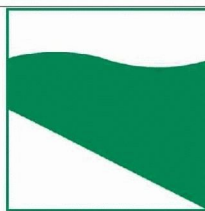




PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di San Secondo



Regione Emilia-Romagna	Soggetto realizzatore Dott. Geol. Fabio Picinotti	Data Marzo 2020
		<b>MS3</b>

## Sommarario

1.	INTRODUZIONE.....	1
1.2	Fasi dello studio.....	3
2.	INDAGINI ED ANALISI.....	4
2.1	Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono .....	6
2.2	Prove MASW + HVSR .....	8
3	ANALISI DI RISPOSTA SIMSICA LOCALE.....	11
3.1	Pericolosità sismica di base .....	12
3.2	Segnali di input .....	12
3.3	Modello geofisico del sottosuolo .....	13
3.3.1	Litologia .....	14
3.3.2	Determinazione del profilo di Vs e del bedrock sismico .....	14
3.3.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0) in funzione della deformazione .....	14
3.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL.....	16
3.5	Risultati della Modellazione numerica .....	16
3.5.1	RSL per San Secondo sede comunale .....	20
3.5.2	RSL per San Secondo Stadio .....	24
3.5.3	RSL per San Secondo Viale Partigiani .....	28
3.5.4	RSL per San Secondo Elisoccorso/Palestra .....	32
3.5.5	RSL per San Secondo ITIS.....	36
3.5.6	RSL per San Secondo Campo sportivo.....	40
3.5.7	RSL per San Secondo Zoccolanti .....	44
3.5.8	RSL per San Secondo Rotonda Sigma .....	48
3.5.9	RSL per San Secondo La Fornace .....	52
3.5.10	RSL per San Secondo Portone del Pizzo - Ponte comunale su S.P. 10 per Cremona.....	56
3.5.11	RSL per San Secondo Pizzo La Valle .....	60
3.5.12	RSL per San Secondo Ponte sul F. Taro.....	64
3.5.13	RSL per Castell'Aicardi .....	68
3.6	Verifica rischio liquefazione .....	72
3.6.1	Analisi dei risultati delle verifiche.....	75
4	ELABORATI CARTOGRAFICI .....	78
4.1	Carta delle indagini.....	79
4.2	Carta geologico-tecnica .....	80
4.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) .....	80
4.4	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	81

---

4.5	Carta delle velocità delle onde di taglio .....	82
4.6	Carte di microzonazione sismica .....	87
11.	BIBLIOGRAFIA .....	93
12.	ALLEGATI.....	94

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono illustrate le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di San Secondo Parmense, che ha affidato l'incarico con Determinazione n° 166 del 26/07/2019 e finanziato con deliberazione num. 2245 del 27/12/2019 della Giunta regionale della Regione Emilia-Romagna.

Più precisamente, oggetto dell'incarico è stata la redazione dello studio di Microzonazione Sismica, con approfondimenti di III Livello, con riferimento alle Zone di attenzione per instabilità individuate dallo Studio di Microzonazione di II livello e alle aree definite dal Comune di San Secondo.

Detta attività è stata svolta in conformità alle leggi e disposizioni vigenti (cfr. in particolare OCDPC e la DGR n.532/2018) e facendo riferimento ai seguenti documenti tecnici:

- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni;
- “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, approvati con DAL 112/2007, e successive modifiche e integrazioni;
- “Studi di microzonazione sismica – standard di rappresentazione e archiviazione informatica-vers.4.1” pubblicati sul sito web del Dipartimento della Protezione Civile;
- Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: “Art. 16 della L.R. n° 0 del 24/03/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n° 12”;
- “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica” – DGR n. 630 del 29/04/2019 per la stima dei fattori di amplificazione e per l'elaborazione delle relative mappe di amplificazione.

Nel Comune di San Secondo parmense sono stati realizzati nel 2018 gli studi di primo e secondo livello, ad opera di Engeo S.r.l. Tali studi sono stati successivamente validati da parte del servizio regionale competente. Il presente lavoro, recepisce il lavoro svolto precedentemente e approfondisce l'analisi per una porzione di areale.

Il presente studio ha previsto, in particolare, la raccolta di altri dati pregressi e l'esecuzione di una nuova campagna di indagini costituita da:

- n° 6 prove MASW che hanno consentito la definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del bedrock sismico;

- n° 6 prove HVSR, al fine di determinare la frequenza fondamentale di risonanza del terreno;
- n° 8 prove penetrometriche CPTU al fine del riconoscimento stratigrafico e all'individuazione dei livelli potenzialmente liquefacibili.

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica-vers. 4.1).

## 1.2 Fasi dello studio

Lo studio di microzonazione di terzo livello è consistito pertanto nelle seguenti fasi:

- individuazione delle zone di attenzione per liquefazione e delle aree di approfondimento definite dall'amministrazione comunale;
- realizzazione di 8 prove penetrometriche CPTU, spinte fino a rifiuto strumentale o fino alla profondità di 20 m per le verifiche a liquefazione;
- realizzazione di 6 prove MASW per la definizione delle  $V_{seq}$  e n. 6 prove HVSR per la determinazione della frequenza caratteristica del terreno;
- Aggiornamento delle cartografie di secondo livello con dati delle nuove indagini:
  - Carta delle indagini
  - Carta geologia tecnica
  - Carta delle frequenze naturali dei terreni;
  - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS);
  - Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ )
- valutazione della riposta sismica locale in 14 siti mediante l'utilizzo del programma Strata;
- calcolo dei fattori di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- calcolo dei fattori di amplificazione di sito  $FA_{PGA}$ ,  $FH_{0.1-0.5s}$ ,  $FH_{0.5-1.0s}$ ,  $FH_{0.5-1.5s}$ ,  $FA_{0.1-0.5s}$ ,  $FA_{0.4-0.8s}$ ,  $FA_{0.7-1.1s}$ ,  $FA_{0.5-1.5s}$ ;
- calcolo dei fattori di amplificazione in termini di  $H_{0.105}$ ,  $H_{0.408}$ ,  $H_{0.711}$ ,  $H_{0.515}$ ;
- Verifiche a liquefazione su 15 verticali;
- redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2, SI3,  $H_{MS}$ ,  $H_{0.408}$ ,  $H_{0.711}$  e  $H_{0.515}$ .

## 2. INDAGINI ED ANALISI

Al fine del presente studio sono state realizzate, ad integrazione di quelle già realizzate per lo studio di Livello II, le seguenti indagini (Tabella 1):

Area indagine	Indagine eseguita		
	CPTU	MASW	HVSR
Castell'Alcardi	1	1	1
Pizzo La Valle		1	1
Portone del Pizzo/Ponte su S.P.10		1	1
San Secondo - Ponte su F. Taro		1	1
San Secondo - Viale Partigiani d'Italia	1	1	1
San Secondo - Elisoccorso	1	1	1
San Secondo - La Fornace	1		
San Secondo - Isoletta	1		
San Secondo - Zoccolanti	1		
San Secondo - Rotonda Sigma	1		
San Secondo - ITIS	1		

Tabella 1 – Indagini eseguite

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nelle seguenti figure (Figura 1 e Figura 2).

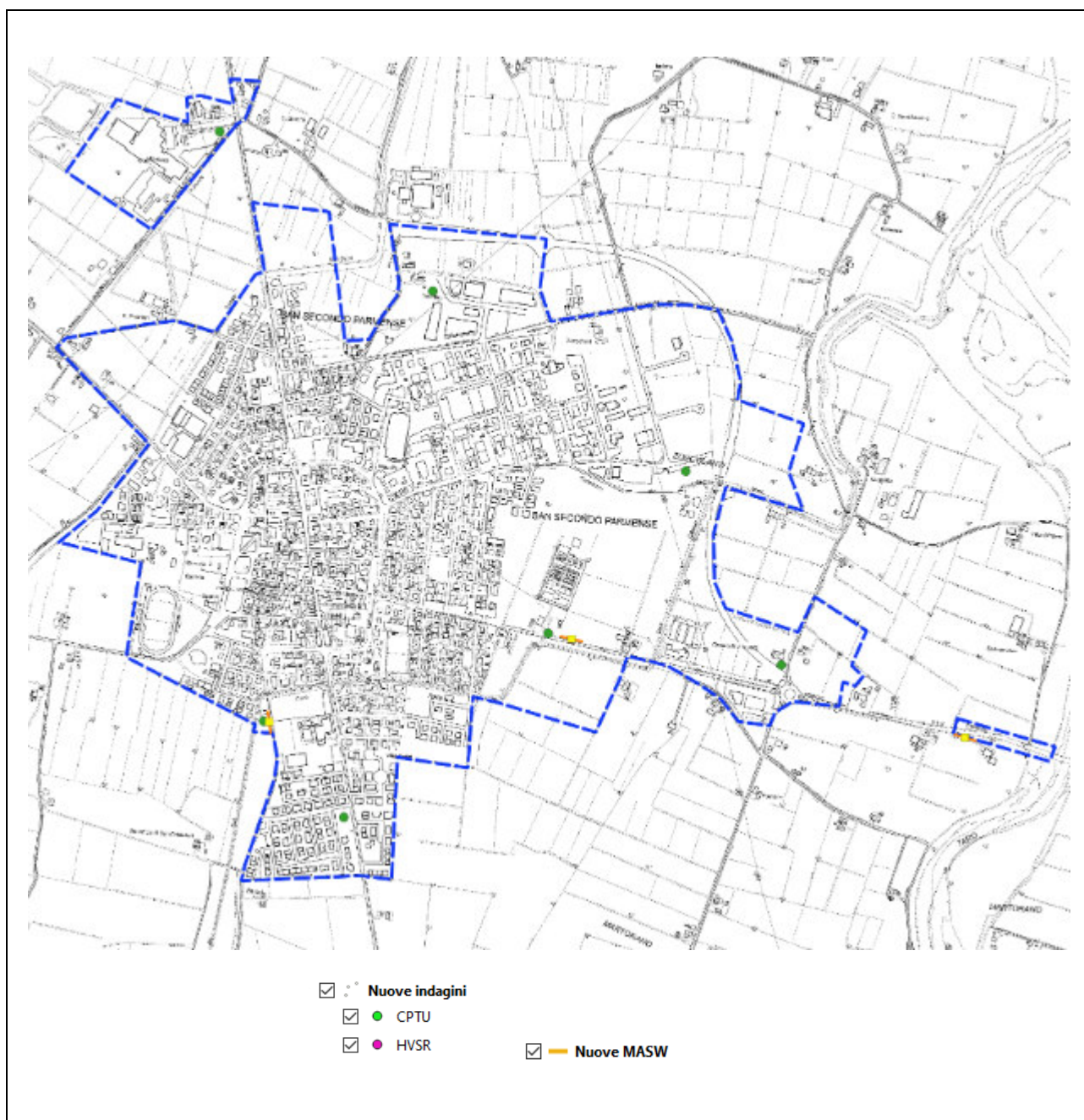


Figura 1- Ubicazione indagini presso San Secondo centro, San Secondo La Fornace e San Secondo Ponte sul F. Taro





Figura 2 – Ubicazione indagini presso Castell'Aicardi, Pizzo La Valle e Portone del Pizzo Ponte comunale SP 10 per Cremona

L'ubicazione delle indagini eseguite è indicata anche nell'Elaborato 1 – Carta delle indagini.

## 2.1 Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono

Le prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono sono state eseguite da G.S.C. Indagini Geotecniche di San Martino in Rio (RE) con sonda Pagani semovente TG63-200 (20t) con piezocono marca Pagani modello Mkj505 (caratteristiche del piezocono secondo norme ASTM) e sistema di acquisizione dati TGAS08.

Con il piezocono Pagani è possibile acquisire, durante il movimento continuo di spinta, le grandezze  $q_c$  (resistenza di punta) e  $f_s$  (attrito laterale) ad ogni centimetro di profondità; al contempo il sistema acquisisce il valore della  $U$  (Pressione Idrostatica nei Pori) e l'angolo di inclinazione della batteria di aste.

Le dimensioni della punta sono standardizzate e più precisamente:

- diametro di base del cono  $\phi = 35.7$  mm
- area della punta conica  $A_p = 10$  cm<sup>2</sup>
- angolo apertura del cono  $B = 60^\circ$ .

Relativamente alle otto prove CPTU eseguite, sono riproposti nelle Figure 3 e 4, a titolo esemplificativo, i grafici che rappresentano le variazioni della resistenza alla punta ( $Q_c$ ) e della resistenza laterale ( $f_s$ ) con la profondità.

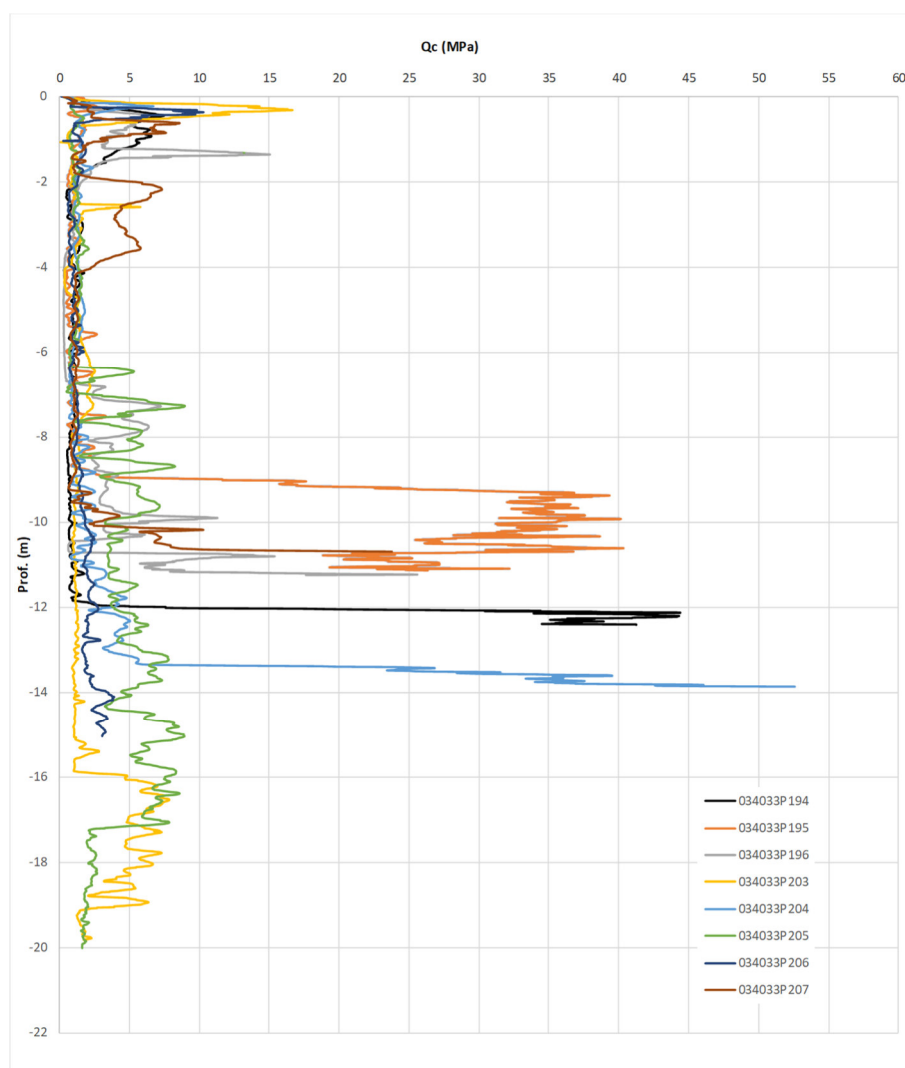


Figura 3 – Andamento della resistenza di punta  $Q_c$  delle prove CPTU eseguite con la profondità

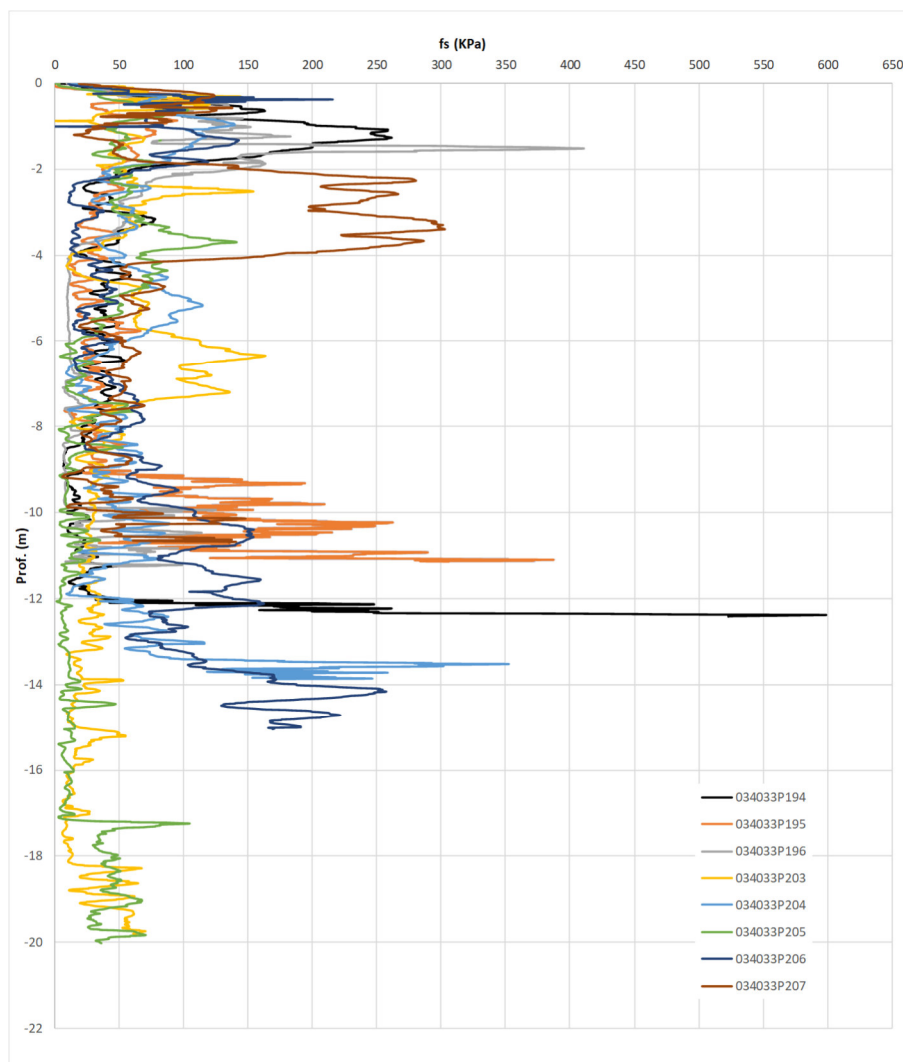


Figura 4 - Andamento della resistenza laterale  $f_s$  delle prove CPTU eseguite con la profondità

## 2.2 Prove MASW + HVSr

Per verificare le caratteristiche sismiche dei terreni e per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  sono state realizzate n. 6 nuove prove MASW e altrettante misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V utile a definire eventuali risonanze di sito e a vincolare meglio il profilo di  $V_s$ .

La tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) consiste nell'analisi della dispersione delle onde di superficie al fine di definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio S (Park et al., 1999) (Figura 5).

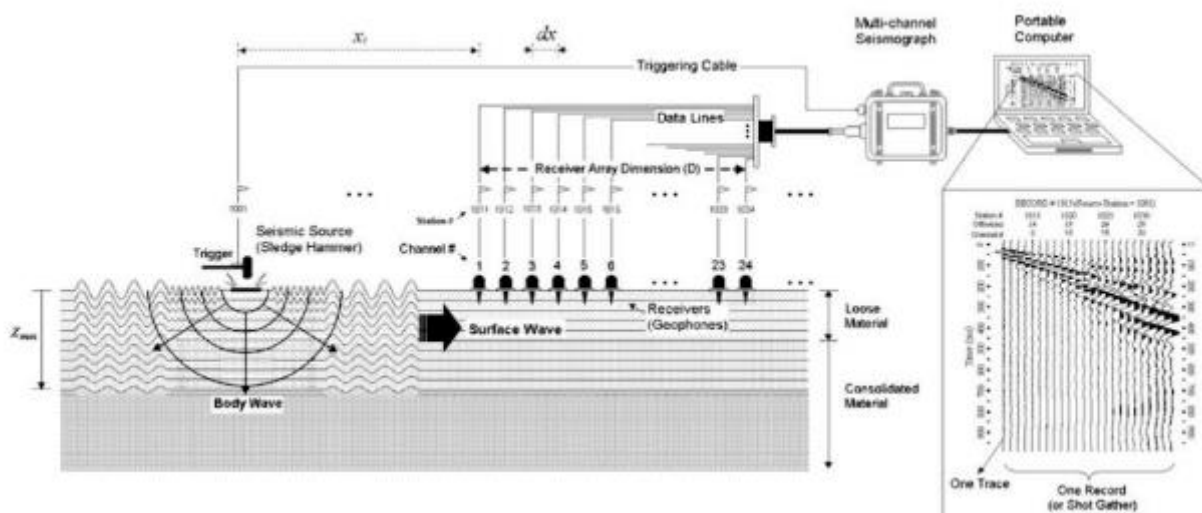


Figura 5 – Metodo MASW attivo

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo, eseguito nei siti in studio, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Si ottiene una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sui primi 30-50 m di profondità.

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano diversi tipi di onde: se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si originano onde appartenenti al piano verticale (onde P, onde Sv, onde di Rayleigh e onde rifratte), se la sorgente è parallela alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano orizzontale (onde Sh e onde di Love).

La MASW classica/standard consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie e specificatamente delle onde di Rayleigh: queste ultime vengono generate da una sorgente ad impatto verticale. Due sono gli aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e Sv. Il primo aspetto è che le onde di Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e Sv, in quanto si propagano secondo fronti d'onda cilindrici e non sferici (come le altre onde) viaggiando con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase (Achenbach, 1999, Aki e Richards, 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde

ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del sottosuolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano la porzione più profonda del sottosuolo.

In queste indagini accanto all'acquisizione MASW in Rayleigh viene proposta anche l'analisi della dispersione delle onde di Love, da analizzare congiuntamente alle Rayleigh, per meglio definire il substrato e superare talune ambiguità interpretative che possono presentarsi sugli spettri di velocità riferiti solo alle onde di Rayleigh. Le acquisizioni in onde di Love non possono sostituire completamente quelle in onde di Rayleigh ma la chiarezza dei loro spettri di velocità risulta di estrema utilità allorché gli spettri delle onde di Rayleigh risultino di ardua interpretazione in relazione alla presenza di forti segnali scatterati e all'intrecciarsi di diversi modi. L'unica differenza tra le Rayleigh e le Love sta nel fatto che queste ultime si formano solo in caso di gradiente di velocità "positivo".

Sono inoltre state eseguite misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, a meglio vincolare il profilo VS (Dal Moro, 2010; 2011). A causa della pesante non-univocità della soluzione una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle VS da parte di misure MASW non risulta sufficientemente affidabile.

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali e orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di 12 o 24 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo. L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh, vedi figura seguente).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto al geofono 12 o 24 con offset pari all'interdistanza geofonica; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.



### 3 ANALISI DI RISPOSTA SIMSICA LOCALE

Nelle aree individuate dallo studio di microzonazione di II livello come zone di attenzione per instabilità e nelle aree e siti strategici individuati dal Comune come ragguardevoli di approfondimenti di III livello, sono state eseguite, dopo la definizione di un adeguato modello di terreno basato sulla valutazione dei risultati di tutte le indagini disponibili, analisi di risposta sismica locale in corrispondenza di punti considerati rappresentativi. Nelle figure seguenti (Figura 6 e Figura 7) è riportata l'ubicazione delle verticali di prova utilizzate per l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL).

Nel complesso sono state eseguite 13 analisi di RSL

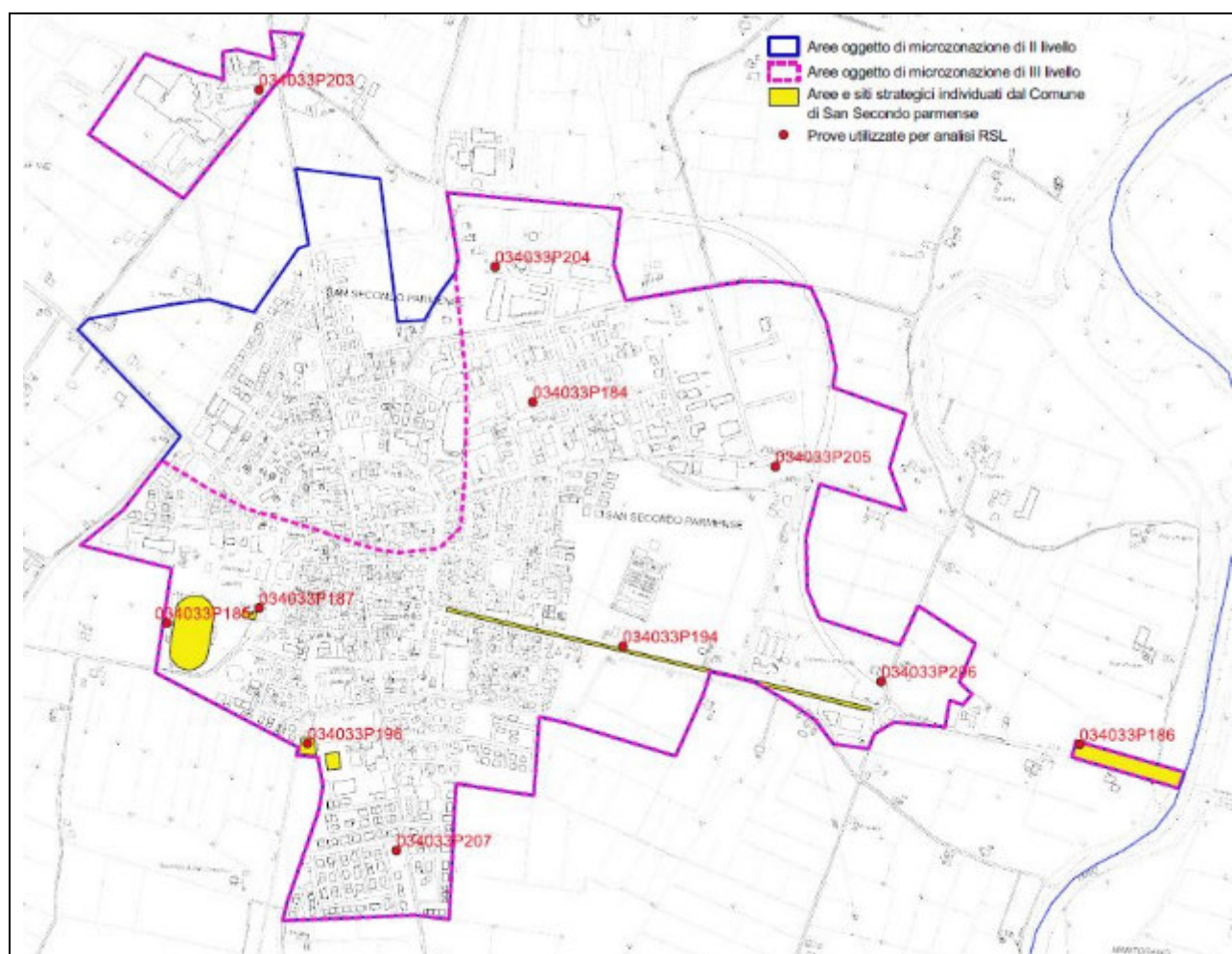


Figura 6 – Ubicazione delle prove utilizzate per analisi di RSL presso San Secondo centro, San Secondo La Fornace e San Secondo Ponte sul F. Taro



Figura 7 - Ubicazione delle prove utilizzate per analisi di RSL presso Castell'Aicardi, Pizzo La Valle e Portone del Pizzo/Ponte comunale SP 10 per Cremona

### 3.1 Pericolosità sismica di base

### 3.2 Segnali di input

Come segnali di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015. Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce infatti 3 segnali (accelerogrammi) rappresentativi del moto sismico della regione. Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati. Il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in Figura 8. Gli accelerogrammi base sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con l'accelerazione di picco considerata per l'area di interesse pari a 0,157g.

I tre segnali di input utilizzati sono stati così denominati:

000046xa\_034033San Secondo.xy

000126xa\_034033San Secondo.xy

000354xa\_034033San Secondo.xy

e sono riportati graficamente in Figura 8.

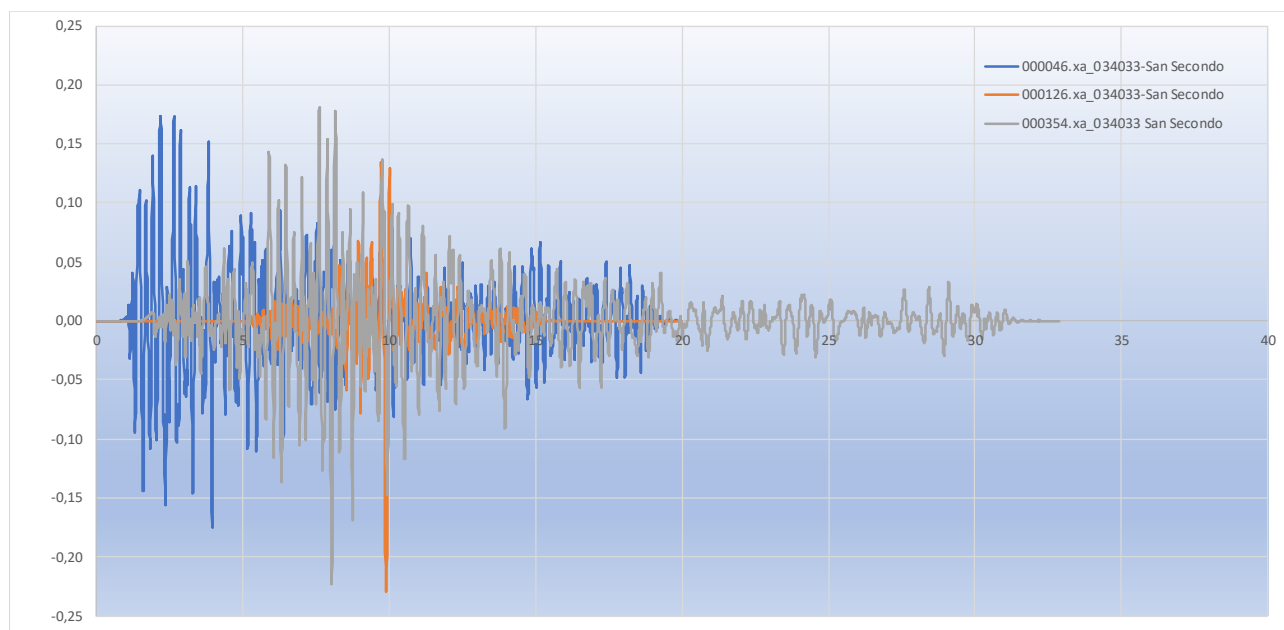


Figura 8 – Segnali di input utilizzati nelle analisi di RSL

### 3.3 Modello geofisico del sottosuolo

Ogni studio di risposta sismica locale necessita di un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo; tale modello geofisico richiede la conoscenza di:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ );
- curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione e densità in situ.

Il modello geofisico deve spingersi fino al bedrock sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità  $V_s > 800$  m/s.

Nell'area di studio in tale senso il substrato sismico si stima essere molto profondo tra 120 e 300 m.

Per una corretta valutazione del moto atteso in superficie risulta pertanto necessario stimare, oltre alle proprietà meccaniche dei terreni, lo spessore dei terreni che amplificano, ovvero definire la profondità del



tetto del bedrock sismico inteso come successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di  $V_s$  significativamente maggiori di quelli delle coperture localmente presenti.

In tal senso il substrato può manifestare comportamento da bedrock sismico anche in caso di  $V_s < 800$  m/s purché il contrasto di impedenza sismica tra substrato e copertura sia significativo  $> 2$ .

### **3.3.1 Litologia**

Il profilo litostratigrafico delle aree di studio è stato ricostruito, fino alle profondità di interesse (bedrock sismico), mediante i risultati di indagini geofisiche (MASW e HVSr), alle quali sono stati associati, quando disponibili, i dati di indagini dirette quali sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche. Inoltre ove necessario le informazioni sono state integrate con la stratigrafia di pozzi limitrofi l'area oggetto di studio forniti dal database geologico della Regione Emilia Romagna.

### **3.3.2 Determinazione del profilo di $V_s$ e del bedrock sismico**

Il profilo di  $V_s$  è stato ricostruito facendo riferimento all'analisi congiunte dei dati provenienti dalle prove MASW e dalle analisi di microtremori (HVSr) specificatamente eseguite oppure dalle indagini (MASW e HVSr) precedentemente eseguite e disponibili. Le prove HVSr, oltre che a vincolare meglio il modello di riferimento, permettono di controllare se la frequenza caratteristica dei terreni registrata da queste prove corrisponda al picco della funzione di trasferimento ricavata dallo studio di risposta sismica locale.

### **3.3.3 Curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione**

Sui terreni in studio non è stato possibile effettuare specifiche prove di laboratorio per determinare le curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione. Pertanto sono state utilizzate curve derivanti da studi pregressi su terreni analoghi a quelli in studio. Per i terreni presenti sugli areali di approfondimento sono stati utilizzati i parametri ricavati dal Modello di Derendeli & Stokoe, 2001.

I grafici di  $G/G_0$  e  $D$ , per tutti i tipi di terreno utilizzati, diagrammati in funzione dello sforzo, sono riportati in Figura 9 e Figura 10.

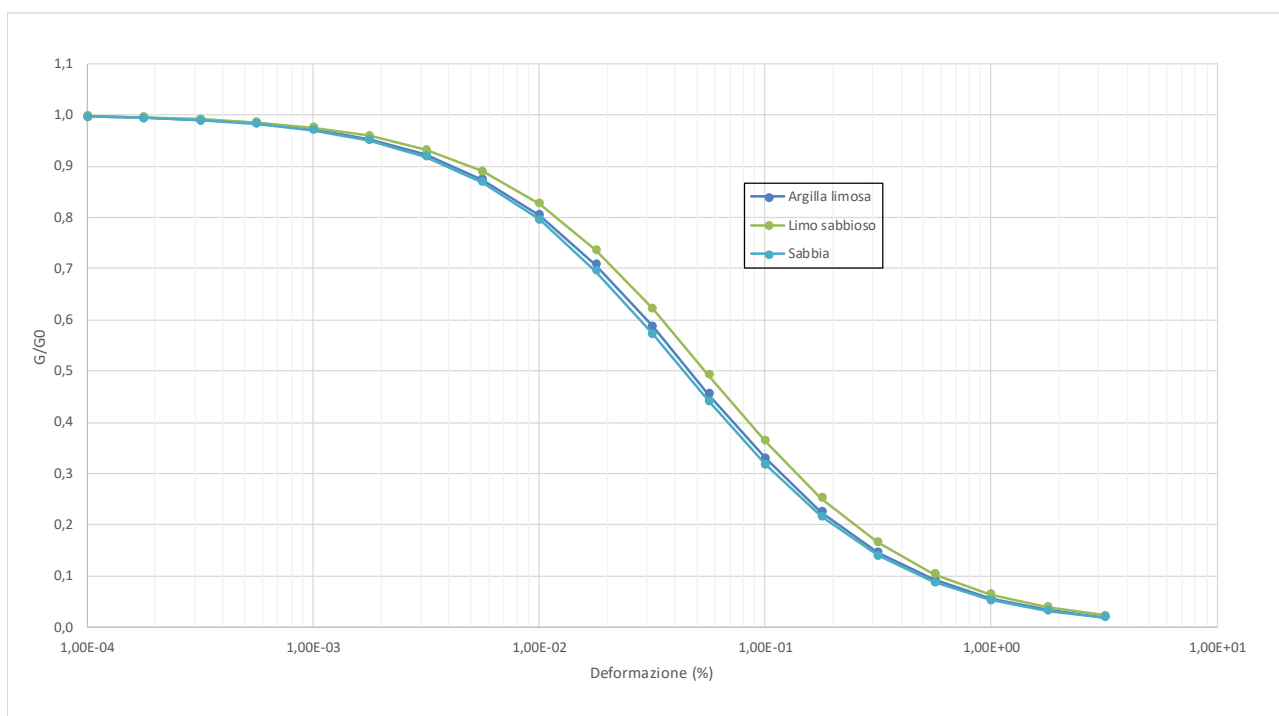


Figura 9– Curve di degradazione del modulo di taglio

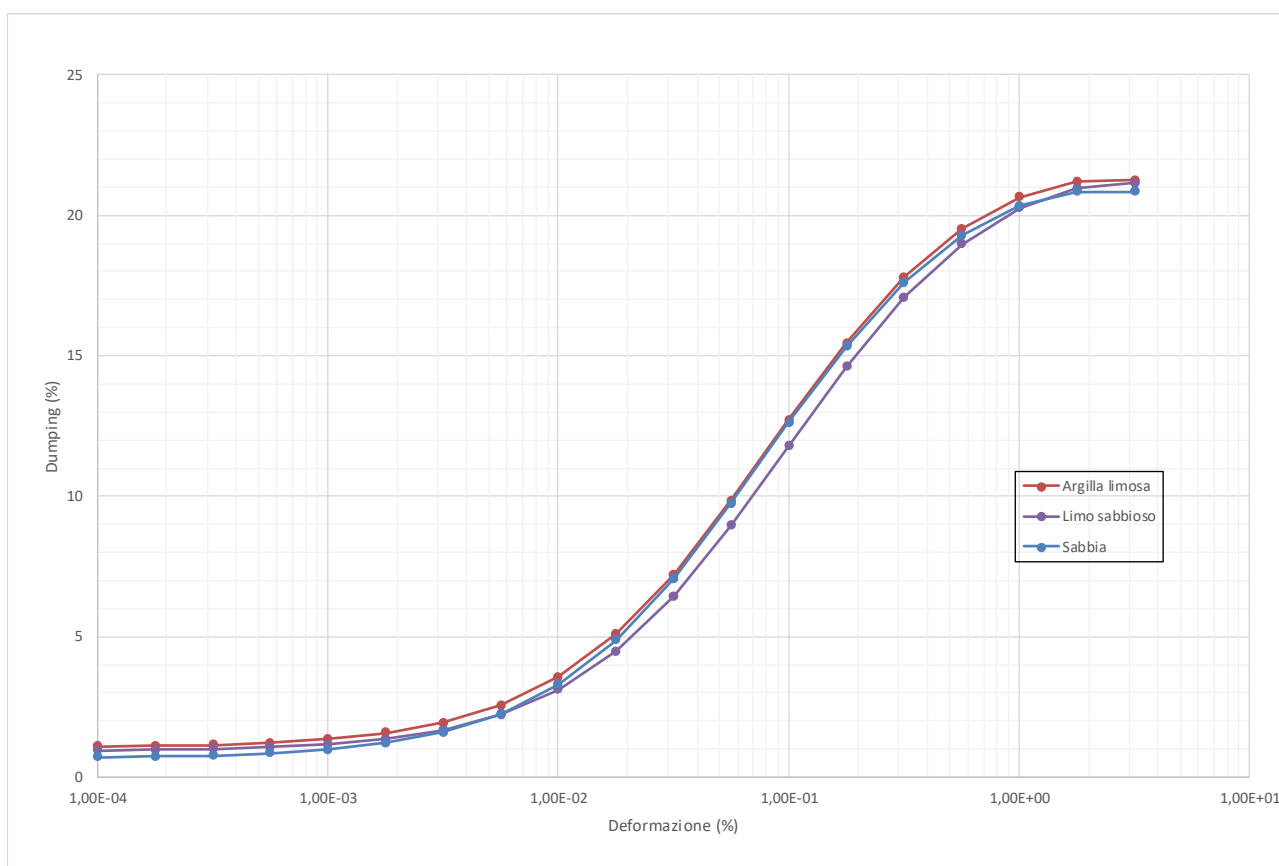


Figura 10 – Curve di smorzamento

### 3.4 Codice di calcolo per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata sviluppato da A. Kottke e E. Ratheje. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer, 2001), con esito soddisfacente.

Strata calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- la risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel bedrock verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- le superfici di stratificazione sono orizzontali;
- le superfici del bedrock e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- la stratificazione è lateralmente omogenea;
- la superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidezza e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

### 3.5 Risultati della Modellazione numerica

I risultati della analisi condotte con il codice STRATA, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire, per ciascun sito indagato:

- la funzione di trasferimento del segnale sismico dal bedrock alla superficie (Figura 11);
- lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula  $PSV(T_i) = T_i \cdot PSA(T_i) / 2\pi$ , lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output (Figura 12, Figura 13 e Figura 14);
- la curva di variazione dell'accelerazione con la profondità (Figura 15);
- il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- il fattore di amplificazione di sito FH in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il

rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido).

I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.5} = \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

- il fattore di amplificazione di sito FA in termini di rapporto tra l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito e l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento, negli intervalli 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s e 0.5-1.5s
- parametro  $H_{SM}$  che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto dato dal valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per i periodi 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s e 0.5-1.5s.

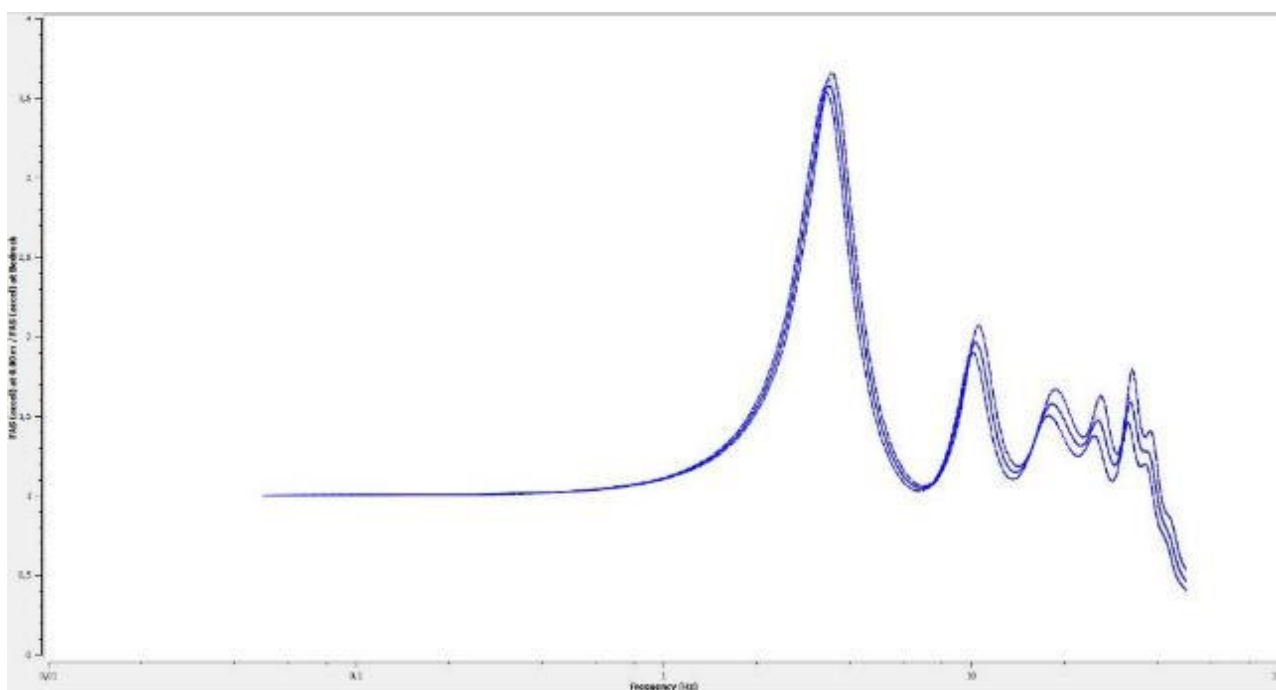


Figura 11 – Esempio di funzione di trasferimento

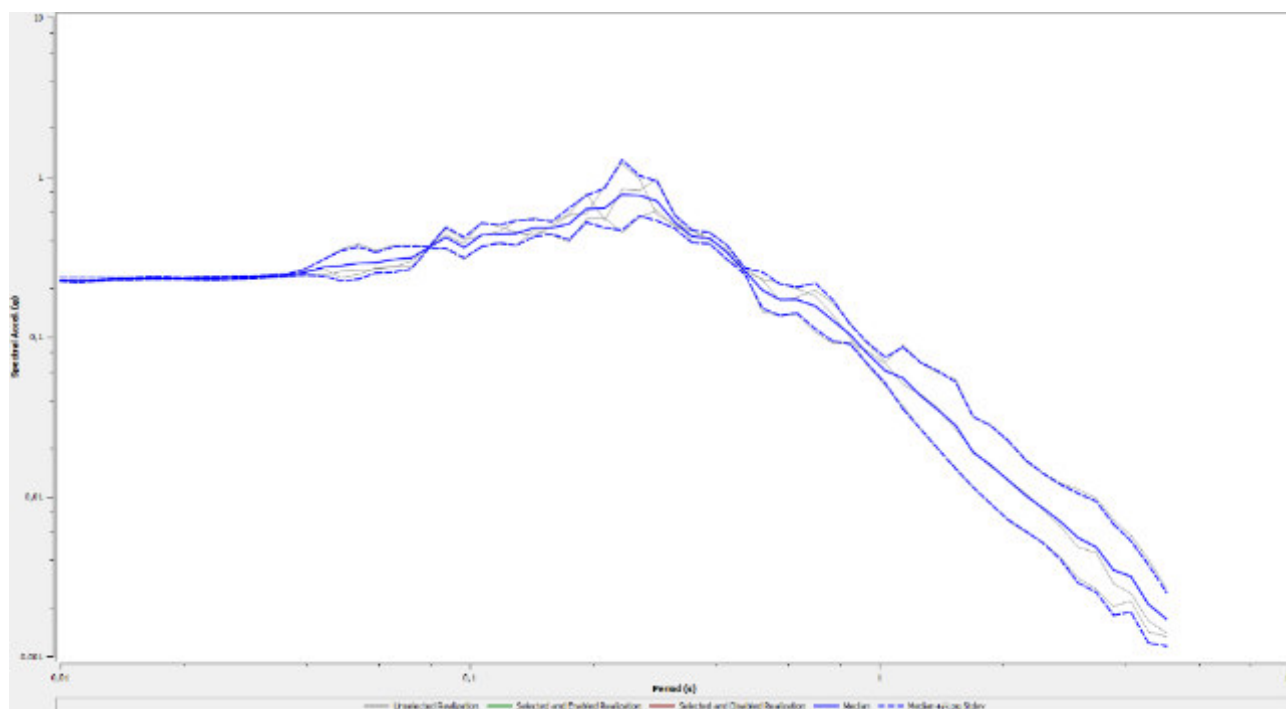


Figura 12 – Esempio dell'output di Strata dello spettro di risposta elastico in PSA

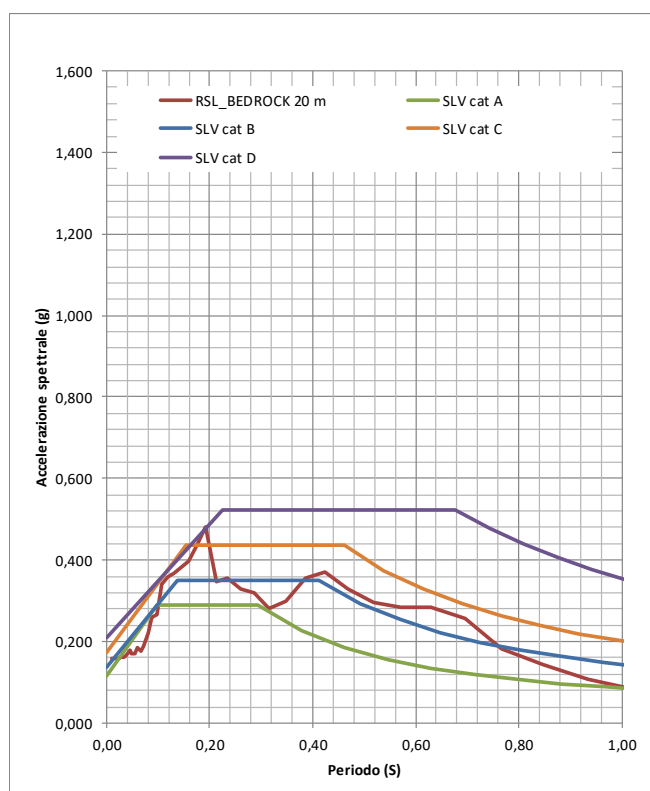


Figura 13 – Esempio del confronto tra spettro elastico in accelerazione e spettri semplificati delle NTC 2018

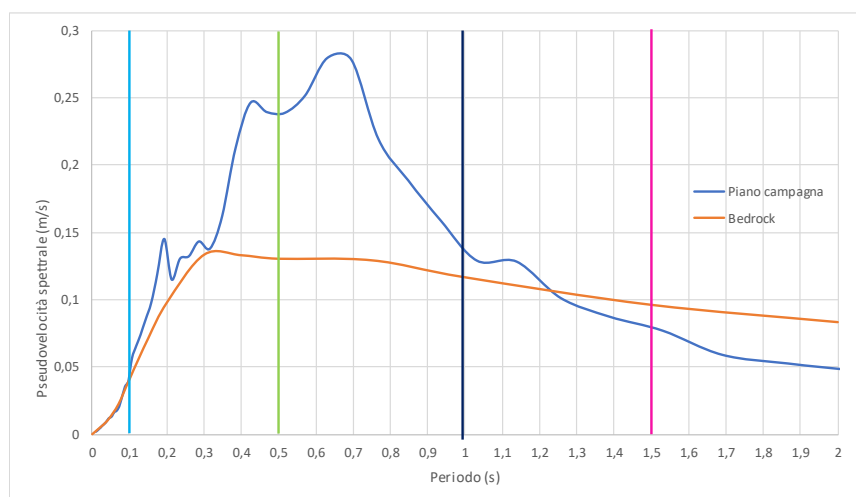


Figura 14 – Esempio confronto tra gli spettri elastici in velocità da cui si ricavano i fattori di amplificazione



Figura 15 – Esempio del profilo di accelerazione con la profondità

### 3.5.1 RSL per San Secondo sede comunale

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	1.32	Argilla sabbioso limosa 2	138.00
1.32	2.85	Argilla sabbioso limosa 2	162.00
4.17	2.18	Argilla sabbioso limosa 2	196.00
6.35	2.15	Limo sabbioso	214.00
8.50	2.50	Sabbia	234.00
11.00	Half-Space	Bedrock	550.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi della sede comunale ed in particolare è stato fatto riferimento alle indagini: 034033L2MASW2, 034033P146HVSRI46, e 034033P187SCPT193. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova MASW suddetta. Il bedrock sismico è stato assunto come passaggio alla successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli della copertura localmente presente, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 16 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 4 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico individuato nel livello ghiaioso posto a circa 11 m di profondità. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di vs all'interno del terreno di copertura. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risponderenze per il primo picco.

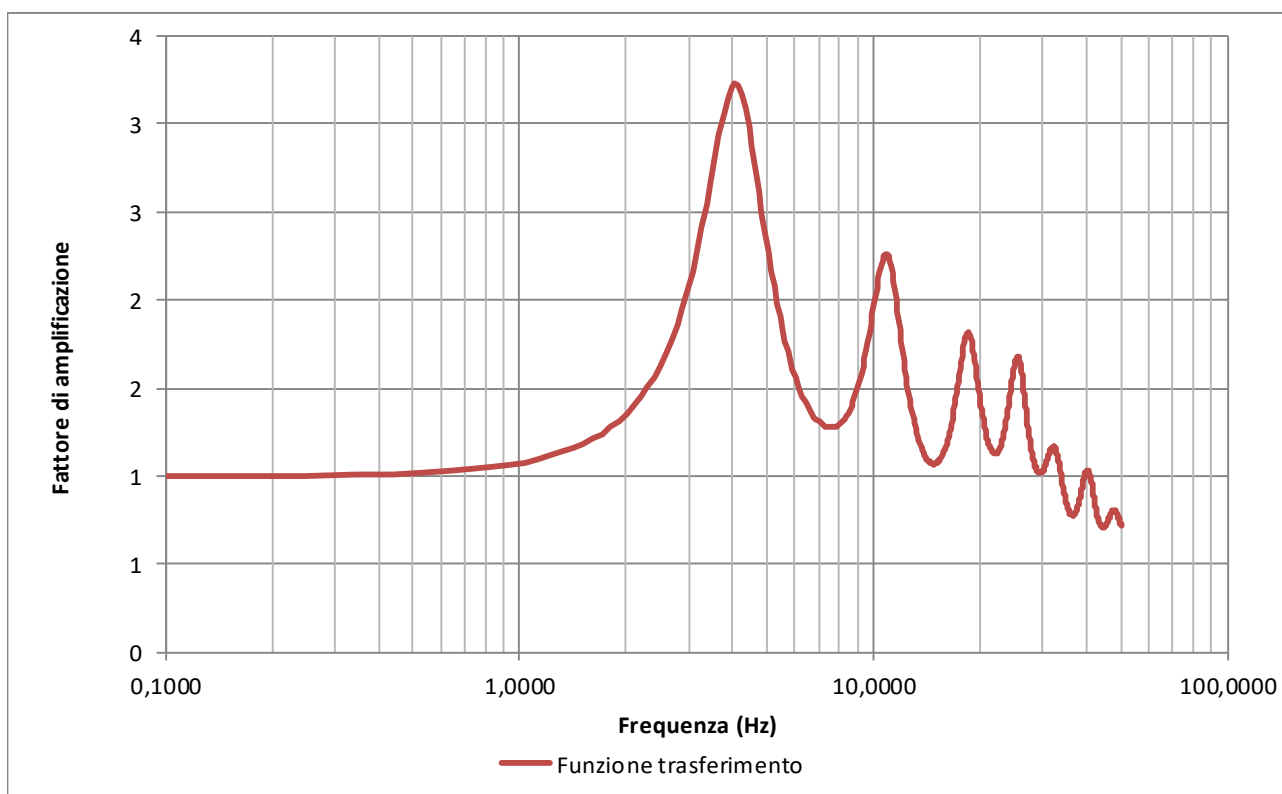


Figura 16 – Funzione di trasferimento – Strata sede comunale

In Figura 17 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{se} = 188$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,35 s.

In Figura 18 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1 s, 0.5 s, 1 s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.



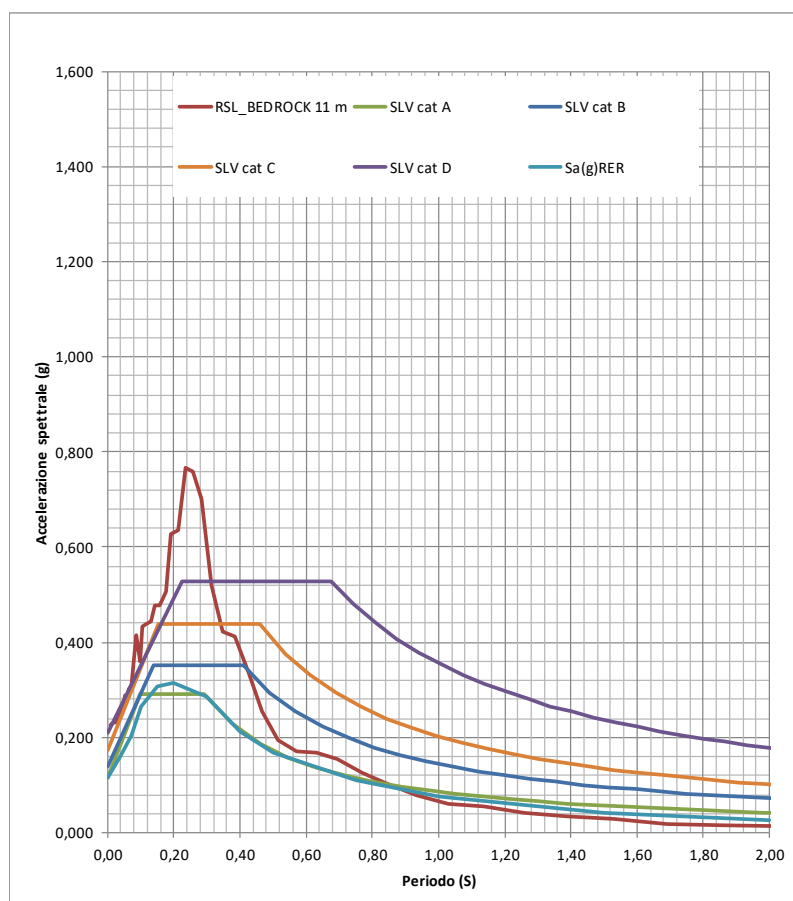


Figura 17 – Spettri di risposta in accelerazione – Sede comunale

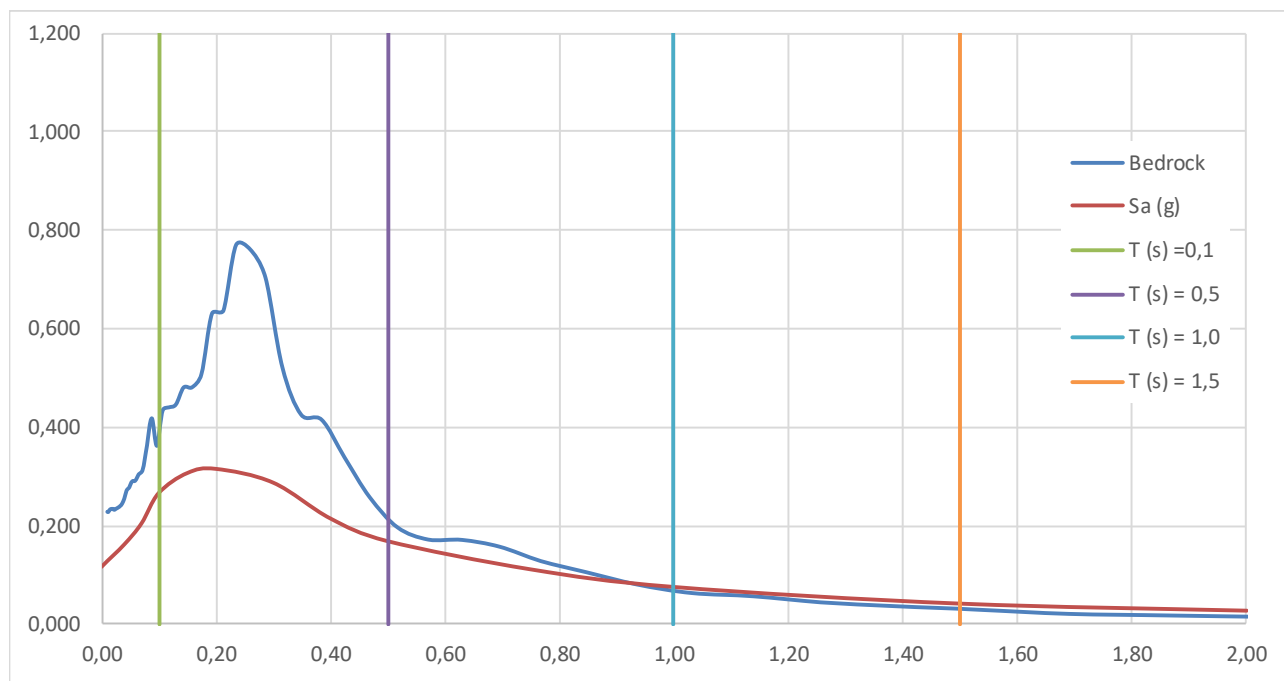


Figura 18 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Sede comunale

Infine in Figura 19 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio dal substrato sismico ai depositi sovrastanti.

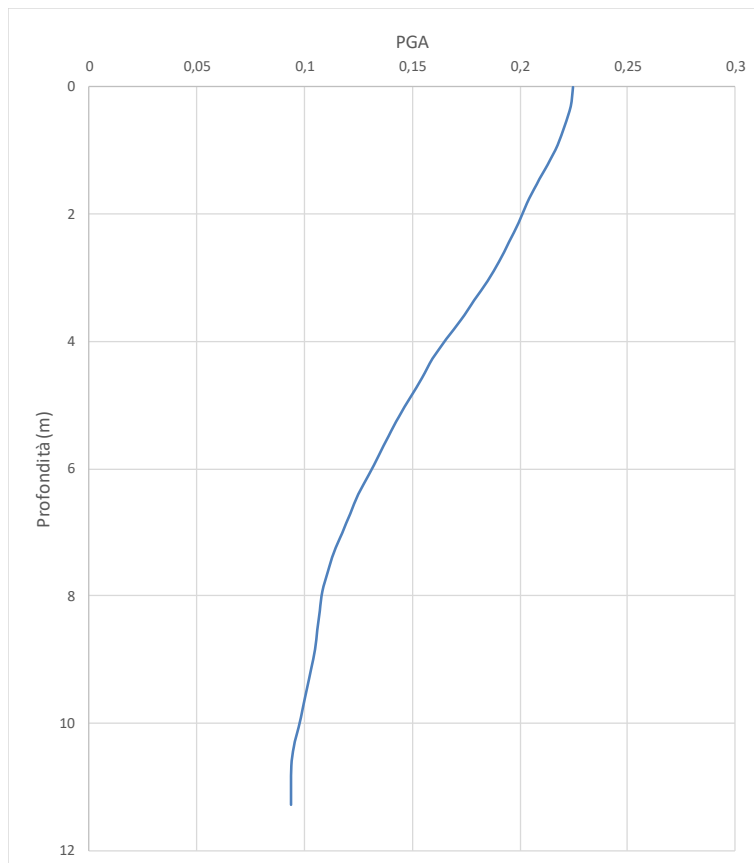


Figura 19 – Andamento di PGA in profondità – Sede comunale

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR630/2019
$FA_{PGA}$	1.95	2.2
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.85	2.4
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.14	2.0
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.00	

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{SH}$  200 m/s, spessore 10 m

### 3.5.2 RSL per San Secondo Stadio

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	1.32	Argilla sabbioso limosa 2	138.00
1.32	2.85	Argilla sabbioso limosa 2	162.00
4.17	2.18	Argilla sabbioso limosa 2	196.00
6.35	2.15	Limo sabbioso	214.00
8.50	3.50	Sabbia	234.00
12.00	Half-Space	Bedrock	550.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dello stadio ed in particolare è stato fatto riferimento alle indagini: 034033L2MASW2, 034033P192HVSR192, e 034033P185CPTU185. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova MASW suddetta. Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di 12 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli della copertura localmente presente, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 20 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 4 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico individuato nel livello ghiaioso posto a circa 12 m di profondità. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di vs all'interno del terreno di copertura. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risponderenze per il primo picco.

rispondenze per il primo picco.

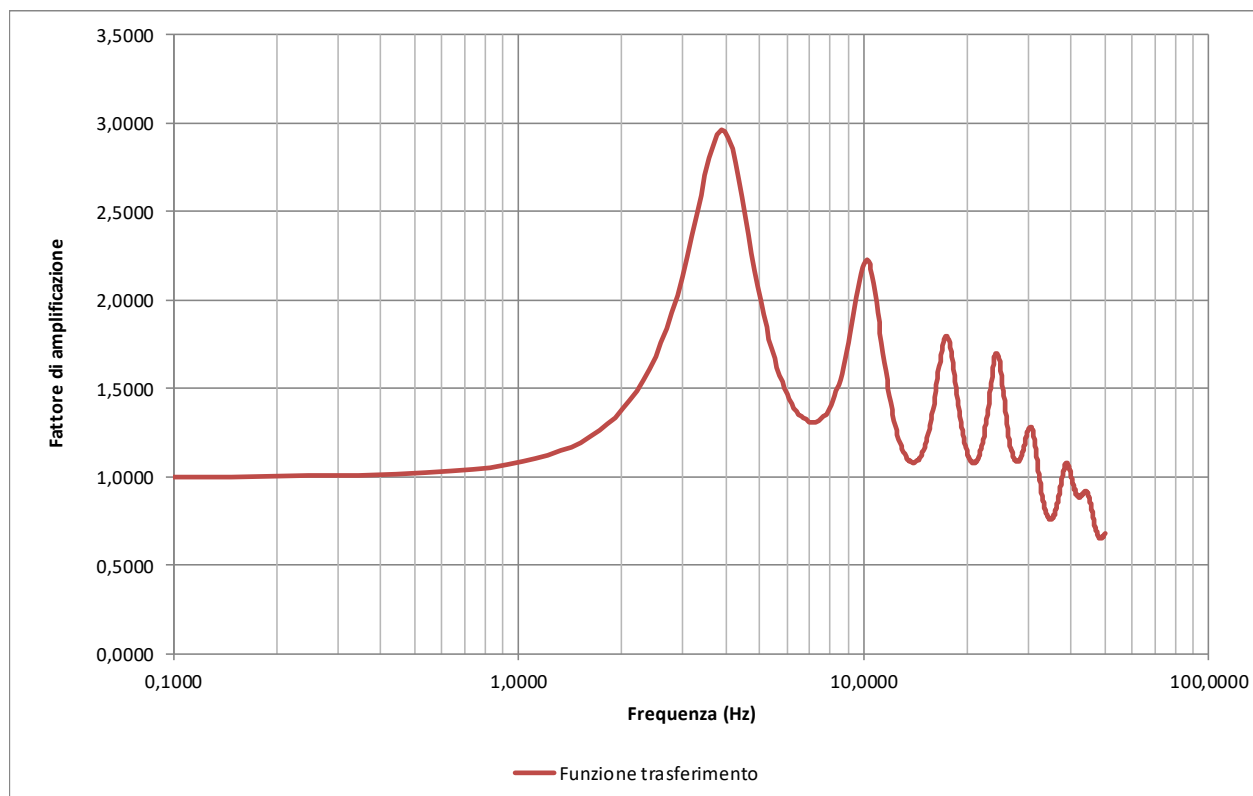


Figura 20 – Funzione di trasferimento – Strata stadio

In Figura 21 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{s_{eq}} = 185$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,35 s.

In Figura 22 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

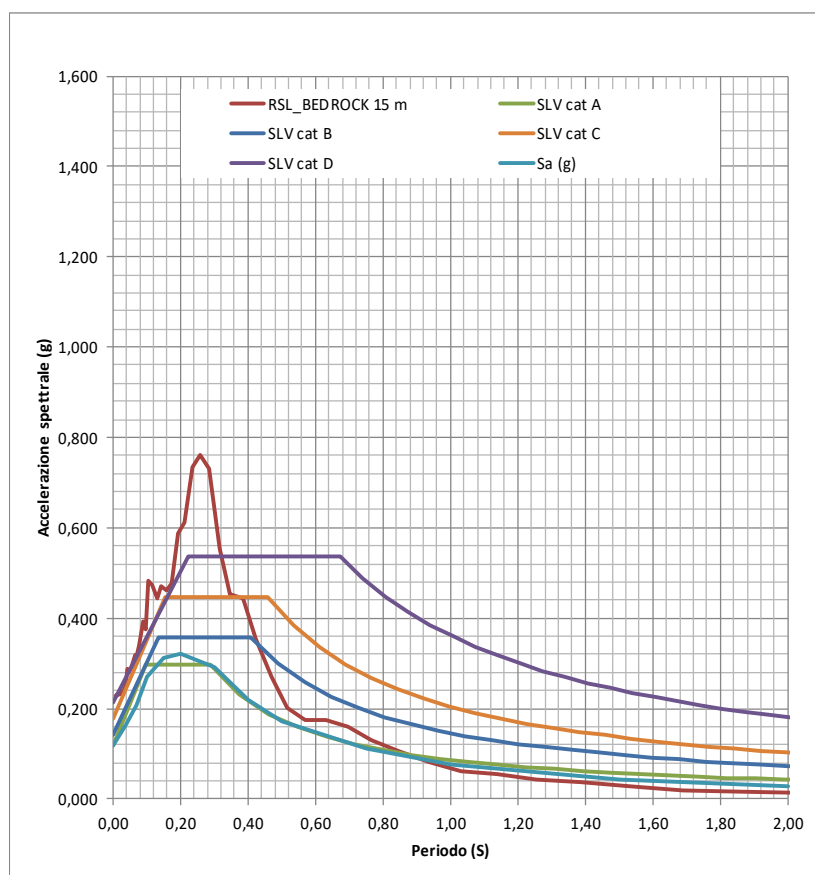


Figura 21 - Spettri di risposta in accelerazione - Stadio

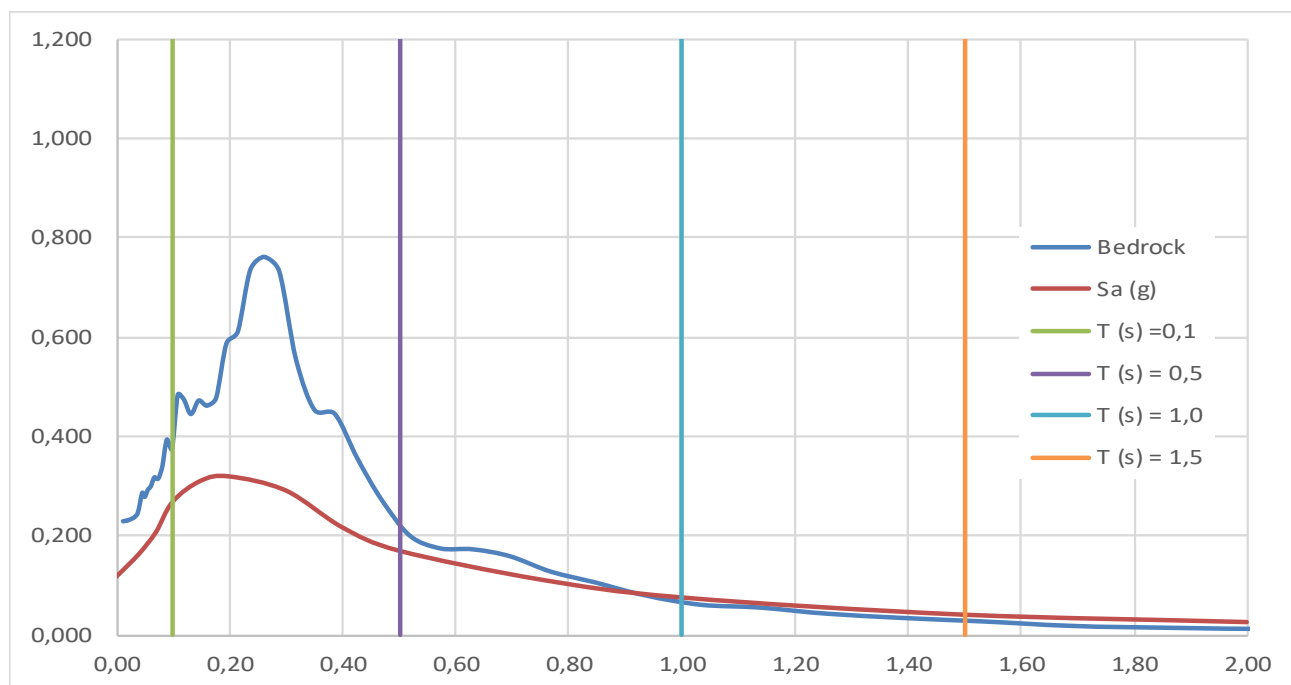


Figura 22 – Spettri di risposta in pseudovelocità - Stadio

Infine in Figura 23 Figura 19 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio dal substrato sismico ai depositi sovrastanti.

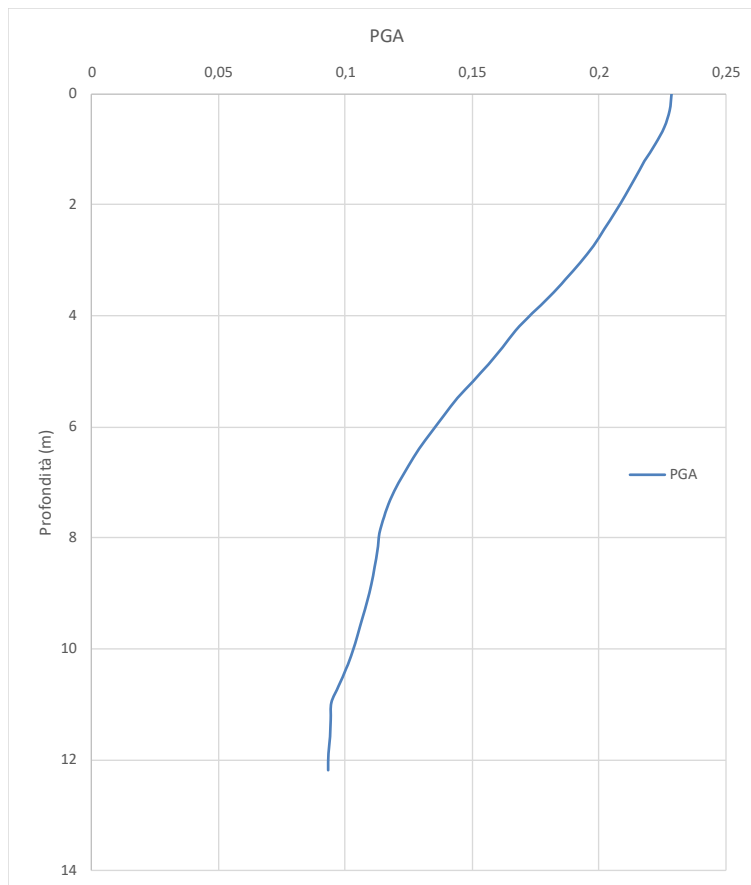


Figura 23 – Andamento di PGA in profondità - Stadio

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR630/2019
$FA_{PGA}$	1.94	2.2
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.86	2.4
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.14	2.0
$FA_{IS\ 0,5-1,5}$	1.00	-

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{SH}$  200 m/s, spessore 10 m

### 3.5.3 RSL per San Secondo Viale Partigiani

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.30	Argilla sabbioso limosa 2	52.00
0.30	1.10	Argilla sabbioso limosa 2	107.00
1.40	2.10	Argilla sabbioso limosa 2	142.00
3.50	5.60	Limo sabbioso	192.00
9.10	2.10	Sabbia	194.00
11.20	0.80	Sabbia	315.00
12.00	Half-Space	Bedrock	500.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nella fascia a cavallo della strada (034033P128, 034033P162, 034033P126, 034033P120, stratigrafie BD RER 181070P656, 181070P670) ed in particolare è stato fatto riferimento alle indagini appositamente realizzate: 034033L11MASW11, 034033P197HVSRI98, 034033P194CPTU195. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova MASW suddetta.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di 12 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli della copertura localmente presente, sebbene con  $V_s < 800$  m/s.

In Figura 24 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 3 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico individuato nel livello ghiaioso posto a circa 12 m di profondità. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di vs all'interno del terreno di copertura. Non vi è corrispondenza tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V misurato sperimentalmente.

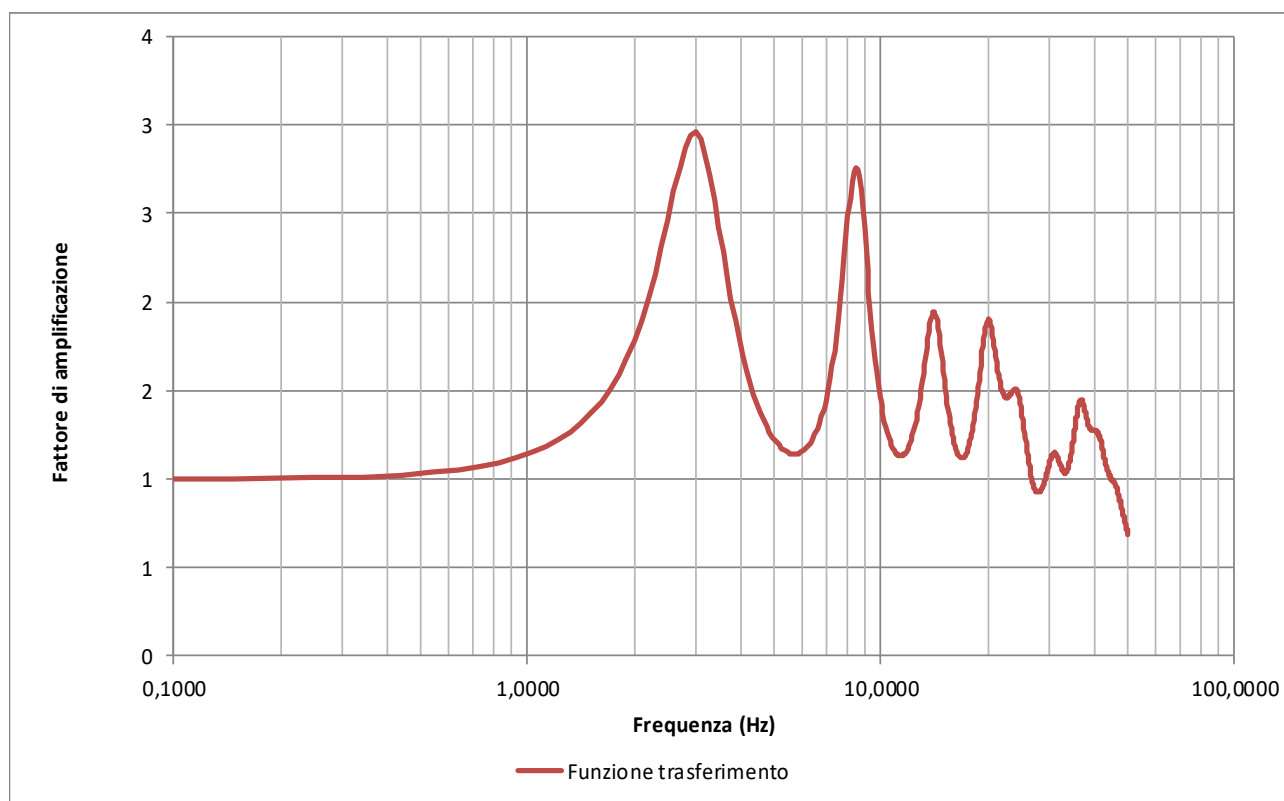


Figura 24 – Funzione di trasferimento – Viale Partigiani

In Figura 25 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{s_{eq}} = 220$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi leggermente l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0.4 s.

In Figura 26 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.



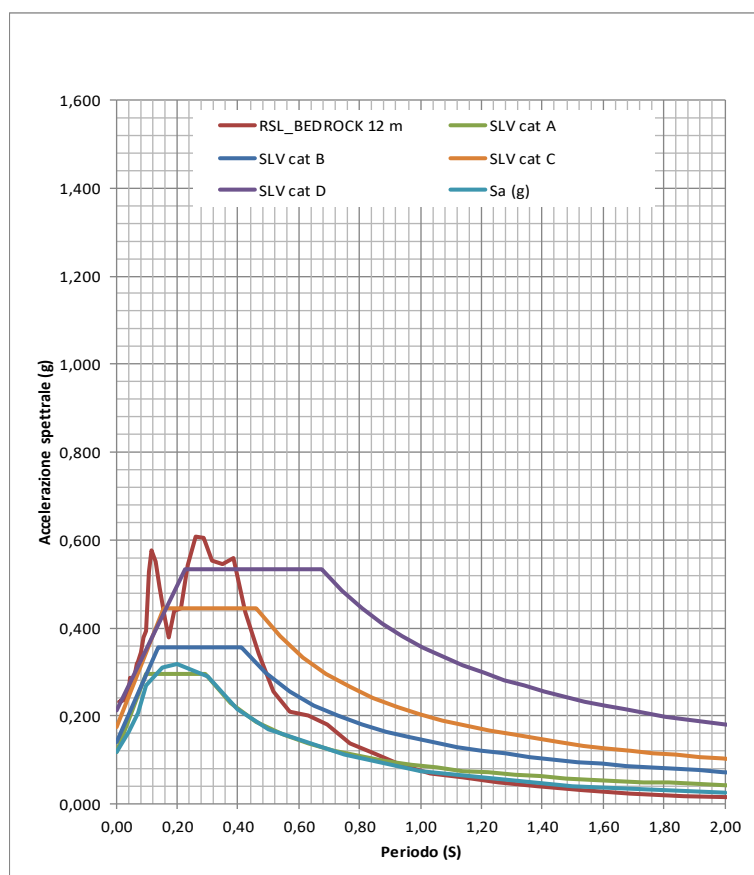


Figura 25 - Spettri di risposta in accelerazione – Viale Partigiani d'Italia

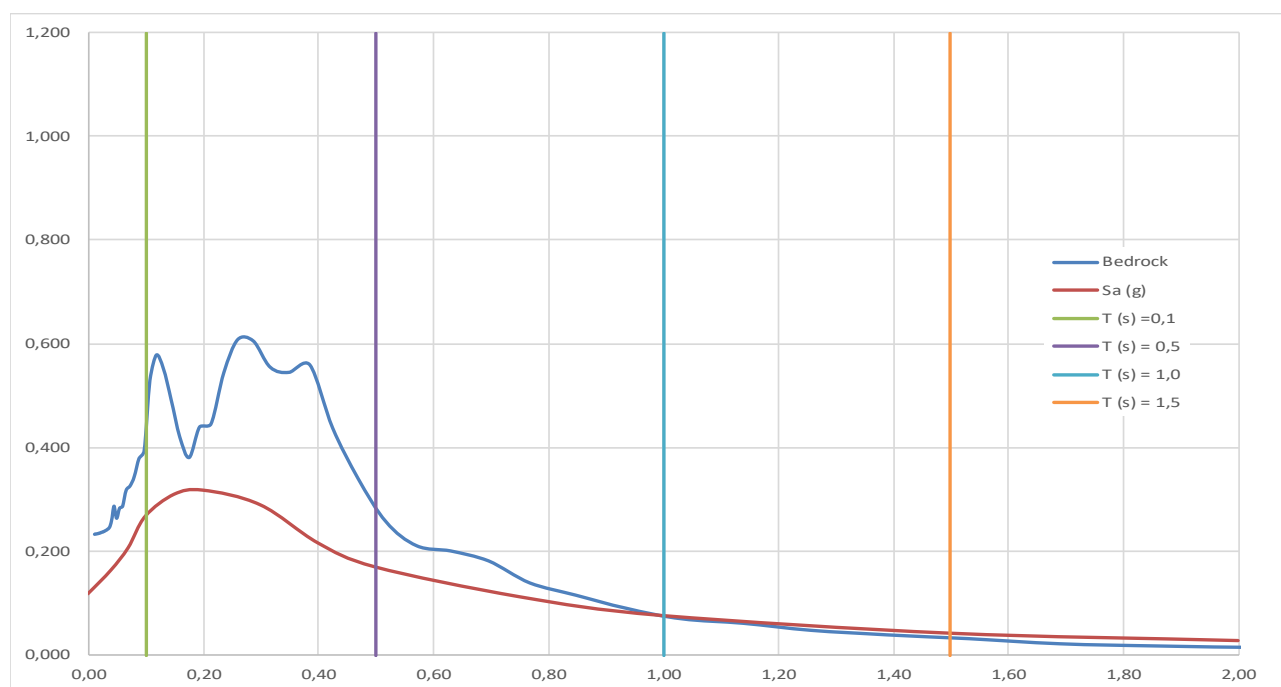


Figura 26 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Viale Partigiani d'Italia

Infine in Figura 27 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio dal substrato sismico ai depositi sovrastanti.

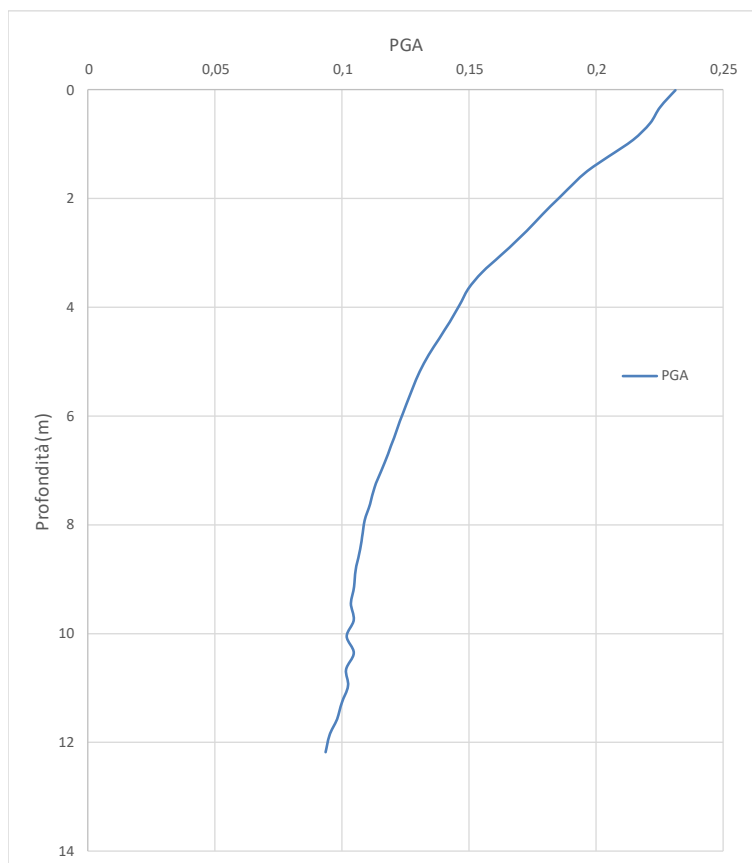


Figura 27 – Andamento di PGA in profondità - Stadio

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019 e secondo le indicazioni delle N.T.C. 2018.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.98	2.2
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.93	2.4
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.31	2.0
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.13	-

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{sH}$  200 m/s, spessore 10 m

### 3.5.4 RSL per San Secondo Elisoccorso/Palestra

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.40	Argilla sabbioso limosa 2	59.00
0.40	0.80	Argilla sabbioso limosa 2	159.00
1.20	2.50	Argilla sabbioso limosa 2	121.00
3.70	1.60	Argilla sabbioso limosa 2	133.00
5.30	1.70	Argilla sabbioso limosa 2	145.00
7.00	4.50	Limo sabbioso	358.00
11.50	Half-Space	Bedrock	500.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi stadio ed in particolare è stato fatto riferimento alle indagini appositamente realizzate: 034033L12MASW12, 034033P198HVS199. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova MASW suddetta. Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di 11.5 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli della copertura localmente presente, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 28 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 3.4 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico individuato nel livello ghiaioso posto a circa 11.5/12 m di profondità. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risposdenze per il primo picco.

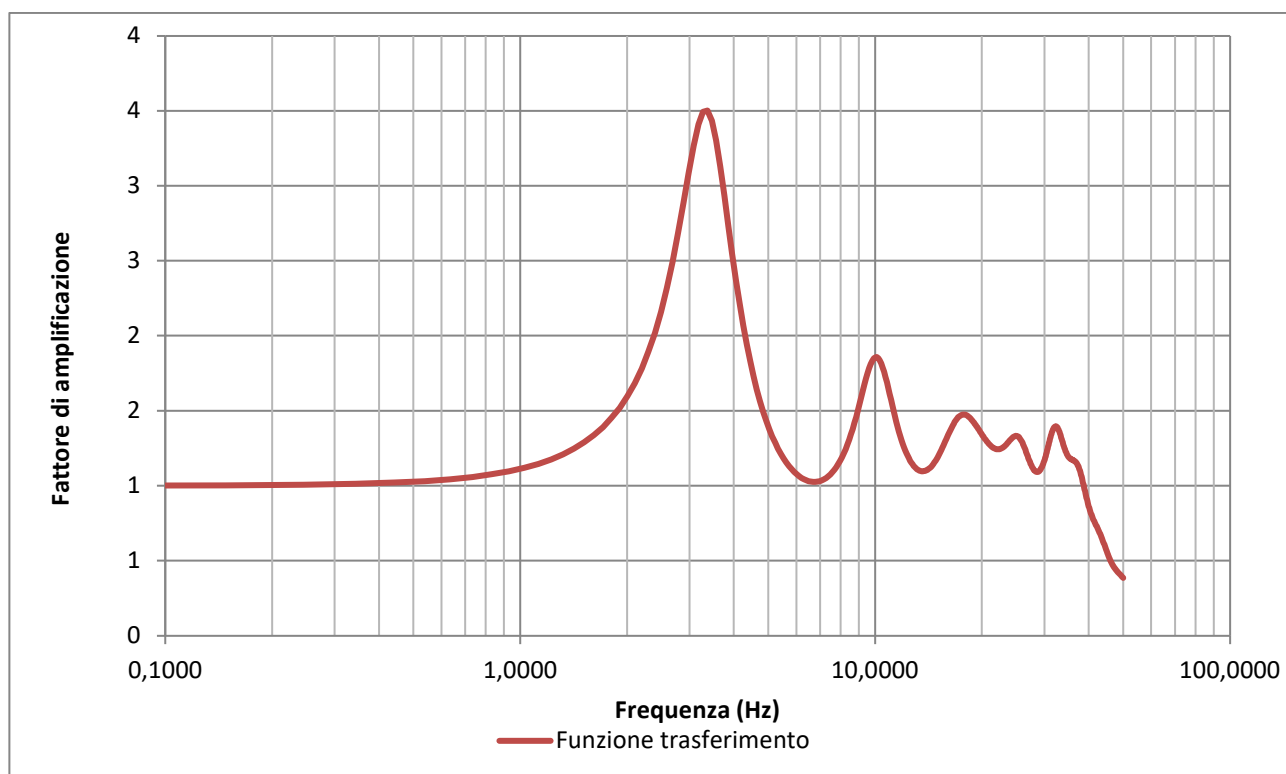


Figura 28 – Funzione di trasferimento – Elisoccorso

In Figura 29 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{sh} = 185$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,35 s.

In Figura 30 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

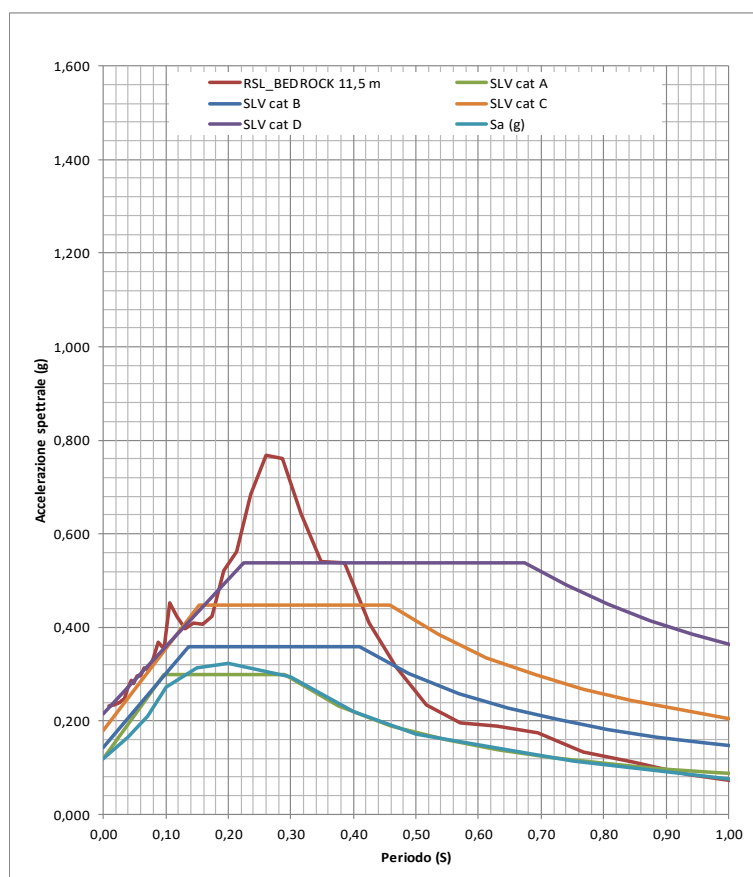


Figura 29 - Spettri di risposta in accelerazione – Elisoccorso

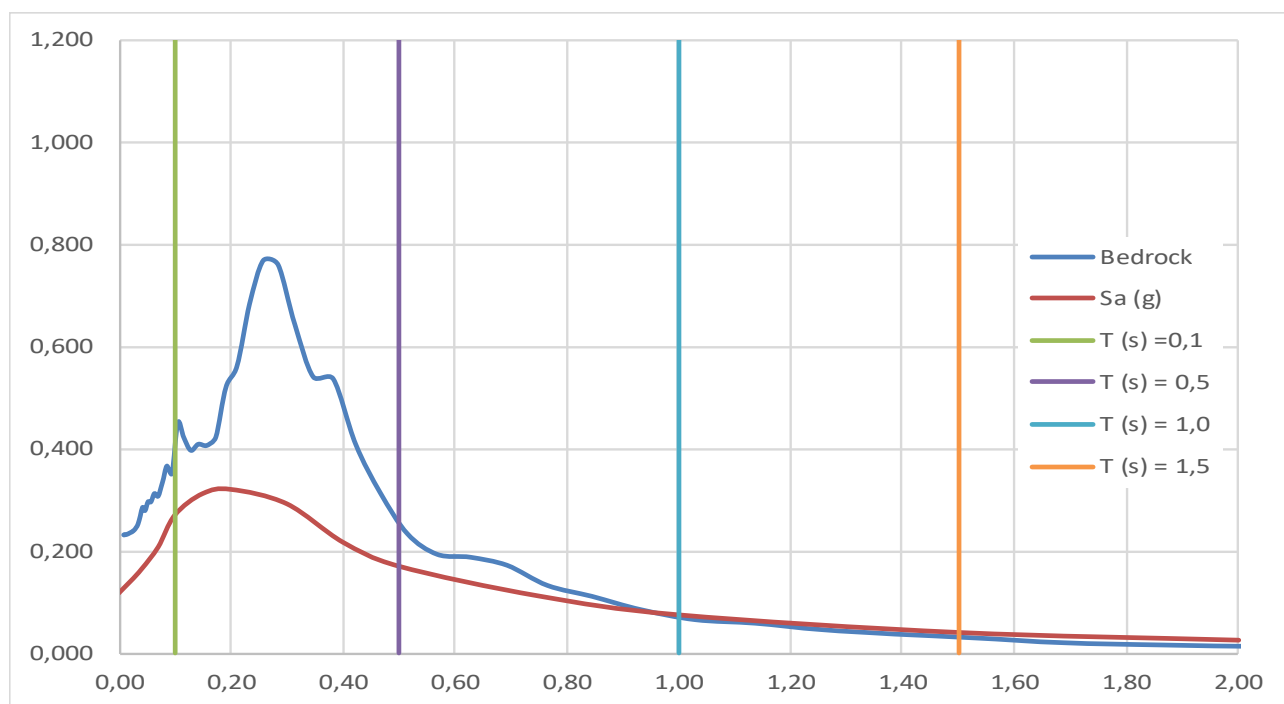


Figura 30 – Spettri di risposta in pseudovelocità - Elisoccorso

Infine in Figura 31 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio, alla profondità di circa 5 m, tra depositi di copertura prevalentemente argillosi e i sottostanti depositi più prettamente sabbiosi depositi sovrastanti.

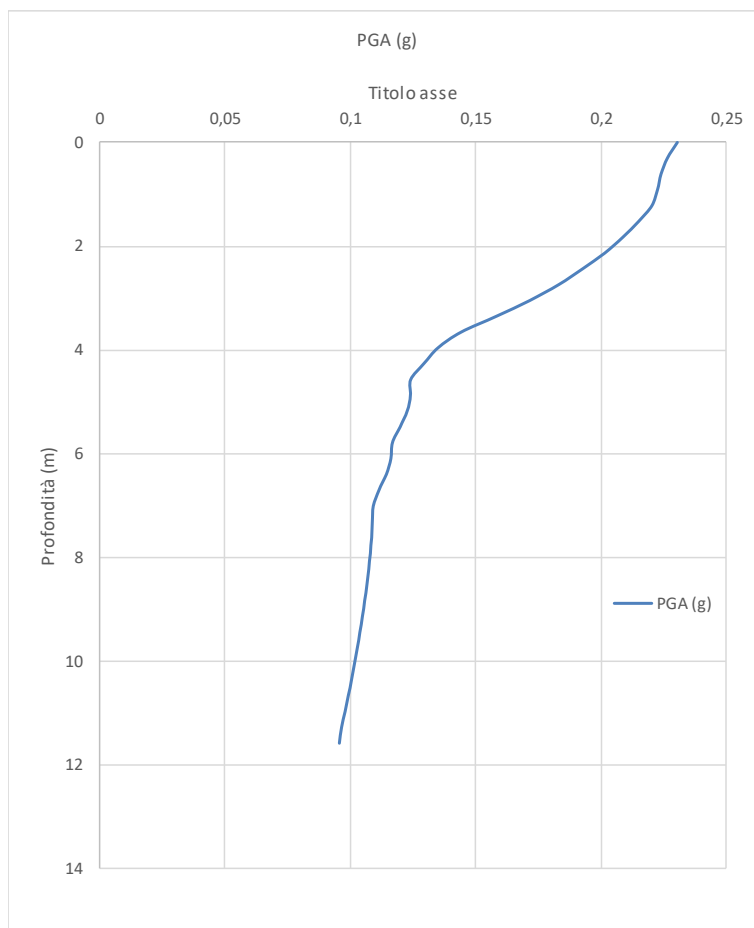


Figura 31 – Andamento di PGA in profondità - Elisoccorso

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.95	2.2
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	2.00	2.4
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.23	2.0
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.07	-

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{SH}$  200 m/s, spessore 10 m

### 3.5.5 RSL per San Secondo ITIS

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.50	Argilla sabbioso limosa 2	80.00
0.50	1.00	Limo sabbioso	130.00
1.50	8.00	Argilla sabbioso limosa 2	170.00
9.50	1.30	Sabbia	210.00
10.80	Half-Space	Bedrock	550.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed in particolare è stato fatto riferimento all'indagine appositamente realizzata 034033P207CPTU208, nonché a quelle pregresse tra cui 034033P125HVSRI125 e 034033P145HVSRI145, 034033P157PA157. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova CPTU suddetta.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 11 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli della copertura localmente presente, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 32 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 3.5 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico individuato nel livello ghiaioso posto a circa 11 m di profondità. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risposdenze per il primo picco.

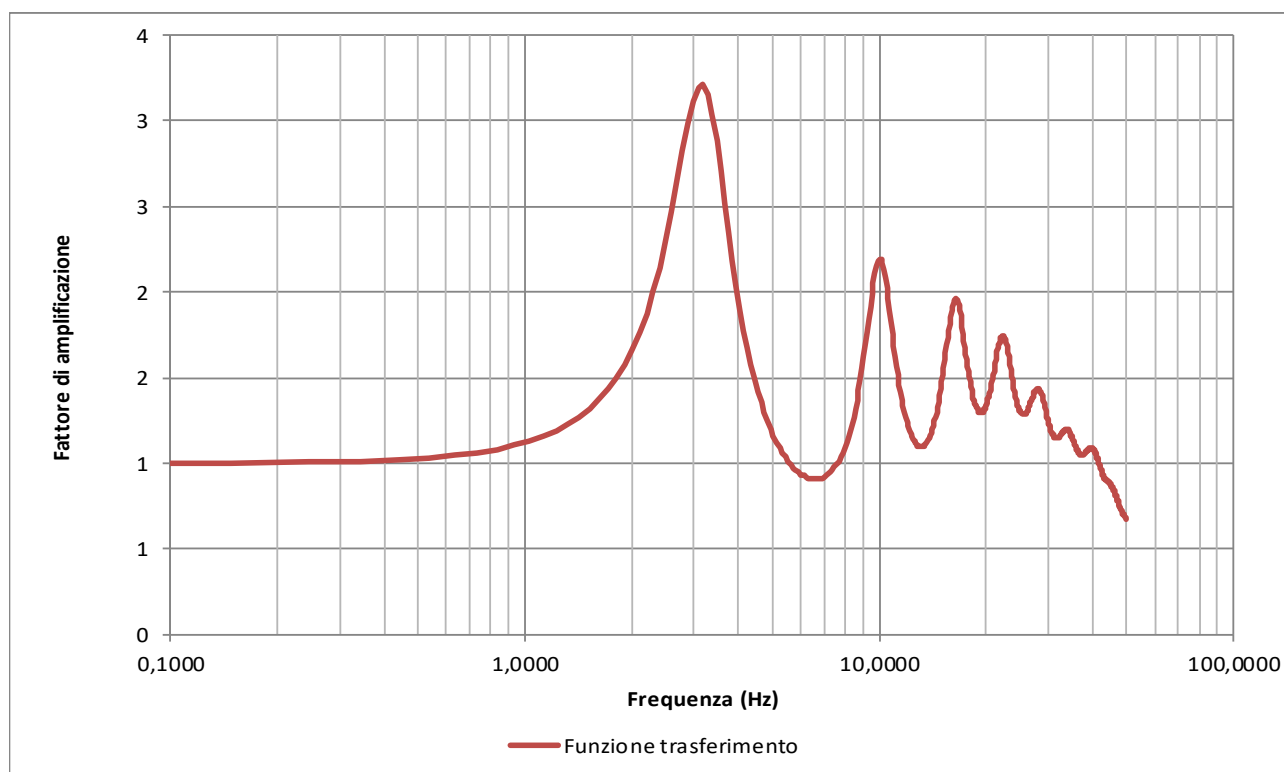


Figura 32 – Funzione di trasferimento – ITIS

In Figura 33 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{seq} = 205$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,4 s.

In Figura 34 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.



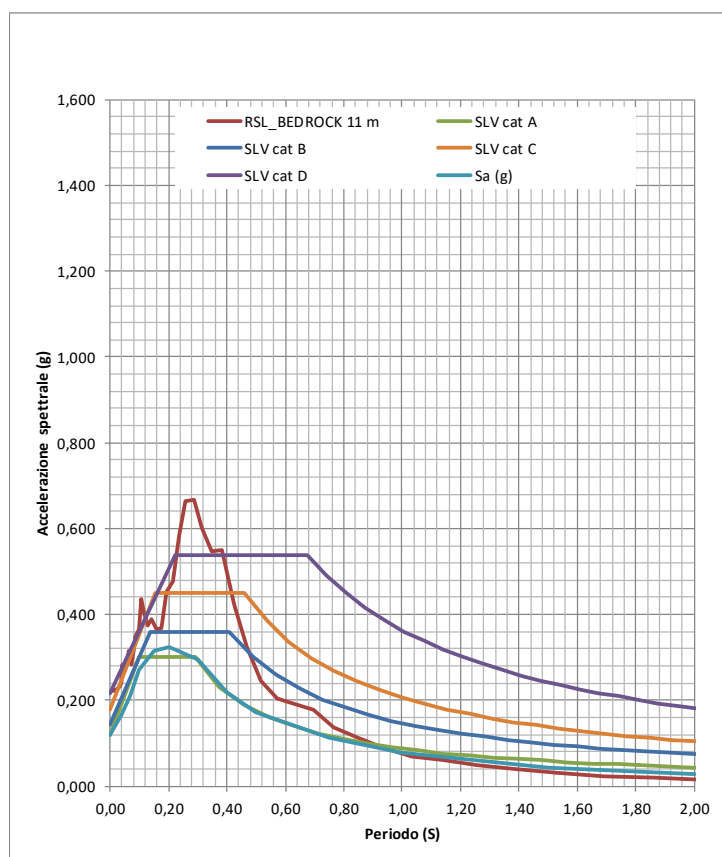


Figura 33 - Spettri di risposta in accelerazione - ITIS

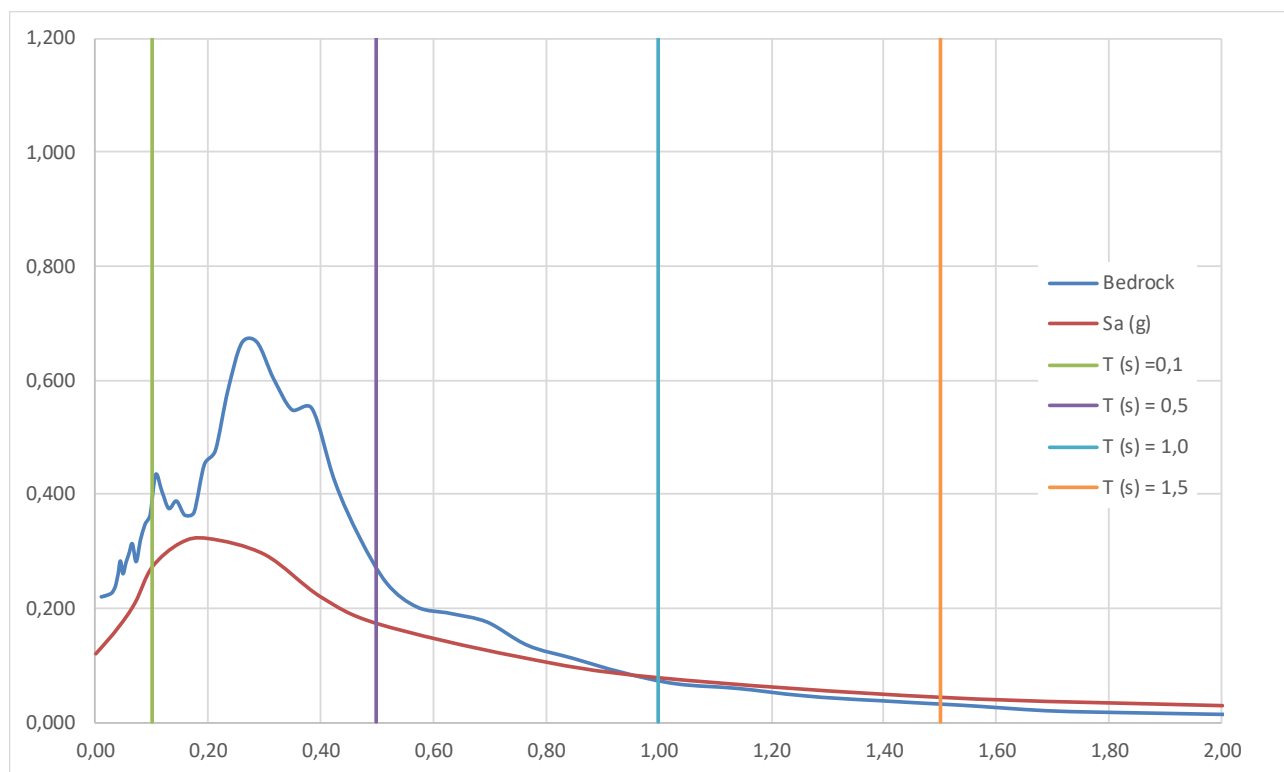


Figura 34 – Spettri di risposta in pseudovelocità - ITIS

Infine in Figura 35 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra depositi di copertura prevalentemente argillosi e il substrato sismico.

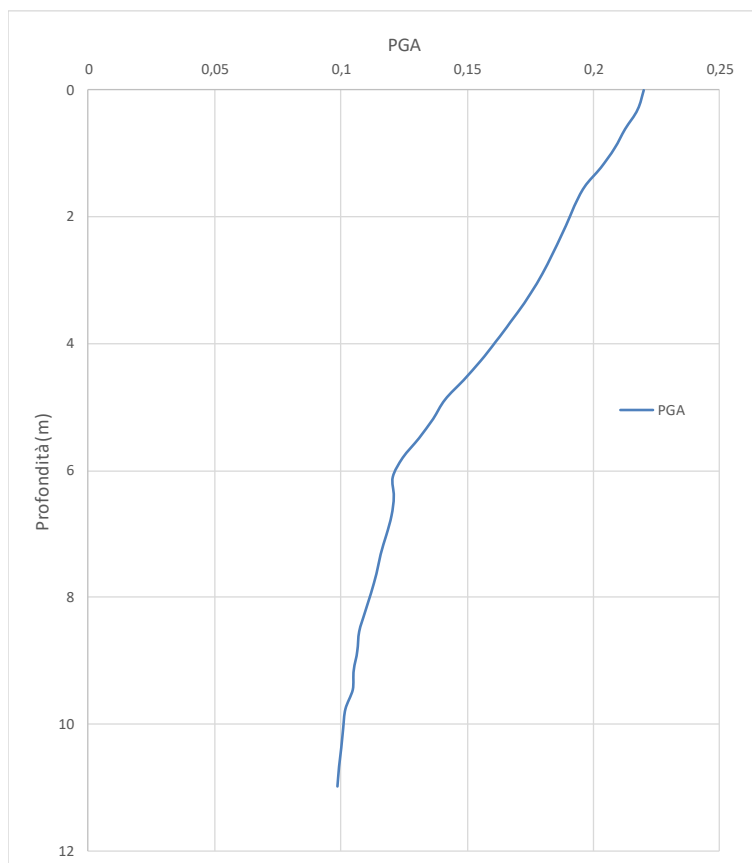


Figura 35 – Andamento di PGA in profondità - ITIS

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.86	2.2
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.91	2.4
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.26	2.0
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.09	-

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{SH}$  200 m/s, spessore 10 m

### 3.5.6 RSL per San Secondo Campo sportivo

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.60	Argilla sabbioso limosa 2	70.00
0.60	9.90	Argilla sabbioso limosa 2	206.00
10.50	4.30	Sabbia	280.00
14.80	Half-Space	Bedrock	550.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed in particolare è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi del campo sportivo di Via Bellini, in particolare alle indagini 034033P191HVS191 e 034033P184CPTU184. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova P191 suddetta.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 15 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli della copertura localmente presente, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 36 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 3.0 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico individuato nel livello ghiaioso posto a circa 15 m di profondità. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. Non vi è corrispondenza tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V misurato.

sperimentalmente.

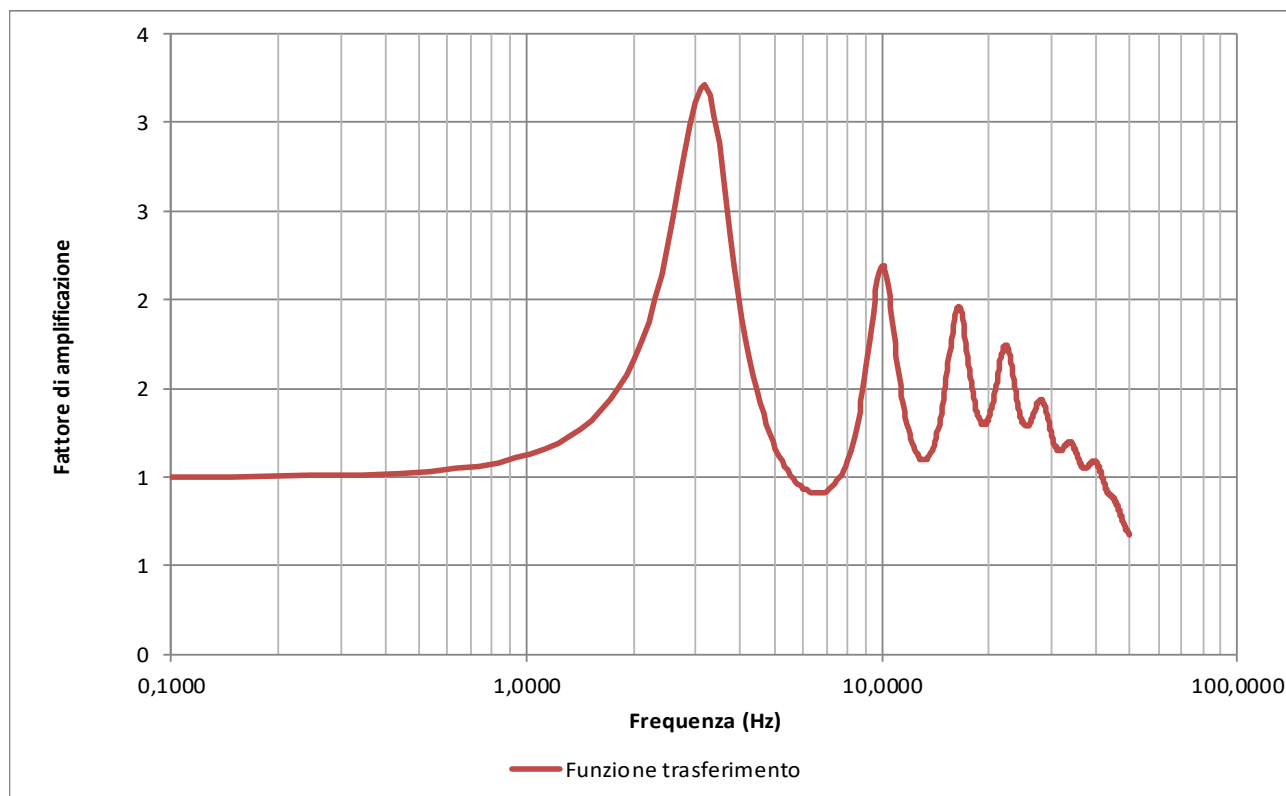


Figura 36 – Funzione di trasferimento – Campo sportivo

In Figura 37 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{seq} = 186$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,35 s.

In Figura 38 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

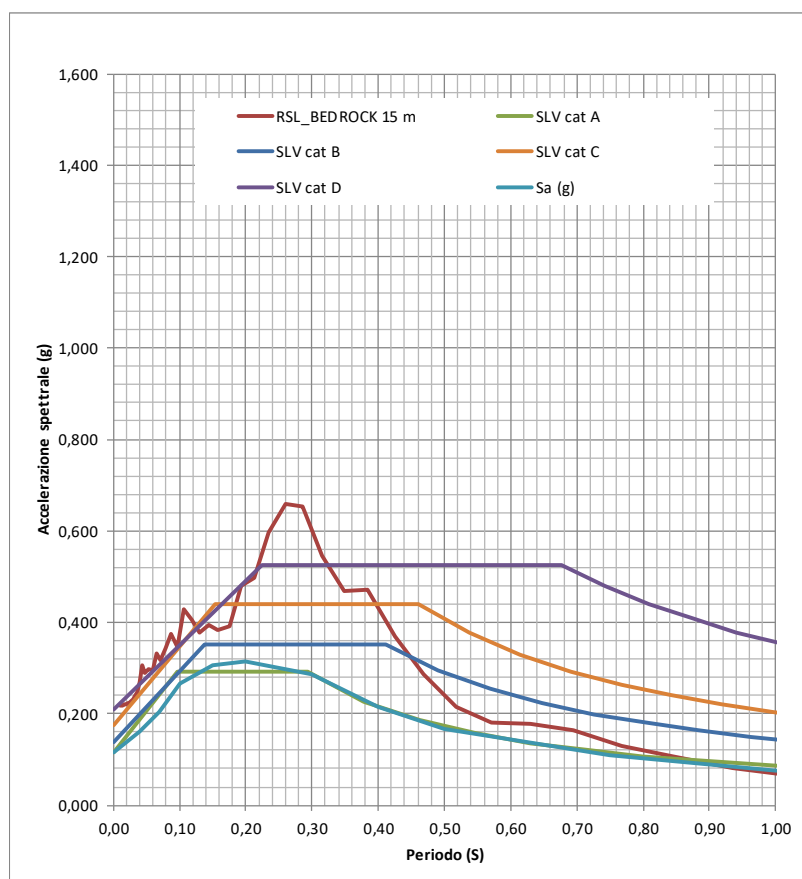


Figura 37 - Spettri di risposta in accelerazione – Campo sportivo

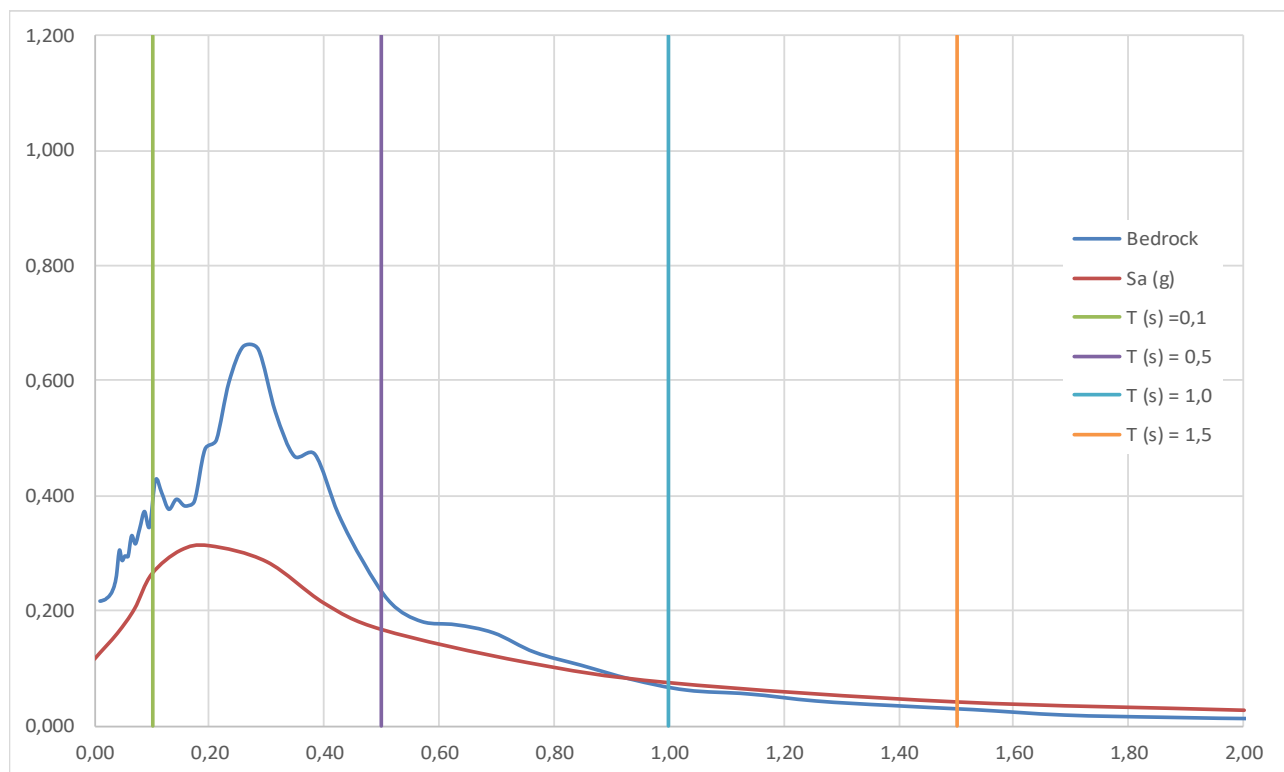


Figura 38 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Campo sportivo

Infine in Figura 39 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra depositi di copertura prevalentemente argillosi e il substrato sismico.

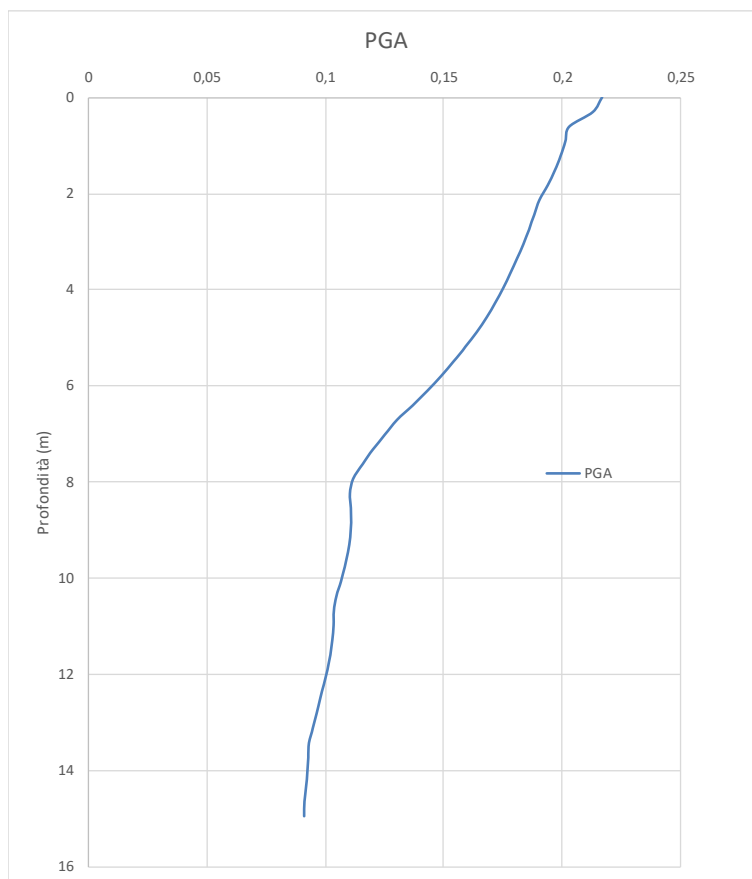


Figura 39 – Andamento di PGA in profondità – Campo sportivo

Per completezza viene proposta la tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.88	2.1
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.81	2.5
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.19	2.6
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.04	-

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{sH}$  200 m/s, spessore 15 m

### 3.5.7 RSL per San Secondo Zoccolanti

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	6.00	Argilla sabbioso limosa 2	150.00
6.00	11.00	Sabbia	190.00
17.00	4.00	Argilla sabbioso limosa 2	220.00
21.00	14.00	Sabbia	280.00
35.00	Half-Space	Bedrock	550.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi e in particolare alle indagini 034033P64CPT64, 034033P65CPT65, 034033P70CPT70, 034033P152HVS152 e all'indagine specificatamente eseguita 034033P205CPTU206. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova 034033L5MASW5 comparata con i dati derivanti dalle indagini HVS152 e dalle altre prove MASW effettuate sul territorio.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 35 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla tra le sabbie e le ghiaie supponendo quest'ultime come caratterizzate da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli dei livelli sovrastanti, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 40 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui i più interessanti a livello ingegneristico sono quelli a circa 1.5 e 3.8 Hz. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risposnde per il secondo picco.

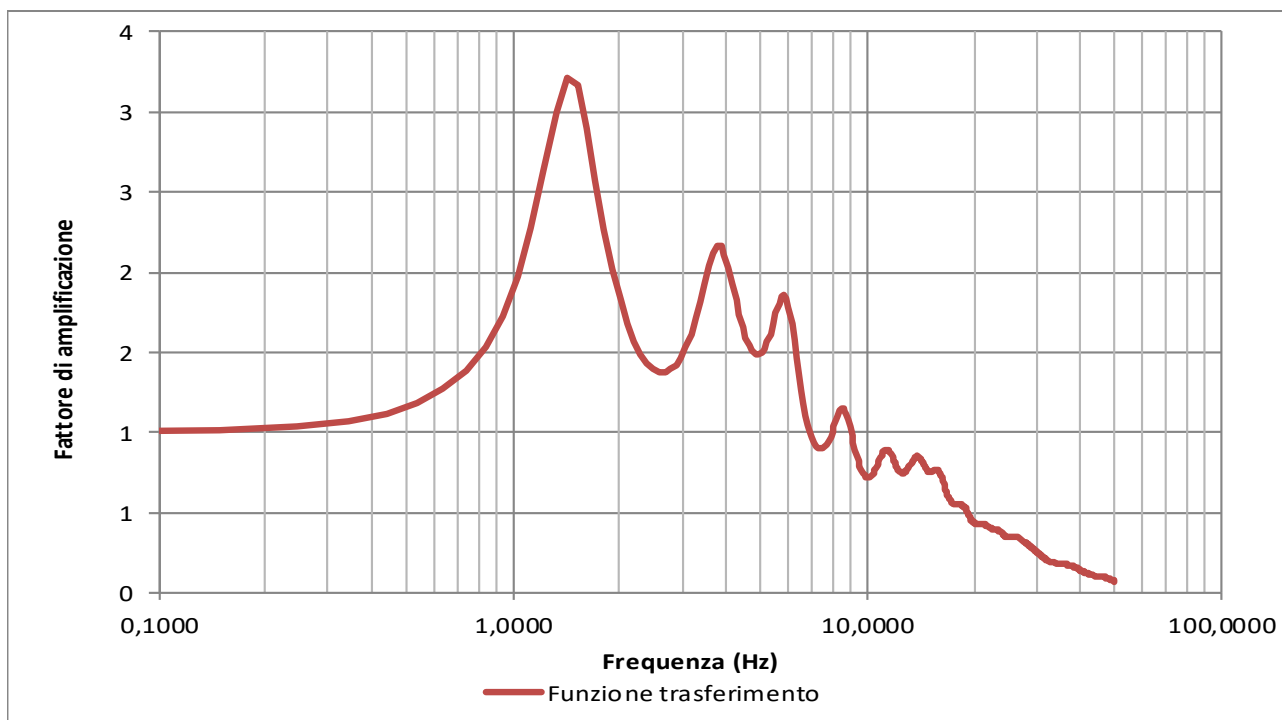


Figura 40 – Funzione di trasferimento – Zoccolanti

In Figura 41 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC.

In Figura 42 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.



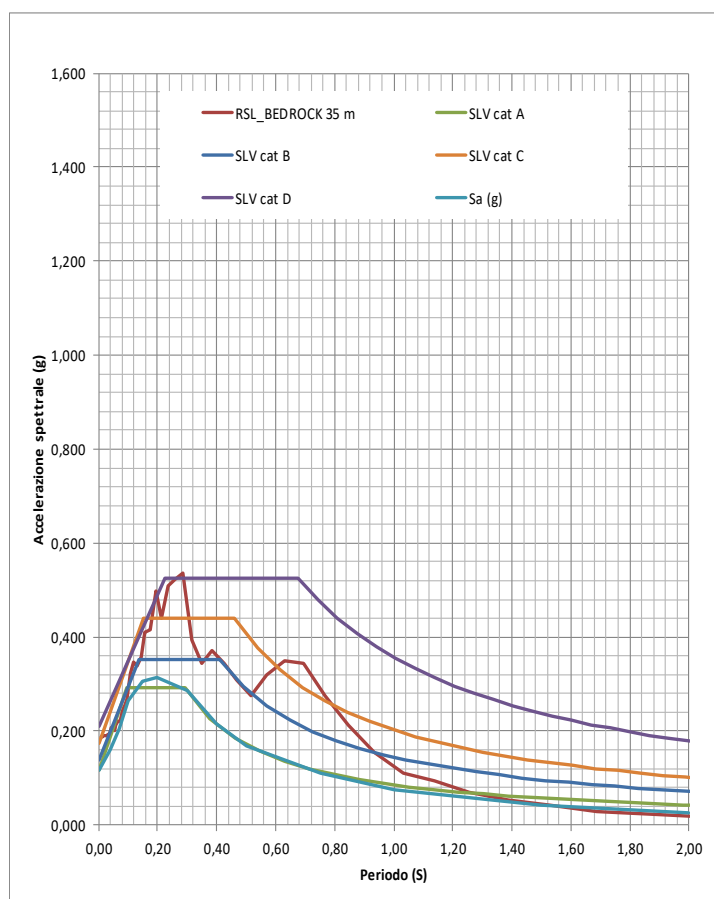


Figura 41 - Spettri di risposta in accelerazione – Zoccolanti

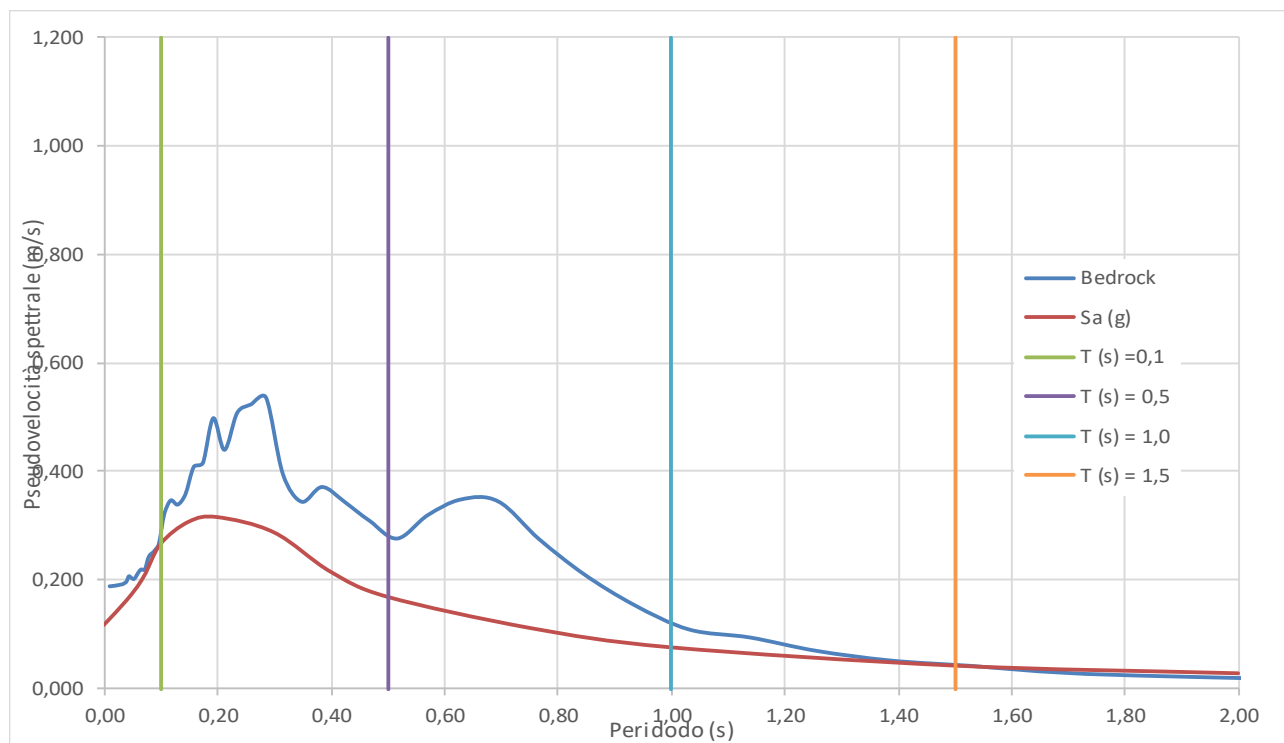


Figura 42 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Zoccolanti

Infine in Figura 43 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra depositi di copertura prevalentemente argillosi e il substrato sismico.

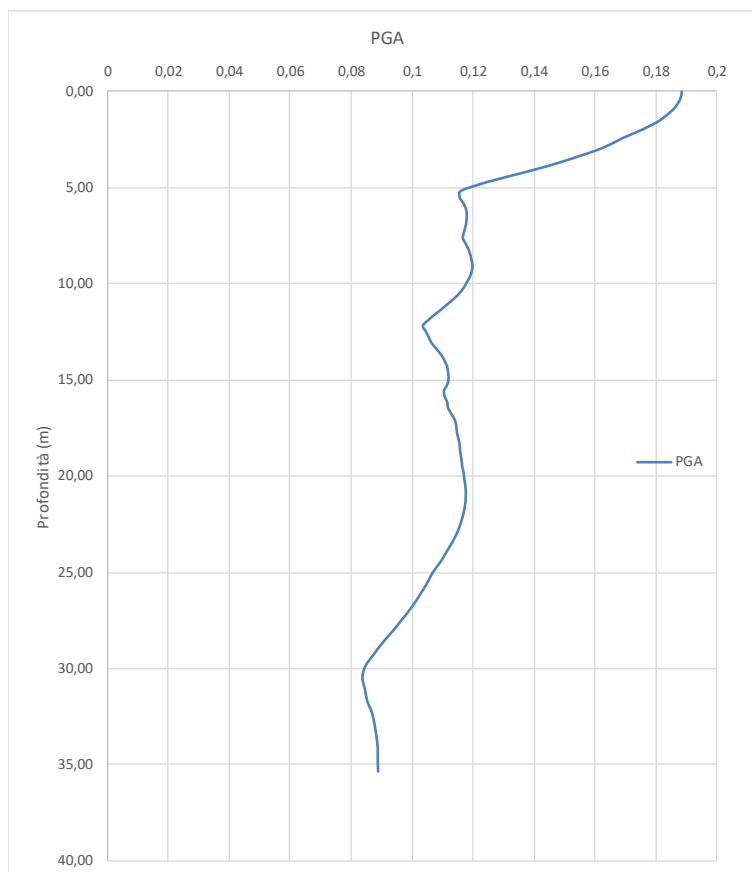


Figura 43 – Andamento di PGA in profondità – Zoccolanti

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.63	1.6*
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.58	1.9*
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	2.28	2.8*
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.85	3.1*

\*Tabella margine di tipo B,  $V_{seq}$  200 m/s

### 3.5.8 RSL per San Secondo Rotonda Sigma

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	7.00	Argilla sabbioso limosa 2	120.00
7.00	6.00	Argilla sabbioso limosa 2	150.00
13.00	7.00	Argilla sabbioso limosa 2	200.00
20.00	20.00	Sabbia	250.00
40.00	Half-Space	Bedrock	550.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi e in particolare alle indagini 34033P1CPT1, 034033P120HVS120, 034033P129HVS129, 034033P155PA155 e 034033P156PA156 e all'indagine specificatamente eseguita 034033P207CPTU208 sebbene questa abbia raggiunto la profondità di circa 15 m da p.c. per problemi di disancoraggio dell'attrezzatura di prova. Le velocità Vs sono stati desunte dalle prove HVS1, comparate con i valori di prove MASW effettuate sul territorio.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 40 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla tra le sabbie e le ghiaie supponendo quest'ultime come caratterizzate da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli dei livelli sovrastanti, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 44 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui i più interessanti a livello ingegneristico sono quelli a circa 1.2 Hz, legato al passaggio tra la copertura e il substrato sismico individuato nel livello ghiaioso posto a circa 40 m di profondità. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. Non vi è corrispondenza tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V misurato.

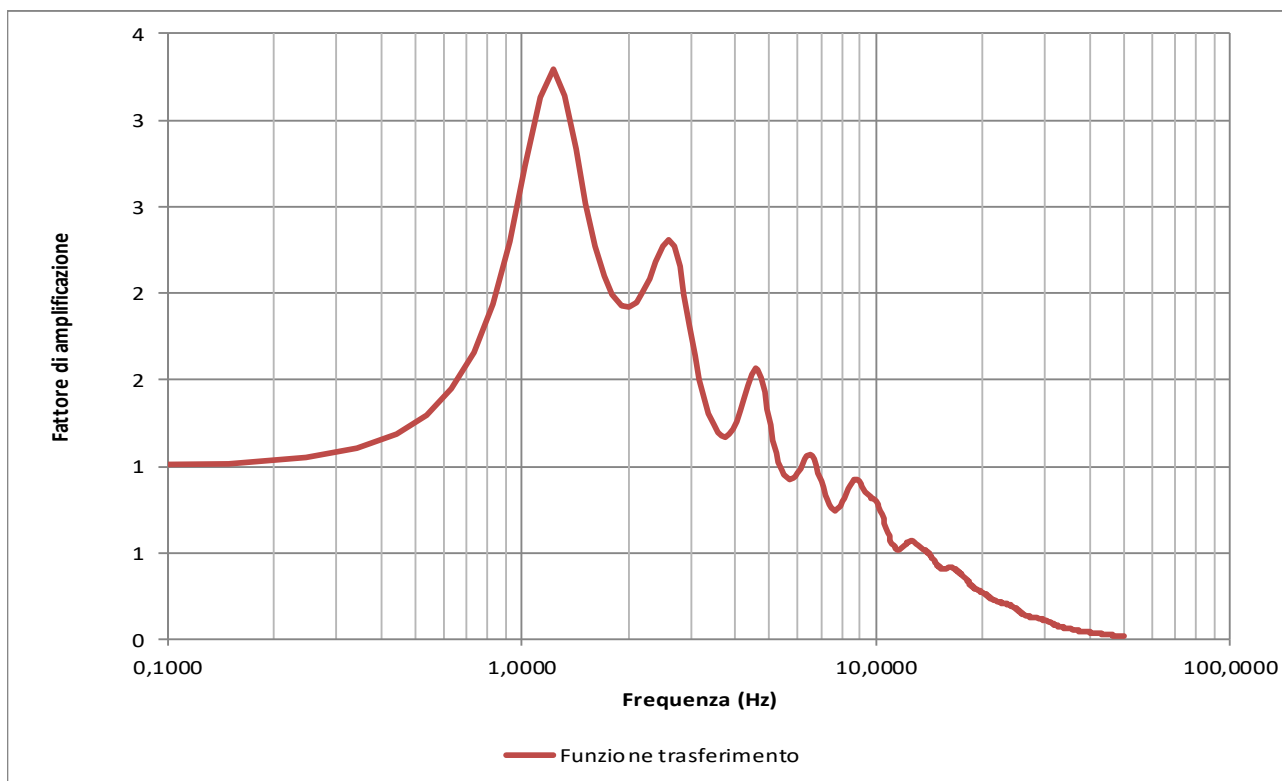


Figura 44– Funzione di trasferimento – Rotonda Sigma

In Figura 45 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC.

In Figura 46 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

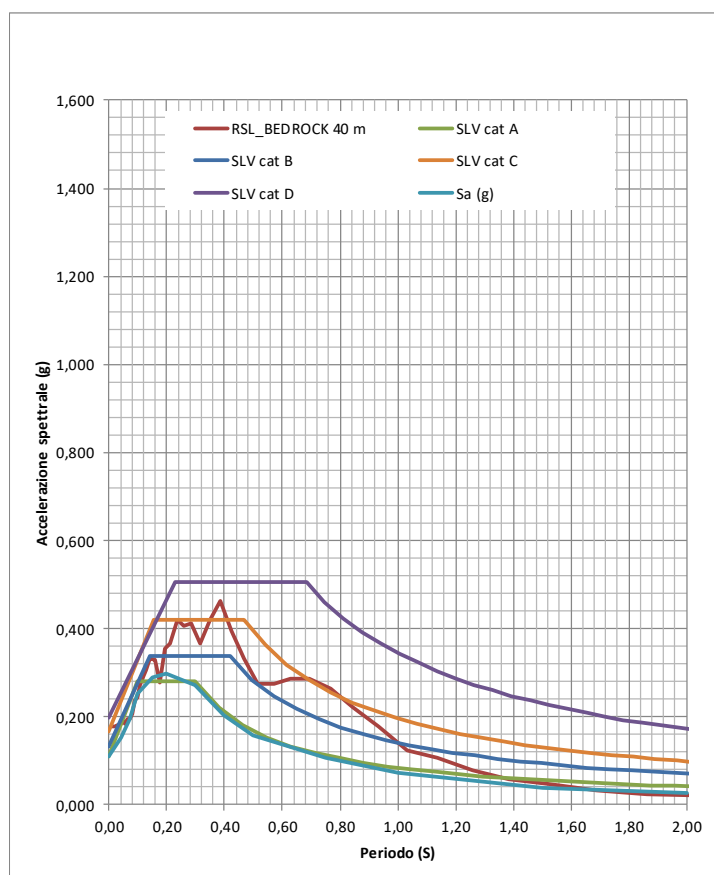


Figura 45 - Spettri di risposta in accelerazione – Rotonda Sigma

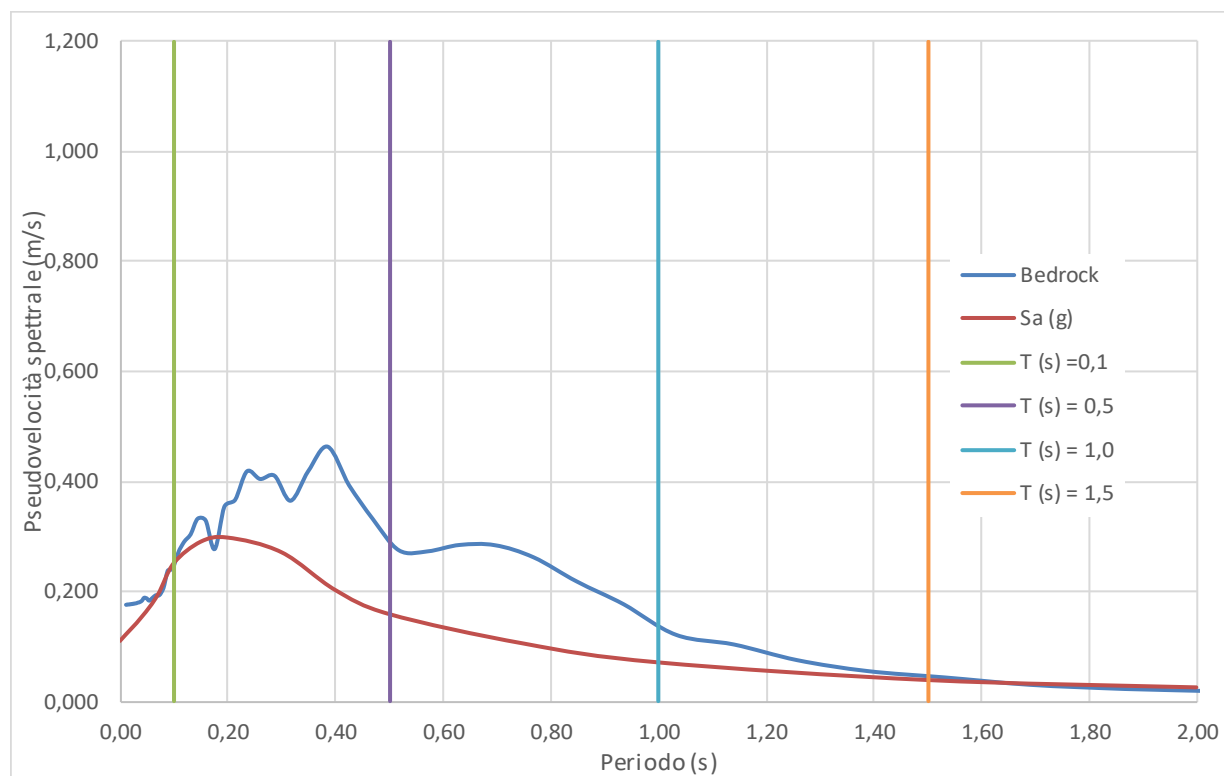


Figura 46 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Rotonda Sigma

Infine in Figura 47 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra depositi di copertura prevalentemente argillosi e sabbiosi e il substrato sismico.

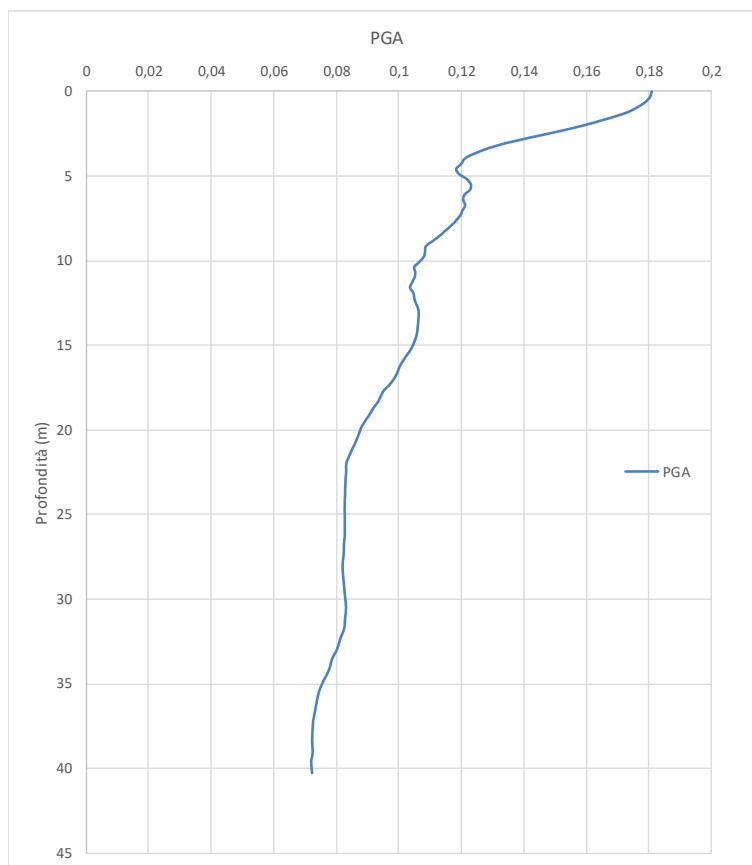


Figura 47 – Andamento di PGA in profondità – Rotonda Sigma

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.61	1.6*
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.64	1.9*
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	2.28	2.8*
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.95	3.1*

\*Tabella margine di tipo B,  $V_{seq}$  200 m/s

### 3.5.9 RSL per San Secondo La Fornace

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.60	Limo sabbioso	100.00
0.60	3.00	Argilla sabbioso limosa 2	130.00
3.60	4.40	Argilla sabbioso limosa 2	170.00
8.00	5.00	Argilla sabbioso limosa 2	180.00
13.00	3.00	Argilla sabbioso limosa 2	170.00
16.00	3.00	Sabbia	210.00
19.00	1.00	Argilla sabbioso limosa 2	200.00
20.00	Half-Space	Bedrock	500.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi e in particolare alle indagini 034033P150HVSRI150 e 034033P43CPT43 e all'indagine specificatamente eseguita 034033P203CPTU204 che ha raggiunto il rifiuto strumentale alla profondità di 19.83 m da p.c. Le velocità Vs sono state desunte dalle prove HVSR, comparate con i valori di prove MASW effettuate nell'intorno.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 20 m da p.c., in corrispondenza del passaggio alla tra le sabbie e le ghiaie supponendo quest'ultime come caratterizzate da comportamento rigido, ovvero da valori di Vs significativamente maggiori di quelli dei livelli sovrastanti, sebbene con Vs < 800 m/s.

In Figura 48 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 2 Hz, legato al passaggio tra la copertura e il substrato sismico. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di vs all'interno del terreno di copertura.

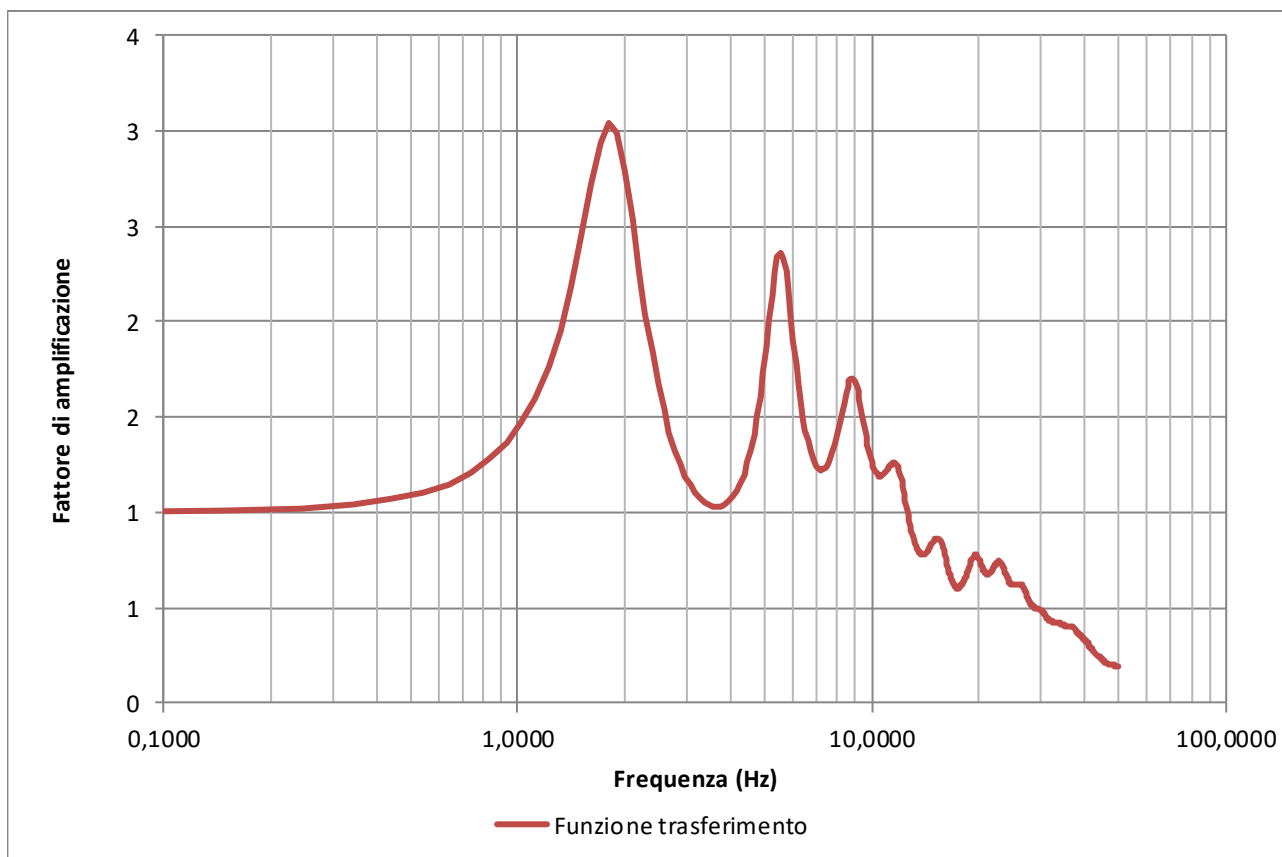


Figura 48 – Funzione di trasferimento – La Fornace

In Figura 49 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC.

In Figura 50 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.



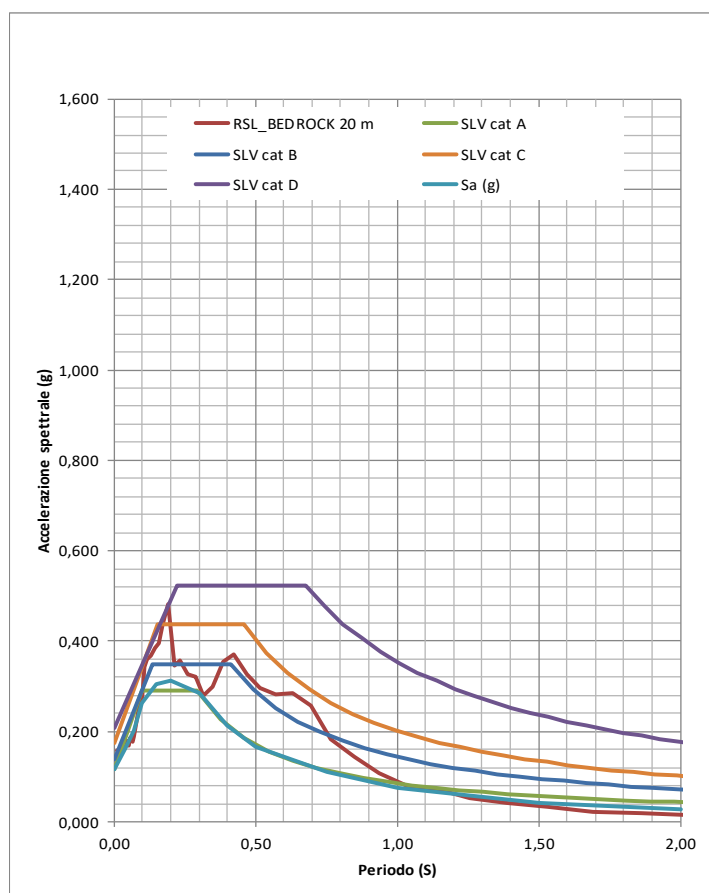


Figura 49 - Spettri di risposta in accelerazione – La Fornace

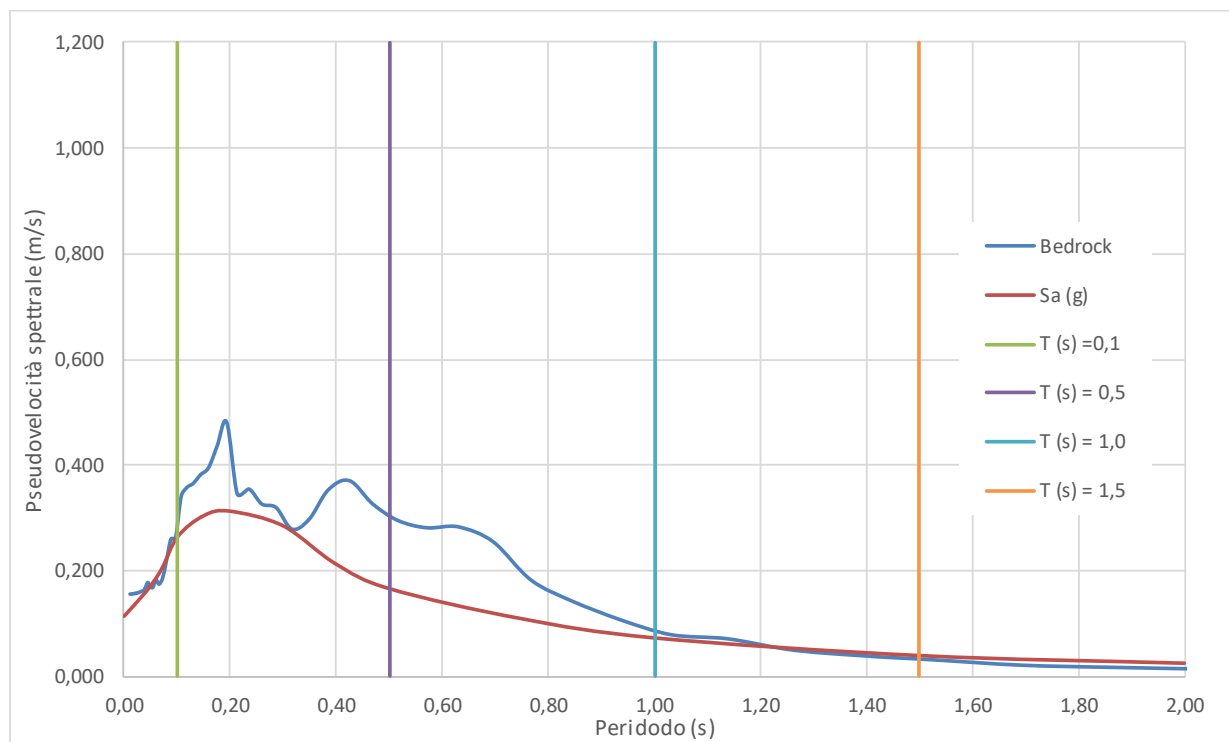


Figura 50 – Spettri di risposta in pseudovelocità – La Fornace

Infine in Figura 51 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra depositi di copertura prevalentemente argillosi e sabbiosi e il substrato sismico.

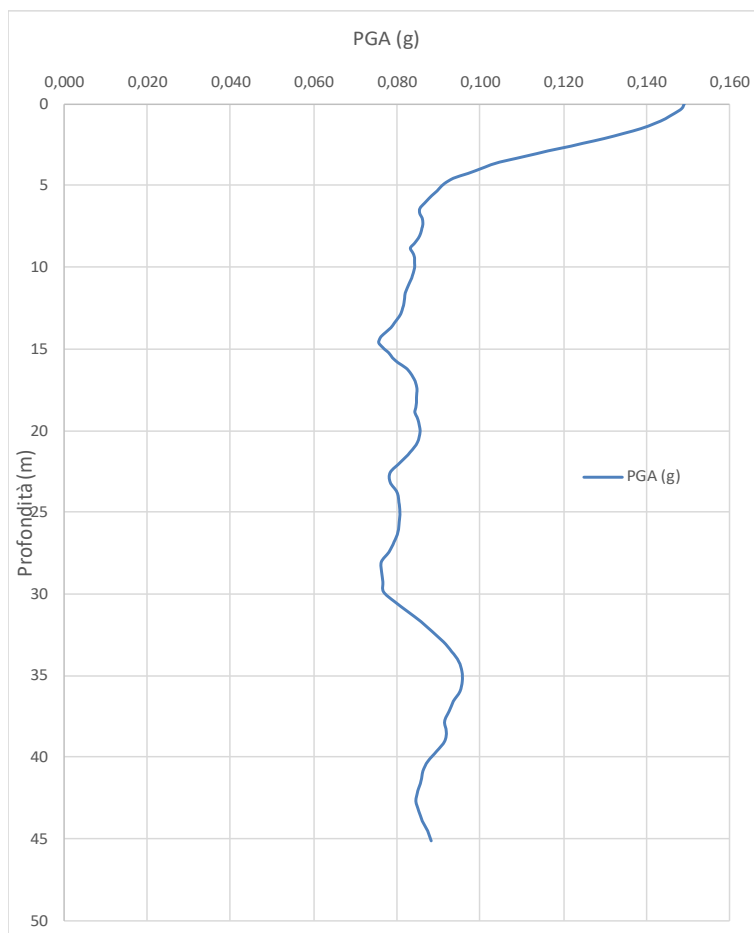


Figura 51 – Andamento di PGA in profondità – La Fornace

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.36	2.1*
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.41	3.1*
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.74	2.8*
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.41	-

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{SH}$  200 m/s, spessore 20 m

**3.5.10 RSL per San Secondo Portone del Pizzo - Ponte comunale su S.P. 10 per Cremona**

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.60	Argilla sabbioso limosa 2	61.00
0.60	0.20	Argilla sabbioso limosa 2	96.00
0.80	1.70	Argilla sabbioso limosa 2	153.00
2.50	4.40	Argilla sabbioso limosa 2	151.00
6.90	6.20	Argilla sabbioso limosa 2	177.00
13.10	28.00	Sabbia	161.00
41.10	19.00	Argilla sabbioso limosa 2	247.00
60.10	7.90	Sabbia	247.00
68.00	10.00	Argilla sabbioso limosa 2	247.00
78.00	7.00	Sabbia	247.00
85.00	Half-Space	Bedrock	600.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi e in particolare alle indagini 034033P182CPTU182 e 034033P190HVS190 e all'indagine specificatamente eseguita 034033L13MASW13. Le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW specificatamente effettuata, comparate con i valori di prove HVS190 effettuate nell'intorno.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 85 m da p.c., in corrispondenza del netto passaggio evidenziato dalla indagine P190 che mostra un salto di Vs >2.

In Figura 52 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 0.55 Hz legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risposdenze per il primo picco a 0,55 Hz.

rapporto H/V mostra buone risposdenze per il primo picco.

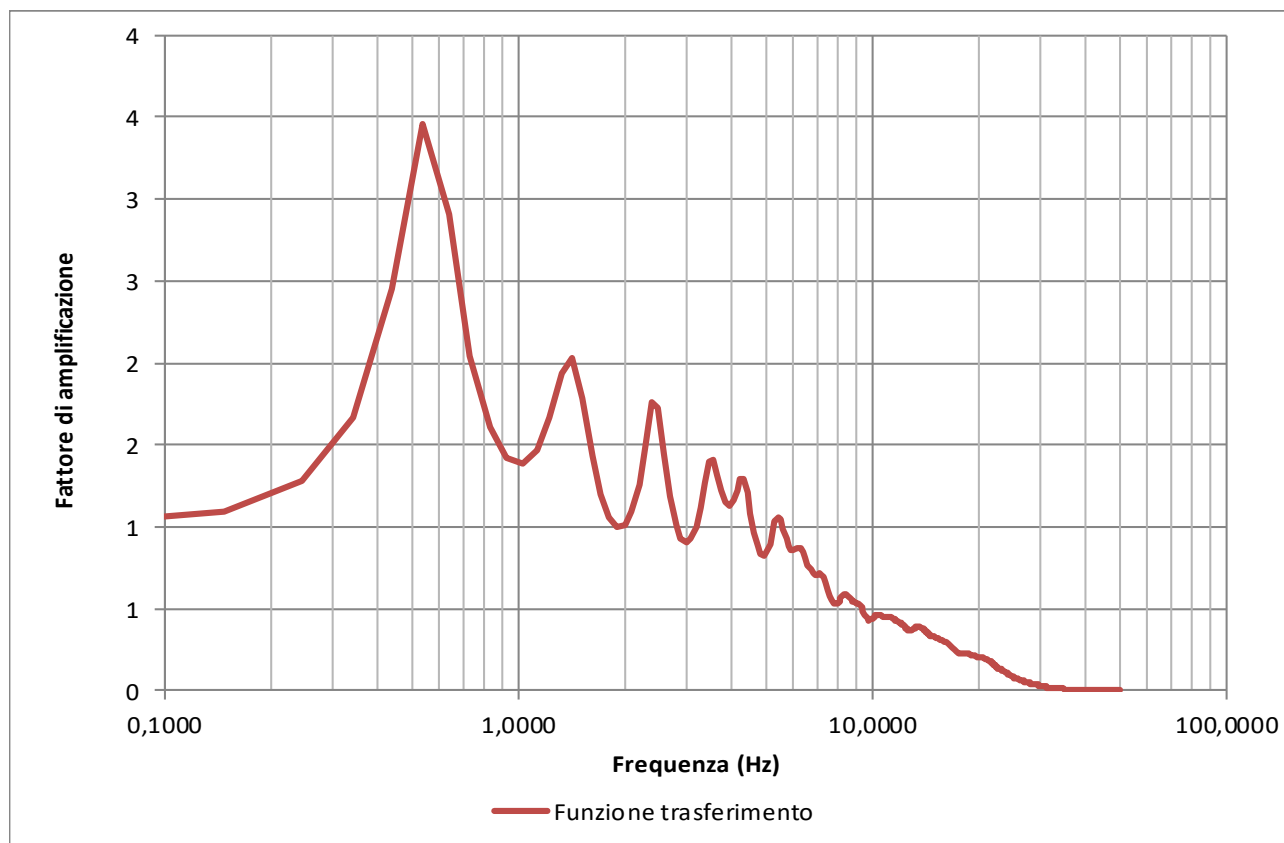


Figura 52 – Funzione di trasferimento – Portone del Pizzo

In Figura 53 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo D ( $V_{s_{eq}} = 166$  m/s, calcolata dai valori derivanti dalla prova MASW). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sovrastimi l'accelerazione sismica.

In Figura 54 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

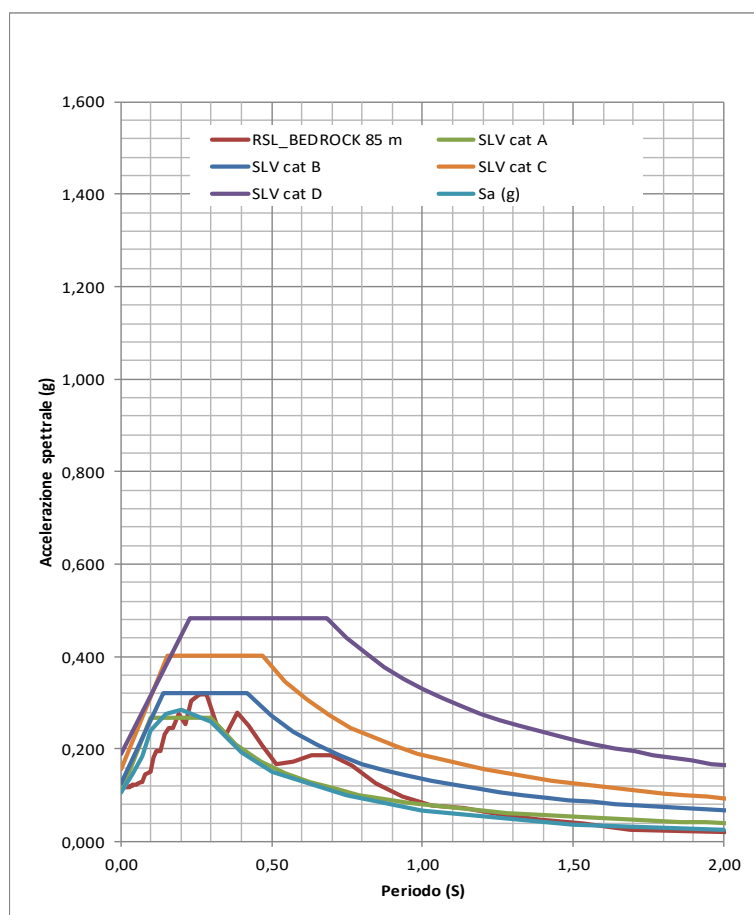


Figura 53 - Spettri di risposta in accelerazione – Portone del Pizzo

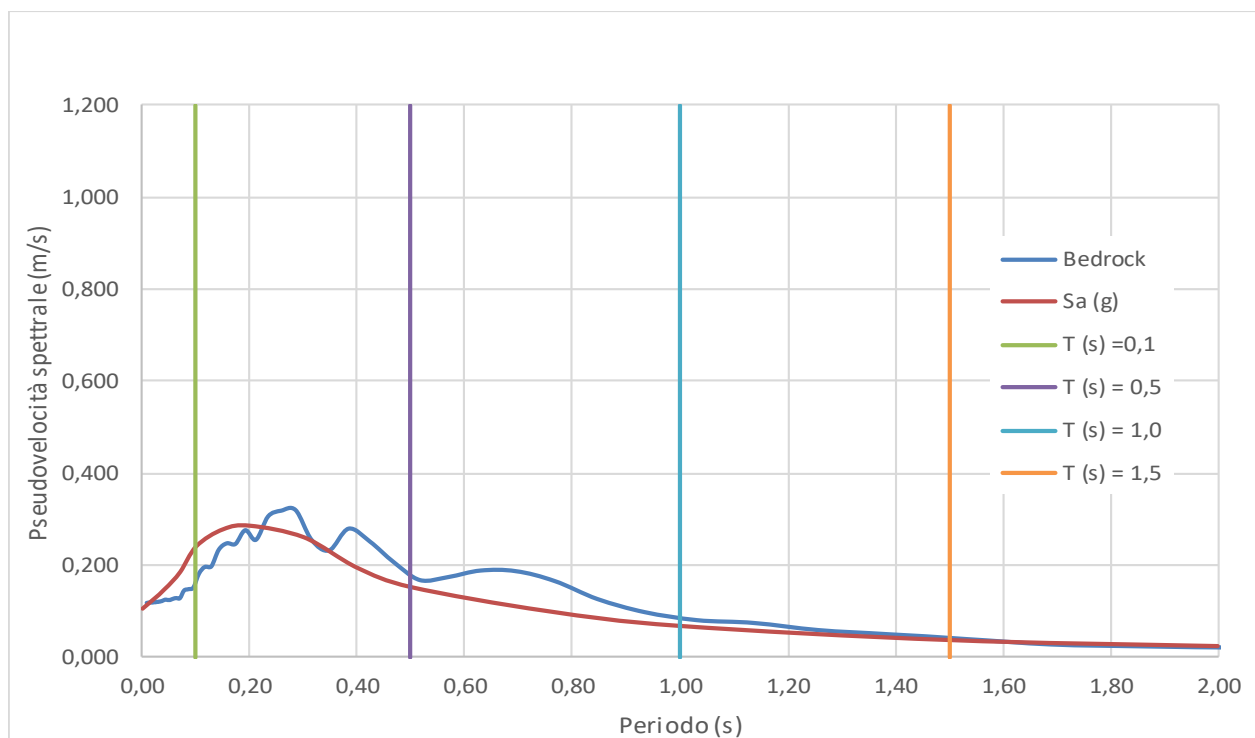


Figura 54 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Portone del Pizzo

Infine in Figura 55 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra i depositi argillosi più superficiali e quelli più prettamente sabbiosi e limo-sabbiosi sottostanti.

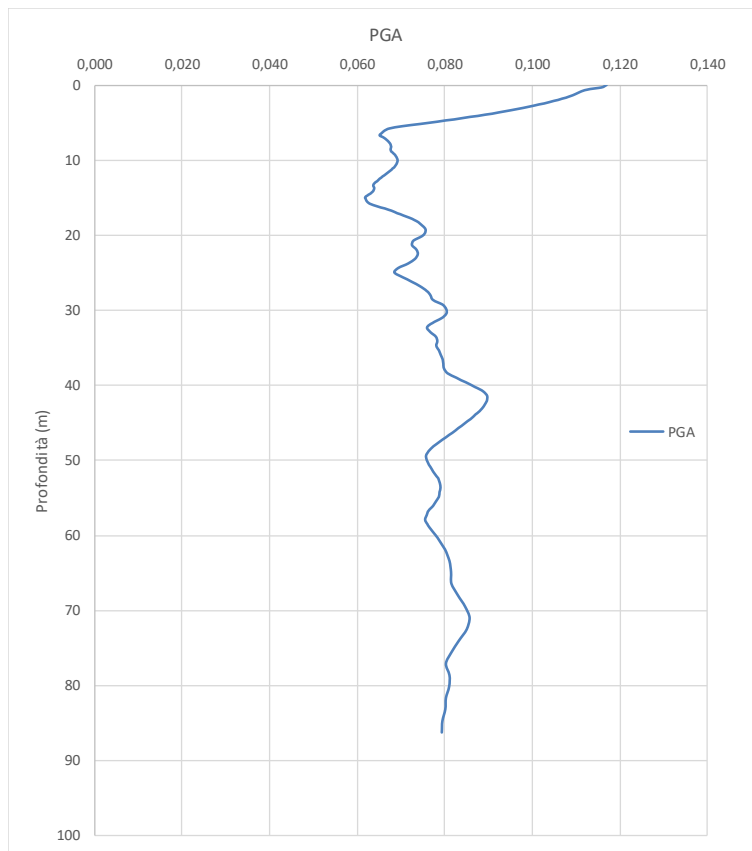


Figura 55 – Andamento di PGA in profondità – Portone del Pizzo

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.12	1.6*
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.13	1.9*
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.46	2.8*
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.35	3.1*

\*Tabella margine di tipo B,  $V_{sH}$  200 m/s

### 3.5.11 RSL per San Secondo Pizzo La Valle

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.30	Argilla sabbioso limosa 2	40.00
0.30	0.60	Argilla sabbioso limosa 2	109.00
0.90	0.80	Argilla sabbioso limosa 2	122.00
1.70	2.40	Argilla sabbioso limosa 2	151.00
4.10	3.20	Argilla sabbioso limosa 2	177.00
7.30	28.00	Sabbia	231.00
35.30	50.00	Limo sabbioso	247.00
85.30	Half-Space	Bedrock	600.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi e in particolare alle indagini 034033P181CPTU181 e 034033P137HVS137 e all'indagine specificatamente eseguita 034033L16MASW16. Le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW specificatamente effettuata, comparate con i valori di prove HVS137 effettuate nell'intorno.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 85 m da p.c., in corrispondenza del netto passaggio evidenziato dalla indagine P137 che mostra un salto di Vs >2.

In Figura 56 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 0.6 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risposdenze per il primo picco.

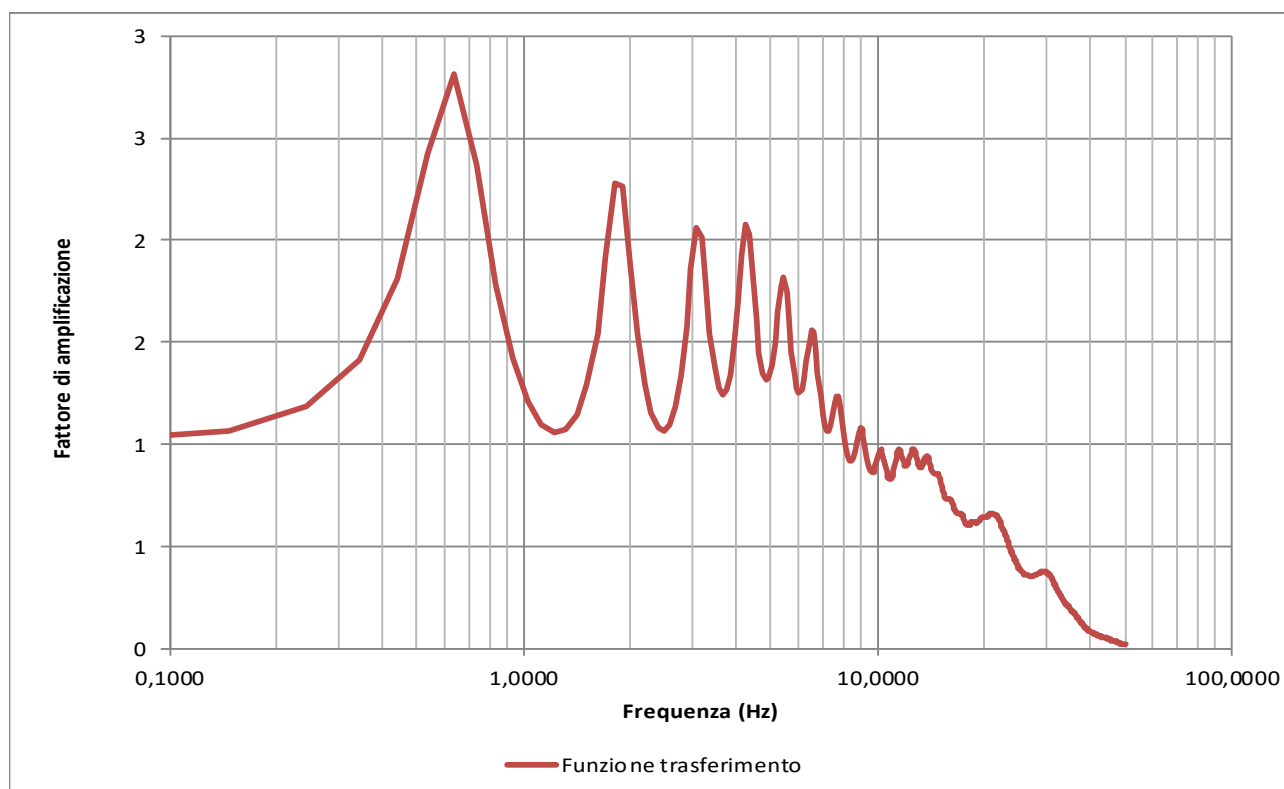


Figura 56 – Funzione di trasferimento – Pizzo La Valle

In Figura 57 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{seq} = 198$  m/s).

In Figura 58 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.



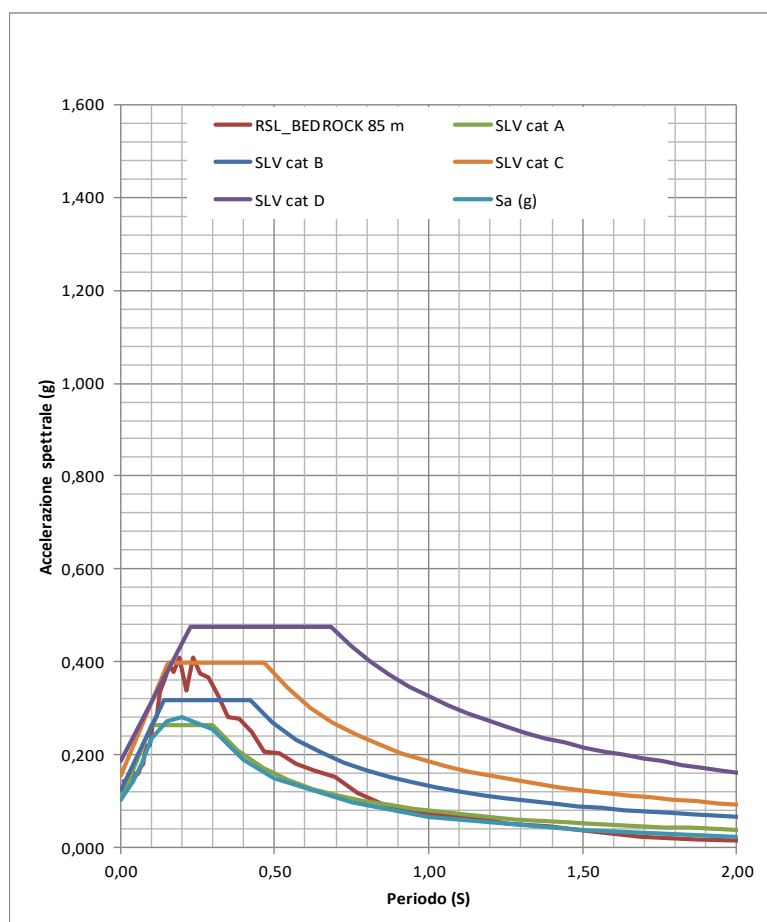


Figura 57 - Spettri di risposta in accelerazione – Pizzo La Valle

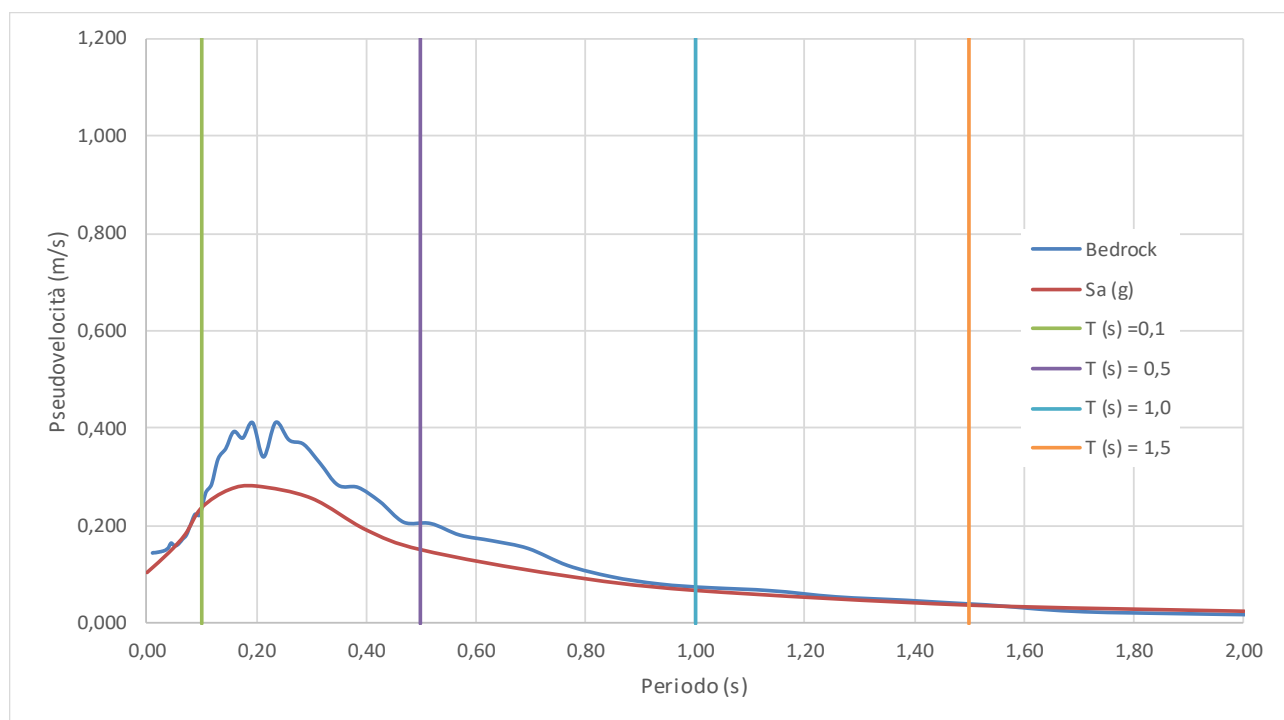


Figura 58 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Pizzo La Valle

Infine in Figura 59 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra i depositi argillosi più superficiali e quelli più prettamente sabbiosi e limo-sabbiosi sottostanti.

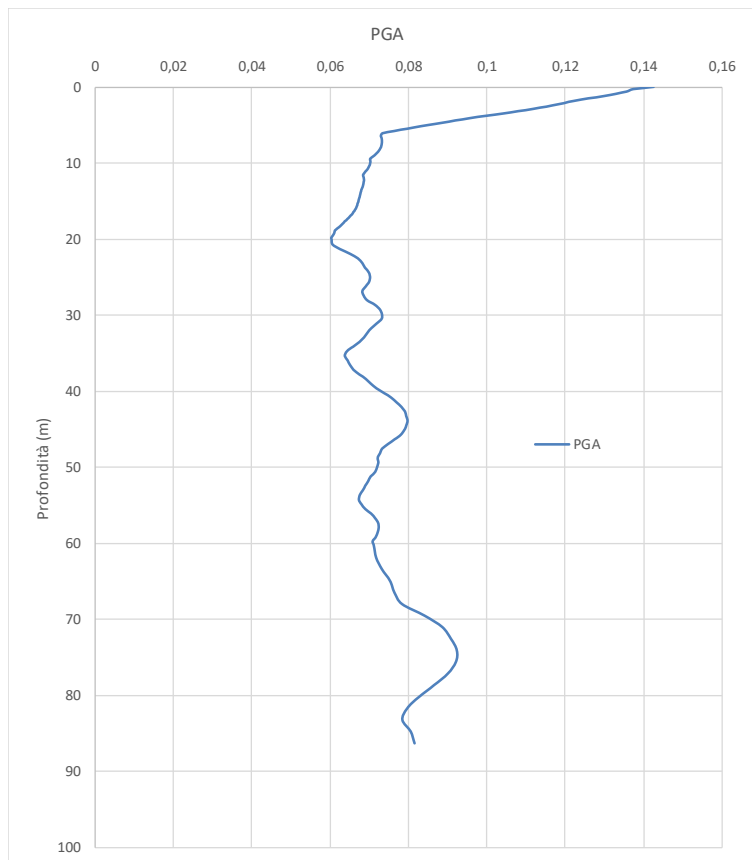


Figura 59 – Andamento di PGA in profondità – Pizzo La Valle

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.38	1.6*
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.35	1.9*
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.26	2.8*
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.20	3.1*

\*Tabella margine di tipo B,  $V_{SH}$  200 m/s

### 3.5.12 RSL per San Secondo Ponte sul F. Taro

Al fine di soddisfare le specifiche richieste dell'Amministrazione comunale è stata eseguita una verifica di Risposta sismica Locale su tale sito che, essendo stato classificato come Zona Stabile, successione stratigrafica 2002, dallo studio di microzonazione di Livello II, non è stato considerato come sito di approfondimento di Livello III.

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.70	Argilla sabbioso limosa 2	98.00
0.70	0.80	Argilla sabbioso limosa 2	209.00
1.50	0.70	Argilla sabbioso limosa 2	152.00
2.20	1.50	Argilla sabbioso limosa 2	202.00
3.70	4.60	Argilla sabbioso limosa 2	184.00
8.30	12.40	Argilla sabbioso limosa 2	237.00
20.70	60.00	Limo sabbioso	251.00
80.70	Half-Space	Bedrock	500.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi e in particolare alle indagini 034033P186CPTU186 e 034033P188HVS188 e all'indagine specificatamente eseguita 034033L14MASW14. Le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW specificatamente.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 80 m da p.c., in corrispondenza del netto passaggio evidenziato dalla prova MASW suddetta.

In Figura 60 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 0.7 HZ, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. La prova H/V effettuata non presenta picchi di amplificazione.

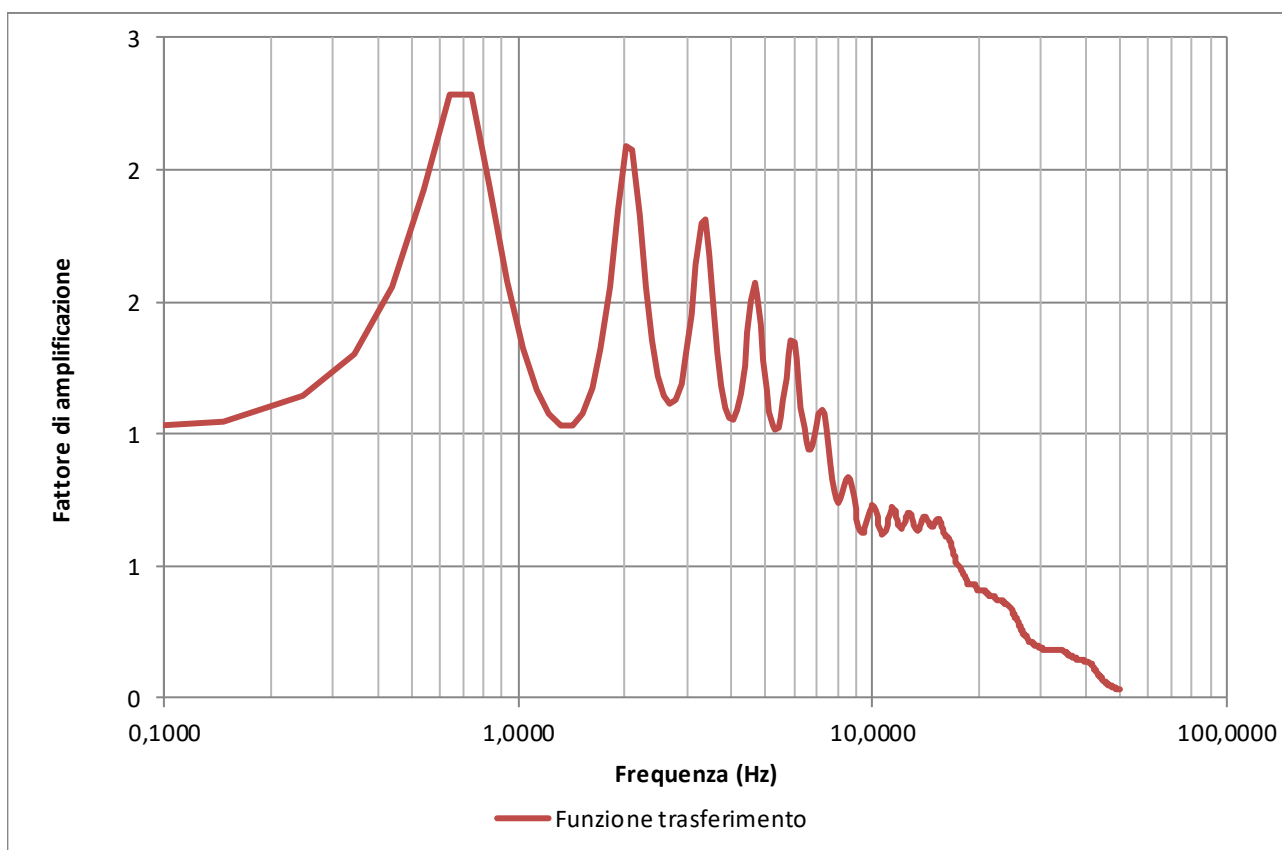


Figura 60 – Funzione di trasferimento – Ponte sul F. Taro

In Figura 61 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato sarebbe classificabile come di tipo C ( $V_{seq} = 218$  m/s). In Figura 62 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

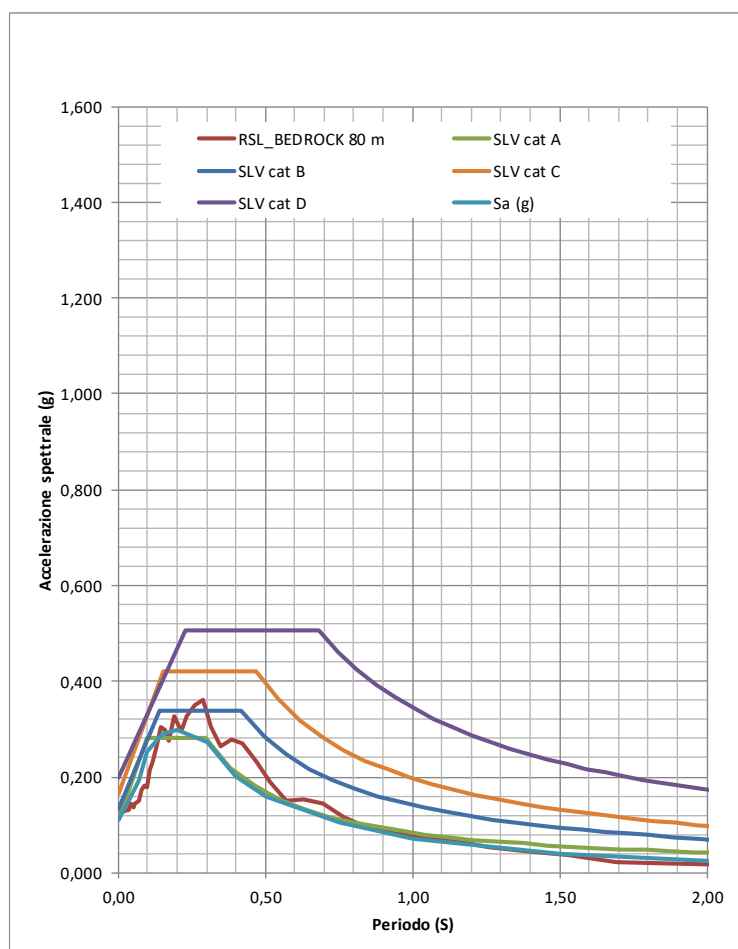


Figura 61 - Spettri di risposta in accelerazione – Ponte sul F. Taro

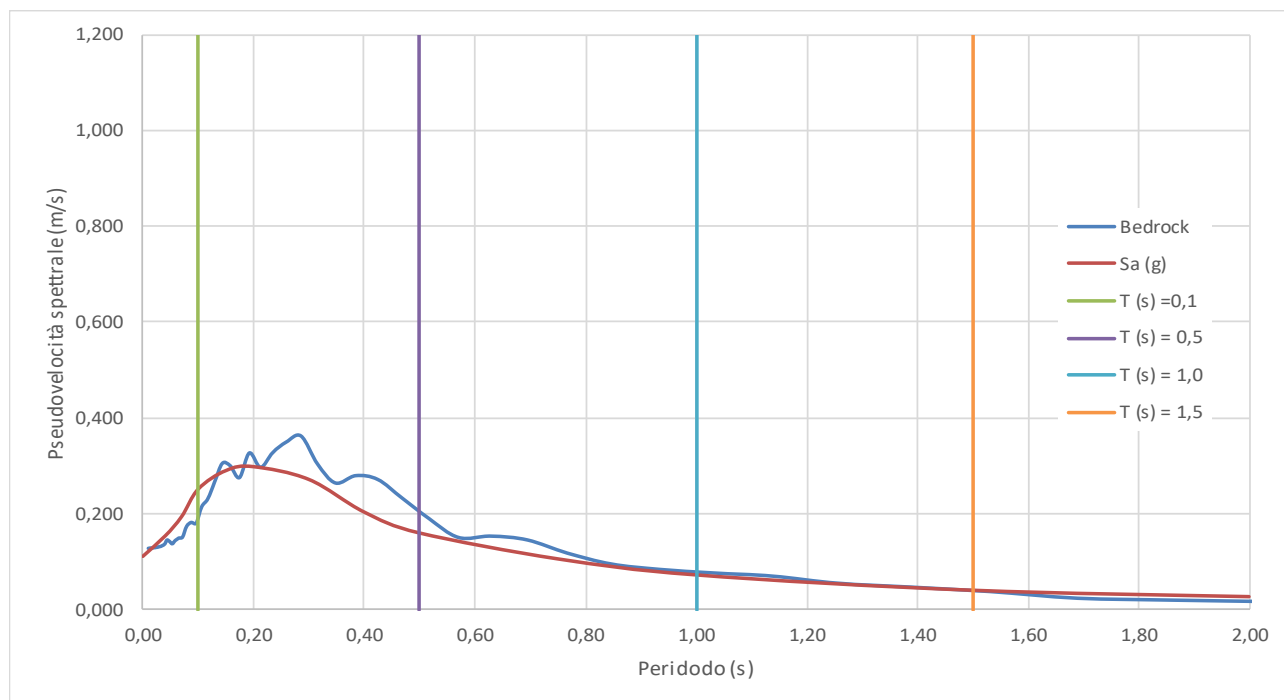


Figura 62 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Ponte sul F. Taro

Infine in Figura 63 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra i depositi argillosi più superficiali e quelli sottostanti.

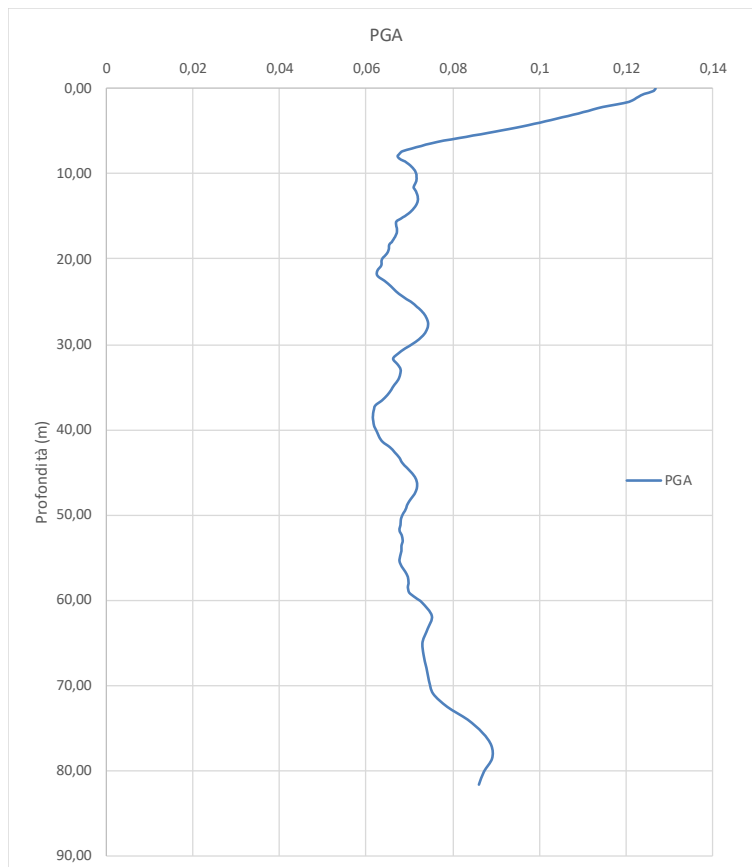


Figura 63 – Andamento di PGA in profondità – Ponte sul F. Taro

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019 e secondo le indicazioni delle N.T.C. 2018.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.15	1.6*
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.21	1.9*
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.13	2.8*
$FA_{IS\ 0,5-1,5}$	1.12	3.1*

\*Tabella margine di tipo B,  $V_{SH}$  200 m/s

### 3.5.13 RSL per Castell'Aicardi

Al fine di soddisfare le specifiche richieste dell'Amministrazione comunale è stata eseguita una verifica di Risposta sismica Locale su tale sito che, essendo stato classificato come Zona Stabile, successione stratigrafica 2001, dallo studio di microzonazione di Livello II, non è stato considerato come sito di approfondimento di Livello III.

Per il sito in questione sono stati utilizzati i seguenti parametri del modello geofisico:

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0.00	0.60	Argilla sabbioso limosa 2	66.00
0.60	0.80	Argilla sabbioso limosa 2	192.00
1.40	2.40	Argilla sabbioso limosa 2	126.00
3.80	3.90	Argilla sabbioso limosa 2	140.00
7.70	1.30	Argilla sabbioso limosa 2	388.00
9.00	2.50	Sabbia	388.00
11.50	Half-Space	Bedrock	550.00

I dati stratigrafici sono stati desunti dalle prove geognostiche e geofisiche effettuate nei pressi dell'area di verifica ed è stato fatto riferimento ai risultati delle indagini pregresse eseguite nei pressi e in particolare alle indagini 034033P172PA172, 034033P183CPTU183 e 034033P141HVS141 e all'indagine specificatamente eseguita 034033L15MASW15 e 034033P200HVS201. Le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW specificatamente.

Il bedrock sismico è stato assunto alla profondità di circa 11.50 m da p.c., in corrispondenza del netto passaggio tra sabbie e ghiaie evidenziato dalla prova CPTu suddetta e confermato dalle altre indagini disponibili.

In Figura 64 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui il più interessante a livello ingegneristico è quello a circa 3 Hz, legato al salto di Vs al passaggio tra la copertura e il substrato sismico. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione legati a salti di Vs all'interno del terreno di copertura. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone rispondenze per il primo picco.

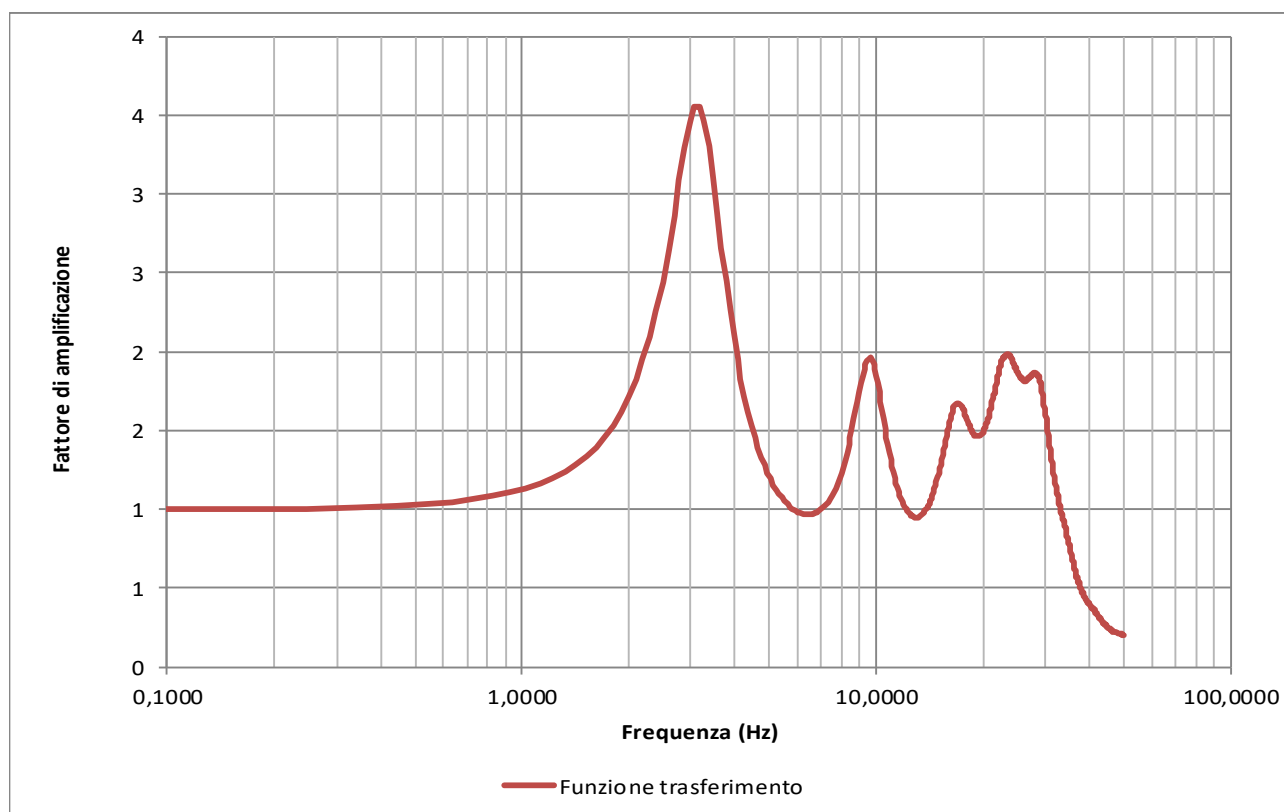


Figura 64 – Funzione di trasferimento – Castell'Aicardi

In Figura 65 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo D ( $V_{s_{eq}} = 172$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,4 s.

In Figura 66 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1s, 0.5s, 1.0s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.



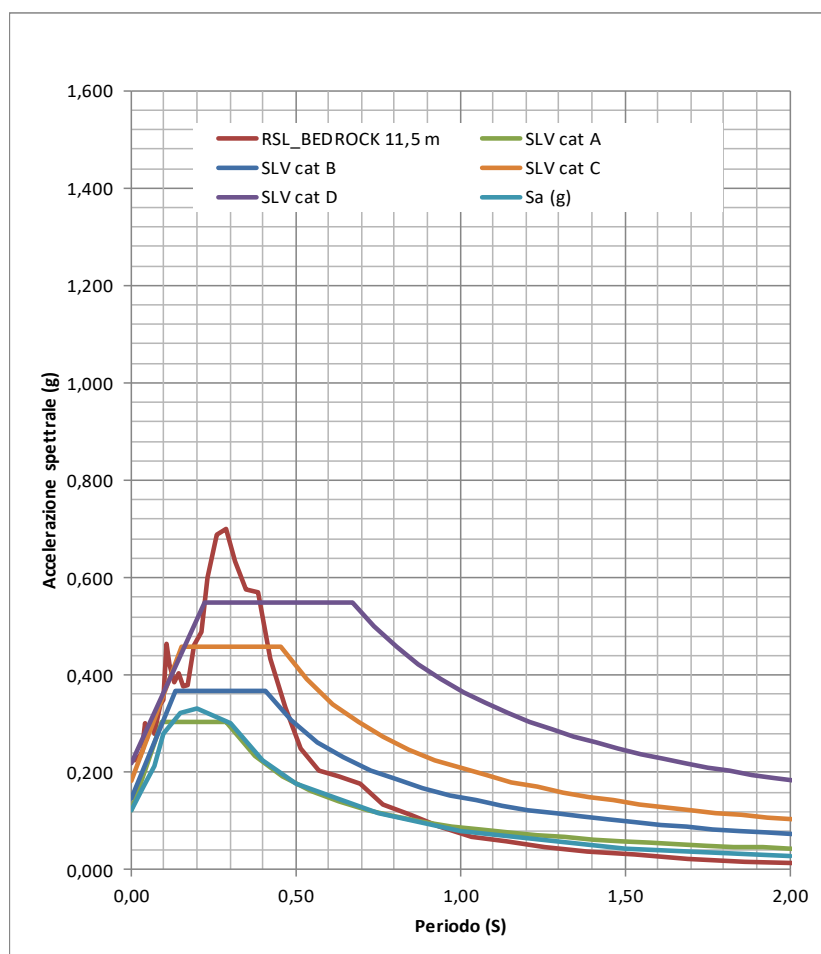


Figura 65 - Spettri di risposta in accelerazione – Castell'Aicardi

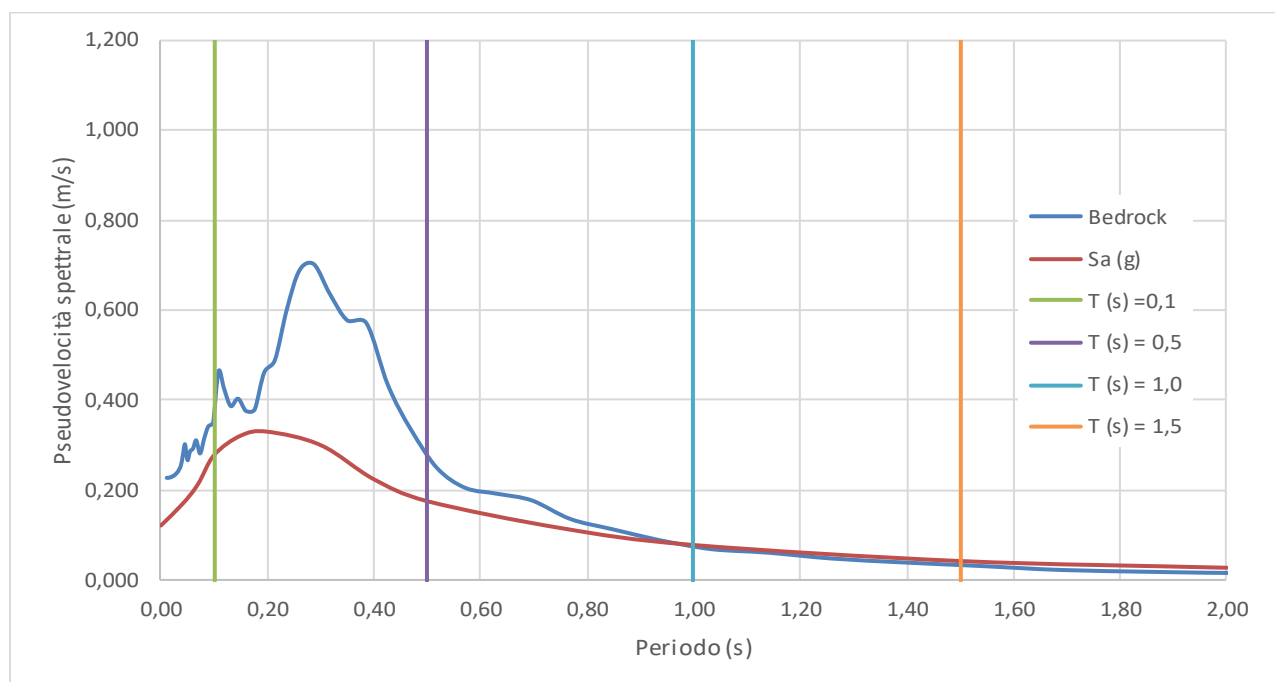


Figura 66 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Castell'Aicardi

Infine in Figura 67 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio tra i depositi argillosi più superficiali e quelli più prettamente sabbiosi e limo-sabbiosi sottostanti.

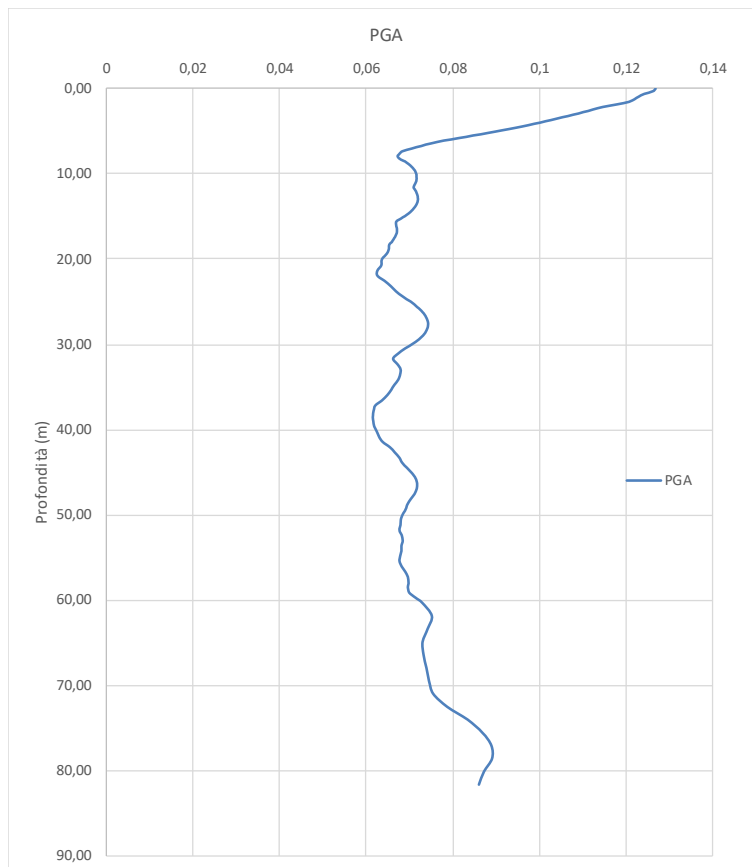


Figura 67 – Andamento di PGA in profondità – Ponte sul F. Taro

Per completezza viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 630/2019.

	RSL	DGR 630/2019
$FA_{PGA}$	1.86	2.2*
$FA_{IS\ 0,1-0,5}$	1.93	2.4*
$FA_{IS\ 0,5-1,0}$	1.23	2.0*
$FA_{IS0,5-1,5}$	1.06	-

\*Tabella margine di tipo A,  $V_{sH}$  200 m/s, spessore 10

### 3.6 Verifica rischio liquefazione

Il rischio di liquefazione è stato valutato in corrispondenza di 14 verticali d'indagine corrispondenti ad altrettante prove  $CPT_U$  in parte disponibili dallo studio di microzonazione di II Livello ed in parte eseguite dallo scrivente per lo specifico scopo di approfondimento di III Livello. Le verticali di verifica a liquefazione sono riproposte nelle seguenti figure (Figura 68 e Figura 69).

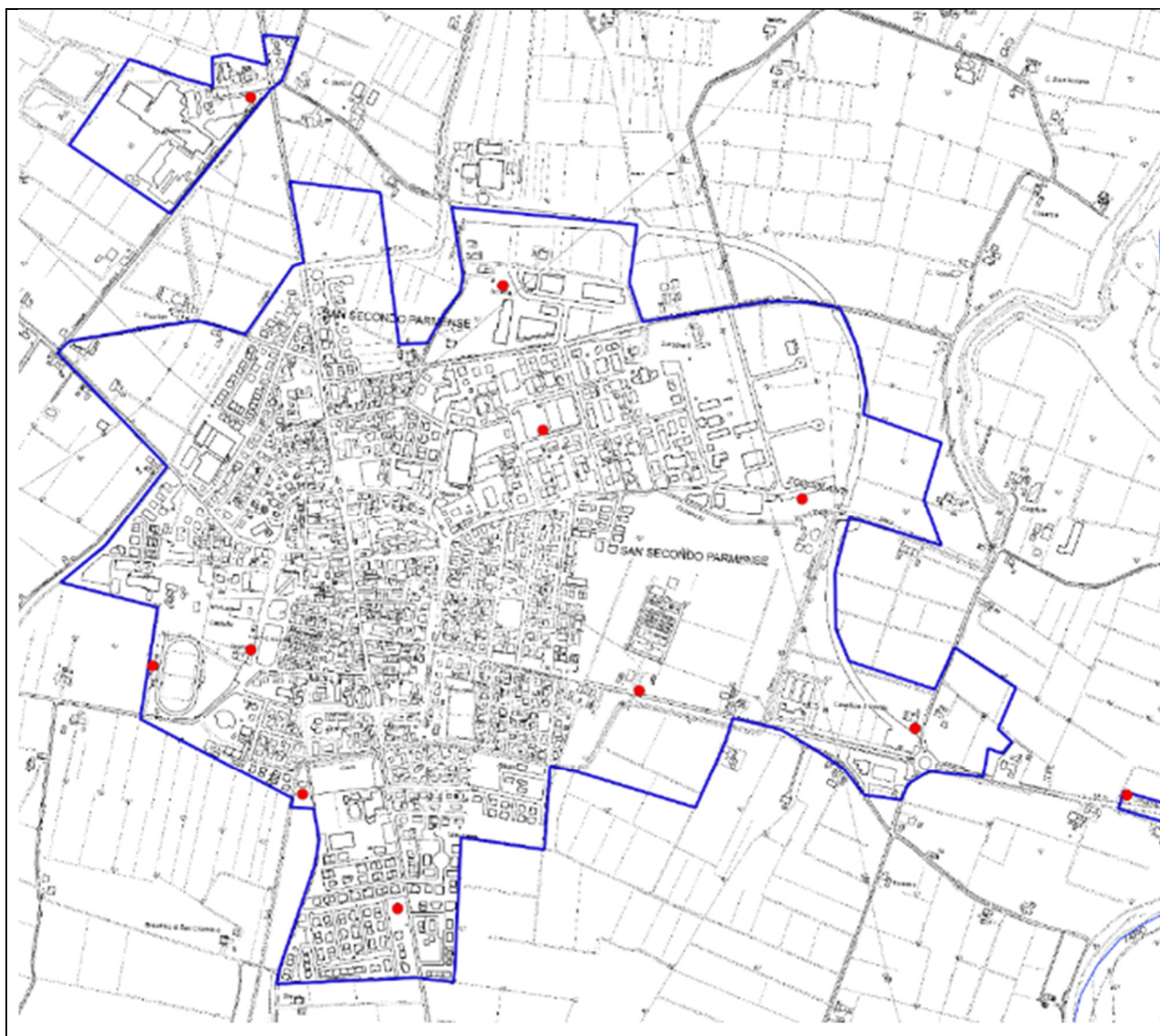


Figura 68 – Ubicazioni indagini utilizzate per verifica a liquefazione indagini presso San Secondo centro, San Secondo La Fornace e San Secondo Ponte sul F. Taro (figura non in scala)

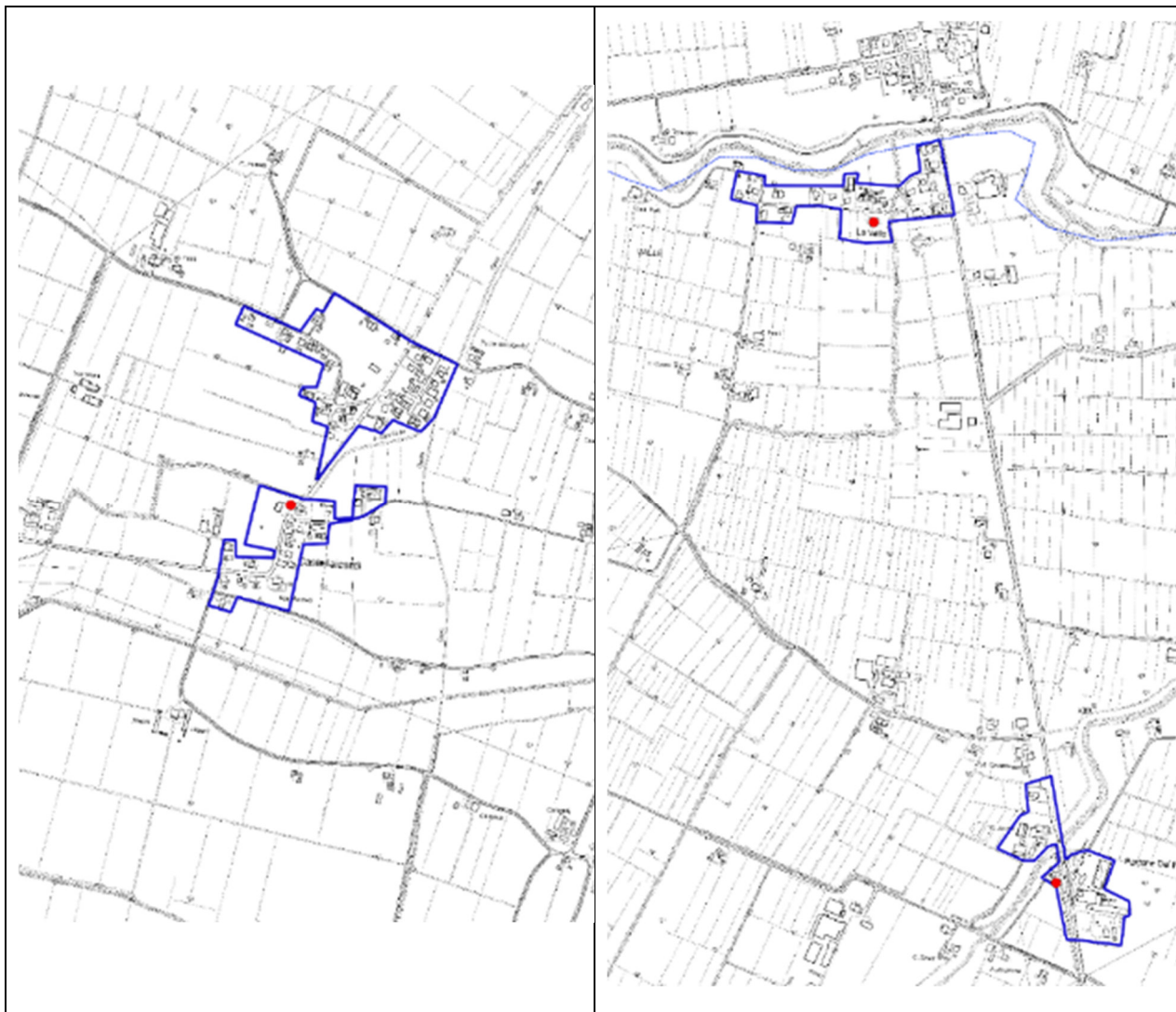


Figura 69- Ubicazioni indagini utilizzate per verifica a liquefazione indagini presso Castell'Aicardi, Pizzo La Valle e Portone del Pizzo (figura non in scala)

Nei depositi limosi e sabbiosi non consolidati e saturi di acqua, lo scuotimento sismico può causare il trasferimento della pressione dai contatti fra i granuli del sedimento all'acqua interstiziale. Quando un simile deposito si trova confinato tra due strati impermeabili, la pressione dell'acqua cresce sino ad un punto critico sorpassato il quale annulla la pressione tra i granuli e tutto il deposito (sedimento più acqua) si comporta come un fluido ovvero si liquefa.

Per liquefazione pertanto si intende un processo d'incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da  $CPT_u$  mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI di Iwasaki et al. (1982). Le prove  $CPT_u$  sono preferibili per la migliore

ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI (Liquefaction Potential Index ovvero  $I_L$  = Indice di Liquefazione) è un parametro di sintesi che, mediante un valore numerico compreso tra 0 e 100, quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica, della profondità, dello spessore e del valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per ogni verticale deve pertanto essere valutato l'indice del potenziale di liquefazione LPI/ $I_L$  secondo le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

LPI / $I_L$ = 0.00 - Liquefaction risk nul
LPI / $I_L$ between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low
LPI / $I_L$ between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate
LPI / $I_L$ between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI / $I_L$ > 15.00 - Liquefaction risk very high

Tabella 2 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo Sonmez

L'indice del potenziale di liquefazione è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

In cui

- $z_{crit}$  indica la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie (si assume  $z_{crit} = 20$  m);
- $F(z)$  è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità  $0 \leq z \leq z_{crit}$  in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL;
- $w(z)$  è un fattore di peso della profondità.

In pratica il rischio di liquefazione tiene conto del fattore di sicurezza calcolato strato per strato, ma ne valuta la significatività su tutto lo spessore del deposito.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

dove

$CRR_{7.5}$  = Rapporto di resistenza ciclica per  $M = 7.5$  (Cyclic Resistance Ratio);

MSF = Fattore di scala della magnitudo (Magnitude Scale Factor)

$K_\sigma$  = Fattore di correzione per la pressione di confinamento;

CSR = Fattore di tensione ciclica (Cyclic Stress Ratio).

Le verifiche sono state eseguite utilizzando sia il metodo NCEER (modificato da prof. Robertson, 2009) sia il metodo di Idriss & Boulanger (2014) grazie al programma CLIQ della Geologimiki partendo dai dati derivanti dalle prove  $CPT_U$  eseguite o disponibili.

Le valutazioni dei dati al fine della valutazione delle ZSLQ è stato fatto riferimento al metodo di Idriss & Boulanger (2014).

Per le verifiche oltre ai dati suddetti occorre fornire la massima magnitudo attesa al sito che è stata assunta pari a 5.85 in base a quanto definito dallo studio di microzonazione di II Livello (Pag. 32 dell'Elaborato "Migliorie").

Inoltre il programma richiede anche il valore dell'accelerazione di picco che verrà utilizzata per il calcolo di CRR. Per tale valore è stato utilizzato il valore di PGA derivante da Strata in corrispondenza dello strato potenzialmente liquefacibile. Tale valore è stato definito in via cautelativa pari a 0.12.

In ultimo nelle verifiche, sempre a titolo cautelativo, è stato assunto un livello di falda in occasione di terremoto a 1 m da p.c.

### **3.6.1 Analisi dei risultati delle verifiche**

Per ciascuna verifica effettuata è stato prodotto un report che contiene sia i grafici interpretativi della prova  $CPT_U$  considerata (resistenze penetrometriche, litologia, ecc.), sia i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare (Figura 70):

- il confronto tra CSR e CCR;
- la variazione del fattore di sicurezza con la profondità;
- la cumulata del valore di LPI con la profondità.



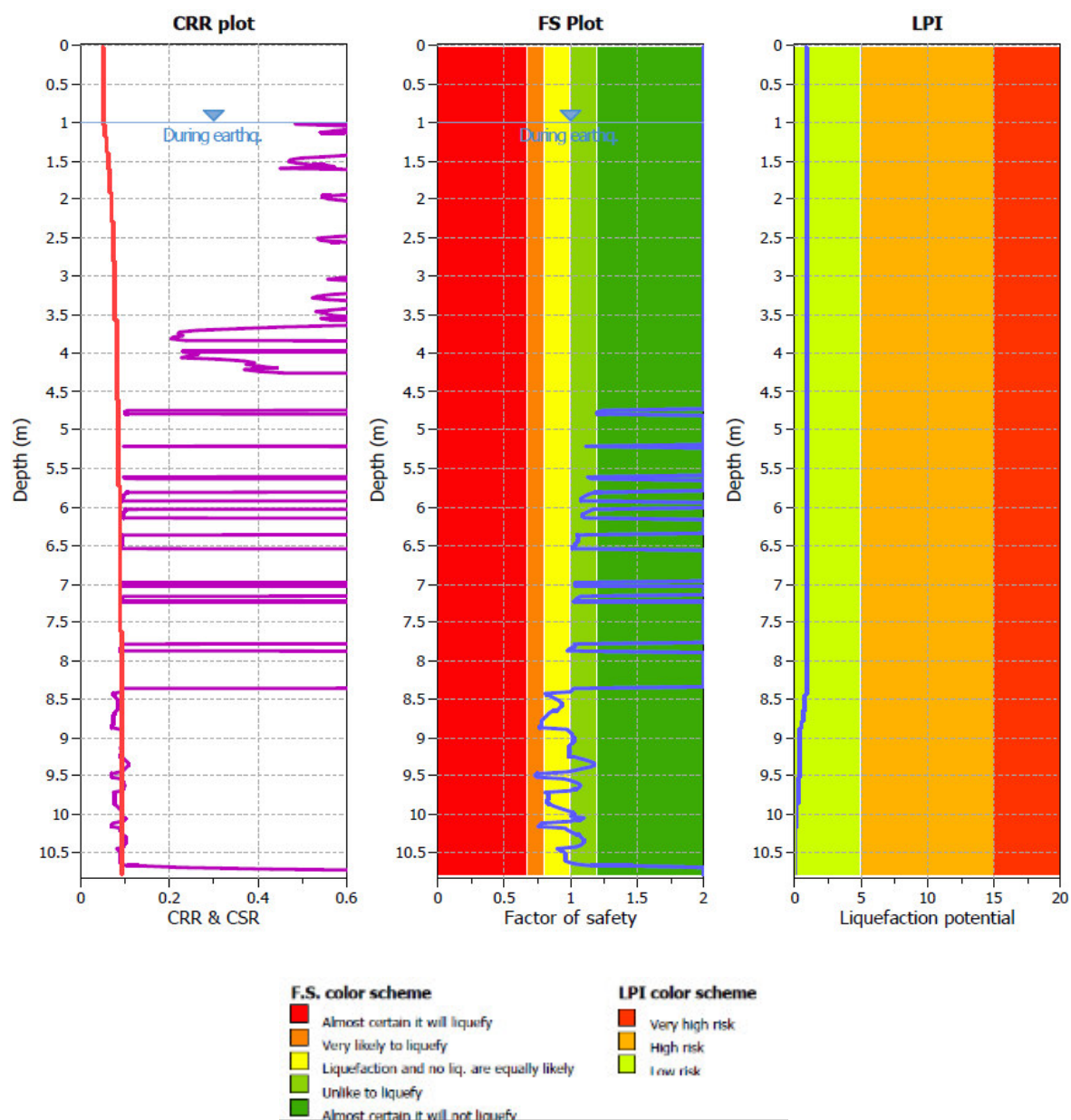


Figura 70 – Esempio grafici relativi alle verifiche a liquefazione

In sintesi il rischio di liquefazione risulta o nullo o basso ad eccezione della zona più orientale dell’abitato in località “Zoccolanti” in cui il valore di LPI, calcolato secondo la procedura di Idriss & Boulanger, eccede di poco il valore limite di 2.0 e di conseguenza il livello di rischio si alza a moderato, come risulta dalla seguente tabella in cui vengono rappresentati i valori di LPI calcolati mediante i due metodi suddetti (Tabella 3).

Su un totale di n. 14 prove, n.7 presentano un indice LPI molto basso compreso tra 0.013 e 0.585, n. 1 presenta un indice di LPI pari a 1.139 quindi ricadono all’interno della categoria “rischio di liquefazione basso”, un solo valore presenta un valore di LPI leggermente superiore a 2.0 (LPI = 2.062) e pertanto ricade

all'interno della categoria "rischio moderato" mentre le rimanenti n. 6 hanno indice pari a 0 corrispondente a "rischio nullo".

Località		Codice prova	Robertson 2009		Idriss & Boulanger 2014	
			LPI	Livello rischio	LPI	Livello rischio
San Secondo centro	Sede comunale	034033P187SCPT193	0,087	Basso	0,031	Basso
San Secondo centro	Stadio	034033P185SCPTU185	0,202	Basso	0,585	Basso
San Secondo centro	Elisoccorso	034033P196CPTU197	0,577	Basso	1,139	Basso
San Secondo centro	Campo sportivo Via Bellini	034033P184CPTU184	0,025	Basso	0,072	Basso
San Secondo centro	Viale Partigiani d'Italia	034033P194CPTU195	0,000	Nulla	0,000	Nulla
San Secondo centro	ITIS	034033P207CPTU208	0,012	Basso	0,030	Basso
San Secondo centro	Isoletta	034033P204CPTU205	0,002	Basso	0,000	Nulla
San Secondo est	Zoccolanti	034033P205CPTU206	0,447	Basso	2,062	Moderato
San Secondo est	Rotonda Sigma	034033P206CPTU207	0,000	Nulla	0,013	Basso
Pizzo Portone		034033P182CPTU182	0,000	Nulla	0,000	Nulla
Pizzo La Valle		034033P181CPTU181	0,000	Nulla	0,000	Nulla
San Secondo nord-ovest	La Fornace	034033P203CPTU204	0,000	Nulla	0,016	Basso
San Secondo P.te sul Taro		034033P186CPTU186	0,000	Nulla	0,000	Nulla
Castell'Aicardi		034033P195CPTU196	0,000	Nulla	0,033	Basso

Tabella 3 – Valori di LPI

Le verifiche effettuate consentono di escludere il rischio di liquefazione nel territorio indagato, ad eccezione del territorio più orientale, corrispondente alla località Zoccolanti / rotonda Sigma sebbene il valore di LPI sia di poco superiore al valore limite ( $LPI_{\text{zoccolanti}} = 2.062$  contro  $LPI_{\text{limite}} = 2.000$ ).

Tuttavia ciò non esclude la possibilità che su verticali diverse si possano ottenere fattori di rischio più elevati. Permane, pertanto, l'obbligo di verifica a liquefazione in fase di progettazione, come previsto delle NTC



#### 4 ELABORATI CARTOGRAFICI

Lo studio di microzonazione di III Livello ha prodotto l'aggiornamento e la nuova redazione delle seguenti carte:

Num.	Elaborato	Scala
1	Carta delle Indagini	1:10.000
2	Carta geologico-tecnica	1:10.000
3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:5.000
4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:5.000
6a	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
6b	Carta di microzonazione sismica FA-SI0105	1:5.000
6c	Carta di microzonazione sismica FA-SI0510	1:5.000
6d	Carta di microzonazione sismica FA-SI0515	1:5.000
6e	Carta di microzonazione sismica FA-SA0105	1:5.000
6f	Carta di microzonazione sismica FA-SA0408	1:5.000
6g	Carta di microzonazione sismica FA-SA0711	1:5.000
6h	Carta di microzonazione sismica FA-SA0515	1:5.000
6i	Carta di microzonazione sismica FA H <sub>MS</sub>	1:5.000
6l	Carta di microzonazione sismica FA-H0408	1:5.000
6m	Carta di microzonazione sismica FA-H0711	1:5.000
6n	Carta di microzonazione sismica FA-H0515	1:5.000

## 4.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini è riportata l'ubicazione e l'indicazione della tipologia di tutte le indagini geognostiche inserite nel database geognostico a corredo dello studio. Tale elaborato, pertanto, è da intendersi come l'aggiornamento dell'elaborato redatto per lo studio di microzonazione di II Livello con le indagini eseguite

Nella Carta delle indagini sono riportate le ubicazioni di tutte le indagini geognostiche inserite nel database geognostico a corredo dello studio.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello con le indagini eseguite per l'approfondimento di III livello.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia come riportato nella legenda riportata (Figura 71):

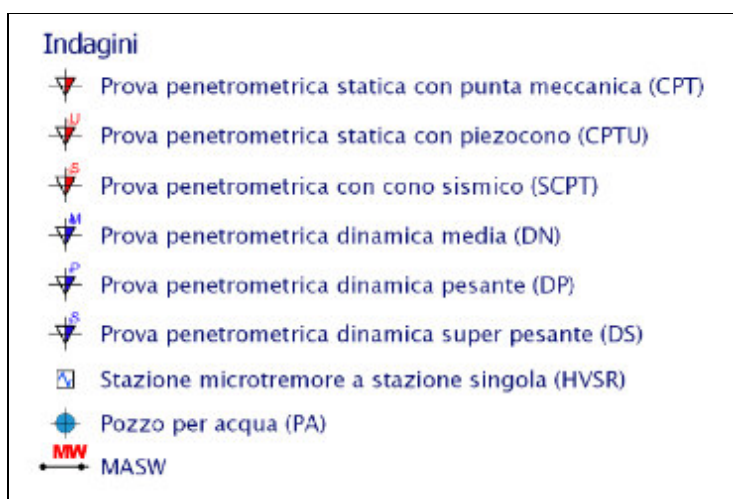


Figura 71 – Legenda della Carta delle Indagini

Nella seguente Tabella 4 sono riportati numero e tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca eseguita presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale, riprese dal database del Servizio Geologico regionale o eseguite per lo specifico scopo del presente studio.

<b>TIPO PROVA</b>	<b>Presenti in DB II Livello</b>	<b>Eseguite per III Livello</b>	<b>Totale</b>
<i>Prova penetrometrica statica CPT</i>	101		101
<i>Prova penetrometrica con piezocono CPTU</i>	7	8	15
<i>Prova penetrometrica con cono sismico SCPTU</i>	1		1
<i>Prova penetrometrica dinamica DN</i>	2		2
<i>Prova Penetrometrica dinamica DP</i>	1		1
<i>Prova penetrometrica dinamica DS</i>	1		1
<i>Pozzo per acqua</i>	26		26
<i>Stazione microtremore a stazione singola</i>	53	6	59
<i>Prova MASW</i>	10	6	16

Tabella 4 – Indagini geognostiche di riferimento sul territorio comunale

#### 4.2 Carta geologico-tecnica

La Carta geologico tecnica rappresenta l'aggiornamento dell'elaborato relativo alla microzonazione di II Livello solo relativamente agli elementi idrogeologici con indicazione della profondità della falda in aree con sabbie e/o ghiaie in seguito ai nuovi dati derivati dall'esecuzione delle indagini CPTU eseguite allo specifico scopo del presente studio. I nuovi dati hanno confermato il quadro idrogeologico precedentemente definito.

#### 4.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Tale elaborato è stato aggiornato sulla base dei risultati delle nuove indagini eseguite.

Sulla base di quest'ultimi, l'area dell'abitato di San Secondo che rientrava nella zona 2003 è stata suddivisa in due parti, ritenendo che la parte più orientale corrispondente alla zona Zoccolanti/rotonda Sigma presenti caratteristiche litostratigrafiche più rispondenti alla zona 2004.

Rimangono confermate le colonne litostratigrafiche rappresentative delle singole microzone che vengono riproposte sinteticamente nella seguente Figura 72.

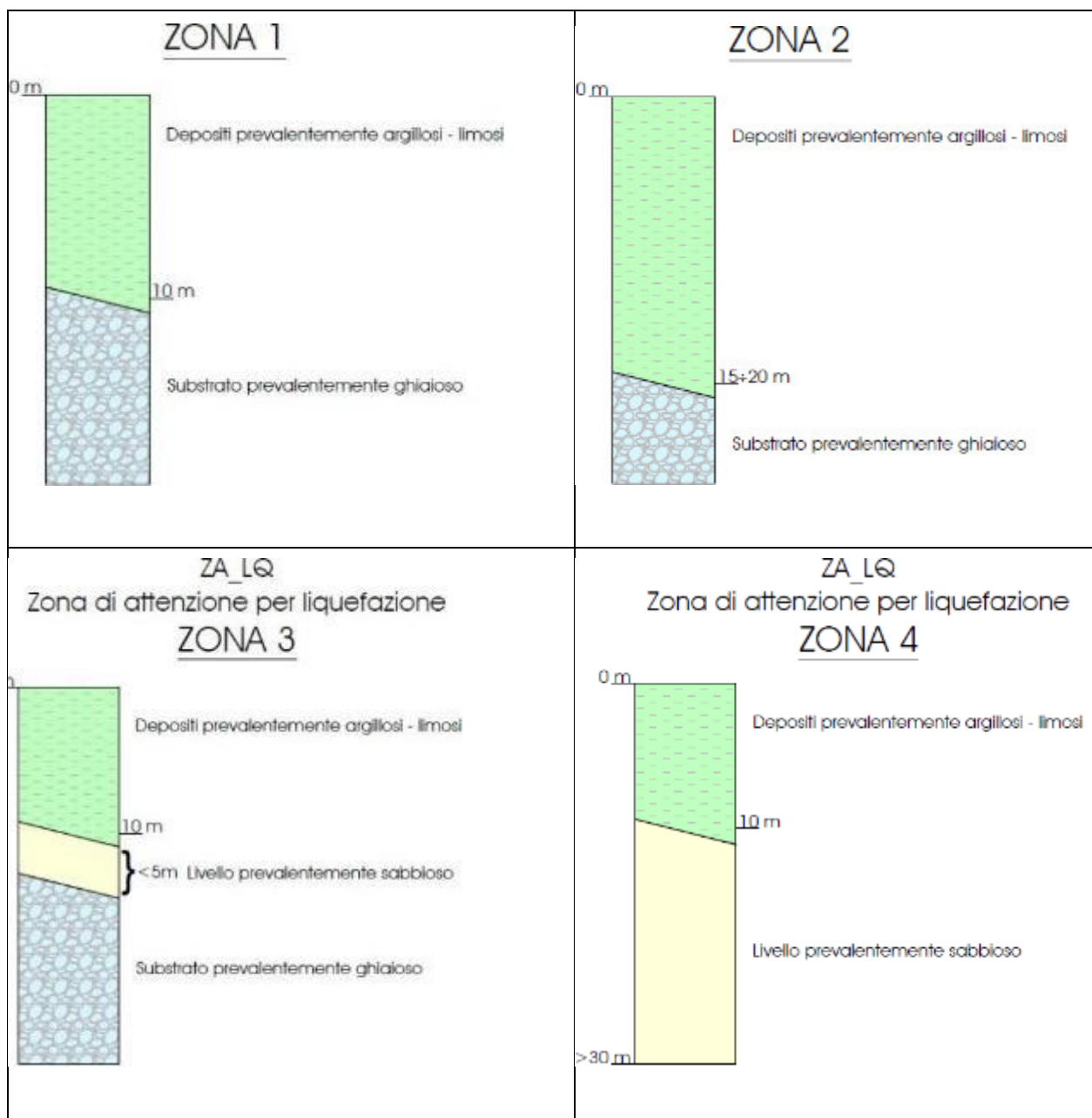


Figura 72 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone

#### 4.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base dei risultati di tutte le indagini tromografiche disponibili, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, che costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

Nell'elaborato cartografico sono stati riportati tutti i punti di misura (n. 59), con associati i risultati delle singole prove. Sono stati, quindi, indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza

fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, un secondo picco significativo meno evidente del primo (frequenza secondaria).

Non sono stati inseriti i picchi con frequenze alte di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici di riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 0.6$  Hz
- $0.6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un alto contrasto di impedenza ( $H/V > 3$ ) o da più bassi contrasti di impedenza (ampiezza  $H/V \leq 3$ ), come mostra la seguente figura (Figura 73).

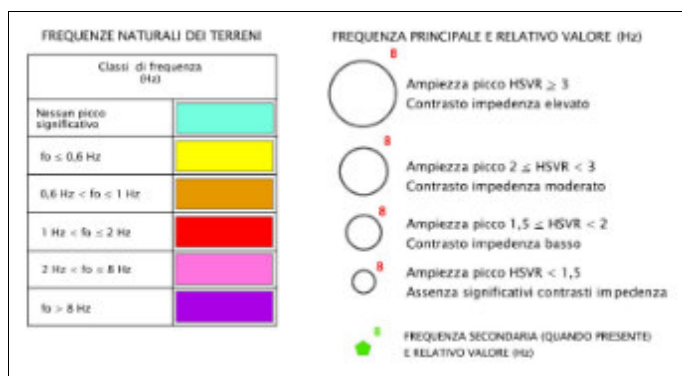


Figura 73 – Legenda della Carta delle Frequenze naturali dei terreni

#### 4.5 Carta delle velocità delle onde di taglio

Tale elaborato rappresenta l'aggiornamento dell'Elaborato del II Livello sulla base delle indagini geofisiche realizzate allo specifico scopo di integrare le informazioni disponibili dove carenti.

Così come già illustrato al cap. 2.2, sono state realizzate, nelle aree oggetto di approfondimento di III Livello, n. 6 prove MASW ed altrettante prove tomografiche HVSr che hanno confermato, integrandolo, il quadro già elaborato nel secondo livello.

E' stata, pertanto, redatta la Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) dove sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata e indicando il corrispondente valore di  $V_{s,eq}$  dove:

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

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

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

$N$  numero di strati;

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

Per i depositi con profondità  $H$  del substrato minore di 30 m allora:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*)

$V_{s,i}$  = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*);

Per i depositi con profondità del substrato maggiore di 30 m, allora:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);

$V_{s,i}$  = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

Il valore di  $V_{s30}$  è stata indicata per le indagini effettuate all'interno delle zone in cui il contrasto di velocità più significativo è stato assunto a profondità superiore ai 30 m, mentre, per tutte le zone, in cui è stato rinvenuto un forte salto delle onde di taglio a profondità inferiore a 30 m, è stata riportata la  $V_{sH}$ .

Segue pertanto tabella dove sono indicati i risultati a cui si è giunti limitatamente alle aree oggetto di studio.

NOME	Località	MOPS	VS	
			Vs30	VsH
034033P120HVS120	Capoluogo	3		234
034033P146HVS146	Capoluogo	3		225
034033P121HVS121	Capoluogo	3		180
034033P122HVS122	Capoluogo	3		200
034033P123HVS123	Capoluogo	3		135
034033P124HVS124	Capoluogo	3		136
034033P125HVS125	Capoluogo	3		206
034033P149HVS149	Madonna della Neve	2		173
034033P126HVS126	Capoluogo	3		139
034033P127HVS127	Capoluogo	3		135
034033P128HVS128	Capoluogo	3		144
034033P129HVS129	Capoluogo	3		189
034033P188HVS188	Capoluogo, Ponte sul Taro	2		220
034033P130HVS130	Capoluogo	3		150
034033P131HVS131	Capoluogo	3		133
034033P189HVS189	Capoluogo	1		221
034033P132HVS132	Capoluogo	1		180
034033P151HVS151	Capoluogo	1		143
034033P133HVS133	Capoluogo	1		178
034033P147HVS147	Capoluogo	1		155
034033P135HVS135	Capoluogo	1		180
034033P148HVS148	Capoluogo	1		185
034033P134HVS134	Capoluogo	3		200

Nome	Località	MOPS	VS	
			Vs30	VsH
034033P152HVS152	Capoluogo	3		150
034033P191HVS191	Capoluogo	3		186
034033P153HVS153	Capoluogo	3		200
034033P136HVS136	La Valle	4	291	
034033P137HVS137	La Valle	4	296	
034033P190HVS190	Portone del Pizzo	4	263	
034033P193HVS194	Portone del Pizzo	4	226	
034033P150HVS150	Capoluogo, Fornace	4	193	
034033P138HVS138	Capoluogo	3		120
034033P139HVS139	Capoluogo	1		170
034033P140HVS140	Capoluogo	1		170
034033P141HVS141	Castell'Aicardi	1		148
034033P142HVS142	Castell'Aicardi	1		160
034033P143HVS143	Castell'Aicardi	1		120
034033P144HVS144	Capoluogo	3		182
034033P192HVS192	Capoluogo	3		166
034033P145HVS145	Capoluogo	3		184
034033P107HVS107	Capoluogo	3		137
034033P108HVS108	Case Pizzo		182	
034033P109HVS109	Capoluogo	3		207
034033P110HVS110	Castell'Aicardi	1		192
034033P111HVS111	Martorano			209
034033P112HVS112	Castell'Aicardi			451
034033P115HVS115	Castell'Aicardi	1		130
034033P116HVS116	La Valle	4	258	
034033P117HVS117	Capoluogo	3		143
034033P118HVS118	Capoluogo	3		239
034033P119HVS119	Capoluogo	3		174



NOME	Località	MOPS	VS	
			Vs30	VsH
034033L1MASW1	Capoluogo	3		137
034033L2MASW2	Capoluogo	3		207
034033L3MASW3	Capoluogo	3		147
034033L4MASW4	Capoluogo	3		225
034033L10MASW10	Capoluogo	3		235
034033L5MASW5	Capoluogo	3		152
034033L6MASW6	Madonna della Neve	2		245
034033L7MASW7	Gondovina Nuova			231
034033L8MASW8	Capoluogo	3		309
034033L9MASW9	Capoluogo	3		224
034033L11MASW11	Capoluogo	3		217
034033L12MASW12	Capoluogo	3		162
034033L13MASW13	Portone del Pizzo	4	214	
034033L14MASW14	Ponte sul Taro	1	218	
034033L15MASW15	Castell'Aicardi	1		172
034033L16MASW16	Pizzo La Valle	4	199	

I risultati sopraindicati sono stati poi mediati cautelativamente per ogni singola area considerata nello studio di approfondimento in modo da determinare i valori delle velocità delle onde di taglio consentendo di caratterizzare ciascuna MOPS e di calcolare i fattori di amplificazione sismica.

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa di tali valori assunti per la finalità dello studio:

ZONA	$V_{S30}$ (m/s)	$V_{SH}$ (m/s)
Zona 3 (di attenzione per liquefazioni) - San Secondo Centro		200
Zona 3 (di attenzione per liquefazioni) - San Secondo Est	190	
Zona 4 (di attenzione per liquefazioni) in corrispondenza dell'area ex-fornace Giavarini		190
Zona 4 (di attenzione per liquefazioni) a Portone del Pizzo	210	
Zona 4 (di attenzione per liquefazioni) a La Valle	200	

Figura 74 – Tabella riepilogativa delle velocità di taglio  $S$  per il Comune di San Secondo

#### 4.6 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3, in scala 1:5.000, rappresentano gli elaborati grafici conclusivi del presente studio. In esse sono state differenziate:

- le aree oggetto di approfondimenti di terzo livello corrispondenti alle aree che lo studio di microzonazione di II Livello ha evidenziato come Zone di attenzione per instabilità legate alla liquefazione. In esse ricadono l'area di Pizzo La Valle, l'area di Portone del Pizzo, l'area della ex Fornace Giavarini e l'area della maggior parte del centro abitato di San Secondo parmense;
- le aree che il Comune di San Secondo ha indicato come aree strategiche in cui eseguire un approfondimento di Risposta Sismica Locale. Molte di queste aree ricadono già tra le aree indicate al punto precedente e quindi ricadenti tra le aree oggetto di approfondimento di III Livello mentre altre risultano come nuovi siti di approfondimento specifici. E' il caso di Castell'Aicardi (Zona stabile 2001) e Ponte sul F. Taro (Zona stabile 2002).

Per tali aree (Figura 75 e Figura 76) sono state definite gli spettri di risposta per un periodo di 475 anni con smorzamento pari al 5% in termini di:

- rapporto di accelerazione massima orizzontale  $PGA/PGA_0$ ;
- rapporto di velocità al suolo come Intensità di Housner  $SI/Sl_0$  per prefissati intervalli di periodi (0.1-0.5s, 0.5-1.0 s, 0.5-1.5s);
- rapporto di accelerazione al suolo  $A/A_0$  per prefissati intervalli di periodi (0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s, 0.5-1.5s);
- valore di scuotimento atteso al sito  $H_{MS}$  calcolato tra 0.1 e 0.5 s e per gli intervalli di periodo 0.4-0.8s, 0.7-1.1s, 0.5-1.5s.

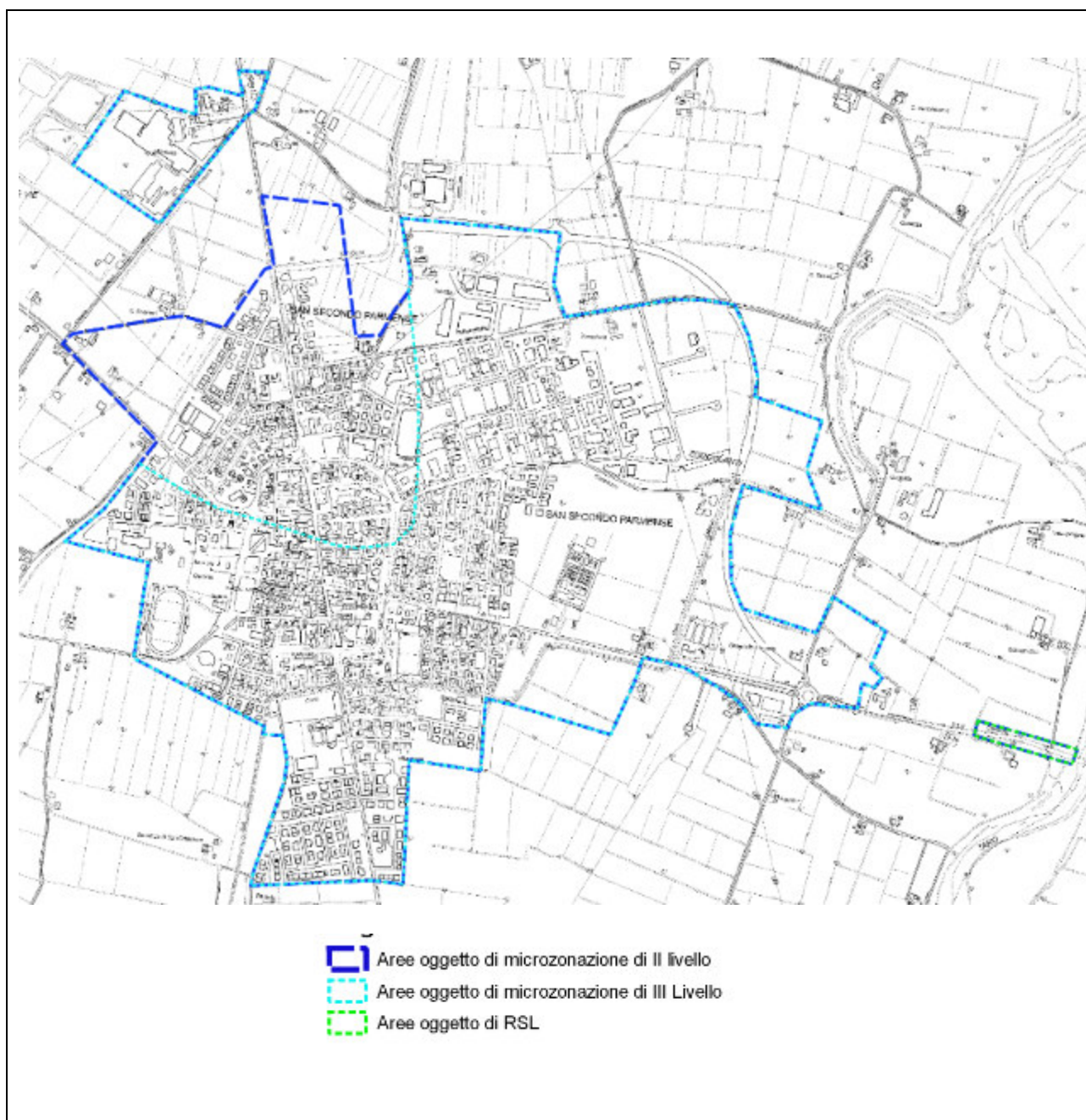


Figura 75 - Ubicazione indagini presso San Secondo centro, San Secondo La Fornace e San Secondo Ponte sul F. Taro

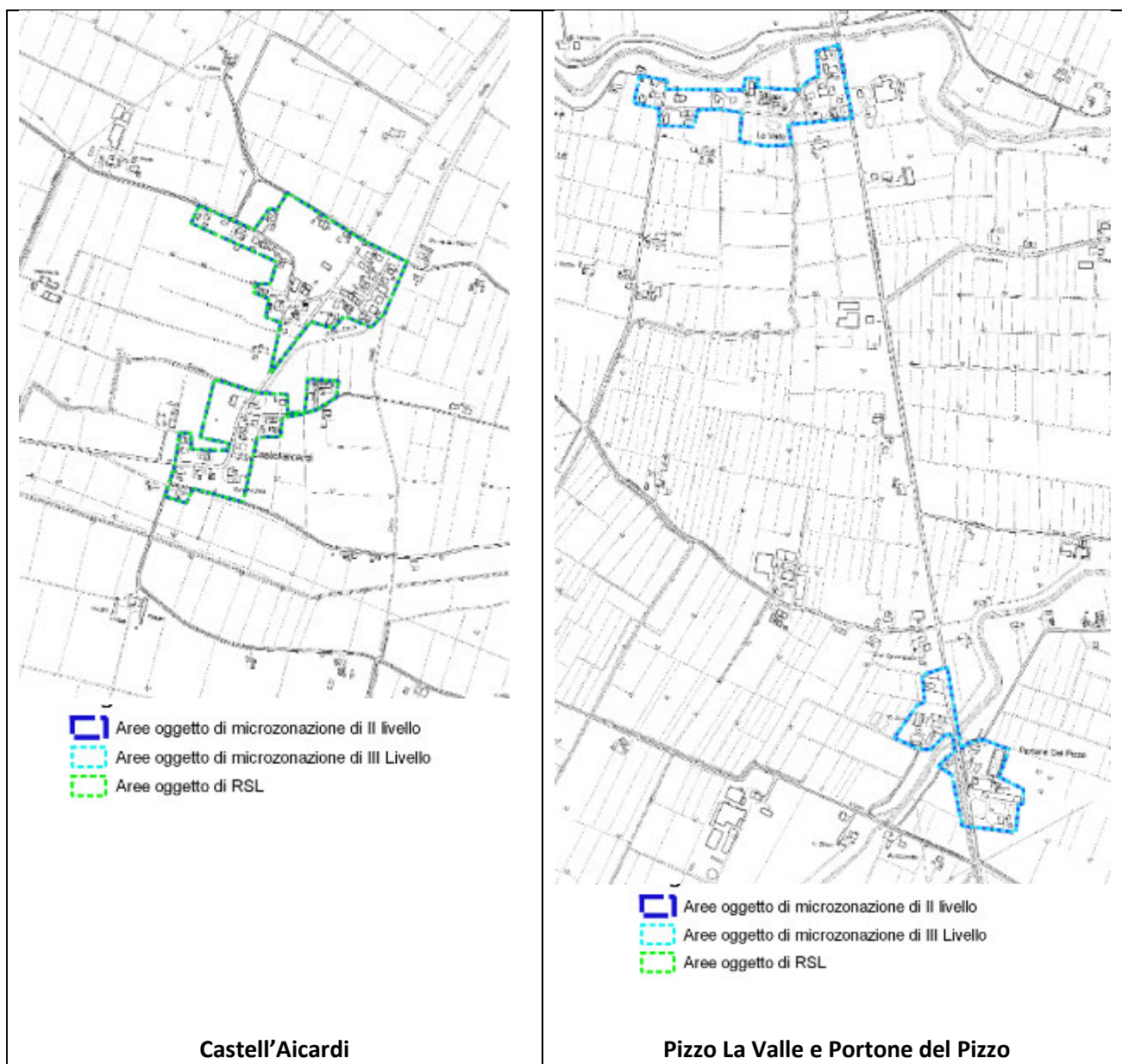


Figura 76 – Ubicazione indagini presso Castell'Aicardi, Pizzo La Valle e Portone del Pizzo Ponte comunale SP 10 per Cremona

Sono pertanto state prodotte le mappe di amplificazioni in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2, SI3, HMS, H0408, H0711 e H0515 per i diversi intervalli di periodi.

Nelle figure seguenti (da Figura 77 a Figura 85) vengono riportate le legende utilizzate per accorpare i parametri di amplificazione delle Zone instabili per le Carte di microzonazione sismica, così come indicato negli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica.

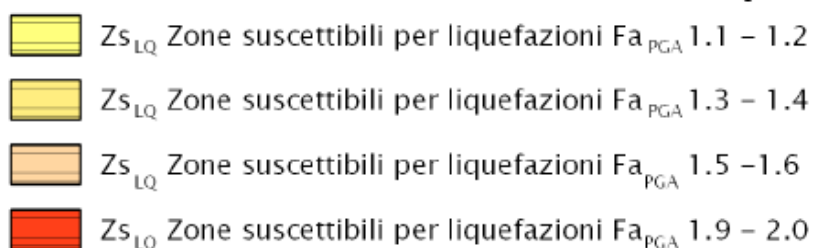


Figura 77 – Legenda Carta di Microzonazione sismica FPGA

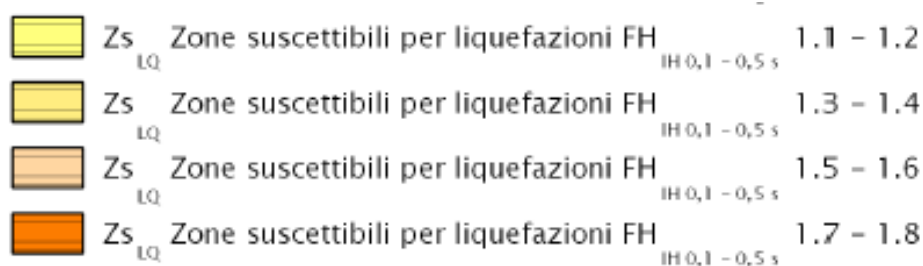


Figura 78 – Legenda Carta di Microzonazione sismica SI (0.1-0.5 s)

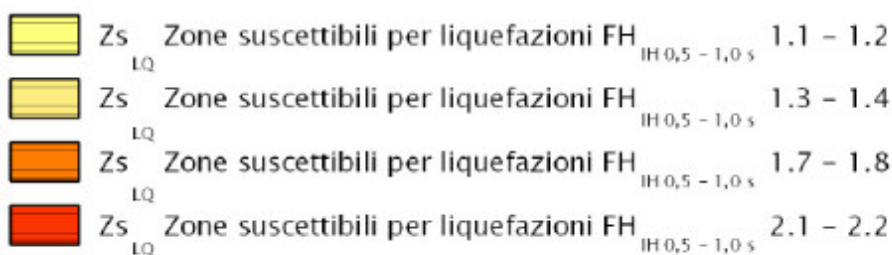


Figura 79 - Legenda Carta di Microzonazione sismica SI (0.5-1.0 s)

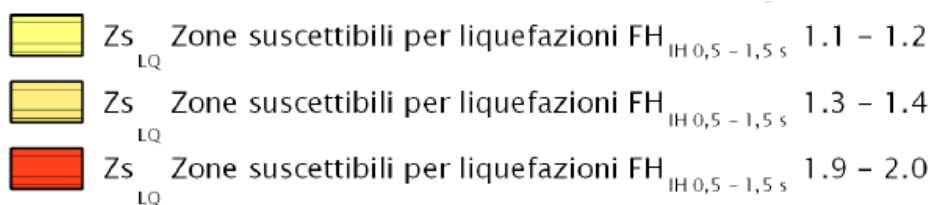


Figura 80 - Legenda Carta di Microzonazione sismica SI (0.5-1.5 s)



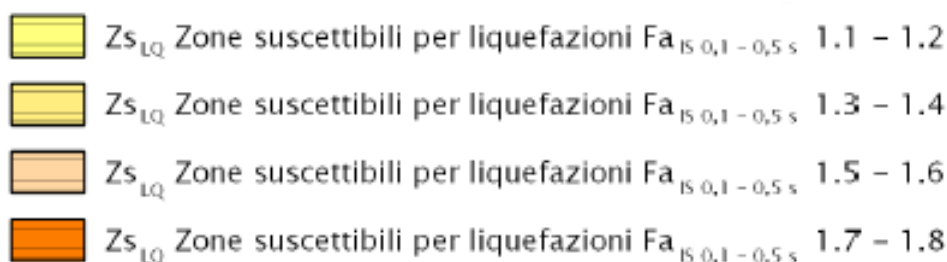


Figura 81 - Legenda Carta di Microzonazione sismica SA (0.1-0.5 s)

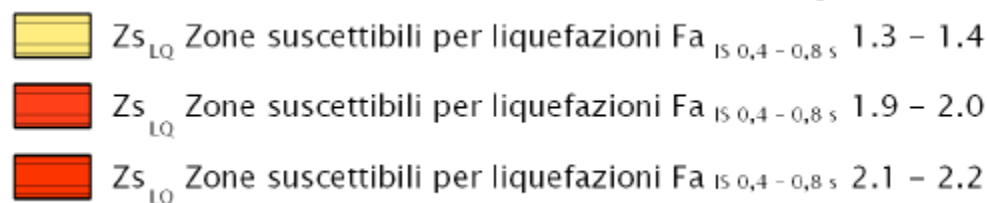


Figura 82 - Legenda Carta di Microzonazione sismica SA (0.4-0.8 s)

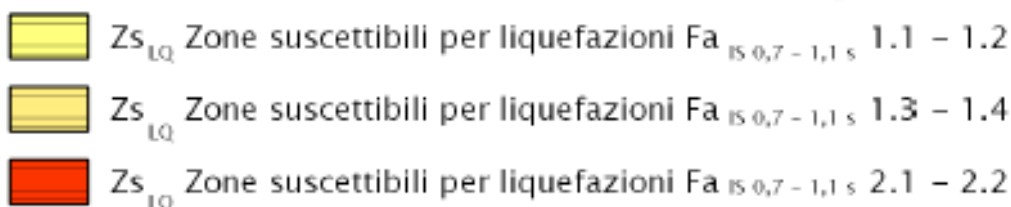


Figura 83 - - Legenda Carta di Microzonazione sismica SA (0.7-1.1 s)

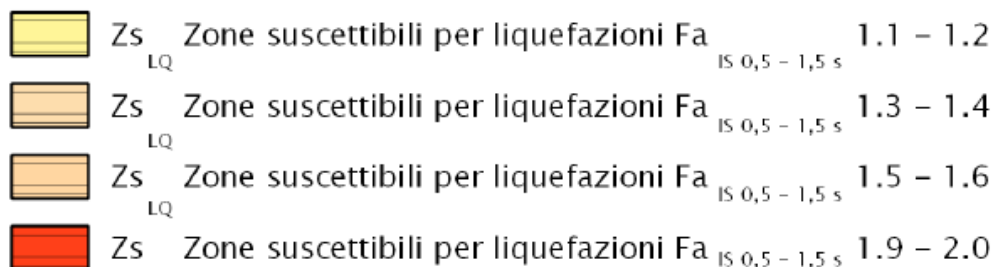
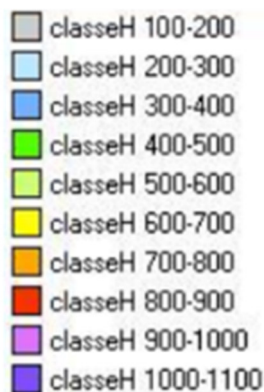


Figura 84 - Legenda Carta di Microzonazione sismica SA (0.5-1.5 s)

Figura 85 - Legenda Carta di Microzonazione sismica  $H_{MS}$ 

Per gli areali oggetto di studio sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella (Tabella 5):

Località		FA PGA	FA SI1 (0,1-0,5s)	FA SI2 (0,5-1,0s)	FA SI3 (0,5-1,5s)	FA SA1 (0,1-0,5s)	FA SA2 (0,4-0,8s)	FA SA3 (0,7-1,1s)	FA SA4 (0,5-1,5s)	$H_{SM}$ (0,1-0,5s)	H (0,4-0,8s)	H (0,7-1,1s)	H (0,5-1,5s)
Microzonazione III Livello	San Secondo centro	1,93	1,89	1,21	1,05	1,84	1,47	1,09	1,12	479	212	81	79
	San Secondo Est	1,92	1,61	2,28	1,90	1,51	2,17	2,21	2,01	368	301	188	162
	San Secondo - La Fornace	1,36	1,41	1,74	1,41	1,34	1,93	1,49	1,54	342	273	129	127
	Portone del Pizzo	1,12	1,13	1,46	1,35	1,07	1,43	1,45	1,38	247	185	115	103
	Pizzo La Valle	1,38	1,35	1,26	1,2	1,34	1,37	1,16	1,24	306	173	90	91
RSL	Castell'Aicardi	1,86	1,93	1,23	1,06	1,83	1,53	1,09	1,13	491	229	100	98
	Ponte sul F. Taro	1,15	1,21	1,13	1,12	1,15	1,25	1,11	1,13	280	169	92	89

Tabella 5 – Valori dei fattori amplificativi attribuiti agli areali di studio

Relativamente alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, come da richiesta dell'Ufficio Geologico, sismico e dei suoli della Regione in seguito all'istruttoria della documentazione tecnica relativa alla prima consegna dello studio, sono stati valutati, sulla base alle tabelle contenute nella DGR 630/2019, i fattori amplificativi HSM, H0408 e H0711 riferito alle zone del Margine di tipo A per le quali non vengono indicati i fattori amplificativi relativi al periodo  $0.5 \text{ s} \leq T \leq 1.5 \text{ s}$ .

I valori così stimati sono stati introdotti tra gli attributi dello shp STAB e rappresentati negli elaborati di consegna.

## 11. BIBLIOGRAFIA

ALBARELLO D., CASTELLARO S. (2011). TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 – 2011, Appendice I e II, pp 50-62

CETRARO FAUSTINO (2014): Modellazione del sottosuolo con la geofisica applicata alle onde di superficie; Epc Libri Editore

COMUNE DI SAN SECONDO PARMENSE: (2018), Studio di microzonazione sismica (secondo livello)

GRUPPO DI LAVORO MS, 2008. "INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. [http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)

GIANCARLO DAL MORO (2012): Onde di superficie in geofisica applicata; Dario Flaccovio Editore

KOTTKE, ALBERT R., AND RATHJE, ELLEN M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

MADIAI C., FACCIORUSSO J. VANNUCCHI G. MARTELLI L. (2012) – in Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia Romagna. RER 2012.

MARCELLINI A., MARTELLI L, TENTO A., DAMINELLI R. - L'amplificazione Sismica Negli "Indirizzi Per Gli Studi Di Microzonazione Sismica In Emilia-Romagna per La Pianificazione Territoriale e Urbanistica" (2009)

MELETTI C. E VALENSISE G. (2004). zonazione sismogenetica zs9-app. 2 al rapporto conclusivo. In: "GRUPPO DI LAVORO MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

NORI & DI MARCANTONIO (2014): Manuale di risposta sismica locale. epc editore

MOLIN D., STUCCHI M. E VALENSISE G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile

SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (2005): Carta geologica d'Italia alla scala 1:50000 – Fogli 199 e 200.

CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze

MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

NUOVA CARTA DEL DISSESTO DELLA PROVINCIA DI PARMA. SEZIONE 200130 "VARSI", alla scala 1:10.000. Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma

REGIONE EMILIA ROMAGNA. – ENI AGIP (1998): Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna.



REGIONE EMILIA ROMAGNA. – UNIVERSITA DI SIENA (2013): ASSETTO TETTONICO E POTENZIALITÀ SISMOGENETICA DELL' APPENNINO TOSCO-EMILIANO E DELLA VAL PADANA.

F. ROCCA FORTE, C. CUCINOTTA (2015): Stima dei Parametri Geotecnici in Geofisica Applicata; Dario Flaccovio Editore.

## 12. ALLEGATI

Num.	Elaborato	Scala
1	Carta delle Indagini	1:10.000
2	Carta geologico-tecnica	1:10.000
3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:5.000
4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:5.000
6a	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
6b	Carta di microzonazione sismica FA-SI0105	1:5.000
6c	Carta di microzonazione sismica FA-SI0510	1:5.000
6d	Carta di microzonazione sismica FA-SI0515	1:5.000
6e	Carta di microzonazione sismica FA-SA0105	1:5.000
6f	Carta di microzonazione sismica FA-SA0408	1:5.000
6g	Carta di microzonazione sismica FA-SA0711	1:5.000
6h	Carta di microzonazione sismica FA-SA0515	1:5.000
6i	Carta di microzonazione sismica FA H <sub>MS</sub>	1:5.000
6l	Carta di microzonazione sismica FA-H0408	1:5.000
6m	Carta di microzonazione sismica FA-H0711	1:5.000
6n	Carta di microzonazione sismica FA-H0515	1:5.000
7	Prove CPTU	
8	Prove MASW+HVSR	
9	Verifiche a liquefazione	