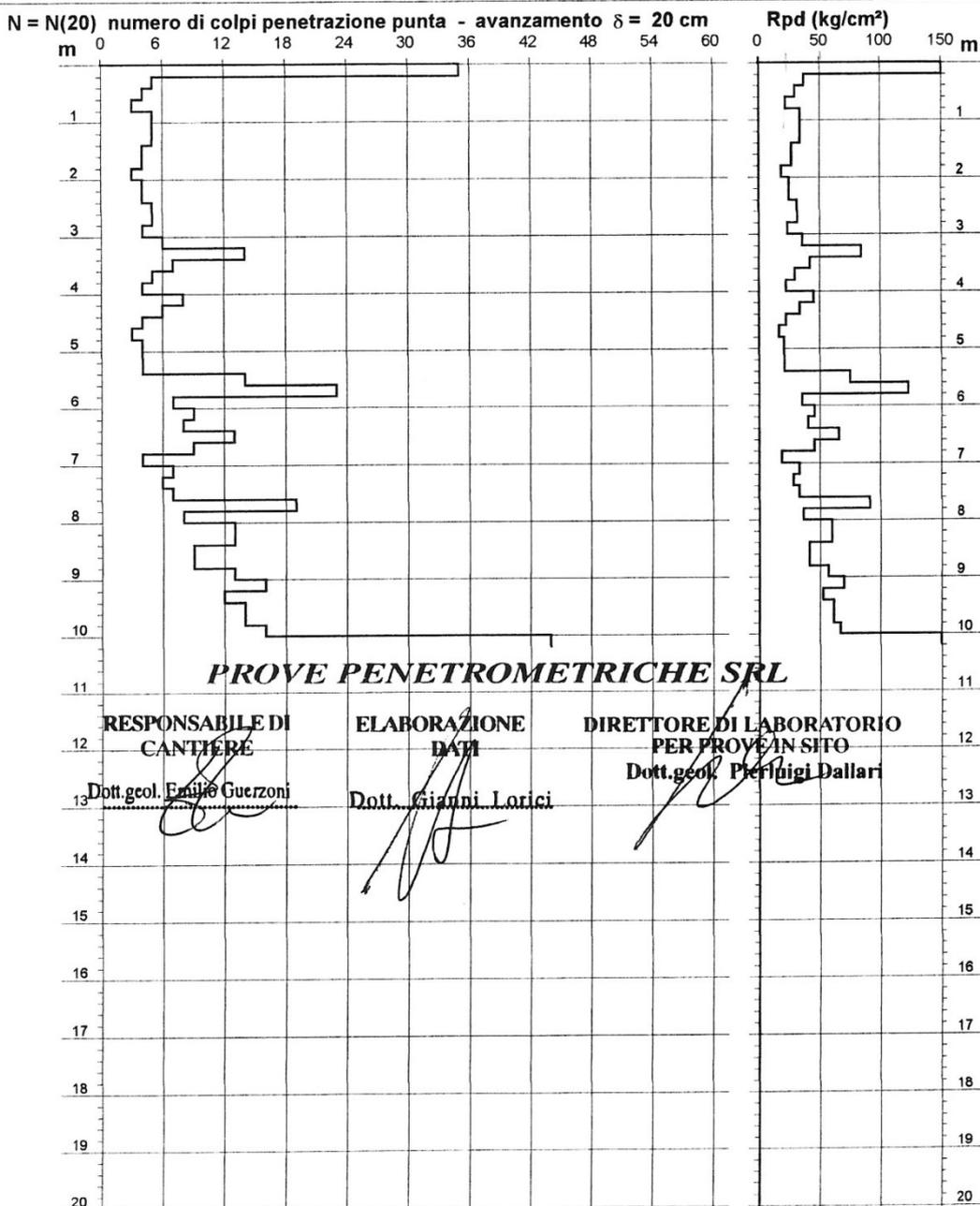
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

DIN 4bis

Scala 1: 100

- cantiere : Studio Geologico Ambientale Arkigeo
- lavoro : Scuola elementare
- località : Montefiorino (MO)
- resp. cantiere : Dott. Emilio Guerzoni
- assist. cantiere : Dott. Salvatore Mucci
- note :

- data prova : 26/03/2003
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- data emiss. : 28/03/2003
- pagina n° : 2/2



penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi a carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilità in sito - laboratorio

Fig. 4.3 – Scheda prova penetrometrica DPSH P4bis.

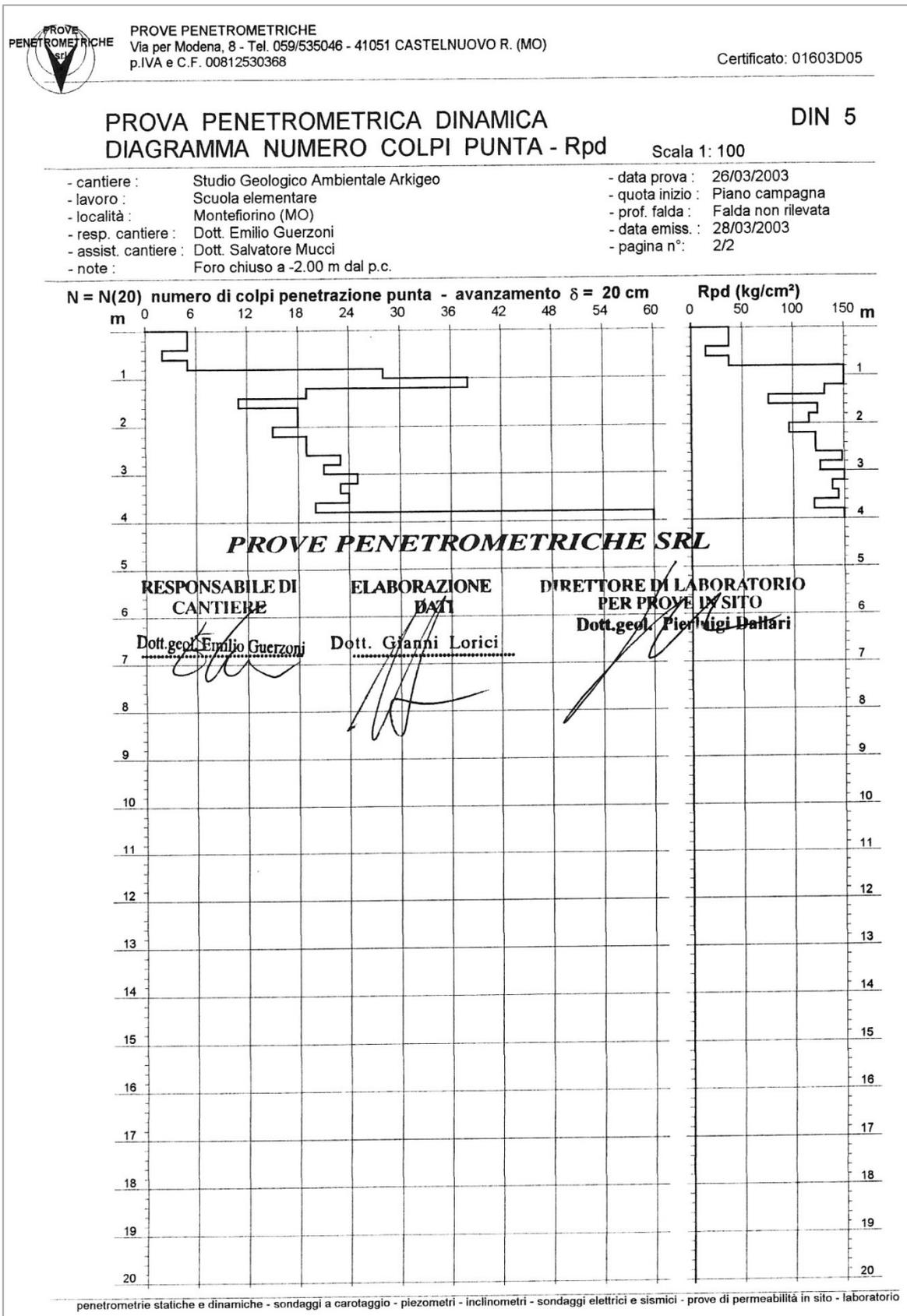


Fig. 4.4 – Scheda prova penetrometrica DPSH P5.

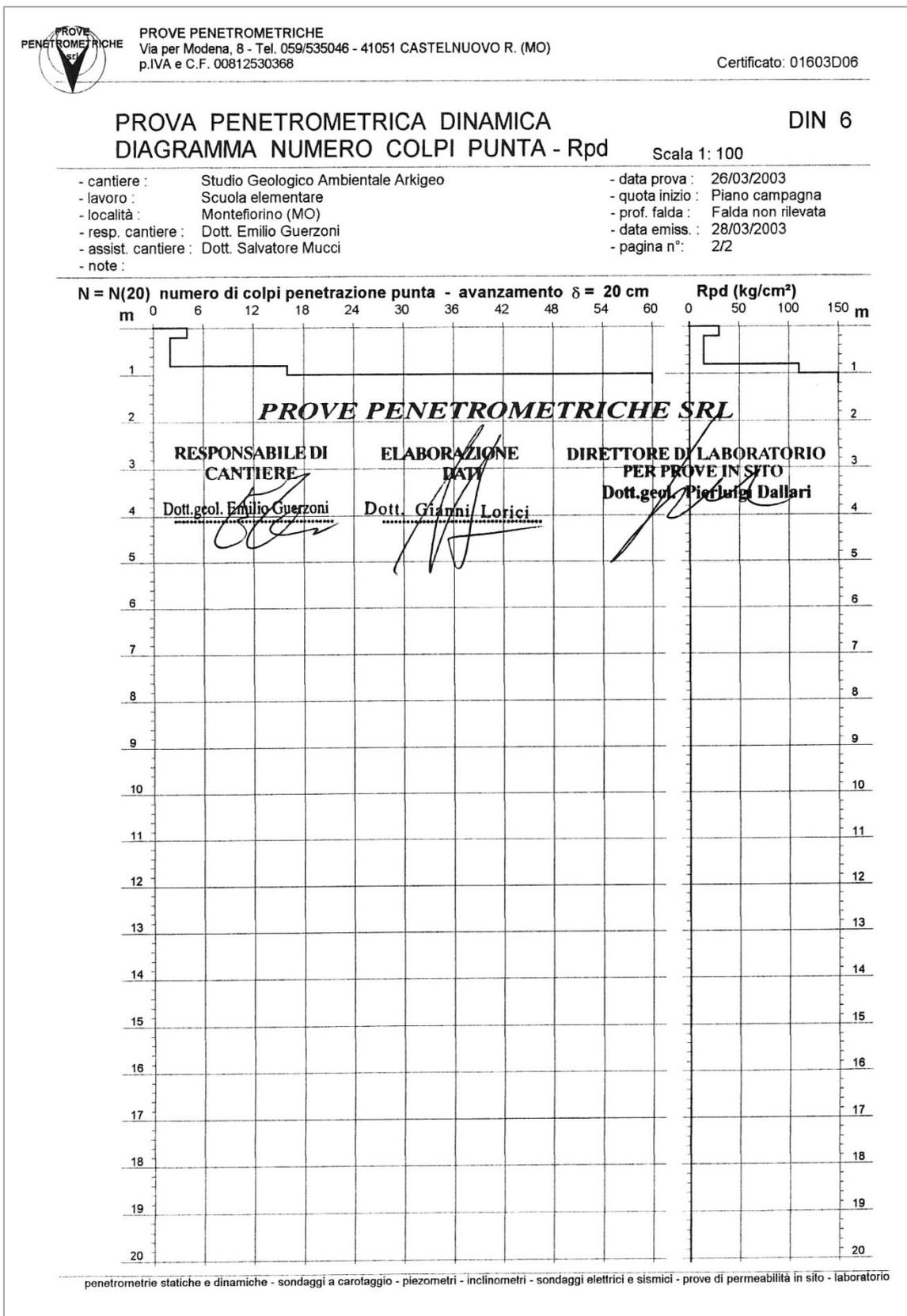


Fig. 4.5 – Scheda prova penetrometrica DPSH P6.



PROVE PENETROMETRICHE
Via per Modena, 8 - Tel. 059/535046 - 41051 CASTELNUOVO R. (MO)
p.IVA e C.F. 00812530368

Certificato: 01603D07

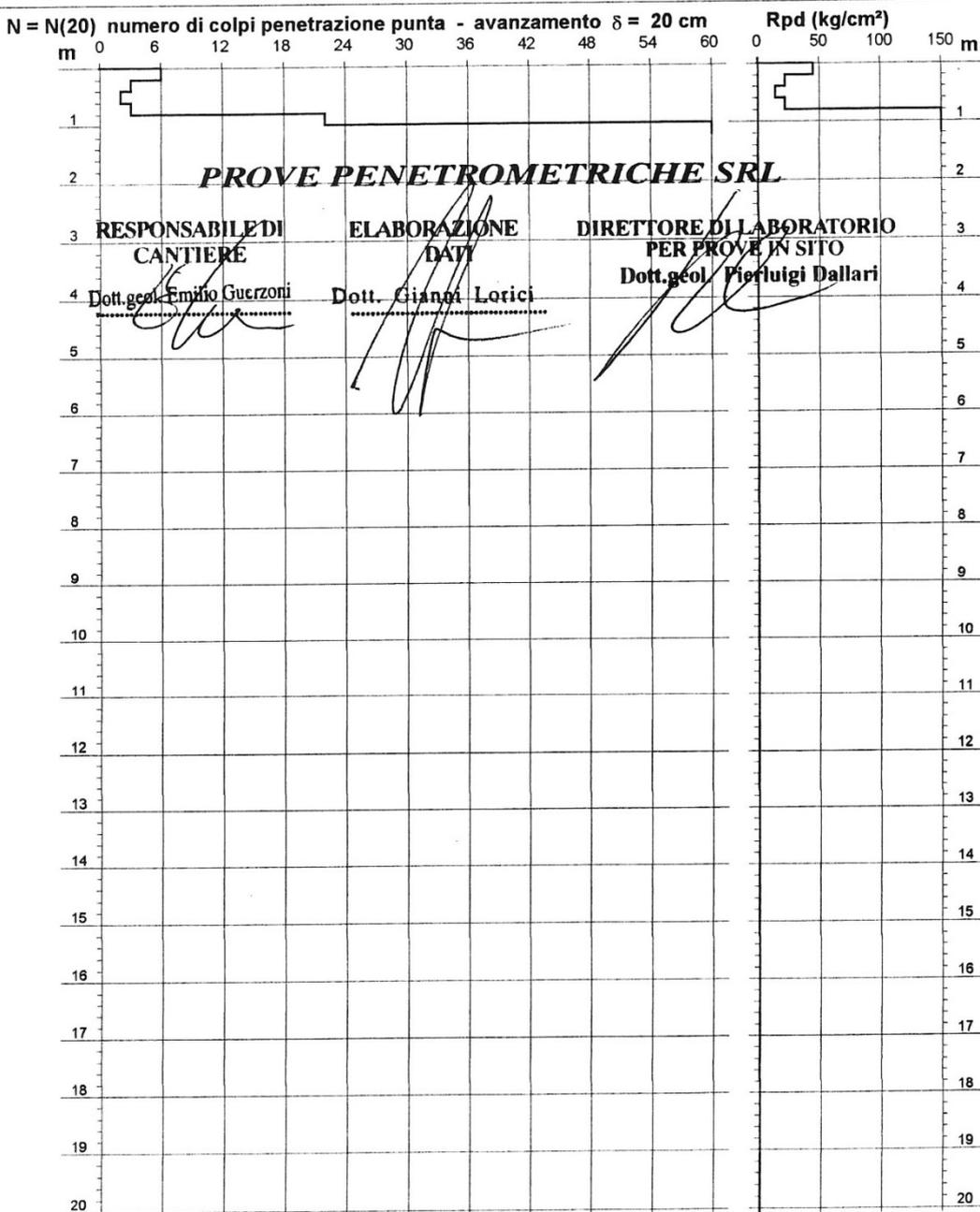
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

DIN 7

Scala 1: 100

- cantiere : Studio Geologico Ambientale Arkigeo
- lavoro : Scuola elementare
- località : Montefiorino (MO)
- resp. cantiere : Dott. Emilio Guerzoni
- assist. cantiere : Dott. Salvatore Mucci
- note :

- data prova : 26/03/2003
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- data emiss. : 28/03/2003
- pagina n° : 2/2



penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi a carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilità in sito - laboratorio

Fig. 4.6 – Scheda prova penetrometrica DPSH P7.

5. Modello geologico e geotecnico

Nel presente capitolo è mostrato il modello geologico e geotecnico dedotto dalle indagini svolte. In fig. 5.1 è riportata una planimetria dove sono presenti le tracce delle sezioni realizzate in fig. 5.2 e 5.3.

La sezione A-A' è stata realizzata grazie alle prove penetrometriche P4bis, P5 e P7 (fig. 4.3 e 4.4 e 4.6). La sezione B-B' è stata sviluppata in base alle prove penetrometriche P4bis e P6 (fig. 4.3 e 4.6).

Nelle sezioni sono state distinte a livello geotecnico tre unità: uno strato di riporto con caratteristiche meccaniche scadenti, uno strato di alterazione del substrato e il *bedrock*.

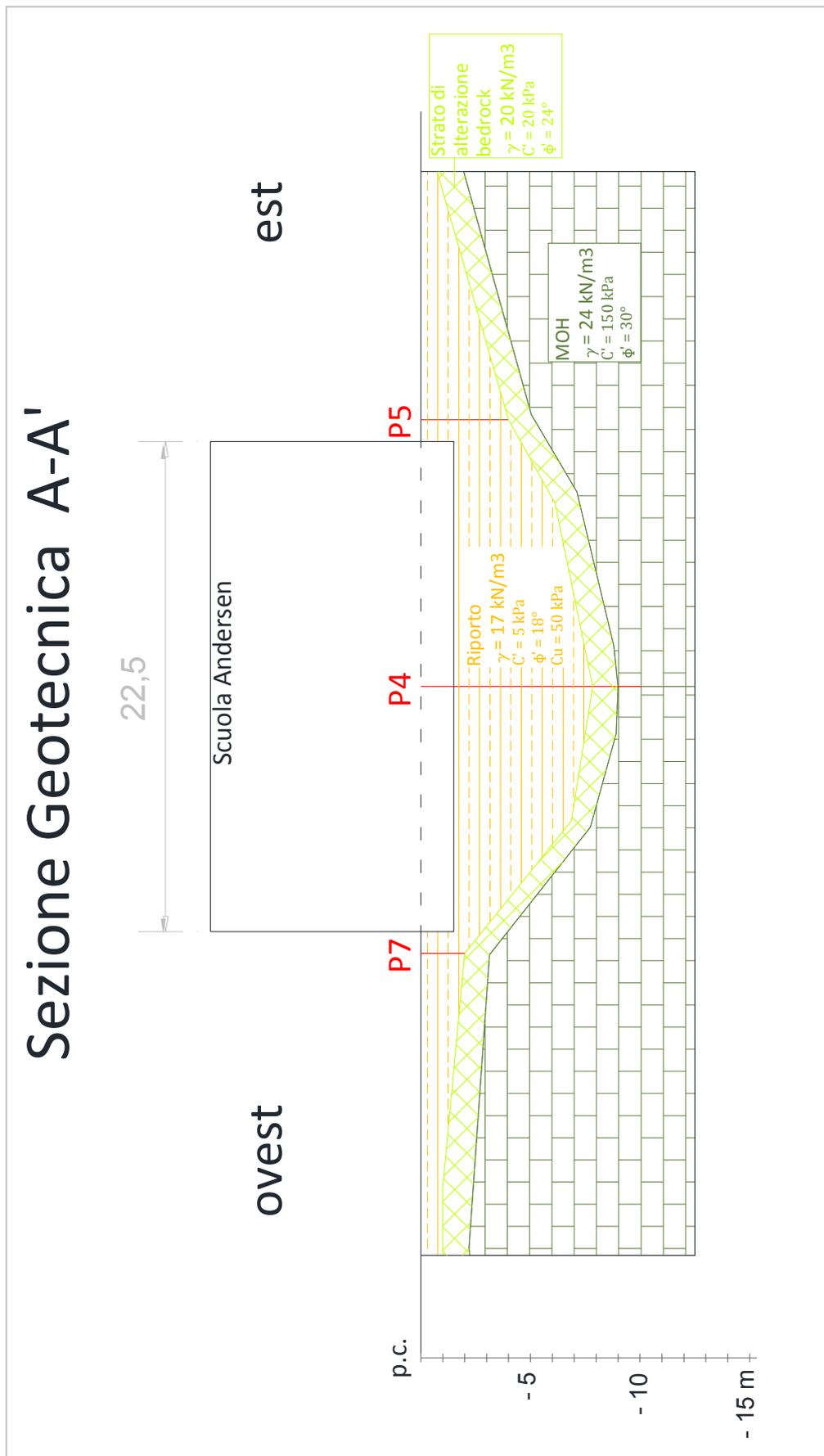


Fig. 5.2 – Modello Geologico lungo la sezione A-A'

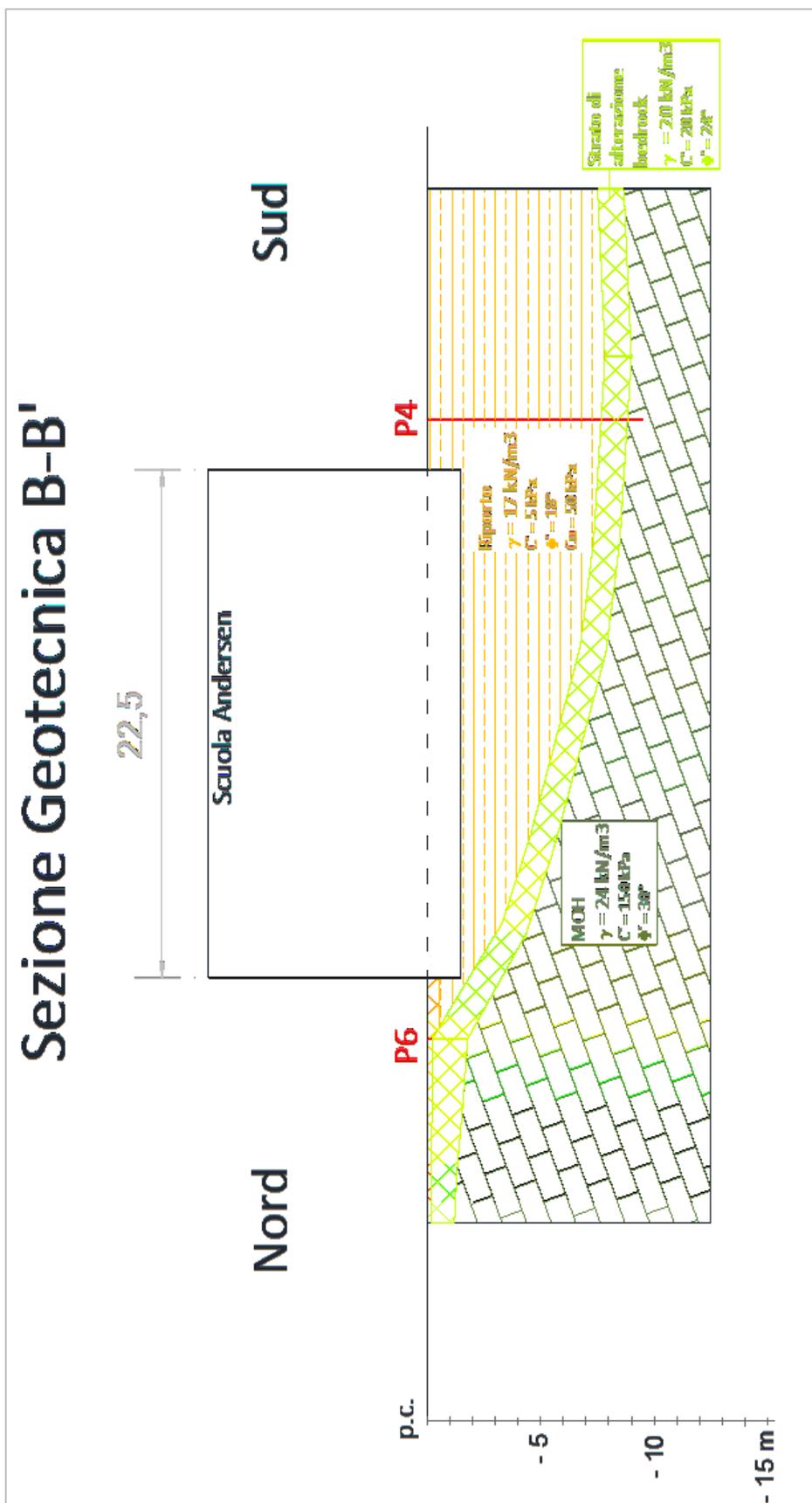


Fig. 5.3 – Modello geologico lungo la sezione B-B'

I parametri geotecnici delle delle tre unità distinte sono le seguenti (tra parentesi è indicato lo spessore massimo):

- Unità geotecnica “Riporto” (spessore massimo di 8 metri lungo il lato sud della scuola): $\gamma' = 17 \text{ kN/m}^3$ resistenze drenate: $c' = 5 \text{ kPa}$; $\Phi' = 18^\circ$. Resistenza non drenata: $C_u = 50 \text{ kPa}$.
- Unità geotecnica “strato alterazione bedrock” (compreso tra il riporto e il bedrock, spessore massimo di 1,3 m): $\gamma' = 20 \text{ kN/m}^3$ resistenze drenate: $c' = 20 \text{ kPa}$; $\Phi' = 24^\circ$.
- Unità geotecnica “Formazione di Monghidoro (MOH)” (profondità di ritrovamento variabile tra 2,5 m e 9 m da piano campagna): $\gamma' = 24 \text{ kN/m}^3$ resistenze drenate: $\Phi' = 30^\circ$; $c' = 150 \text{ kPa}$.

Le due sezioni geotecniche mettono in evidenza come la profondità dell'unità meno competente, il riporto, presenti un elevato spessore, variabile tra 8 m e 5 m, nel quadrante centro sud-orientale della scuola (tra il baricentro della struttura e lo spigolo sud orientale della scuola).

Si esclude la problematica della liquefazione durante il sisma poiché non è presente falda e le litologie distinte non sono soggette a liquefazione (% frazione fine $> 15\%$).

5.1 modello sismico di sito

Le indagini sono state effettuate tramite uno stendimento di 12 geofoni a distanza di 3 m l'uno dall'altro. L'energizzazione è stata effettuata tramite mazza da 5 kg a 5 m dal primo geofono. La prova ha permesso di ottenere lo spettro di velocità di fase illustrato in figura 5.1.2, dalla quale si evince che la profondità massima dell'indagine è pari a circa i 30 m di profondità.

L'elaborazione dati presenti in fig. 5.1.1, permette la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s) visibile in fig. 5.1.2 e 5.1.3.

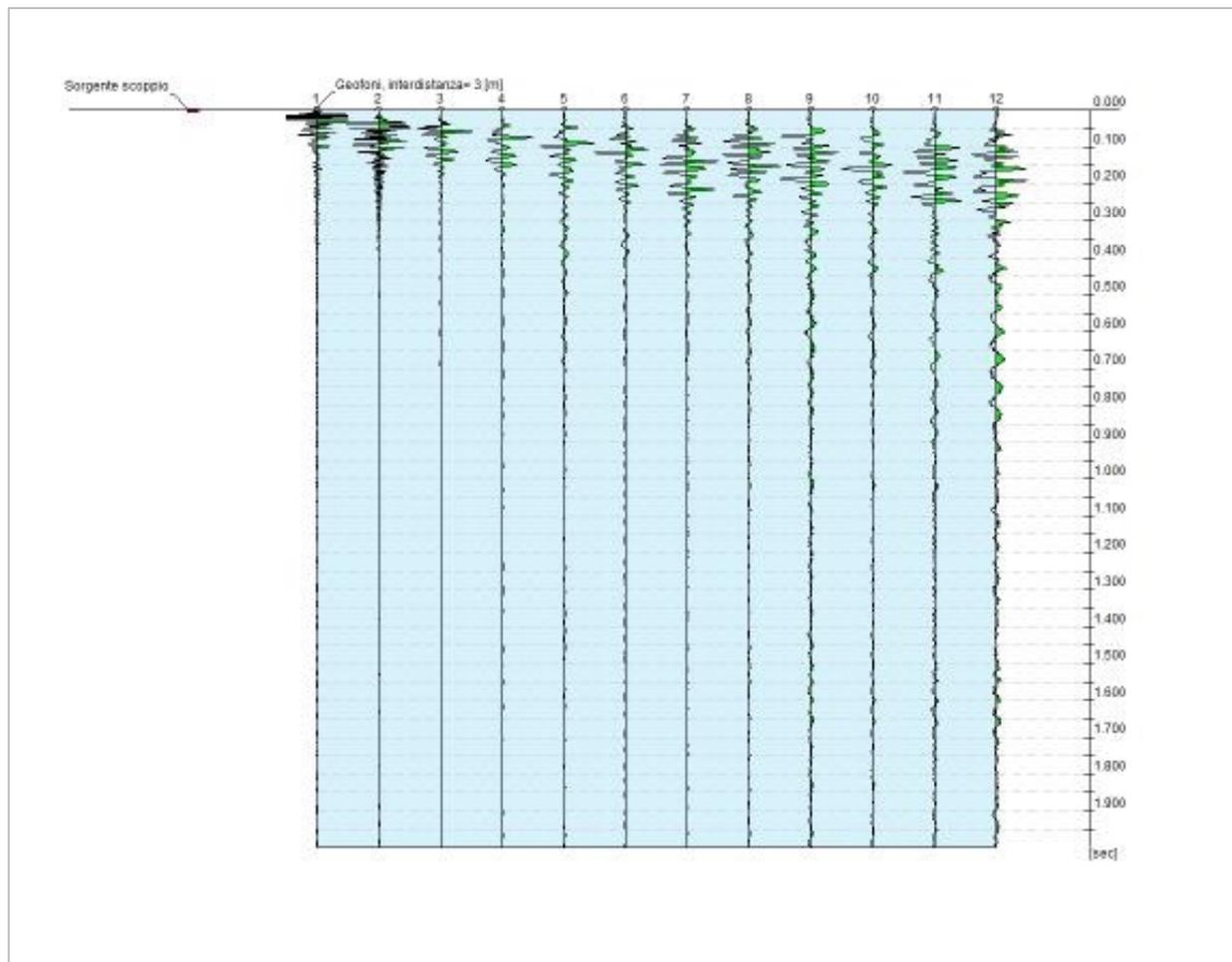


Fig. 5.1.1 – Sismogrammi della prova effettuata. Ogni sismogramma rappresenta un geofono, rappresentato in ascissa, in ordinata è rappresentato il tempo.

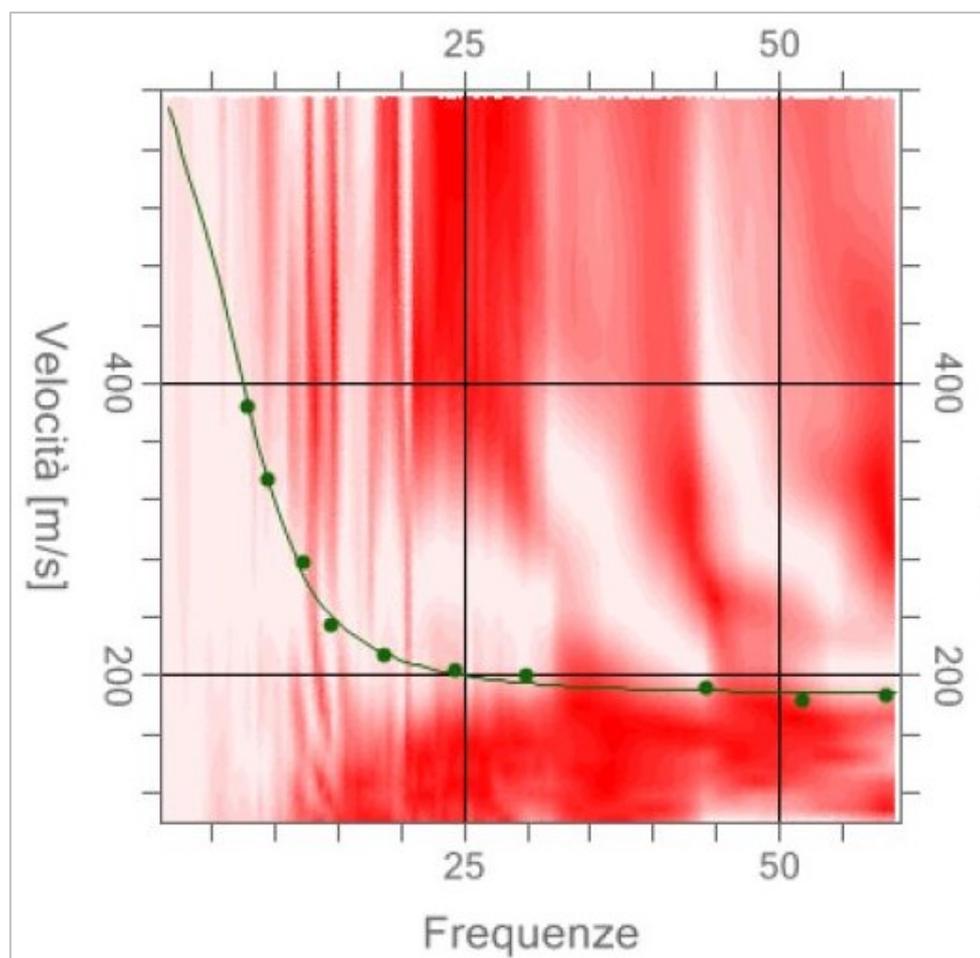


Fig. 5.1.2 – Spettro delle velocità di fase ottenuto dall'elaborazione dallo studio delle onde di Rayleigh di ogni singolo geofono dello stendimento.

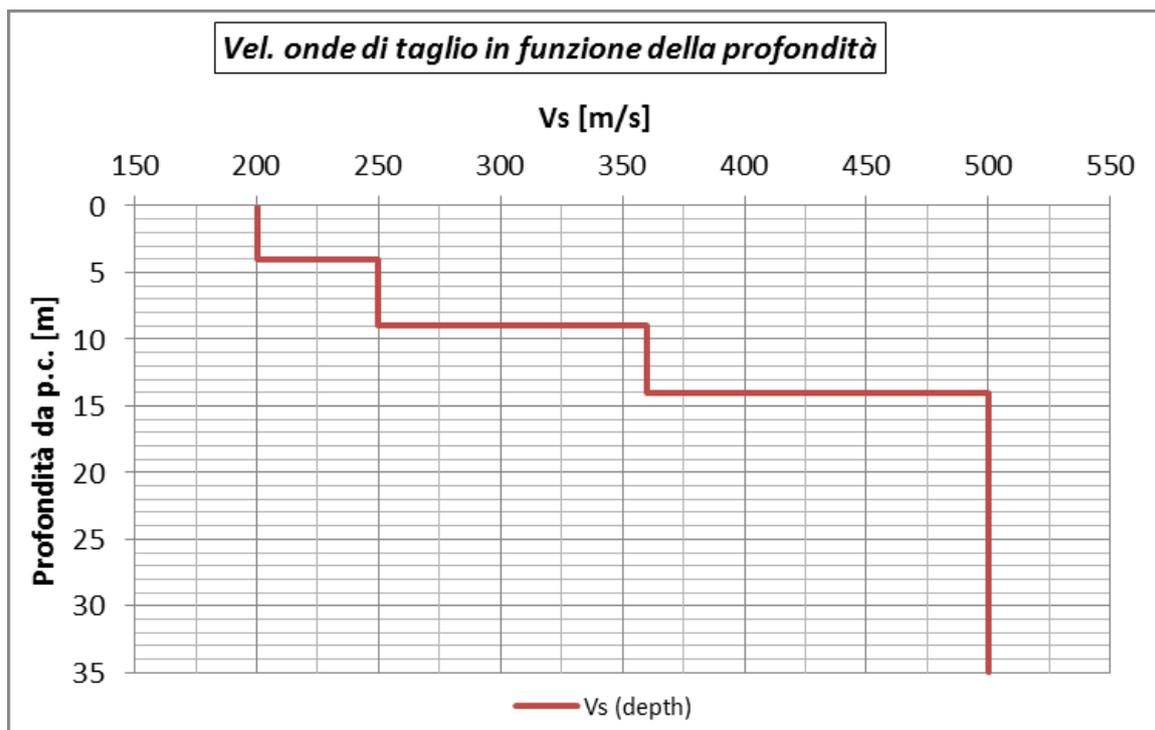


Fig. 5.1.3 – Andamento del profilo di Vs con la profondità.

La Vs₃₀ ricavata è pari a 350 m/s.

Quindi l'area di studio, tenendo conto dell'approssimazione della prova, ricade nella categoria di sottosuolo C.

6. Analisi di risposta sismica e azione sismica di superficie

L'analisi di risposta sismica locale svolta con approccio semplificato, si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo, descritte dalle NTC 08 (vedi tab. 6.1 e 6.2). Come già descritto nel capitolo 5, è stata eseguita una prospezione sismica di superficie tipo MASW, opportunamente tarata con i dati stratigrafici ricavati.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>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 $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Tab. 6.1 - Categorie di suolo da NTC 08.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tab. 6.2 - Categorie aggiuntive di suolo da NTC08

Secondo le norme NTC, l'accelerazione spettrale massima (A_{max}) è definita dalla relazione:

$$A_{max} = S \cdot a_{g0}$$

dove

a_{g0} è l'accelerazione precedentemente individuata e riferita al *bedrock*, per il sito di studio tale accelerazione è pari a 0,184 g per il tempo di ritorno 712 anni (SLV per costruzione con V_r di 75 anni).

Il coefficiente S (pari a $S_s \cdot S_t$) comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafiche (S_s) e topografiche (S_t).

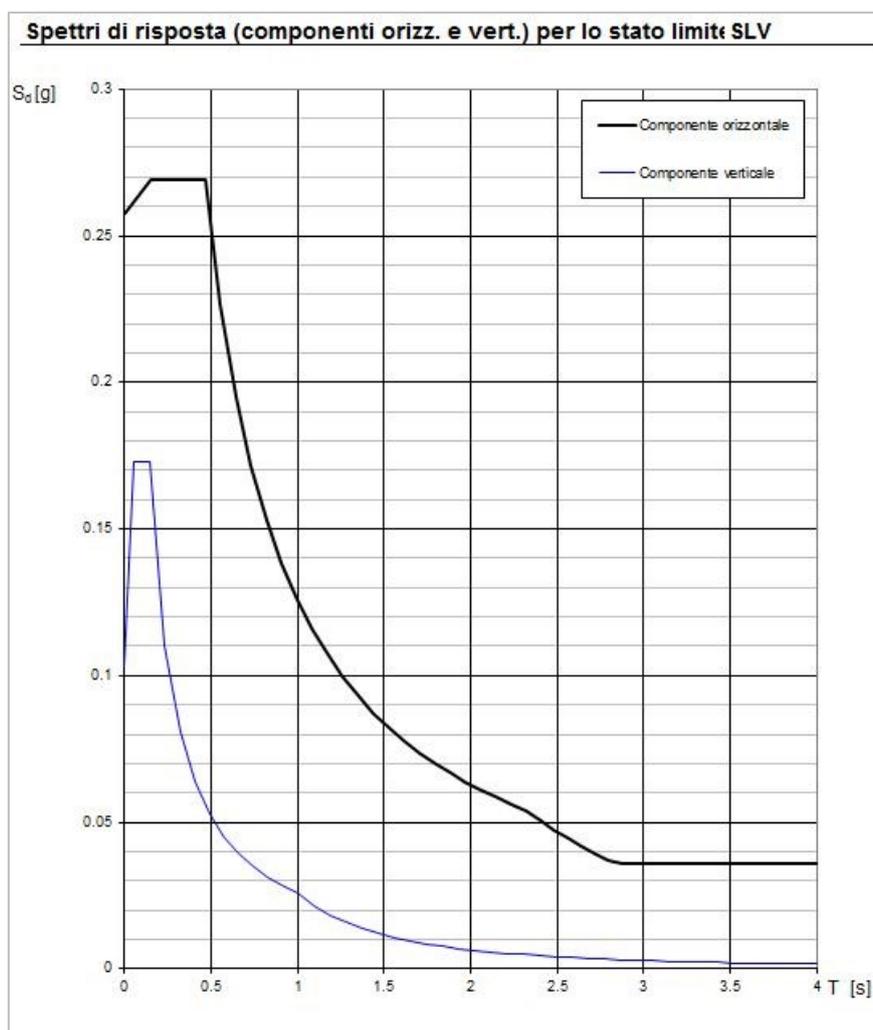
Il coefficiente Stratigrafico è pari a 1,2 poiché il terreno ha una V_{s30} di 350 m/s e quindi ricade nella categoria C.

L'accelerazione A_{max} attesa per il sito di studio è pari a 0.27 g (fig. 6.4), con tempo di ritorno 712 anni (SLV). In fig. 6.2 sono mostrate le componenti sismiche dello spettro di risposta.

In base alle condizioni topografiche del sito studiato, si ricava il fattore topografico S_t dalla tabella 6.3. Il fattore topografico risulta pari a 1 poiché il sito rientra nella categoria T1 di tabella 6.3.

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Tab. 6.3 – Categorie topografiche secondo NTC2008.



Tab.6.4 – Spettro di risposta SLV per l'area di studio.

6. Calcolo capacità portante e scorrimento platea di fondazione.

La capacità portante è stata calcolata per la verifica della platea in progetto, di dimensioni 9.5 x 9,5 m, prevista per il sostegno del corpo centrale della scuola. Il valore ritrovato di capacità portante in condizioni SLU approccio 1 combinazione 2 è pari a $1,17 \text{ kg/cm}^2$. Tale valore è stato calcolato in condizioni non drenate, poiché la natura del riporto sul quale pogerà presenta condizioni critiche a breve termine, in quanto rappresenta un terreno fine normal consolidato. La verifica ha riguardato anche lo scorrimento della platea generato sempre in condizioni SLU.

In fig. 6.1 è presente lo schema utilizzato per il calcolo della capacità portante della platea in base alla stratigrafia e i parametri riportati nel modello geotecnico.

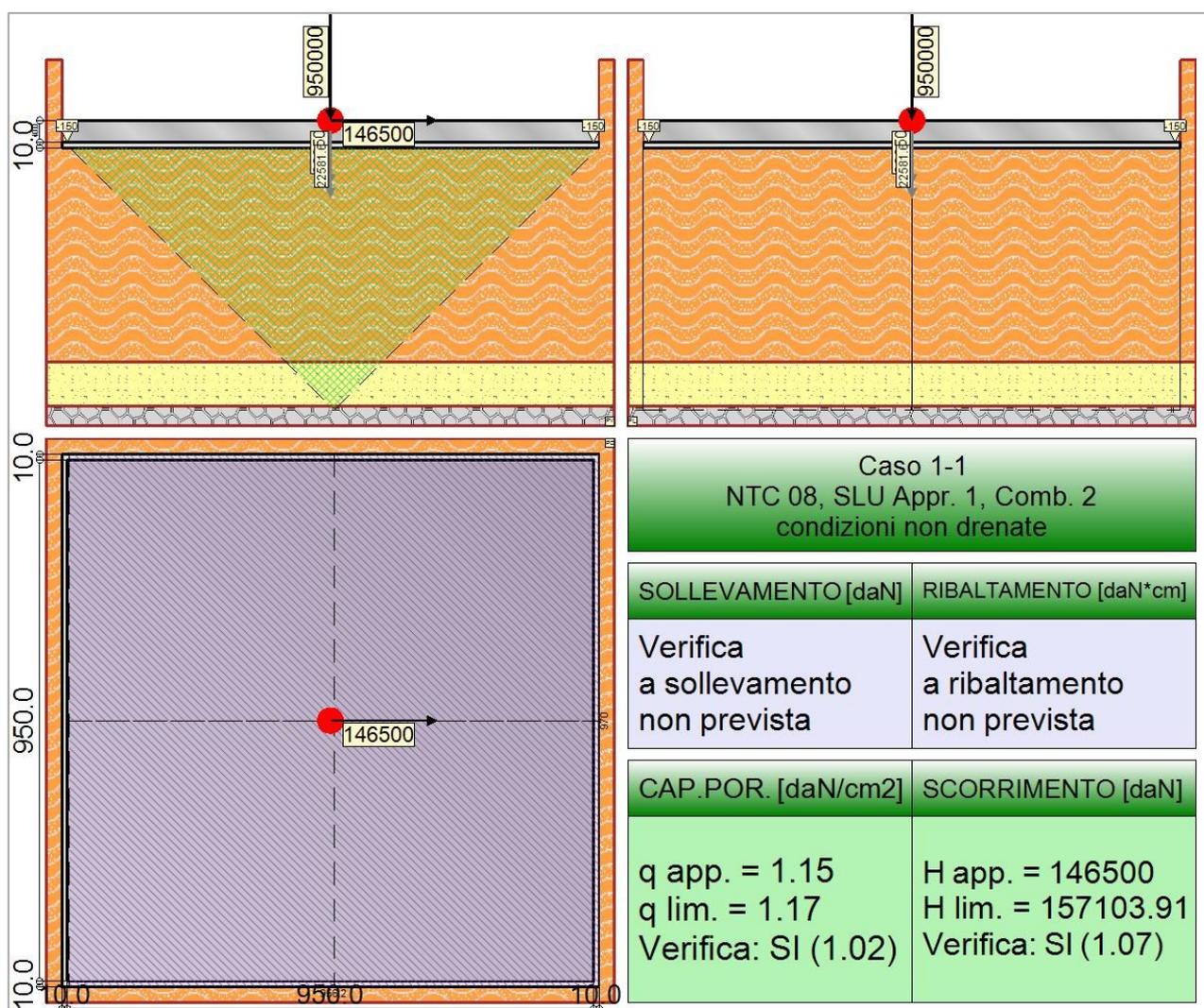


Fig. 6.1 – Schema utilizzato per il calcolo della capacità portante. (i valori numeri sui vettori sono espressi in daN par a 950`000 daN per il carico verticale e 146`500 daN per il carico in condizioni sismiche)

Di seguito sono riportate le tabelle con i valori e i coefficienti utilizzati per il calcolo della capacità portante e dello scorrimento della platea in progetto.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i coefficienti e i valori utilizzati per il calcolo della capacità portante (R_d in fig.6.3). Questa è stata confrontata con l'azione in condizioni SLU (E_d in tabella 6.3) pari a $1,05 \text{ daN/cm}^2$. La platea risulta verificata poiché il rapporto tra azioni e resistenze è pari a 1,02 maggiore di 1.

Caso	γ_{su}	γ_γ	s_u [daN/cm ²]	γ [daN/cm ³]	q_t [daN/cm ²]	N_c	s_c	d_c	i_{bc}	i_{lc}	b_c	g_c	$q_{lim,c}$ [daN/cm ²]
1-1	1.4	1	0.37	0.00161	0 (trascurato)	5.14	1.20	1.07	0.87	1	1	1	2.1

Caso	$\gamma_{R,\gamma}$	q_{lim} [daN/cm ²]	A [cm ²]	R_d [daN]	E_d [daN]	Verifica
1-1	1.80	1.17	927529.58	1083315.2	1062831.6	SI ($1083315.2/1062831.6 = 1.02 \geq 1.0$)

Le seguenti tabelle elencano il valore della resistenza al taglio non drenata, dell'aderenza fondazione-terreno, e della resistenza disponibile sul piano di posa e sulle pareti laterali.

Caso	γ_{su}	s_u [daN/cm ²]	a [daN/cm ²]	$\gamma_{R,h}$	$\gamma_{R,e}$	R_h [daN]	R_e [daN]
1-1	1.40	0.4	0.16	1.10	1.00	134913.39	22190.51

Segue il confronto fra la resistenza a scorrimento e l'azione applicata.

Caso	R_d [daN]	E_d [daN]	Verifica
1-1	157103.9	146500	SI ($157103.9/146500 = 1.07 \geq 1.0$)

7. Conclusioni

Utilizzando le prove penetrometriche messe a disposizione dall'amministrazione comunale, unitamente alla prova geofisica eseguita, è stato possibile ricostruire il modello geotecnico per le scuole Andersen.

Il modello geotecnico presenta grosse variabilità, confermate dal rilevante cedimento che ha colpito la facciata sud della scuola, zona dove l'unità riporto presenta maggiore spessore (fino a 8 metri). Al fine di capire lo spessore dell'unità geotecnicamente più debole sono state realizzate due sezioni geotecniche che mostrano la geometria lungo le due direzioni principali dell'edificio esistente. In base alle prove penetrometriche sono stati assegnati i parametri geotecnici alle tre unità (vedasi capitolo 5).

Grazie all'indagine sismica Masw è stata verificata anche la profondità del riporto, pari a circa 8 metri lungo il lato sud, caratterizzato da velocità comprese tra 200 e 250 m/s. Al di sotto sono state differenziate le altre due unità con velocità di 360 m/s per lo strato di alterazione del bedrock e 500 m/s per l'ammasso roccioso della Formazione di Monghidoro. Queste indicazioni comportano un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del sottosuolo con la profondità.

La categoria del sottosuolo misurata con la tecnica a onde di superficie (MASW) è risultata pari alla categoria C poiché la V_{s30} è pari a 350 m/s.

La verifica della capacità portante della platea ha dato esiti positivi in condizioni SLU e questo rappresenta un miglioramento delle fondazioni della struttura centrale della scuola Andersen.

Castellarano li 24/11/2015

Ing. Giovanni Giusti

Geol. Riccardo Giusti

Bibliografia

PARK, C. B., MILLER, R. D., & XIA, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800-808.

PLESI, G., DANIELE, G., CHICCHI, S., BETTELLI, G., CATANZARITI, R., FERONI, C., PANINI, F. (2002). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, Foglio 235 "Pievepelago". *Servizio Geologico d'Italia-Regione Emilia Romagna, Roma Pliny the Elder (77–78 AD). Historia mundi naturalis, II.*

TERZAGHI, KARL, RALPH B. PECK, GHOLAMREZA MESRI.. *Soil mechanics in engineering practice.* John Wiley & Sons, 1996.