# Comune di Medesano
## Provincia di Parma

*Committente*

**Comune di Medesano**
Piazza Marconi, 6 - 43014 Medesano (PR)

*Oggetto*

**INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO E MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA MATERNA DI SANT'ANDREA BAGNI (PR) - CUP: H23B24000010004**



| | | |
|---|---|---|
| *ELABORATO*<br>**S.4.1** | *SERIE ELABORATI*<br>PROGETTO ESECUTIVO | *DATI GENERALI*<br>*file*<br>S.04.1 - RELAZIONE GEOLOGICA.pdf<br>*luogo e data*<br>Parma, 16 luglio 2024<br>*collaboratori*<br>Ing. Letizia Villa<br>*timbro e firma*<br>**IL PROGETTISTA**<br>Ing. Alessandro Zaccarini |
| *SCALA*<br>-- | *TITOLO ELABORATO*<br>**Relazioni specialistiche sui risultati sperimentali**<br>Relazione di caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica del sito (Geol. F. Bussetti) | |

*REVISIONI*

| | | |
|---|---|---|
| 1 | __/__/____ | |
| 2 | __/__/____ | |
| 3 | __/__/____ | |
| 4 | __/__/____ | |


Ing. Alessandro Zaccarini
ingegnere civile
Uffici Via Martiri Liberazione 36 - 43126 Parma • Sede Via Tiziano Vecellio 12 - 43124 Parma
Tel 0521 983977 • Cell 340 7007607 • email info@alessandrozaccarini.com • PEC alessandro.zaccarini@ingpec.eu
Albo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma n. 1758A • C.F. ZCC LSN 72T11 G337D • P.IVA 02633040346

*COMUNE DI MEDESANO*
*(Provincia di Parma)*
*Regione Emilia-Romagna*

# *RELAZIONE GEOLOGICA PER VERIFICA VULNERABILITÀ SISMICA DELLA SCUOLA MATERNA DI SANT'ANDREA BAGNI*

*Committente*

**Comune di Medesano**
**Piazza Guglielmo Marconi 6**
**43014 Medesano (PR)**

*Tecnico:*
**Dr. Geol. Fabio Bussetti**
**Via G.Guareschi 8,**
**43123 Parma (PR)**
**Ordine Geologi Emilia Romagna**
**Sez. A, N. 1262**

*Ubicazione:*
**Scuola Materna di Sant'Andrea Bagni**
**Via A. Valenti 2**
**43048 Sant'Andrea Bagni (PR) – Frazione di Medesano**
**Coordinate wgs84 (44.724775N, 10.090481E)**

Data, 25 Giugno 2024

Il Geologo



IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: https://idrobussetti.simply.site/, e-mail: geologobussetti@gmail.com

INDICE

1. *Normative di Riferimento ed inquadramento Geografico.….pag.3*
2. *Vincoli……pag.4*
3. *Inquadramento geologico…… ……..pag.5*
4. *Inquadramento geomorfologico……..pag.8*
5. *Inquadramento idrogeologico……..pag.10*
6. *Inquadramento climatico……..pag.11*
7. *Conclusioni……pag.12*

# 1.Normative di riferimento ed inquadramento geografico.

## Norme di riferimento.

- Norme Tecnico Costruttive 2018 – NTC2018
- OPCM 3274
- L.R. Emilia-Romagna 30 Ottobre 2018 n.19
- PUG Comune di Medesano
- PSC Comune di Medesano
- Testo Unico Ambiente 152/06.

## Inquadramento geografico.

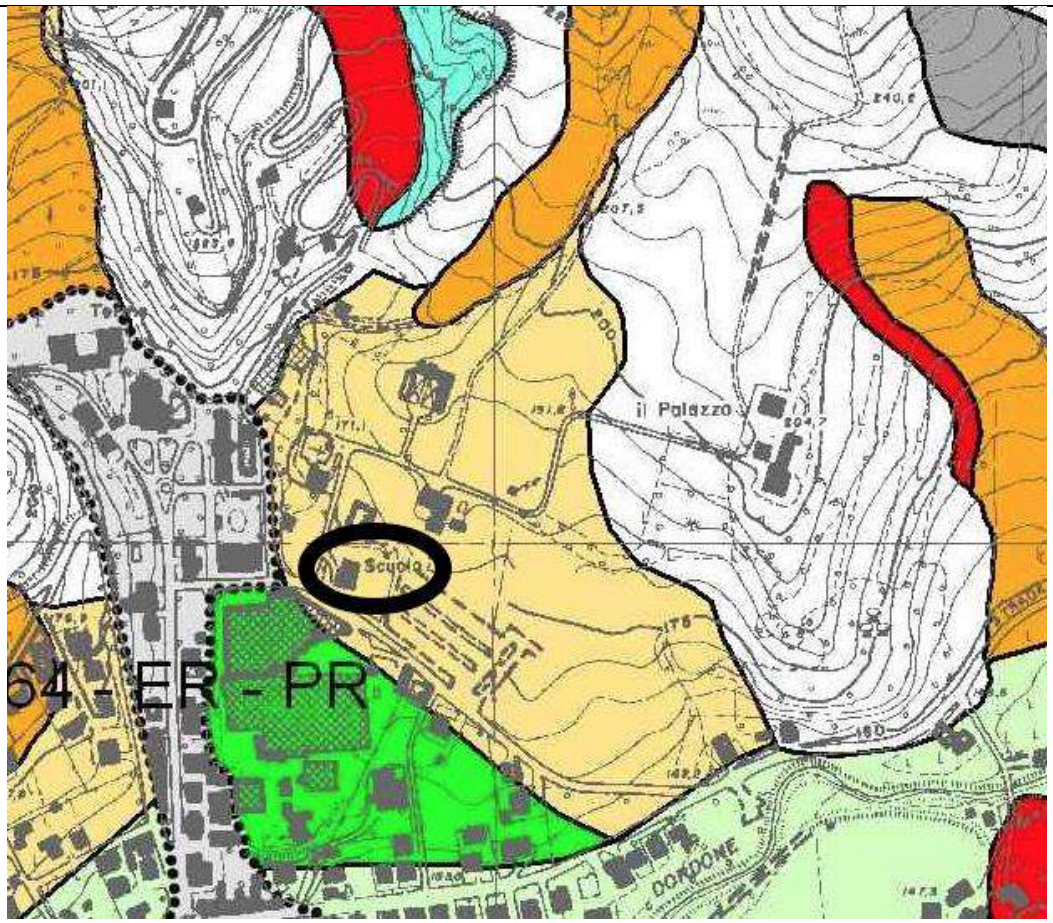
E' stata affidata da parte del Comune di Medesano al sottoscritto, Fabio Bussetti, Geologo Libero Professionista, iscritto all'albo regionale della Regione Emilia Romagna, sezione A, n.1262, la compilazione della relazione geologica inerente la vulnerabilità sismica della Scuola Materna di Sant'Andrea Bagni. L'edificio oggetto di indagine si trova in Via A. Valenti 2, nella frazione di Sant'Andrea Bagni. Le coordinate wgs84 sono latitudine nord, 44.724775N, longitudine est, 10.090481E, alla quota altimetrica di 178 metri sul livello del mare. I riferimenti catastali sono Medesano, F082, Foglio 53, Particella 268.



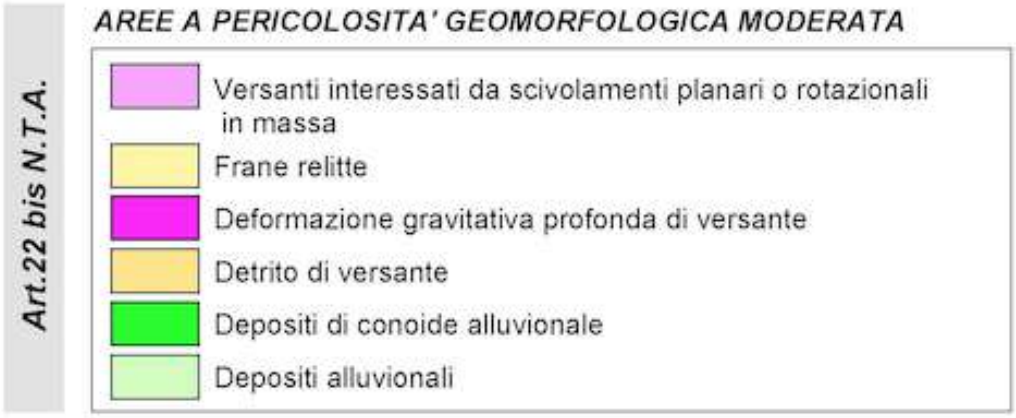

Figura 1. Ubicazione dell'area oggetto di studio.

IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: https://idrobussetti.simply.site/, e-mail: geologobussetti@gmail.com

## 2.Vincoli.




**LEGENDA**




La scuola si trova ubicata in una zona segnalata a pericolosità geomorfologica moderata, le cui prescrizioni fanno riferimento all'articolo 22 bis delle norme tecnico attuative della Provincia di Parma.

## 3.Inquadramento geologico.

Nell'Appennino Settentrionale, in generale discordanza stratigrafica su gran parte delle unità liguridi è presente una successione marina paleogenica-neogenica, costituente numerosi bacini di varia forma e dimensione, definita Successione Epiligure.

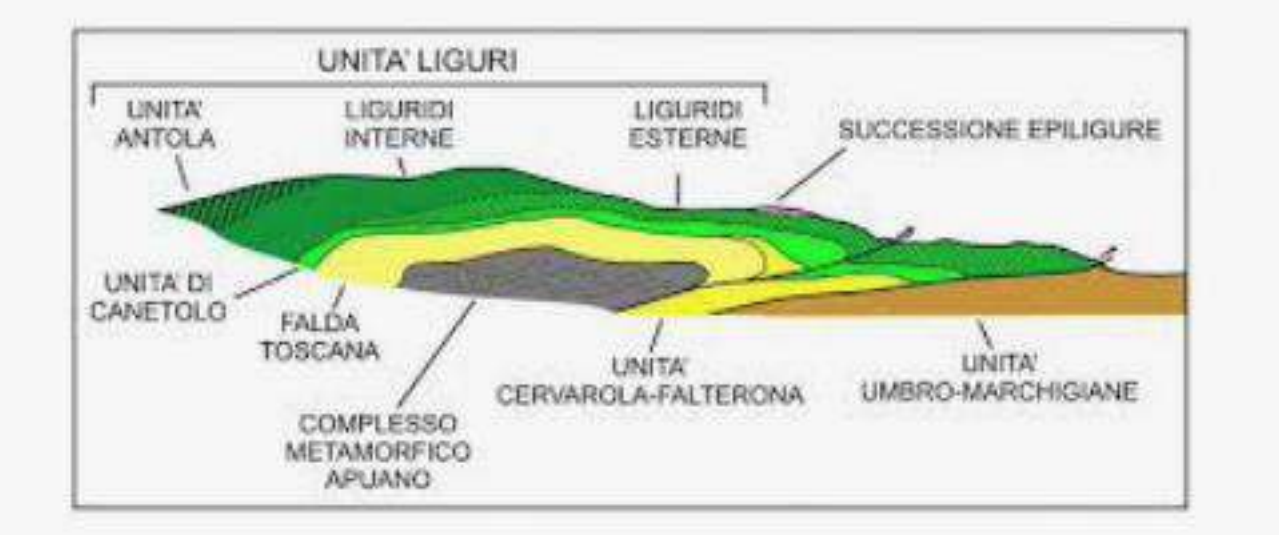



Figura 2. Schema strutturale Appennino Settentrionale.

La Formazione di Antognola (Oligocene superiore -Miocene inferiore) segue in discordanza la formazione di Ranzano, come conseguenza di un primo evento appenninico. L'Antognola rappresenta l'equivalente sedimentario della sedimentazione del Macigno sull'avanfossa, quindi rappresenta la prima unità epiligure corrispondente alla storia appenninica in senso stretto.

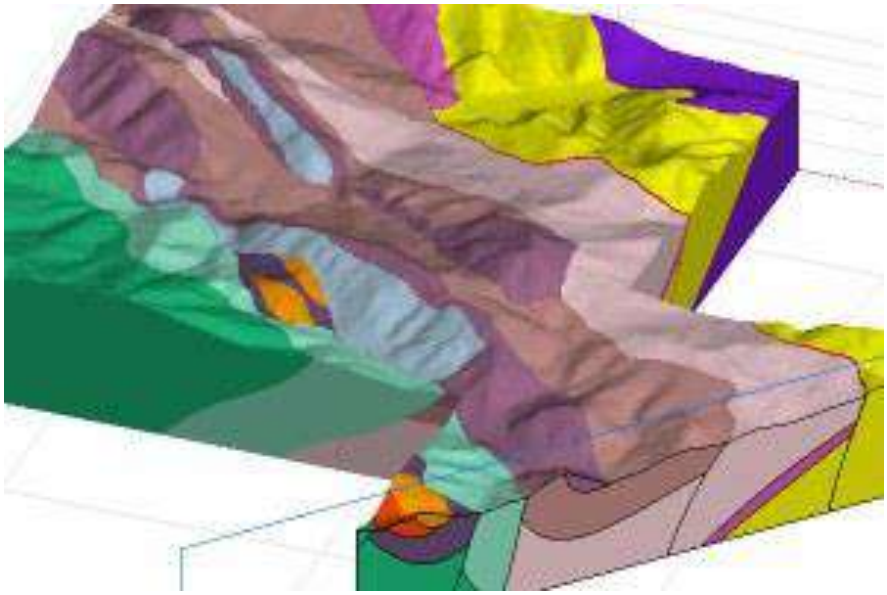


Figura 3. Struttura di Salsomaggiore Terme in 3D.

Il modello prodotto rappresenta in maniera tridimensionale il settore SE della ben nota struttura di Salsomaggiore, cui fa parte l'area di Sant'Andrea Bagni, affiorante in finestra tettonica al margine dell'Appennino Parmense nei pressi dell'omonima località.

Il modello geologico 3D mostra in maniera evidente i rapporti di sovrapposizione tettonica e/o stratigrafica tra le unità affioranti nell'area e appartenenti ai diversi domini paleogeografici: le unità del Dominio Ligure, con le unità di copertura della Successione Epiligure, in sovrascorrimento sulle unità del Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo che formano l'anticlinale della Struttura di Salsomaggiore.

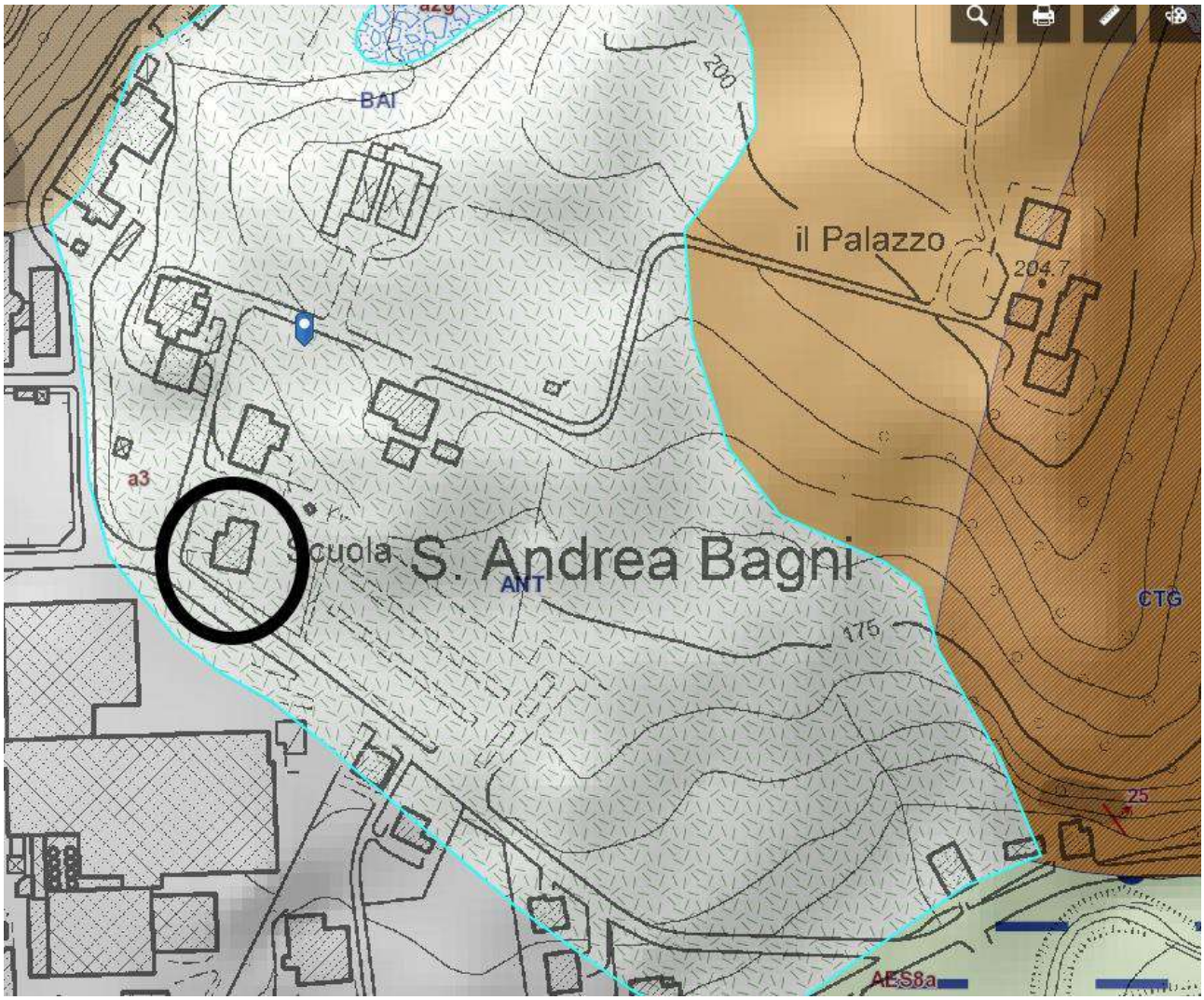



**Figura 4. Ubicazione della scuola.**

La scuola poggia su a3, che rappresenta un deposito di versante, di genesi incerta. Non si esclude che esso sia realmente attribuibile a una frana , tuttavia mancano, almeno in parte, i caratteri morfologici tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato l'accumulo e la sua attribuzione a altre categorie ( oltre a depositi di frana anche, eolici, glaciali o periglaciali e soprattutto eluvio-

colluviali). Generalmente l'accumulo è costituito da materiale prevalentemente fine, pelitico e/o sabbioso con inclusi lapidei più o meno abbondanti.

Al di sotto abbiamo ANT, marne d'Antognola, costituita da Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici.

Verso sud abbiamo I4, costituita da Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, soggetti ad evoluzione dovuta alla dinamica torrentizia.

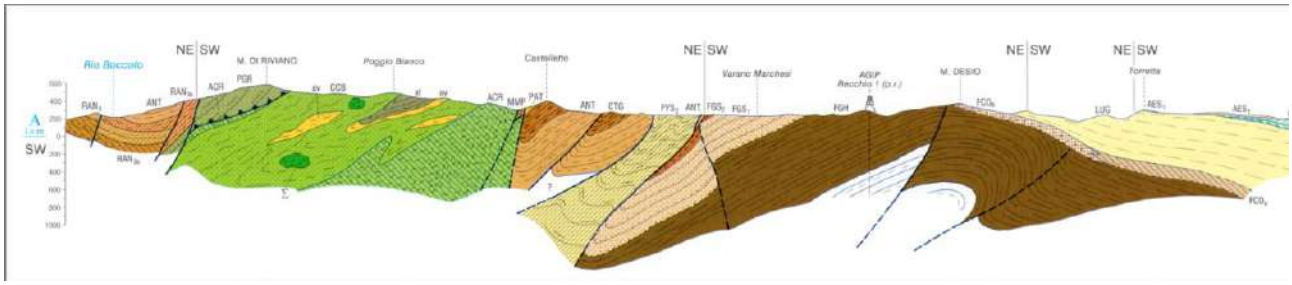



**Figura 5. Sezione geologica struttura di Salsomaggiore.**

Risulta evidente dalla sezione geologica che passa da NE a SW nelle vicinanze di Sant'Andrea Bagni, l'evidenza della struttura ad Anticlinale di Salsomaggiore Terme, motivo per cui la risalita delle acque, presenti con l'interazione delle litologie presenti, acque termali.

## 4.Inquadramento geomorfologico.

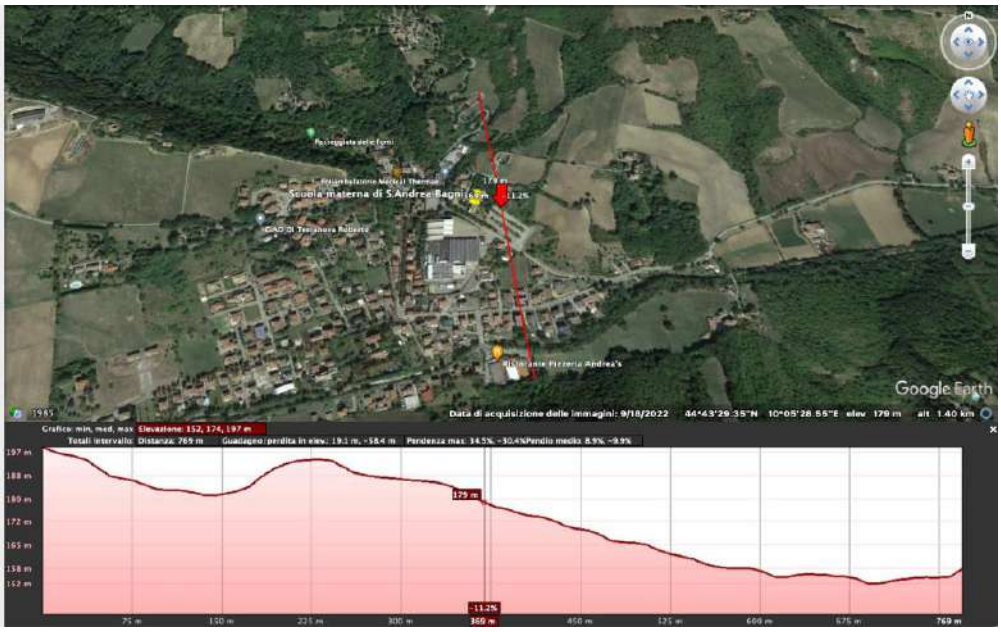



Figura 6. Profilo N-S

Pur con qualche contropendenza, il profilo topografico N-S dell'area, presenta un versante abbastanza regolare, più favorevole a soliflussi che a movimenti gravitativi veri e propri.

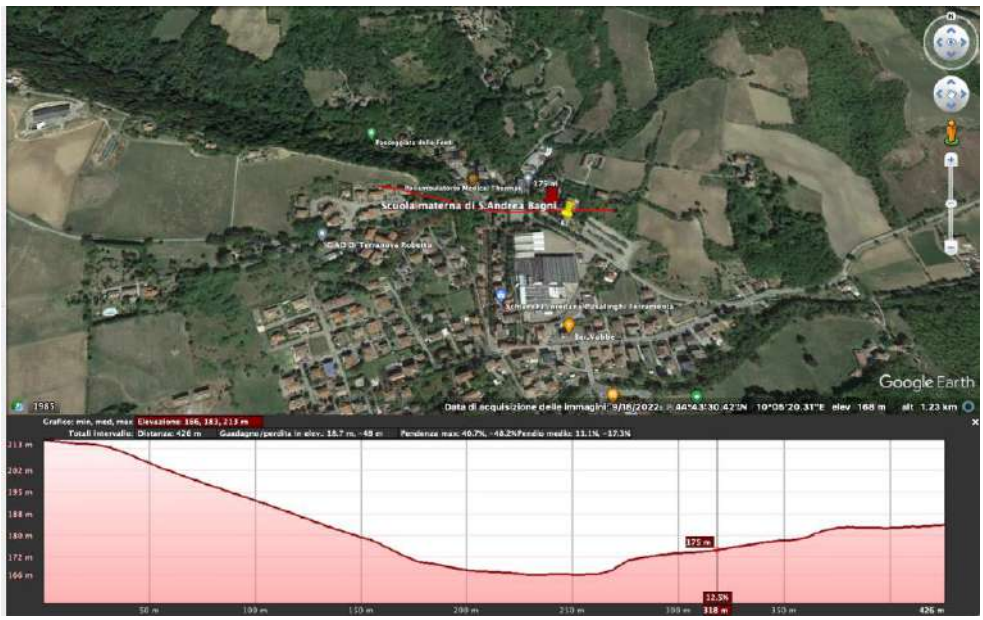



Figura 7. Profilo E-W

Si evidenzia nel profilo E-W, testimoniato anche dalla segnalazione cartografica, un terrazzamento fluviale dovuto alla conoide alluvionale del Rio Fabbro, affluente di Sinistra del Torrente Dordone.

I suoli RONCOLE VERDI, identificabili con quelle dell'area, sono molto profondi, da moderatamente a molto calcarei, a tessitura franca argillosa limosa o argillosa limosa.

Il substrato è costituito da sedimenti alluvionali calcarei, a tessitura moderatamente fine. I suoli di questo tipo si trovano nella pianura pedemontana nelle zone di interconoide, subordinatamente di terrazzo. In queste terra la pendenza oscilla tra 0.2 e 0.5%-1%. L'uso del suolo prevalente è a seminativo semplice e prati.

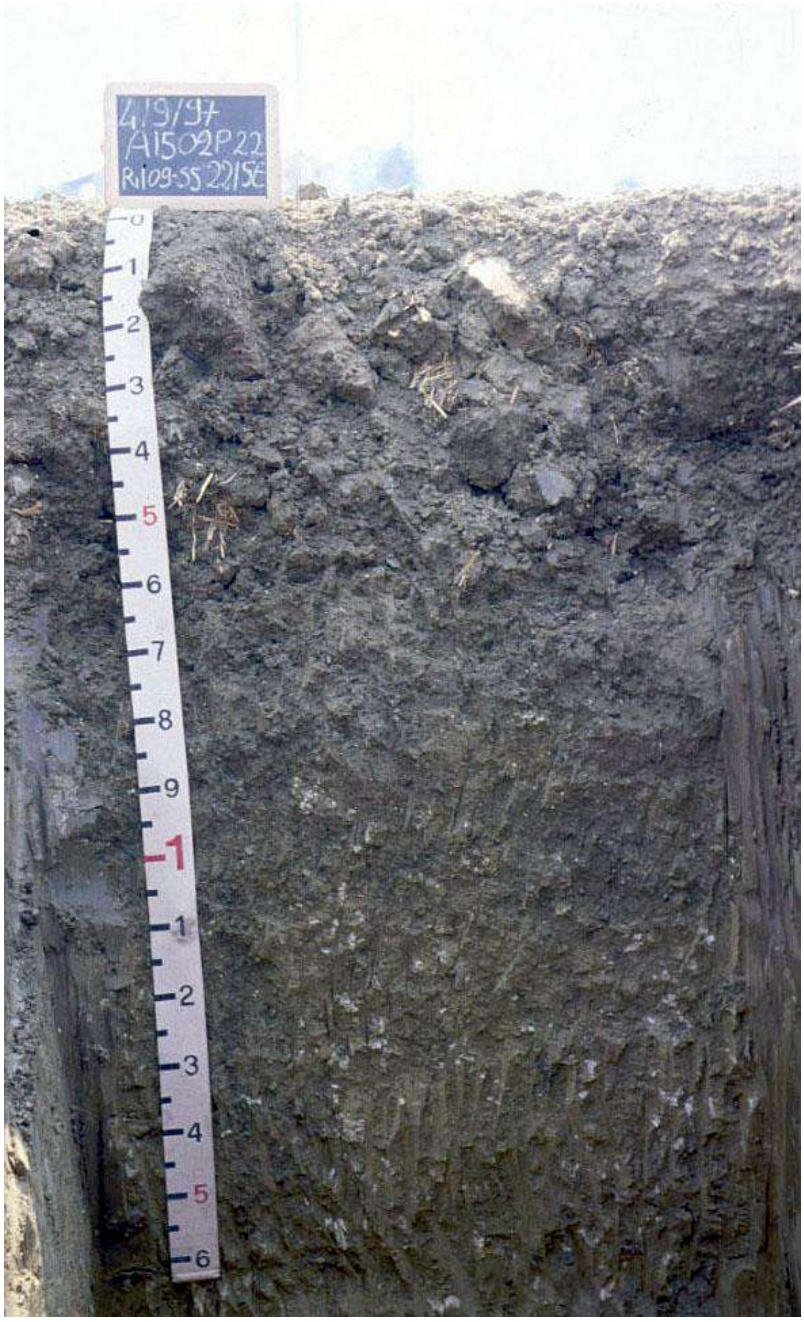


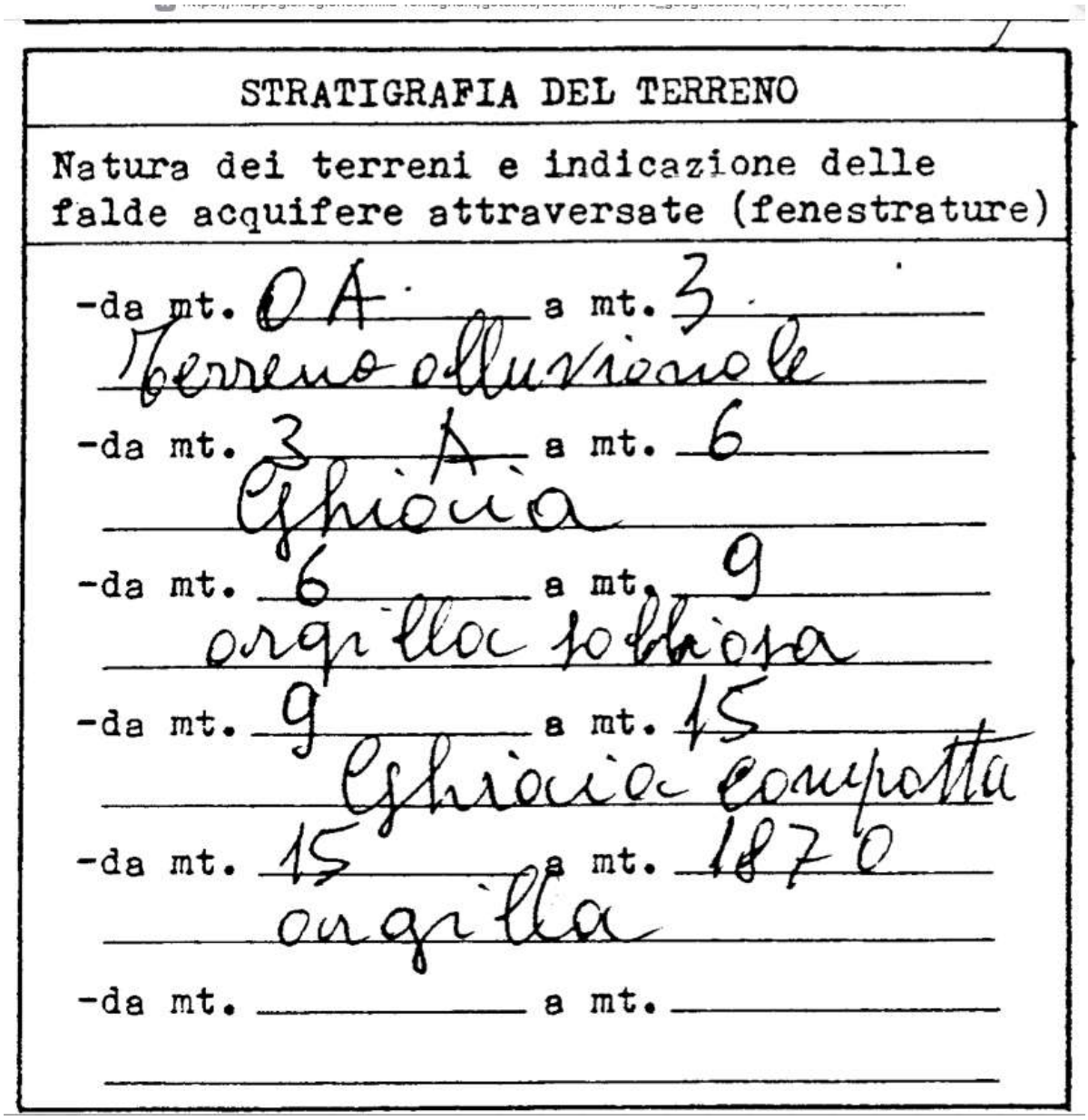

Figura 8. Suoli Roncole Verdi.

## 5.Inquadramento idrogeologico.

Il bacino idrografico di riferimento è quelle del Rio Fabbro, che da origine alle fonti di Sant'Andrea Bagni e responsabile della marcata incisione valliva a V. Si tratta di un corso d'acqua alimentato da sorgenti, probabilmente legati al circuito della struttura ad anticlinale di Salsomaggiore Terme.

Durante le prove geognostiche, in particolare CPT1 e CPT2 la falda è stata riscontrata tra i 5,4 e gli 8,6 metri da piano di campagna.

Da segnalare che una parte delle acque nella zona di Sant'Andrea Bagni si presenta con caratteristiche termali e sulfuree.


STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Natura dei terreni e indicazione delle falde acquifere attraversate (fenestrature)

-da mt. 0 a mt. 3
Terreno alluvionale

-da mt. 3 a mt. 6
ghiaia

-da mt. 6 a mt. 9
argilla ghiaiosa

-da mt. 9 a mt. 15
ghiaia compatta

-da mt. 15 a mt. 1870
argilla

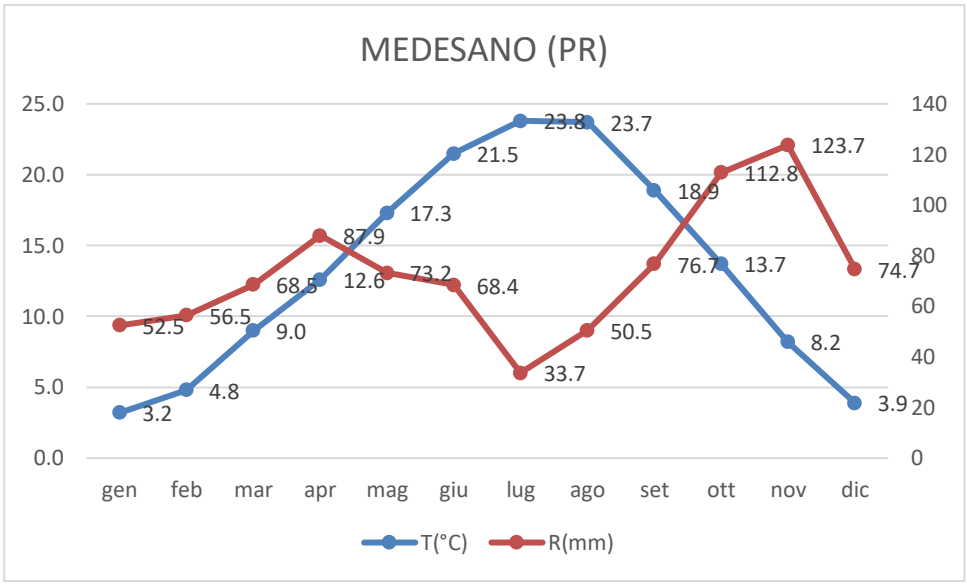
-da mt. ____ a mt. ____

Figura 9. Caratteristiche stratigrafiche delle captazioni nelle vicinanze del Torrente Dordone.

## 6.Inquadramento climatico.

Il clima di Medesano presenta una temperatura media annua di 13,4 con una piovosità totale di 879 mm. I mesi più piovosi sono Ottobre e Novembre, mentre quello più secco è Luglio, seguito da Agosto. Il clima secondo la Scala Köppen è di tipo Cfa, con caratteristiche continentali padane.

| | SANT'ANDREA BAGNI | |
|---|---|---|
| | T(°C) | R(mm) |
| gen | 3,2 | 52,5 |
| feb | 4,8 | 56,5 |
| mar | 9,0 | 68,5 |
| apr | 12,6 | 87,9 |
| mag | 17,3 | 73,2 |
| giu | 21,5 | 68,4 |
| lug | 23,8 | 33,7 |
| ago | 23,7 | 50,5 |
| set | 18,9 | 76,7 |
| ott | 13,7 | 112,8 |
| nov | 8,2 | 123,7 |
| dic | 3,9 | 74,7 |
| | 13,4 | 879 |



# 7.Conclusioni.

## Inquadramento geografico.

L'edificio oggetto di indagine si trova in Via A. Valenti 2, nella frazione di Sant'Andrea Bagni. Le coordinate wgs84 sono latitudine nord, 44.724775N, longitudine est, 10.090481E, alla quota altimetrica di 178 metri sul livello del mare. I riferimenti catastali sono Medesano, F082, Foglio 53, Particella 268.

## Vincoli.

La scuola si trova ubicata in una zona segnalata a pericolosità geomorfologica moderata, le cui prescrizioni fanno riferimento all'articolo 22 bis delle norme tecnico attuative della Provincia di Parma.

## Inquadramento geologico.

La scuola poggia su a3, che rappresenta un deposito di versante, di genesi incerta. Non si esclude che esso sia realmente attribuibile a una frana , tuttavia mancano, almeno in parte, i caratteri morfologici tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato l'accumulo e la sua attribuzione a altre categorie ( oltre a depositi di frana anche, eolici, glaciali o periglaciali e soprattutto eluvio-colluviali). Generalmente l'accumulo è costituito da materiale prevalentemente fine, pelitico e/o sabbioso con inclusi lapidei più o meno abbondanti.
Al di sotto abbiamo ANT, marne d'Antognola, costituita da Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici.

## Inquadramento geomorfologico.

Pur con qualche contropendenza, il profilo topografico N-S dell'area, presenta un versante abbastanza regolare, più favorevole a soliflussi che a movimenti gravitativi veri e propri. Si evidenzia, invece, nel profilo E-W, testimoniato anche dalla segnalazione cartografica, un terrazzamento fluviale dovuto alla conoide alluvionale del Rio Fabbro, affluente di Sinistra del Torrente Dordone. I suoli RONCOLE VERDI, identificabili con quelle dell'area, sono molto profondi, da moderatamente a molto calcarei, a tessitura franca argillosa limosa o argillosa limosa. Il substrato è costituito da sedimenti alluvionali calcarei, a tessitura moderatamente fine. I suoli di questo tipo si trovano nella pianura pedemontana nelle zone

di interconoide, subordinatamente di terrazzo. In queste terra la pendenza oscilla tra 0.2 e 0.5%-1%. L'uso del suolo prevalente è a seminativo semplice e prati.

**Inquadramento idrogeologico.**

Il bacino idrografico di riferimento è quelle del Rio Fabbro, che da origine alle fonti di Sant'Andrea Bagni e responsabile della marcata incisione valliva a V. Si tratta di un corso d'acqua alimentato da sorgenti, probabilmente legati al circuito della struttura ad anticlinale di Salsomaggiore Terme.

Durante le prove geognostiche, in particolare CPT1 e CPT2 la falda è stata riscontrata tra i 5,4 e gli 8,6 metri da piano di campagna.

Da segnalare che una parte delle acque nella zona di Sant'Andrea Bagni si presenta con caratteristiche termali e sulfuree.

Si esprime parere favorevole all'intervento dal punto di vista geologico.

Parma, 25 Giugno 2024

Il Geologo.
Dr. Geol. Fabio Bussetti



*COMUNE DI MEDESANO*
*(Provincia di Parma)*
*Regione Emilia-Romagna*

# *RELAZIONE GEOTECNICA PER VERIFICA VULNERABILITÀ SISMICA DELLA SCUOLA MATERNA DI SANT'ANDREA BAGNI*

*Committente*

**Comune di Medesano**
**Piazza Guglielmo Marconi 6**
**43014 Medesano (PR)**

*Tecnico:*
**Dr. Geol. Fabio Bussetti**
**Via G. Guareschi 8,**
**43123 Parma (PR)**
**Ordine Geologi Emilia Romagna**
**Sez. A, N. 1262**

*Ubicazione:*
**Scuola Materna di Sant'Andrea Bagni**
**Via A. Valenti 2**
**43048 Sant'Andrea Bagni (PR) – Frazione di Medesano**
**Coordinate wgs84 (44.724775N, 10.090481E)**

Data, 25 Giugno 2024

Il Geologo



IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: www.idrobussetti.it, e-mail: geologobussetti@gmail.com

INDICE

1. ***Normative di Riferimento ed inquadramento Geografico.….pag.3***
2. ***Inquadramento geotecnico……pag.4***
3. ***Caratterizzazione geognostica ……..pag.14***
4. ***Report tecnico sismica……..pag.22***
5. ***Risposta sismica locale……..pag.27***
6. ***Verifica della liquefazione……..pag.43***
7. ***Conclusioni……pag.39***

# 1.Normative di riferimento ed inquadramento geografico.

## Norme di riferimento.

- Norme Tecnico Costruttive 2018 – NTC2018
- OPCM 3274
- L.R. Emilia-Romagna 30 Ottobre 2018 n.19
- PUG Comune di Medesano
- PSC Comune di Medesano
- Testo Unico Ambiente 152/06.

## Inquadramento geografico.

E' stata affidata da parte del Comune di Medesano al sottoscritto, Fabio Bussetti, Geologo Libero Professionista, iscritto all'albo regionale della Regione Emilia Romagna, sezione A, n.1262, la compilazione della relazione geotecnica inerente la vulnerabilità sismica della Scuola Materna di Sant'Andrea Bagni. L'edificio oggetto di indagine si trova in Via A. Valenti 2, nella frazione di Sant'Andrea Bagni. Le coordinate wgs84 sono latitudine nord, 44.724775N, longitudine est, 10.090481E, alla quota altimetrica di 178 metri sul livello del mare. I riferimenti catastali sono Medesano, F082, Foglio 53, Particella 268.




Figura 1. Ubicazione dell'area oggetto di studio.

## 2.Inquadramento geotecnico.

In accordo con committenza e direzione dei lavori, si sono eseguite n.3 prove penetrometriche statiche, CPT1 (44.724698N, 10.090366E), CPT2 (44.724698N, 10.090639E), CPT3 (44.724771N, 10.090716E) per una migliore e completa caratterizzazione geognostica e per capire la motivazione di alcune fessure e cedimenti della struttura esistente.




Figura 2. Ubicazione delle prove.

**Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)**

| | |
|---|---|
| **Rif. Norme** | **ASTM D3441-86** |
| **Diametro Punta conica meccanica** | **35,7** |
| **Angolo di apertura punta** | **60** |
| **Area punta** | **10** |
| **Superficie manicotto** | **150** |
| **Passo letture (cm)** | **20** |
| **Costante di trasformazione Ct** | **10** |

IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: www.idrobussetti.it, e-mail: geologobussetti@gmail.com

# CPT1

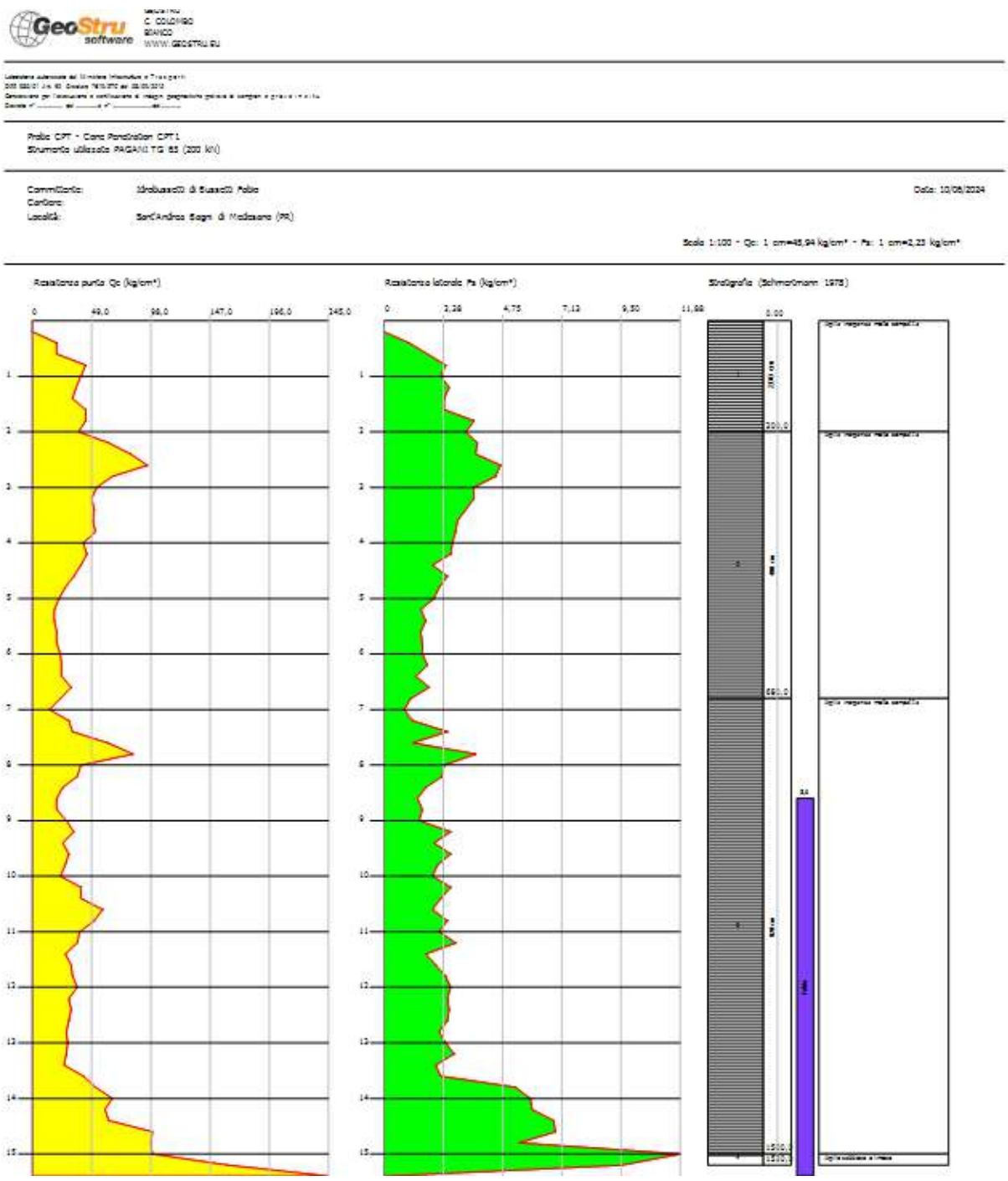
| | |
|---|---|
| Committente: Idrobussetti di Bussetti Fabio | |
| Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN) | |
| Prova eseguita in data: 10/06/2024 | |
| Profondità prova: 15,40 mt | |
| Località: Sant'Andrea Bagni di Medesano (PR) | |

| Profondità (m) | Lettura punta (kg/cm²) | Lettura laterale (kg/cm²) | qc (kg/cm²) | fs (kg/cm²) | qc/fs Begemann | fs/qcx100 (Schmertmann) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | | |
| 0,40 | 20,00 | 0,00 | 20,0 | 1,00 | 20,00 | 5,0 |
| 0,60 | 20,00 | 35,00 | 20,0 | 1,73 | 11,54 | 8,7 |
| 0,80 | 44,00 | 70,00 | 44,0 | 2,47 | 17,84 | 5,6 |
| 1,00 | 40,00 | 77,00 | 40,0 | 2,27 | 17,65 | 5,7 |
| 1,20 | 36,00 | 70,00 | 36,0 | 2,60 | 13,85 | 7,2 |
| 1,40 | 33,00 | 72,00 | 33,0 | 2,40 | 13,75 | 7,3 |
| 1,60 | 44,00 | 80,00 | 44,0 | 2,40 | 18,33 | 5,5 |
| 1,80 | 44,00 | 80,00 | 44,0 | 3,60 | 12,22 | 8,2 |
| 2,00 | 38,00 | 92,00 | 38,0 | 3,27 | 11,63 | 8,6 |
| 2,20 | 63,00 | 112,00 | 63,0 | 3,73 | 16,88 | 5,9 |
| 2,40 | 81,00 | 137,00 | 81,0 | 3,67 | 22,09 | 4,5 |
| 2,60 | 95,00 | 150,00 | 95,0 | 4,67 | 20,36 | 4,9 |
| 2,80 | 66,00 | 136,00 | 66,0 | 4,47 | 14,78 | 6,8 |
| 3,00 | 53,00 | 120,00 | 53,0 | 3,60 | 14,72 | 6,8 |
| 3,20 | 49,00 | 103,00 | 49,0 | 3,60 | 13,61 | 7,3 |
| 3,40 | 51,00 | 105,00 | 51,0 | 3,27 | 15,61 | 6,4 |
| 3,60 | 50,00 | 99,00 | 50,0 | 2,93 | 17,05 | 5,9 |
| 3,80 | 52,00 | 96,00 | 52,0 | 2,87 | 18,14 | 5,5 |
| 4,00 | 42,00 | 85,00 | 42,0 | 2,73 | 15,37 | 6,5 |
| 4,20 | 45,00 | 86,00 | 45,0 | 2,67 | 16,87 | 5,9 |
| 4,40 | 40,00 | 80,00 | 40,0 | 1,93 | 20,69 | 4,8 |
| 4,60 | 34,00 | 63,00 | 34,0 | 2,53 | 13,42 | 7,5 |
| 4,80 | 27,00 | 65,00 | 27,0 | 2,20 | 12,27 | 8,1 |
| 5,00 | 22,00 | 55,00 | 22,0 | 2,00 | 11,00 | 9,1 |
| 5,20 | 18,00 | 48,00 | 18,0 | 1,47 | 12,27 | 8,1 |
| 5,40 | 18,00 | 40,00 | 18,0 | 1,67 | 10,80 | 9,3 |
| 5,60 | 20,00 | 45,00 | 20,0 | 1,47 | 13,64 | 7,3 |
| 5,80 | 20,00 | 42,00 | 20,0 | 1,53 | 13,04 | 7,7 |
| 6,00 | 23,00 | 46,00 | 23,0 | 1,53 | 15,00 | 6,7 |
| 6,20 | 24,00 | 47,00 | 24,0 | 1,73 | 13,85 | 7,2 |
| 6,40 | 24,00 | 50,00 | 24,0 | 1,27 | 18,95 | 5,3 |
| 6,60 | 32,00 | 51,00 | 32,0 | 1,80 | 17,78 | 5,6 |
| 6,80 | 23,00 | 50,00 | 23,0 | 1,07 | 21,56 | 4,6 |
| 7,00 | 14,00 | 30,00 | 14,0 | 0,80 | 17,50 | 5,7 |
| 7,20 | 30,00 | 42,00 | 30,0 | 1,13 | 26,47 | 3,8 |
| 7,40 | 33,00 | 50,00 | 33,0 | 2,53 | 13,03 | 7,7 |
| 7,60 | 62,00 | 100,00 | 62,0 | 1,13 | 54,71 | 1,8 |
| 7,80 | 83,00 | 100,00 | 83,0 | 3,67 | 22,64 | 4,4 |
| 8,00 | 40,00 | 95,00 | 40,0 | 2,40 | 16,67 | 6,0 |
| 8,20 | 37,00 | 73,00 | 37,0 | 2,33 | 15,86 | 6,3 |
| 8,40 | 25,00 | 60,00 | 25,0 | 1,67 | 15,00 | 6,7 |
| 8,60 | 20,00 | 45,00 | 20,0 | 1,33 | 15,00 | 6,7 |
| 8,80 | 20,00 | 40,00 | 20,0 | 1,53 | 13,04 | 7,7 |
| 9,00 | 28,00 | 51,00 | 28,0 | 1,40 | 20,00 | 5,0 |
| 9,20 | 34,00 | 55,00 | 34,0 | 2,67 | 12,75 | 7,8 |
| 9,40 | 25,00 | 65,00 | 25,0 | 2,00 | 12,50 | 8,0 |
| 9,60 | 30,00 | 60,00 | 30,0 | 2,67 | 11,25 | 8,9 |
| 9,80 | 27,00 | 67,00 | 27,0 | 2,13 | 12,66 | 7,9 |
| 10,00 | 23,00 | 55,00 | 23,0 | 1,93 | 11,90 | 8,4 |
| 10,20 | 40,00 | 69,00 | 40,0 | 2,67 | 15,00 | 6,7 |
| 10,40 | 40,00 | 80,00 | 40,0 | 2,27 | 17,65 | 5,7 |
| 10,60 | 58,00 | 92,00 | 58,0 | 1,93 | 30,00 | 3,3 |
| 10,80 | 51,00 | 80,00 | 51,0 | 2,53 | 20,13 | 5,0 |
| 11,00 | 39,00 | 77,00 | 39,0 | 2,20 | 17,73 | 5,6 |
| 11,20 | 37,00 | 70,00 | 37,0 | 2,87 | 12,91 | 7,7 |
| 11,40 | 27,00 | 70,00 | 27,0 | 1,67 | 16,20 | 6,2 |
| 11,60 | 32,00 | 57,00 | 32,0 | 2,07 | 15,48 | 6,5 |
| 11,80 | 33,00 | 64,00 | 33,0 | 2,47 | 13,38 | 7,5 |
| 12,00 | 37,00 | 74,00 | 37,0 | 2,67 | 13,87 | 7,2 |
| 12,20 | 30,00 | 70,00 | 30,0 | 2,53 | 11,84 | 8,4 |
| 12,40 | 32,00 | 70,00 | 32,0 | 2,60 | 12,31 | 8,1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12,60 | 30,00 | 69,00 | 30,0 | 2,53 | 11,84 | 8,4 |
| 12,80 | 28,00 | 66,00 | 28,0 | 2,20 | 12,73 | 7,9 |
| 13,00 | 29,00 | 62,00 | 29,0 | 2,47 | 11,76 | 8,5 |
| 13,20 | 28,00 | 65,00 | 28,0 | 2,80 | 10,00 | 10,0 |
| 13,40 | 26,00 | 68,00 | 26,0 | 2,07 | 12,58 | 7,9 |
| 13,60 | 42,00 | 73,00 | 42,0 | 2,27 | 18,53 | 5,4 |
| 13,80 | 52,00 | 86,00 | 52,0 | 5,27 | 9,87 | 10,1 |
| 14,00 | 66,00 | 145,00 | 66,0 | 5,87 | 11,25 | 8,9 |
| 14,20 | 60,00 | 148,00 | 60,0 | 5,93 | 10,11 | 9,9 |
| 14,40 | 63,00 | 152,00 | 63,0 | 6,80 | 9,26 | 10,8 |
| 14,60 | 99,00 | 201,00 | 99,0 | 6,87 | 14,42 | 6,9 |
| 14,80 | 98,00 | 201,00 | 98,0 | 5,40 | 18,15 | 5,5 |
| 15,00 | 99,00 | 180,00 | 99,0 | 11,87 | 8,34 | 12,0 |
| 15,20 | 161,00 | 339,00 | 161,0 | 9,53 | 16,89 | 5,9 |
| 15,40 | 245,00 | 388,00 | 245,0 | 0,00 | | 0,0 |

| Prof. Strato (m) | qc Media (kg/cm²) | fs Media (kg/cm²) | Peso unità di volume Medio (t/m³) | Comp. Geotecnico | Descrizione |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,00 | 31,9 | 2,17 | 1,9 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 6,80 | 40,5 | 2,52 | 2,1 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 15,00 | 41,634 | 2,98 | 2,1 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 15,20 | 161,0 | 9,53 | 2,3 | Incoerente-Coesivo | Argille sabbiose e limose |

Si nota un sovraconsolidamento tra i 2,00 ed i 6,80 metri da piano campagna, con un proseguimento fino ai 15 metri. Al di sotto dei 15 metri inizia un litologia più granulare, identificabile con argilla sabbiosa. La falda acquifera è a 8,6 metri da piano di campagna.


Resistenza punta Qc (kg/cm²)
Resistenza laterale Fs (kg/cm²)
Stratigrafia (Schmertmann 1978)

IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: www.idrobussetti.it, e-mail: geologobussetti@gmail.com

## CPT2.

| | |
|---|---|
| Committente: Idrobussetti di Bussetti Fabio | |
| Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN) | |
| Prova eseguita in data: 10/06/2024 | |
| Profondità prova: 14,40 mt | |
| Località: Sant'Andrea Bagni di Medesano (PR) | |

| Profondità (m) | Lettura punta (kg/cm²) | Lettura laterale (kg/cm²) | qc (kg/cm²) | fs (kg/cm²) | qc/fs Begemann | fs/qcx100 (Schmertmann) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | | |
| 0,40 | 24,00 | 0,00 | 24,0 | 1,87 | 12,86 | 7,8 |
| 0,60 | 29,00 | 57,00 | 29,0 | 2,07 | 14,03 | 7,1 |
| 0,80 | 32,00 | 63,00 | 32,0 | 2,80 | 11,43 | 8,8 |
| 1,00 | 40,00 | 82,00 | 40,0 | 3,27 | 12,24 | 8,2 |
| 1,20 | 43,00 | 92,00 | 43,0 | 3,80 | 11,32 | 8,8 |
| 1,40 | 55,00 | 112,00 | 55,0 | 4,73 | 11,62 | 8,6 |
| 1,60 | 51,00 | 122,00 | 51,0 | 4,73 | 10,77 | 9,3 |
| 1,80 | 60,00 | 131,00 | 60,0 | 3,93 | 15,25 | 6,6 |
| 2,00 | 45,00 | 104,00 | 45,0 | 4,27 | 10,55 | 9,5 |
| 2,20 | 44,00 | 108,00 | 44,0 | 3,53 | 12,45 | 8,0 |
| 2,40 | 55,00 | 108,00 | 55,0 | 3,20 | 17,19 | 5,8 |
| 2,60 | 52,00 | 100,00 | 52,0 | 3,53 | 14,72 | 6,8 |
| 2,80 | 39,00 | 92,00 | 39,0 | 3,00 | 13,00 | 7,7 |
| 3,00 | 47,00 | 92,00 | 47,0 | 3,07 | 15,33 | 6,5 |
| 3,20 | 47,00 | 93,00 | 47,0 | 2,80 | 16,79 | 6,0 |
| 3,40 | 53,00 | 95,00 | 53,0 | 2,67 | 19,87 | 5,0 |
| 3,60 | 50,00 | 90,00 | 50,0 | 2,33 | 21,43 | 4,7 |
| 3,80 | 42,00 | 77,00 | 42,0 | 2,33 | 18,00 | 5,6 |
| 4,00 | 33,00 | 68,00 | 33,0 | 2,00 | 16,50 | 6,1 |
| 4,20 | 33,00 | 63,00 | 33,0 | 2,07 | 15,97 | 6,3 |
| 4,40 | 29,00 | 60,00 | 29,0 | 1,60 | 18,13 | 5,5 |
| 4,60 | 35,00 | 59,00 | 35,0 | 1,87 | 18,75 | 5,3 |
| 4,80 | 23,00 | 51,00 | 23,0 | 1,47 | 15,68 | 6,4 |
| 5,00 | 20,00 | 42,00 | 20,0 | 1,60 | 12,50 | 8,0 |
| 5,20 | 25,00 | 49,00 | 25,0 | 1,53 | 16,30 | 6,1 |
| 5,40 | 20,00 | 43,00 | 20,0 | 1,07 | 18,75 | 5,3 |
| 5,60 | 33,00 | 49,00 | 33,0 | 2,67 | 12,37 | 8,1 |
| 5,80 | 32,00 | 72,00 | 32,0 | 1,80 | 17,78 | 5,6 |
| 6,00 | 25,00 | 52,00 | 25,0 | 2,40 | 10,42 | 9,6 |
| 6,20 | 30,00 | 66,00 | 30,0 | 2,67 | 11,25 | 8,9 |
| 6,40 | 25,00 | 65,00 | 25,0 | 2,27 | 11,03 | 9,1 |
| 6,60 | 30,00 | 64,00 | 30,0 | 2,20 | 13,64 | 7,3 |
| 6,80 | 39,00 | 72,00 | 39,0 | 2,67 | 14,62 | 6,8 |
| 7,00 | 65,00 | 105,00 | 65,0 | 2,87 | 22,67 | 4,4 |
| 7,20 | 23,00 | 66,00 | 23,0 | 2,47 | 9,32 | 10,7 |
| 7,40 | 27,00 | 64,00 | 27,0 | 2,20 | 12,27 | 8,1 |
| 7,60 | 24,00 | 57,00 | 24,0 | 2,27 | 10,59 | 9,4 |
| 7,80 | 18,00 | 52,00 | 18,0 | 3,53 | 5,09 | 19,6 |
| 8,00 | 25,00 | 78,00 | 25,0 | 3,20 | 7,81 | 12,8 |
| 8,20 | 26,00 | 74,00 | 26,0 | 2,67 | 9,75 | 10,3 |
| 8,40 | 28,00 | 68,00 | 28,0 | 3,20 | 8,75 | 11,4 |
| 8,60 | 26,00 | 74,00 | 26,0 | 2,60 | 10,00 | 10,0 |
| 8,80 | 25,00 | 64,00 | 25,0 | 1,93 | 12,93 | 7,7 |
| 9,00 | 41,00 | 70,00 | 41,0 | 3,60 | 11,39 | 8,8 |
| 9,20 | 31,00 | 85,00 | 31,0 | 2,00 | 15,50 | 6,5 |
| 9,40 | 33,00 | 63,00 | 33,0 | 3,00 | 11,00 | 9,1 |
| 9,60 | 51,00 | 96,00 | 51,0 | 3,13 | 16,28 | 6,1 |
| 9,80 | 29,00 | 76,00 | 29,0 | 2,00 | 14,50 | 6,9 |
| 10,00 | 28,00 | 58,00 | 28,0 | 2,00 | 14,00 | 7,1 |
| 10,20 | 37,00 | 67,00 | 37,0 | 2,07 | 17,90 | 5,6 |
| 10,40 | 32,00 | 63,00 | 32,0 | 2,00 | 16,00 | 6,3 |
| 10,60 | 30,00 | 60,00 | 30,0 | 2,53 | 11,84 | 8,4 |
| 10,80 | 27,00 | 65,00 | 27,0 | 2,67 | 10,12 | 9,9 |
| 11,00 | 29,00 | 69,00 | 29,0 | 1,47 | 19,77 | 5,1 |
| 11,20 | 27,00 | 49,00 | 27,0 | 2,07 | 13,06 | 7,7 |
| 11,40 | 24,00 | 55,00 | 24,0 | 1,67 | 14,40 | 6,9 |
| 11,60 | 37,00 | 62,00 | 37,0 | 1,87 | 19,82 | 5,0 |
| 11,80 | 28,00 | 56,00 | 28,0 | 2,53 | 11,05 | 9,0 |
| 12,00 | 25,00 | 63,00 | 25,0 | 2,20 | 11,36 | 8,8 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12,20 | 73,00 | 106,00 | 73,0 | 2,93 | 24,89 | 4,0 |
| 12,40 | 78,00 | 122,00 | 78,0 | 4,87 | 16,03 | 6,2 |
| 12,60 | 53,00 | 126,00 | 53,0 | 4,60 | 11,52 | 8,7 |
| 12,80 | 33,00 | 102,00 | 33,0 | 3,93 | 8,39 | 11,9 |
| 13,00 | 36,00 | 95,00 | 36,0 | 1,93 | 18,62 | 5,4 |
| 13,20 | 42,00 | 71,00 | 42,0 | 2,80 | 15,00 | 6,7 |
| 13,40 | 34,00 | 76,00 | 34,0 | 2,00 | 17,00 | 5,9 |
| 13,60 | 26,00 | 56,00 | 26,0 | 1,80 | 14,44 | 6,9 |
| 13,80 | 23,00 | 50,00 | 23,0 | 1,67 | 13,80 | 7,2 |
| 14,00 | 42,00 | 67,00 | 42,0 | 10,27 | 4,09 | 24,4 |
| 14,20 | 182,00 | 336,00 | 182,0 | 5,87 | 31,02 | 3,2 |
| 14,40 | 349,00 | 437,00 | 349,0 | 0,00 | | 0,0 |

| Prof. Strato (m) | qc Media (kg/cm²) | fs Media (kg/cm²) | Peso unità di volume Medio (t/m³) | Comp. Geotecnico | Descrizione |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,20 | 38,455 | 3,18 | 1,9 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 3,60 | 49,0 | 2,94 | 2,1 | Incoerente-Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 7,00 | 31,706 | 2,06 | 2,0 | Incoerente-Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 11,40 | 29,136 | 2,47 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 14,20 | 50,857 | 3,52 | 2,1 | Incoerente-Coesivo | Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi |

La falda acquifera di trova a 5,4 metri da piano di campagna, in risalita rispetto a CPT1. Si conferma il sovraconsolidamento nel secondo strato, meno marcato rispetto alla prova precedente.

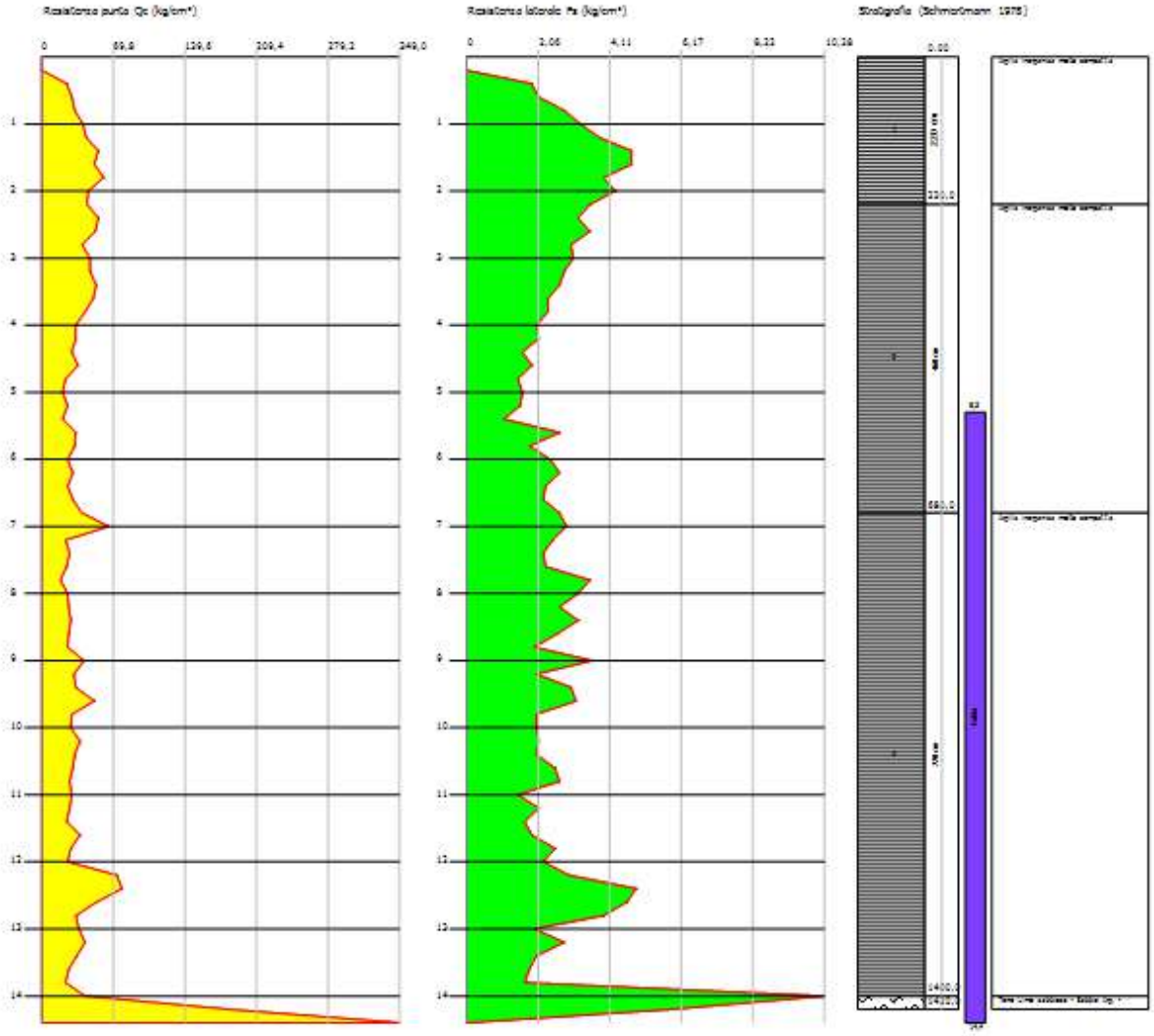
GeoStru software

Prova CPT - Cone Penetration CPT2
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Idrobussetti di Bussetti Fabio
Cantiere:
Località: Sant'Andrea Bagni di Medesano (PR)

Data: 10/06/2024

Scala 1:100 - Qc: 1 cm=6,81 kg/cm² - Fs: 1 cm=0,65 kg/cm²



IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: www.idrobussetti.it, e-mail: geologobussetti@gmail.com

## CPT3.

| | |
|---|---|
| Committente: Idrobussetti di Bussetti Fabio | |
| Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN) | |
| Prova eseguita in data: 10/06/2024 | |
| Profondità prova: 10,00 mt | |
| Località: Sant'Andrea Bagni di Medesano (PR) | |

| Profondità (m) | Lettura punta (kg/cm²) | Lettura laterale (kg/cm²) | qc (kg/cm²) | fs (kg/cm²) | qc/fs Begemann | fs/qcx100 (Schmertmann) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,20 | 10,00 | 0,00 | 10,0 | 1,00 | 10,00 | 10,0 |
| 0,40 | 13,00 | 28,00 | 13,0 | 1,13 | 11,47 | 8,7 |
| 0,60 | 11,00 | 28,00 | 11,0 | 1,53 | 7,17 | 13,9 |
| 0,80 | 13,00 | 36,00 | 13,0 | 1,27 | 10,26 | 9,7 |
| 1,00 | 13,00 | 32,00 | 13,0 | 1,47 | 8,86 | 11,3 |
| 1,20 | 18,00 | 40,00 | 18,0 | 1,80 | 10,00 | 10,0 |
| 1,40 | 37,00 | 64,00 | 37,0 | 2,13 | 17,34 | 5,8 |
| 1,60 | 45,00 | 77,00 | 45,0 | 3,33 | 13,50 | 7,4 |
| 1,80 | 47,00 | 97,00 | 47,0 | 3,07 | 15,33 | 6,5 |
| 2,00 | 40,00 | 86,00 | 40,0 | 2,73 | 14,63 | 6,8 |
| 2,20 | 36,00 | 77,00 | 36,0 | 2,20 | 16,36 | 6,1 |
| 2,40 | 34,00 | 67,00 | 34,0 | 2,13 | 15,94 | 6,3 |
| 2,60 | 33,00 | 65,00 | 33,0 | 2,40 | 13,75 | 7,3 |
| 2,80 | 24,00 | 60,00 | 24,0 | 2,20 | 10,91 | 9,2 |
| 3,00 | 27,00 | 60,00 | 27,0 | 2,47 | 10,95 | 9,1 |
| 3,20 | 25,00 | 62,00 | 25,0 | 2,13 | 11,72 | 8,5 |
| 3,40 | 22,00 | 54,00 | 22,0 | 1,47 | 15,00 | 6,7 |
| 3,60 | 19,00 | 41,00 | 19,0 | 1,93 | 9,83 | 10,2 |
| 3,80 | 24,00 | 53,00 | 24,0 | 1,80 | 13,33 | 7,5 |
| 4,00 | 30,00 | 57,00 | 30,0 | 1,93 | 15,52 | 6,4 |
| 4,20 | 29,00 | 58,00 | 29,0 | 1,53 | 18,91 | 5,3 |
| 4,40 | 23,00 | 46,00 | 23,0 | 2,00 | 11,50 | 8,7 |
| 4,60 | 28,00 | 58,00 | 28,0 | 2,27 | 12,35 | 8,1 |
| 4,80 | 29,00 | 63,00 | 29,0 | 2,20 | 13,18 | 7,6 |
| 5,00 | 27,00 | 60,00 | 27,0 | 1,60 | 16,88 | 5,9 |
| 5,20 | 22,00 | 46,00 | 22,0 | 1,87 | 11,79 | 8,5 |
| 5,40 | 30,00 | 58,00 | 30,0 | 2,07 | 14,52 | 6,9 |
| 5,60 | 26,00 | 57,00 | 26,0 | 2,27 | 11,47 | 8,7 |
| 5,80 | 23,00 | 57,00 | 23,0 | 2,27 | 10,15 | 9,9 |
| 6,00 | 24,00 | 58,00 | 24,0 | 1,67 | 14,40 | 6,9 |
| 6,20 | 26,00 | 51,00 | 26,0 | 2,47 | 10,54 | 9,5 |
| 6,40 | 25,00 | 62,00 | 25,0 | 1,80 | 13,89 | 7,2 |
| 6,60 | 20,00 | 47,00 | 20,0 | 1,13 | 17,65 | 5,7 |
| 6,80 | 19,00 | 36,00 | 19,0 | 1,33 | 14,25 | 7,0 |
| 7,00 | 18,00 | 38,00 | 18,0 | 1,53 | 11,74 | 8,5 |
| 7,20 | 21,00 | 44,00 | 21,0 | 1,53 | 13,70 | 7,3 |
| 7,40 | 23,00 | 46,00 | 23,0 | 2,00 | 11,50 | 8,7 |
| 7,60 | 20,00 | 50,00 | 20,0 | 1,33 | 15,00 | 6,7 |
| 7,80 | 26,00 | 46,00 | 26,0 | 2,07 | 12,58 | 7,9 |
| 8,00 | 23,00 | 54,00 | 23,0 | 1,53 | 15,00 | 6,7 |
| 8,20 | 22,00 | 45,00 | 22,0 | 1,73 | 12,69 | 7,9 |
| 8,40 | 30,00 | 56,00 | 30,0 | 1,80 | 16,67 | 6,0 |
| 8,60 | 26,00 | 53,00 | 26,0 | 1,93 | 13,45 | 7,4 |
| 8,80 | 24,00 | 53,00 | 24,0 | 1,73 | 13,85 | 7,2 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9,00 | 24,00 | 50,00 | 24,0 | 1,73 | 13,85 | 7,2 |
| 9,20 | 25,00 | 51,00 | 25,0 | 1,80 | 13,89 | 7,2 |
| 9,40 | 31,00 | 58,00 | 31,0 | 1,33 | 23,25 | 4,3 |
| 9,60 | 36,00 | 56,00 | 36,0 | 1,87 | 19,29 | 5,2 |
| 9,80 | 25,00 | 53,00 | 25,0 | 1,93 | 12,93 | 7,7 |
| 10,00 | 25,00 | 54,00 | 25,0 | 0,00 | | 0,0 |

| Prof. Strato (m) | qc Media (kg/cm²) | fs Media (kg/cm²) | Peso unità di volume Medio (t/m³) | Comp. Geotecnico | Descrizione |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,00 | 12,0 | 1,28 | 1,9 | Coesivo | Argille organiche e terreni misti |
| 9,20 | 26,683 | 1,97 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 9,80 | 30,667 | 1,71 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |

Si conferma la copertura coesiva, compatibile sia con il detrito di versante che con la conoide alluvionale. Non è stata trovata falda acquifera.

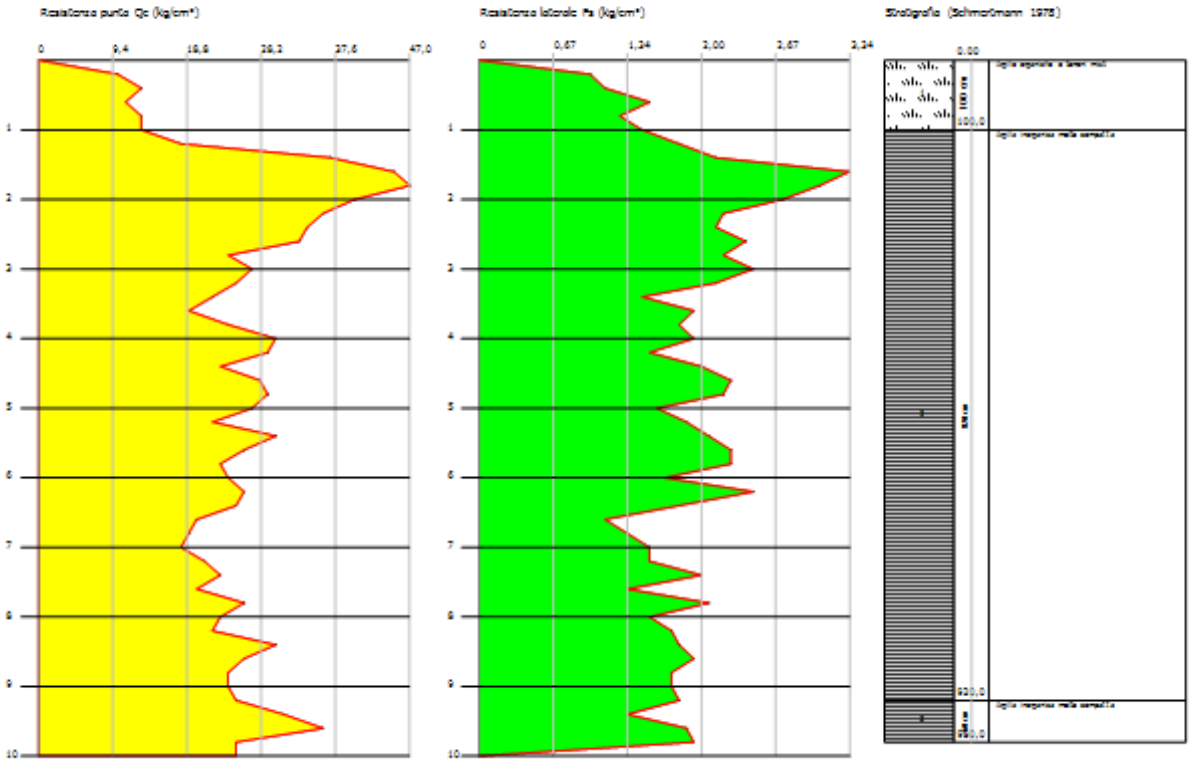
GEOSTRU
C. COLOMBO
BIANCO
WWW.GEOSTRU.EU

Prova CPT - Cone Penetration CPTS
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Idrobussetti di Bussetti Fabio
Cantiere:
Località: Sant'Andrea Bagni di Medesano (PR)

Data: 10/06/2024

Scala 1:100 - Qc: 1 cm=55,44 kg/cm² - Fs: 1 cm=1,93 kg/cm²



# 3.Caratterizzazione geognostica.

## CPT1.

**Strato n.1 (0,00 – 2,00) m**
**Argilla Inorganica molto compatta –Coesivo– No Falda**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 2,0 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 159 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 9 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 5 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 23 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | 4,0 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 27° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 20 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 21 | kN/m$^3$ |

**Strato n.2 (2,00 – 6,80) m**
**Argilla Inorganica molto compatta –Coesivo– No Falda**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 4,8 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 202 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 12 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 6 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 27 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | 1,09 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 28° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 21 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 22 | kN/m$^3$ |

**Strato n.3 (6,80– 15,00) m**
**Argilla Inorganica molto compatta –Coesivo– Falda presente a 8,6 metri da piano campagna**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 8,2 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 208 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 12 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 6 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 27 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | <0,5 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 28° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 21 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 22 | kN/m$^3$ |

**Strato n.4 (15,00-17,00) m**
**Argille Ghiaiose- Incoerente, Coesivo - Falda presente.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 2,0 | m |
| *Densità Relativa* | Dr | 50% | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 24 | Mpa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 62 | Mpa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 133 | Mpa |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 35° | |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | >9 | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 18 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume saturo* | $\gamma_{sat}$ | 21 | kN/m$^3$ |

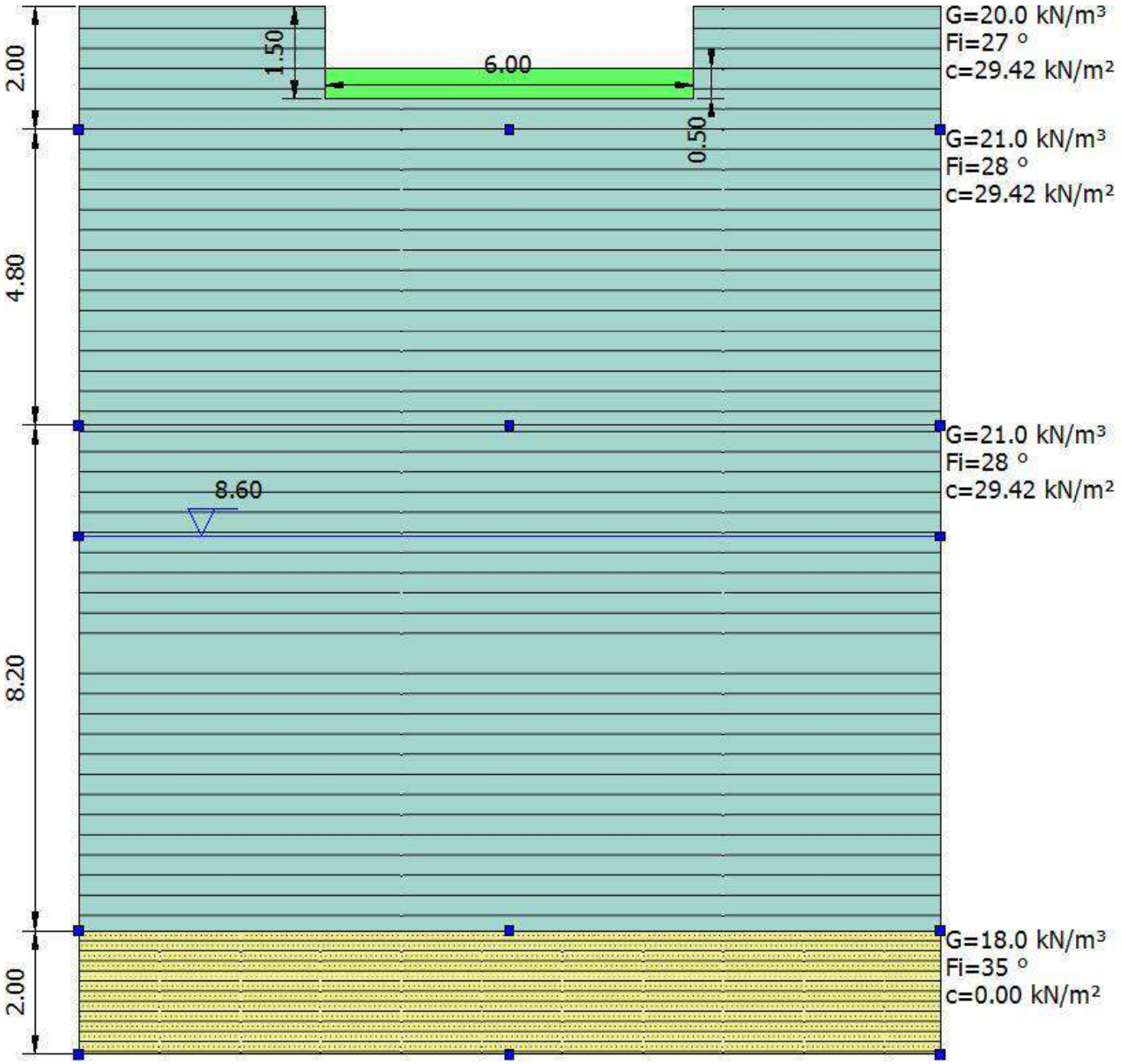



Figura 3. Stratigrafia CPT1.

***CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3***
***Autore: Meyerhof and Hanna (1978) – CONDIZIONE DRENATA***

| | |
|---|---|
| Carico limite [Qult] | 1294.18 kN/m² |
| Resistenza di progetto[Rd] | 562.69 kN/m² |
| Tensione [Ed] | 431.39 kN/m² |
| Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] | 3 |
| Condizione di verifica [Ed<=Rd] | Verificata |

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

| | |
|---|---|
| Costante di Winkler | 91131.49 kN/m³ |

***CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3***
***Autore: TERZAGHI (1955)***

| | |
|---|---|
| Carico limite [Qult] | 936.3 kN/m² |
| Resistenza di progetto[Rd] | 407.09 kN/m² |
| Tensione [Ed] | 312.1 kN/m² |
| Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] | 3 |
| Condizione di verifica [Ed<=Rd] | Verificata |

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

| | |
|---|---|
| Costante di Winkler | 37452.0 kN/m³ |

**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**
***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

| | |
|---|---|
| Pressione normale di progetto | 431.39 kN/m² |
| Cedimento dopo T anni | 7.0 |
| Distanza | 7.62 m |
| Angolo | 203.39 ° |
| Cedimento totale | 4.29 cm |

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws:Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

| Strato | Z (m) | Tensione (kN/m²) | Dp (kN/m²) | Metodo | Wc (cm) | Ws (cm) | Wt (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.75 | 35 | 0.009 | Edometrico | 0 | 0.0845 | 0.0845 |
| 2 | 4.4 | 90.4 | 7.599 | Edometrico | 0.304 | 0.8108 | 1.1148 |
| 3 | 10.9 | 206.644 | 22.849 | Edometrico | 1.5613 | 1.3833 | 2.9446 |
| 4 | 16 | 267.828 | 17.586 | Edometrico | 0.1465 | -- | 0.1465 |

Da segnalare che il secondo e terzo strato, essendo sovraconsolidati, determinano condizioni favorevoli al cedimento della struttura.

## CPT2

**Strato n.1 (0,00– 2,20) m**
**Argilla Inorganica molto compatta –Coesivo– No Falda**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 2,0 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 192 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 11 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 6 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 26 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | 4,28 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 27° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 21 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 22 | kN/m$^3$ |

**Strato n.2 (2,20– 6,80) m**
**Argilla Inorganica molto compatta –Coesivo– Falda presente a 5,4 metri da piano campagna**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 4,6 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 178 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 11 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 5 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 25 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | 0,93 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 27° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 21 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 22 | kN/m$^3$ |

**Strato n.3 (6,80– 14,00) m**
**Argilla Inorganica molto compatta –Coesivo– Falda presente**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 7,2 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 172 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 10 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 5 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 24 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | 0,5 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 27° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 20 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 21 | kN/m$^3$ |

**Strato n.4 (14,00-16,00) m**
**Argille Ghiaiose- Incoerente, Coesivo - Falda presente.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 2,0 | m |
| *Densità Relativa* | Dr | 54% | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 27 | Mpa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 67 | Mpa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 128 | Mpa |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 35° | |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | >9 | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 18 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume saturo* | $\gamma_{sat}$ | 21 | kN/m$^3$ |

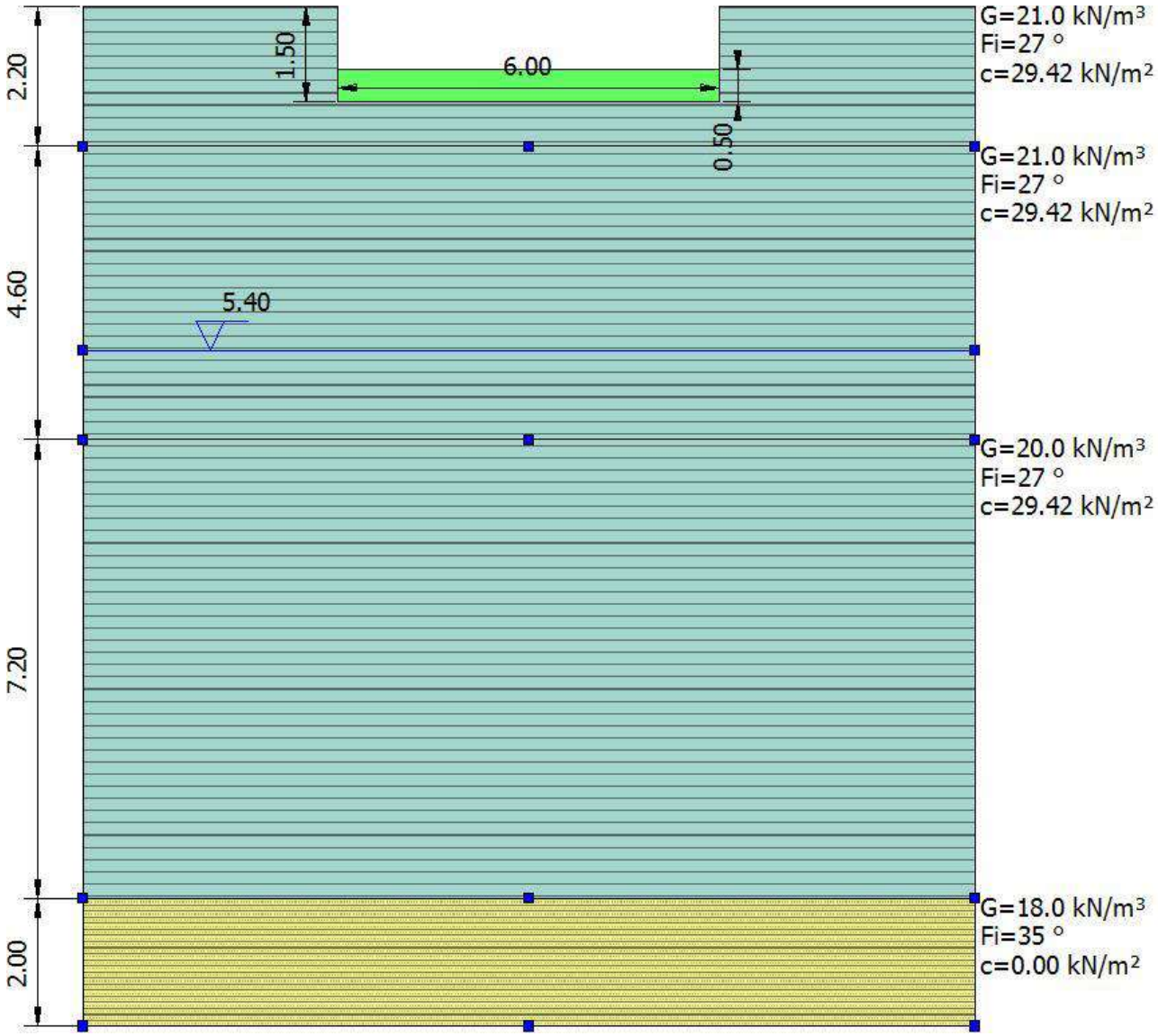



Figura 4. Stratigrafia CPT2

***CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3***
***Autore: Meyerhof and Hanna (1978) – CONDIZIONE DRENATA.***

| | |
|---|---|
| Carico limite [Qult] | 1157.0 kN/m² |
| Resistenza di progetto[Rd] | 503.04 kN/m² |
| Tensione [Ed] | 385.67 kN/m² |
| Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] | 3 |
| Condizione di verifica [Ed<=Rd] | Verificata |

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

| | |
|---|---|
| Costante di Winkler | 93034.36 kN/m³ |

***CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3***
***Autore: TERZAGHI (1955)***

| | |
|---|---|
| Carico limite [Qult] | 1125.9 kN/m² |
| Resistenza di progetto[Rd] | 489.52 kN/m² |
| Tensione [Ed] | 375.3 kN/m² |
| Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] | 3 |
| Condizione di verifica [Ed<=Rd] | Verificata |

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

| | |
|---|---|
| Costante di Winkler | 45036.0 kN/m³ |

**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**
***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

| | |
|---|---|
| Pressione normale di progetto | 385.67 kN/m² |
| Cedimento dopo T anni | 7.0 |
| Distanza | 7.62 m |
| Angolo | 203.39 ° |
| Cedimento totale | 3.997 cm |

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws:Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

| Strato | Z (m) | Tensione (kN/m²) | Dp (kN/m²) | Metodo | Wc (cm) | Ws (cm) | Wt (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.85 | 38.85 | 0.021 | Edometrico | 0.0001 | 0.1183 | 0.1184 |
| 2 | 4.5 | 94.5 | 7.168 | Edometrico | 0.2998 | 0.777 | 1.0768 |
| 3 | 10.4 | 170.765 | 20.344 | Edometrico | 1.4648 | 1.2145 | 2.6793 |
| 4 | 15 | 222.253 | 16.553 | Edometrico | 0.1226 | -- | 0.1226 |

IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: www.idrobussetti.it, e-mail: geologobussetti@gmail.com

## CPT3

**Strato n.1 (0,00– 1,00) m**
**Argilla organica e terreni misti –Coesivo– No Falda**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 1,0 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 60 | KPa |
| *Coesione* | C | 10 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 4 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 2 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 12 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | 2,96 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 23° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 19 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 20 | kN/m$^3$ |

**Strato n.2 (1,00– 9,20) m**
**Argilla inorganica molto compatta –Coesivo– No Falda**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 8,2 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 133 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 8 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 4 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 20 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | 0,61 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 26° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 20 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 21 | kN/m$^3$ |

**Strato n.2 (9,20– 10,00) m**
**Argilla inorganica molto compatta –Coesivo– No Falda**

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spessore* | s | 0,8 | m |
| *Coesione non drenata* | $C_u$ | 153 | KPa |
| *Coesione* | C | 30 | |
| *Modulo Edometrico* | Eed | 9 | MPa |
| *Modulo Elastico o Modulo di Young* | Ey | 4 | MPa |
| *Modulo di Deformazione a Taglio* | G | 22 | MPa |
| *Grado di sovraconsolidazione* | OCR | < 0,5 | |
| *Angolo d'attrito* | $\varphi$ | 26° | |
| *Peso Unità di Volume* | $\gamma$ | 20 | kN/m$^3$ |
| *Peso Unità di Volume Saturo* | $\gamma_{sat}$ | 21 | kN/m$^3$ |

## Sezione Geologica CPT1-CPT2-CPT3




Figura 5. Traccia Sezione geologica.

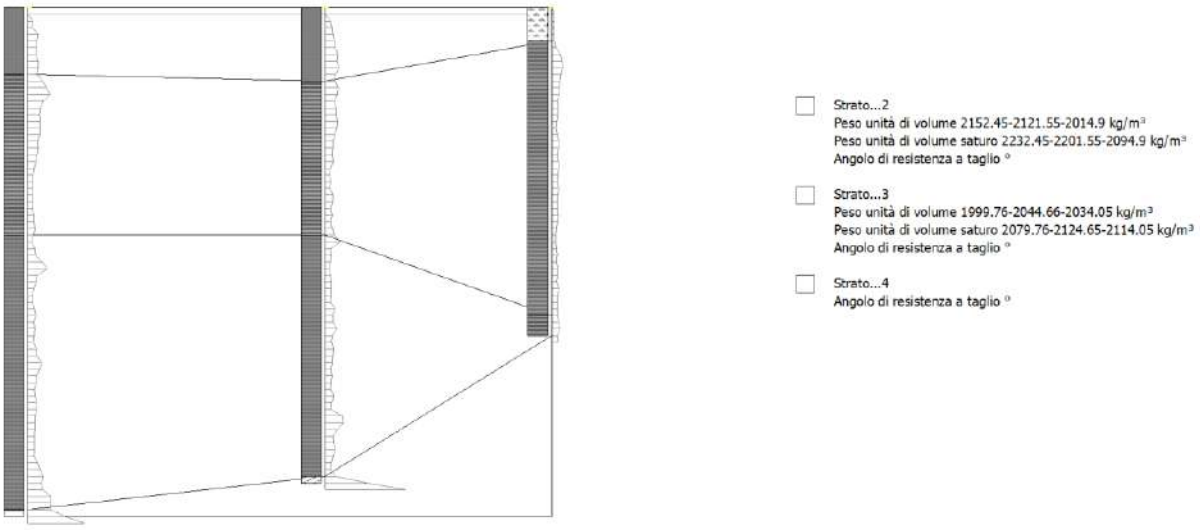


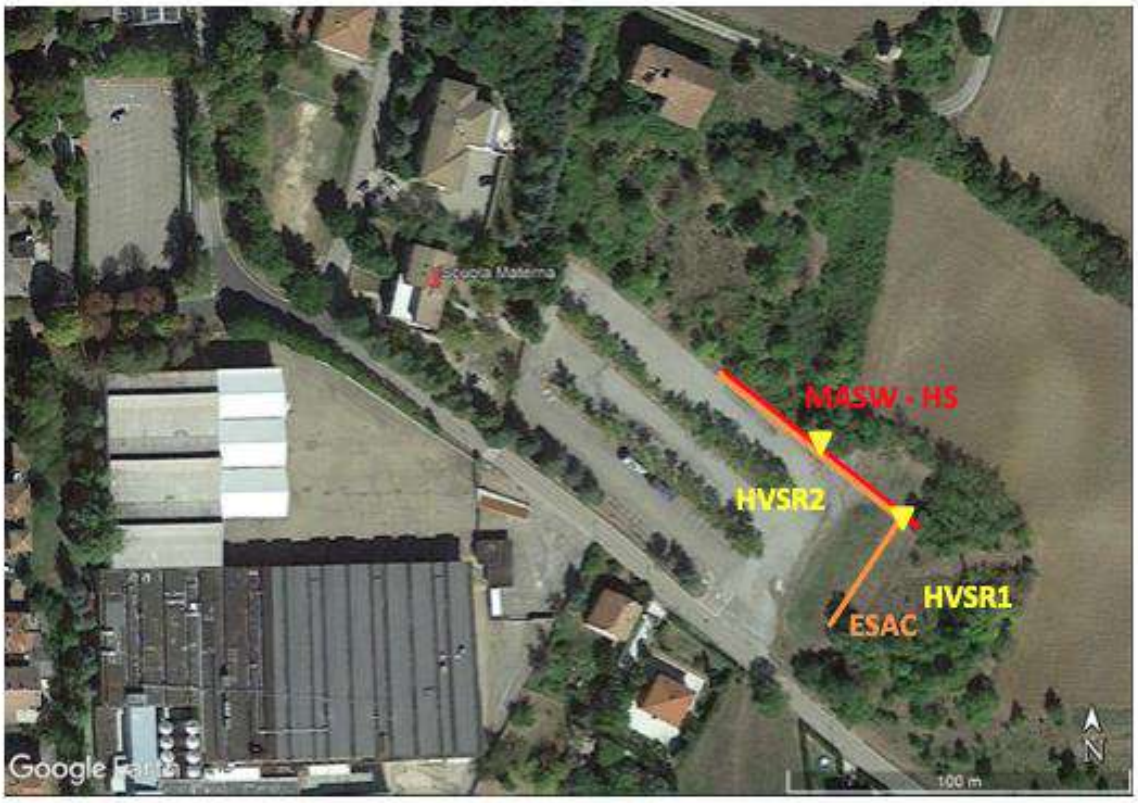

Figura 6. Sezione Geologica.

Si riscontra un sovraconsolidamento più marcato su CPT1, dove il cedimento risulta dai dati in nostro possesso maggiore di 50 cm, rispetto a CPT2. La prova CPT3 è stata fatta per un ulteriore conferma stratigrafica. L'area oggetto d'indagine si trova in un terrazzamento alluvionale, si imputa il cedimento al periodo siccitoso degli ultimi anni, oltre alla presenza nelle vicinanze di piante fortemente idroesigenti. La falda oscilla tra i 5,40 e gli 8,60 metri da piano di campagna. Si consiglia di consultarsi con l'ingegnere strutturista, in quanto si necessita di contrastare le fessurazioni e cedimenti presenti, consultando anche ditta specializzata.

# 4.Report Tecnico Sismico.

## LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

**INDIRIZZO: Via Valenti, 2 - Località S. Andrea Bagni**
**COMUNE: Medesano (PR)**
**DATA ACQUISIZIONE: 10 06 2024**
**ORA: 9.55**




**Subsurface model**

Vs (m/s): 85 200 165 250 230 400 420 600 500 950 1500

Thickness (m): 0.2 0.7 1.2 3.0 5.0 7.4 9.1 18.4 26.0 64.0

Density (gr/cm3): 1.61 1.84 1.79 1.90 1.88 2.03 2.04 2.14 2.09 2.26 2.39

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approx. val.): 12 74 49 119 99 324 360 769 522 2041 5371

Poisson: 0.36 0.44 0.40 0.42 0.36 0.39 0.37 0.39 0.35 0.41 0.41

**Vs, eq = Vs30 (m/s): 324**

**CATEGORIA C**

**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.**

**Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:**

**F0 → 0,8-1,4 Hz**
**F1 → 3-5 Hz**
**F2 → 16-20 Hz**

# DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



**Figura A. 1 - Panoramica sull'area di studio.**

## ESAC



**Figura A. 2 - Stendimento sismico passivo ESAC realizzato in corrispondenza dell'area di studio: Lato NW-SE- (G1-12); Lato NE-SW- (G13-24).**

## ACQUISIZIONE MASW - HS



**Figura A. 3 - Stendimento sismico MASW-HS realizzato in corrispondenza dell'area di studio.**

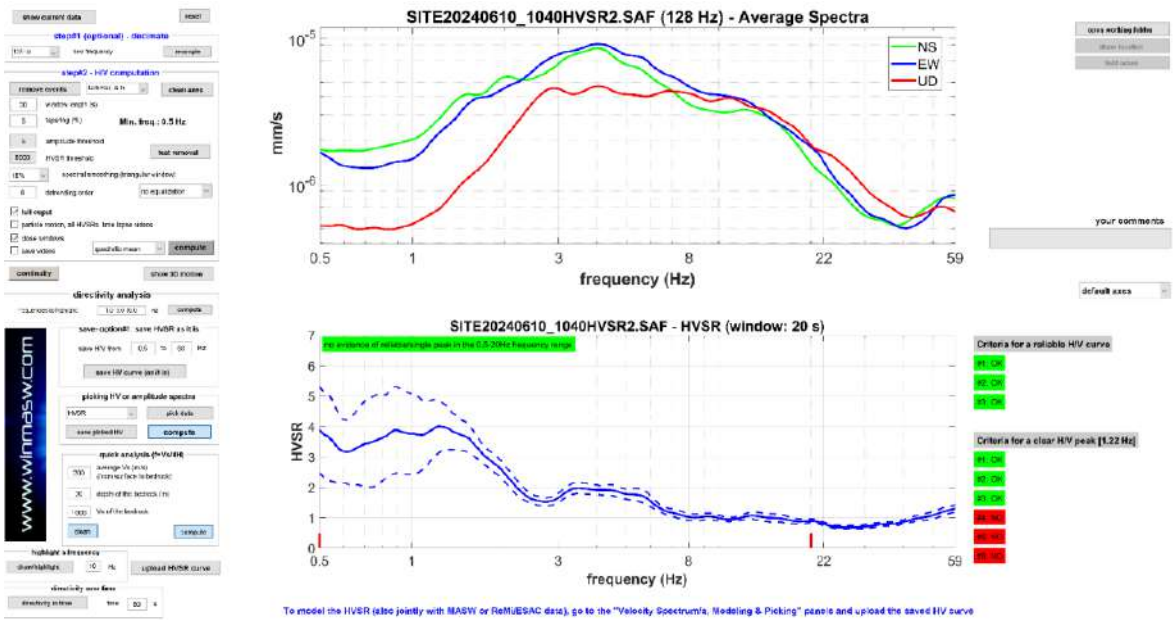
## ACQUISIZIONE HVSR1

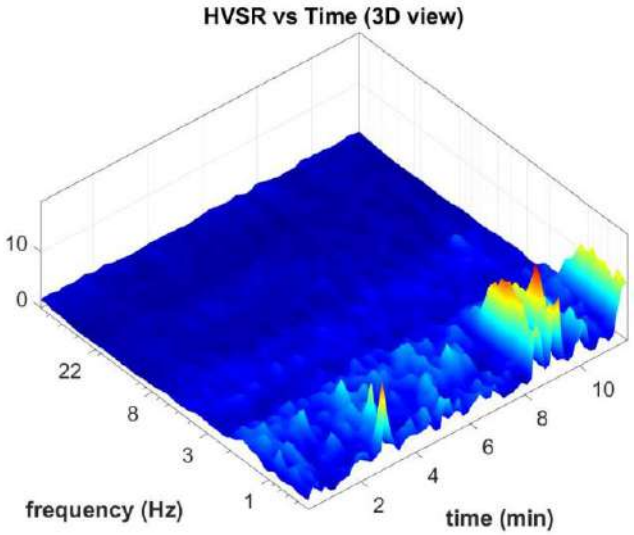


**Figura A. 4 - Acquisizione HVSR2 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.**

IDROBUSSETTI DI FABIO BUSSETTI
Via Giovanni Guareschi 8 – 43123 Parma (PR)
Tel.0521 884728, Cell. 338 2411837
Sito web: www.idrobussetti.it, e-mail: geologobussetti@gmail.com

# ACQUISIZIONE HVSR2



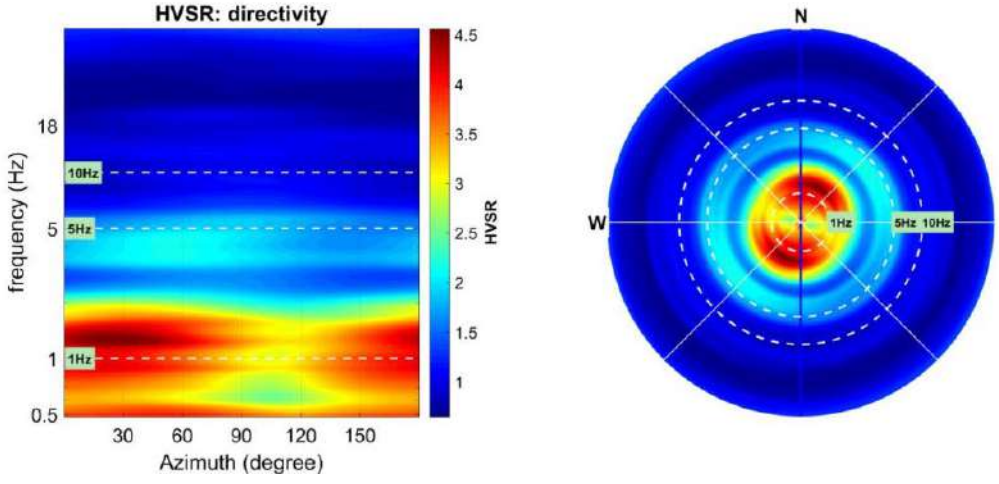
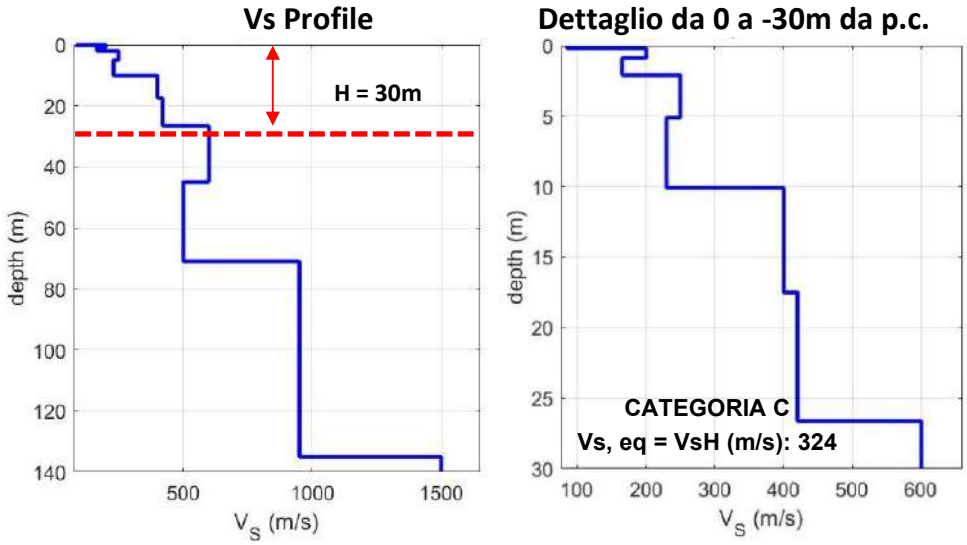



**Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.**

| Strato | Profondità [m] | Spessore [m] | Velocità onde di taglio Vs [m/s] |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0.2 | 85 |
| 2 | 0.2 | 0.7 | 200 |
| 3 | 0.9 | 1.2 | 165 |
| 4 | 2.1 | 3.0 | 250 |
| 5 | 5.1 | 5.0 | 230 |
| 6 | 10.1 | 7.4 | 400 |
| 7 | 17.5 | 9.1 | 420 |
| 8 | 26.6 | 18.4 | 600 |
| 9 | 45.0 | 26.0 | 500 |
| 10 | 71.0 | 64.0 | 950 |
| 11 | 135.0 | Inf. | 1500 |




**- Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti ›n profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà eccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**

**abella E - Calcolo Vs, eq = Vs30 per i primi 3,0 m dalla profondità di appoggio della fondazione.**

| DETERMINAZIONE Vs, eq = Vs30 | | |
|---|---|---|
| Profondità appoggio | Vs, eq = Vs30 [m/s] | Categoria di sottosuolo |
| P.C. | 324 | C |
| -0,5m | 335 | C |
| -1m | 341 | C |
| -1,5m | 350 | C |
| -2,0m | 359 | C |
| -2,5m | 365 | B |

# 5.Risposta sismica locale.

***SLV – CLASSE D'USO Cu: 1,5 – Vn:50 anni – Tr:712***

*Sismicità di base del Comune di Medesano.*

Secondo la zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale redatta da INGV, il Comune di **Medesano** ricade a ridosso della:

• **Zona Sismogenetica 913**", dove la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po), caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, che si verificano a profondità comprese tra **12 e 20 km**.

Consultando il sito dell'INGV (**http://esse1-gis.mi.ingv.it**) si può accedere ad un sistema che consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°.

Le mappe riportano due distinti parametri dello scuotimento:

- - **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo);
- - **Se(T)** (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione).

Relativamente al Comune di **Medesano** tali mappe (Fig. 2) riportano valori congruenti con quelli di cui all'Allegato A4 della D.A.L. Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2.5.2007, che attribuisce al Comune di **Medesano** un valore di accelerazione di picco al suolo (cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g $a_{refg}$, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di **0.155 g**.

Dalla carta si evince che il territorio del Comune di **Medesano** ricade in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a max) pari a 0**.150÷0.175 g**.

Come richiesto da NTC 2008 e successivo aggiornamento del 2018, per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, a partire dalla pericolosità sismica di base, si è utilizzato il software GEOSTRU, nella quale sono stati introdotti alcuni parametri di calcolo che dovranno comunque essere verificati dal progettista strutturale.

**Nel caso in esame, su indicazione del progettista**, si assume:

**Classe d'uso: III**;

**Coefficiente d'uso Cu: 1,5;**

**Vita nominale dell'opera Vn:≥ 50 anni;** quindi, periodo di riferimento **Vr: ≥ 75 anni**

Il tempo di ritorno (TR) viene determinato introducendo nell'espressione:

il periodo di riferimento della costruzione VR (definito sulla base delle caratteristiche dell'opera in progetto) e la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

Il **Periodo di riferimento** della costruzione è dato da:

**Vr = Vn x Cu = 50 X1,5 =75 anni**

- [illegible]

  [illegible]

  [illegible] **50 anni** [illegible] *opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale* [illegible] - Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni) .

- [illegible]

  [illegible]

  Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le [illegible]

  Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

  Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per [illegible] non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

  [illegible] Reti viarie extraurbane non [illegible] situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

  Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della [illegible] tipo A o B, di cui al [illegible] 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.

Nel caso in esame si è considerata **Cu=1.00** per ***Classe II***

**Tab. 2.4.II** – *Valori del coefficiente d'uso* $C_U$

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Per quanto riguarda le probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR}$, sono stati assunti i valori indicati nell' '"Aggiornamento delle N.T.C. 2018" (Tab. 3.2.I del Paragrafo 3.2.1):

**Tab. 3.2.I** – *Probabilità di superamento* $P_{V_R}$ *in funzione dello stato limite considerato*

| Stati Limite | | $P_{V_R}$: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---|---|---|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

**Tabella 1 - Valori dei parametri $a_g$, $F_0$ , $T_C^*$ per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite e coefficienti sismici determinati per il sito in esame (Lat. e Long. In Coordinate WGS84 e ED50).**

| Parametri sismici introdotti | |
|---|---|
| Categoria Sottosuolo | C |
| Categoria Topografica | T1 |
| Periodo di riferimento | 75 anni |
| Coeff. Cu | 1,5 |




| Stati Limite | | Probabilità di superamento | Tempo di ritorno $T_R$ (anni) | $a_g$ (g) | $F_0$ | $T_C^*$ (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stati limite d'esercizio | SLO | 81% | 45 | 0,062 | 2,462 | 0,251 |
| | SLD | 63% | 75 | 0,077 | 2,461 | 0,261 |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% | 712 | 0,178 | 2,490 | 0,286 |
| | SLC | 5% | 1462 | 0,221 | 2,514 | 0,295 |

| COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLO: | SLD: | SLV: | SLC: |
| Amplificazione stratigrafica Ss | 1,50 | 1,50 | 1,43 | 1,37 |
| Coeff. funz. Categoria Cc | 1,66 | 1,64 | 1,59 | 1,57 |
| Amplificazione Topografica St | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Componente Orizzontale Kh | 0,019 | 0,023 | 0,061 | 0,085 |
| Componente verticale Kv | 0,009 | 0,012 | 0,031 | 0,042 |
| Acceleraz. Max attesa in sito Amax: | 0,908 | 1,132 | 2,502 | 2,974 |
| Beta: | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

### 1) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Definisce la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità.

Consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale, intesa come rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.0 al bedrock (sottosuolo di categoria A) (Fig. 6).

Si rammenta che per il Comune di **Medesano** si partiva da una $ag_{max}$ al suolo rigido pari a **0,178g**.

Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA0 più cautelativo al suolo (cioè il più elevato) è ricavato dall'input:

- **IT0488ya_6** **Fan pga $_{max}$ = 2,38**

mentre il valore F.A. medio definito su n.7 accelerogrammi è:

**FApga $_{medio}$ 1,91**

| INPUT SISMICO | PGA bedrock | Pga Superficie | F.A. |
|---|---|---|---|
| IT0090xa_1 | 0,178 | 0,269 | 1,51 |
| IT0103xa_2 | 0,178 | 0,271 | 1,52 |
| IT0103ya_3 | 0,178 | 0,304 | 1,70 |
| IT0260xa_4 | 0,178 | 0,374 | 2,10 |
| IT0281xa_5 | 0,178 | 0,376 | 2,11 |
| IT0488ya_6 | 0,178 | 0,424 | 2,38 |
| IT0536ya_7 | 0,178 | 0,367 | 2,06 |
| **Media** | **0,178** | **0,341** | **1,91** |

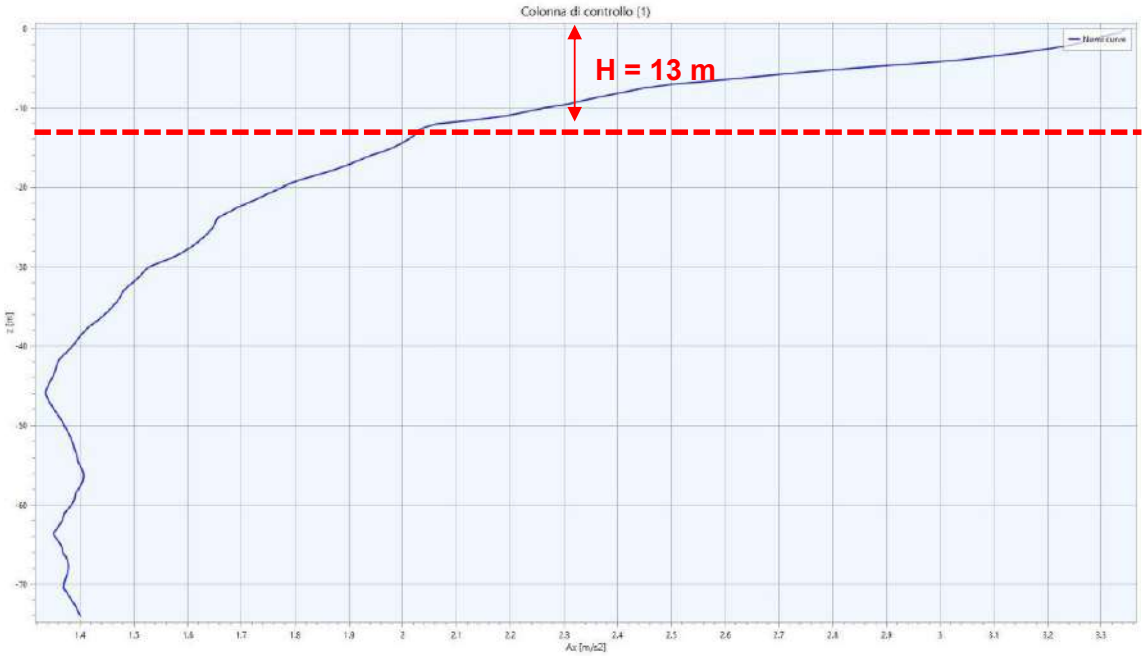



**Figura 6 - P.G.A. Profile: si può notare un incremento rilevante della PGA in corrispondenza degli orizzonti più superficiali (da circa 14m di profondità fino a p.c., e in particolare i primi 10m da p.c. rappresentati da orizzonti limoso-argillosi con Vs < 360 m/s).**

### 2) Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità di Housner (o intensità dello spettro di risposta) viene definita come segue:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

dove PSV è lo spettro di risposta di pseudo-velocità, **T** e **ξ** sono rispettivamente **il periodo** e **lo smorzamento strutturale**.

Questo parametro di severità del moto sismico è correlato al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in esame, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0.1 e 2.5 secondi. Dimensionalmente l'intensità di Housner è uno spostamento (cm).

Di seguito il valore di "Intensità di Housner" viene presentato per i seguenti intervalli di riferimento:

- 0,1<SI<0,5 (Fig. 7a);
- 0,5<SI<1,0 (Fig. 7b);
- 0,5<SI<1,5 (Fig. 7c).

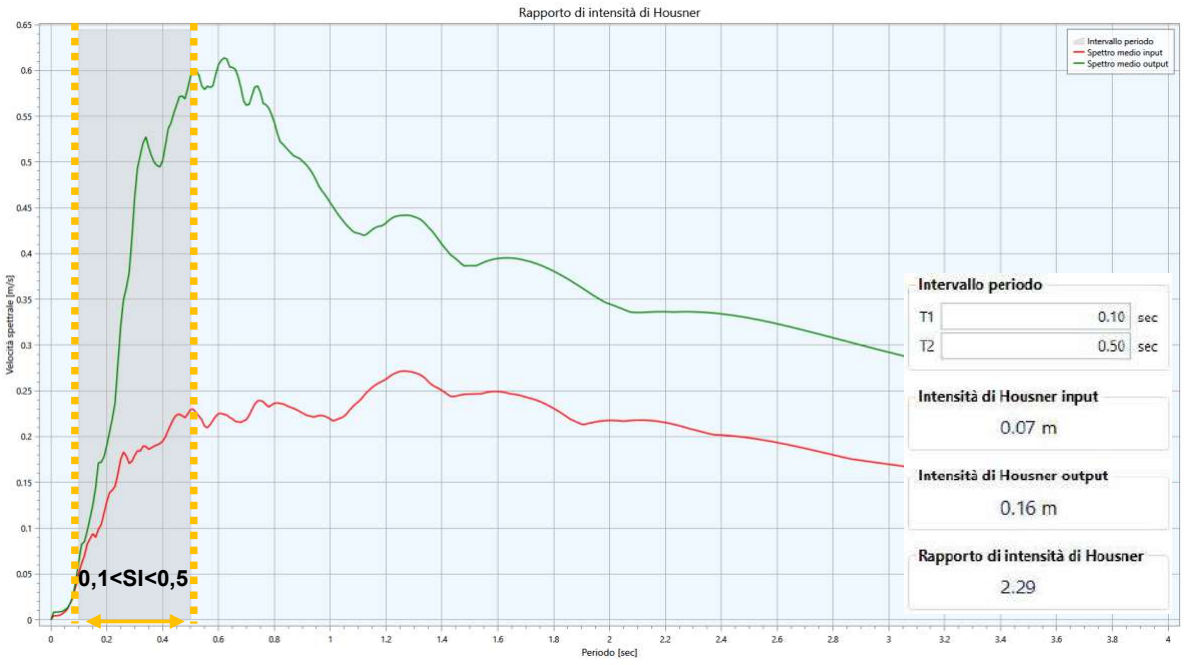



**Figura 7a - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,1<SI<0,5.**

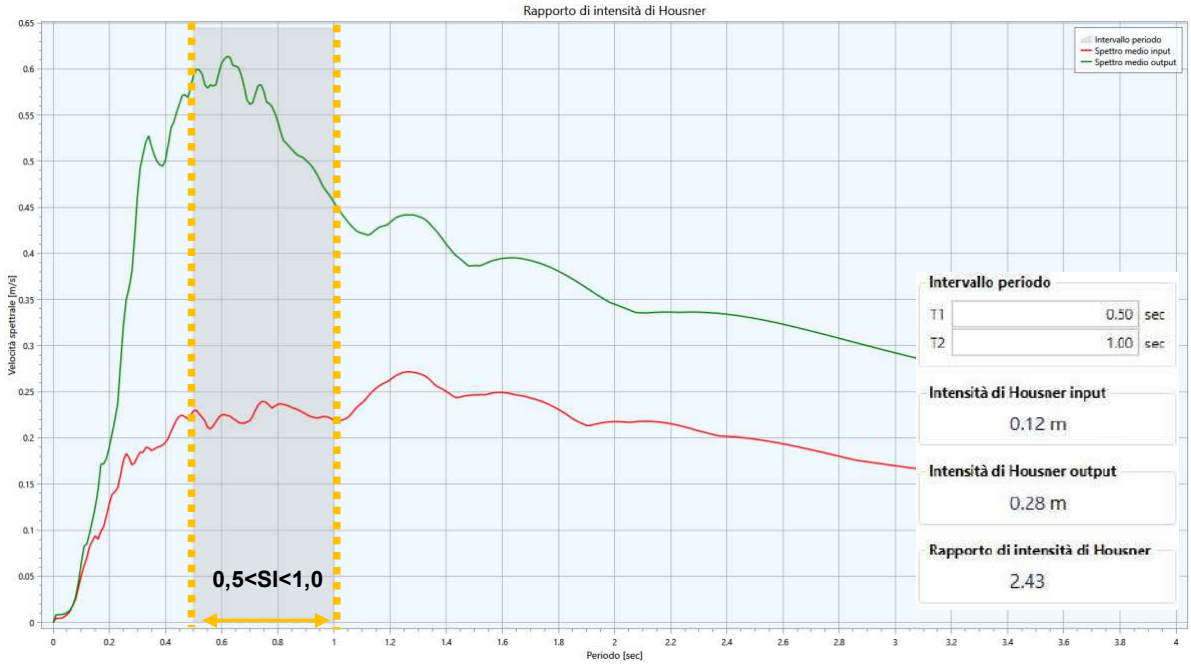



**Figura 7b - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,0.**

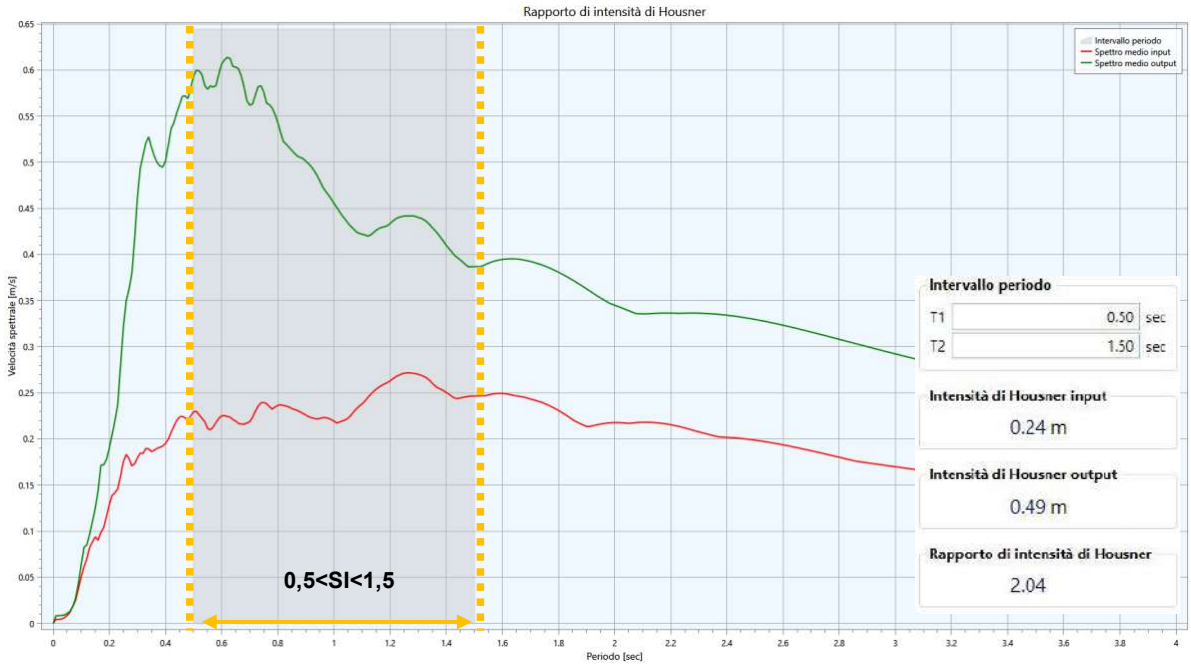



**Figura 7c - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,5.**

### 3) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Rappresenta l'elaborato fondamentale richiesto dagli strutturisti e in "LSR 2D" può essere calcolato sia in superficie che per una profondità di interesse.

Nel caso in esame (Fig. 8) è stato calcolato per gli **SLV** a **-1m da piano campagna**, con un **coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%**. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, il sito presentava un valore di **Vs30** di **324 m/s**, ed è stato classificato in "**Categoria C**". Osservando in dettaglio il grafico (Fig. 8) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di "**Categoria C**". Lo spettro medio è stato poi parametrizzato secondo la tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della "*media*".

Resta compito dello strutturista definire il valore del periodo proprio e dello smorzamento della struttura, andando a modificare lo "spettro di progetto" in funzione del "*Fattore di struttura q*".

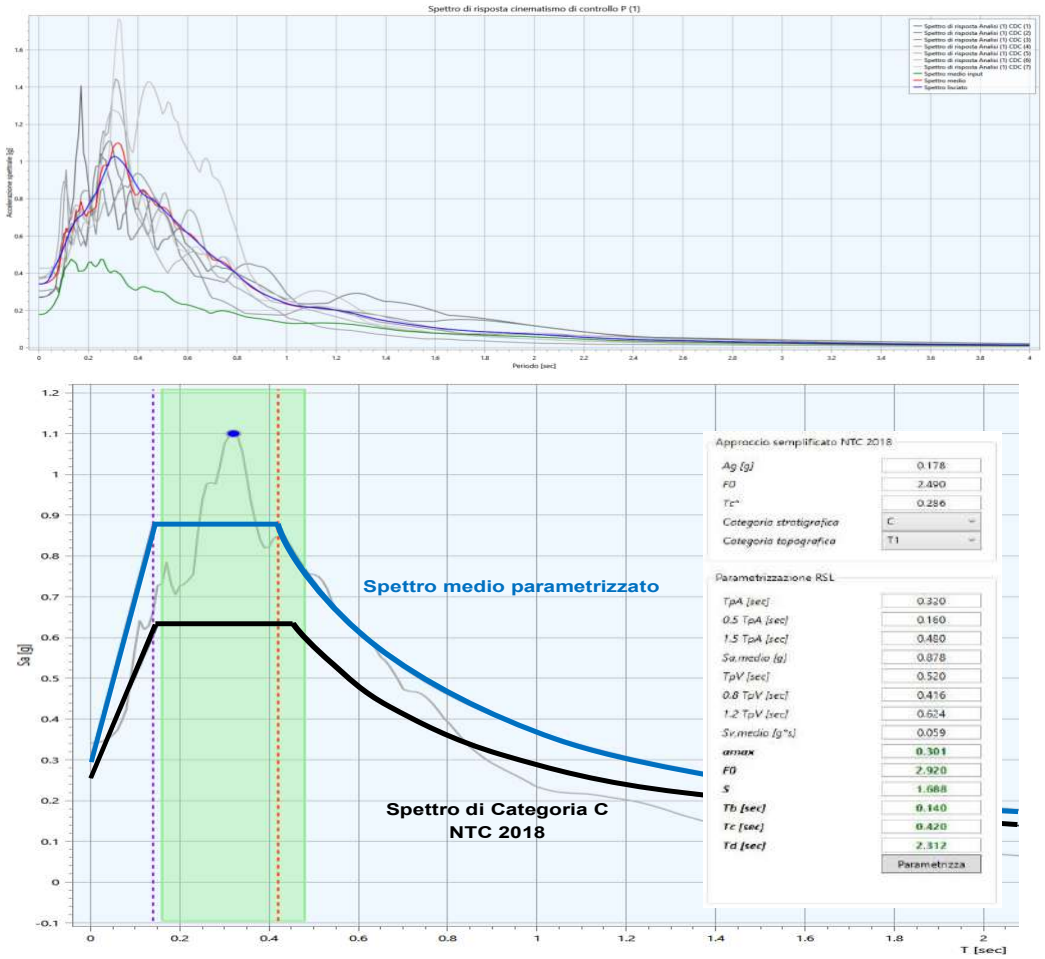



**Figura 8 – Spettri di output (in alto) e relativo spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLV con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio parametrizzato secondo normativa (linea blu) con lo spettro ricavato dall' approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla "Categoria di sottosuolo sismico" (CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito (linea nera).**

In ultima analisi (Tabella 3) è quindi possibile mettere a confronto **i valori medi di F.A. calcolati nello studio di R.S.L.** (Fig. 9), con:

- **i valori di F.A. determinati nello studio di Microzonazione Sismica comunale di 2° o 3° livello;**
- **i valori di F.A. ricavati con l'approccio semplificato**, seguendo quanto indicato nella **Delibera n. 476 del 12 Aprile 2021**, che rappresenta l'aggiornamento degli "Indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica", atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007).

In particolare, per il sito di interesse, gli abachi da utilizzare sono riportati di seguito.

I parametri di input considerati sono:

- **VsH= 268 m/s**
- **H= 17,5 m**

***APPENNINO***

Le tabelle relative al settore appenninico sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia-Romagna.

Possono essere applicate anche nelle aree di pianura prossime al margine morfologico appenninico-padano dove le coperture detritiche continentali hanno spessore indicativamente non superiore a 50 m.

Si possono riscontrare 2 situazioni:

- **coperture direttamente poggianti su substrato rigido**, ovvero *bedrock sismico*, generalmente caratterizzato da
- **coperture poggianti su substrato non rigido**, *vale a dire caratterizzato da* ***Vs << 800 m/s***

Per il sito di interesse vanno considerate le tabelle relative a **coperture poggianti su substrato non rigido**, *vale a dire caratterizzato da* ***Vs << 800 m/s***.

Si considerano trascurabili gli effetti legati all'amplificazione topografica, pertanto l'entità dell'amplificazione sismica è imputabile ai soli fattori stratigrafici

.

Riportiamo i valori dei confronti dei fattori di amplificazione F.A. da analisi semplificata, microzonazione sismica di 2° livello e lo studio di Microzonazione Sismica.

| CONFRONTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A. DA ANALISI SEMPLIFICATA, MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO E DA RSL | | | |
|---|---|---|---|
| **FATTORE DI AMPLIFICAZIONE CONSIDERATO** | **PROCEDURA SEMPLIFICATA DA ABACHI** | **MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO** | **RISPOSTA SISMICA LOCALE R.S.L.** |
| ***F.A. PGA*** | ***2,1-2,2*** | ***2,1-2,2*** | ***1,89*** |
| ***F.A. SA1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,2-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,17*** |
| ***F.A. SA2*** *(0.4s<$T_0$<0.8s)* | ***1,9-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,53*** |
| ***F.A. SA3*** *(0.7s<$T_0$<1.1s)* | ***1,5-1,6*** | ***Elaborato non presente*** | ***1,99*** |
| ***F.A. SI1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,3-2,4*** | ***2,3-2,4*** | ***2,29*** |
| ***F.A. SI2*** *(0.5s<$T_0$<1.0s)* | ***1,6-1,9*** | ***1,5-1,6*** | ***2,43*** |
| ***F.A. SI3*** *(0.5s<$T_0$<1.5s)* | ***-*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,04*** |

In Fig. 10 si presenta il grafico riassuntivo dello spettro medio di output in accelerazione, calcolato per il sito di interesse. Il grafico è stato estrapolato dal foglio di calcolo Excel utilizzato e viene fornito in allegato al presente elaborato, insieme ai file .txt relativi a ciascuno spettro rappresentato.

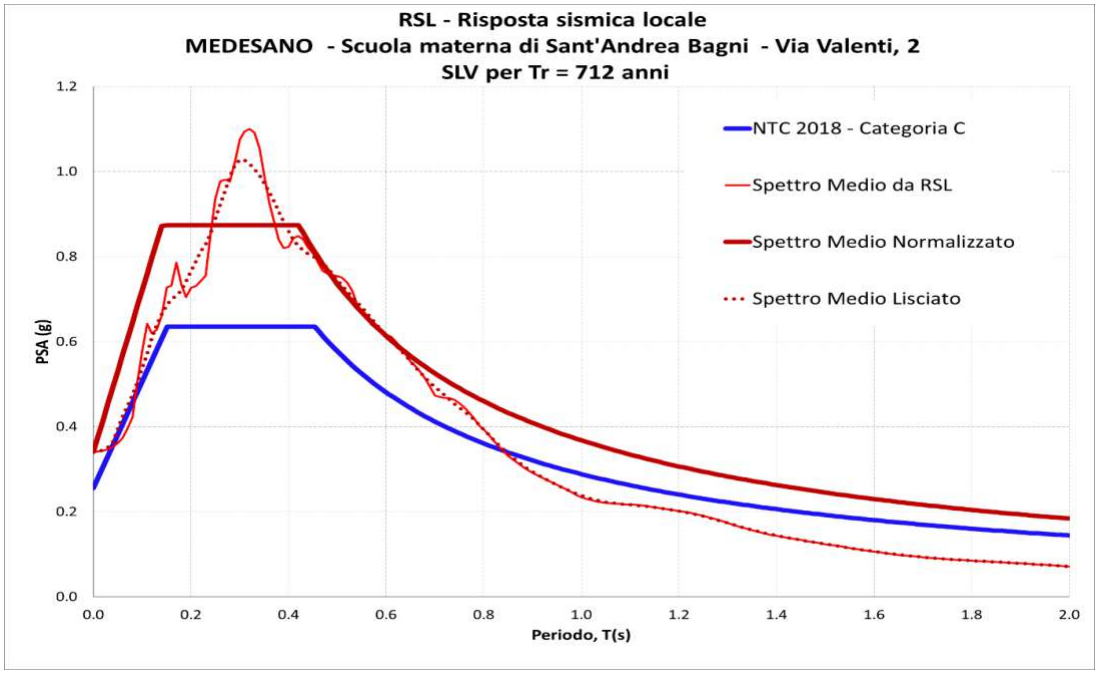



**Figura 10 - Grafico di sintesi che rappresenta lo spettro di output dello studio di RSL messo a confronto con lo spettro della categoria sismica di sottosuolo ricavato da procedura semplificata.**

## *SLC– CLASSE D'USO Cu: 1,5 – Vn:50 anni – Tr:1462*

**Tabella 1 - Valori dei parametri $a_g$, $F_0$ , $T_C^*$ per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite e coefficienti sismici determinati per il sito in esame (Lat. e Long. In Coordinate WGS84 e ED50).**

| Parametri sismici introdotti | |
|---|---|
| Categoria Sottosuolo | C |
| Categoria Topografica | T1 |
| Periodo di riferimento | 75 anni |
| Coeff. Cu | 1,5 |




| Stati Limite | | Probabilità di superamento | Tempo di ritorno $T_R$ (anni) | $a_g$ (g) | $F_0$ | $T_C^*$ (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stati limite d'esercizio | SLO | 81% | 45 | 0,062 | 2,462 | 0,251 |
| | SLD | 63% | 75 | 0,077 | 2,461 | 0,261 |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% | 712 | 0,178 | 2,490 | 0,286 |
| | SLC | 5% | 1462 | 0,221 | 2,514 | 0,295 |

| COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLO: | SLD: | SLV: | SLC: |
| Amplificazione stratigrafica Ss | 1,50 | 1,50 | 1,43 | 1,37 |
| Coeff. funz. Categoria Cc | 1,66 | 1,64 | 1,59 | 1,57 |
| Amplificazione Topografica St | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Componente Orizzontale Kh | 0,019 | 0,023 | 0,061 | 0,085 |
| Componente verticale Kv | 0,009 | 0,012 | 0,031 | 0,042 |
| Acceleraz. Max attesa in sito Amax: | 0,908 | 1,132 | 2,502 | 2,974 |
| Beta: | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

### 1) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Definisce la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità.

Consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale, intesa come rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.0 al bedrock (sottosuolo di categoria A) (Fig. 6).

Si rammenta che per il Comune di **Medesano** si partiva da una $ag_{max}$ al suolo rigido pari a **0,221g**.

Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA0 più cautelativo al suolo (cioè il più elevato) è ricavato dall'input:

- **IT0488ya_6** **Fan $pga_{max}$ = 2,47**

mentre il valore F.A. medio definito su n.7 accelerogrammi è:

**FApga $_{medio}$ 1,9**

| INPUT SISMICO | PGA bedrock | Pga Superficie | F.A. |
|---|---|---|---|
| IT0090xa_1 | 0,221 | 0,355 | 1,60 |
| IT0103xa_2 | 0,221 | 0,297 | 1,34 |
| IT0103ya_3 | 0,221 | 0,415 | 1,87 |
| IT0281xa _4 | 0,221 | 0,441 | 1,99 |
| IT0461xa_5 | 0,221 | 0,388 | 1,75 |
| IT0488ya_6 | 0,221 | 0,548 | 2,47 |
| IT0488ya_7 | 0,221 | 0,506 | 2,28 |
| **Media** | **0,221** | **0,421** | **1,9** |

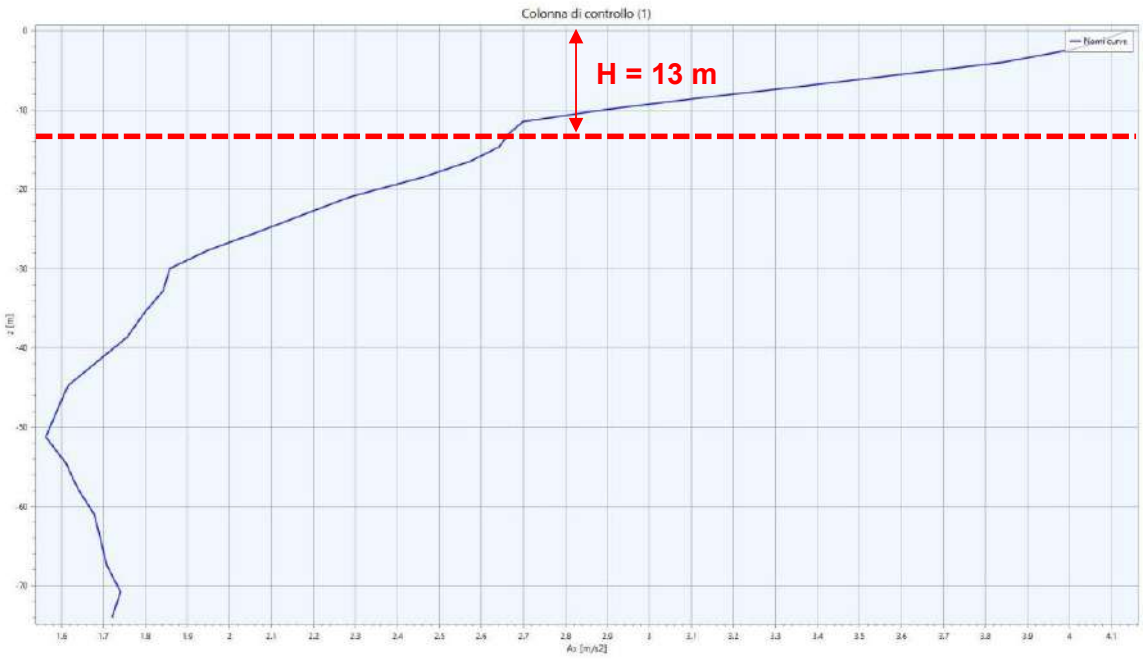



**Figura 6 - P.G.A. Profile: si può notare un incremento rilevante della PGA in corrispondenza degli orizzonti più superficiali (da circa 14m di profondità fino a p.c., e in particolare i primi 11m da p.c. rappresentati da orizzonti limoso-argillosi con Vs < 360 m/s).**

### 2) Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità di Housner (o intensità dello spettro di risposta) viene definita come segue:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

dove PSV è lo spettro di risposta di pseudo-velocità, **T** e **ξ** sono rispettivamente **il periodo** e **lo smorzamento strutturale**.

Questo parametro di severità del moto sismico è correlato al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in esame, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0.1 e 2.5 secondi. Dimensionalmente l'intensità di Housner è uno spostamento (cm).

Di seguito il valore di "Intensità di Housner" viene presentato per i seguenti intervalli di riferimento:

- 0,1<SI<0,5 (Fig. 7a);
- 0,5<SI<1,0 (Fig. 7b);
- 0,5<SI<1,5 (Fig. 7c).

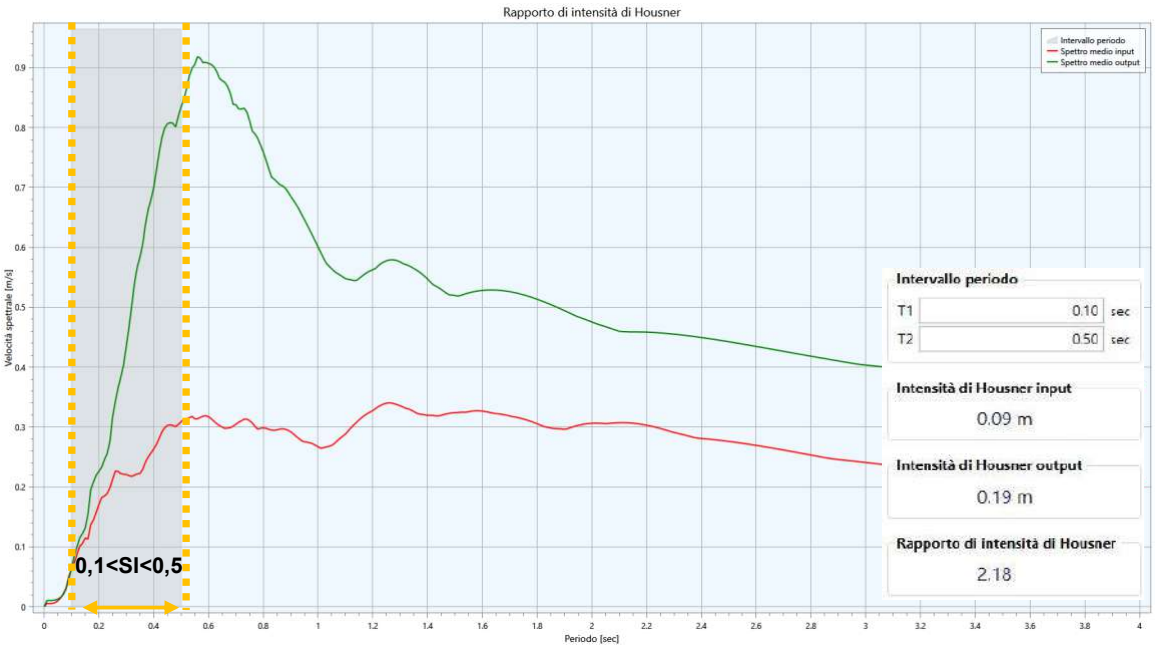



**Figura 7a - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,1<SI<0,5.**

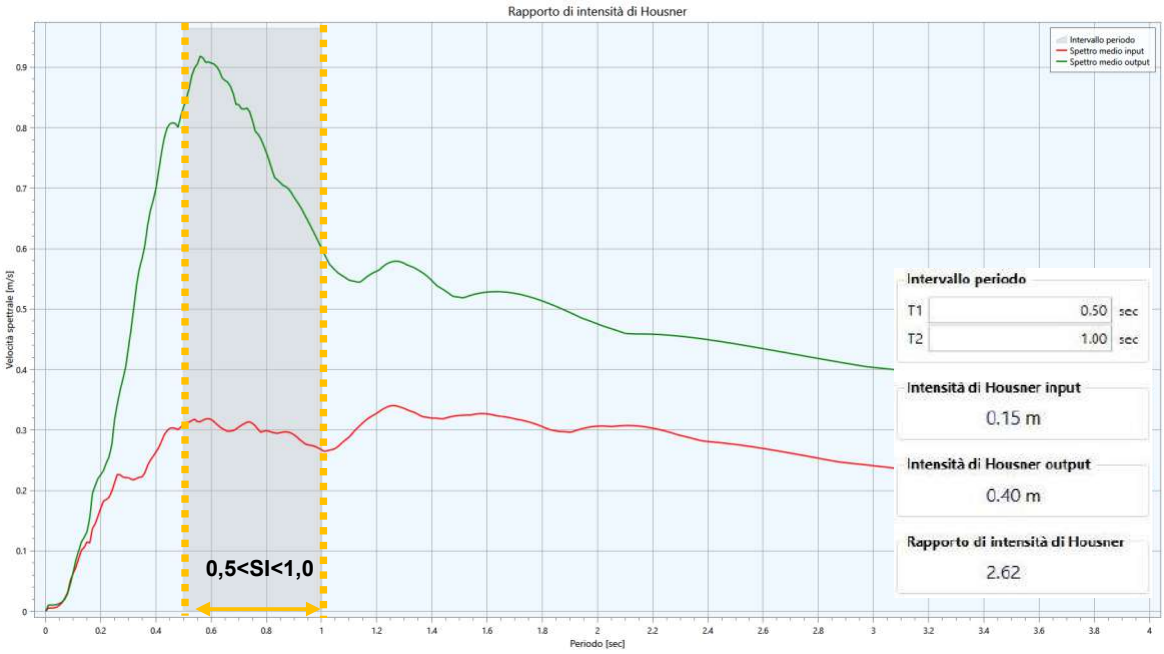



**Figura 7b - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,0.**

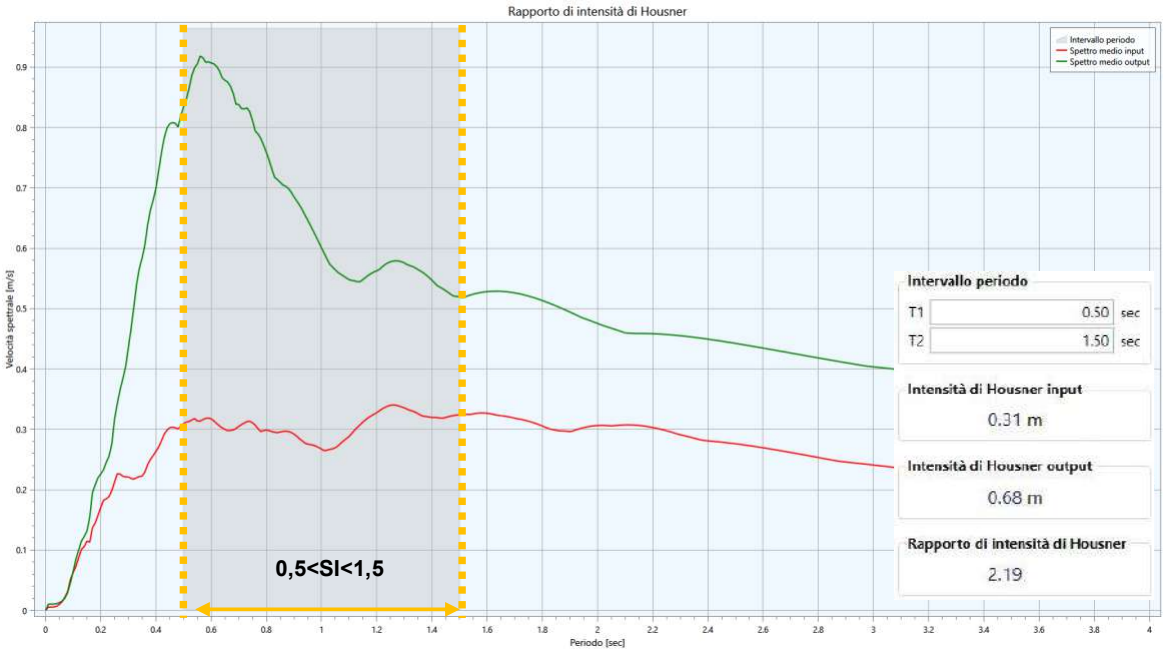



**Figura 7c - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,5.**

### 3) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Rappresenta l'elaborato fondamentale richiesto dagli strutturisti e in "LSR 2D" può essere calcolato sia in superficie che per una profondità di interesse.

Nel caso in esame (Fig. 8) è stato calcolato per gli **SLC** a **-1m da piano campagna**, con un **coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%**. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, il sito presentava un valore di **Vs30** di **324 m/s**, ed è stato classificato in "**Categoria C**". Osservando in dettaglio il grafico (Fig. 8) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di

---

"**Categoria C**". Lo spettro medio è stato poi parametrizzato secondo la tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della "*media*".

Resta compito dello strutturista definire il valore del periodo proprio e dello smorzamento della struttura, andando a modificare lo "spettro di progetto" in funzione del "*Fattore di struttura q*".

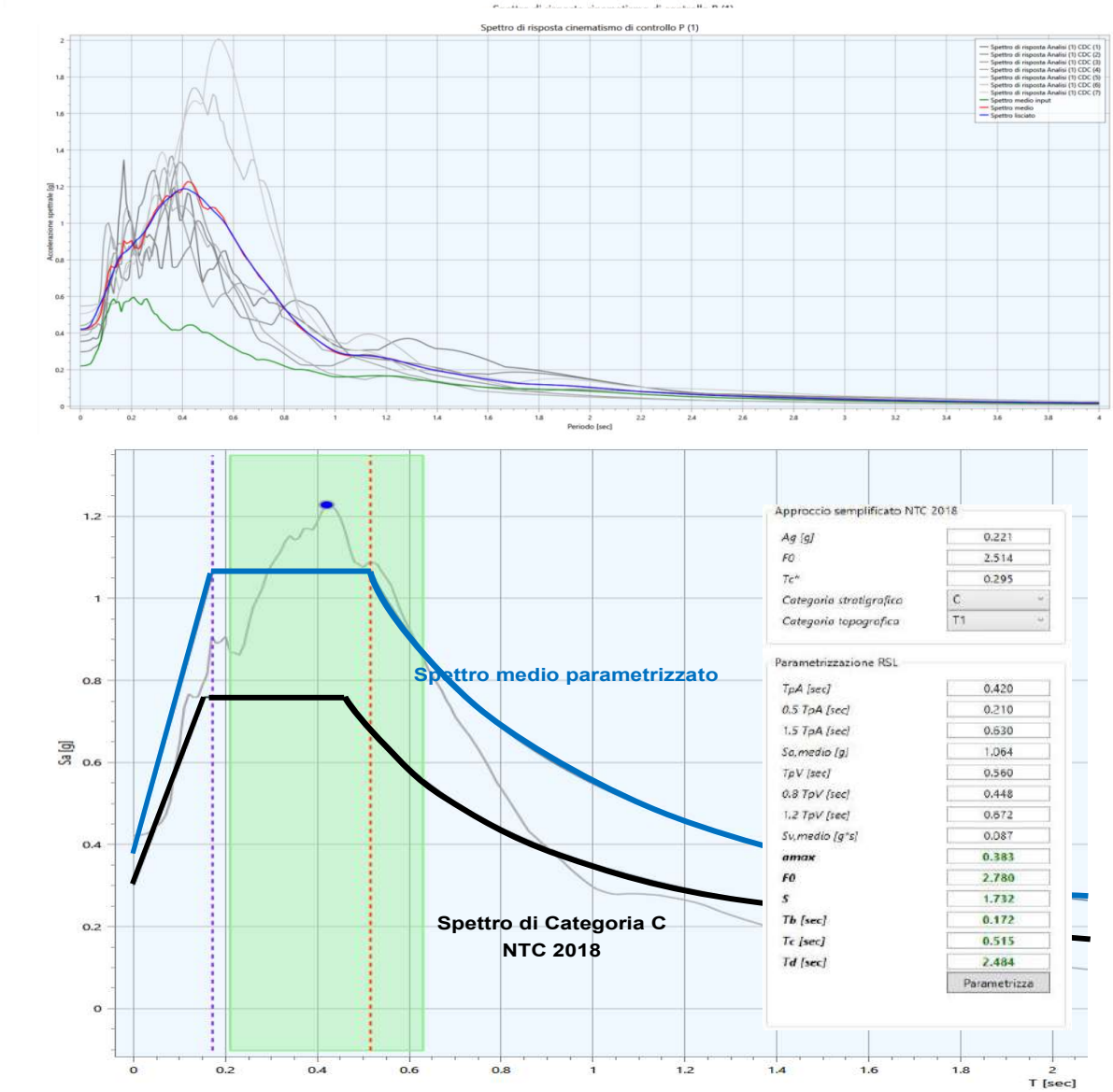



**Figura 8 – Spettri di output (in alto) e relativo spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLC con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio parametrizzato secondo normativa (linea blu) con lo spettro ricavato dall' approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla "Categoria di sottosuolo sismico"**

**(CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito (linea nera).**

In ultima analisi (Tabella 3) è quindi possibile mettere a confronto **i valori medi di F.A. calcolati nello studio di R.S.L.** (Fig. 9), con:

- **i valori di F.A. determinati nello studio di Microzonazione Sismica comunale di 2° o 3° livello;**
- **i valori di F.A. ricavati con l'approccio semplificato**, seguendo quanto indicato nella **Delibera n. 476 del 12 Aprile 2021**, che rappresenta l'aggiornamento degli "Indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica", atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007).

In particolare, per il sito di interesse, gli abachi da utilizzare sono riportati di seguito.

I parametri di input considerati sono:

- **VsH= 268 m/s**
- **H= 17,5 m**

**Tabella 3 - Confronto fra i valori del Fattore di Amplificazione F.A. ricavati tramite procedura semplificata - Allegato A2 del D.G.R n°476 del 12 aprile 2021, studio di Microzonazione Simica – MZS di 2° livello e il presente studio di "Risposta Sismica Locale - RSL".**

| CONFRONTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A. DA ANALISI SEMPLIFICATA, MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO E DA RSL | | | |
|---|---|---|---|
| **FATTORE DI AMPLIFICAZIONE CONSIDERATO** | **PROCEDURA SEMPLIFICATA DA ABACHI** | **MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO** | **RISPOSTA SISMICA LOCALE R.S.L.** |
| ***F.A. PGA*** | ***2,1-2,2*** | ***2,1-2,2*** | ***1,87*** |
| ***F.A. SA1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,2-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,05*** |
| ***F.A. SA2*** *(0.4s<$T_0$<0.8s)* | ***1,9-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,70*** |
| ***F.A. SA3*** *(0.7s<$T_0$<1.1s)* | ***1,5-1,6*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,13*** |
| ***F.A. SI1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,3-2,4*** | ***2,3-2,4*** | ***2,18*** |
| ***F.A. SI2*** *(0.5s<$T_0$<1.0s)* | ***1,6-1,9*** | ***1,5-1,6*** | ***2,57*** |
| ***F.A. SI3*** *(0.5s<$T_0$<1.5s)* | ***-*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,16*** |

In Fig. 10 si presenta il grafico riassuntivo dello spettro medio di output in accelerazione, calcolato per il sito di interesse. Il grafico è stato estrapolato dal foglio di calcolo Excel utilizzato e viene fornito in allegato al presente elaborato, insieme ai file .txt relativi a ciascuno spettro rappresentato.

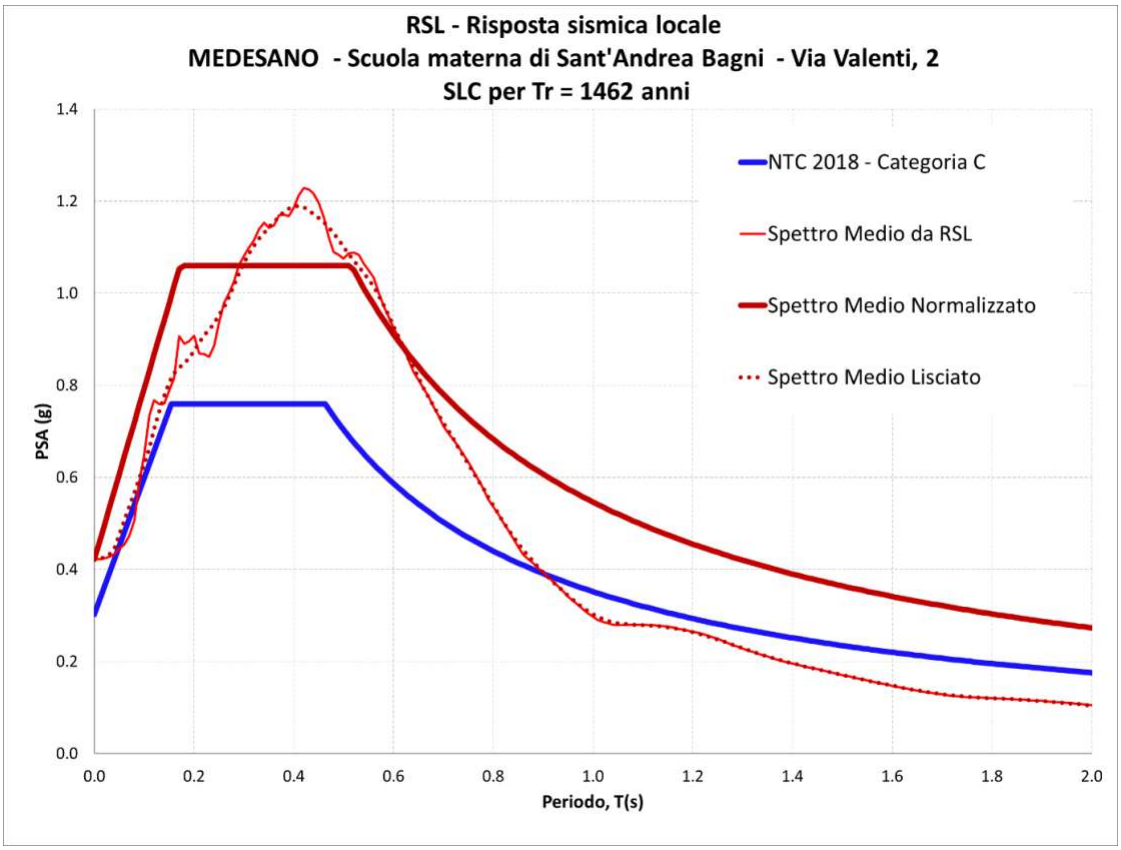



**Figura 10 - Grafico di sintesi che rappresenta lo spettro di output dello studio di RSL messo a confronto con lo spettro della categoria sismica di sottosuolo ricavato da procedura semplificata.**

La risposta sismica locale da uno spettro normalizzato superiore rispetto a quello della categoria C rilevato con le NTC2018, sia per le SLV che per le SLC, di conseguenza lo strutturista, nella relazione allegata del collega, Dr. Geol. Gabriele Oppo, ne deve tenere conto, nel rispetto delle competenze previste dalla normativa.

## 6.Verifica della Liquefazione.

Data 24/06/2024
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA
Profondità falda idrica 8.6 m

DATI SISMICI
Accelerazione Bedrock 0.16
Fattore amplificazione 2.49

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5
Distanza epicentro 10 Km
Peak ground acceleration (PGA) 0.178

PARAMETRI GEOTECNICI

| Strato Nr | Descrizione | Quota iniziale (m) | Quota finale (m) | Peso unità volume (KN/mc) | Peso unità volume saturo (KN/mc) | Numero colpi medio (Nspt) | D50 granuli (mm) | Resistenza qc (KPa) | Resistenza attrito laterale fs (KPa) | Velocità onde di taglio Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 0 | 2 | 20 | 21 | 0 | 0 | 3190 | 217 | 0 |
| 2 | | 2 | 6.8 | 21 | 22 | 0 | 0 | 4050 | 252 | 0 |
| 3 | | 6.8 | 15 | 21 | 22 | 0 | 0 | 4163 | 298 | 0 |
| 4 | | 15 | 17 | 18 | 21 | 0 | 0 | 16100 | 953 | 0 |

**Robertson Wride, 1998**

Correzione per la magnitudo (MSF) 2.21

| Nr. | Profondità dal p.c. (m) | Pressione litostatica totale (KPa) | Pressione verticale effettiva (KPa) | Resistenza alla punta normalizzata Q | Attrito laterale normalizzato F(%) | Indice di comportamento Ic | Correzione per la pressione litostatica efficaz | Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa) | Coefficiente riduttivo (rd) | Resistenza alla liquefazione (CRR) | Sforzo di taglio normalizzato (CSR) | Coefficiente di sicurezza Fs | Suscettibilità di liquefazione | Indice di liquefazione |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | ce CQ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8.80 | 183.000 | 181.039 | 21.984 | 7.487 | 2.986 | 0.5523682 | 151.439 | 0.933 | 0.403 | 0.049 | 8.170 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 2 | 9.00 | 187.400 | 183.477 | 21.668 | 7.496 | 2.990 | 0.5450264 | 150.627 | 0.931 | 0.398 | 0.050 | 7.995 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 3 | 9.20 | 191.800 | 185.916 | 21.360 | 7.504 | 2.995 | 0.5378772 | 149.831 | 0.928 | 0.393 | 0.050 | 7.839 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 4 | 9.40 | 196.200 | 188.355 | 21.060 | 7.512 | 3.000 | 0.5309132 | 149.051 | 0.923 | 0.388 | 0.050 | 7.712 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 5 | 9.60 | 200.600 | 190.793 | 20.768 | 7.521 | 3.005 | 0.5241273 | 148.286 | 0.918 | 0.383 | 0.050 | 7.592 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 6 | 9.80 | 205.000 | 193.232 | 20.483 | 7.529 | 3.009 | 0.5175126 | 147.537 | 0.912 | 0.379 | 0.051 | 7.478 | Terreno | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | non suscettibile di liquefazione | |
| 7 | 10.00 | 209.400 | 195.671 | 20.205 | 7.537 | 3.014 | 0.5110627 | 146.801 | 0.907 | 0.374 | 0.051 | 7.369 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 8 | 10.20 | 213.800 | 198.109 | 19.934 | 7.546 | 3.018 | 0.5047716 | 146.079 | 0.902 | 0.370 | 0.051 | 7.266 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 9 | 10.40 | 218.200 | 200.548 | 19.670 | 7.554 | 3.023 | 0.4986337 | 145.371 | 0.896 | 0.366 | 0.051 | 7.168 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 10 | 10.60 | 222.600 | 202.987 | 19.412 | 7.563 | 3.027 | 0.4926431 | 144.676 | 0.891 | 0.362 | 0.051 | 7.074 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 11 | 10.80 | 227.000 | 205.425 | 19.160 | 7.571 | 3.032 | 0.4867948 | 143.994 | 0.886 | 0.358 | 0.051 | 6.985 | Terreno non suscettibile di | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | liquefazione | |
| 12 | 11.00 | 231.400 | 207.864 | 18.914 | 7.580 | 3.036 | 0.4810837 | 143.324 | 0.880 | 0.354 | 0.051 | 6.901 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 13 | 11.20 | 235.800 | 210.303 | 18.674 | 7.588 | 3.041 | 0.475505 | 142.666 | 0.875 | 0.350 | 0.051 | 6.820 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 14 | 11.40 | 240.200 | 212.741 | 18.439 | 7.597 | 3.045 | 0.4700543 | 142.019 | 0.870 | 0.346 | 0.051 | 6.743 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 15 | 11.60 | 244.600 | 215.180 | 18.210 | 7.605 | 3.049 | 0.4647271 | 141.384 | 0.864 | 0.343 | 0.051 | 6.670 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 16 | 11.80 | 249.000 | 217.619 | 17.986 | 7.614 | 3.053 | 0.4595193 | 140.759 | 0.859 | 0.339 | 0.051 | 6.600 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 12.00 | 253.400 | 220.057 | 17.766 | 7.622 | 3.058 | 0.4544269 | 140.146 | 0.854 | 0.336 | 0.051 | 6.533 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 18 | 12.20 | 257.800 | 222.496 | 17.552 | 7.631 | 3.062 | 0.4494461 | 139.542 | 0.848 | 0.333 | 0.051 | 6.470 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 19 | 12.40 | 262.200 | 224.935 | 17.342 | 7.639 | 3.066 | 0.4445734 | 138.949 | 0.843 | 0.329 | 0.051 | 6.409 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 20 | 12.60 | 266.600 | 227.373 | 17.137 | 7.648 | 3.070 | 0.4398052 | 138.365 | 0.838 | 0.326 | 0.051 | 6.352 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 21 | 12.80 | 271.000 | 229.812 | 16.936 | 7.657 | 3.074 | 0.4351381 | 137.791 | 0.832 | 0.323 | 0.051 | 6.297 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 22 | 13.00 | 275.400 | 232.251 | 16.739 | 7.665 | 3.078 | 0.4305691 | 137.227 | 0.827 | 0.320 | 0.051 | 6.244 | Terreno non suscet | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | tibile di liquefazione | |
| 23 | 13.20 | 279.800 | 234.689 | 16.546 | 7.674 | 3.082 | 0.426095 | 136.671 | 0.822 | 0.317 | 0.051 | 6.194 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 24 | 13.40 | 284.200 | 237.128 | 16.357 | 7.683 | 3.086 | 0.421713 | 136.124 | 0.816 | 0.315 | 0.051 | 6.146 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 25 | 13.60 | 288.600 | 239.567 | 16.173 | 7.692 | 3.090 | 0.4174202 | 135.586 | 0.811 | 0.312 | 0.051 | 6.101 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 26 | 13.80 | 293.000 | 242.005 | 15.991 | 7.700 | 3.094 | 0.4132138 | 135.055 | 0.806 | 0.309 | 0.051 | 6.058 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 27 | 14.00 | 297.400 | 244.444 | 15.814 | 7.709 | 3.098 | 0.4090915 | 134.534 | 0.800 | 0.306 | 0.051 | 6.016 | Terreno non suscettibile di liquef | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | azione | |
| 28 | 14.20 | 301.800 | 246.883 | 15.640 | 7.718 | 3.102 | 0.4050505 | 134.020 | 0.795 | 0.304 | 0.051 | 5.977 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 29 | 14.40 | 306.200 | 249.321 | 15.469 | 7.727 | 3.106 | 0.4010887 | 133.513 | 0.790 | 0.301 | 0.051 | 5.940 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 30 | 14.60 | 310.600 | 251.760 | 15.302 | 7.735 | 3.109 | 0.3972035 | 133.015 | 0.784 | 0.299 | 0.051 | 5.905 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 31 | 14.80 | 315.000 | 254.199 | 15.138 | 7.744 | 3.113 | 0.3933929 | 132.524 | 0.779 | 0.296 | 0.050 | 5.871 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 32 | 15.00 | 319.400 | 256.638 | 14.977 | 7.753 | 3.117 | 0.3896548 | 132.039 | 0.774 | 0.294 | 0.050 | 5.839 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 33 | 15.20 | 323.600 | 258.876 | 60.942 | 6.041 | 2.616 | 0.3862852 | 213.108 | 0.768 | 0.980 | 0.050 | 19.509 | Terreno | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | non suscettibile di liquefazione | |
| 34 | 15.40 | 327.800 | 261.115 | 60.403 | 6.042 | 2.619 | 0.3829733 | 212.283 | 0.763 | 0.970 | 0.050 | 19.354 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 35 | 15.60 | 332.000 | 263.354 | 59.874 | 6.044 | 2.621 | 0.3797178 | 211.470 | 0.757 | 0.959 | 0.050 | 19.205 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 36 | 15.80 | 336.200 | 265.592 | 59.353 | 6.045 | 2.624 | 0.3765172 | 210.669 | 0.752 | 0.950 | 0.050 | 19.062 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 37 | 16.00 | 340.400 | 267.831 | 58.842 | 6.047 | 2.626 | 0.3733701 | 209.879 | 0.747 | 0.940 | 0.050 | 18.925 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 38 | 16.20 | 344.600 | 270.070 | 58.338 | 6.049 | 2.629 | 0.3702751 | 209.100 | 0.741 | 0.930 | 0.049 | 18.794 | Terreno non suscettibile di | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | liquefazione | |
| 39 | 16.40 | 348.800 | 272.308 | 57.843 | 6.050 | 2.631 | 0.367231 | 208.332 | 0.736 | 0.921 | 0.049 | 18.668 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 40 | 16.60 | 353.000 | 274.547 | 57.356 | 6.052 | 2.634 | 0.3642366 | 207.574 | 0.731 | 0.912 | 0.049 | 18.547 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |
| 41 | 16.80 | 357.200 | 276.786 | 56.877 | 6.054 | 2.636 | 0.3612907 | 206.826 | 0.725 | 0.903 | 0.049 | 18.432 | Terreno non suscettibile di liquefazione | 0 |

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

Sono scongiurati rischi di liquefazione, in quanto vi è la presenza di copertura argillosa, ed, inoltre, i fattori di sicurezza sono estremamente confortevoli.

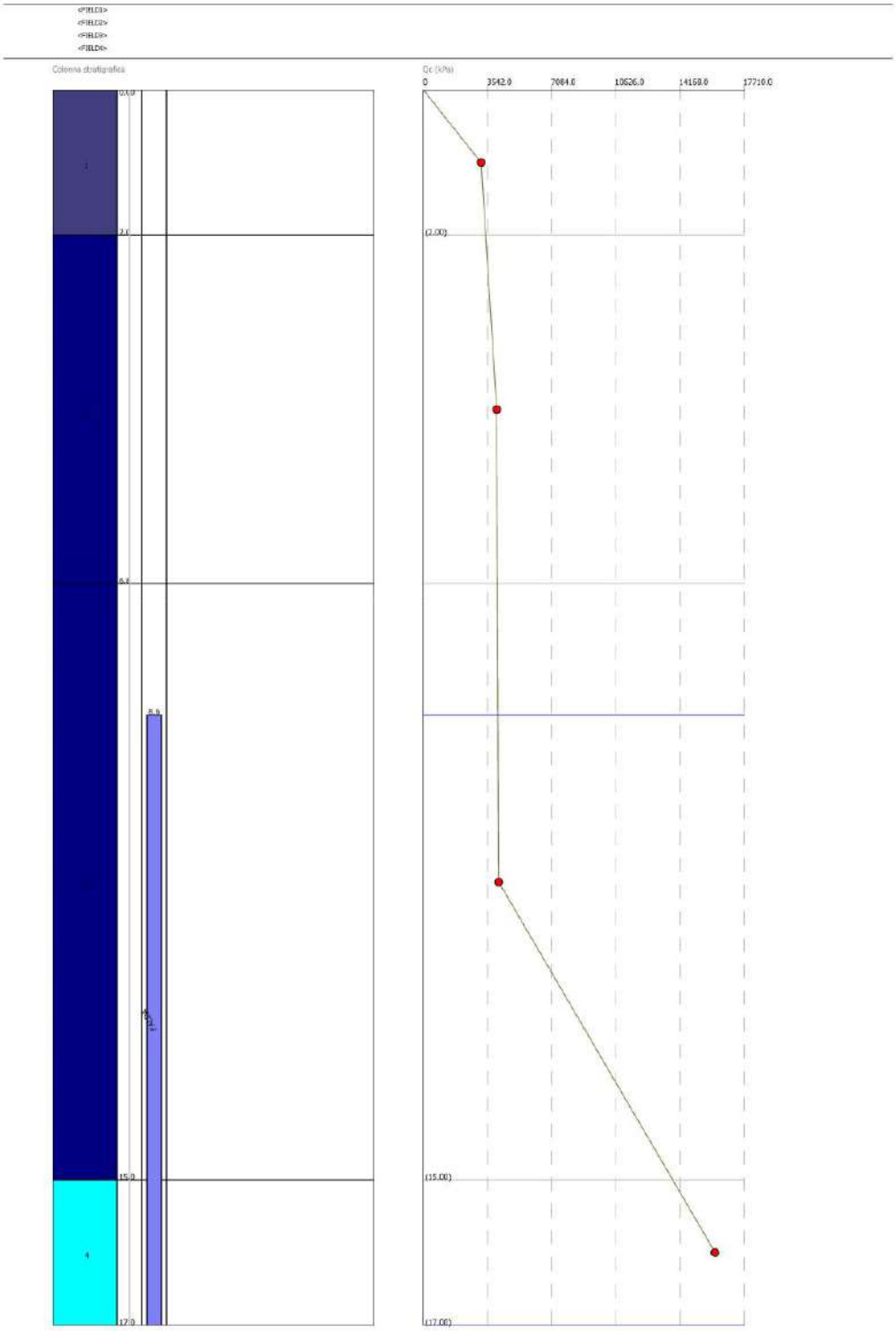



**Figura 7. Grafico Liquefazione.**

# 7.Conclusioni.

**Inquadramento geografico.**

L'edificio oggetto di indagine si trova in Via A. Valenti 2, nella frazione di Sant'Andrea Bagni. Le coordinate wgs84 sono latitudine nord, 44.724775N, longitudine est, 10.090481E, alla quota altimetrica di 178 metri sul livello del mare. I riferimenti catastali sono Medesano, F082, Foglio 53, Particella 268.

**Inquadramento geotecnico.**

*Cpt1.*

Si nota un sovraconsolidamento tra i 2,00 ed i 6,80 metri da piano campagna, con un proseguimento fino ai 15 metri. Al di sotto dei 15 metri inizia un litologia più granulare, identificabile con argilla sabbiosa. La falda acquifera è a 8,6 metri da piano di campagna.

*Cpt2.*

La falda acquifera di trova a 5,6 metri da piano di campagna, in risalita rispetto a CPT1. Si conferma il sovraconsolidamento nel secondo strato, meno marcato rispetto alla prova precedente.

*Cpt3.*

Si conferma la copertura coesiva, compatibile sia con il detrito di versante che con la conoide alluvionale. Non è stata trovata falda acquifera.

La falda acquifera, oscilla tra i 5,4 e gli 8,6 metri da piano di campagna, in probabile risalita, dopo avere forato con lo strumento geognostico la parte granulare della stratigrafia.

**Caratterizzazione geognostica.**

Si riscontra un sovraconsolidamento più marcato su CPT1, dove il cedimento risulta, dai dati in nostro possesso, maggiore di 50 cm, rispetto a CPT2. La prova CPT3 è stata fatta per un ulteriore conferma stratigrafica. L'area oggetto d'indagine si trova in un terrazzamento alluvionale, si imputa il cedimento al periodo siccitoso degli ultimi anni, oltre alla presenza nelle vicinanze di piante fortemente idroesigenti. La falda oscilla tra i 5,40 e gli 8,60 metri da piano di campagna. Si consiglia di consultarsi con l'ingegnere strutturista, in quanto si necessita di contrastare le fessurazioni e cedimenti presenti, valutando l'intervento di una ditta specializzata. I cedimenti sono dovuti a cause legate agli eventi siccitosi presenti nel territorio dal 2017 e dalla presenza di piante idroesigenti vicino alla struttura. I calcoli e le caratterizzazioni sono all'interno del capitolo apposito.

## Report Tecnico Sismico.

Si sono eseguite indagini sismiche con la combinazione di HVSR, MASW ed ESAC per determinare la risposta sismica locale. Il valore di $Vs_{30}$ è di 324 m/s, identificabile con un terreno di tipo C, costituito da 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.
Si riportano i picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20Hz

**F0→ 0,8-1,4 Hz**

**F1→ 3-5 Hz**

**F2→ 16-20 Hz**

## Risposta sismica Locale.

Si sono eseguite le RSL sia per SLV (tempo di ritorno 712 anni) che SLC (tempo di ritorno di 1462 anni), ottenendo i seguenti valori:

***SLV.***

| CONFRONTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A. DA ANALISI SEMPLIFICATA, MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO E DA RSL | | | |
|---|---|---|---|
| **FATTORE DI AMPLIFICAZIONE CONSIDERATO** | **PROCEDURA SEMPLIFICATA DA ABACHI** | **MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO** | **RISPOSTA SISMICA LOCALE R.S.L.** |
| ***F.A. PGA*** | ***2,1-2,2*** | ***2,1-2,2*** | ***1,89*** |
| ***F.A. SA1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,2-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,17*** |
| ***F.A. SA2*** *(0.4s<$T_0$<0.8s)* | ***1,9-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,53*** |
| ***F.A. SA3*** *(0.7s<$T_0$<1.1s)* | ***1,5-1,6*** | ***Elaborato non presente*** | ***1,99*** |
| ***F.A. SI1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,3-2,4*** | ***2,3-2,4*** | ***2,29*** |
| ***F.A. SI2*** *(0.5s<$T_0$<1.0s)* | ***1,6-1,9*** | ***1,5-1,6*** | ***2,43*** |
| ***F.A. SI3*** *(0.5s<$T_0$<1.5s)* | ***-*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,04*** |

In Fig. 10 si presenta il grafico riassuntivo dello spettro medio di output in accelerazione, calcolato per il sito di interesse. Il grafico è stato estrapolato dal foglio di calcolo Excel utilizzato e viene fornito in allegato al presente elaborato, insieme ai file .txt relativi a ciascuno spettro rappresentato.

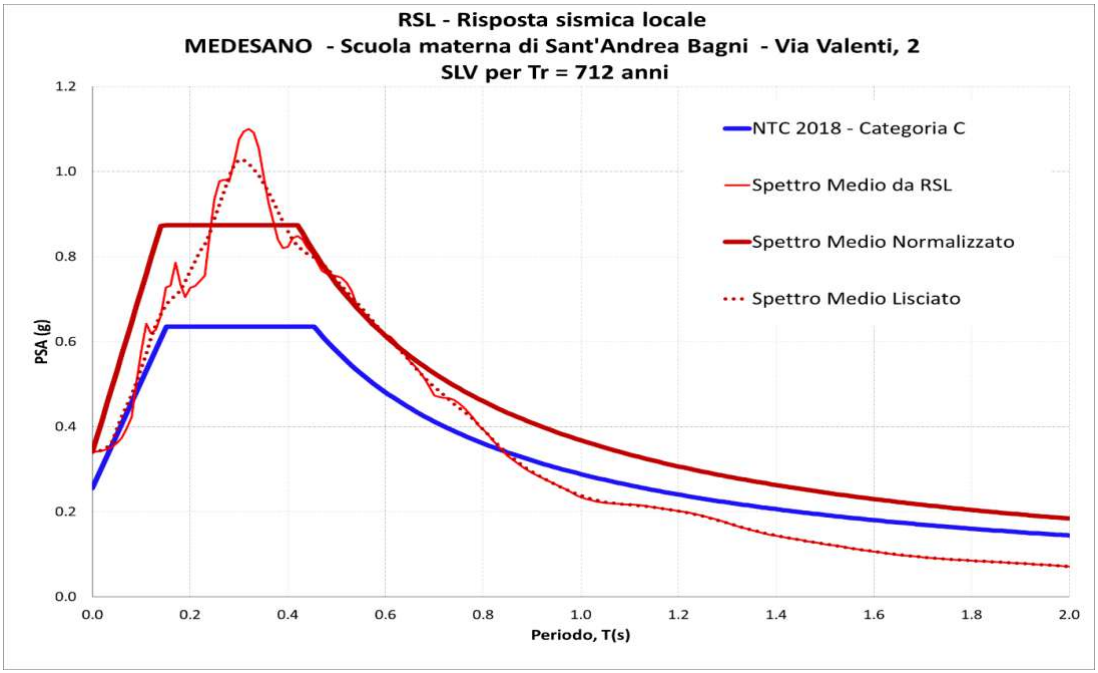



**Figura 10 - Grafico di sintesi che rappresenta lo spettro di output dello studio di RSL messo a confronto con lo spettro della categoria sismica di sottosuolo ricavato da procedura semplificata.**

Lo spettro medio e normalizzato presentano degli Spettri medi e normalizzati superiori a quelli delle NTC2018.

## ***SLC.***

**Tabella 3 - Confronto fra i valori del Fattore di Amplificazione F.A. ricavati tramite procedura semplificata - Allegato A2 del D.G.R n°476 del 12 aprile 2021, studio di Microzonazione Simica – MZS di 2° livello e il presente studio di "Risposta Sismica Locale - RSL".**

| CONFRONTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A. DA ANALISI SEMPLIFICATA, MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO E DA RSL | | | |
|---|---|---|---|
| **FATTORE DI AMPLIFICAZIONE CONSIDERATO** | **PROCEDURA SEMPLIFICATA DA ABACHI** | **MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO** | **RISPOSTA SISMICA LOCALE R.S.L.** |
| ***F.A. PGA*** | ***2,1-2,2*** | ***2,1-2,2*** | ***1,87*** |
| ***F.A. SA1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,2-2,3*** | *Elaborato non presente* | ***2,05*** |
| ***F.A. SA2*** *(0.4s<$T_0$<0.8s)* | ***1,9-2,3*** | *Elaborato non presente* | ***2,70*** |
| ***F.A. SA3*** *(0.7s<$T_0$<1.1s)* | ***1,5-1,6*** | *Elaborato non presente* | ***2,13*** |
| ***F.A. SI1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,3-2,4*** | ***2,3-2,4*** | ***2,18*** |
| ***F.A. SI2*** *(0.5s<$T_0$<1.0s)* | ***1,6-1,9*** | ***1,5-1,6*** | ***2,57*** |
| ***F.A. SI3*** *(0.5s<$T_0$<1.5s)* | - | *Elaborato non presente* | ***2,16*** |

In Fig. 10 si presenta il grafico riassuntivo dello spettro medio di output in accelerazione, calcolato per il sito di interesse. Il grafico è stato estrapolato dal foglio di calcolo Excel utilizzato e viene fornito in allegato al presente elaborato, insieme ai file .txt relativi a ciascuno spettro rappresentato.

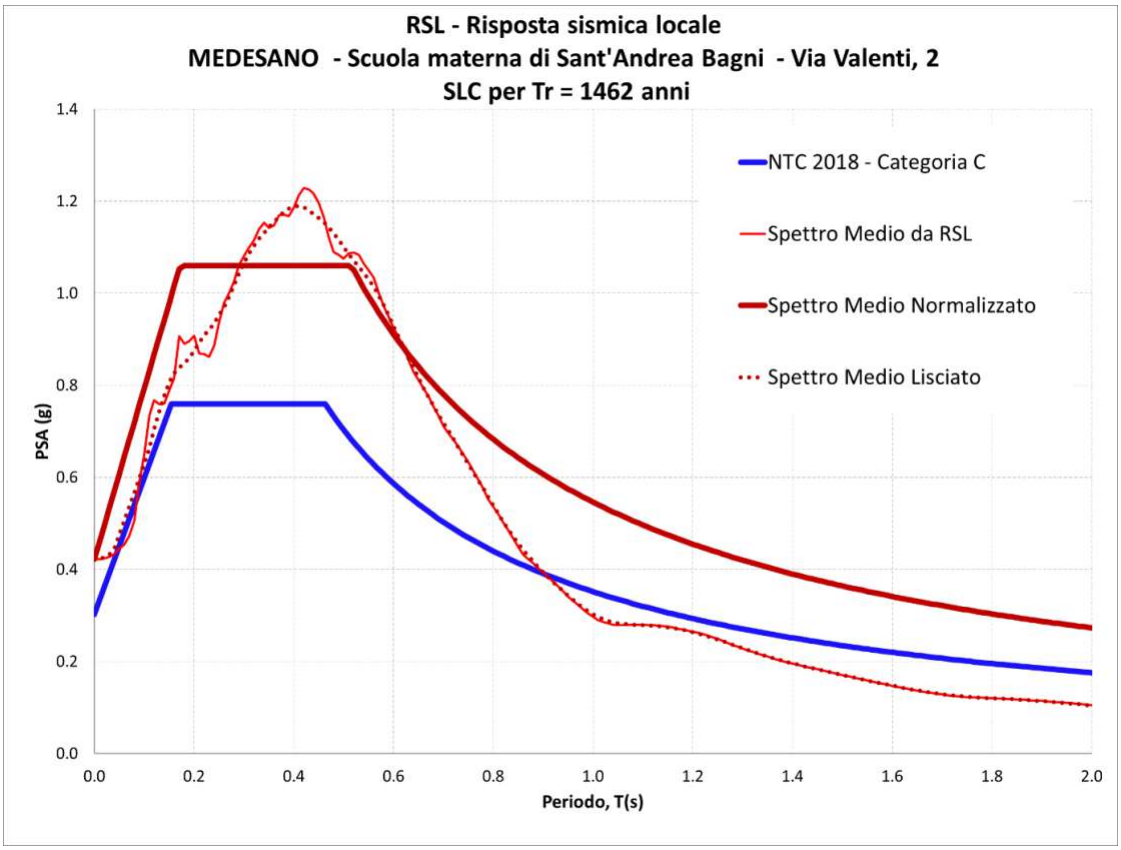



**Figura 10 - Grafico di sintesi che rappresenta lo spettro di output dello studio di RSL messo a confronto con lo spettro della categoria sismica di sottosuolo ricavato da procedura semplificata.**

Si allegherà a parte la relazione del collega geofisico per i dettagli. E' evidente che gli spettri medio e medio normalizzati della RSL anche per SLC risultano superiori rispetto a quello delle NTC2018 di categoria C.

## Verifica della Liquefazione.

I valori ricavati con il metodo di Robertson escludono possibilità di fenomeni di liquefazione, con Fattori di Sicurezza piuttosto confortevoli.

Si esprime parere favorevole all'intervento nel rispetto delle indicazioni riportate.

Parma, 25 Giugno 2024 Il Geologo.

Dr. Geol. Fabio Bussetti



Dott. Geol. Gabriele Oppo
Vicolo San Clemente N°1
43043
Borgo Val di Taro (PR)

Cell: 320-2180522
E-mail: gabrieleoppo.geo@libero.it

# REPORT TECNICO

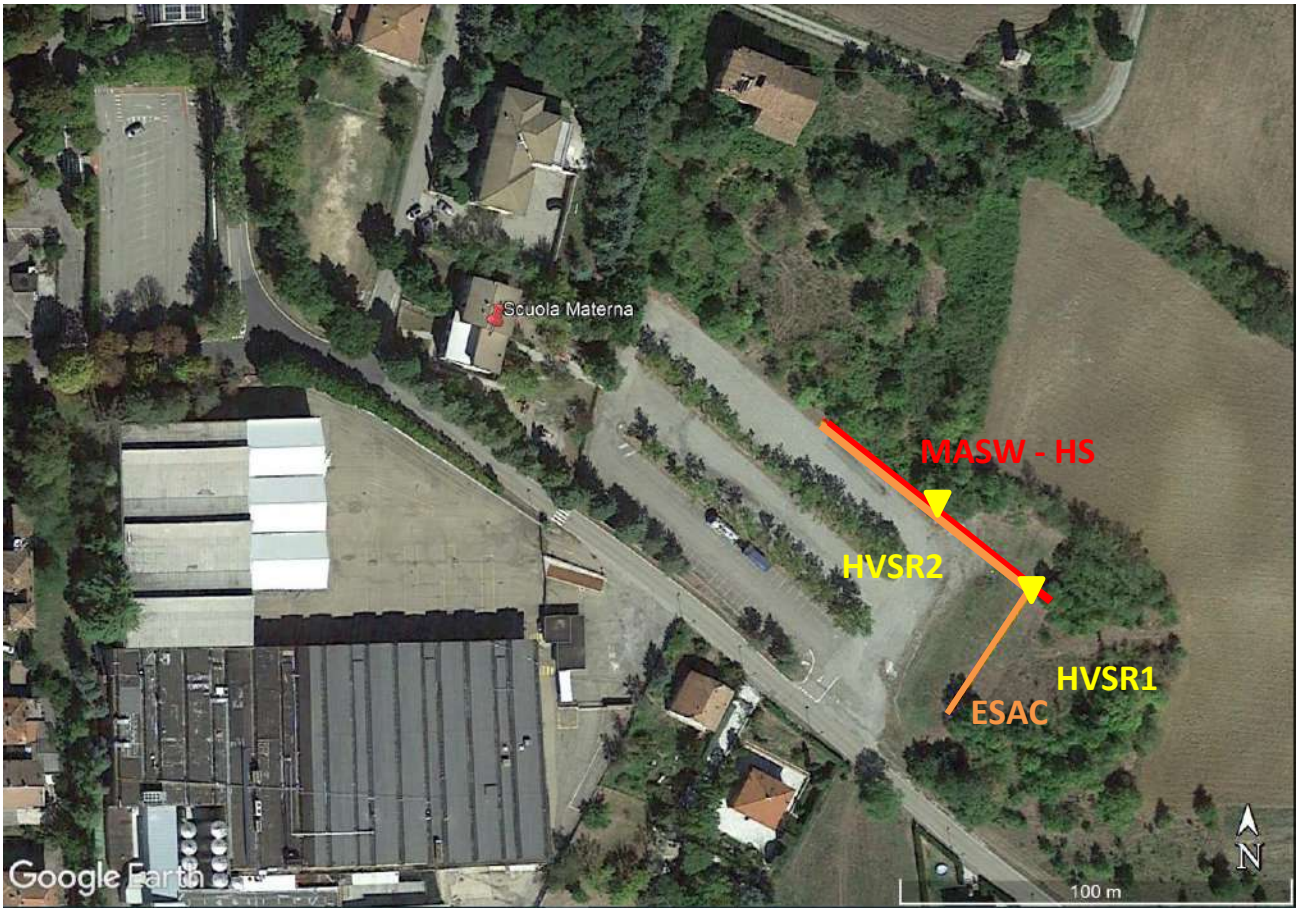
## *INDAGINE SISMICA ATTIVA MASW-HS E INDAGINI SISMICHE PASSIVE ESAC - HVSR*

## *SCUOLA MATERNA S.ANDREA BAGNI MEDESANO (PR)*

GIUGNO 2024

# LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

**INDIRIZZO: Via Valenti, 2 - Località S. Andrea Bagni**
**COMUNE: Medesano (PR)**
**DATA ACQUISIZIONE: 10 06 2024**
**ORA: 9.55**




## Subsurface model

Vs (m/s): 85 200 165 250 230 400 420 600 500 950 1500

Thickness (m): 0.2 0.7 1.2 3.0 5.0 7.4 9.1 18.4 26.0 64.0

Density (gr/cm3): 1.61 1.84 1.79 1.90 1.88 2.03 2.04 2.14 2.09 2.26 2.39

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approx. val.): 12 74 49 119 99 324 360 769 522 2041 5371

Poisson: 0.36 0.44 0.40 0.42 0.36 0.39 0.37 0.39 0.35 0.41 0.41

**Vs, eq = Vs30 (m/s): 324**

**CATEGORIA C**

**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.**

**Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:**

**F0 → 0,8-1,4 Hz**
**F1 → 3-5 Hz**
**F2 → 16-20 Hz**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



**Figura A. 1 - Panoramica sull'area di studio.**

# ESAC



**Figura A. 2 - Stendimento sismico passivo ESAC realizzato in corrispondenza dell'area di studio: Lato NW-SE- (G1-12); Lato NE-SW- (G13-24).**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# ACQUISIZIONE MASW - HS



**Figura A. 3 - Stendimento sismico MASW-HS realizzato in corrispondenza dell'area di studio.**

# ACQUISIZIONE HVSR1



**Figura A. 4 - Acquisizione HVSR2 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.**

# ESAC

### Tabella A - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica passiva

| DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA M.A.S.W. | |
|---|---|
| ***Operatore in campagna*** | Dott. Geol. Gabriele Oppo |
| ***Geometria Stendimento*** | Geometria a L |
| ***Lato lungo*** | 66 metri ; 12 geofoni ; spaziatura di 6m |
| ***Lato corto*** | 36 metri ; 12 geofoni ; spaziatura di 3m |
| ***N° tracce*** | 24 |
| ***Lunghezza dell'acquisizione*** | 20 minuti |
| ***Frequenza di campionamento*** | 250 Hz |
| ***Intervallo di campionamento*** | 0,008 s |

# GEOMETRIA STENDIMENTO

| Geofono | X coordinates | Y coordinates |
|---|---|---|
| G1 | 0.00 | 0.00 |
| G2 | 6.00 | 0.00 |
| G3 | 12.00 | 0.00 |
| G4 | 18.00 | 0.00 |
| G5 | 24.00 | 0.00 |
| G6 | 30.00 | 0.00 |
| G7 | 36.00 | 0.00 |
| G8 | 42.00 | 0.00 |
| G9 | 48.00 | 0.00 |
| G10 | 54.00 | 0.00 |
| G11 | 60.00 | 0.00 |
| G12 | 66.00 | 0.00 |
| G13 | 66.00 | -3.00 |
| G14 | 66.00 | -6.00 |
| G15 | 66.00 | -9.00 |
| G16 | 66.00 | -12.00 |
| G17 | 66.00 | -15.00 |
| G18 | 66.00 | -18.00 |
| G19 | 66.00 | -21.00 |
| G20 | 66.00 | -24.00 |
| G21 | 66.00 | -27.00 |
| G22 | 66.00 | -30.00 |
| G23 | 66.00 | -33.00 |
| G24 | 66.00 | -36.00 |

# ESAC

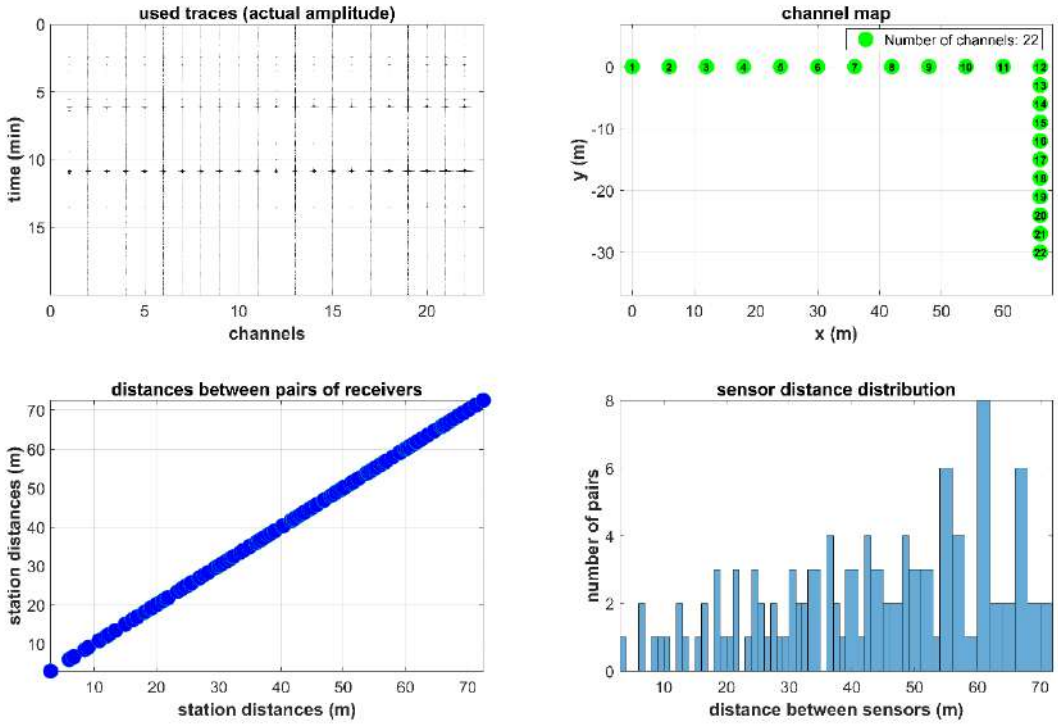



**Figura A. 3 - Tracce acquisite e geometria dello stendimento.**

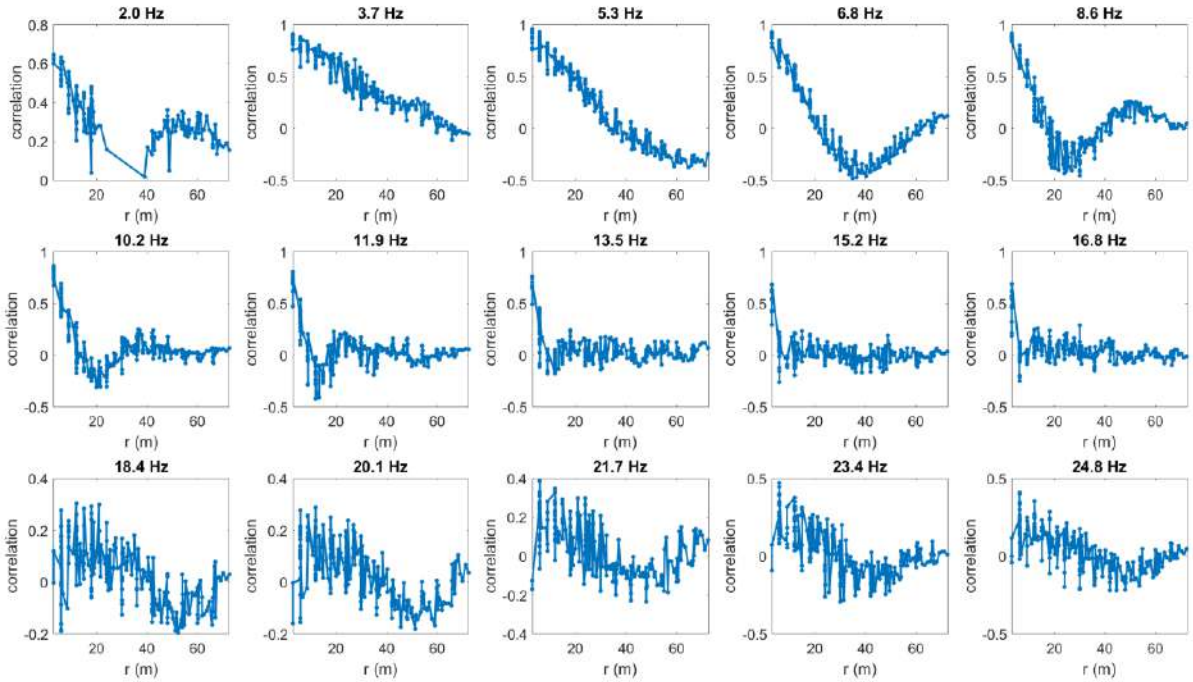
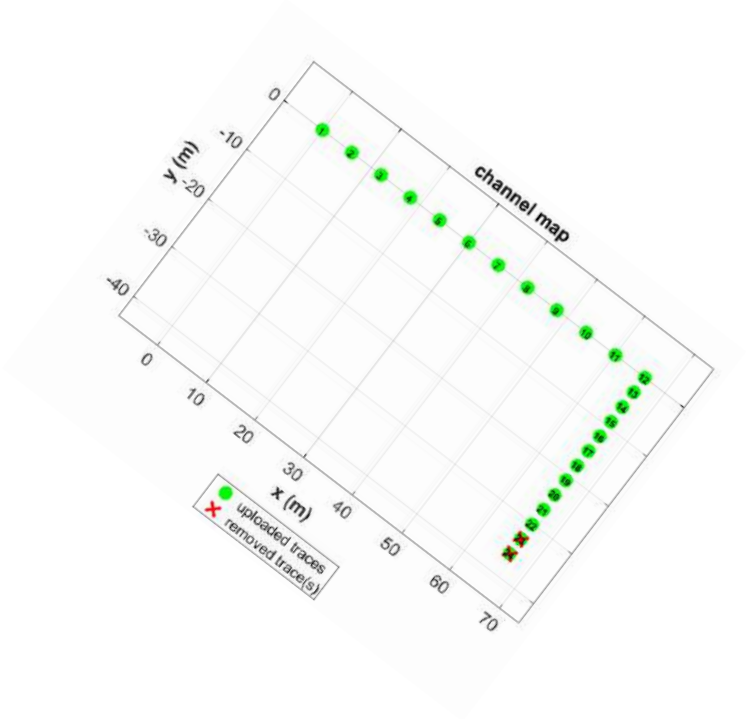
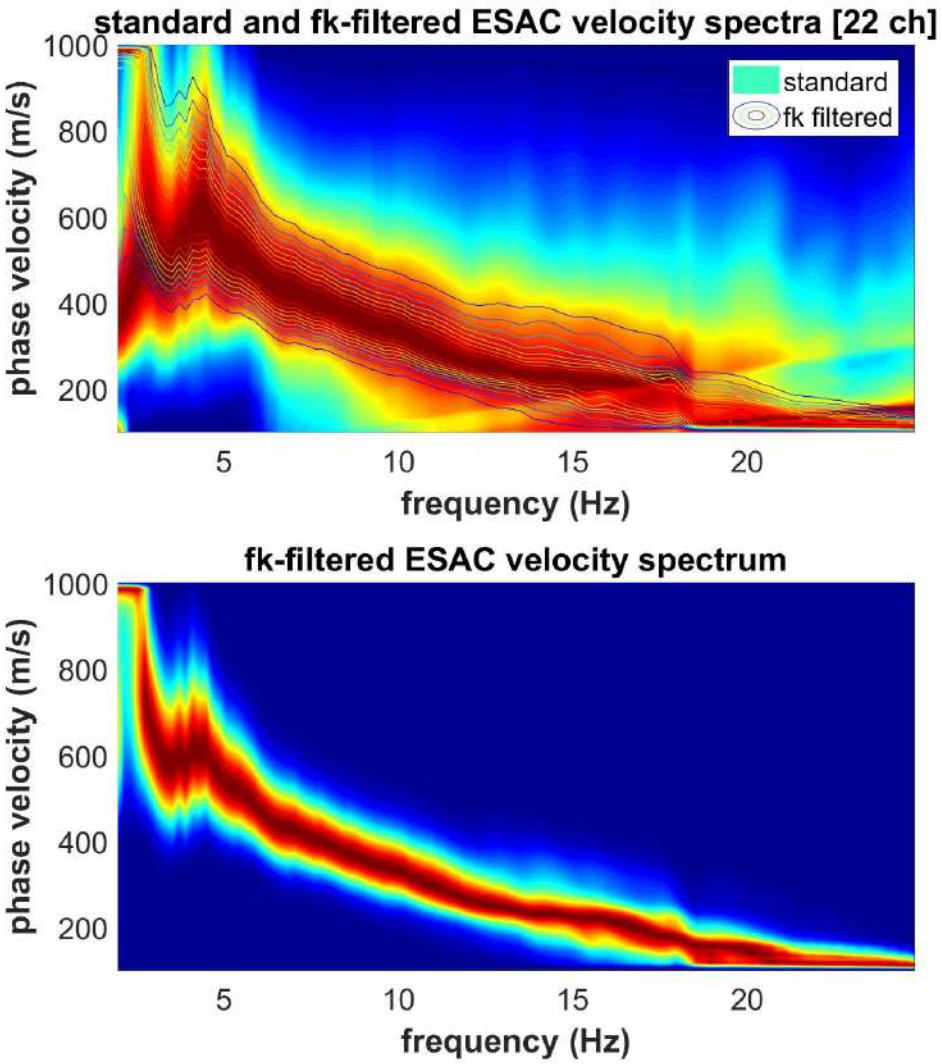



**Figura A. 4 - Coefficienti di correlazione in funzione della distanza tra ricevitori, relativi a 15 frequenze campione, che illustrano la qualità dei dati acquisiti.**




**Spettro di velocità di fase ricavato dalla elaborazione ESAC utilizzando 22 delle 24 tracce acquisite.**

# ACQUISIZIONE MASW

**Tabella B - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva**

| DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA M.A.S.W. | |
|---|---|
| ***Operatore in campagna*** | Dott. Geol. Gabriele Oppo |
| ***Lunghezza Stendimento*** | 71 metri |
| ***Offset Minimo*** | 5 metri |
| ***Incremento*** | 6 metri |
| ***N° tracce*** | 12 |
| ***Tipo di Onda*** | Rayleigh: n.5 battute<br>Forza Verticale:<br>- battuta su piattello in alluminio |
| | Love: n.0 battute<br>Forza Trasversale:<br>- battuta di taglio su traversina in legno |
| ***Lunghezza dell'acquisizione*** | 2 secondi |
| ***Intervallo di Campionamento*** | 0.001 secondi |
| ***Stacking*** | 5 battute per punto sorgente:<br>5 Verticali |

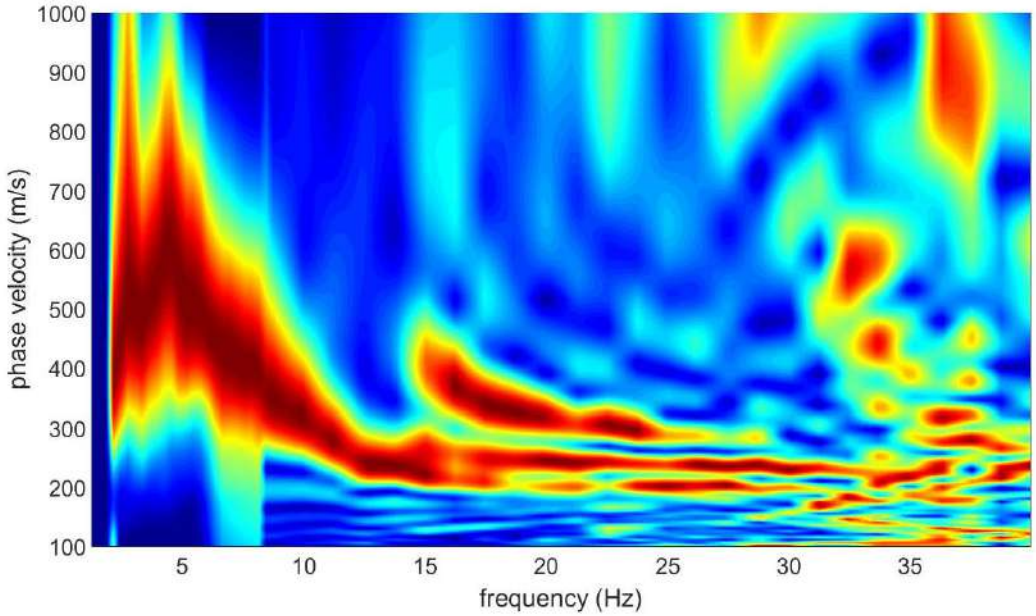
# ACQUISIZIONE HS

**Tabella C - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva**

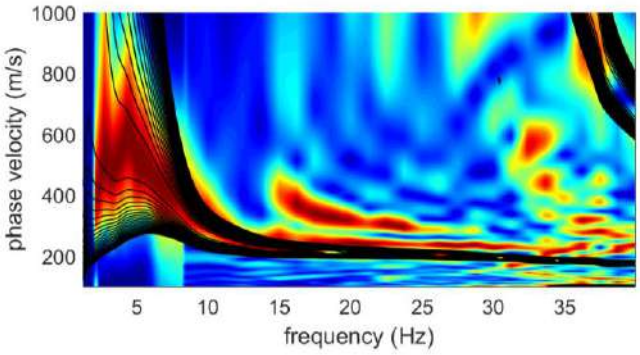
| DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA H.S. | |
|---|---|
| ***Operatore in campagna*** | Dott. Geol. Gabriele Oppo |
| ***Lunghezza Stendimento*** | 36; 60 metri |
| ***Offset Minimo*** | - metri |
| ***Incremento*** | - metri |
| ***N° tracce*** | 1 |
| ***Tipo di Onda*** | Rayleigh: n.5 battute<br>Forza Verticale:<br>- battuta su piattello in alluminio |
| | Love: n.0 battute<br>Forza Trasversale:<br>- battuta di taglio su traversina in legno |
| ***Lunghezza dell'acquisizione*** | 2 secondi |
| ***Intervallo di Campionamento*** | 0.001 secondi |
| ***Stacking*** | 5 battute per punto sorgente:<br>5 Verticali |

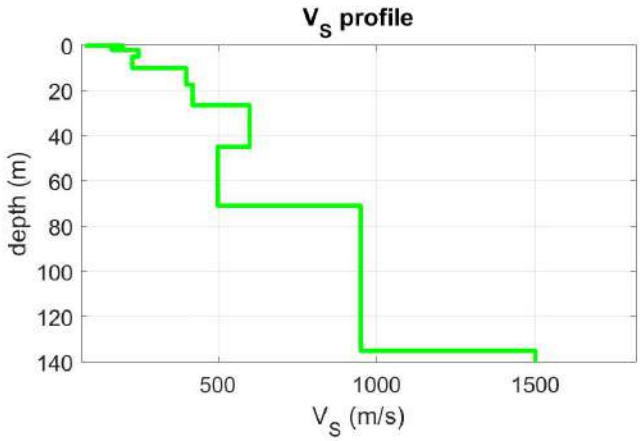
# ACQUISIZIONE MASW+ESAC+HVSR

## Joint Analysis of Rayleigh Wave Dispersion in ZFV + ESAC + HVSR

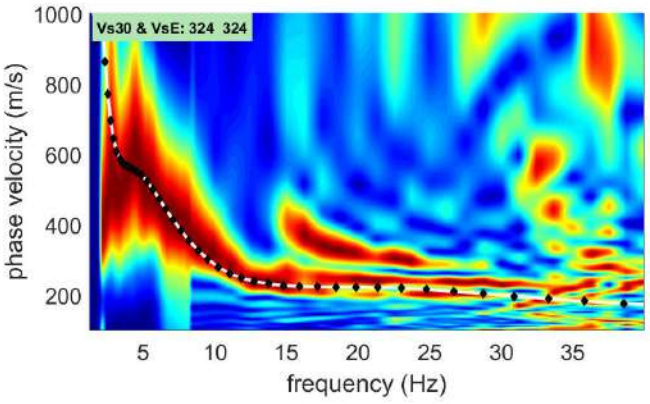


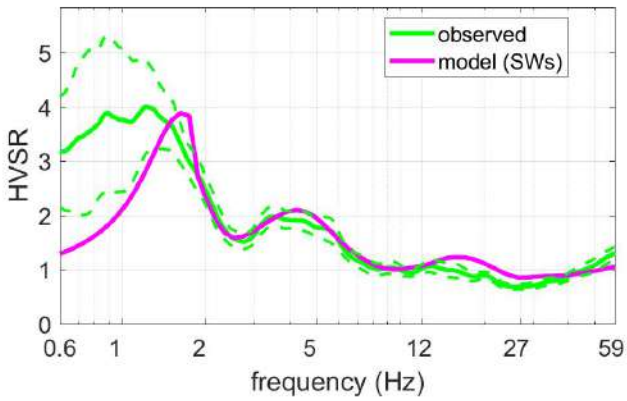

**FULL VELOCITIES SPECTRUM - FVS**




**DISPERTION CURVES**



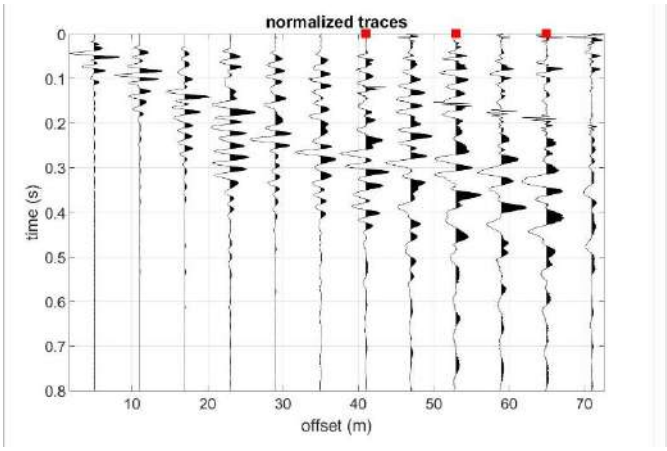



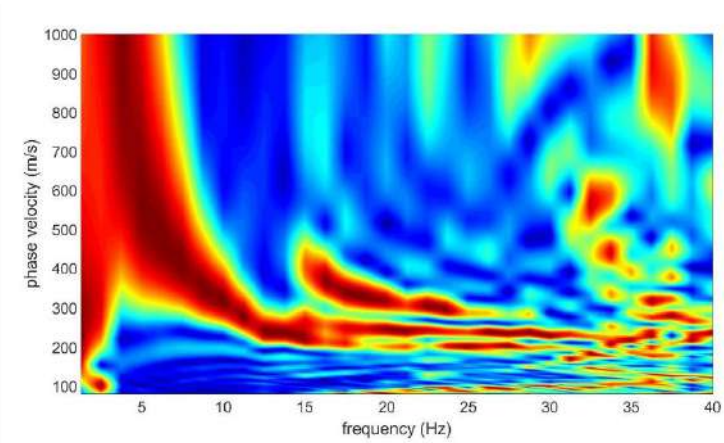

**I colori in sottofondo sono relativi agli spettri di velocità dei dati di campagna, le linee colorate in primo piano rappresentano le curve di dispersione del modello elaborato mentre le curve di contour nere si riferiscono al dato sintetico analizzato in FVS.**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

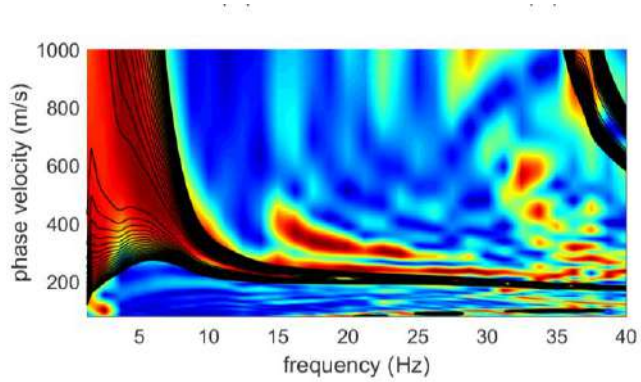
# ACQUISIZIONE MASW

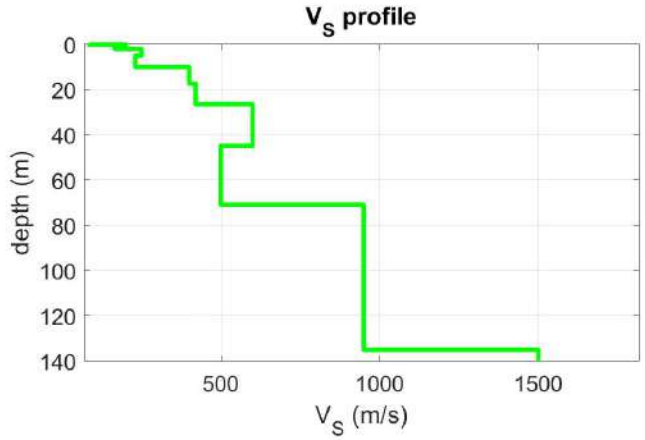
## Joint Analysis of Rayleigh Wave Dispersion in ZFV & HVSR



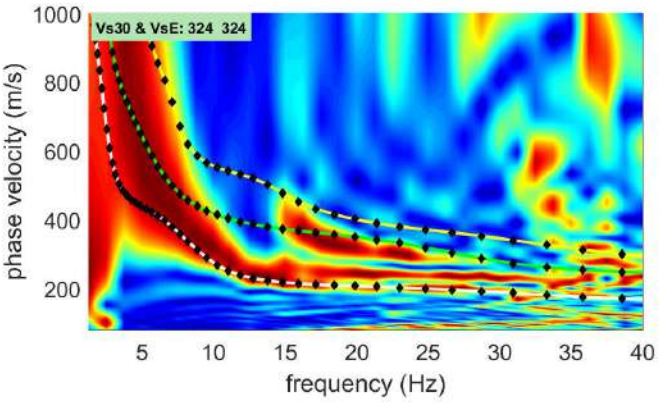



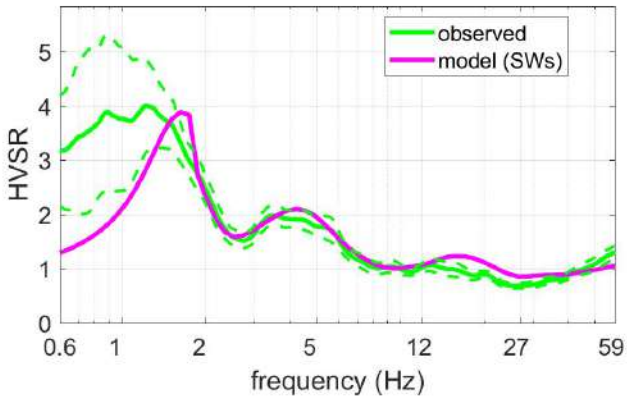

**FULL VELOCITIES SPECTRUM - FVS**




**DISPERTION CURVES**



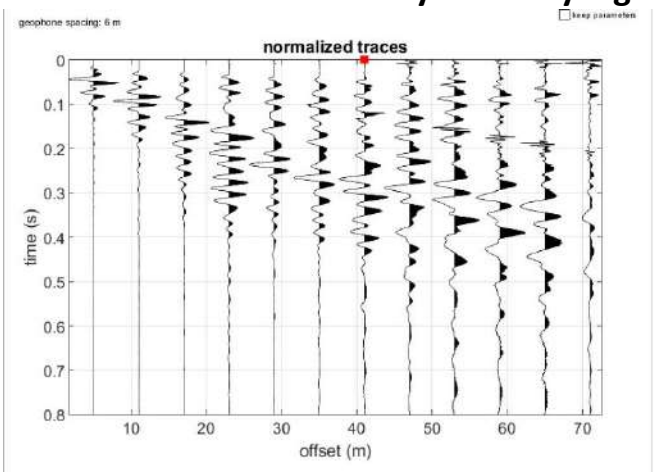



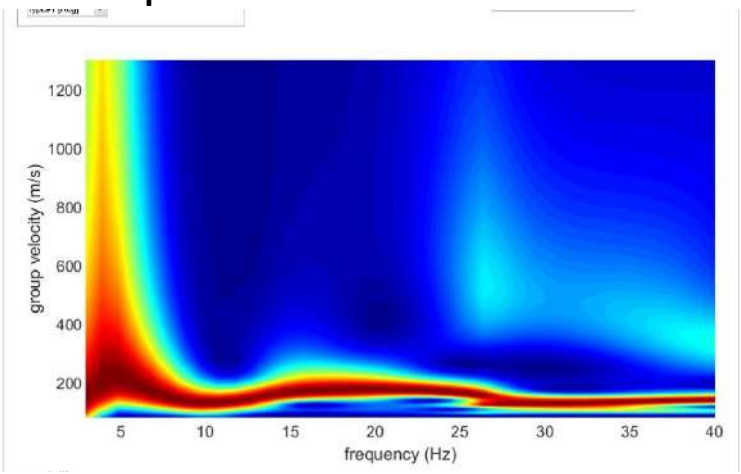

**I colori in sottofondo sono relativi agli spettri di velocità dei dati di campagna, le linee colorate in primo piano rappresentano le curve di dispersione del modello elaborato mentre le curve di contour nere si riferiscono al dato sintetico analizzato in FVS.**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

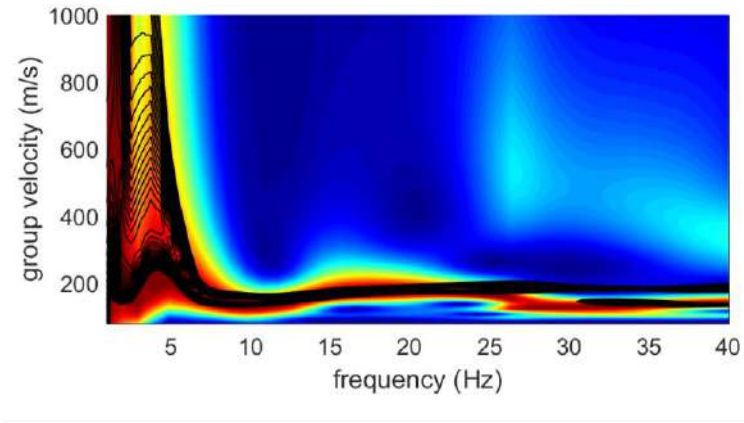
# ACQUISIZIONE HS a 41m

## Joint Analysis of Rayleigh Wave Dispersion in ZVF & HVSR

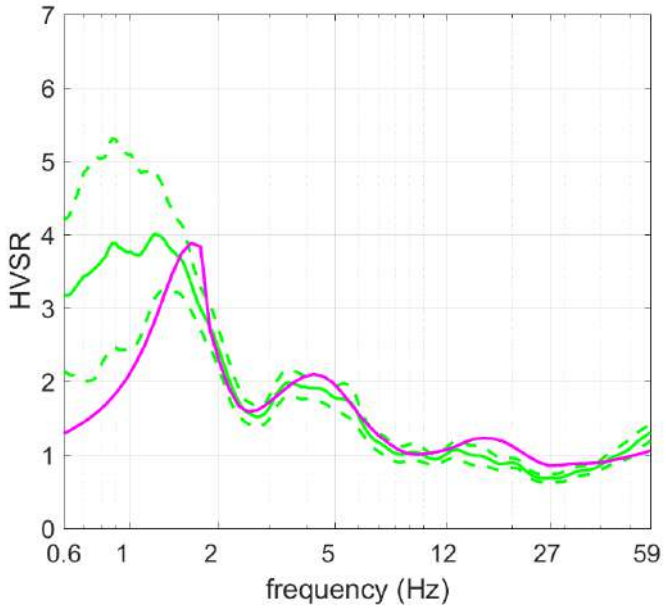



ZVF




HVSR2

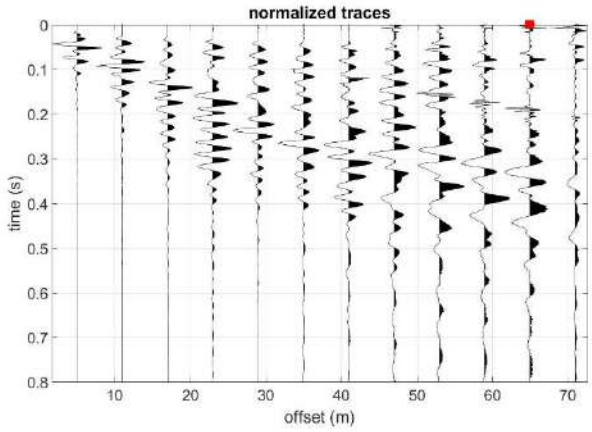


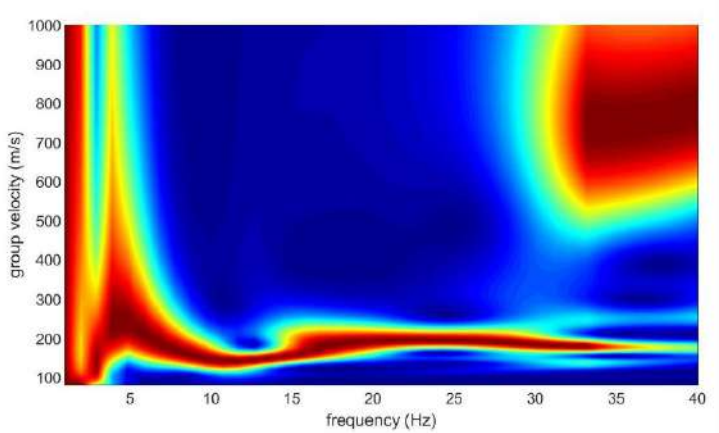

**Il modello elaborato deriva dall'analisi congiunta del dato in sismica attiva MASW-HS, a cui è stato associato il dato in sismica passiva ESAC e HVSR.**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

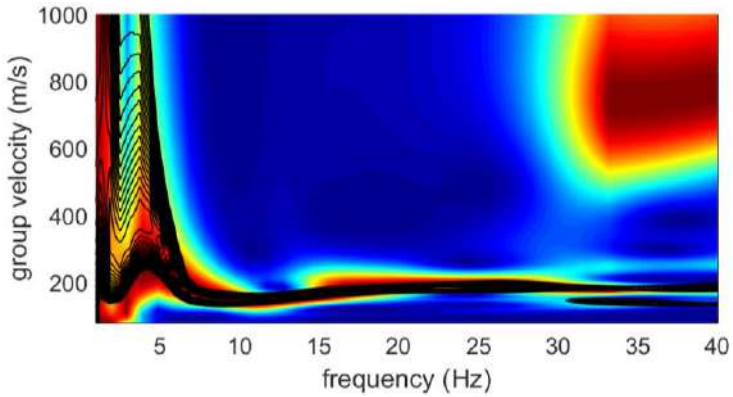
# ACQUISIZIONE HS a 65m

## Joint Analysis of Rayleigh Wave Dispersion in ZVF & HVSR

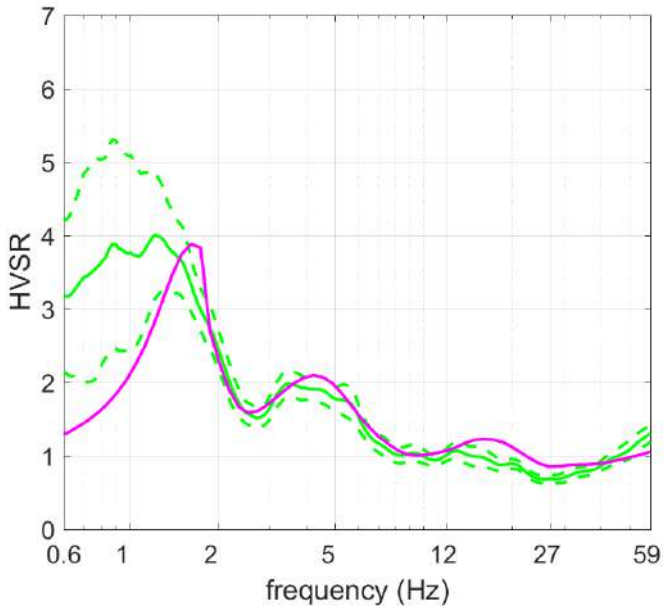



ZVF




HVSR2




**Il modello elaborato deriva dall'analisi congiunta del dato in sismica attiva MASW-HS, a cui è stato associato il dato in sismica passiva ESAC e HVSR.**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# ACQUISIZIONE HVSR1

| CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA | A | B1 | B2 | C |
|---|---|---|---|---|
| **Descrizione delle Classi** | CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile | CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro | CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato | CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare |

## SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET

| | | |
|---|---|---|
| **Comune: Medesano (PR)** | **Indirizzo: Via Valenti, 2 - Località S. Andrea Bagni** | |
| **Attività da svolgere:** Indagine HVSR | **Data: 10/06/2024** | **Ora: 9.41** |
| **DATI TECNICI** | | |
| **Operatore:** Geol. Gabriele Oppo | **Indagine n°** HVSR1 | **Codice file** / |
| **Strumento:** Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" *PASI Instruments* | **Freq. Campionamento:** 200 Hz | **Durata (min):** 20 min |

### CONDIZIONI ATMOSFERICHE

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Vento** | ☒ assente | ☐ debole | ☐ moderato | ☐ forte |
| **Pioggia** | ☒ assente | ☐ debole | ☐ moderata | ☐ forte |

### TERRENO DI PROVA

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Suolo** | ☒ argilloso limoso soffice | ☐ argilloso limoso duro | ☒ con erba | ☐ senza erba |
| | ☐ ghiaia | ☐ sabbia | ☐ sabbia e ghiaia | ☐ roccia |
| **Pavimentazione artificiale** | ☐ rilevato in ghiaia | ☐ cemento/cls | ☐ asfalto | ☐ sabbia |
| **Accoppiamento sensore** | ☒ piedini infissi | ☐ accoppiamento artificiale | ☐ sabbia | ☐ altro |
| | ☐ piedini da pavimento | | | |

### STRUTTURE CIRCOSTANTI

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Abitazioni** | ☐ assenti | ☒ sparse | ☐ fitte | ☐ molto fitte |
| **Fabbriche** | ☐ assenti | ☒ sparse | ☐ fitte | ☐ molto fitte |
| **Piante** | ☐ assenti | ☒ sparse | ☐ fitte | ☐ molto fitte |
| **Ponti.** | ☒ Assenti | | ☐ Presenti | |
| **Strutt.sotterr.** | ☒ Assenti | | ☐ Presenti | |

### SORGENTI DI RUMORE

| | | Assente | Raro | Moderato | Forte | Molto forte | Distanza (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Disturbo discontinuo** | *auto* | | ☒ | | | | |
| | *mezzi pesanti* | | ☒ | | | | |
| | *passanti* | | ☒ | | | | |
| | *altro* | | ☒ | | | | |
| **Disturbo continuo** | ☒ Assenti | | | ☐ Presenti | | | |

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# ACQUISIZIONE HVSR1

## Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20240610_0941HVSR1.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 14.8

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15 **############################ SESAME criteria ############################**

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

Peak frequency (Hz): 1.0 (ą0.6)

Peak HVSR value: 4.1 (ą0.7)

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

#1. [f0 > 10/Lw]: 1.016 > 0.5 (OK)

#2. [nc > 200]: 1199 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.3Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 2.3Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 4.1 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) ą sigmaA(f)] = f0 ą 5%]: (NO)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 0.632 > 0.102 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 1.599 < 1.78 (OK)

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

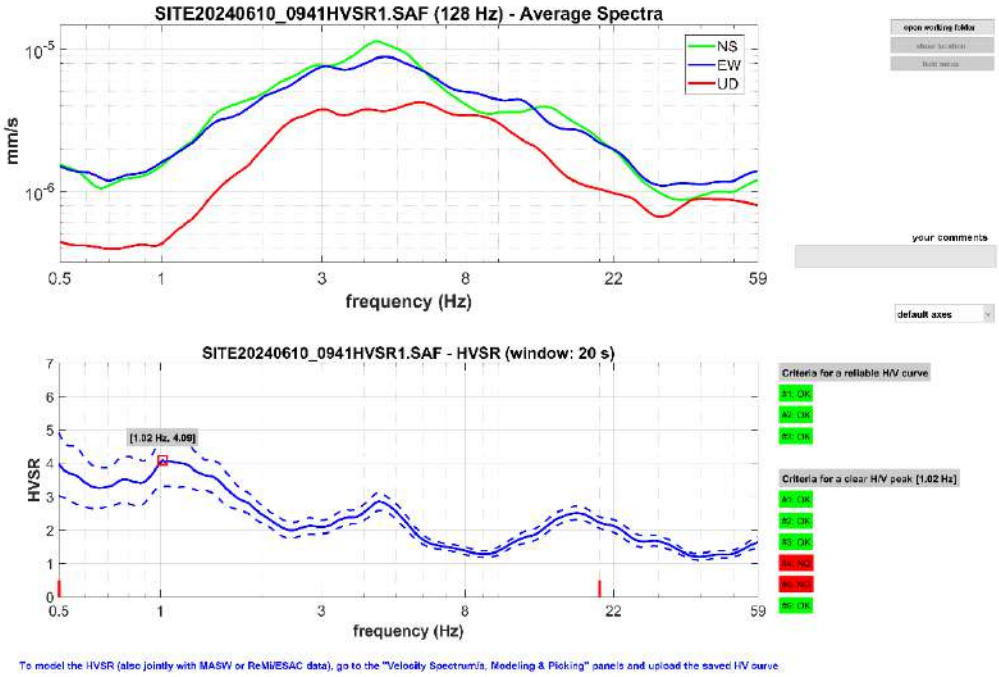
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

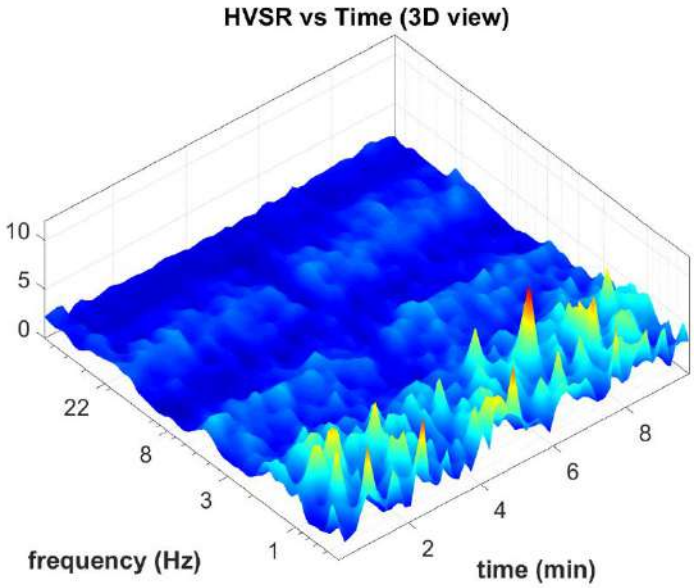


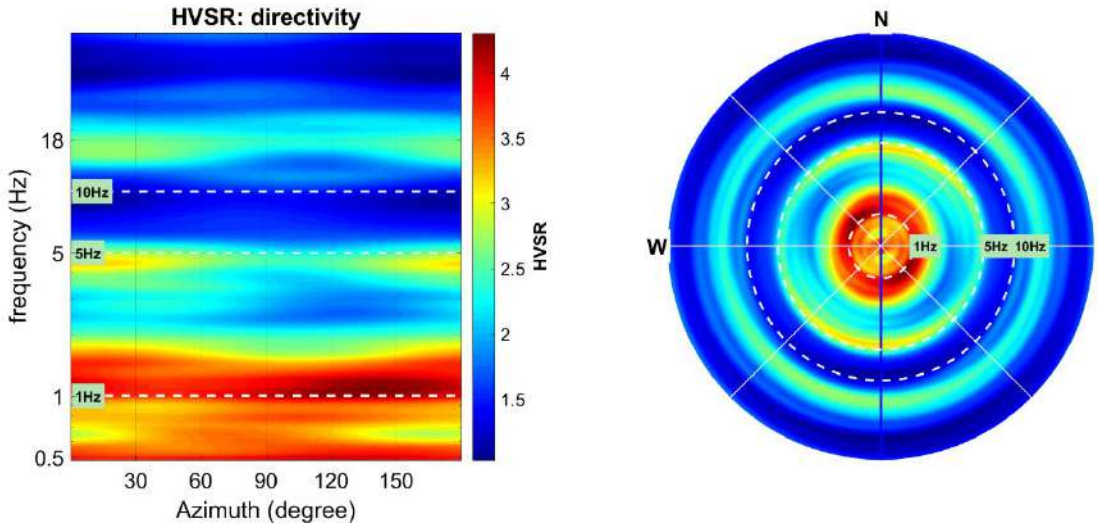
*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# ACQUISIZIONE HVSR1




*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# ACQUISIZIONE HVSR2

| CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA | A | B1 | B2 | C |
|---|---|---|---|---|
| **Descrizione delle Classi** | CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile | CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro | CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato | CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare |

## SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET

| | | |
|---|---|---|
| **Comune: Medesano (PR)** | **Indirizzo: Via Valenti, 2 - Località S. Andrea Bagni** | |
| **Attività da svolgere:** Indagine HVSR | **Data: 10/06/2024** | **Ora: 10.40** |
| **DATI TECNICI** | | |
| **Operatore:** Geol. Gabriele Oppo | **Indagine n°** HVSR2 | **Codice file** / |
| **Strumento:** Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" *PASI Instruments* | **Freq. Campionamento:** 200 Hz | **Durata (min):** 20 min |

### CONDIZIONI ATMOSFERICHE

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Vento** | ☒ assente | ☐ debole | ☐ moderato | ☐ forte |
| **Pioggia** | ☒ assente | ☐ debole | ☐ moderata | ☐ forte |

### TERRENO DI PROVA

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Suolo** | ☒ argilloso limoso soffice | ☐ argilloso limoso duro | ☒ con erba | ☐ senza erba |
| | ☐ ghiaia | ☐ sabbia | ☐ sabbia e ghiaia | ☐ roccia |
| **Pavimentazione artificiale** | ☐ rilevato in ghiaia | ☐ cemento/cls | ☐ asfalto | ☐ sabbia |
| **Accoppiamento sensore** | ☒ piedini infissi | ☐ accoppiamento artificiale | ☐ sabbia | ☐ altro |
| | ☐ piedini da pavimento | | | |

### STRUTTURE CIRCOSTANTI

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Abitazioni** | ☐ assenti | ☒ sparse | ☐ fitte | ☐ molto fitte |
| **Fabbriche** | ☐ assenti | ☒ sparse | ☐ fitte | ☐ molto fitte |
| **Piante** | ☐ assenti | ☒ sparse | ☐ fitte | ☐ molto fitte |
| **Ponti.** | ☒ Assenti | | ☐ Presenti | |
| **Strutt.sotterr.** | ☒ Assenti | | ☐ Presenti | |

### SORGENTI DI RUMORE

| | | Assente | Raro | Moderato | Forte | Molto forte | Distanza (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Disturbo discontinuo** | *auto* | | ☒ | | | | |
| | *mezzi pesanti* | | ☒ | | | | |
| | *passanti* | | ☒ | | | | |
| | *altro* | | ☒ | | | | |
| **Disturbo continuo** | ☒ Assenti | | | ☐ Presenti | | | |

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# ACQUISIZIONE HVSR2

## Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20240610_1040HVSR2.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 14.9

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

**############################ SESAME criteria ############################**

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

Peak frequency (Hz): 1.2 (ą0.4)

Peak HVSR value: 4.0 (ą0.8)

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

#1. [f0 > 10/Lw]: 1.219 > 0.5 (OK)

#2. [nc > 200]: 1731 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.3Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 2.2Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 4.0 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) ą sigmaA(f)] = f0 ą 5%]: (NO)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 0.378 > 0.122 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 2.936 < 1.78 (NO)

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

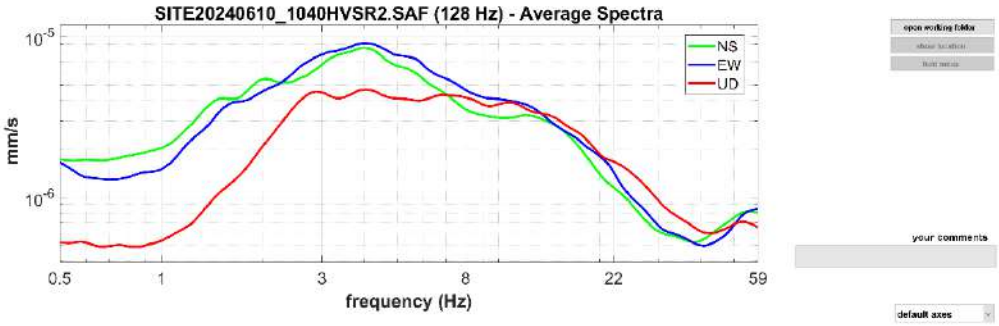
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

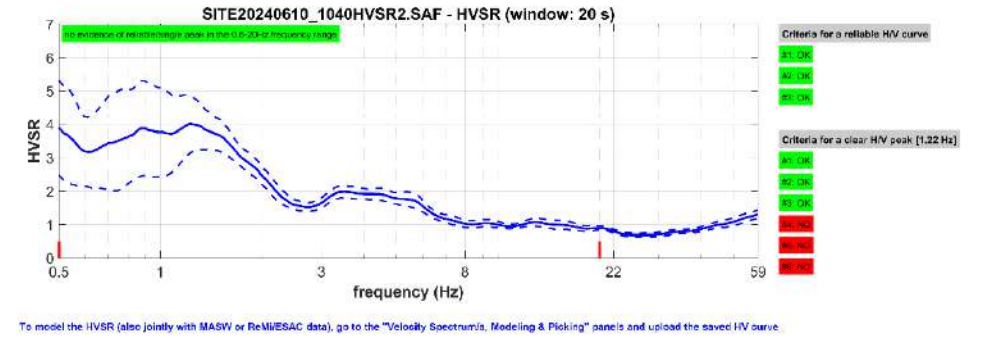


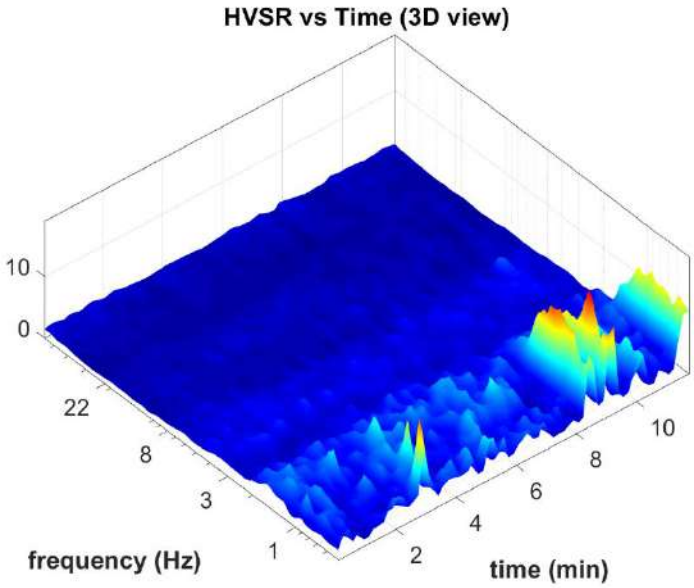
*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

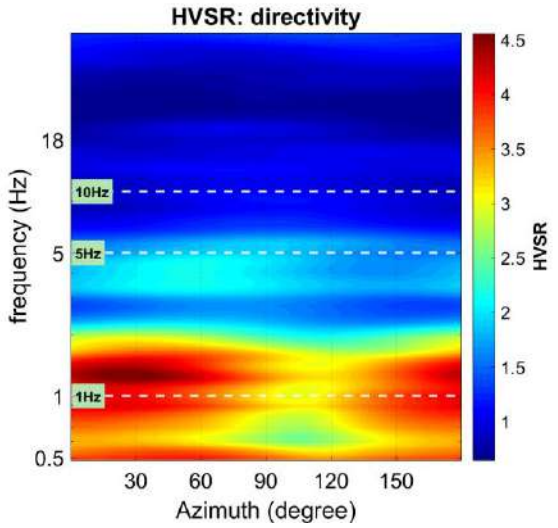
# ACQUISIZIONE HVSR2

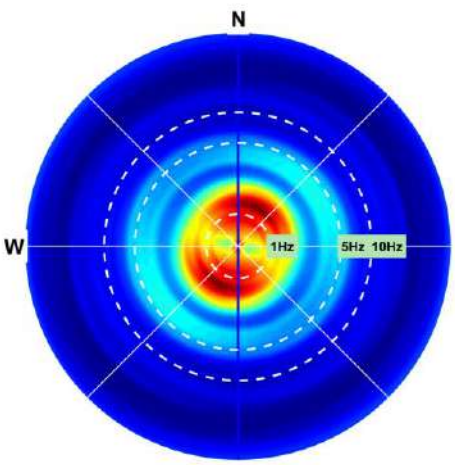


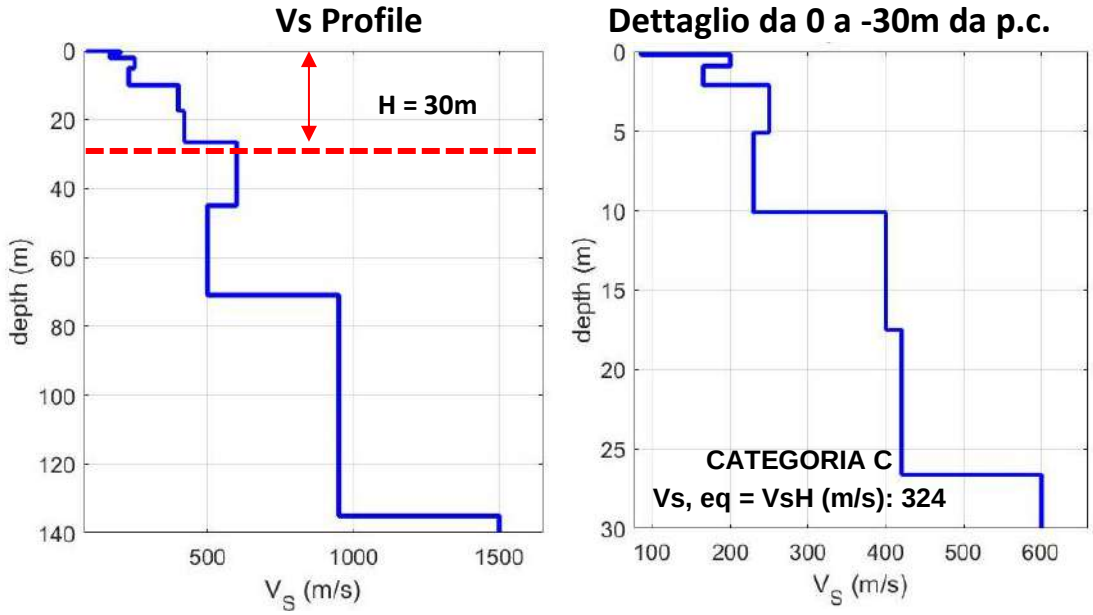




*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

**Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.**

| Strato | Profondità [m] | Spessore [m] | Velocità onde di taglio Vs [m/s] |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0.2 | 85 |
| 2 | 0.2 | 0.7 | 200 |
| 3 | 0.9 | 1.2 | 165 |
| 4 | 2.1 | 3.0 | 250 |
| 5 | 5.1 | 5.0 | 230 |
| 6 | 10.1 | 7.4 | 400 |
| 7 | 17.5 | 9.1 | 420 |
| 8 | 26.6 | 18.4 | 600 |
| 9 | 45.0 | 26.0 | 500 |
| 10 | 71.0 | 64.0 | 950 |
| 11 | 135.0 | Inf. | 1500 |




**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.**

**Tabella E - Calcolo Vs, eq = Vs30 per i primi 3,0 m dalla profondità di appoggio della fondazione.**

| DETERMINAZIONE Vs, eq = Vs30 | | |
|---|---|---|
| Profondità appoggio | Vs, eq = Vs30 [m/s] | Categoria di sottosuolo |
| P.C. | 324 | C |
| -0,5m | 335 | C |
| -1m | 341 | C |
| -1,5m | 350 | C |
| -2,0m | 359 | C |
| -2,5m | 365 | B |

# CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE PER L'ACQUISIZIONE GEOFISICA

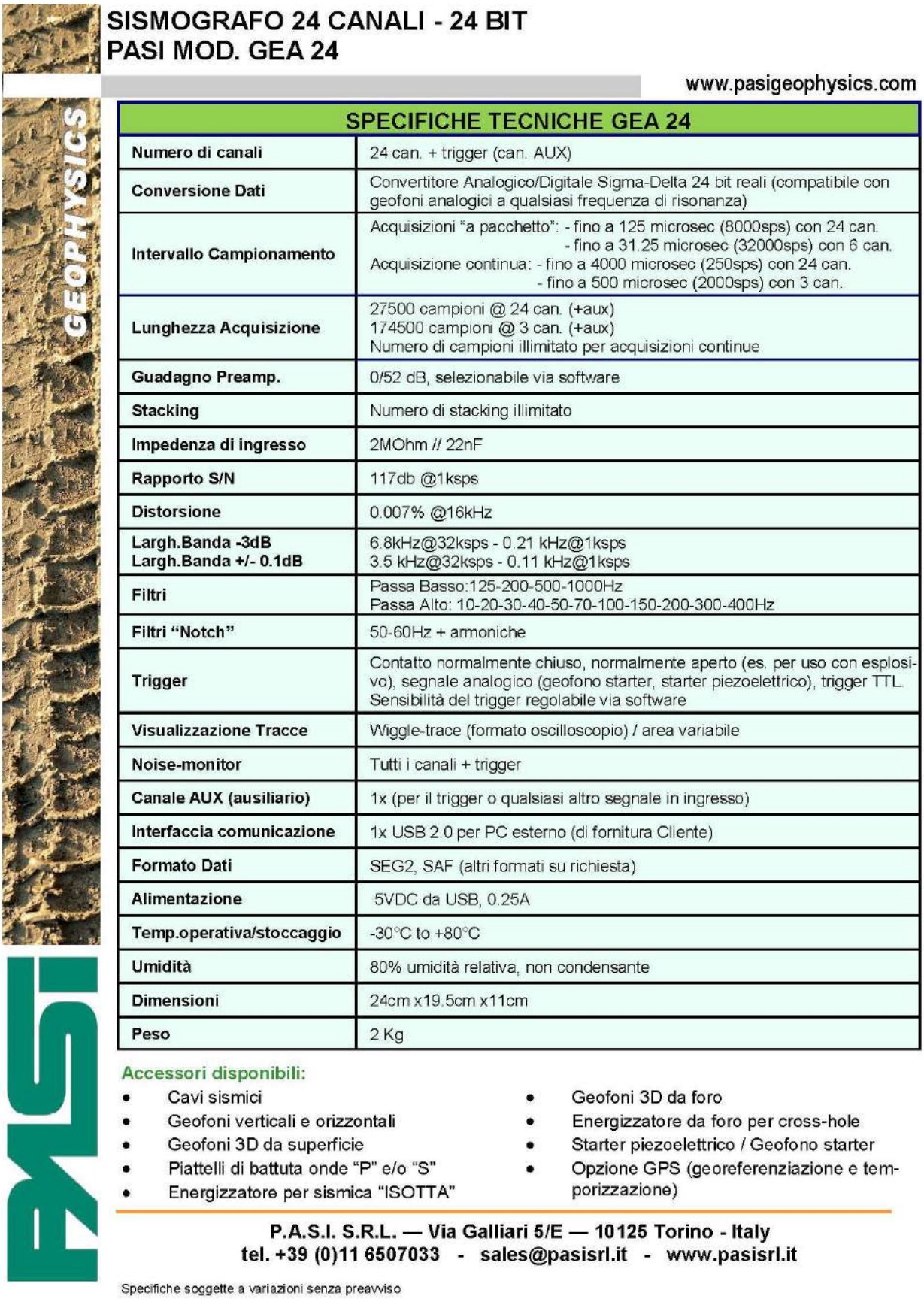
Per effettuare le misure di sismica attiva/passiva è stato impiegato il "***GEA24***" della ***PASI S.r.l.*** (**Fig. A. 1**). Per le specifiche tecniche dello strumento si rimanda alla **Figura A.2** e all'indirizzo internet del produttore: https://www.pasisrl.it/.



**Figura A. 5 - Sismografo "GEA24" della PASI S.r.l., impiegato per le prospezioni sismiche.**

## ACCESSORI "GEA 24"

- n.1 cavo USB per connessione a PC;
- n.12/24 geofoni verticali da 4.5Hz (onde di Rayleigh utilizzabili anche per Re.Mi, ESAC e rifrazione in onde P);
- n.12/24 geofoni verticali da 4.5Hz (onde di Rayleigh+ Love, utilizzabili anche per rifrazione in onde Sh);
- n. 2 cavi sismici con 12 attacchi ciascuno, spaziatura 10 m;
- n.1 cavo schermato su rullo (Mt. 100) per trigger Gemini;
- n.1 geofono starter;
- n.1 mazza di battuta da 8Kg, con starter piezoelettrico;
- n.1 piattello di battuta in alluminio per energizzazione verticale, dimensioni 20x20x5 cm;
- n.1 traversina in legno per energizzazione laterale;
- n.1 chiave USB-GPS per geo-localizzazione;
- n.1 chiave USB con manuale, software di gestione e documentazione tecnica.



# SISMOGRAFO 24 CANALI - 24 BIT
# PASI MOD. GEA 24

www.pasigeophysics.com

GEOPHYSICS

| SPECIFICHE TECNICHE GEA 24 | |
|---|---|
| **Numero di canali** | 24 can. + trigger (can. AUX) |
| **Conversione Dati** | Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza) |
| **Intervallo Campionamento** | Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can.<br>- fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can.<br>Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can.<br>- fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can. |
| **Lunghezza Acquisizione** | 27500 campioni @ 24 can. (+aux)<br>174500 campioni @ 3 can. (+aux)<br>Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue |
| **Guadagno Preamp.** | 0/52 dB, selezionabile via software |
| **Stacking** | Numero di stacking illimitato |
| **Impedenza di ingresso** | 2MOhm // 22nF |
| **Rapporto S/N** | 117db @1ksps |
| **Distorsione** | 0.007% @16kHz |
| **Largh.Banda -3dB**<br>**Largh.Banda +/- 0.1dB** | 6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps<br>3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps |
| **Filtri** | Passa Basso:125-200-500-1000Hz<br>Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz |
| **Filtri "Notch"** | 50-60Hz + armoniche |
| **Trigger** | Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software |
| **Visualizzazione Tracce** | Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile |
| **Noise-monitor** | Tutti i canali + trigger |
| **Canale AUX (ausiliario)** | 1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso) |
| **Interfaccia comunicazione** | 1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente) |
| **Formato Dati** | SEG2, SAF (altri formati su richiesta) |
| **Alimentazione** | 5VDC da USB, 0.25A |
| **Temp.operativa/stoccaggio** | -30°C to +80°C |
| **Umidità** | 80% umidità relativa, non condensante |
| **Dimensioni** | 24cm x19.5cm x11cm |
| **Peso** | 2 Kg |

**Accessori disponibili:**

- Cavi sismici
- Geofoni verticali e orizzontali
- Geofoni 3D da superficie
- Piattelli di battuta onde "P" e/o "S"
- Energizzatore per sismica "ISOTTA"
- Geofoni 3D da foro
- Energizzatore da foro per cross-hole
- Starter piezoelettrico / Geofono starter
- Opzione GPS (georeferenziazione e temporizzazione)

**P.A.S.I. S.R.L. — Via Galliari 5/E — 10125 Torino - Italy**
**tel. +39 (0)11 6507033 - sales@pasisrl.it - www.pasisrl.it**

Specifiche soggette a variazioni senza preavviso

**Figura A. 6 - Specifiche tecniche del "GEA 24" della PASI S.r.l., impiegato per le prospezioni sismiche.**

Per effettuare le misure di sismica attiva/passiva è stato impiegato il "***GEMINI-MASW***" della ***PASI S.r.l.*** (**Fig. A. 7a; Fig A. 7b**). Per le specifiche tecniche dello strumento si rimanda alla **Figura A.8** e all'indirizzo internet del produttore: https://www.pasisrl.it/.






**Figura A. 7a - Versione "GEMINI HVSR" basilare impiegata per la prospezione sismica passiva: dettaglio dei supporti intercambiabili in dotazione, da sostituire a seconda che si acquisisca su superficie rigida o su terreno.**



**Figura A. 7b - Versione "GEMINI MASW" impiegata per la prospezione sismica attiva: lo stendimento prevede il collegamento della strumentazione procedendo da sinistra verso destra. In aggiunta va inserito il PC come per una normale acquisizione HVSR.**

## GEOFONO 3D DA SUPERFICIE CON INTERFACCIA USB
## MOD. GEMINI-2

www.pasigeophysics.com

GEOPHYSICS

| SPECIFICHE TECNICHE GEMINI -2 | |
|---|---|
| **SCHEDA ACQUISIZIONE DATI** | |
| Alimentazione / Registrazione Dati | Tramite porta USB di un PC esterno (di fornitura Cliente) |
| Conversione Dati | Convertitore A/D Sigma-Delta 24 bit reali |
| Frequenza di Campionamento | Max. Freq. 8ksps, simultaneamente su 3+1 canali |
| Rapporto S/N | Max 117 db |
| Largh.Banda +/- 0.1 dB | 108 Hz @ 1ksps |
| Largh.Banda –3 dB | 212 Hz @ 1ksps |
| Numero di canali | 3 + 1 (trigger) |
| Formato Dati | SAF (Sesame ASCII Format) / SEG2 (.dat) |
| **SENSORI GEMINI 2** | |
| Freq. nat. di risonanza | 2 Hz ± 10% |
| Sensibilità | 2 V/cm•$S^{-1}$ ± 5% |
| Resistenza interna | 5.8 kΩ ± 5% |
| Damping | 0.7 ± 10% |
| Distorsione armonica | ≤ 0.2% |
| Impedenza d'ingresso | ≥ 10 MΩ |
| Temperatura operativa | da –25°C a +55°C |
| Bloccaggio sensori | automatico quando non in uso |
| Dimensioni | Diam. 128 mm h. 175mm |
| Peso | 2.4 Kg |







### Accessori Disponibili:

- Opzione trigger esterno
- Opzione GPS (georeferenziazione, tempo-rizzazione e sincronizzazione)
- Geofono starter
- Cavo Prolunga Trigger (graduato in cm)

**P.A.S.I. S.R.L. — Via Galliari 5/E — 10125 Torino - Italy**
**tel. +39 (0)11 6507033 - sales@pasisrl.it - www.pasigeophysics.com**

Specifiche soggette a cambiamento senza preavviso

**Figura A. 8 - Specifiche tecniche del "GEMINI MASW" della PASI S.r.l., impiegato per le prospezioni sismiche.**

## ACCESSORI “GEMINI HVSR”

- n.1 geofono triassiale Gemini da 2 Hz;
- n°3 puntali per terreno;
- n°3 piedini regolabili (per utilizzo su asfalto o supporti/materiali rigidi);
- n.1 cavo USB per connessione a PC;
- n.1 chiave USB con manuale, software di gestione e documentazione tecnica.

## ACCESSORI “GEMINI MASW”

- n.1 geofono triassiale Gemini da 2 Hz;
- n°3 puntali per terreno;
- n°3 piedini regolabili (per utilizzo su asfalto o supporti/materiali rigidi);
- n.1 cavo USB per connessione a PC dotato di connessione per trigger (geofono starter o mazza di battuta);
- n.1 cavo schermato su rullo (Mt. 100) per trigger Gemini;
- n.1 geofono starter;
- n.1 mazza di battuta da 8Kg, con starter piezoelettrico;
- n.1 piattello di battuta in alluminio per energizzazione verticale, dimensioni 20x20x5 cm;
- n.1 traversina in legno per energizzazione laterale;
- n.1 chiave USB-GPS per geo-localizzazione;
- n.1 chiave USB con manuale, software di gestione e documentazione tecnica.

## SOFTWARE DI ACQUISIZIONE DATI:

- ***PASI GEA 24 - Versione 2.1.2***
- ***PASI GEMINI - Versione 3.2.4***

## SOFTWARE DI ELABORAZIONE DATI:

- ***WinMASW 3C - Versione 2019***
- ***HoliSurface - Versione 2019***

  Per maggiori dettagli, si prega di consultare l’indirizzo Internet:

  ***https://www.winmasw.com/***

- **ZondST2D - Seismic Tomography 2D (vers. 4.2).**

  Per maggiori dettagli, si prega di consultare l’indirizzo Internet:

  ***http://zond-geo.ru/english***

# *PROVINCIA DI PARMA*
# *COMUNE DI MEDESANO*

*CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE PROPEDEUTICA AD UN INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO E ADEGUAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA MATERNA DI S. ANDREA BAGNI*

*SLV*
*Classe d'uso: III*
*Coefficiente d'uso Cu: 1,5*
*Vn: 50 anni*
*Tr: 712 anni*



*SCUOLA MATERNA SANT'ANDREA BAGNI*

# *RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA*


Committente:
*Dott. Geol. Fabio Bussetti*

Redazione:
*Dott. Geol. Gabriele Oppo*

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. GABRIELE OPPO
Ordine Geologi Emilia-Romagna
GEOLOGO SEZ.A
N. 1347 ALBO P.

**Vicolo San Clemente N° 1, Borgo Val di Taro (PR)**


**Giugno 2024**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# 1. Sismicità di base del Comune di Medesano

La sismicità storica del Comune di **Medesano** è stata estrapolata dal Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15, Locati et al., 2016), redatto nell'ambito delle attività del Tema Trasversale Coordinato INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici", in cui sono stati classificati e catalogati 122701 dati di intensità per 3212 terremoti. I dati derivano da 185 tra studi, database, rapporti e bollettini pubblicati fino al 2016. Il numero di terremoti supportati da dati di intensità è quasi raddoppiato rispetto alla precedente versione (DBMI11 - da 1681 a 3212, pari rispettivamente al 53% e al 70% dei terremoti in catalogo) che fanno parte del "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (CPTI15).

La sismicità del territorio comunale di **Medesano** è riassunta graficamente nel diagramma di Fig. 1. Nella tabella di riferimento sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Oltre alla stessa intensità al sito (Is), sono indicati l'anno, il mese, il giorno e l'ora in cui si è verificato, il numero dei dati puntuali d'intensità disponibili (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la Magnitudo momento (Mw).

Secondo la zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale redatta da INGV, il Comune di **Medesano** ricade a ridosso della:

- **Zona Sismogenetica 913**", dove la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po), caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, che si verificano a profondità comprese tra **12 e 20 km**.

Consultando il sito dell'INGV (**http://esse1-gis.mi.ingv.it**) si può accedere ad un sistema che consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°.
Le mappe riportano due distinti parametri dello scuotimento:

- **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo);
- **Se(T)** (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione).

Relativamente al Comune di **Medesano** tali mappe (Fig. 2) riportano valori congruenti con quelli di cui all'Allegato A4 della D.A.L. Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2.5.2007, che attribuisce al Comune di **Medesano** un valore di accelerazione di picco al suolo (cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g $a_{refg}$, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di **0.155 g**.

Dalla carta si evince che il territorio del Comune di **Medesano** ricade in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a max) pari a 0**.150÷0.175 g**.

## Azioni sismiche di progetto

Come richiesto da NTC 2008 e successivo aggiornamento del 2018, per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, a partire dalla pericolosità sismica di base, si è utilizzato il software GEOSTRU, nella

quale sono stati introdotti alcuni parametri di calcolo che dovranno comunque essere verificati dal progettista strutturale.

**Nel caso in esame, su indicazione del progettista**, si assume:

**Classe d'uso: III**;

**Coefficiente d'uso Cu: 1,5;**

**Vita nominale dell'opera Vn:≥ 50 anni;**

quindi, periodo di riferimento **Vr: ≥ 75 anni**

Il tempo di ritorno ($T_R$) viene determinato introducendo nell'espressione:

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

il periodo di riferimento della costruzione $V_R$ (definito sulla base delle caratteristiche dell'opera in progetto) e la probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR}$.

Il **Periodo di riferimento** della costruzione è dato da:

**Vr = Vn x Cu = 50 X1,5 =75 anni**

- Vita nominale dell'Opera (Vn):

  La "Vita nominale" viene stimata in base al Tipo d'opera

  nel caso in esame si è considerata Vn ≥ **50 anni** per "*Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale*" (come definito dalla Tab. 2.4.I del D.M. 17/01/2018 - Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni) .

- Coefficiente d'uso (Cu):

  Il Coefficiente d'uso viene stimato in base alla Classe d'uso;

  Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

  Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

  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.

  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.

  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.

Nel caso in esame si è considerata **Cu=1.00** per ***Classe II***

**Tab. 2.4.II** – *Valori del coefficiente d'uso* $C_U$

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Per quanto riguarda le probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR}$, sono stati assunti i valori indicati nell' '"Aggiornamento delle N.T.C. 2018" (Tab. 3.2.I del Paragrafo 3.2.1):

**Tab. 3.2.I** – *Probabilità di superamento* $P_{V_R}$ *in funzione dello stato limite considerato*

| Stati Limite | $P_{V_R}$: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ | |
|---|---|---|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni *ag* e dalle relative forme spettrali, in funzione dei tre parametri definiti in corrispondenza dei punti del reticolo di riferimento:

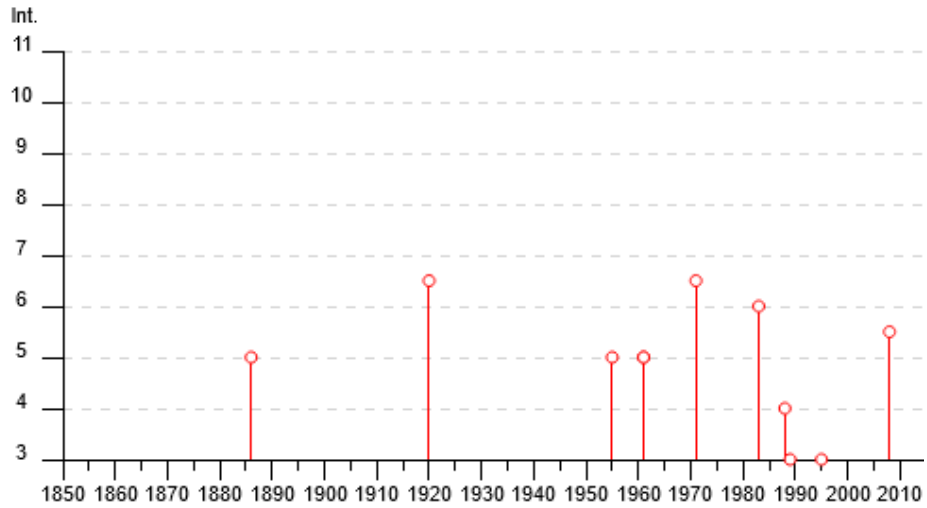
- $a_g$ accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Vengono quindi valutate le diverse probabilità di superamento in 50 anni per periodi di ritorno variabili tra 30 e 2475 anni.

Il sito in esame, non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, pertanto i valori dei parametri $a_g$, $F_0$, e $T_C^*$(Tabella 1) sono stati determinati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

## Medesano

| | |
|---|---|
| PlaceID | IT_36333 |
| Coordinate (lat, lon) | 44.756, 10.141 |
| Comune (ISTAT 2015) | Medesano |
| Provincia | Parma |
| Regione | Emilia-Romagna |
| Numero di eventi riportati | 14 |




| Effetti | In occasione del terremoto del | | | |
|---|---|---|---|---|
| Int. | Anno Me Gi Ho Mi Se | Area epicentrale | NMDP | Io | Mw |
| 5 | 1886 10 15 02 20 | Collecchio | 44 | 6 | 4.70 |
| 6-7 | 1920 09 07 05 55 4 | Garfagnana | 750 | 10 | 6.53 |
| 5 | 1955 03 12 06 57 0 | Parmense | 15 | 5 | 4.15 |
| 5 | 1961 08 13 22 34 1 | Parmense | 22 | 5-6 | 4.37 |
| 5 | 1961 08 14 01 03 0 | Parmense | 14 | 5-6 | 4.47 |
| 6-7 | 1971 07 15 01 33 2 | Parmense | 228 | 8 | 5.51 |
| 6 | 1983 11 09 16 29 5 | Parmense | 850 | 6-7 | 5.04 |
| NF | 1986 12 06 17 07 1 | Ferrarese | 604 | 6 | 4.43 |
| 4 | 1988 03 15 12 03 1 | Reggiano | 160 | 6 | 4.57 |
| 3 | 1989 10 03 09 41 3 | Appennino parmense | 91 | 4 | 4.04 |
| 3 | 1995 10 10 06 54 2 | Lunigiana | 341 | 7 | 4.82 |
| NF | 2000 06 18 07 42 0 | Pianura emiliana | 304 | 5-6 | 4.40 |
| NF | 2002 11 13 10 48 0 | Franciacorta | 768 | 5 | 4.21 |
| 5-6 | 2008 12 23 15 24 2 | Parmense | 291 | 6-7 | 5.36 |

**Figura 1 - a) Diagramma della storia sismica di Medesano, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3 a partire dal 1900; b) Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Medesano tra il 1961 e il 2015. Fonte dati: INGV Database Macrosismico Italiano 2015**

**- http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/**

**Tabella 1 - Valori dei parametri $a_g$, $F_0$ , $T_C^*$ per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite e coefficienti sismici determinati per il sito in esame (Lat. e Long. In Coordinate WGS84 e ED50).**

| Parametri sismici introdotti | |
|---|---|
| Categoria Sottosuolo | C |
| Categoria Topografica | T1 |
| Periodo di riferimento | 75 anni |
| Coeff. Cu | 1,5 |




| Stati Limite | | Probabilità di superamento | Tempo di ritorno $T_R$ (anni) | $a_g$ (g) | $F_0$ | $T_C^*$ (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stati limite d'esercizio | SLO | 81% | 45 | 0,062 | 2,462 | 0,251 |
| | SLD | 63% | 75 | 0,077 | 2,461 | 0,261 |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% | 712 | 0,178 | 2,490 | 0,286 |
| | SLC | 5% | 1462 | 0,221 | 2,514 | 0,295 |

| COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLO: | SLD: | SLV: | SLC: |
| Amplificazione stratigrafica Ss | 1,50 | 1,50 | 1,43 | 1,37 |
| Coeff. funz. Categoria Cc | 1,66 | 1,64 | 1,59 | 1,57 |
| Amplificazione Topografica St | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Componente Orizzontale Kh | 0,019 | 0,023 | 0,061 | 0,085 |
| Componente verticale Kv | 0,009 | 0,012 | 0,031 | 0,042 |
| Acceleraz. Max attesa in sito Amax: | 0,908 | 1,132 | 2,502 | 2,974 |
| Beta: | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

## Dati di input per l'analisi di RSL: accelerogrammi

Gli accelerogrammi utilizzati per uno studio di RSL dovrebbero essere rappresentativi della sismicità del sito, prendendo in considerazione alcuni parametri fondamentali quali:

- Caratteristiche sismogenetiche della sorgente (meccanismo focale);
- Magnitudo;
- Distanza epicentrale;
- Sito di registrazione (categoria di sottosuolo sismico di appartenenza, preferibilmente cat. A);
- Massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

In uno studio di RSL possono essere utilizzati accelerogrammi sintetici e/o accelerogrammi naturali; questi ultimi sono dotati di un più realistico contenuto in frequenze e numero di cicli, conservando le caratteristiche specifiche del sisma in termini di "Intensità I" nel sito di registrazione, "Magnitudo M" dell'evento, e "Distanza d" dal sito all'epicentro tramite la legge di attenuazione, pertanto vengono generalmente preferiti ai primi. L'operazione che consente di stabilire quali sono i "range" caratteristici dei parametri sismici che concorrono alla definizione della pericolosità sismica (con metodo probabilistico) di un determinato sito, prende il nome di "*Disaggregazione*".
Dal sito dell'INGV (**http://esse1-gis.mi.ingv.it**), oltre alla "*Mappa di pericolosità sismica*" (Fig. 2a), per il territorio del Comune di **Medesano**, è possibile estrapolare il relativo grafico della "*Disaggregazione*" (Fig. 2b). Nel caso in esempio si può notare come la massima percentuale, pari al **32,1%** sia definita per terremoti di magnitudo compresa fra **4,5-5 M**, nel range di distanza tra **0-10 km.**

Gli accelerogrammi naturali possono essere selezionati da archivi nazionali e internazionali grazie:

- all'ausilio del software gratuito REXEL (Iervolino et al., 2009);
- ad applicativi web-gis (SEISM-HOME della Fondazione EUCENTRE di Pavia);

che consentono di reperire dei set di accelerogrammi spettro compatibili secondo quanto indicato nelle "Norme Tecniche delle Costruzioni - NTC2008 e aggiornamento NTC2018".

Nel caso in esame, sono stati utilizzati n.7 accelerogrammi spettro compatibili estraendoli con l'ausilio del software ***REXEL - Versione 3.5***, scaricabile gratuitamente al seguente indirizzo:

- https://www.reluis.it/it/progettazione/software/rexel.html

In Tabella 2 si riportano alcune informazioni relative agli accelerogrammi utilizzati.
Gli accelerogrammi sono quindi stati inseriti nel software di elaborazione per il calcolo della "**LSR 2D" - *Version 5.0.12 della STACEC**)* già opportunamente scalati rispetto al valore di PGA al bedrock attesa in sito, considerando un sottosuolo rigido affiorante (Cat. A) e **TR 712 anni** (Fig.3a); in Fig. 3b si riportano gli spettri di input associati agli accelerogrammi selezionati.

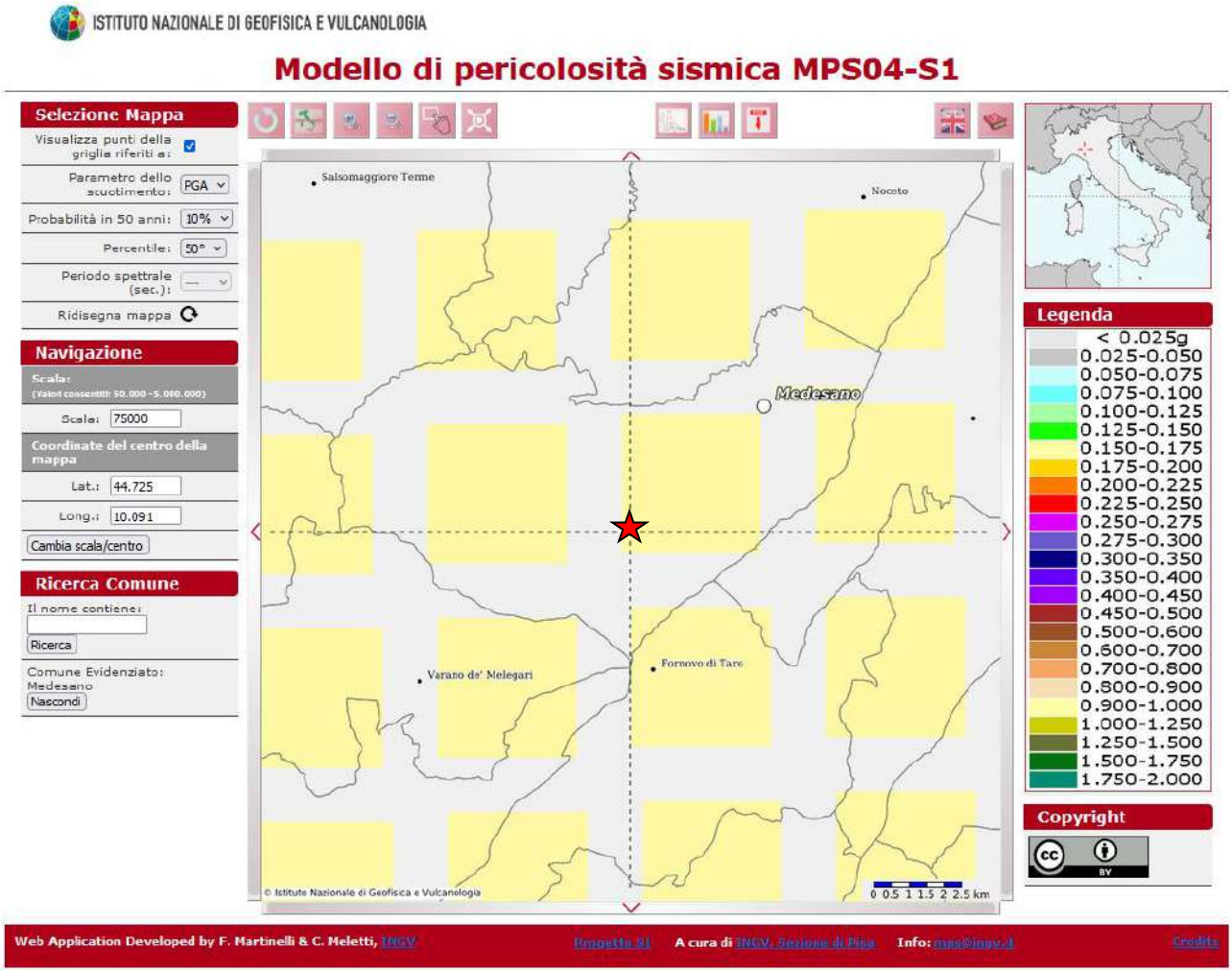
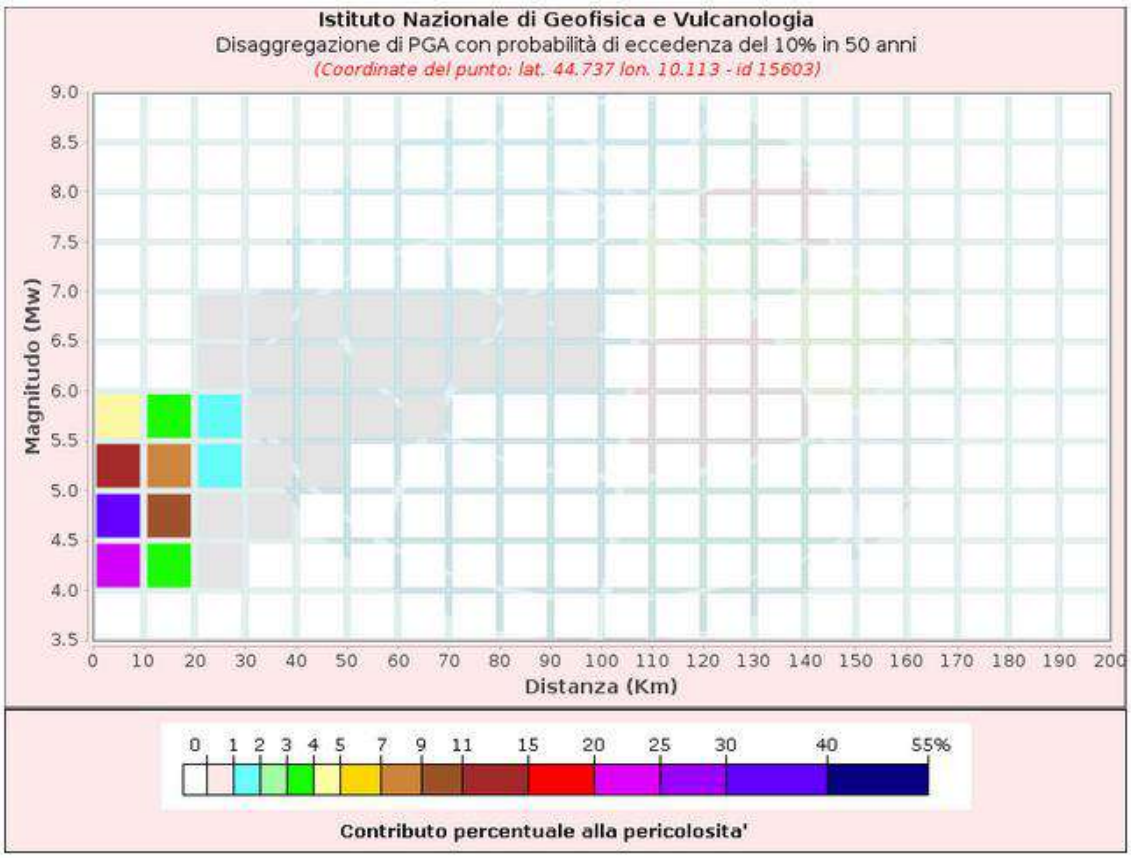



**Figura 2a - Mappa di pericolosità sismica per il territorio del Comune di Medesano espressa in termini di a(g) e probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (TR = 475 anni) (INGV); gli assi sono centrati sul sito di interesse.**




| Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.737 lon. 10.113 - id 15603) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distanza (Km) | Magnitudo (Mw) | | | | | | | | | | |
| | 3.5-4.0 | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10 | 0.0000 | 20.4000 | 32.1000 | 14.2000 | 4.2900 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10-20 | 0.0000 | 3.8700 | 9.6900 | 7.5000 | 3.4600 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20-30 | 0.0000 | 0.0577 | 0.8480 | 1.4900 | 1.0500 | 0.0942 | 0.0167 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 30-40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0023 | 0.1270 | 0.2810 | 0.2200 | 0.0432 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 40-50 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0054 | 0.0707 | 0.1090 | 0.0247 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 50-60 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0113 | 0.0343 | 0.0097 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 60-70 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0019 | 0.0086 | 0.0032 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 70-80 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0047 | 0.0021 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 80-90 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 90-100 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 100-110 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 110-120 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 120-130 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 130-140 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 140-150 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 150-160 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 160-170 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 170-180 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 180-190 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 190-200 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| Valori Medi | | |
|---|---|---|
| Magnitudo | Distanza | Epsilon |
| 4.86 | 8.22 | 0.86 |

**Figura 2b: Contributi alla pericolosità per intervalli di magnitudo e distanza epicentrale (INGV)**

# ACCELEROGRAMMI DI INPUT

**SCALATI ag/g = 0,178**

**Tabella 2 - Dataset informativo relativo ai 7 accelerogrammi utilizzati nello studio di risposta sismica locale.**

| Waveform ID | Earthquake ID | Station ID | Earthquake Name | Date | Mw | Fault Mechanism | Epicentral Distance [km] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 281 | 71 | PSC | VAL COMINO EARTHQUAKE | 11/05/1984 | 5.5 | Normal | 9.0799 |
| 103 | 28 | SRC0 | FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK | 15/09/1976 | 5.9 | Thrust | 16.4207 |
| 536 | 126 | FORC | APP. UMBRO-MARCHIGIANO | 09/11/1997 | 4.5 | Normal | 13.0914 |
| 103 | 28 | SRC0 | FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK | 15/09/1976 | 5.9 | Thrust | 16.4207 |
| 260 | 70 | ATN | VAL COMINO EARTHQUAKE | 07/05/1984 | 5.9 | Normal | 10.2931 |
| 90 | 25 | SRC0 | FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK | 15/09/1976 | 5.9 | Thrust | 16.8908 |
| 488 | 118 | CSC | UMBRIA-MARCHE 3RD SHOCK | 14/10/1997 | 5.6 | Normal | 22.0159 |
| mean: | | | | | 5.6 | | 14.8875 |

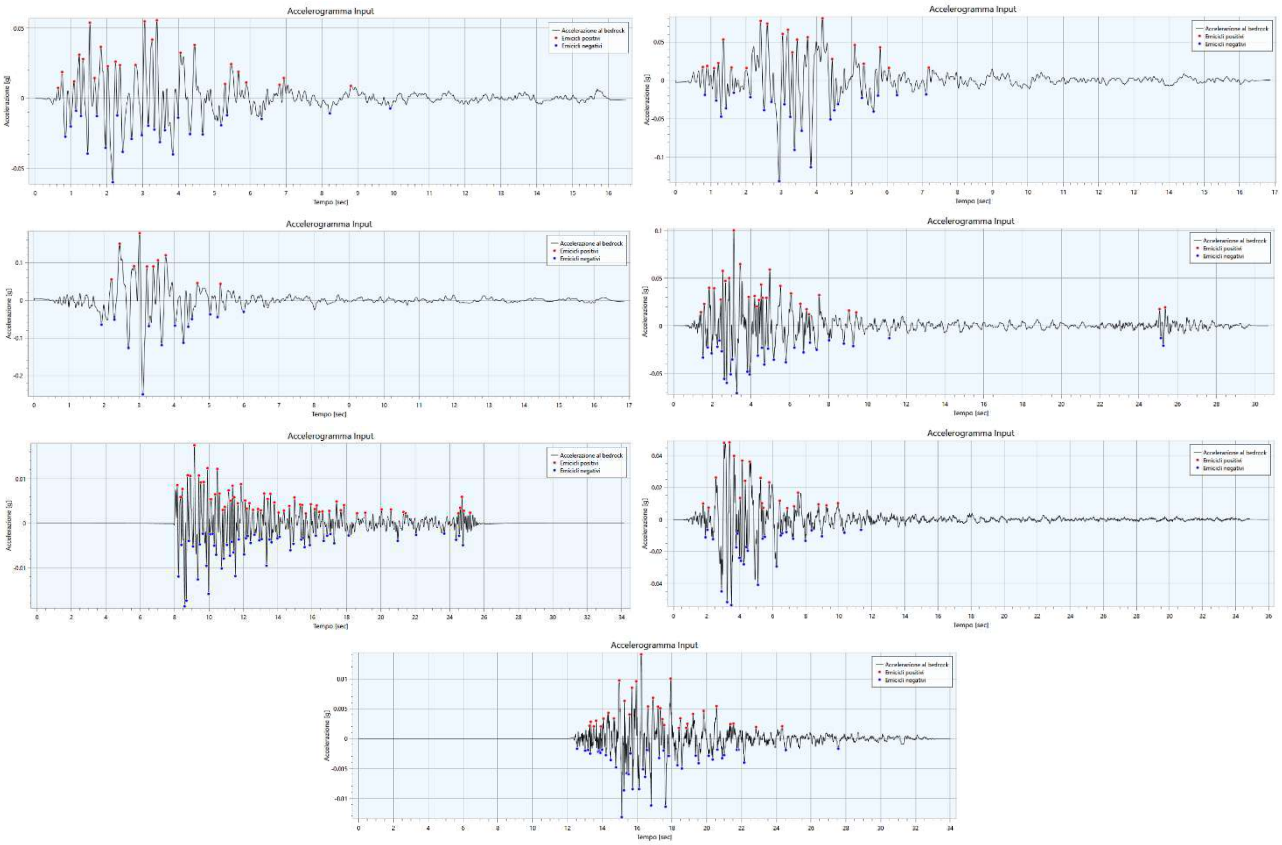



**Figura 3a - Serie temporali di input che vengono poi riscalate in funzione della P.G.A.0 attesa al bedrock sismico (sottosuolo di Cat. A).**

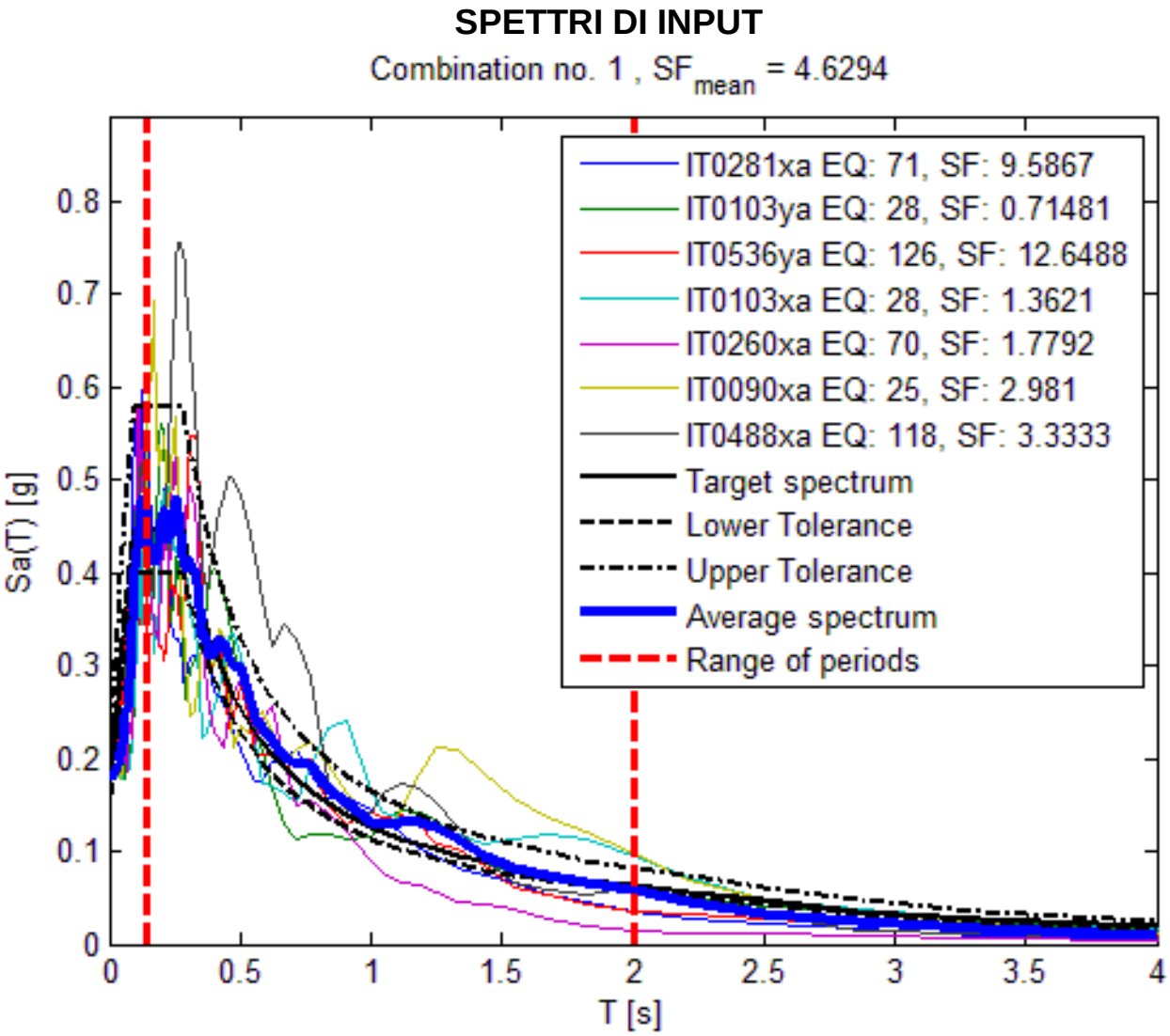



**Figura 3b - Spettri di input che fanno riferimento alle serie temporali degli accelerogrammi presentate in Tabella 2, estrapolate con i software di riferimento o con gli applicativi webgis sopra indicati.**

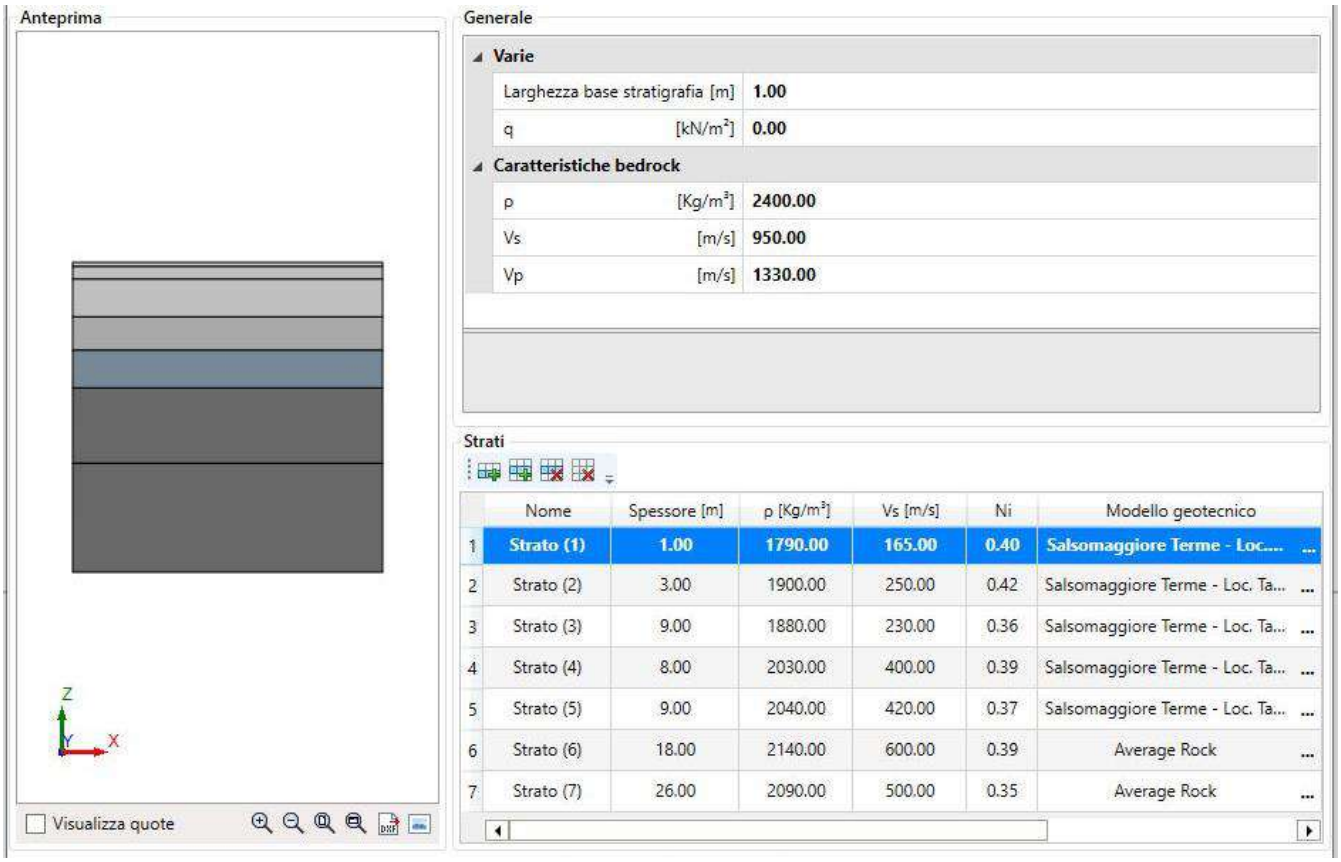
## Dati di input per l'analisi di RSL: modello sismo-stratigrafico

Attraverso le prove geotecniche e sismiche eseguite in sito (vedi allegati) e all'analisi dei dati estrapolati dal database cartografico della Regione Emilia Romagna (*http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/index.htm*) relativi a pozzi e carotaggi realizzati nell' intorno dell'area d'interesse, si è ottenuto il modello sismo-stratigrafico semplificato riportato in Fig. 4.

Attraverso il software di calcolo "***LSR 2D - Versione: 5.0.12***", è stata quindi calcolata la risposta dinamica monodimensionale (1D), optando per una analisi equivalente lineare (EQL), basata su un modello di propagazione lineare delle onde in cui le proprietà dinamiche del terreno, quali "Modulo di taglio G" e "Rapporto di smorzamento D", vengono fatti variare in funzione del livello deformativo.

Pertanto, a ciascuno strato definito nel modello sismo-stratigrafico di Fig. 4, è stata associata una coppia di curve che definisce il comportamento non lineare del terreno in funzione di un aumento percentuale della deformazione di taglio:

- la curva di decadimento del Modulo di rigidezza al taglio G alle basse deformazioni espresso come rapporto G/G0 (Fig. 5a);
- la curva di variazione dello smorzamento D (Fig. 5b).




| | Nome | Spessore [m] | ρ [Kg/m³] | Vs [m/s] | Ni | Modello geotecnico |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Strato (1)** | **1.00** | **1790.00** | **165.00** | **0.40** | **Salsomaggiore Terme - Loc....** |
| 2 | Strato (2) | 3.00 | 1900.00 | 250.00 | 0.42 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 3 | Strato (3) | 9.00 | 1880.00 | 230.00 | 0.36 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 4 | Strato (4) | 8.00 | 2030.00 | 400.00 | 0.39 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 5 | Strato (5) | 9.00 | 2040.00 | 420.00 | 0.37 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 6 | Strato (6) | 18.00 | 2140.00 | 600.00 | 0.39 | Average Rock |
| 7 | Strato (7) | 26.00 | 2090.00 | 500.00 | 0.35 | Average Rock |

**Figura 4 - Schermate di Input tratte dal software "LSR 2D", dove viene definito il modello sismo-stratigrafico del sito di interesse: ad ogni singolo strato viene attribuito un valore rappresentativo delle Vs e del Peso di volume; inoltre ad ogni intervallo stratigrafico viene assegnata la relativa coppia di curve di decadimento del modulo di taglio G/G0 e dello smorzamento D(%).**

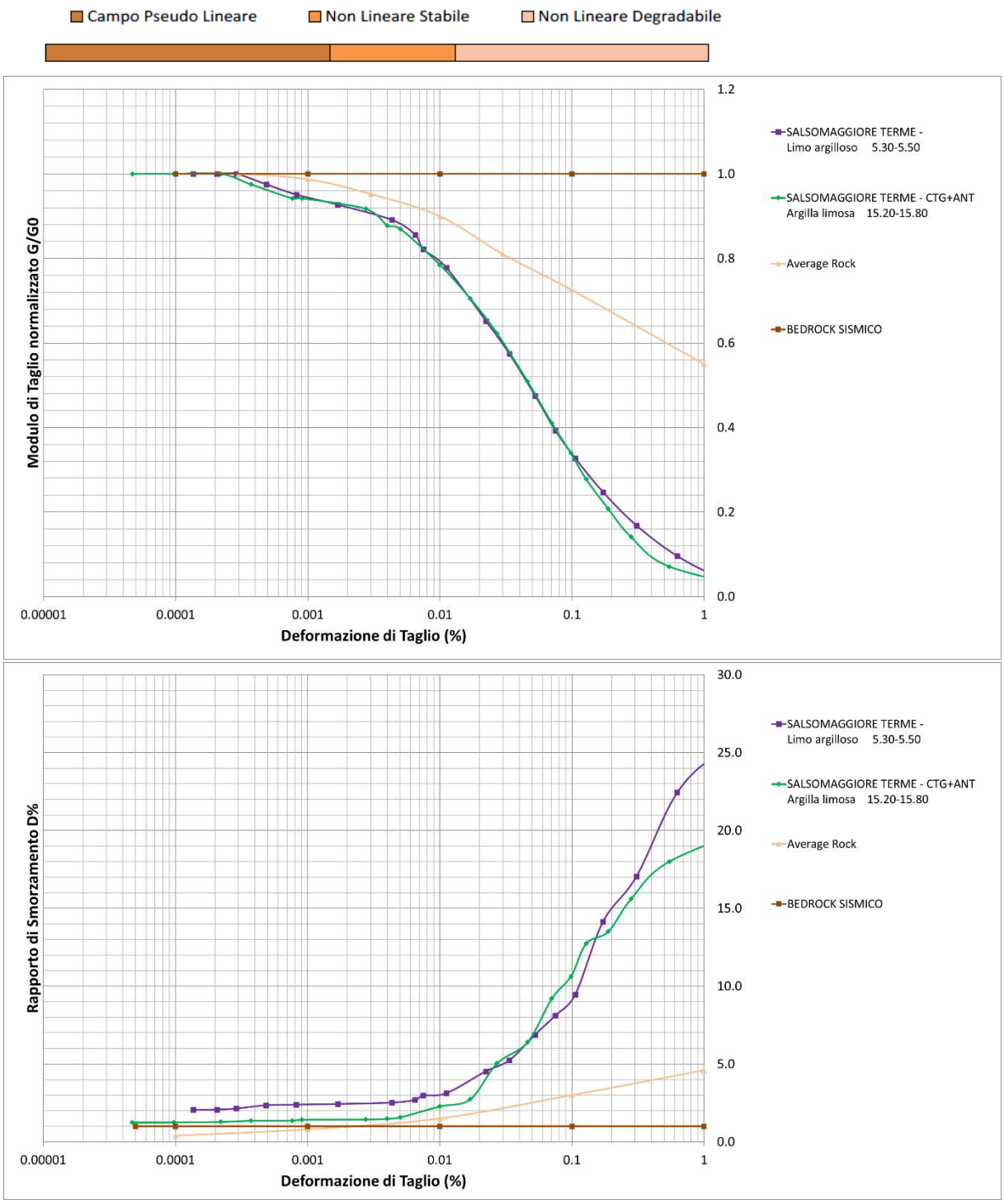



**Figura 5 - Curve di decadimento espresse come rapporto G/G0 (Fig. 5a) e curve dello smorzamento D(%) (Fig. 5b) entrambe in funzione dello sforzo di taglio applicato, associate ad ogni singolo strato che definisce il modello sismo-stratigrafico di input presentato in Fig.4.**

**Grafici di output della RSL**

A seguito della modellizzazione numerica e dei grafici di output ottenuti dalla simulazione in LSR 2D, possono essere ricavate diverse informazioni, che permettono di descrivere in maniera dettagliata il comportamento sismico della colonna stratigrafica soprastante il bedrock di riferimento.

I parametri di output vengono di seguito elencati:

- Arias Intensity Profile → Intensità di Arias;
- Damping Ratio → Rapporto di Smorzamento;
- Dissipated Energy Profile → Profilo di energia dissipata;
- Final Shear-Wave Velocity Profile → Velocità finale delle onde di taglio;
- Initial Shear-Wave Velocity Profile →Velocità iniziale delle onde di taglio;
- P.G.A → Peak Ground Acceleration Profile;
- P.G.D. → Peak Ground Displacement Profile;
- Maximum Error Profile → Massimo errore;
- Maximum Shear-Strain Profile → Massima deformazione di taglio;
- Maximum Shear-Stress Profile → Massimo modulo di taglio
- Peak Ground Velocity Profile → Massima Velocita per ogni profondità;
- Shear-Modulus Profile → Modulo di taglio;
- Stress Ratio Profile → Rapporto fra Massimo sforzo di taglio e Massimo sforzo efficace;
- Stress Reduction Coefficient (r_d) Profile → Coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio rd
- Vertical Total Stress Profile → Pressione vertical totale;
- Vertical Effective Stress Profile → Pressione verticale efficace;
- Time Series → le serie temporali in accelerazione, spostamento, velocità, deformazione di taglio e sforzo di taglio alle profondità desiderate;
- Acceleration Response Spectrum → Gli spettri di risposta in accelerazione;
- Fourier Amplitude Spectrum → Lo spettro di Fourier in ampiezza;
- Acceleration Transfer Function → La funzione di trasferimento dell'accelerazione → Rapporto degli spettri di Fourier delle accelerazioni;
- Spectral Ratio → Il Rapporto Spettrale (rapporto fra spettri di risposta);
- Strain Transfer Function → La funzione di trasferimento delle deformazioni ovvero il Rapporto fra spettro di Fourier delle deformazioni e spettro di Fourier delle accelerazioni;

Verranno prese in considerazione soltanto alcune delle informazioni ricavate dallo studio di RSL, in particolare quelle che possono avere una ricaduta più sostanziale ai fini progettuali dell'opera.

### 1) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Definisce la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità.

Consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale, intesa come rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.0 al bedrock (sottosuolo di categoria A) (Fig. 6).

Si rammenta che per il Comune di **Medesano** si partiva da una $ag_{max}$ al suolo rigido pari a **0,178g**.

Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA0 più cautelativo al suolo (cioè il più elevato) è ricavato dall'input:

- **IT0488ya_6** **Fan pga $_{max}$ = 2,38**

mentre il valore F.A. medio definito su n.7 accelerogrammi è:

**FApga $_{medio}$ 1,91**

| INPUT SISMICO | PGA bedrock | Pga Superficie | F.A. |
|---|---|---|---|
| IT0090xa_1 | 0,178 | 0,269 | 1,51 |
| IT0103xa_2 | 0,178 | 0,271 | 1,52 |
| IT0103ya_3 | 0,178 | 0,304 | 1,70 |
| IT0260xa_4 | 0,178 | 0,374 | 2,10 |
| IT0281xa_5 | 0,178 | 0,376 | 2,11 |
| IT0488ya_6 | 0,178 | 0,424 | 2,38 |
| IT0536ya_7 | 0,178 | 0,367 | 2,06 |
| **Media** | **0,178** | **0,341** | **1,91** |




**Figura 6 - P.G.A. Profile: si può notare un incremento rilevante della PGA in corrispondenza degli orizzonti più superficiali (da circa 14m di profondità fino a p.c., e in particolare i primi 10m da p.c. rappresentati da orizzonti limoso-argillosi con Vs < 360 m/s).**

### 2) Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità di Housner (o intensità dello spettro di risposta) viene definita come segue:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

dove PSV è lo spettro di risposta di pseudo-velocità, **T** e **ξ** sono rispettivamente **il periodo** e **lo smorzamento strutturale**.

Questo parametro di severità del moto sismico è correlato al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in esame, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0.1 e 2.5 secondi. Dimensionalmente l'intensità di Housner è uno spostamento (cm).

Di seguito il valore di "Intensità di Housner" viene presentato per i seguenti intervalli di riferimento:

- 0,1<SI<0,5 (Fig. 7a);
- 0,5<SI<1,0 (Fig. 7b);
- 0,5<SI<1,5 (Fig. 7c).

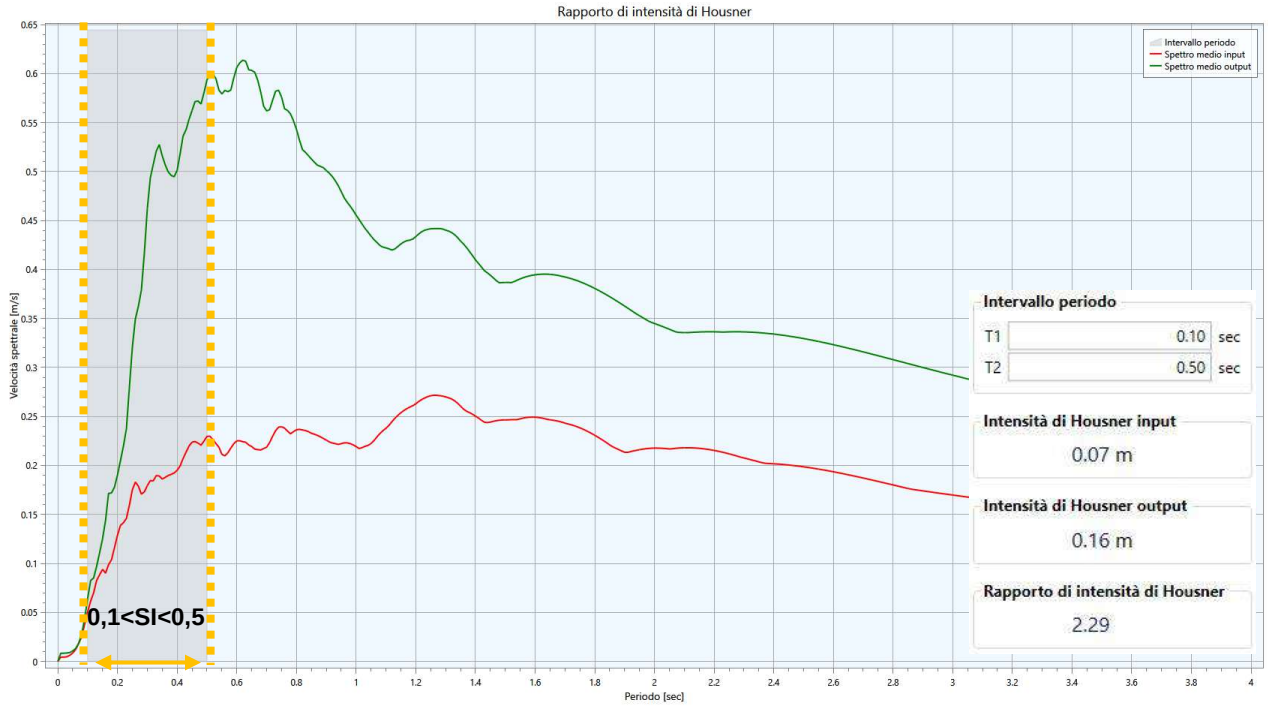



**Figura 7a - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,1<SI<0,5.**

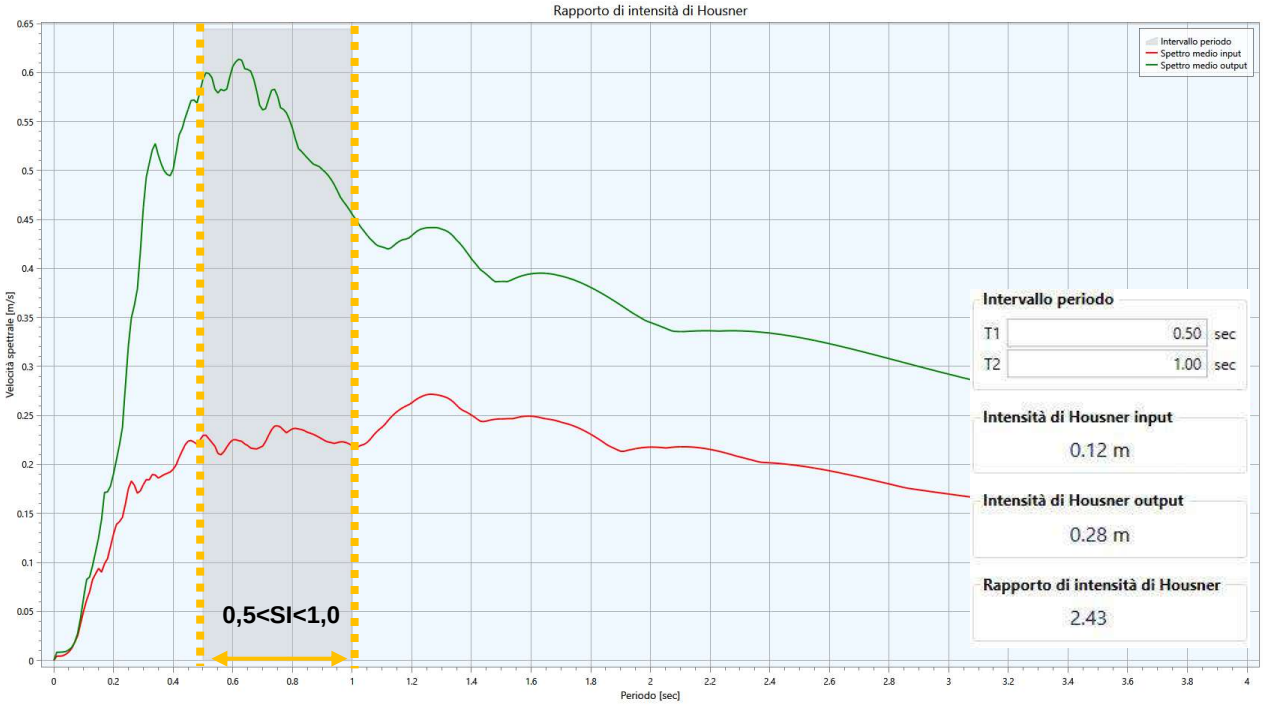



**Figura 7b - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,0.**

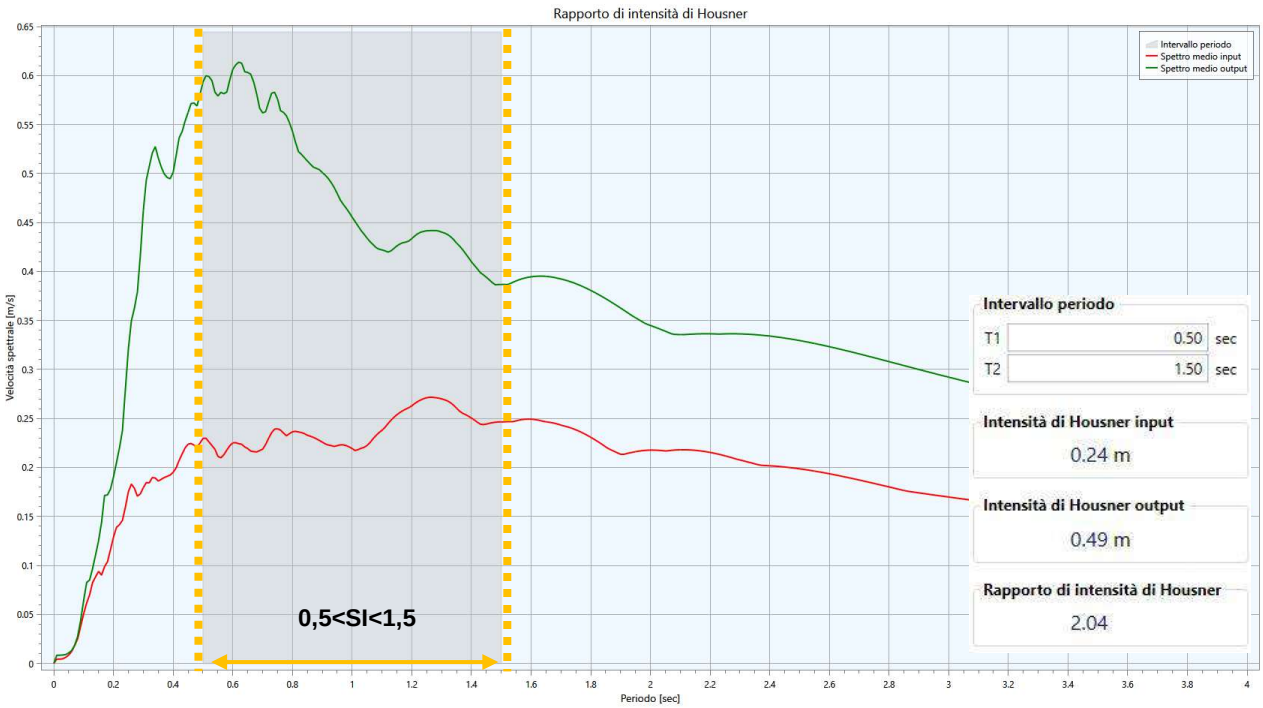



**Figura 7c - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,5.**

### 3) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Rappresenta l'elaborato fondamentale richiesto dagli strutturisti e in "LSR 2D" può essere calcolato sia in superficie che per una profondità di interesse.

Nel caso in esame (Fig. 8) è stato calcolato per gli **SLV** a **-1m da piano campagna**, con un **coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%**. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, il sito presentava un valore di **Vs30** di **324 m/s**, ed è stato classificato in "**Categoria C**". Osservando in dettaglio il grafico (Fig. 8) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di

"**Categoria C**". Lo spettro medio è stato poi parametrizzato secondo la tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della "*media*".

Resta compito dello strutturista definire il valore del periodo proprio e dello smorzamento della struttura, andando a modificare lo "spettro di progetto" in funzione del "*Fattore di struttura q*".

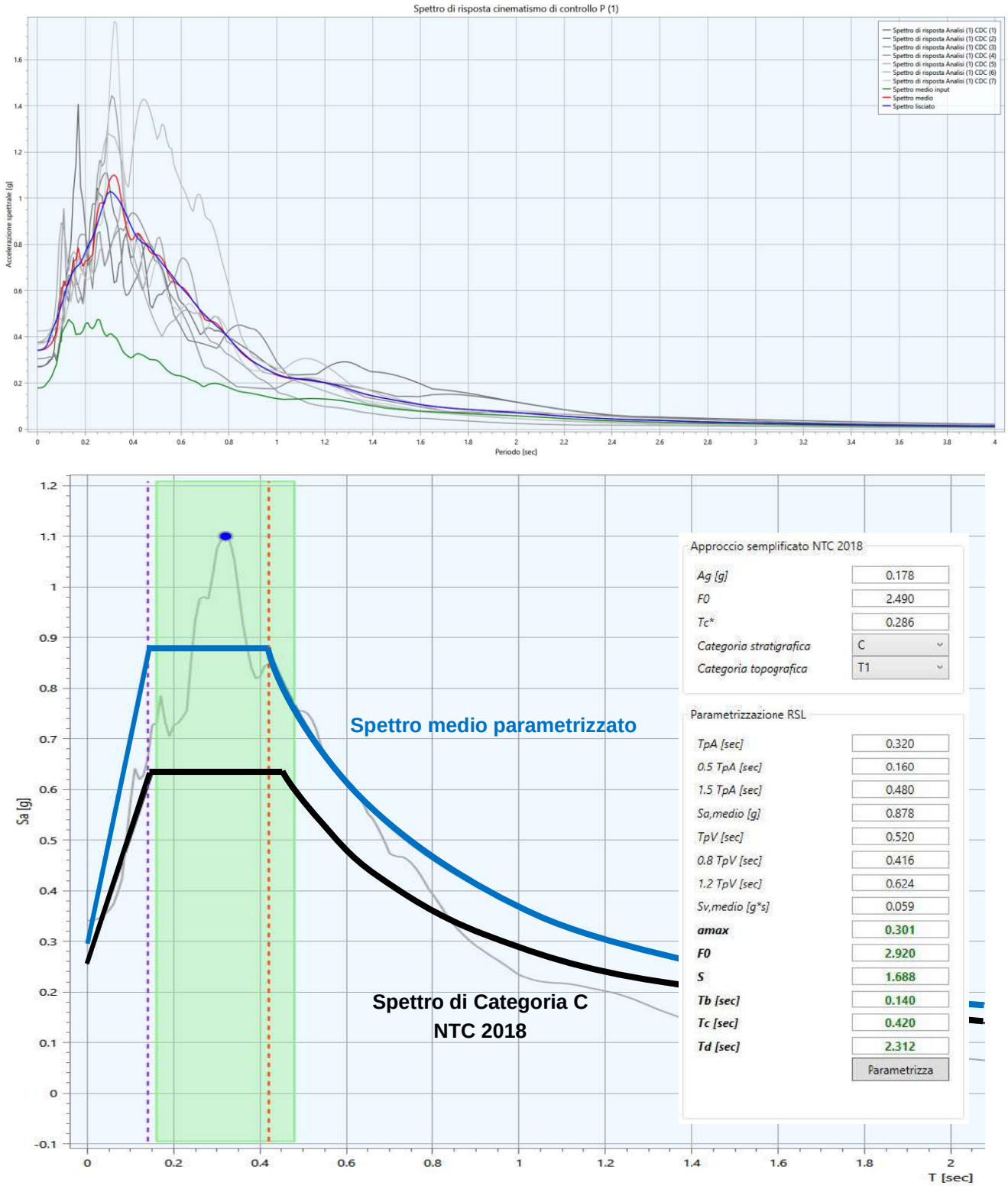



**Figura 8 – Spettri di output (in alto) e relativo spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLV con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio parametrizzato secondo normativa (linea blu) con lo spettro ricavato dall' approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla "Categoria di sottosuolo sismico" (CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito (linea nera).**

In ultima analisi (Tabella 3) è quindi possibile mettere a confronto **i valori medi di F.A. calcolati nello studio di R.S.L.** (Fig. 9), con:

- **i valori di F.A. determinati nello studio di Microzonazione Sismica comunale di 2° o 3° livello;**
- **i valori di F.A. ricavati con l'approccio semplificato**, seguendo quanto indicato nella **Delibera n. 476 del 12 Aprile 2021**, che rappresenta l'aggiornamento degli "Indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica", atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007).

In particolare, per il sito di interesse, gli abachi da utilizzare sono riportati di seguito.

I parametri di input considerati sono:

→ **VsH= 268 m/s**

→ **H= 17,5 m**

***APPENNINO***

Le tabelle relative al settore appenninico sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia-Romagna.

Possono essere applicate anche nelle aree di pianura prossime al margine morfologico appenninico-padano dove le coperture detritiche continentali hanno spessore indicativamente non superiore a 50 m.

Si possono riscontrare 2 situazioni:

- **coperture direttamente poggianti su substrato rigido**, ovvero *bedrock sismico*, generalmente caratterizzato da **Vs ≥ 800 m/s**;
- **coperture poggianti su substrato non rigido**, *vale a dire caratterizzato da* ***Vs << 800 m/s***

Per il sito di interesse vanno considerate le tabelle relative a **coperture poggianti su substrato non rigido**, *vale a dire caratterizzato da* ***Vs << 800 m/s***.

Si considerano trascurabili gli effetti legati all'amplificazione topografica, pertanto l'entità dell'amplificazione sismica è imputabile ai soli fattori stratigrafici

.

## Substrato marino caratterizzato da Vs ≥ 800 m/s

DIMINUZIONE →

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,8 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,0 |
| 20 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,0 |
| 25 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,0 |
| 30 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 35 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **PGA**

DIMINUZIONE →

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,2 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,8 | 2,5 | 1,9 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 2,9 | 2,8 | 2,4 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | | 3,0 | 2,7 | 2,0 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 35 | | 3,1 | 2,9 | 2,4 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |
| 40 | | 3,1 | 3,0 | 2,6 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 |
| 50 | | 2,9 | 2,9 | 2,7 | 2,5 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA2** (0,4s≤T≤0,8s)

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 2,1 | 2,0 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,1 |
| 25 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 |
| 30 | | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,2 |
| 35 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,0 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 2,7 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | | 2,5 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 35 | | 3,1 | 2,3 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 |
| 40 | | 3,4 | 2,9 | 1,9 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 50 | | 3,5 | 3,3 | 2,8 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |

Fattore di Amplificazione **SA3** (0,7s≤ T≤1,1s)

DIMINUZIONE →

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 2,1 | 2,0 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 25 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,0 |
| 30 | | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,1 |
| 35 | | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,6 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 2,9 | 2,5 | 1,9 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | | 2,9 | 2,3 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 35 | | 3,2 | 2,8 | 1,9 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 |
| 40 | | 3,4 | 3,1 | 2,4 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 50 | | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 |

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

## Substrato marino caratterizzato da Vs << 800 m/s

DIMINUZIONE →

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,3 | 2,0 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | |
| 10 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | |
| 15 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | |
| 20 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | |
| 25 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 35 | | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **PGA**

DIMINUZIONE →

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 10 | 2,3 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 2,8 | 2,3 | 1,9 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 20 | 3,2 | 2,9 | 2,3 | 1,8 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 25 | 3,4 | 3,2 | 2,7 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 3,3 | 2,9 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | |
| 35 | | 3,3 | 3,0 | 2,5 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 3,2 | 3,1 | 2,7 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SA2** (0,4s≤T≤0,8s)

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,2 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | |
| 10 | 2,5 | 2,3 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | |
| 15 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | |
| 20 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | |
| 25 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | |
| 35 | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 10 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 20 | 2,4 | 2,1 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 25 | 3,4 | 2,5 | 1,9 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 30 | | 3,0 | 2,3 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 35 | | 3,3 | 2,7 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,1 |
| 40 | | 3,6 | 3,1 | 2,2 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 |
| 50 | | 3,6 | 3,4 | 2,9 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA3** (0,7s≤T≤1,1s)

DIMINUZIONE →

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,1 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 10 | 2,6 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 20 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | |
| 25 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | |
| 35 | | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 10 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 20 | 2,9 | 2,6 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 25 | 3,6 | 3,0 | 2,3 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 3,3 | 2,7 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 35 | | 3,5 | 3,0 | 2,2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,1 |
| 40 | | 3,5 | 3,2 | 2,6 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 3,3 | 3,3 | 3,0 | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

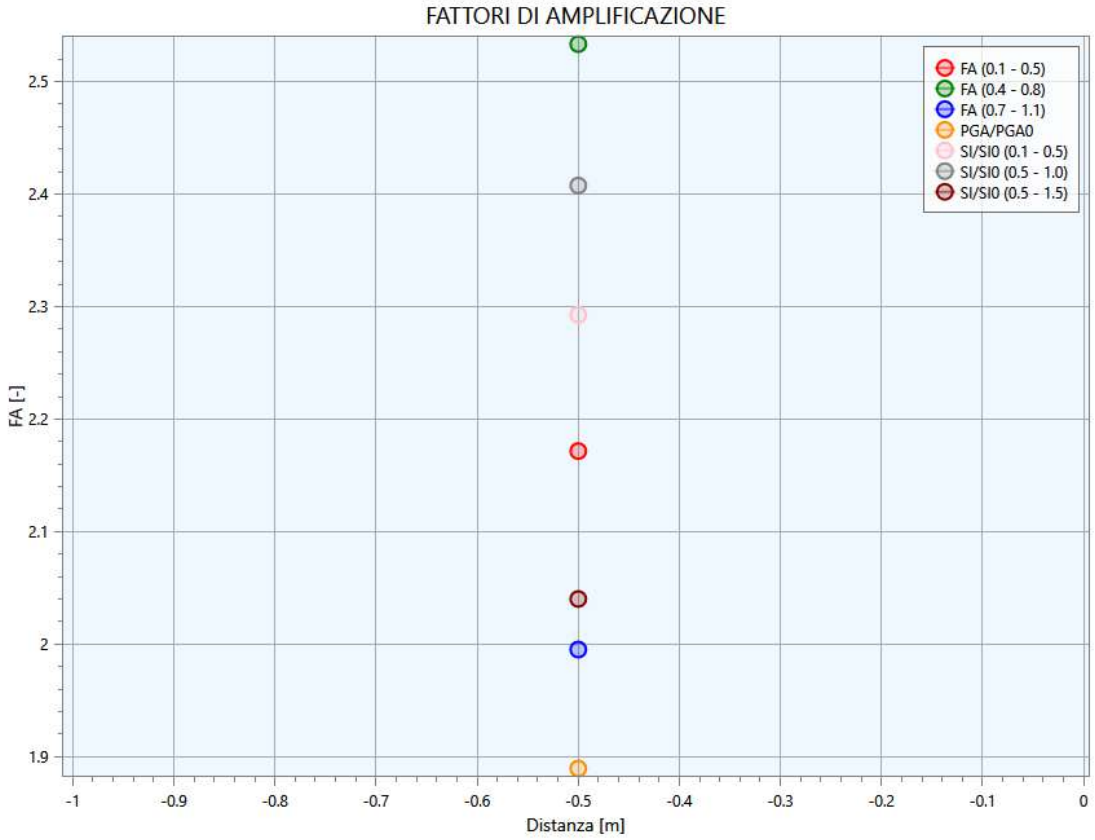



**Figura 9 - Grafico di sintesi che rappresenta i valori dei FA per gli intervalli considerati.**

**Tabella 3 - Confronto fra i valori del Fattore di Amplificazione F.A. ricavati tramite procedura semplificata - Allegato A2 del D.G.R n°476 del 12 aprile 2021, studio di Microzonazione Simica – MZS di 2° livello e il presente studio di "Risposta Sismica Locale - RSL".**

| CONFRONTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A. DA ANALISI SEMPLIFICATA, MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO E DA RSL | | | |
|---|---|---|---|
| **FATTORE DI AMPLIFICAZIONE CONSIDERATO** | **PROCEDURA SEMPLIFICATA DA ABACHI** | **MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO** | **RISPOSTA SISMICA LOCALE R.S.L.** |
| ***F.A. PGA*** | ***2,1-2,2*** | ***2,1-2,2*** | ***1,89*** |
| ***F.A. SA1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,2-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,17*** |
| ***F.A. SA2*** *(0.4s<$T_0$<0.8s)* | ***1,9-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,53*** |
| ***F.A. SA3*** *(0.7s<$T_0$<1.1s)* | ***1,5-1,6*** | ***Elaborato non presente*** | ***1,99*** |
| ***F.A. SI1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,3-2,4*** | ***2,3-2,4*** | ***2,29*** |
| ***F.A. SI2*** *(0.5s<$T_0$<1.0s)* | ***1,6-1,9*** | ***1,5-1,6*** | ***2,43*** |
| ***F.A. SI3*** *(0.5s<$T_0$<1.5s)* | ***-*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,04*** |

In Fig. 10 si presenta il grafico riassuntivo dello spettro medio di output in accelerazione, calcolato per il sito di interesse. Il grafico è stato estrapolato dal foglio di calcolo Excel utilizzato e viene fornito in allegato al presente elaborato, insieme ai file .txt relativi a ciascuno spettro rappresentato.

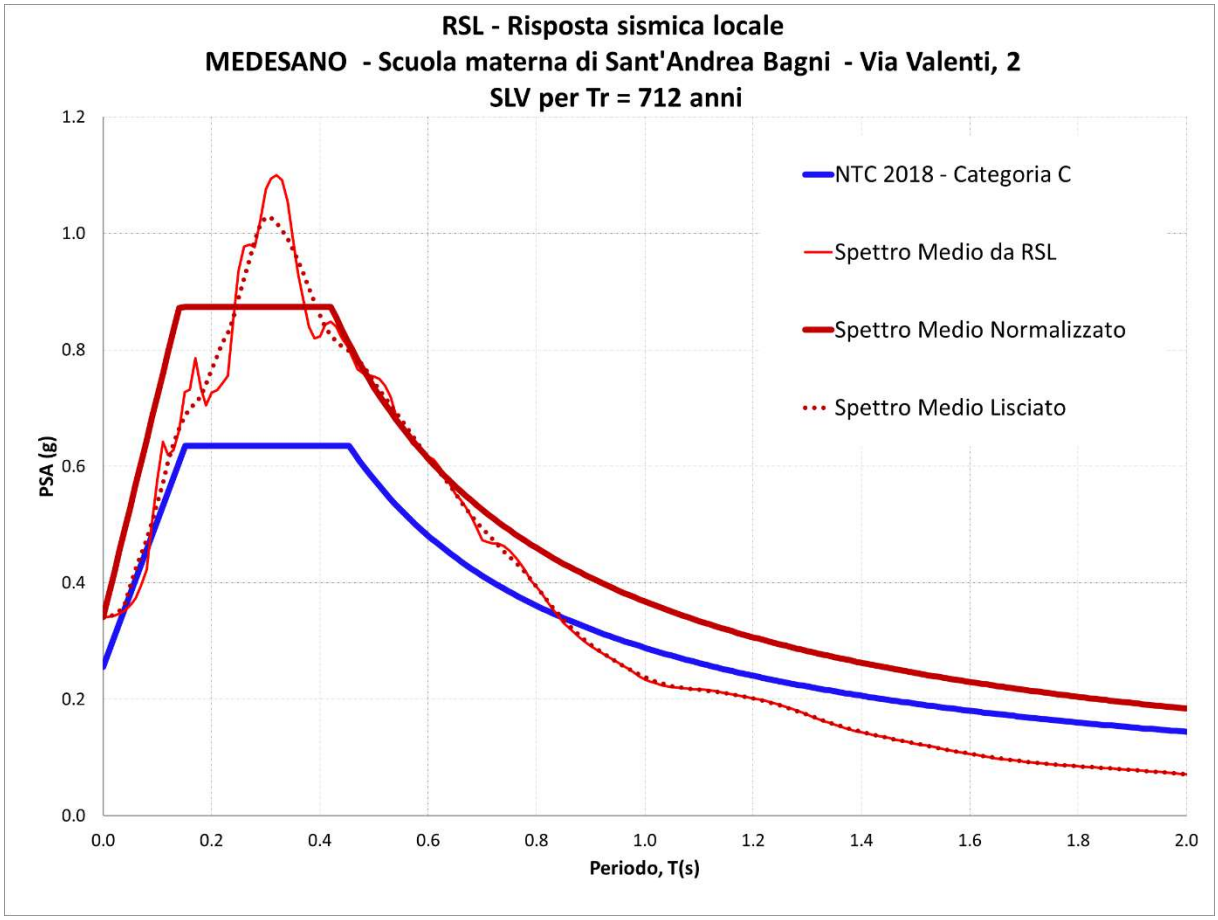



**Figura 10 - Grafico di sintesi che rappresenta lo spettro di output dello studio di RSL messo a confronto con lo spettro della categoria sismica di sottosuolo ricavato da procedura semplificata.**

# *PROVINCIA DI PARMA*
# *COMUNE DI MEDESANO*

*CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE PROPEDEUTICA AD UN INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO E ADEGUAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA MATERNA DI S. ANDREA BAGNI*

*SLC*
*Classe d'uso: III*
*Coefficiente d'uso Cu: 1,5*
*Vn: 50 anni*
*Tr: 1462 anni*

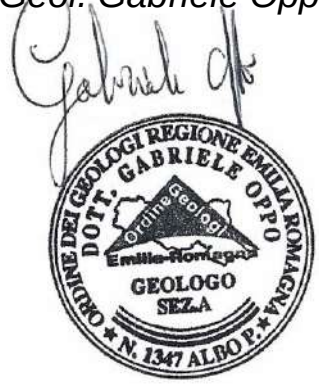


*SCUOLA MATERNA SANT'ANDREA BAGNI*

# *RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA*

Committente:
*Dott. Geol. Fabio Bussetti*

Redazione:
*Dott. Geol. Gabriele Oppo*




**Vicolo San Clemente N° 1, Borgo Val di Taro (PR)**

**Giugno 2024**

*Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).*
*Tel. 320 -2180522*
*E-mail:* gabrieleoppo.geo@libero.it

# 1. Sismicità di base del Comune di Medesano

La sismicità storica del Comune di **Medesano** è stata estrapolata dal Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15, Locati et al., 2016), redatto nell'ambito delle attività del Tema Trasversale Coordinato INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici", in cui sono stati classificati e catalogati 122701 dati di intensità per 3212 terremoti. I dati derivano da 185 tra studi, database, rapporti e bollettini pubblicati fino al 2016. Il numero di terremoti supportati da dati di intensità è quasi raddoppiato rispetto alla precedente versione (DBMI11 - da 1681 a 3212, pari rispettivamente al 53% e al 70% dei terremoti in catalogo) che fanno parte del "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (CPTI15).

La sismicità del territorio comunale di **Medesano** è riassunta graficamente nel diagramma di Fig. 1. Nella tabella di riferimento sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Oltre alla stessa intensità al sito (Is), sono indicati l'anno, il mese, il giorno e l'ora in cui si è verificato, il numero dei dati puntuali d'intensità disponibili (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la Magnitudo momento (Mw).

Secondo la zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale redatta da INGV, il Comune di **Medesano** ricade a ridosso della:

- **Zona Sismogenetica 913**", dove la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po), caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, che si verificano a profondità comprese tra **12 e 20 km**.

Consultando il sito dell'INGV (**http://esse1-gis.mi.ingv.it**) si può accedere ad un sistema che consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°.
Le mappe riportano due distinti parametri dello scuotimento:

- **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo);
- **Se(T)** (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione).

Relativamente al Comune di **Medesano** tali mappe (Fig. 2) riportano valori congruenti con quelli di cui all'Allegato A4 della D.A.L. Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2.5.2007, che attribuisce al Comune di **Medesano** un valore di accelerazione di picco al suolo (cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g $a_{refg}$, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di **0.155 g**.

Dalla carta si evince che il territorio del Comune di **Medesano** ricade in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a max) pari a 0**.150÷0.175 g**.

## Azioni sismiche di progetto

Come richiesto da NTC 2008 e successivo aggiornamento del 2018, per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, a partire dalla pericolosità sismica di base, si è utilizzato il software GEOSTRU, nella

quale sono stati introdotti alcuni parametri di calcolo che dovranno comunque essere verificati dal progettista strutturale.

**Nel caso in esame, su indicazione del progettista**, si assume:

**Classe d'uso: III**;

**Coefficiente d'uso Cu: 1,5;**

**Vita nominale dell'opera Vn:≥ 50 anni;**

quindi, periodo di riferimento **Vr: ≥ 75 anni**

Il tempo di ritorno ($T_R$) viene determinato introducendo nell'espressione:

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

il periodo di riferimento della costruzione $V_R$ (definito sulla base delle caratteristiche dell'opera in progetto) e la probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR}$.

Il **Periodo di riferimento** della costruzione è dato da:

**Vr = Vn x Cu = 50 X1,5 =75 anni**

- Vita nominale dell'Opera (Vn):

  La "Vita nominale" viene stimata in base al Tipo d'opera

  nel caso in esame si è considerata Vn ≥ **50 anni** per "*Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale*" (come definito dalla Tab. 2.4.I del D.M. 17/01/2018 - Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni) .

- Coefficiente d'uso (Cu):

  Il Coefficiente d'uso viene stimato in base alla Classe d'uso;

  Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

  Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

  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.

  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.

  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.

Nel caso in esame si è considerata **Cu=1.00** per ***Classe II***

**Tab. 2.4.II** – *Valori del coefficiente d'uso* $C_U$

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Per quanto riguarda le probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR}$, sono stati assunti i valori indicati nell' '"Aggiornamento delle N.T.C. 2018" (Tab. 3.2.I del Paragrafo 3.2.1):

**Tab. 3.2.I** – *Probabilità di superamento* $P_{V_R}$ *in funzione dello stato limite considerato*

| Stati Limite | $P_{V_R}$: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ | |
|---|---|---|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni *ag* e dalle relative forme spettrali, in funzione dei tre parametri definiti in corrispondenza dei punti del reticolo di riferimento:

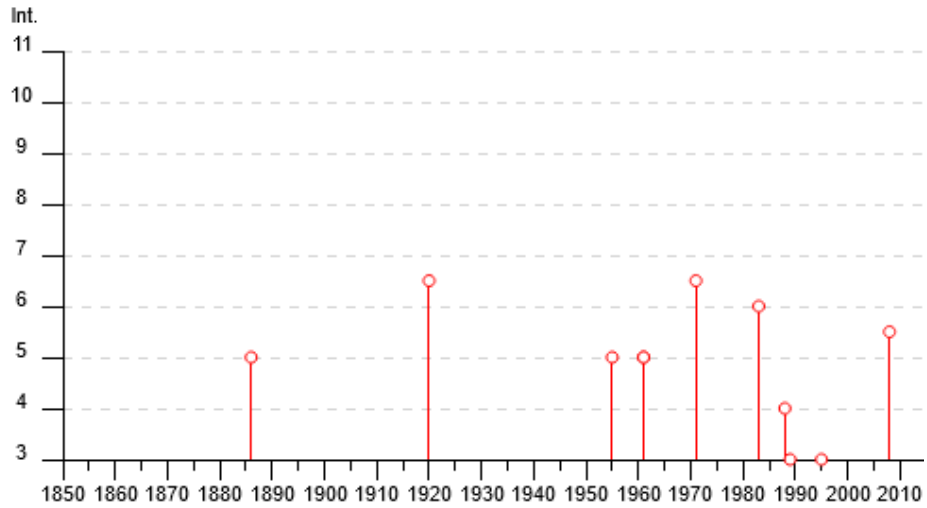
- $a_g$ accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Vengono quindi valutate le diverse probabilità di superamento in 50 anni per periodi di ritorno variabili tra 30 e 2475 anni.

Il sito in esame, non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, pertanto i valori dei parametri $a_g$, $F_0$, e $T_C^*$(Tabella 1) sono stati determinati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

## Medesano

| | |
|---|---|
| PlaceID | IT_36333 |
| Coordinate (lat, lon) | 44.756, 10.141 |
| Comune (ISTAT 2015) | Medesano |
| Provincia | Parma |
| Regione | Emilia-Romagna |
| Numero di eventi riportati | 14 |




| Effetti | In occasione del terremoto del | | | |
|---|---|---|---|---|
| Int. | Anno Me Gi Ho Mi Se | Area epicentrale | NMDP | Io | Mw |
| 5 | 1886 10 15 02 20 | Collecchio | 44 | 6 | 4.70 |
| 6-7 | 1920 09 07 05 55 4 | Garfagnana | 750 | 10 | 6.53 |
| 5 | 1955 03 12 06 57 0 | Parmense | 15 | 5 | 4.15 |
| 5 | 1961 08 13 22 34 1 | Parmense | 22 | 5-6 | 4.37 |
| 5 | 1961 08 14 01 03 0 | Parmense | 14 | 5-6 | 4.47 |
| 6-7 | 1971 07 15 01 33 2 | Parmense | 228 | 8 | 5.51 |
| 6 | 1983 11 09 16 29 5 | Parmense | 850 | 6-7 | 5.04 |
| NF | 1986 12 06 17 07 1 | Ferrarese | 604 | 6 | 4.43 |
| 4 | 1988 03 15 12 03 1 | Reggiano | 160 | 6 | 4.57 |
| 3 | 1989 10 03 09 41 3 | Appennino parmense | 91 | 4 | 4.04 |
| 3 | 1995 10 10 06 54 2 | Lunigiana | 341 | 7 | 4.82 |
| NF | 2000 06 18 07 42 0 | Pianura emiliana | 304 | 5-6 | 4.40 |
| NF | 2002 11 13 10 48 0 | Franciacorta | 768 | 5 | 4.21 |
| 5-6 | 2008 12 23 15 24 2 | Parmense | 291 | 6-7 | 5.36 |

**Figura 1 - a) Diagramma della storia sismica di Medesano, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3 a partire dal 1900; b) Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Medesano tra il 1961 e il 2015. Fonte dati: INGV Database Macrosismico Italiano 2015**

**- http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/**

**Tabella 1 - Valori dei parametri $a_g$, $F_0$ , $T_C^*$ per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite e coefficienti sismici determinati per il sito in esame (Lat. e Long. In Coordinate WGS84 e ED50).**

| Parametri sismici introdotti | |
|---|---|
| Categoria Sottosuolo | C |
| Categoria Topografica | T1 |
| Periodo di riferimento | 75 anni |
| Coeff. Cu | 1,5 |




| Stati Limite | | Probabilità di superamento | Tempo di ritorno $T_R$ (anni) | $a_g$ (g) | $F_0$ | $T_C^*$ (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stati limite d'esercizio | SLO | 81% | 45 | 0,062 | 2,462 | 0,251 |
| | SLD | 63% | 75 | 0,077 | 2,461 | 0,261 |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% | 712 | 0,178 | 2,490 | 0,286 |
| | SLC | 5% | 1462 | 0,221 | 2,514 | 0,295 |

| COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SLO: | SLD: | SLV: | SLC: |
| Amplificazione stratigrafica Ss | 1,50 | 1,50 | 1,43 | 1,37 |
| Coeff. funz. Categoria Cc | 1,66 | 1,64 | 1,59 | 1,57 |
| Amplificazione Topografica St | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Componente Orizzontale Kh | 0,019 | 0,023 | 0,061 | 0,085 |
| Componente verticale Kv | 0,009 | 0,012 | 0,031 | 0,042 |
| Acceleraz. Max attesa in sito Amax: | 0,908 | 1,132 | 2,502 | 2,974 |
| Beta: | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

## Dati di input per l'analisi di RSL: accelerogrammi

Gli accelerogrammi utilizzati per uno studio di RSL dovrebbero essere rappresentativi della sismicità del sito, prendendo in considerazione alcuni parametri fondamentali quali:

- Caratteristiche sismogenetiche della sorgente (meccanismo focale);
- Magnitudo;
- Distanza epicentrale;
- Sito di registrazione (categoria di sottosuolo sismico di appartenenza, preferibilmente cat. A);
- Massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

In uno studio di RSL possono essere utilizzati accelerogrammi sintetici e/o accelerogrammi naturali; questi ultimi sono dotati di un più realistico contenuto in frequenze e numero di cicli, conservando le caratteristiche specifiche del sisma in termini di "Intensità I" nel sito di registrazione, "Magnitudo M" dell'evento, e "Distanza d" dal sito all'epicentro tramite la legge di attenuazione, pertanto vengono generalmente preferiti ai primi. L'operazione che consente di stabilire quali sono i "range" caratteristici dei parametri sismici che concorrono alla definizione della pericolosità sismica (con metodo probabilistico) di un determinato sito, prende il nome di "*Disaggregazione*".
Dal sito dell'INGV (**http://esse1-gis.mi.ingv.it**), oltre alla "*Mappa di pericolosità sismica*" (Fig. 2a), per il territorio del Comune di **Medesano**, è possibile estrapolare il relativo grafico della "*Disaggregazione*" (Fig. 2b). Nel caso in esempio si può notare come la massima percentuale, pari al **32,1%** sia definita per terremoti di magnitudo compresa fra **4,5-5 M**, nel range di distanza tra **0-10 km.**

Gli accelerogrammi naturali possono essere selezionati da archivi nazionali e internazionali grazie:

- all'ausilio del software gratuito REXEL (Iervolino et al., 2009);
- ad applicativi web-gis (SEISM-HOME della Fondazione EUCENTRE di Pavia);

che consentono di reperire dei set di accelerogrammi spettro compatibili secondo quanto indicato nelle "Norme Tecniche delle Costruzioni - NTC2008 e aggiornamento NTC2018".

Nel caso in esame, sono stati utilizzati n.7 accelerogrammi spettro compatibili estraendoli con l'ausilio del software ***REXEL - Versione 3.5***, scaricabile gratuitamente al seguente indirizzo:

- https://www.reluis.it/it/progettazione/software/rexel.html

In Tabella 2 si riportano alcune informazioni relative agli accelerogrammi utilizzati.
Gli accelerogrammi sono quindi stati inseriti nel software di elaborazione per il calcolo della "**LSR 2D" - *Version 5.0.12 della STACEC**)* già opportunamente scalati rispetto al valore di PGA al bedrock attesa in sito, considerando un sottosuolo rigido affiorante (Cat. A) e **TR 1462 anni** (Fig.3a); in Fig. 3b si riportano gli spettri di input associati agli accelerogrammi selezionati.

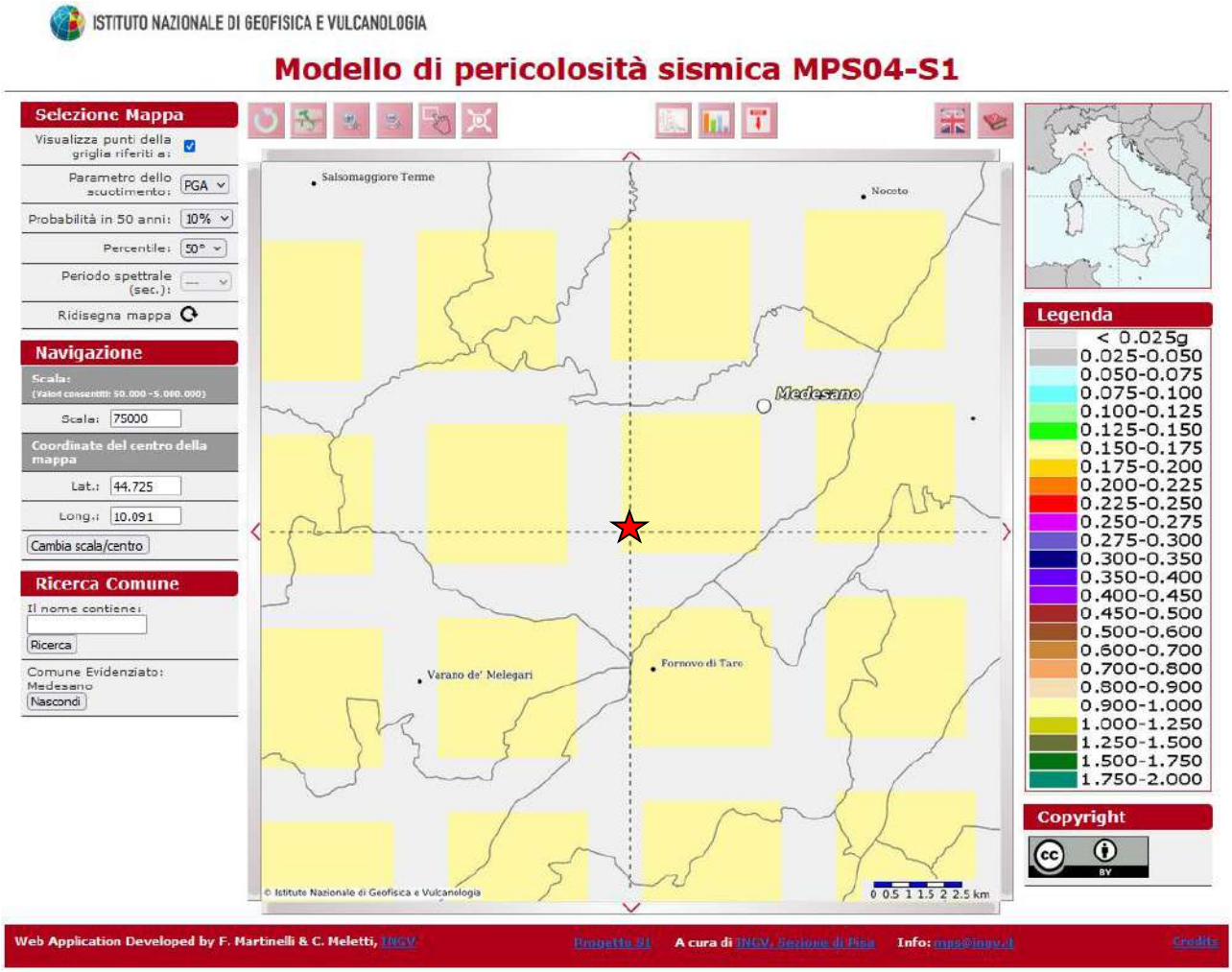
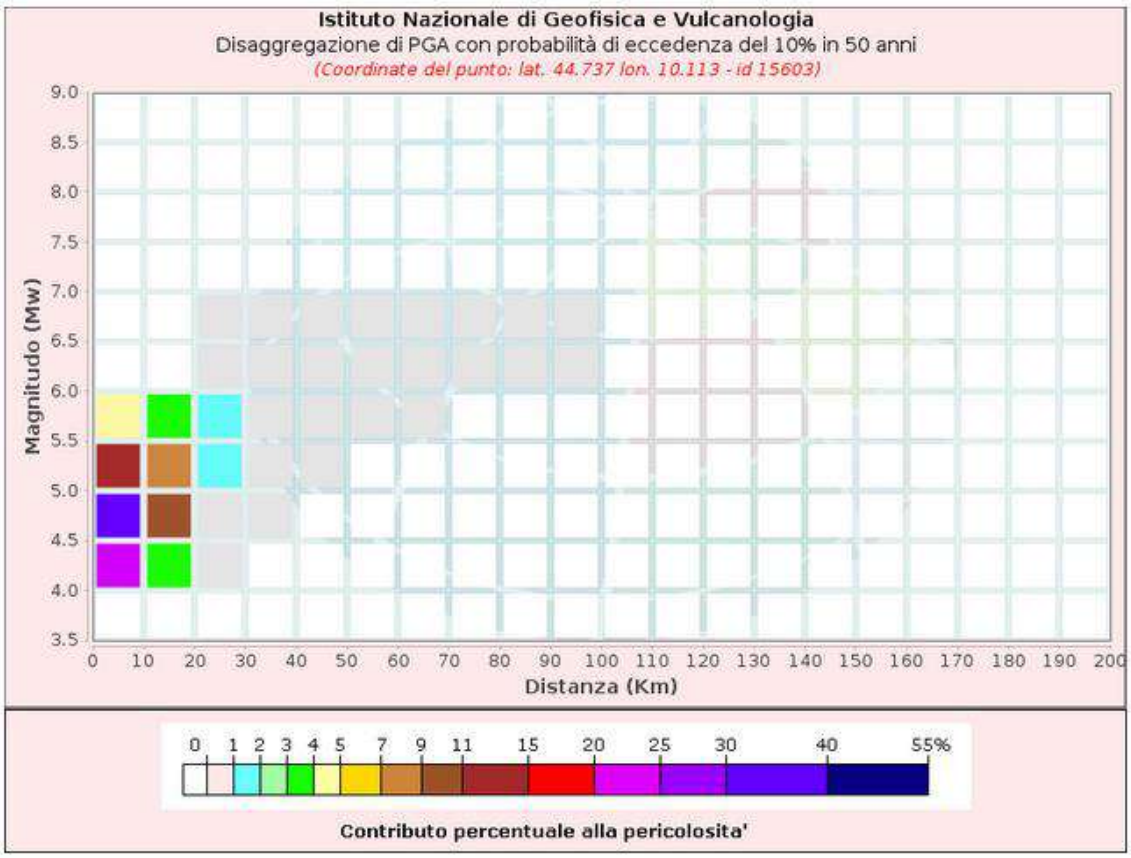



**Figura 2a - Mappa di pericolosità sismica per il territorio del Comune di Medesano espressa in termini di a(g) e probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (TR = 475 anni) (INGV); gli assi sono centrati sul sito di interesse.**




| Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.737 lon. 10.113 - id 15603) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distanza (Km) | Magnitudo (Mw) | | | | | | | | | | |
| | 3.5-4.0 | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10 | 0.0000 | 20.4000 | 32.1000 | 14.2000 | 4.2900 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10-20 | 0.0000 | 3.8700 | 9.6900 | 7.5000 | 3.4600 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20-30 | 0.0000 | 0.0577 | 0.8480 | 1.4900 | 1.0500 | 0.0942 | 0.0167 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 30-40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0023 | 0.1270 | 0.2810 | 0.2200 | 0.0432 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 40-50 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0054 | 0.0707 | 0.1090 | 0.0247 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 50-60 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0113 | 0.0343 | 0.0097 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 60-70 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0019 | 0.0086 | 0.0032 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 70-80 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0047 | 0.0021 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 80-90 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 90-100 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 100-110 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 110-120 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 120-130 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 130-140 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 140-150 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 150-160 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 160-170 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 170-180 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 180-190 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 190-200 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| Valori Medi | | |
|---|---|---|
| Magnitudo | Distanza | Epsilon |
| 4.86 | 8.22 | 0.86 |

**Figura 2b: Contributi alla pericolosità per intervalli di magnitudo e distanza epicentrale (INGV)**

# ACCELEROGRAMMI DI INPUT

**SCALATI ag/g = 0,221**

**Tabella 2 - Dataset informativo relativo ai 7 accelerogrammi utilizzati nello studio di risposta sismica locale.**

| Waveform ID | Earthquake ID | Station ID | Earthquake Name | Date | Mw | Fault Mechanism | Epicentral Distance [km] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 103 | 28 | SRC0 | FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK | 15/09/1976 | 5.9 | Thrust | 16.4207 |
| 281 | 71 | PSC | VAL COMINO EARTHQUAKE | 11/05/1984 | 5.5 | Normal | 9.0799 |
| 103 | 28 | SRC0 | FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK | 15/09/1976 | 5.9 | Thrust | 16.4207 |
| 461 | 114 | CSC | APP. UMBRO-MARCHIGIANO | 12/10/1997 | 5.2 | Normal | 22.1558 |
| 90 | 25 | SRC0 | FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK | 15/09/1976 | 5.9 | Thrust | 16.8908 |
| 488 | 118 | CSC | UMBRIA-MARCHE 3RD SHOCK | 14/10/1997 | 5.6 | Normal | 22.0159 |
| 488 | 118 | CSC | UMBRIA-MARCHE 3RD SHOCK | 14/10/1997 | 5.6 | Normal | 22.0159 |
| mean: | | | | | 5.657143 | | 17.8571 |

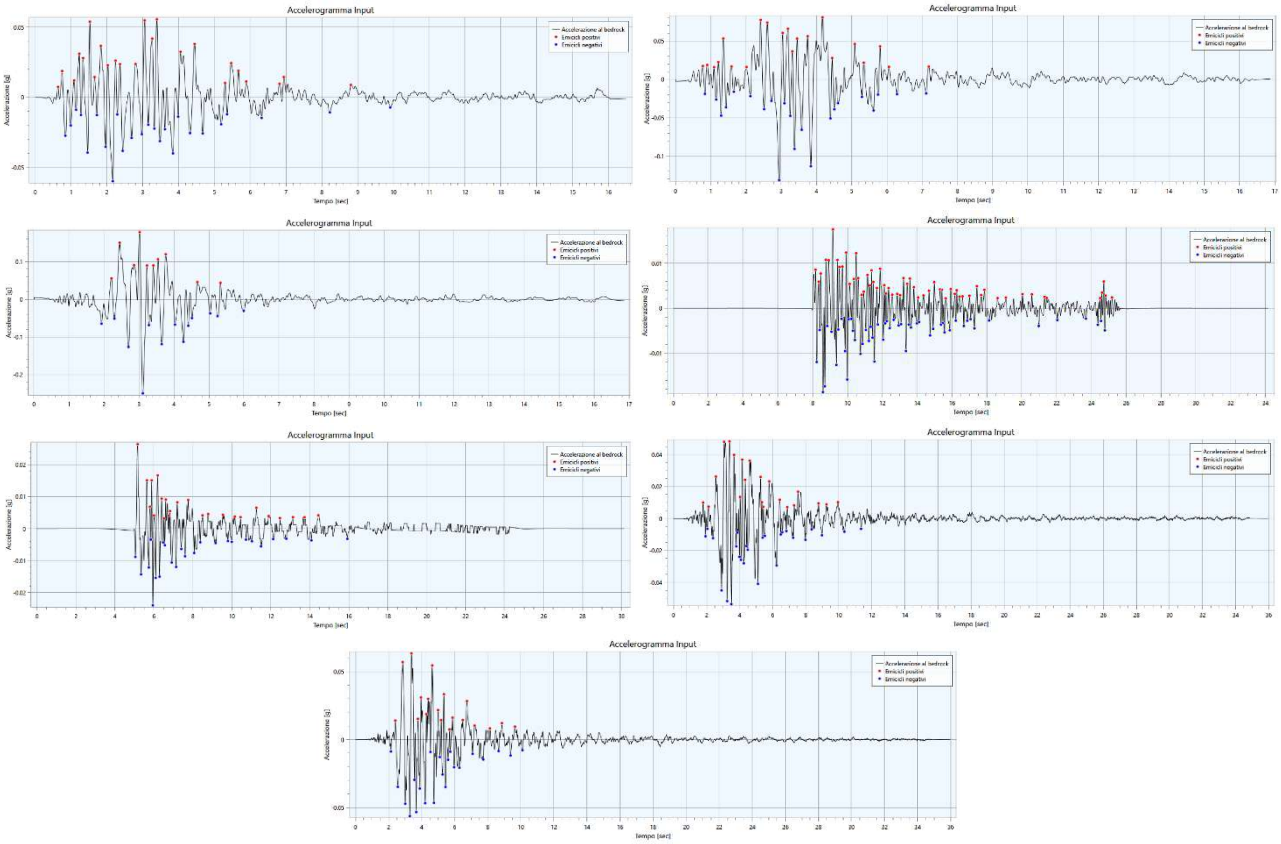



**Figura 3a - Serie temporali di input che vengono poi riscalate in funzione della P.G.A.0 attesa al bedrock sismico (sottosuolo di Cat. A).**

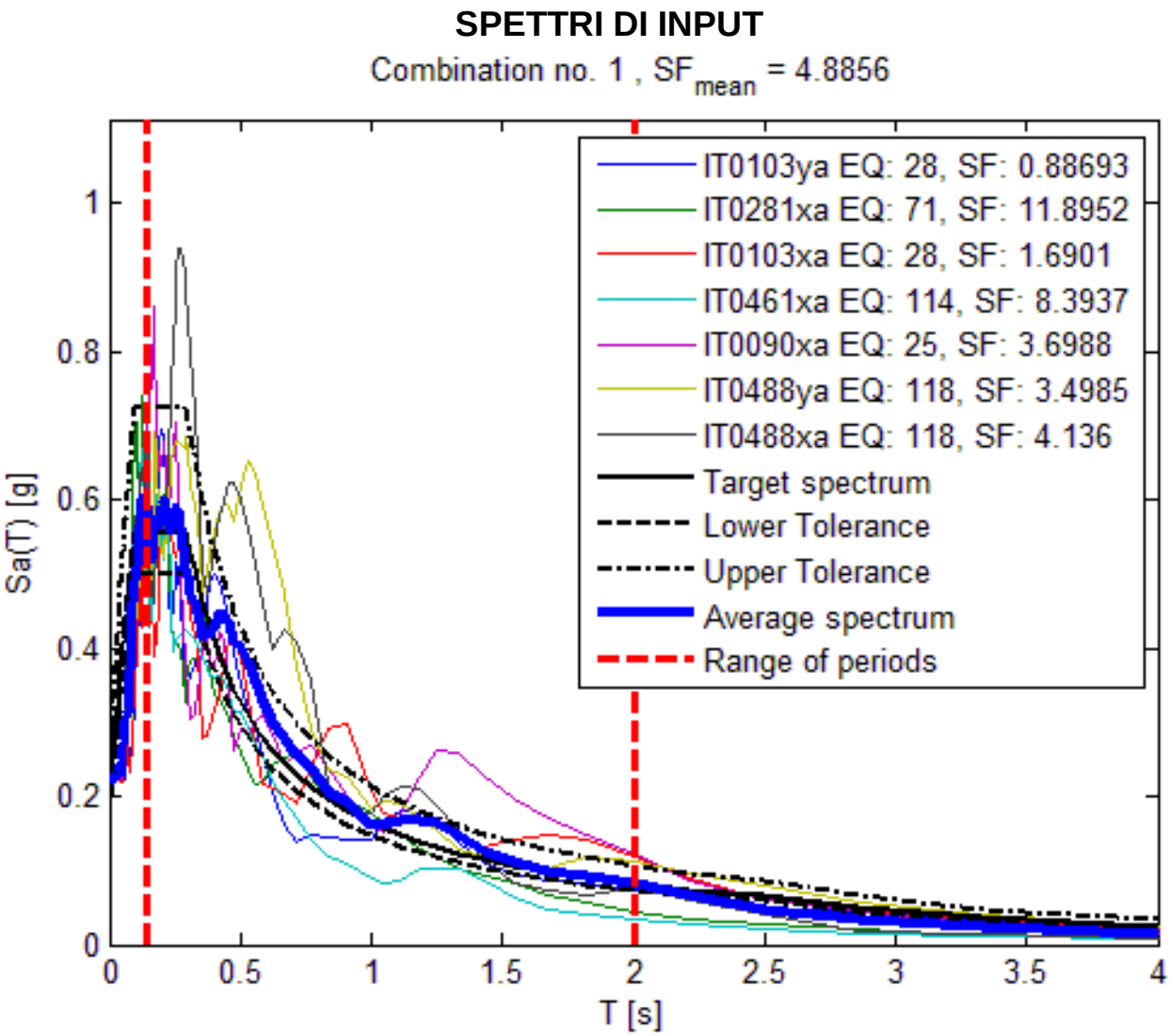



**Figura 3b - Spettri di input che fanno riferimento alle serie temporali degli accelerogrammi presentate in Tabella 2, estrapolate con i software di riferimento o con gli applicativi webgis sopra indicati.**

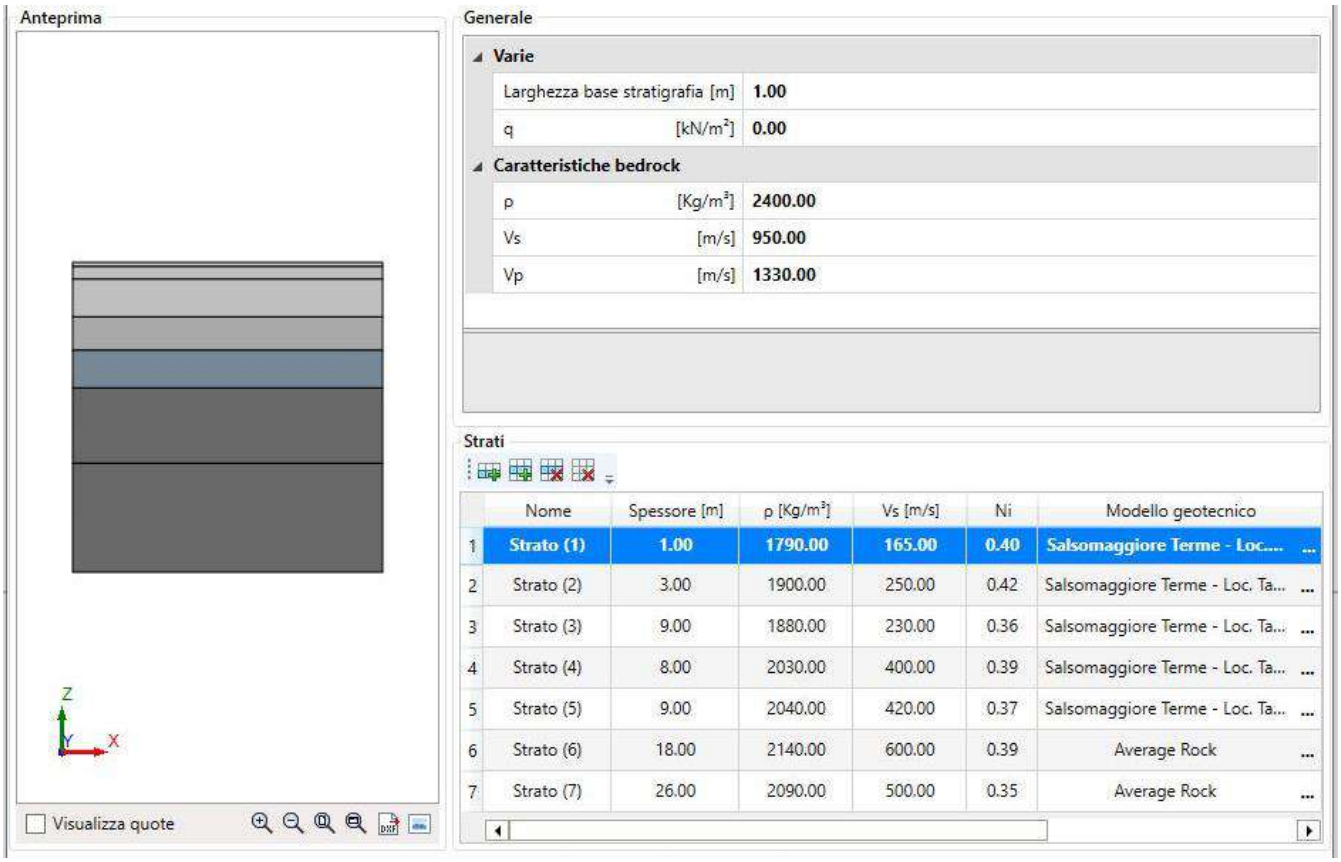
## Dati di input per l'analisi di RSL: modello sismo-stratigrafico

Attraverso le prove geotecniche e sismiche eseguite in sito (vedi allegati) e all'analisi dei dati estrapolati dal database cartografico della Regione Emilia Romagna (*http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/index.htm*) relativi a pozzi e carotaggi realizzati nell' intorno dell'area d'interesse, si è ottenuto il modello sismo-stratigrafico semplificato riportato in Fig. 4.

Attraverso il software di calcolo "***LSR 2D - Versione: 5.0.12***", è stata quindi calcolata la risposta dinamica monodimensionale (1D), optando per una analisi equivalente lineare (EQL), basata su un modello di propagazione lineare delle onde in cui le proprietà dinamiche del terreno, quali "Modulo di taglio G" e "Rapporto di smorzamento D", vengono fatti variare in funzione del livello deformativo.

Pertanto, a ciascuno strato definito nel modello sismo-stratigrafico di Fig. 4, è stata associata una coppia di curve che definisce il comportamento non lineare del terreno in funzione di un aumento percentuale della deformazione di taglio:

- la curva di decadimento del Modulo di rigidezza al taglio G alle basse deformazioni espresso come rapporto G/G0 (Fig. 5a);
- la curva di variazione dello smorzamento D (Fig. 5b).




| | Nome | Spessore [m] | ρ [Kg/m³] | Vs [m/s] | Ni | Modello geotecnico |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Strato (1)** | **1.00** | **1790.00** | **165.00** | **0.40** | **Salsomaggiore Terme - Loc....** |
| 2 | Strato (2) | 3.00 | 1900.00 | 250.00 | 0.42 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 3 | Strato (3) | 9.00 | 1880.00 | 230.00 | 0.36 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 4 | Strato (4) | 8.00 | 2030.00 | 400.00 | 0.39 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 5 | Strato (5) | 9.00 | 2040.00 | 420.00 | 0.37 | Salsomaggiore Terme - Loc. Ta... |
| 6 | Strato (6) | 18.00 | 2140.00 | 600.00 | 0.39 | Average Rock |
| 7 | Strato (7) | 26.00 | 2090.00 | 500.00 | 0.35 | Average Rock |

**Figura 4 - Schermate di Input tratte dal software "LSR 2D", dove viene definito il modello sismo-stratigrafico del sito di interesse: ad ogni singolo strato viene attribuito un valore rappresentativo delle Vs e del Peso di volume; inoltre ad ogni intervallo stratigrafico viene assegnata la relativa coppia di curve di decadimento del modulo di taglio G/G0 e dello smorzamento D(%).**

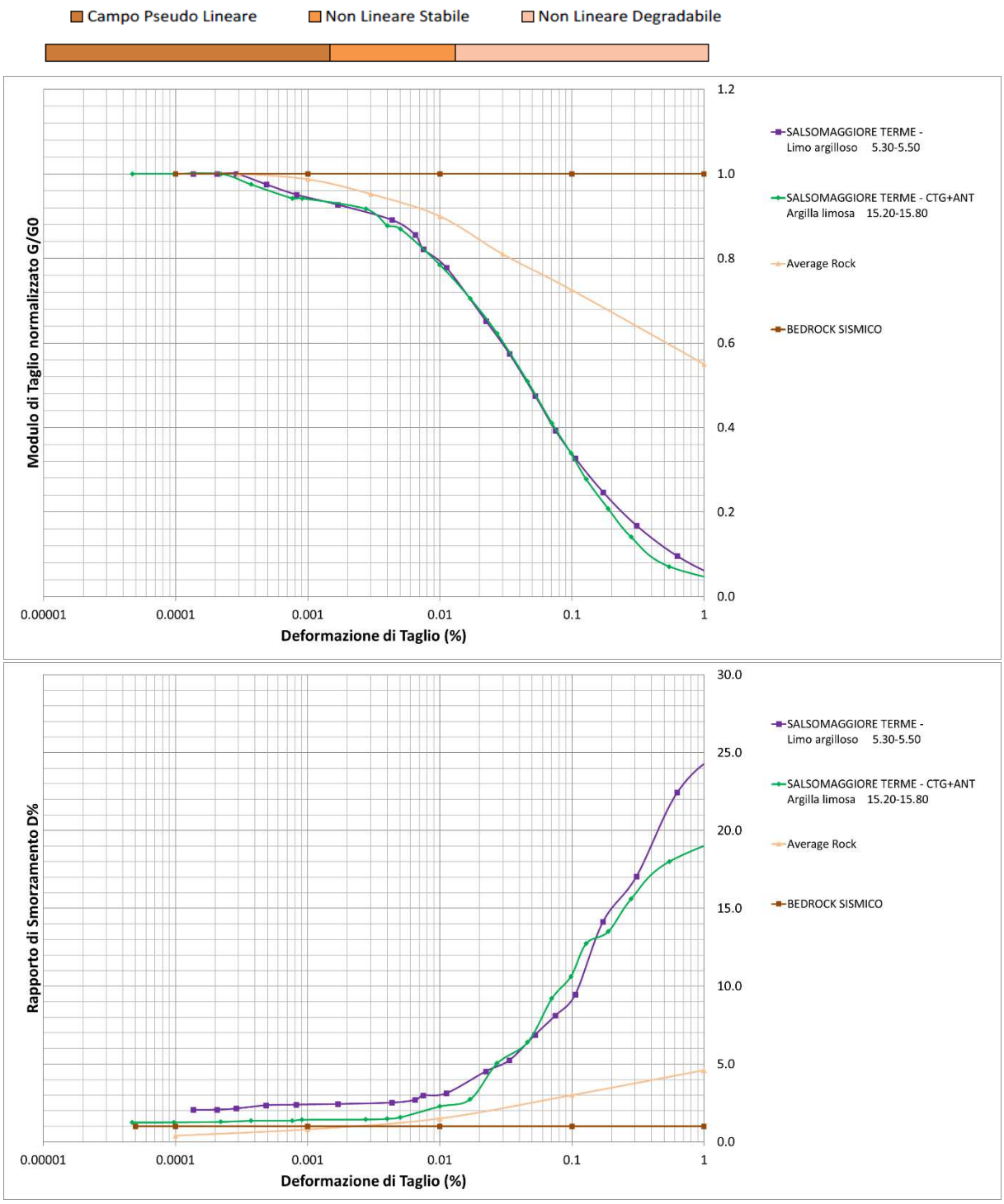



**Figura 5 - Curve di decadimento espresse come rapporto G/G0 (Fig. 5a) e curve dello smorzamento D(%) (Fig. 5b) entrambe in funzione dello sforzo di taglio applicato, associate ad ogni singolo strato che definisce il modello sismo-stratigrafico di input presentato in Fig.4.**

**Grafici di output della RSL**

A seguito della modellizzazione numerica e dei grafici di output ottenuti dalla simulazione in LSR 2D, possono essere ricavate diverse informazioni, che permettono di descrivere in maniera dettagliata il comportamento sismico della colonna stratigrafica soprastante il bedrock di riferimento.

I parametri di output vengono di seguito elencati:

- Arias Intensity Profile → Intensità di Arias;
- Damping Ratio → Rapporto di Smorzamento;
- Dissipated Energy Profile → Profilo di energia dissipata;
- Final Shear-Wave Velocity Profile → Velocità finale delle onde di taglio;
- Initial Shear-Wave Velocity Profile →Velocità iniziale delle onde di taglio;
- P.G.A → Peak Ground Acceleration Profile;
- P.G.D. → Peak Ground Displacement Profile;
- Maximum Error Profile → Massimo errore;
- Maximum Shear-Strain Profile → Massima deformazione di taglio;
- Maximum Shear-Stress Profile → Massimo modulo di taglio
- Peak Ground Velocity Profile → Massima Velocita per ogni profondità;
- Shear-Modulus Profile → Modulo di taglio;
- Stress Ratio Profile → Rapporto fra Massimo sforzo di taglio e Massimo sforzo efficace;
- Stress Reduction Coefficient (r_d) Profile → Coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio rd
- Vertical Total Stress Profile → Pressione vertical totale;
- Vertical Effective Stress Profile → Pressione verticale efficace;
- Time Series → le serie temporali in accelerazione, spostamento, velocità, deformazione di taglio e sforzo di taglio alle profondità desiderate;
- Acceleration Response Spectrum → Gli spettri di risposta in accelerazione;
- Fourier Amplitude Spectrum → Lo spettro di Fourier in ampiezza;
- Acceleration Transfer Function → La funzione di trasferimento dell'accelerazione → Rapporto degli spettri di Fourier delle accelerazioni;
- Spectral Ratio → Il Rapporto Spettrale (rapporto fra spettri di risposta);
- Strain Transfer Function → La funzione di trasferimento delle deformazioni ovvero il Rapporto fra spettro di Fourier delle deformazioni e spettro di Fourier delle accelerazioni;

Verranno prese in considerazione soltanto alcune delle informazioni ricavate dallo studio di RSL, in particolare quelle che possono avere una ricaduta più sostanziale ai fini progettuali dell'opera.

### 1) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Definisce la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità.

Consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale, intesa come rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.0 al bedrock (sottosuolo di categoria A) (Fig. 6).

Si rammenta che per il Comune di **Medesano** si partiva da una $ag_{max}$ al suolo rigido pari a **0,221g**.

Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA0 più cautelativo al suolo (cioè il più elevato) è ricavato dall'input:

- **IT0488ya_6** **Fan pga $_{max}$ = 2,47**

mentre il valore F.A. medio definito su n.7 accelerogrammi è:

**FApga $_{medio}$ 1,9**

| INPUT SISMICO | PGA bedrock | Pga Superficie | F.A. |
|---|---|---|---|
| IT0090xa_1 | 0,221 | 0,355 | 1,60 |
| IT0103xa_2 | 0,221 | 0,297 | 1,34 |
| IT0103ya_3 | 0,221 | 0,415 | 1,87 |
| IT0281xa _4 | 0,221 | 0,441 | 1,99 |
| IT0461xa_5 | 0,221 | 0,388 | 1,75 |
| IT0488ya_6 | 0,221 | 0,548 | 2,47 |
| IT0488ya_7 | 0,221 | 0,506 | 2,28 |
| **Media** | **0,221** | **0,421** | **1,9** |

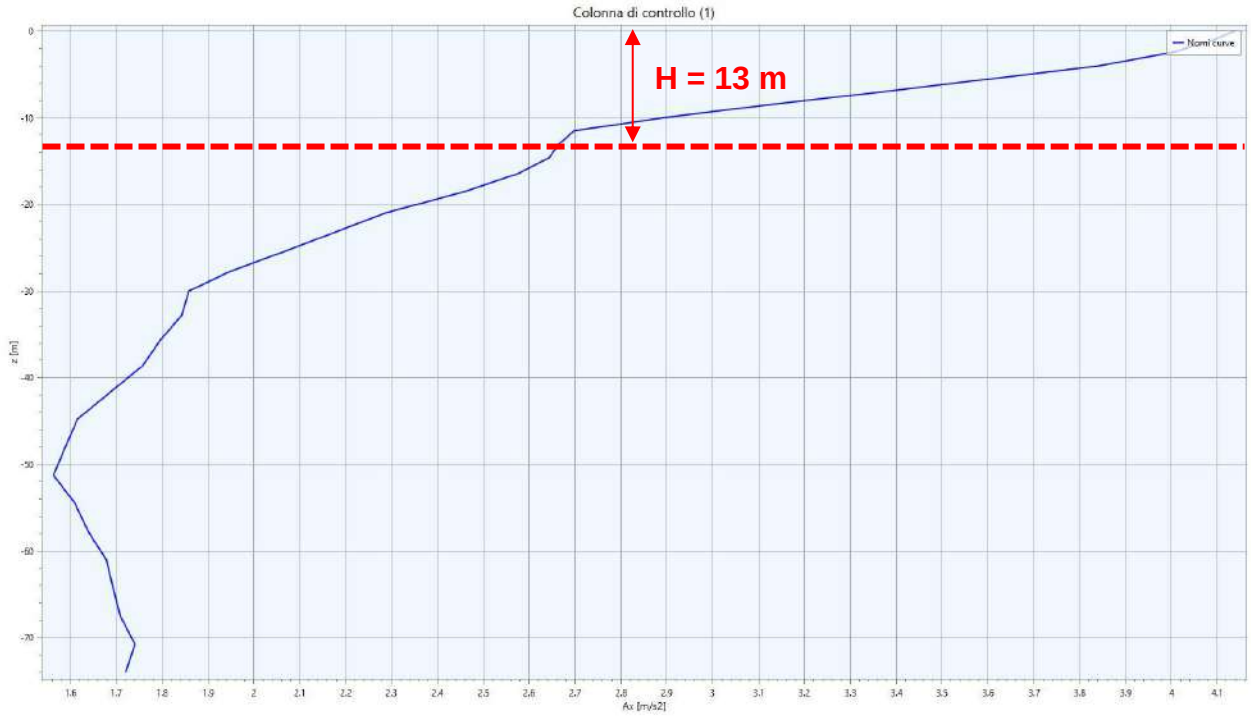



**Figura 6 - P.G.A. Profile: si può notare un incremento rilevante della PGA in corrispondenza degli orizzonti più superficiali (da circa 14m di profondità fino a p.c., e in particolare i primi 11m da p.c. rappresentati da orizzonti limoso-argillosi con Vs < 360 m/s).**

### 2) Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità di Housner (o intensità dello spettro di risposta) viene definita come segue:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

dove PSV è lo spettro di risposta di pseudo-velocità, **T** e **ξ** sono rispettivamente **il periodo** e **lo smorzamento strutturale**.

Questo parametro di severità del moto sismico è correlato al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in esame, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0.1 e 2.5 secondi. Dimensionalmente l'intensità di Housner è uno spostamento (cm).

Di seguito il valore di "Intensità di Housner" viene presentato per i seguenti intervalli di riferimento:

- 0,1<SI<0,5 (Fig. 7a);
- 0,5<SI<1,0 (Fig. 7b);
- 0,5<SI<1,5 (Fig. 7c).

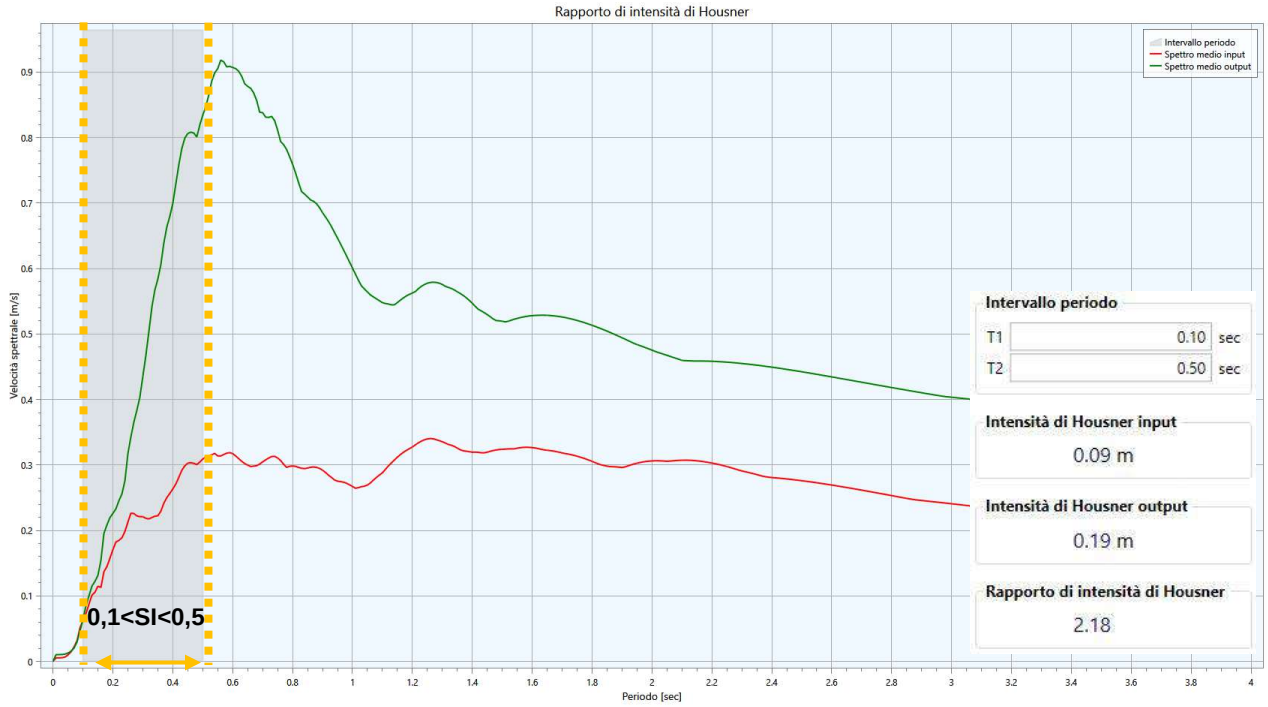



**Figura 7a - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,1<SI<0,5.**

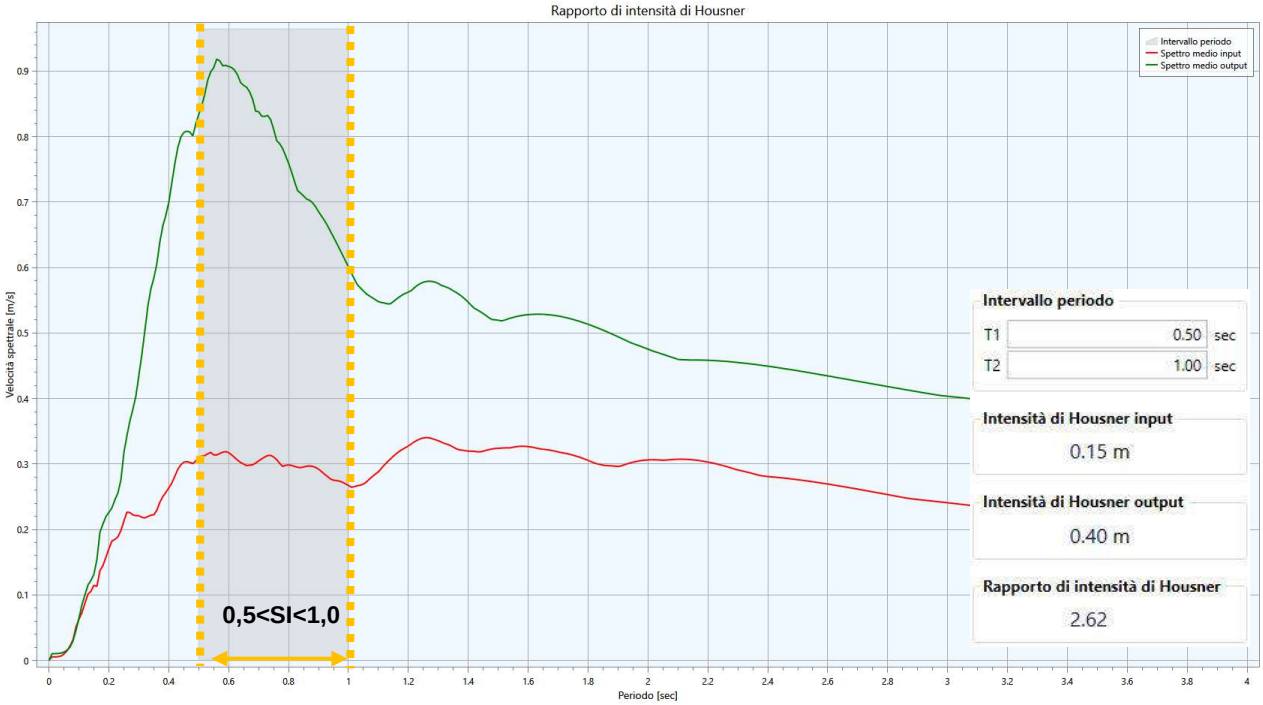



**Figura 7b - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,0.**

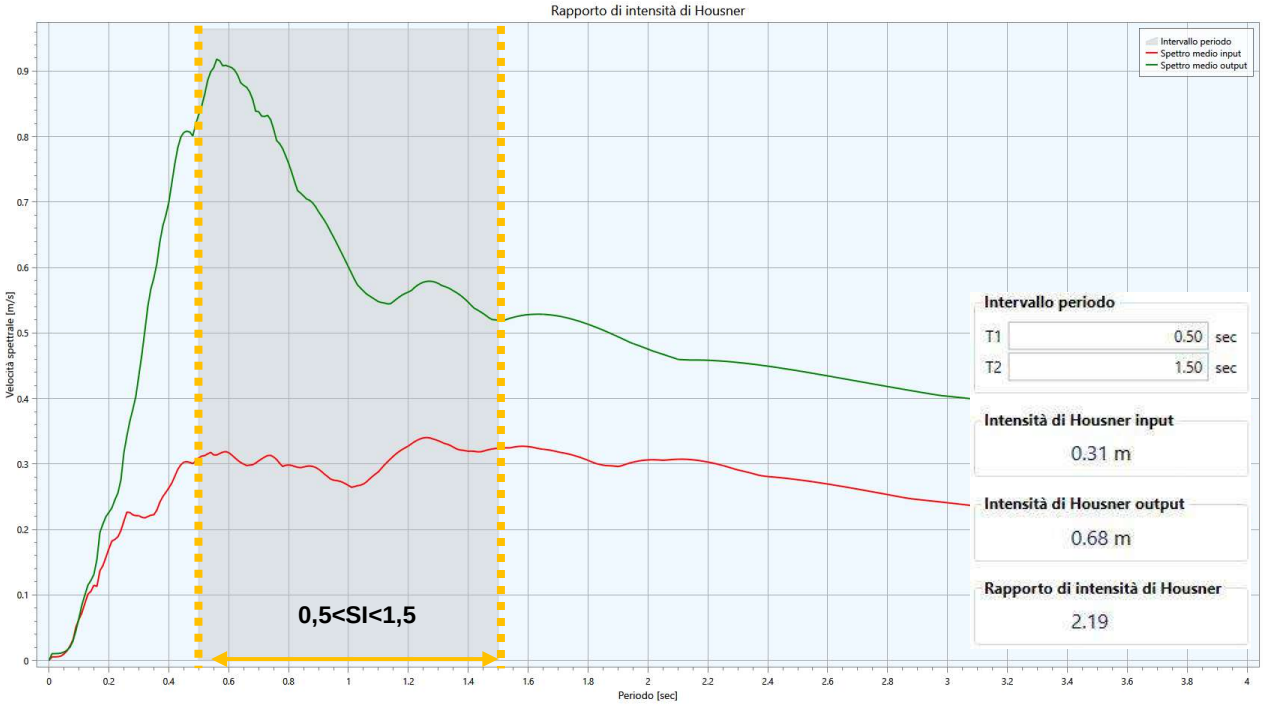



**Figura 7c - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,5<SI<1,5.**

### 3) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Rappresenta l'elaborato fondamentale richiesto dagli strutturisti e in "LSR 2D" può essere calcolato sia in superficie che per una profondità di interesse.

Nel caso in esame (Fig. 8) è stato calcolato per gli **SLC** a **-1m da piano campagna**, con un **coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%**. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, il sito presentava un valore di **Vs30** di **324 m/s**, ed è stato classificato in "**Categoria C**". Osservando in dettaglio il grafico (Fig. 8) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di

"**Categoria C**". Lo spettro medio è stato poi parametrizzato secondo la tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della "*media*".

Resta compito dello strutturista definire il valore del periodo proprio e dello smorzamento della struttura, andando a modificare lo "spettro di progetto" in funzione del "*Fattore di struttura q*".

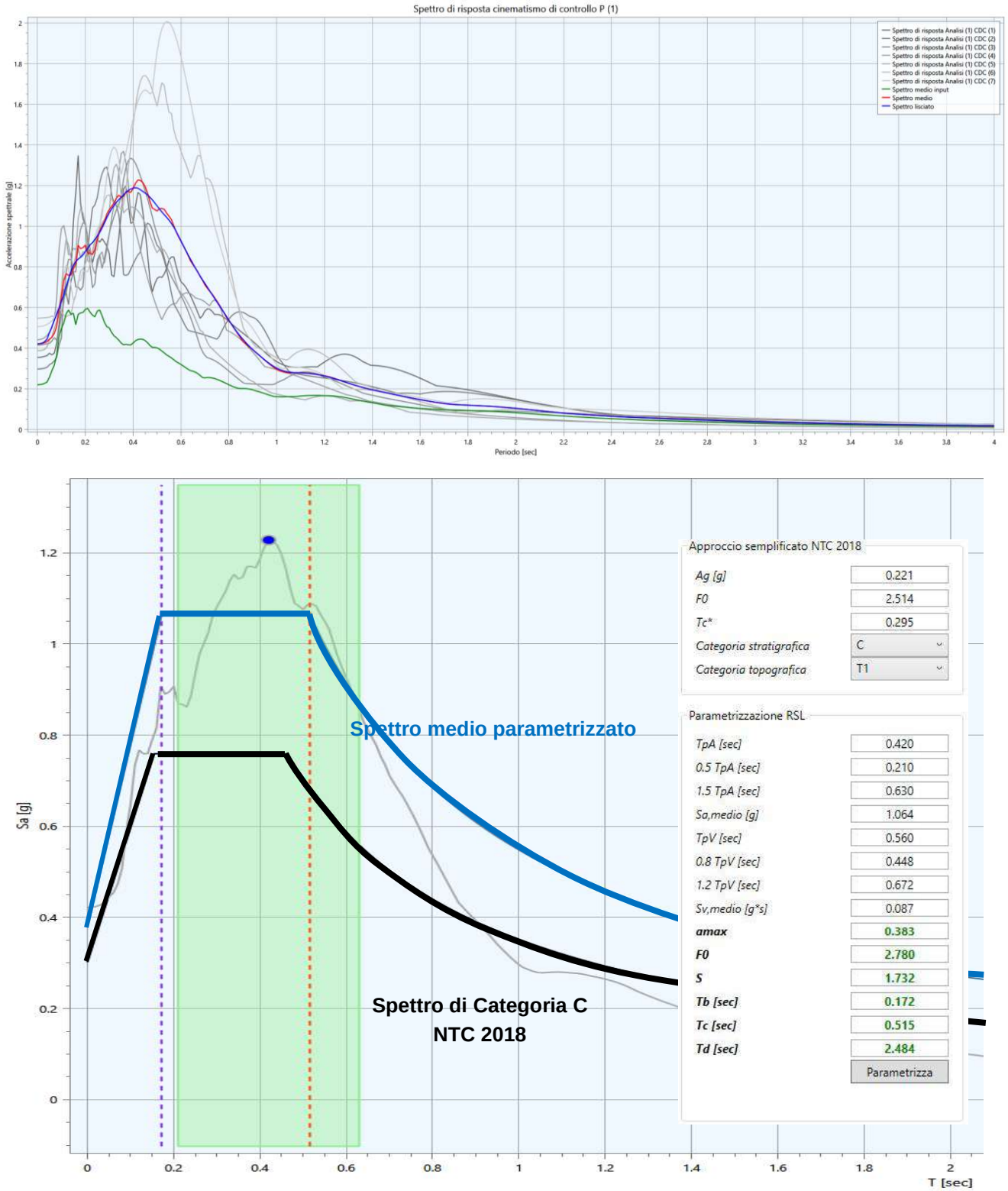



**Figura 8 – Spettri di output (in alto) e relativo spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLC con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio parametrizzato secondo normativa (linea blu) con lo spettro ricavato dall' approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla "Categoria di sottosuolo sismico"**

**(CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito (linea nera).**

In ultima analisi (Tabella 3) è quindi possibile mettere a confronto **i valori medi di F.A. calcolati nello studio di R.S.L.** (Fig. 9), con:

- **i valori di F.A. determinati nello studio di Microzonazione Sismica comunale di 2° o 3° livello;**
- **i valori di F.A. ricavati con l'approccio semplificato**, seguendo quanto indicato nella **Delibera n. 476 del 12 Aprile 2021**, che rappresenta l'aggiornamento degli "Indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica", atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007).

In particolare, per il sito di interesse, gli abachi da utilizzare sono riportati di seguito.

I parametri di input considerati sono:

→ **VsH= 268 m/s**

→ **H= 17,5 m**

***APPENNINO***

Le tabelle relative al settore appenninico sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia-Romagna.

Possono essere applicate anche nelle aree di pianura prossime al margine morfologico appenninico-padano dove le coperture detritiche continentali hanno spessore indicativamente non superiore a 50 m.

Si possono riscontrare 2 situazioni:

- **coperture direttamente poggianti su substrato rigido**, ovvero *bedrock sismico*, generalmente caratterizzato da **Vs ≥ 800 m/s**;
- **coperture poggianti su substrato non rigido**, *vale a dire caratterizzato da* ***Vs << 800 m/s***

Per il sito di interesse vanno considerate le tabelle relative a **coperture poggianti su substrato non rigido**, *vale a dire caratterizzato da* ***Vs << 800 m/s***.

Si considerano trascurabili gli effetti legati all'amplificazione topografica, pertanto l'entità dell'amplificazione sismica è imputabile ai soli fattori stratigrafici

.

## Substrato marino caratterizzato da Vs ≥ 800 m/s

DIMINUZIONE →

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,8 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,0 |
| 20 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,0 |
| 25 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,0 |
| 30 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 35 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **PGA**

DIMINUZIONE →

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,2 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,8 | 2,5 | 1,9 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 2,9 | 2,8 | 2,4 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | | 3,0 | 2,7 | 2,0 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 35 | | 3,1 | 2,9 | 2,4 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |
| 40 | | 3,1 | 3,0 | 2,6 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 |
| 50 | | 2,9 | 2,9 | 2,7 | 2,5 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA2** (0,4s≤T≤0,8s)

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 2,1 | 2,0 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,1 |
| 25 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 |
| 30 | | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,2 |
| 35 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,0 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 2,7 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | | 2,5 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 35 | | 3,1 | 2,3 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 |
| 40 | | 3,4 | 2,9 | 1,9 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 50 | | 3,5 | 3,3 | 2,8 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |

Fattore di Amplificazione **SA3** (0,7s≤ T≤1,1s)

DIMINUZIONE →

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 2,1 | 2,0 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 25 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,0 |
| 30 | | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,1 |
| 35 | | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 2,6 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 2,9 | 2,5 | 1,9 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | | 2,9 | 2,3 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 35 | | 3,2 | 2,8 | 1,9 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 |
| 40 | | 3,4 | 3,1 | 2,4 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| 50 | | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 |

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

## Substrato marino caratterizzato da Vs << 800 m/s

DIMINUZIONE →

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,3 | 2,0 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | |
| 10 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | |
| 15 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | |
| 20 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | |
| 25 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 35 | | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **PGA**

DIMINUZIONE →

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 10 | 2,3 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 2,8 | 2,3 | 1,9 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 20 | 3,2 | 2,9 | 2,3 | 1,8 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 25 | 3,4 | 3,2 | 2,7 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 3,3 | 2,9 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | |
| 35 | | 3,3 | 3,0 | 2,5 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 3,2 | 3,1 | 2,7 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SA2** (0,4s≤T≤0,8s)

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,2 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | |
| 10 | 2,5 | 2,3 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | |
| 15 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | |
| 20 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | |
| 25 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | |
| 35 | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 10 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 20 | 2,4 | 2,1 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 25 | 3,4 | 2,5 | 1,9 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 30 | | 3,0 | 2,3 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 35 | | 3,3 | 2,7 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,1 |
| 40 | | 3,6 | 3,1 | 2,2 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 |
| 50 | | 3,6 | 3,4 | 2,9 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |

Fattore di Amplificazione **SA3** (0,7s≤T≤1,1s)

DIMINUZIONE →

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,1 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 10 | 2,6 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 20 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | |
| 25 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | |
| 35 | | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 40 | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s)

| $Vs_H$ (m/s) → H (m) ↓ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 10 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 15 | 2,3 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 20 | 2,9 | 2,6 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | |
| 25 | 3,6 | 3,0 | 2,3 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 30 | | 3,3 | 2,7 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | |
| 35 | | 3,5 | 3,0 | 2,2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,1 |
| 40 | | 3,5 | 3,2 | 2,6 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 50 | | 3,3 | 3,3 | 3,0 | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

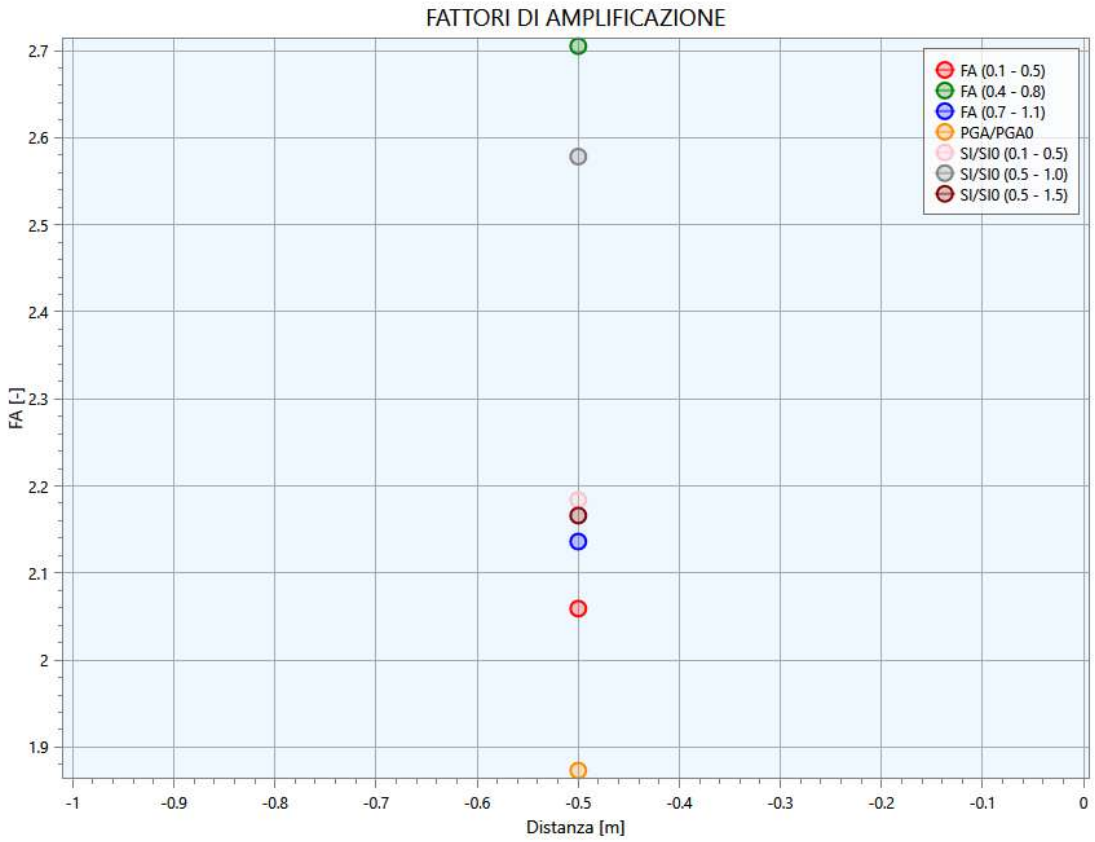



**Figura 9 - Grafico di sintesi che rappresenta i valori dei FA per gli intervalli considerati.**

**Tabella 3 - Confronto fra i valori del Fattore di Amplificazione F.A. ricavati tramite procedura semplificata - Allegato A2 del D.G.R n°476 del 12 aprile 2021, studio di Microzonazione Simica – MZS di 2° livello e il presente studio di "Risposta Sismica Locale - RSL".**

| CONFRONTO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A. DA ANALISI SEMPLIFICATA, MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO E DA RSL | | | |
|---|---|---|---|
| **FATTORE DI AMPLIFICAZIONE CONSIDERATO** | **PROCEDURA SEMPLIFICATA DA ABACHI** | **MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO** | **RISPOSTA SISMICA LOCALE R.S.L.** |
| ***F.A. PGA*** | ***2,1-2,2*** | ***2,1-2,2*** | ***1,87*** |
| ***F.A. SA1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,2-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,05*** |
| ***F.A. SA2*** *(0.4s<$T_0$<0.8s)* | ***1,9-2,3*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,70*** |
| ***F.A. SA3*** *(0.7s<$T_0$<1.1s)* | ***1,5-1,6*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,13*** |
| ***F.A. SI1*** *(0.1s<$T_0$<0.5s)* | ***2,3-2,4*** | ***2,3-2,4*** | ***2,18*** |
| ***F.A. SI2*** *(0.5s<$T_0$<1.0s)* | ***1,6-1,9*** | ***1,5-1,6*** | ***2,57*** |
| ***F.A. SI3*** *(0.5s<$T_0$<1.5s)* | ***-*** | ***Elaborato non presente*** | ***2,16*** |

In Fig. 10 si presenta il grafico riassuntivo dello spettro medio di output in accelerazione, calcolato per il sito di interesse. Il grafico è stato estrapolato dal foglio di calcolo Excel utilizzato e viene fornito in allegato al presente elaborato, insieme ai file .txt relativi a ciascuno spettro rappresentato.

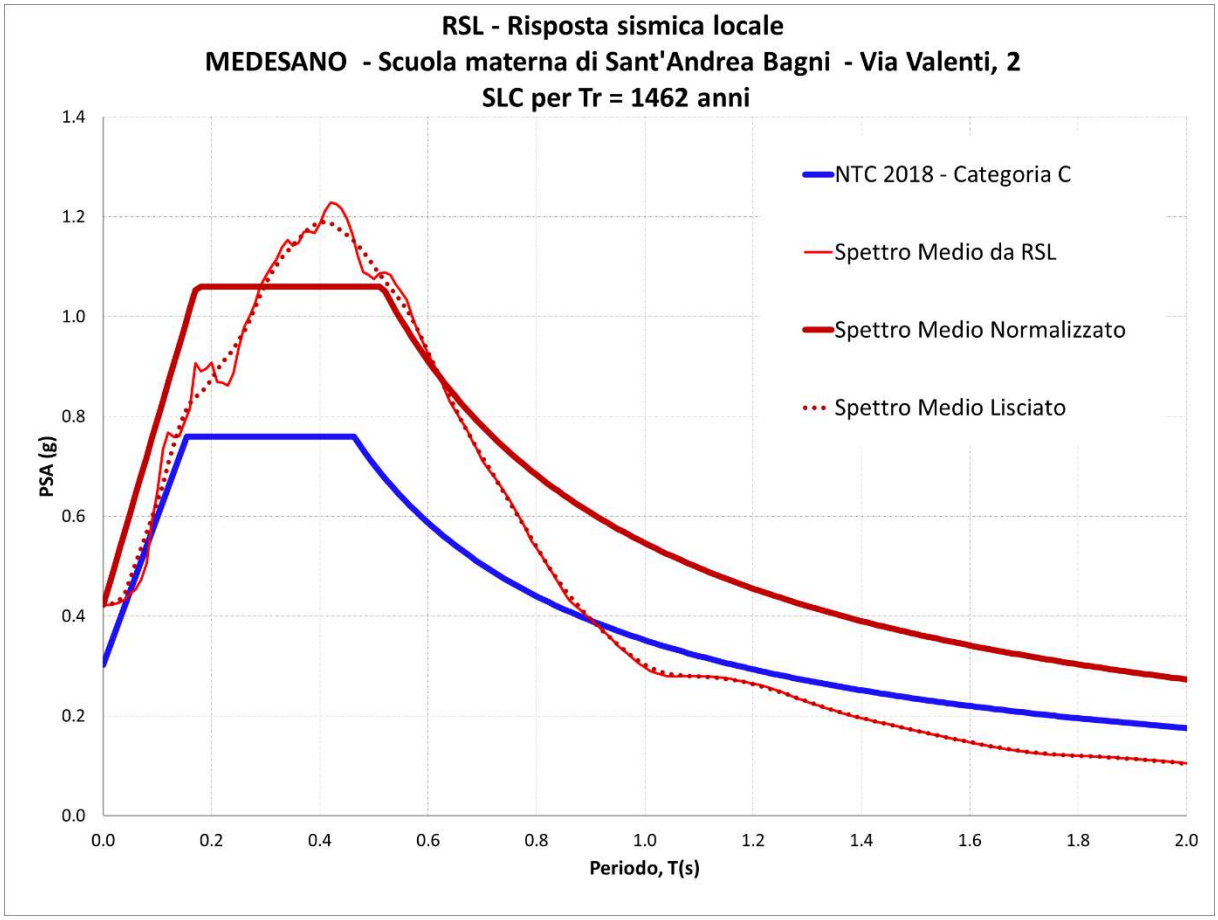



**Figura 10 - Grafico di sintesi che rappresenta lo spettro di output dello studio di RSL messo a confronto con lo spettro della categoria sismica di sottosuolo ricavato da procedura semplificata.**