

**REGIONE EMILIA ROMAGNA – PROVINCIA DI MODENA**  
**COMUNE PALAGANO**

**PROGETTO DI MIGLIORAMENTO ED ADEGUAMENTO SISMICO  
DEL MUNICIPIO DI PALAGANO SITUATO IN VIA 23 DICEMBRE  
N. 74**

**COMMITTENTE: AMM.NE COMUNALE DI PALAGANO**

---

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA**

---



**Dott. Geol. GIANLUCA VACCARI**  
Strada Cavidole 12/C 41126 Portile - Modena  
Tel. 059353059 – Cell. 347 4935672  
**e-mail:** vaccari.gianluca@gmail.com

**DICEMBRE 2021**

**Dott. Gianluca Vaccari**  
**Geologo**

**Studio:**

Strada Cavidole 12/C  
41126 Portile - Modena  
Tel./Fax 059353059  
Cell. 3474935672  
e-mail: [vaccari.gianluca@gmail.com](mailto:vaccari.gianluca@gmail.com)

Modena, 21/12/2021

## **RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA**

**PROGETTO:** Miglioramento ed adeguamento sismico del Municipio di Palagano

**PROVINCIA:** Palagano (MO)

**COMUNE:** Modena

**INDIRIZZO:** Via 23 Dicembre n. 74

**COMMITTENTE:** Amm.ne Comunale di Palagano

**RIFERIMENTO NORMATIVO:** NTC 2018.

**RELAZIONE REDATTA AD USO:** Adeguamento Sismico

## Sommario

PREMESSA .....	4
1. DESCRIZIONE DEL FABBRICATO OGGETTO DI INTERVENTO.....	5
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE .....	6
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	6
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO .....	8
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE .....	11
3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	12
3.1.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE.....	12
3.2 INDAGINI GEOFISICHE .....	14
3.2.1 INDAGINE MASW .....	14
3.2.2 INDAGINE HVSr .....	16
4. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E GEOTECNICO TERRENO DI FONDAZIONE E CLASSE SISMICA DEL SOTTOSUOLO .....	19
4.1 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E GEOTECNICO TERRENO DI FONDAZIONE .....	19
4.2 CLASSE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	21
5. RELAZIONE SISMICA .....	23
5.1 INQUADRAMENTO SISMICO .....	23
5.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DELL' AREA DI STUDIO.....	26
5.2.1 PARAMETRI SISMICI METODI SEMPLIFICATI .....	32
5.2.2 RISPOSTA SISMICA LOCALE SPETTRO DI RISPOSTA PER SLV .....	36
6. CONCLUSIONI.....	47

Allegati:

Allegato 1: Prove Penetrometriche dinamiche

## **PREMESSA**

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Palagano si è proceduto alla redazione della presente relazione geologica-sismica a supporto dell'intervento di adeguamento e miglioramento sismico del Municipio di Palagano situato in Via 23 Dicembre n. 74.

Scopo dello studio è stato l'esame delle caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni presenti nel sottosuolo, in modo da fornire al progettista i dati necessari alla verifica e progettazione degli interventi necessaria all'adeguamento sismico del Municipio.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni presenti nel sottosuolo è stata predisposta una campagna di indagini geognostiche consistita in:

Esecuzione di n. 4 prove penetrometriche dinamiche spinte sino alla profondità massima di - 10,6 m dal p.c.

Per la definizione sismica dei terreni presenti è stata eseguita un'indagine geofisica con metodo MASW che ha permesso di ricavare il valore delle Vs30 e di definire la categoria sismica del terreno di fondazione. E' stata inoltre eseguita un'acquisizione di sismica passiva con metodo HVSR per la determinazione della frequenza di vibrazione naturale del terreno.

Nel presente studio vengono fornite indicazioni sulla litologia dei terreni presenti, sulla litostratigrafia e sulle caratteristiche geotecniche del sottosuolo; dal punto di vista sismico è stato eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale.

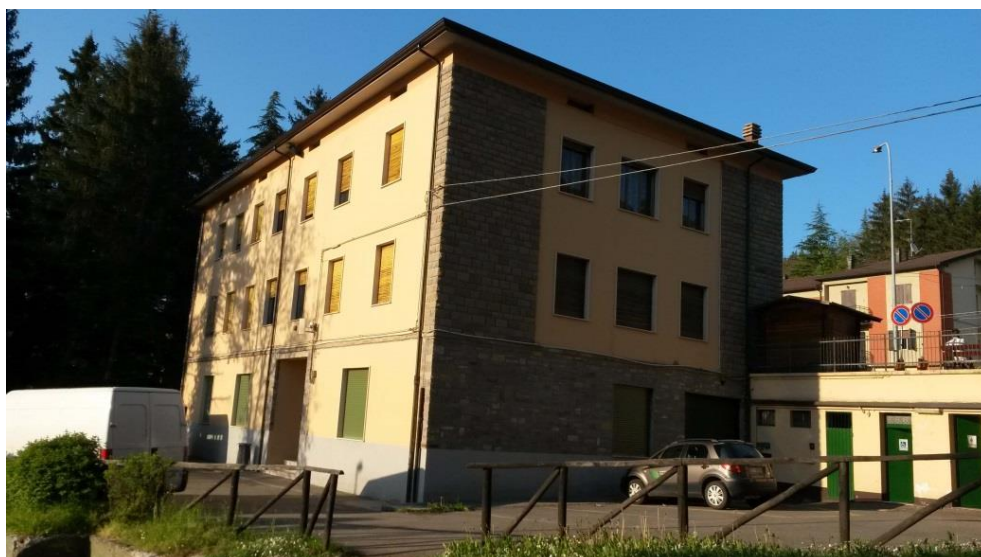
## **1. DESCRIZIONE DEL FABBRICATO OGGETTO DI INTERVENTO**

Il Municipio di Palagano è un fabbricato a pianta rettangolare costituito da un piano seminterrato, piano primo e piano secondo.

In fotografia 1 e 2 sono riportate due immagini che ritraggono l'edificio da monte e da valle.



**Fotografia 1 – Municipio di Palagano**



**Fotografia 2 – Municipio di Palagano visto da valle.**



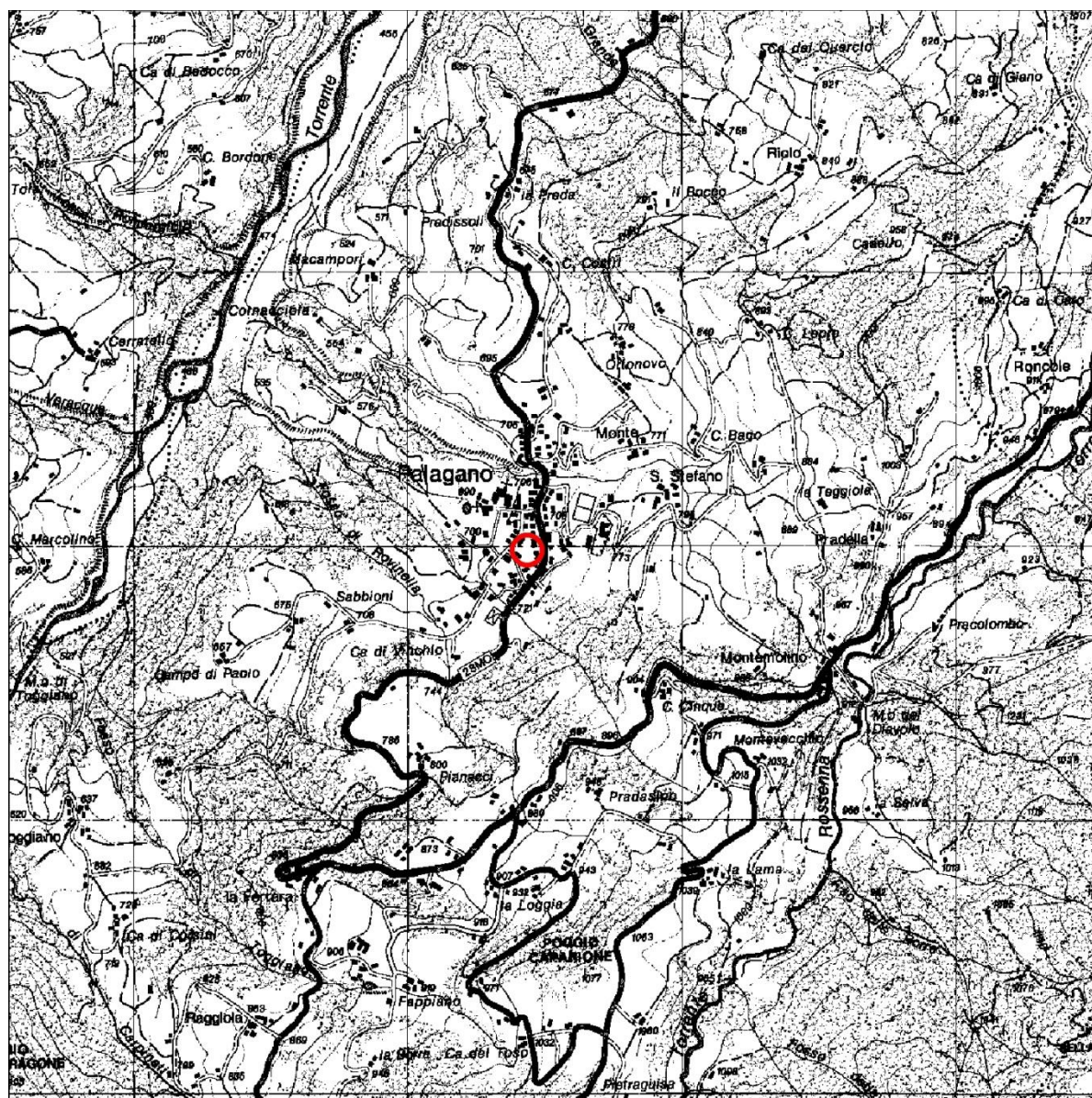
## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è ubicata nel medio Appennino modenese, in una zona situata in Via 23 Dicembre n. 74 a Palagano.

Si tratta di una zona di media montagna, posta ad una quota di circa 690 m s.l.m. e situata a mezza costa del versante, in corrispondenza di un ripiano a bassa inclinazione, posto alla destra idrografica del Torrente Dragone, affluente del Fiume Secchia, che rappresenta il collettore idrografico principale (Figura 1).

L'area si colloca in un contesto già ampiamente edificato.



**Figura 1 – COROGRAFIA** - Carta Tecnica Regionale – Tavola 235NE – Scala 1:25.000

Nell'immediato intorno della zona si erge Poggio Caparione (1077 m s.l.m.), mentre, poco



più a sud, si innalza il M. Cantiere che, con i suoi 1617 m, rappresenta il rilievo principale dell'area.



**Figura 2 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO** – C.T.R. – Elemento n. 235082 – Scala 1:5.000

L'area in oggetto è compresa nella seguente cartografia:

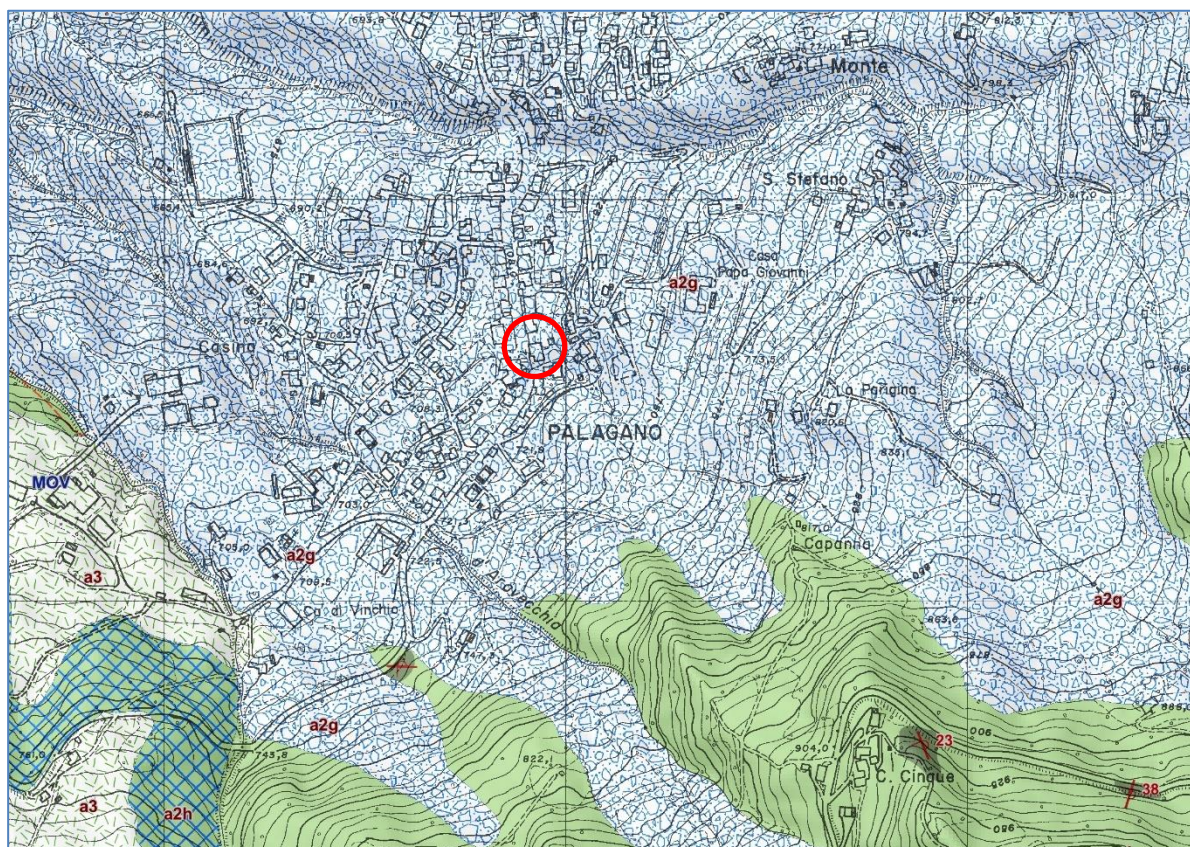
- Tavola CTR n° 235NE denominata "Montefiorino" - Scala 1:25.000 (Figura 1);
- Sezione CTR n° 235080 denominato "Palagano" – Scala 1:10.000;
- Elementi CTR n° 235082 denominato "Palagano"– Scala 1:5.000 (Figura 2).



## 2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

Per la caratterizzazione geologica e geomorfologica del sito in esame si è fatto riferimento a dati e cartografie desunti dalla bibliografia; la cartografia d'analisi cui ci si è riferiti è rappresentata da:

Carta geologica-geomorfologica del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (Progetto CARG Regione Emilia Romagna) – Scala 1:5.000 (Figura 3).



**Figura 3 – CARTA GEOLOGICA GEOMORFOLOGICA** – Fonte: Servizio Geologico Regionale - Regione Emilia-Romagna. Scala 1:5000.



Come precedentemente descritto l'area si colloca sul versante destro della Valle del Dragone

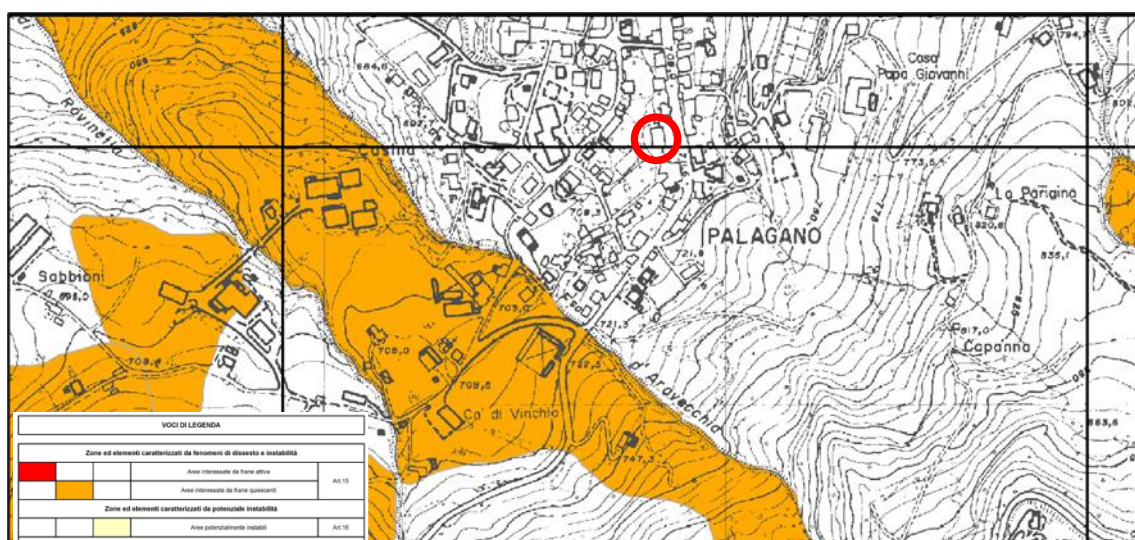


in corrispondenza dell'abitato di Palagano.

Come risulta dalla carta geologica allegata (Figura 3), l'area è caratterizzata da un accumulo detritico di versante. Generalmente l'accumulo detritico si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa, solo localmente stratificato. La genesi del detrito in questione può essere di tipo gravitativo. Tale detrito di versante nel complesso ha raggiunto un buon grado di equilibrio anche se localmente possono essere presenti corpi di frana. I dissesti presenti in zona sono costituiti per lo più da frane quiescenti ed il loro raggio d'azione non interferisce in alcun modo con l'area in studio.

I rilievi eseguiti testimoniano l'assenza d'indizi di movimenti gravitativi di versante in atto e/o potenziali.

I dati riportati nella Carta Geologica della Regione Emilia Romagna trovano conferma anche da quanto riportato nella Carta del Dissesto del PTCP 2009 della Provincia di Modena che testimonia la stabilità dell'area in studio (Figura 4).



**Figura 4 – CARTA DEL RISCHIO DA FRANA:** - Carta del dissesto estratta del PTCP 2009 della Provincia di Modena

Al di sotto della coltre detritica superficiale sono presenti terreni appartenenti alla Formazione di Motevenere la quale è costituita da torbiditi calcareo-marnose in strati da medi a massicci; la base detritica a grana fine e finissima e di colore grigio chiaro passa a potenti intervalli di marne calcaree e calcari marnosi con a tetto sottili intervalli argillosi grigio scuri o nerastri. A queste torbiditi calcareo marnose si vanno ad alternare pacchi di strati a composizione arenaceo-pelitica grigio-brunastri con rapporto arenaria/pelite generalmente maggiore di 1. La base è arenitica spesso fine o media e, a luoghi, alterata in giallastro o ocre. La cementazione delle porzioni basali delle torbiditi silicoclastiche è variabile, localmente scarsa, specie per le arenarie a grana grossolana.

Caratteristica macroscopica della formazione è la sua ritmicità, sottolineata dalla presenza di megatorbiditi calcareo-marnose, di spessore anche superiore alla quindicina di metri, che si susseguono ad intervalli più o meno regolari, separati da pacchi di torbiditi silicoclastiche e carbonatiche di minor spessore. Verso l'alto della formazione si osserva un aumento della frequenza delle torbiditi arenaceo-pelitiche, sino ad essere prevalenti in spessore a quelle calcareo-marnose. Le caratteristiche del deposito indicano un ambiente di tipo marino profondo di piana abissale alimentato da torbiditi silicoclastiche e carbonatiche provenienti da differenti aree sorgenti.

La potenza della formazione è superiore ai 500 m, ed attribuibile ad un intervallo di tempo compreso tra il Campaniano superiore e il Maastrichtiano.

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Per la caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica e sismica del sottosuolo sono state eseguite:

- N. 4 Prove penetrometriche DPSH spinte fino alla profondità massima di 10,6 m da p.c.;
- N.1 acquisizione di sismica con metodo HVSR;
- N.1 stendimento sismico a rifrazione del tipo MASW.

In Figura 5 sono riportate le ubicazioni delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite.

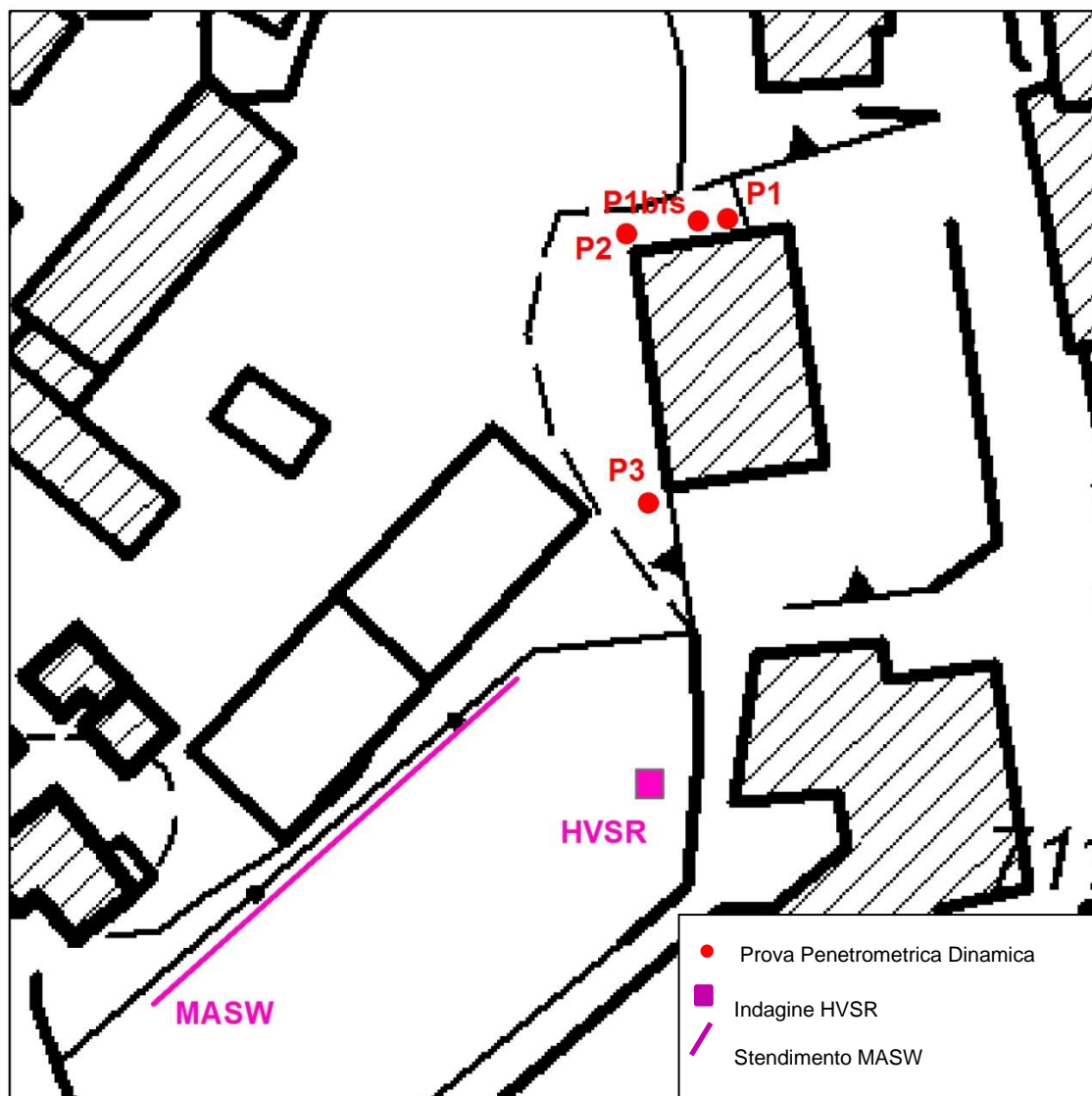


Figura 5 - UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE - Scala 1:750



### 3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 3.1.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Considerata la natura detritica dei terreni presenti si è scelto di effettuare delle prove penetrometriche dinamiche pesanti.

Le prove sono state eseguite utilizzando un penetrometro dinamico pesante del tipo Pagani TG 63 da 100KN con le seguenti caratteristiche:

Peso massa battente	M	=	63,5 kg
Altezza caduta libera	H	=	0,75 m
Massa passiva	Ms	=	30 kg
Diametro punta conica	D	=	50,5 mm
Area base punta conica	A	=	0,0020 mm <sup>2</sup>
Angolo apertura punta	θ	=	90°
Lunghezza delle aste	La	=	1 m
Peso aste per metro	Ma	=	8 kg
Avanzamento punta	δ	=	0,20 m
Coeff. Correl. Nspt	N	=	1,521

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd (funzione del numero di colpi N) ⇒ Formula olandese modificata:

$$Rpd = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd	=	resistenza dinamica punta (Area A)
e	=	infissione per colpo = δ / N
M	=	peso massa battente (altezza caduta H)
P	=	peso totale aste e sistema battuta

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica di dimensioni standard posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di 63,5 kg. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di 20 cm di lunghezza di asta nel terreno. La resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta del numero di colpi per una data penetrazione. Le informazioni che la prova fornisce sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione. La prova dinamica fornisce una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

I parametri geomeccanici del terreno di fondazione possono essere ricavati da relazioni

empiriche proposte da vari Autori correlando il numero di colpi del penetrometro DPSH con quelli della prova SPT, oppure correlando la resistenza Rpd alla resistenza alla punta qc ottenuta con le prove penetrometriche statiche CPT.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

<b>Legenda:</b>	
Puv (t/m <sup>3</sup> )	Peso dell'unità di volume del terreno. (Meyerhof ed altri)
Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata nei terreni coesivi. (De Beer)
φ°	Angolo di attrito interno efficace per terreni granulari Meyerhof (1956)
Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione edometrico per terreni coesivi/granulari. (Begemann 1974)
Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di Young (Bowles 1982)
Modulo di Poisson	A.G.I.
Modulo di Taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ohsaki Iwasaki

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

Prof. (m)	Nspt	Tipo	Puv (t/m <sup>3</sup> )	PuvS (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
2.0	1.65	Coesivo	1.53	1.85	--	0.21	20	16	--	--
4.0	5.26	Coesivo	1.77	1.88	--	0.66	65	52	--	--
4.2	75.20	Incoerente	2.22	2.50	40	--	120	300	0.26	2332.59

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1bis

Prof. (m)	Nspt	Tipo	Puv (t/m <sup>3</sup> )	PuvS (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.8	--	---	---	---	--	---	---	---	--	--
2.4	3.76	Coesivo	1.68	1.87	--	0.47	47	37	--	--
7.0	5.82	Coesivo	1.80	1.89	--	0.73	72	58	--	--
9.2	15.58	Coesivo Incoerente	2.07	---	32.28	1.95	15	15	0.32	843.83
9.4	75.20	Incoerente	2.22	2.50	40.63	--	120	300	0.26	2332.59

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

Prof. (m)	Nspt	Tipo	Puv (t/m <sup>3</sup> )	PuvS (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.2	---	---	---	---	--	---	---	--	--	--
4.0	5.85	Coesivo	1.80	1.89	--	0.73	26	58	--	--
5.0	2.11	Coesivo	1.57	1.85	--	0.26	9	21	--	--
6.4	4.08	Coesivo	1.70	1.87	--	0.51	18	40	--	--
7.2	7.14	Coesivo	1.86	1.90	--	0.89	32	71	--	--
7.8	11.02	Coesivo	2.00	---	--	1.38	50	110	--	--
8.8	18.65	Incoerente	1.93	1.96	32.71	--	62	159	0.32	923.23
9.0	75.20	Incoerente	2.22	2.50	40.63	--	120	300	0.26	2332.59

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

Prof. (m)	Nspt	Tipo	Puv (t/m <sup>3</sup> )	PuvS (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.2	---	---	---	---	--	--	---	---	--	--
3.0	3.01	Coesivo	1.64	1.86	--	0.38	37.63	30	--	--
7.4	10.80	Coesivo	1.99	---	--	1.35	49	108	--	--
9.0	18.23	Coesivo	2.09	---	--	2.28	182	182	--	--
10.4	31.15	Incoerente	2.05	2.46	34	--	74	190	0.31	1242.41
10.6	49.63	Incoerente	2.16	2.50	37	--	93	236	0.29	1705.11

I tabulati di calcolo ed i diagrammi penetrometrici sono riportati in allegato 1.

Al termine delle prove è stata rilevata la presenza di acqua alla profondità di 2,7 m da pdc.

Le prove penetrometriche eseguite non hanno oltrepassato la coltre di detrito di versante che sovrasta il substrato roccioso e sono andate a rifiuto in corrispondenza di trovanti lapidei.

## 3.2 INDAGINI GEOFISICHE

### 3.2.1 INDAGINE MASW

Nel mese di Marzo 2014 è stata eseguita sull'area in studio, una campagna sismica con metodo MASW di tipo attivo. L'indagine è stata svolta con l'obiettivo di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire da piano campagna ( $V_{s30}$ ), in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio (N.T.C. 23/09/05), al D.M. 14/01/08 ("Nuove norme tecniche per la costruzione") e alla delibera G.R.E.R. (n. 1677 del 24/10/05).

In Figura 5 è riportata l'ubicazione dello stendimento sismico, mentre a seguire si riportano la metodologia della ricerca utilizzata ed i risultati dell'indagine eseguita.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16S24-U", dotato di 24 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni con spaziatura tra i geofoni di 2.0 metri per una lunghezza della linea sismica di 46 metri. L'energizzazione è stata eseguita a 2, 5 e 10 metri dal primo geofono.

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 4.8 – Eliosoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

### Risultati–Determinazione delle categoria del suolo di fondazione



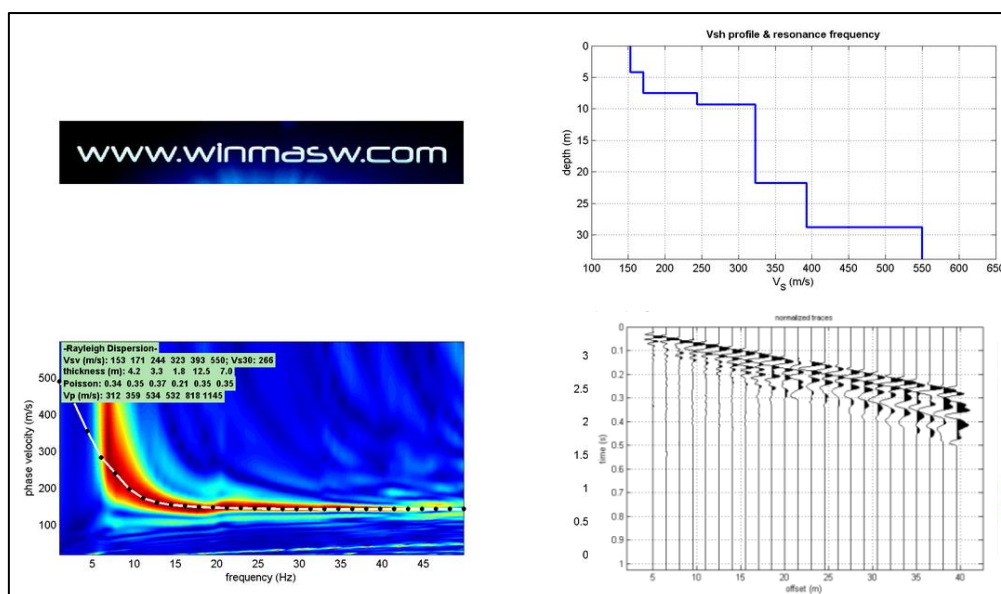
L'analisi delle onde di taglio (Vs) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore  $V_{s30}$  per la sezione indagata.

In Figura 6 sono riportati il sismogramma acquisito, la curva di dispersione e il profilo Vs/profondità.

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato è il seguente:

**$V_{s30}$  riferito al piano di campagna = 266 m/sec.**

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
4.2	4.2	153
7.5	3.3	171
9.3	1.8	244
21.8	12.5	323
28.8	7.0	393
30.0	1.2	550



**Figura 6 - Sismogramma, Curva di Dispersione e Profilo Vs -**

### 3.2.2 INDAGINE HVSR

Nel mese di Marzo 2014 è stata eseguita sul lotto di terreno in studio un'indagine di sismica passiva con il metodo HVSR utilizzando lo strumento Geobox della Sara.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione è stata effettuata per una durata pari a 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

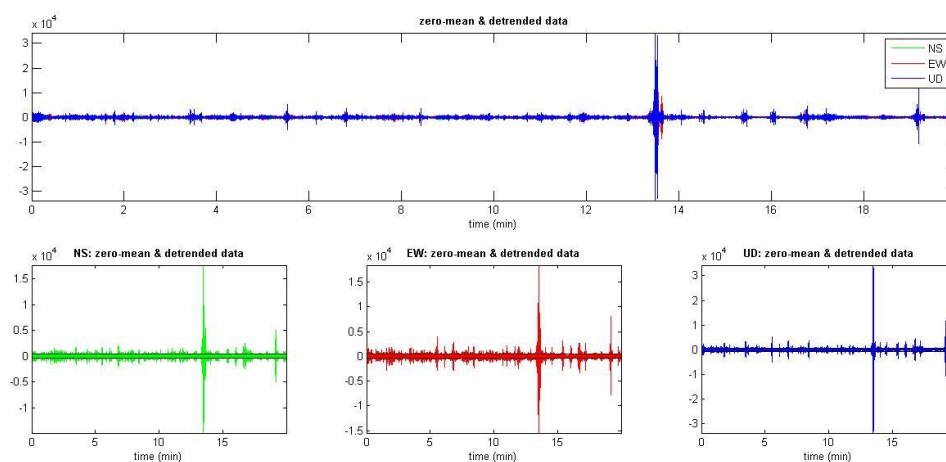
Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica.

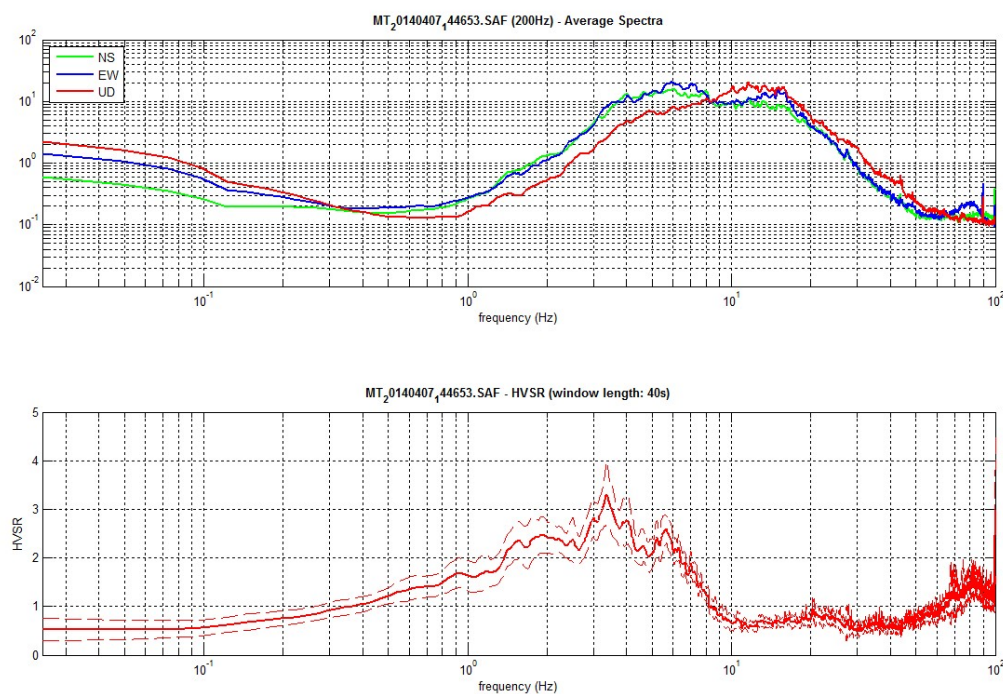
Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.



**Figura 7 – Tracce di acquisizione**

### *Grafici degli spettri*



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/s, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

**Figura 8 - Spettri medi nelle tre direzioni e picco HVSR**



## Risultati ottenuti - Rapporto spettrale H/V

Dataset: MT\_20140407\_144653.SAF  
 Sampling frequency (Hz): 200  
 Window length (sec): 40  
 Length of analysed temporal sequence (min): 19.0  
 Tapering (%): 10

**Peak frequency (Hz): 3.4 ( $\pm 1.2$ )**

Peak HVSr value: 3.2 ( $\pm 0.6$ )

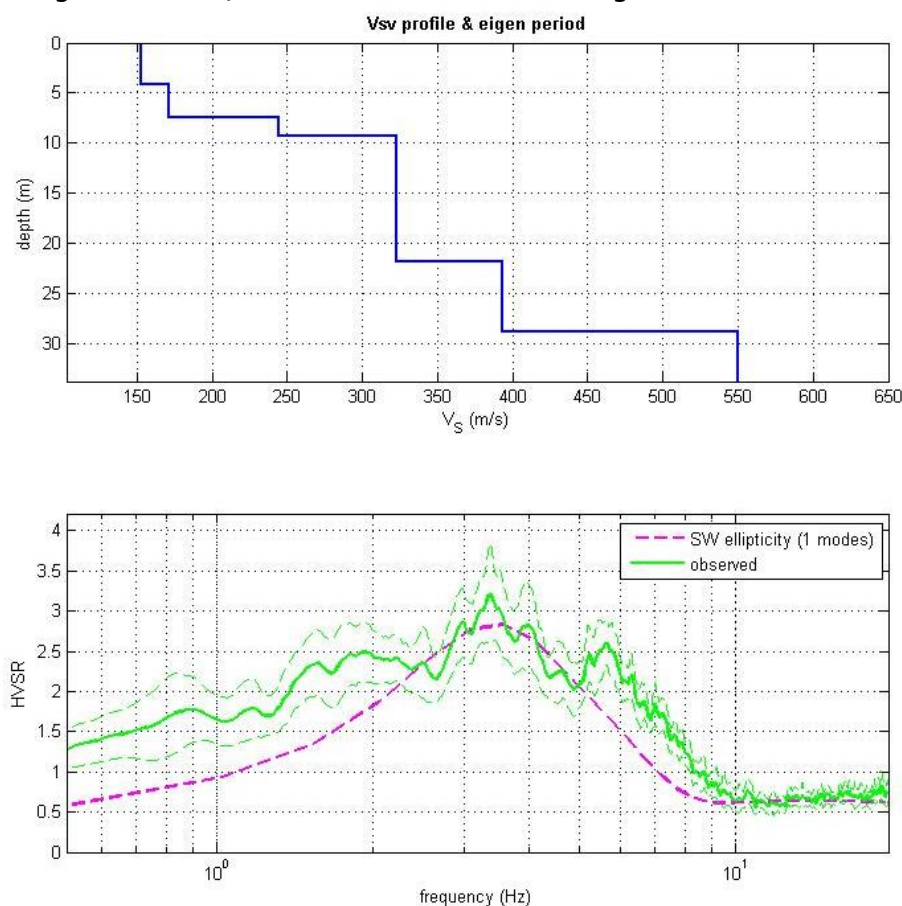
### === Criteria for a reliable H/V curve

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $3.4 > 0.25$  (OK)
- #2. [ $nc > 200$ ]:  $7603 > 200$  (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  $[f_0/4, f_0]$  |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: (NO)
- #2. [exists  $f_+$  in the range  $[f_0, 4f_0]$  |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 7.4Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]:  $3.2 > 2$  (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$ ]:  $1.223 > 0.170$  (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.629 < 1.58$  (OK)

Dall'analisi congiunta MASW/HVSr sono stati ottenuti I seguenti risultati



**Figura 9 – Picco HVSr**

## 4. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E GEOTECNICO TERRENO DI FONDAZIONE E CLASSE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

### 4.1 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E GEOTECNICO TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base delle indagini eseguite e dei risultati ottenuti, correlati con parametri geotecnici desunti da bibliografia, è stato ricostruito il possibile andamento litostratigrafico e geotecnico del sottosuolo dell'area in studio.

L'area in oggetto è interessata da una coltre detritica valutabile in circa 30 m di spessore ed è caratterizzata da valori di resistenza geomeccanica abbastanza scadenti nei primi 3/5 metri, con valori minimi registrati nella prova n.1 (Rd pari a 9,2 Kg/cm<sup>2</sup>) .

#### MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO VALORI MEDI

Prof. (m)	Tipo	Y (t/m <sup>3</sup> ) Medio	Ys (t/m <sup>3</sup> ) Medio	Φ (°) Medio	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )			Mo (Kg/cm <sup>2</sup> )			Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )		
					Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
0,0 - 2,0/3,0	Coesivo	1.7	1.9	20	0,19	0,45	0,9	19	47	94	15	37	75
2,0/ 3,0 - 6,2	Coesivo	1.8	1.9	20	0.19	0.80	2,8	19	78	226	15	67	226
6,2 - 7,8	Coesivo	1.9	2,0	21	0,56	1,1	2,0	56	98	165	45	90	165
7,8 - 9,2	Coesivo	2.1	2.2	23	1.13	2.14	3.01	105	172	241	90	171	241
9,2 - 10,6	Incoerente	2.1	2.3	36	--	--	--	71	75	86	180	190	218

### Determinazione dei parametri caratteristici

Un aspetto essenziale del metodo degli stati limite riguarda la scelta dei parametri da introdurre nel modello di calcolo. Relativamente ai calcoli geotecnici con il criterio degli stati limite si devono considerare nelle relazioni i parametri caratteristici. Il valore caratteristico di un particolare parametro di calcolo (quale può essere ad esempio il peso specifico del terreno o l'angolo di attrito) è definito come quel valore al quale è associato una determinata probabilità di non superamento.

Il valore caratteristico k rappresenta la soglia al di sotto del quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

I valori caratteristici di  $\gamma_s$ ,  $\phi$  e  $\varepsilon$  cu sono determinabili tramite le seguenti relazioni:

$$\gamma^*K = \gamma^*m (1 + X.V\gamma)$$

$$\phi^*K = \phi^*m (1 + X.V\phi)$$

$$cu^*K = cu^*m (1 + X.Vcu)$$

in cui:

$\phi^*K$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito

$\gamma'_K$  = valore caratteristico del peso di volume secco

$c_{uK}$  = valore caratteristico della coesione non drenata

$\phi'_m$  = valore medio dell'angolo di attrito

$\gamma'_m$  = valore medio del peso di volume secco

$c_{um}$  = valore medio della coesione non drenata

$V_{\phi'}$  = coefficiente di variazione (COV) di  $\phi'$  definito come rapporto tra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $\phi'$

$V_{\gamma'}$  = coefficiente di variazione (COV) di  $\gamma'_m$  definito come rapporto tra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $\gamma'_m$

$V_{cu}$  = coefficiente di variazione (COV) di  $c_u$  definito come rapporto tra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $c_u$

$X$  = parametro dipendente dalla legge della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata

L'Eurocodice 7 fissa una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una

distribuzione di tipo gaussiano, un valore di  $X$  uguale a **-1,645**, di conseguenza le precedenti relazioni

diventano:

$$\gamma'_K = \gamma'_m (1 - 1,645 V_{\gamma'})$$

$$\phi'_K = \phi'_m (1 - 1,645 V_{\phi'})$$

$$c_{uK} = c_{um} (1 - 1,645 V_{cu})$$

$^{\circ}$  coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

Di seguito si riporta il modello geologico stratigrafico calcolato con i valori caratteristici dei parametri geotecnici:

#### MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO VALORI CARATTERISTICI

Prof.	Tipo	$C_{uK}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$M_{oK}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$P_{uvK}$ (t/m <sup>3</sup> )	$P_{uvSK}$ (t/m <sup>3</sup> )	$F_{iK}$ (°)	$E_{yK}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,0 – 2,0/3,0	Coesivo	0.2	19	1.7	1.9	20	15
2,0/3,0 - 6,2	Coesivo	0.35	38	1.8	1.9	20	24
6,2 – 7,8	Coesivo	0.40	48	1.9	2,0	21	32
7,8 – 9,2	Coesivo	1.37	113	2.1	2.2	23	109
9,2 – 10,6	Incoerente	--	66	2.1	2.3	36	169

I valori caratteristici assunti nei primi 2 strati sono da intendersi come una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

## 4.2 CLASSE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M 2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità.

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

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

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

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

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



Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente

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

Le indagini eseguite hanno permesso di interpretare il profilo di velocità delle onde S con la profondità, da cui ricavare il parametro di Normativa  $V_{s30}$ - $V_{seq}$ , risultato pari a **266 m/s**, che, grazie anche all'aumento progressivo della rigidità del terreno con la profondità, permette di inserire il terreno stesso all'interno della **Classe C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

## 5. RELAZIONE SISMICA

### 5.1 INQUADRAMENTO SISMICO

La sismicità di un territorio è strettamente legata al suo conteso tettonico strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente "attive". Alla base di ogni stima di pericolosità di un territorio vi è quindi la conoscenza della sua storia sismica e della geologia strutturale locale.

Per realizzare l'inquadramento sismotettonico della presente relazione sono stati utilizzati:

**CPTI11** – Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani (A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11);

**DBMI11** – Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11 (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi; <http://emidius.mi.ingv.it/>);

Il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane **DISS versione 3.11** (INGV – DISS Working Group, 2010; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie o regioni contenenti faglie in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore.

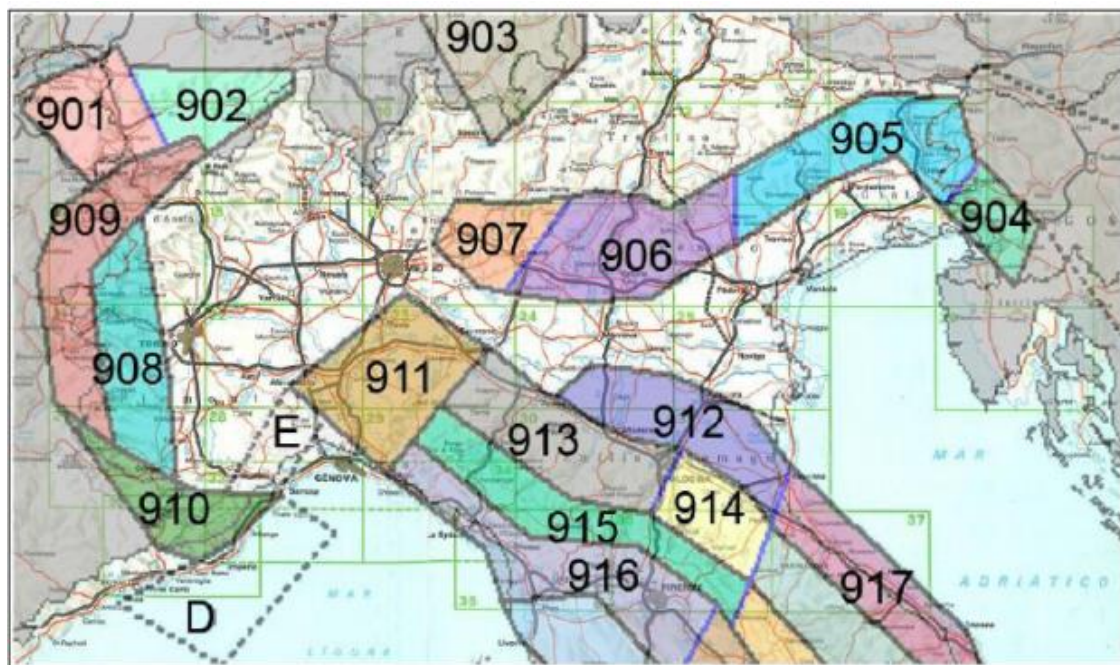
**Carta sismotettonica dell'Emilia Romagna** (scala 1:250.000, 2004) che riporta gli epicentri dei terremoti con Magnitudo  $M > 4$ , le strutture attive e quelle potenzialmente "sismogenetiche" della catena appenninica, del suo margine e quelle correlate alle strutture del sottosuolo padano – adriatico.

**Macrozonazione sismogenetica "ZS9"** prodotta dall'INGV (2004)

#### SORGENTI SISMOGENETICHE

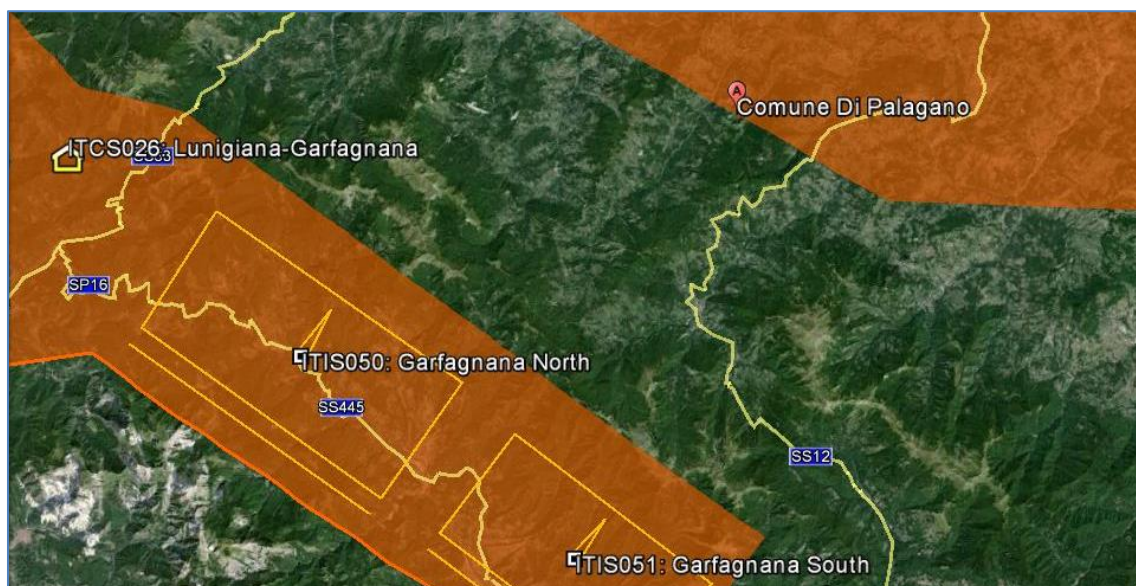
In riferimento alla macrozonazione ZS9, l'area di Palagano ricade nella zona 913 (Appennino Emiliano Romagnolo) cioè in una delle zone in cui è stato scomposto longitudinalmente l'Arco Appenninico Settentrionale e centrale da Parma fino all'Abruzzo.

In questa zona si verificano terremoti prevalentemente compressivi fino al suo margine, ma anche sima per meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo della struttura di appenninica; ad essa viene attribuita una magnitudo massima di  $M=5.91$ .



*Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)*

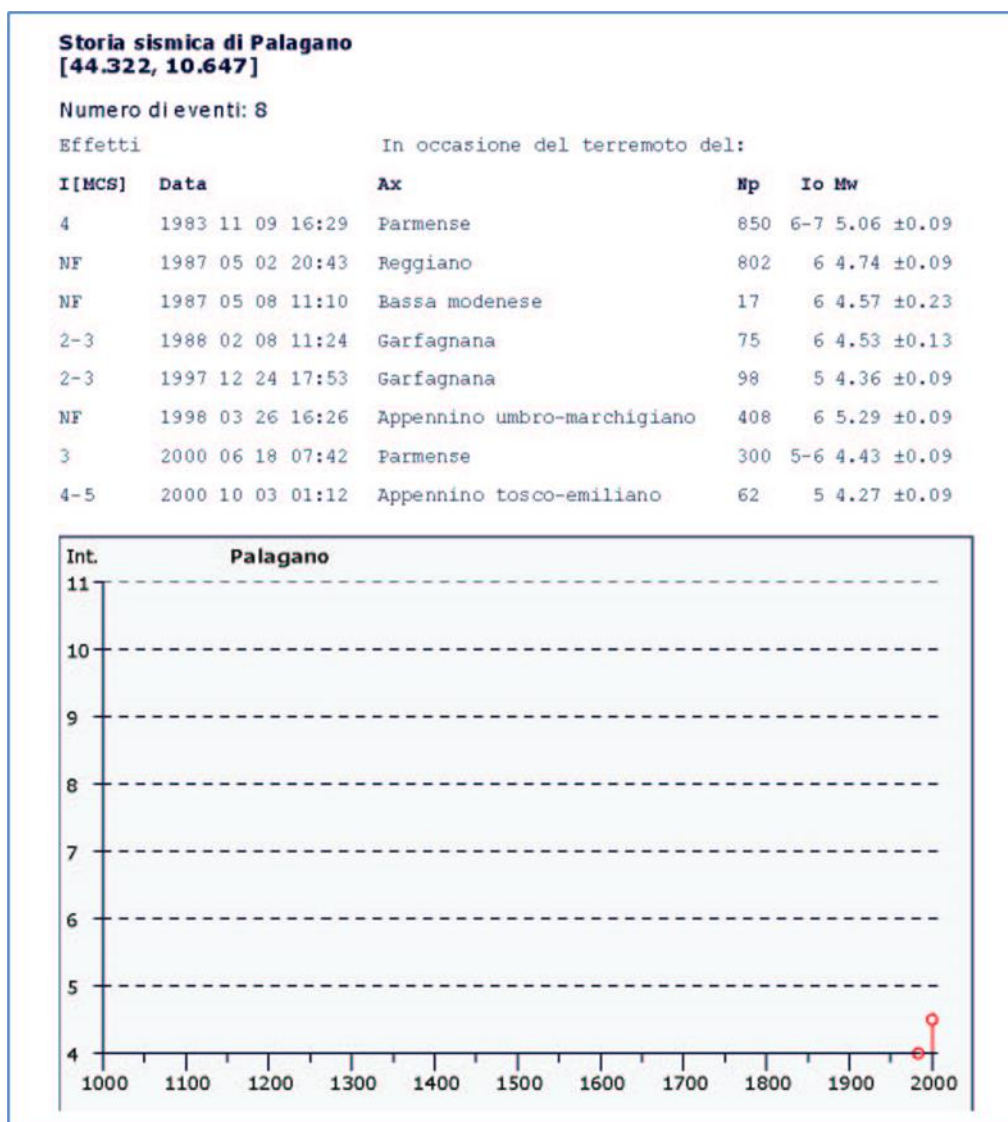
In riferimento alla banca dati del DISS 3.1 il Comune di Palagano ricade nella fascia sismogenetica ITCS027 (contenuta nella zona 913); tale zona rappresenta una lunga fascia di territorio appenninico settentrionale e la sua magnitudo stimata è pari a  $M_w=6.2$ , derivata dalle magnitudo dei terremoti più significativi associati a questa zona e comunque lontani dall'area di studio (Fabriano, 1741, Cagli, 1781, Camerino, 1799, Sarnano, 1873).



**Figura 10 – Distribuzione delle zone sismogenetiche contenute in DISS 3.1** (Foto Area: Google earth).

## STORIA SISMICA DI PALAGANO

Il database Macrosismico Italiano disponibile al momento della redazione della presente relazione riporta 8 record relativi agli effetti per la località di Palagano. In figura 6 sono riportati quelli con effetti al sito pari o superiori al grado IV della scala MCS. I massimi effetti al sito noti dalle fonti storiche sono attribuibili al 4-5 grado della scala MCS.



**Figura 11 Record del DBM11 relativi agli effetti pari o superiori al grado IV della scala IMCS per la località Palagano**

In un recente lavoro "Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo "(Regione Emilia Romagna, Regione Toscana e Università di Siena, 2013) per il Comune di Palagano viene fornito un  $I_{max}$  pari a 8 poiché viene tenuto conto della minor distanza dall'epicentro del terremoto del terremoto del 1920 (Garfagnana  $I=10$ ) rispetto al comune di Lama Mocogno, che ha risentito di  $I=8$ .



## 5.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DELL' AREA DI STUDIO

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la ***pericolosità sismica di base*** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

### VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

**$V_R$**  = periodo di riferimento

**$V_N$**  = vita nominale

**$C_U$**  = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1.

Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

**Tab. 2.1** – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico  **$V_N = 50$  anni.**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $C_U = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $C_U = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $C_U = 1.5$ ;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $C_U = 2.0$ ;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso IV** a cui è associato il coefficiente d'uso  **$C_U = 2$** .

Ricavati i valori di  $V_N$  e  $C_U$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_R$ , che qui vale:

$$V_R = 50 * 2 = 100 \text{ anni.}$$

## STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento*  $P_{VR}$  (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento  $V_R$ , si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di  $a_g$  prefissata ( $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/T_R$  ( $T_R$  = periodo di ritorno).

**Tabella 3.1-** *Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento  $V_R$*

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b><math>P_{VR} = 81\%</math></b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b><math>P_{VR} = 63\%</math></b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b><math>P_{VR} = 10\%</math></b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b><math>P_{VR} = 5\%</math></b>

Fissati  $V_R$  e  $P_{VR}$  associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra  $P_{VR}$  (probabilità) e  $T_R$  (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è  **$V_R = 100$  anni**, il tempo di ritorno  $T_R$  sarà:

**Tabella 3.2-** *Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento  $V_R$*

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b><math>T_R = 60</math></b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b><math>T_R = 101</math></b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b><math>T_R = 949</math></b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b><math>T_R = 1950</math></b>

## DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno  $T_R$  (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

**$a_g$**  = accelerazione orizzontale massima;

**$F_0$**  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;



**$T_C^*$**  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

**$a_g$** , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

**$F_0$**  e  **$T_C^*$**  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

**Tabella 4.1-** Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

ID	LON	LAT	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$			$T_R = 101$		
			$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

## Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

## Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $P_{VR}$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  non può essere inferiore a 35 anni.

## Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

**$\beta_s$**  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

**$a_{\max}$**  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

**$g$**  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella tabella 5.1.

**Tabella 5.1-** Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

**$S_S$**  (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di

suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto  $a_g/g$ .  $S_T$  (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

**T1:**  $S_T = 1.0$ ; **T2:**  $S_T = 1.20$ ; **T3:**  $S_T = 1.20$ ; **T4:**  $S_T = 1.40$ .

### 5.2.1 PARAMETRI SISMICI METODI SEMPLIFICATI

Nel presente paragrafo sono stati calcolati i parametri e coefficienti sismici mediante metodi semplificati.

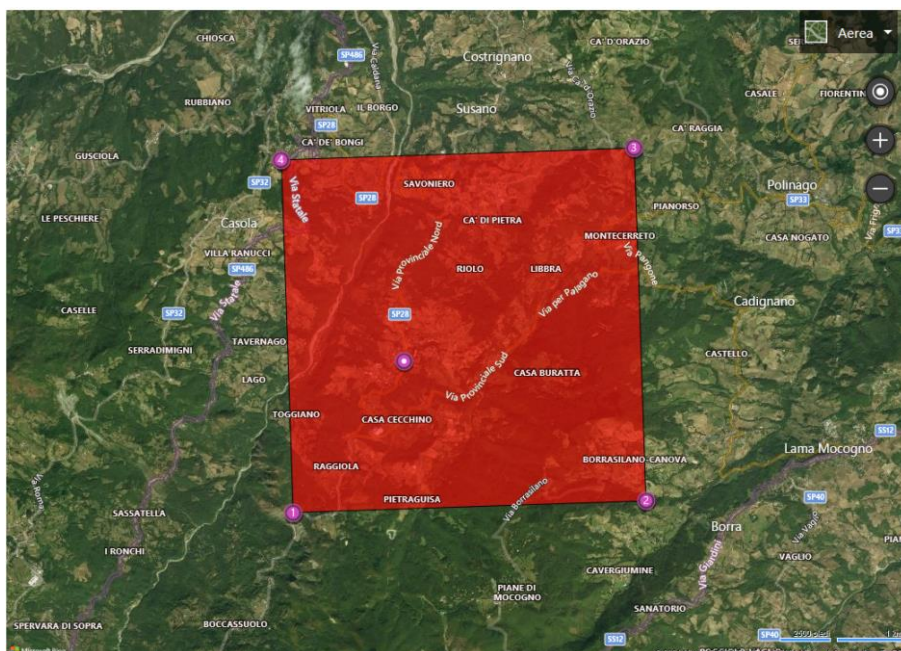
Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]  
 Classe d'uso: IV  
 Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 2  
 Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 100 [anni]

Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLO: 60 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLD: 101 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLV: 949 [anni]  
 Periodo di ritorno ( $Tr$ ) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 44,3207207 [°]  
 Longitudine (WGS84): 10,6476698 [°]  
 Latitudine (ED50): 44,3216705 [°]  
 Longitudine (ED50): 10,6486759 [°]



Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	17608	44,300230	10,626650	2958,85
2	17609	44,301900	10,696450	4391,05
3	17387	44,351870	10,694130	4934,10
4	17386	44,350200	10,624300	3717,89

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,059	2,481	0,249
	50	0,074	2,463	0,261
SLO	60	0,079	2,464	0,264
	72	0,086	2,466	0,267
SLD	101	0,098	2,465	0,272
	140	0,111	2,463	0,278
	201	0,126	2,469	0,283
	475	0,168	2,518	0,294
SLV	949	0,208	2,550	0,304
	975	0,209	2,552	0,304
SLC	1950	0,255	2,586	0,316
	2475	0,273	2,598	0,321

### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,058	2,488	0,250
	50	0,072	2,472	0,262
SLO	60	0,078	2,476	0,265
	72	0,084	2,480	0,268
SLD	101	0,096	2,475	0,274
	140	0,108	2,476	0,279
	201	0,123	2,483	0,284
	475	0,164	2,542	0,293
SLV	949	0,204	2,550	0,303
	975	0,205	2,550	0,303
SLC	1950	0,250	2,582	0,316
	2475	0,268	2,593	0,320

### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,056	2,495	0,250
	50	0,070	2,485	0,263
SLO	60	0,075	2,493	0,266
	72	0,081	2,501	0,270
SLD	101	0,093	2,486	0,275
	140	0,104	2,491	0,280
	201	0,119	2,500	0,285
	475	0,160	2,528	0,292
SLV	949	0,199	2,537	0,301
	975	0,201	2,537	0,301
SLC	1950	0,244	2,570	0,312
	2475	0,261	2,581	0,316



#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,057	2,490	0,249
	50	0,071	2,477	0,262
SLO	60	0,077	2,483	0,265
	72	0,082	2,489	0,268
SLD	101	0,094	2,479	0,274
	140	0,106	2,482	0,279
	201	0,121	2,490	0,285
	475	0,161	2,539	0,292
SLV	949	0,201	2,546	0,301
	975	0,203	2,546	0,301
SLC	1950	0,247	2,575	0,314
	2475	0,264	2,585	0,318

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,077	2,477	0,265
SLD	101	0,095	2,475	0,274
SLV	949	0,204	2,547	0,302
SLC	1950	0,250	2,579	0,315

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

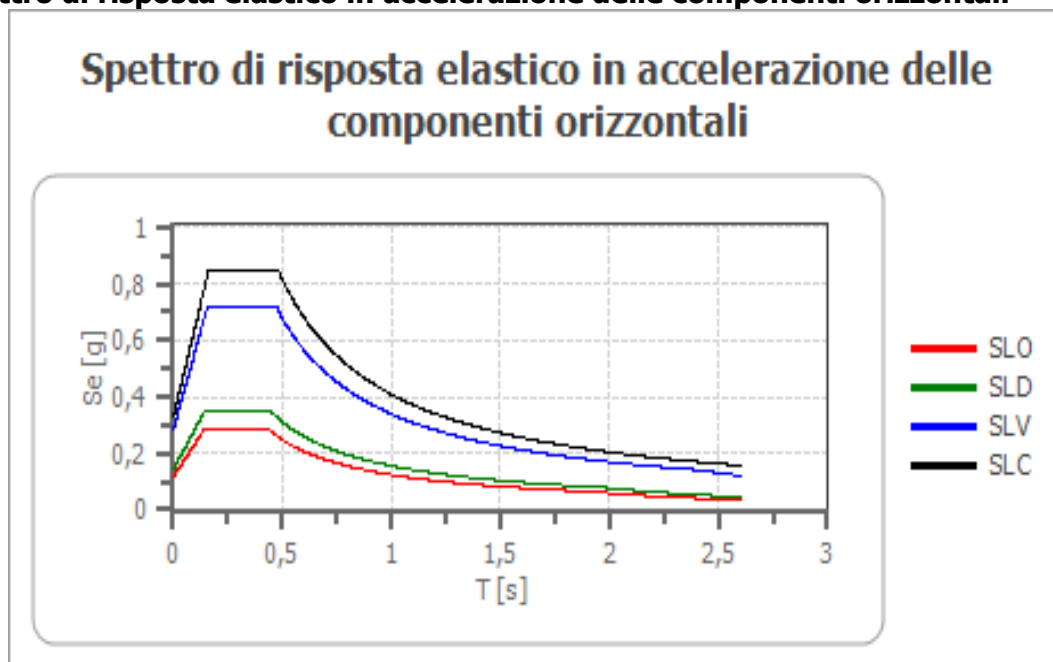
**Categoria sottosuolo: C**

**Categoria topografica: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°**

#### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,023	0,029	0,079	0,092
kv	0,012	0,014	0,040	0,046
amax [m/s²]	1,140	1,402	2,774	3,210
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

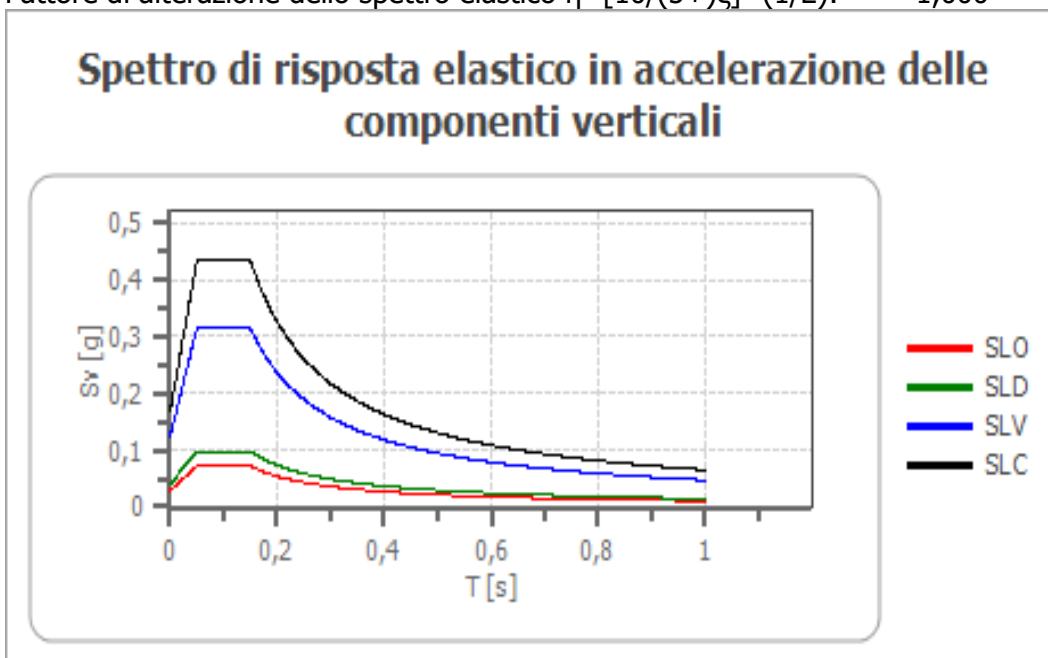
## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,077	2,477	0,265	1,500	1,630	1,000	1,500	1,000	0,144	0,432	1,910	0,116	0,288
SLD	2,0	0,095	2,475	0,274	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,147	0,441	1,981	0,143	0,354
SLV	2,0	0,204	2,547	0,302	1,390	1,560	1,000	1,390	1,000	0,157	0,472	2,414	0,283	0,720
SLC	2,0	0,250	2,579	0,315	1,310	1,540	1,000	1,310	1,000	0,162	0,485	2,600	0,327	0,844

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
 Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000



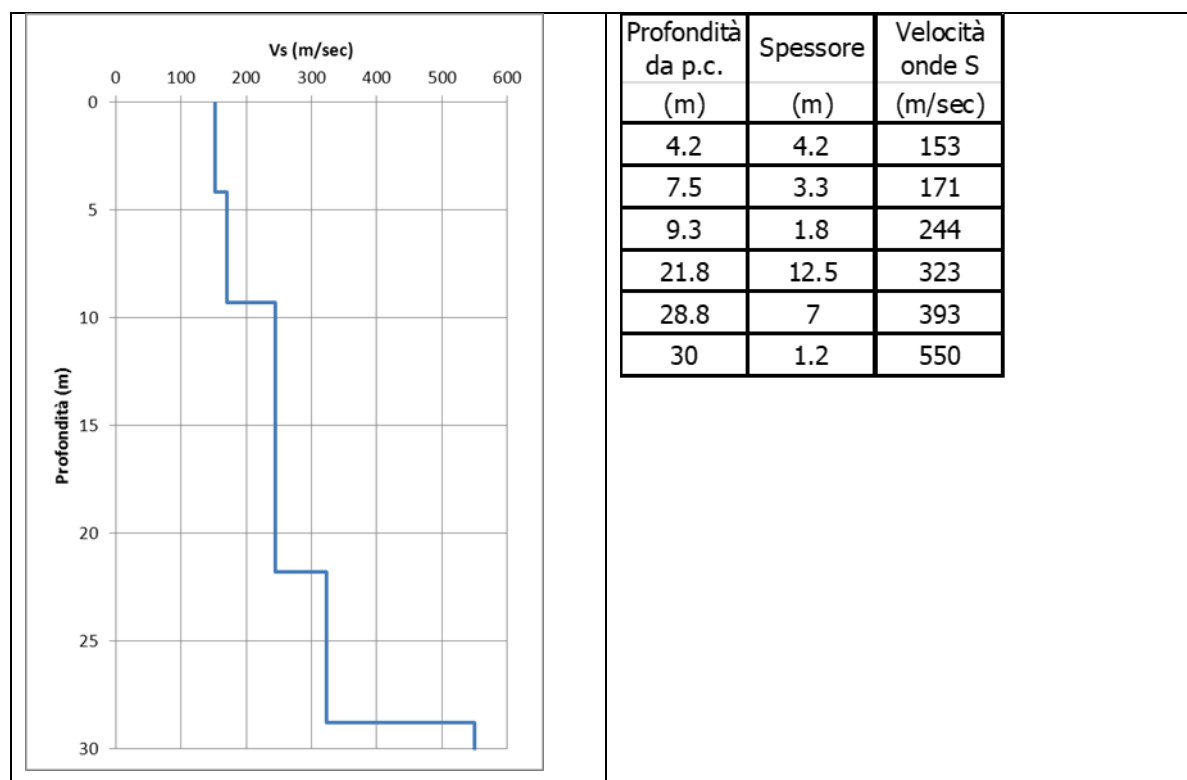
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,077	2,477	0,265	1	1,630	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,029	0,072
SLD	2,0	0,095	2,475	0,274	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,040	0,098
SLV	2,0	0,204	2,547	0,302	1	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,124	0,316
SLC	2,0	0,250	2,579	0,315	1	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,169	0,435

### 5.2.2 RISPOSTA SISMICA LOCALE SPETTRO DI RISPOSTA PER SLV

In base alle prove penetrometriche e all'indagine sismica eseguita, è stato possibile costruire un modello geologico valido per l'area in studio.

In particolare, il sottosuolo è costituito da una coltre detritica di natura limosa argillosa con trovanti per lo spessore di circa 30 m.

L'indagine geofisica realizzata non ha raggiunto il substrato rigido di riferimento (*bedrock* sismico) che secondo la normativa vigente è caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec, individuando a 30 m dal p.dc. terreni con velocità delle onde S pari a 550 m/s.

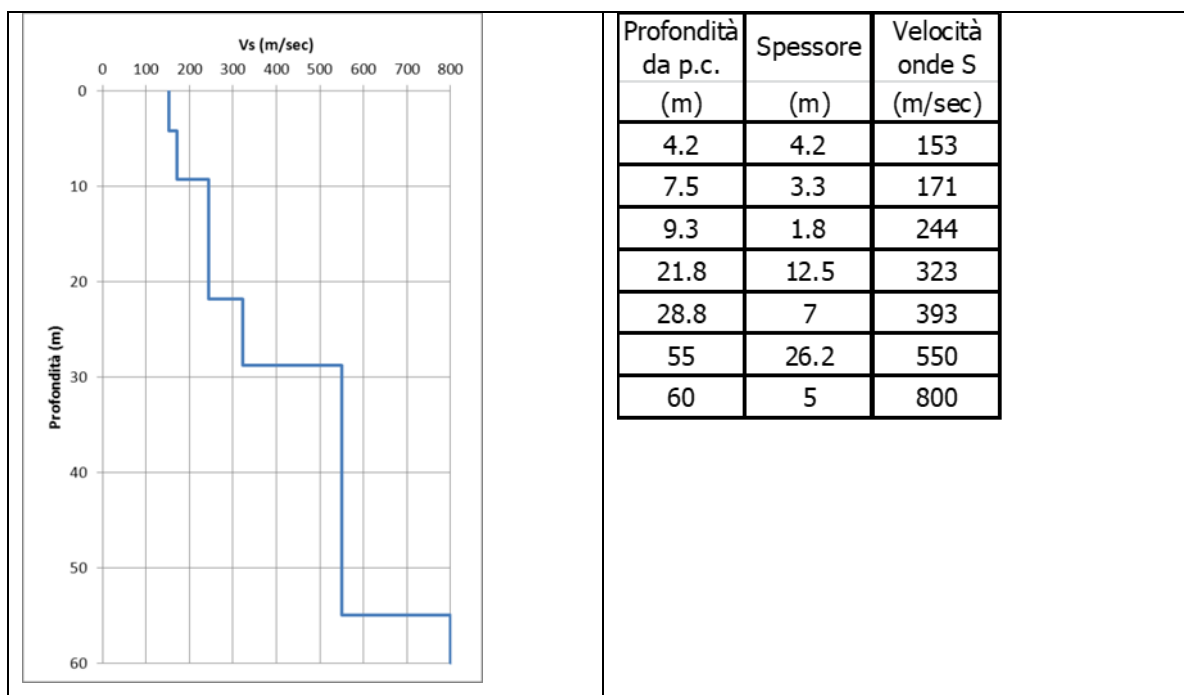


– Tabella e diagramma velocità Vs/profondità –

Il profilo di Vs è stato pertanto estrapolato in profondità fino a valori di Vs = 800 m/s, come previsto dalla normativa, mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva

sperimentale ottenuta dall'indagine geofisica eseguita sull'area in esame, ed utilizzando le indicazioni litologiche reperite da bibliografia.

L'estrapolazione dei valori di Vs in profondità ha permesso così di collocare il Bedrock sismico convenzionale alla profondità di circa 55 m dal p.d.c. secondo lo schema riportato nella figura seguente



**– Tabella e diagramma velocità Vs/profondità - Estrapolazione**

Lo Studio di Risposta Sismica Locale è stato eseguito sulla base delle indicazioni riportate negli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica con particolare riferimento alla DGR 476/2021 (e DGR integrativa n. 564/2021).

Gli accelerogrammi di riferimento per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello di approfondimento sono stati definiti utilizzando il software REXEL; nello specifico sono stati scaricati i 7 accelerogrammi relativi ad un periodo di ritorno di 949 anni. Il calcolo della Risposta Sismica Locale è stato eseguito utilizzando il software RSLIII della Geostru.

Di seguito si riporta l'elaborazione eseguita dello Studio di Risposta Sismica Locale.

## STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

### Dati generali

Palagano Via 23 Dicembre n. 74

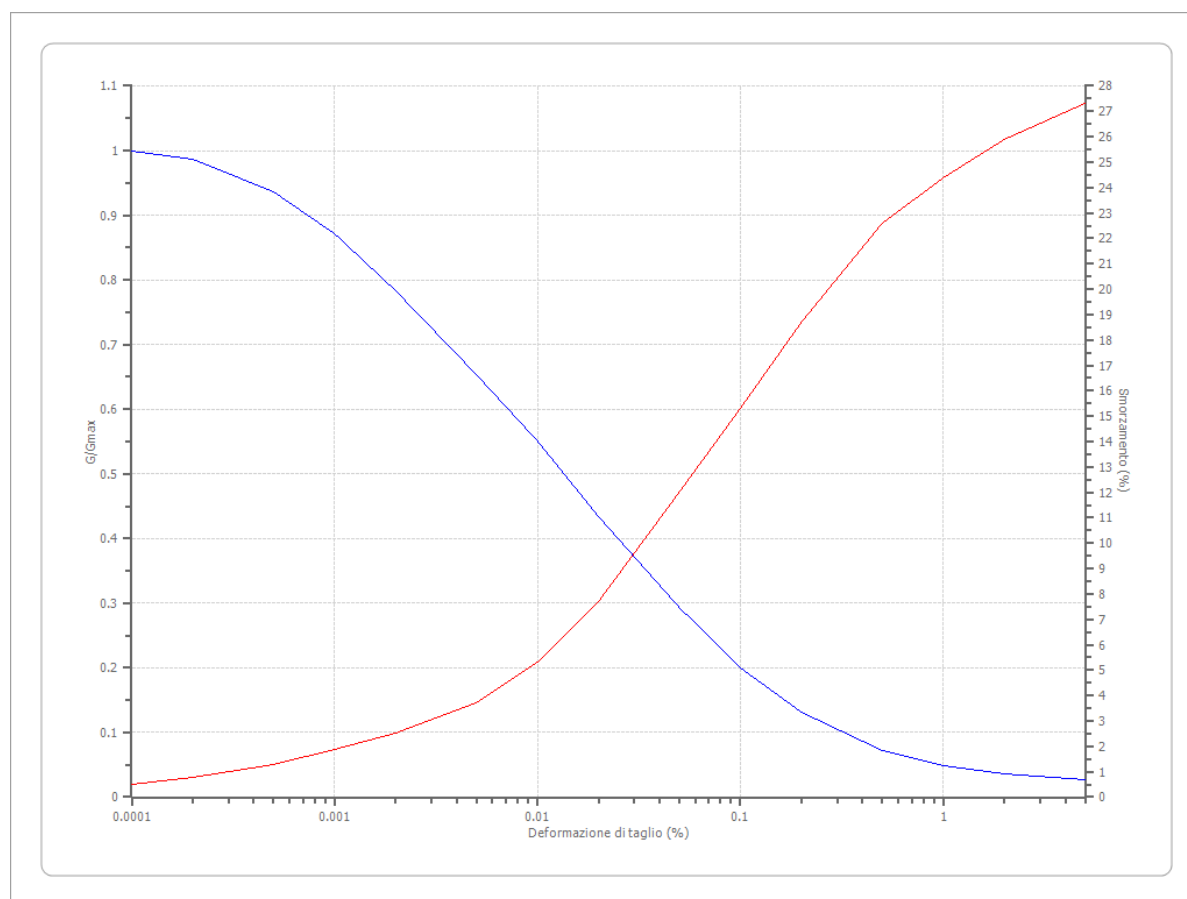
Latitudine 44.320760[°]

Longitudine 10.647817[°]

### Terreni

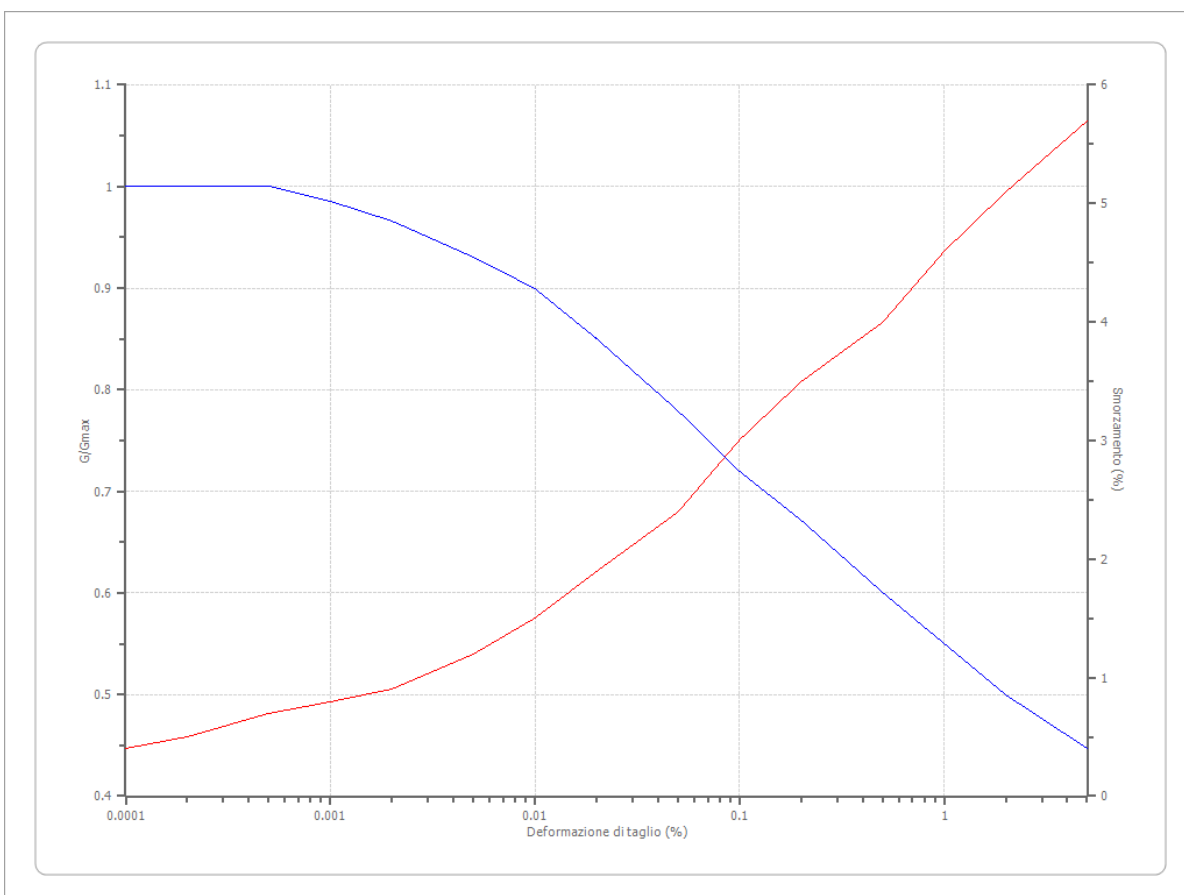
Seed et al. (1986) Gravel

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.0002	0.987	0.0002	0.800
0.0005	0.937	0.0005	1.300
0.001	0.872	0.001	1.900
0.002	0.783	0.002	2.500
0.005	0.653	0.005	3.700
0.010	0.550	0.010	5.300
0.020	0.434	0.020	7.700
0.050	0.293	0.050	12.000
0.100	0.200	0.100	15.300
0.200	0.132	0.200	18.700
0.500	0.072	0.500	22.600
1.000	0.049	1.000	24.400
2.000	0.036	2.000	25.900
5.000	0.027	5.000	27.300



## Idriss (1990) Rock

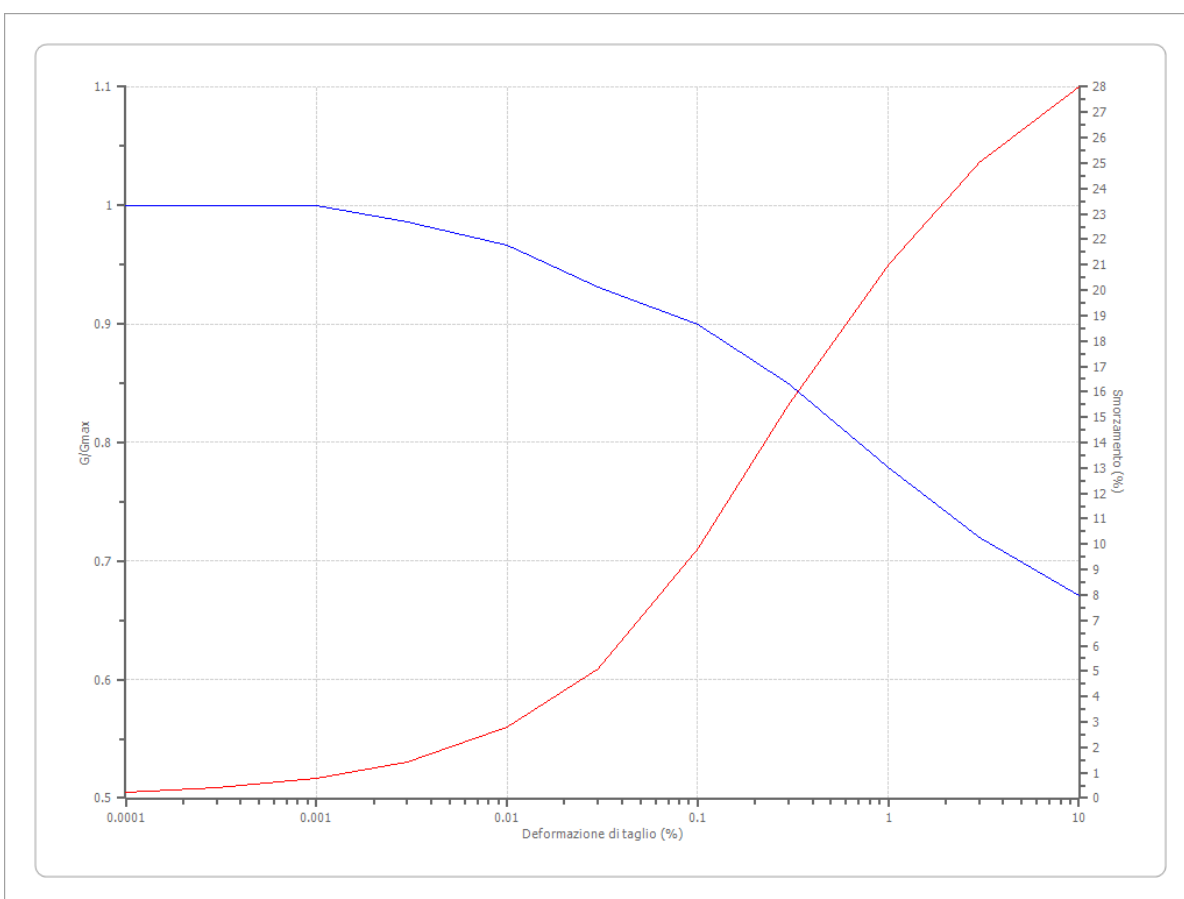
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700





## Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000



## Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	4.2	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	40.57	17.0	153.0	35.7
2	4.2	3.3	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	53.65	18.0	171.0	101.1
3	7.5	1.8	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	115.31	19.0	244.0	147.9
4	9.3	12.5	Seed et al. (1986) Gravel	202.06	19.0	323.0	283.8
5	21.8	7.0	Idriss (1990) Rock	314.88	20.0	393.0	472.5
6	28.8	26.2	Idriss (1990) Rock	647.55	21.0	550.0	817.6
7	∞	--	Smorzamento costante	1435.27	22.0	800.0	1092.7

Strato rilevamento accelerogramma: 7 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
	4.20 [m]	4.20 [m]		153.0 [m/s]		35.7 [kPa]
	3.30 [m]	7.50 [m]		171.0 [m/s]		101.1 [kPa]
	1.80 [m]	9.30 [m]		244.0 [m/s]		147.9 [kPa]
	12.50 [m]			323.0 [m/s]		283.8 [kPa]
		21.80 [m]				
	7.00 [m]			393.0 [m/s]		472.5 [kPa]
		28.80 [m]				
	26.20 [m]					817.6 [kPa]
		55.00 [m]				
				800.0 [m/s]		1092.7 [kPa]
		∞				

### Elaborazione

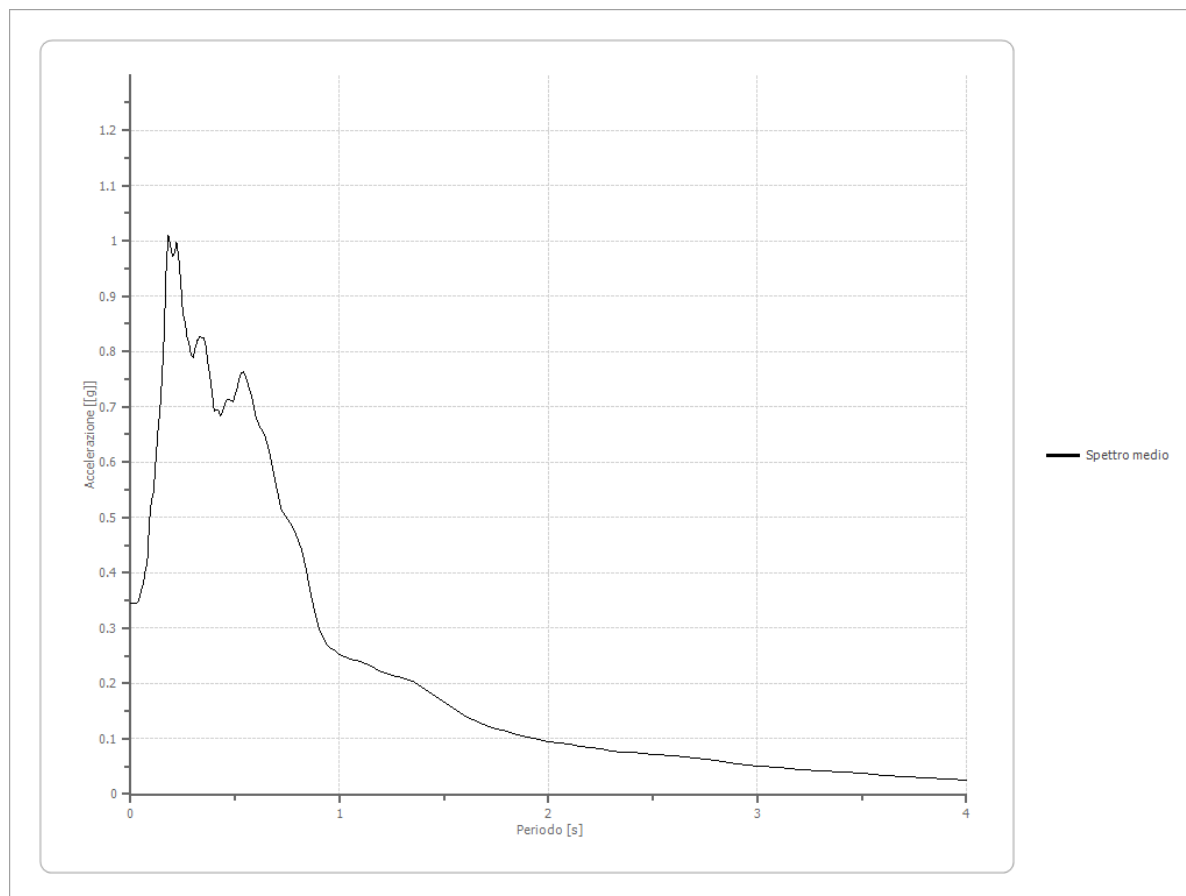
Numero di iterazioni 8  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
 Tipo di modulo elastico Shake  
 Massimo errore percentuale di convergenza 6.41 E-01

### Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.220 [s]
Tvi	1.450 [s]
Tao	0.180 [s]
Tvo	0.570 [s]
Sami	5.234 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.319 [m/s]
Samo	8.057 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.623 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.539 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.952 [-]</b>
TB	0.162 [s]
TC	0.486 [s]
TD	2.853 [s]
SA(0)	0.313 [g]
SA(TB)	0.821 [g]

### Spettro medio di risposta elastico

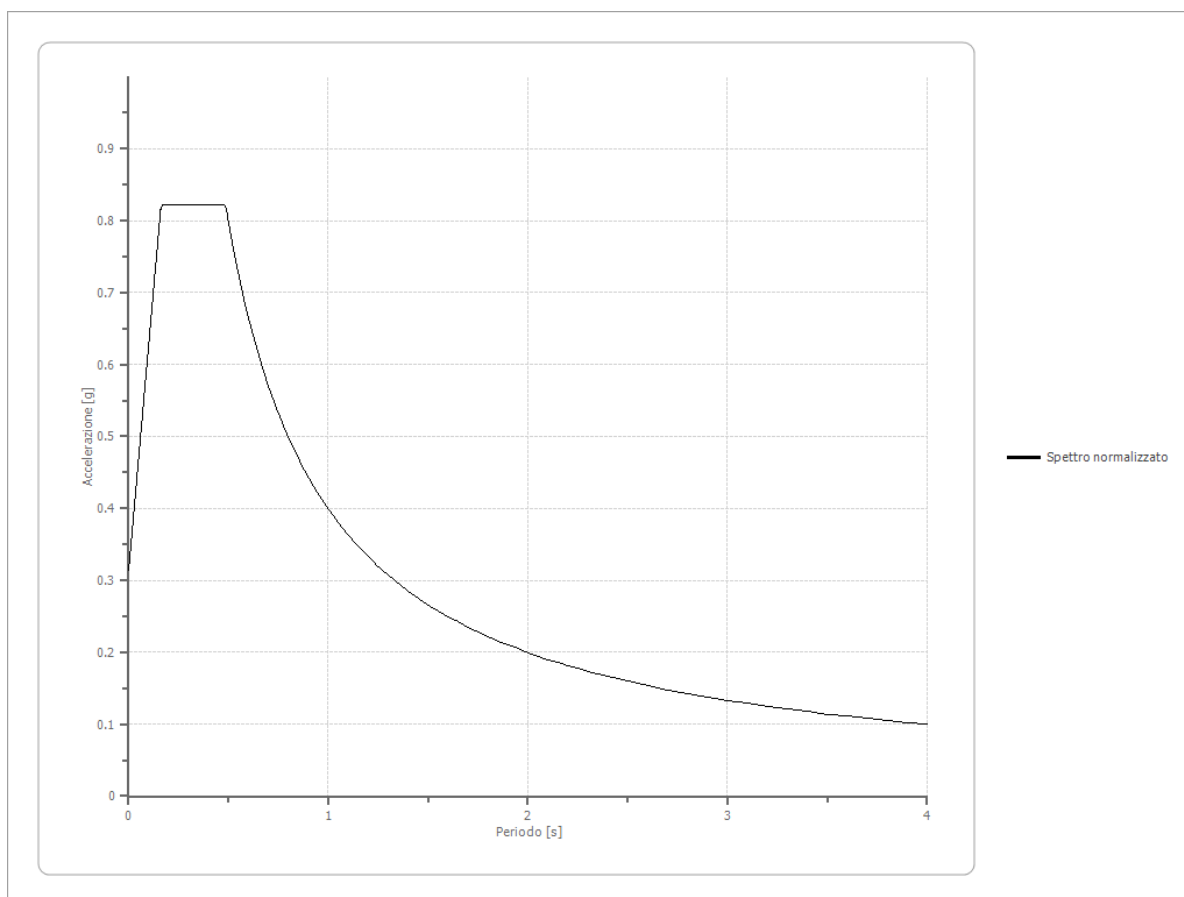
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3447	0.26	0.8532	0.52	0.7501	0.98	0.2578	2.25	0.0812
0.01	0.3447	0.27	0.8261	0.53	0.7623	1.00	0.2525	2.30	0.0788
0.02	0.3447	0.28	0.8110	0.54	0.7644	1.05	0.2447	2.35	0.0767
0.03	0.3453	0.29	0.7929	0.55	0.7544	1.10	0.2398	2.40	0.0748
0.04	0.3512	0.30	0.7886	0.56	0.7421	1.15	0.2307	2.50	0.0718
0.05	0.3691	0.31	0.8082	0.57	0.7303	1.20	0.2207	2.60	0.0685
0.06	0.3790	0.32	0.8209	0.58	0.7180	1.25	0.2152	2.70	0.0647
0.07	0.4044	0.33	0.8268	0.60	0.6792	1.30	0.2106	2.80	0.0603
0.08	0.4210	0.34	0.8246	0.62	0.6625	1.35	0.2031	2.90	0.0556
0.09	0.4959	0.35	0.8237	0.64	0.6509	1.40	0.1924	3.00	0.0512
0.10	0.5328	0.36	0.8090	0.66	0.6250	1.45	0.1792	3.10	0.0476
0.11	0.5477	0.37	0.7791	0.68	0.5894	1.50	0.1665	3.20	0.0447
0.12	0.6022	0.38	0.7544	0.70	0.5508	1.55	0.1535	3.30	0.0424
0.13	0.6533	0.39	0.7237	0.72	0.5164	1.60	0.1414	3.40	0.0400
0.14	0.6935	0.40	0.6924	0.74	0.5017	1.65	0.1323	3.50	0.0373
0.15	0.7503	0.41	0.6940	0.76	0.4926	1.70	0.1246	3.60	0.0345
0.16	0.8282	0.42	0.6934	0.78	0.4792	1.75	0.1178	3.70	0.0321
0.17	0.9510	0.43	0.6836	0.80	0.4614	1.80	0.1128	3.80	0.0299
0.18	1.0099	0.44	0.6919	0.82	0.4396	1.85	0.1080	3.90	0.0275
0.19	0.9921	0.45	0.7039	0.84	0.4052	1.90	0.1033	4.00	0.0253
0.20	0.9728	0.46	0.7123	0.86	0.3660	1.95	0.0989		
0.21	0.9780	0.47	0.7126	0.88	0.3308	2.00	0.0952		
0.22	0.9971	0.48	0.7100	0.90	0.3005	2.05	0.0922		
0.23	0.9694	0.49	0.7095	0.92	0.2834	2.10	0.0898		
0.24	0.9228	0.50	0.7215	0.94	0.2701	2.15	0.0870		
0.25	0.8693	0.51	0.7351	0.96	0.2623	2.20	0.0841		



### Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3133	0.26	0.8213	0.52	0.7677	0.98	0.4074	2.25	0.1774
0.01	0.3447	0.27	0.8213	0.53	0.7533	1.00	0.3992	2.30	0.1736
0.02	0.3760	0.28	0.8213	0.54	0.7393	1.05	0.3802	2.35	0.1699
0.03	0.4074	0.29	0.8213	0.55	0.7259	1.10	0.3629	2.40	0.1663
0.04	0.4387	0.30	0.8213	0.56	0.7129	1.15	0.3472	2.50	0.1597
0.05	0.4701	0.31	0.8213	0.57	0.7004	1.20	0.3327	2.60	0.1535
0.06	0.5014	0.32	0.8213	0.58	0.6883	1.25	0.3194	2.70	0.1479
0.07	0.5328	0.33	0.8213	0.60	0.6654	1.30	0.3071	2.80	0.1426
0.08	0.5641	0.34	0.8213	0.62	0.6439	1.35	0.2957	2.90	0.1377
0.09	0.5955	0.35	0.8213	0.64	0.6238	1.40	0.2852	3.00	0.1331
0.10	0.6268	0.36	0.8213	0.66	0.6049	1.45	0.2753	3.10	0.1288
0.11	0.6582	0.37	0.8213	0.68	0.5871	1.50	0.2662	3.20	0.1248
0.12	0.6896	0.38	0.8213	0.70	0.5703	1.55	0.2576	3.30	0.1210
0.13	0.7209	0.39	0.8213	0.72	0.5545	1.60	0.2495	3.40	0.1174
0.14	0.7523	0.40	0.8213	0.74	0.5395	1.65	0.2420	3.50	0.1141
0.15	0.7836	0.41	0.8213	0.76	0.5253	1.70	0.2348	3.60	0.1109
0.16	0.8150	0.42	0.8213	0.78	0.5118	1.75	0.2281	3.70	0.1079
0.17	0.8213	0.43	0.8213	0.80	0.4990	1.80	0.2218	3.80	0.1051
0.18	0.8213	0.44	0.8213	0.82	0.4869	1.85	0.2158	3.90	0.1024
0.19	0.8213	0.45	0.8213	0.84	0.4753	1.90	0.2101	4.00	0.0998
0.20	0.8213	0.46	0.8213	0.86	0.4642	1.95	0.2047		
0.21	0.8213	0.47	0.8213	0.88	0.4537	2.00	0.1996		
0.22	0.8213	0.48	0.8213	0.90	0.4436	2.05	0.1947		

0.23	0.8213	0.49	0.8147	0.92	0.4339	2.10	0.1901		
0.24	0.8213	0.50	0.7985	0.94	0.4247	2.15	0.1857		
0.25	0.8213	0.51	0.7828	0.96	0.4159	2.20	0.1815		

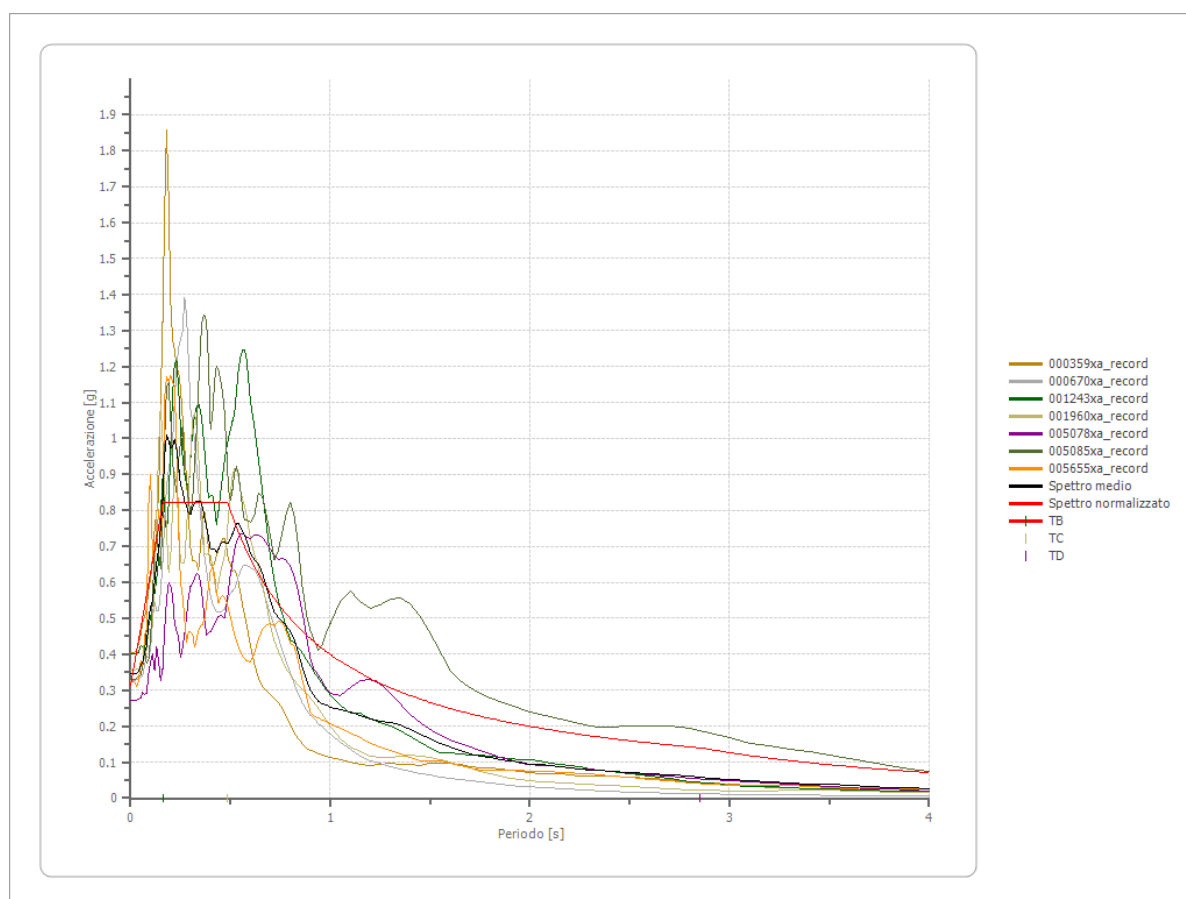


### Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.313	2.621273	--	0.162	0.486	2.853	0.313	0.821	1.536



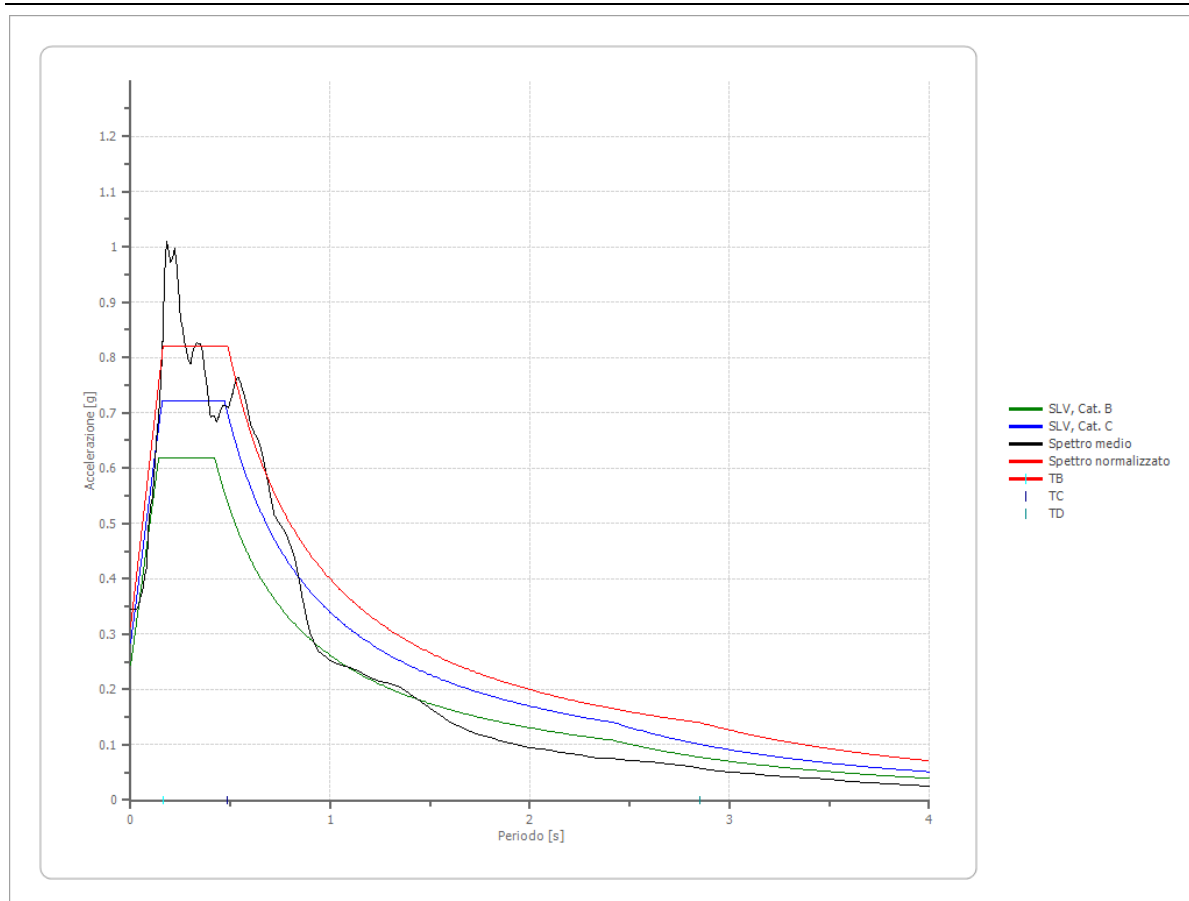
## Confronto tra gli spettri



## Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguard ia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguard ia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	60	101	949	1950	60	101	949	1950
ag [g]	0.077	0.095	0.204	0.250	0.077	0.095	0.204	0.250
Fo	2.477	2.475	2.547	2.579	2.477	2.475	2.547	2.579
Tc* [s]	0.265	0.274	0.302	0.315	0.265	0.274	0.302	0.315
Ss	1.20	1.20	1.19	1.14	1.50	1.50	1.39	1.31
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.43	1.43	1.40	1.39	1.63	1.61	1.56	1.54
TB [s]	0.127	0.130	0.141	0.146	0.144	0.147	0.157	0.161
TC [s]	0.380	0.390	0.422	0.437	0.431	0.441	0.471	0.484
TD [s]	1.908	1.980	2.416	2.600	1.908	1.980	2.416	2.600
Se(0) [g]	0.092	0.114	0.243	0.286	0.116	0.143	0.283	0.328
Se(TB) [g]	0.229	0.282	0.619	0.736	0.286	0.353	0.721	0.847



## 6. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta al fine di valutare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche del lotto di terreno su cui sorge il Municipio di Palagano (Mo), interessato dal progetto di adeguamento e miglioramento sismico del fabbricato.

Per la caratterizzazione litostratigrafica del sottosuolo sono state eseguite n. 4 prove penetrometriche dinamiche che hanno permesso la realizzazione del modello litostratigrafico e geotecnico dei terreni presenti, necessario per effettuare le verifiche geotecniche delle fondazioni dell'edificio.

Per la caratterizzazione sismica sono state effettuate n. 1 acquisizione sismica con metodo Masw che ha permesso di ricostruire l'andamento sismostratigrafico del sottosuolo ed è stata eseguita un'indagine di sismica passiva con metodo HVSR che ha permesso di definire la frequenza naturale di vibrazione del terreno.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini geognostiche e sismiche è stato eseguito lo studio di risposta sismica locale che ha permesso di definire l'azione sismica di sito.

Facendo riferimento ai dati riportati in relazione il progettista potrà effettuare le opportune verifiche del fabbricato.

Modena 22/12/2021

Il Tecnico  
Dott. Geol. Gianluca Vaccari



ALLEGATO n. 1

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE  
Diagrammi e Tabulati

# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: Amm.ne Comunale di Palagano Cantiere: Parco Comunale di Palagano Località: Palagano	
--	--

## Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 18/04/2014

Profondità prova 4,20 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	1	0,847	8,23	9,72	0,41	0,49
0,80	1	0,843	8,20	9,72	0,41	0,49
1,00	1	0,840	7,55	8,99	0,38	0,45
1,20	1	0,836	7,52	8,99	0,38	0,45
1,40	1	0,833	7,49	8,99	0,37	0,45
1,60	1	0,830	7,46	8,99	0,37	0,45
1,80	2	0,826	14,86	17,98	0,74	0,90
2,00	1	0,823	6,88	8,36	0,34	0,42
2,20	3	0,820	20,58	25,09	1,03	1,25
2,40	3	0,817	20,50	25,09	1,03	1,25
2,60	4	0,814	27,24	33,45	1,36	1,67
2,80	2	0,811	13,57	16,73	0,68	0,84
3,00	3	0,809	18,97	23,46	0,95	1,17
3,20	4	0,806	25,21	31,27	1,26	1,56
3,40	4	0,803	25,13	31,27	1,26	1,56
3,60	4	0,801	25,05	31,27	1,25	1,56
3,80	4	0,798	24,97	31,27	1,25	1,56
4,00	4	0,796	23,37	29,36	1,17	1,47
4,20	50	0,594	217,89	367,01	10,89	18,35

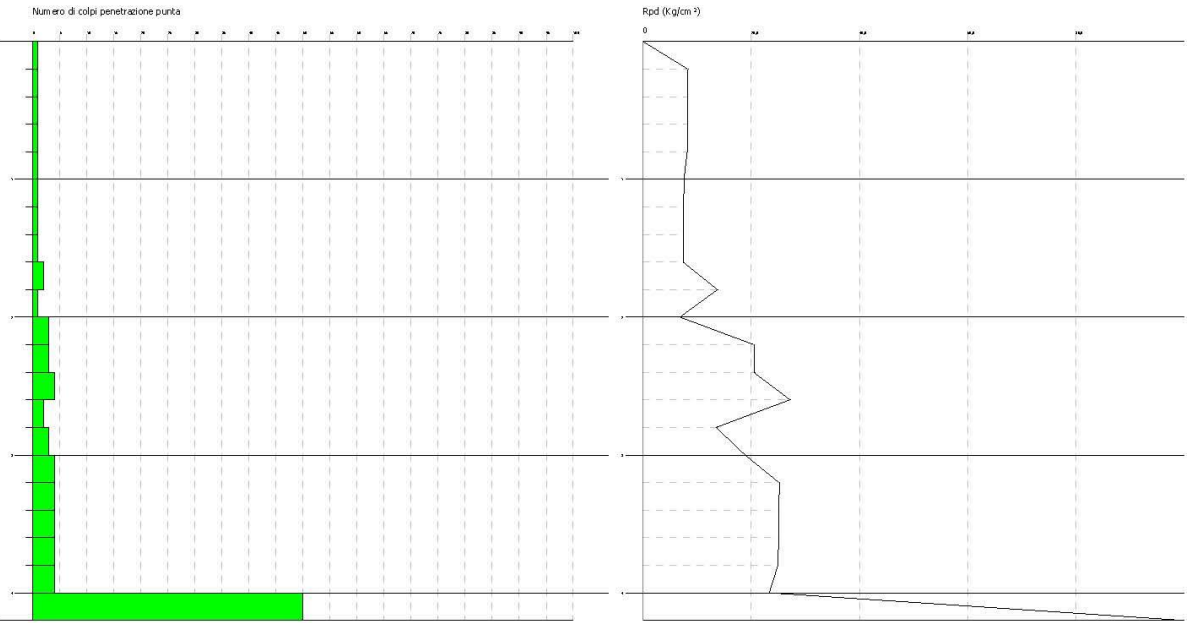


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DPH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente: Amm.ne Comunale di Palagiano  
Cantiere: Municipio Palagiano  
Località: Palagiano

Data: 18/04/2014

Scala 1:50



## PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 18/04/2014  
 Profondità prova 9,40 mt  
 Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0	0,851	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	6	0,847	49,39	58,31	2,47	2,92
0,80	7	0,843	57,37	68,02	2,87	3,40
1,00	3	0,840	22,65	26,97	1,13	1,35
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	3	0,833	22,46	26,97	1,12	1,35
1,60	1	0,830	7,46	8,99	0,37	0,45
1,80	3	0,826	22,29	26,97	1,11	1,35
2,00	2	0,823	13,77	16,73	0,69	0,84
2,20	2	0,820	13,72	16,73	0,69	0,84
2,40	3	0,817	20,50	25,09	1,03	1,25
2,60	5	0,814	34,05	41,82	1,70	2,09
2,80	4	0,811	27,14	33,45	1,36	1,67
3,00	3	0,809	18,97	23,46	0,95	1,17
3,20	4	0,806	25,21	31,27	1,26	1,56
3,40	4	0,803	25,13	31,27	1,26	1,56
3,60	3	0,801	18,78	23,46	0,94	1,17
3,80	4	0,798	24,97	31,27	1,25	1,56
4,00	4	0,796	23,37	29,36	1,17	1,47
4,20	4	0,794	23,30	29,36	1,17	1,47
4,40	4	0,791	23,24	29,36	1,16	1,47
4,60	4	0,789	23,17	29,36	1,16	1,47
4,80	5	0,787	28,89	36,70	1,44	1,84
5,00	5	0,785	27,15	34,59	1,36	1,73
5,20	4	0,783	21,66	27,67	1,08	1,38
5,40	4	0,781	21,61	27,67	1,08	1,38
5,60	4	0,779	21,56	27,67	1,08	1,38
5,80	4	0,777	21,51	27,67	1,08	1,38
6,00	4	0,775	20,29	26,16	1,01	1,31
6,20	3	0,774	15,18	19,62	0,76	0,98
6,40	4	0,772	20,20	26,16	1,01	1,31
6,60	3	0,770	15,11	19,62	0,76	0,98
6,80	3	0,769	15,08	19,62	0,75	0,98
7,00	3	0,767	14,27	18,61	0,71	0,93
7,20	12	0,766	56,98	74,43	2,85	3,72
7,40	7	0,764	33,18	43,42	1,66	2,17
7,60	12	0,763	56,77	74,43	2,84	3,72
7,80	10	0,761	47,22	62,02	2,36	3,10
8,00	6	0,760	26,89	35,38	1,34	1,77
8,20	7	0,759	31,31	41,28	1,57	2,06
8,40	12	0,757	53,59	70,77	2,68	3,54
8,60	10	0,756	44,58	58,97	2,23	2,95
8,80	10	0,755	44,51	58,97	2,23	2,95
9,00	12	0,753	50,83	67,45	2,54	3,37
9,20	16	0,702	63,16	89,94	3,16	4,50
9,40	50	0,551	154,89	281,06	7,74	14,05

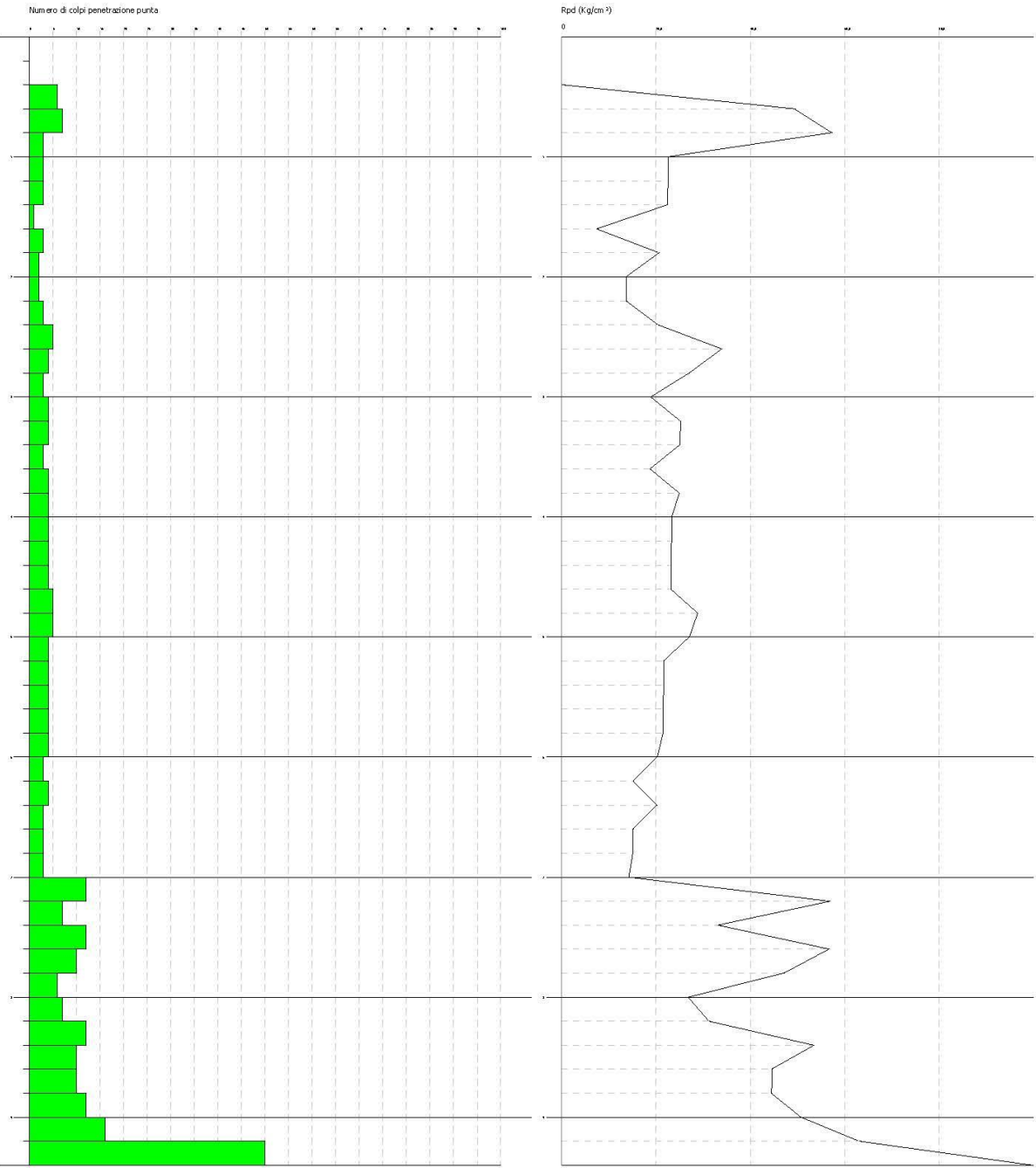
Dott. Geol. Gianluca Vaccari  
Strada Caviole 12/C  
41126 Portile - Modena

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° 2  
Strumento utilizzato... DPH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente: Amm.ne Comunale di Palagiano  
Cantiere: Municipio Palagiano  
Località: Palagiano

Data: 18/04/2014

Scala 1:50



## PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 18/04/2014  
 Profondità prova 9,00 mt  
 Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

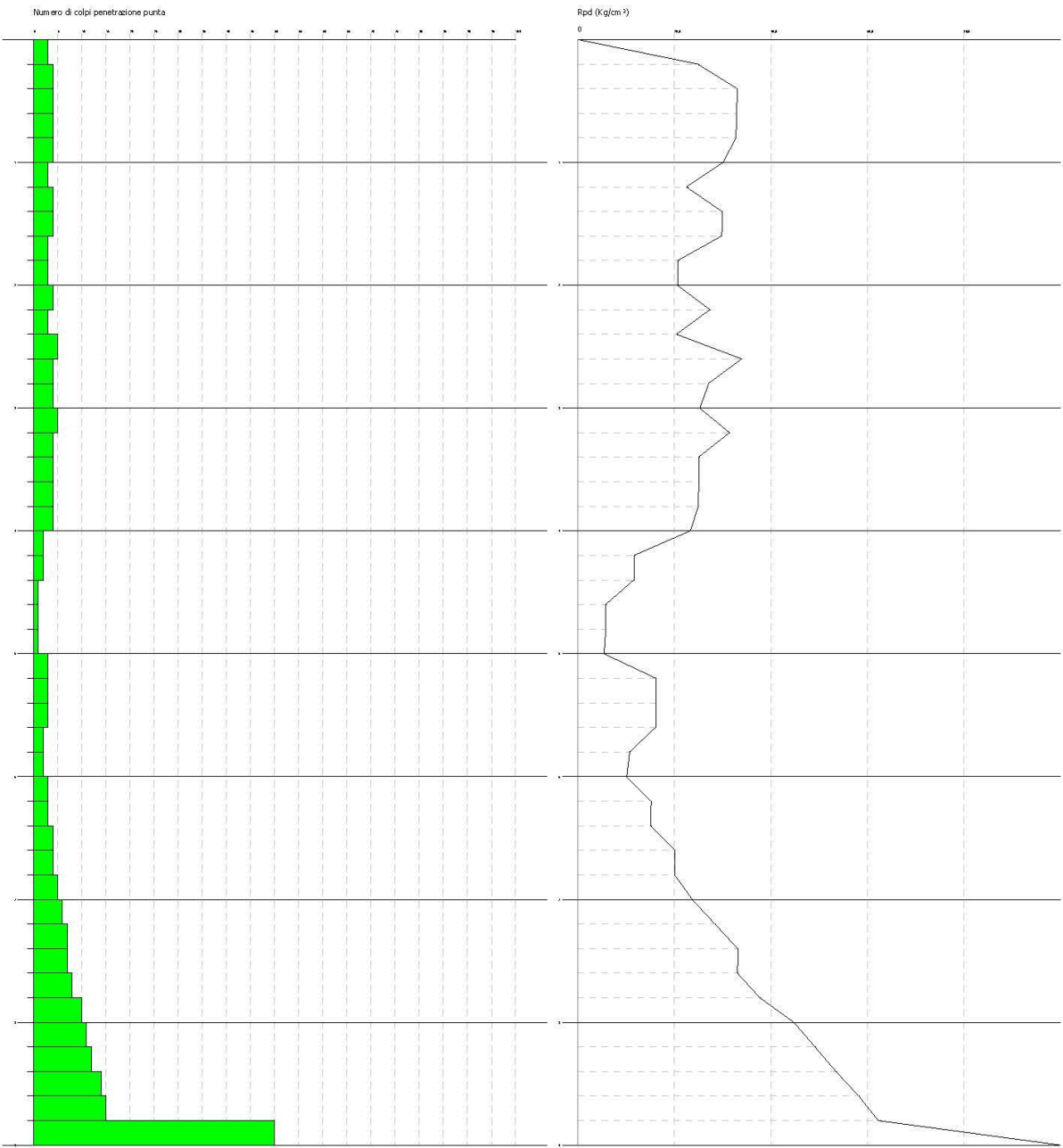
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	3	0,855	24,92	29,15	1,25	1,46
0,40	4	0,851	33,07	38,87	1,65	1,94
0,60	4	0,847	32,92	38,87	1,65	1,94
0,80	4	0,843	32,78	38,87	1,64	1,94
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	4	0,833	29,95	35,96	1,50	1,80
1,60	4	0,830	29,83	35,96	1,49	1,80
1,80	3	0,826	22,29	26,97	1,11	1,35
2,00	3	0,823	20,65	25,09	1,03	1,25
2,20	4	0,820	27,44	33,45	1,37	1,67
2,40	3	0,817	20,50	25,09	1,03	1,25
2,60	5	0,814	34,05	41,82	1,70	2,09
2,80	4	0,811	27,14	33,45	1,36	1,67
3,00	4	0,809	25,29	31,27	1,26	1,56
3,20	5	0,806	31,51	39,09	1,58	1,95
3,40	4	0,803	25,13	31,27	1,26	1,56
3,60	4	0,801	25,05	31,27	1,25	1,56
3,80	4	0,798	24,97	31,27	1,25	1,56
4,00	4	0,796	23,37	29,36	1,17	1,47
4,20	2	0,794	11,65	14,68	0,58	0,73
4,40	2	0,791	11,62	14,68	0,58	0,73
4,60	1	0,789	5,79	7,34	0,29	0,37
4,80	1	0,787	5,78	7,34	0,29	0,37
5,00	1	0,785	5,43	6,92	0,27	0,35
5,20	3	0,783	16,25	20,75	0,81	1,04
5,40	3	0,781	16,21	20,75	0,81	1,04
5,60	3	0,779	16,17	20,75	0,81	1,04
5,80	2	0,777	10,75	13,83	0,54	0,69
6,00	2	0,775	10,14	13,08	0,51	0,65
6,20	3	0,774	15,18	19,62	0,76	0,98
6,40	3	0,772	15,15	19,62	0,76	0,98
6,60	4	0,770	20,15	26,16	1,01	1,31
6,80	4	0,769	20,11	26,16	1,01	1,31
7,00	5	0,767	23,79	31,01	1,19	1,55
7,20	6	0,766	28,49	37,21	1,42	1,86
7,40	7	0,764	33,18	43,42	1,66	2,17
7,60	7	0,763	33,11	43,42	1,66	2,17
7,80	8	0,761	37,77	49,62	1,89	2,48
8,00	10	0,760	44,82	58,97	2,24	2,95
8,20	11	0,759	49,21	64,87	2,46	3,24
8,40	12	0,757	53,59	70,77	2,68	3,54
8,60	14	0,706	58,29	82,56	2,91	4,13
8,80	15	0,705	62,34	88,46	3,12	4,42
9,00	50	0,553	155,56	281,06	7,78	14,05

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° 3  
Strumento utilizzato... DPH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente: Amm.ne Comunale di Palagiano  
Cantiere: Municipio Palagiano  
Località: Palagiano

Data: 18/04/2014

Scala 1:50



## PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 18/04/2014  
 Profondità prova 10,60 mt  
 Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	2	0,851	16,54	19,44	0,83	0,97
0,60	2	0,847	16,46	19,44	0,82	0,97
0,80	2	0,843	16,39	19,44	0,82	0,97
1,00	1	0,840	7,55	8,99	0,38	0,45
1,20	2	0,836	15,04	17,98	0,75	0,90
1,40	2	0,833	14,97	17,98	0,75	0,90
1,60	1	0,830	7,46	8,99	0,37	0,45
1,80	2	0,826	14,86	17,98	0,74	0,90
2,00	2	0,823	13,77	16,73	0,69	0,84
2,20	3	0,820	20,58	25,09	1,03	1,25
2,40	3	0,817	20,50	25,09	1,03	1,25
2,60	1	0,814	6,81	8,36	0,34	0,42
2,80	2	0,811	13,57	16,73	0,68	0,84
3,00	3	0,809	18,97	23,46	0,95	1,17
3,20	9	0,806	56,72	70,37	2,84	3,52
3,40	4	0,803	25,13	31,27	1,26	1,56
3,60	7	0,801	43,83	54,73	2,19	2,74
3,80	5	0,798	31,21	39,09	1,56	1,95
4,00	4	0,796	23,37	29,36	1,17	1,47
4,20	4	0,794	23,30	29,36	1,17	1,47
4,40	3	0,791	17,43	22,02	0,87	1,10
4,60	8	0,789	46,35	58,72	2,32	2,94
4,80	15	0,737	81,16	110,10	4,06	5,51
5,00	8	0,785	43,44	55,34	2,17	2,77
5,20	5	0,783	27,08	34,59	1,35	1,73
5,40	6	0,781	32,42	41,50	1,62	2,08
5,60	8	0,779	43,12	55,34	2,16	2,77
5,80	7	0,777	37,64	48,42	1,88	2,42
6,00	6	0,775	30,43	39,24	1,52	1,96
6,20	8	0,774	40,48	52,32	2,02	2,62
6,40	7	0,772	35,34	45,78	1,77	2,29
6,60	11	0,770	55,42	71,94	2,77	3,60
6,80	8	0,769	40,22	52,32	2,01	2,62
7,00	9	0,767	42,82	55,82	2,14	2,79
7,20	8	0,766	37,99	49,62	1,90	2,48
7,40	8	0,764	37,92	49,62	1,90	2,48
7,60	10	0,763	47,30	62,02	2,37	3,10
7,80	11	0,761	51,94	68,22	2,60	3,41
8,00	10	0,760	44,82	58,97	2,24	2,95
8,20	12	0,759	53,68	70,77	2,68	3,54
8,40	12	0,757	53,59	70,77	2,68	3,54
8,60	14	0,706	58,29	82,56	2,91	4,13
8,80	14	0,705	58,18	82,56	2,91	4,13
9,00	14	0,703	55,36	78,70	2,77	3,93
9,20	18	0,702	71,06	101,18	3,55	5,06
9,40	18	0,701	70,94	101,18	3,55	5,06



9,60	20	0,700	78,69	112,42	3,93	5,62
9,80	19	0,699	74,64	106,80	3,73	5,34
10,00	21	0,648	73,04	112,76	3,65	5,64
10,20	21	0,647	72,91	112,76	3,65	5,64
10,40	28	0,646	97,05	150,35	4,85	7,52
10,60	33	0,594	105,33	177,20	5,27	8,86

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.4  
Strumento utilizzato... DPH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente: Amm.ne Comunale di Palagiano  
Cantiere: Municipio Palagiano  
Località: Palagiano

Data: 18/04/2014

Scala 1:50

