

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 Parma



<p>Regione Emilia-Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small> www.engeo.it</p> <p><u>Direzione tecnica</u> Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti</p> <p><u>Collaboratori</u> Dott. Geol. Matteo Baisi Dott.ssa Alessandra Cantoni Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi</p>	<p>Data Giugno 2018</p> <p style="text-align: center;">MS3</p>
-----------------------------------	--	---



INDICE

1.	Introduzione	4
1.1	Motivazione dello studio di 3° livello	5
1.2	Articolazione dello studio	6
2.	Indagini ed analisi	8
2.1	Sondaggi a carotaggio continuo	9
2.2	Prove di laboratorio	9
2.3	Prove Down-Hole	9
2.4	Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono	12
2.5	Indagine mediante sismocono	15
2.6	Rilievo sismico HVSR mediante tromografo	18
3.	Analisi di risposta sismica locale	19
3.1	Pericolosità sismica di base	20
3.2	Segnali in input	22
3.3	Modello geofisico del sottosuolo	24
3.3.1	Litologia	24
3.3.2	Determinazione della Vs	24
3.3.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G ₀) in funzione della deformazione	26
3.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL	29
3.5	Risultati della modellazione numerica	30
3.5.1	Cyclic stress ratio	34
3.6	RSL nei diversi siti	34
3.6.1	RSL per il sito 034027P929	36
3.6.2	RSL per il sito 034027P930	40
3.6.3	RSL per il sito 034027P931	44
3.6.4	RSL per il sito 034027P932	48
3.6.5	RSL per il sito 034027P933	52
3.6.6	RSL per il sito 034027P965	56
3.6.7	RSL per il sito 034027P966	59
3.6.8	RSL per il sito 034027P986	62
3.6.9	RSL per il sito 034027P984	65
3.6.10	RSL per il sito 034027P985	68
3.6.11	RSL per il sito 034027P987	71
3.6.12	RSL per il sito 034027P988	75
3.6.13	RSL per il sito 034027P967	78
3.6.14	RSL per il sito 034027P968	81
3.6.15	RSL per il sito 034027P969	84
3.6.16	RSL per il sito 034027P970	87
3.6.17	RSL per il sito 034027P971	90
3.6.18	RSL per il sito 034027P973	94

EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	2 di 164



3.6.19	RSL per il sito 034027P974	98
3.6.20	RSL per il sito 034027P975	101
3.6.21	RSL per il sito 034027P989	105
3.6.22	RSL per il sito 034027P976	108
3.6.23	RSL per il sito 034027P977	112
3.6.24	RSL per il sito 034027P979	116
3.6.25	RSL per il sito 034027P980	119
3.6.26	RSL per il sito 034027P981	123
3.6.27	RSL per il sito 034027P982	126
3.6.28	RSL per il sito 034027P983	130
3.6.29	RSL per il sito 034027P972	134
3.7	Verifica del rischio di liquefazione	138
3.7.1	Analisi dei risultati	142
3.8	Criticità del metodo.....	145
3.8.1	Considerazioni sul bedrock sismico	146
4.	Elaborati cartografici.....	151
4.1	Carta delle indagini	152
4.2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	153
4.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	154
4.4	Carta della velocità delle onde di taglio S	157
4.5	Carte di microzonazione sismica	157
5.	Bibliografia	161
6.	Allegati	163



1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica di III livello del Comune di Parma*, effettuato su incarico dell'Amministrazione Comunale (cfr. Determinazione n° DD-2017-2819 del 03/11/2017) e finanziato con determinazione n°12555 del 31/07/2017 del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna).

Lo studio è stato redatto nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- Allegato A2 “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 293/2015 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 14 dicembre 2015” della deliberazione di Giunta regionale n. 573 del 28/04/2016 “O.C.D.P.C. 26 Ottobre 2015, N. 293 - Annualità 2014 - Criteri per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica, di cui all'art. 2, comma 1, lettere A), B) E C). Modalità di concessione e liquidazione dei contributi (da qui in avanti “Allegato A2 della delibera regionale”)
- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica (da qui in avanti “SRAI”)
- “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 (da qui in avanti “ICMS”)
- Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: “Art. 16 della L.R. n° 20 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” (da qui in avanti “indirizzi regionali”).

Quali aree oggetto di studio, d'accordo con l'Amministrazione Comunale è stato preso in esame l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, come concordato con il Comune.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 6.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (*pdf*, con risoluzione 300 *dp*).

I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	4 di 164



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).

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS - SoftMS" nella versione 4.0.1.

1.1 Motivazione dello studio di 3° livello

Il Comune di Parma è già dotato di uno studio di microzonazione sismica di 2° livello, certificato dalla Regione Emilia Romagna, redatto dall'Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Responsabile Scientifico e progettista Dr. Roberto Francese.

Nell'ambito di tale studio, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stata effettuata, tramite le procedure semplificate previste appunto dal 2° livello, una microzonazione con attribuzione di differenti fattori di amplificazione, che hanno lo scopo di consentire una valutazione comparativa della pericolosità sismica.

Tali studi, in estrema sintesi, hanno portato alle seguenti conclusioni:

- nell'intero Comune le accelerazioni e le velocità impresse dai sismi sono amplificate verso la superficie per effetto della struttura stratigrafica del sottosuolo;
- per tutto il territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stata realizzata, tramite procedure semplificate (abachi), una microzonazione con attribuzione di differenti fattori di amplificazione, che hanno lo scopo di consentire una valutazione comparativa della pericolosità sismica;
- Una parte consistente del territorio comunale risulta interessata da rischio di liquefazione per la possibile presenza di lenti sabbiose in falda
- alla luce delle considerazioni esposte al punto precedente, si ritiene opportuno che successivi approfondimenti possano consentire di valutare l'effettiva presenza di ulteriori superfici a rapporto di impedenza elevato e di definirne il ruolo nella RSL; tali indagini, inoltre, potrebbero contribuire a fare chiarezza sull'effettiva posizione del substrato rigido;
- i valori di amplificazione ottenuti col secondo livello di approfondimento risultano cautelativi e portano, quasi certamente, ad una sovrastima del rischio sismico: un'analisi di terzo livello consentirebbe di sostituirli con valori più affidabili derivanti dai risultati di valutazioni della risposta sismica locale.
- La realizzazione di indagini specifiche nelle aree a rischio di liquefazione consentiranno di dare consistenza numerica a tale rischio con la definizione dell' "Indice Potenziale di Liquefazione" LPI.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	5 di 164



Conseguentemente, per migliorare il quadro delle conoscenze locali, si auspicava di poter effettuare, all'interno del territorio comunale, sempre utilizzando il cofinanziamento della Protezione Civile, anche uno studio con approfondimento di terzo livello e poter svolgere delle analisi della risposta sismica locale, in corrispondenza di alcune situazioni stratigrafiche tipo.

1.2 Articolazione dello studio

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

1. individuazione di 7 aree rappresentative delle situazioni più critiche classificate nella fase precedente;
2. realizzazione per due aree di un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 m con prelievo di campioni e realizzazione di prova Down-Hole per la misura in foro delle Vs;
3. realizzazione per le restanti 5 aree di una prova penetrometrica con cono sismico e piezocono fino a rifiuto per la misura in foro delle Vs ed utilizzate anche per le verifiche a liquefazione;
4. realizzazione di 23 prove penetrometriche CPTU, spinte fino alla profondità di 20 m per le verifiche a liquefazione;
5. realizzazione di sette prove HVSR per la determinazione della frequenza caratteristica del terreno in corrispondenza delle sette indagini precedenti;
6. realizzazione di prove di colonna risonante sui campioni prelevati nei sondaggi per la determinazione delle curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G_0) in funzione della deformazione;
7. raccolta di ulteriori dati disponibili presso il Comune di Parma relativi a:
 - a. Prove Down-hole;
 - b. Prove SCPT;
 - c. Prove per la determinazione delle curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G_0) in funzione della deformazione;
 - d. Prove CPTU (per le verifiche a liquefazione)
8. Aggiornamento delle cartografie di primo livello con dati delle nuove indagini:
 - a. Carta delle indagini
 - b. Carta delle frequenze naturali dei terreni;
 - c. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS);
 - d. Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)
9. valutazione della risposta sismica locale in 29 siti in cui si riteneva di poter disporre di sufficienti dati per la definizione del modello geofisico del sottosuolo. L'elaborazione della RSL è stata realizzata mediante il

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	6 di 164



programma Strata che calcola la risposta dinamica monodimensionale 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;

10. 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;
11. calcolo del fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FA_{IS}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s.
12. Verifiche a liquefazione su 34 verticali;
13. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 per i diversi FA:
 - a. FA_{PGA}
 - b. $FA_{IS\ 0.1-0.5\ s}$
 - c. $FA_{IS\ 0.5-1.0\ s}$
 - d. $FA_{IS\ 0.5-1.5\ s}$

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	7 di 164



2. INDAGINI ED ANALISI

Di seguito vengono descritte le indagini e le analisi specifiche effettuate per la microzonazione di 3° livello, rappresentate graficamente in Fig. 1.

Le aree di indagine sono state individuate, in accordo con i Tecnici del Comune, principalmente sulla base degli studi di secondo livello.



Fig. 1 - Stralcio ubicazione indagini effettuate per l'analisi di III livello

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	8 di 164



2.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Nella campagna d'indagine sono stati eseguiti, da parte della ditta Elletipi s.r.l. di Ferrara, due sondaggi verticali a carotaggio continuo (DH1-034027P965 e DH2-034027P966) entrambi spinti a una profondità di 30 metri dal piano campagna.

Entrambi i sondaggi sono stati attrezzati con un tubo in PVC per l'esecuzione della prova Down-Hole.

Nell'indagine è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione dei carotieri semplici. Nel corso delle operazioni di perforazione sono stati prelevati un totale di n°2 campioni indisturbati (usando campionatori in acciaio a pareti sottili "Shelby") successivamente inviati al Laboratorio Elletipi srl per le analisi.

Nelle litostratigrafie allegare sono riportate:

- le suddivisioni stratigrafiche con relative quote e le descrizioni litologiche effettuate direttamente in campagna con metodi speditivi;
- le quote di prelievo dei campioni indisturbati;
- la determinazione speditiva di campagna dei valori di pocket penetrometer, espressi in kPa;
- la determinazione speditiva di campagna dei valori di torvane, espressi in kPa;
- il livello di falda misurato durante l'esecuzione della perforazione.

2.2 Prove di laboratorio

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati inviati al Laboratorio Elletipi srl di Ferrara per le analisi geotecniche.

Per ogni campione prelevato sono state eseguite le seguenti prove:

- Descrizione geotecnica;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg;
- Determinazione delle caratteristiche granulometriche;
- Determinazione del peso di volume
- Determinazione dell'umidità naturale.

Inoltre, sui due campioni indisturbati sono state eseguite n° 2 prove in colonna risonante per la determinazione dei parametri G/G_0 e D.

I risultati delle prove di laboratorio sono riportati in allegato (Elaborato 12) e descritti nel paragrafo 3.3.1.

2.3 Prove Down-Hole

Per misurare la velocità delle onde S nel terreno sono state eseguite due indagini sismiche tipo Down-Hole.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	9 di 164



A tale scopo i sondaggi, al termine della perforazione, sono stati attrezzati con un tubo in PVC del diametro di 3 pollici. Tale tubo è stato reso solidale con il terreno mediante cementazione con boiaccia di cemento iniettato mediante pompa a bassa pressione.

Una volta che il cemento ha fatto presa, si è proceduto all'esecuzione della prova sismica del tipo Down-Hole.

La prova Down-Hole è stata eseguita con cadenza delle misure pari ad un metro, dal p.c. fino a fondo sondaggio, ad una profondità di 30 metri, utilizzando il sismografo digitale DoReMi della Sara Eletronic Instruments collegato ad un geofono da foro tridimensionale Sara SS-BH con 5 canali di cui uno verticale e quattro orizzontali da 10 Hz.

Gli impulsi sismici sono stati originati con procedure specifiche in modo da generare, oltre alle onde di compressione (Onde P), anche onde a componente di taglio orizzontale (onde SH), essendo queste utilizzabili per la determinazione del Modulo dinamico G_0 e del Modulo di Young E .

Le prove sismiche Down-Hole, sono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z).

Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio elettromeccanico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m).

Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungono il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

L'analisi interpretativa dei dati prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

L'interpretazione dei dati così acquisiti consente di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde sia di pressione che di taglio in funzione della profondità.

In Fig. 2 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle sole onde S.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	10 di 164

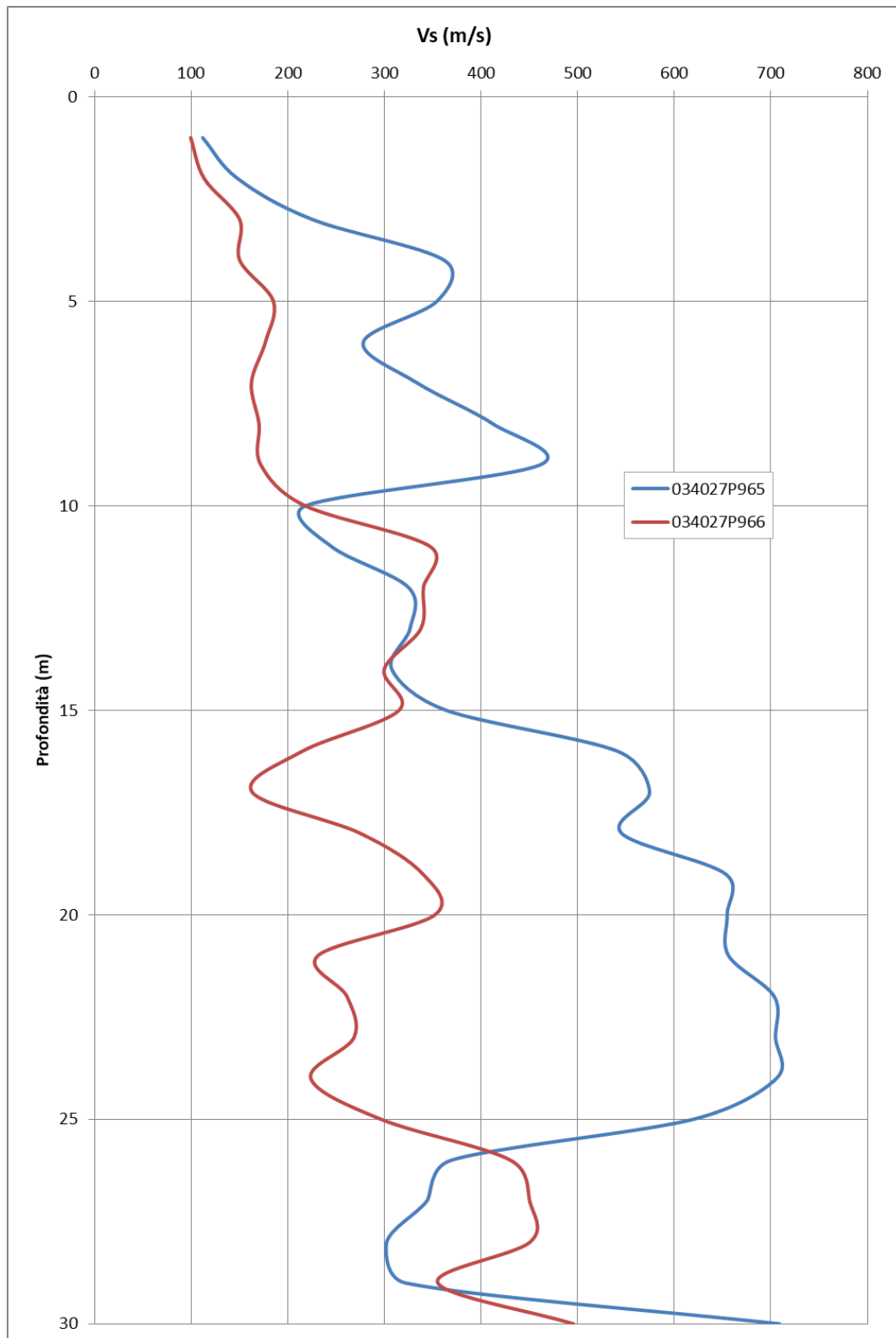


Fig. 2 - Valori di Vs in funzione della profondità misurati con le due prove Down-Hole

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	11 di 164



2.4 Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono

Nella campagna d'indagine, inoltre, sono state eseguite da parte della ditta Elletipi s.r.l. di Ferrara, n°28 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono, cinque delle quali attrezzate con cono sismico (cfr. paragrafo 2.5). Le indagini sono state eseguite utilizzando un penetrometro GeoMill da 200 kN di spinta massima con punta Tecnopenta G1-CPL2IN, montato su autocarro Mercedes Unimog 4 X 4.

Ciascuna prova è consistita nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale, e da un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici e successivamente elaborati.

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono $\phi = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono $B = 60^\circ$

Nei diagrammi e nelle tabelle riportati in All. 1 sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- q_c (MPa) = resistenza alla punta (conica);
- f_s (kPa) = resistenza laterale (manicotto);
- U (kPa) = pressione dei pori (setto poroso);

I parametri sopra descritti sono rilevati ad intervalli regolari di 2 cm.

In Fig. 3 e in Fig. 4 sono riportati, a titolo esemplificativo, i grafici che rappresentano le variazioni della resistenza alla punta (R_p) e della resistenza laterale (F_s) con la profondità relativi a 10 prove penetrometriche distribuite nelle diverse MOPS.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	12 di 164

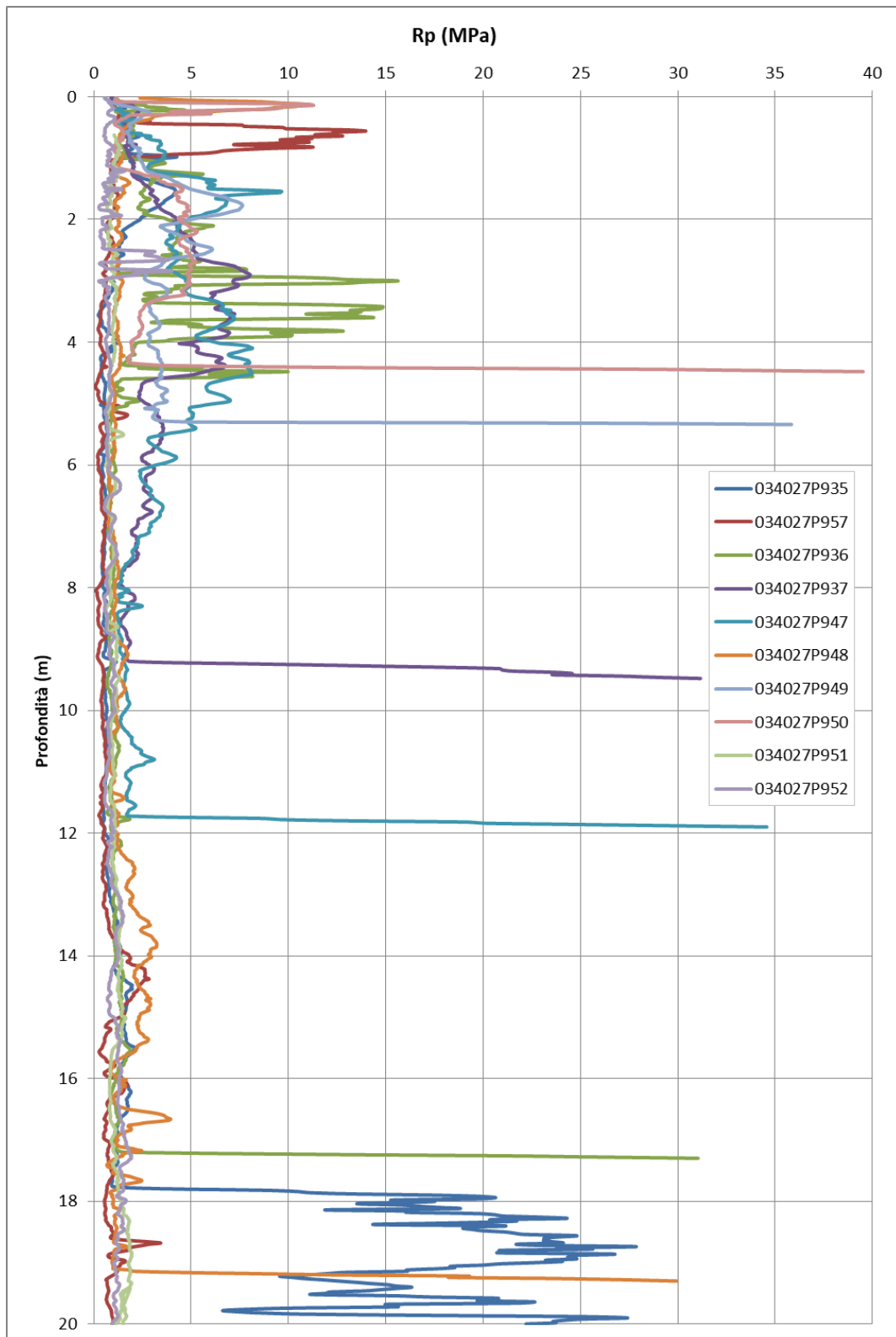


Fig. 3 - Rappresentazione grafica della resistenza alla punta (Rp) con la profondità

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	13 di 164

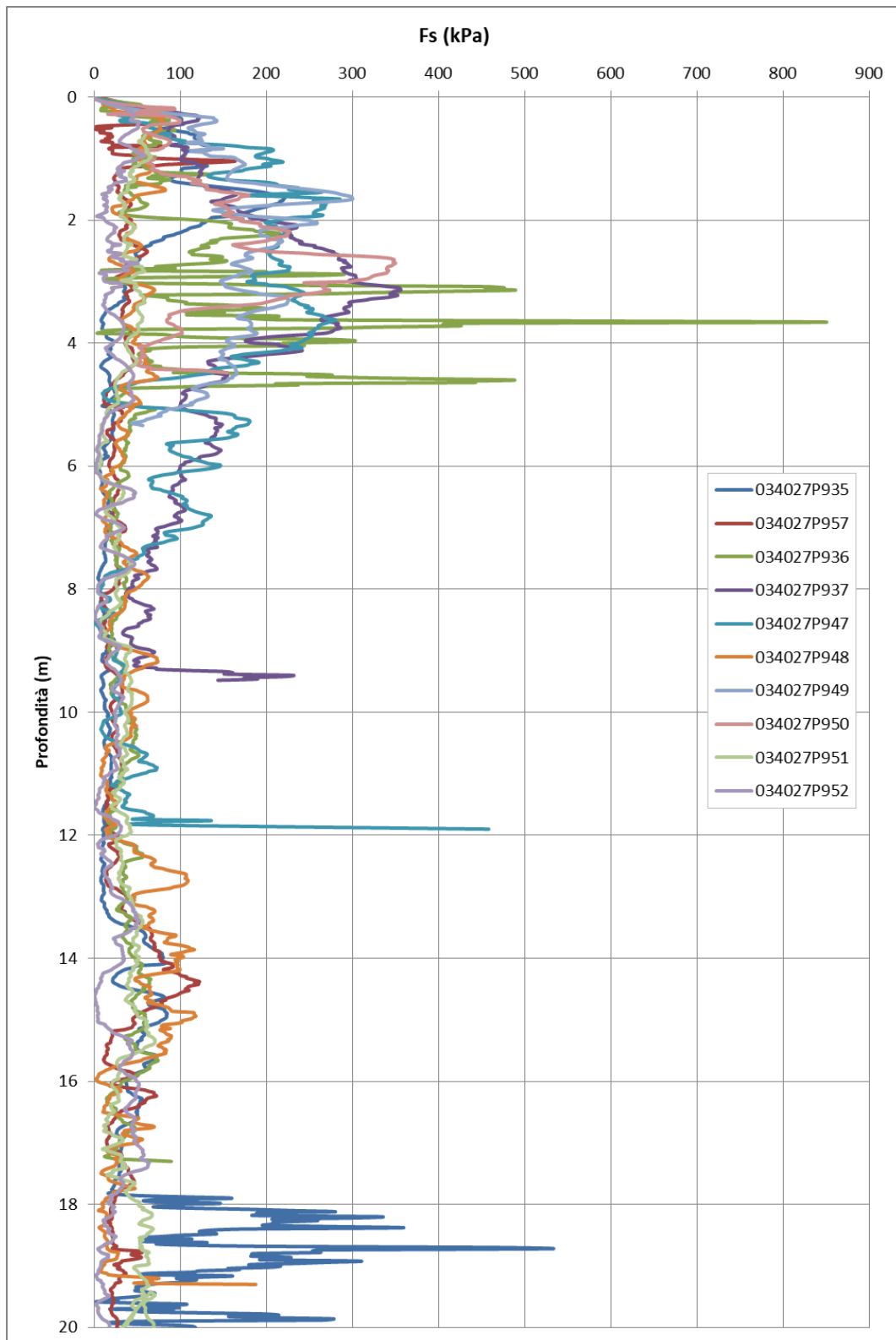


Fig. 4 - Rappresentazione grafica della resistenza laterale (Fs) con la profondità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	14 di 164



2.5 Indagine mediante sismocono

Per verificare le caratteristiche sismiche dei terreni sono state realizzate n°5 prove mediante cono sismico eseguite durante la realizzazione delle prove penetrometriche (denominate 034027P929, 034027P930, 043027P931, 043027P932, 043027P932 e 043027P933), attrezzando lo strumento con una punta con piezocono e geofoni.

Oltre ai normali parametri della prova CPTU registrati ogni 2 cm, nella prova con sismocono, ad ogni metro di profondità, viene sospesa l'infissione, e, a piano campagna, vengono generate delle onde di taglio (onde S) percuotendo orizzontalmente, con una mazza, una trave vincolata al terreno, per avere un sismogramma con una prevalente fase S.

Tramite sensori sismici, presenti all'interno della punta penetrometrica, e adeguato acquirente dinamico, è possibile rilevare e registrare i segnali prodotti in superficie e, di conseguenza, determinare i tempi necessari alle onde S per percorrere il tratto da piano campagna fino alla profondità a cui si trova il geofono (tempi di arrivo).

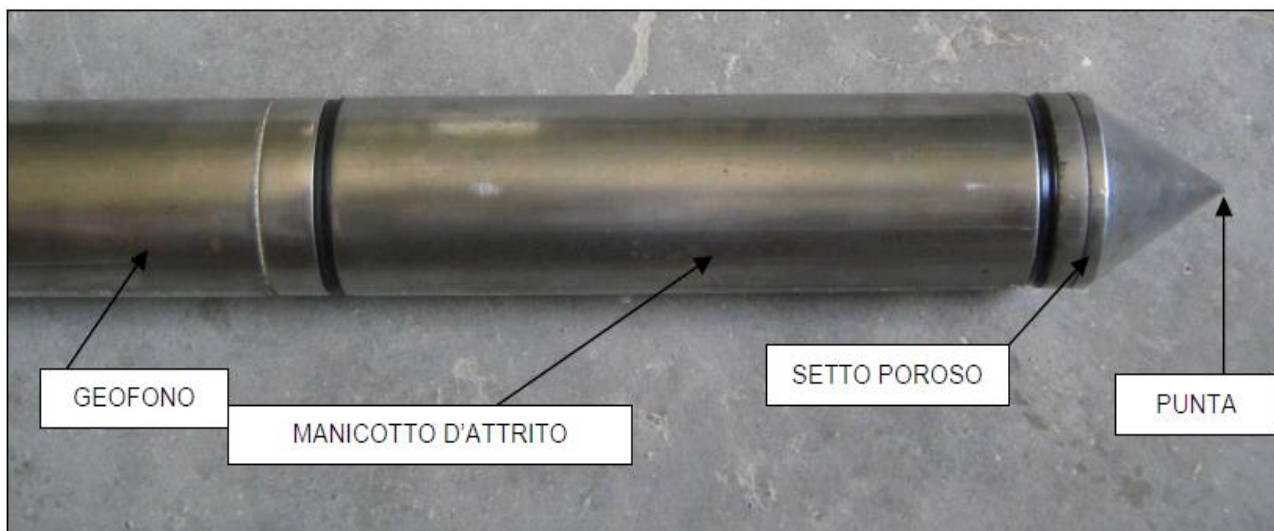


Fig. 5 - Punta del penetrometro elettrico e sismocono

Attraverso il rapporto distanza/tempo di percorrenza, è possibile determinare, direttamente e con grande precisione, le velocità delle onde S, caratterizzando i vari strati di terreno attraversati.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	15 di 164

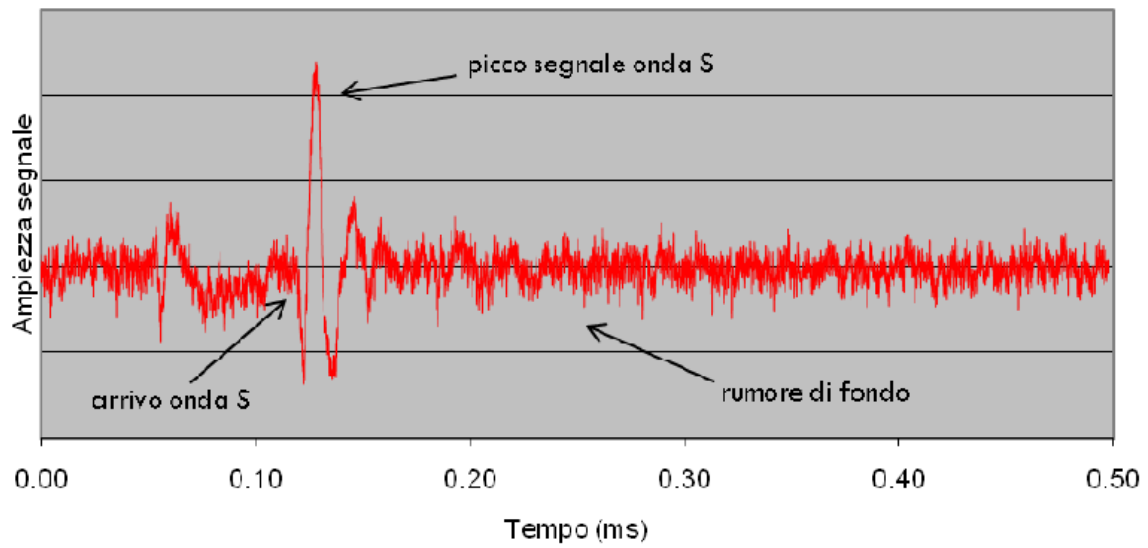


Fig. 6 - Esempio di sismogramma del segnale registrato a 10 m di profondità

In pratica la prova con sismocono è da considerare una prova *Down-Hole* a tutti gli effetti.

In Fig. 7 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle sole onde S registrate in tutte le prove SCPT appositamente effettuate per il presente studio.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	16 di 164

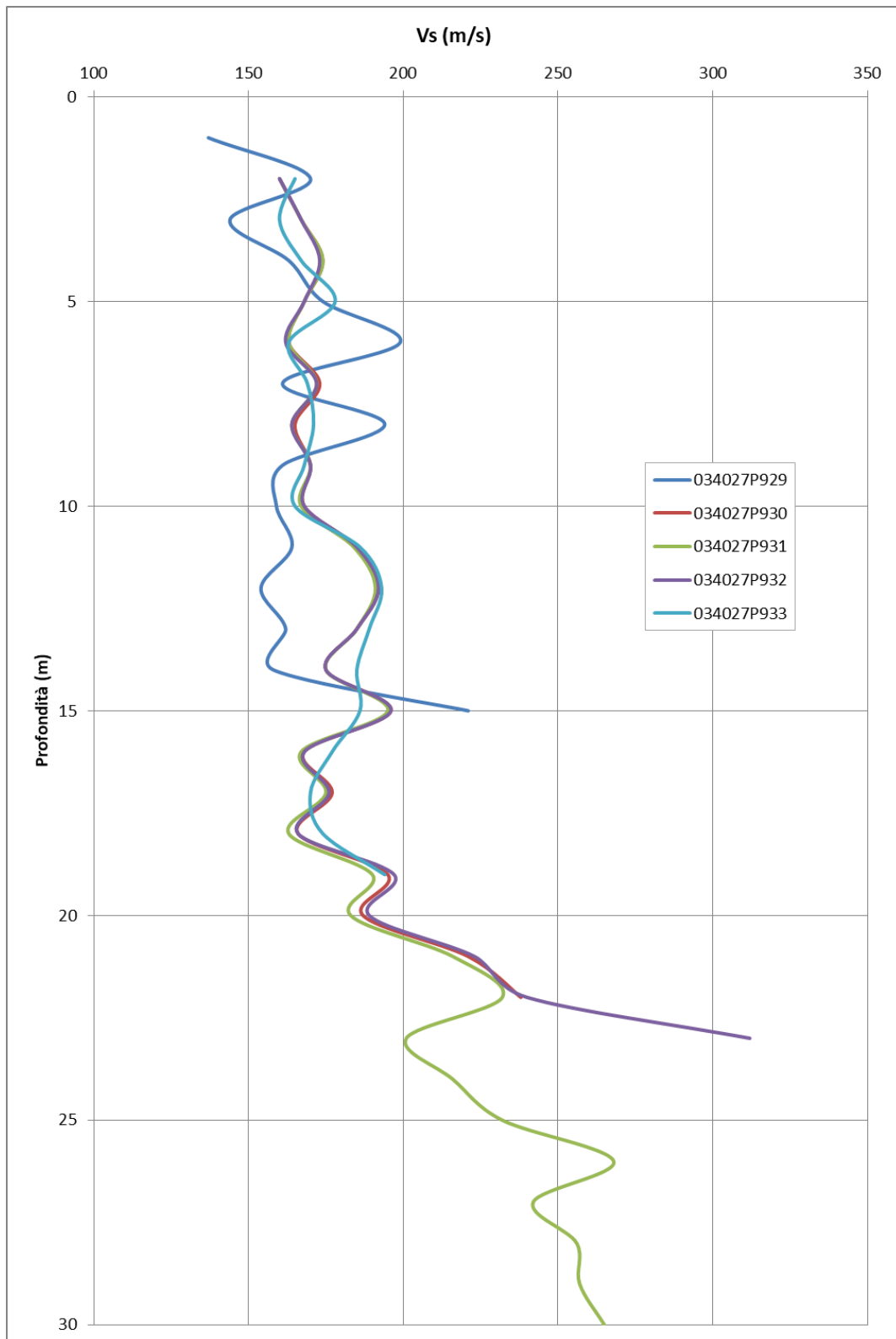


Fig. 7 - Valori di Vs in funzione della profondità misurati per le diverse prove



2.6 Rilievo sismico HVSR mediante tromografo

Ai fini della determinazione della frequenza caratteristica dei suoli in corrispondenza dei punti delle nuove indagini sismiche (DH e SCPTU) sono state eseguite n°7 prove HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) tramite tromografo digitale, ai fini della verifica della frequenza caratteristica del sito.

I risultati dei rilievi sismici mediante tromografo sono riportati nell'Elaborato 9.

Le prove sono state condotte utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale con sensori da 2 Hz) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 20 minuti). Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza - Fig. 8 prova 034027P959).

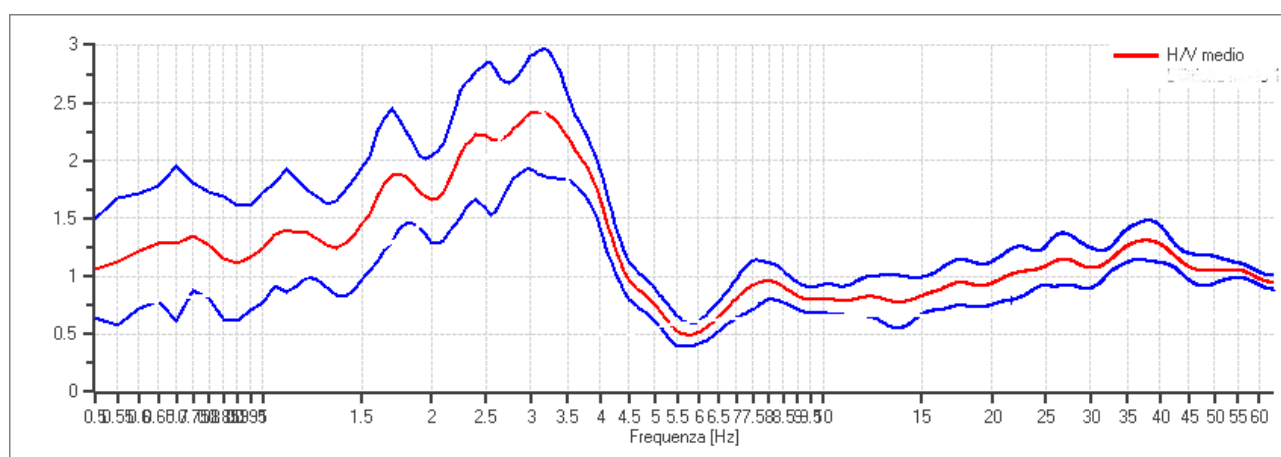


Fig. 8 - Elaborazione della misura 034027P959 registrata dal tromografo digitale: rapporto H/V

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	18 di 164



3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale, valide per tutti i siti indagati. Nei successivi paragrafi, saranno, poi, illustrati i risultati della RSL per ciascun sito.

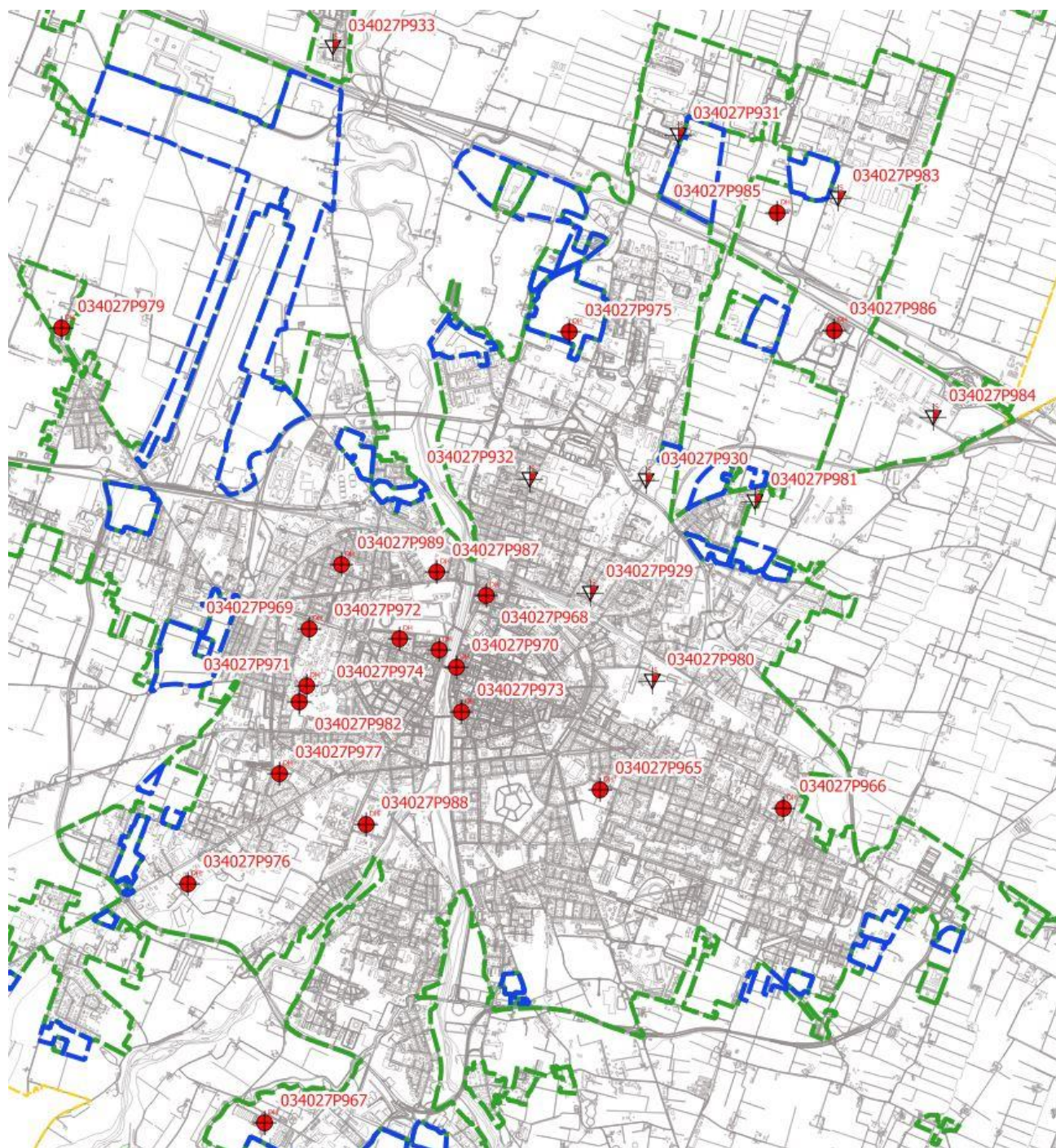


Fig. 9 - Ubicazione prove utilizzate per analisi di risposta sismica locale

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	19 di 164



Nel complesso sono state eseguite 29 analisi di risposta sismica locale, la cui ubicazione è riportata nella figura precedente.

L'analisi è stata eseguita

- su tutte le verticali indagate nel presente studio, in cui è stata eseguita una misura diretta di V_s (2 DH e 5 SCPT); per le 2 verticali con la prova DH si disponeva, inoltre, di dati di curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G_0) in funzione della deformazione di taglio γ ;
- su 14 verticali indagate dagli scriventi per altri studi, in cui è stata eseguita una misura diretta di V_s (DH o SCPT); per 4 di queste si disponeva, inoltre, delle curve D e G/G_0 ;
- Su 8 verticali, provenienti dagli archivi del Comune, in cui è stata eseguita una misura diretta di V_s (DH o SCPT).

3.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

In particolare, l'Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.
- Le indicazioni per il calcolo dei valori di $a_{ref,g}$ (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni sito indagato;

Per i punti di indagine il parametro $a_{ref,g}$, che varia in funzione del sito indagato, risulta compreso nel seguente intervallo (Tab. 1):

$a_{ref,g} (a_g/g)$
$0.118 < a_{ref,g} < 0.174$

Tab. 1 - Valori di $a_{ref,g}$ (10% di probabilità di superamento in 50 anni)

Una volta definita la $a_{ref,g}$ per la zona oggetto di studio, è possibile rappresentare gli spettri elastici di risposta in accelerazione (Fig. 10) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, e i conseguenti spettri di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner (Fig. 11).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	20 di 164



Come si può facilmente constatare anche dai grafici, le accelerazioni su suolo di tipo A (suolo rigido) sono abbastanza variabili nel territorio comunale, come è facilmente comprensibile, vista la sua estensione (circa 200 Km²).

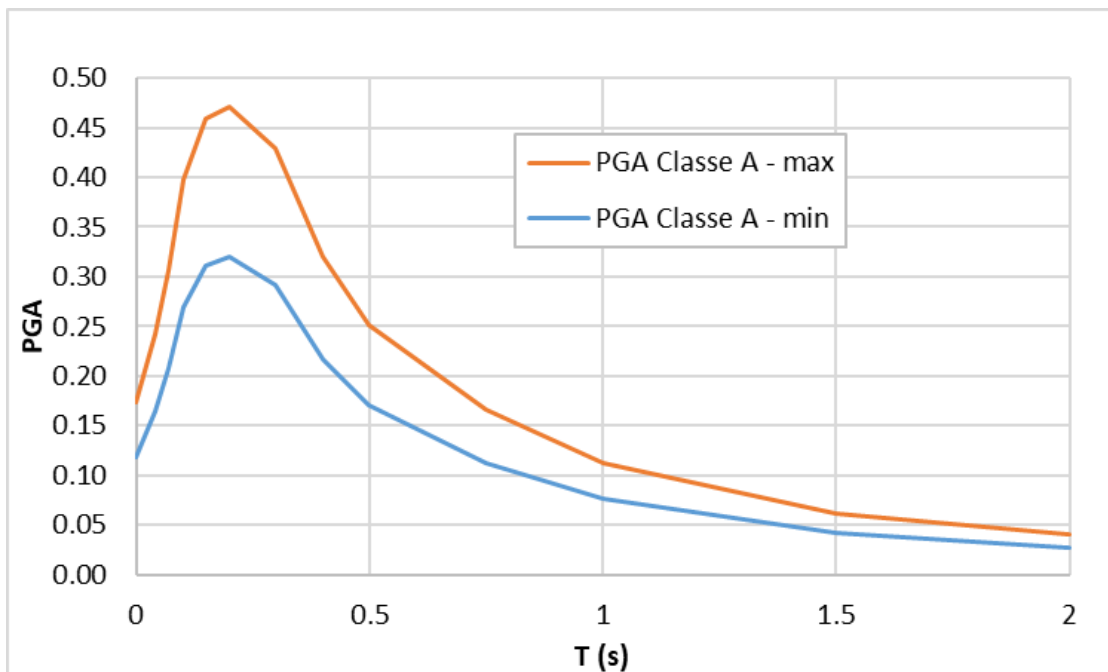


Fig. 10 - Spettri di risposta elastici in accelerazione su suolo rigido (475Y) corrispondenti ai massimi ed ai minimi valori di $a_{ref,g}$ per i siti di RSL

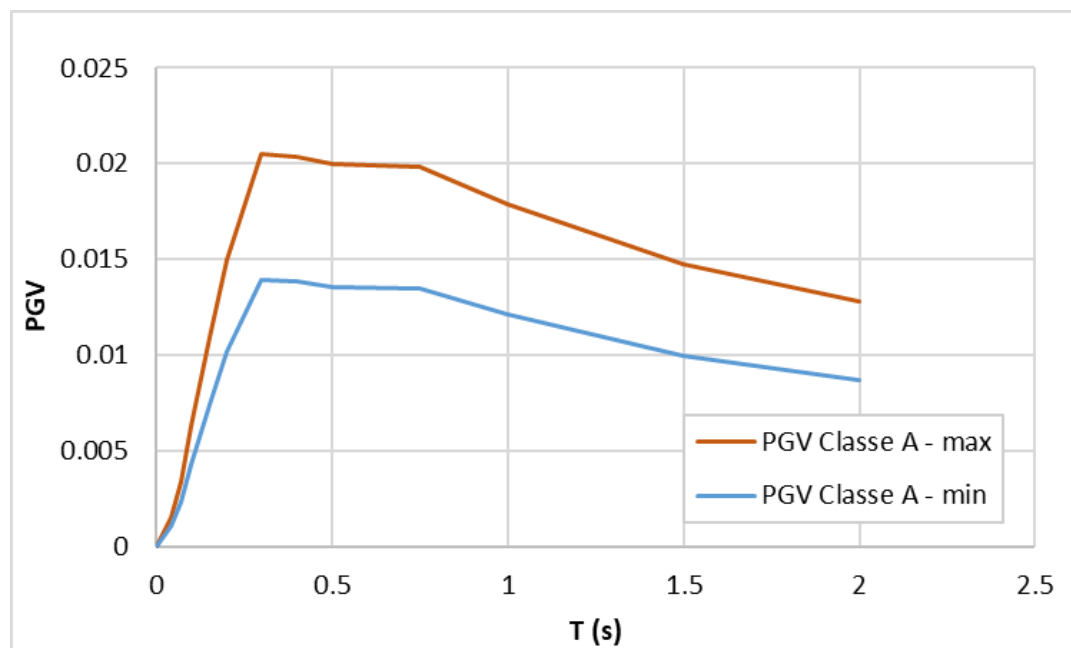


Fig. 11 - Spettri di risposta elastici in velocità su suolo rigido (475Y) corrispondenti ai massimi ed ai minimi valori di $a_{ref,g}$ per i siti di RSL

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	21 di 164



3.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015¹, anche quelli forniti dal software SEISM-HOME² di Eucentre.

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 nelle banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni mentre, nel caso di SEISM_HOME, il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune; SEISM-HOME, invece, fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008. Per tutti i siti di cui si è eseguita la RSL sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino al centro Città (15384).

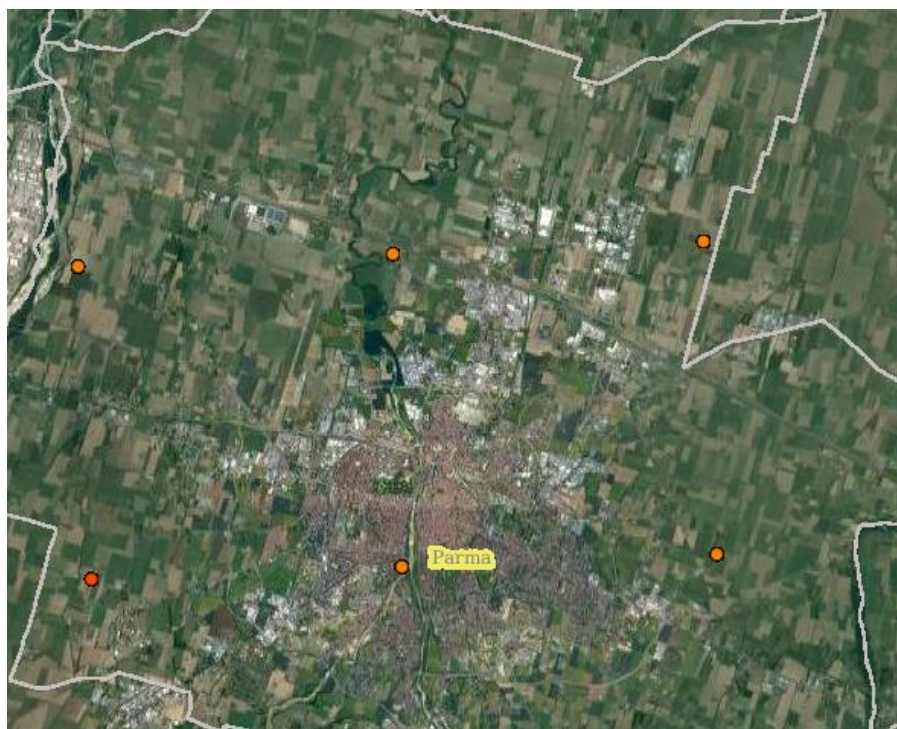


Fig. 12 - Ubicazione dei nodi del reticolo di riferimento sul sito Seism-home

¹ disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica

² Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	22 di 164



Nel complesso, quindi, per ciascun sito, sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale (Tab. 2 e Fig. 13). Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalle NTC per ciascun punto di indagine.

Segnali RER	Segnali Seism-Home
000046xa_034027Parma.xy	TR475_ID15384_1
000126xa_034027Parma.xy	TR475_ID15384_2
000354xa_034027Parma.xy	TR475_ID15384_3
	TR475_ID15384_4
	TR475_ID15384_5
	TR475_ID15384_6
	TR475_ID15384_7

Tab. 2 - Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL

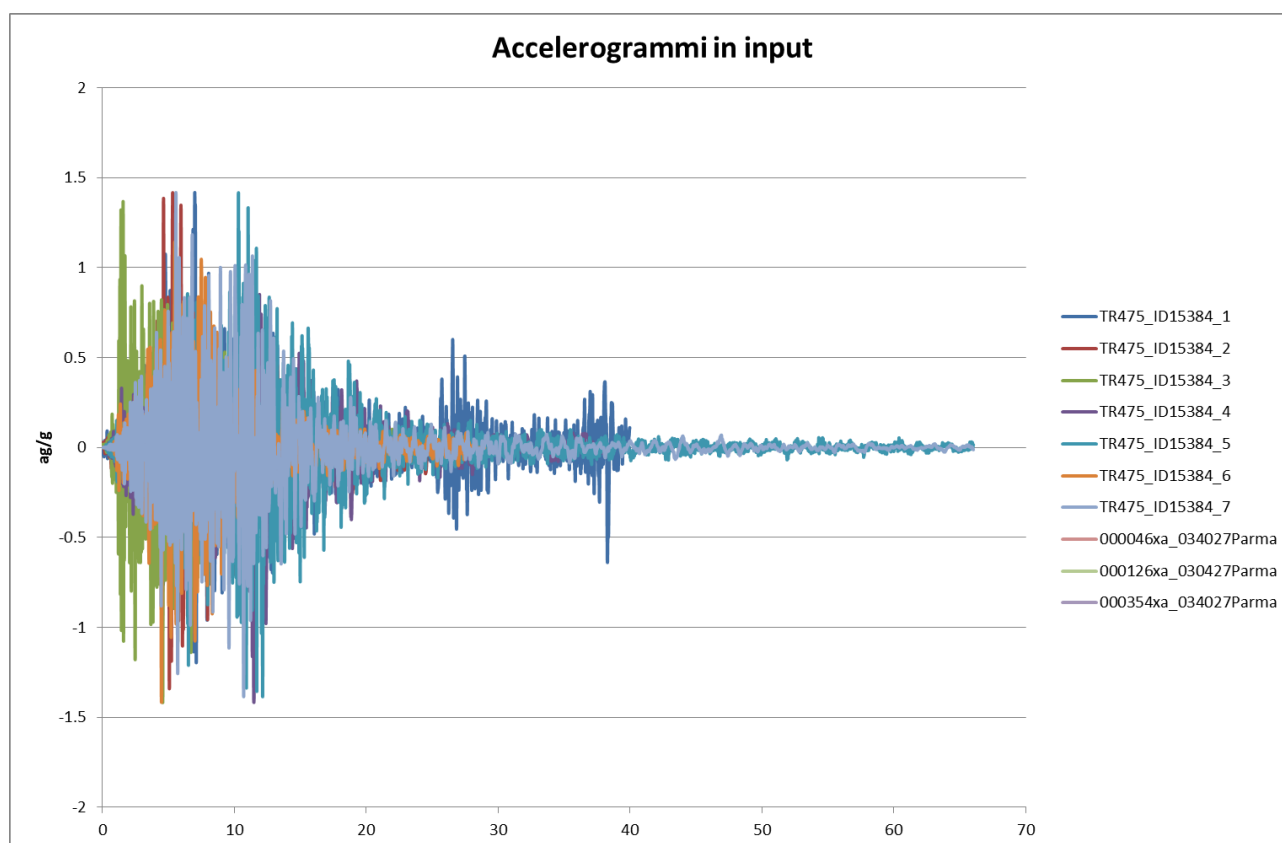


Fig. 13 - Esempio di segnali di input utilizzati nelle analisi di RSL



3.3 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- 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,

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità $V_s > 800$ m/s.

A proposito della definizione del bedrock sismico, si rimanda al Cap. 3.8 - Criticità del metodo, in cui la questione viene discussa approfonditamente.

3.3.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati i dati delle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo o i risultati delle prove penetrometriche con cono sismico realizzati nei diversi siti; laddove 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 della V_s

Per quanto riguarda la velocità delle onde S in funzione della profondità si è fatto riferimento alle misure delle prove Down-Hole e delle prove con cono sismico fino alla massima profondità indagata. Per i livelli inferiori, utili per la definizione del bedrock sismico, si è integrato con la stratigrafia di pozzi del database regionale assumendo V_s da letteratura.

La V_s è stata discretizzata per strati omogenei, in funzione principalmente della litologia, per consentire la realizzazione di un modello non troppo complesso.

Si è constatato, infatti, che l'introduzione di un eccessivo numero di strati nel software di calcolo (cfr. § 3.4), che sarebbero stati opportuni per seguire più fedelmente l'andamento della V_s con la profondità, introduce una complessità che non migliora i risultati.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	24 di 164

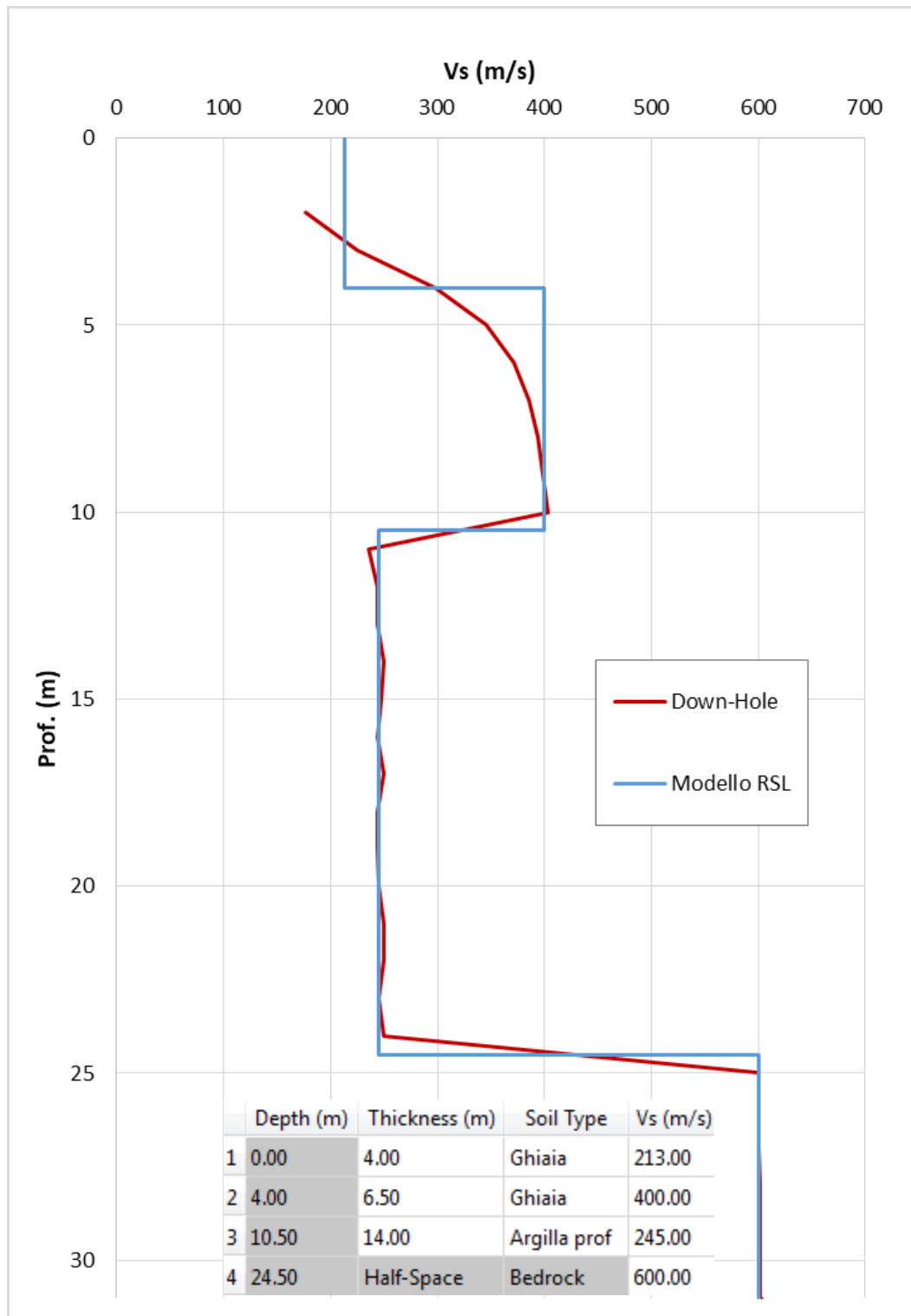


Fig. 14 - Esempio di discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo per uno dei siti oggetto di indagine



Mediante il processo sopra descritto si giunge ad una prima discretizzazione della Vs in funzione della profondità.

Va chiarito che, una volta definito il modello da inserire nel programma di valutazione di RSL con la procedura sopra descritta, i dati inseriti sono stati fatti variare per fare in modo che la funzione di trasferimento dal bedrock alla superficie fosse compatibile con la curva H/V registrata nella prova HVSR del sito, almeno per la frequenza principale. I dati riportati nei grafici di discretizzazione, come quello sopra riportato (Fig. 14) sono quelli effettivamente utilizzati nella RSL.

3.3.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G₀) in funzione della deformazione

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G₀) in funzione della deformazione di taglio γ , sono state realizzate n°2 prove di laboratorio in colonna risonante sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi effettuati per questo studio.

Tali prove hanno fornito dati sperimentali che hanno consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e G/G₀ mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha\gamma^\beta}$$

$$D = \eta e^{\left[-\lambda \frac{G}{G_0}\right]}$$

Dove:

G/G₀ = modulo di taglio normalizzato

D = rapporto di smorzamento

γ = deformazione di taglio

$\alpha, \beta, \eta, \lambda$ = parametri sperimentali del modello

Il fit dei dati sperimentali alle funzioni sopra descritte è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati (X²).

In Fig. 15 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione DH2SH1.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	26 di 164

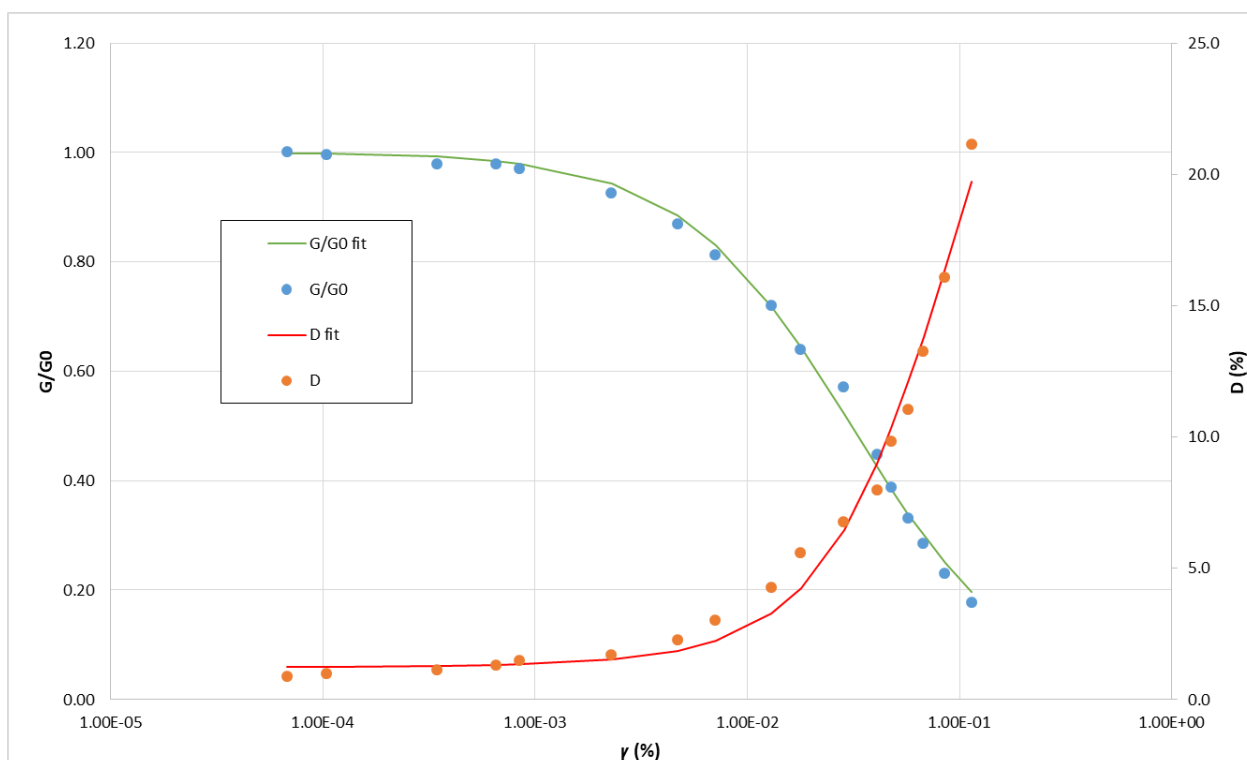


Fig. 15 - Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione DH2SH1

In Tab. 3 sono riportati i valori delle proprietà indice dei terreni analizzati nel presente studio.

Camp.	Prof.	Litologia (AGI)	Valori indice						Granulometria (UNI)			
			W	γ_{nat}	γ_{sec}	LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
			%	Mg/m ³	Mg/m ³	%	%	%	%	%	%	%
DH1SH1	27.0 – 27.5	Limo con argilla	34.9	1.86	1.38	65	33	32	0.1	7.9	52.3	39.8
DH2SH1	9.0 – 9.7	Limo argilloso sabbioso	28.6	1.82	1.41	34	24	10	0.0	12.8	67.9	19.3

Tab. 3 - Riepilogo delle proprietà indice dei terreni analizzati

Le curve calcolate per il presente studio sono state integrate con curve da letteratura e curve presenti nell'archivio degli scriventi per indagini precedentemente effettuate sul territorio comunale, come già illustrato nel § 3.

In Fig. 16 e Fig. 17 sono riportati i grafici di tutte le curve di degradazione utilizzate per l'analisi di risposta sismica locale per caratterizzare i terreni; il riepilogo dei parametri caratteristici delle diverse curve è riassunto in Tab. 4.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	27 di 164

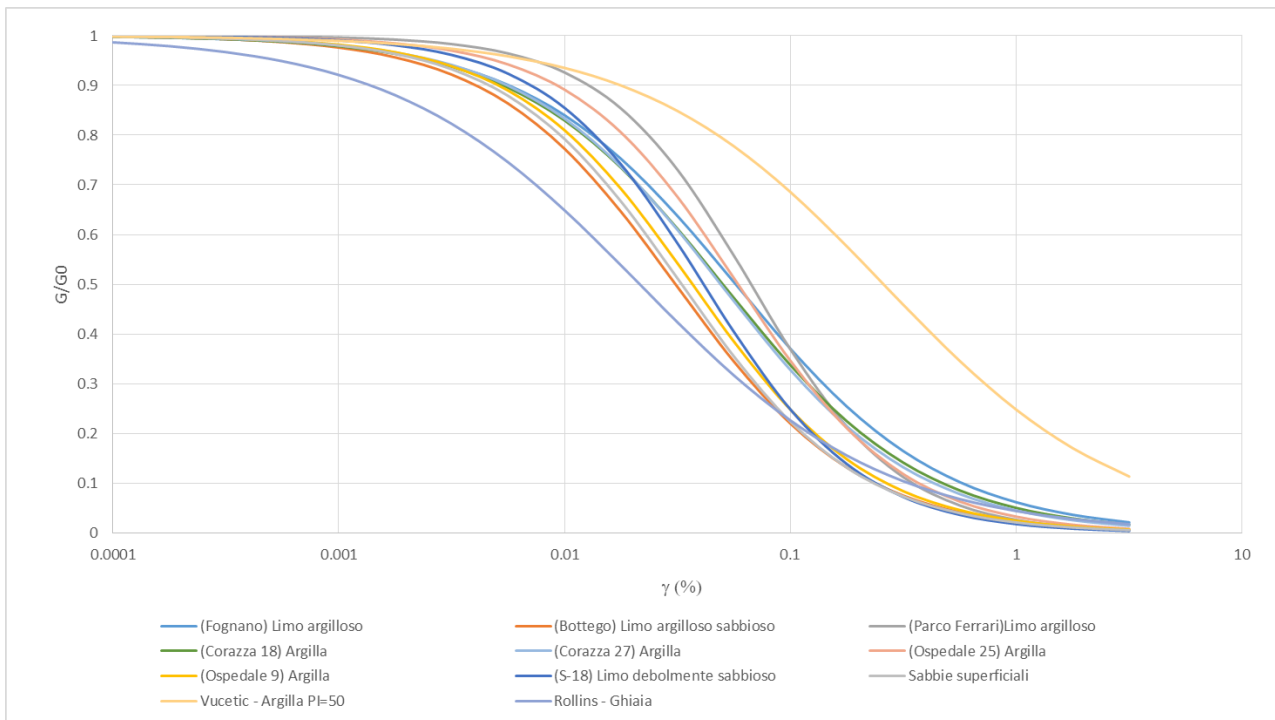


Fig. 16 - Grafico delle curve di interpolazione di G/G_0 da campioni indisturbati e da letteratura

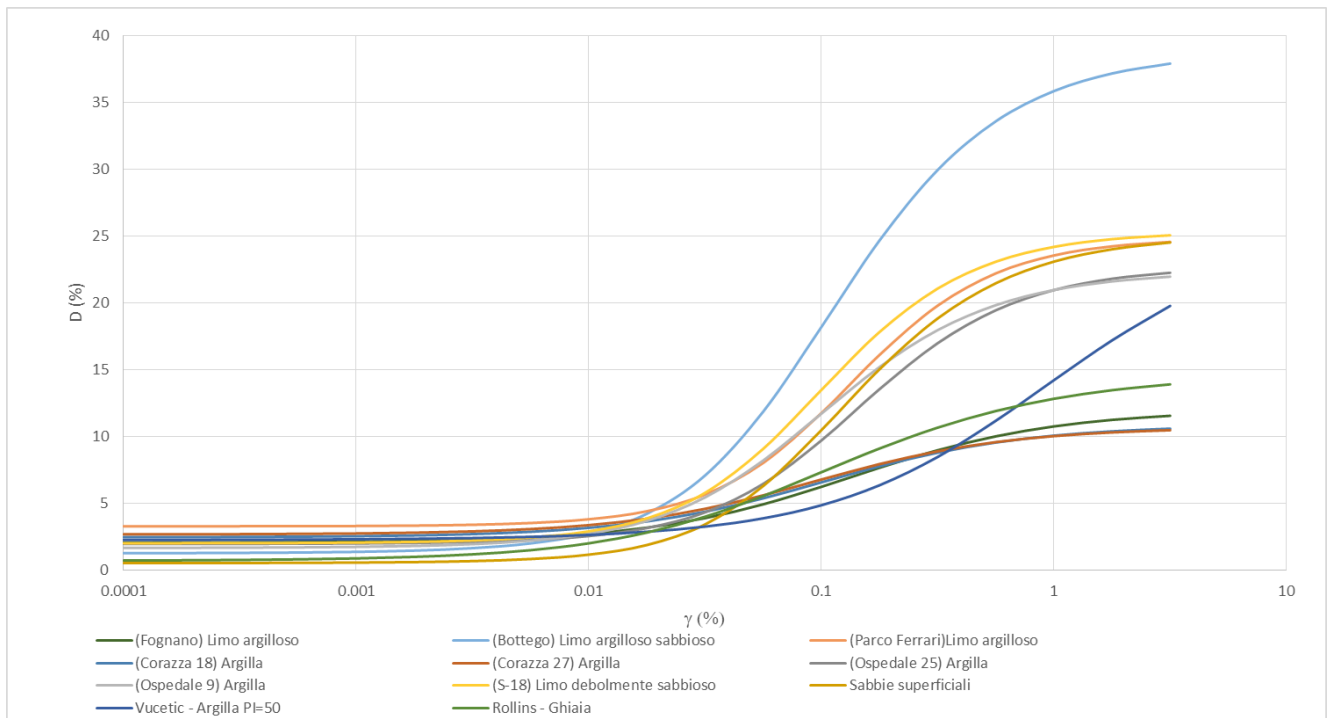


Fig. 17 - Grafico delle curve di interpolazione di D da campioni indisturbati e da letteratura

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	28 di 164



Camp.	Prof. (m)	litologia (UNI)	Parametri curve G/G ₀ e D					
			prova	G ₀ (MPa)	α	β	η	λ
DH1SH1	27.0 – 27.5	Limo con argilla	RC	120.34	36.50	1.33	24.87	2.03
DH2SH1	9.0 – 9.7	Limo argilloso sabbioso	RC	91.37	42.56	1.08	38.82	3.44
archivio	7.4	Limo argilloso	RC	88.76	15.13	0.95	12	1.77
archivio	18.0	Argilla	RC		18.74	0.98	10.85	1.49
archivio	27.0	Argilla	RC		20.97	1.01	10.68	1.39
archivio	25.0-25.6	Argilla	RC	115.97	29.23	1.19	22.74	2.46
archivio	9.0-9.6	Argilla	RC	79.84	39.01	1.11	22.38	2.61
archivio	18.1-18.7	Limo debolmente sabbioso	RC	77.87	53.76	1.25	25.35	2.54
archivio		Sabbia	RC		45.62	1.12	25.11	3.9
letteratura		Argilla – Vucetic e Dobry PI=50			3.03	0.82	26.17	2.46
letteratura		Ghiaia - Rollins			21.55	0.8	14.7	3.08

Tab. 4 - Riepilogo dei parametri caratteristici di tutte le curve utilizzate

Nelle analisi di RSL realizzate per le verticali in cui, come scritto precedentemente, non erano presenti dati relativi alle curve D e G/G₀ sono stati utilizzati i dati delle prove ritenute più adatte in funzione della descrizione litologica e, dove disponibili, dei parametri geotecnici, con particolare riferimento alla granulometria ed ai limiti di Atterberg.

3.4 Codice di calcolo per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata³ sviluppato da A. Kottke e E. Rathje⁴. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer⁵, 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:

³ Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

⁴ Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

⁵ Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	29 di 164



- 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 comunale:

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie (Fig. 18);
- 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 (Fig. 19, Fig. 20 e Fig. 21). Gli spettri elastici PSA della RSL vengono sempre paragonati con gli spettri semplificati delle NTC2008.
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità (Fig. 22);
- 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 in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FA_{IS}) 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:

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

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

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	30 di 164

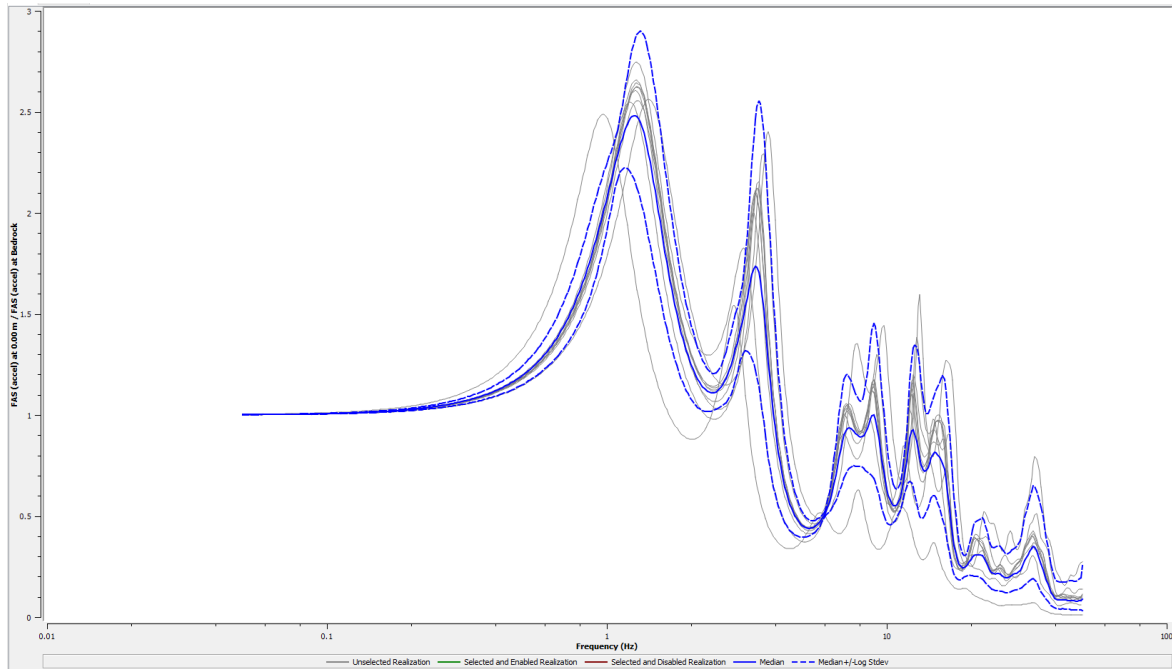


Fig. 18 - Esempio dell'output di Strata relativo alla funzione di trasferimento (in grigio le funzioni per ciascun segnale utilizzato, in blu continuo la media, in blu tratteggiato la deviazione standard)

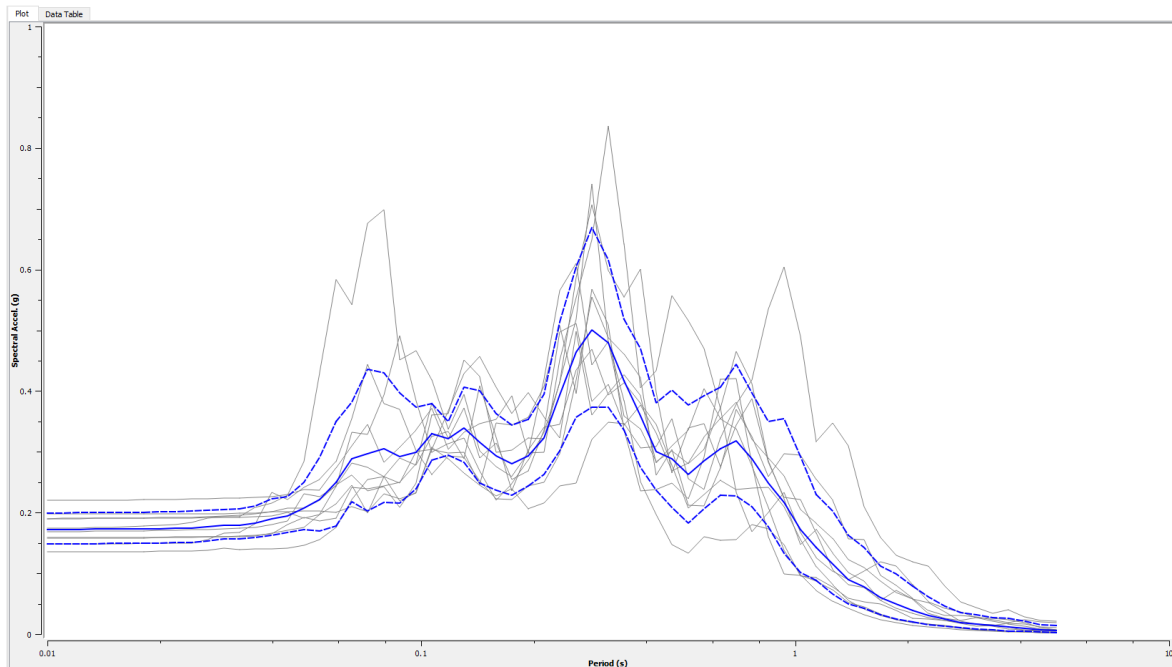


Fig. 19 - Esempio dell'output di Strata relativo allo spettro di risposta elastico in PSA (in grigio le funzioni per ciascun segnale utilizzato, in blu continuo la media, in blu tratteggiato la deviazione standard)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	31 di 164

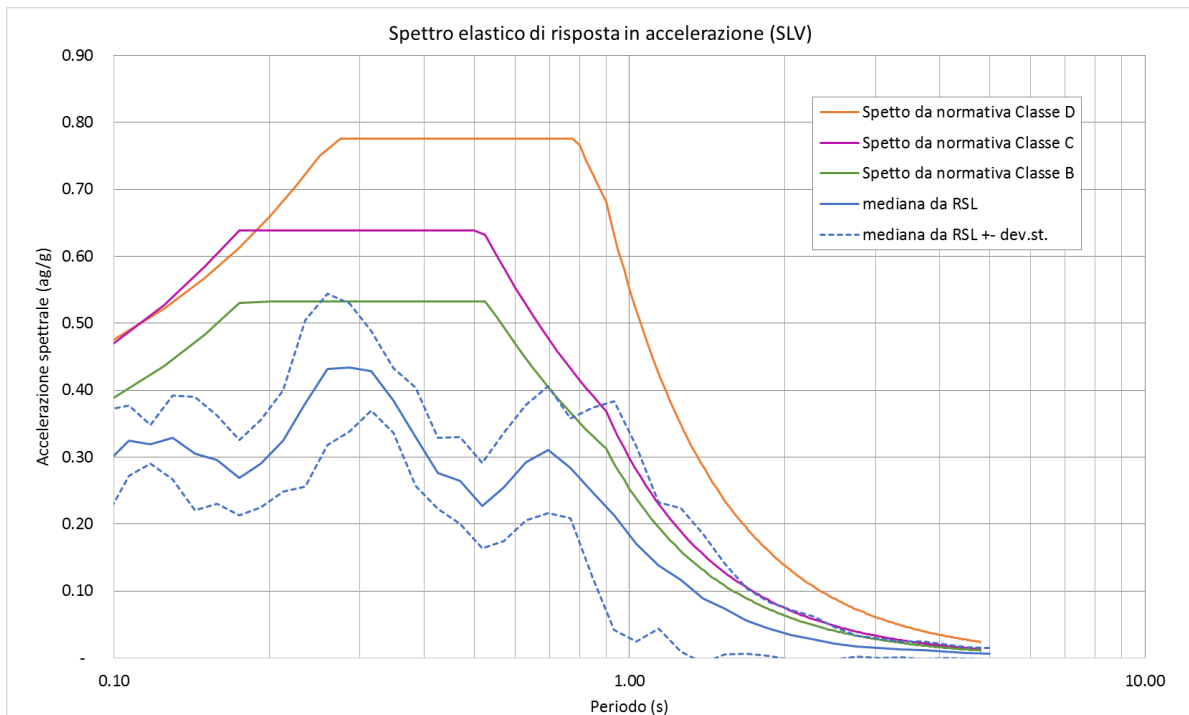


Fig. 20 - Esempio del confronto tra lo spettro elastico in accelerazione e gli spettri semplificati delle NTC 2018

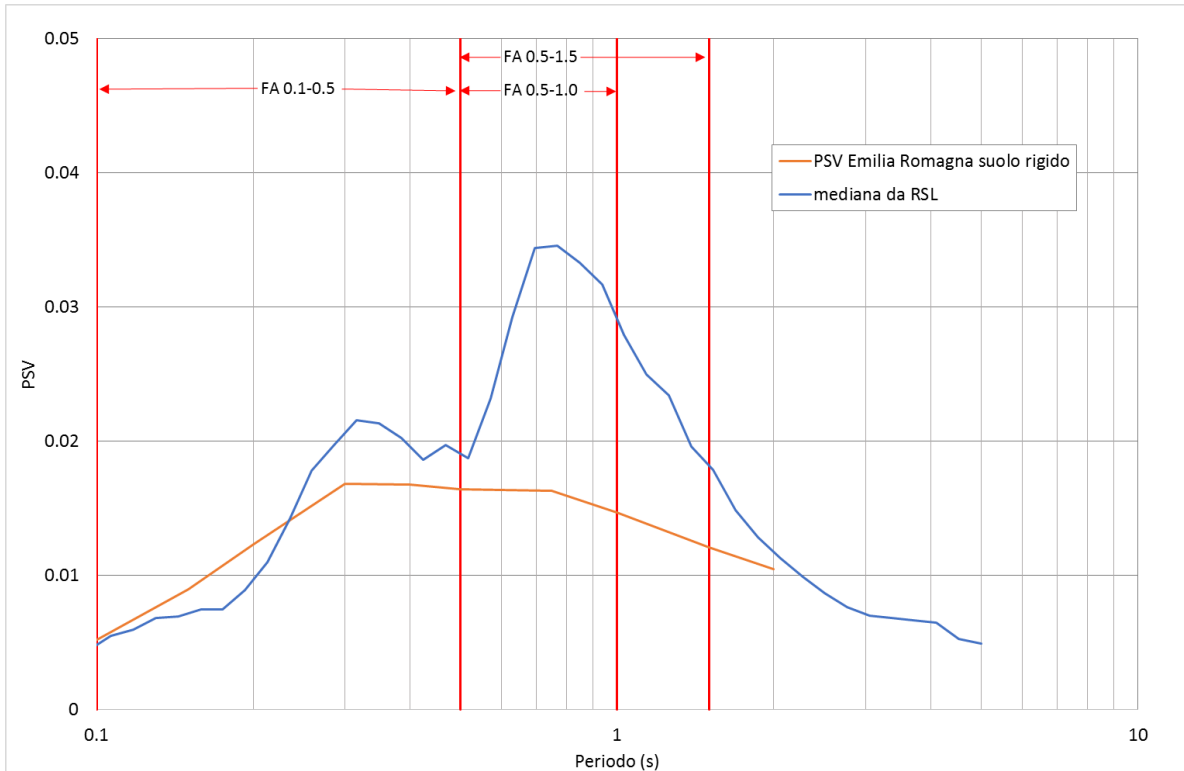


Fig. 21 - Esempio del confronto tra gli spettri elastici in velocità, da cui si calcolano i fattori di amplificazione

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	32 di 164

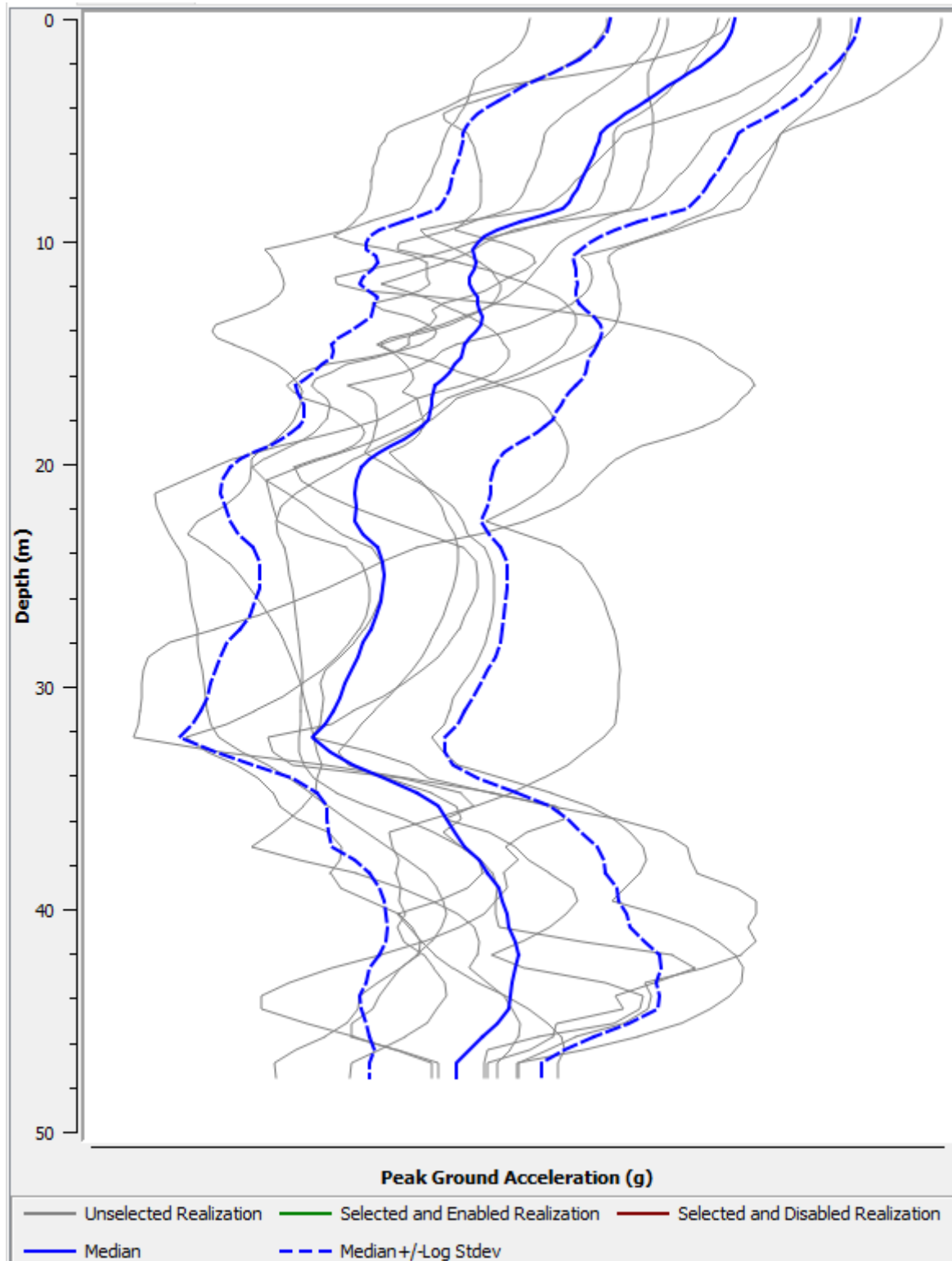


Fig. 22 - Esempio del profilo di accelerazione con la profondità

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	33 di 164



3.5.1 Cyclic stress ratio

Il programma Strata fornisce un ulteriore elemento di notevole interesse per le verifiche sismiche, ed in particolare per le verifiche a liquefazione e cioè lo sforzo ciclico di taglio (*cyclic stress ratio* CSR).

Lo sforzo ciclico di taglio viene utilizzato nei programmi di verifica a liquefazione ed in genere, in assenza della RSL, viene valutato mediante l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove:

- **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito in Tab. 5.
- **MSF** è il fattore correttivo per la magnitudo definito in Tab. 6.
- **r_d** è il fattore correttivo per la profondità calcolato con la formula $r_d = 1 - 0,015z$.

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1 S (M > 5,5)	Spettri di Tipo 2 S (M ≤ 5,5)
A	1,00	1,00
B	1,20	1,05
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
	1,40	1,60

Tab. 5 - Coefficiente del profilo stratigrafico

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)
5.2	1.75
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19
7.0	1.08
7.5	1.00
8.0	0.94
8.5	0.89

Tab. 6 - Fattore correttivo MSF

Il programma Strata fornisce invece direttamente il valore di CSR in funzione della profondità. Il valore di CSR da RSL fornisce una valutazione del rischio di liquefazione sicuramente più affidabile.

Considerato che tale parametro è stato utilizzato per le verifiche a liquefazione delle nelle prove CPTU, esso è stato calcolato solo per le indagini penetrometriche con cono sismico appositamente effettuate per questo studio. La scelta del CSR da adottare alle diverse prove CPTU è stato effettuato sulla base delle analogie litostratigrafiche e di resistenza penetrometrica.

3.6 RSL nei diversi siti

Di seguito vengono sinteticamente riportati i risultati delle analisi di risposta sismica locale per tutti i siti indagati (Fig. 9). Dapprima si fornisce la rappresentazione sintetica del modello sismostratigrafico adottato e quindi vengono rappresentati:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	34 di 164



- Il grafico dello spettro elastico in accelerazione da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo corrispondente e con lo spettro su suolo rigido fornito dalla Regione Emilia Romagna.
- Il grafico dello spettro elastico in velocità da RSL confrontato con quello su suolo rigido fornito dalla Regione Emilia Romagna. Da tale grafico vengono calcolati, per integrazione, negli intervalli indicati i fattori di amplificazione $FA_{ISO,1-0,5 s}$, $FA_{ISO,5-1,0 s}$, $FA_{ISO,5-1,5 s}$.
- Il grafico della variazione dell'accelerazione con la profondità.
- La tabella con i vari fattori di amplificazione calcolati.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	35 di 164



3.6.1 RSL per il sito 034027P929

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	16	0.00	18.00	160.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		16.00	21.00	457.00				

Tab. 7 - 034027P929 - Modello geofisico

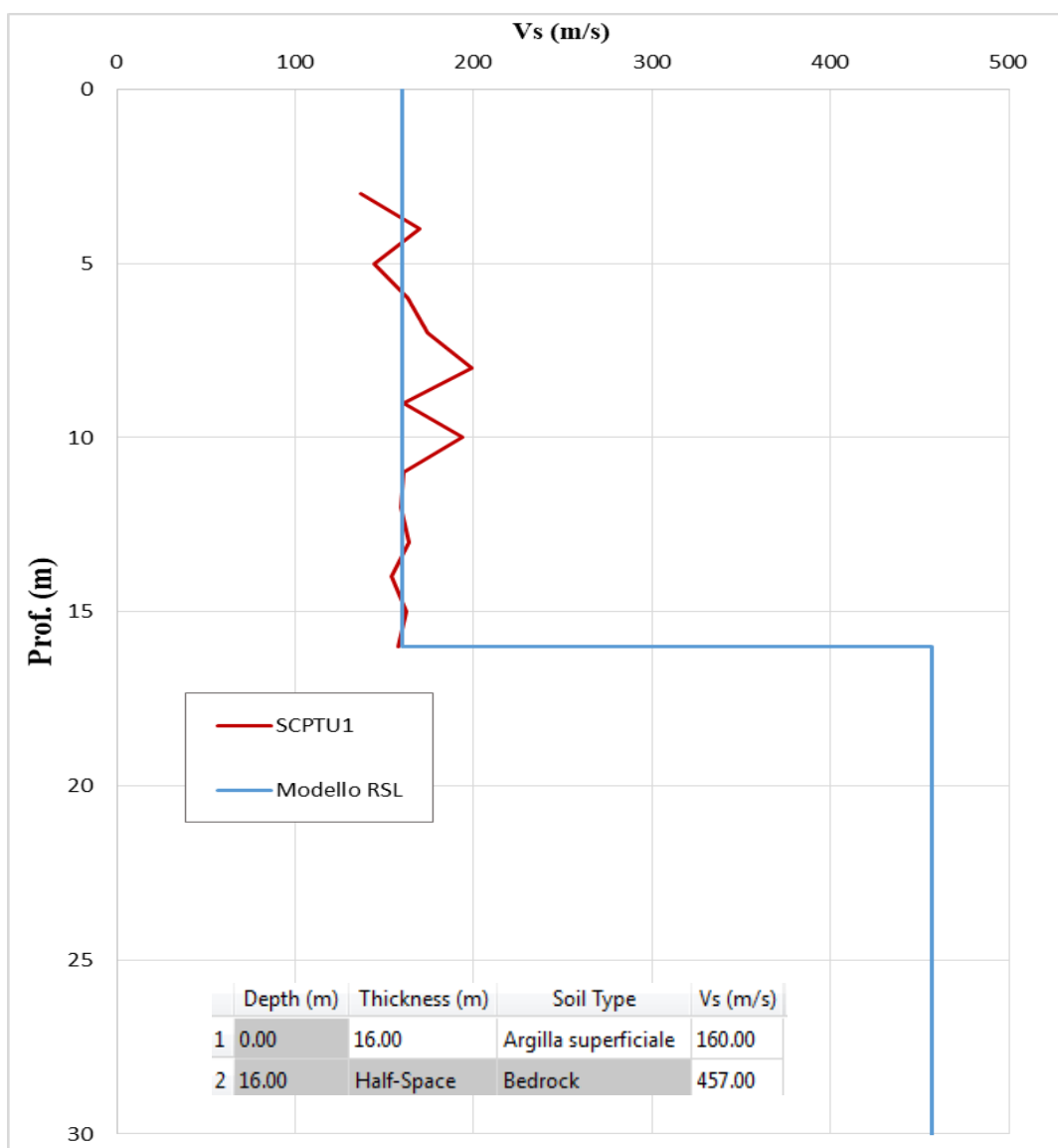


Fig. 23 - 034027P929 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

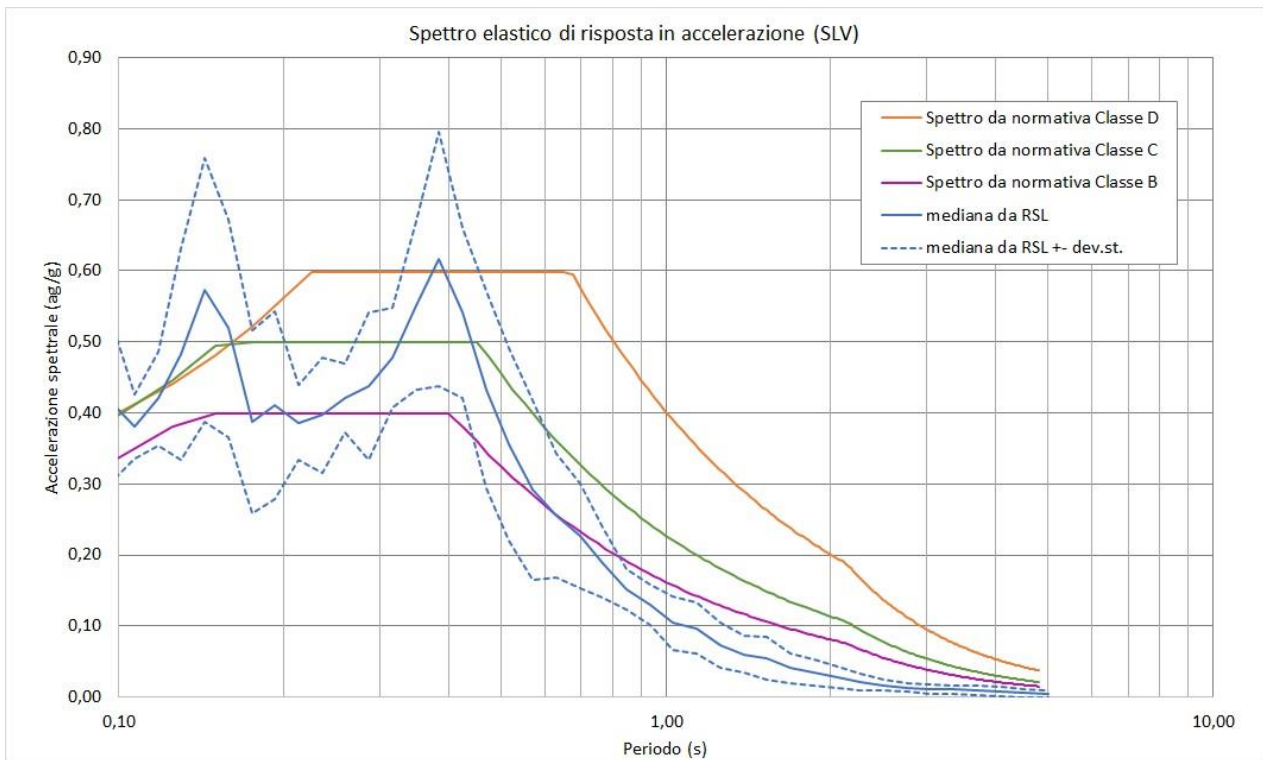


Fig. 24 - 034027P929 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

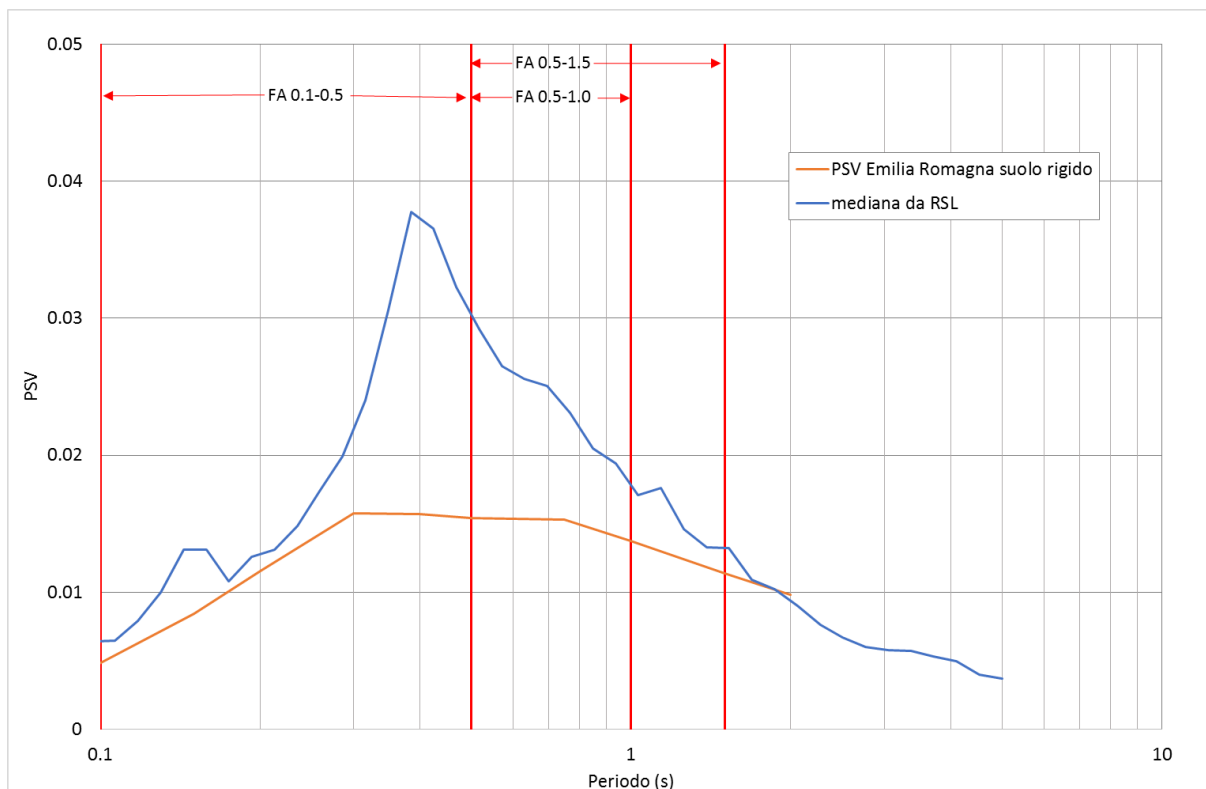


Fig. 25 - 034027P929 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	37 di 164

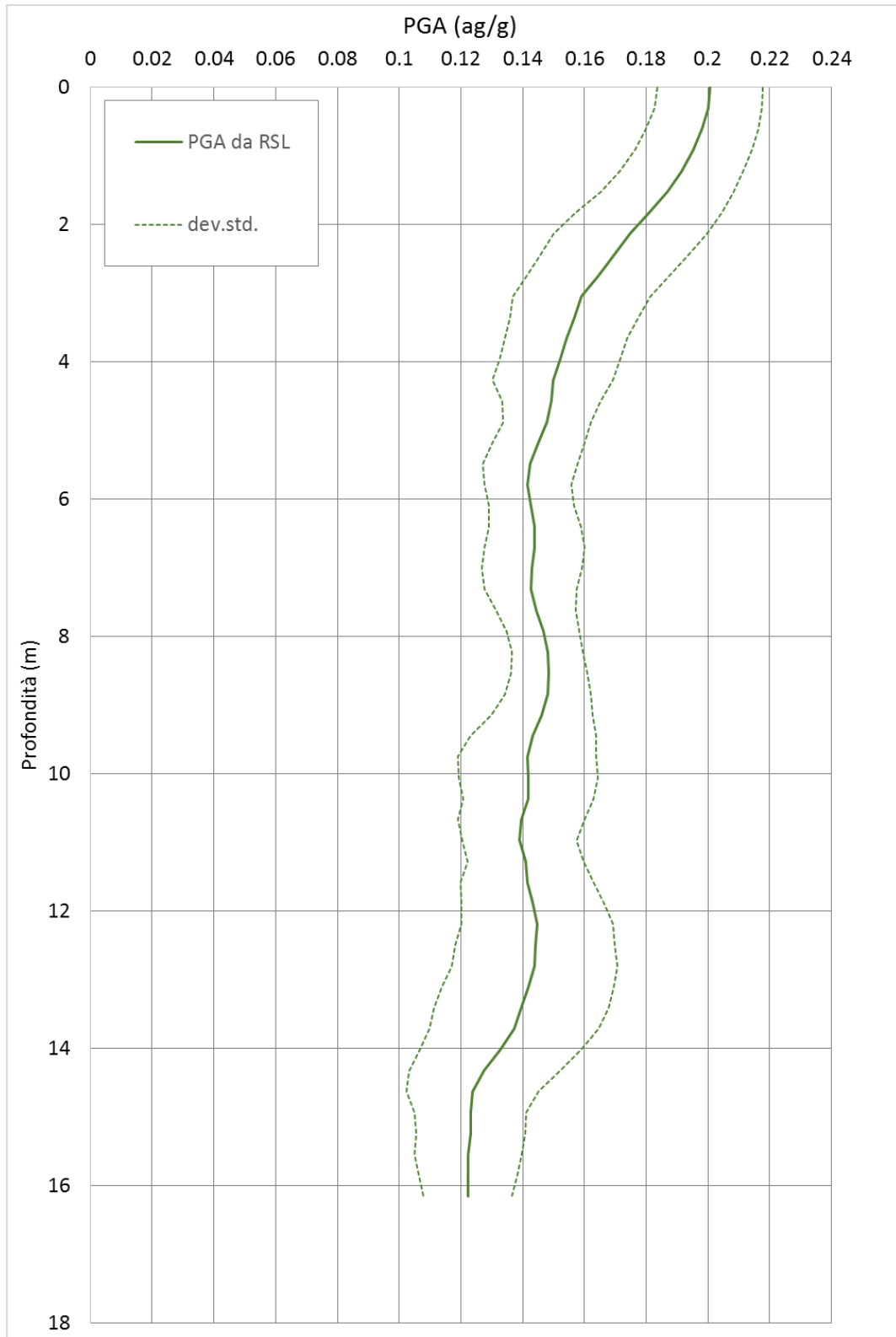


Fig. 26 - 034027P929 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

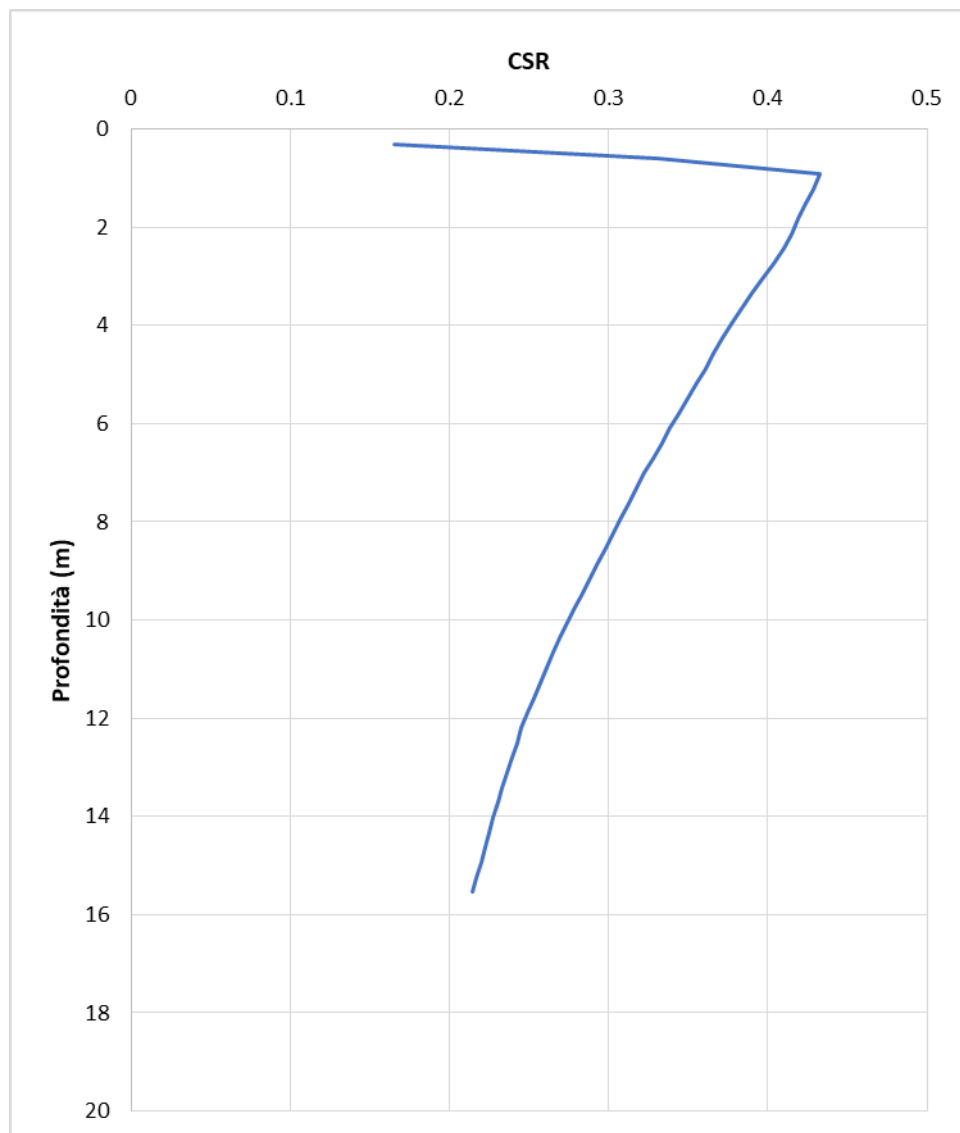


Fig. 27 - 034027P929 - Variazione del Cyclic Stress Ratio con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.51
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.69
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.47
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.34

Tab. 8 - 034027P929 - Fattori di amplificazione



3.6.2 RSL per il sito 034027P930

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(M)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	22.00	0.00	18.00	180.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		22.00	21.00	390.00				

Tab. 9 - 034027P930 - Modello geofisico

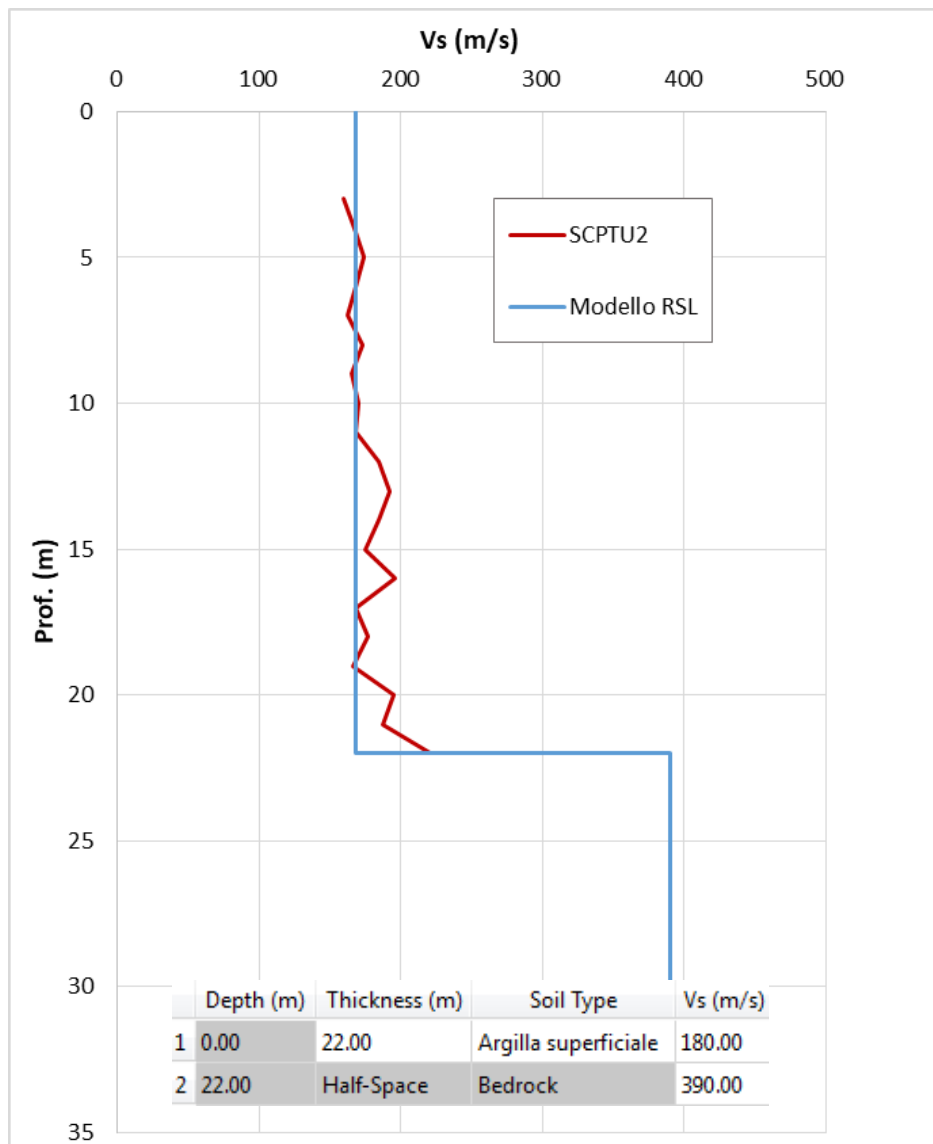


Fig. 28 - 034027P930 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico con codice di calcolo

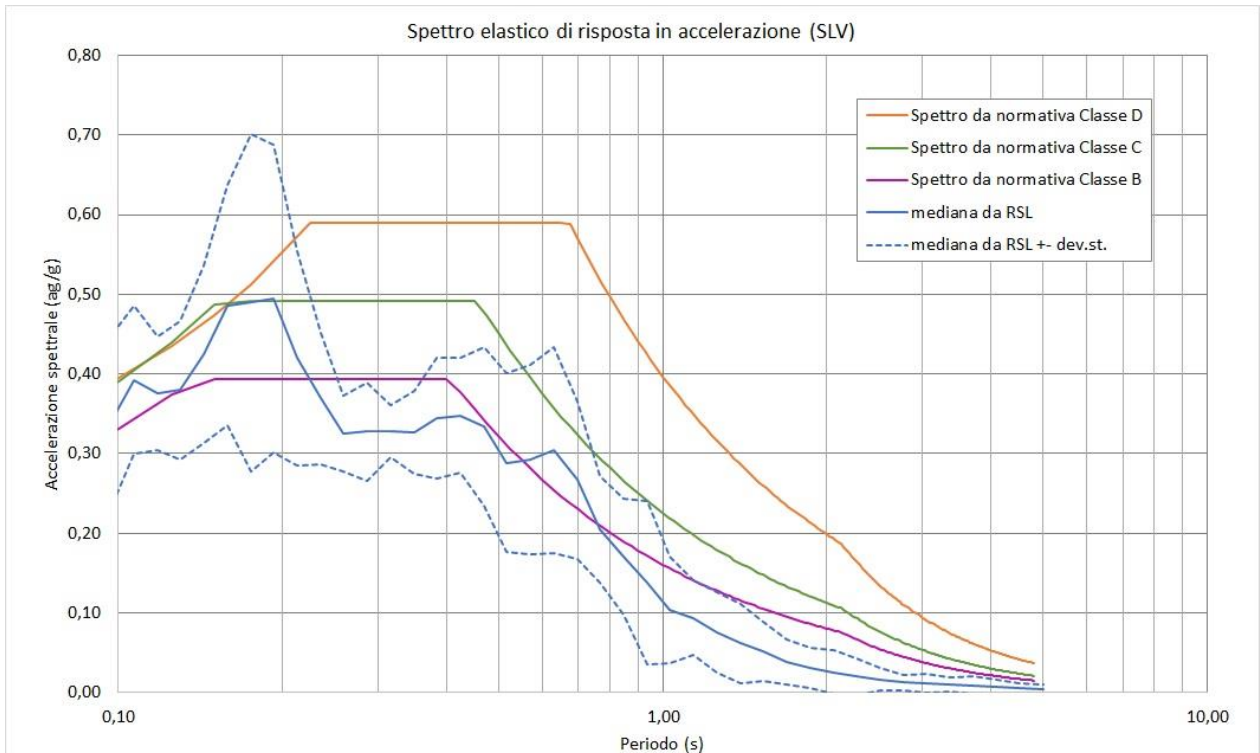


Fig. 29 - 034027P930 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

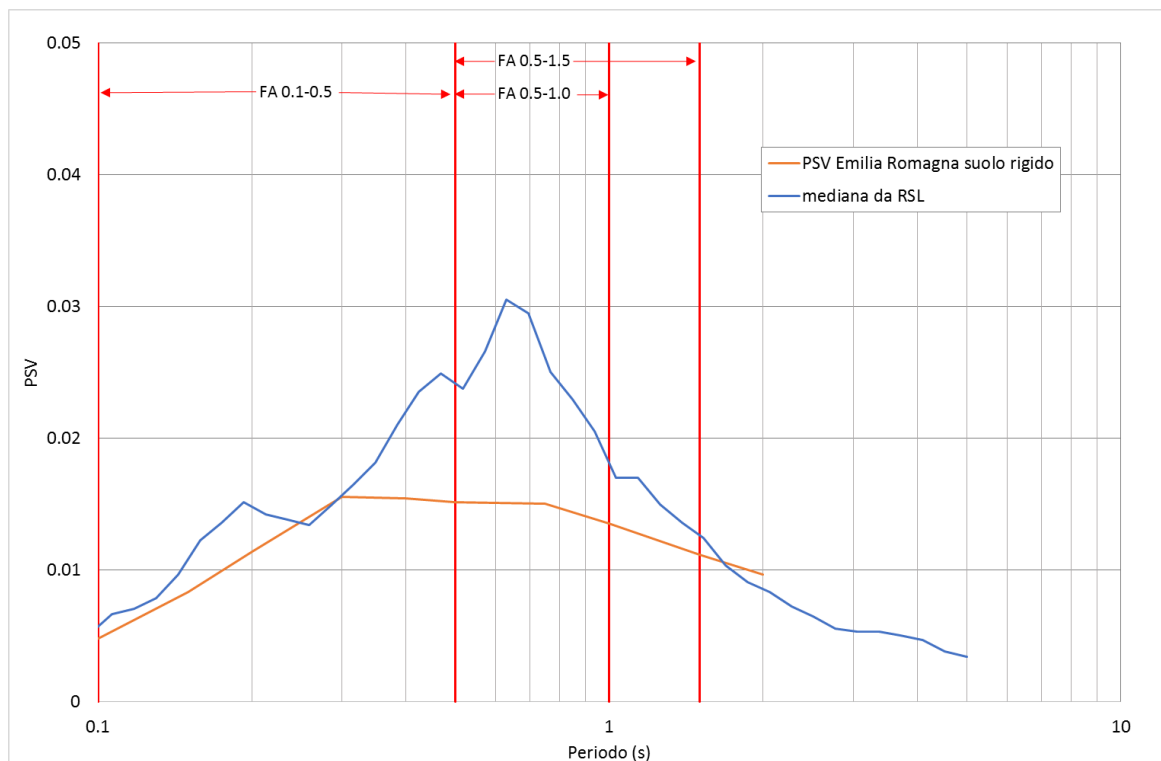


Fig. 30 - 034027P930 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	41 di 164

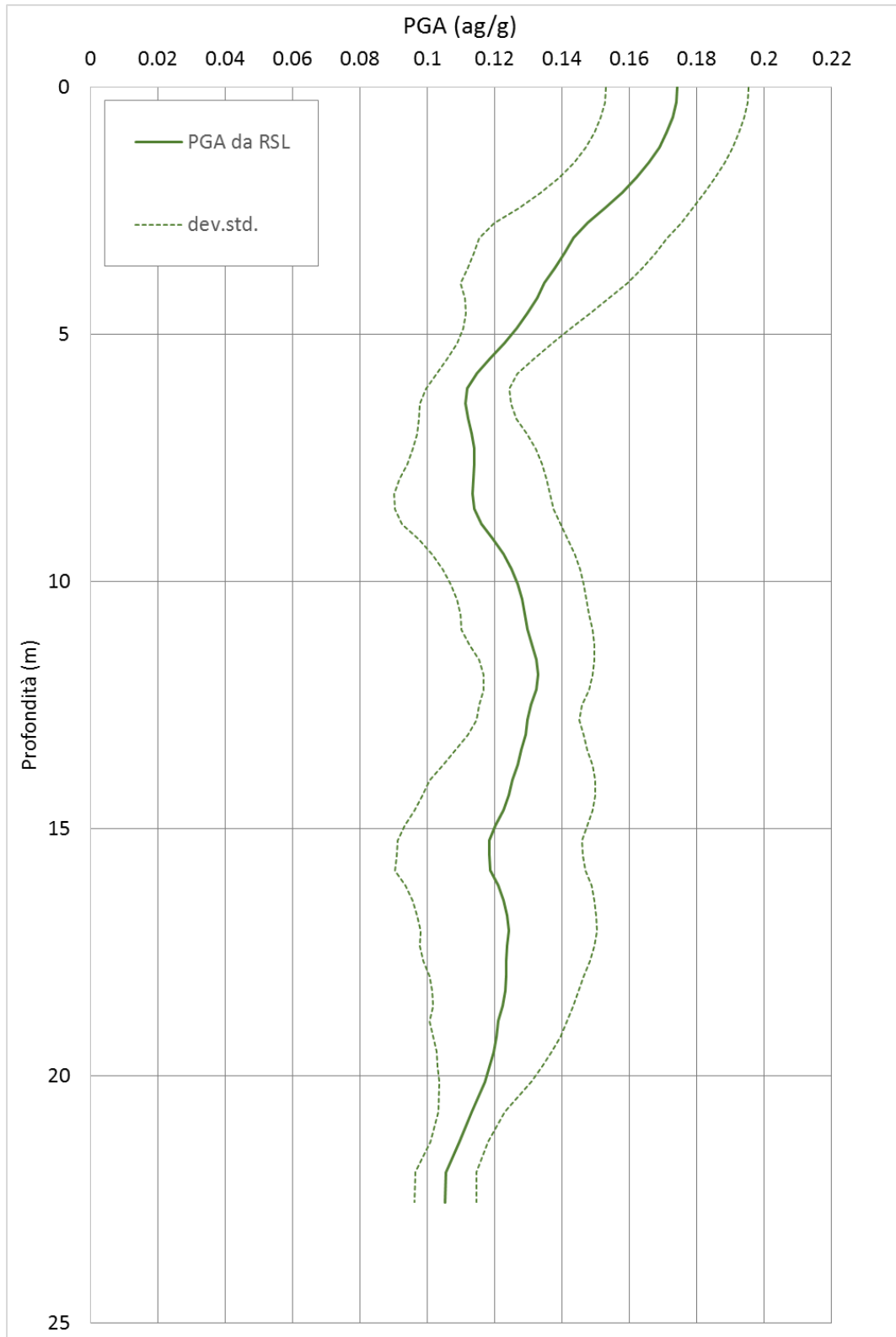


Fig. 31 - 034027P930 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

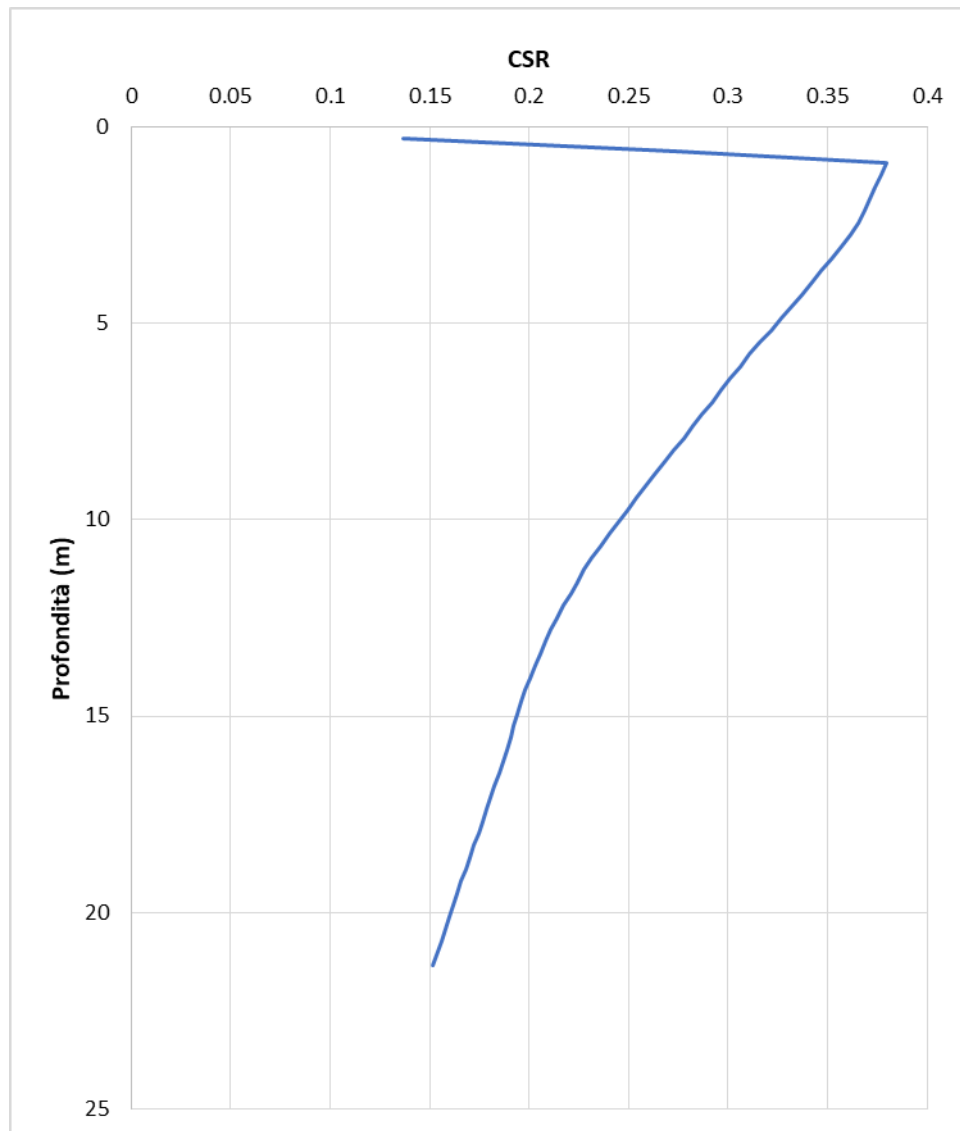


Fig. 32 - 034027P930 - Variazione del Cyclic Stress Ratio con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.33
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.31
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.63
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.42

Tab. 10 - 034027P930 - Fattori di amplificazione



3.6.3 RSL per il sito 034027P931

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	42.60	0.00	18.00	170.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		42.60	21.00	490.00				

Tab. 11 - 034027P931 - Modello geofisico

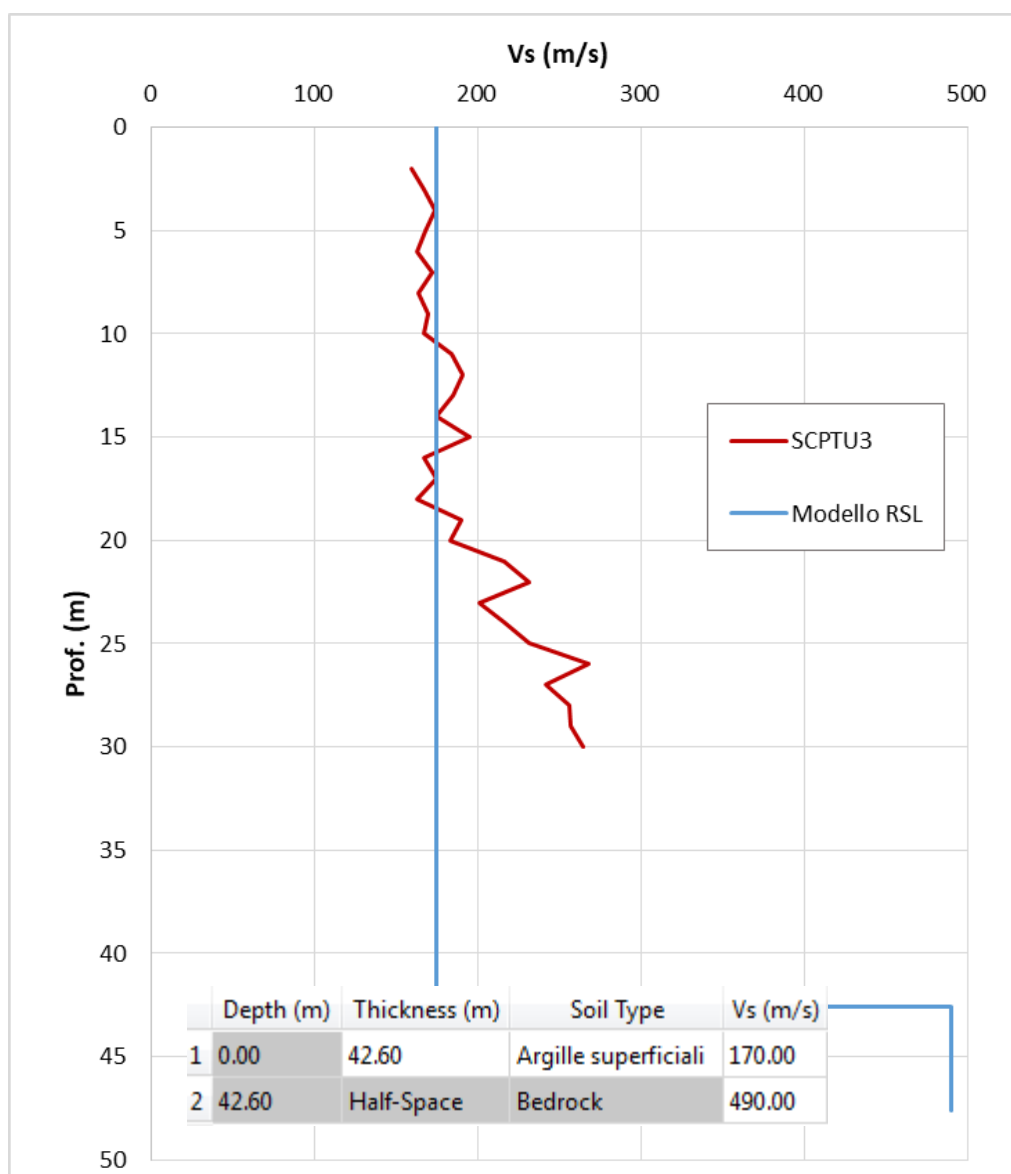


Fig. 33 - 034027P931 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

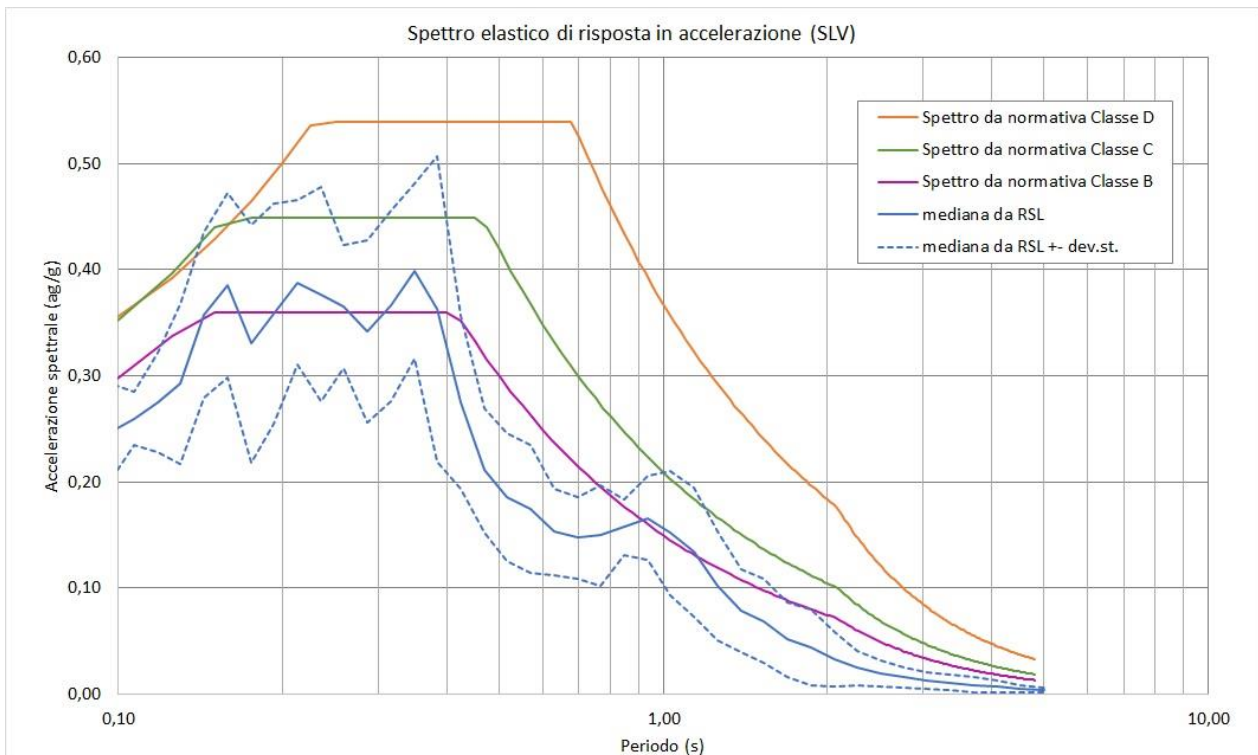


Fig. 34 - 034027P931 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

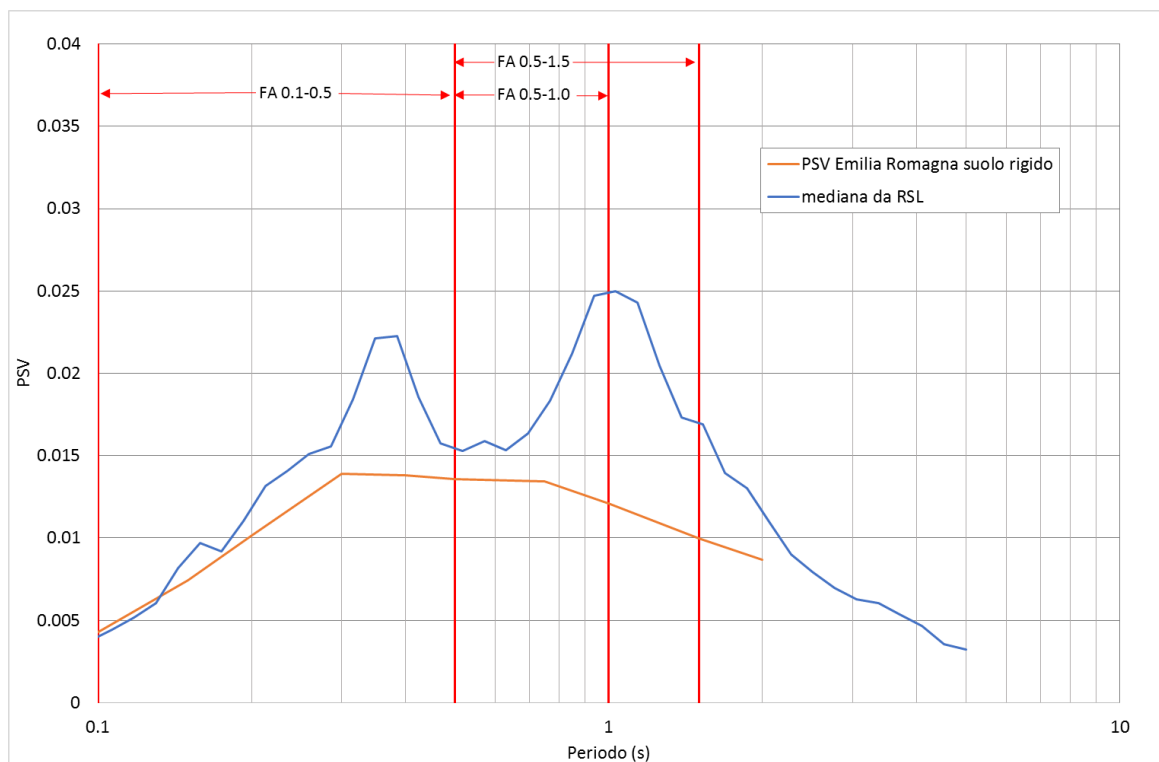


Fig. 35 - 034027P931 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

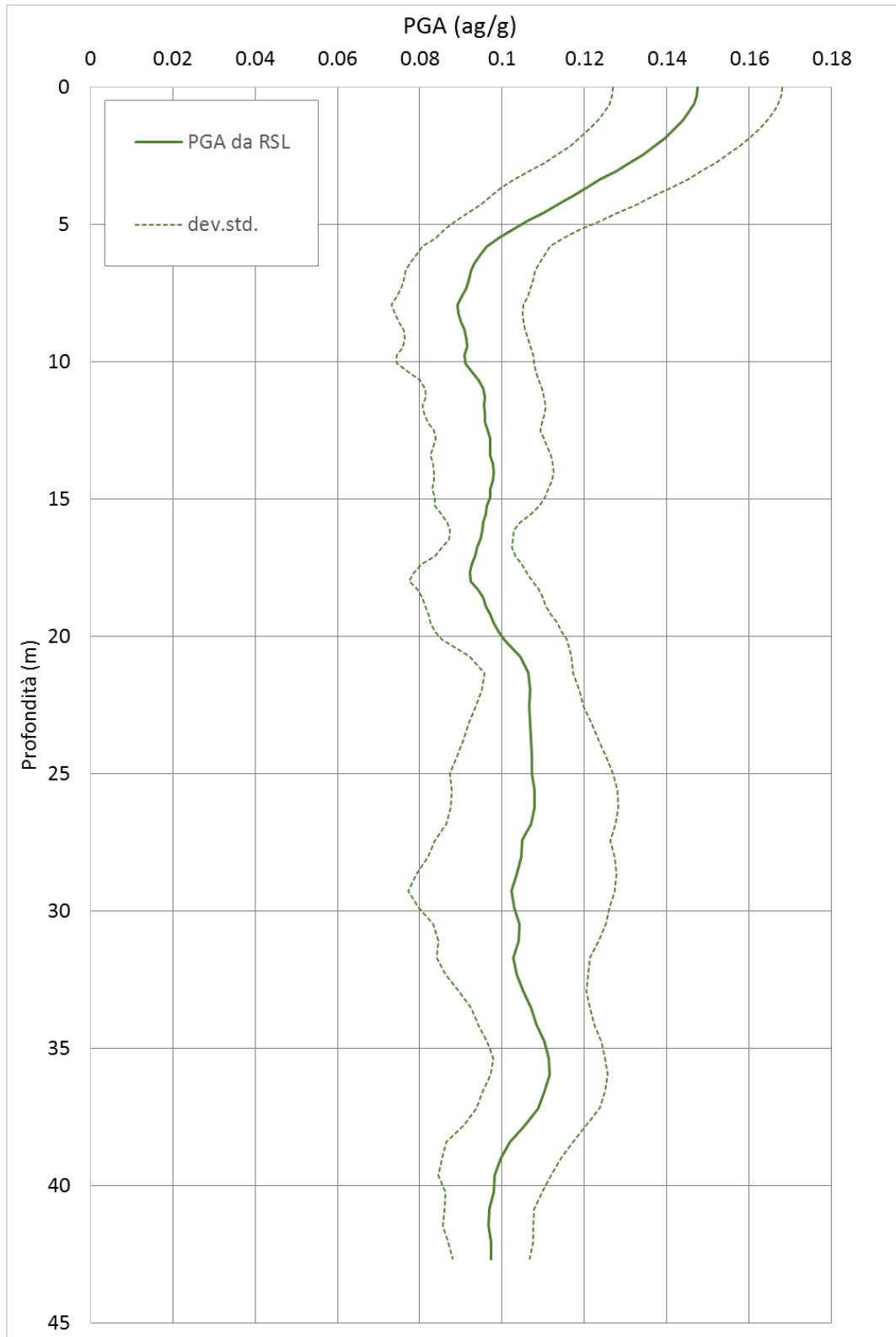


Fig. 36 - 034027P931 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

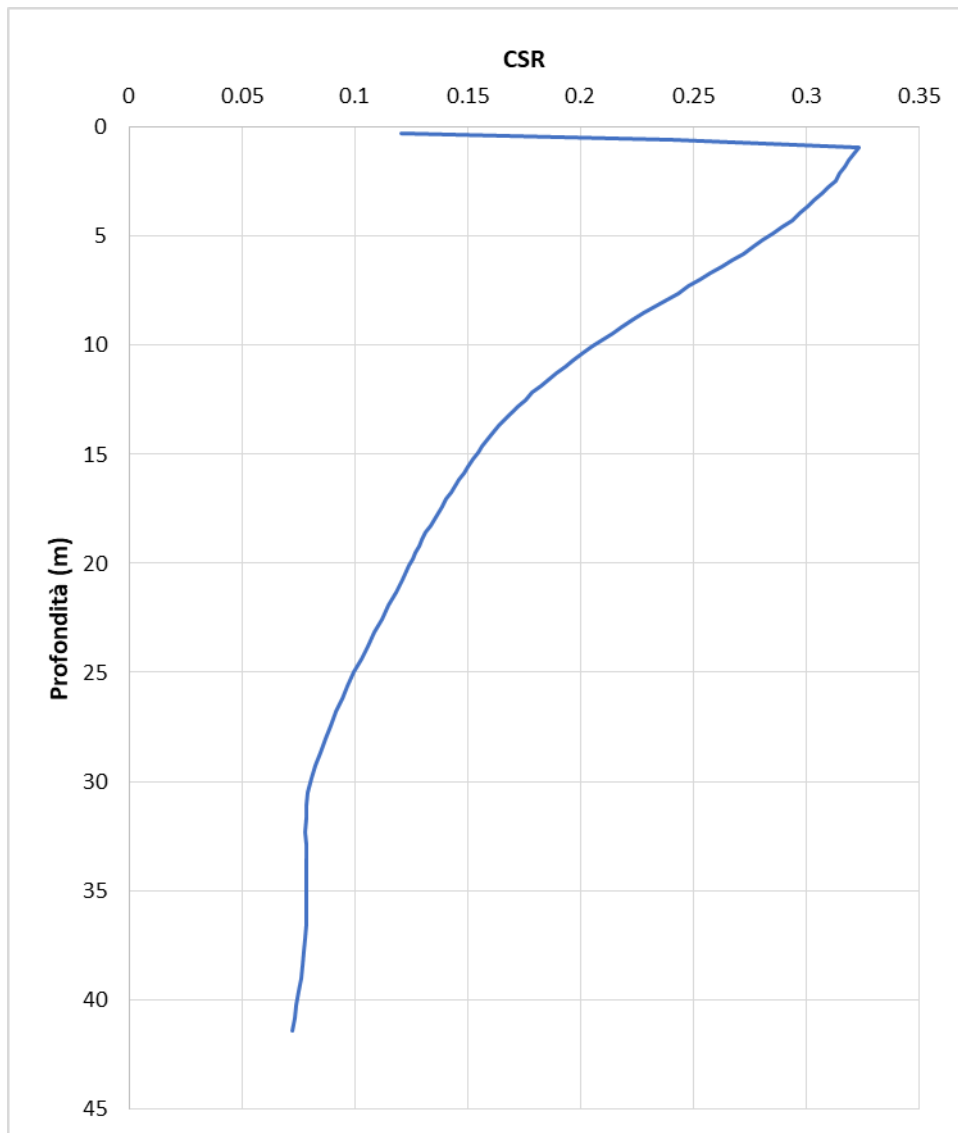


Fig. 37 - 034027P931 - Variazione del Cyclic Stress Ratio con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.26
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.28
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.70
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.76

Tab. 12 - 034027P931 - Fattori di amplificazione



3.6.4 RSL per il sito 034027P932

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	23.00	0.00	18.00	170.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		23.00	21.00	450.00				

Tab. 13 - 034027P932 - Modello geofisico

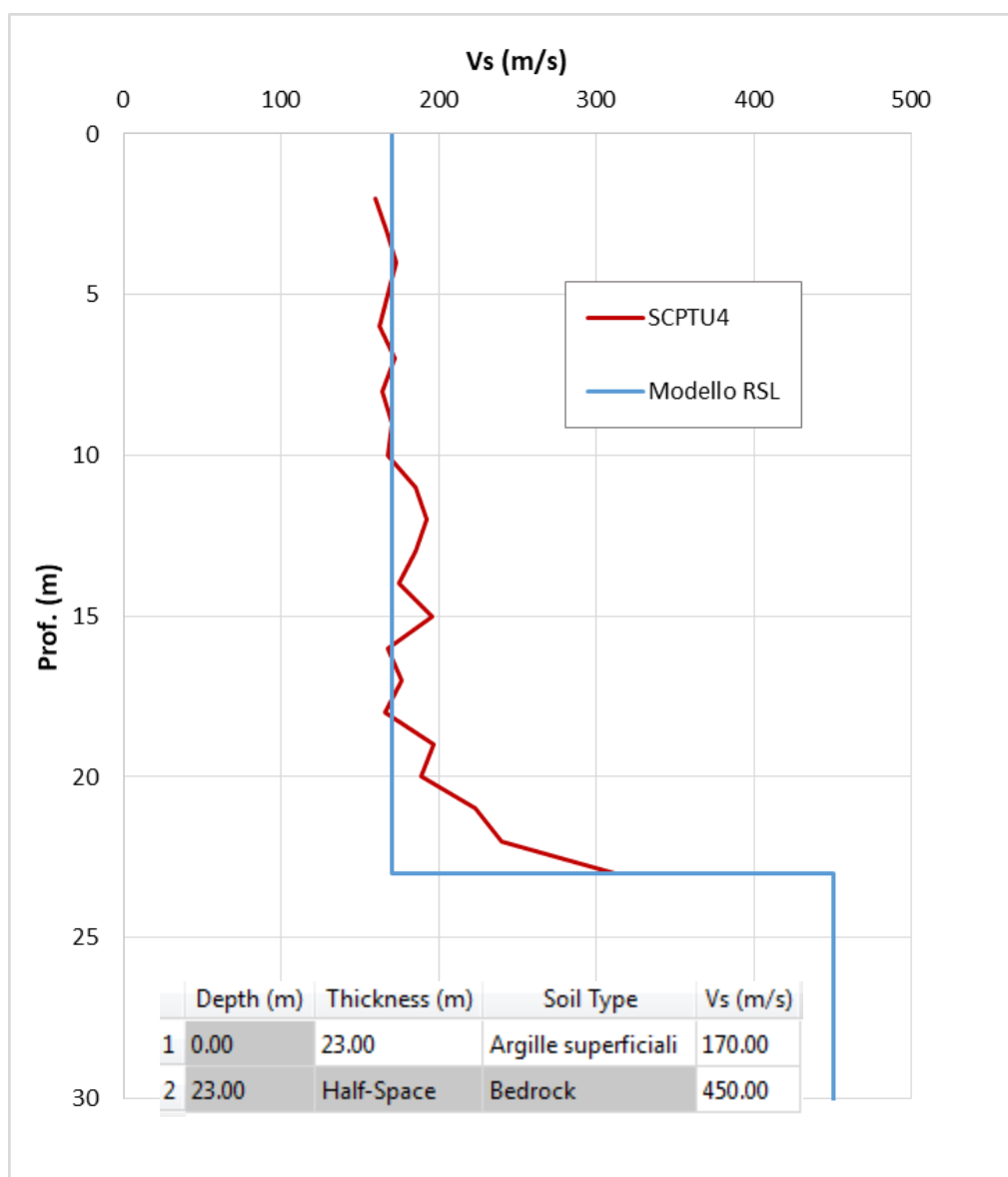


Fig. 38 - 034027P932 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

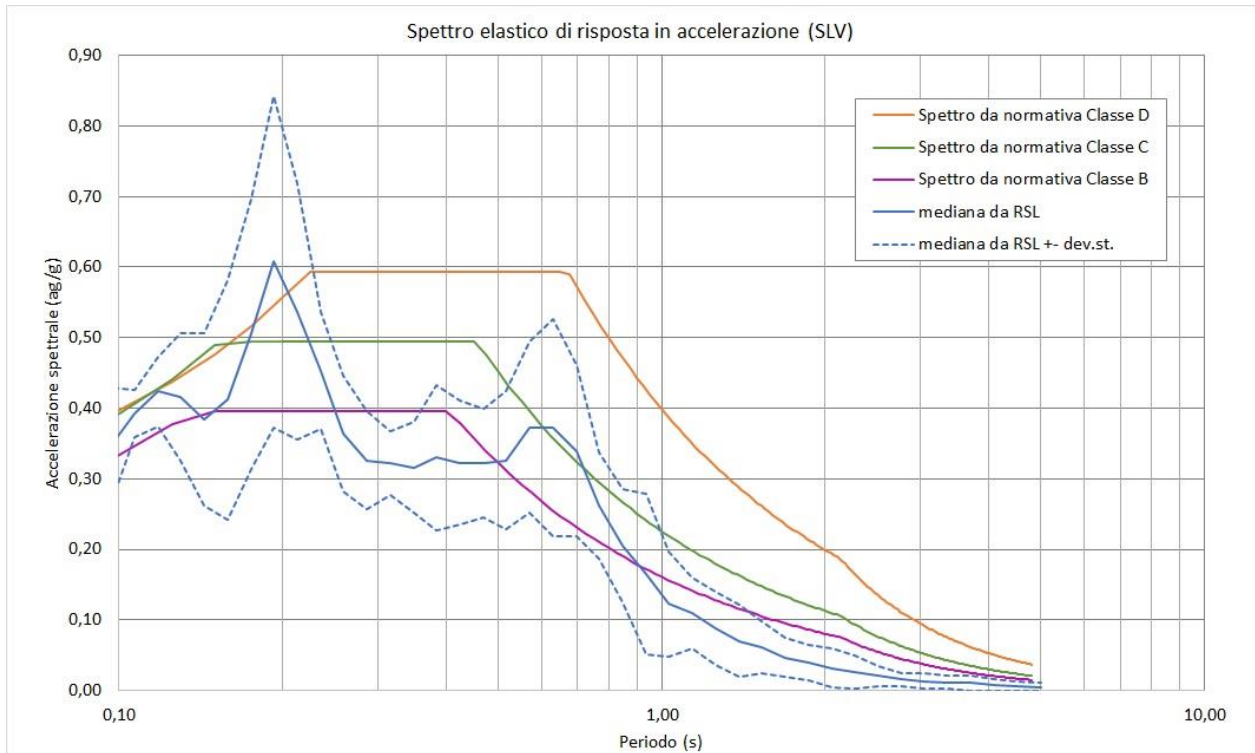


Fig. 39 - 034027P932 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

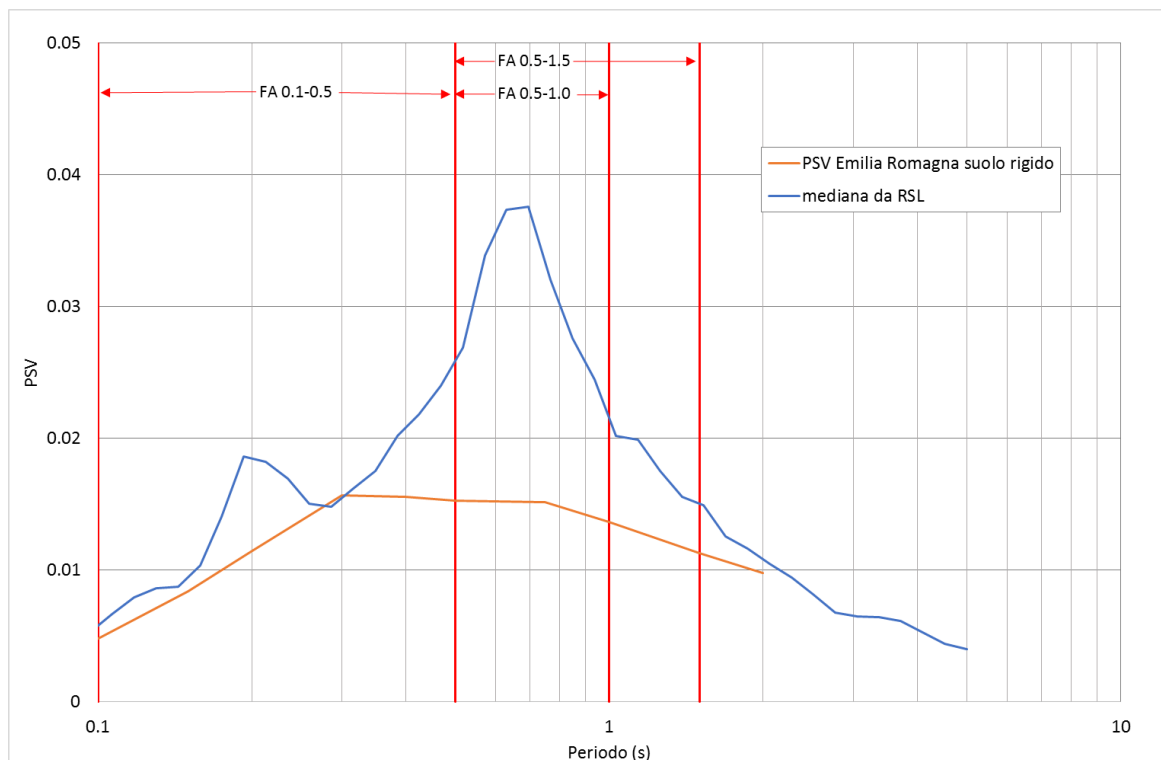


Fig. 40 - 034027P932 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	49 di 164

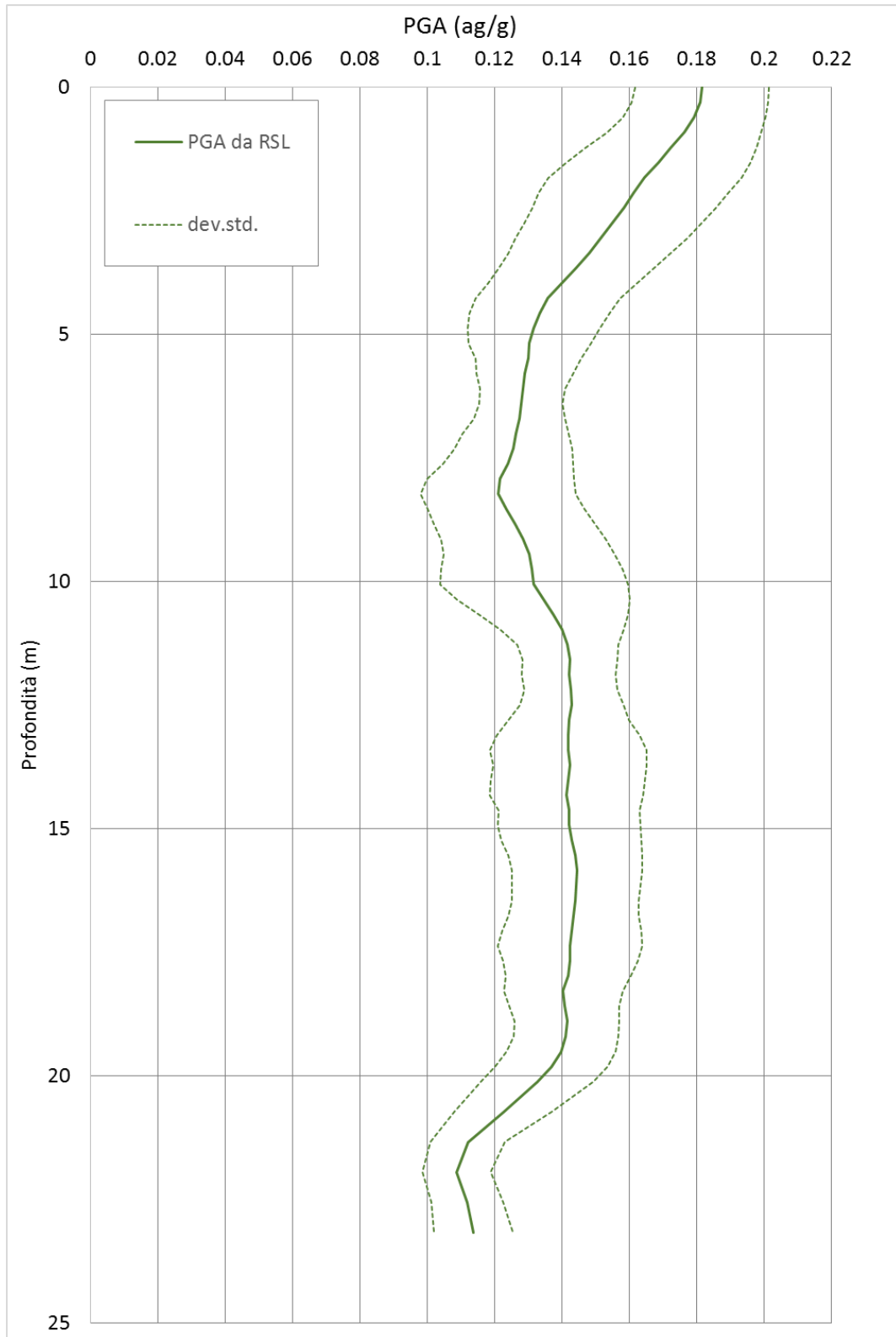


Fig. 41 - 034027P932 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

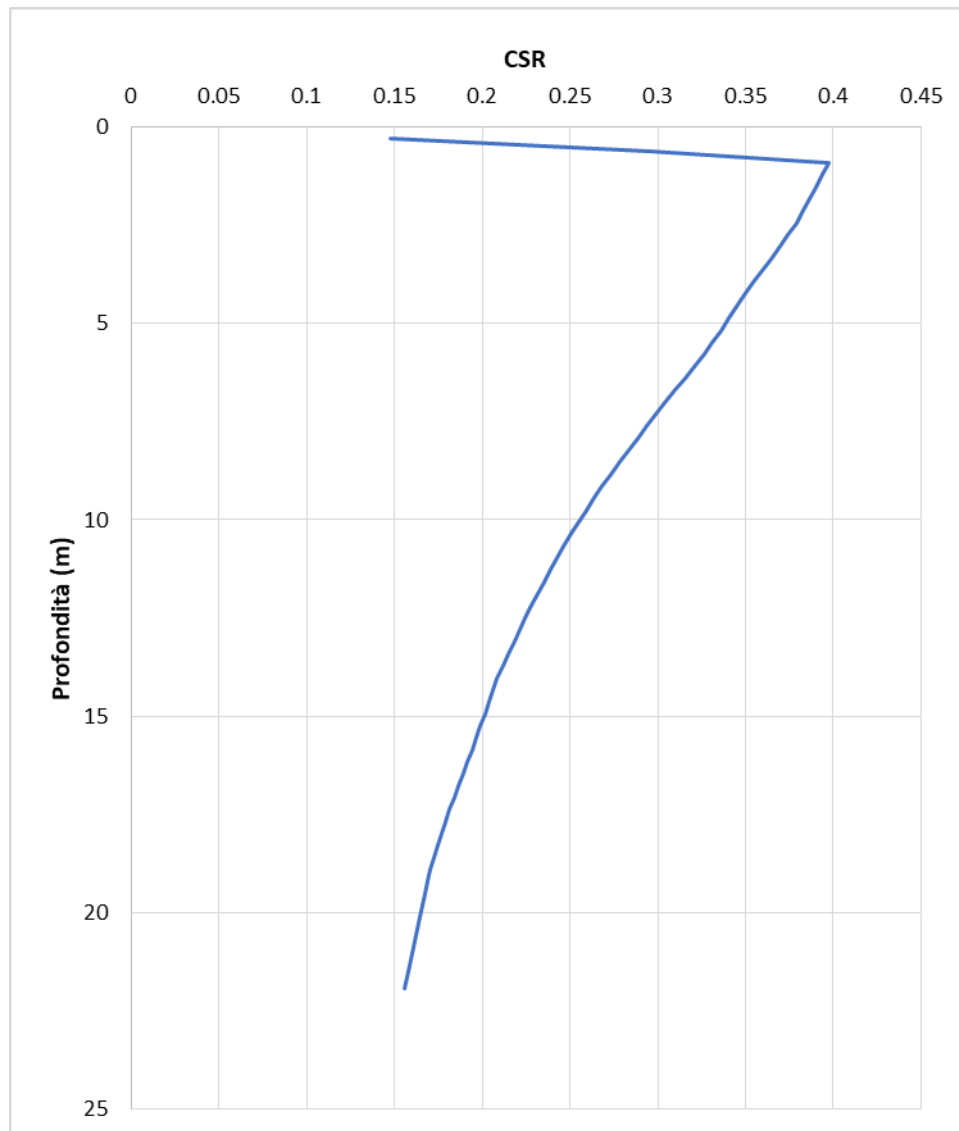


Fig. 42 - 034027P932 - Variazione del Cyclic Stress Ratio con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.38
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.34
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.99
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.69

Tab. 14 - 034027P932 - Fattori di amplificazione



3.6.5 RSL per il sito 034027P933

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	19.00	0.00	18.00	170.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		19.00	21.00	450.00				

Tab. 15 - 034027P933 - Modello geofisico

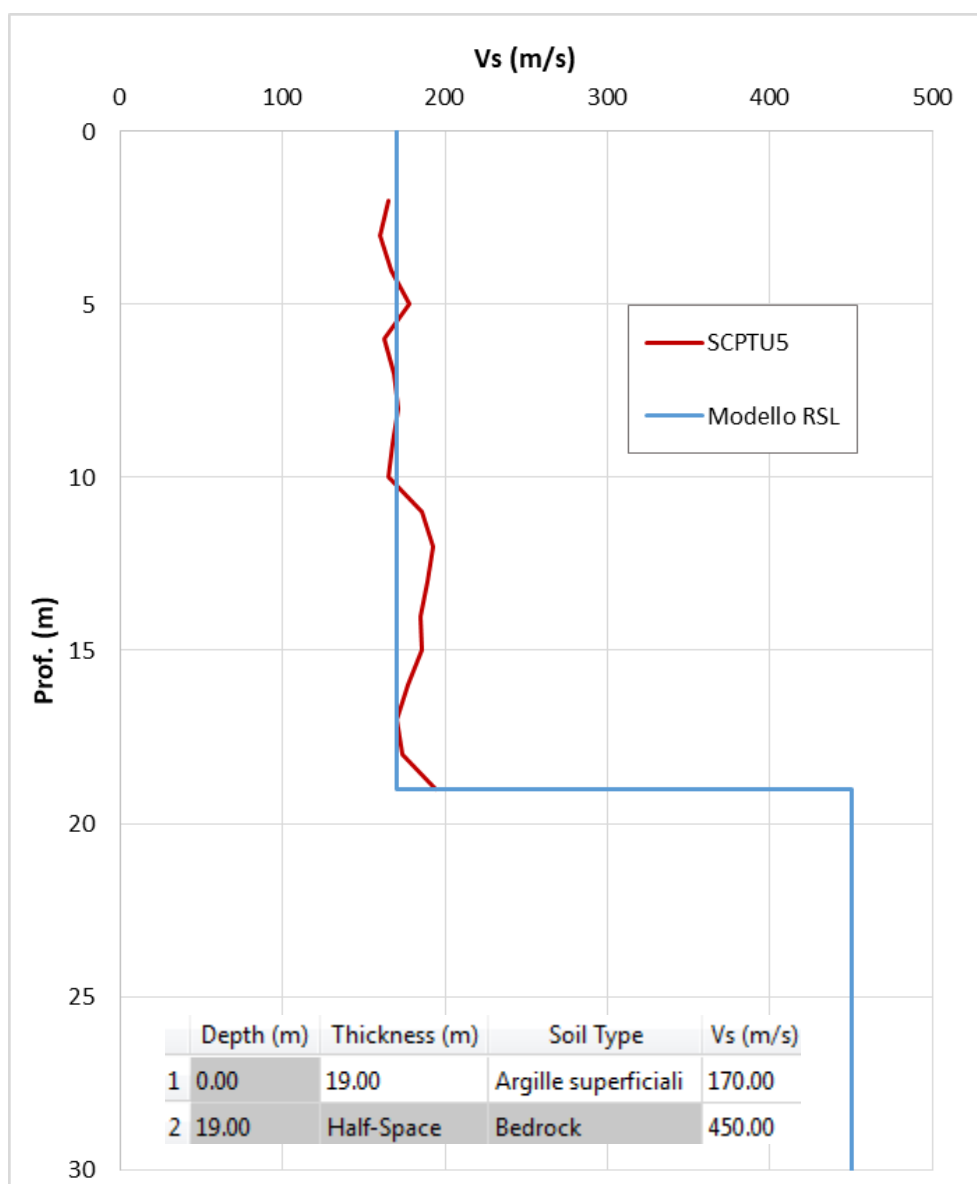


Fig. 43 - 034027P933 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

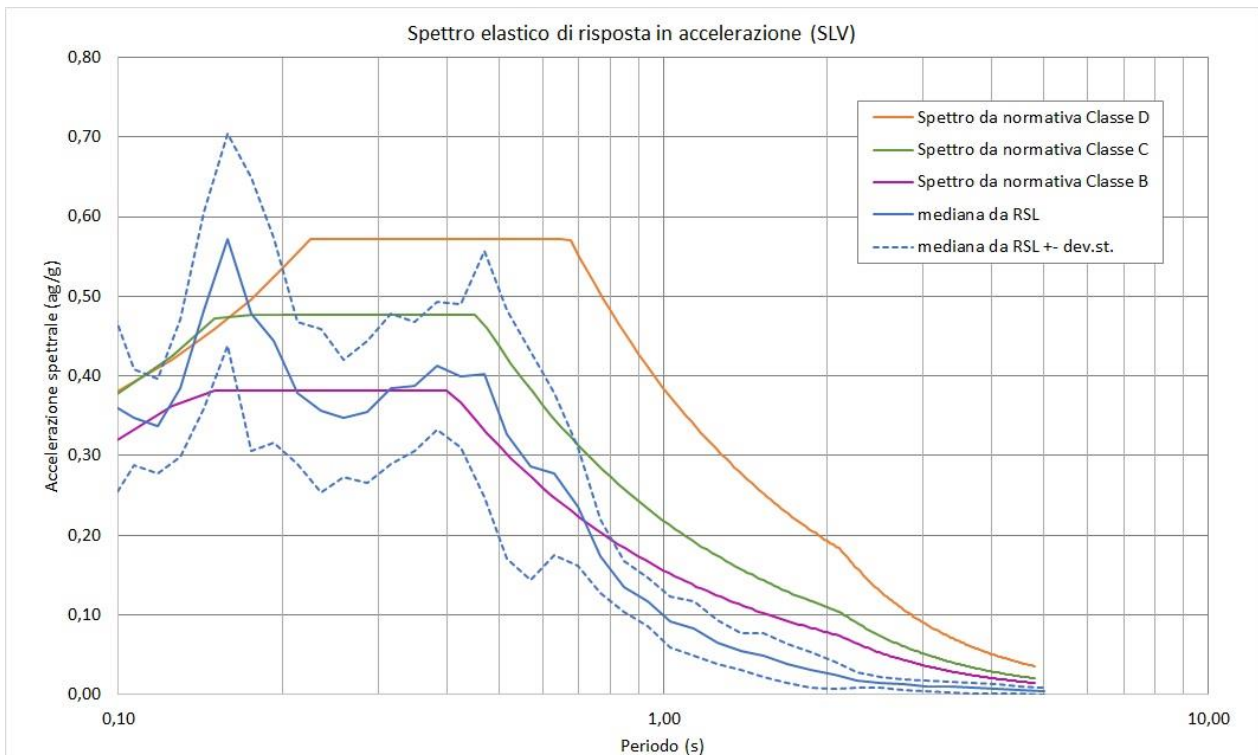


Fig. 44 - 034027P933- Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

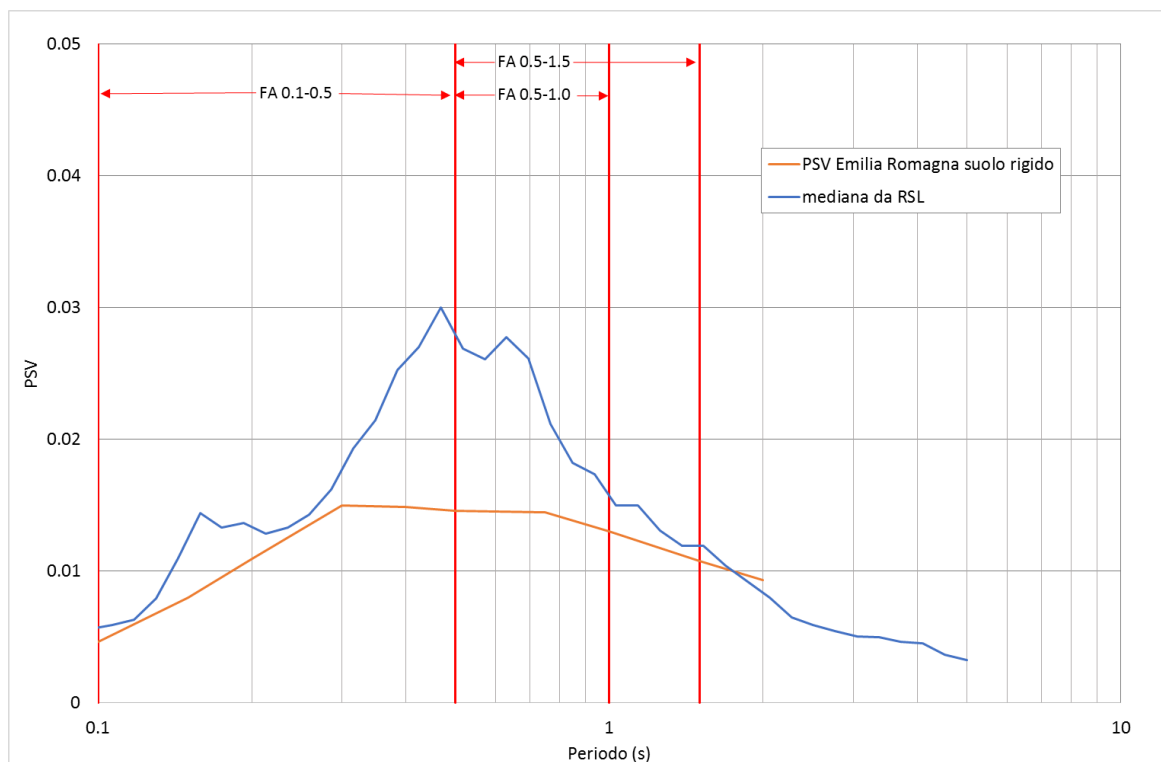


Fig. 45 - 034027P933 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	53 di 164

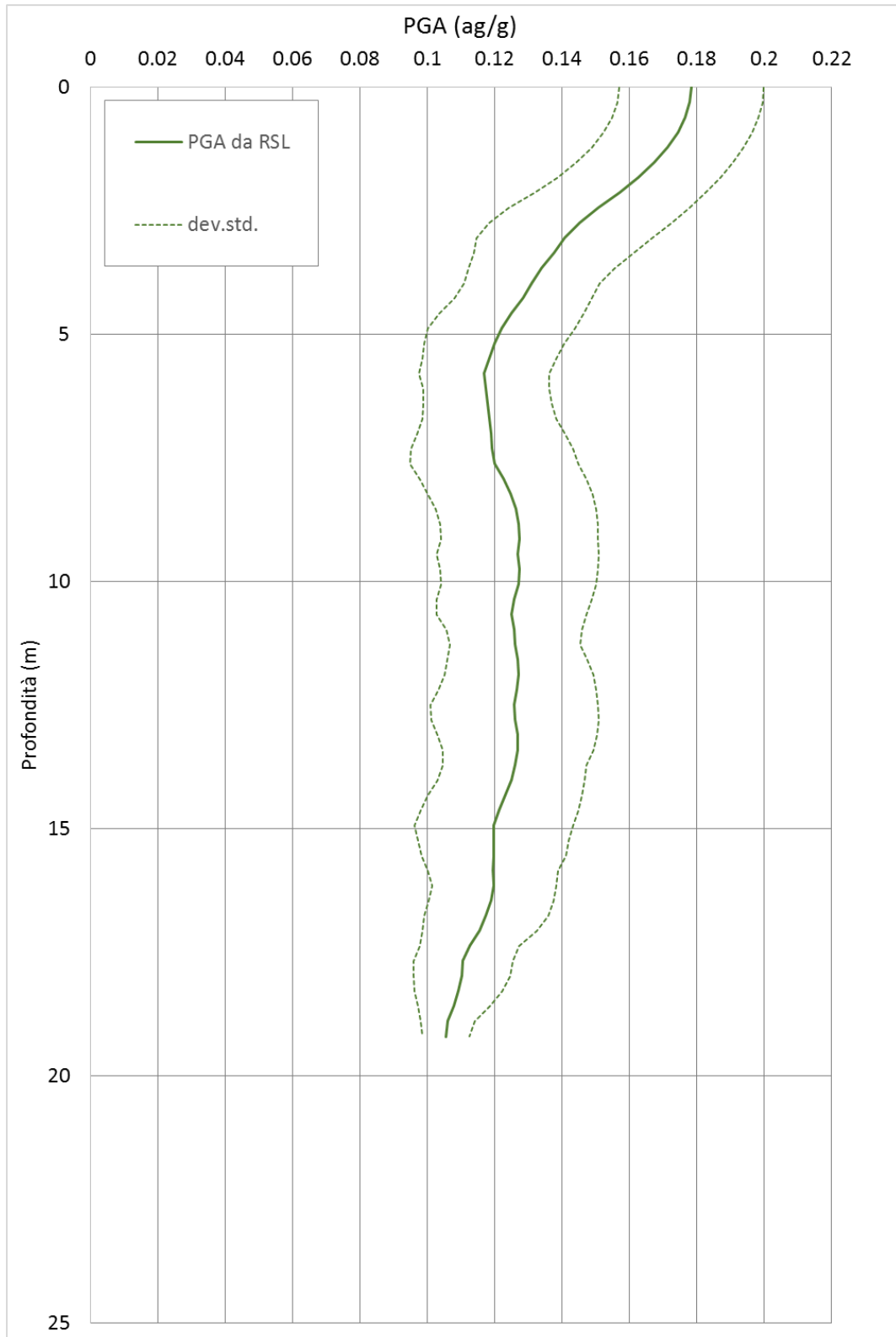


Fig. 46 - 034027P933 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

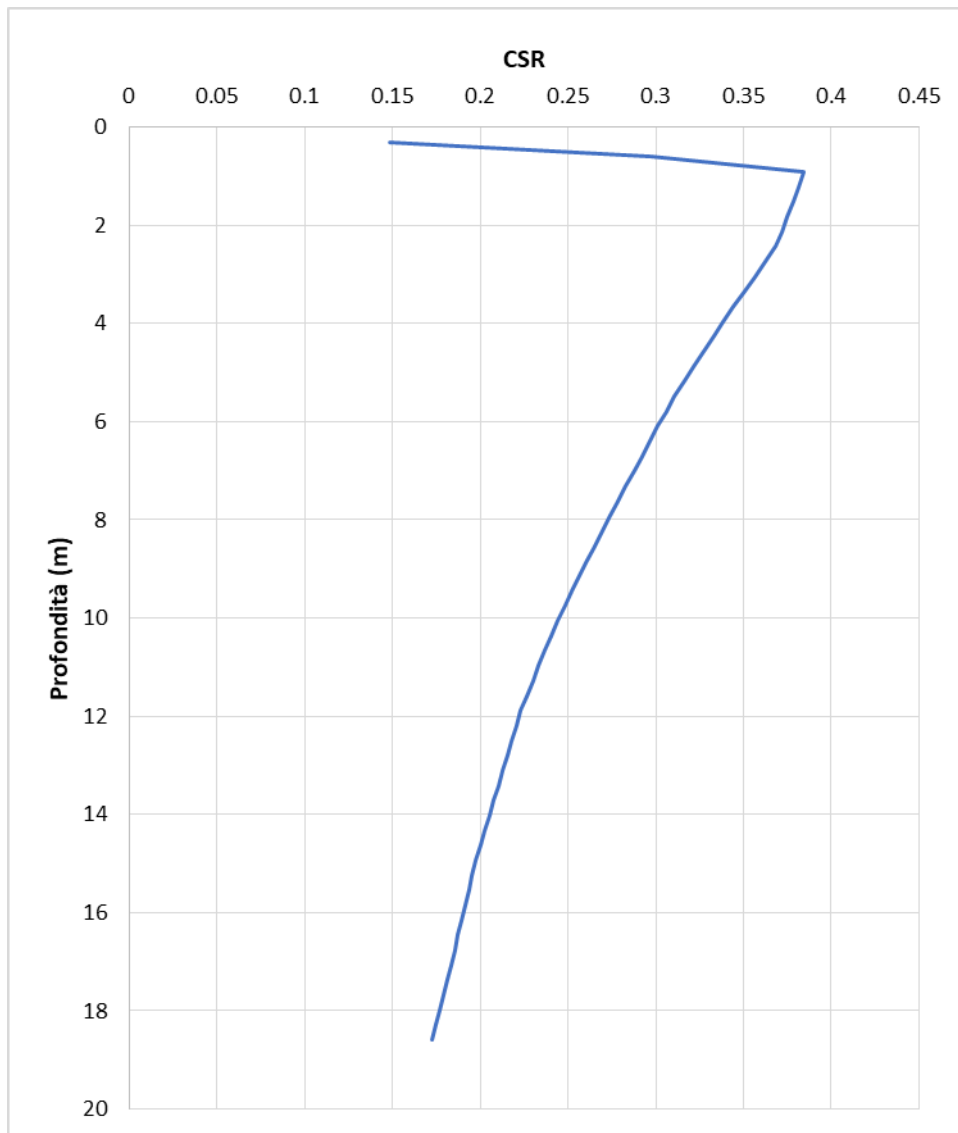


Fig. 47 - 034027P933 - Variazione del Cyclic Stress Ratio con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.42
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.50
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.48
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.30

Tab. 16 - 034027P933 - Fattori di amplificazione



3.6.6 RSL per il sito 034027P965

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	3.00	0.00	18.00	160.00	42.56	1.08	38.82	3.44
Ghiaia superficiale	6.50	3.00	19.50	380.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla profonda	6.00	9.50	21.00	280.00	36.50	1.33	24.87	2.03
Bedrock		15.50		675.00				

Tab. 17 - 034027P965 - Modello geofisico

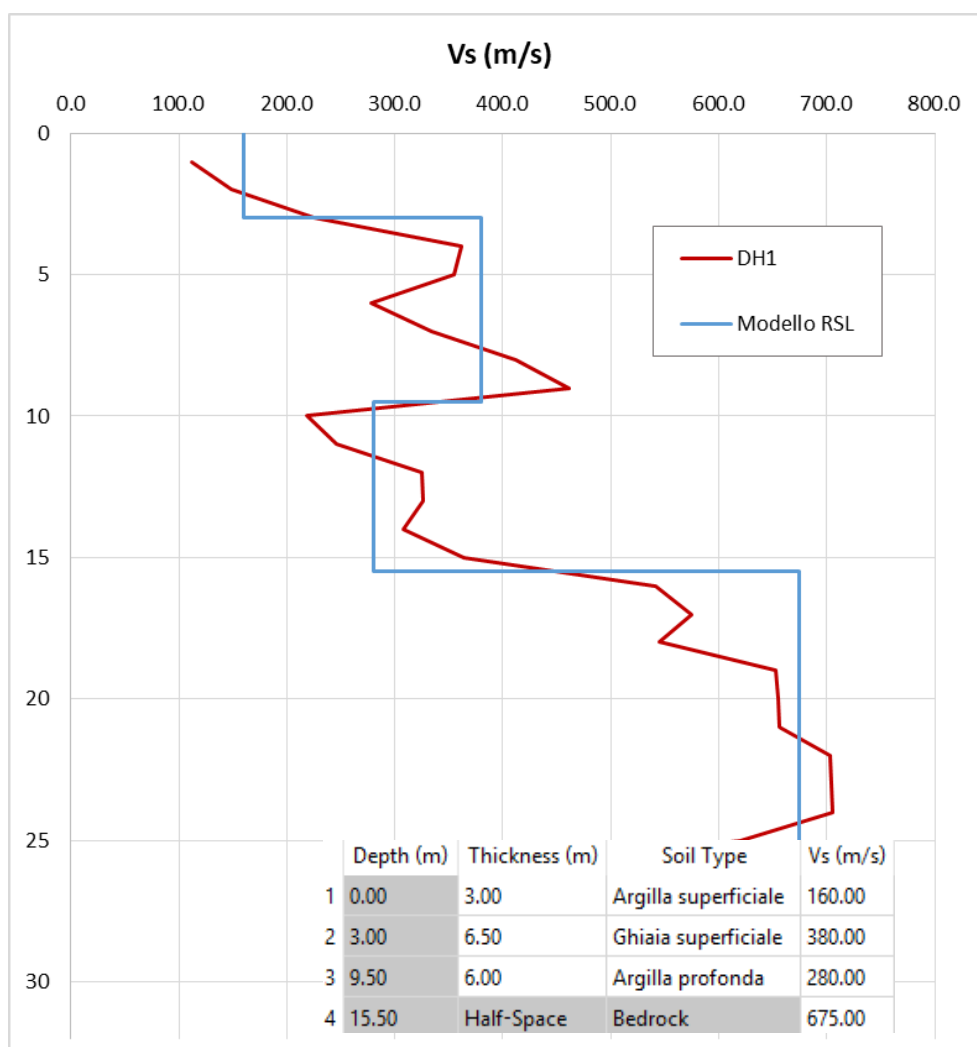


Fig. 48 - 034027P965 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

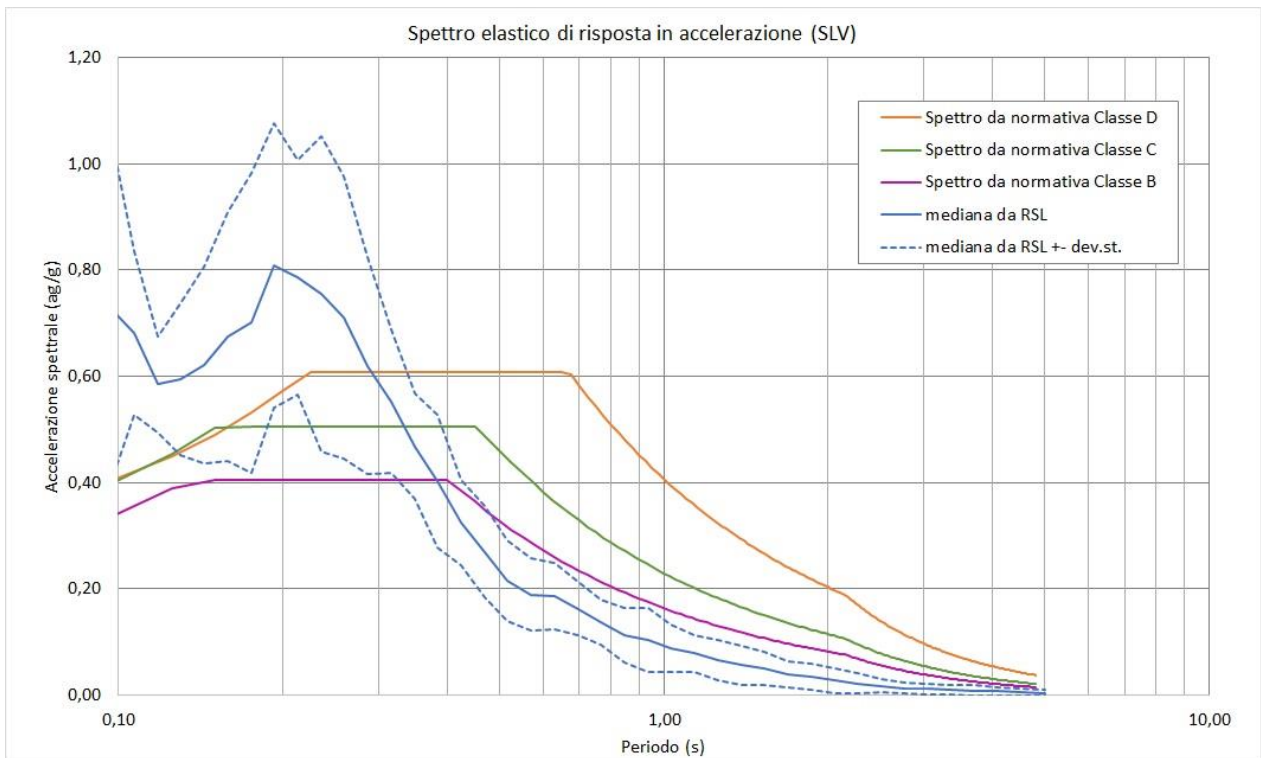


Fig. 49 - 034027P965- Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

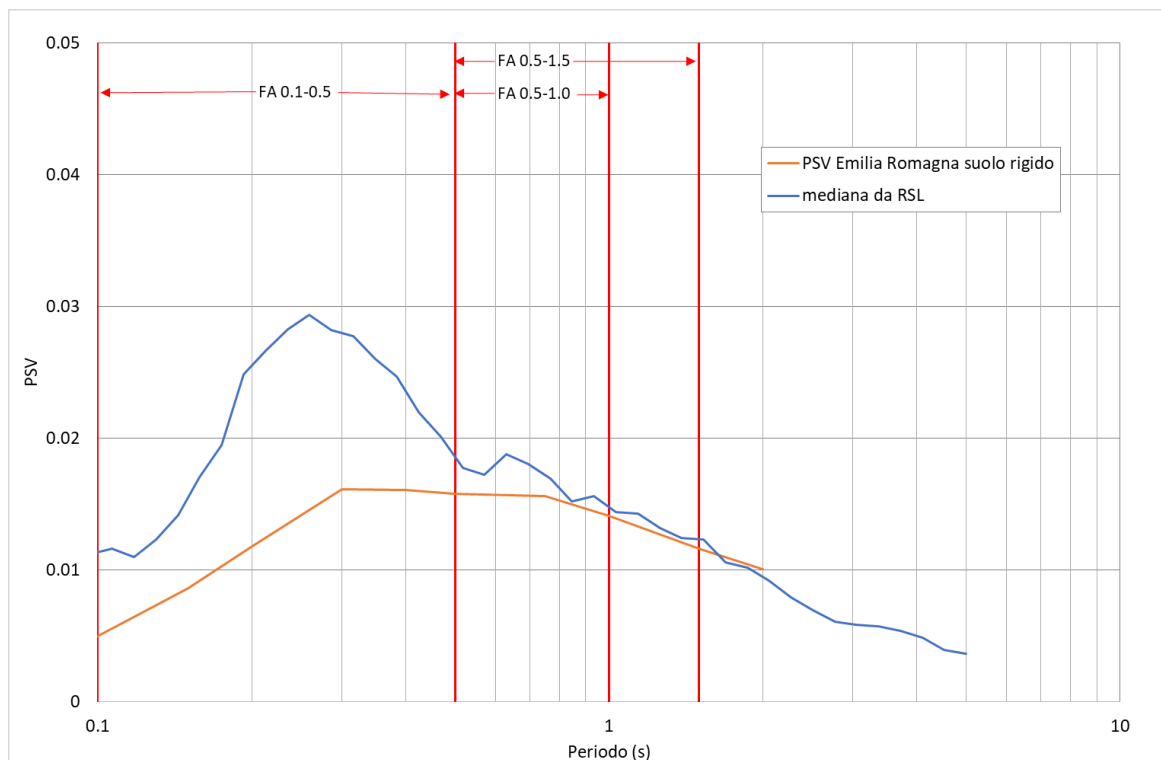


Fig. 50 - 034027P965 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	57 di 164

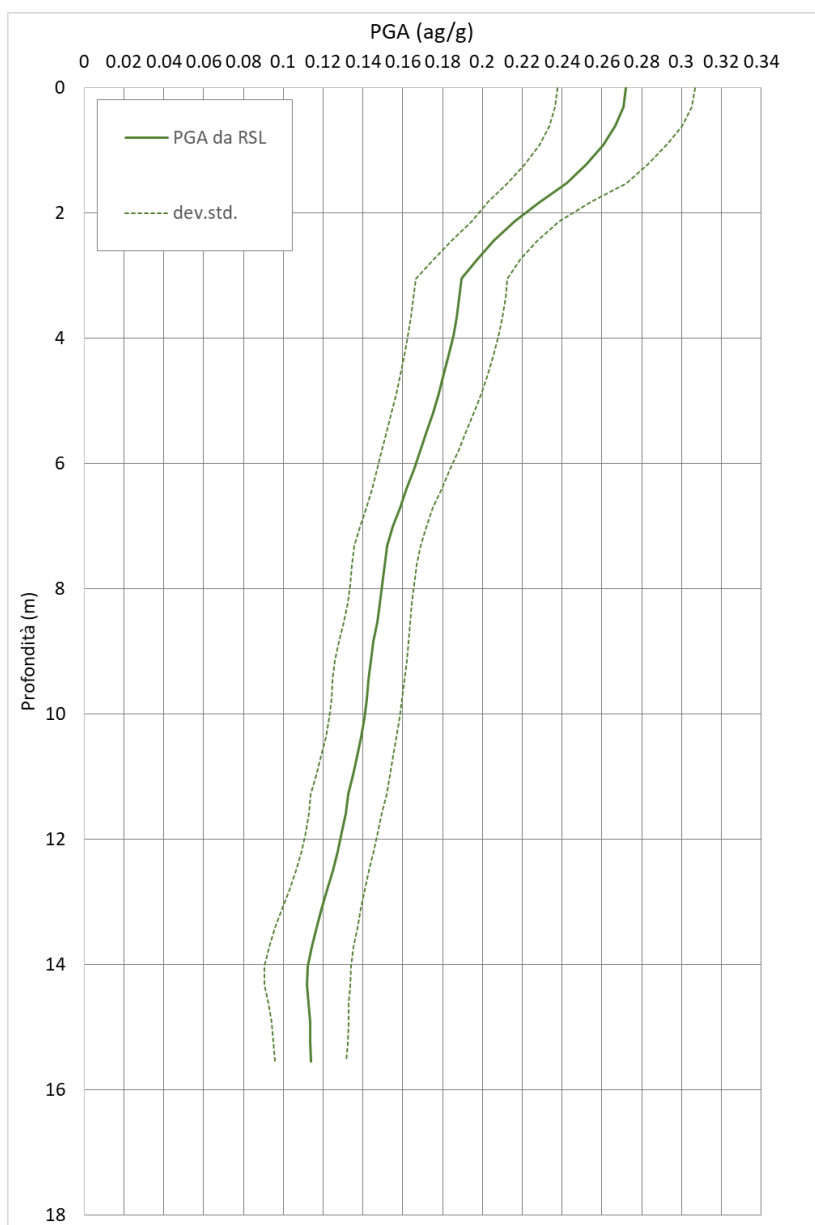


Fig. 51 - 034027P965 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	2.00
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.65
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.09
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.07

Tab. 18 - 034027P965 - Fattori di amplificazione



3.6.7 RSL per il sito 034027P966

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Limo argilloso	10.00	0.00	18.00	170.00	42.56	1.08	38.82	3.44
Ghiaia superficiale	11.00	10.00	20.00	300.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla profonda	4.50	21.00	19.00	246.00	36.50	1.33	24.87	2.03
Bedrock		25.50		450.00				

Tab. 19 - 034027P966 - Modello geofisico

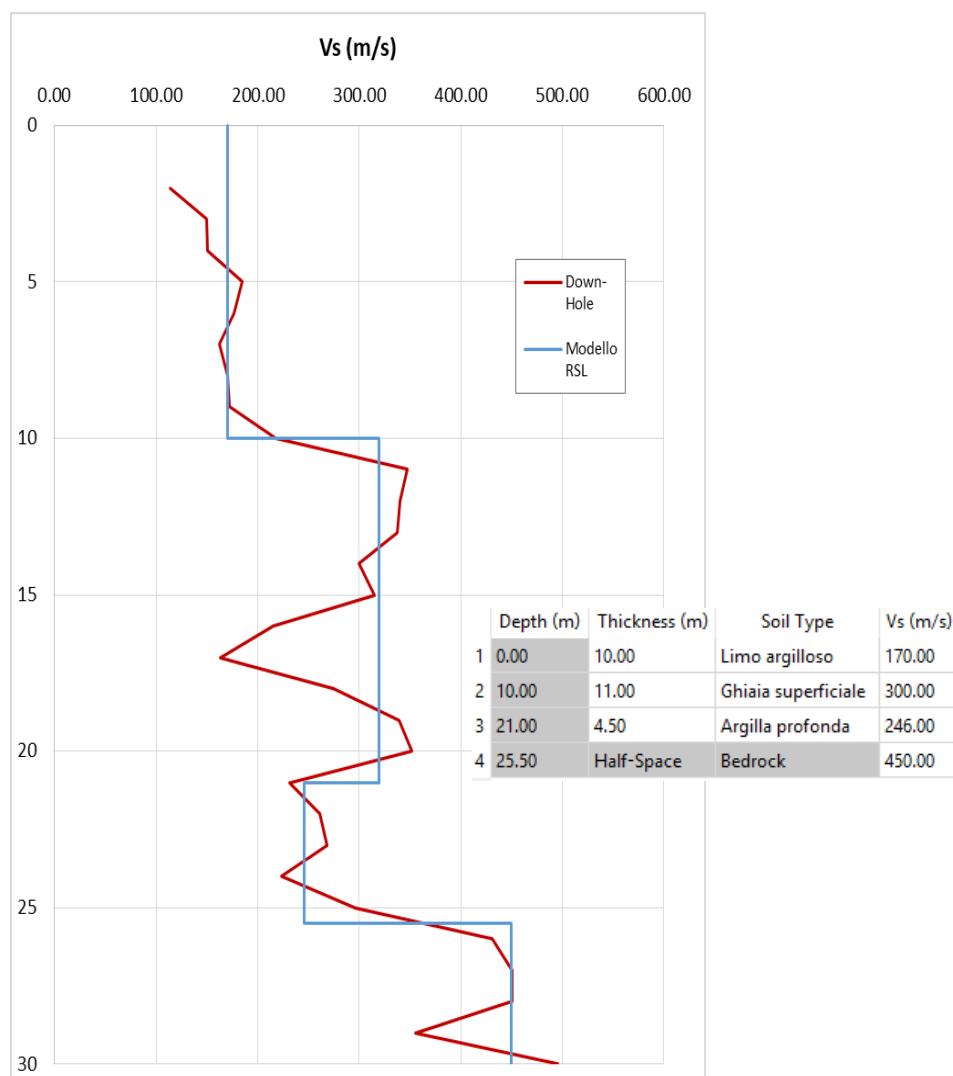


Fig. 52 - 034027P966 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

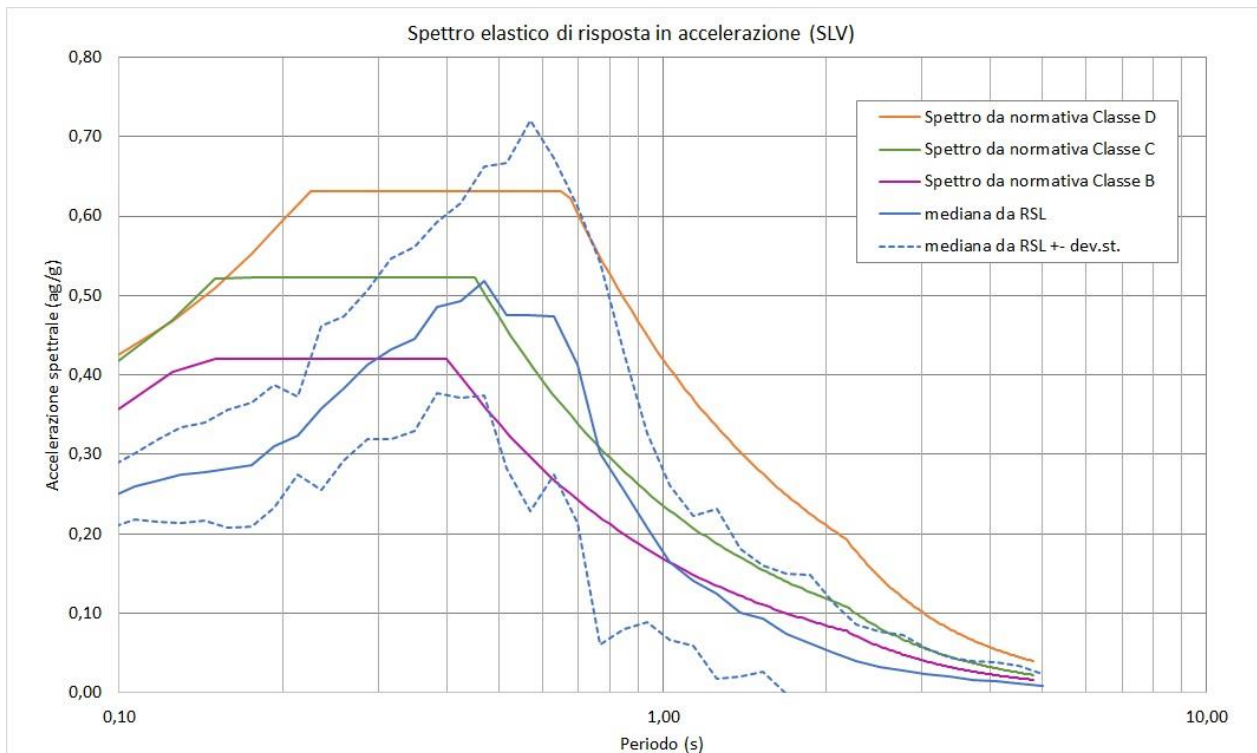


Fig. 53 - 034027P966- Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

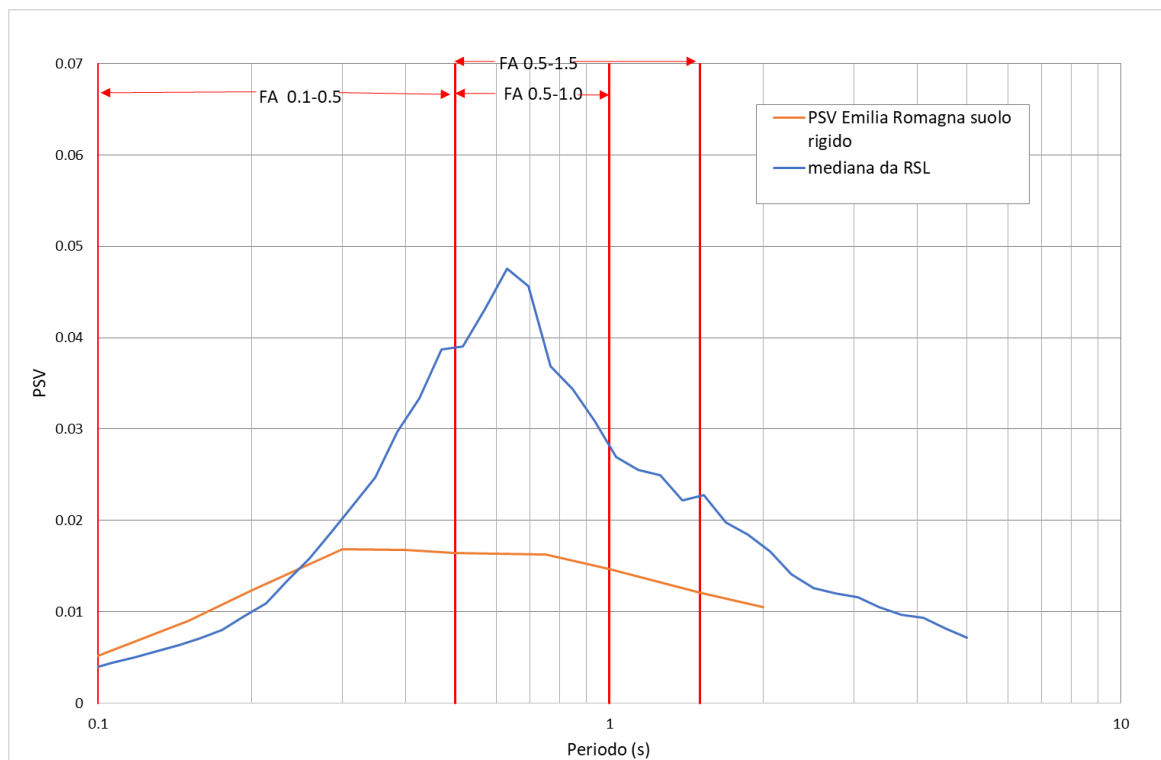


Fig. 54 - 034027P966 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

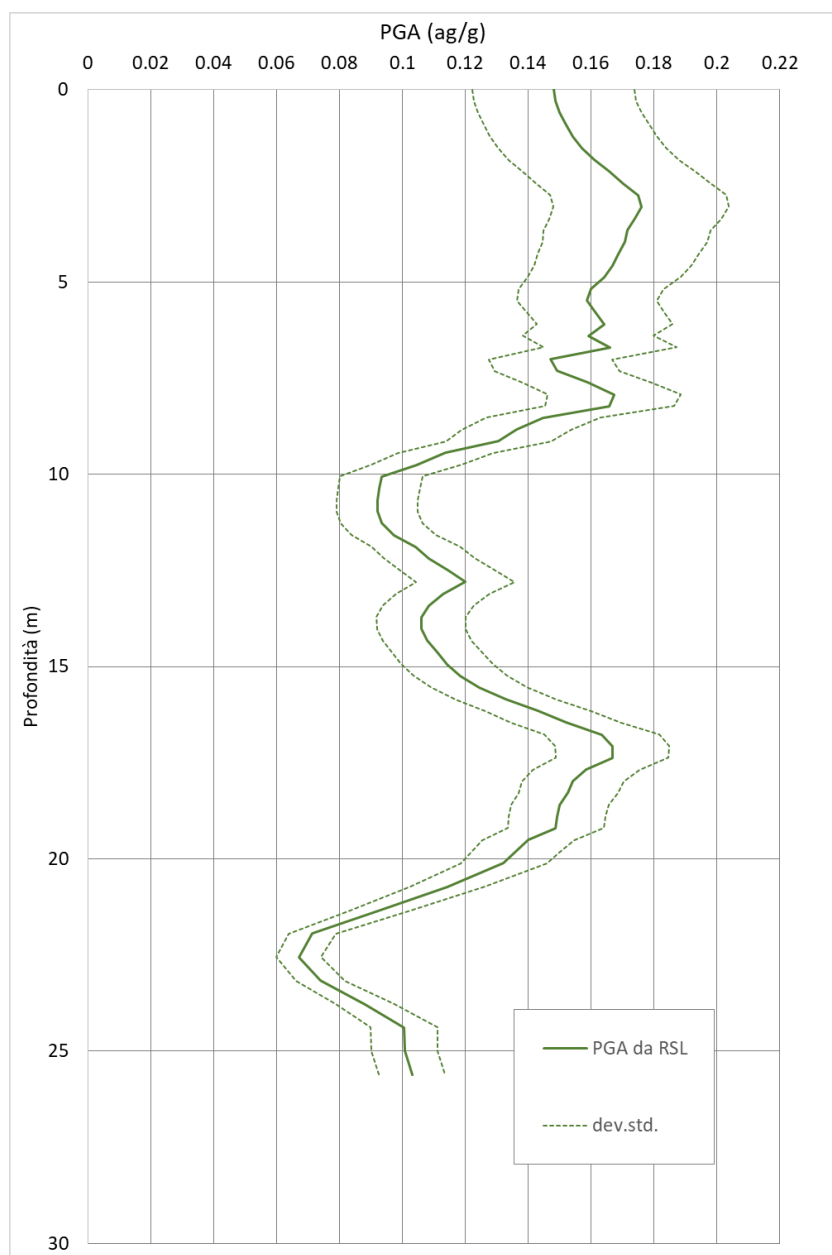


Fig. 55 - 034027P966 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.27
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.47
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.32
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	2.09

Tab. 20 - 034027P966 - Fattori di amplificazione



3.6.8 RSL per il sito 034027P986

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	25.00	0.00	18.00	155.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Argilla profonda	17.00	25.00	19.00	200.00	36.50	1.33	24.87	2.03
Bedrock		42.00	21.00	500.00				

Tab. 21 - 034027P986 - Modello geofisico

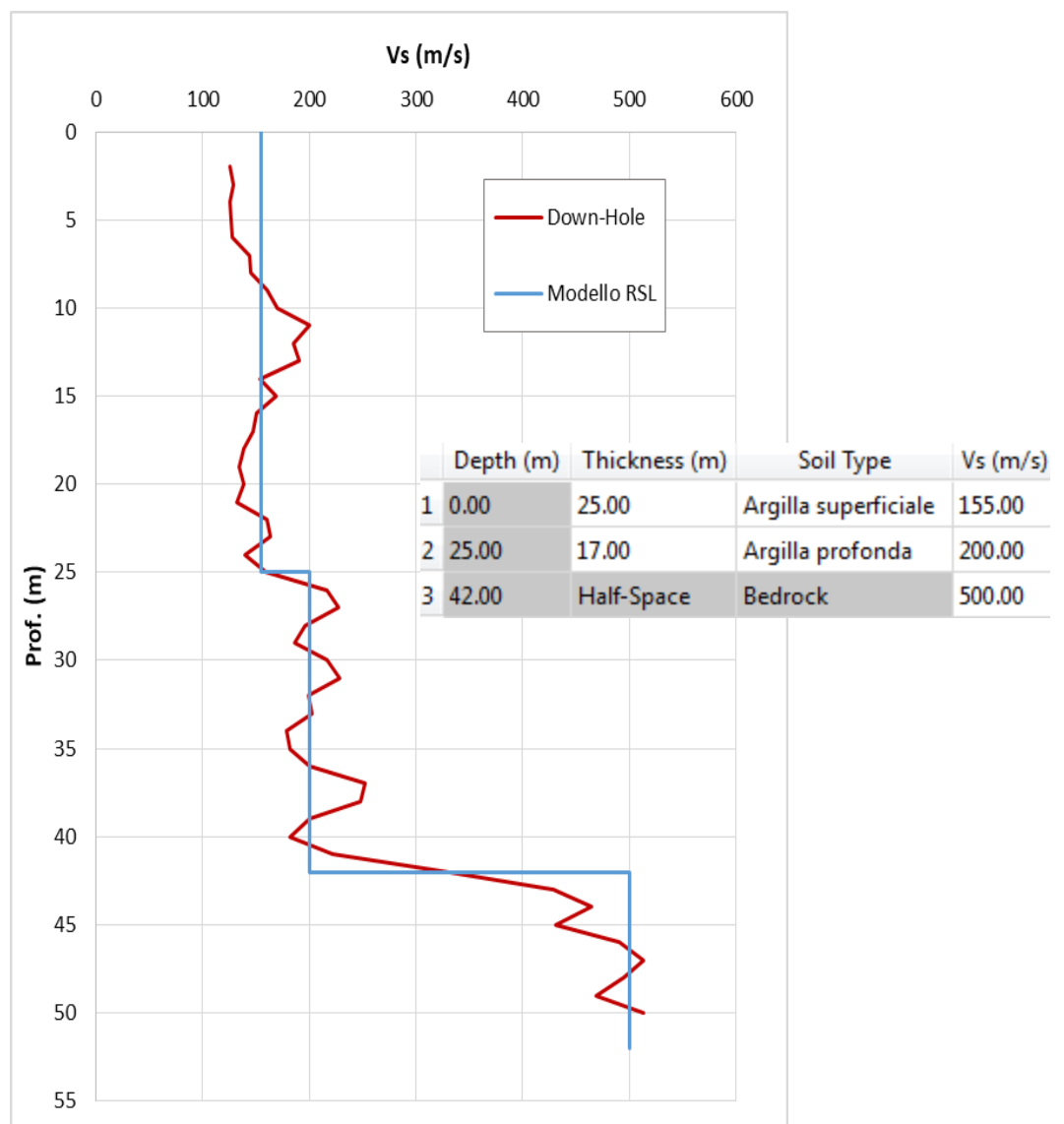


Fig. 56 - 034027P986 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

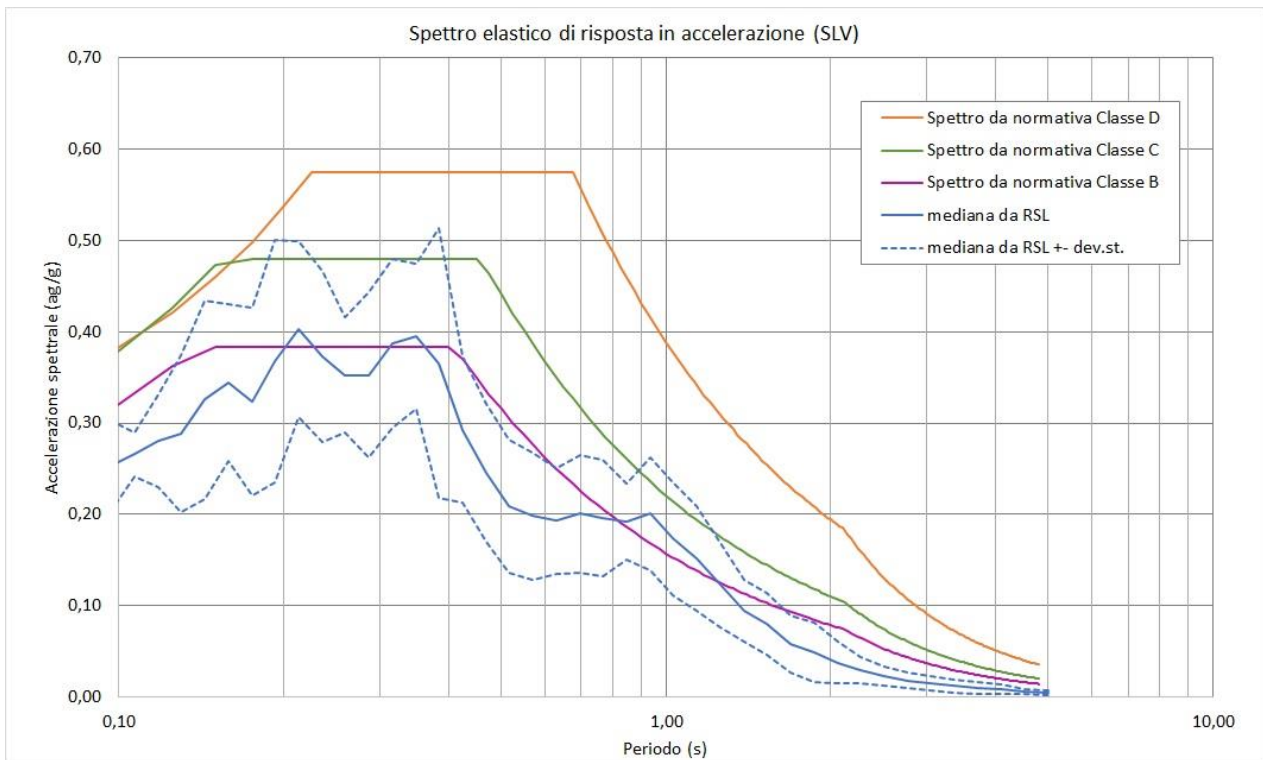


Fig. 57 - 034027P986 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

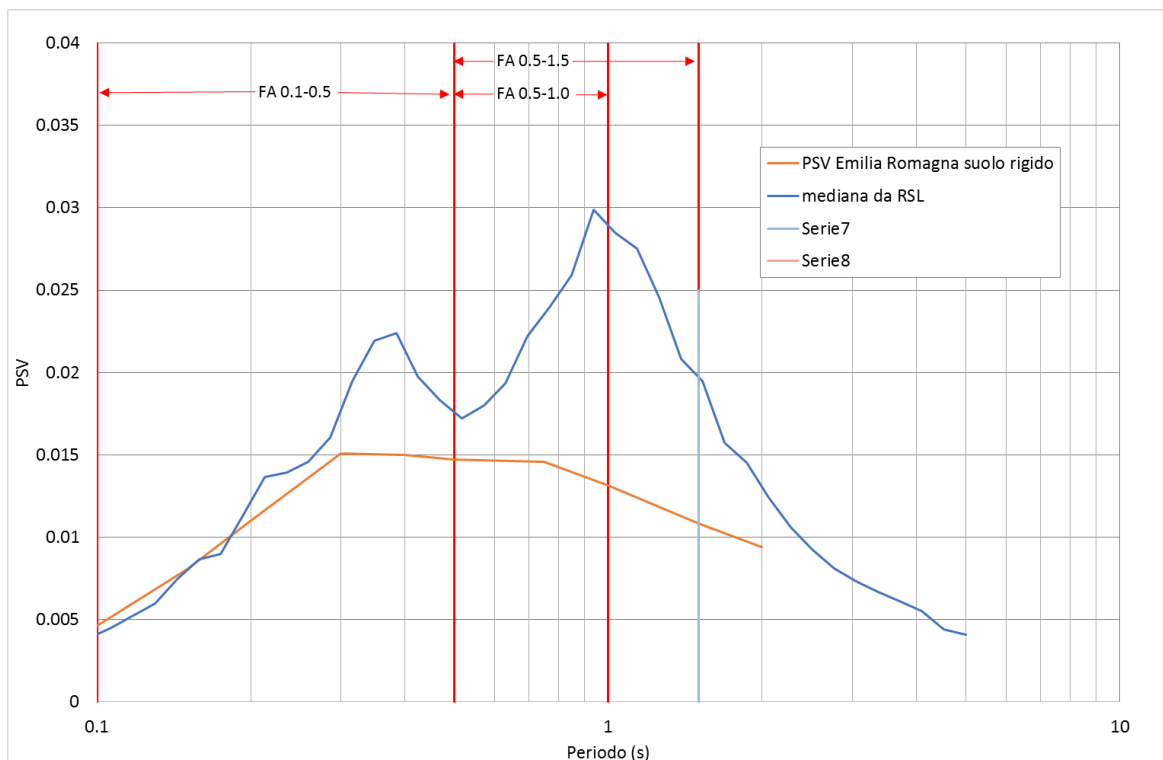


Fig. 58 - 034027P986 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	63 di 164

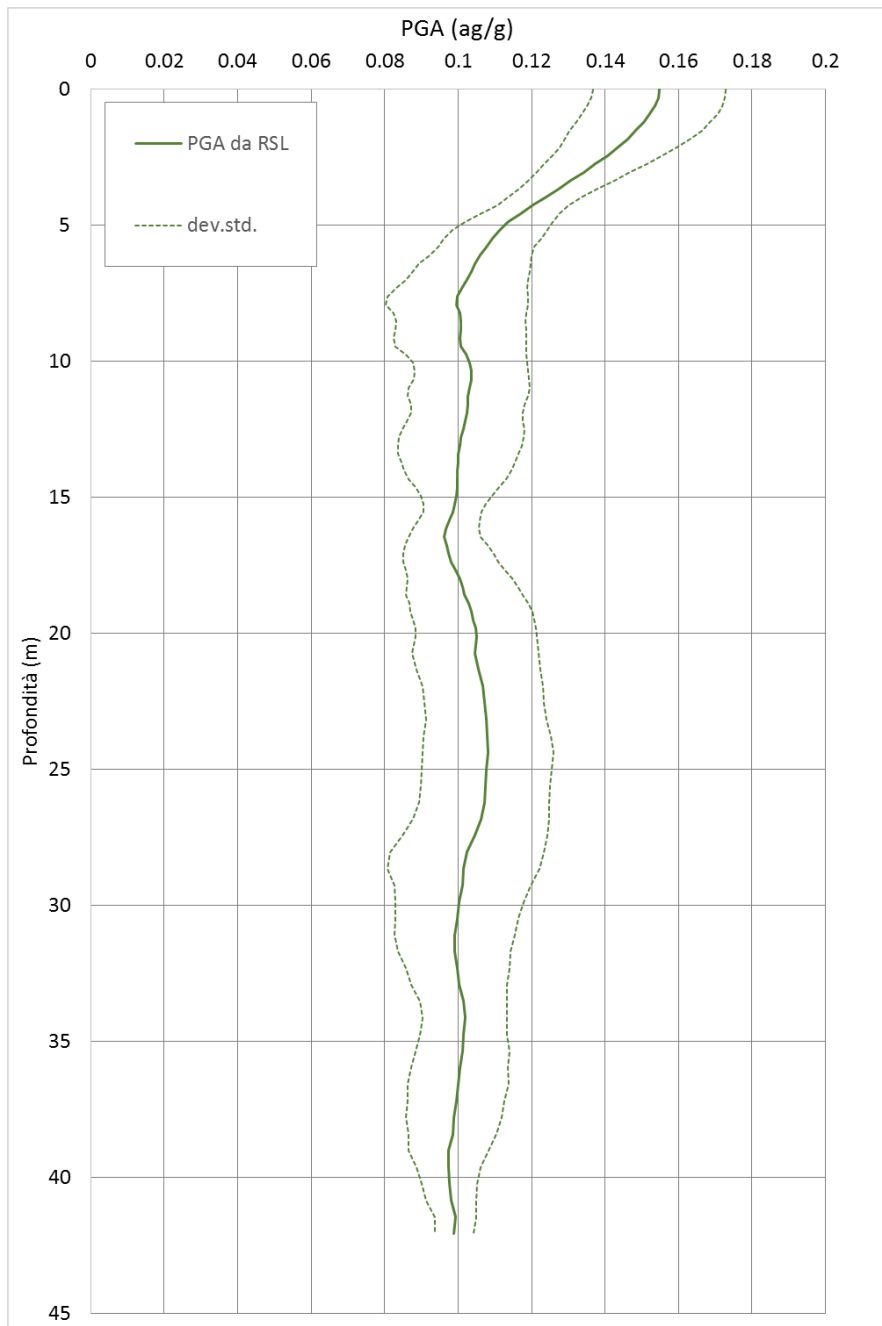


Fig. 59 - 034027P986 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.21
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.19
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.78
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.86

Tab. 22 - 034027P986 - Fattori di amplificazione



3.6.9 RSL per il sito 034027P984

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	32.50	0.00	18.00	190.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		32.50	21.00	500.00				

Tab. 23 - 034027P984 - Modello geofisico

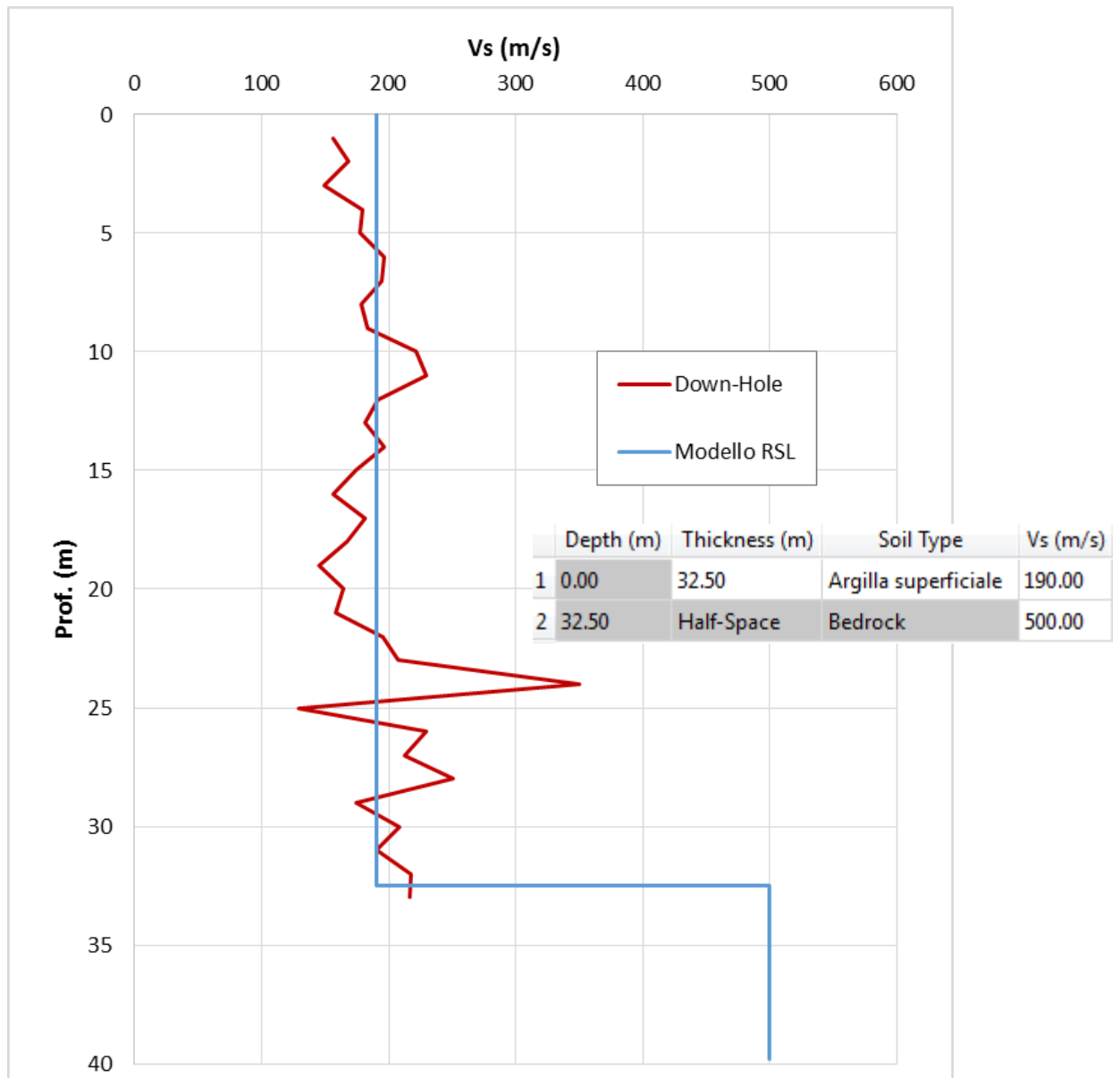


Fig. 60 - 034027P984 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

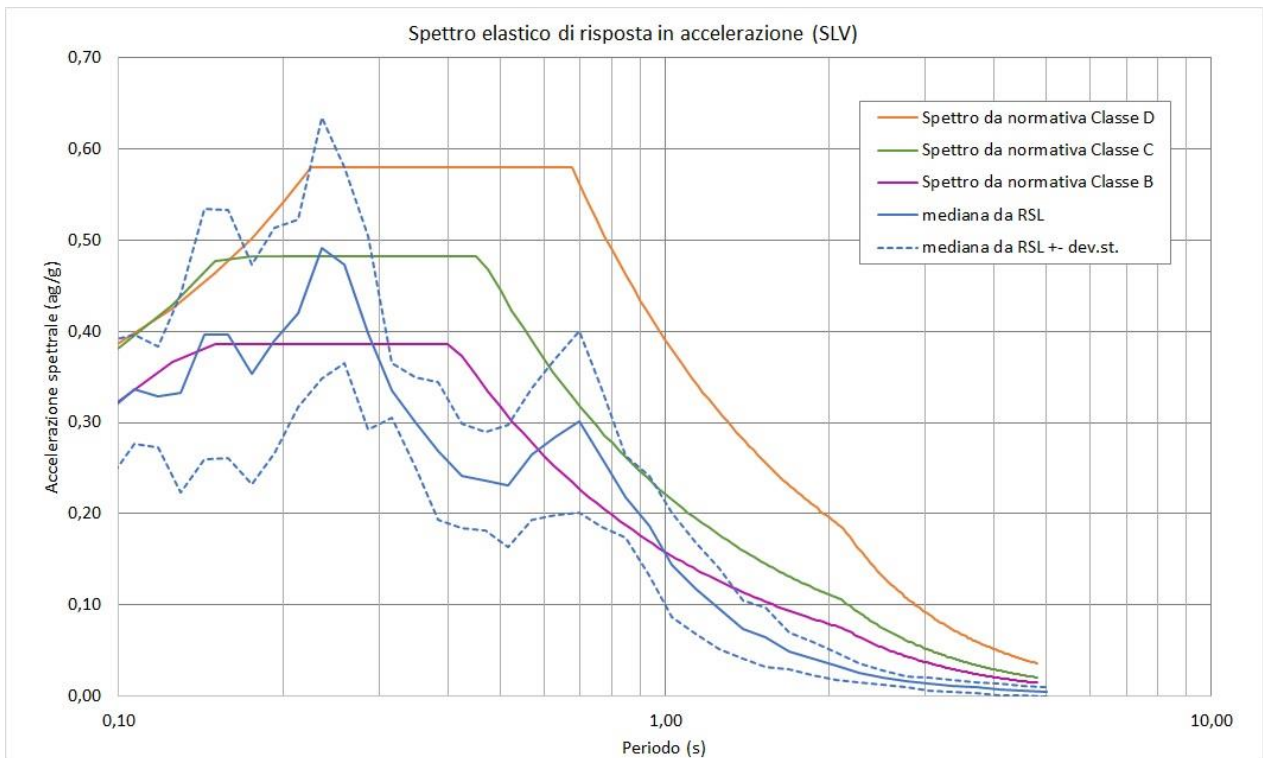


Fig. 61 - 034027P984 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

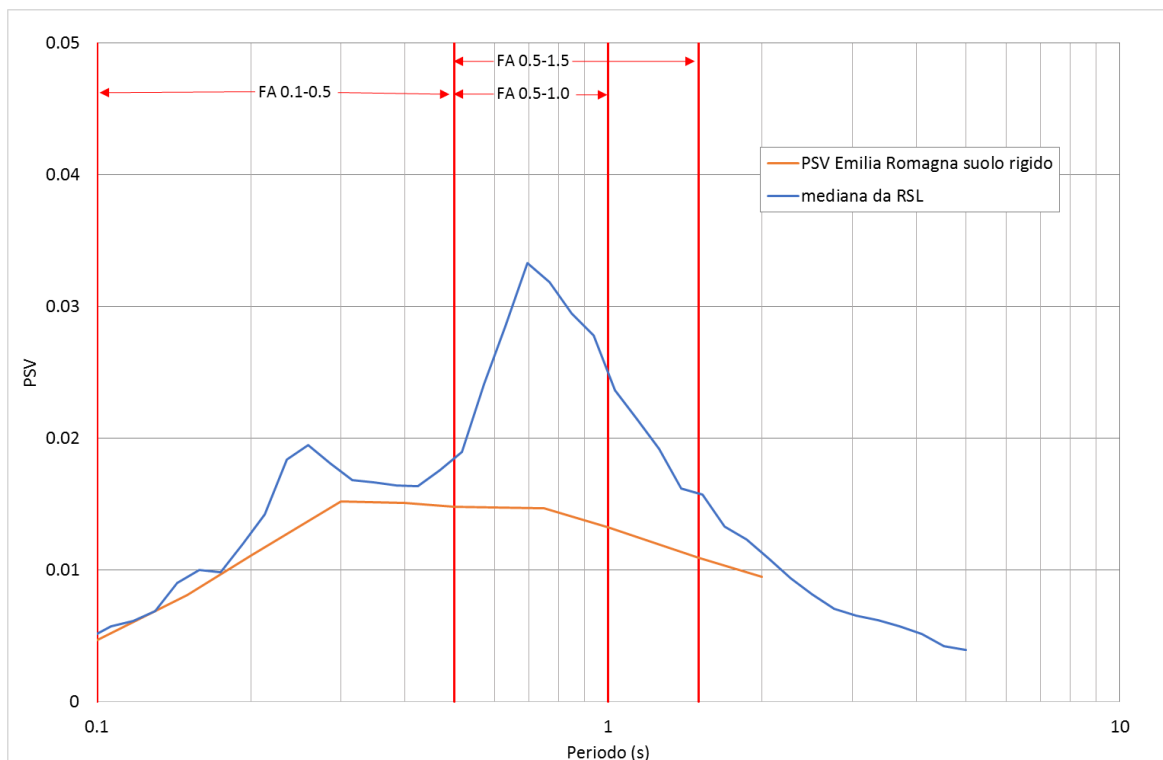


Fig. 62 - 034027P984 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	66 di 164

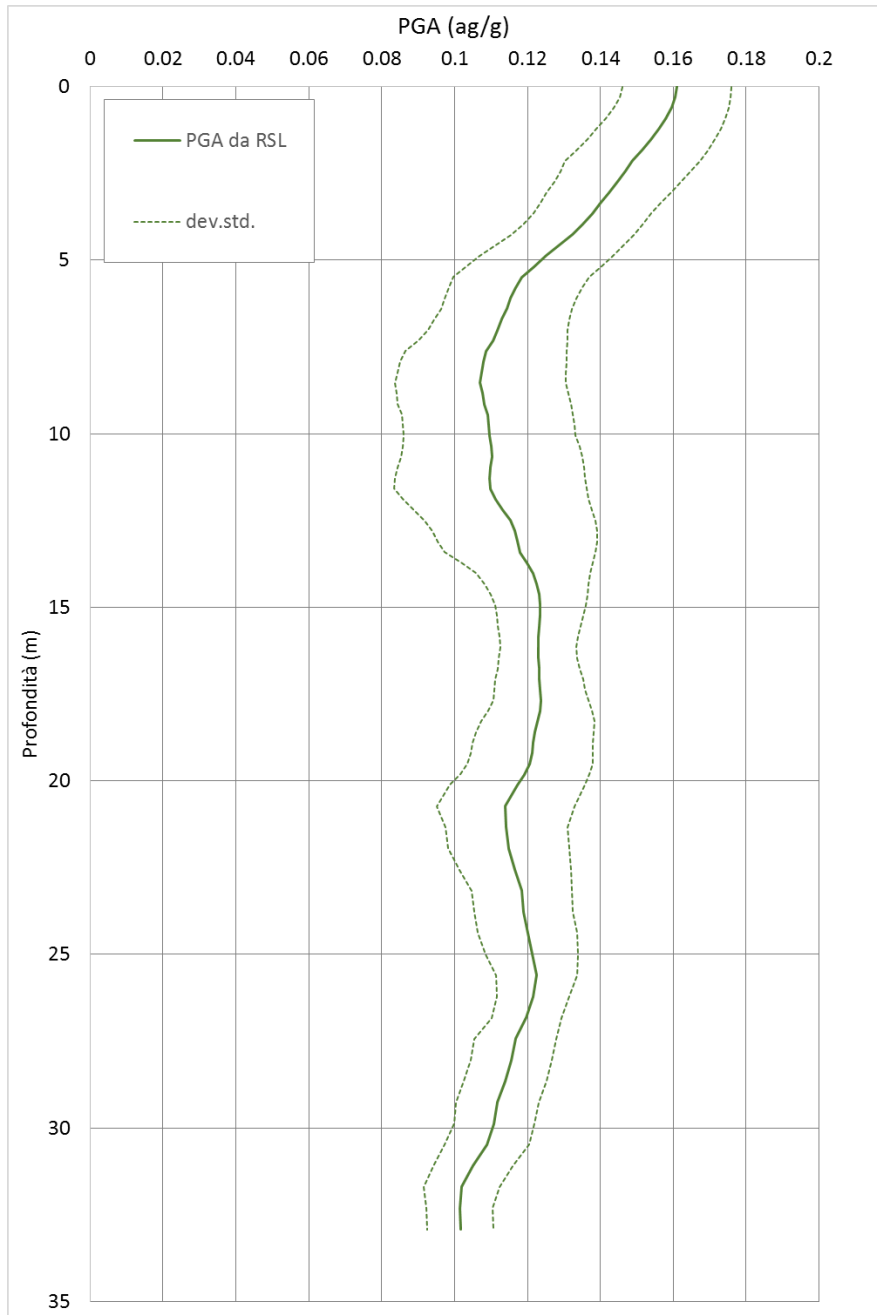


Fig. 63 - 034027P984 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.26
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.18
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.99
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.77

Tab. 24 - 034027P984 - Fattori di amplificazione



3.6.10 RSL per il sito 034027P985

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	33.00	0.00	18.00	190.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		33.00	21.00	520.00				

Tab. 25 - 034027P985 - Modello geofisico

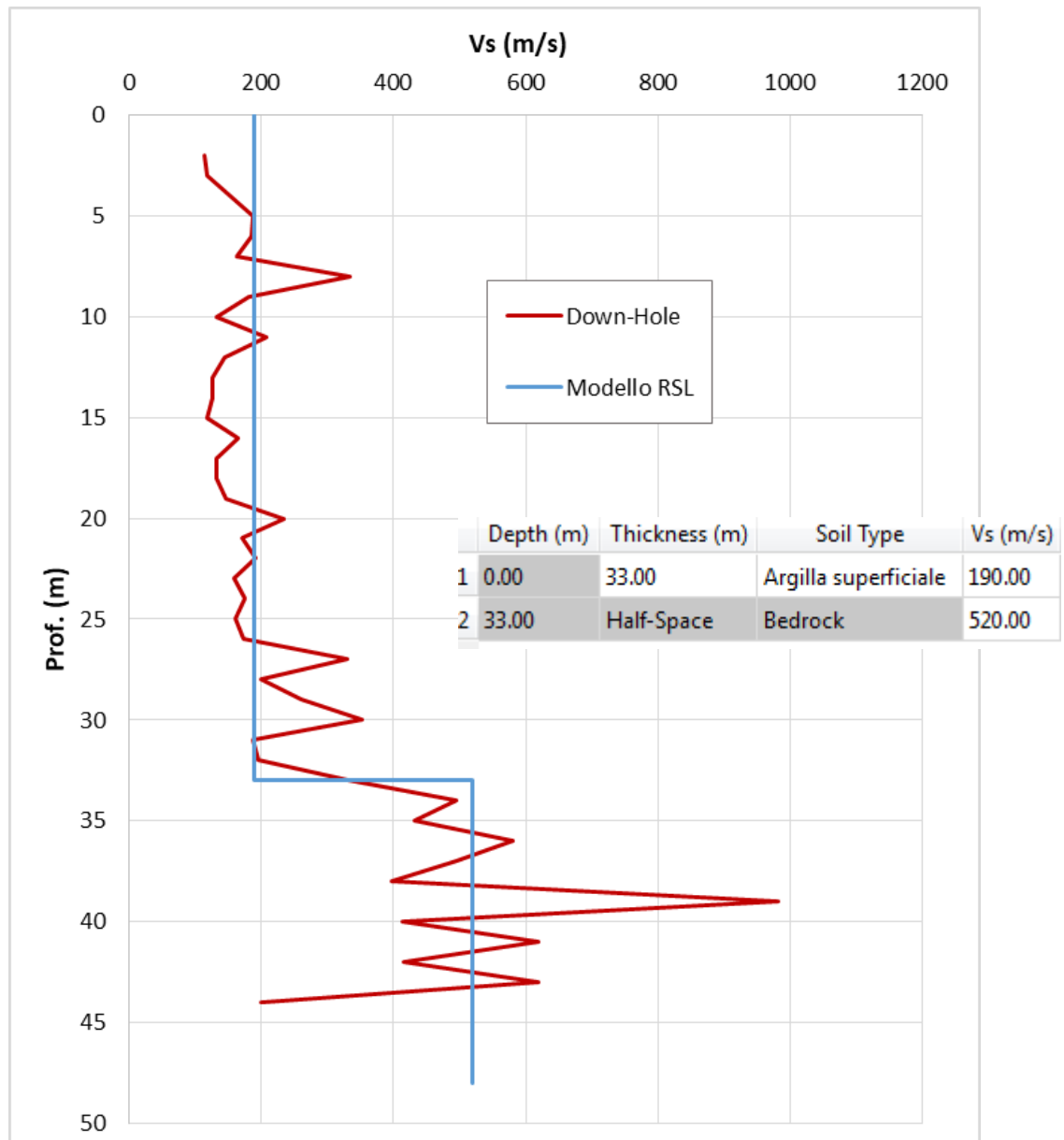


Fig. 64 - PAIP - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

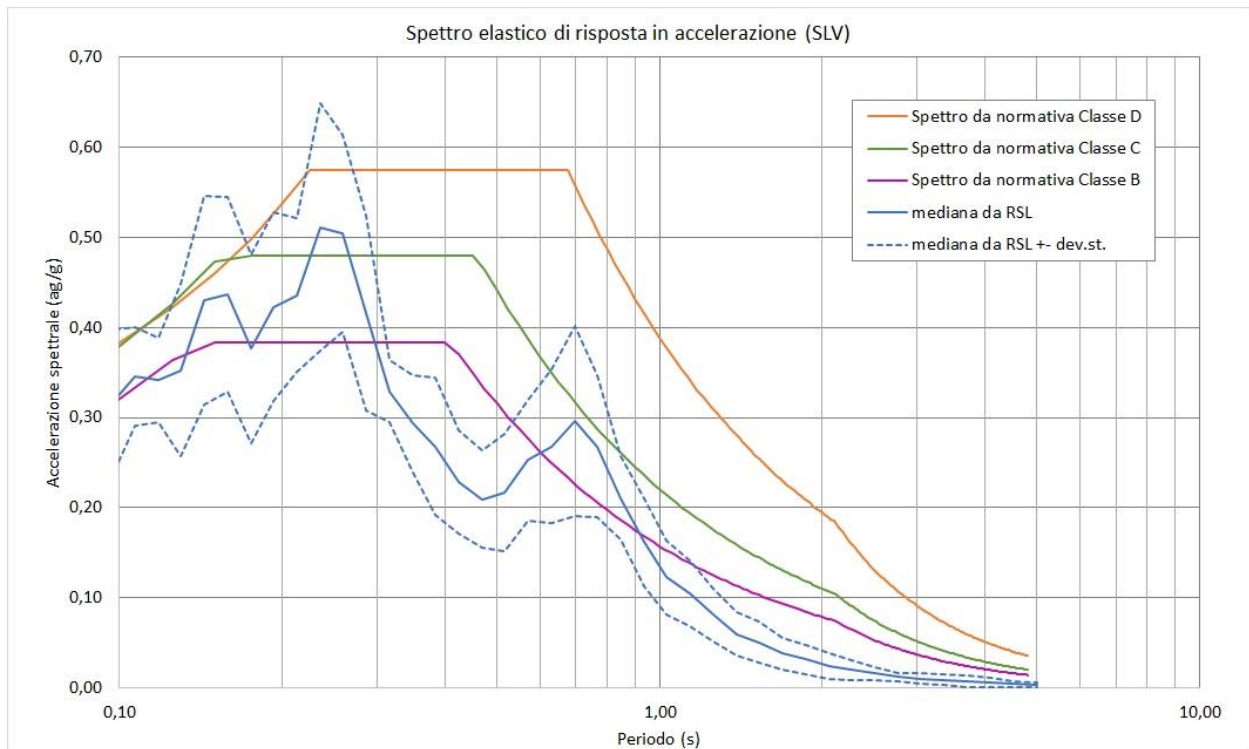


Fig. 65 - PAIP - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

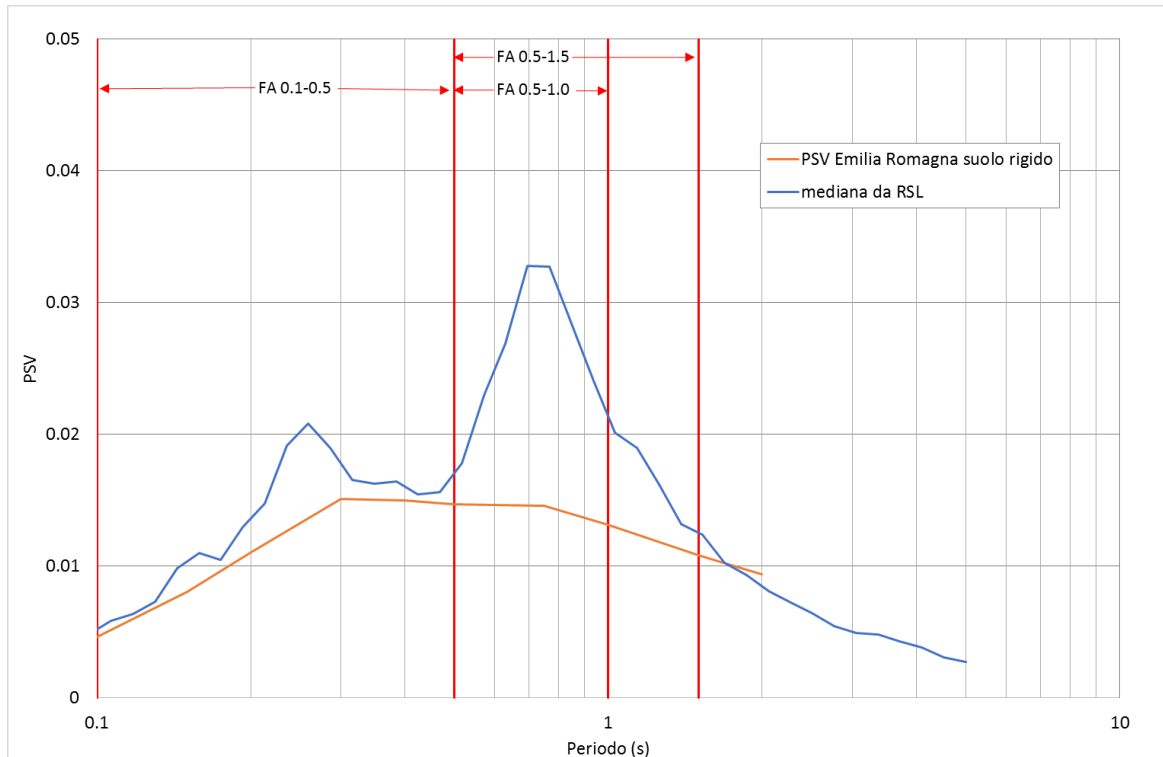


Fig. 66 - PAIP - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

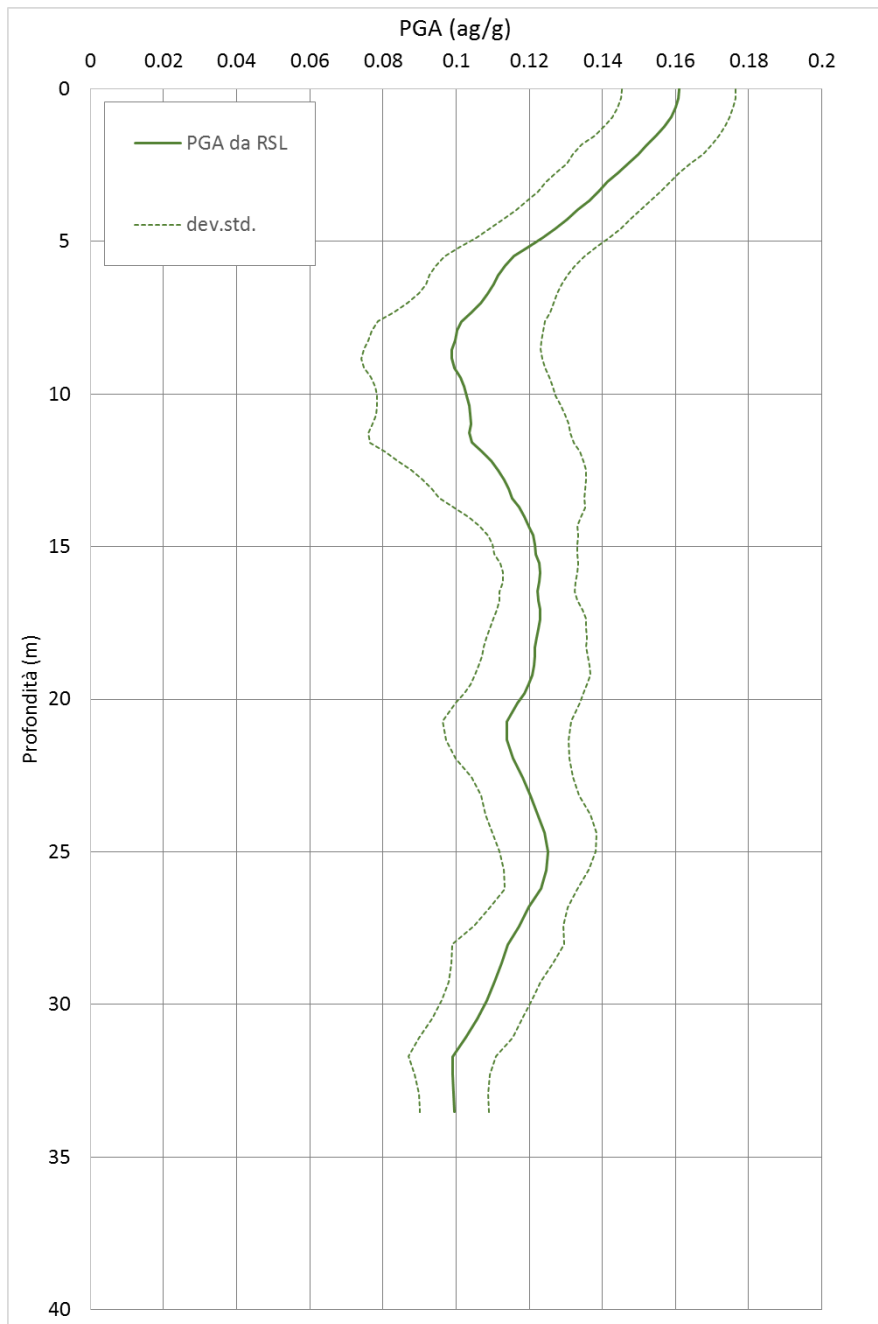


Fig. 67 - PAIP - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.27
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.19
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.88
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.58

Tab. 26 - PAIP - Fattori di amplificazione



3.6.11 RSL per il sito 034027P987

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	2.00	0.00	18.00	100.00	15.13	0.95	12	1.77
Ghiaia Superficiale	7.30	2.00	20.00	275.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla superficiale	7.90	9.30	18.00	190.00	15.13	0.95	12	1.77
Ghiaia superficiale	8.20	17.20	20.00	230.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	6.10	25.40	19.00	180.00	29.23	1.19	22.74	2.46
Bedrock		31.50	21.00	450.00				

Tab. 27 - 034027P987 - Modello geofisico

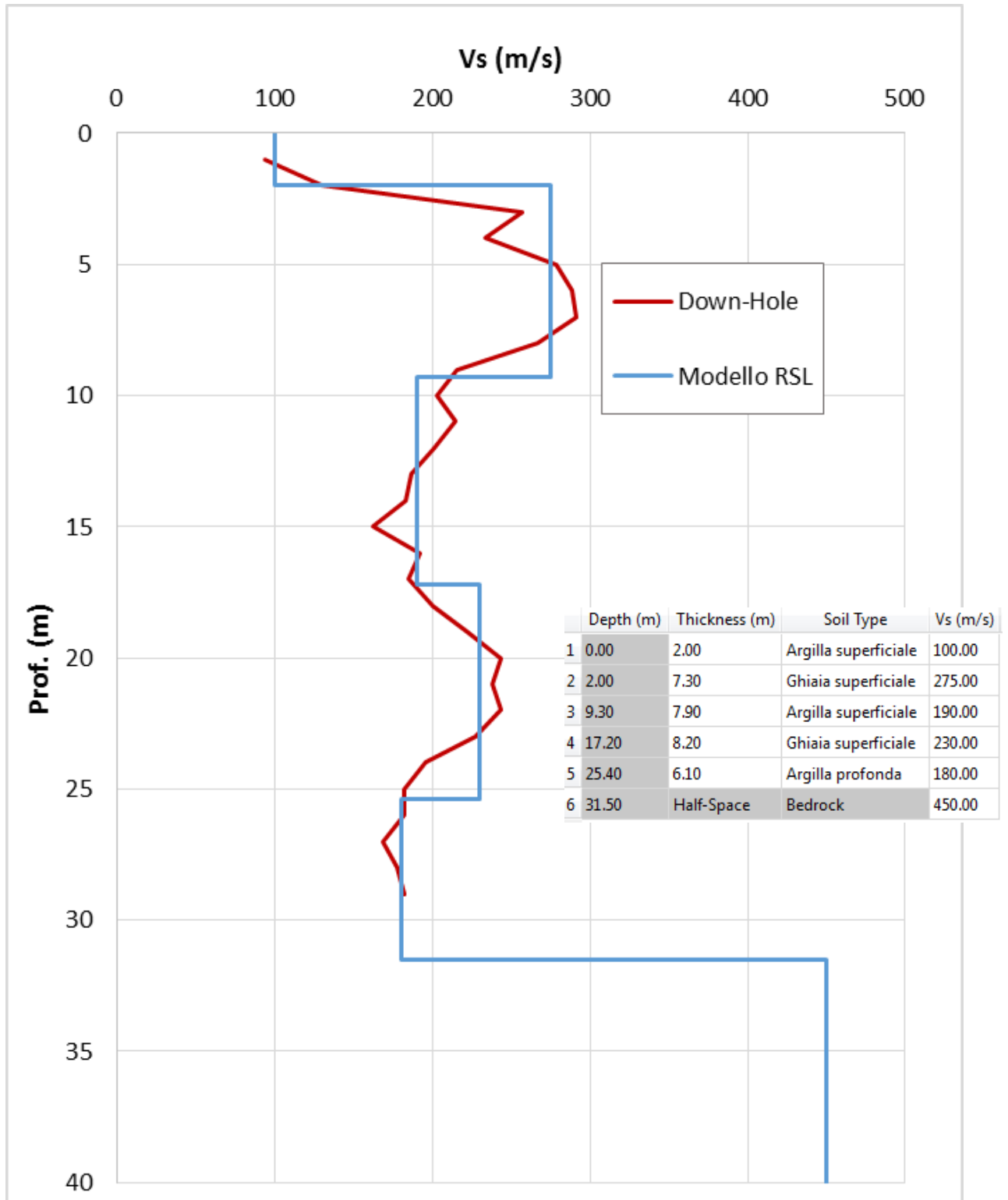


Fig. 68 - 034027P987 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

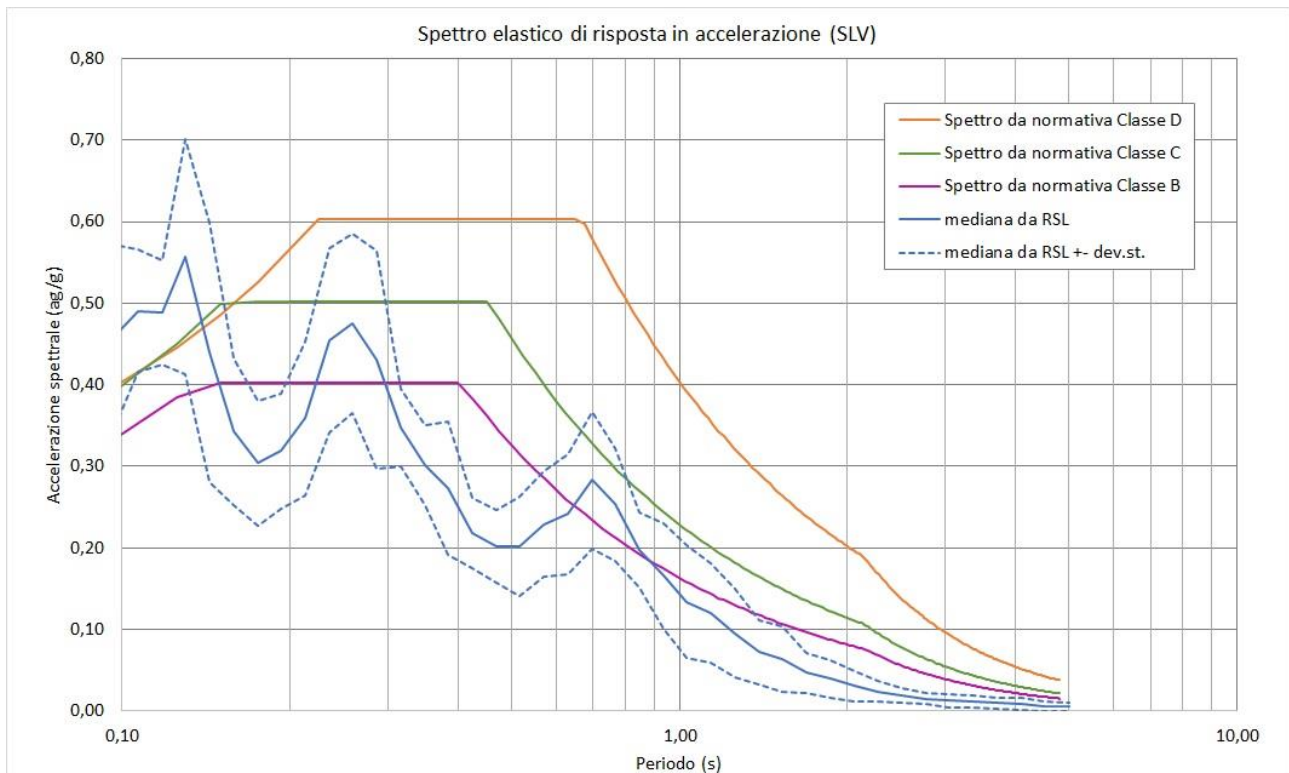


Fig. 69 - 034027P987 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

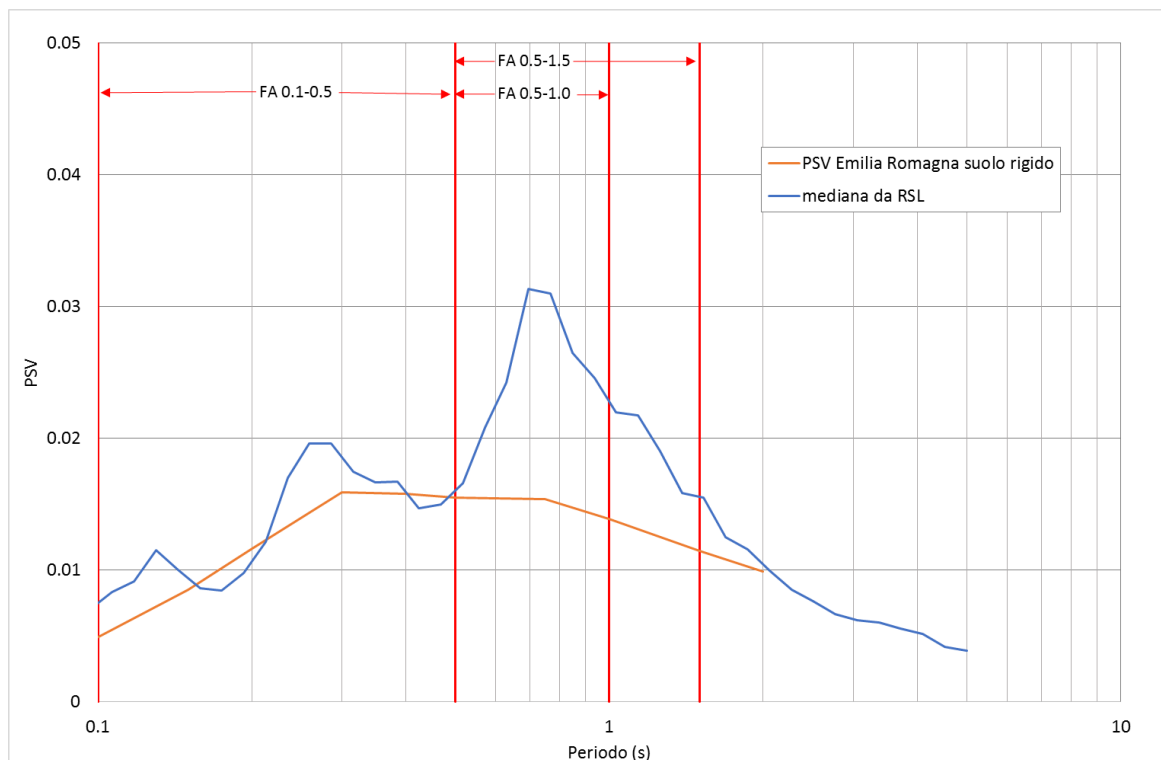


Fig. 70 - 034027P987 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	73 di 164

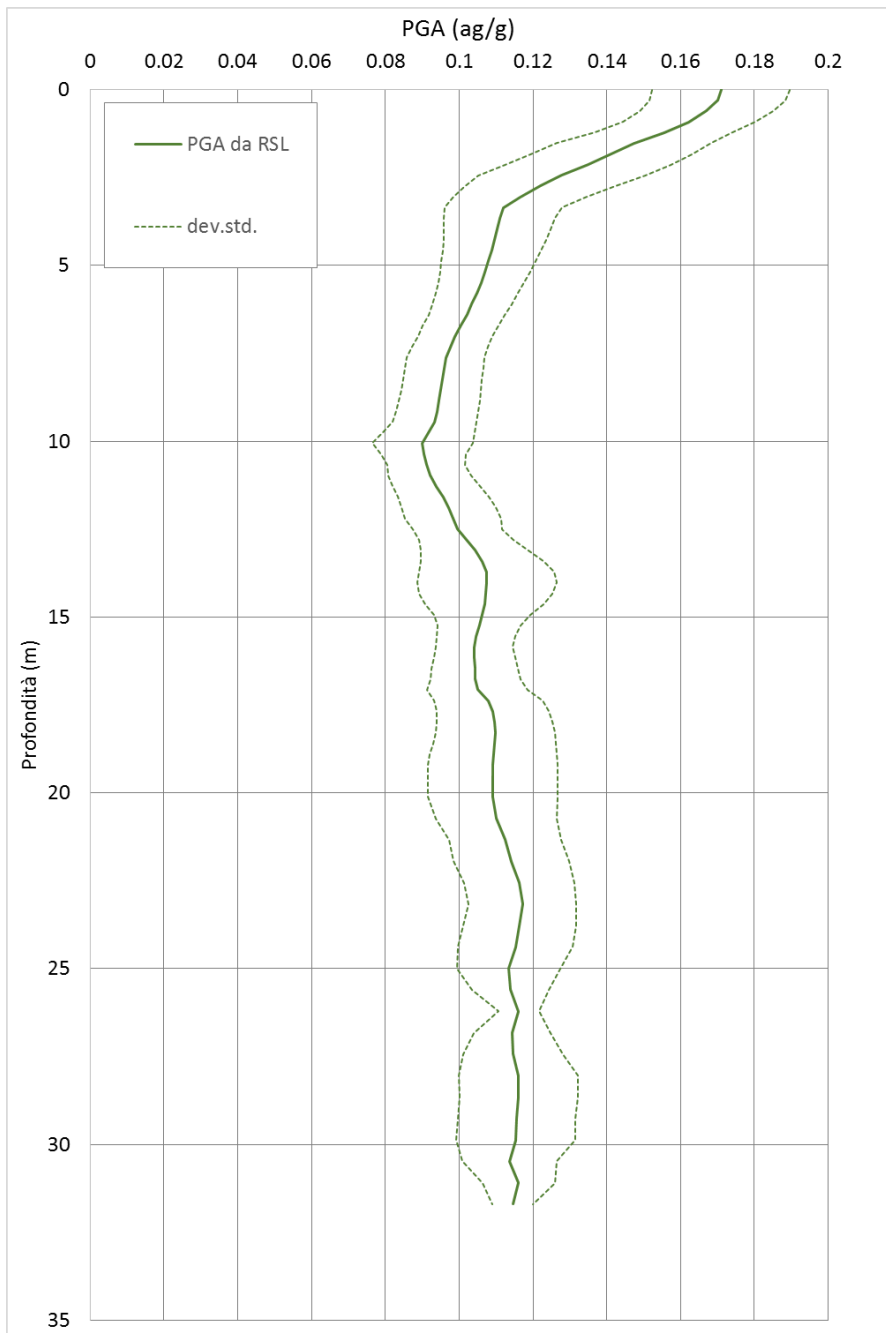


Fig. 71 - 034027P987 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.28
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.11
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.74
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.60

Tab. 28 - 034027P987 - Fattori di amplificazione



3.6.12 RSL per il sito 034027P988

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m^3)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	12.60	0.00	18.00	250.00	15.13	0.95	12	1.77
Ghiaia Superficiale	11.80	12.60	20.00	500.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	5.50	24.40	19.00	280.00	29.23	1.19	22.74	2.46
Bedrock		29.90	21.00	530.00				

Tab. 29 - 034027P988 - Modello geofisico

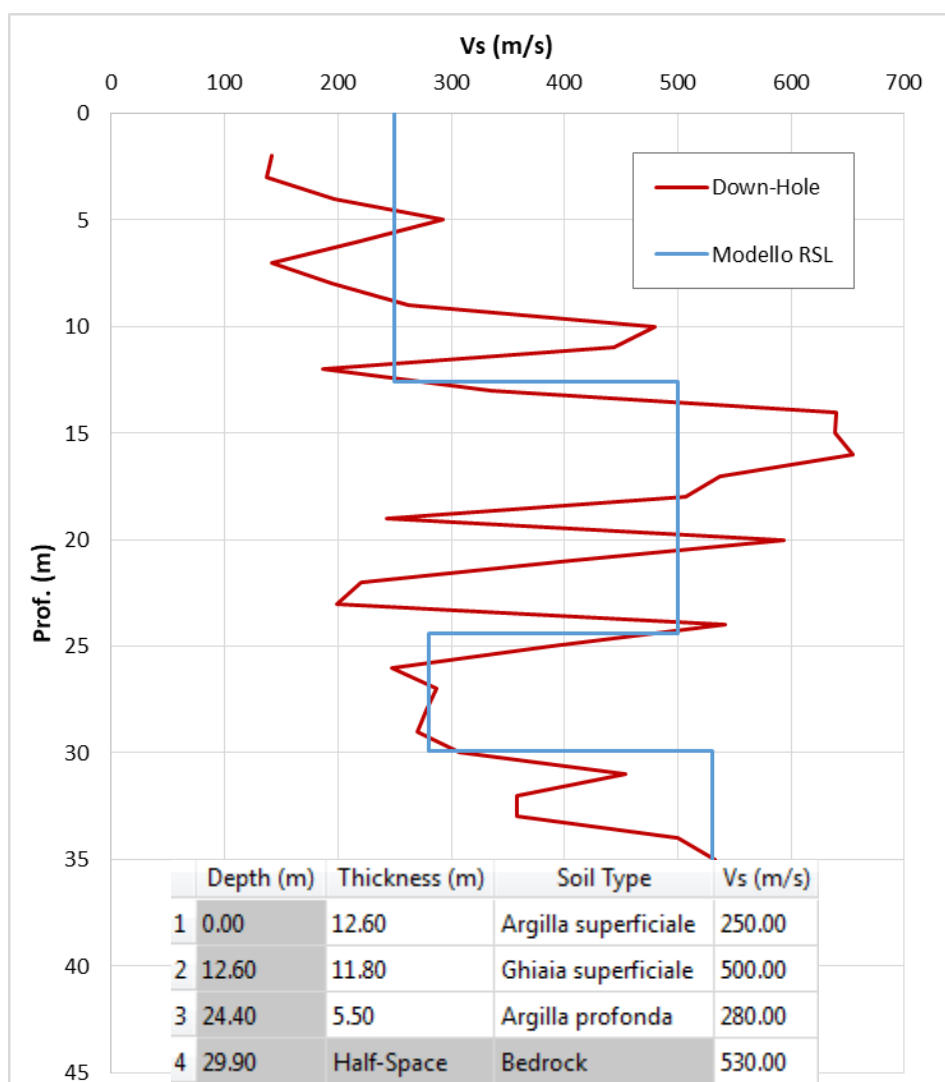


Fig. 72 - 034027P988 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

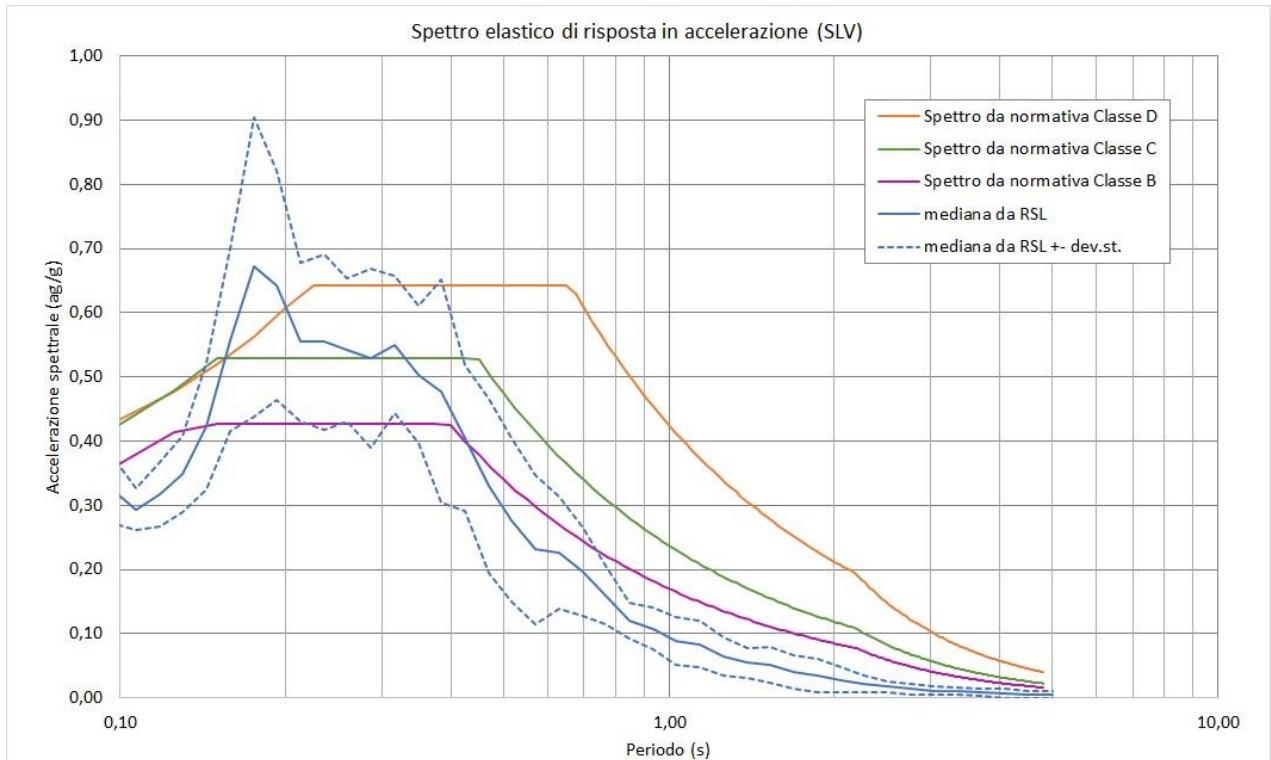


Fig. 73 - 034027P988 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

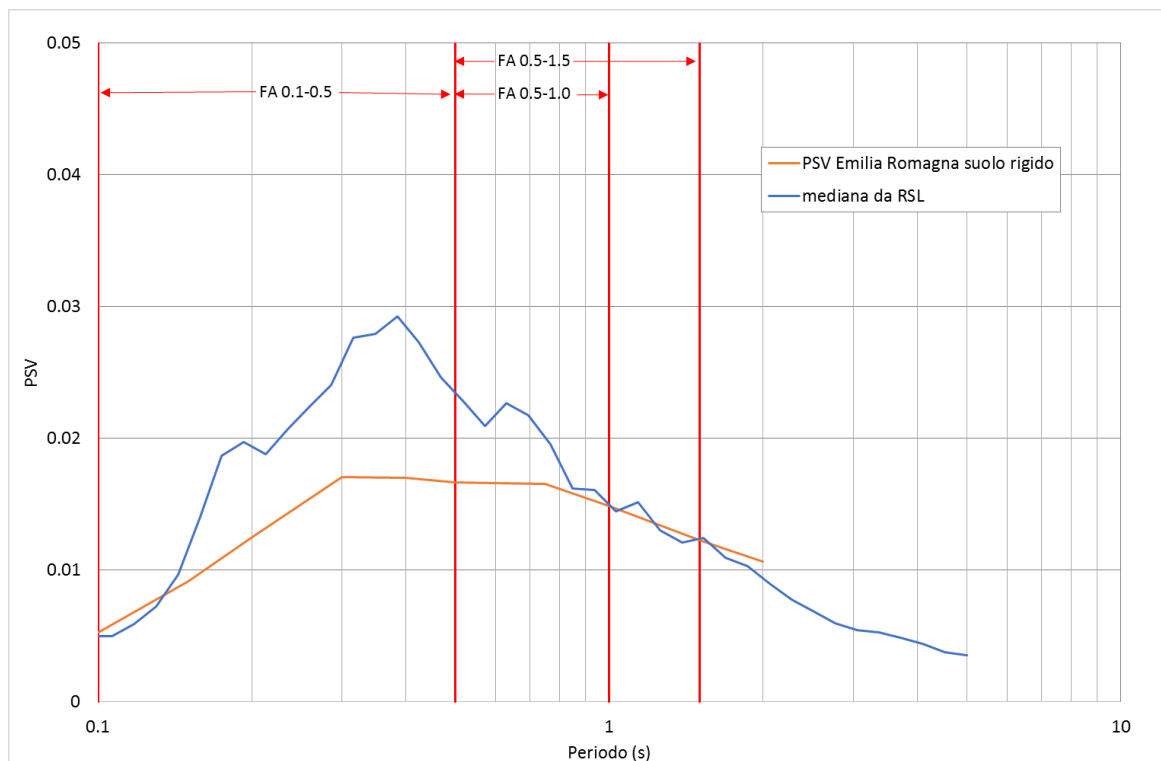


Fig. 74 - 034027P988 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

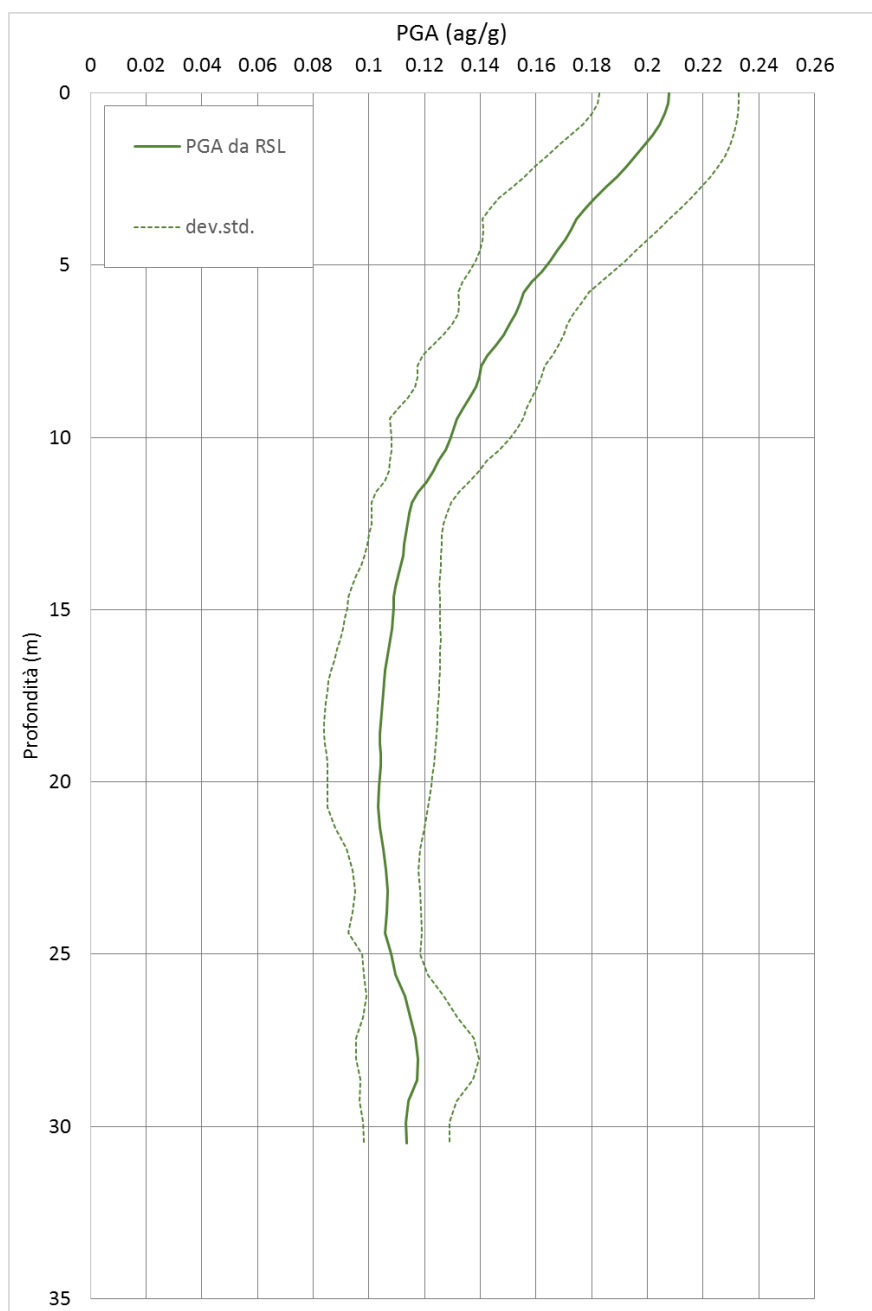


Fig. 75 - 034027P988 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.44
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.48
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.14
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.07

Tab. 30 - 034027P988 - Fattori di amplificazione



3.6.13 RSL per il sito 034027P967

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	1.90	0.00	18.00	190.00	42.56	1.08	38.82	3.44
Ghiaia Superficiale	14.10	1.90	20.00	435.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Bedrock		16.00	21.00	780.00				

Tab. 31 - 034027P967 - Modello geofisico

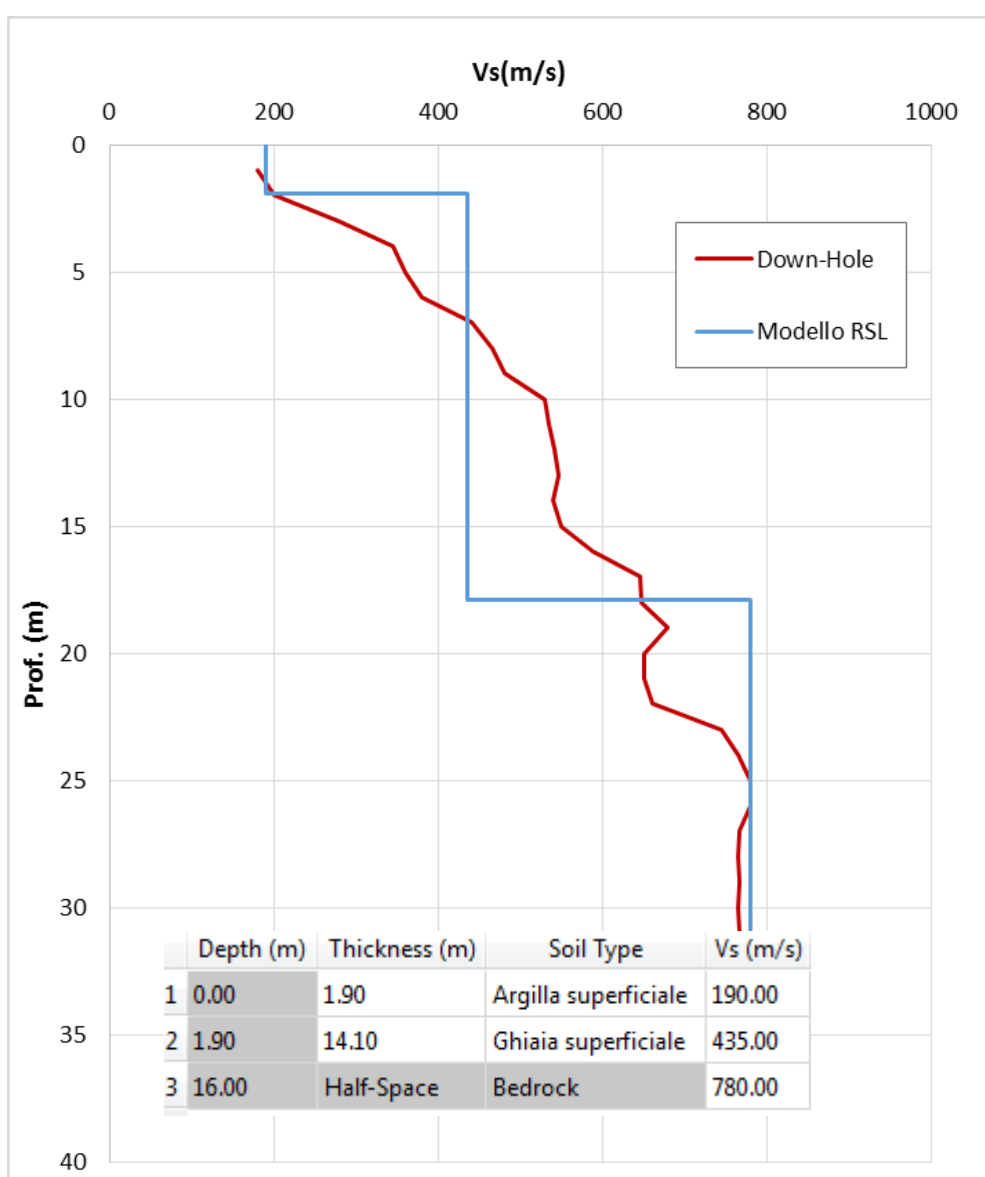


Fig. 76 - 034027P967 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

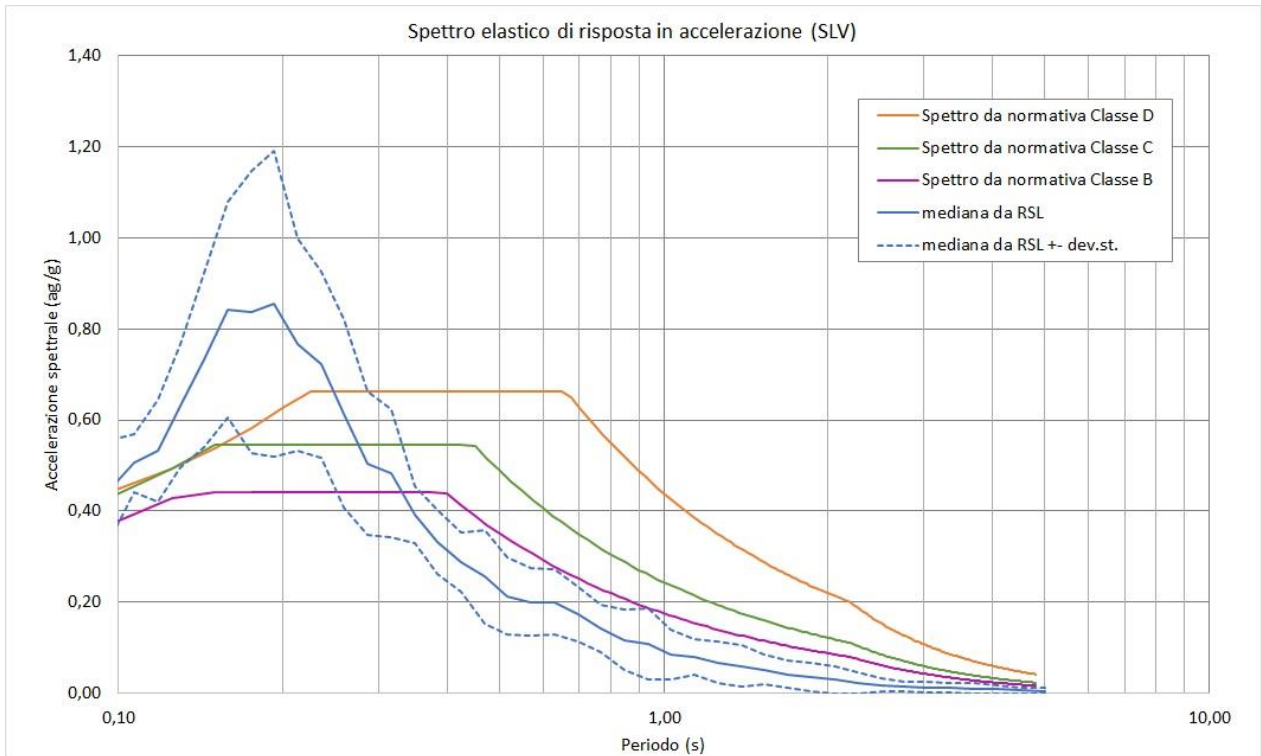


Fig. 77 - 034027P967 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

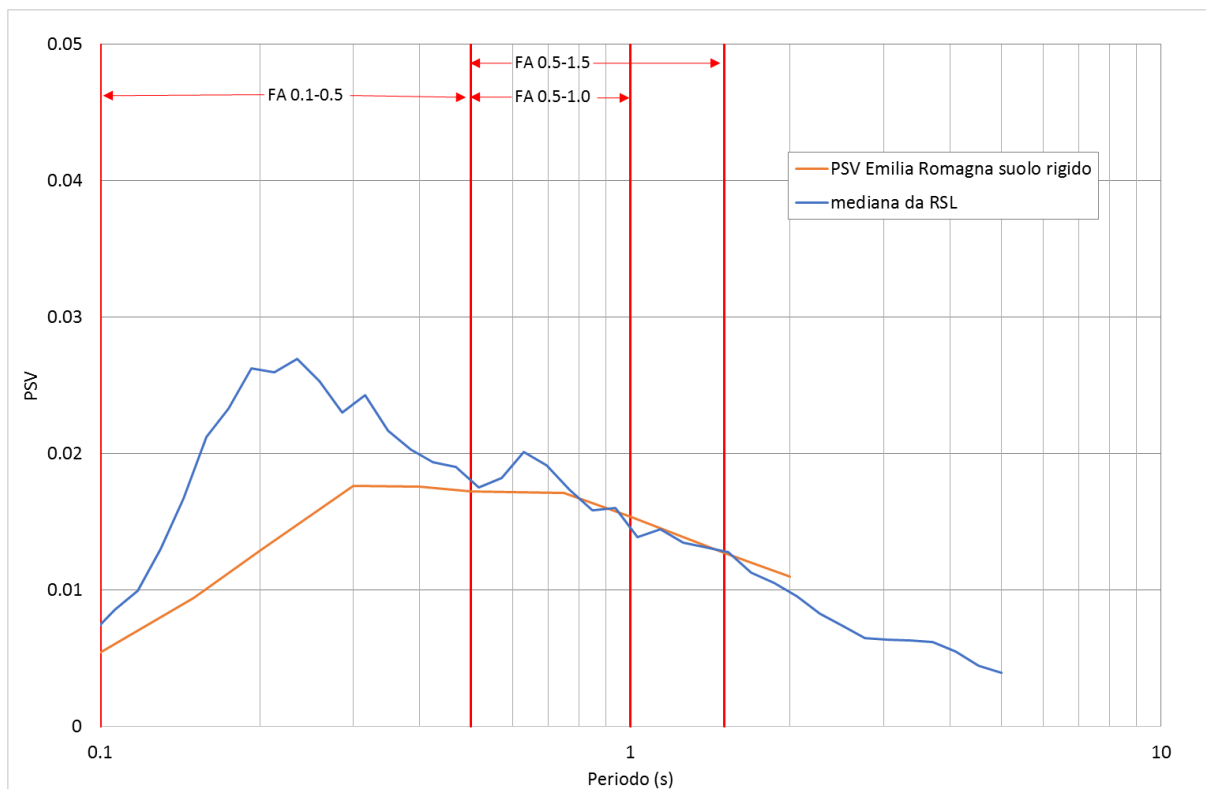


Fig. 78 - 034027P967 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	79 di 164

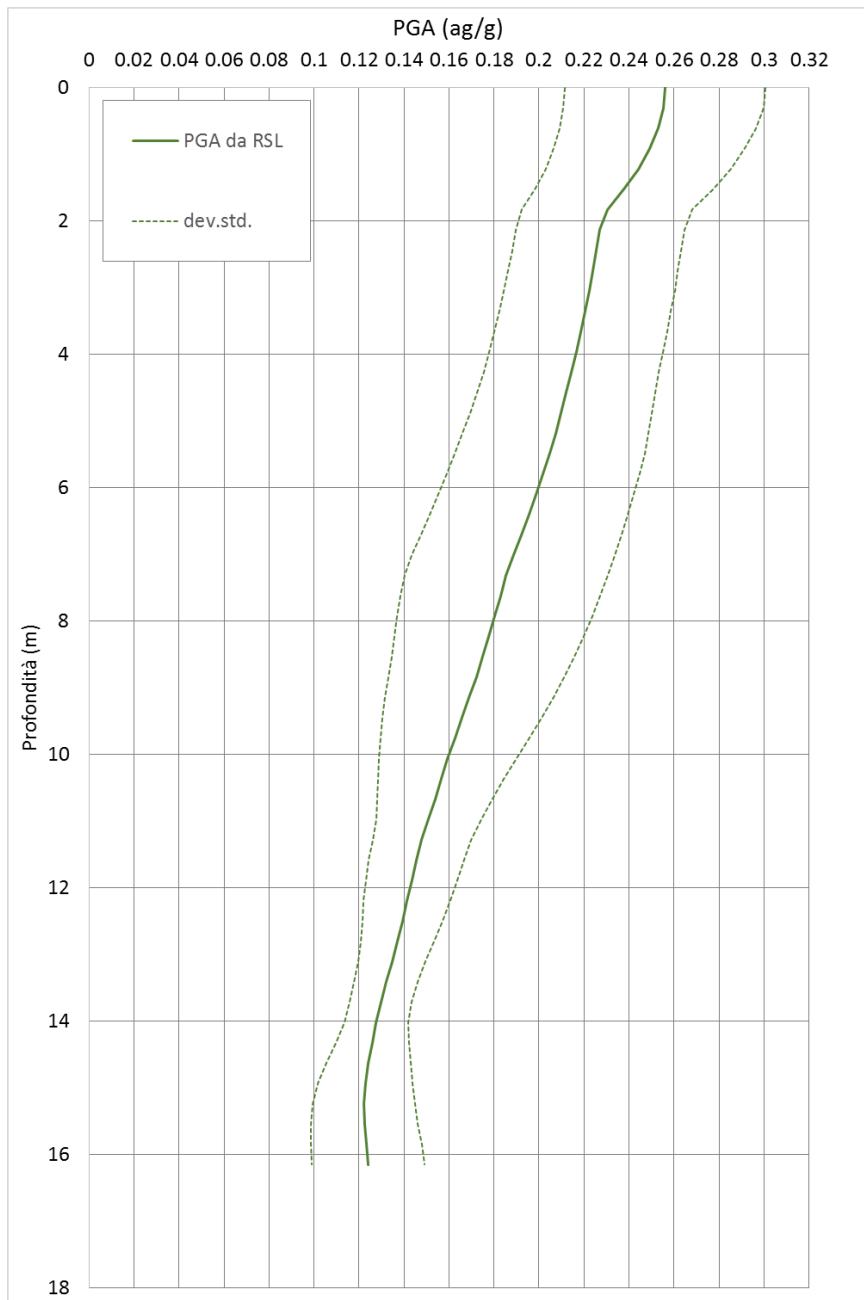


Fig. 79 - 034027P967 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.72
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.42
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.02
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.01

Tab. 32 - 034027P967 - Fattori di amplificazione



3.6.14 RSL per il sito 034027P968

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Ghiaia superficiale	4.00	0.00	20.00	213.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia Superficiale	6.50	4.00	20.00	400.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	14.00	10.50	19.00	245.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Bedrock		24.50	21.00	600.00				

Tab. 33 - 034027P968 - Modello geofisico

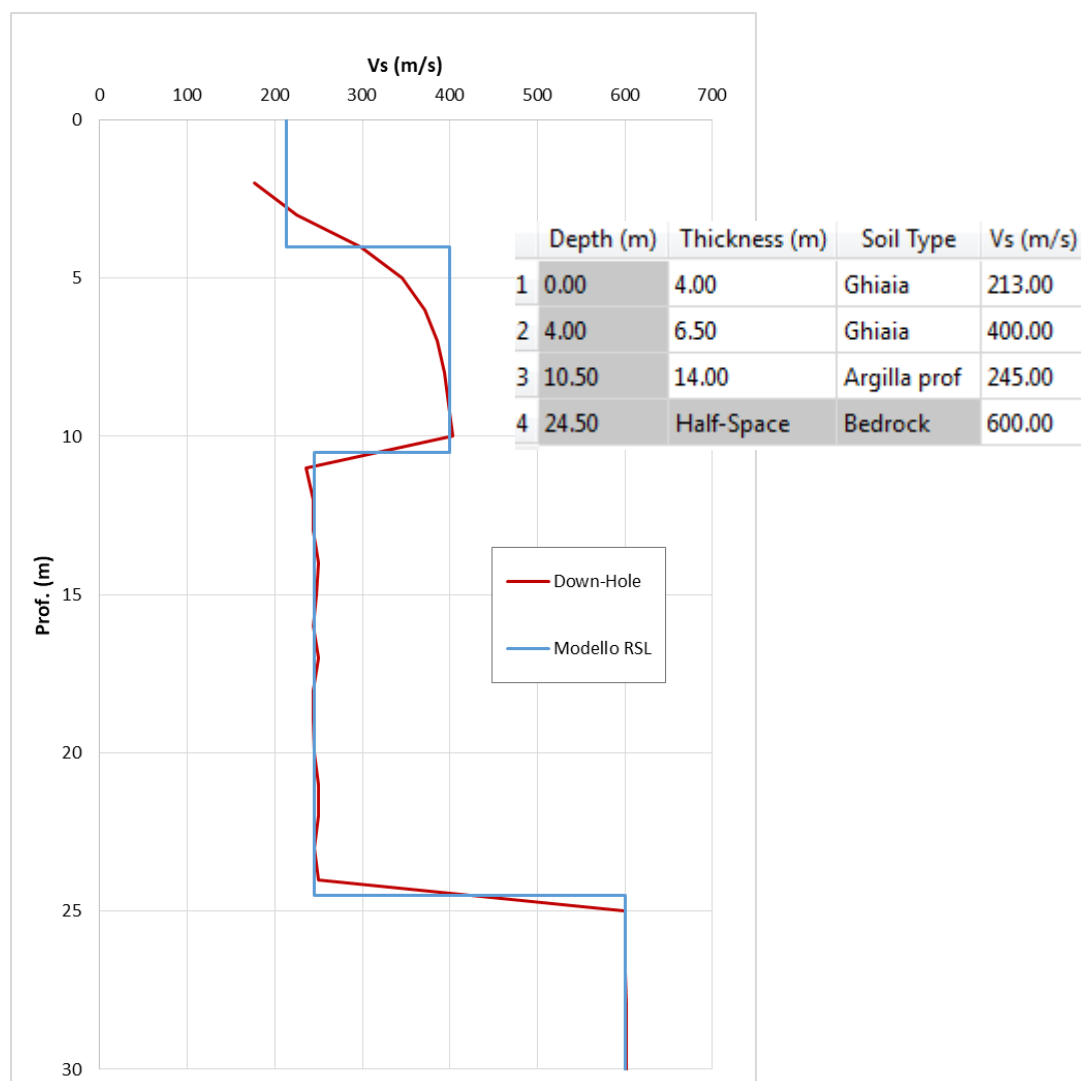


Fig. 80 - 034027P968 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

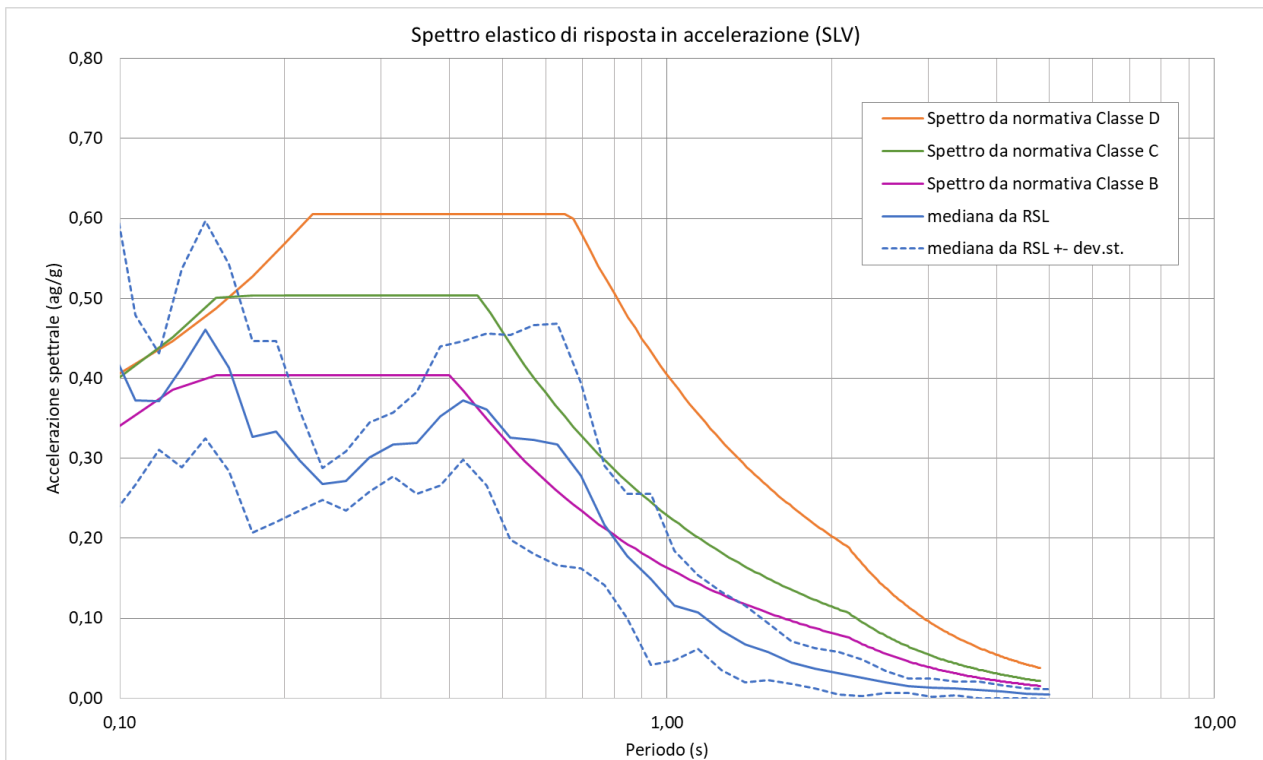


Fig. 81 - 034027P968 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

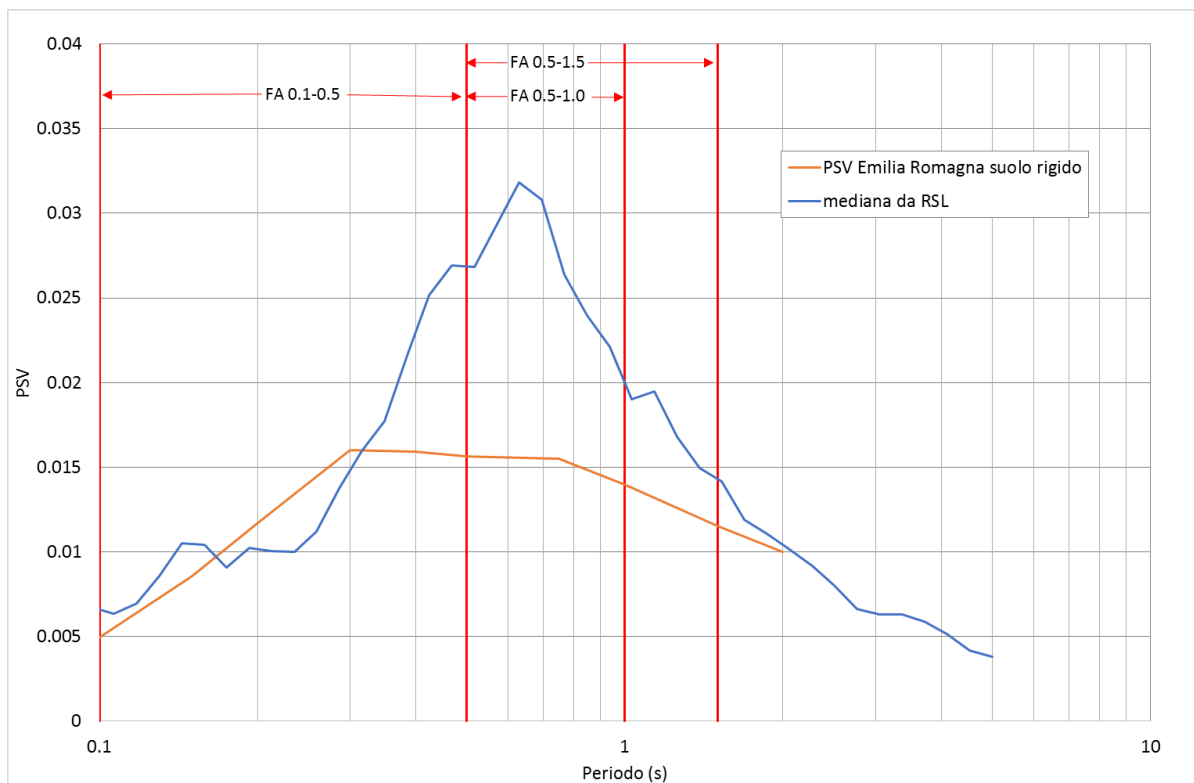


Fig. 82 - 034027P968 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	82 di 164

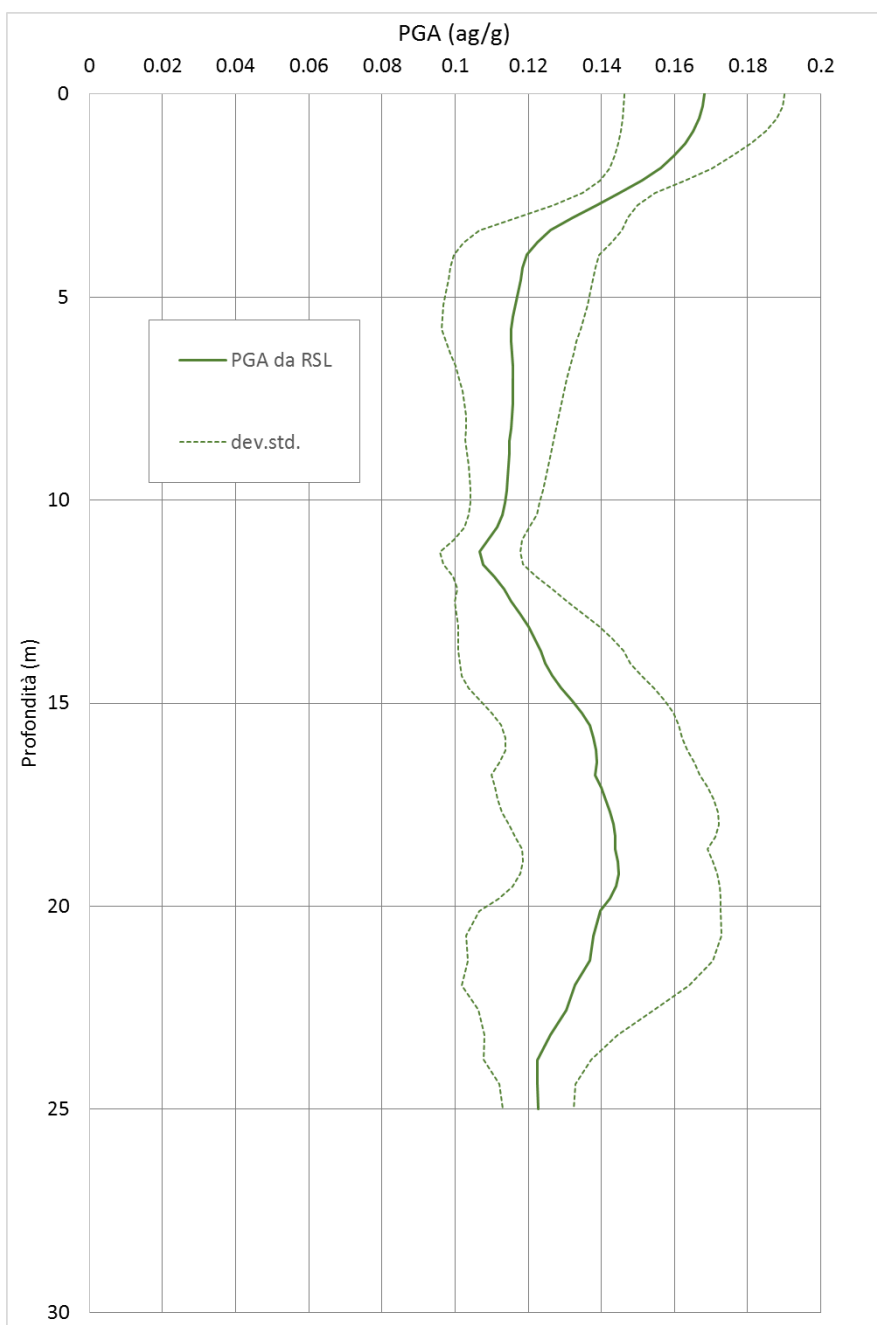


Fig. 83 - 034027P968 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.25
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.23
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.69
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.50

Tab. 34 - 034027P968 - Fattori di amplificazione



3.6.15 RSL per il sito 034027P969

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	14.00	0.00	18.00	235.00	15.13	0.95	12	1.77
Ghiaia Superficiale	9.50	14.00	20.00	375.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia profonda	3.00	23.5	20.00	554.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Bedrock		26.5	21.00	710.00				

Tab. 35 - 034027P969 - Modello geofisico

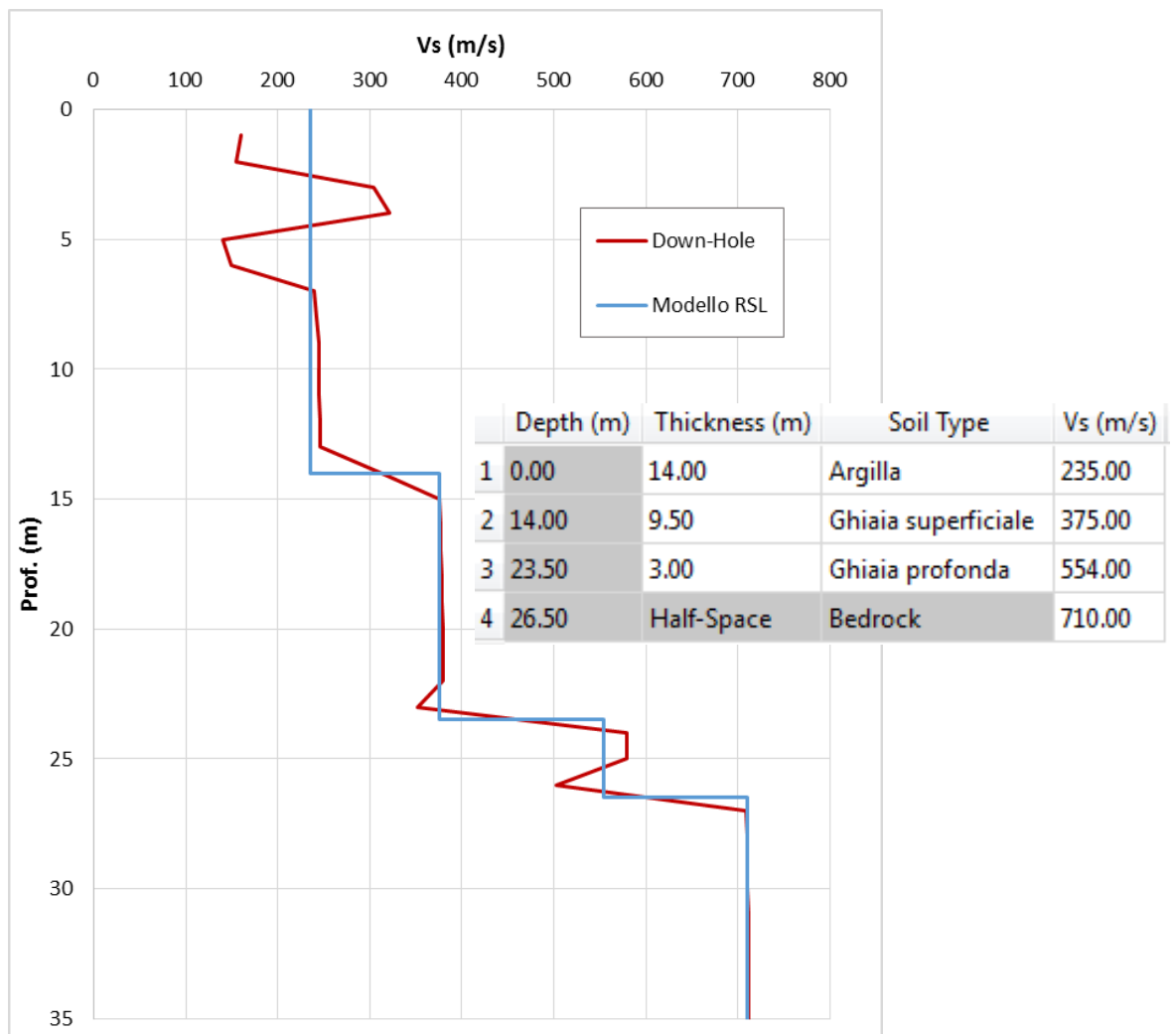


Fig. 84 - 034027P969 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

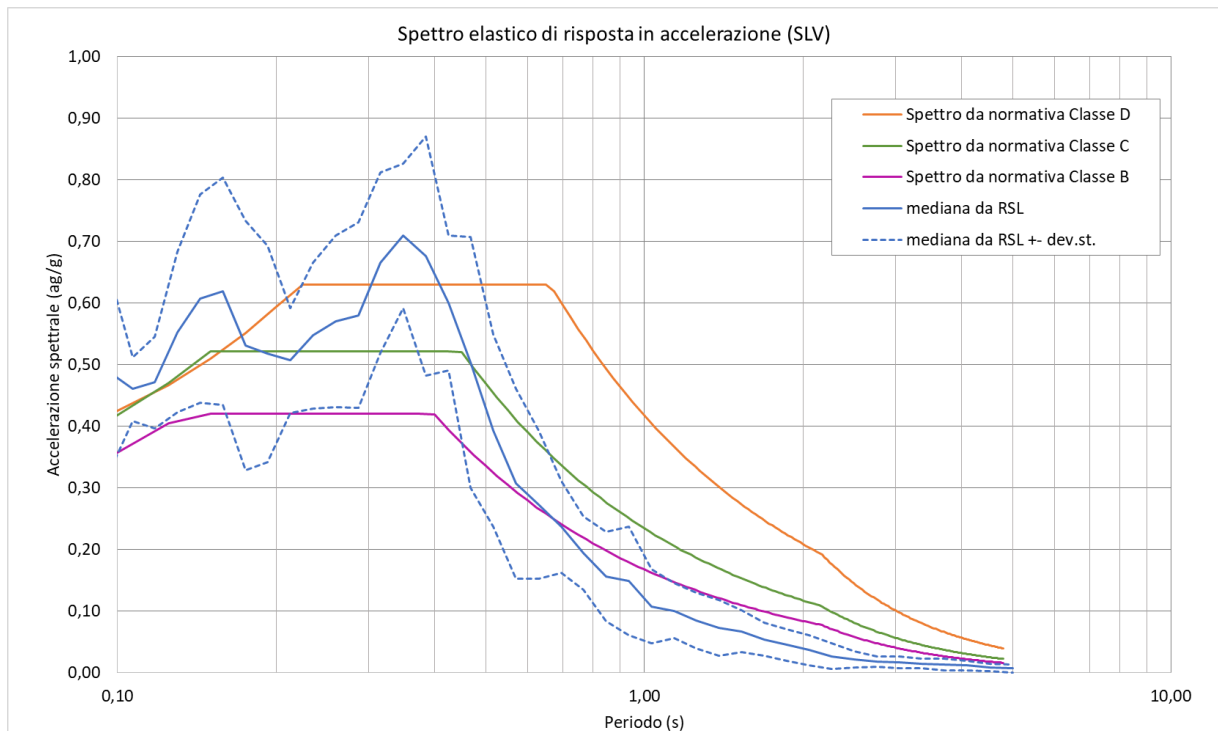


Fig. 85 - 034027P969 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

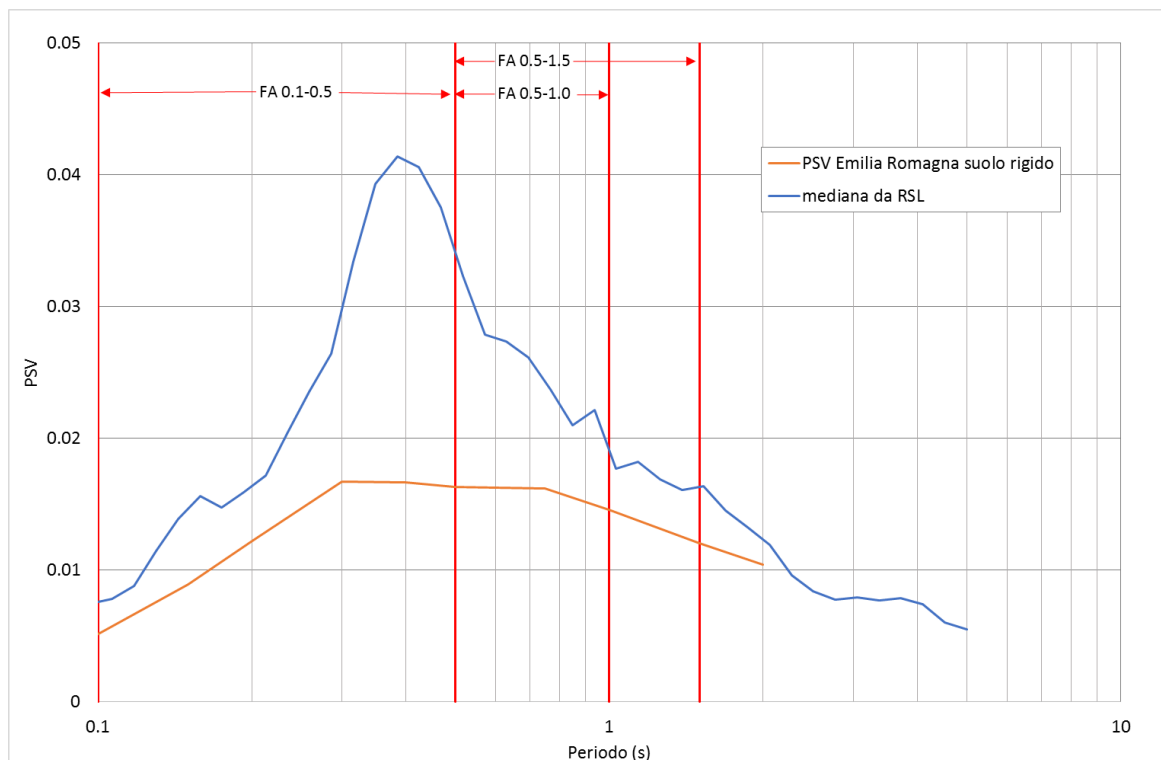


Fig. 86 - 034027P969 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	85 di 164

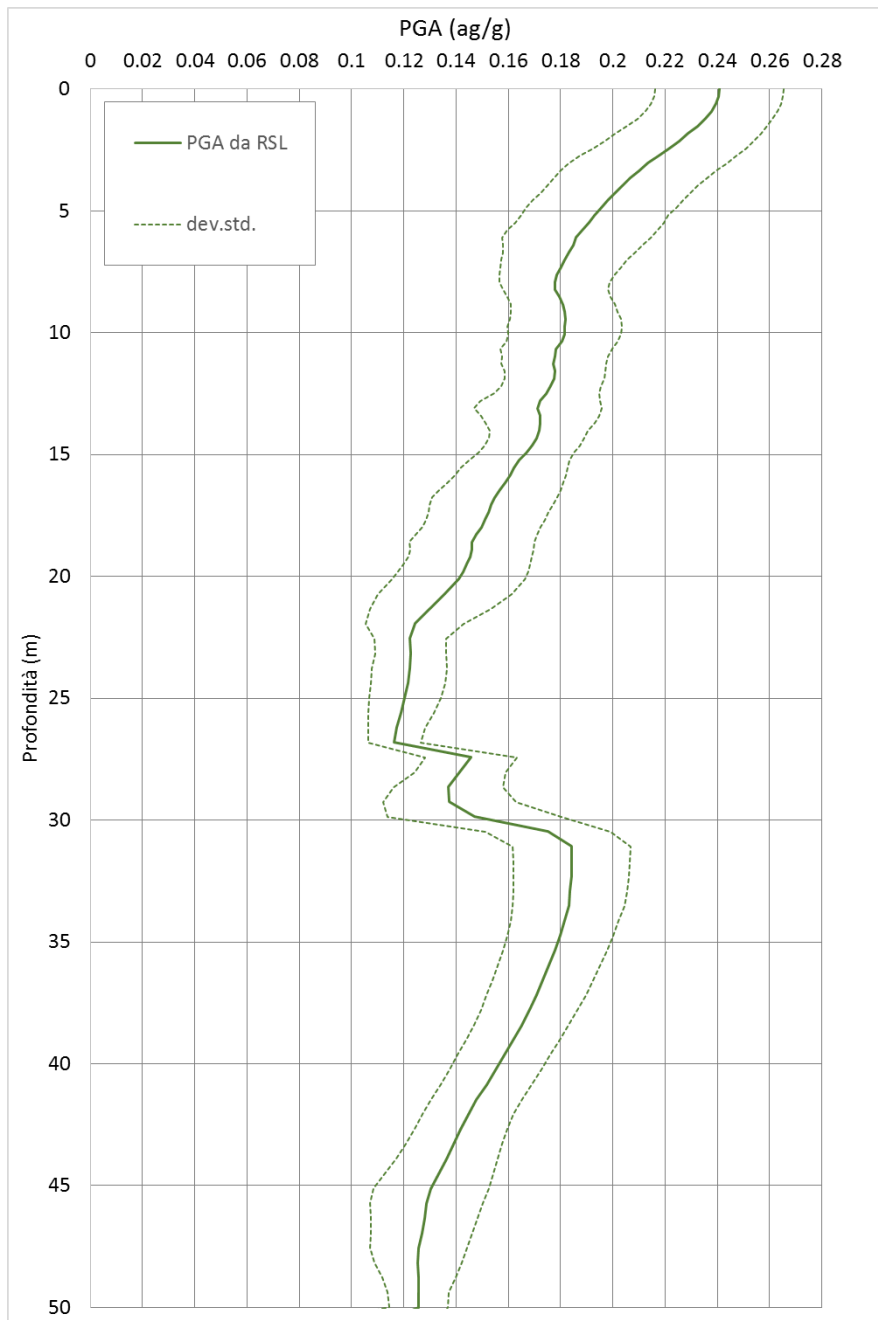


Fig. 87 - 034027P969 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.71
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.91
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.48
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.39

Tab. 36 - 034027P969 - Fattori di amplificazione



3.6.16 RSL per il sito 034027P970

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Ghiaia Superficiale	9.50	0.00	20.00	310.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla superficiale	9.50	9.50	18.00	267.00	15.13	0.95	12	1.77
Ghiaia Superficiale	7.00	19.00	20.00	525.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	12.00	26.00	19.00	292.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Bedrock		38.00	21.00	600.00				

Tab. 37 - 034027P970 - Modello geofisico

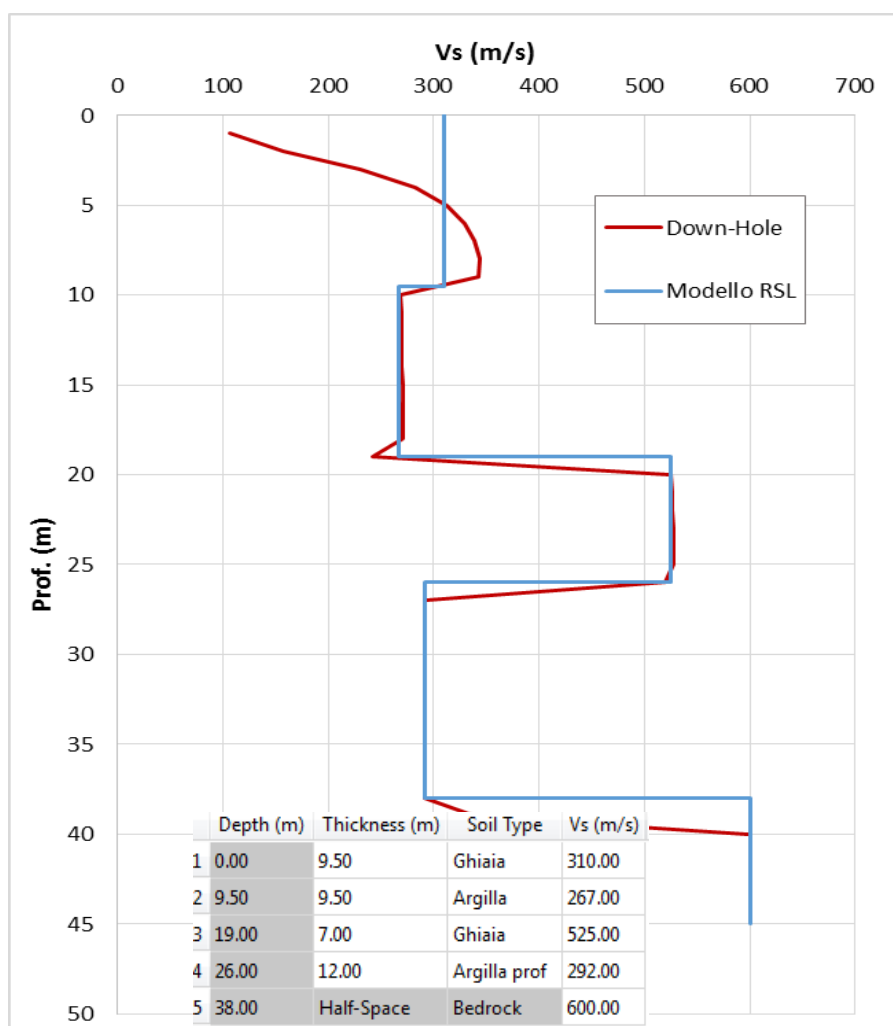


Fig. 88 - 034027P970 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

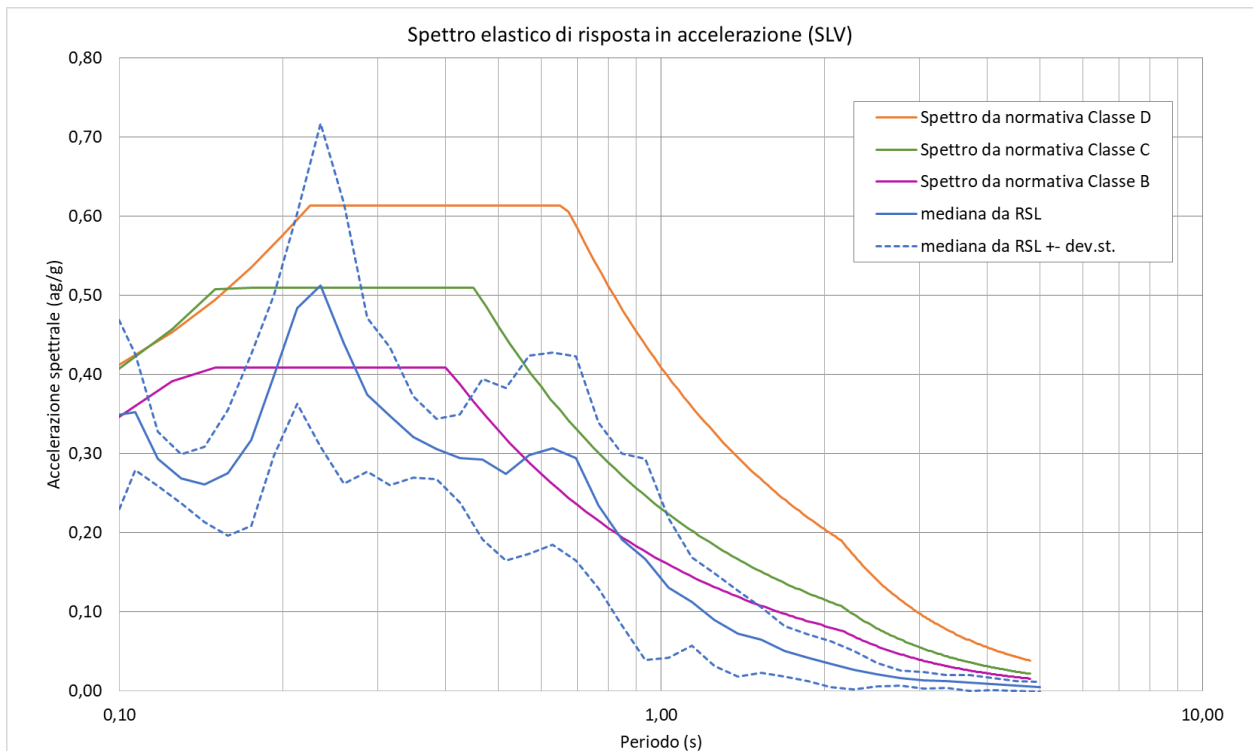


Fig. 89 - 034027P970 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

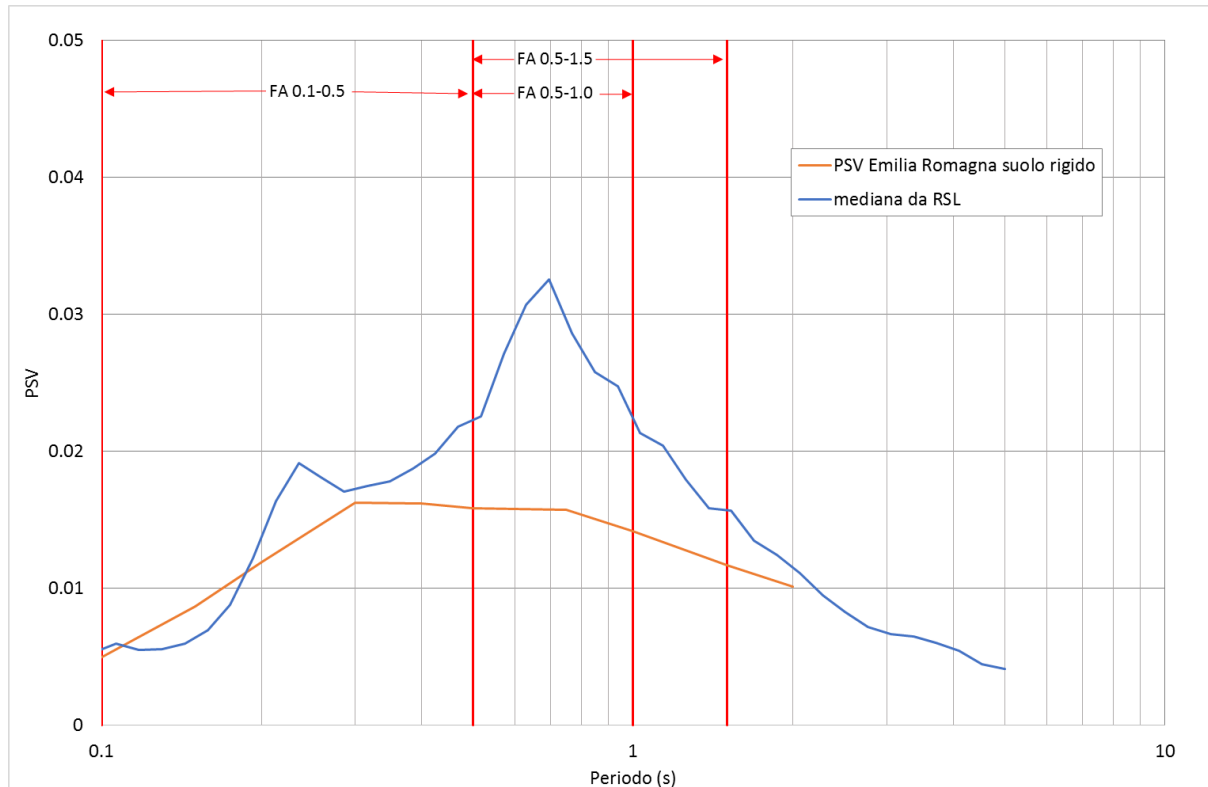


Fig. 90 - 034027P970 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	88 di 164

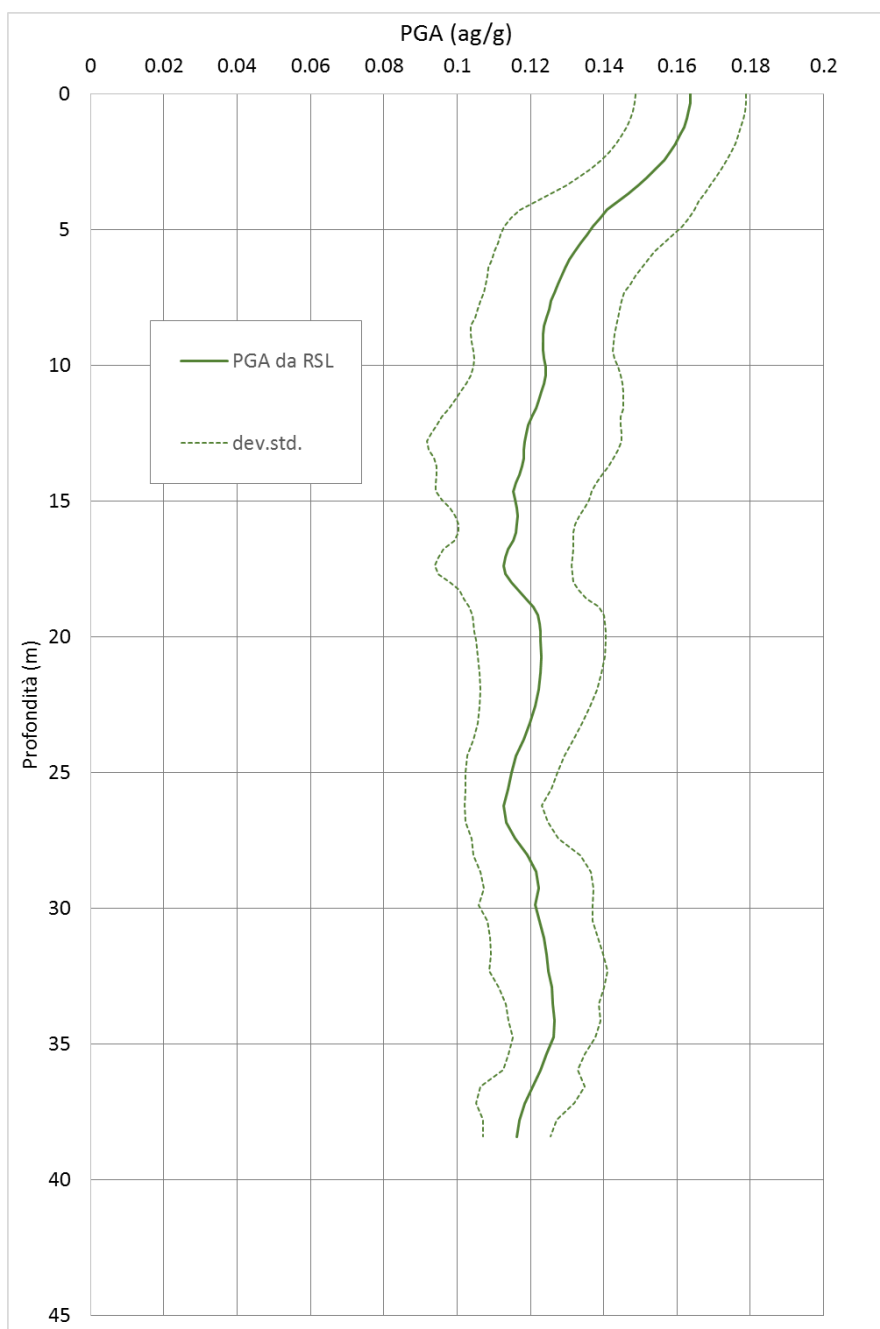


Fig. 91 - 034027P970 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.20
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.16
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.76
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.57

Tab. 38 - 034027P970 - Fattori di amplificazione



3.6.17 RSL per il sito 034027P971

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	10.00	0.00	18.00	240.00	15.13	0.95	12.00	1.77
Ghiaia Superficiale	2.00	10.00	20.00	540.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla superficiale	4.50	12.00	18.00	218.00	15.13	0.95	12.00	1.77
Ghiaia Superficiale	3.00	16.50	20.00	461.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	2.00	19.50	19.00	330.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Ghiaia profonda	3.00	21.50	20.00	528.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	5.00	24.50	19.00	304.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Bedrock		29.50	21.00	500.00				

Tab. 39 - 034027P971 - Modello geofisico

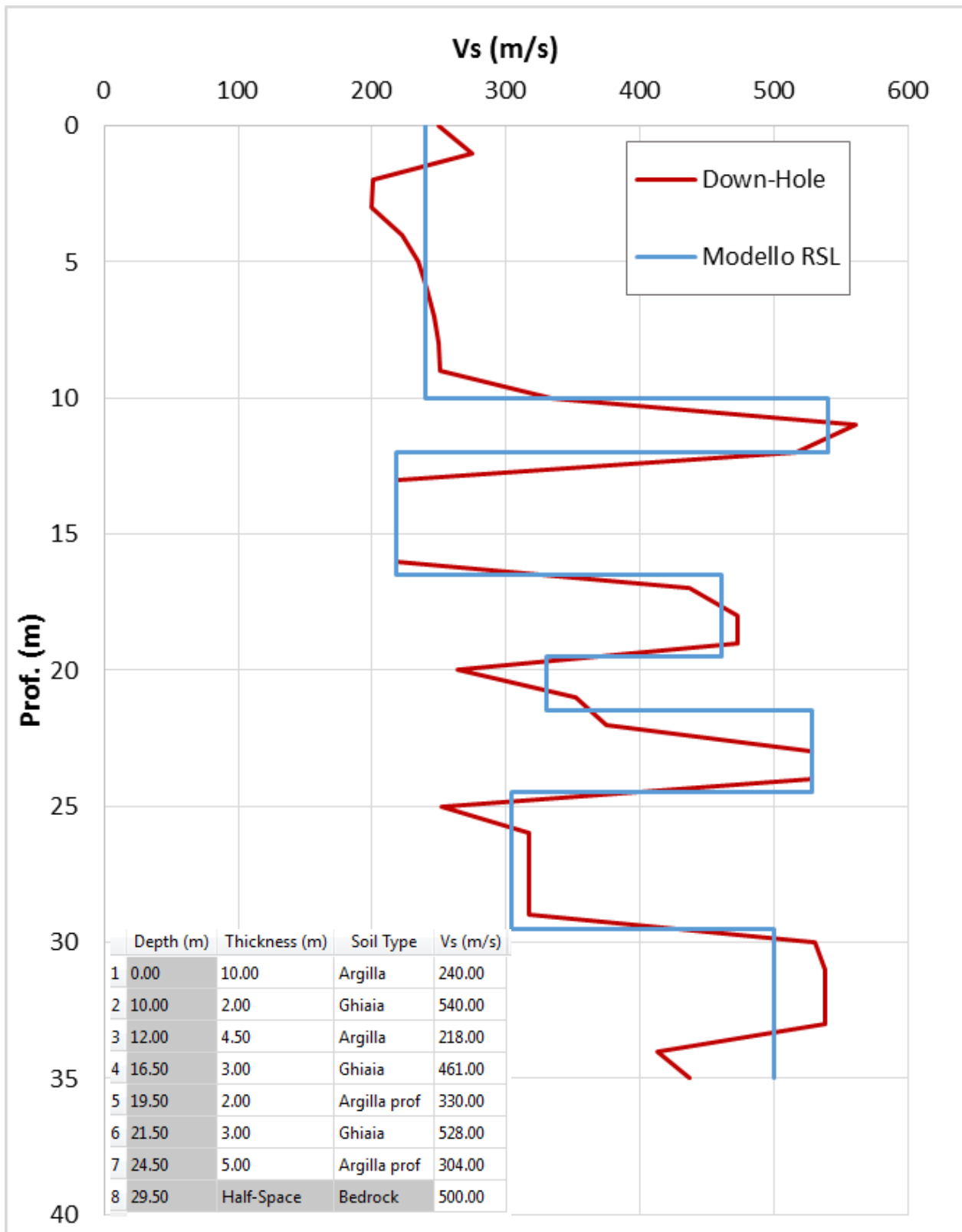


Fig. 92 - 034027P971 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

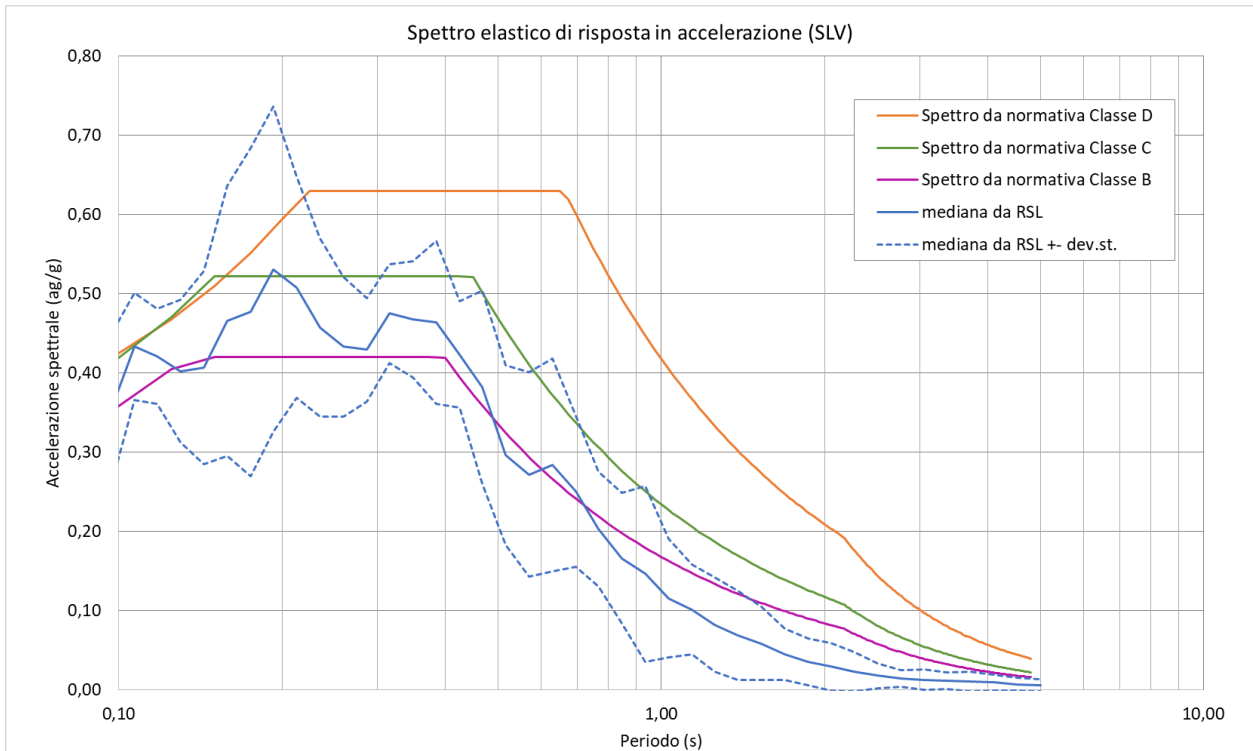


Fig. 93 - 034027P971 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

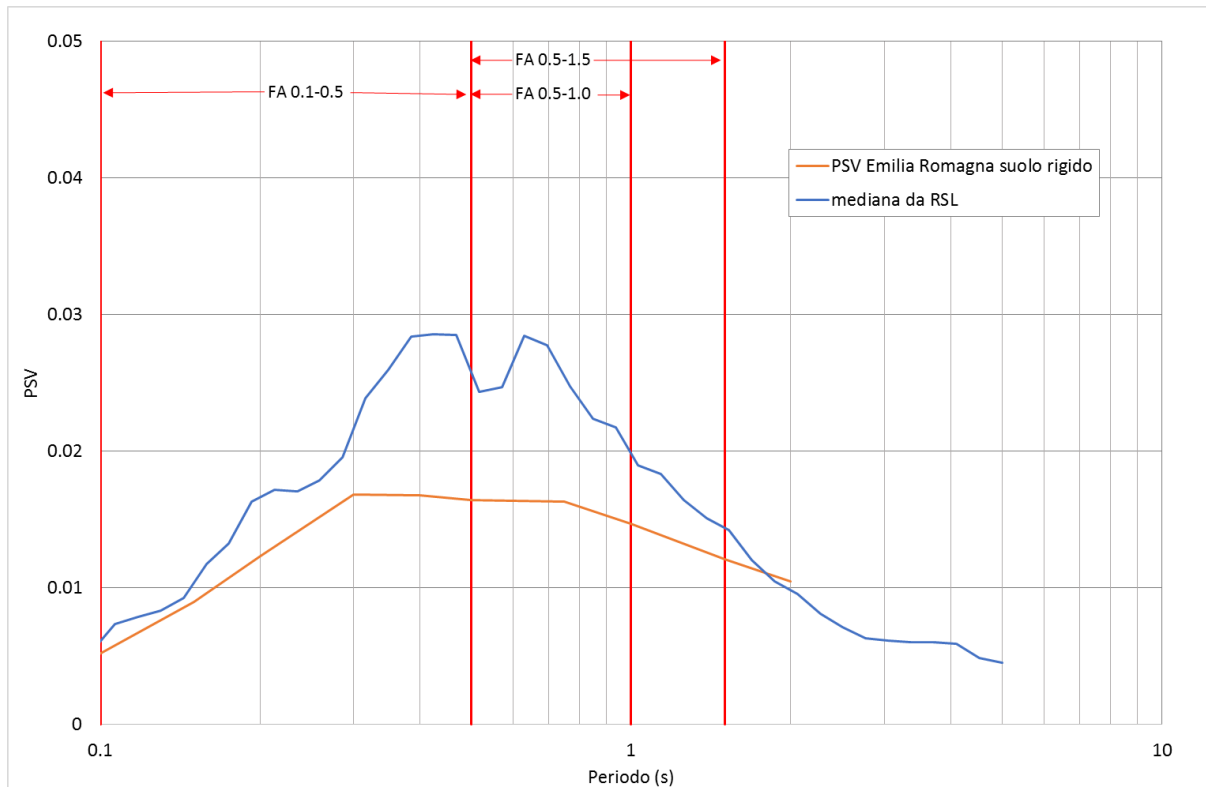


Fig. 94 - 034027P971 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

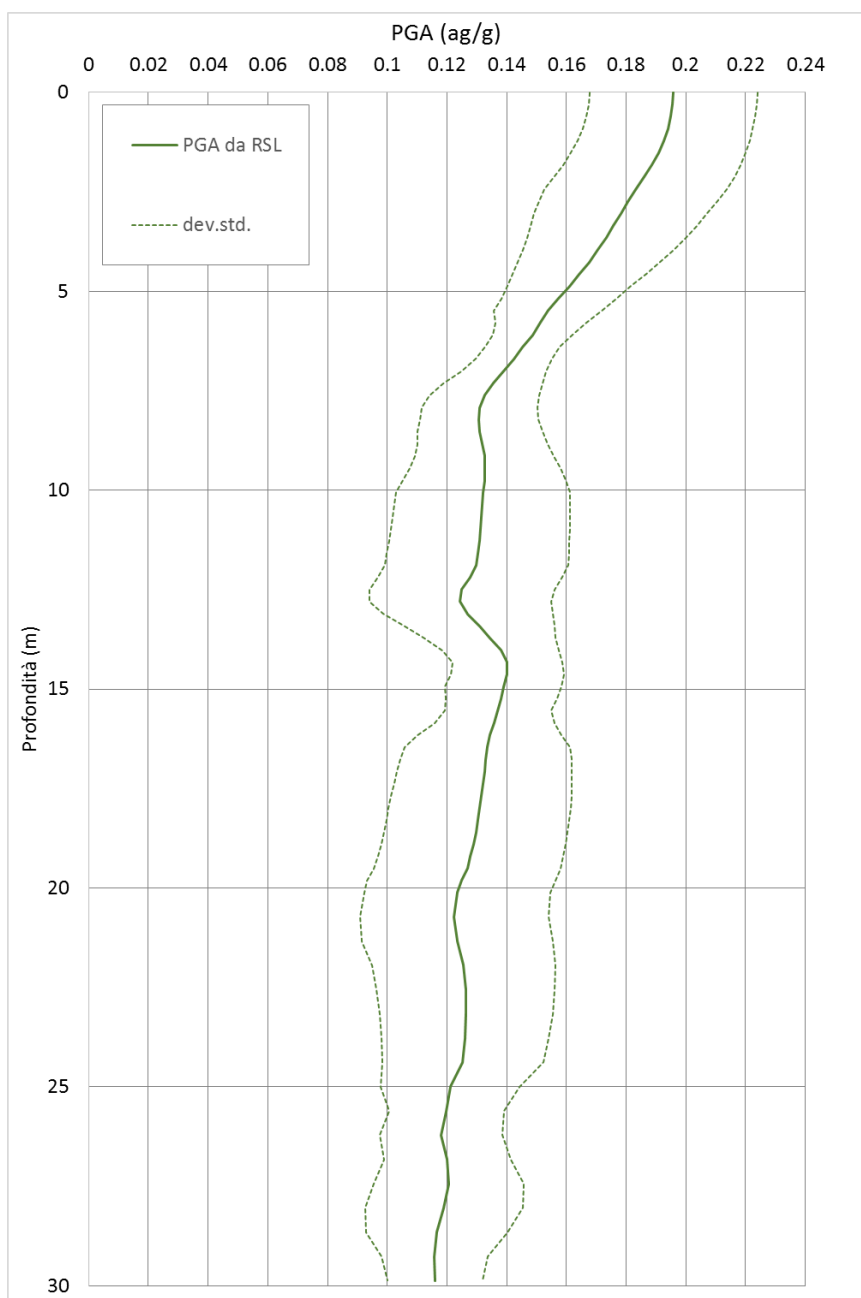


Fig. 95 - 034027P971 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.38
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.42
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.50
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.37

Tab. 40 - 034027P971 - Fattori di amplificazione



3.6.18 RSL per il sito 034027P973

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Ghiaia superficiale	6.00	0.00	20.00	300.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia Superficiale	7.00	6.00	20.00	430.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	5.00	13.00	19.00	320.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Ghiaia Superficiale	5.00	18.00	20.00	370.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Bedrock		23.00	21.00	650.00				

Tab. 41 - 034027P973 - Modello geofisico

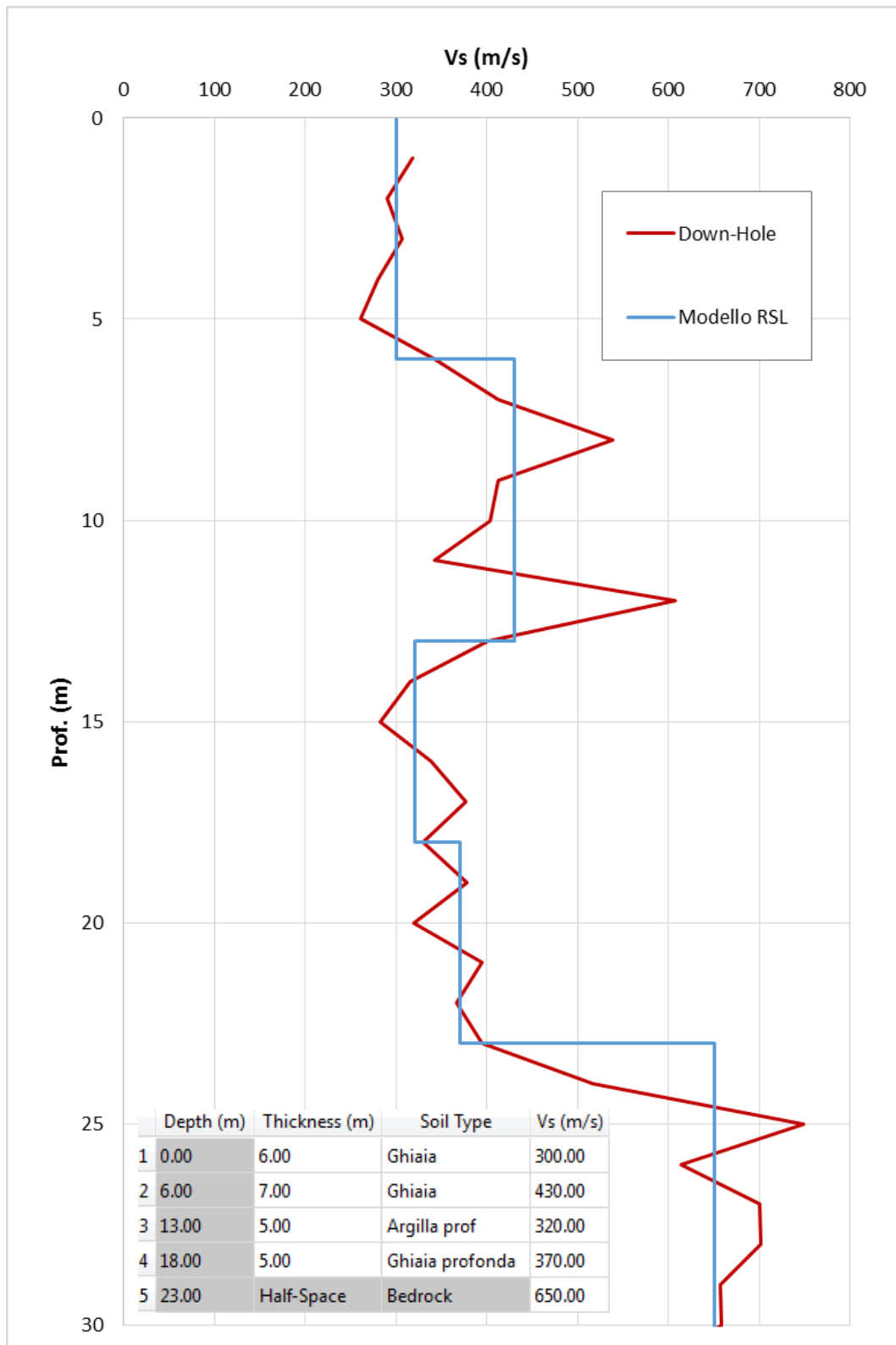


Fig. 96 - 034027P973 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

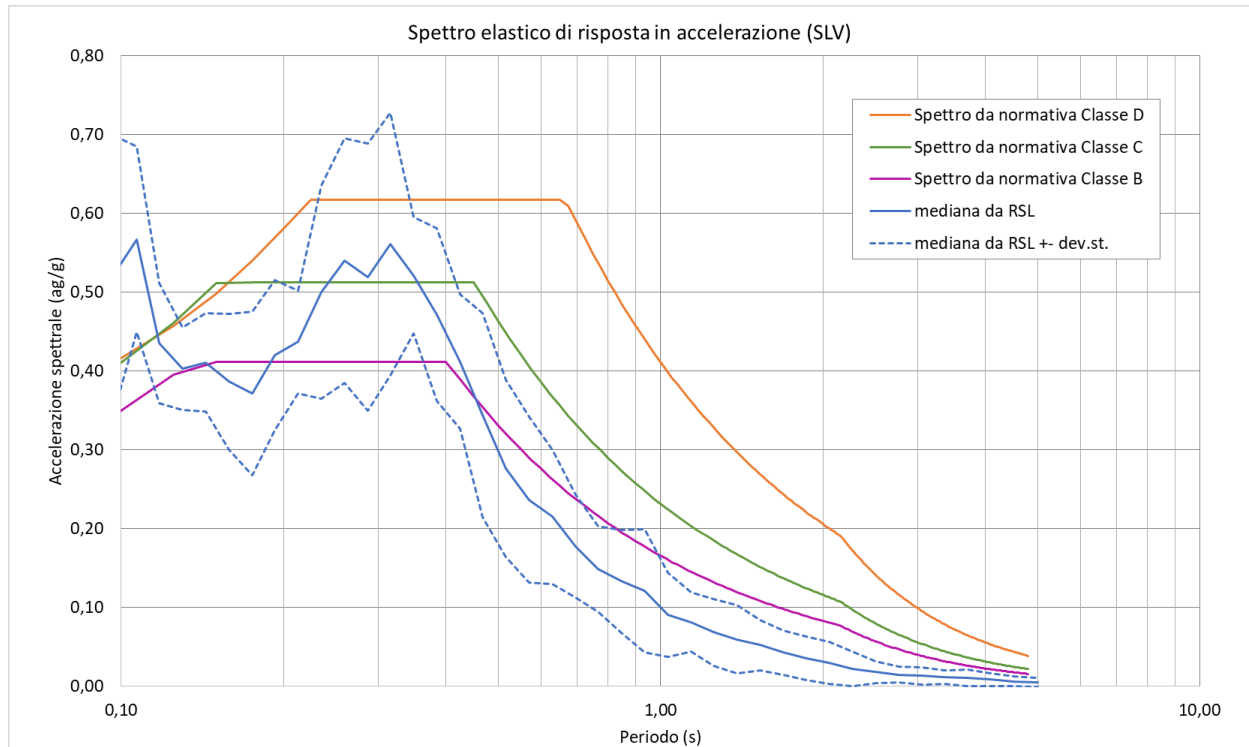


Fig. 97 - 034027P973 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

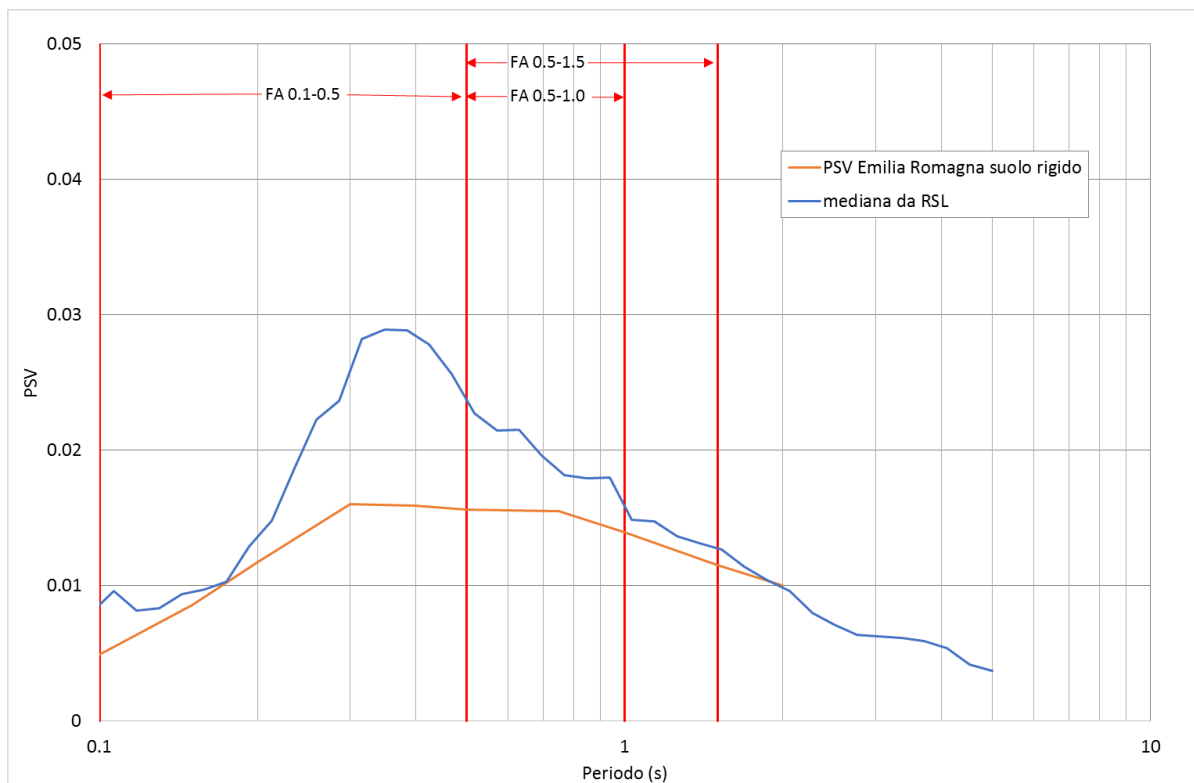


Fig. 98 - 034027P973 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

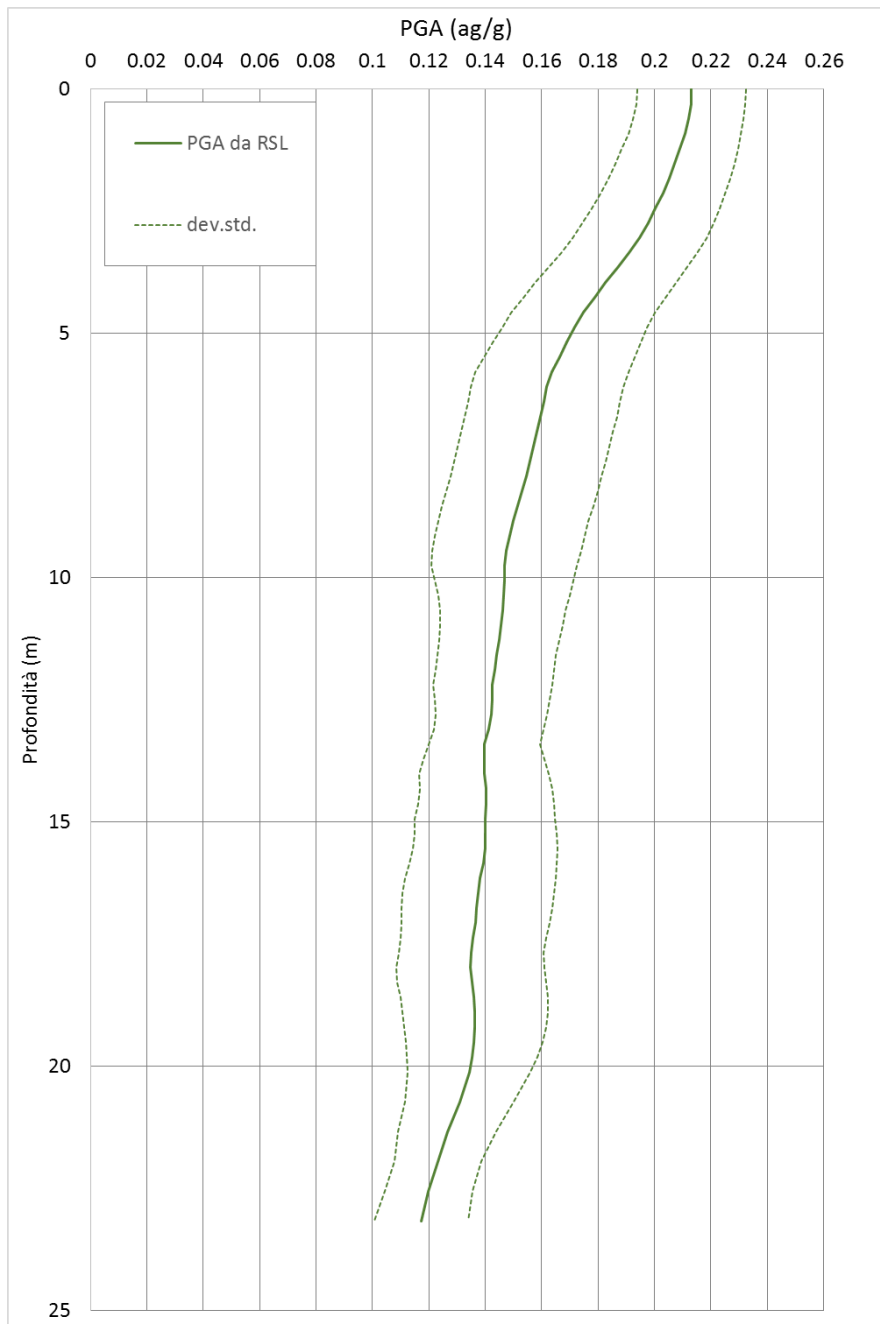


Fig. 99 - 034027P973 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.58
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.52
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.23
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.16

Tab. 42 - 034027P973 - Fattori di amplificazione



3.6.19 RSL per il sito 034027P974

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	12.00	0.00	18.00	300.00	15.13	0.95	12	1.77
Ghiaia Superficiale	15.50	12.00	20.00	770.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia Superficiale	1.00	27.50	20.00	560.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia Superficiale	1.00	28.50	20.00	710.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia Superficiale	3.00	29.50	20.00	550.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Bedrock		32.50	21.00	850.00				

Tab. 43 - 034027P974 - Modello geofisico

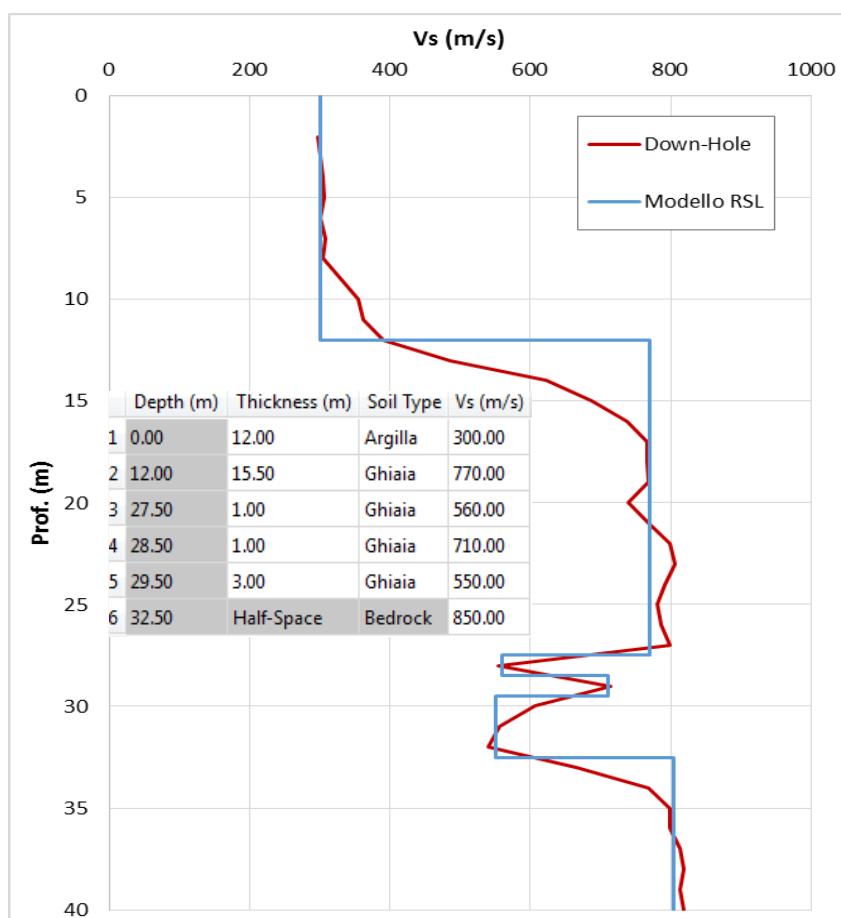


Fig. 100 - 034027P974 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

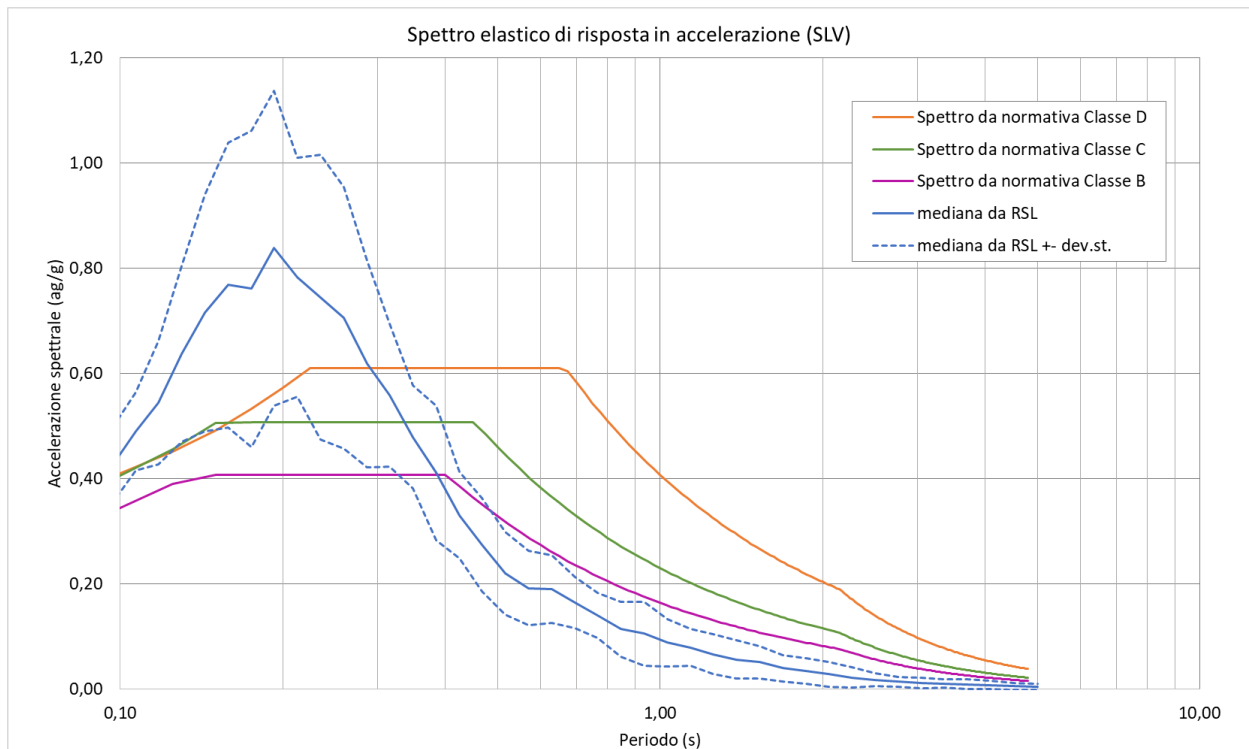


Fig. 101 - 034027P974 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

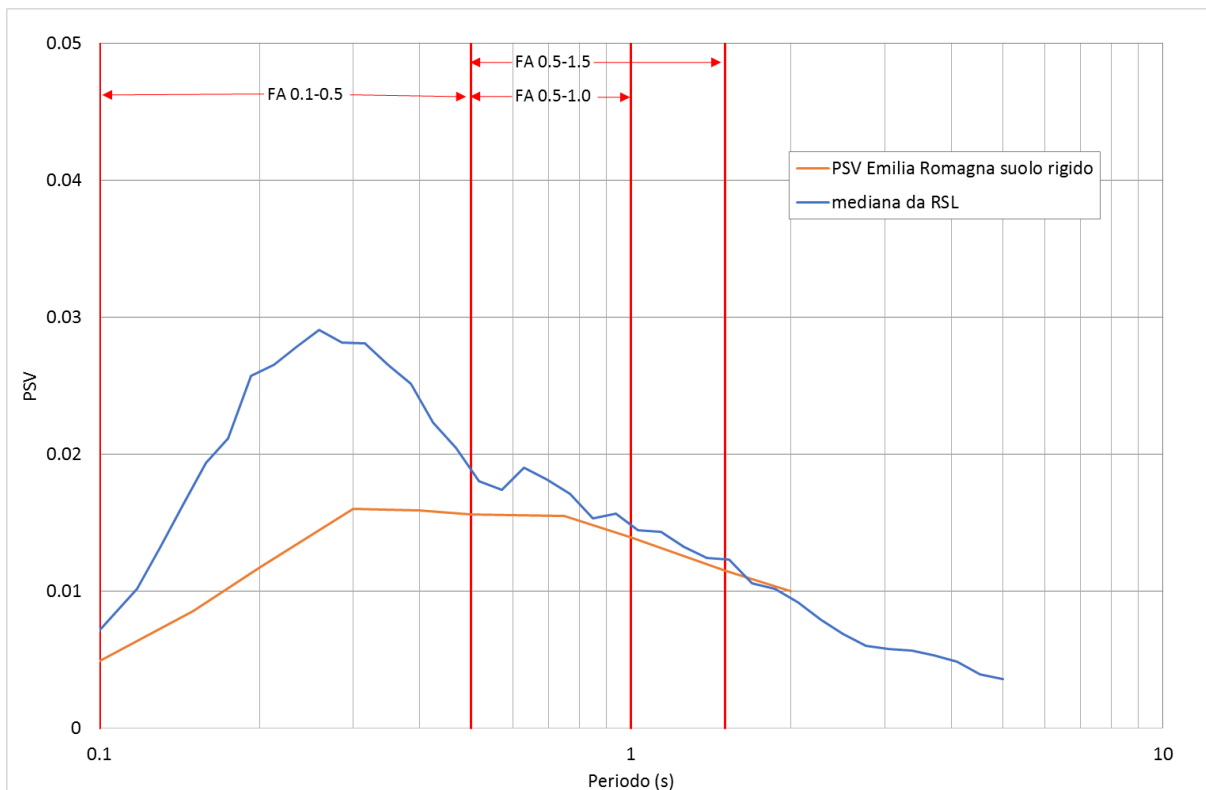


Fig. 102 - 034027P974- Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	99 di 164

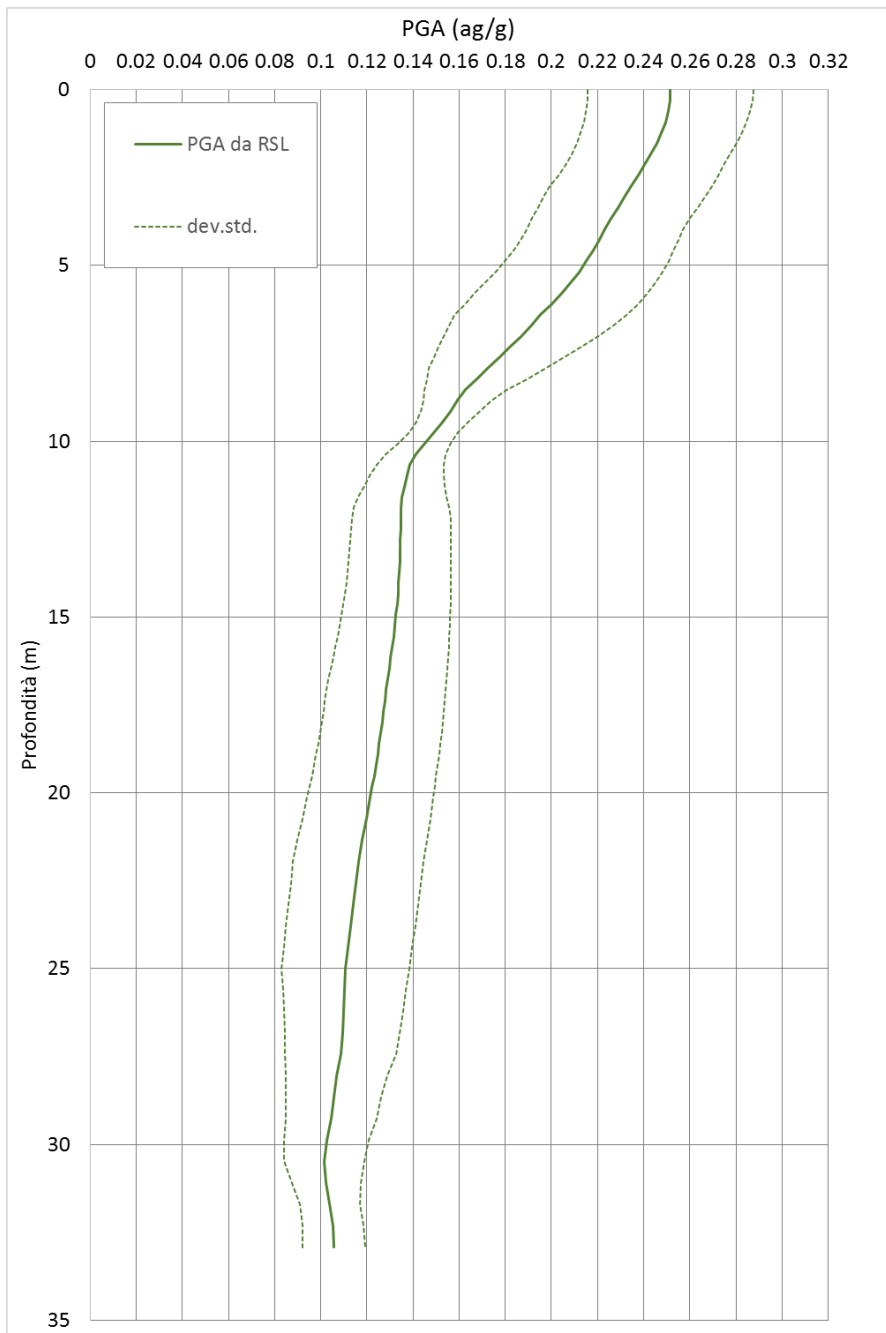


Fig. 103 – 034027P974- Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.87
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.69
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.10
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.08

Tab. 44 – 034027P974 - Fattori di amplificazione



3.6.20 RSL per il sito 034027P975

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	3.50	0.00	18.00	159.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla superficiale	4.50	3.50	18.00	148.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla superficiale	8.00	8.00	18.00	182.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla profonda	3.00	16.00	18.50	217.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Argilla profonda	7.50	19.00	18.50	205.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Ghiaia superficiale	3.00	26.50	21.00	413.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia superficiale	2.50	29.50	21.00	407.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Bedrock		32.00	21.00	771.00				

Tab. 45 - 034027P975 - Modello geofisico

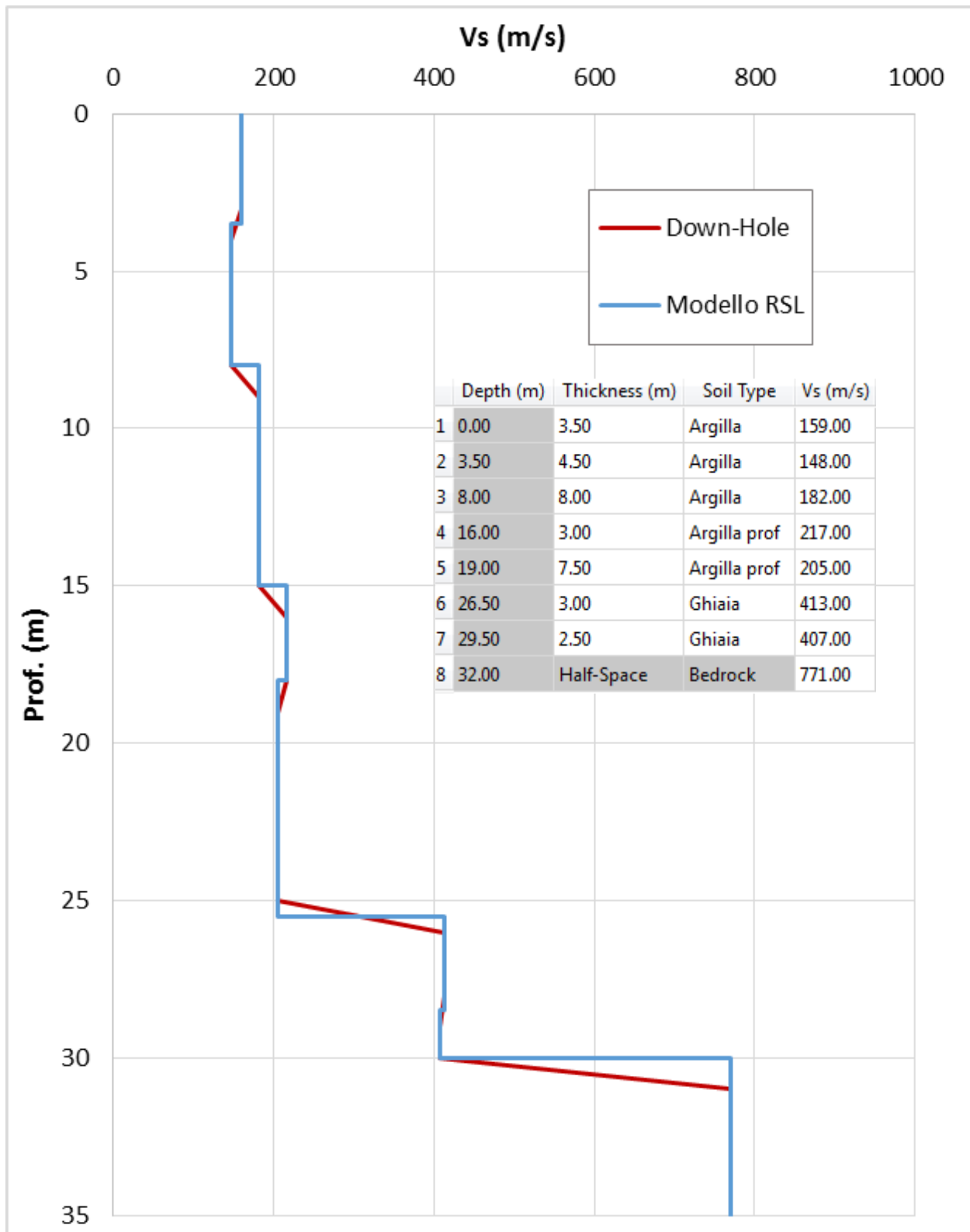


Fig. 104 - 034027P975 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

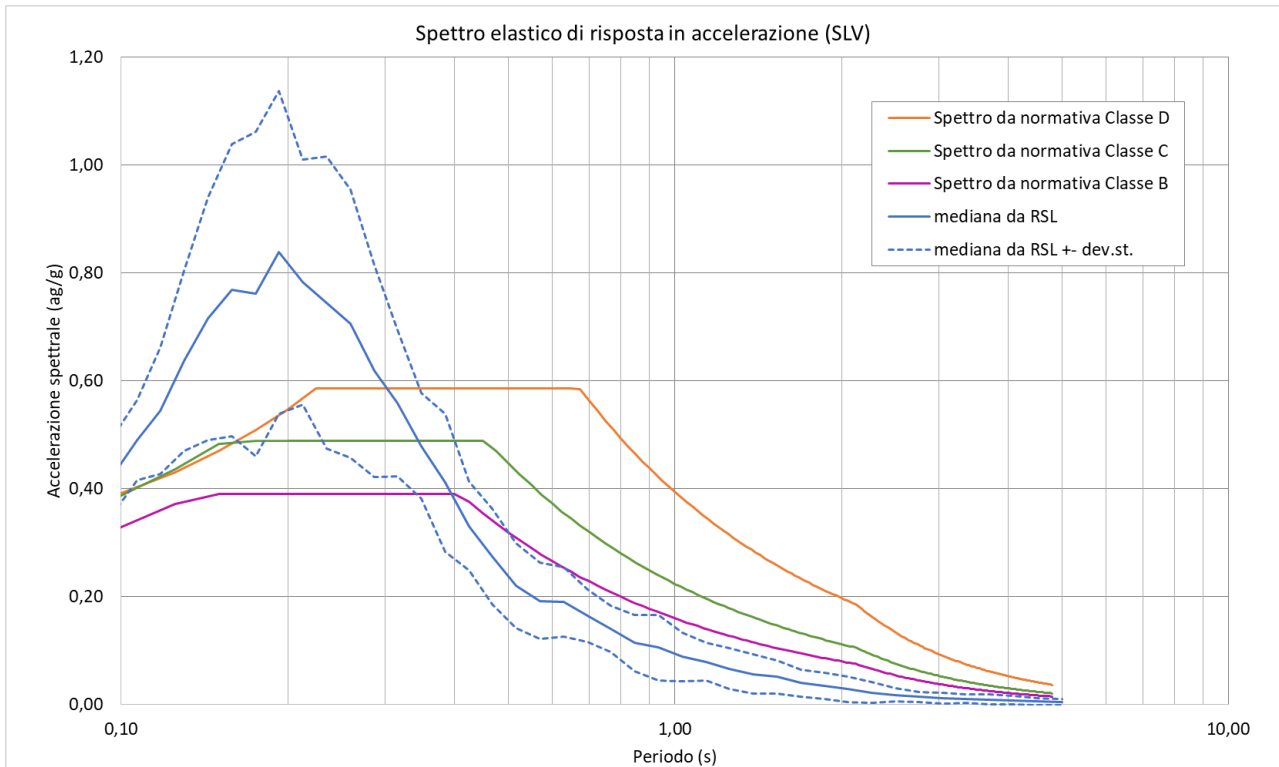


Fig. 105 - 034027P975 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

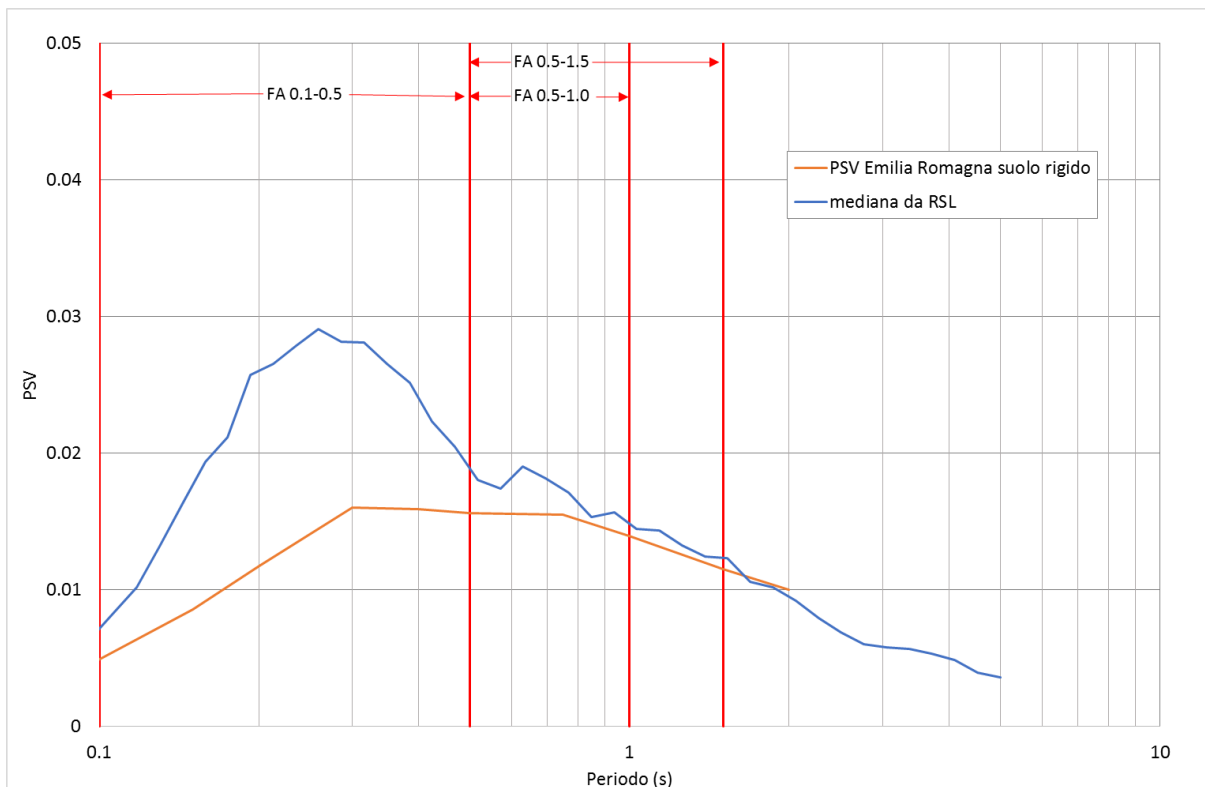


Fig. 106 - 034027P975 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

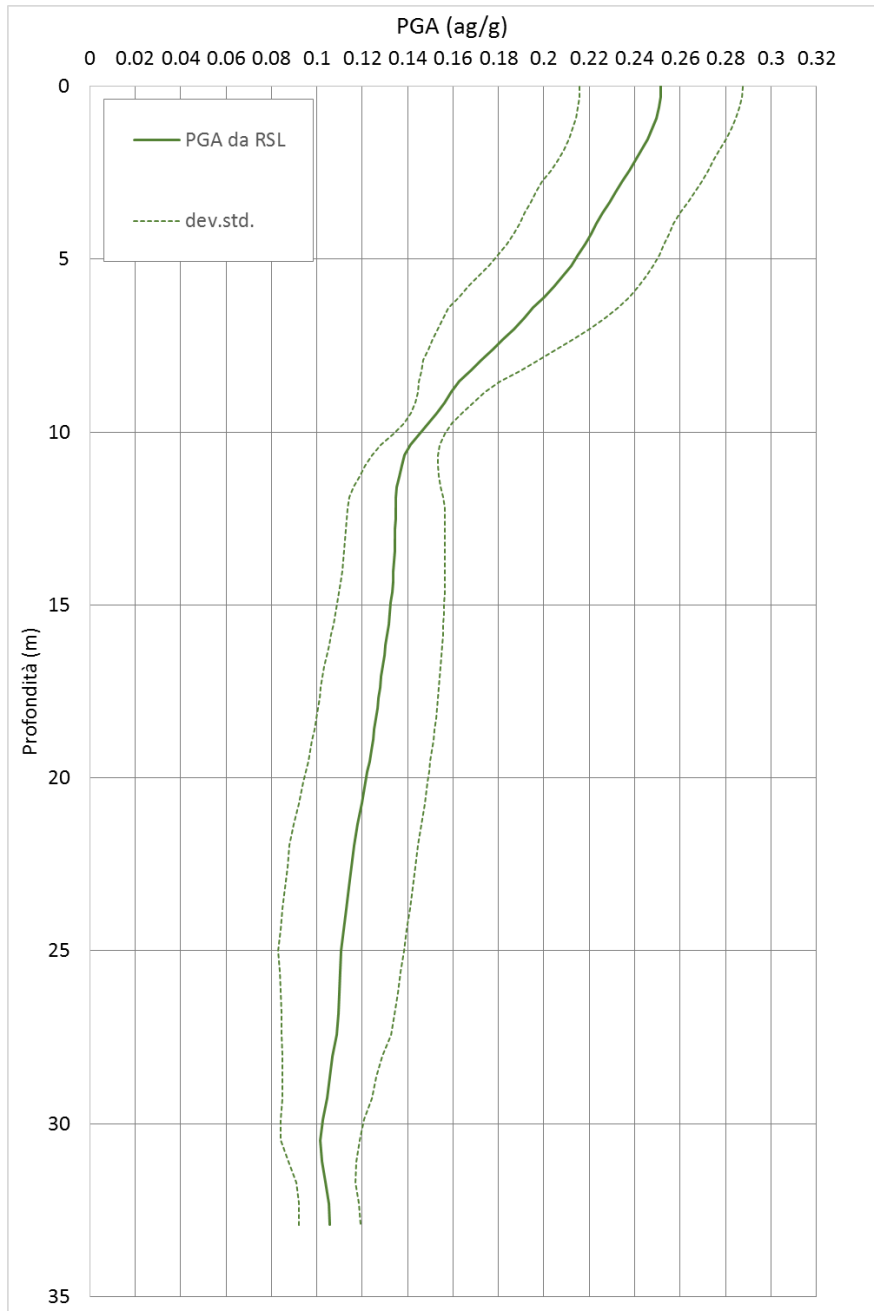


Fig. 107 - 034027P975 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.87
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.69
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.10
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.08

Tab. 46 - 034027P975 - Fattori di amplificazione



3.6.21 RSL per il sito 034027P989

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	2.50	0.00	18.00	160.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla Superficiale	12.50	2.50	18.50	235.00	15.13	0.95	12	1.77
Bedrock		15.00	21.00	650.00				

Tab. 47 - 034027P989 - Modello geofisico

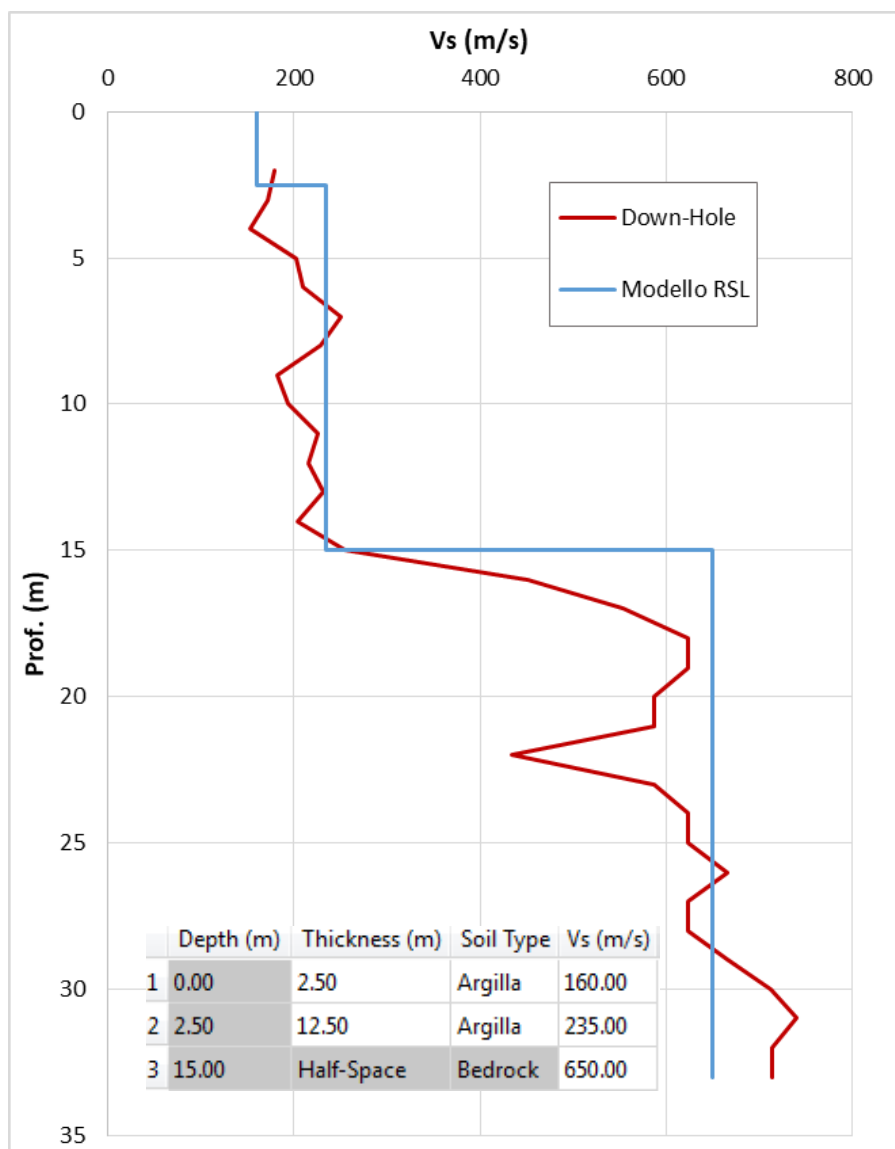


Fig. 108 034027P989- Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

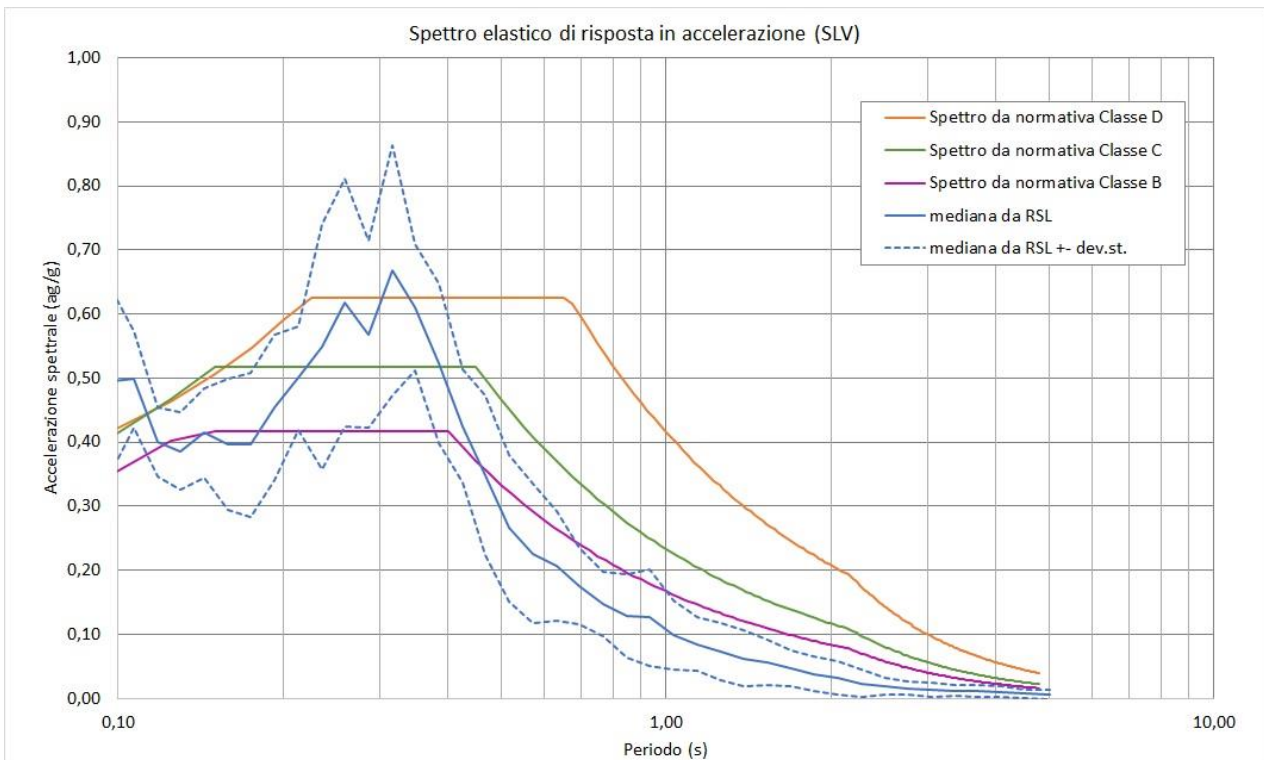


Fig. 109 - 034027P989- Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

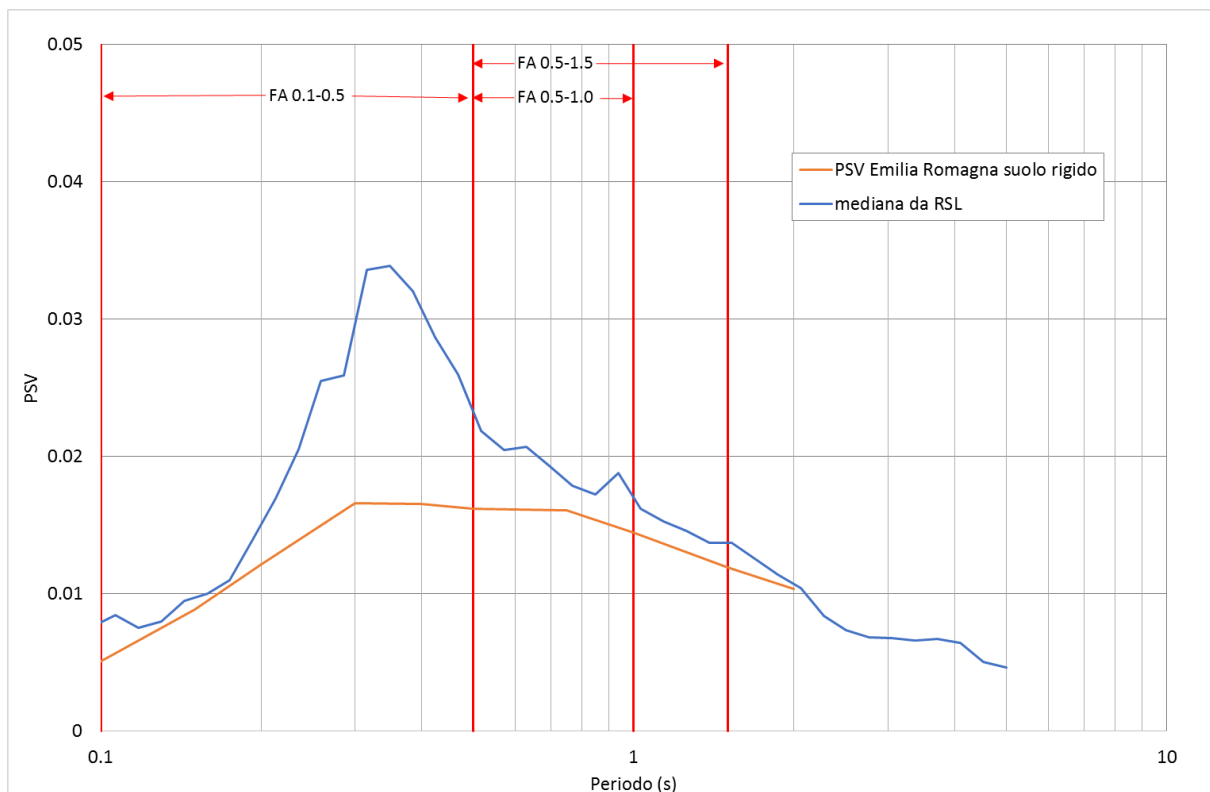


Fig. 110 - 034027P989 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	106 di 164

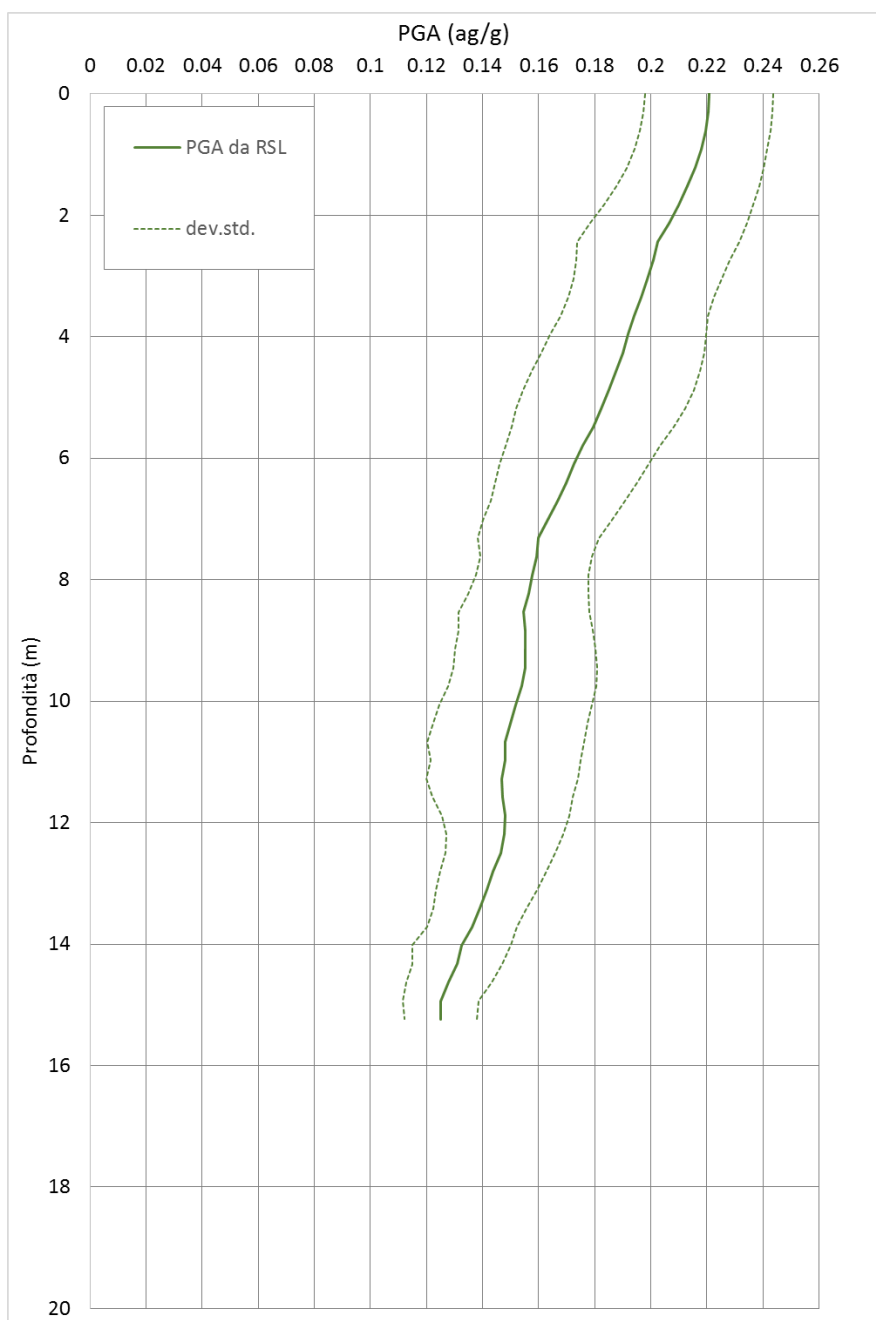


Fig. 111 - 034027P989 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.57
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.49
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.19
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.16

Tab. 48 - 034027P989- Fattori di amplificazione



3.6.22 RSL per il sito 034027P976

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Ghiaia Superficiale	2.00	0.00	19.00	385.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Limo argilloso sabbioso	5.00	2.00	18.00	260.00	13.05	0.93	22.28	2.30
Ghiaia superficiale	4.00	7.00	19.00	418.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Ghiaia superficiale	6.00	11.00	19.00	680.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Limo con argilla	3.50	17.00	18.50	305.00	53.62	1.25	25.35	2.54
Ghiaia profonda	10.50	20.50	20.00	700.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Limo con argilla	7.00	31.00	19.00	317.00	53.62	1.25	25.35	2.54
Bedrock		38.00	21.00	720.00				

Tab. 49 - 034027P976 - Modello geofisico

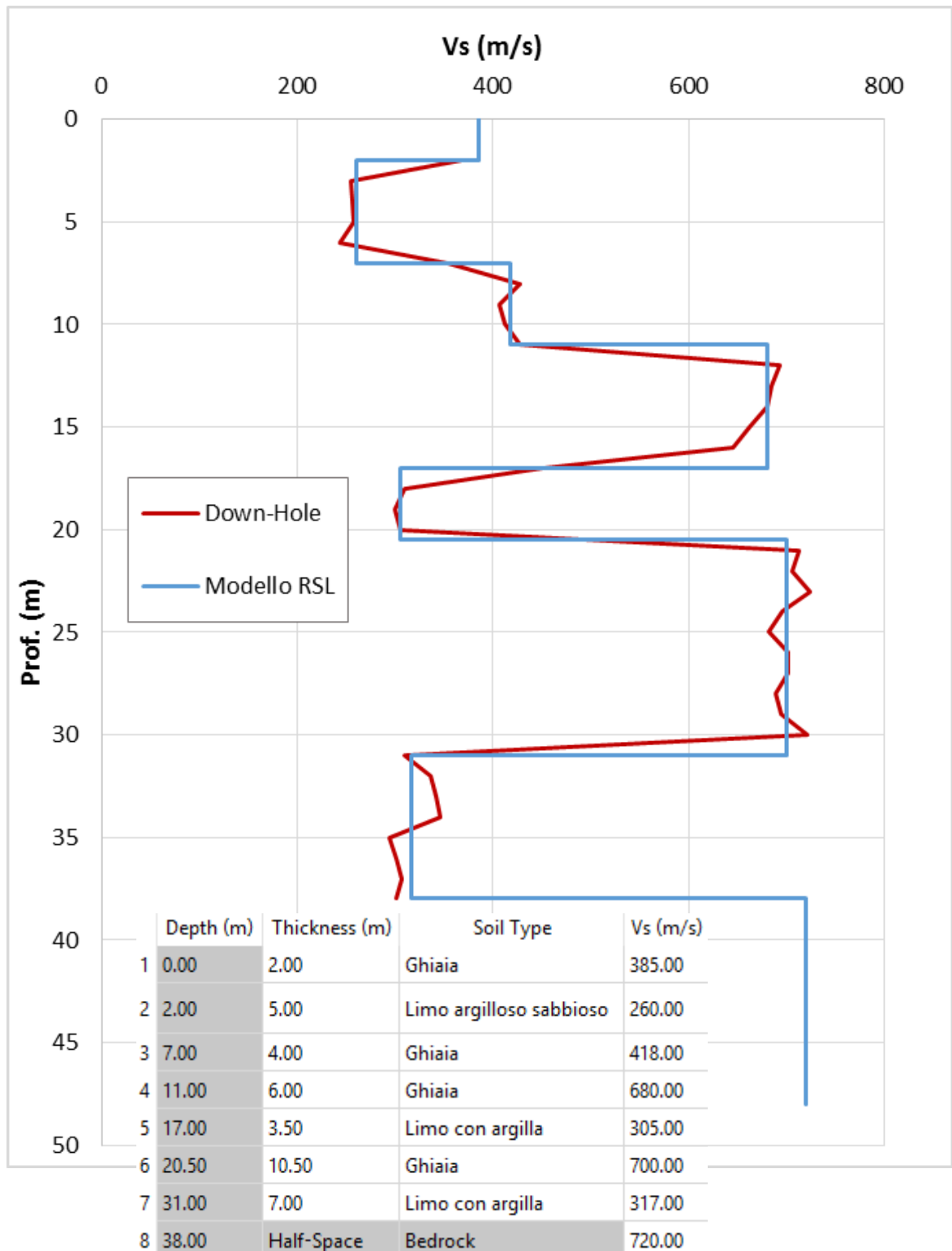


Fig. 112 - 034027P976 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

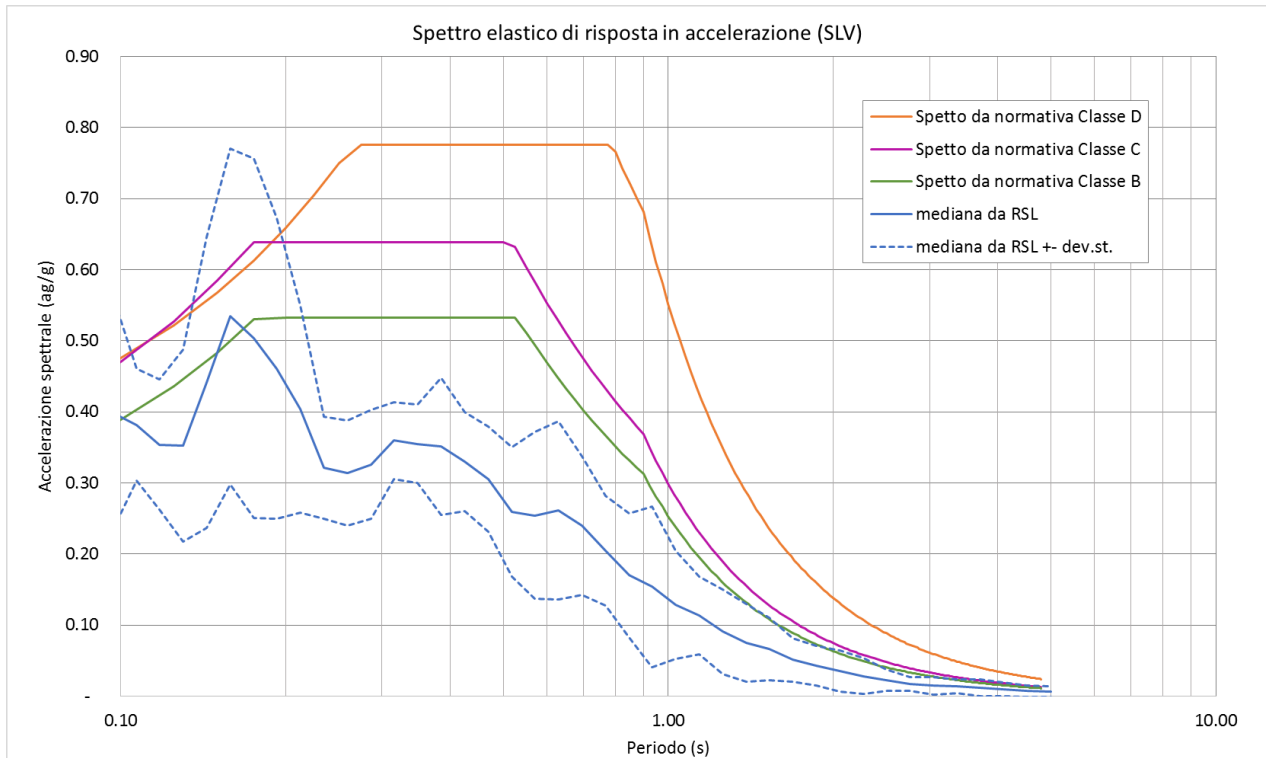


Fig. 113 - 034027P976 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

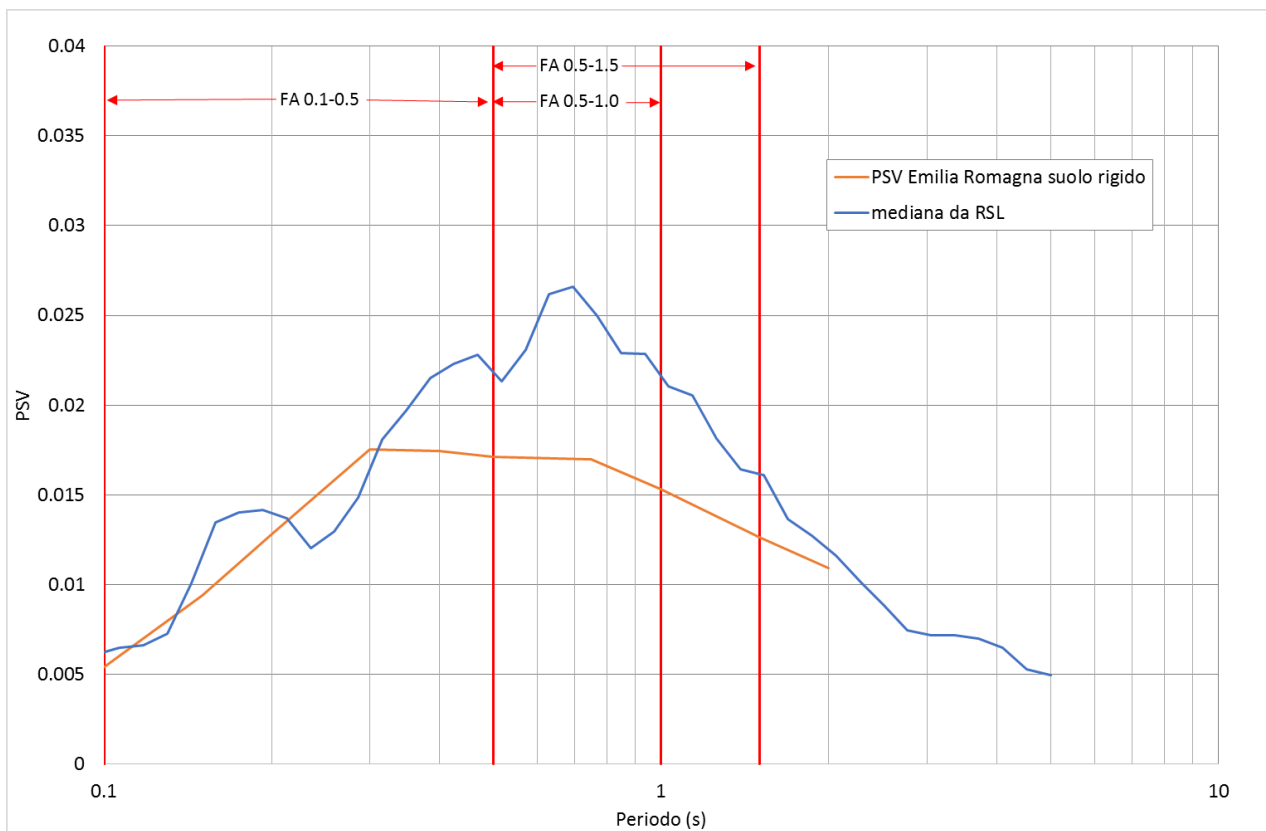


Fig. 114 - 034027P976 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	110 di 164

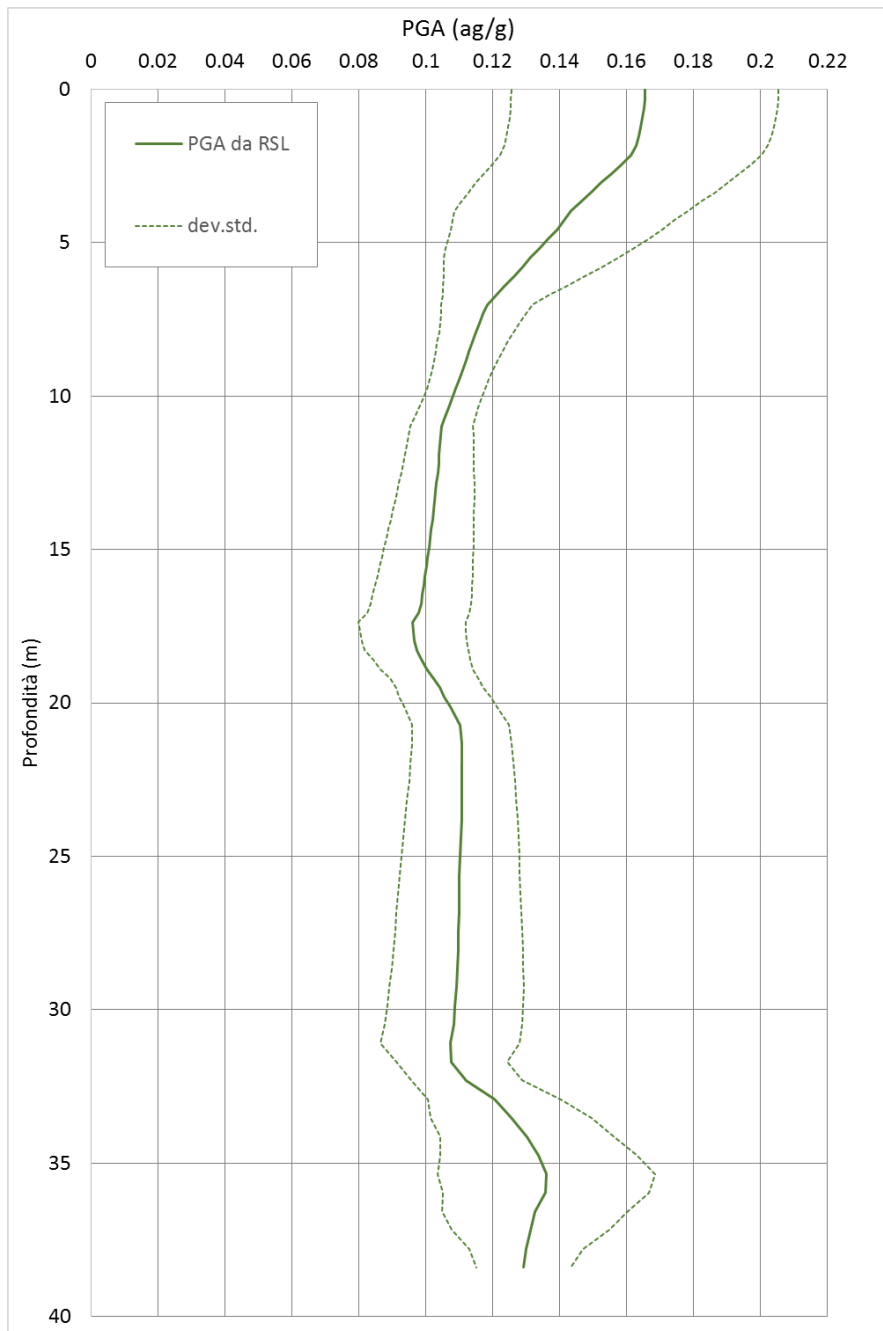


Fig. 115 - 034027P976 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.12
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.13
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.45
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.38

Tab. 50 - 034027P976 - Fattori di amplificazione



3.6.23 RSL per il sito 034027P977

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	7.90	0.00	18.00	270.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Ghiaia superficiale	3.80	7.90	19.00	550.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla superficiale	6.50	11.70	18.00	220.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Argilla superficiale	4.00	18.20	18.00	270.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Ghiaia profonda	1.00	22.20	20.00	500.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	4.50	23.20	18.50	310.00	20.97	1.01	10.68	1.39
Sabbie Fini	3.00	27.70	19.00	260.00	45.62	1.12	25.11	3.95
Ghiaia profonda	2.80	30.70	20.00	590.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	16.00	33.50	19.00	410.00	53.62	1.25	25.35	2.54
Bedrock		49.50	21.00	650.00				

Tab. 51 - 034027P977 - Modello geofisico

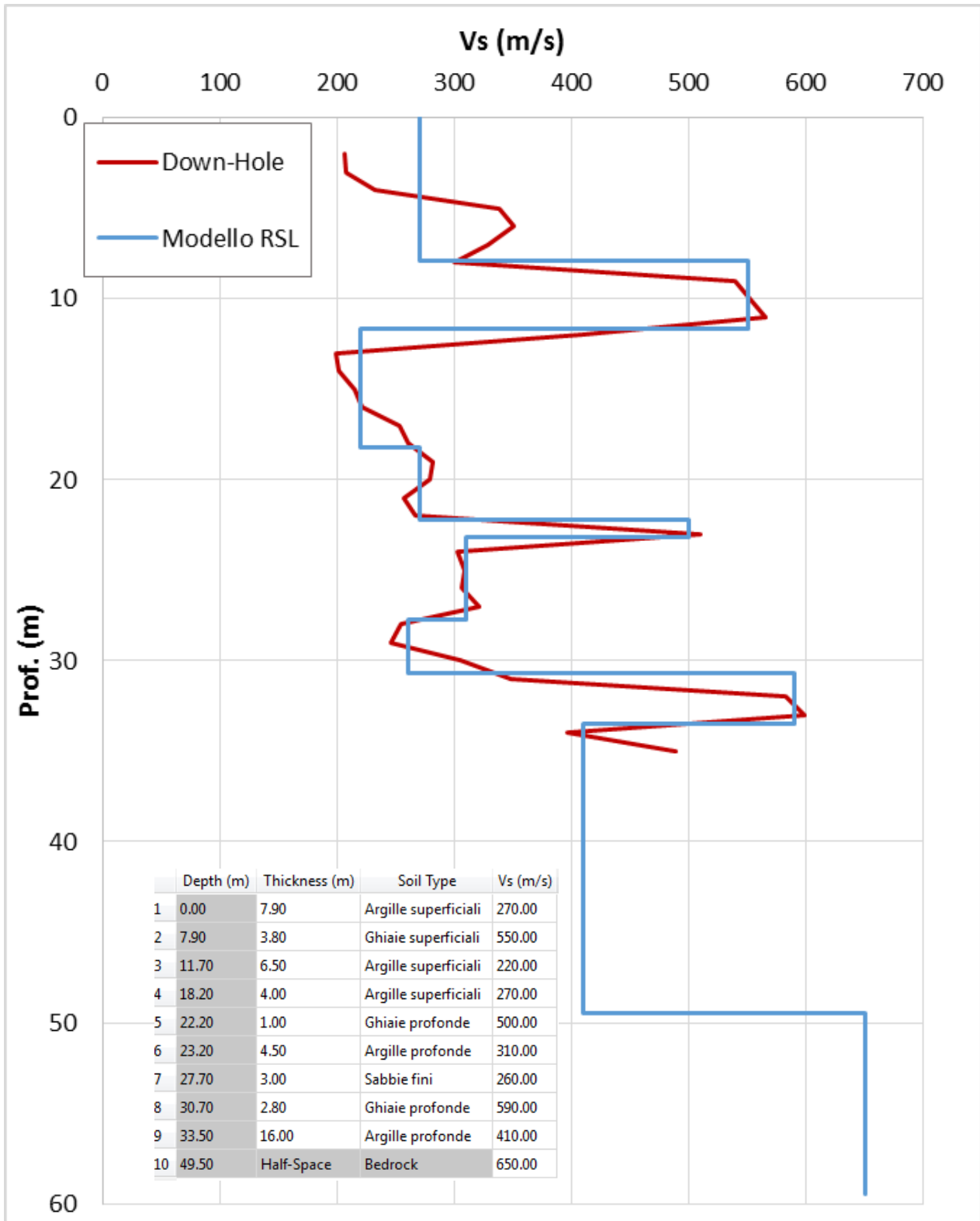


Fig. 116 - 034027P977 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

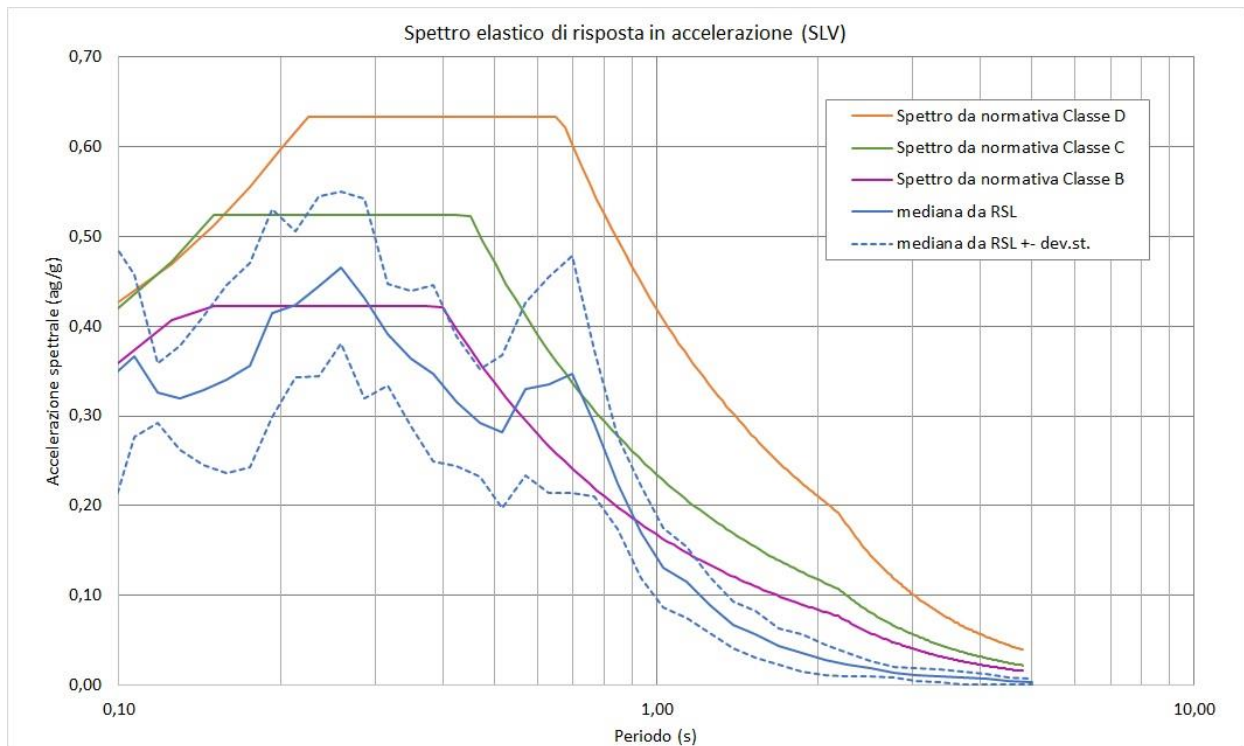


Fig. 117 - 034027P977 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

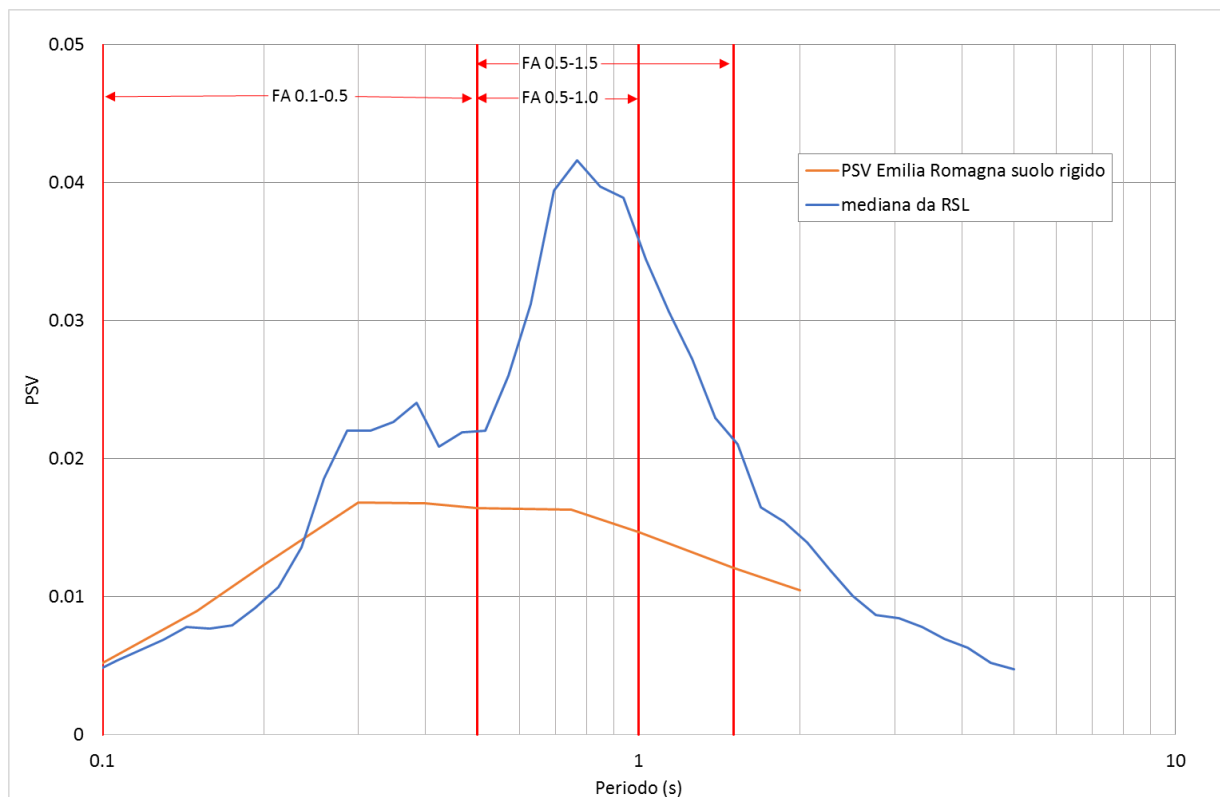


Fig. 118 - 034027P977 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità



Fig. 119 – 034027P977- Variazione dell’accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.20
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.18
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.33
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	2.14

Tab. 52 – 034027P977- Fattori di amplificazione



3.6.24 RSL per il sito 034027P979

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	5.00	0.00	18.00	240.00	15.13	0.95	12	1.77
Ghiaia Superficiale	10.00	5.00	20.00	520.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Bedrock		15.00	21.00	680.00				

Tab. 53 - 034027P979 - Modello geofisico

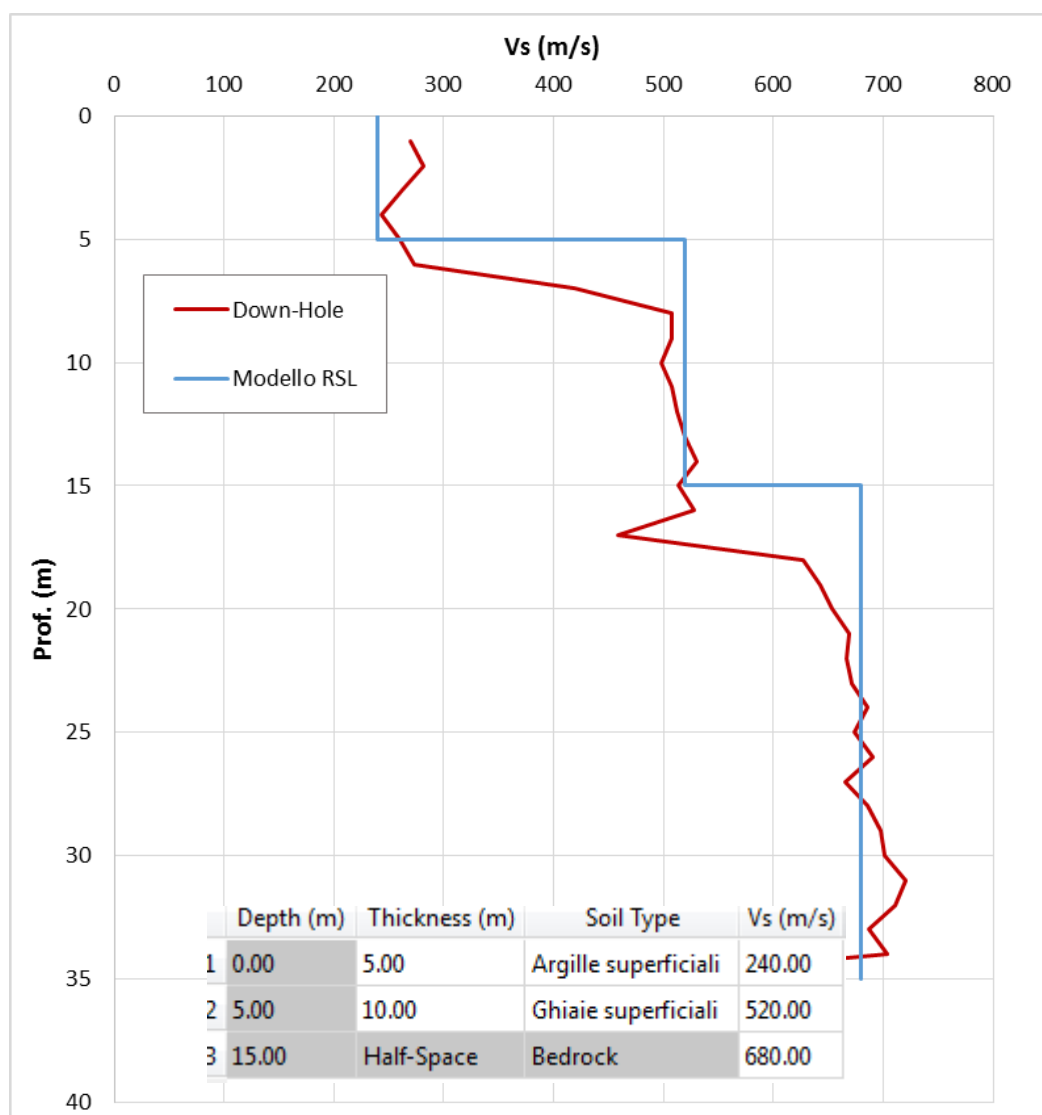


Fig. 120 - 034027P979- Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

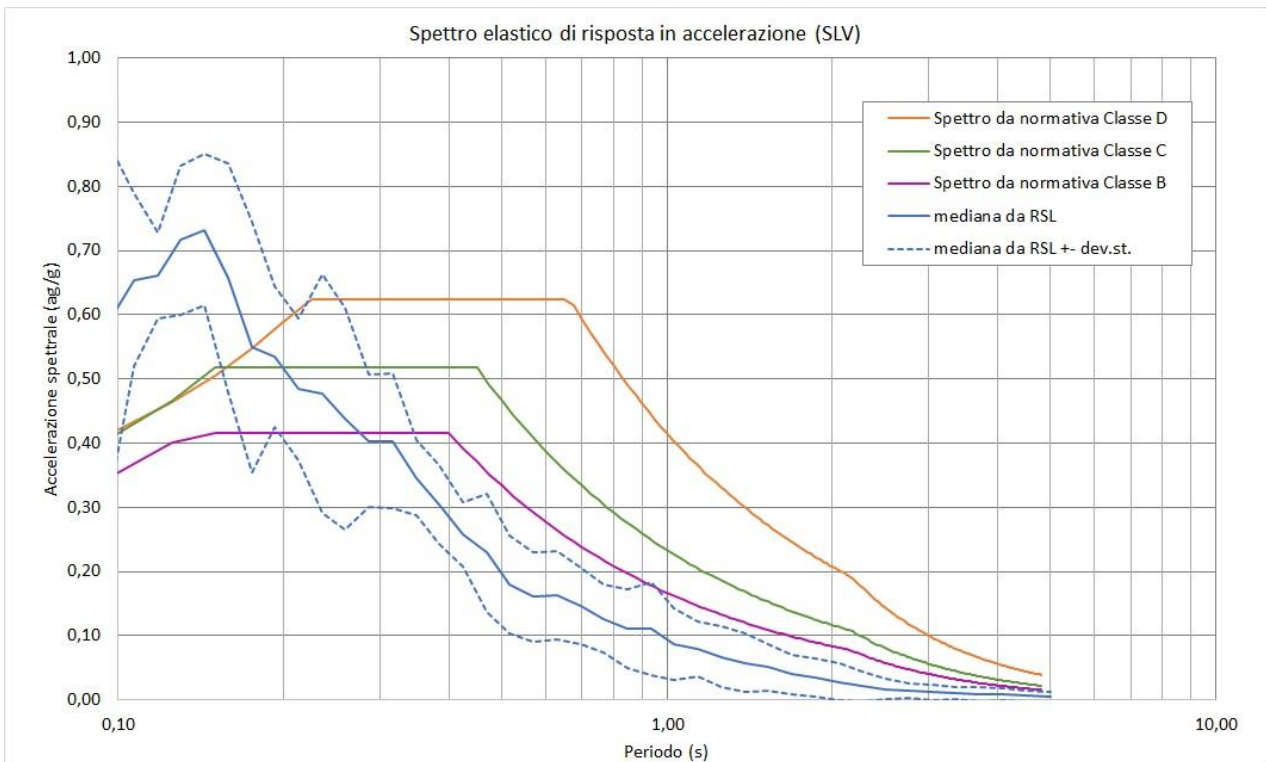


Fig. 121 - 034027P979 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

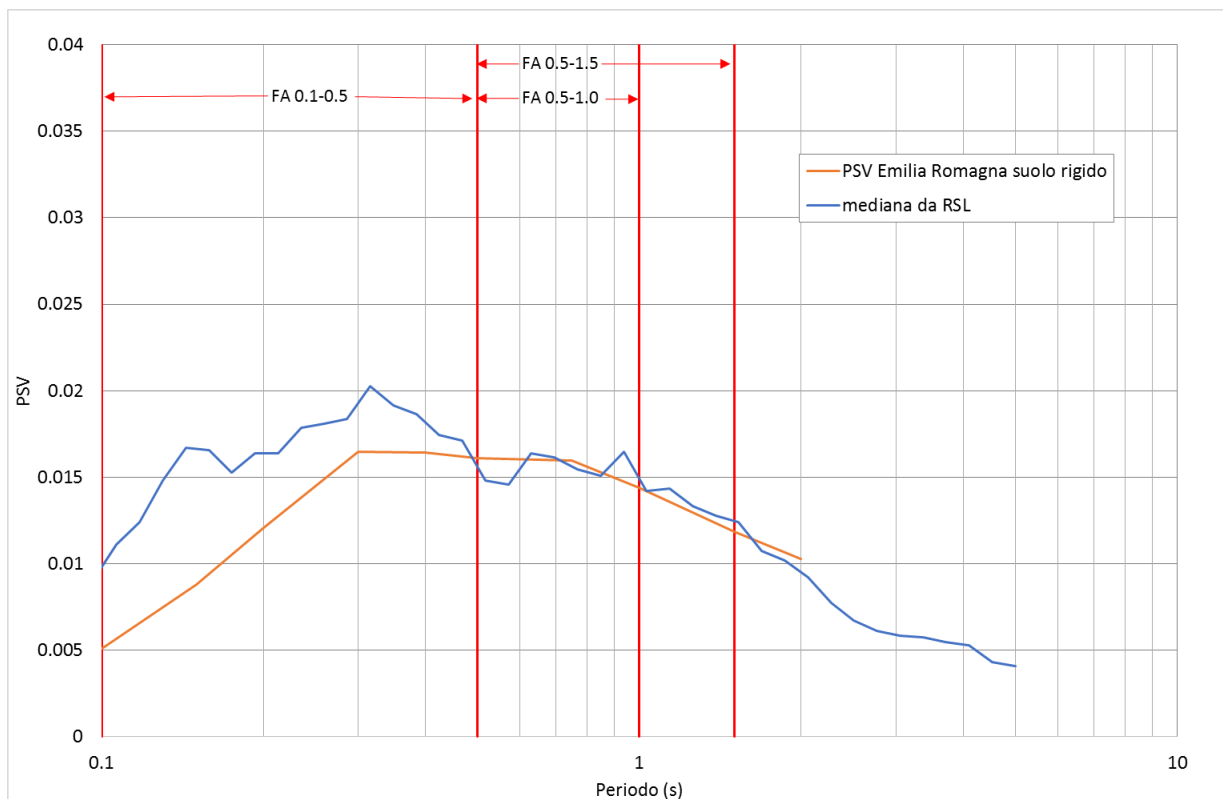


Fig. 122 - 034027P979 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	117 di 164

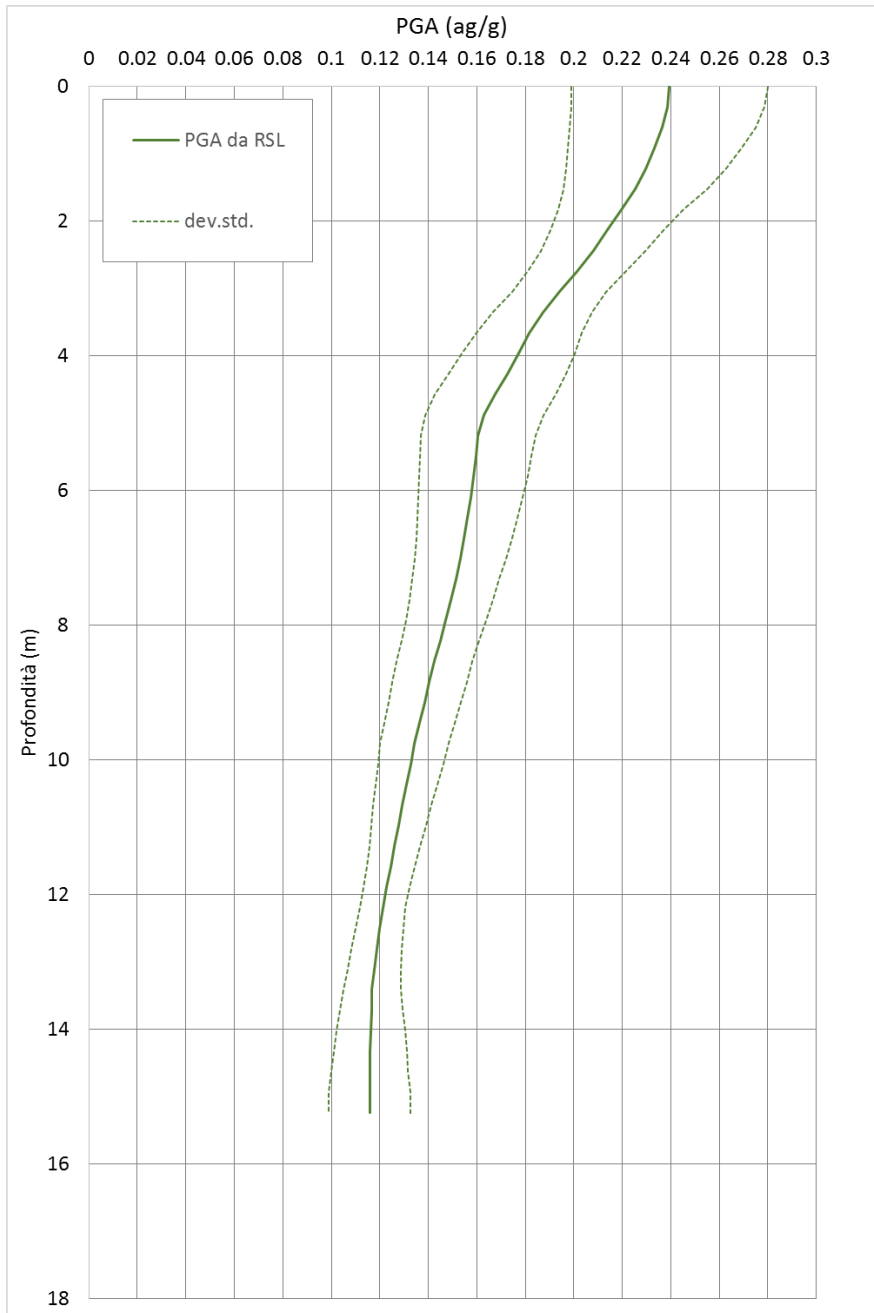


Fig. 123 - 034027P979- Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.73
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.27
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.01
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.02

Tab. 54 - 034027P979 - Fattori di amplificazione



3.6.25 RSL per il sito 034027P980

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	2.50	0.00	18.00	150.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla superficiale	4.00	2.50	18.00	178.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla superficiale	3.00	6.50	18.00	145.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla profonda	5.50	9.50	19.00	211.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Argilla profonda	3.50	15.00	19.00	245.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Argilla profonda	7.50	18.50	19.00	219.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Argilla profonda	9.00	26.00	19.00	265.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Bedrock		35.00	21.00	850.00				

Tab. 55 - 034027P980 - Modello geofisico

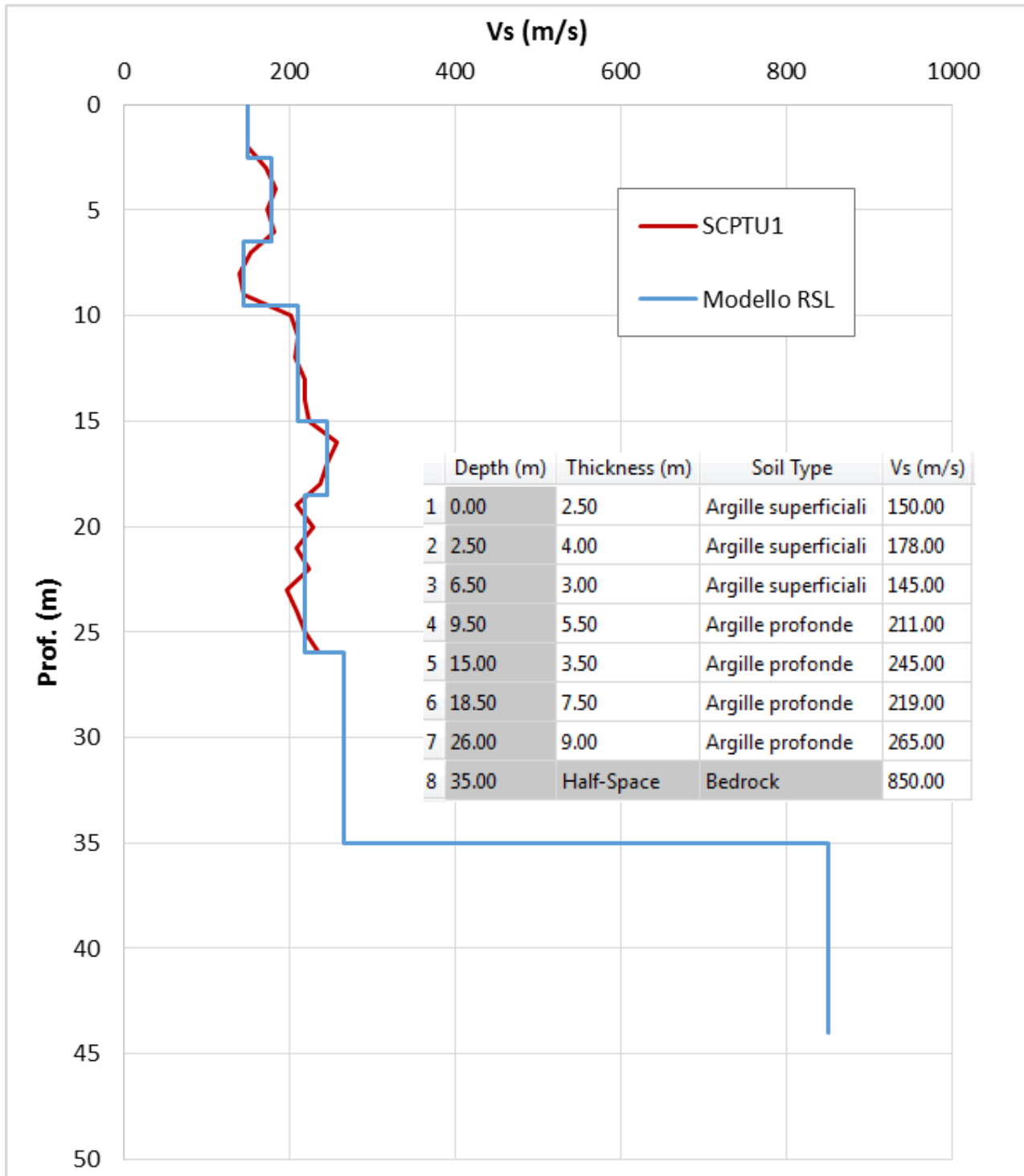


Fig. 124 - 034027P980 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

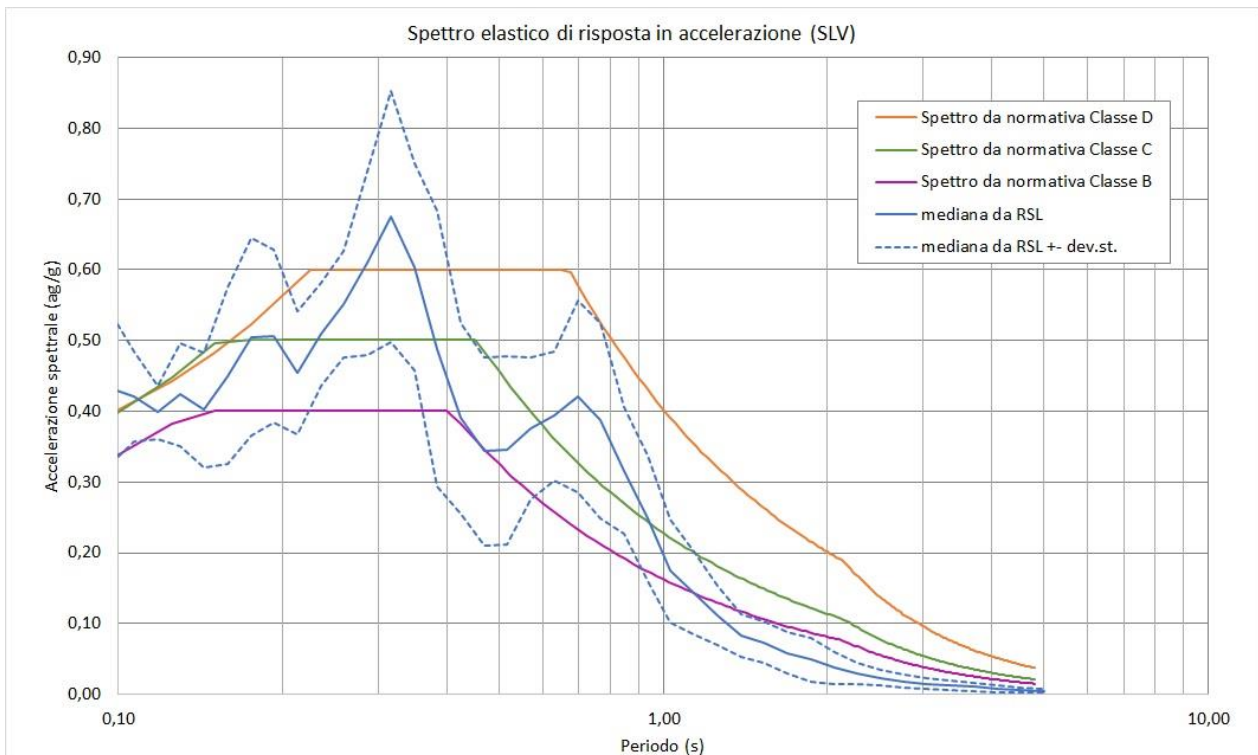


Fig. 125 - 034027P980 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

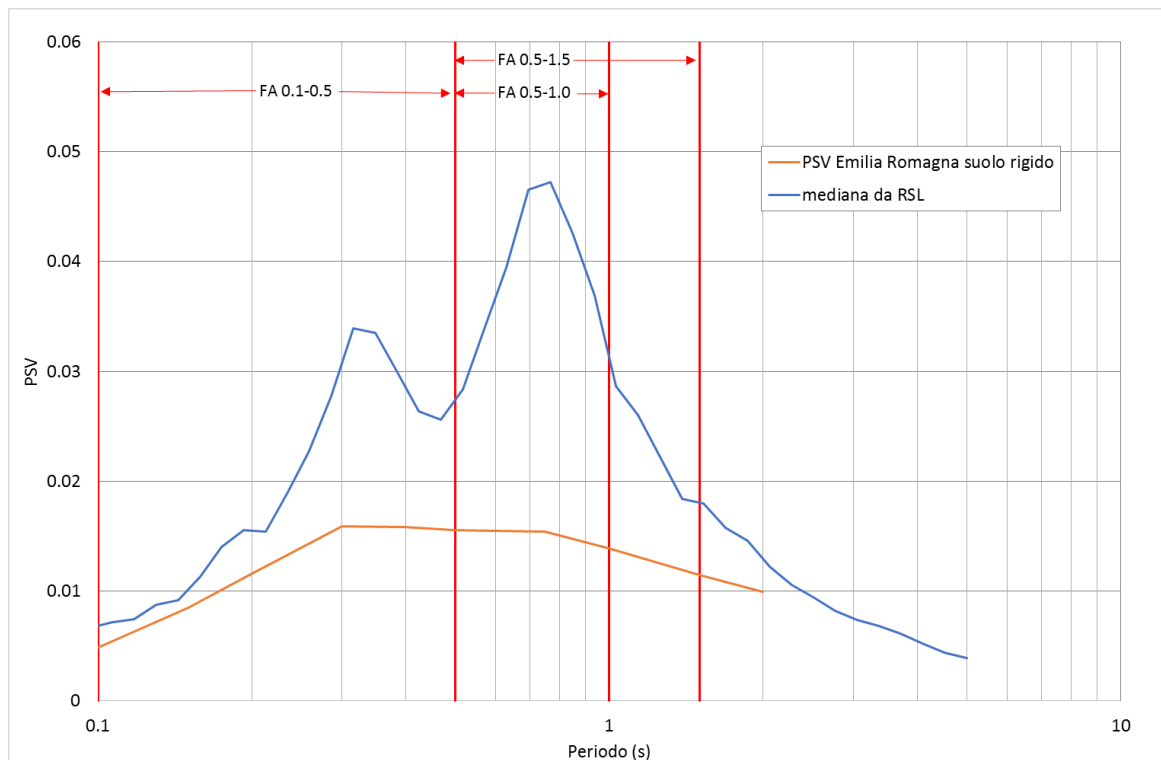


Fig. 126 - 034027P980 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	121 di 164

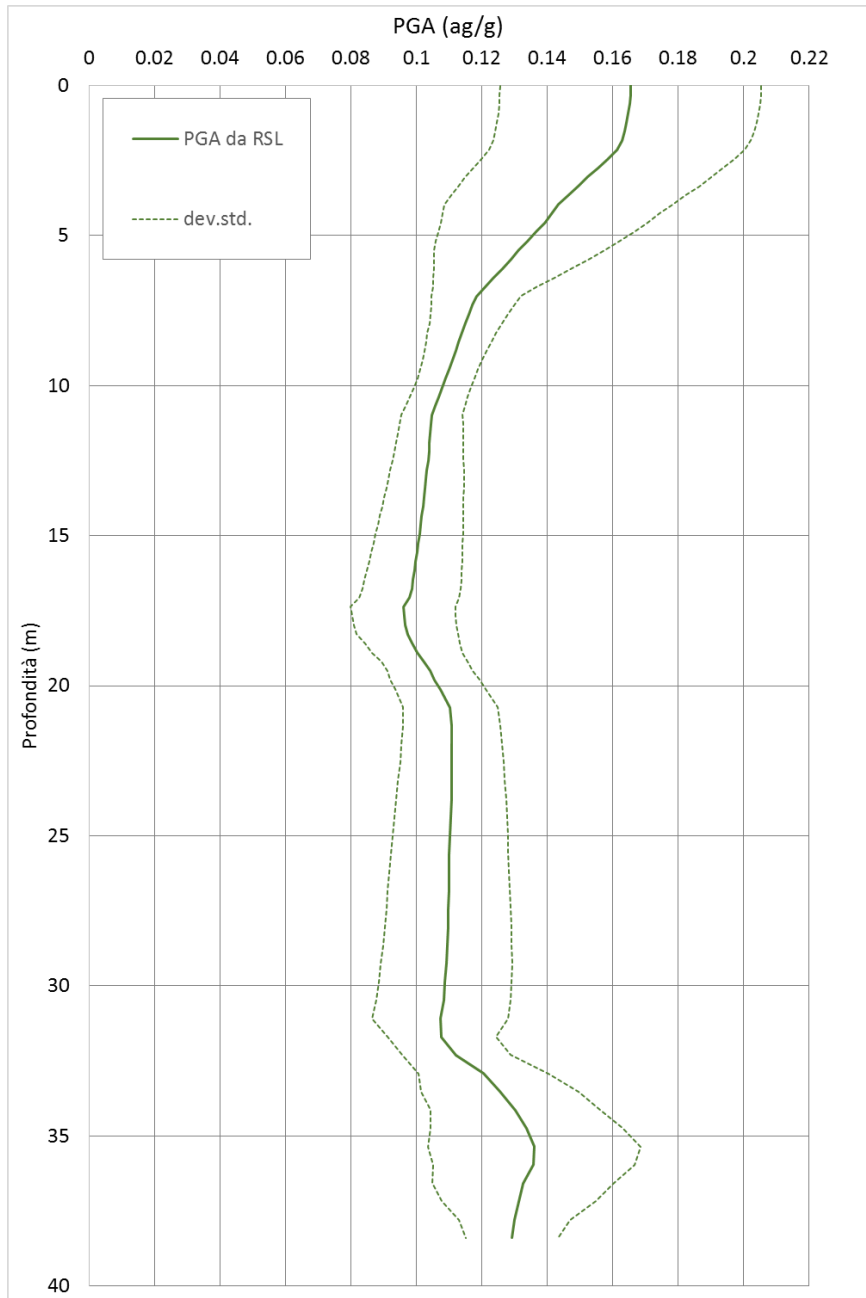


Fig. 127 - 034027P980 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.61
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.66
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.63
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	2.17

Tab. 56 - 034027P980 - Fattori di amplificazione



3.6.26 RSL per il sito 034027P981

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	6.50	0.00	18.00	215.00	15.13	0.95	12.00	1.77
Argilla superficiale	10.00	6.50	18.00	165.00	15.13	0.95	12.00	1.77
Argilla profonda	14.00	16.50	19.00	220.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Bedrock		30.50	21.00	550.00				

Tab. 57 - 034027P981 - Modello geofisico

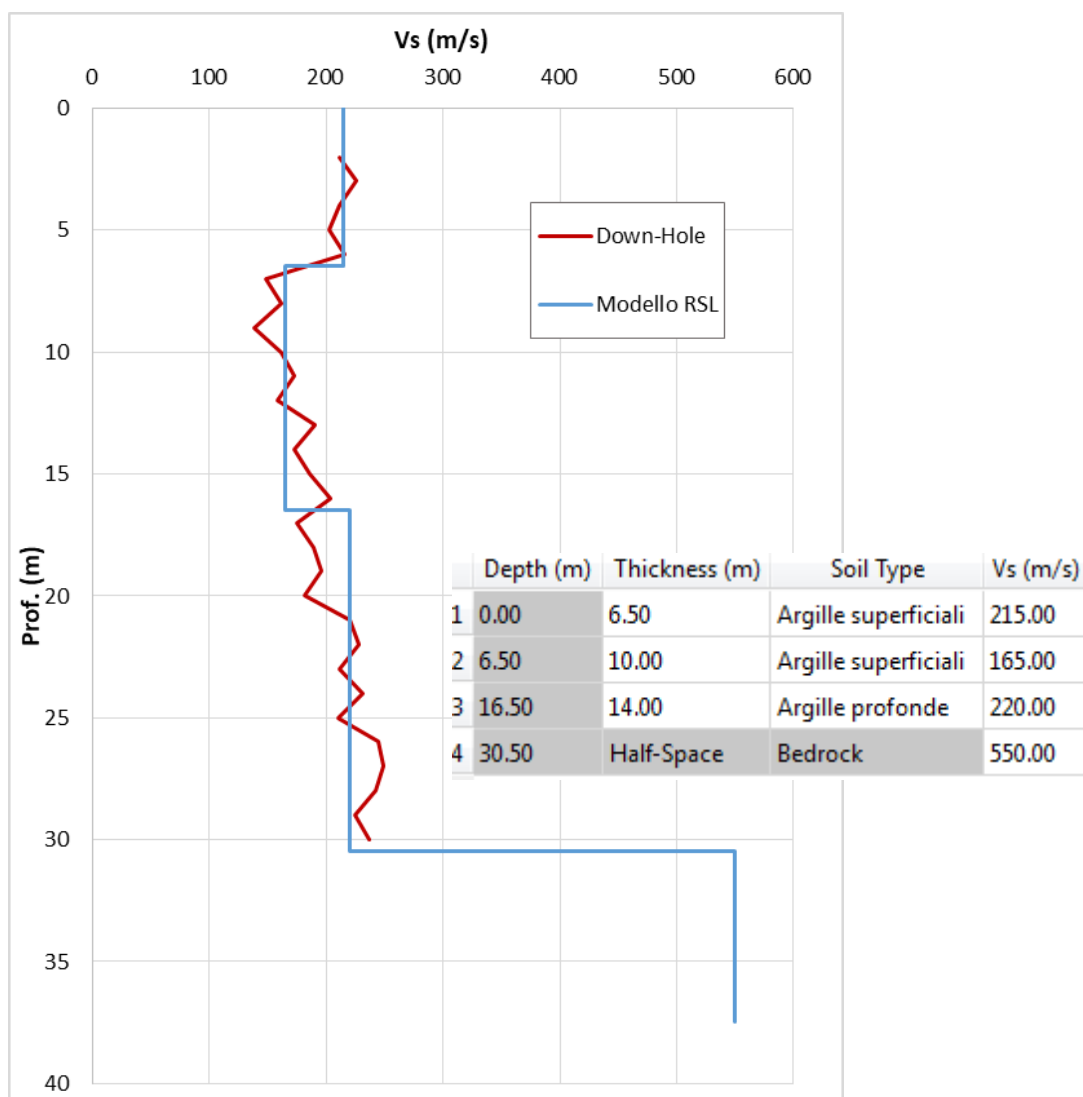


Fig. 128 - 034027P981- Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

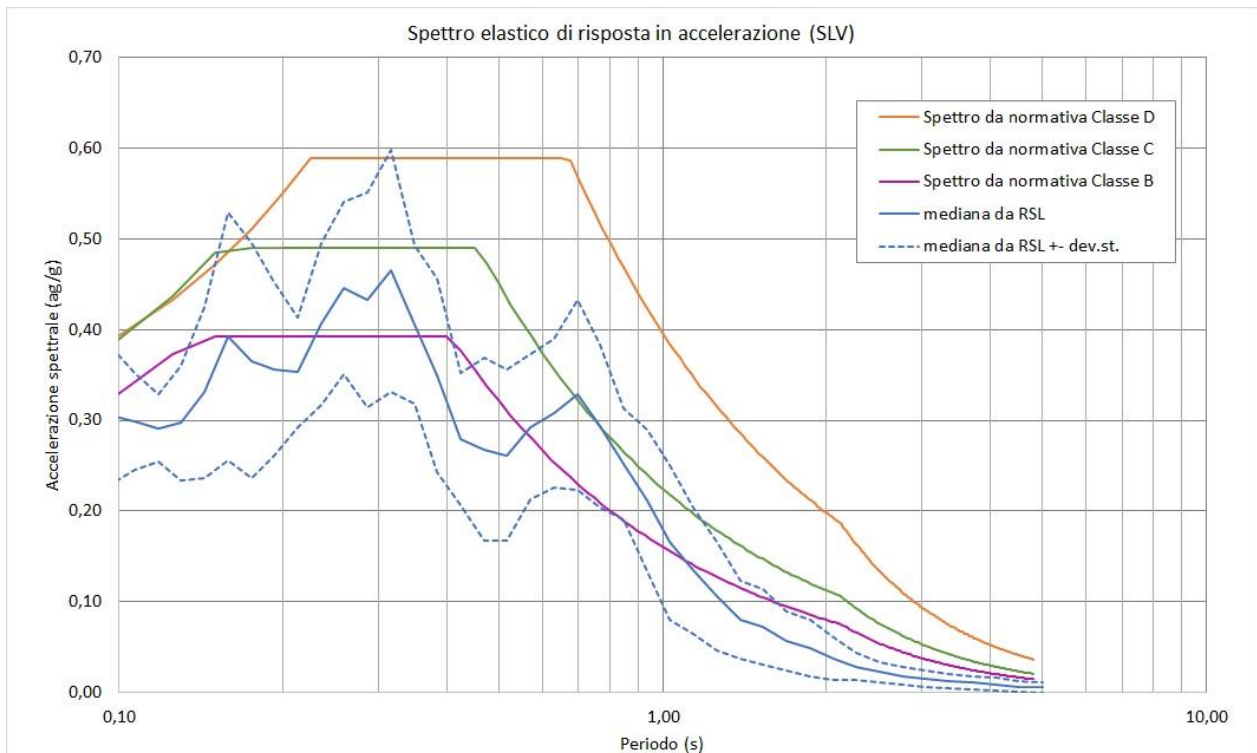


Fig. 129 - 034027P981 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

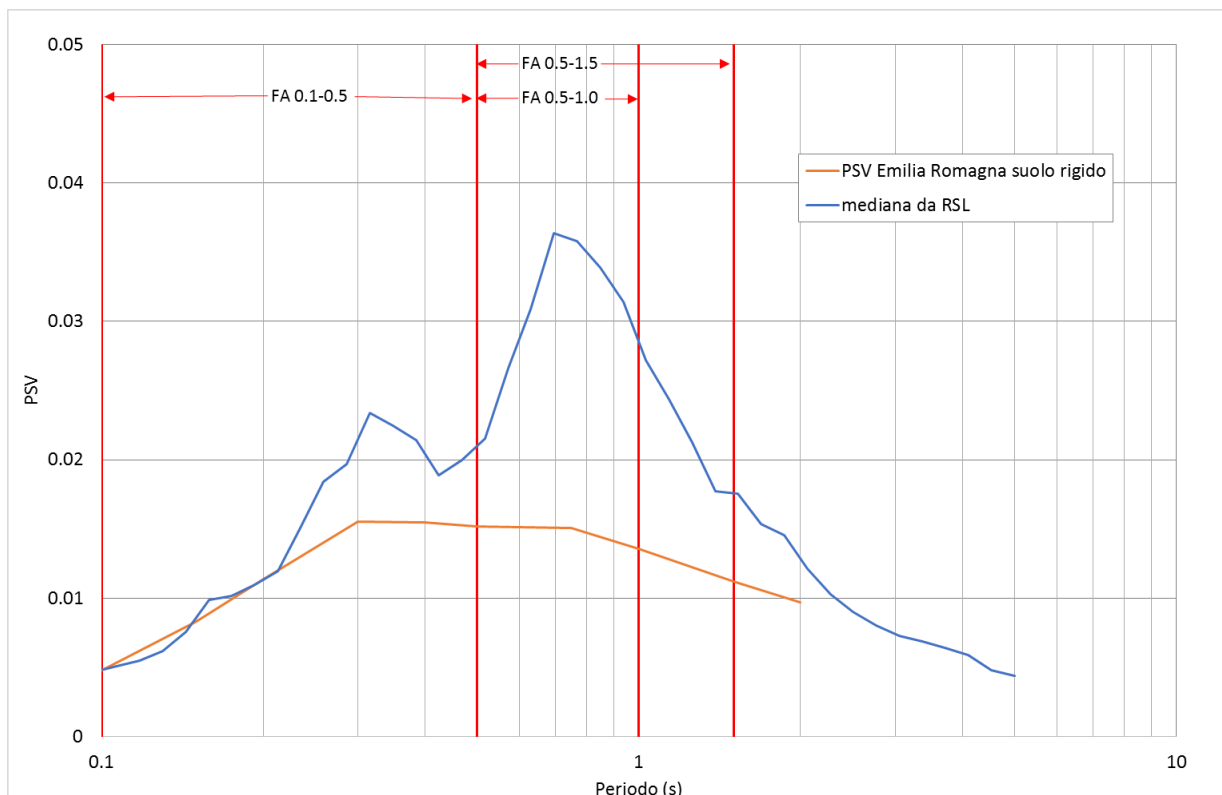


Fig. 130 - 034027P981 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	124 di 164

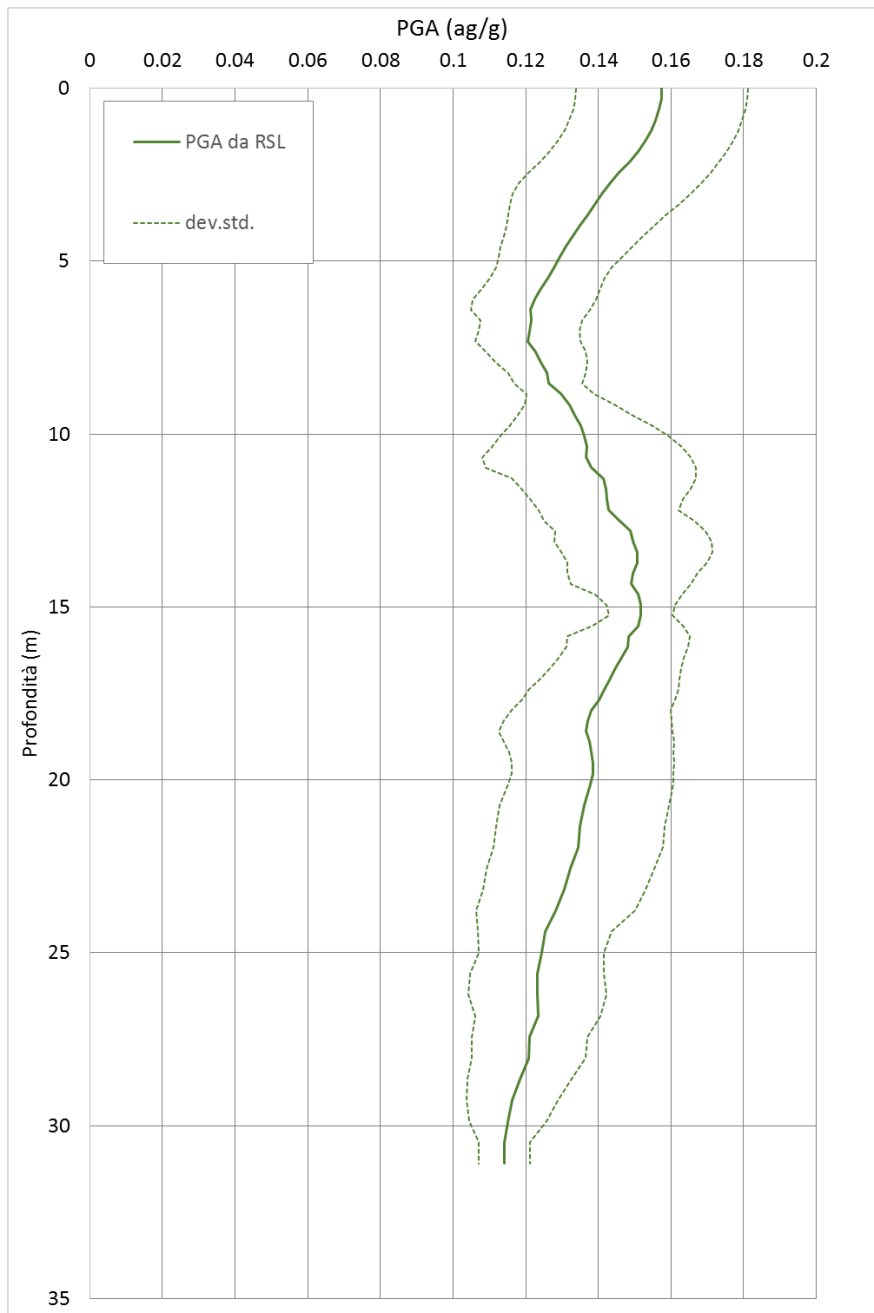


Fig. 131 - 034027P981- Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.20
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.25
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.19
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.94

Tab. 58 - 034027P981- Fattori di amplificazione



3.6.27 RSL per il sito 034027P982

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Limo argilloso	5.10	0.00	18.00	250.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Ghiaia Superficiale	3.40	5.10	20.00	465.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla superficiale	8.45	8.50	18.00	250.00	39.01	1.11	22.38	2.61
Ghiaia profonda	1.00	16.95	20.00	380.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	6.00	17.95	18.50	290.00	29.23	1.19	22.74	2.46
Ghiaia profonda	8.00	23.95	21.00	550.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	15.00	31.95	19.00	270.00	29.23	1.19	22.74	2.46
Bedrock		46.95	21.00	700.00				

Tab. 59 - 034027P982 - Modello geofisico

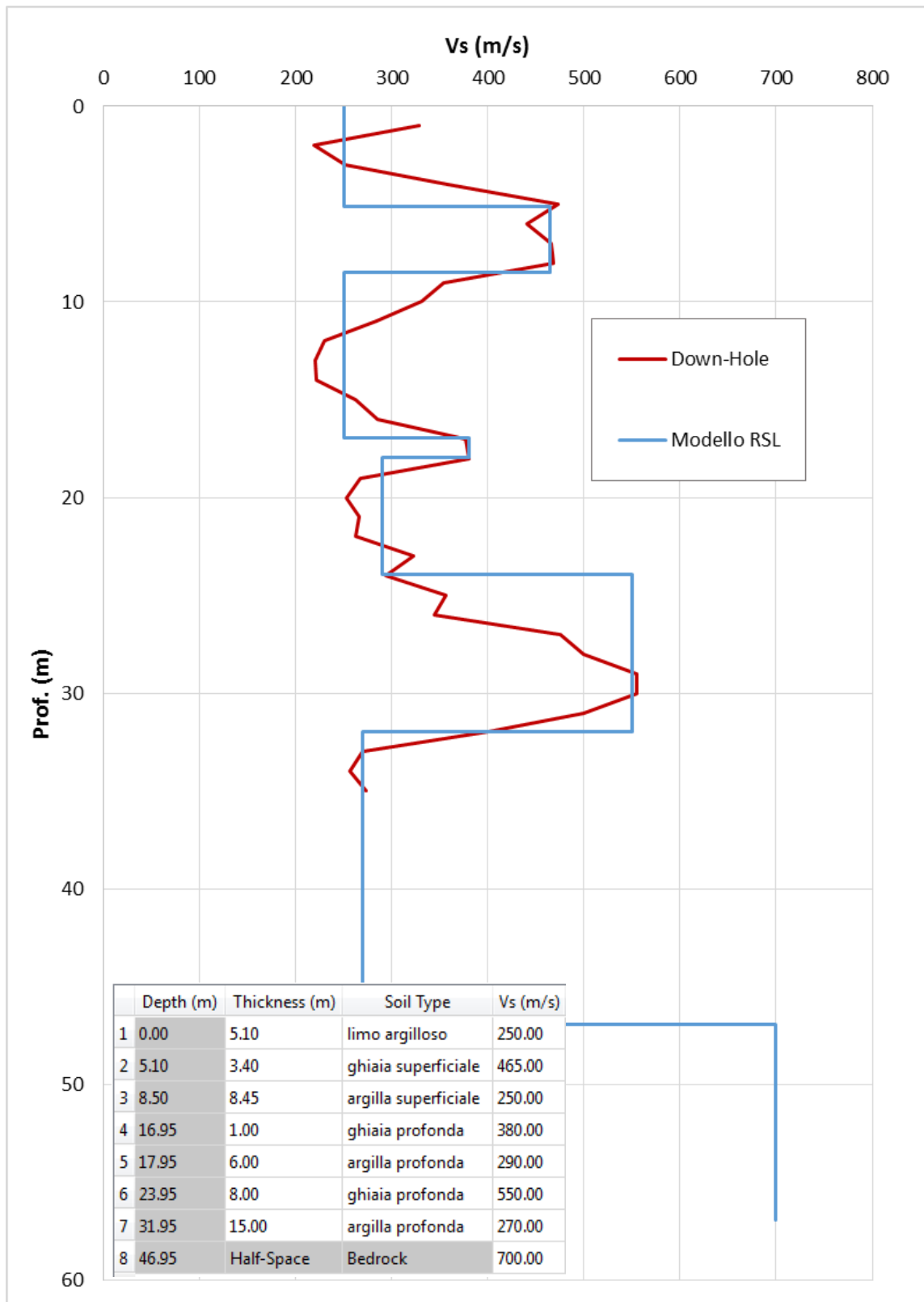


Fig. 132 - 034027P982 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

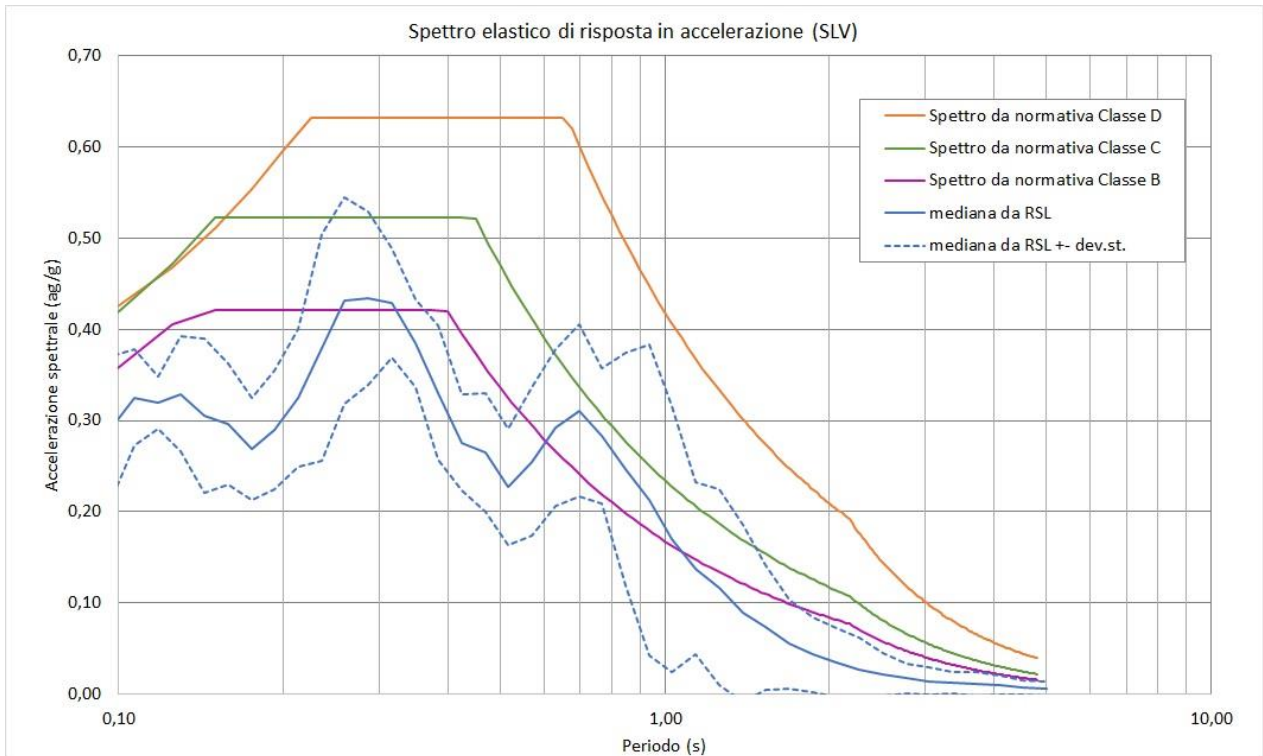


Fig. 133 - 034027P982 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

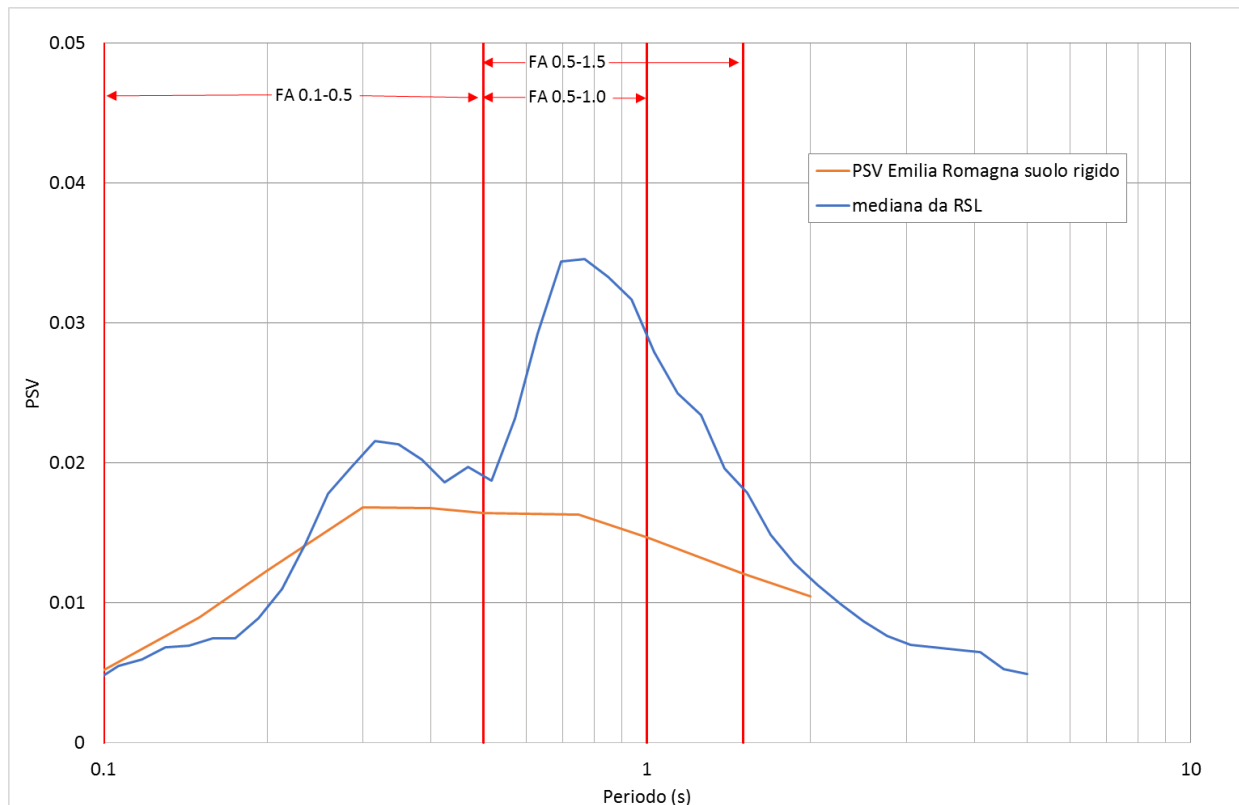


Fig. 134 - 034027P982 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	128 di 164



Fig. 135 - 034027P982 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.16
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.08
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.97
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.81

Tab. 60 - 034027P982 - Fattori di amplificazione



3.6.28 RSL per il sito 034027P983

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	10.00	0.00	18.50	170.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla superficiale	9.00	10.00	18.50	180.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla profonda	6.00	19.00	19.50	220.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Argilla profonda	3.00	25.00	19.50	260.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Ghiaia profonda	5.00	28.00	21.00	310.00	21.55	0.80	14.74	3.08
Argilla profonda	10.00	33.00	19.50	350.00	18.74	0.98	10.85	1.49
Bedrock		43.00	22.00	500.00				

Tab. 61 - 034027P983 - Modello geofisico

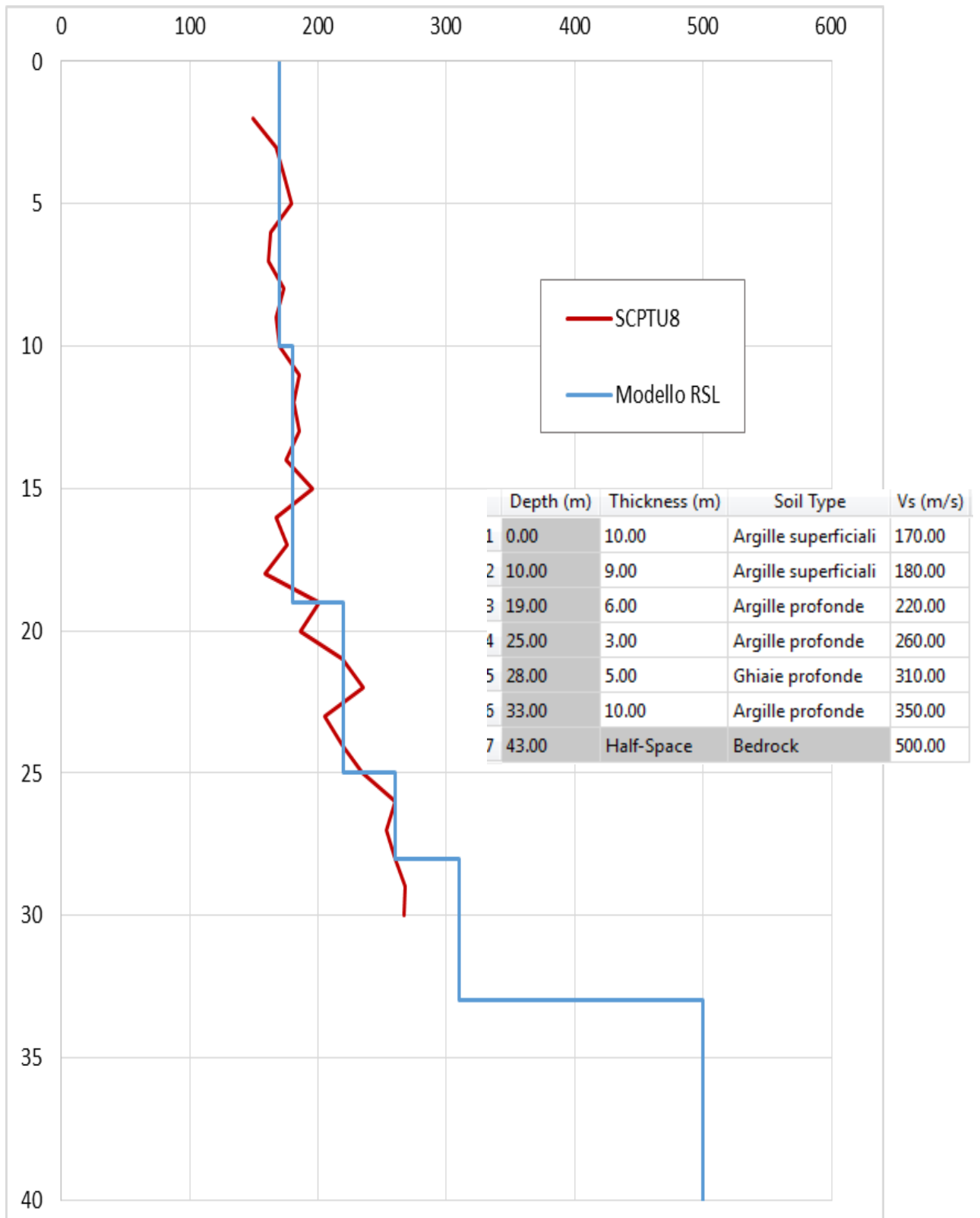


Fig. 136 - 034027P983 - Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

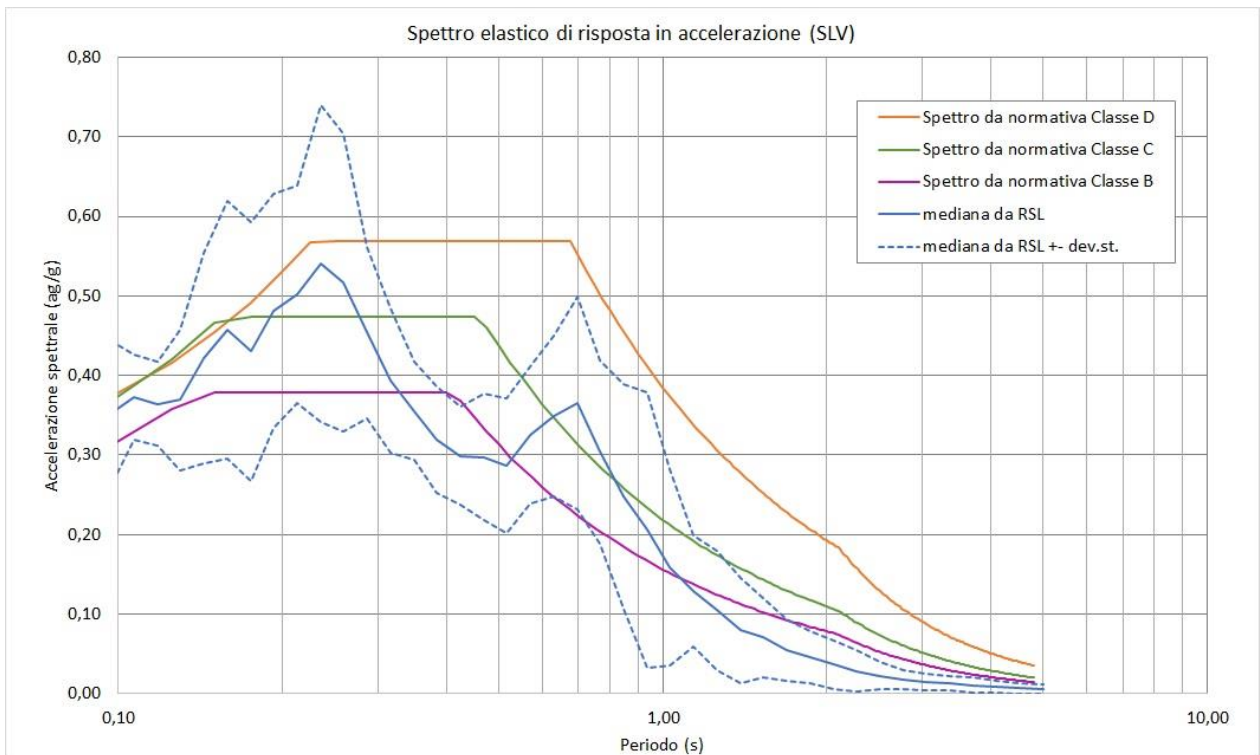


Fig. 137 - 034027P983 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

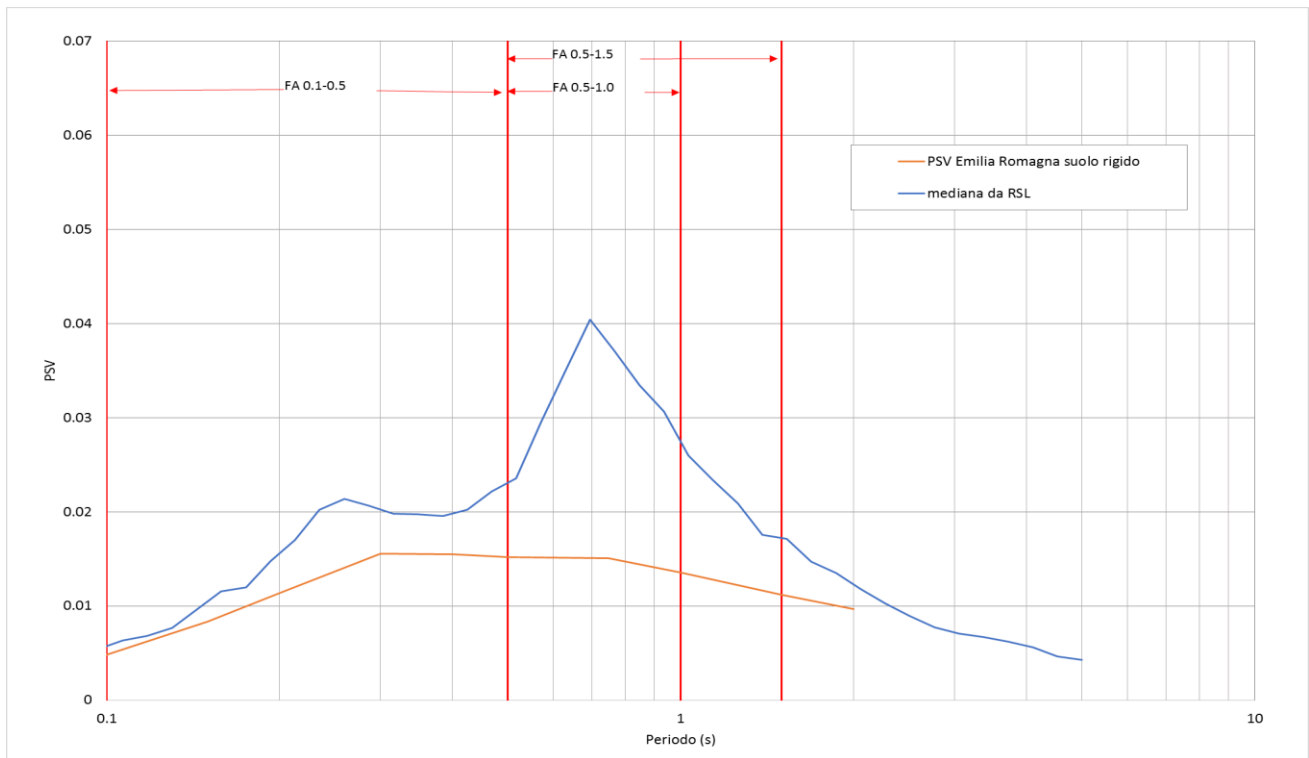


Fig. 138 - 034027P983 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	132 di 164

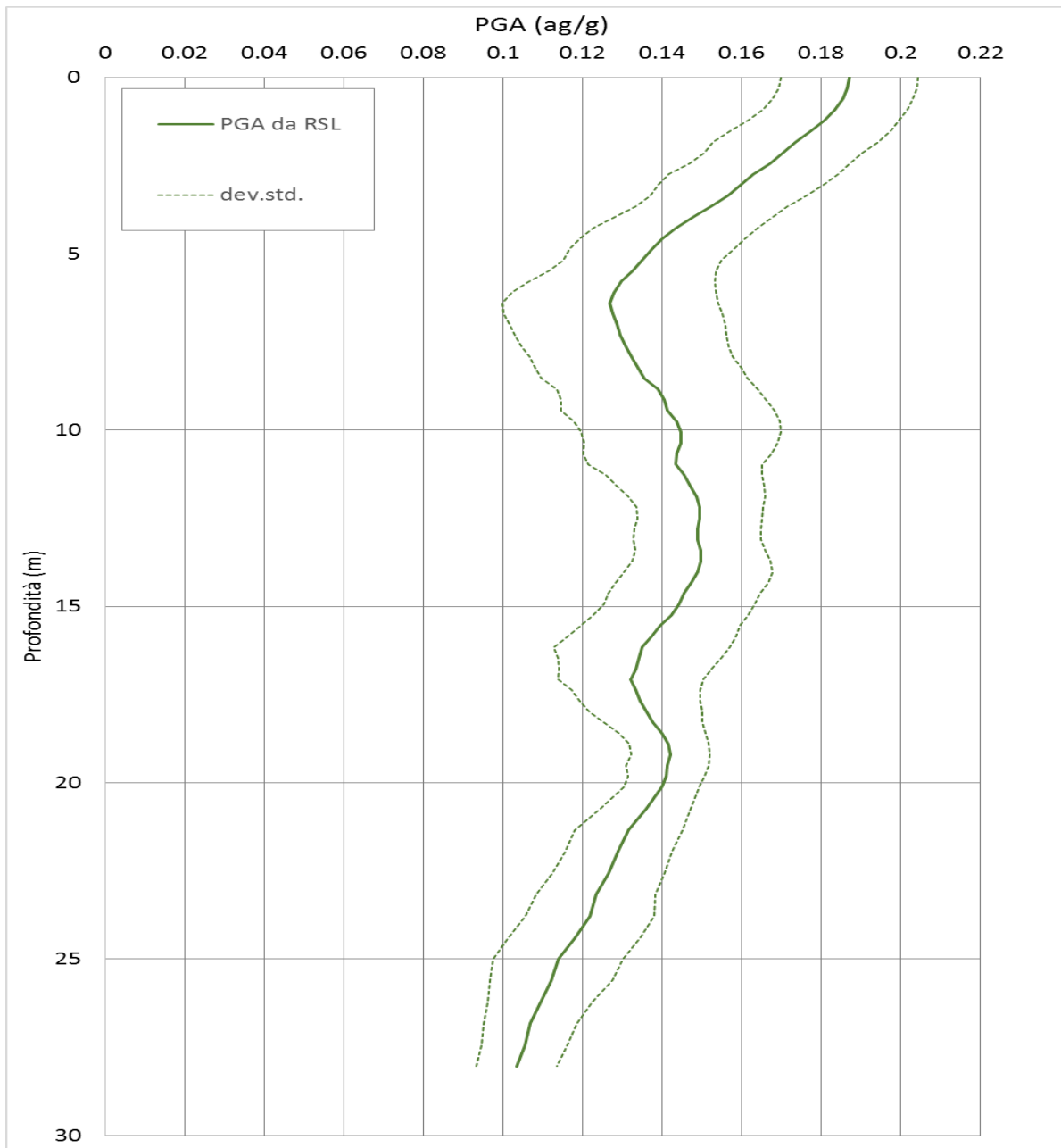


Fig. 139 - 034027P983 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.43
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.36
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.26
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.95

Tab. 62 - 034027P983 - Fattori di amplificazione



3.6.29 RSL per il sito 034027P972

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla	7.00	0.00	18.00	187.00	15.13	0.95	12	1.77
Argilla profonda	10.00	7.00	18.00	300.00	18.74	0.98	0.85	1.49
Ghiaia superficiale	4.00	17.00	20.00	951.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla profonda.2	7.50	21.00	18.00	340.00	20.97	1.01	10.68	10.38
Ghiaia profonda	1.50	28.50	21.00	496.00	21.55	0.8	14.7	3.08
Argilla profonda 2	4.00	30.00	18.00	383.00	20.97	1.01	10.68	10.38
Bedrock		34.00		550.00				

Tab. 63 - 034027P972 - Modello geofisico

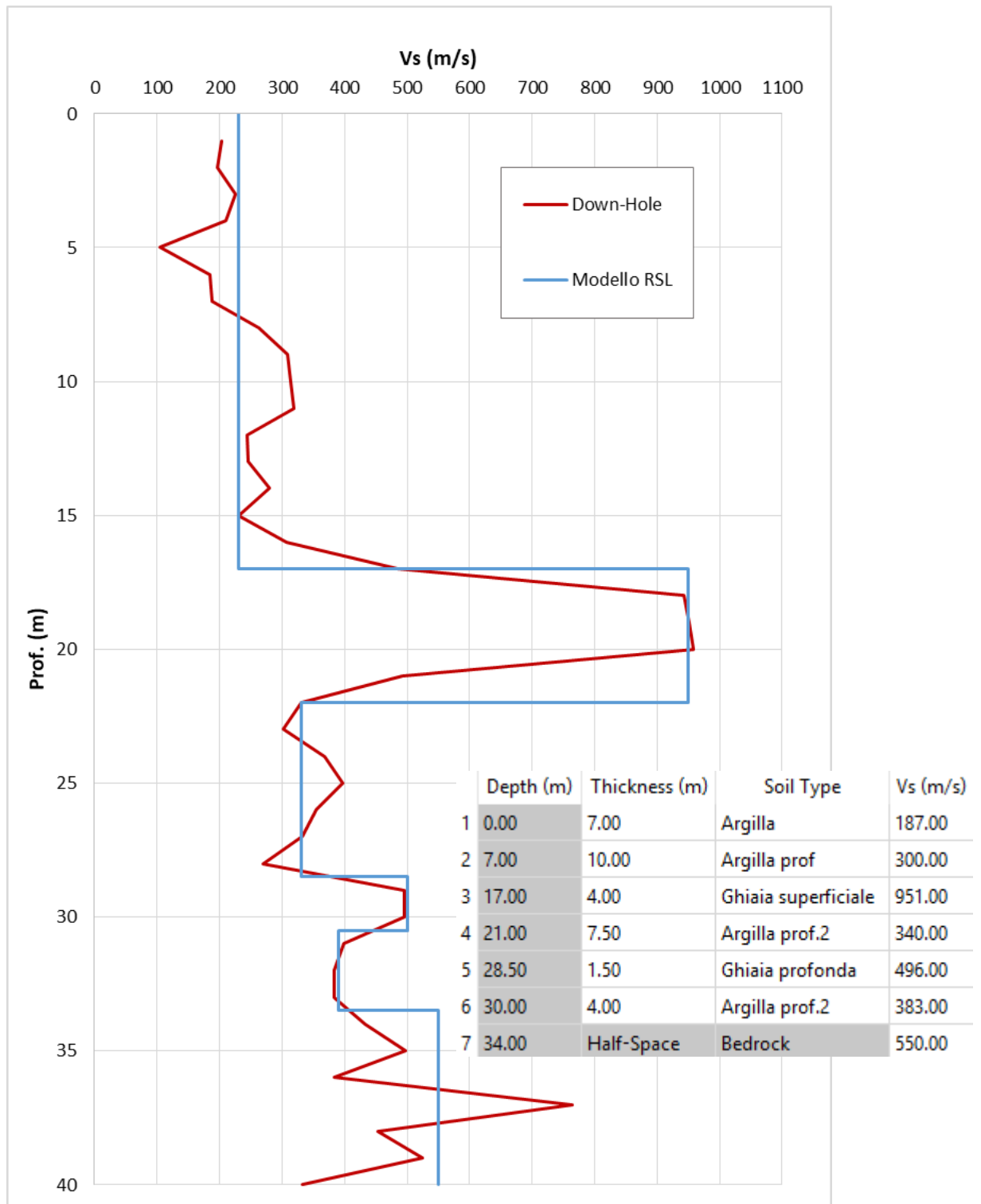


Fig. 140 - 034027P972- Discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo

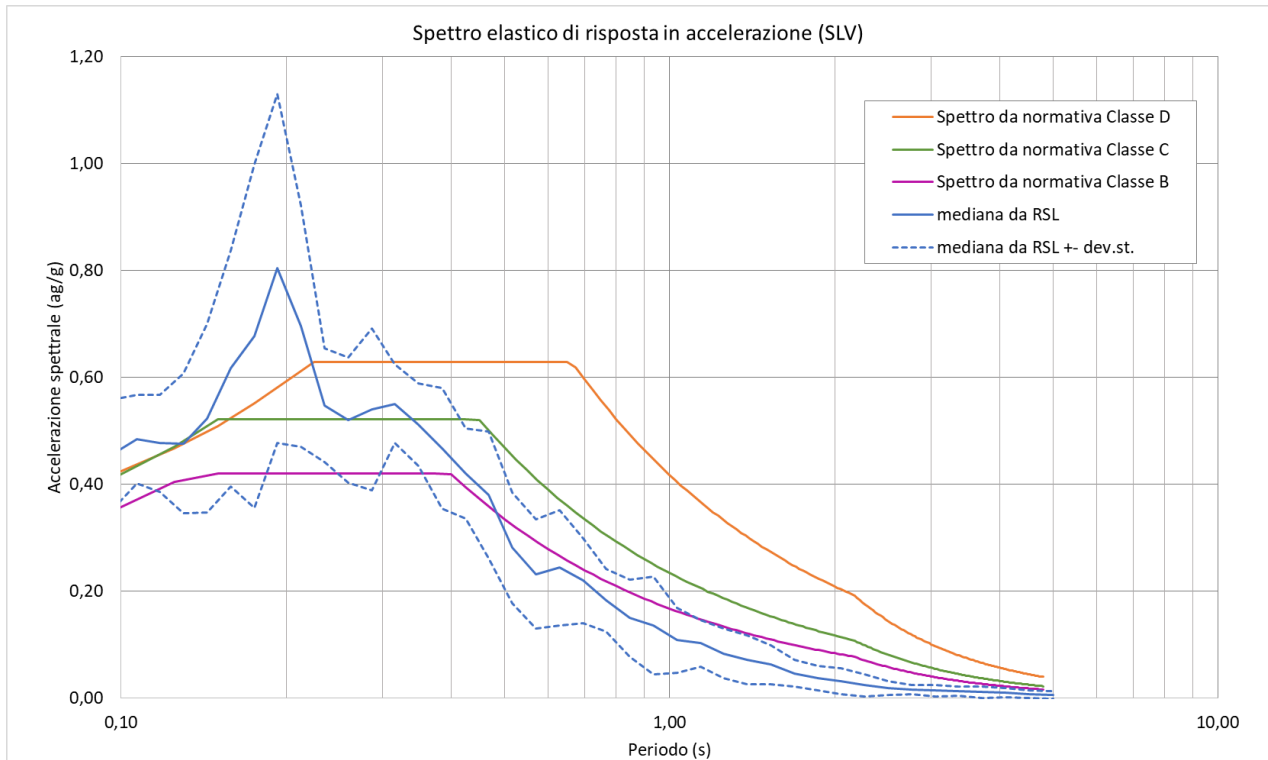


Fig. 141 - 034027P972 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

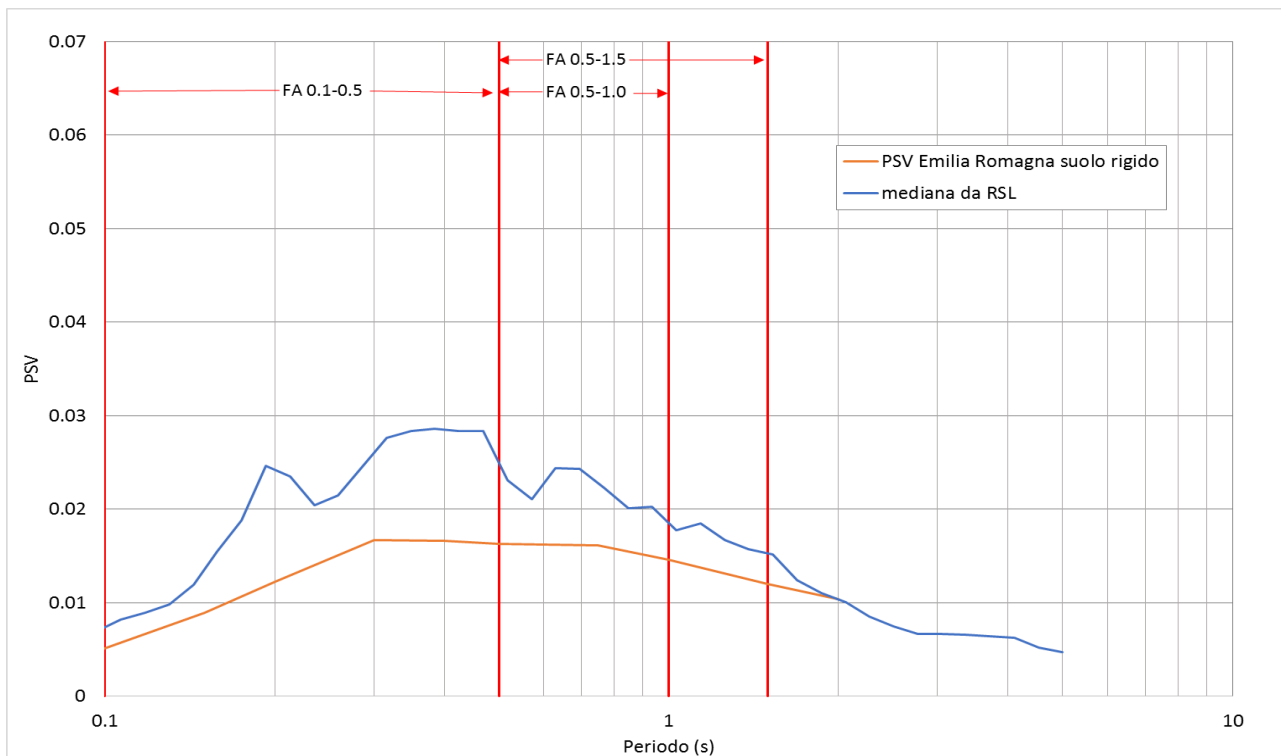


Fig. 142 - 034027P972 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

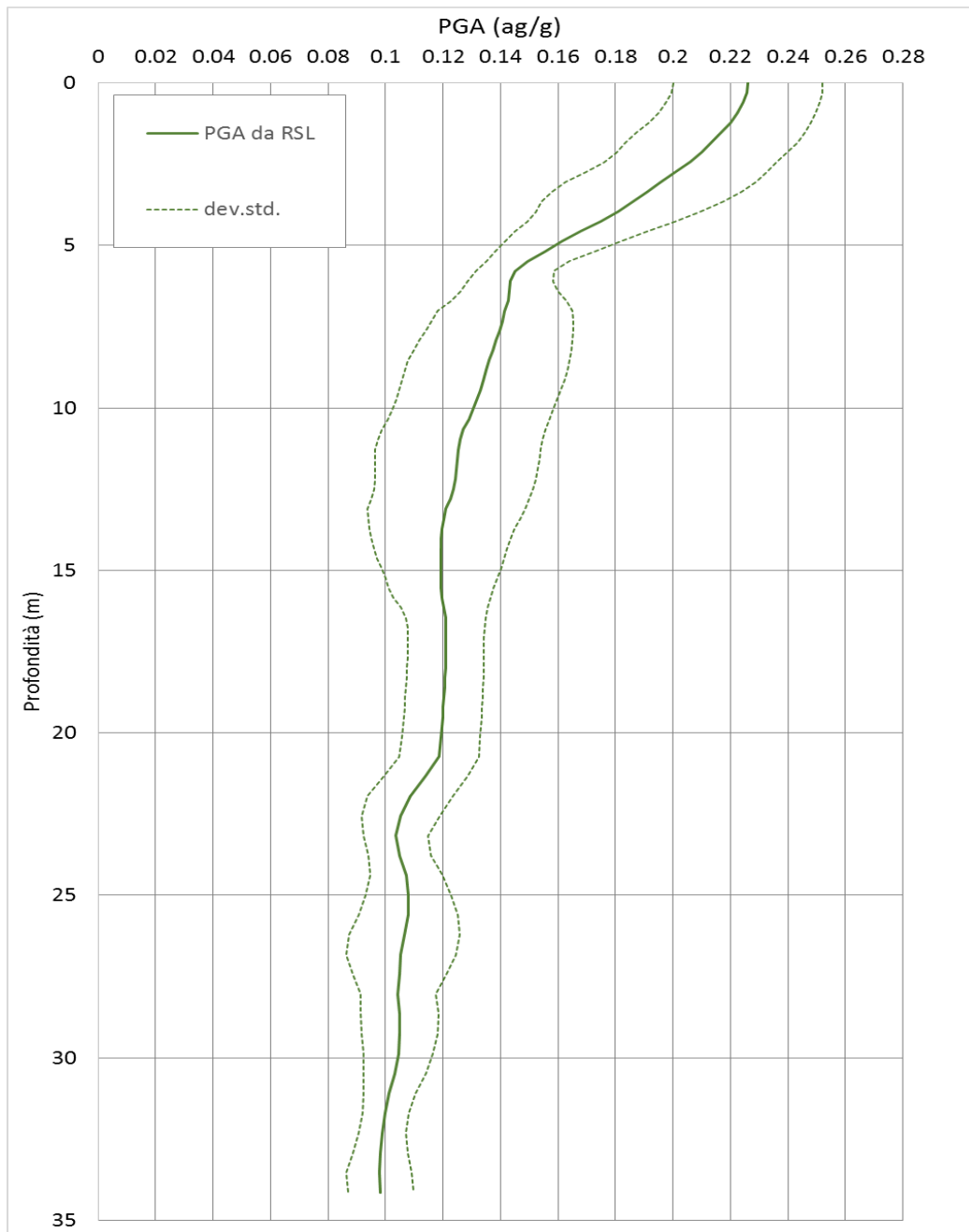


Fig. 143 - 034027P972 - Variazione dell'accelerazione con la profondità

	RSL
FA_{PGA}	1.61
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.62
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.35
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.32

Tab. 64 - 034027P972 - Fattori di amplificazione



3.7 Verifica del rischio di liquefazione

Il rischio di liquefazione è stato valutato prendendo in considerazione le 28 verticali indagate nel presente studio mediante prove CPTU e SCPTU, integrate con 6 prove (3 CPTU e 3 SCPTU) effettuate dagli scriventi sul territorio oggetto di approfondimento per lavori antecedenti lo studio di microzonazione sismica di 3° livello.

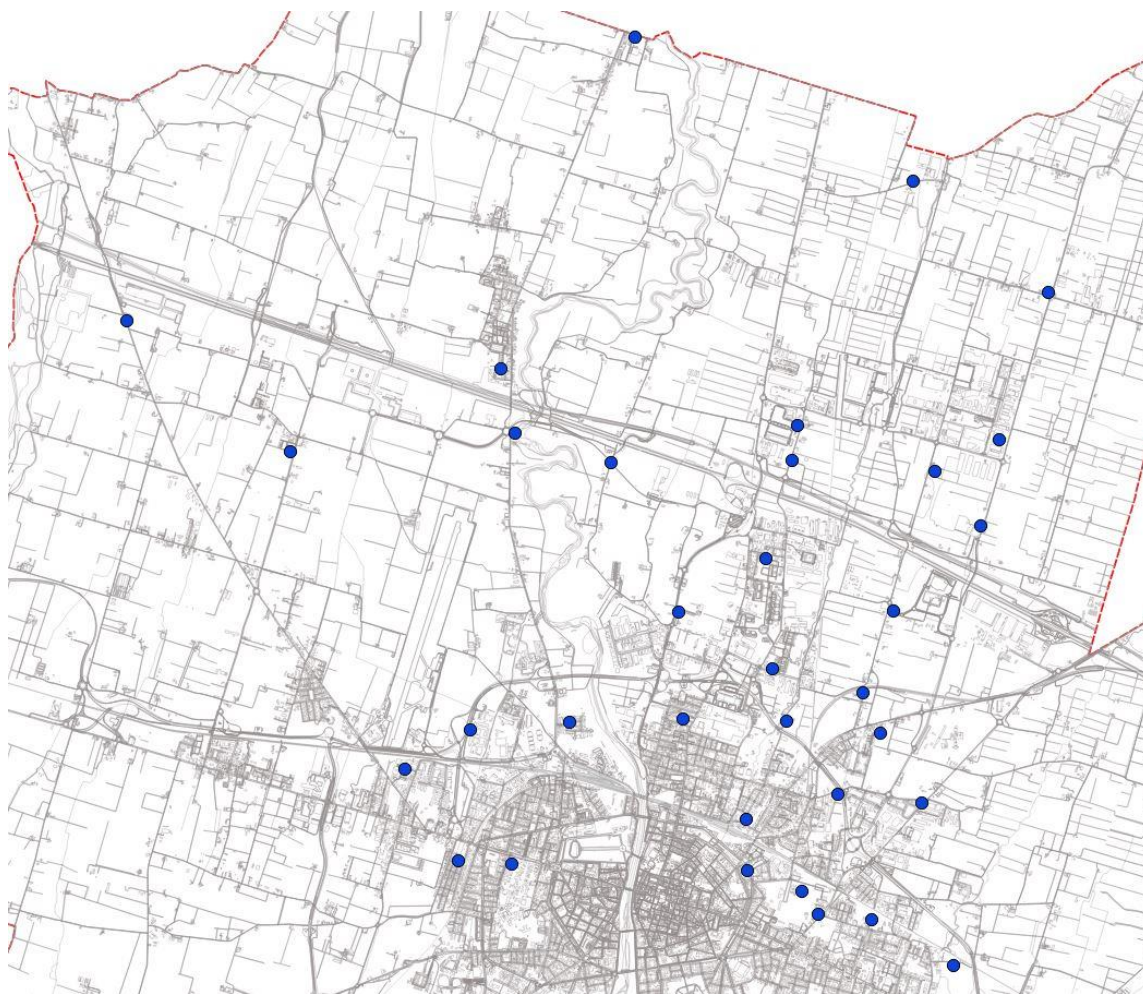


Fig. 144 - Stralcio ubicazione indagini utilizzate per verifica a liquefazione

Per liquefazione s'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.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	138 di 164



uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove CPTU mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI di *Iwasaki et al.* (1982). Le prove CPTU sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI⁶ 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 di severità dell'azione sismica, e di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per poter valutare la severità degli effetti *Iwasaki* ha proposto la scala riportata in Tab. 65.

Valori di IL	Rischio di liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Tab. 65 - Valutazione del rischio di liquefazione secondo *Iwasaki*

Valutazioni più recenti riportate da *Sonmez* (2003), basate su sismi di magnitudo inferiore a quelli utilizzati da *Iwasaki* consigliano tuttavia di rimodulare le classi di pericolosità come riportato in Tab. 66.

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

Tab. 66 - Valutazione del rischio di liquefazione secondo *Sonmez*

⁶ LPI = Liquefaction Potential Index è tradotto con IL = Indice di Liquefazione nella cartografia di MS



L'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova. Gli effetti bi- e tri-dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e "*lateral spreading*" anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione.

L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{20} F W(LPIz) dz$$

Dove:

- $F(z)$ è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità $0 \leq z \leq 20$ in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL_{rt}
- $w(z)$ è un fattore di peso della profondità.

In sostanza 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_{σ} = Fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR^7 = rapporto di tensione ciclica (*Cyclic Stress Ratio*)

Nelle verifiche effettuate nel presente studio, per il calcolo del CRR è stato utilizzato il metodo NCEER (modificato da *Robertson 2009*) implementato dal programma CLIQ della *Geologimiki*. In Fig. 145 viene presentata, in forma di *flow-chart*, la procedura di calcolo di CRR utilizzata dal programma per la verifica con il metodo NCEER.

In tali verifiche, come valori di CSR, sono stati utilizzati quelli calcolati mediante la RSL nelle 5 SCPTU effettuate, come accennato nel paragrafo 3.5.1.

⁷ Come illustrato in precedenza (cap. 3.5.1) per il presente studio il valore di CSR è stato ottenuto direttamente dalla RSL.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	140 di 164

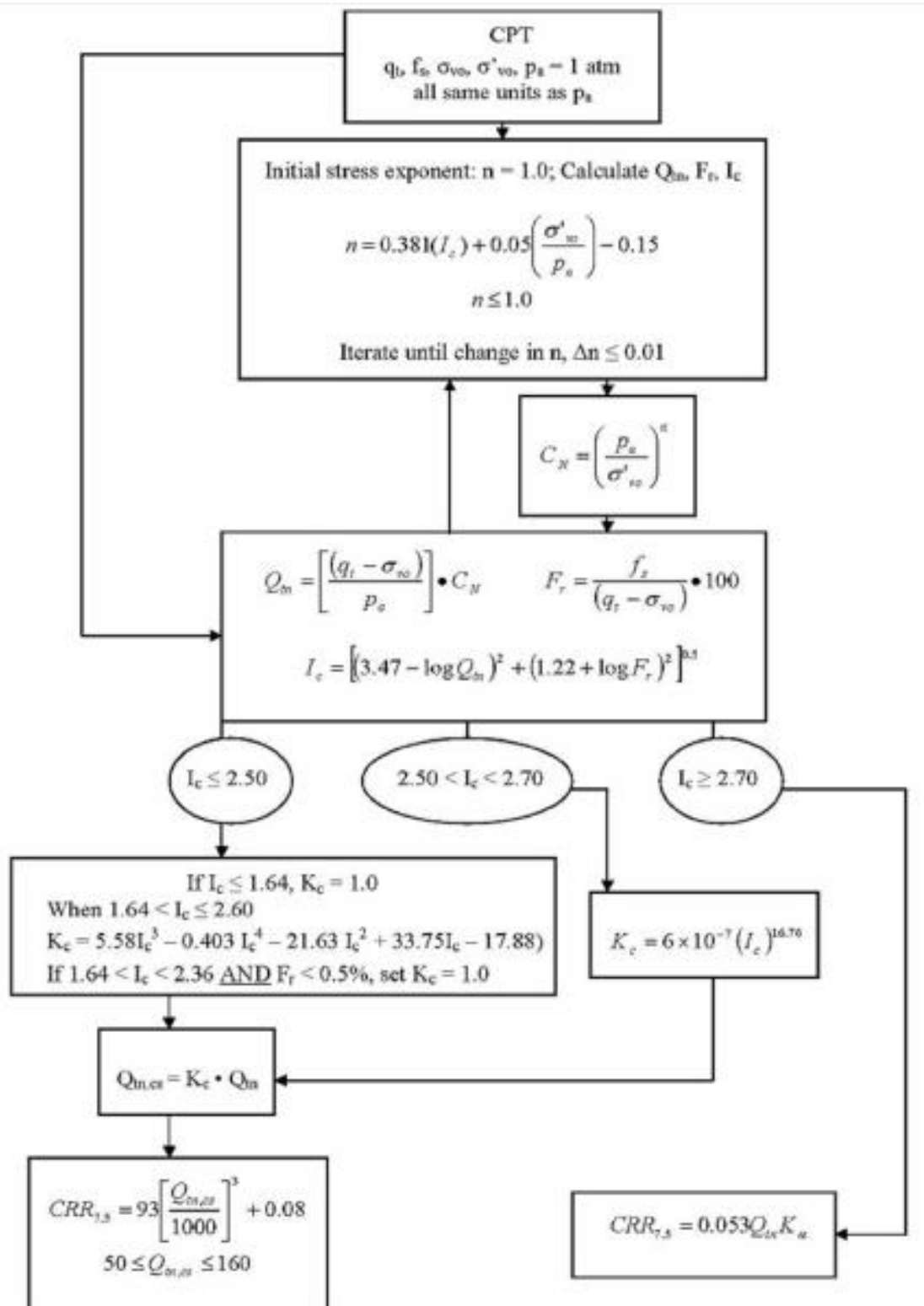


Fig. 145 - Flow chart della procedura di verifica NCEER modificata da Roberson (2009)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	141 di 164



Per la verifica, oltre ai dati delle prove CPTU, è necessario fornire al programma la magnitudo attesa al sito. Per tale dato è stato utilizzato il valore massimo della zona di riferimento in cui è incluso il Comune di Parma (Zona 913 - Fig. 146) della classificazione ZS9 dell'IMCS, che è pari a $M_w=6.14$.

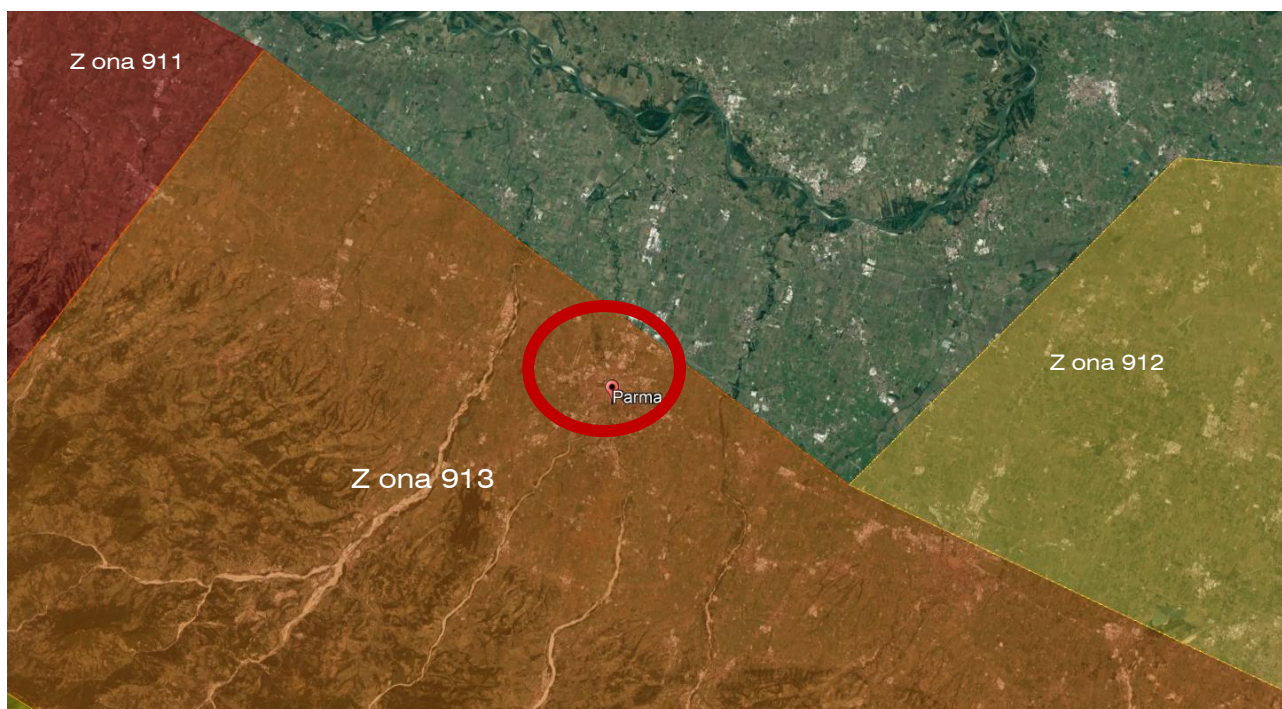


Fig. 146 - Classificazione ZS9

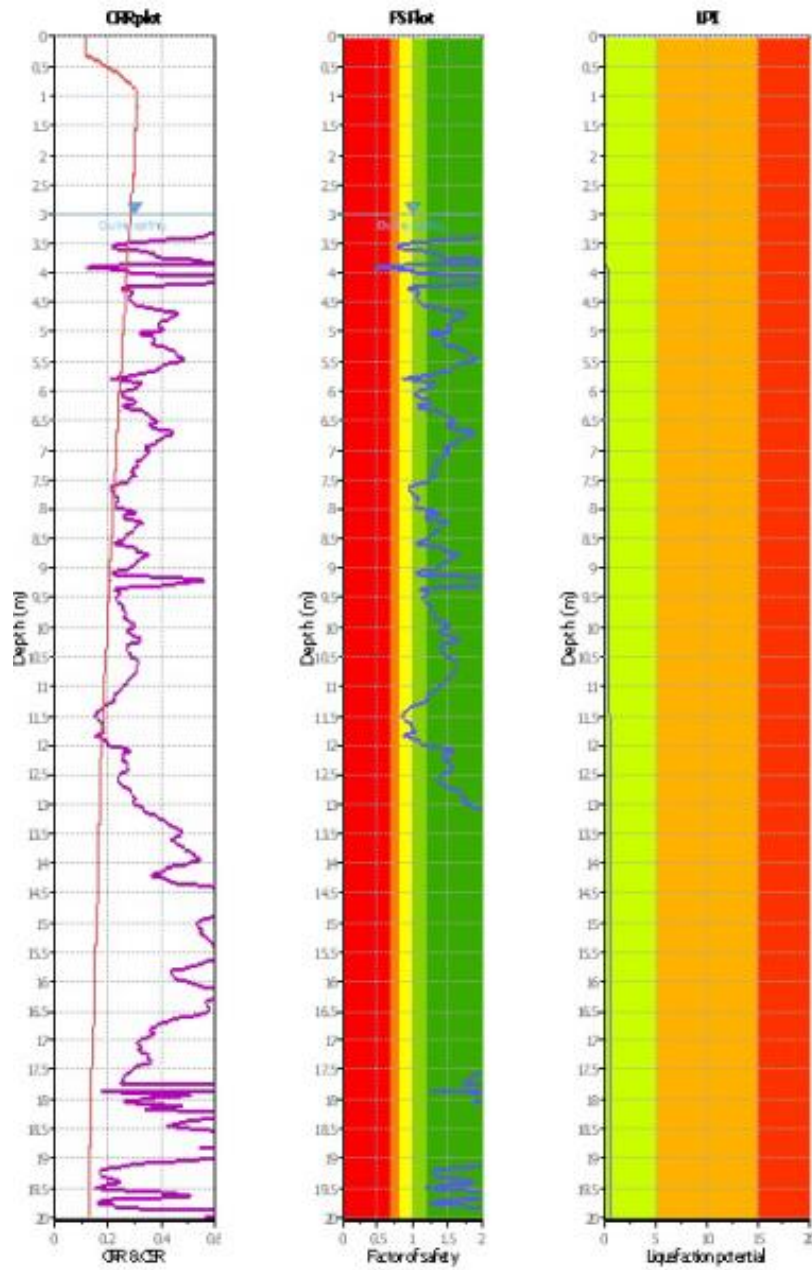
Nelle verifiche, a titolo cautelativo, è stato impostato il livello di falda con terremoto in atto a 2 m da p.c nel settore Nord ed a 3 m da p.c. nel settore Sud della città, utilizzando come confine tra le due aree il tracciato ferroviario.

3.7.1 Analisi dei risultati

Per ciascuna prova è stato prodotto un report che contiene sia i grafici interpretativi della prova stessa (resistenze penetrometriche, litologia, ecc.), sia i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare (Fig. 147):

- Il confronto tra CSR e CCR
- La variazione del fattore di sicurezza con la profondità
- La cumulata del valore di LPI con la profondità

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	142 di 164



F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Fig. 147 - Grafici di CSR-CRR, dei fattori di sicurezza FS e dell'indice di liquefazione (LPI), valutati per la prova 034027P935 (CPTU1)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	143 di 164



Nel complesso, come era da attendersi, viste le caratteristiche litostratigrafiche del territorio, il rischio di liquefazione risulta quasi nullo in relazione alle caratteristiche deposizionali dei diversi siti.

In Tab. 67 vengono rappresentati i valori di LPI calcolati mediante il metodo di Robertson; su un totale di 34 prove, solo 3 presentano un indice maggiore di 1 ma ricadono comunque all'interno della categoria "rischio di liquefazione basso" poiché presentano valori minori/uguali a 2 (classificazione secondo Sonmez (2009)) ed un soltanto presenta un valore leggermente superiore a 2 (CPTU 034027P947, con LPI=2.1). Tutte le altre indagini si possono definire a rischio di liquefazione molto basso con un fattore minore dell'unità.

<i>Tipologia prova</i>	<i>Codice prova</i>	<i>LPI</i>
CPTU_1	034027P935	0.60
CPTU_2	034027P957	0.14
CPTU_3	034027P936	0.17
CPTU_4	034027P937	0.00
CPTU_5	034027P938	0.04
CPTU_6	034027P939	0.00
CPTU_7	034027P940	0.00
CPTU_8	034027P941	0.01
CPTU_9	034027P942	1.21
CPTU_10	034027P943	0.29
CPTU_11	034027P944	0.12
CPTU_12	034027P945	0.04
CPTU_13	034027P946	0.00
CPTU_14	034027P947	2.10
CPTU_15	034027P948	0.42
CPTU_16	034027P949	0.28
CPTU_17	034027P950	0.00
CPTU_18	034027P951	0.51
CPTU_19	034027P952	1.70
CPTU_20	034027P953	0.27
CPTU_21	034027P954	0.28
CPTU_22	034027P955	0.13
CPTU_23	034027P956	1.12
SCPTU_1	034027P929	0.02
SCPTU_2	034027P930	0.09



<i>Tipologia prova</i>	<i>Codice prova</i>	<i>LPI</i>
SCPTU_3	034027P931	0.00
SCPTU_4	034027P932	0.05
SCPTU_5	034027P933	0.03
SCPTU	034027P980	0.00
SCPTU	034027P981	0.95
SCPTU	034027P983	0.29
CPTU	034027P990	0.06
CPTU	034027P991	0.15
CPTU	034027P992	0.11

Tab. 67 - Valori di LPI calcolati

Le cartografie di 3° livello, sono state redatte utilizzando i dati riferiti ai valori riportati in Tab. 67, ripresi in maniera più approfondita nell' Elaborato 15.

Le verifiche effettuate consentono di escludere il rischio di liquefazione nel territorio indagato, 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.

3.8 Criticità del metodo

Lo studio di 3° livello è stato basato su un numero considerevole di indagini e prove che hanno consentito una buona definizione delle problematiche sul territorio.

E' importante, tuttavia, precisare che i risultati in termini di amplificazione sismica riportati nei paragrafi precedenti sono riferiti ai soli modelli esposti nel capitolo 3.6, cioè a modelli che tengono conto della sola sismostratigrafia riscontrata nei 29 punti in cui si disponeva di un modello geofisico sufficientemente approfondito.

Va segnalato, inoltre, che la microzonazione di terzo livello ha coperto una superficie di circa 60 Km², mentre la precedente microzonazione di secondo livello interessava una superficie di circa 152 km².

Nel complesso, quindi, si è avuto un punto di analisi di RSL circa ogni 2 Km². Considerata la variabilità litologica riscontrata, soprattutto nel settore centrale e nordorientale della città, gli studi effettuati non possono essere considerati esaustivi di tutti i potenziali assetti litostratimetrici e geofisici.

I risultati in termini di liquefazione, discussi nel paragrafo 3.7, tengono anch'essi conto della stratigrafia riscontrata nel corso delle indagini e mettono in luce come il territorio del Comune di Parma sia caratterizzato da rischio di liquefazione quasi nullo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	145 di 164



In questo caso, l'omogeneità dei risultati fa ritenere che siano state indagate la maggior parte delle situazioni potenzialmente critiche in termini di liquefazione.

Come già detto, 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

La problematica principale relativa ai metodi di analisi della risposta sismica locale utilizzati, a parte il problema ben noto dell'adozione del modello 1D, è la definizione del bedrock sismico.

3.8.1 Considerazioni sul bedrock sismico

La definizione del *bedrock* sismico, cioè del sismostrato che presenta velocità delle onde di taglio $V_s \geq 800$ m/s, costituisce un elemento di notevole importanza nell'ambito delle valutazioni di risposta sismica locale.

In letteratura (Martelli et alii⁸, 2013 e Martelli et alii⁹, 2014) è indicato che *“il maggiore contrasto di impedenza si ha in genere tra la base del sistema emiliano-romagnolo superiore (AES), datata tra 350.000 e 450.000 anni, e la base del subsistema AES6, datata circa 230.000-250.000 anni (RER e ENI-Agip, 1998)”*.

In realtà oggi si tende ad individuare il *bedrock* sismico, soprattutto in pianura, in corrispondenza di un elevato contrasto di impedenza sismica, cioè laddove il rapporto tra le velocità dello strato superficiale e quello più profondo supera il valore di $2 \div 2.5$.

Questa impostazione è stata adottata anche nello studio di 2° Livello, tanto che, seppur con le dovute cautele, la principale superficie riflettente è stata considerata il tetto delle ghiaie, pur con la consapevolezza che tale tetto non costituisce *“una superficie correlabile dal punto di vista stratigrafico (questi livelli ghiaiosi possono infatti appartenere ad unità geologiche diverse che sono pertanto diacrone)”*.

In ogni caso, è bene evidenziare che il *bedrock* sismico, inteso come lo strato entro (e sotto) il quale la velocità delle onde sismiche permane superiore agli 800 m/s, risulta pressoché non individuabile nella zona studiata con i metodi indiretti e, comunque, difficilmente raggiungibile anche con metodi diretti, vista la sua elevata profondità.

Lo studio di terzo livello ha evidenziato che tale impostazione è sostanzialmente corretta, ma sconta alcune problematiche:

⁸ L. Martelli, L. Calabrese, G. Ercolessi, P. Severi, G. Tarabusi, D. Pileggi, S. Rosselli, L. Minarelli, F. Pergalani, M. Compagnoni, G. Vannucchi, C. Madiati, J. Facciorusso, V. Fioravante, D. Giretti, M. Mucciarelli, E. Priolo, G. Laurenzano – (2014) Cartografia speditiva dell'amplificazione e del rischio di liquefazione nelle aree epicentrali del terremoto dell'Emilia 2012 (ML=5.9). Atti del 32 convegno GNGTS 2013

⁹ L. Martelli, P. Severi, G. Biavati, S. Rosselli, R. Camassi, E. Ercolani, A. Marcellini, A. Tento, D. Gerosa, D. Albarello, F. Guerrini, E. Lunedei, D. Pileggi, F. Pergalani, M. Compagnoni, V. Fioravante e D. Giretti (2014) *Analysis of the local seismic hazard for the stability tests of the main bank of the Po River (northern Italy)*, Boll. Geof. Teor. Appl., 55, 119-134

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	146 di 164



- In molte zone della città è presente un livello ghiaioso superficiale, spesso con spessori significativi, che altera in maniera importante lo spettro di risposta; per questo motivo nel presente studio è stata inserita un'ulteriore MOPS (Zona 7 nel Cap. 4.3). La discontinuità dei depositi ghiaiosi superficiali è un ulteriore elemento di incertezza.
- Talora il livello ghiaioso "principale", inteso come il principale contrasto di impedenza nello studio di 2° livello, presenta spessori modesti, tali da non poter essere considerato il bedrock, nemmeno nell'accezione adottata nel presente studio.
- Trascurare la presenza di inversioni di velocità legate all'alternanza di depositi ghiaiosi e argillosi in profondità può sottostimare fortemente le amplificazioni sismiche in alcune frequenze, anche in presenza di spessori ghiaiosi significativi. Viceversa, spingersi fino a profondità molto elevate, anche in presenza di stratigrafie affidabili (pozzi), introduce elementi di incertezza (V_s e curve D e G/G_0 non note) e non modifica significativamente gli spettri di risposta.

Per meglio illustrare il concetto sopra espresso si prenda in considerazione il modello di stratigrafia proposto in Fig. 148.

Il modello rappresenta una situazione in cui sono presenti:

- un primo livello ghiaioso superficiale (a circa 5 m di profondità), evidentemente troppo esiguo per rappresentare un bedrock;
- un secondo banco ghiaioso a circa 24 m, con un con contrasto di impedenza significativo rispetto allo strato argilloso soprastante ($V_{s_{ghiaie}}/V_{s_{argille}}=1.9$). Questo banco ghiaioso è stato ipotizzato come bedrock per il modello denominato "Mod. 24 m";
- Un terzo banco ghiaioso, molto potente (circa 20 m) alla profondità di circa 47 m; lo spessore delle argille soprastanti e la potenza di tale strato derivano da stratigrafie di pozzi. Per tale strato le velocità V_s sono state stimate, per analogia con depositi di granulometria e profondità consimili. Questo banco ghiaioso è stato ipotizzato come bedrock per il modello denominato "Mod. 47 m";
- Un quarto banco ghiaioso è presente alla profondità di 77 m. Questo banco ghiaioso è stato ipotizzato come bedrock per il modello denominato "Mod. 77 m". Anche in questo caso le velocità V_s sono stimate e non misurate direttamente.

Per i 3 modelli illustrati è stata effettuata l'analisi di RSL, i cui risultati in termini di spettri sono riportati in Fig. 149 e Fig. 150.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	147 di 164

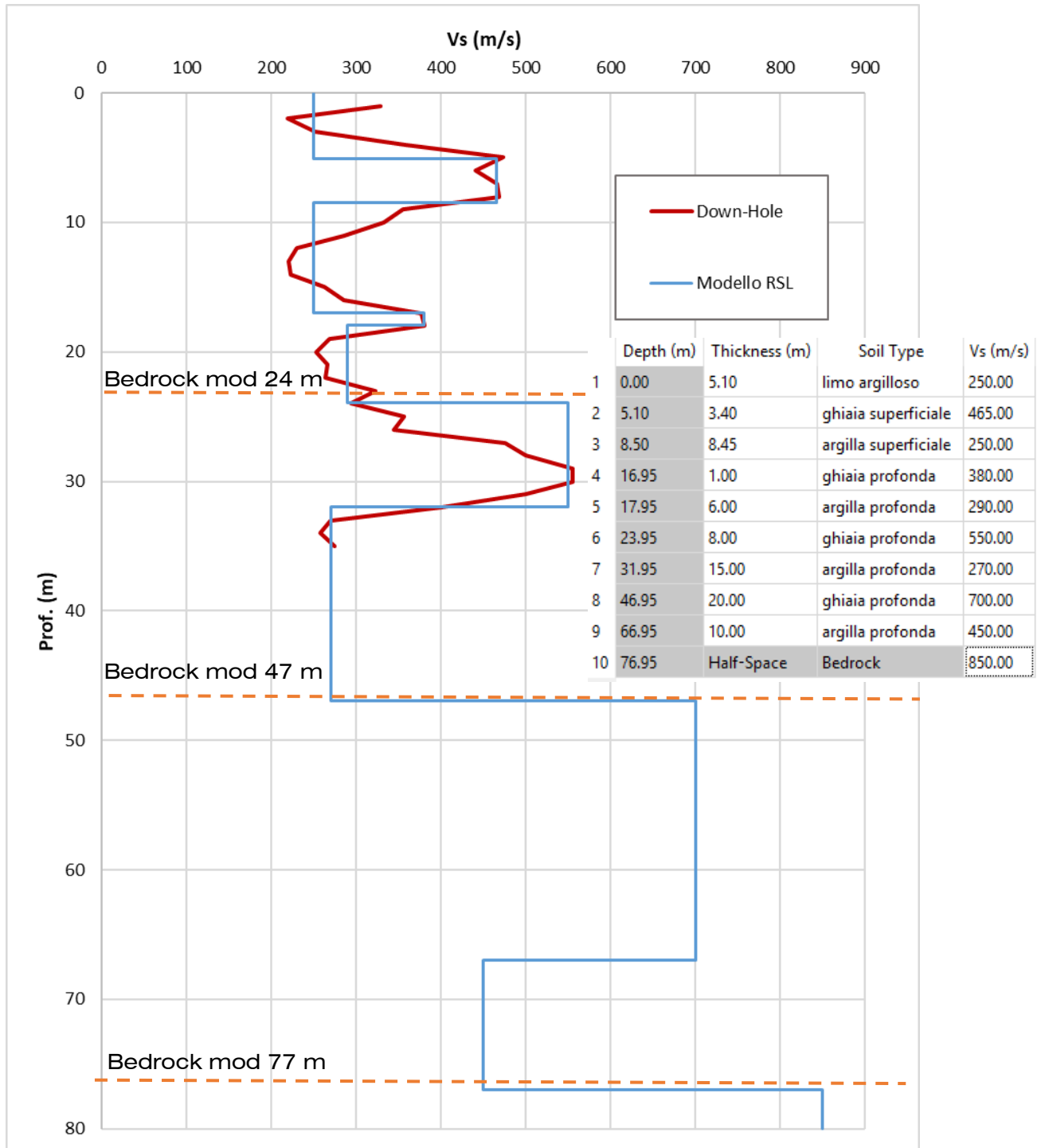


Fig. 148 - Modello di RSL



Il confronto tra gli spettri elastici in accelerazione (Fig. 149) mostra che il modello più superficiale presenta un picco a circa 0.4 s, periodo diverso dagli altri due (la scala è logaritmica). Inoltre, è pressoché assente il picco a 0.7 s, evidente negli altri due.

In sostanza il 2 modelli più profondi appaiono più simili tra loro, sebbene con diversi valori di accelerazione spettrale.

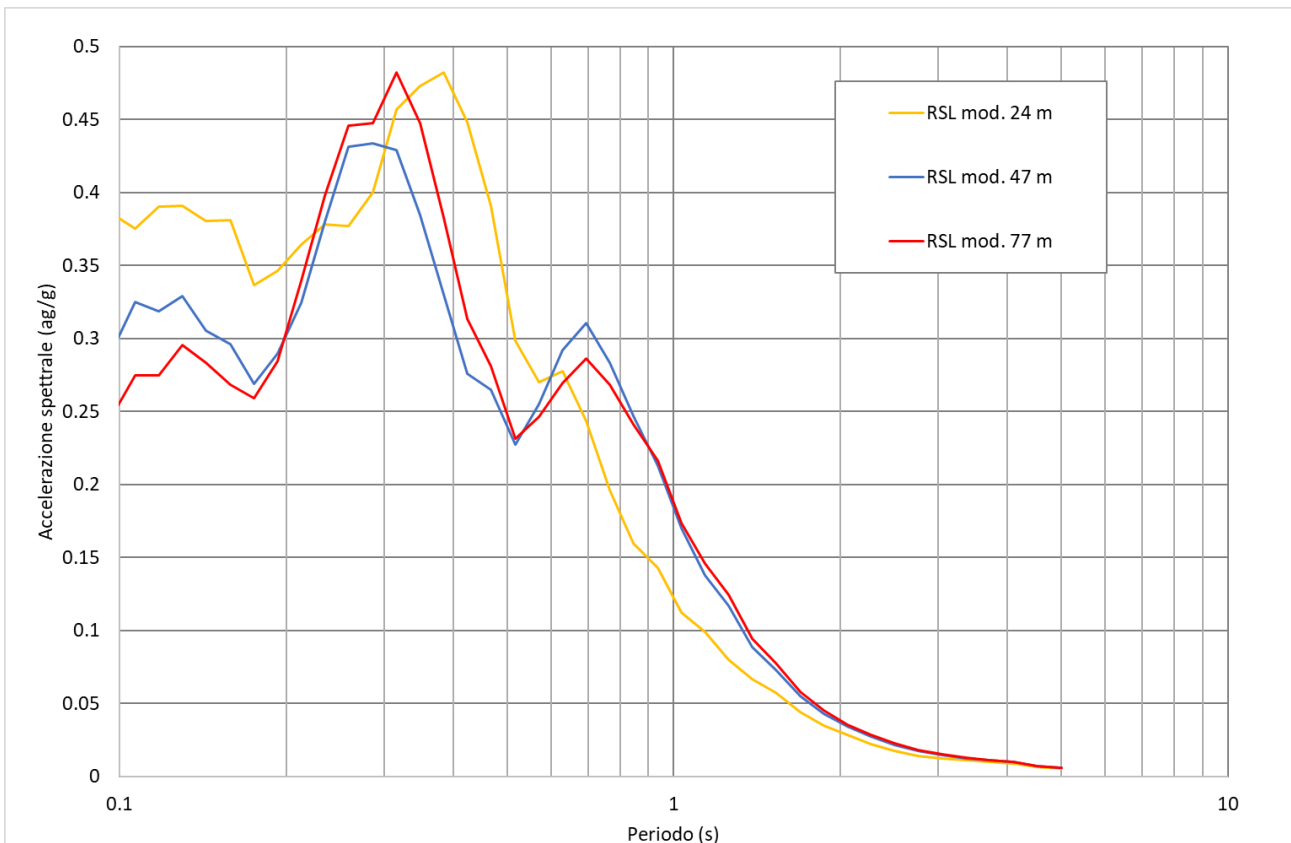


Fig. 149 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

Le maggiori differenze, tuttavia, si riscontrano analizzando gli spettri elastici in velocità, riportati in Fig. 150, da cui si ricavano i fattori di amplificazione.

E' evidente, infatti, che, mentre i modelli più profondi sono molto simili (si veda anche la Tab. 68, in cui vengono riportati i fattori di amplificazione calcolati nei diversi intervalli per i 3 modelli), il modello più superficiale fornisce risultati molto diversi.

In particolare, il modello a 24 m indica un'amplificazione modesta in tutto lo spettro (Fa compreso tra 1.34 e 1.46), mentre i modelli più. profondi forniscono valori molto maggiori per i periodi più alti (1.81-1.97).

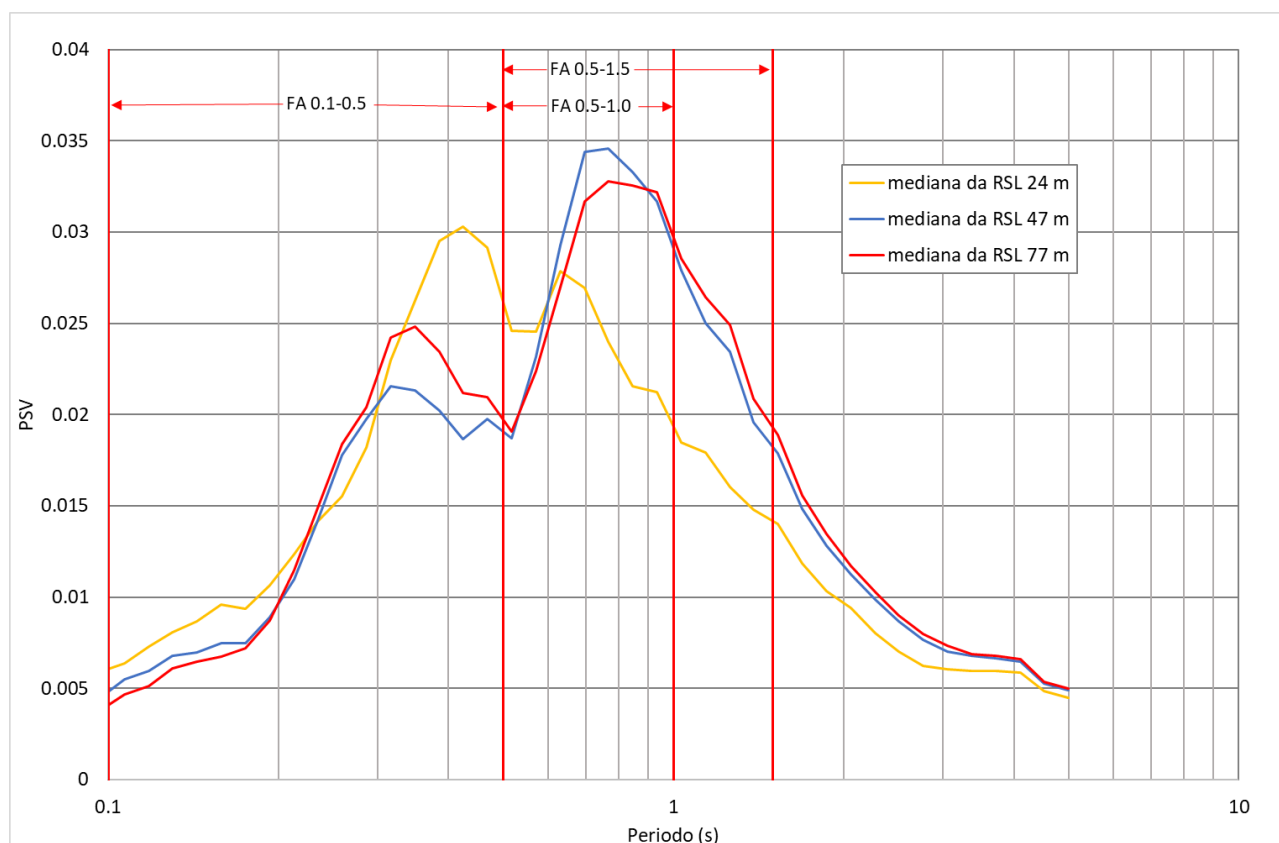


Fig. 150 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	Fa PGA	Fa 0.1-0.5 s	Fa 0.5-1.0 s	Fa 0.5-1.5 s
Modello 24 m	1.38	1.36	1.46	1.34
Modello 47 m	1.16	1.08	1.97	1.81
Modello 77 m	1.20	1.15	1.92	1.83

Tab. 68 - Confronto tra i fattori di amplificazione calcolati per i diversi modelli

Nel complesso, quindi, per ogni verticale il modello sismostratigrafico va scelto oculatamente, per non incorrere in errori grossolani.



4. ELABORATI CARTOGRAFICI

Tutte le cartografie di seguito descritte sono state redatte sia alla scala 1:25.000, in un'unica tavola, sia alla scala 1:10.000 suddivisa in 5 diversi tagli, come illustrato in Fig. 151.

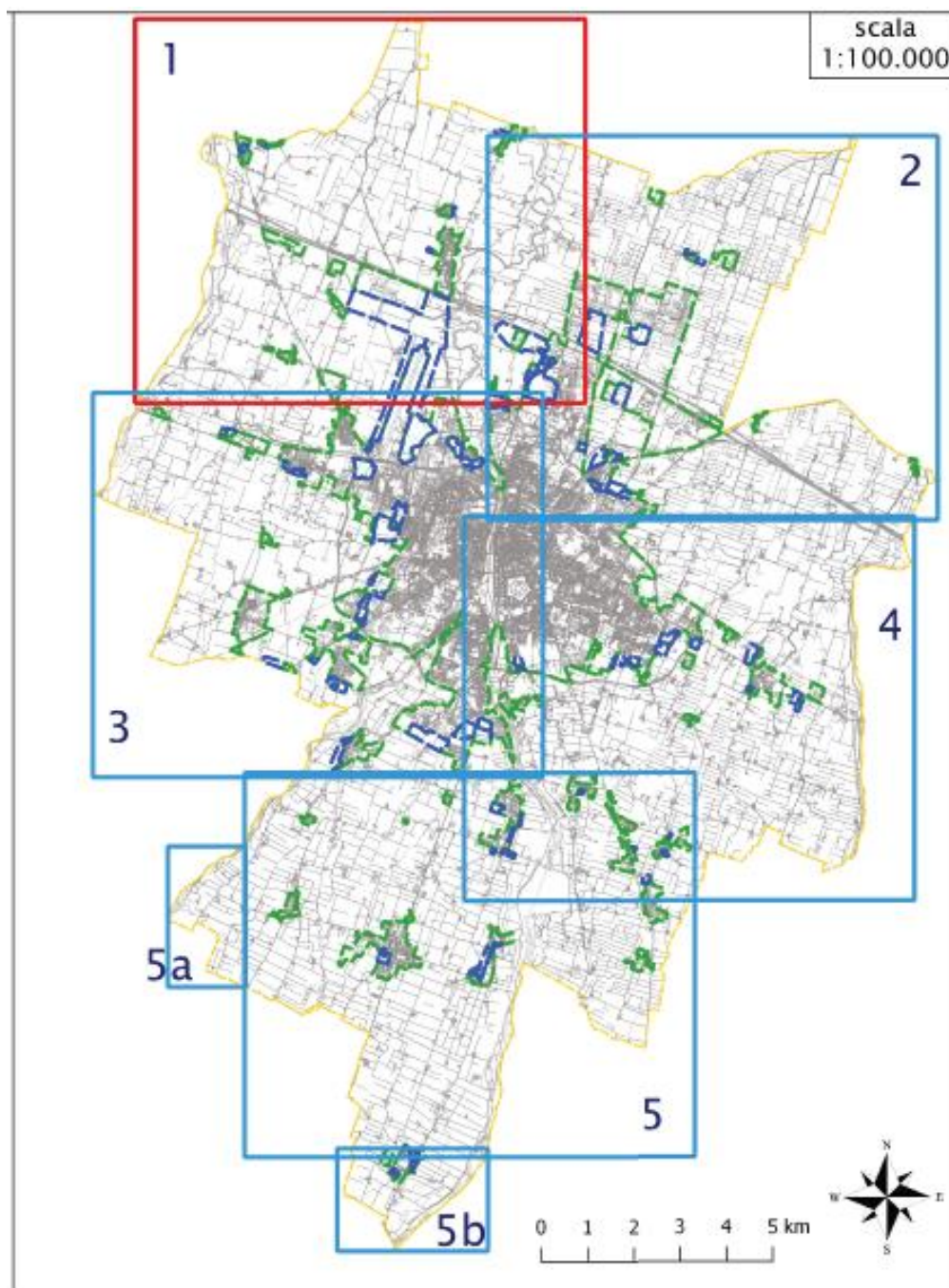


Fig. 151 - Quadro d'unione dei tagli delle tavole alla scala 1:10.000

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	151 di 164



4.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini sono riportate le ubicazioni di tutte le indagini geognostiche e/o sismiche 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.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica statica con piezocono
- pozzo per acqua
- prova sismica in foro tipo Down-hole
- prova penetrometrica con cono sismico
- stazione microtremore a stazione singola
- Prova RefractionMicrotremors

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 152.









-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
-  Prova penetrometrica statica con piezocono
-  Pozzo per acqua
-  Prova sismica in foro tipo Down-hole
-  Prova penetrometrica con cono sismico
-  Stazione microtremore a stazione singola
-  Prova REfractionMICrotremors

Fig. 152 – Legenda della Carta delle indagini

Nelle carte sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	152 di 164



In Tab. 69 vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale, riprese dal database del Servizio Geologico regionale o effettuate all'uopo.

TIPO PROVA	provenienti da studio di 2° livello MS	provenienti da archivio comunale	provenienti da archivio Engeo	effettuate per il 3° livello MS	TOTALE
Sondaggio a carotaggio continuo	198	3	14	2	217
Prove Down-Hole		5	14	2	21
Analisi di laboratorio per la determinazione di G/G ₀ e D			7	2	11
Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	8				8
Prova penetrometrica statica con piezocono	9		3	23	35
Prova penetrometrica con cono sismico		2	3	5	10
Pozzo per acqua	645				645
Stazione microtremore a stazione singola	67			7	74
Prova REfraction/Microtremors	69				69

Tab. 69 – Riepilogo delle indagini geognostiche presenti sul territorio comunale

4.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell'Archivio Comunale, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scale 1:25.000 e 1:10.000.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (74), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto 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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	153 di 164



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

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 raffigurato nella legenda riportata in Fig. 153.

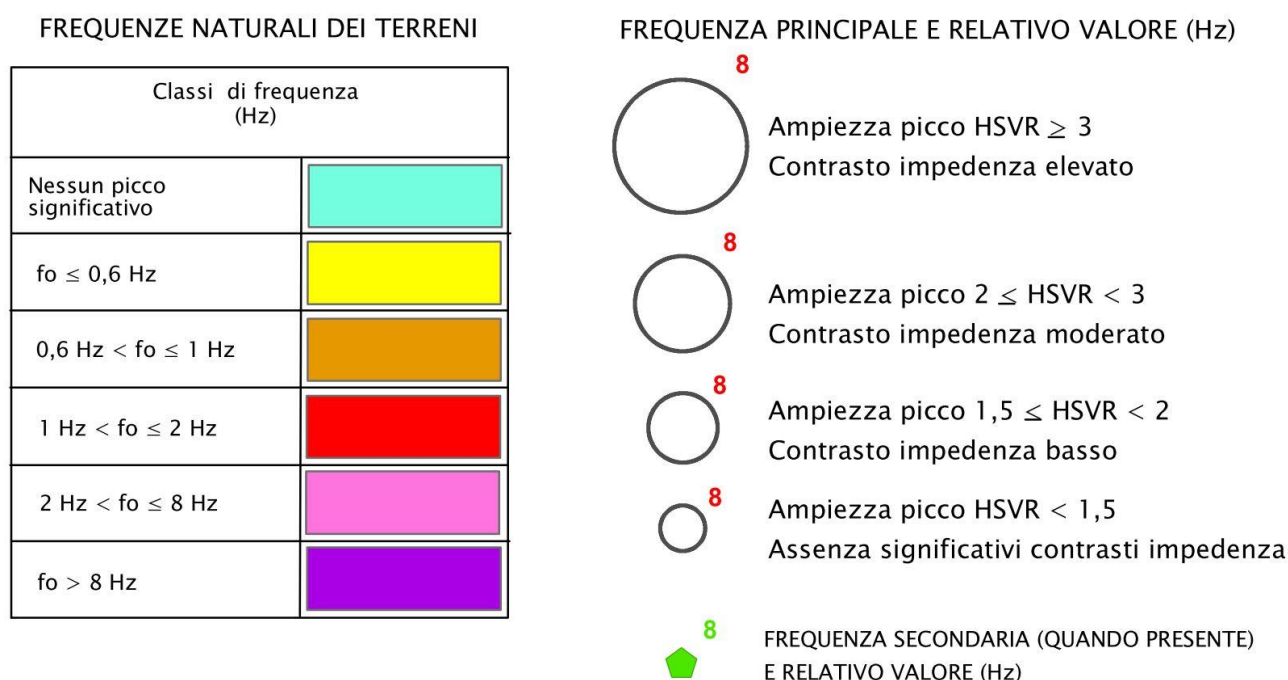


Fig. 153 - Legenda della Carta delle frequenze

4.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. Nel presente studio viene proposta una revisione di tale cartografia alla luce delle verifiche effettuate per il terzo livello di approfondimento, consistite in particolare nella verifica a liquefazione delle zone definite come zone di attenzione per instabilità nel precedente studio.

In questa cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

1. **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	154 di 164



2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.

3. zone di attenzione per instabilità. Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Parma, non sono mai presenti le categorie 1 - zone stabili e 3 - zone di attenzione per instabilità. Invece, sono state individuate le seguenti 7 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- Zona 1 - Terreni granulari ghiaiosi grossolani con coperture politessiturali di spessore variabile da 0 a 3 metri. Si rinviene diffusamente in tutta la zona sud del comune e lungo la fascia occidentale e rappresenta l'alta pianura pedeappenninica e l'apparato ghiaioso vicinale del Fiume Taro.
- Zona 2 - Terreni granulari ghiaiosi grossolani con copertura coesiva limo-argillosa di spessore variabile da 3 a 10 m. Si rinviene nella zona sud e rappresenta parte dell'alta e media pianura pedeappenninica.
- Zona 3 - Terreni granulari ghiaiosi grossolani con coperture politessiturali di spessore variabile da 3 a 10 m. Si rinviene nella zona a sud della città e sul lato occidentale del comune e rappresenta la media pianura.
- Zona 4 - Terreni prevalentemente coesivi con strati granulari fini di spessore complessivo variabile da 10 a 20 m su livelli ghiaiosi profondi. Si rinviene nella zona est e ovest della città e prosegue sul lato occidentale del comune fino all'estremo nord e rappresenta la media e "bassa" pianura (pianura distale).
- Zona 5 - Terreni coesivo-granulari limo-sabbiosi di spessore inferiore a 5 m su livelli prevalentemente coesivi di spessore variabile da 10 a 20 m a loro volta su livelli ghiaiosi profondi. Si rinviene nella zona nord della città e rappresenta il dosso fluviale del Torrente Parma.
- Zona 6 - Terreni coesivi limoso-argillosi con torbe entro i primi 20-30 m su livelli ghiaiosi profondi. Si rinviene nella zona nord della città sino al confine settentrionale e rappresenta la media e "bassa" pianura (pianura distale). Costituiva, nello studio di 2° livello, zona di attenzione per instabilità dovuta a liquefazione, ma grazie alle analisi effettuate ed illustrate in precedenza è stata convertita a zona stabile suscettibile di amplificazioni locali.
- Zona 7 - Terreni granulari ghiaiosi superficiali sopra livelli coesivi argillosi a loro volta su livelli ghiaiosi profondi. Si rinviene nel centro della città lungo il tratto cittadino del Torrente Parma. E' una microzona di nuovo inserimento, non presente nello studio di 2° livello.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	155 di 164

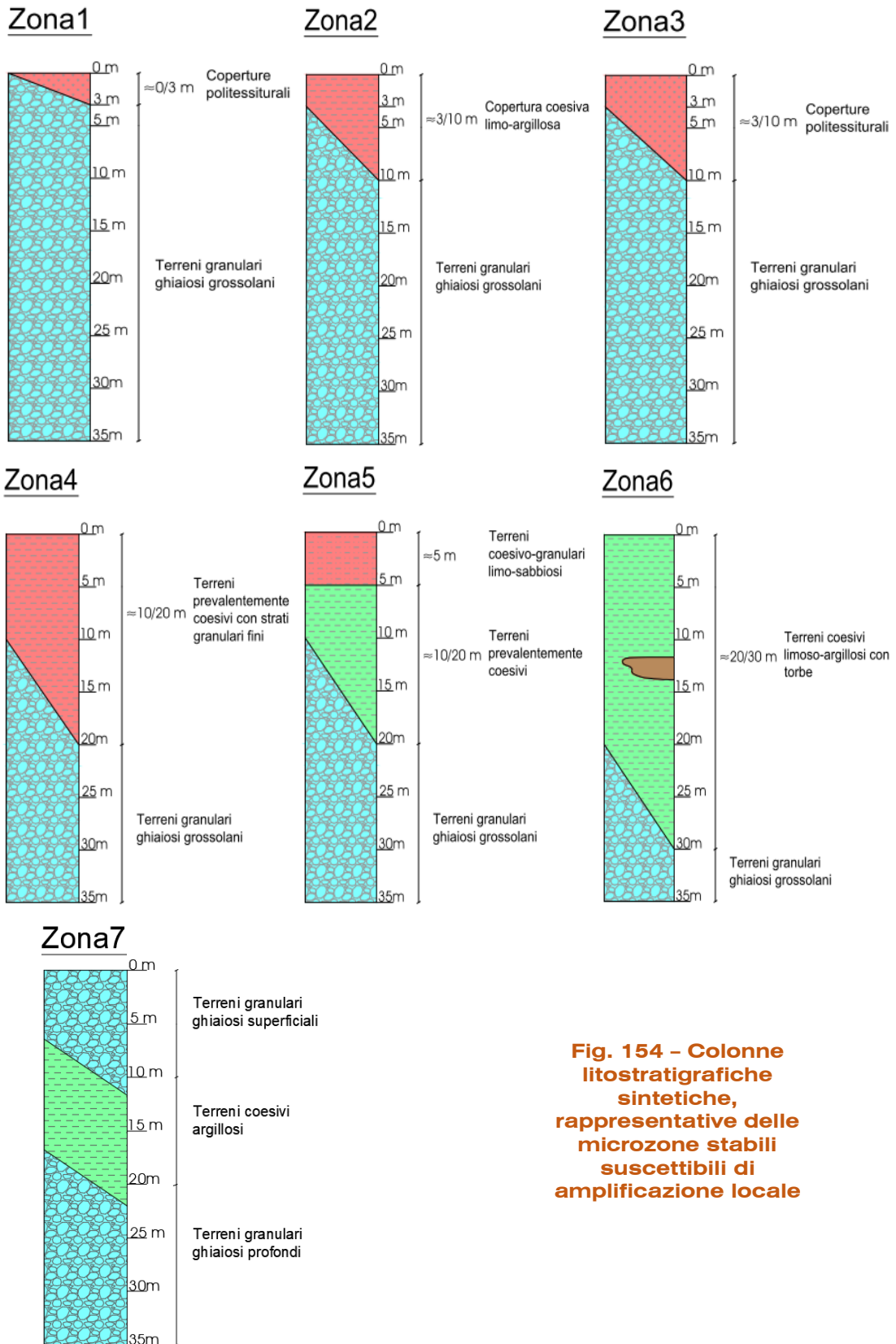


Fig. 154 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone stabili suscettibili di amplificazione locale

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	156 di 164



4.4 Carta della velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, sono state redatte per tutte le aree oggetto di studio delle Carte delle velocità delle onde di taglio S (V_S).

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tomografica, Down-Hole, ReMi e prova penetrometrica con sismo) e indicando il corrispondente valore di V_{S_H} (in m/s), dove:

$$V_{S_H} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

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*);

o di $V_{S_{30}}$ (sempre in m/s), dove:

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

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).

In carta si osserva come sia stata utilizzata $V_{S_{30}}$ nella zona Sud del comune, corrispondente alle Zone 1 e 2 della Carta delle MOPS, mentre V_{S_H} nel resto del territorio.

4.5 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3, in scala 1:10.000 e 1:25.000, fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio. In esse sono state differenziate le aree oggetto di approfondimenti di terzo livello (Fig. 155), realizzati all'interno della città e nella zona orientale del territorio comunale, laddove l'analisi di 2° livello aveva evidenziato zone di attenzione per instabilità legate alla liquefazione.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	157 di 164

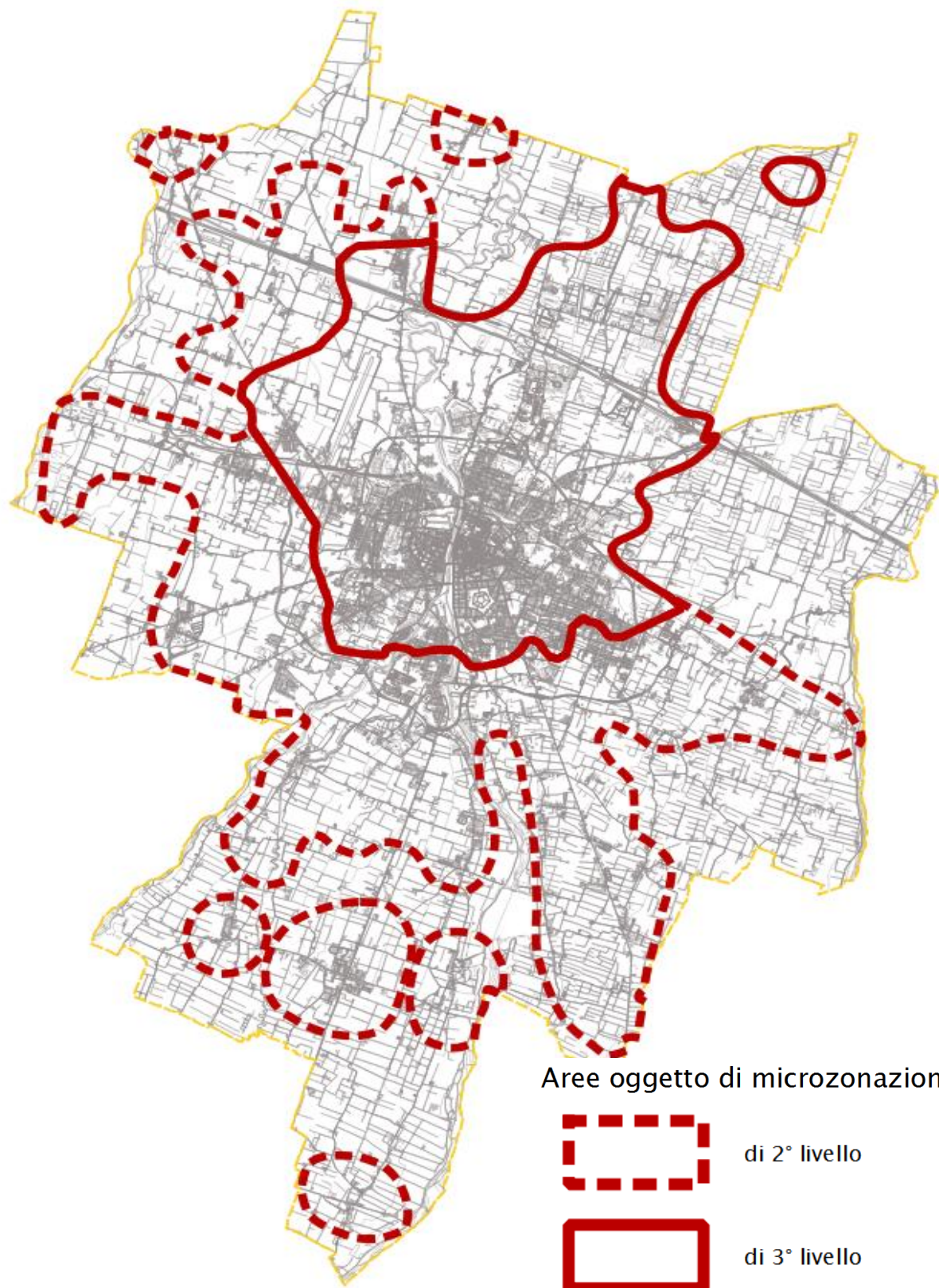


Fig. 155 - Suddivisione del territorio nei vari livelli di approfondimento

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	158 di 164



L'amplificazione è stata calcolata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI₀) per prefissati intervalli di periodi attraverso l'analisi approfondita, descritta nel capitolo 3 (Analisi di risposta sismica locale) della presente relazione.

La cartografia realizzata in merito alla Microzonazione sismica di Livello 3 è costituita dai seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{PGA} (scala 1:10.000 - 1:25.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{IS 0,1 - 0,5 s} (scala 1:10.000 - 1:25.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{IS 0,5 - 1,0 s} (scala 1:10.000 - 1:25.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{IS 0,5 - 1,5 s} (scala 1:10.000 - 1:25.000).

Trattandosi di cartografie che richiedono accorpamenti areali, valori "anomali" dei fattori di amplificazione calcolati come descritto nel Cap. 3, sono stati esclusi dalla microzonazione.

Nelle zone in cui non sono stati effettuati approfondimenti di 3° livello, i fattori di amplificazione e le relative suddivisioni in zone, sono stati mantenuti così come definiti nello studio di 2° livello.

In Fig. 156 è riportata la legenda utilizzata per accorpare i parametri di amplificazione per le Carte di microzonazione sismica, così come indicato negli standard di rappresentazione SRAI.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	159 di 164



Parametro di amplificazione ²⁹	Simbolo
1.1 - 1.2	
1.3 - 1.4	
1.5 - 1.6	
1.7 - 1.8	
1.9 - 2.0	
2.1 - 2.2	
2.3 - 2.4	
2.5 - 3.0	
3.1 - 3.5	
>3.5	

Fig. 156 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Inoltre, all'interno delle Carte di microzonazione sono stati inseriti i risultati delle prove di verifica alla liquefazione secondo la legenda di Fig. 157, descritte nel paragrafo 3.7 e facenti parte dell'Elaborato 15.

Verticale di verifica alla liquefazione con indicato il valore di IL

- IL ≤ 2
- 2 < IL ≤ 5

Fig. 157 - Legenda adottata per la visualizzazione della verifica alla liquefazione



5. 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
- Ambiter Srl (2006): Relazione geologica per il Piano Strutturale Comunale – PSC
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tinto A. (2010): UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato
- 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
- Di Dio G. (2007): STUDIO DELLA CONOIDE ALLUVIONALE DEL FIUME TARO PER LA REALIZZAZIONE DI UN MODELLO IDROGEOLOGICO PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE
- Engeo s.r.l. (2011): ELABORATI DEL QUADRO CONOSCITIVO – AMBIENTE SUOLO E SOTTOSUOLO E AMBIENTE IDRICO SOTTERRANEO, Piano Strutturale Comunale di Parma (PR), approvato con delibera di C.C. n. 56 del 20/12/2012
- 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
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K, and Yasuda, S, (1978), "A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan", 2nd International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application, pp. 885-896,
- Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (a cura di) (2011): BDMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano, Bologna
<http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- Marcellini A., Martelli L, Tinto A., Daminelli R. (2009): L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA"
- Meletti C. e Valensise G., (2004): ZONAZIONE SIMOGENETICA 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 ".

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	161 di 164



Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici

- 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
- National Center for Earthquake Engineering Research (1998) - Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils.
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 – FOGLIO 181, Parma Nord – REGIONE EMILIA-ROMAGNA, S.EL.CA. s.r.l., Firenze 2009
- SONMEZ H. (2003) – Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). Environ. Geology 44(7), pp. 862–871

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	162 di 164



6. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti, oltre alla presente relazione Illustrativa, i seguenti elaborati:

Elaborato		scala
1	Carta delle indagini	1:25.000
1a	Carta delle indagini	1:10.000
1b	Carta delle indagini	1:10.000
1c	Carta delle indagini	1:10.000
1d	Carta delle indagini	1:10.000
1e	Carta delle indagini	1:10.000
2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:25.000
2a	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2b	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2c	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2d	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
2e	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:25.000
3a	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3b	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3c	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3d	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
3e	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:10.000
4	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:25.000
4a	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4b	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4c	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4d	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
4e	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
5	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - Fa_{PGA}	1:25.000
5a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - Fa _{PGA}	1:10.000
5b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - Fa _{PGA}	1:10.000
5c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - Fa _{PGA}	1:10.000

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	163 di 164



5d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaPGA	1:10.000
5e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaPGA	1:10.000
6	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.1s < T_o < 0.5s}$	1:25.000
6a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.1s < To < 0.5s	1:10.000
6b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.1s < To < 0.5s	1:10.000
6c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.1s < To < 0.5s	1:10.000
6d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.1s < To < 0.5s	1:10.000
6e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.1s < To < 0.5s	1:10.000
7	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.5s < T_o < 1.0s}$	1:25.000
7a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.5s < To < 1.0s	1:10.000
7b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.5s < To < 1.0s	1:10.000
7c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.5s < To < 1.0s	1:10.000
7d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.5s < To < 1.0s	1:10.000
7e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FaS 0.5s < To < 1.0s	1:10.000
8	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.5s < T_o < 1.5s}$	1:25.000
8a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.5s < T_o < 1.5s}$	1:10.000
8b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.5s < T_o < 1.5s}$	1:10.000
8c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.5s < T_o < 1.5s}$	1:10.000
8d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.5s < T_o < 1.5s}$	1:10.000
8e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $Fa_{IS\ 0.5s < T_o < 1.5s}$	1:10.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati

- Elaborato 9 – Prove HVSR, in cui sono riportati tutti i report delle nuove indagini tromografiche effettuate.
- Elaborato 10 – Stratigrafie sondaggi, con la stratigrafia dei sondaggi realizzati specificamente per il presente studio.
- Elaborato 11 – Prove Down-Hole, contenente i risultati delle prove Down-Hole effettuate nei fori di sondaggio.
- Elaborato 12 – Analisi di laboratorio, contenente i certificati delle analisi geotecniche effettuate sui campioni prelevati nei sondaggi.
- Elaborato 13 – Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono.
- Elaborato 14 – Prove penetrometriche con sismocono.
- Elaborato 15 – Verifiche liquefazione, per le prove penetrometriche realizzate ex-novo oltre a 6 prove dell'archivio Engeo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Giugno 2018	0	164 di 164