



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



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



Regione Emilia-Romagna	Soggetto realizzatore  ENGEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY www.engeo.it <u>Direzione tecnica</u> Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti <u>Collaboratori</u> Dott. Geol. Andrea Conti Dott. Geol. Alessandro Ferrari	Data Aprile 2023 MS3
---------------------------	---	---------------------------------------



INDICE

1.	Introduzione	5
1.1	Motivazione dello studio di 3° livello	6
1.2	Articolazione dello studio	7
2.	Indagini ed analisi	10
2.1	Sondaggi a carotaggio continuo	11
2.2	Prove di laboratorio	11
2.3	Prove Down-Hole	12
2.4	Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono	14
2.5	Indagine mediante sismocono	17
2.6	Rilievo sismico HVSR mediante tromografo	19
3.	Analisi di risposta sismica locale	20
3.1	Pericolosità sismica di base	22
3.2	Segnali in input	23
3.3	Modello geofisico del sottosuolo	24
3.3.1	Litologia	24
3.3.2	Determinazione della V_s	24
3.3.3	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione	26
3.4	Procedura di analisi RSL	31
3.4.1	Metodo lineare equivalente	31
3.4.2	Soluzione alla singola iterazione mediante FEM	33
3.4.3	Smorzamento	34
3.4.4	Procedimento iterativo	35
3.4.5	Interpretazione dei risultati	35
3.4.6	Spettri di risposta normalizzati	39
3.5	Risultati della modellazione numerica	40
3.5.1	RSL per il sito 034027P929 – SCPTU 1	40
3.5.2	RSL per il sito 034027P930 – SCPTU 2	45
3.5.3	RSL per il sito 034027P931 – SCPTU 3	49
3.5.4	RSL per il sito 034027P932 – SCPTU 4	53
3.5.5	RSL per il sito 034027P933 – SCPTU 5	57
3.5.6	RSL per il sito 034027P965 – DH 1	61
3.5.7	RSL per il sito 034027P966 – DH 2	65
3.5.8	RSL per il sito 034027P968 – Parcheggio ENEL	69
3.5.9	RSL per il sito 034027P969 – Ospedale bambini	73
3.5.10	RSL per il sito 034027P970 – Piazza Ghiaia	77



3.5.11	RSL per il sito 034027P971 – Piastra tecnica	81
3.5.12	RSL per il sito 034027P972 – Parcheggio Kennedy	85
3.5.13	RSL per il sito 034027P973 – Parcheggio conservatorio	89
3.5.14	RSL per il sito 034027P974 – Ex Anagrafe	93
3.5.15	RSL per il sito 034027P975 – Impianto polivalente.....	97
3.5.16	RSL per il sito 034027P976 – Centro Cavagnari	101
3.5.17	RSL per il sito 034027P977 – Scuola Corazza.....	105
3.5.18	RSL per il sito 034027P979 – Scuola Fognano	109
3.5.19	RSL per il sito 034027P980 - Palaciti	113
3.5.20	RSL per il sito 034027P981 - EULIP.....	117
3.5.21	RSL per il sito 034027P982 – Polo oncologico	121
3.5.22	RSL per il sito 034027P983 - Raytech	125
3.5.23	RSL per il sito 034027P984 – Sede Barilla.....	129
3.5.24	RSL per il sito 034027P985 - PAIP	133
3.5.25	RSL per il sito 034027P986 – IKEA.....	137
3.5.26	RSL per il sito 034027P987 – Sede EFSA.....	141
3.5.27	RSL per il sito 034027P988 – RSA.....	145
3.5.28	RSL per il sito 034027P989 – Nuova scuola Pacagni	149
3.5.29	RSL per il sito 034027P993 – Chiesi Pilotis	153
3.5.30	RSL per il sito 034027P994 – Scuola Adorni	157
3.5.31	RSL per il sito 034027P995 – Scuola Bottego	161
3.5.32	RSL per il sito 034027P996 – Scuola Agazzi	165
3.5.33	RSL per il sito 034027P997 – Veterinaria	169
3.5.34	RSL per il sito 034027P998 – Ex Centro Grafico.....	173
3.5.35	RSL per il sito 034027P999 – Ingegneria	177
3.5.36	RSL per il sito 034027P1000 – Via Volturmo	181
3.5.37	RSL per il sito 034027P1001 – Bioscienze.....	185
3.5.38	RSL per il sito 034027P1002 – Scuola Crociera.....	189
3.5.39	RSL per il sito 034027P1003 – Scuola Trottola	193
3.5.40	RSL per il sito 034027P1004 – Scuola Lino Maupas	197
3.5.41	RSL per il sito 034027P1005 – Palestra Ulivi.....	201
3.6	Verifica del rischio di liquefazione	205
3.6.1	Analisi dei risultati.....	209
3.7	Criticità del metodo	212
3.7.1	Considerazioni sul bedrock sismico.....	213
4.	Elaborati cartografici.....	218
4.1	Carta delle indagini	219
4.2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	220

PROGETTO		LIVELLO
	COMUNE DI PARMA Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

4.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).....	221
4.4	Carta della velocità delle onde di taglio S.....	224
4.5	Carte di microzonazione sismica.....	224
4.6	Carte dello scuotimento atteso	228
5.	Bibliografia	230
6.	Allegati	232

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	4 di 235



1. INTRODUZIONE

Il presente Documento costituisce l'integrazione dello *Studio di microzonazione sismica di III livello del Comune di Parma*, effettuato su incarico del Comune di Parma (cfr. Determinazione n° 356 del 01/09/2016, 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 realizzato dagli scriventi nel 2018 e certificato dalla Regione Emilia Romagna con prot. PG/2018/46498 del 17 dicembre 2018.

L'integrazione si è resa necessaria a seguito dell'emanazione, successiva alla certificazione dello studio, della D.G.R 630 del 29/04/2019 "*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. N. 24/2017)*", che prevede ulteriori approfondimenti, rispetto a quelli già effettuati nel 2017, ai fini dell'utilizzo dello studio di microzonazione sismica per la pianificazione comunale.

Tali approfondimenti hanno previsto la redazione delle seguenti nuove cartografie di microzonazione sismica:

- Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,1-0,5\ s}$
- Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,4-0,8\ s}$
- Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,7-1,1\ s}$
- Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,5-1,5\ s}$
- Carta di microzonazione sismica - H_{SM}
- Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,4-0,8\ s}$
- Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,7-1,1\ s}$
- Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,5-1,5\ s}$

Nell'ambito del presente studio, inoltre sono state studiate nuove verticali per le quali si disponeva di dati sismostratigrafici integrativi rispetto a quanto studiato nel 2018. Tutte le analisi risposta sismica locale, inoltre, sono state completamente rielaborate, e sono stati riemessi gli spettri di risposta calcolati.

Inoltre, per favorire l'applicazione diretta a livello progettuale delle analisi effettuate, oltre allo stato limite SLV (Tr 745, standard di valutazione negli studi di microzonazione) è stato valutato anche lo stato limite SLD (Tr= 50 anni). Tali dati sono quindi idonei per la progettazione di edifici di classe II e vita nominale $V_n=50$ anni.

Infine, gli spettri, sia SLD che SLV sono stati normalizzati secondo le indicazioni fornite dalle Ordinanze P.C.M N° 24 del 12/5/2017 e n° 55 del 24/4/2018.

Lo studio del 2018 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 *dpi*).

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

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 Prof. Roberto Francese.



Elaborato

MS 3 - Relazione illustrativa

Data

Aprile 2023

Agg.

3

Pag.

6 di 235



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 consentirà di dare consistenza numerica a tale rischio con la definizione dell' "Indice Potenziale di Liquefazione" LPI.

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 rigidezza (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 rigidezza (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 riposta sismica locale in 41 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 codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC;
10. calcolo dei fattori di amplificazione, per i tre siti indagati, per un tempo di ritorno $T_R=475$ anni, con smorzamento $\zeta=5\%$, relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:
 - $FA_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
 - $FA_{SA} = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:
 - SA1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - SA2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$,
 - SA3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$,
 - SA4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;



- $FH_{SI} = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - SI_1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - SI_2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$,
 - SI_3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

11. Verifiche a liquefazione su 34 verticali;

12. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 relative agli 8 parametri indicati al punto 7, oltre che allo scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi:

- $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - H_{SM}),
- $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,4-0,8\ s}$),
- $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,7-1,1\ s}$),
- $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,5-1,5\ s}$),



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	Aprile 2023	3	10 di 235



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 allegate 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 s.r.l. 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 cui risultati sono riportati nel § 3.3.3.

I risultati completi sono riportati nell'Elaborato 12.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	11 di 235



2.3 Prove Down-Hole

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

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 boiacca 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 di tipo 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.

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

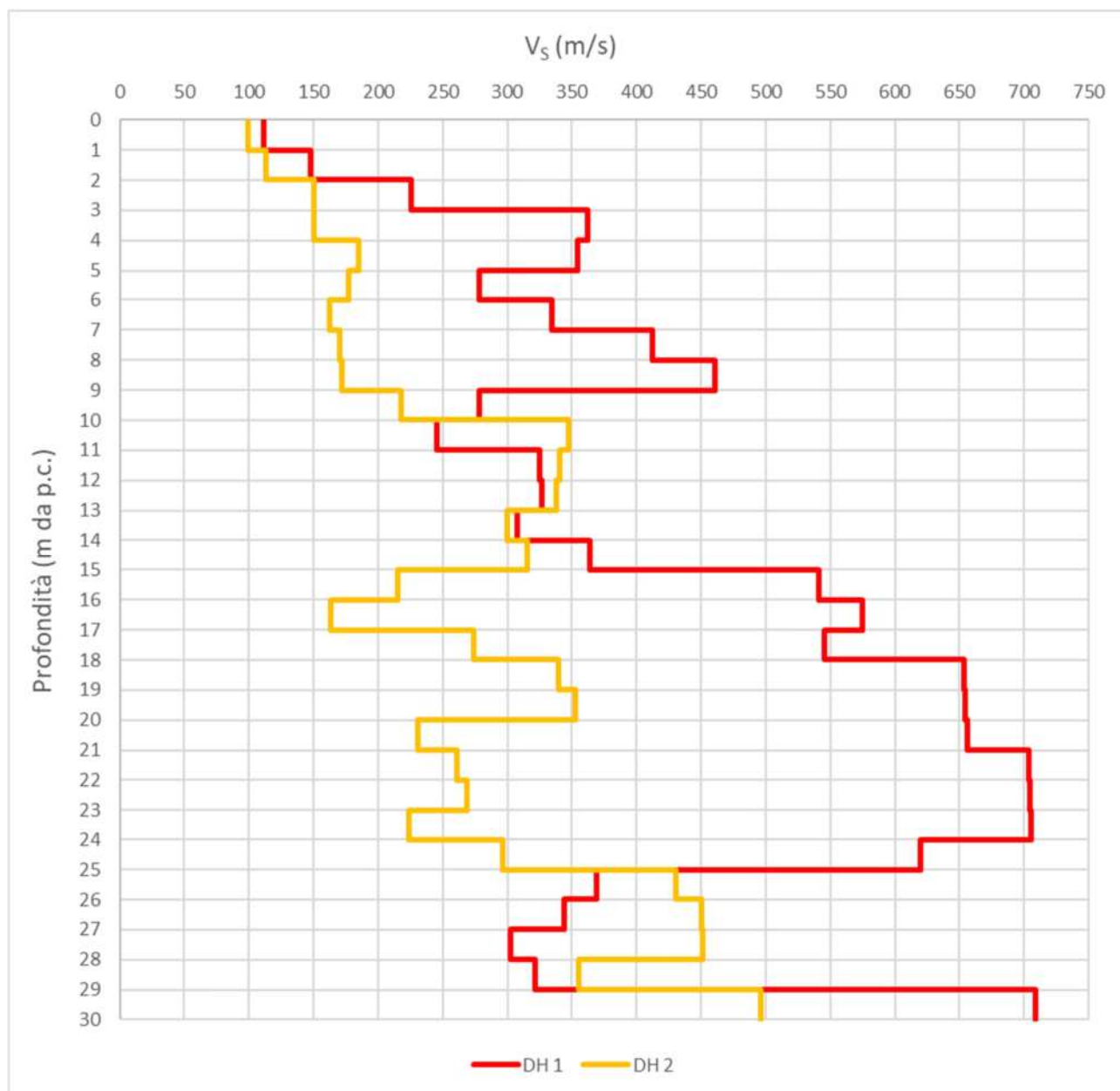


Fig. 2 – Valori di Vs in funzione della profondità misurati dalle due prove Down-Hole



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. § 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.

Nelle seguenti Fig. 3 e Fig. 4 sono riportati rispettivamente, 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	Aprile 2023	3	14 di 235

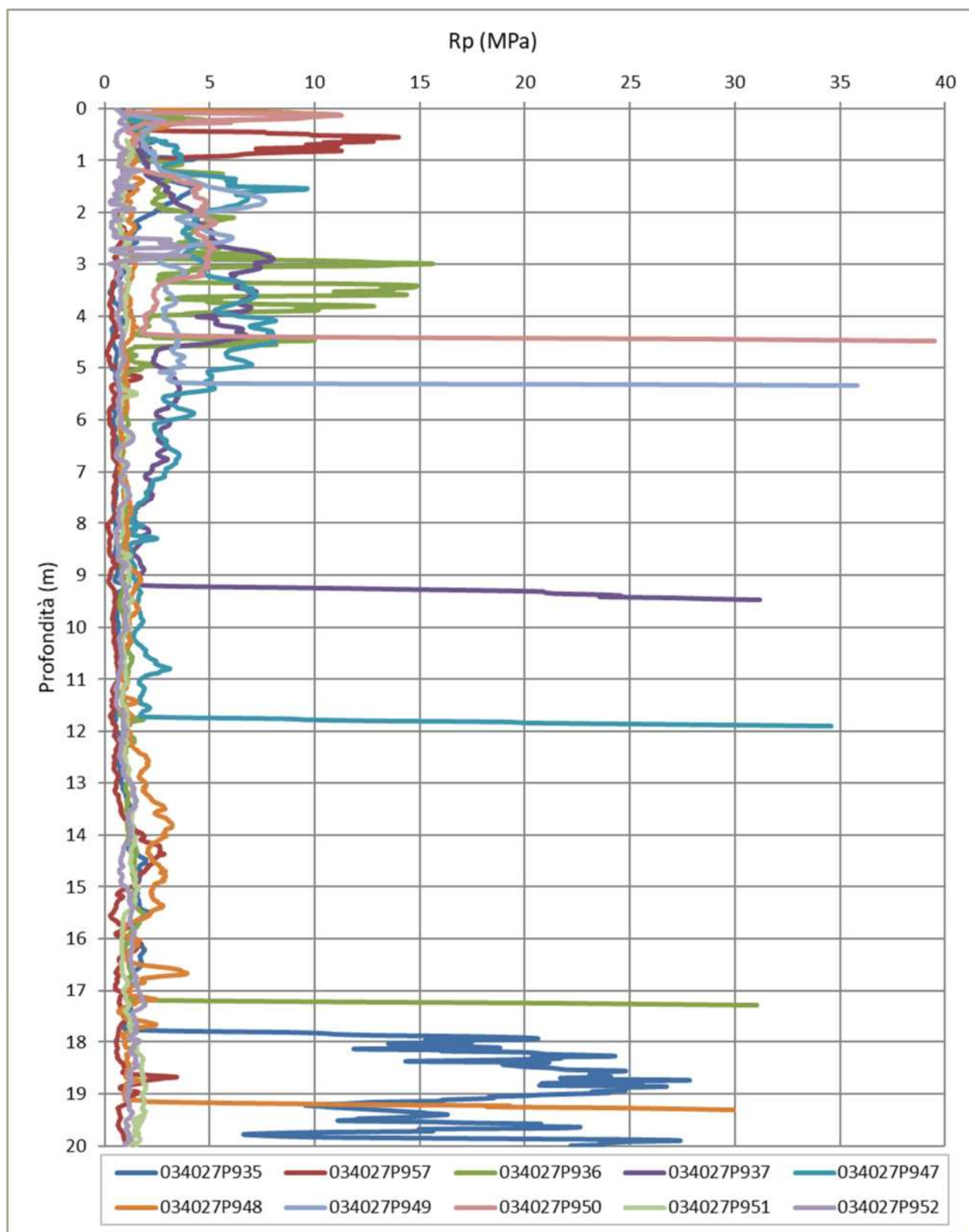


Fig. 3 – Rappresentazione grafica della resistenza alla punta (R_p) con la profondità

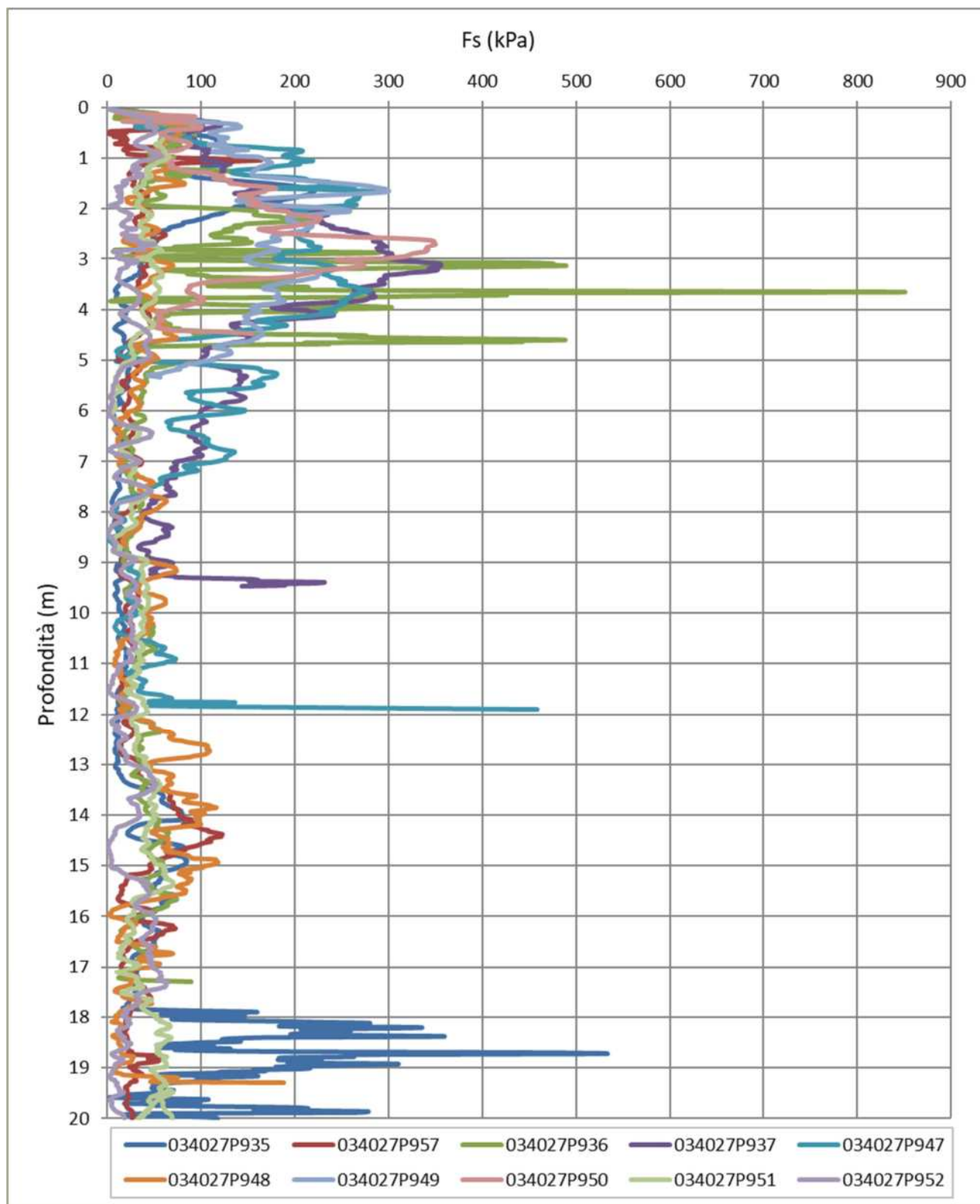


Fig. 4 – Rappresentazione grafica della resistenza laterale (F_s) con la profondità



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 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 acquisitore 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, detti tempi di arrivo (cfr. Fig. 5).

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.

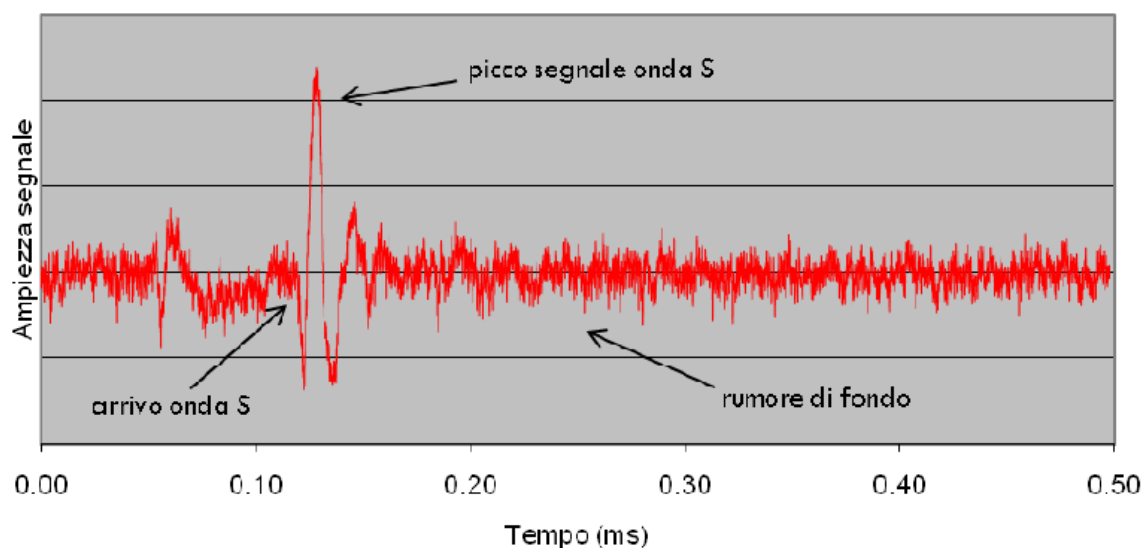


Fig. 5 – Esempio di sismogramma del segnale registrato a 10 m di profondità

In pratica la prova con sismocono si può considerare come una prova *Down-Hole* a tutti gli effetti.



In Fig. 6 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle sole onde S registrate in tutte le prove SCPTU appositamente effettuate per il presente studio.

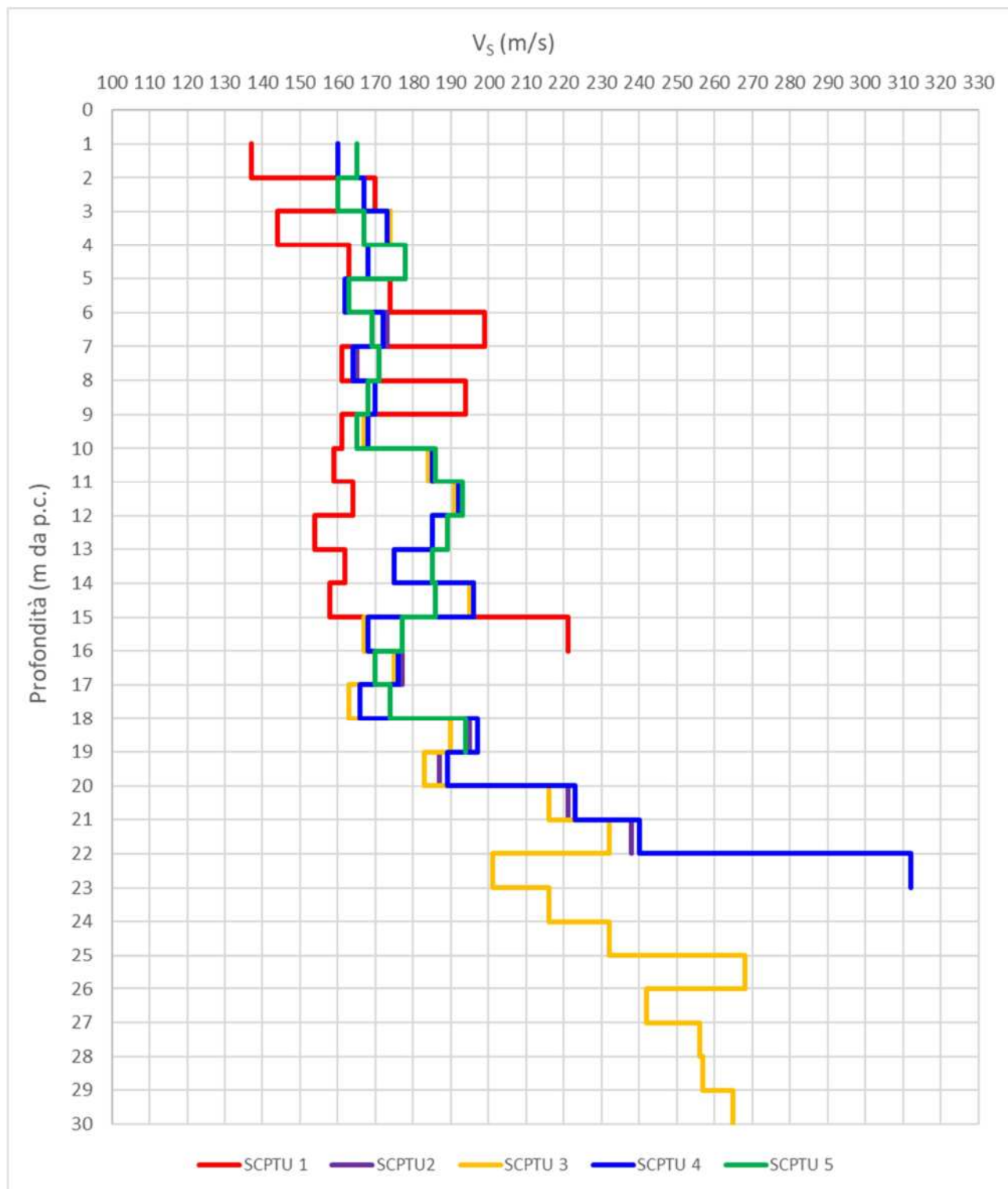


Fig. 6 – Valori di V_s in funzione della profondità misurati dalle prove SCPTU



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'Allegato 17.

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. 7 prova 034027P959).

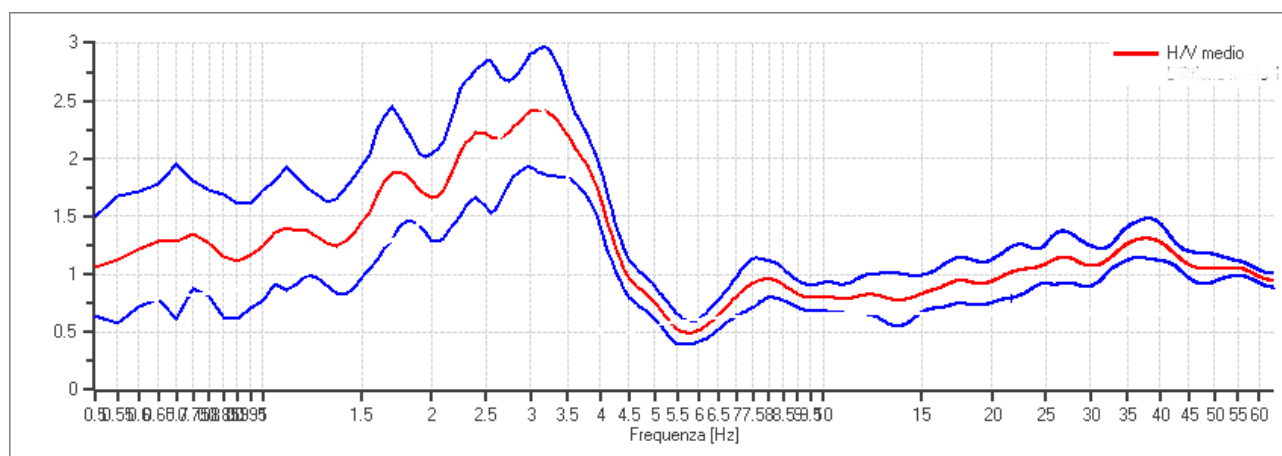


Fig. 7 – Elaborazione della misura 034027P959 registrata dal tromografo digitale: rapporto H/V

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	19 di 235



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. Nel complesso sono state eseguite n° 41 analisi di risposta sismica locale, la cui ubicazione è riportata nella seguente Fig. 8.

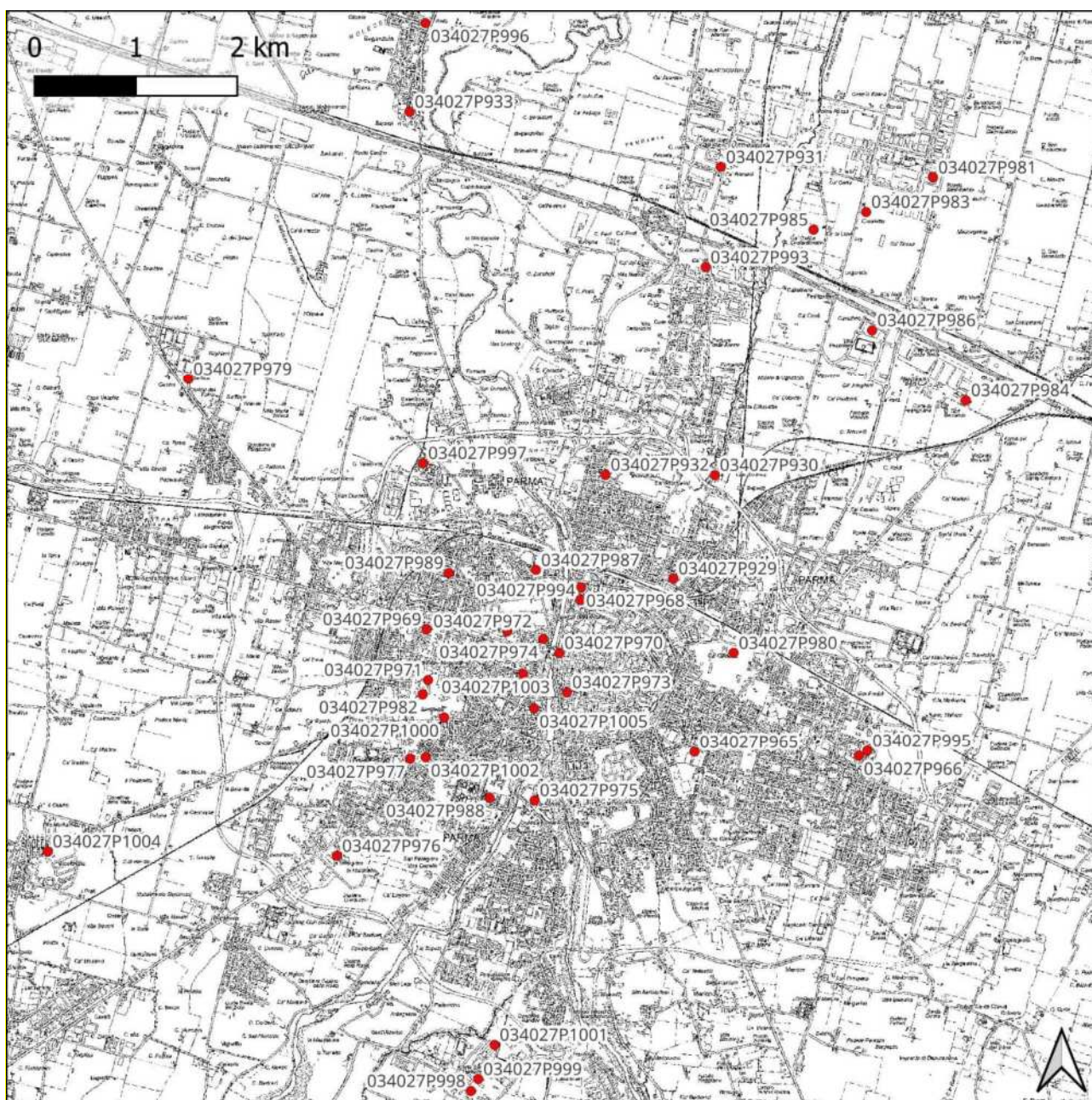


Fig. 8 – Ubicazione delle verticali utilizzate per l'analisi di risposta sismica locale



L'analisi è stata eseguita:

- su n° 7 verticali, in cui è stata eseguita una misura diretta di V_s appositamente per il presente studio, di cui 2 DH (cfr. § 2.3) e 5 SCPTU (cfr. § 2.5); per le 2 verticali con la prova DH si dispone, 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 27 verticali indagate dagli scriventi per altri studi, in cui è stata eseguita una misura diretta di V_s (DH, SCPTU o MASW); per 4 di queste si disponeva, inoltre, delle curve D e G/G_0 ;
- Su 7 verticali, provenienti dagli archivi del Comune, in cui è stata eseguita una misura diretta di V_s (DH o SCPTU).

Nella seguente tabella si riporta un elenco dettagliato delle verticali di indagine:

Codice MS3 ¹	Nome	Tipo di prova	X ²	Y ²
034027P929	SCPTU 1	SCPTU	131411.02	4972297.92
034027P930	SCPTU 2	SCPTU	131893.49	4973284.95
034027P931	SCPTU 3	SCPTU	132176.65	4976316.72
034027P932	SCPTU 4	SCPTU	130816.56	4973367.80
034027P933	SCPTU 5	SCPTU	129150.10	4977084.60
034027P965	DH 1	DH	131491.43	4970572.32
034027P966	DH 2	DH	133107.15	4970412.42
034027P968	ENEL	DH	130492.71	4972277.50
034027P969	Ospedale bambini	DH	128942.81	4971978.33
034027P970	Piazza Ghiaia	DH	130233.74	4971648.64
034027P971	Piastra Tecnica Ospedale	DH	128919.57	4971478.16
034027P972	Parcheggio via Kennedy	DH	129736.04	4971899.17
034027P973	Parcheggio Sede Conservatorio	DH	130279.74	4971255.57
034027P974	Ex Anagrafe	DH	130086.05	4971799.47
034027P975	Impianto Polivalente	DH	129880.87	4970209.57
034027P976	Centro Cavagnari	DH	127894.63	4969809.39
034027P977	Scuola Corazza	DH	128685.14	4970710.58
034027P979	Scuola Fognano	DH	126776.46	4974620.26
034027P980	Palaciti	SCPTU	131949.08	4971522.58
034027P981	Eulip	SCPTU	134259.76	4976057.36
034027P982	Polo Oncologico	DH	128856.21	4971340.73
034027P983	Raytech	SCPTU	133575.55	4975767.43
034027P984	Barilla	SCPTU	134420.06	4973838.55
034027P985	PAIP	DH	133044.12	4975632.08

¹ Codice da normativa regionale

² Coordinate espresse nel sistema WGS 84 / UTM zona 33N





Codice MS3 ¹	Nome	Tipo di prova	X ²	Y ²
034027P986	IKEA	DH	133548.61	4974601.55
034027P987	EFSA	DH	130061.94	4972483.14
034027P988	RSA Villa Parma	DH	129440.60	4970266.58
034027P989	Nuova Scuola Racagni	DH	129201.46	4972516.49
034027P993	Chiesi	DH	131954.87	4975344.35
034027P994	Scuola Adorni	DH	130481.04	4972154.61
034027P995	Scuola Bottego	DH	133194.17	4970456.84
034027P996	Scuola Agazzi	MASW	129373.58	4977943.26
034027P997	Veterinaria	DH	129027.69	4973615.45
034027P998	Ex Centro Grafico	DH	129041.95	4967403.16
034027P999	Ingegneria	DH	129122.80	4967515.49
034027P1000	Volturmo	SCPTU	129051.37	4971097.58
034027P1001	Bioscienze	SCPTU	129308.45	4967837.25
034027P1002	Scuola Crociera	SCPTU	128839.45	4970711.79
034027P1003	Scuola Trottoia	SCPTU	129858.70	4971469.93
034027P1004	Scuola Lino Maupas	SCPTU	125047.84	4970061.13
034027P1005	Palestra Ulivi	DH	129944.64	4971122.45

Tab. 1 – Elenco delle verticali su cui è stata effettuata la risposta sismica locale

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. 2):

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

 Tab. 2 - Valori di $a_{ref,g}$ (10% di probabilità di superamento in 50 anni)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	22 di 235



3.2 Segnali in input

Quali segnali di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dalla piattaforma WebGIS sviluppata da EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna nell'ambito dell'accordo "Acquisizione del servizio di rilevamento a scala regionale del rischio sismico degli edifici residenziali ordinari e aggiornamento dei segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale negli studi di microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento"³.

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. Il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il servizio 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).

Gli accelerogrammi sono stati estratti per tempi di ritorno di 101 anni, per lo stato limite SLD, e 475 anni, per lo stato limite SLV.

Nel complesso, quindi, per ciascun sito, sono stati utilizzati 7 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale per lo stato limite SLD (cfr. Tab. 3) e 7 per lo stato limite SLV (cfr. Tab. 4). 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.

M _w	Distanza epicentrale	Fattore di scala	File
6.19	38.63	0.81 %	NGA RSN455_MORGAN_G01230.AT2
6.93	92.21	1.08 %	NGA RSN788_LOMAP_PJH315.AT2
5.90	50.00	2.12 %	ESM FC.ALG..HNE.D.19891029.190913.C.ACC.ASC
6.69	38.07	0.56 %	NGA RSN1091_NORTH_VAS090.AT2
6.60	62.00	1.05 %	KiKnet SAGH050503201053.NS2
5.40	26.40	1.44 %	ESM 4A.MI05..HNE.D.20090409.005259.C.ACC.ASC
6.50	44.30	2.15 %	ESM IT.GNU..HGN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC

Tab. 3 – Sismi estratti per un tempo di ritorno di 101 anni e utilizzati lo stato limite SLD

M _w	Distanza epicentrale	Fattore di scala	File
6.20	29.90	1.88 %	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
5.74	12.57	1.23 %	NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
6.69	38.07	0.95 %	NGA RSN1091_NORTH_VAS000.AT2
5.60	18.00	0.91 %	ESM IT.LRS..HNE.D.19980909.112800.C.ACC.ASC
6.20	78.79	2.52 %	NGA RSN2989_CHICHI.05_CHY102N.AT2
6.60	31.00	0.58 %	KiKnet SMNH100010061330.EW2
5.20	57.74	3.11 %	NGA RSN8167_SANSIMEO_DC2247.AT2

Tab. 4 – Sismi estratti per un tempo di ritorno di 475 anni e utilizzati per lo stato limite SLV

³ [R.E.R.\(eucentre.it\)](http://R.E.R.(eucentre.it))



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. 3.7 - 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, che sarebbero stati opportuni per seguire più fedelmente l'andamento della V_s con la profondità, introduce una complessità che non migliora i risultati.

Mediante il processo sopra descritto si giunge ad una prima discretizzazione della V_s 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 sotto riportato (Fig. 9) sono quelli effettivamente utilizzati nella RSL.

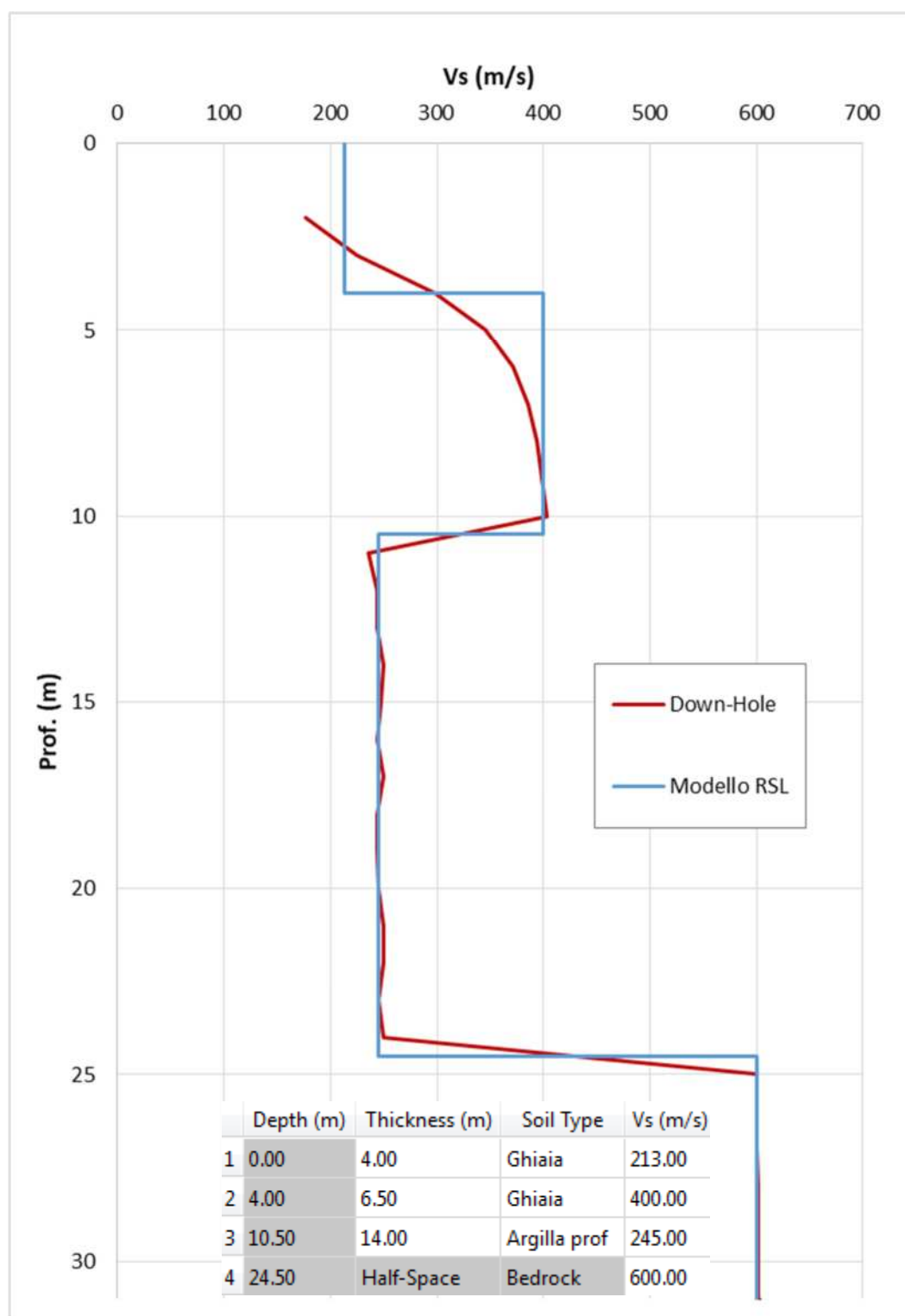


Fig. 9 – Esempio di discretizzazione della Vs e modello geofisico del codice di calcolo per uno dei siti oggetto di indagine



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

α, β, η, λ = 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. 10 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione DH2SH1.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	26 di 235

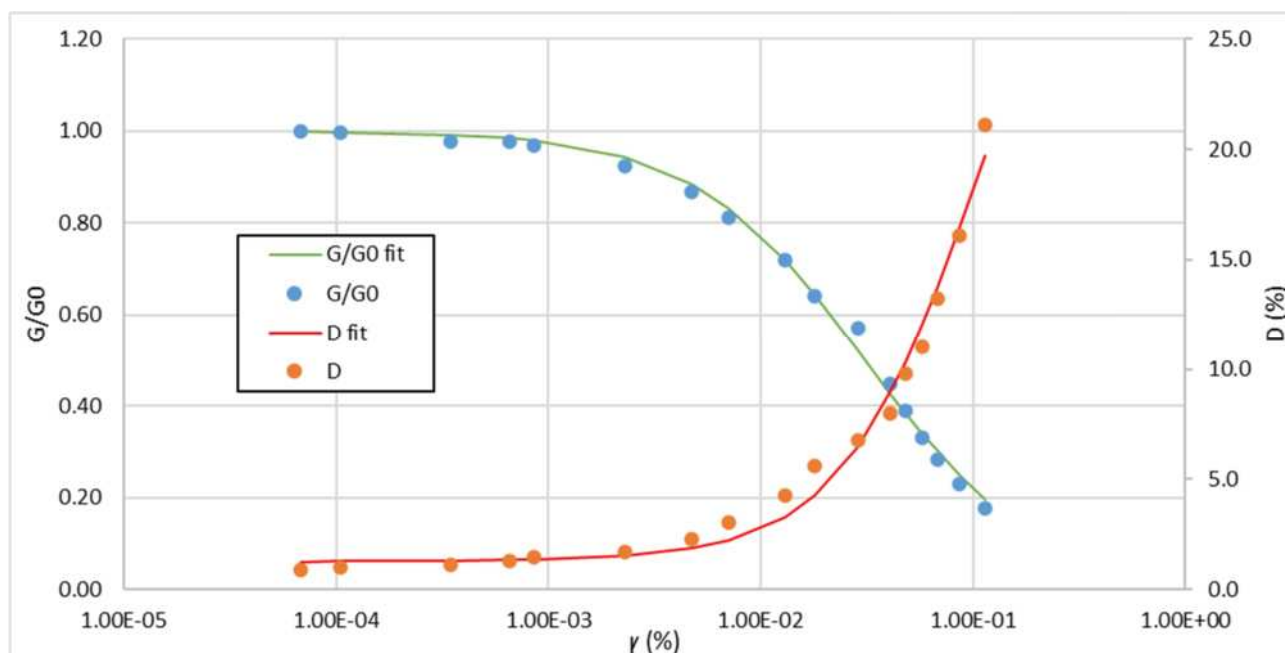


Fig. 10 – Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione DH2SH1

In Tab. 5 sono riportati i valori delle proprietà indice dei terreni analizzati per il presente studio.

Campione	Litologia	G_0 (MPa)	α	β	η	λ
DH1 Sh1	Lim o con argilla	120.34	36.50	1.33	24.87	2.03
DH2 Sh1	Lim o argilloso sabbioso	91.37	42.56	1.08	38.82	3.44

Tab. 5 – Riepilogo delle proprietà indice dei terreni analizzati

Le curve calcolate di cui sopra sono state integrate con curve presenti nell'archivio degli scriventi per indagini precedentemente effettuate sul territorio comunale (cfr. Tab. 6) e curve presenti in letteratura. In particolare per i depositi argillosi e limosi sono state utilizzate le curve di Vucetic & Dobry, (1993)⁴ e EPRI, (1993)⁵, per i depositi sabbiosi Sand Seed & Idriss (1970)⁶ e per le ghiaie Rollins (1998)⁷, (cfr. Tab. 7).

4 M. Vucetic; R. Dobry – 1991 – Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response - Journal of Geotechnical Engineering, [Vol. 117, Issue 1](#).

5 EPRI; 1993: Guidelines for determining design basic ground motions. EPRI, Report TR-102293-V2

6 H. B. Seed; I. M. Idriss – 1970 – Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses – University of California Berkeley Structural Engineers and Mechanics.

7 Rollins K.M., Evans M., Diehl N. and Daily W. – 1998 – Shear modulus and damping relationships for gravels. J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engrg., 124 (5), 396-405.





Campione	Profondità (m da p.c.)	Litologia	G_0 (MPa)	α	β	η	λ
Parco Ferrari DH1 Sh1	-27.00 ÷ -27.50	Limo con argilla	120.34	36.50	1.33	24.87	2.03
Bottego DH2 Sh1	-9.00 ÷ -9.70	Limo argilloso sabbioso	91.37	42.56	1.08	38.82	3.44
Corazza S2 CI3	-18.00 ÷ -18.70	Limo con argilla	157.5	18.74	0.98	11.52	1.58
Fognano S1 CI2	-7.10 ÷ -7.60	Limo con argilla	88.76	15.13	0.95	12.04	1.77
Corazza S1 CI4	-27.00 ÷ -27.70	Limo con argilla	205.5	20.97	1.01	11.52	1.34
Poviglio S1 Sh1	-4.00 ÷ -4.60	Limo argilloso sabbioso	28.6	13.05	0.93	22.28	2.3
Ospedale S1 Sh2	-9.00 ÷ -9.60	Limo argilloso sabbioso	79.84	39.01	1.11	22.38	2.61
Ospedale S1 Sh4	-25.00 ÷ -25.60	Limo argilloso sabbioso	115.97	29.23	1.19	22.74	2.46
Chiesi S1 CI4	-17.90 ÷ -18.40	Argilla con limo	33.4	12.12	1.1	28.49	2.19
Adorni S2 Sh2	-12.00 ÷ -12.60	Limo con argilla	49.70	11.38	1.09	23.65	2.5
Sorbolo S1 Sh2	-18.10 ÷ -18.70	Limo con argilla	77.89	53.76	1.25	25.35	2.54
Veterinaria S1DH CI1	-3.20 ÷ -3.55	Argilla con limo	40.00	23.50	1.3	14.26	2.17
Campus DH1 Sh1	-18.50 ÷ -18.85	Argilla limosa sabbiosa	73.84	9.33	1.04	21.05	1.61
Campus S1 Sh1	-9.20 ÷ -9.90	Limo argilloso sabbioso	75.58	19.05	0.99	23.18	2.48
Volturmo DH1 Sh1	-5.00 ÷ -5.50	Argilla limosa	53.03	18.71	1.14	25.12	2.41
Campus DH1 Sh2	-37.80 ÷ -38.40	Argilla limosa sabbiosa	66.83	10.62	1.21	57.68	2.8
Campus DH2 Sh1	-13.60 ÷ -14.20	Argilla limosa sabbiosa	100.40	25.32	1.19	26.64	2.48
Crociera S1-DH CI2	-11.30 ÷ -11.85	Argilla con limo	39	9.92	1.08	41.72	3.46
Crociera S1-DH CI4	-30.00 ÷ -30.45	Limo con argilla	110	9.34	0.91	31.67	3.64
Trottola S1 CI3	-7.90 ÷ -8.50	Limo argilloso	48	11.74	1.1	21.7	2.13
Lino Maupas S1 SH1	-2.00 ÷ -2.50	Limo argilloso	87	36.79	1.18	17.21	1.28

Tab. 6 – Riepilogo dei parametri caratteristici delle curve provenienti dall'archivio

Campione	Litologia	α	β	η	λ
Vucetic & Dobry PI= 0	Argilla e limo	36.50	1.33	24.87	2.03
Vucetic & Dobry PI= 15	Argilla e limo	42.56	1.08	38.82	3.44
Vucetic & Dobry PI= 30	Argilla e limo	18.74	0.98	11.52	1.58
Vucetic & Dobry PI= 50	Argilla e limo	15.13	0.95	12.04	1.77
EPRI (93) PI = 30	Argilla e limo	20.97	1.01	11.52	1.34
Sand Seed & Idriss	Sabbia	13.05	0.93	22.28	2.3
Rollins	Ghiaia	39.01	1.11	22.38	2.61

Tab. 7 – Riepilogo dei parametri caratteristici delle curve da letteratura

Nelle seguenti figure sono riportate le curve di interpolazione per i parametri G/G_0 e D calcolati per questo lavoro o provenienti dall'archivio (cfr. Fig. 11), e quelle provenienti da letteratura (cfr. Fig. 12)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	28 di 235

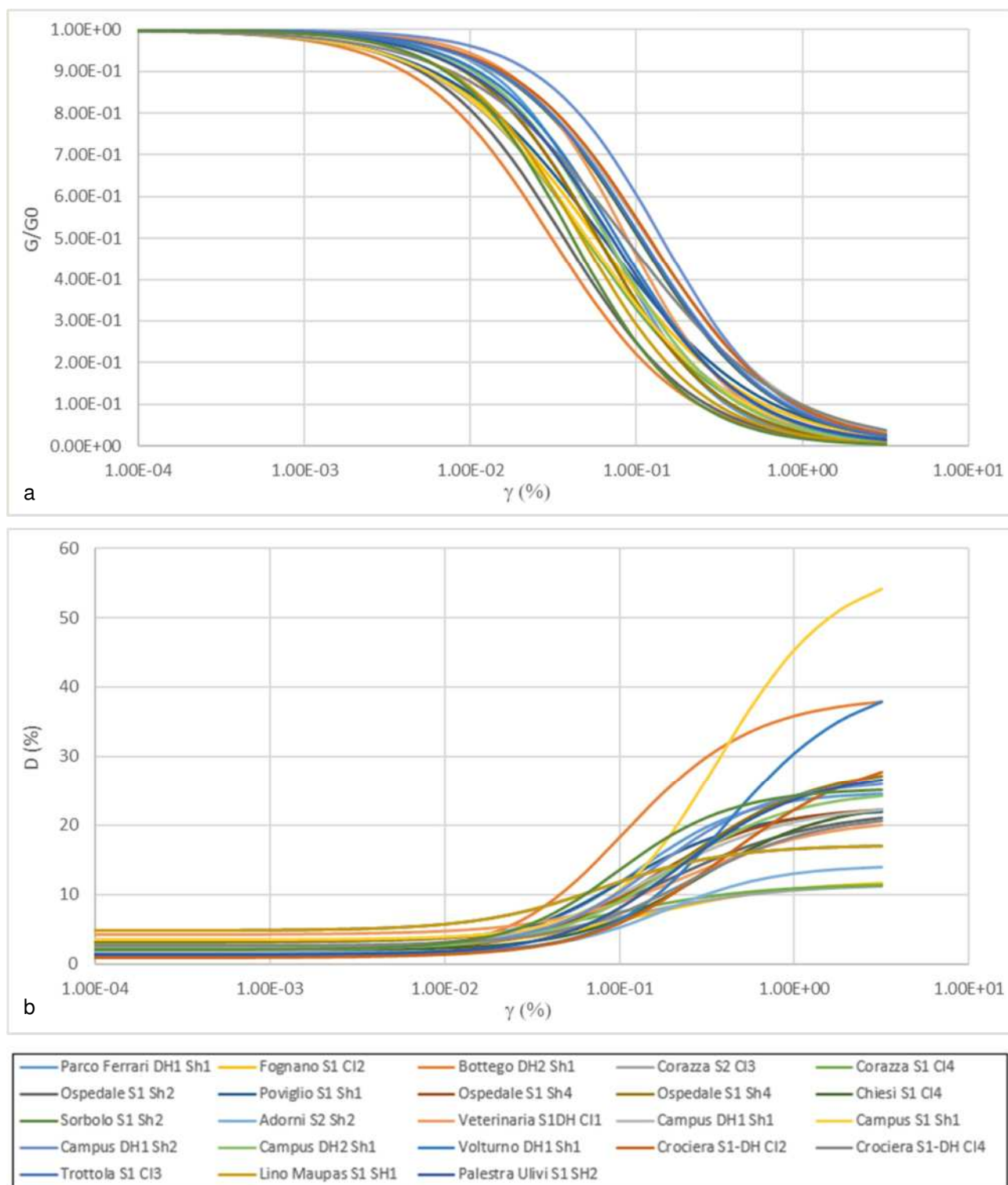


Fig. 11 – Grafico delle curve di interpolazione G/G_0 (a) e D (b) calcolate sperimentalmente

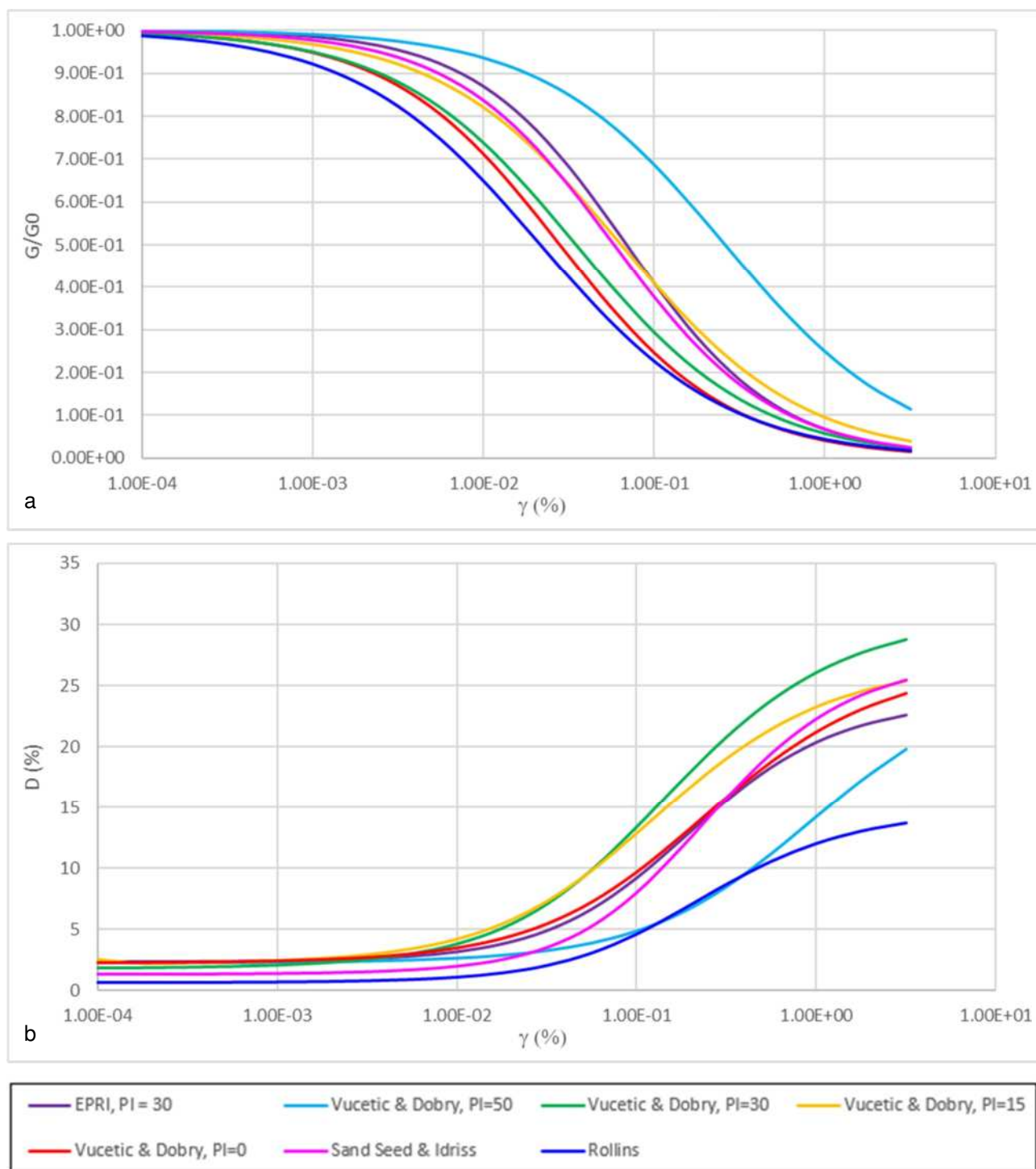


Fig. 12 – Grafico delle curve di interpolazione G/G_0 (a) e D (b) da letteratura utilizzate

Nelle analisi di RSL realizzate per le verticali in cui non erano presenti dati relativi alle curve D e G/G_0 , sono stati utilizzati i dati delle prove ritenute più adatte in funzione della descrizione litologica e, dove disponibili, dei parametri geotecnici.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	30 di 235



3.4 Procedura di analisi RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC.

Il codice di calcolo LSR2D consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale, come nel caso in esame, è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

3.4.1 Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Fig. 13. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- G = Modulo di taglio;
- η = viscosità del mezzo;

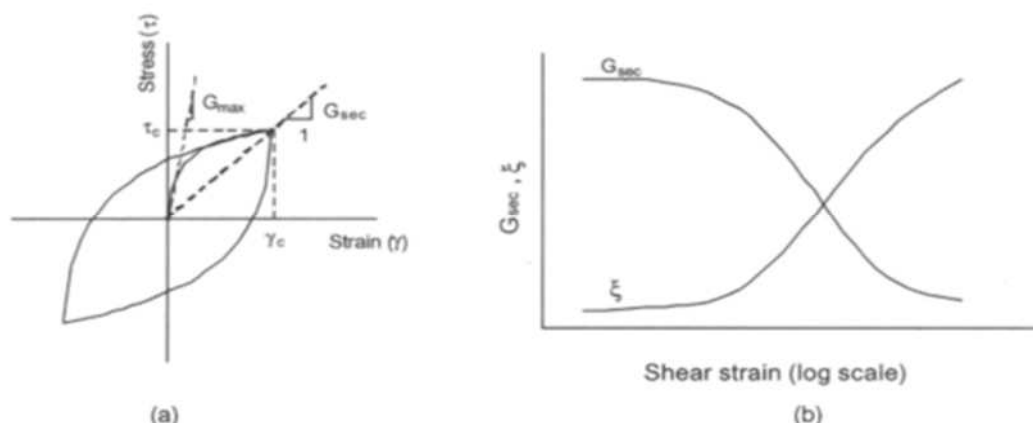


Fig. 13 - Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Fig. 13. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva $G_s - \gamma$ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva $\tau - \gamma$ e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- ΔW^{dissp} = quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- W^{max} = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Fig. 13b).



3.4.2 Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Fig. 14) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

M = matrice di massa del sistema;

C = matrice di smorzamento del sistema;

K = matrice di rigidità del sistema;

$\ddot{u}, \dot{u}, u$ = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;

a_g = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo t_n e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni t_n viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}\dot{u}_n &= \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n] \\ u_n &= u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]\end{aligned}$$

dove:

Δt = incremento temporale tra l'istante di tempo t_n e t_{n-1} ;

β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;

γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato MS 3 - Relazione illustrativa	Data Aprile 2023	Agg. 3	Pag. 33 di 235
---	--	---------------------	-----------	-------------------

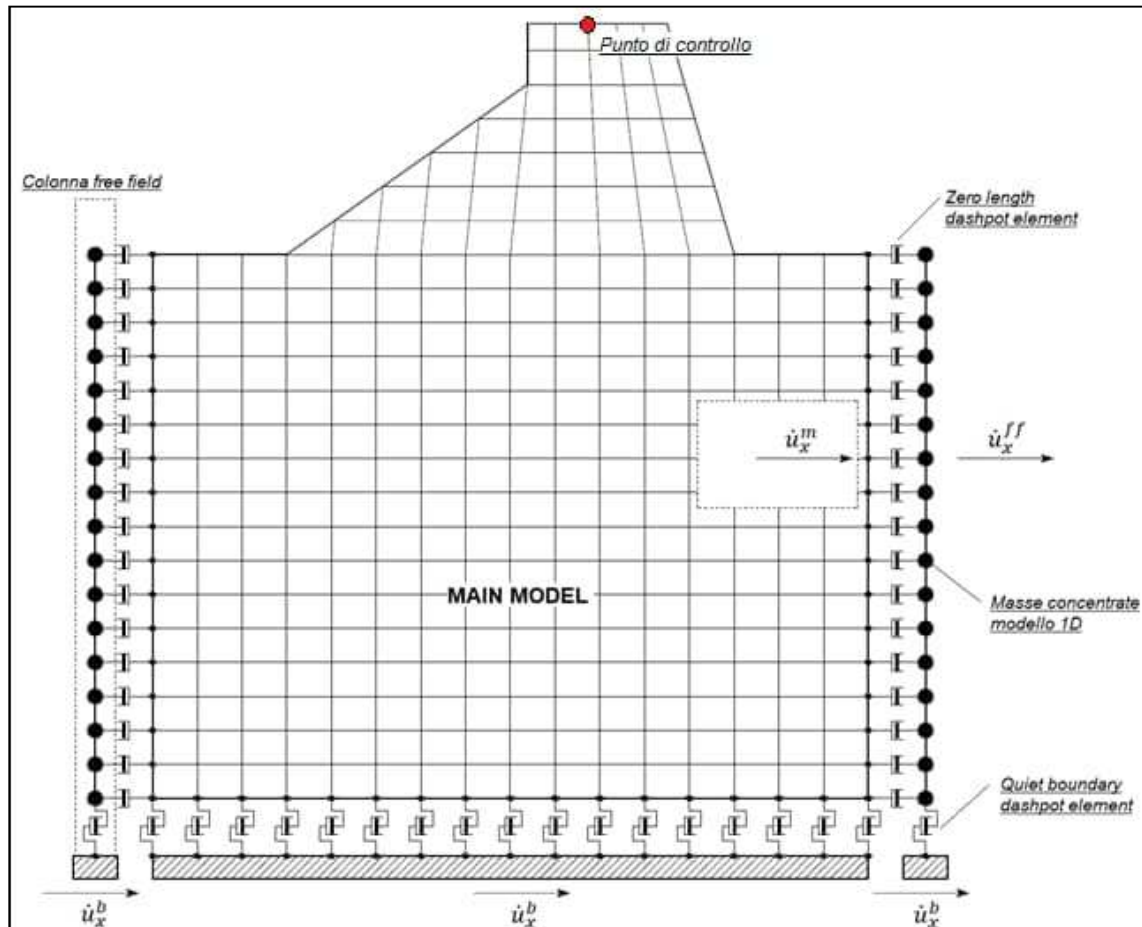


Fig. 14 - Discretizzazione FEM del terreno.

3.4.3 Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Rayleigh;

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\begin{aligned} \dot{u}_n &= \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n] \\ u_n &= u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n] \end{aligned}$$

da cui si ottiene (Hudson, 1994):



$$D_q = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

dove:

- ω_1 = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$ con $n = \omega_i / \omega_1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ω_i frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

3.4.4 Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidezza e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico, è il seguente:

1. definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
2. inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
3. calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1);
4. aggiornamento dei valori $G_1 = G(\gamma_1)$ e $D_1 = D(\gamma_1)$;
5. iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$).

3.4.5 Interpretazione dei risultati

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

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA – di cui in Fig. 15 si riporta un esempio), da cui è stato derivato, mediante la formula $PSV(T_i) = T_i * PSA(T_i) / 2\pi$, lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV di cui in Fig. 16 si riporta un esempio); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output.
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità (di cui in Fig. 17 si riporta un esempio);
- 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 (FH_{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:

$$\begin{aligned}
 FH_{IS\ 0.1-0.5} &= \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt} \\
 FH_{IS\ 0.5-1.0} &= \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt} \\
 FH_{IS\ 0.5-1.5} &= \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}
 \end{aligned}$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA_{SA}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido in diversi intervalli. I rapporti risultano pertanto:

$$\begin{aligned}
 FA_{SA\ 0.1-0.5} &= \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{superficie}(T) dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{suolo\ rigido}(T) dt} \\
 FA_{SA\ 0.4-0.8} &= \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{superficie}(T) dt}{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{suolo\ rigido}(T) dt} \\
 FA_{SA\ 0.7-1.1} &= \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{superficie}(T) dt}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{suolo\ rigido}(T) dt} \\
 FA_{SA\ 0.5-1.5} &= \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSA_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSA_{suolo\ rigido}(T) dt}
 \end{aligned}$$

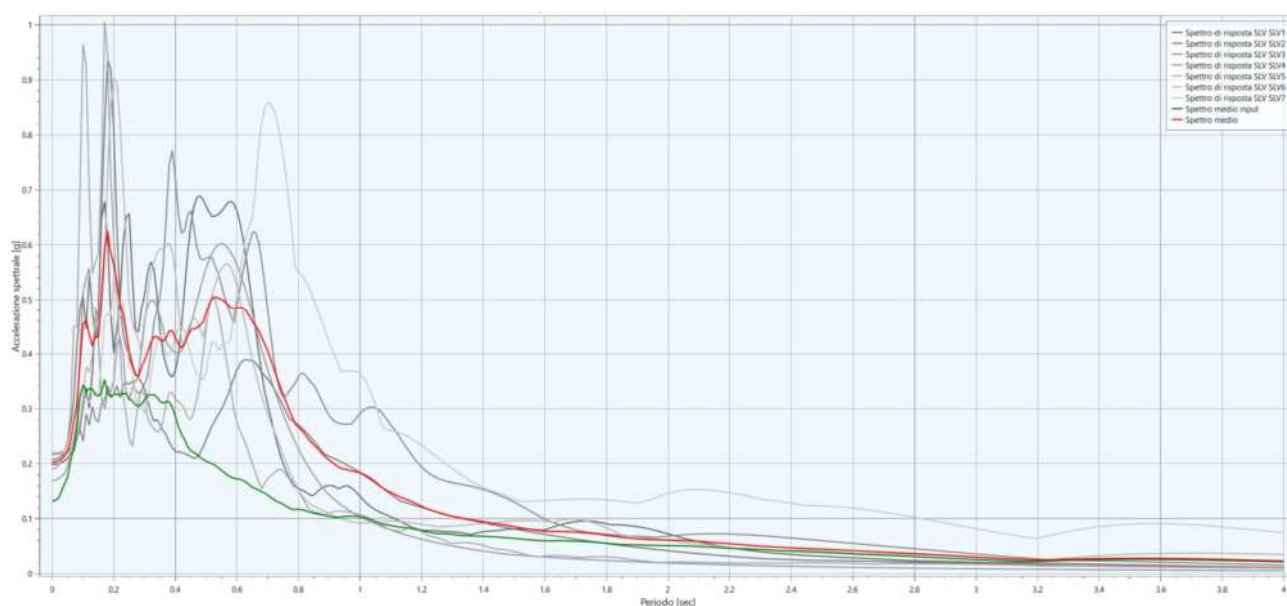


Fig. 15 – Esempio di spettro elastico in accelerazione (in grigio gli spettri dei singoli accelerogrammi, in verde lo spettro medio di input, in rosso lo spettro medio di output)

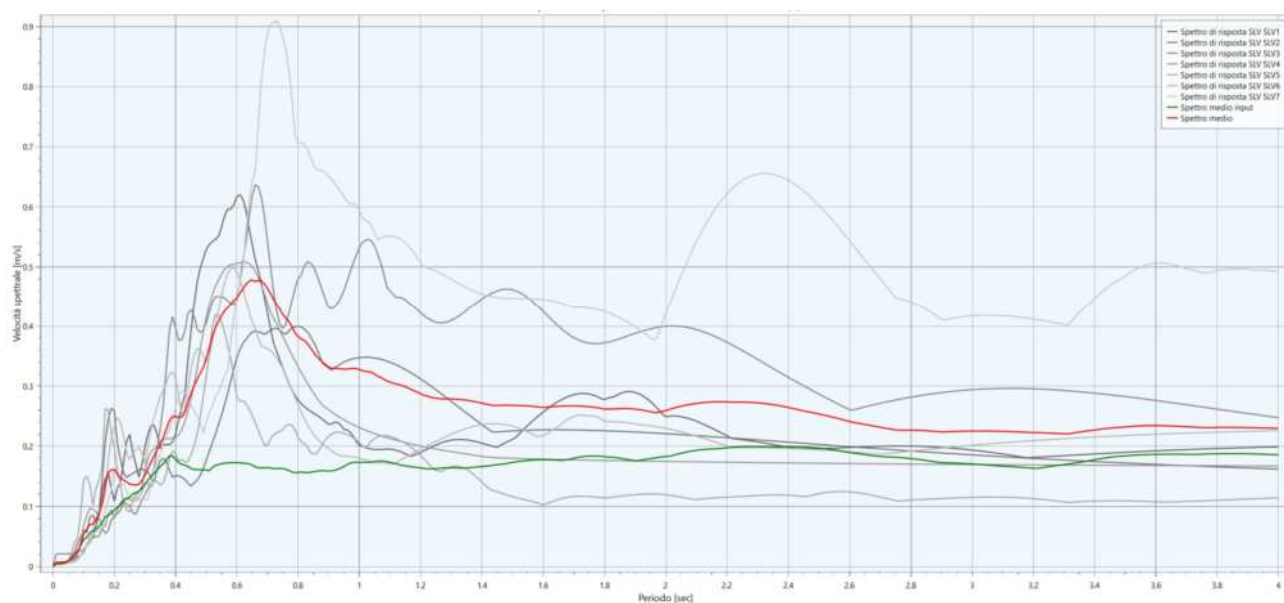


Fig. 16 – Spettro elastico in velocità (in grigio gli spettri dei singoli accelerogrammi, in verde lo spettro medio di input, in rosso lo spettro medio di output)



Fig. 17 – Variazione dell'accelerazione con la profondità



3.4.6 Spettri di risposta normalizzati

Le verifiche progettuali delle strutture richiedono anche i parametri espressi secondo i parametri di normativa (a_g , F_0 , T_B , T_C , T_C^* , T_D , C_C , S , η); per questo motivo, è necessario dapprima normalizzare lo spettro elastico ricavato dalla risposta sismica locale.

Considerato che la procedura di normalizzazione dello spettro non è prevista dalle NTC 2018 si sono seguite le indicazioni fornite dalle Ordinanze P.C.M N° 24 del 12/5/2017 e n° 55 del 24/4/2018, modificate per la sola determinazione di T_d^8 con il metodo di Newmark-Hall⁹.

La normalizzazione dello spettro è avvenuta attraverso la seguente metodologia:

- Dallo spettro in pseudoaccelerazione calcolato con la RSL (SA) si determina il periodo proprio (T_A) per il quale è massimo il valore dello stesso;
- Si calcola il valore medio dello spettro (SA_m) nell'intorno di T_A tra $0.5 T_A$ e $1.5 T_A$. Questo valore viene assunto come valore costante del tratto ad accelerazione costante dello spettro standard:

$$SA_m = \int_{0.5T_A}^{1.5T_A} SA(T) dT$$

- Si determina lo spettro di pseudovelocità (SV) a partire da quello di accelerazione, moltiplicando le ordinate spettrali di quest'ultimo per l'inverso della corrispondente frequenza circolare $\omega = 2\pi/T$:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

e quindi si individua il periodo (TV) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudovelocità;

- Si calcola il valore medio dello spettro (SV_m) nell'intorno di TV tra $0.8 TV$ e $1.2 TV$:

$$SV_m = \frac{1}{0.4 * TV} \int_{0.8TV}^{1.2TV} SV(T) dT$$

- Si determina il periodo in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_C = 2\pi * \frac{SV_m}{SA_m}$$

- Si determina lo spettro di pseudospostamento (SD) a partire da quello di velocità e quindi si individua il periodo (TD) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudospostamento;
- Si calcola il valore medio dello spettro (SD_m) nell'intorno di TD tra $0.8 TD$ e $1.2 TD$:

⁸ La modifica del valore di T_D si è resa necessaria poiché la formula indicata dalla dalle ordinanze porta ad una evidente sovrastima dello spettro nel tratto tra T_C e T_D .

⁹ Newmark NM, Hall WJ, Earthquake Spectra and Design, EERI Monograph Series, 1982.



$$SD_m = \frac{1}{0.4 * TD} \int_{0.8TD}^{1.2TD} SD(T) dT$$

h) Si calcola il valore di T_D con la formula:

$$T_D = 2\pi * \frac{SD_m}{SV_m}$$

i) Si determina $T_B = 1/3 * T_C$

j) Si determina il valore di F_0 come rapporto SA_m/a_{max} , dove a_{max} è ricavato dalla seguente equazione:

$$a_{max} = \left(\frac{S_e(T=0.01s)}{SA_m} - \frac{0.01}{T_B} \right) * \left(\frac{SA_m}{1 - \frac{0.01}{T_B}} \right)$$

k) Si applicano le seguenti equazioni riportate in NTC 2018 (Cap. 3.2.3.2.1) per la determinazione dei tratti dello spettro tra $T_A=0$, T_B , T_C , T_D , fino a un T di interesse.

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta * F_0} * \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0 \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

3.5 Risultati della modellazione numerica

Di seguito vengono presentati in dettaglio i risultati delle analisi effettuate sulle 41 verticali studiate.

3.5.1 RSL per il sito 034027P929 – SCPTU 1

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	0.00	-16.00	16.00	18.00	160.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia	-16.00	-25.20	9.20	21.00	457.00	Rollins
Argilla 2	-25.20	-32.00	6.80	19.00	300.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-32.00	-	-	22.00	650.00	-

Tab. 8 – Modello geofisico della verticale 034027P929 – SCPTU 1

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	40 di 235

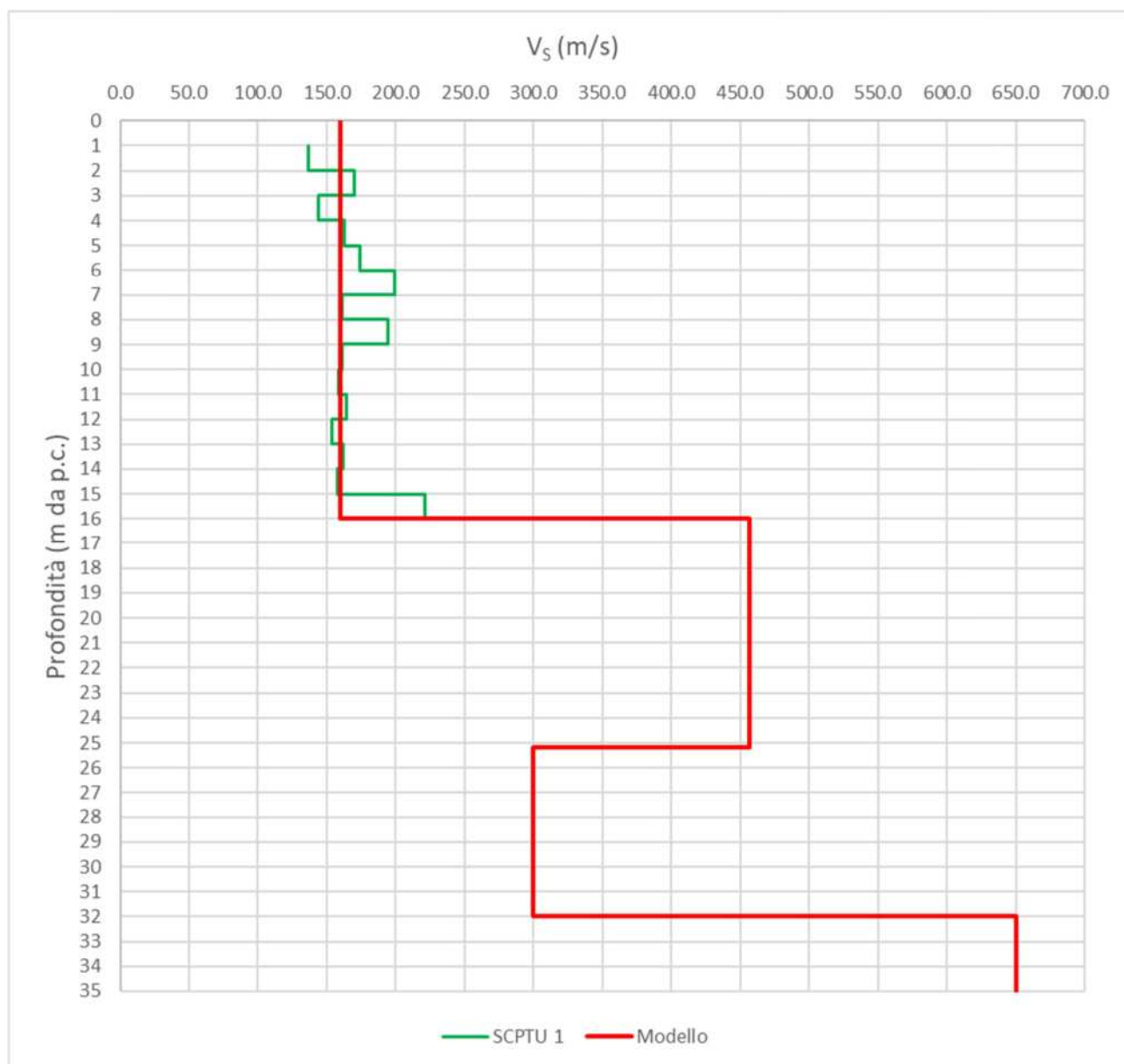


Fig. 18 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P929 – SCPTU 1

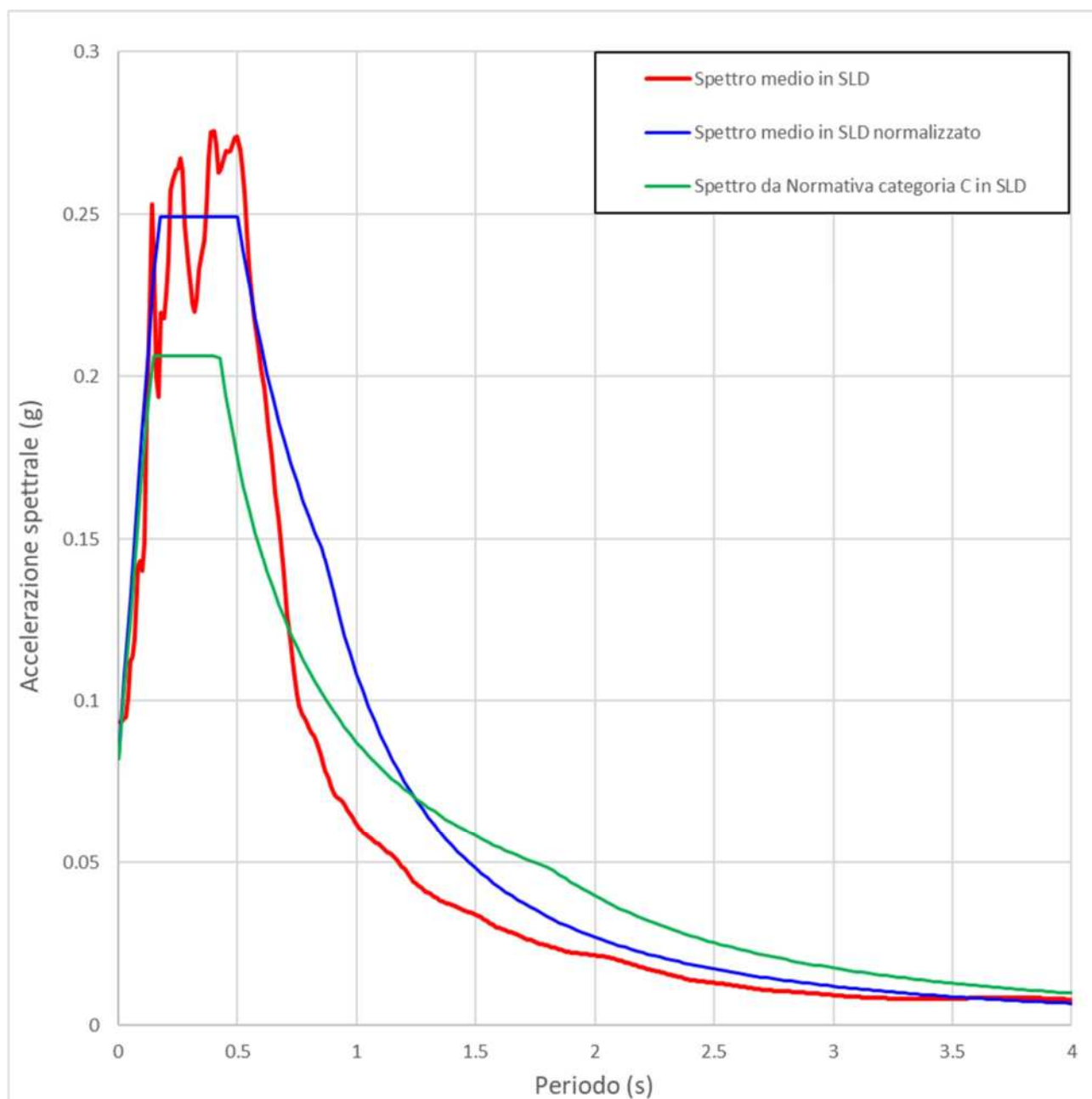


Fig. 19 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P929 – SCPTU 1 in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_0	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.083	2.987	0.354	1.000	1.000	0.168	0.503	0.864	1.420

Tab. 9 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P929 – SCPTU 1 in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	42 di 235

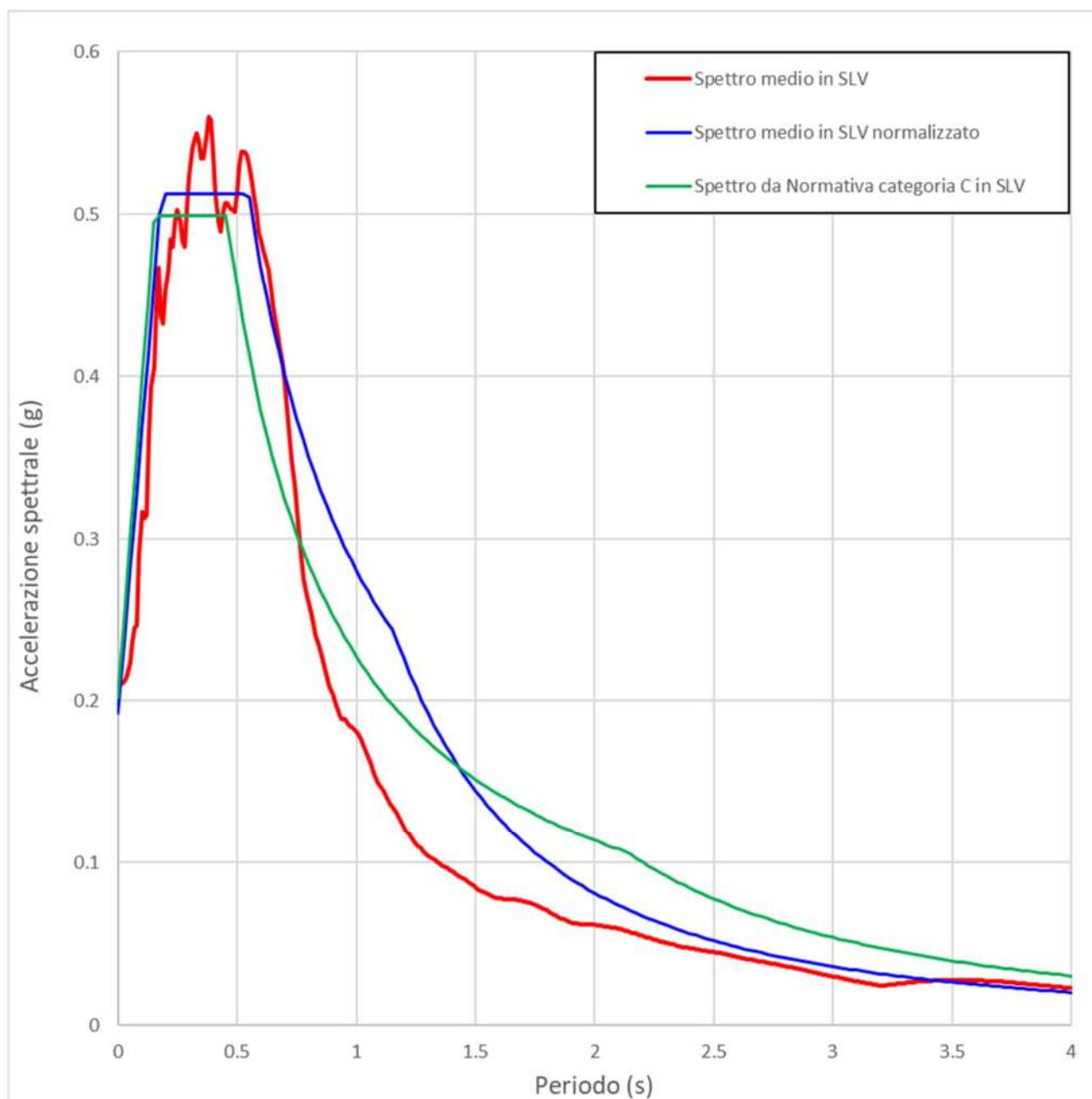


Fig. 20 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P929 – SCPTU 1 in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max} (T=0)$	F_0	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.192	2.668	0.386	1.000	1.000	0.183	0.548	1.160	1.420

Tab. 10 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P929 – SCPTU 1 in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	43 di 235

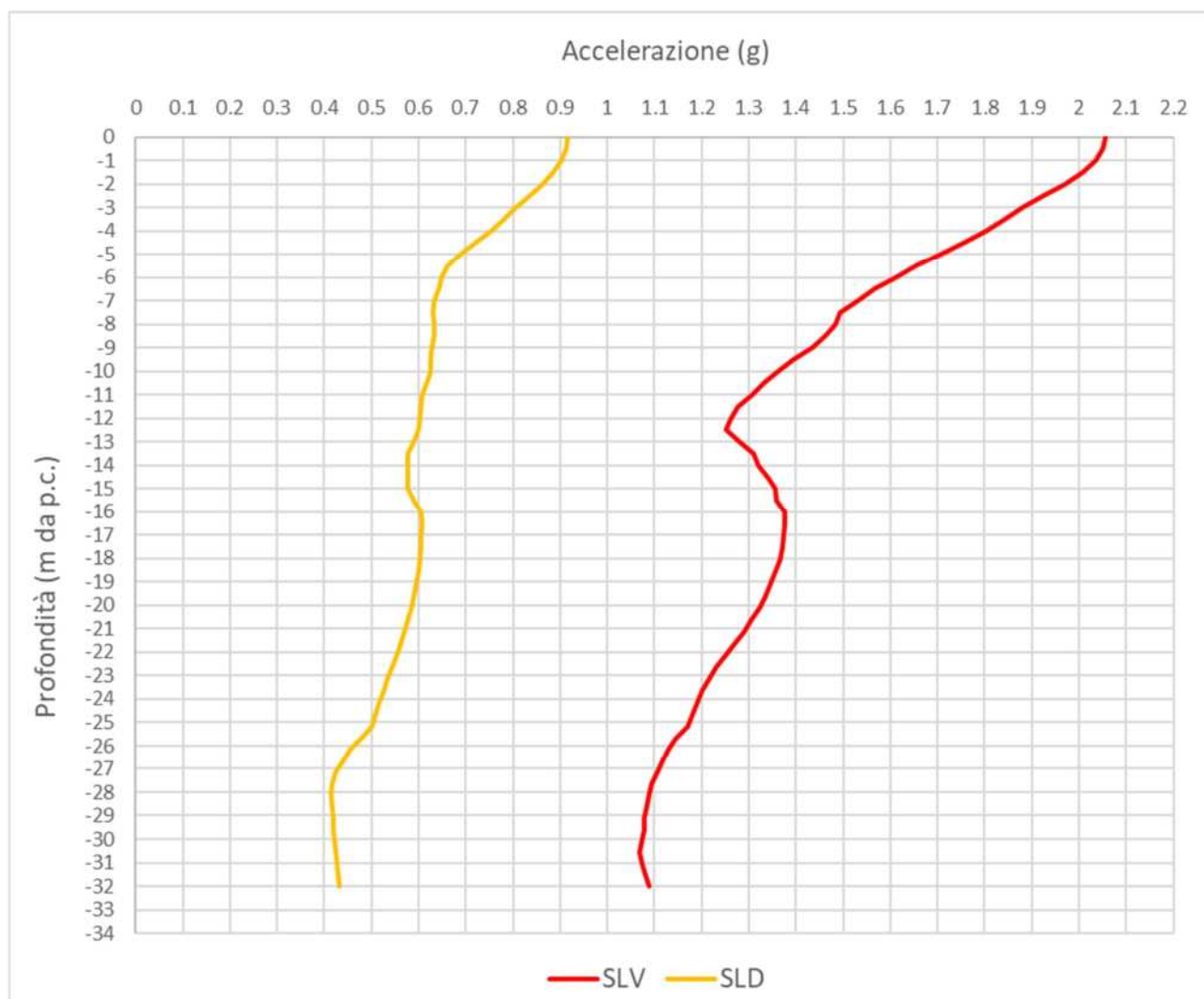


Fig. 21 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P929 – SCPTU 1

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.59
FA (0.4-0.8 s)	2.55
FA (0.5-1.5 s)	2.15
FA (0.7-1.1 s)	2.05
PGA/PGA ₀	1.54
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.62
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.39
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	2.06

Tab. 11 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P929 – SCPTU 1

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	44 di 235



3.5.2 RSL per il sito 034027P930 – SCPTU 2

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	0.00	-22.00	22.00	18.00	180.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Bedrock	-22.00	-	-	21.00	390.00	-

Tab. 12 – Modello geofisico della verticale 034027P930 – SCPTU 2

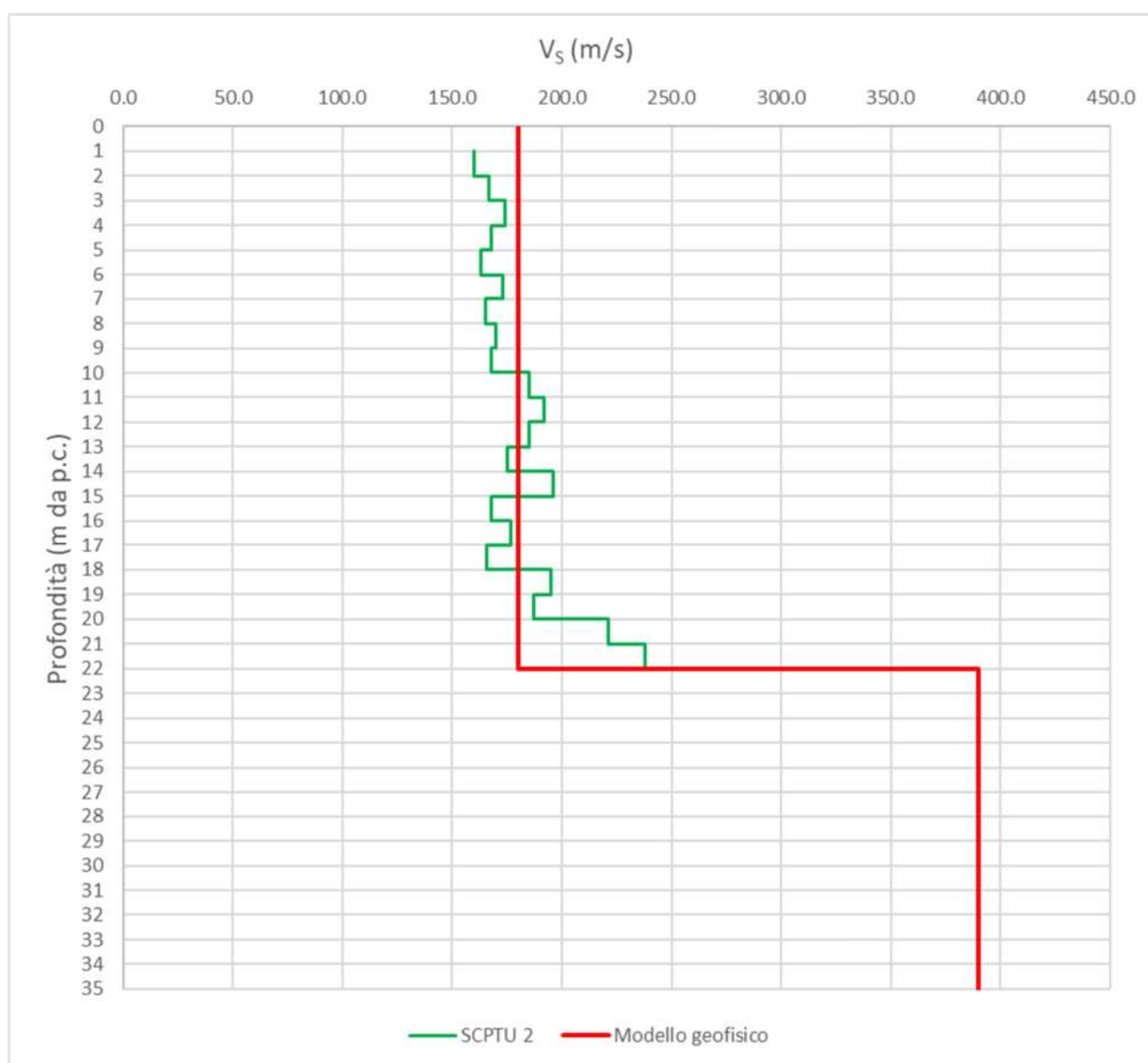


Fig. 22 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P930 – SCPTU 2

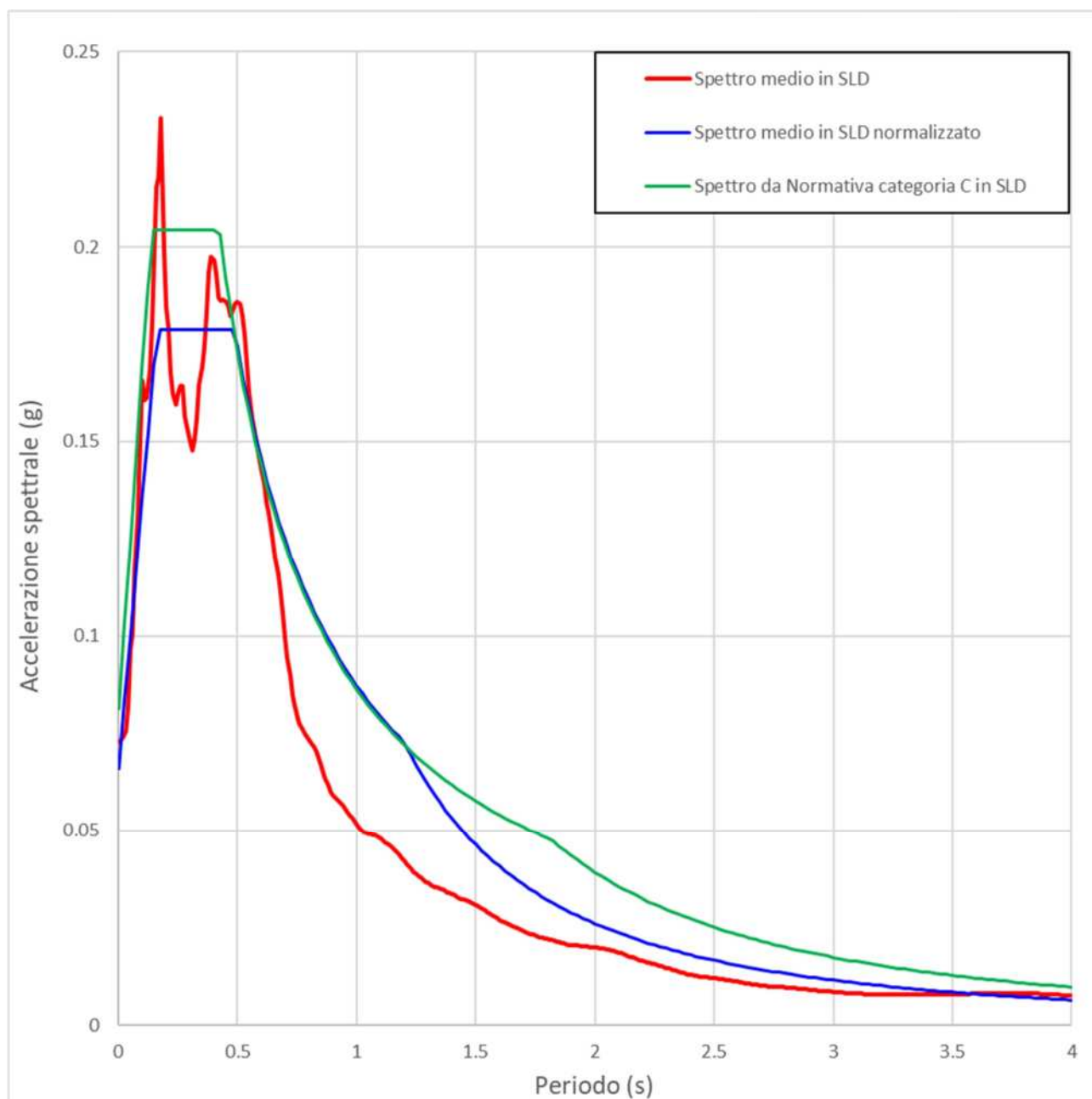


Fig. 23 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P930 – SCPTU 2 in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.066	2.706	0.344	1.000	1.000	0.163	0.489	1.195	1.420

Tab. 13 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P930 – SCPTU 2 in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	46 di 235

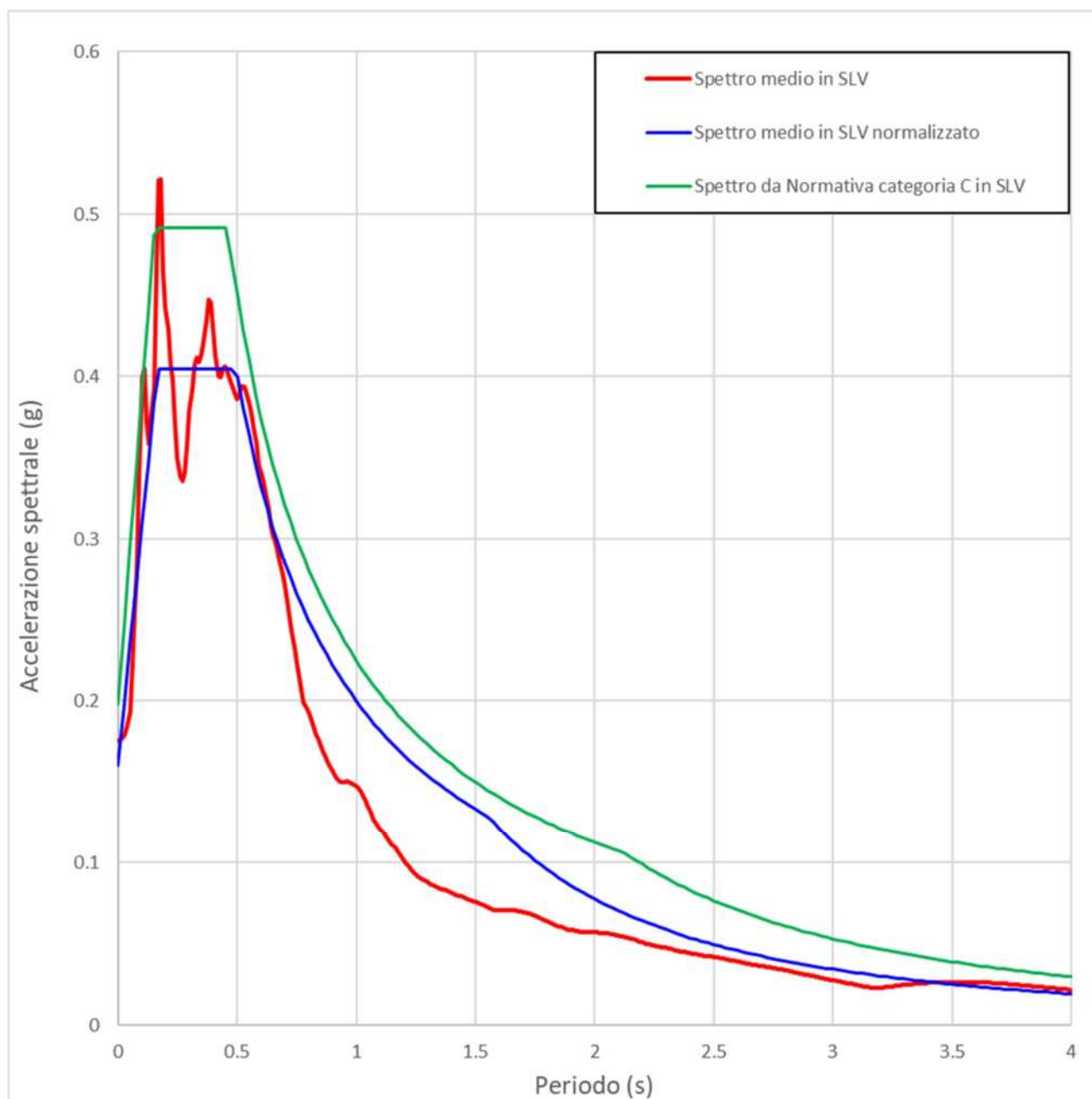


Fig. 24 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P930 – SCPTU 2 in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.161	2.520	0.348	1.000	1.000	0.165	0.494	1.554	1.420

Tab. 14 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P930 – SCPTU 2 in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	47 di 235

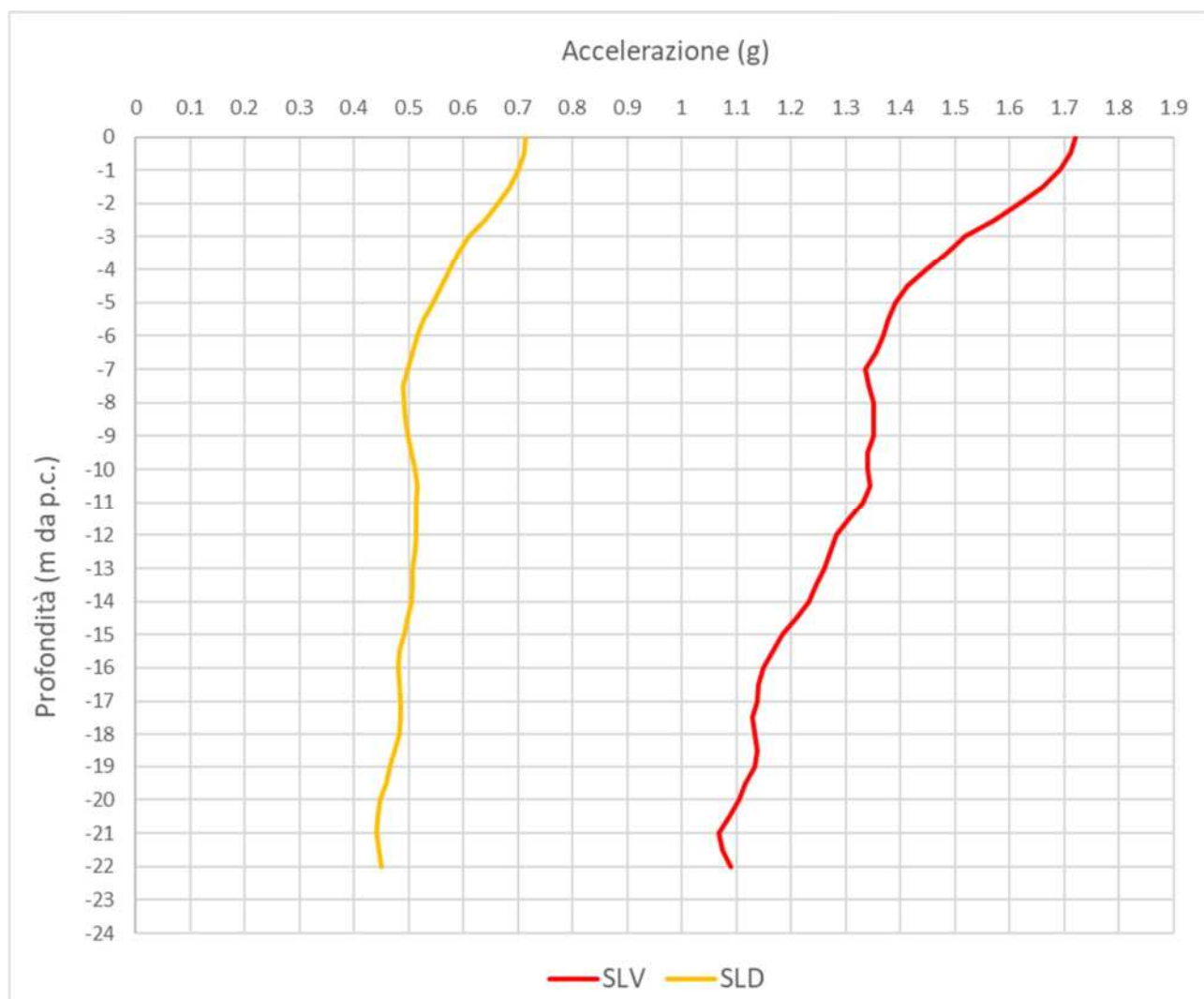


Fig. 25 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P930 – SCPTU 2

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.36
FA (0.4-0.8 s)	1.88
FA (0.5-1.5 s)	1.64
FA (0.7-1.1 s)	1.58
PGA/PGA ₀	1.31
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.37
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.78
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.62

Tab. 15 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P930 – SCPTU 2



3.5.3 RSL per il sito 034027P931 – SCPTU 3

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	0.00	-42.60	42.60	18.00	170.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Bedrock	-42.60	-	-	21.00	490.00	-

Tab. 16 – Modello geofisico della verticale 034027P931 – SCPTU 3

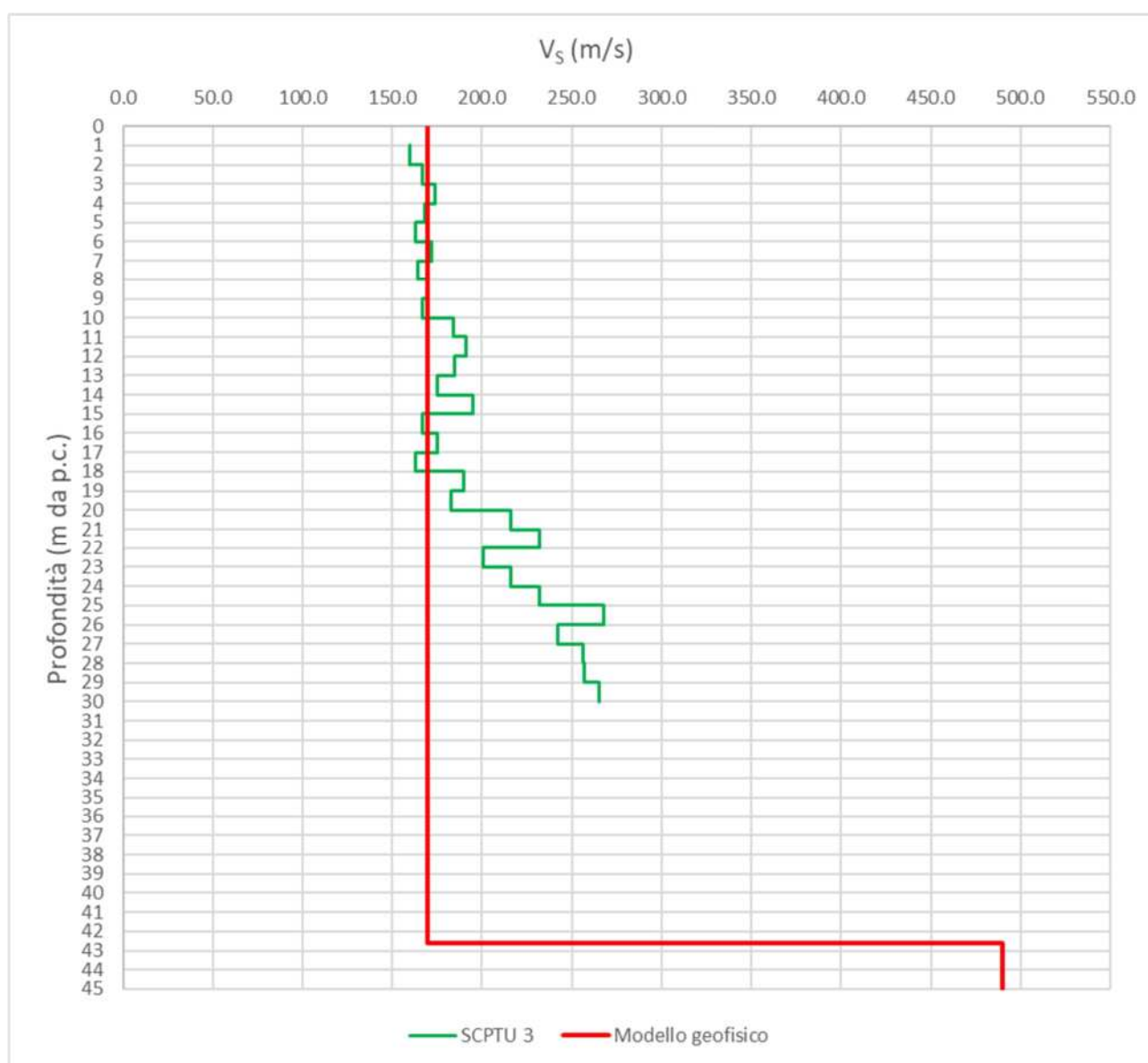


Fig. 26 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P931 – SCPTU 3

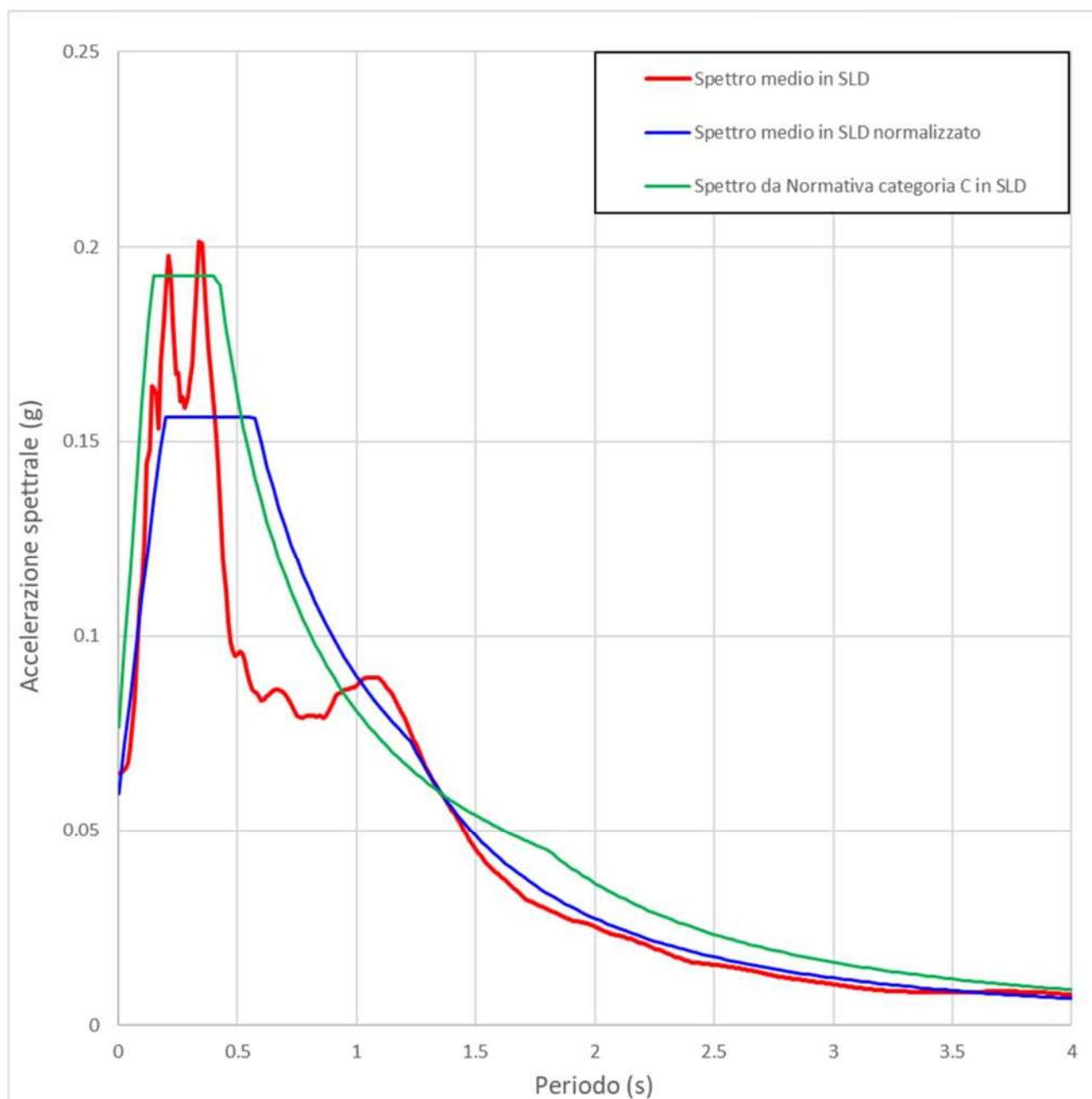


Fig. 27 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P931 – SCPTU 3 in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.060	2.619	0.404	1.000	1.000	0.191	0.574	1.221	1.420

Tab. 17 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P931 – SCPTU 3 in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	50 di 235

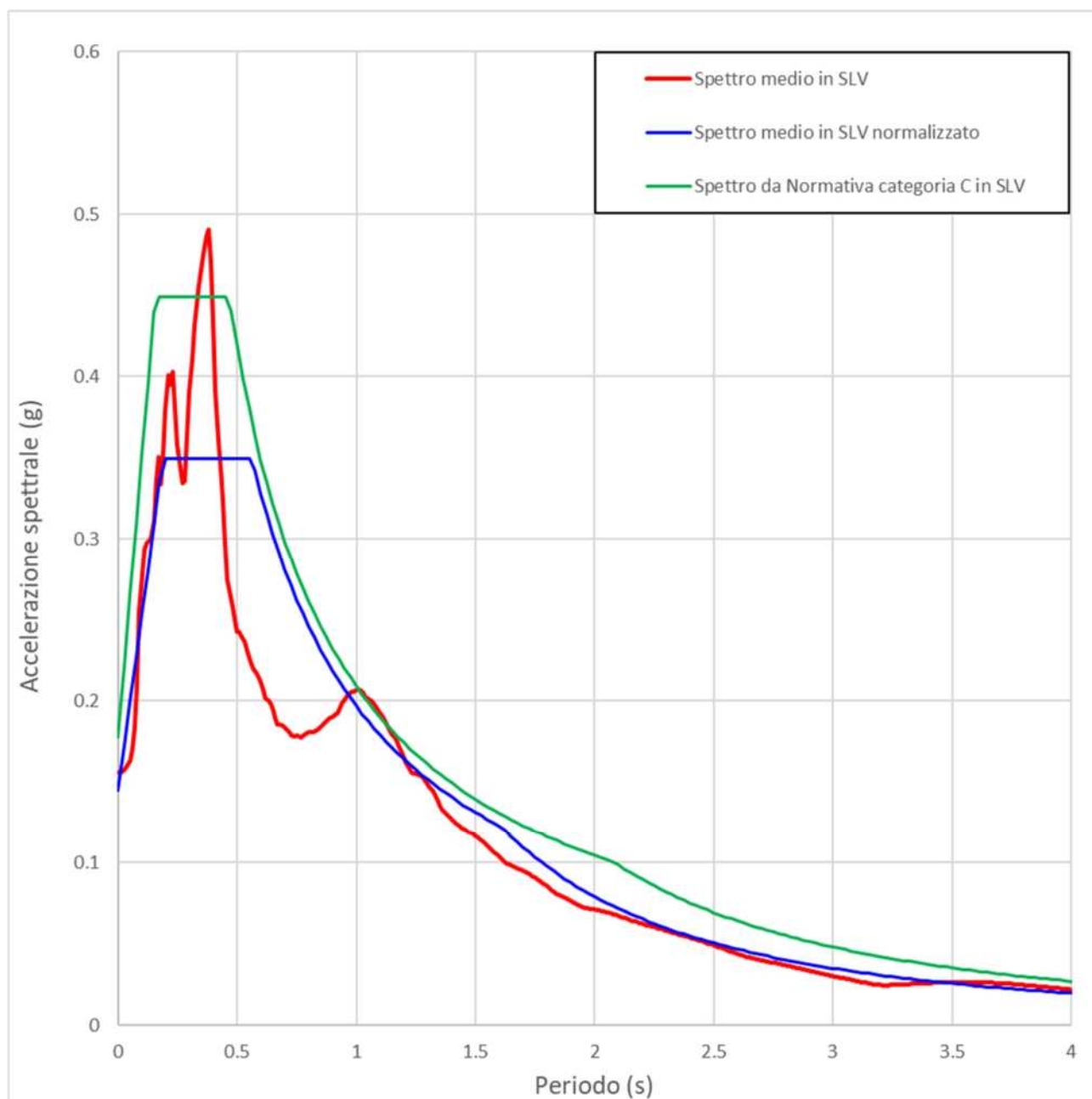


Fig. 28 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P931 – SCPTU 3 in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.145	2.411	0.397	1.000	1.000	0.188	0.564	1.607	1.420

Tab. 18 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P931 – SCPTU 3 in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	51 di 235

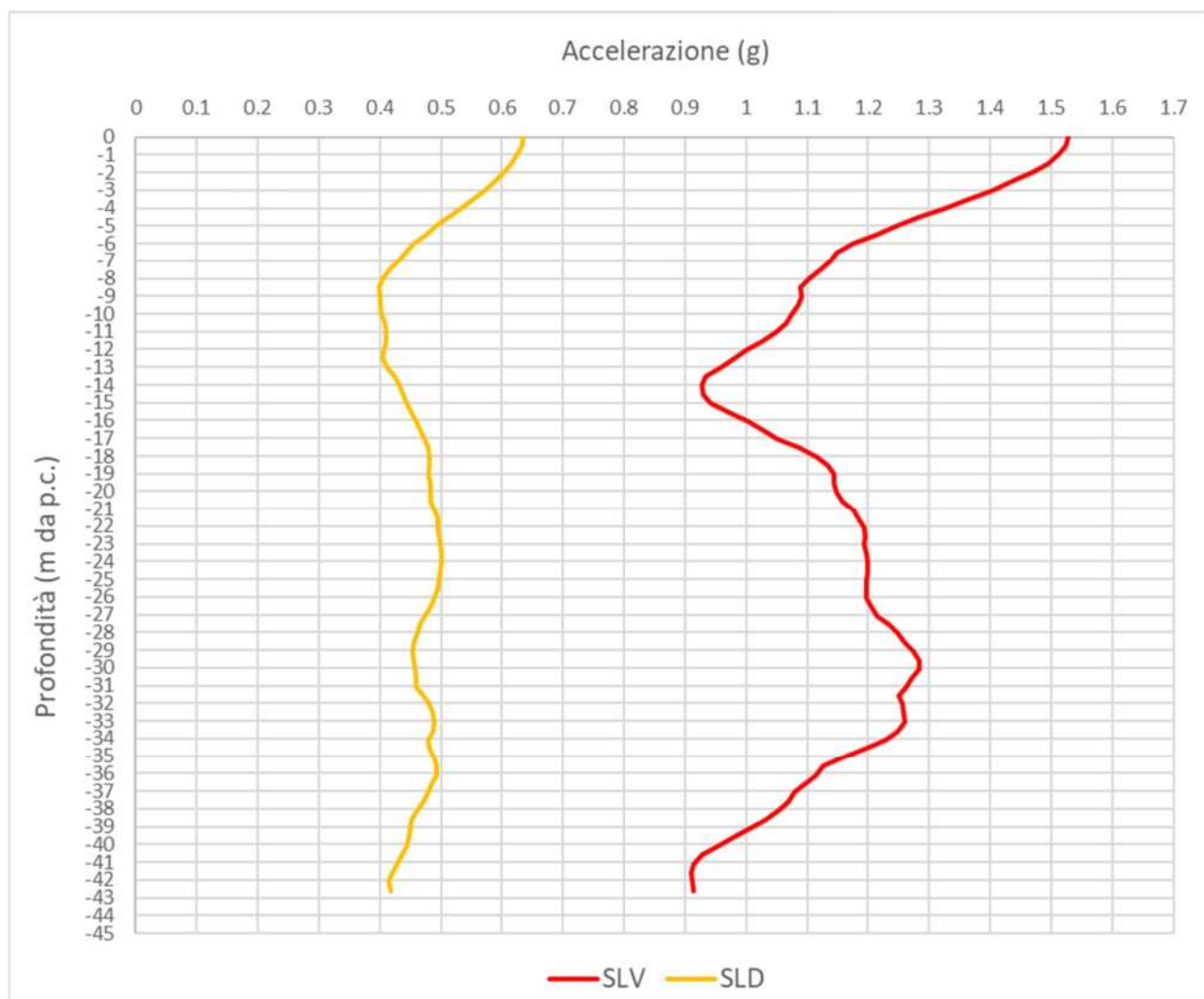


Fig. 29 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P931 – SCPTU 3

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.35
FA (0.4-0.8 s)	1.44
FA (0.5-1.5 s)	1.84
FA (0.7-1.1 s)	2.00
PGA/PGA ₀	1.30
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.35
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.53
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.80

Tab. 19 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P931 – SCPTU 3

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	52 di 235



3.5.4 RSL per il sito 034027P932 – SCPTU 4

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	0.00	-23.00	23.00	18.00	170.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Bedrock	-23.00	-	-	22.00	450.00	-

Tab. 20 – Modello geofisico della verticale 034027P932 – SCPTU 4

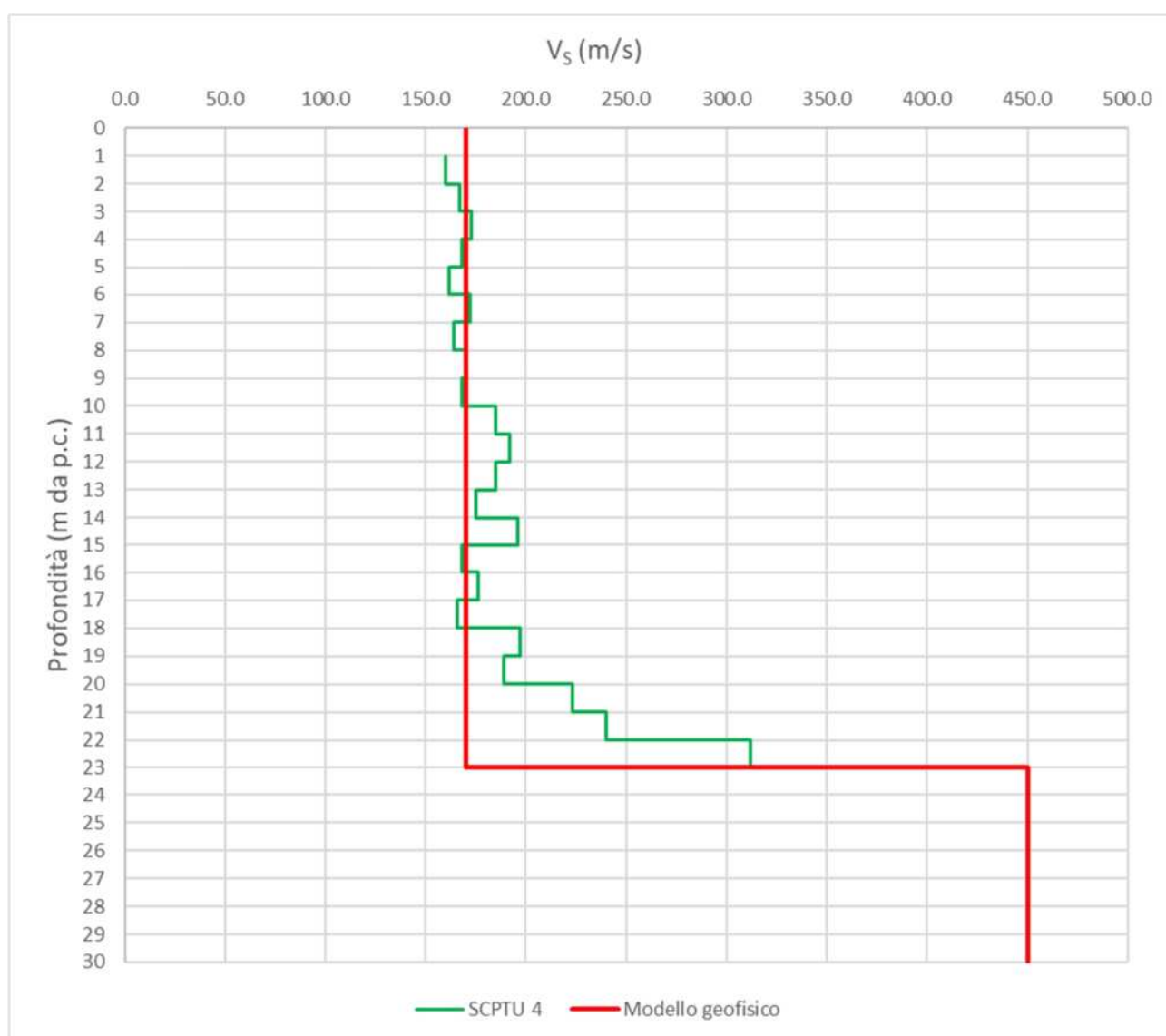


Fig. 30 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P932 – SCPTU 4

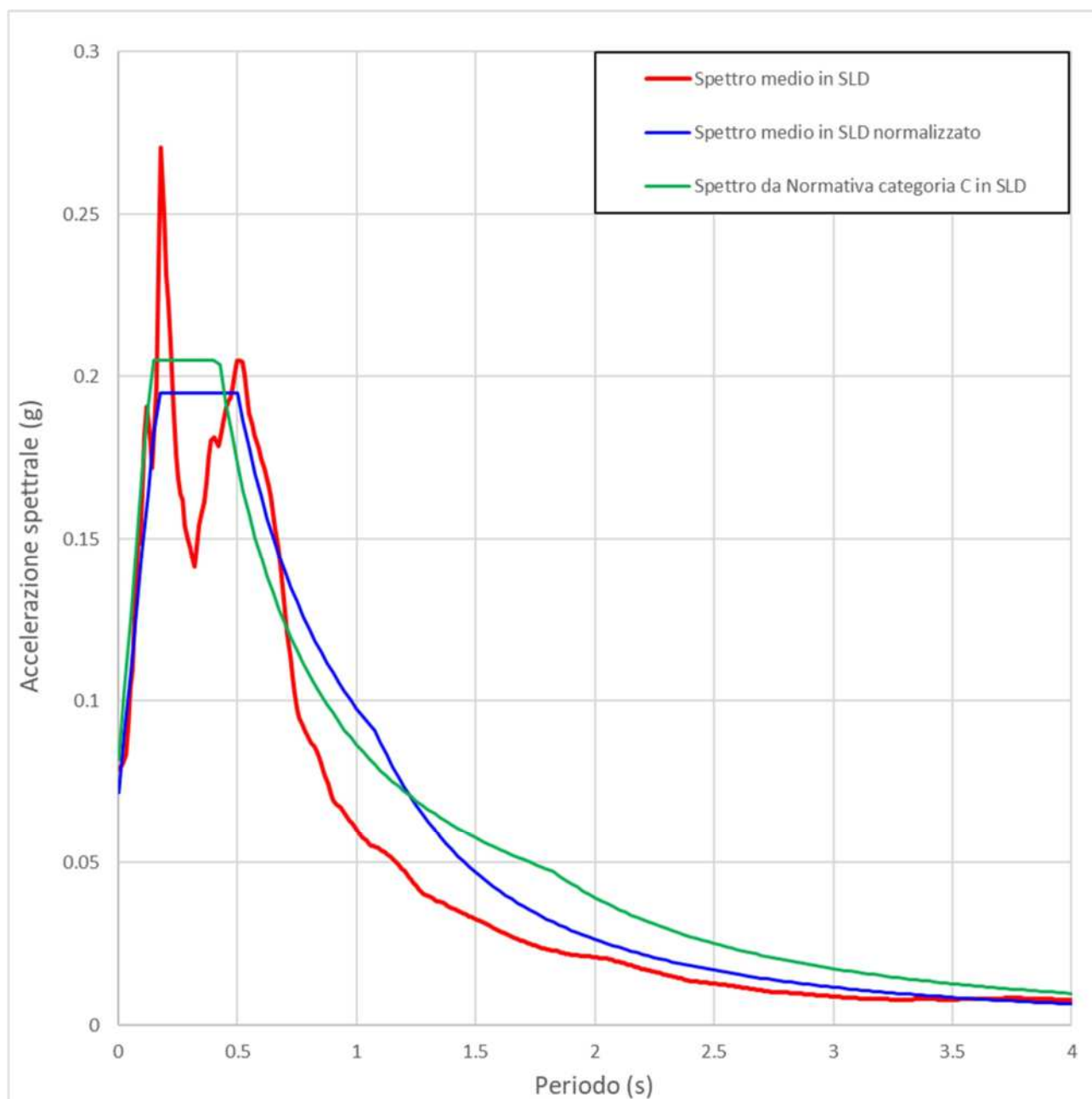


Fig. 31 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P932 – SCPTU 4 in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.072	2.718	0.353	1.000	1.000	0.167	0.501	1.081	1.420

Tab. 21 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P932 – SCPTU 4 in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	54 di 235

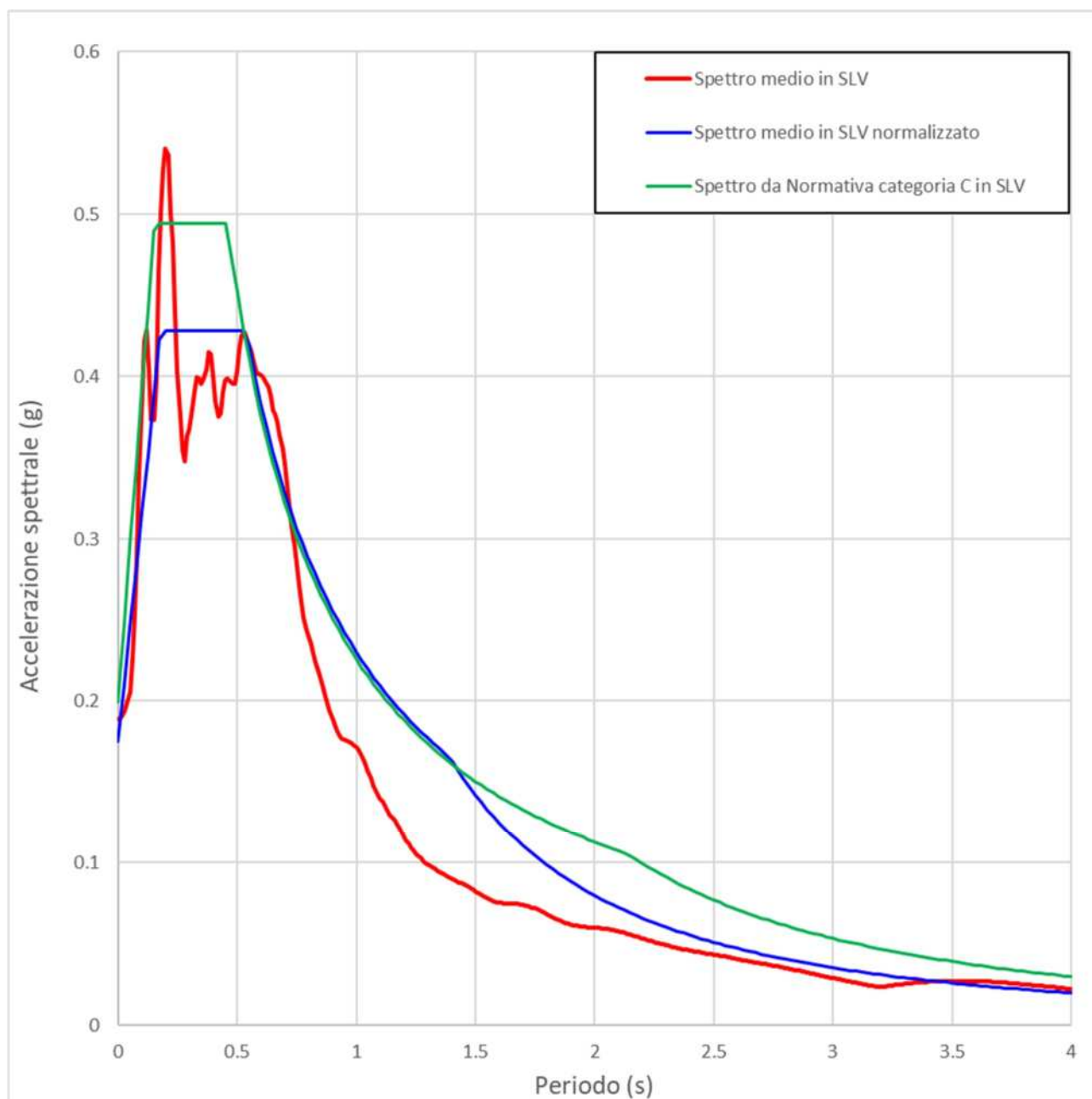


Fig. 32 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P932 – SCPTU 4 in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.175	2.451	0.378	1.000	1.000	0.179	0.537	1.389	1.420

Tab. 22 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P932 – SCPTU 4 in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	55 di 235

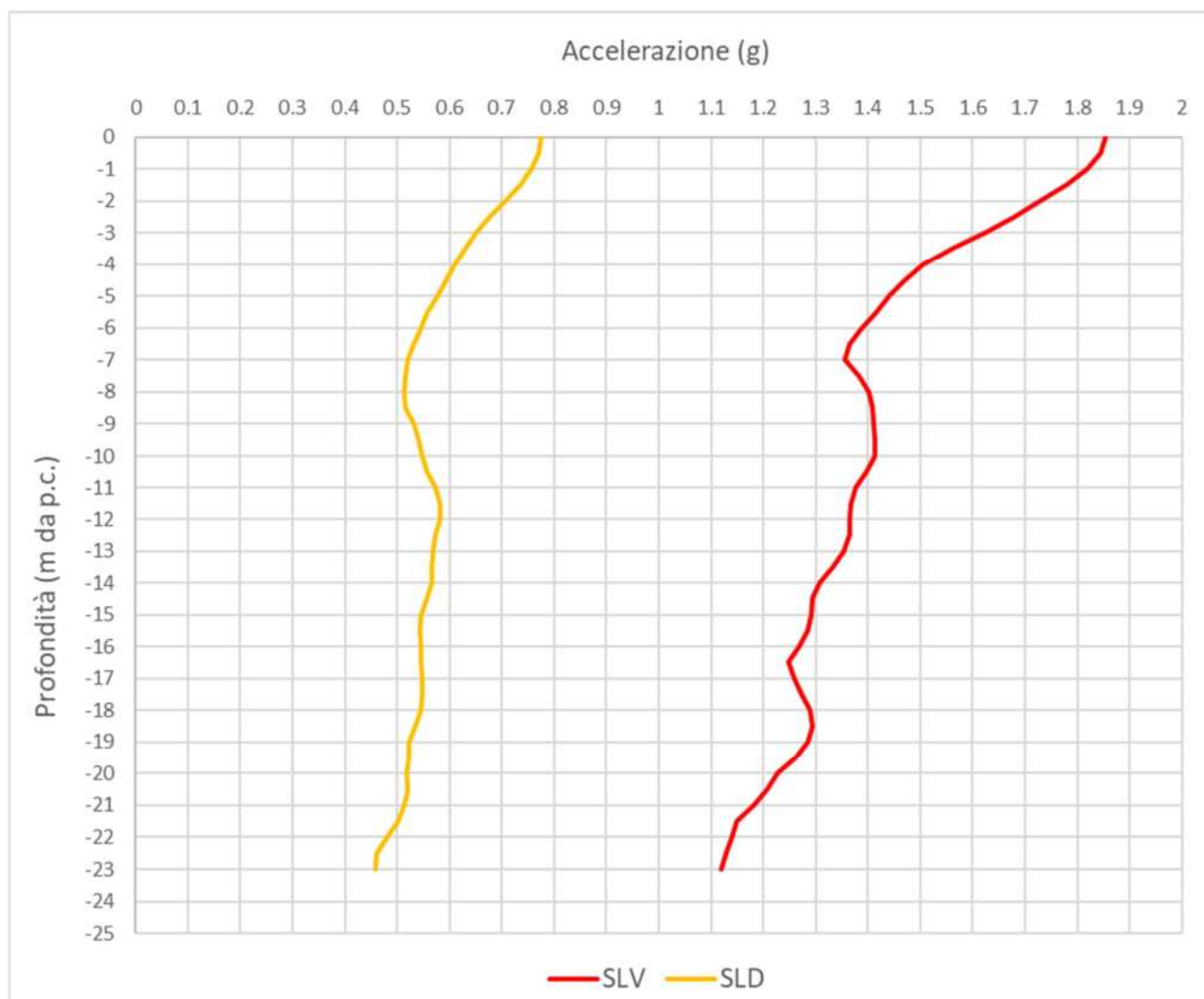


Fig. 33 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P932 – SCPTU 4

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.38
FA (0.4-0.8 s)	2.12
FA (0.5-1.5 s)	1.91
FA (0.7-1.1 s)	1.90
PGA/PGA ₀	1.41
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.35
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.08
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.84

Tab. 23 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P932 – SCPTU 4

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	56 di 235



3.5.5 RSL per il sito 034027P933 – SCPTU 5

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	0.00	-19.00	19.00	18.00	170.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Bedrock	-19.00	-	-	22.00	450.00	-

Tab. 24 – Modello geofisico della verticale 034027P933 – SCPTU 5

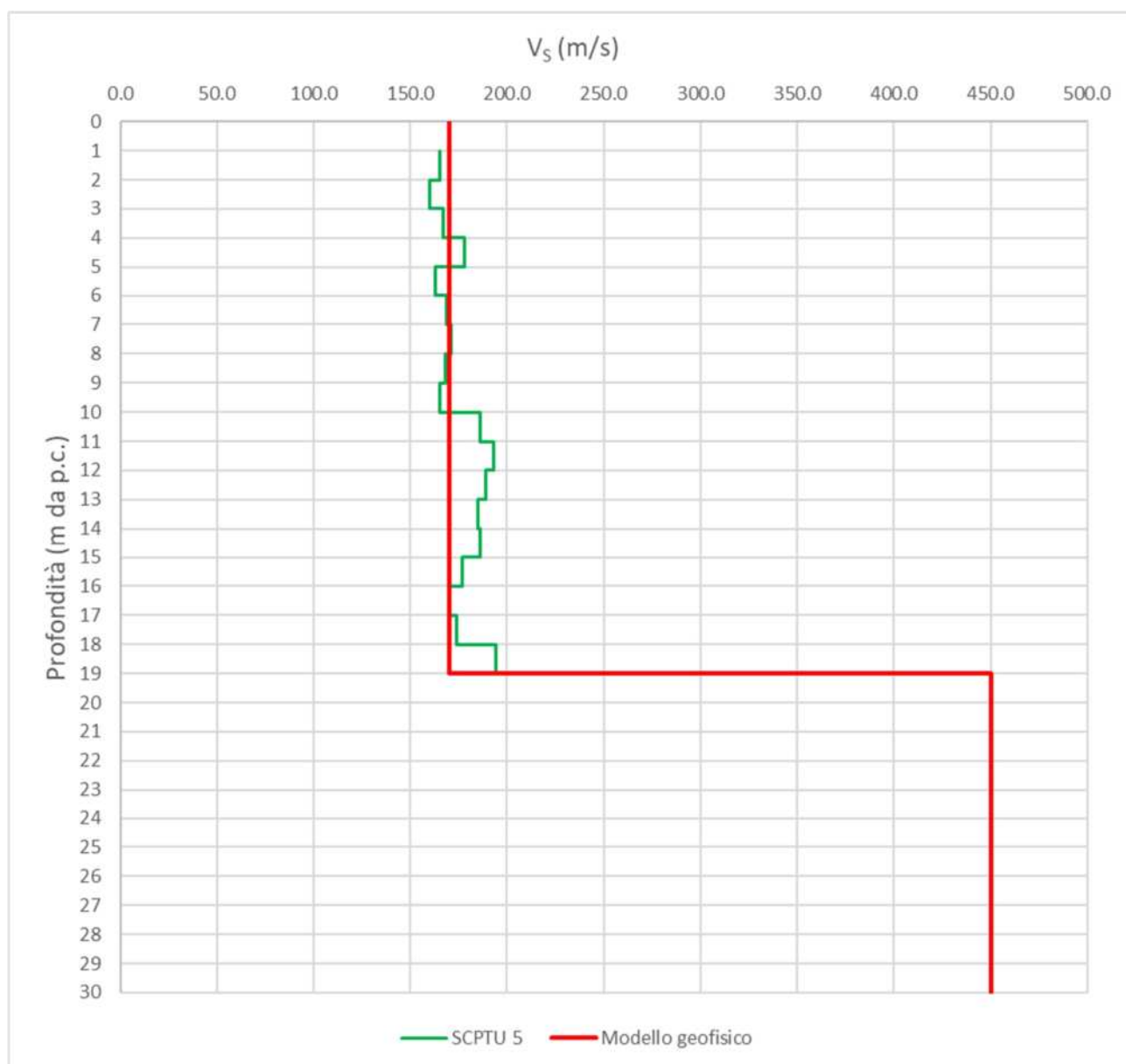


Fig. 34 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P933 – SCPTU 5



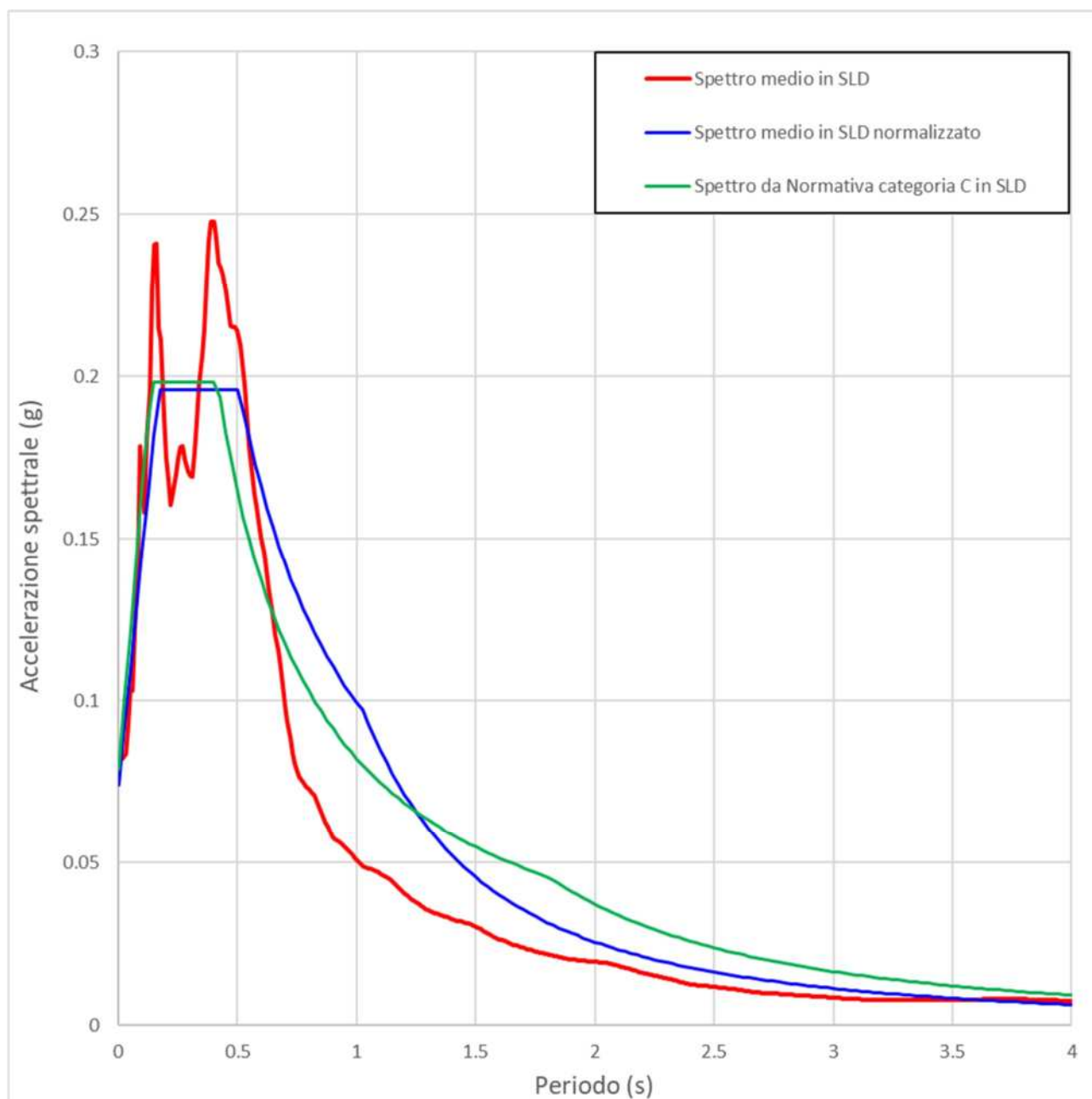


Fig. 35 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P933 – SCPTU 5 in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.074	2.640	0.358	1.000	1.000	0.169	0.508	1.030	1.420

Tab. 25 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P933 – SCPTU 5 in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	58 di 235

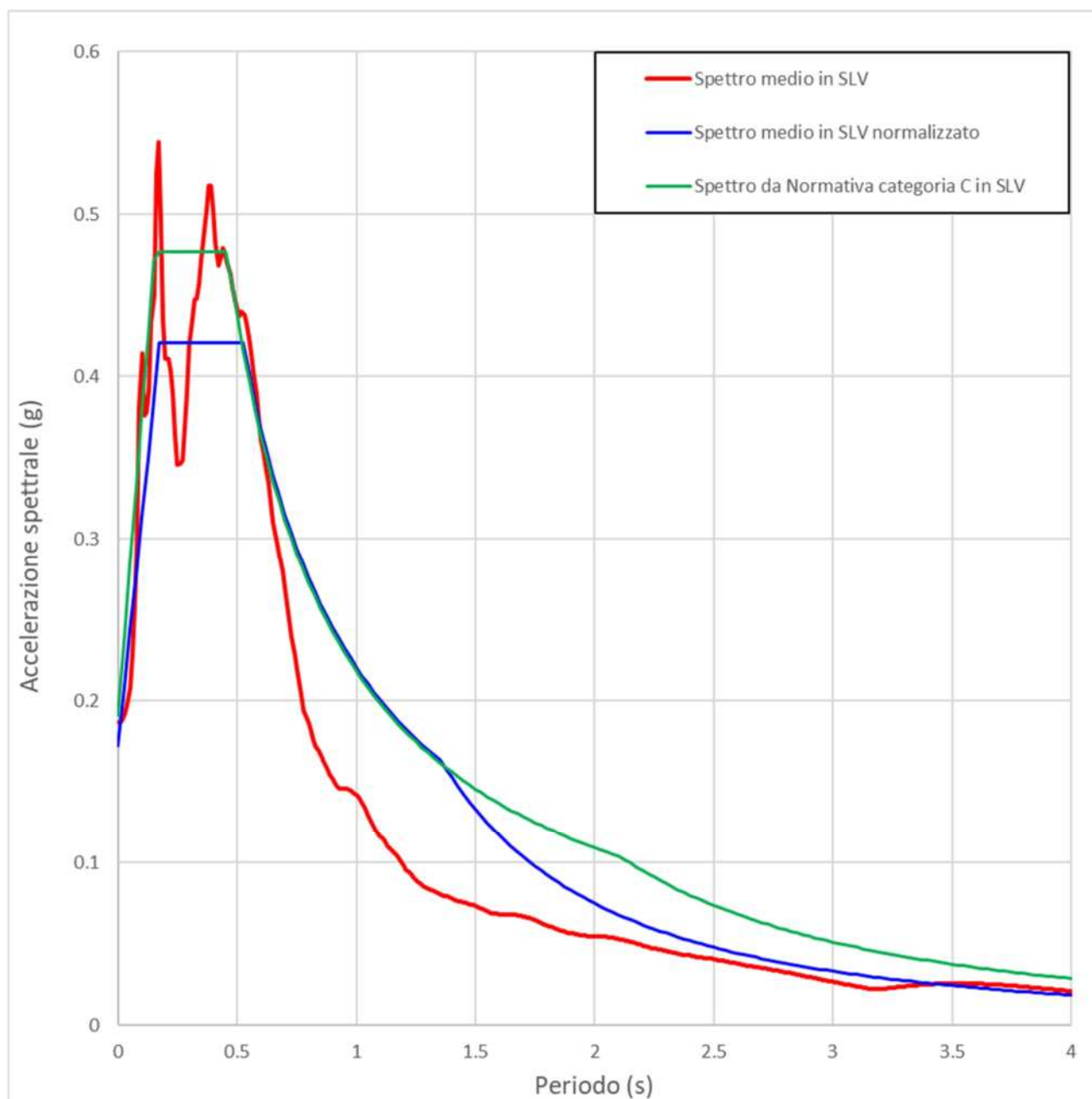


Fig. 36 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P933 – SCPTU 5 in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.172	2.441	0.370	1.000	1.000	0.175	0.525	1.357	1.420

Tab. 26 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P933 – SCPTU 5 in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	59 di 235

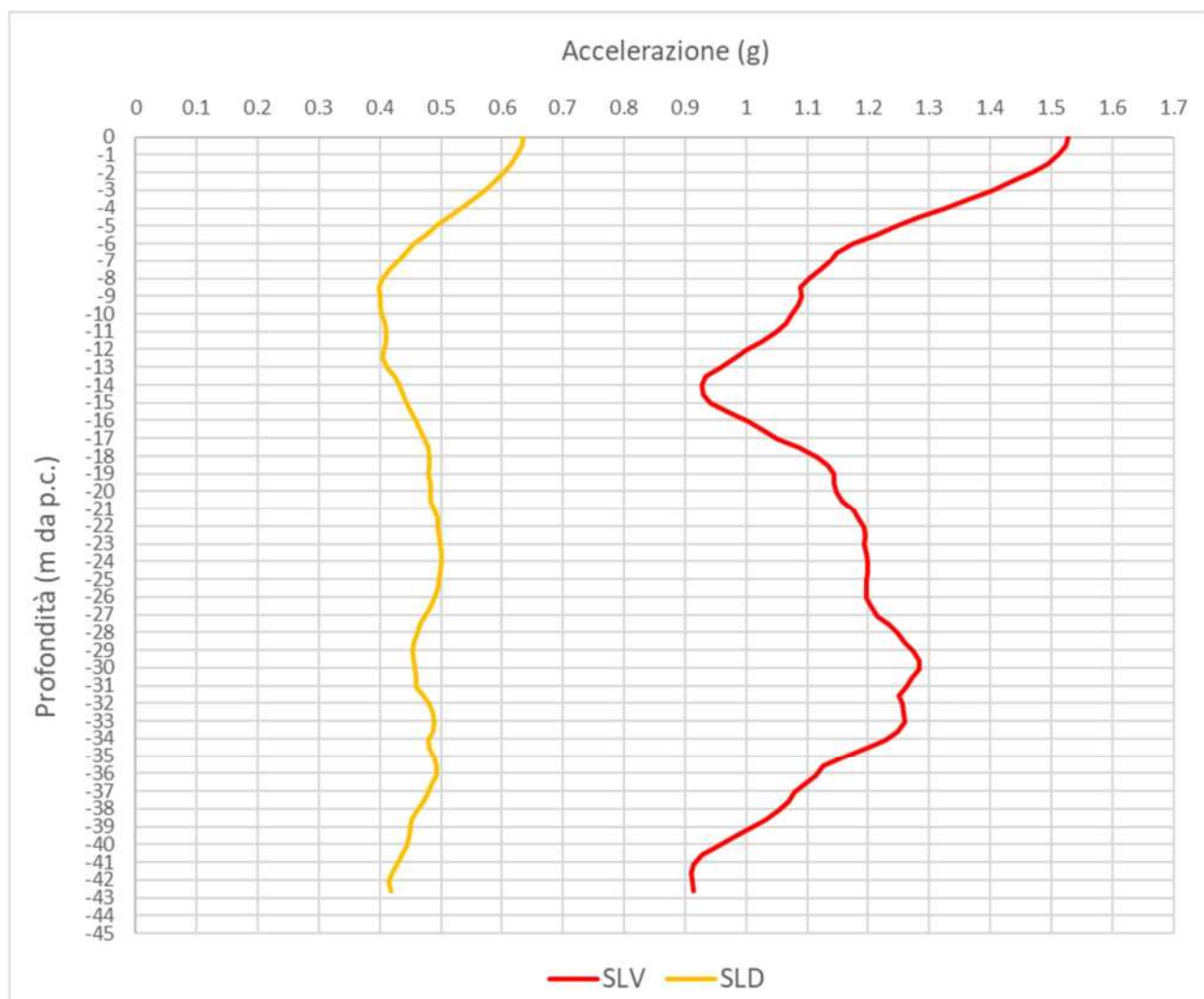


Fig. 37 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P933 – SCPTU 5

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.35
FA (0.4-0.8 s)	1.44
FA (0.5-1.5 s)	1.84
FA (0.7-1.1 s)	2.00
PGA/PGA ₀	1.30
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.35
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.53
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.80

Tab. 27 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P933 – SCPTU 5

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	60 di 235



3.5.6 RSL per il sito 034027P965 – DH 1

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	0.00	-3.00	3.00	18.00	160.00	Bottego DH2 Sh1
Ghiaia	-3.00	-9.50	6.50	21.00	380.00	Rollins
Argilla 2	-9.50	-15.50	6.80	19.00	280.00	Parco Ferrari DH1 Sh1
Bedrock	-15.50	-	-	22.00	675.00	-

Tab. 28 – Modello geofisico della verticale 034027P965 – DH 1

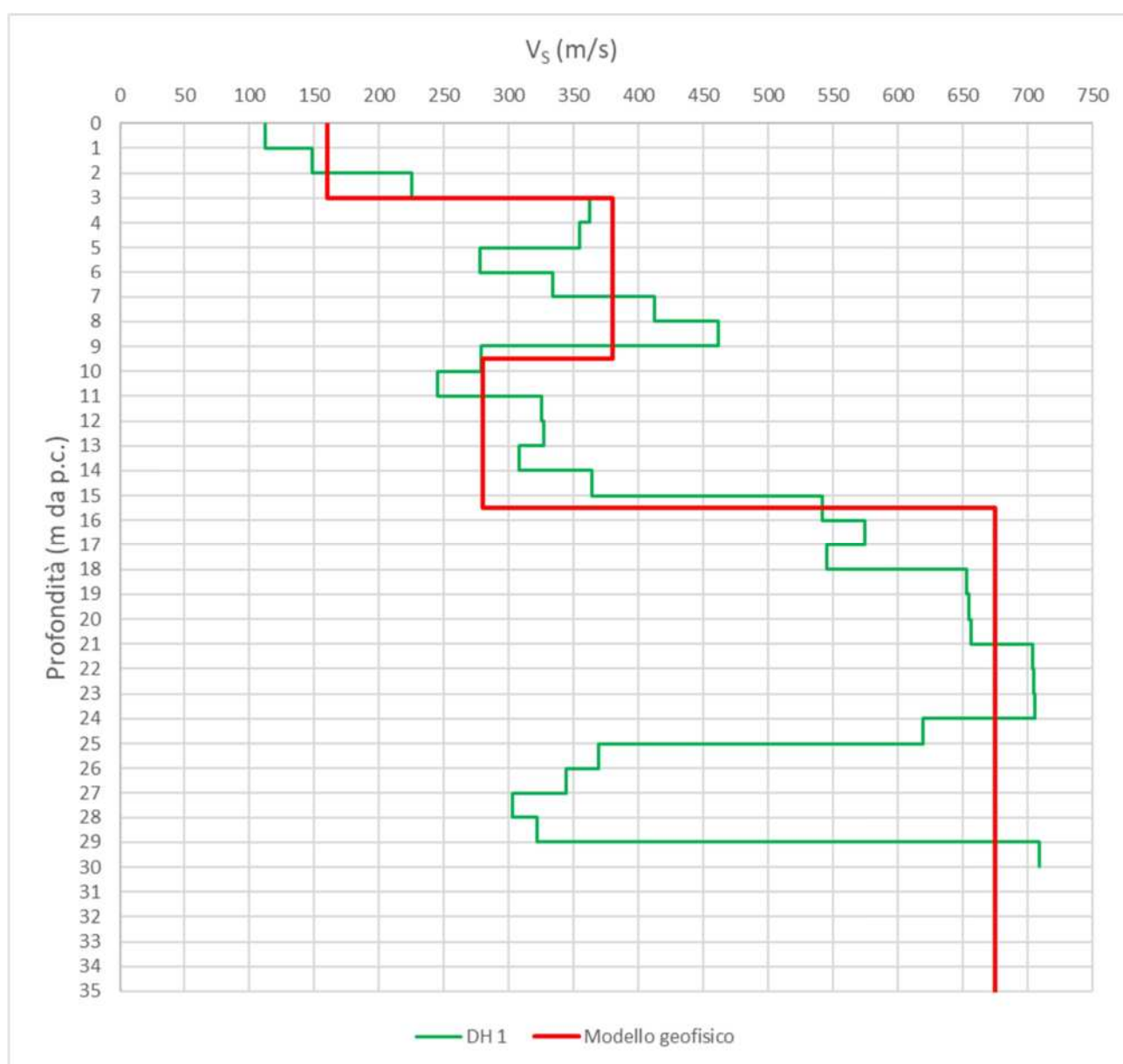


Fig. 38 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P965 – DH 1

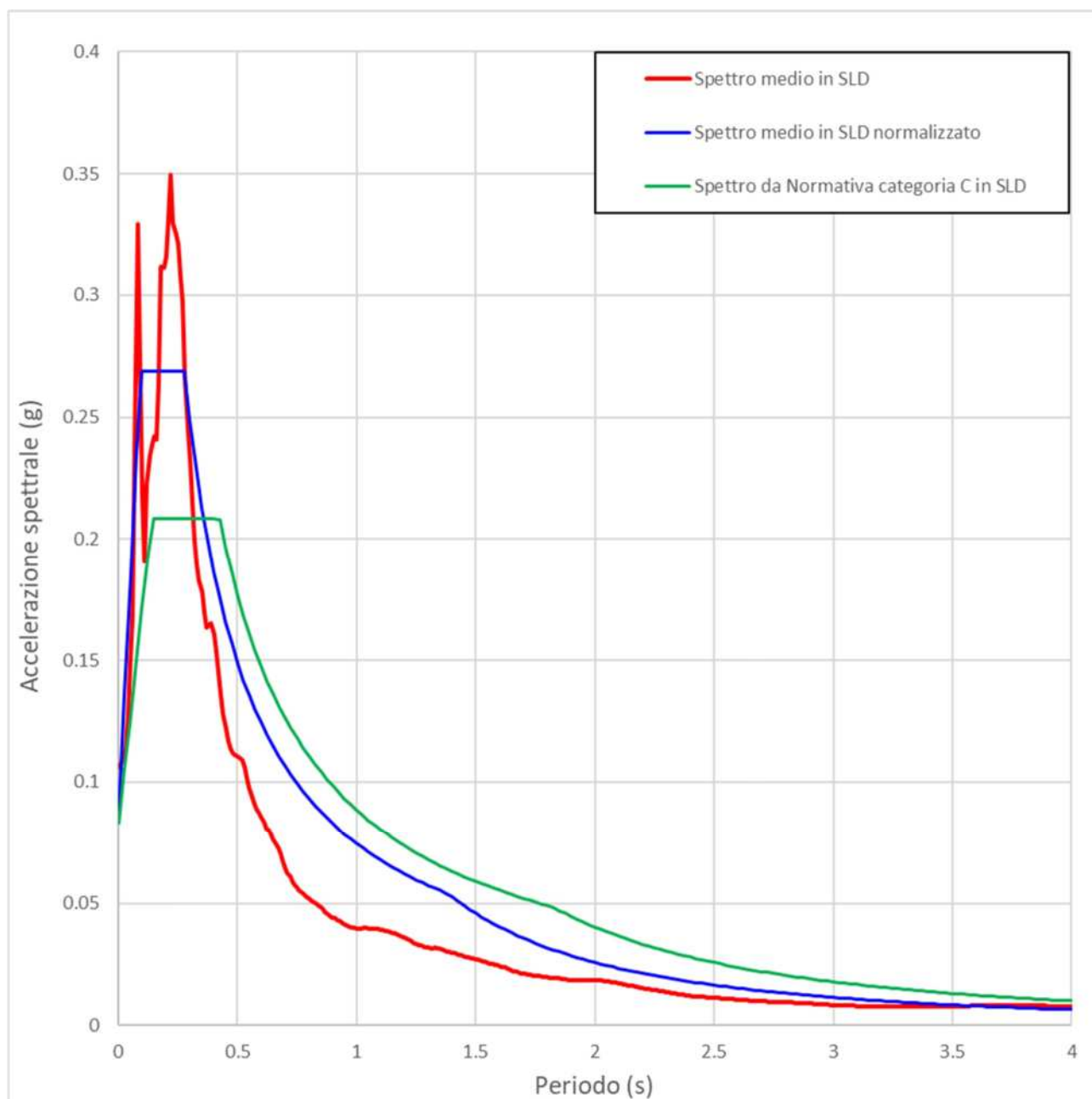


Fig. 39 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P965 – DH 1 in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.087	3.103	0.195	1.000	1.000	0.092	0.277	1.386	1.420

Tab. 29 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P965 – DH 1 in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	62 di 235

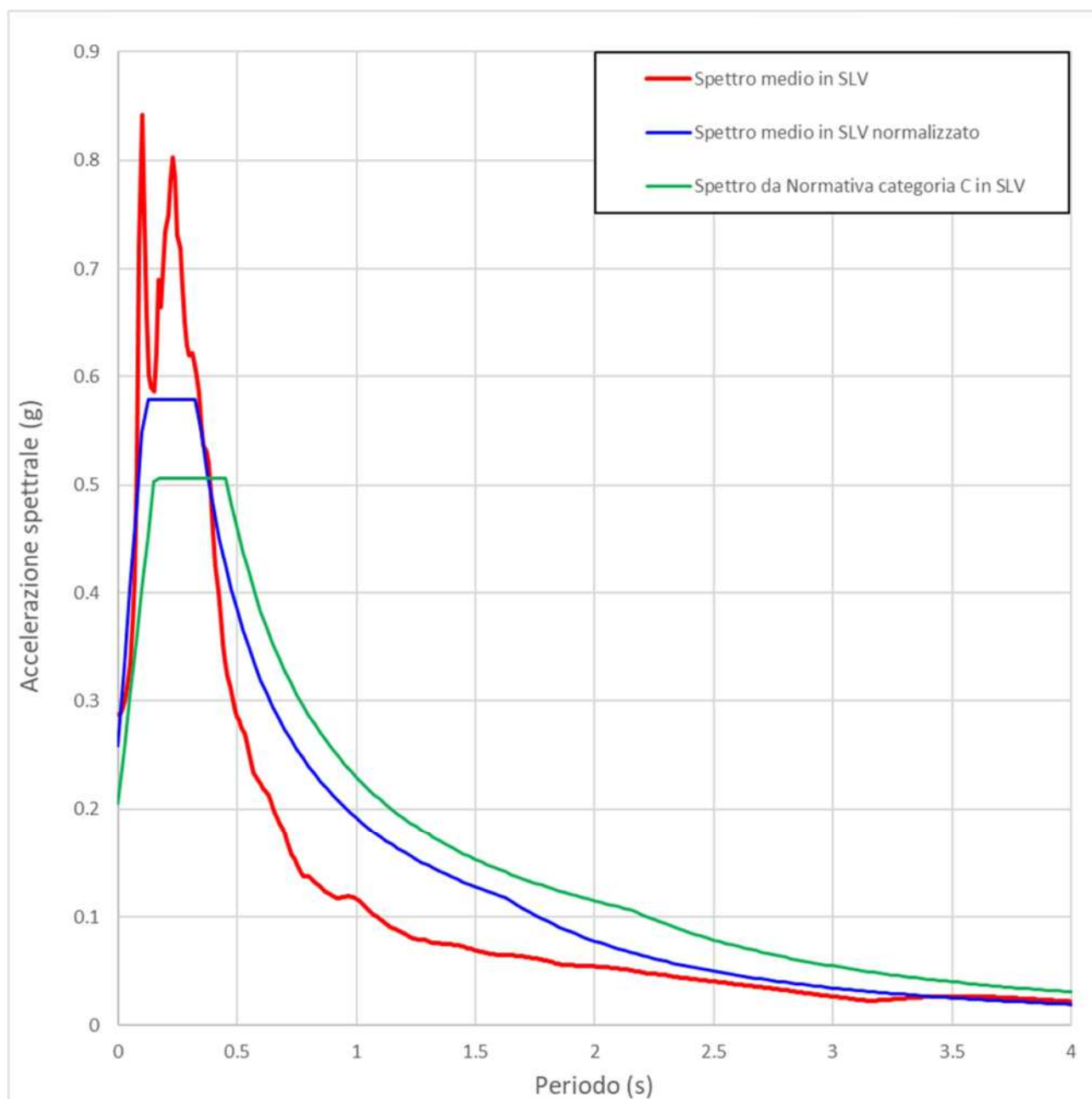


Fig. 40 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P965 – DH 1 in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.258	2.240	0.233	1.000	1.000	0.110	0.331	1.625	1.420

Tab. 30 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P965 – DH 1 in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	63 di 235

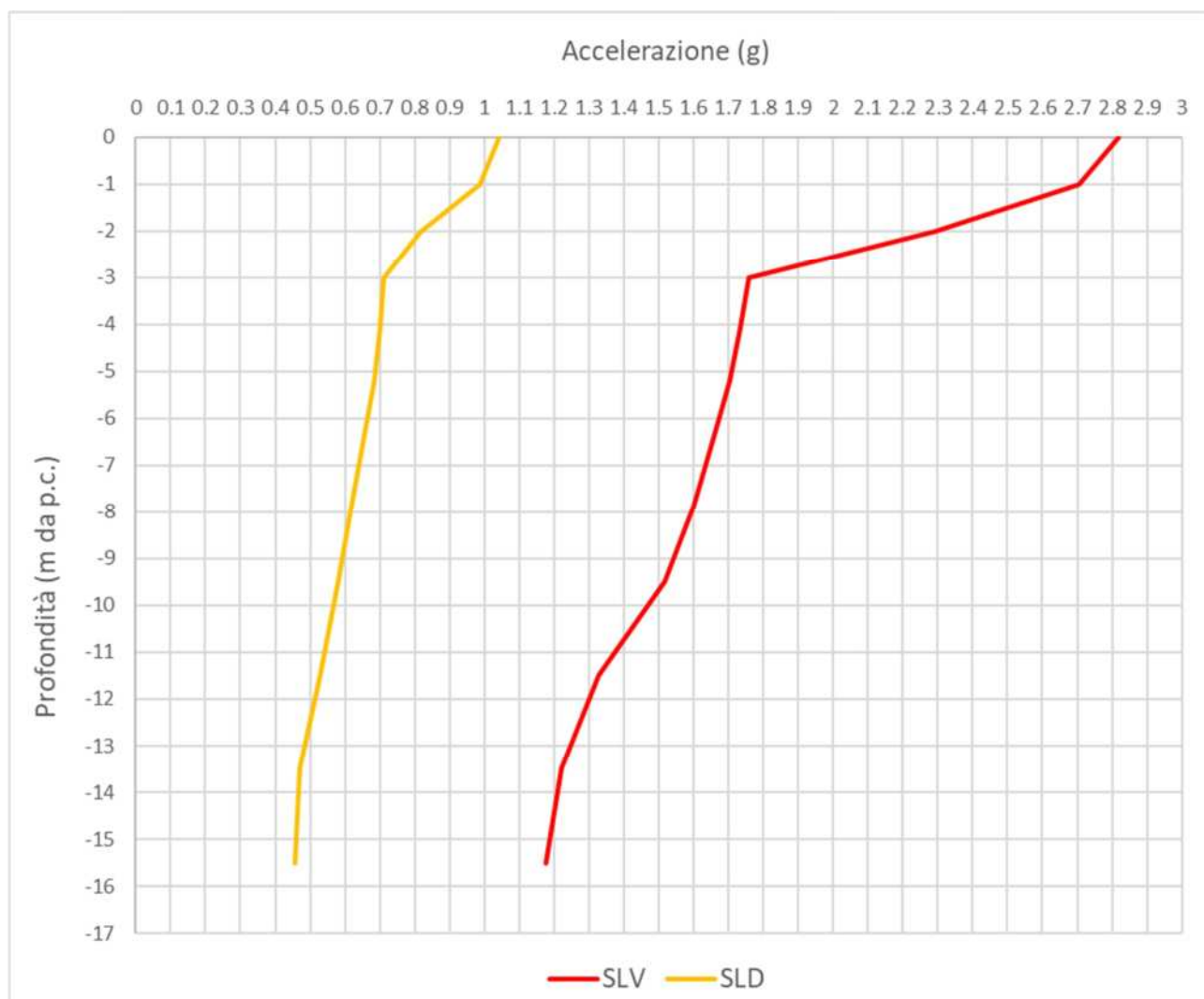


Fig. 41 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P965 – DH 1

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.86
FA (0.4-0.8 s)	1.31
FA (0.5-1.5 s)	1.16
FA (0.7-1.1 s)	1.13
PGA/PGA ₀	2.08
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.86
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.31
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.27

Tab. 31 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P965 – DH 1

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	64 di 235



3.5.7 RSL per il sito 034027P966 – DH 2

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Limo argilloso	0.00	-10.00	10.00	18.00	170.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia	-10.00	-21.00	11.00	20.00	300.00	Rollins
Argilla	-21.00	-25.50	4.50	19.00	246.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-25.50	-	-	22.00	450.00	-

Tab. 32 – Modello geofisico della verticale 034027P966 – DH 2

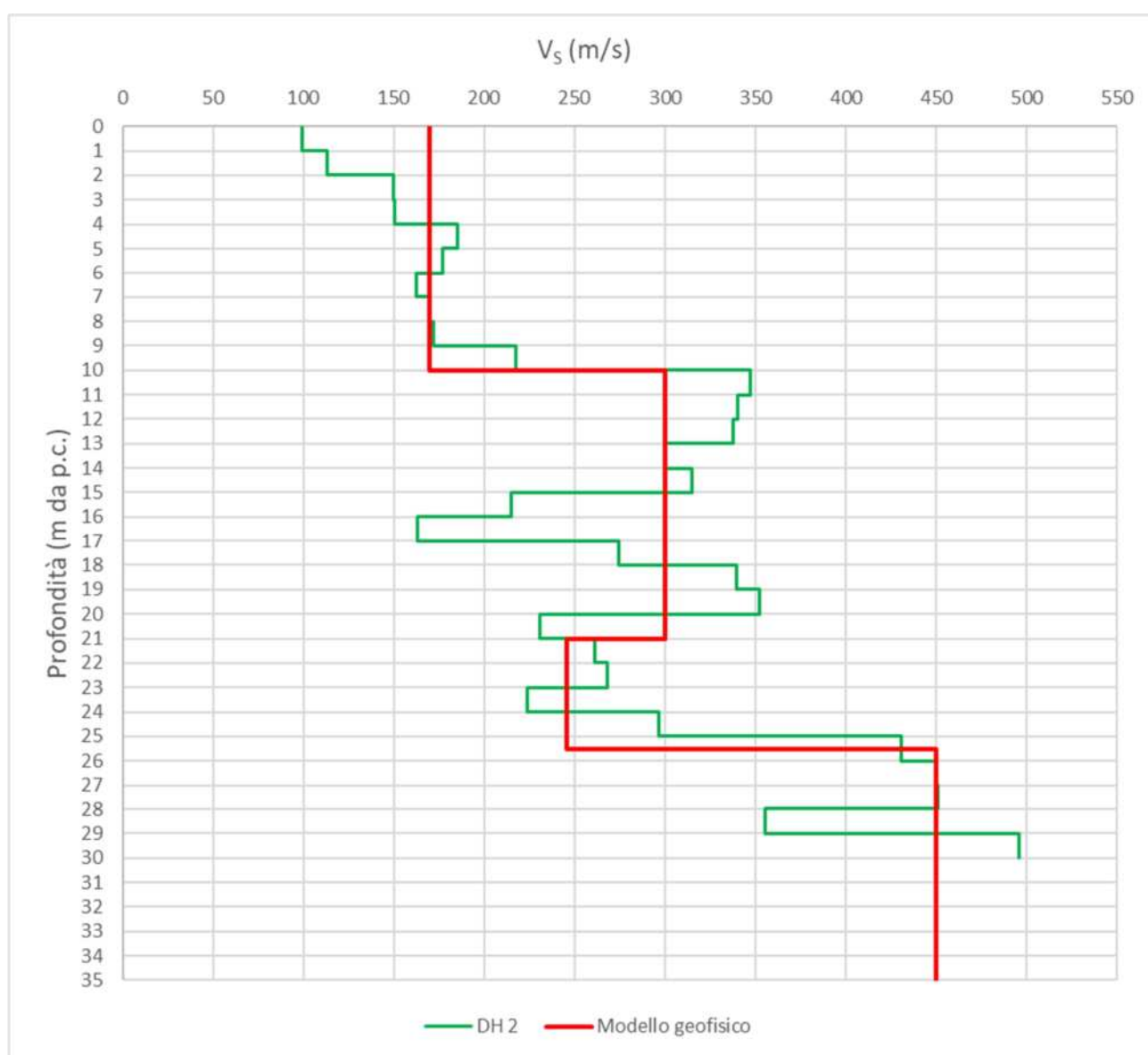


Fig. 42 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P966 – DH 2

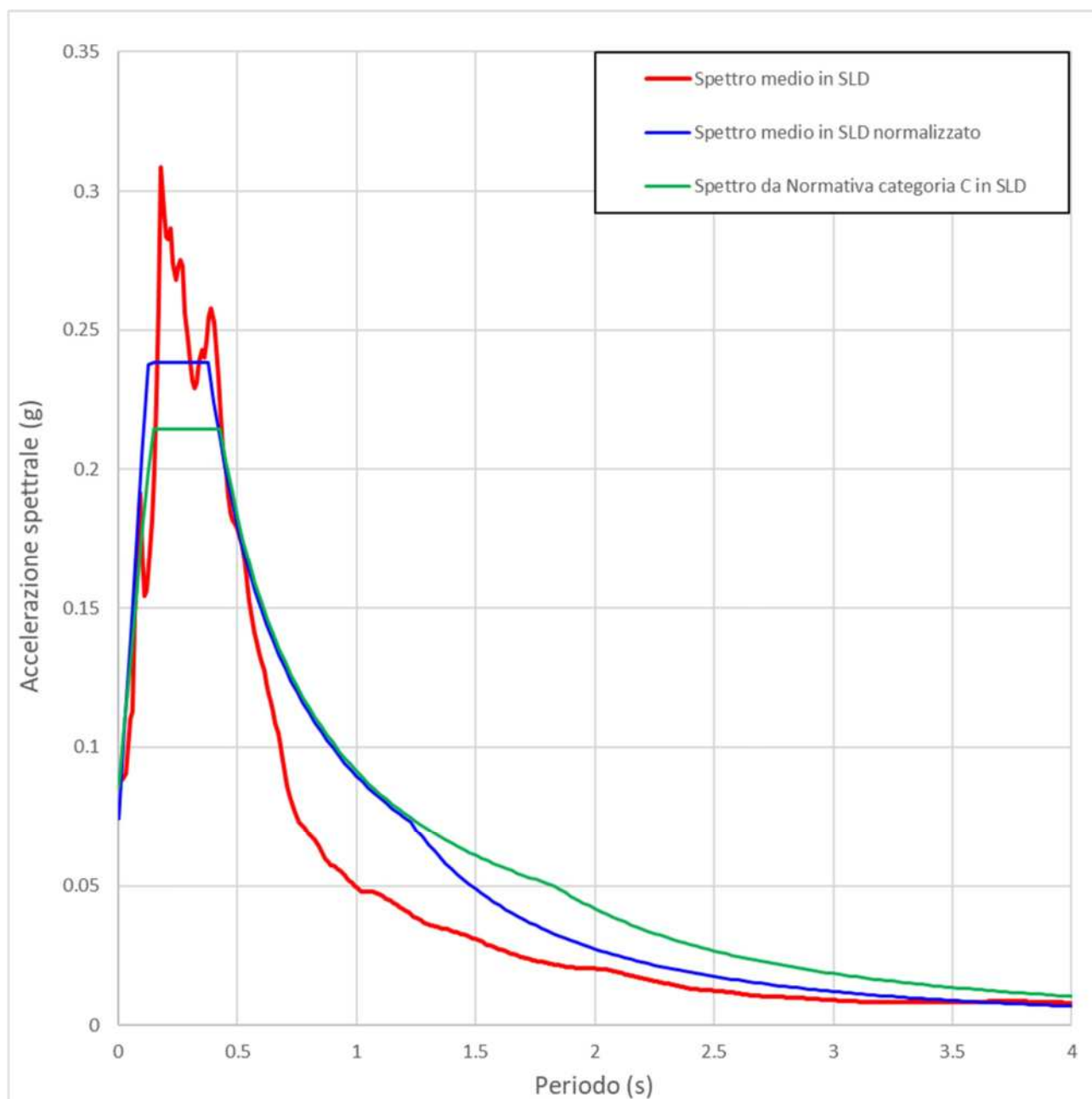


Fig. 43 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P966 – DH 2 in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.074	3.203	0.265	1.000	1.000	0.126	0.377	1.222	1.420

Tab. 33 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P966 – DH 2 in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	66 di 235

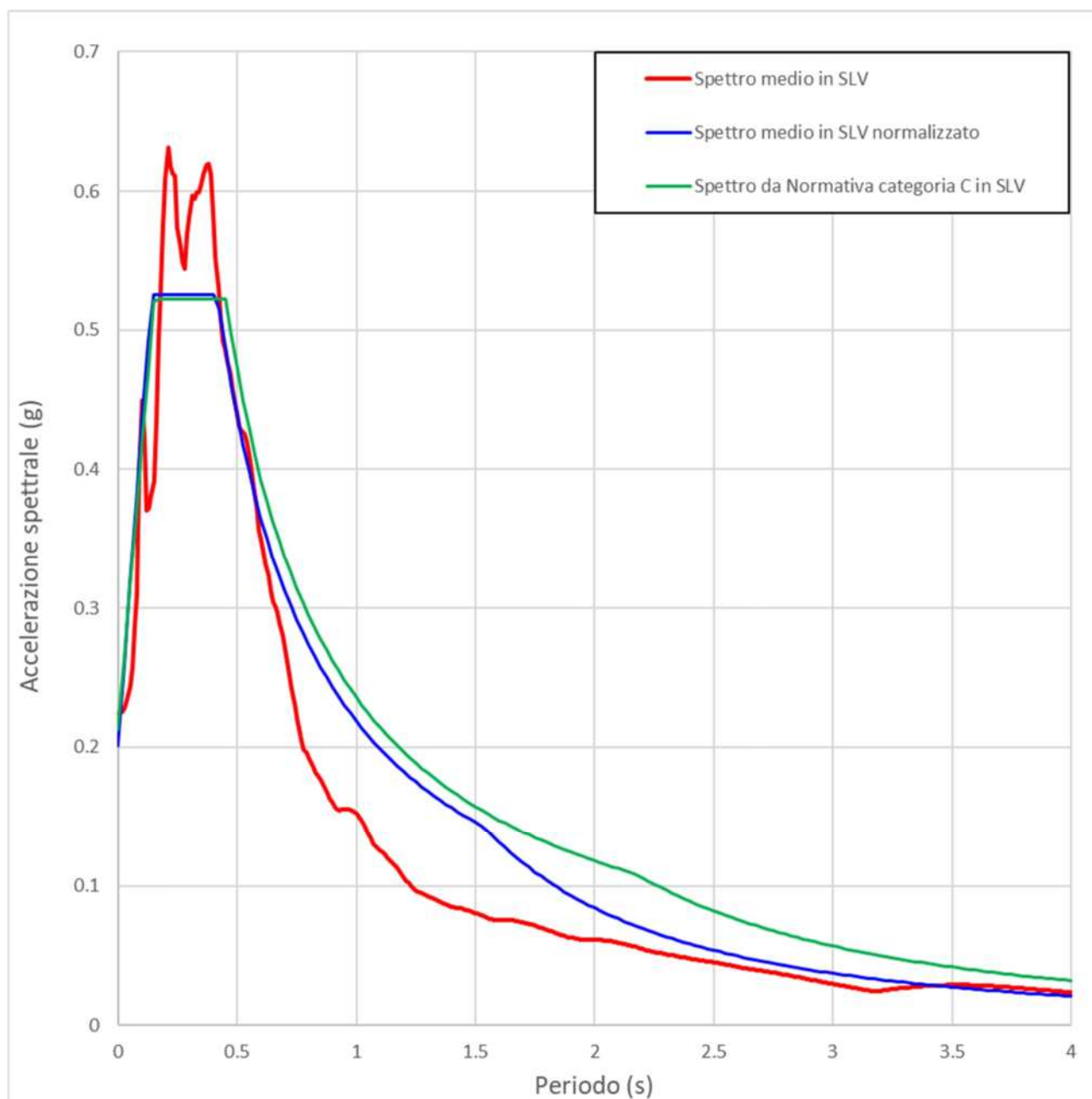


Fig. 44 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P966 – DH 2 in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.201	2.615	0.294	1.000	1.000	0.139	0.417	1.537	1.420

Tab. 34 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P966 – DH 2 in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	67 di 235

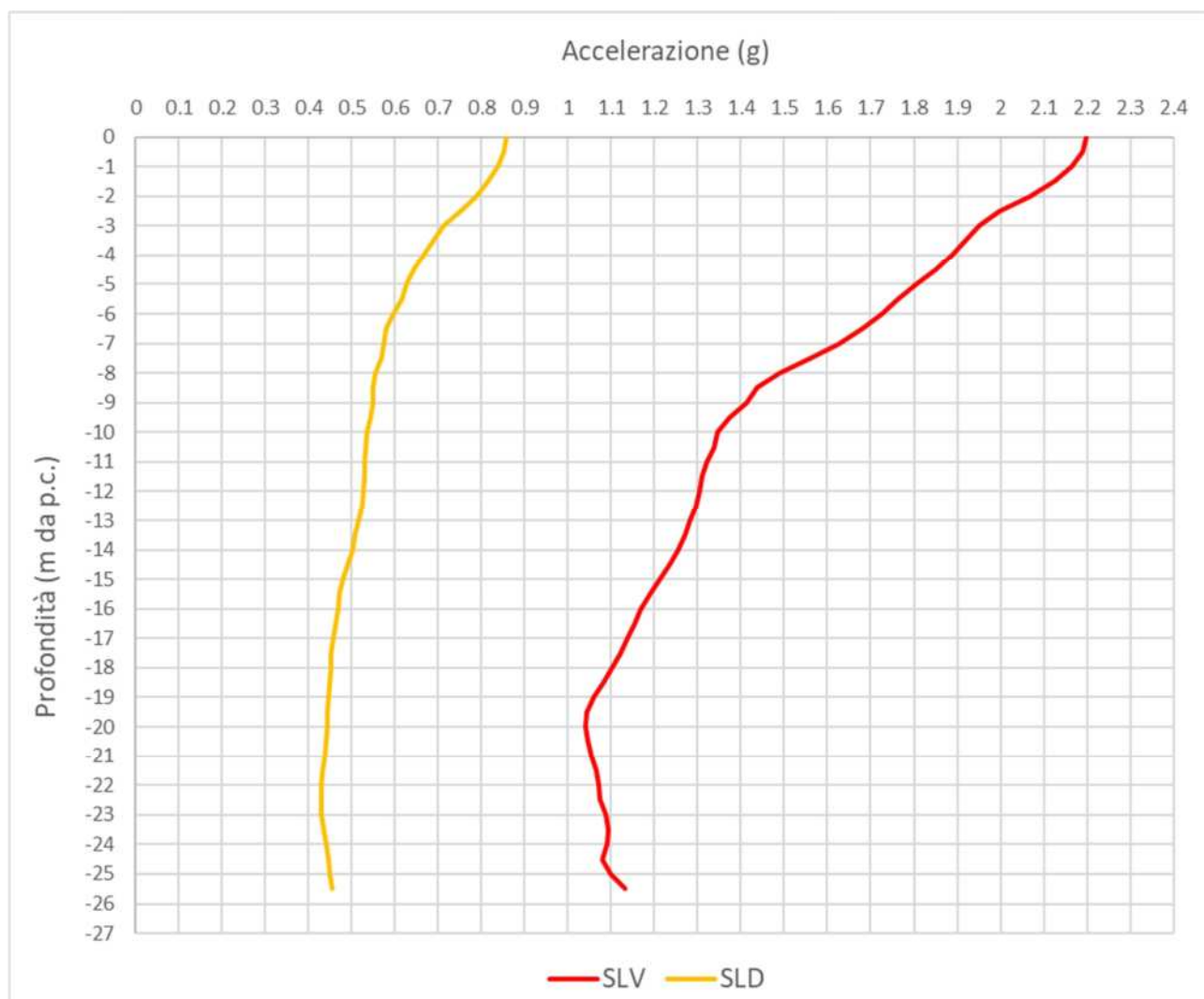


Fig. 45 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P966 – DH 2

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.64
FA (0.4-0.8 s)	1.87
FA (0.5-1.5 s)	1.56
FA (0.7-1.1 s)	1.48
PGA/PGA ₀	1.55
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.72
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.75
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.60

Tab. 35 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P966 – DH 2

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	68 di 235



3.5.8 RSL per il sito 034027P968 – Parcheggio ENEL

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Ghiaia 1	0.00	-4.00	4.00	20.00	213.00	Rollins
Ghiaia 2	-4.00	-10.50	6.50	20.00	400.00	Rollins
Argilla	-10.50	-24.50	14.00	18.00	245.00	Corazza S1 CI4
Bedrock	-24.50	-	-	22.00	600.00	-

Tab. 36 – Modello geofisico della verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL

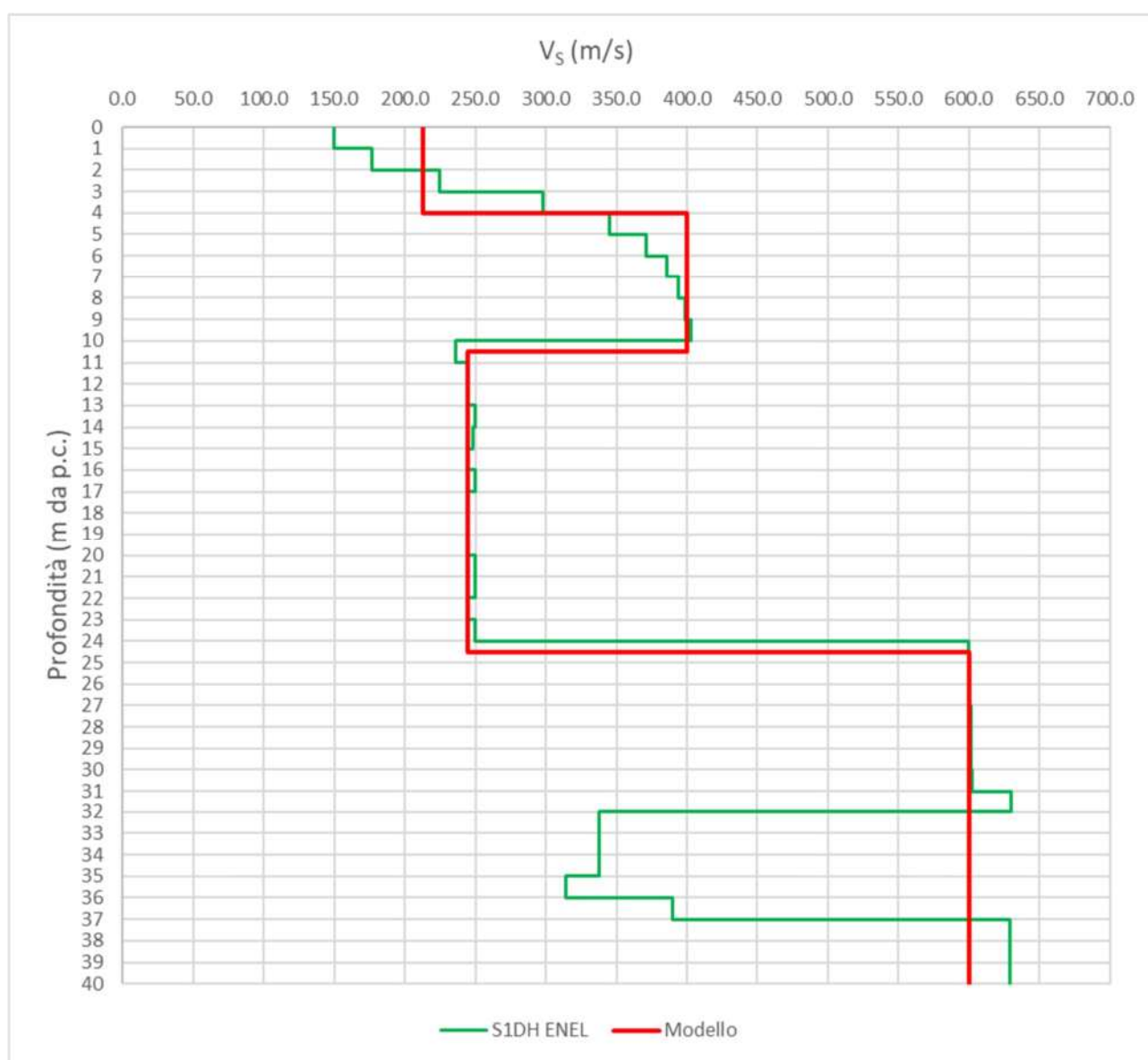


Fig. 46 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL

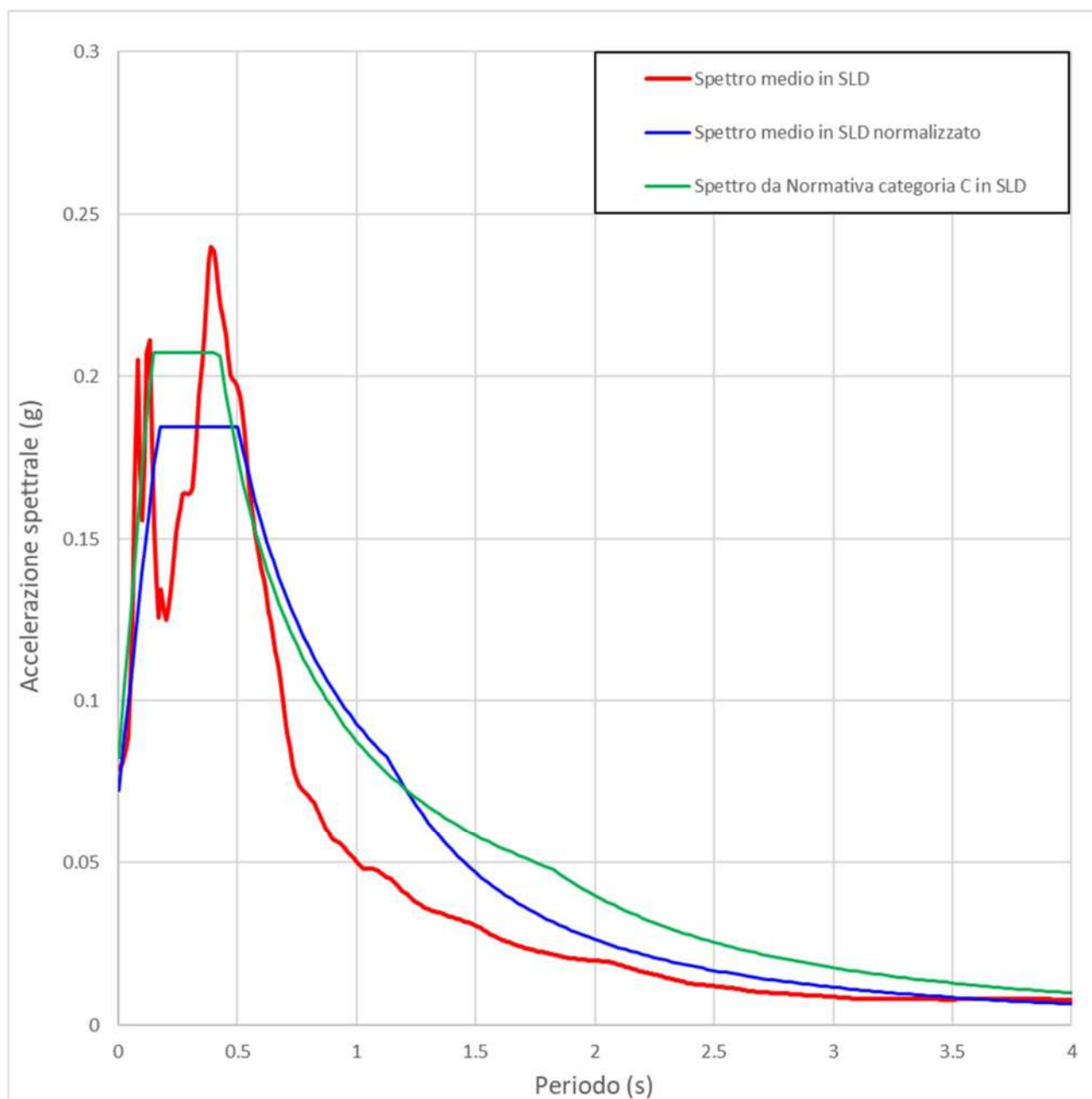


Fig. 47 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.072	2.548	0.355	1.000	1.000	0.168	0.504	1.135	1.420

Tab. 37 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	70 di 235

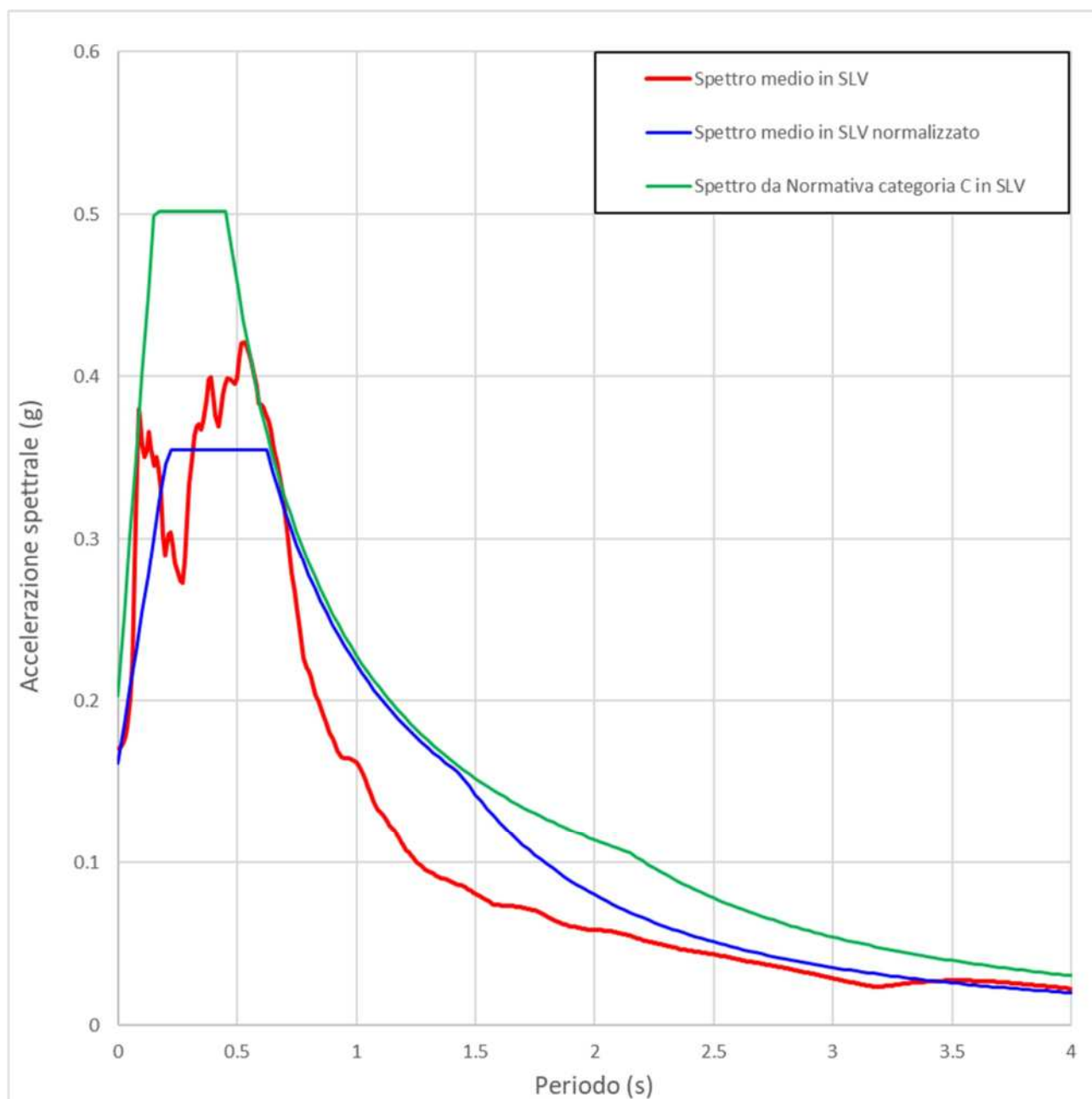


Fig. 48 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.162	2.193	0.442	1.000	1.000	0.209	0.627	1.441	1.420

Tab. 38 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	71 di 235

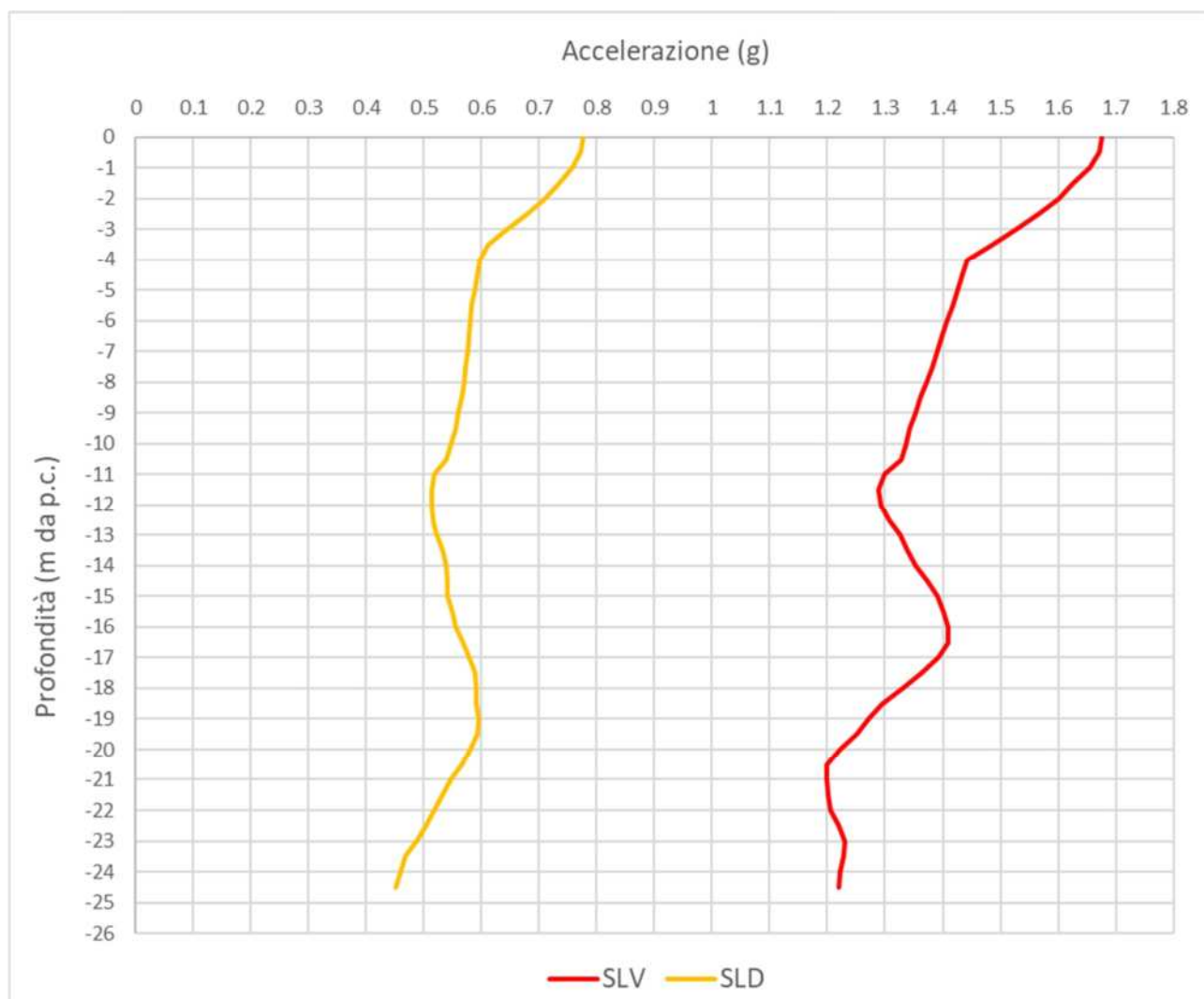


Fig. 49 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.15
FA (0.4-0.8 s)	1.98
FA (0.5-1.5 s)	1.77
FA (0.7-1.1 s)	1.70
PGA/PGA ₀	1.26
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.14
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.90
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.69

Tab. 39 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P968 – Parcheggio ENEL



3.5.9 RSL per il sito 034027P969 – Ospedale bambini

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	0.00	-14.00	14.00	18.00	235.00	Fognano S1 Cl2
Ghiaia 1	-14.00	-23.50	9.50	20.00	375.00	Rollins
Ghiaia 2	-23.50	-26.50	3.00	21.00	554.00	Rollins
Bedrock	-26.50	-	-	22.00	710.00	-

Tab. 40 – Modello geofisico della verticale 034027P969 – Ospedale bambini

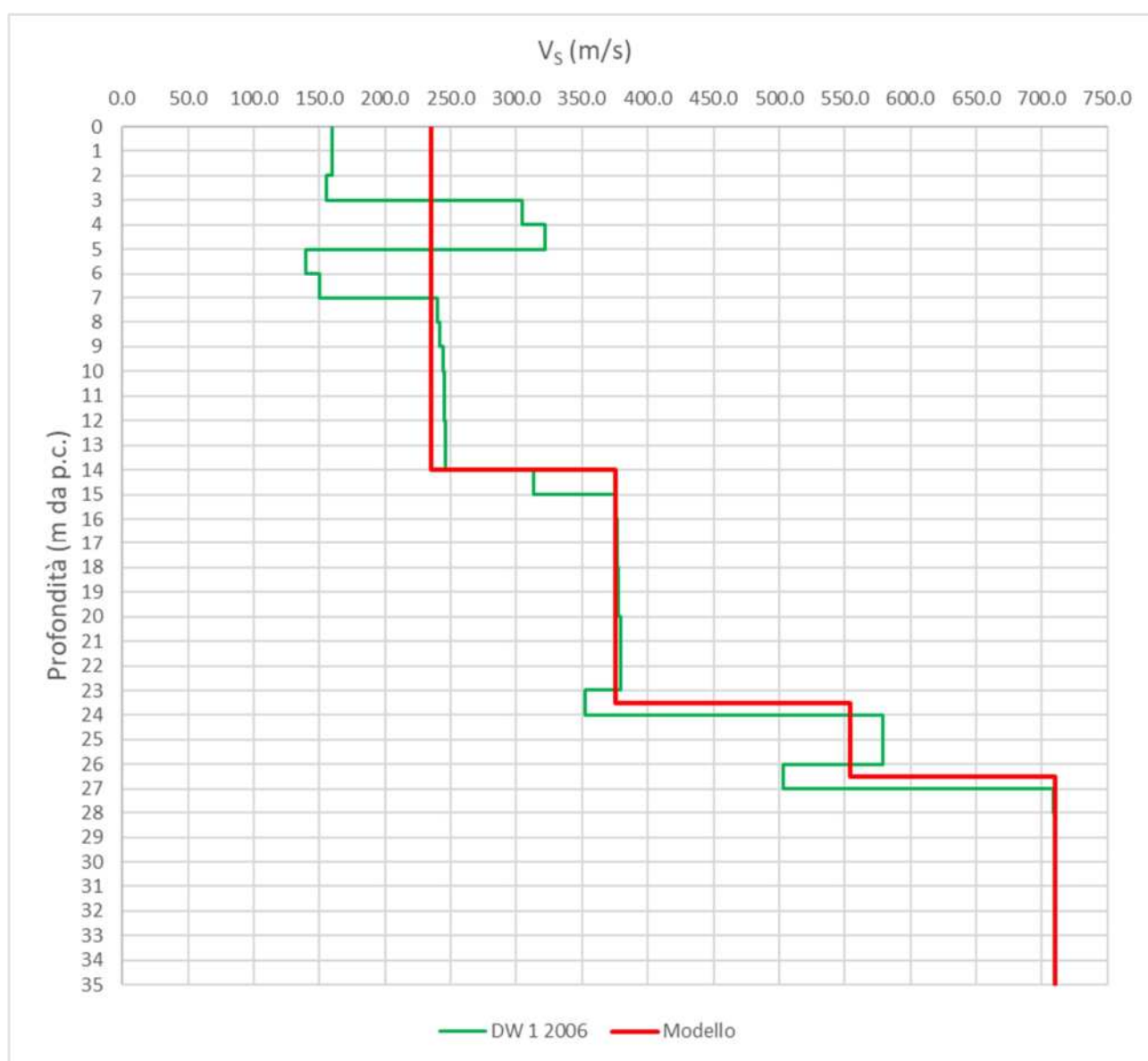


Fig. 50 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P969 – Ospedale bambini



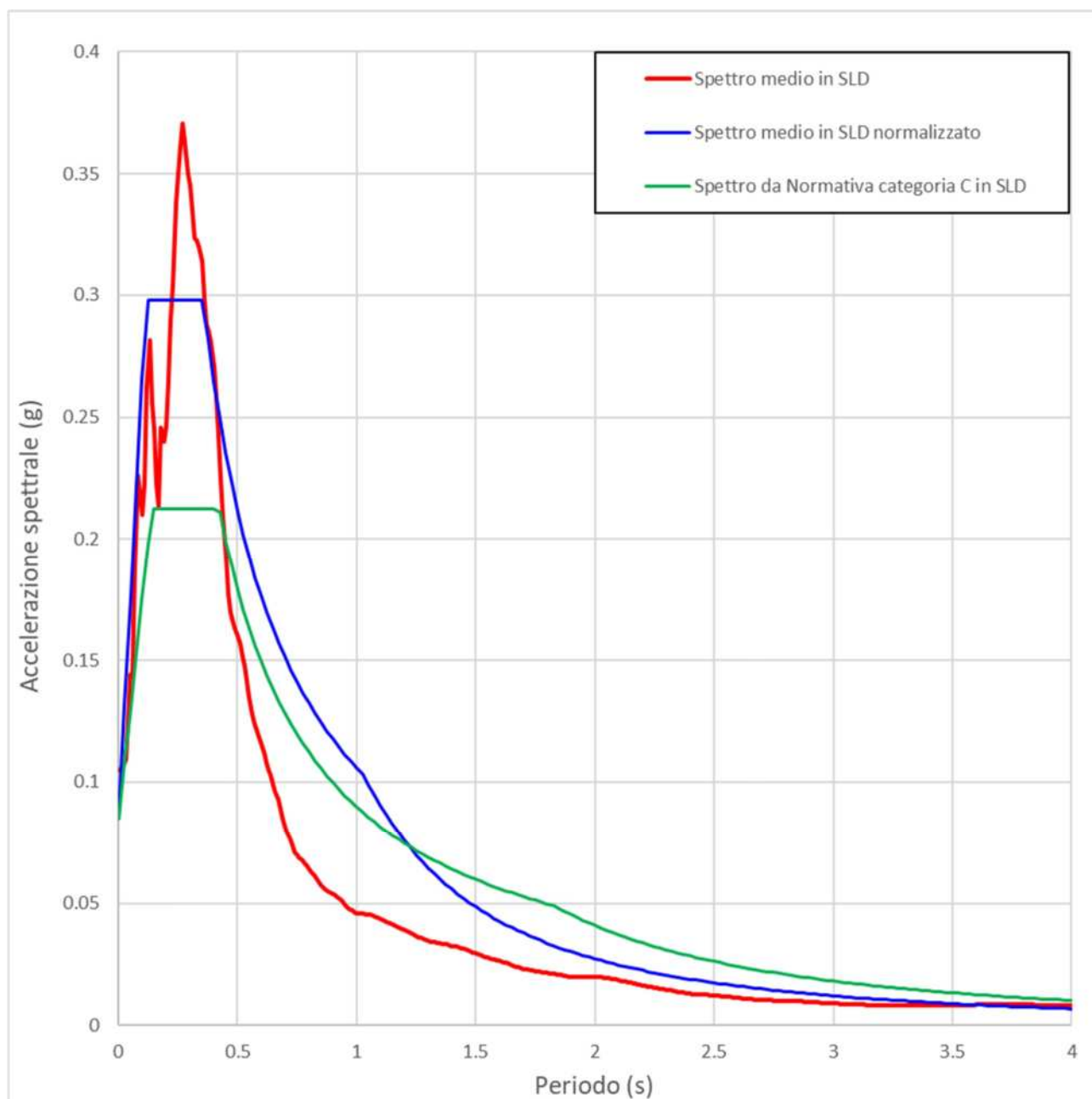


Fig. 51 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P969 – Ospedale bambini in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.087	3.427	0.250	1.000	1.000	0.118	0.355	1.032	1.420

Tab. 41 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P969 – Ospedale bambini in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	74 di 235

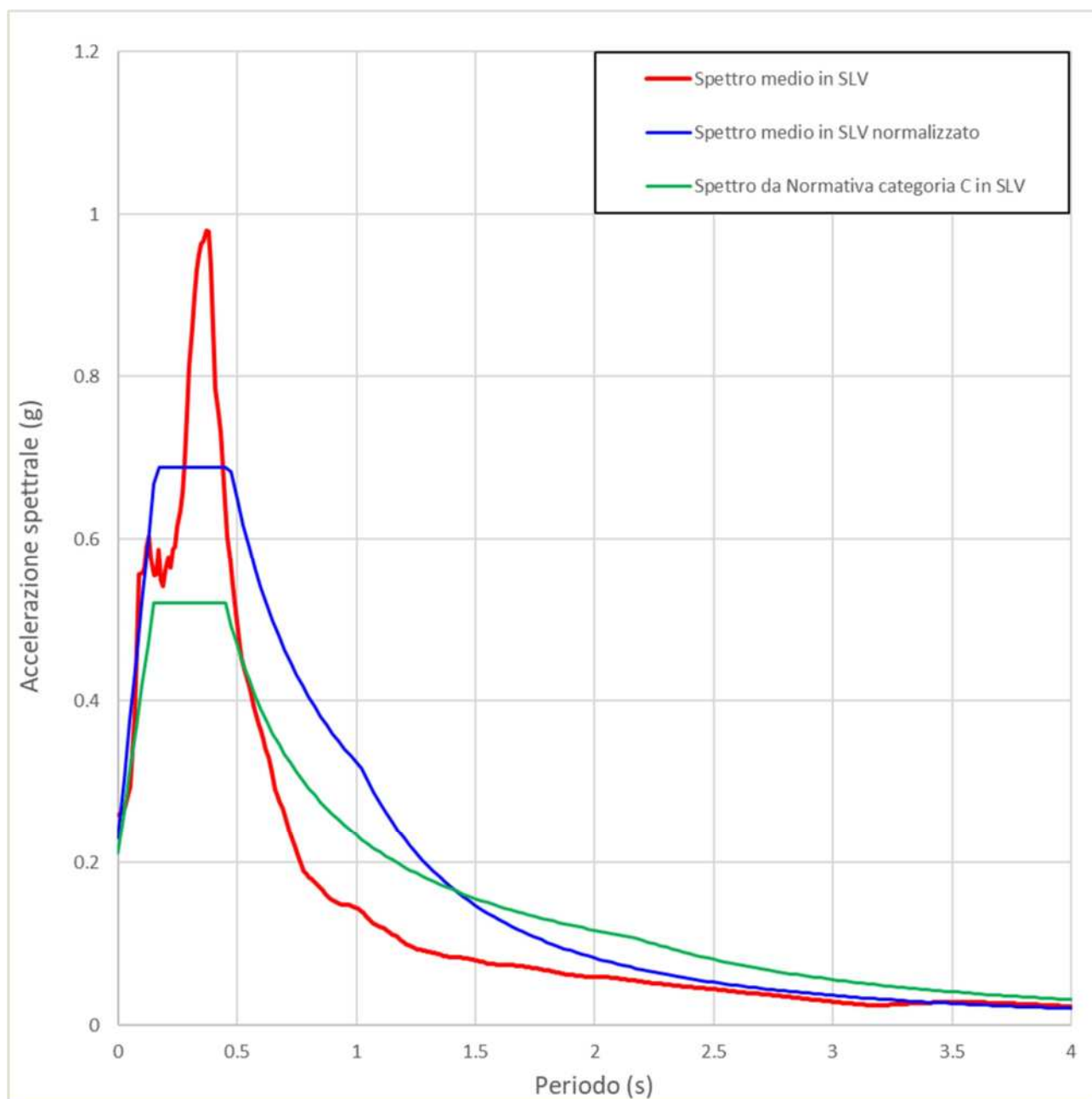


Fig. 52 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P969 – Ospedale bambini in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.231	2.986	0.331	1.000	1.000	0.157	0.471	1.024	1.420

Tab. 42 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P969 – Ospedale bambini in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	75 di 235

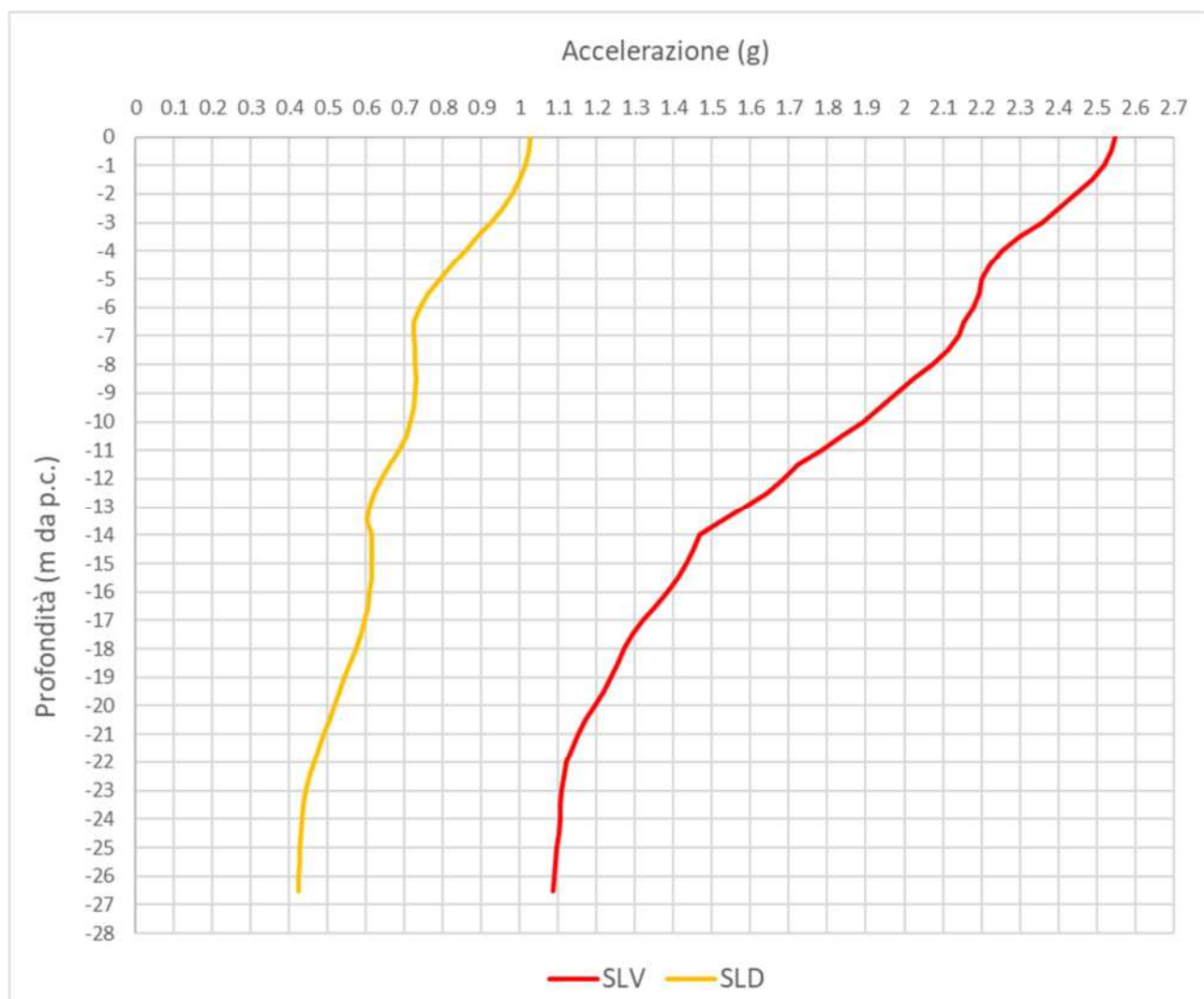


Fig. 53 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P969 – Ospedale bambini

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	2.13
FA (0.4-0.8 s)	2.03
FA (0.5-1.5 s)	1.54
FA (0.7-1.1 s)	1.44
PGA/PGA ₀	1.80
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.27
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.82
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.68

Tab. 43 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P969 – Ospedale bambini

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	76 di 235



3.5.10 RSL per il sito 034027P970 – Piazza Ghiaia

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Ghiaia 1	-0.00	-9.50	9.50	21.00	310.00	Rollins
Argilla 1	-9.50	-19.00	9.50	18.00	267.00	Fognano S1 Cl2
Ghiaia 2	-19.00	-26.00	7.00	21.00	525.00	Rollins
Argilla 2	-26.00	-38.00	12.00	18.00	292.00	Corazza S2 Cl3
Bedrock	-38.00	-	-	22.00	600.00	-

Tab. 44 – Modello geofisico della verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia

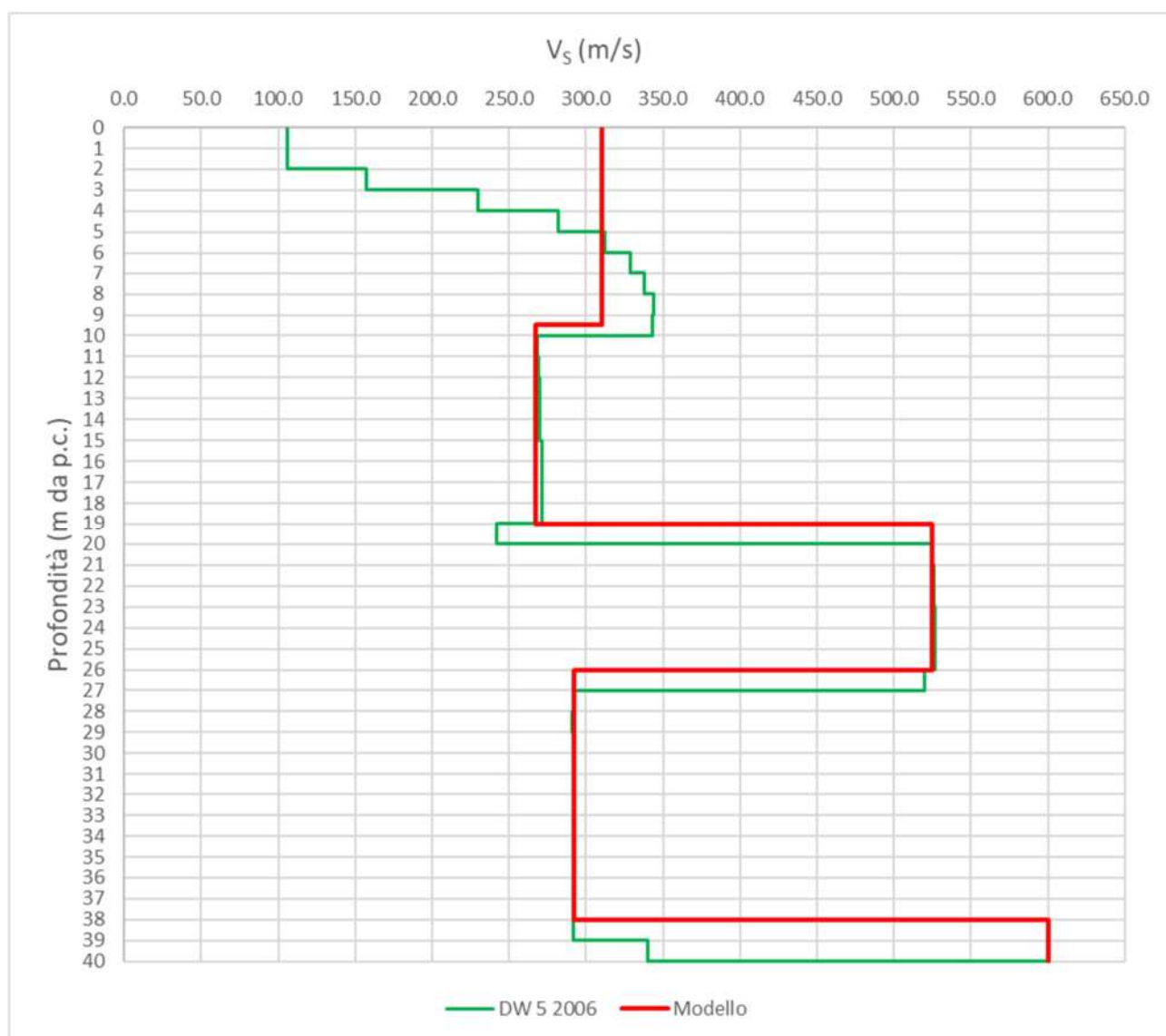


Fig. 54 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia



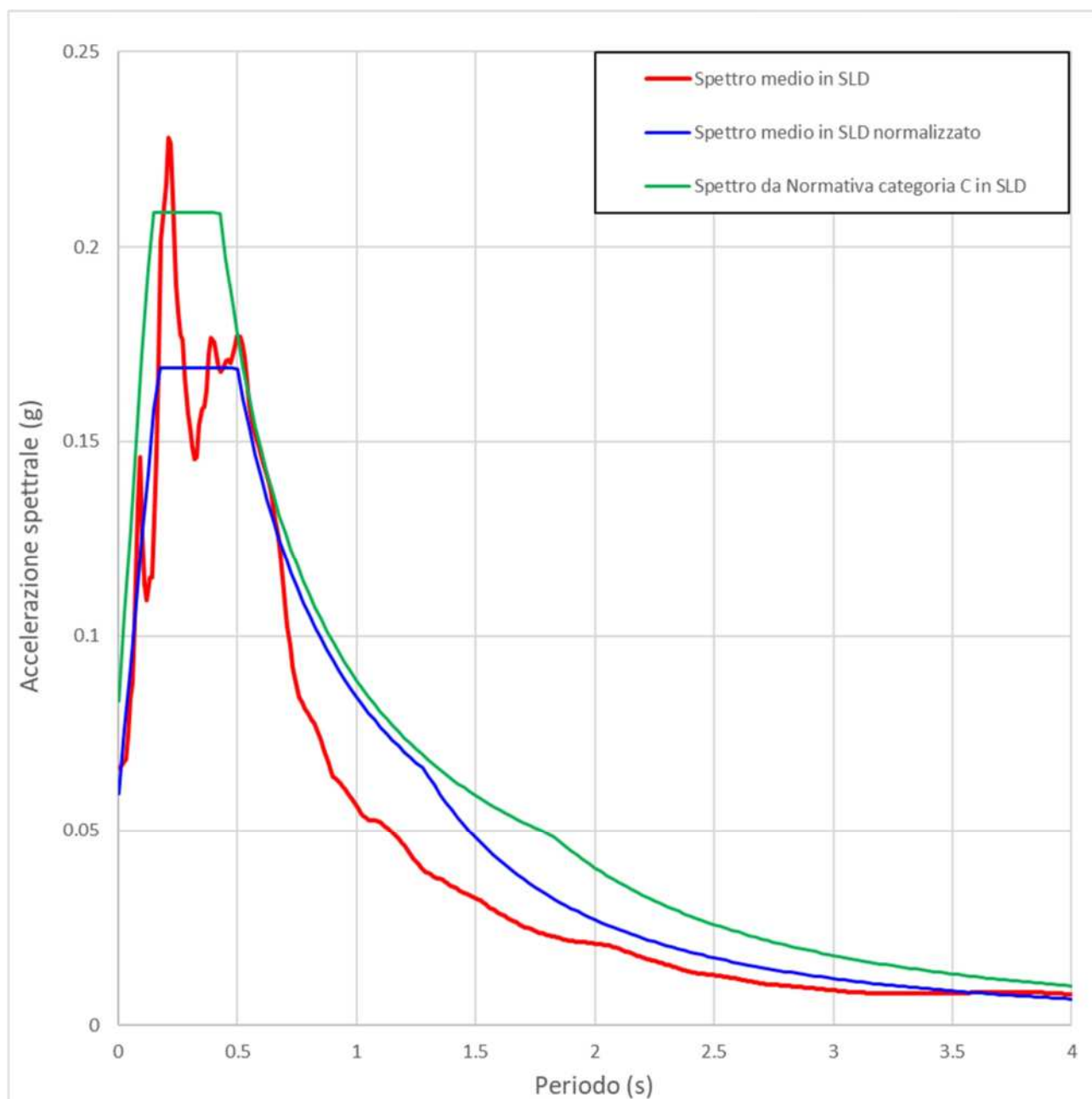


Fig. 55 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.060	2.836	0.352	1.000	1.000	0.166	0.499	1.283	1.420

Tab. 45 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	78 di 235

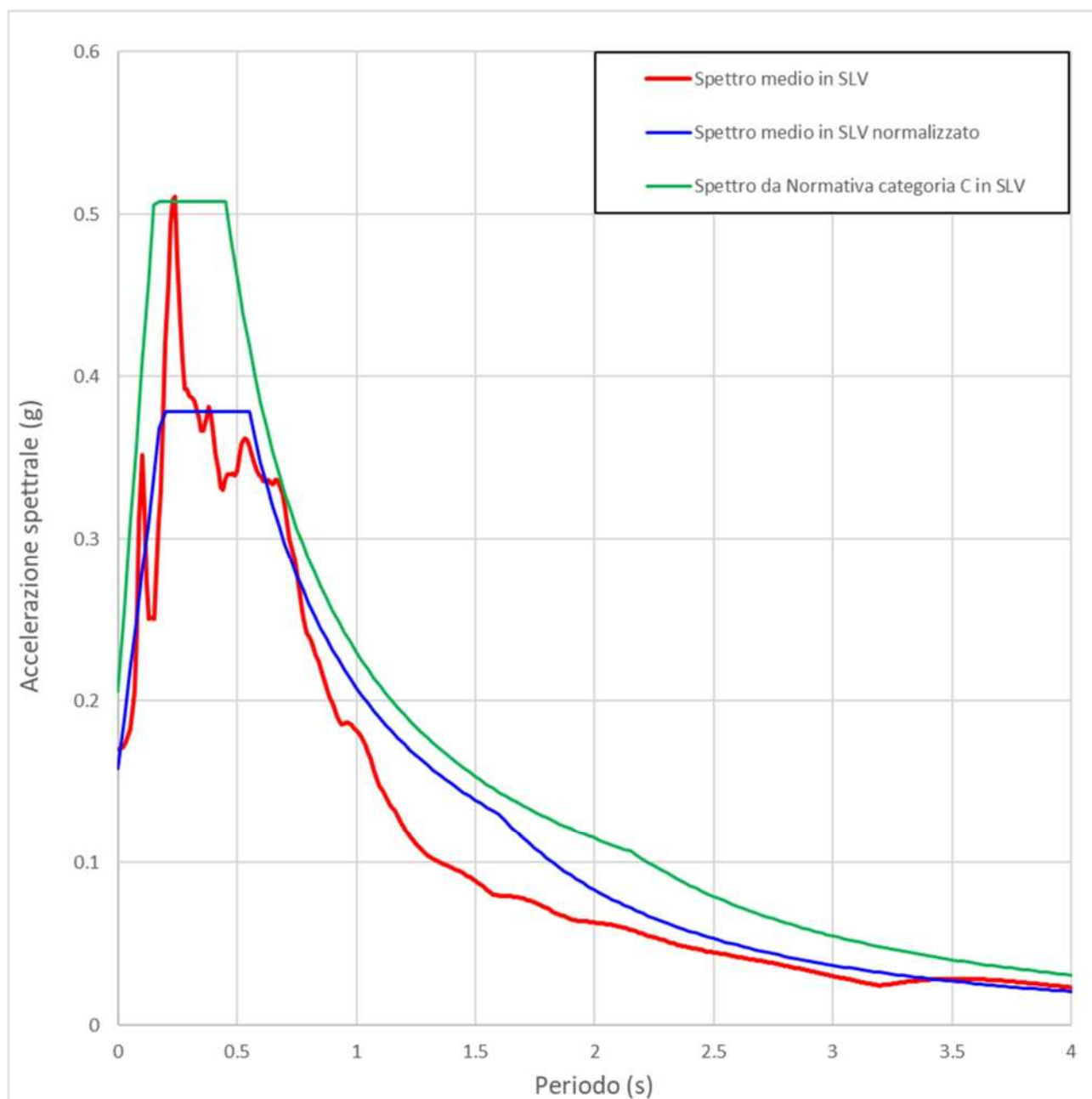


Fig. 56 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.158	2.391	0.388	1.000	1.000	0.183	0.550	1.600	1.420

Tab. 46 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	79 di 235

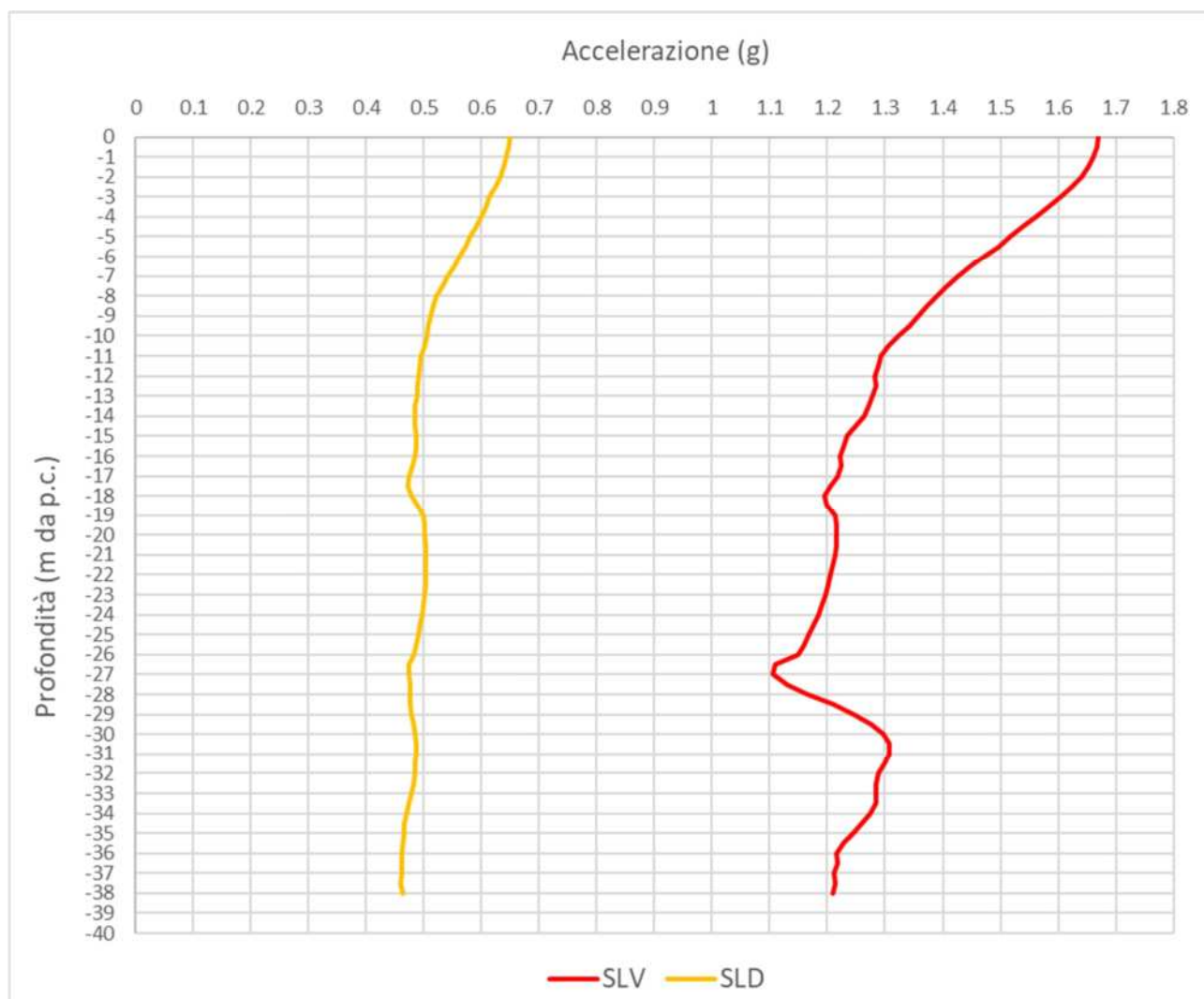


Fig. 57 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.18
FA (0.4-0.8 s)	1.80
FA (0.5-1.5 s)	1.76
FA (0.7-1.1 s)	1.82
PGA/PGA ₀	1.23
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.16
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.84
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.67

Tab. 47 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P970 – Piazza Ghiaia

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	80 di 235



3.5.11 RSL per il sito 034027P971 – Piastra tecnica

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-10.00	10.00	18.00	240.00	Fognano S1 Cl2
Ghiaia 1	-10.00	-12.00	2.00	21.00	540.00	Rollins
Argilla 2	-12.00	-16.50	4.50	18.00	218.00	Fognano S1 Cl2
Ghiaia 2	-16.50	-19.50	3.00	21.00	461.00	Rollins
Argilla 3	-19.50	-21.50	2.00	19.00	330.00	Corazza S2 Cl3
Ghiaia 3	-21.50	-24.50	3.00	21.00	528.00	Rollins
Argilla 4	-24.50	-29.50	5.00	19.00	304.00	Corazza S2 Cl3
Bedrock	-38.00	-	-	22.00	500.00	-

Tab. 48 – Modello geofisico della verticale 034027P971 – Piastra tecnica

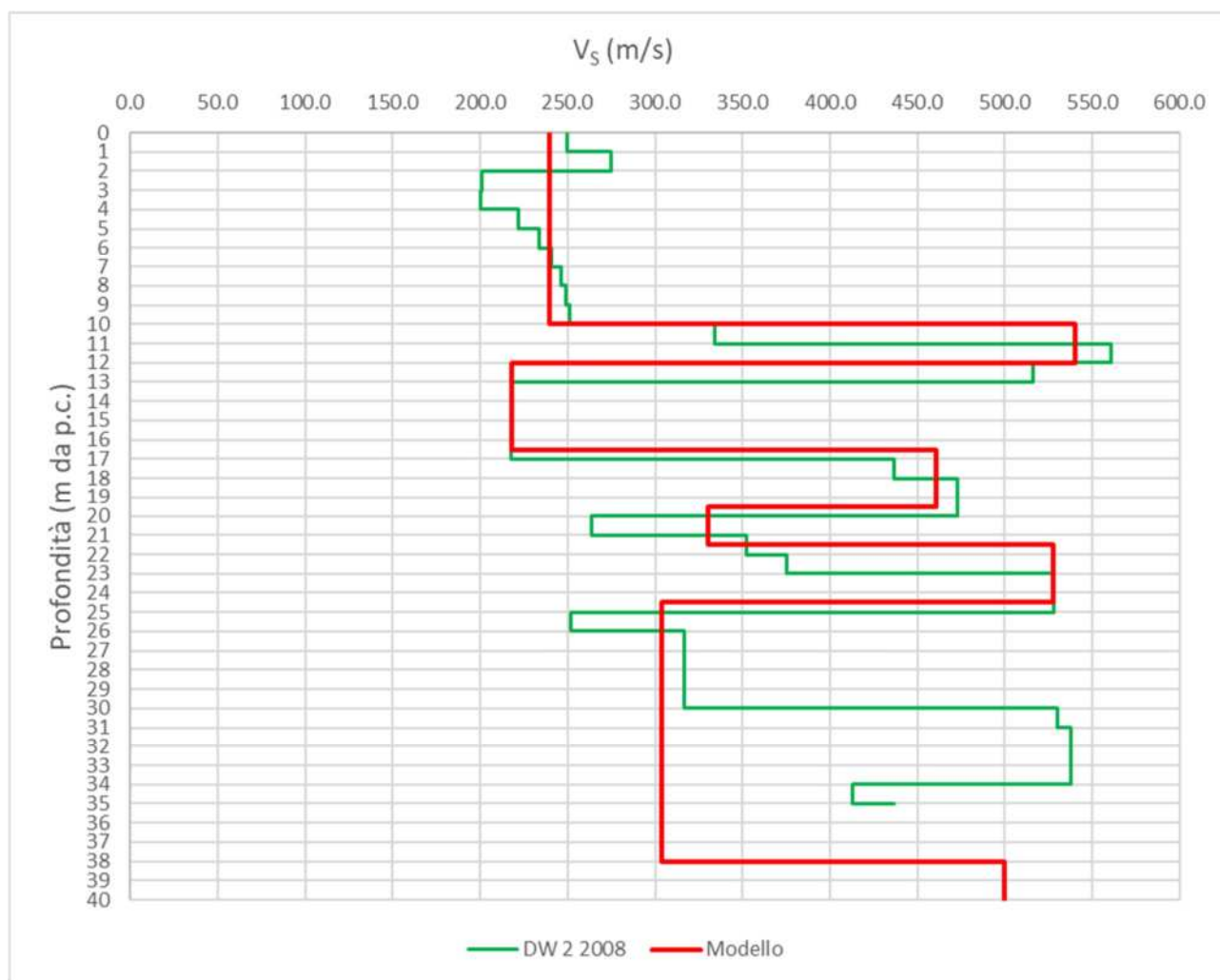


Fig. 58 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P971 – Piastra tecnica



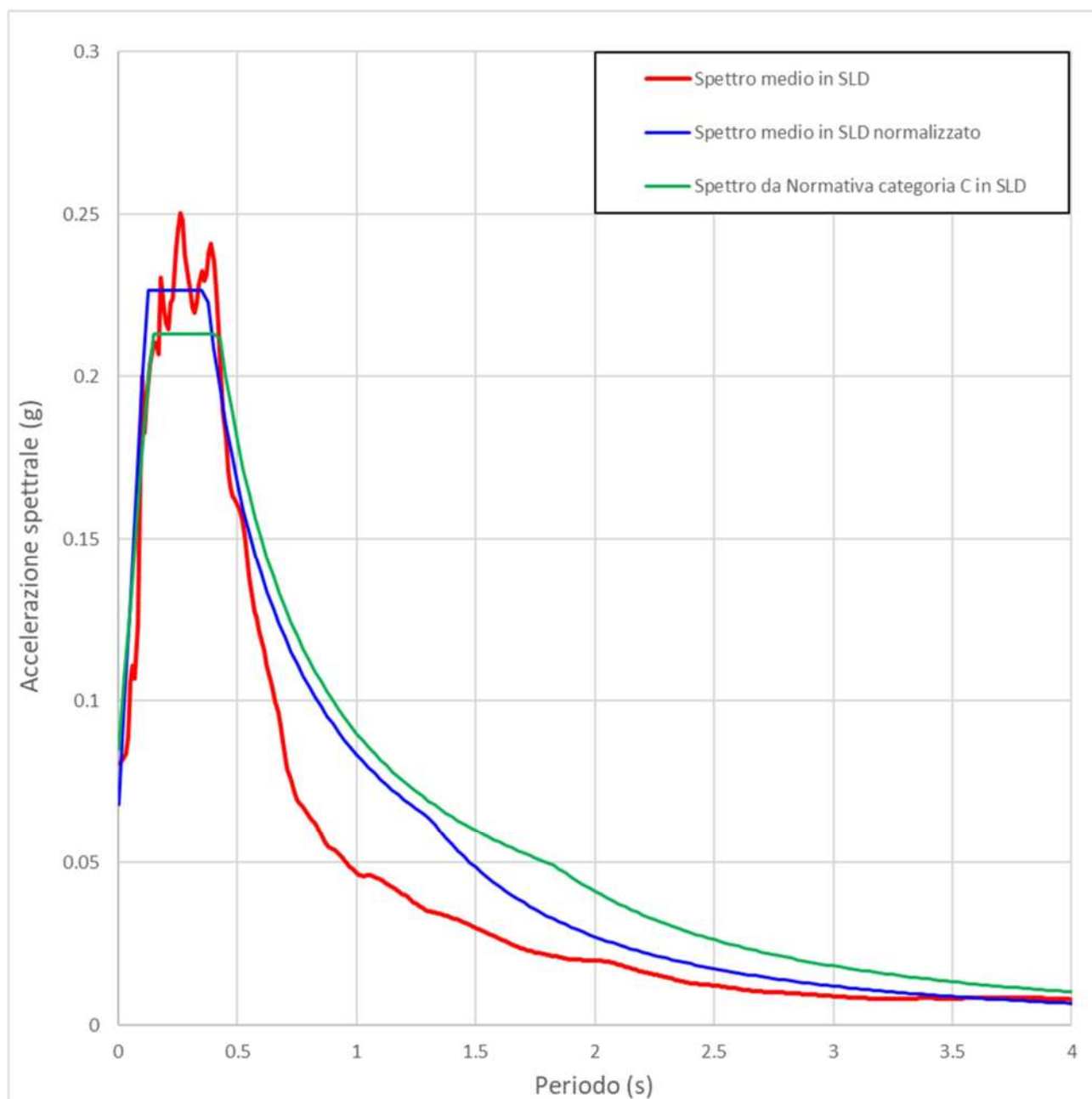


Fig. 59 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P971 – Piastra tecnica in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.068	3.332	0.260	1.000	1.000	0.123	0.369	1.306	1.420

Tab. 49 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P971 – Piastra tecnica in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	82 di 235

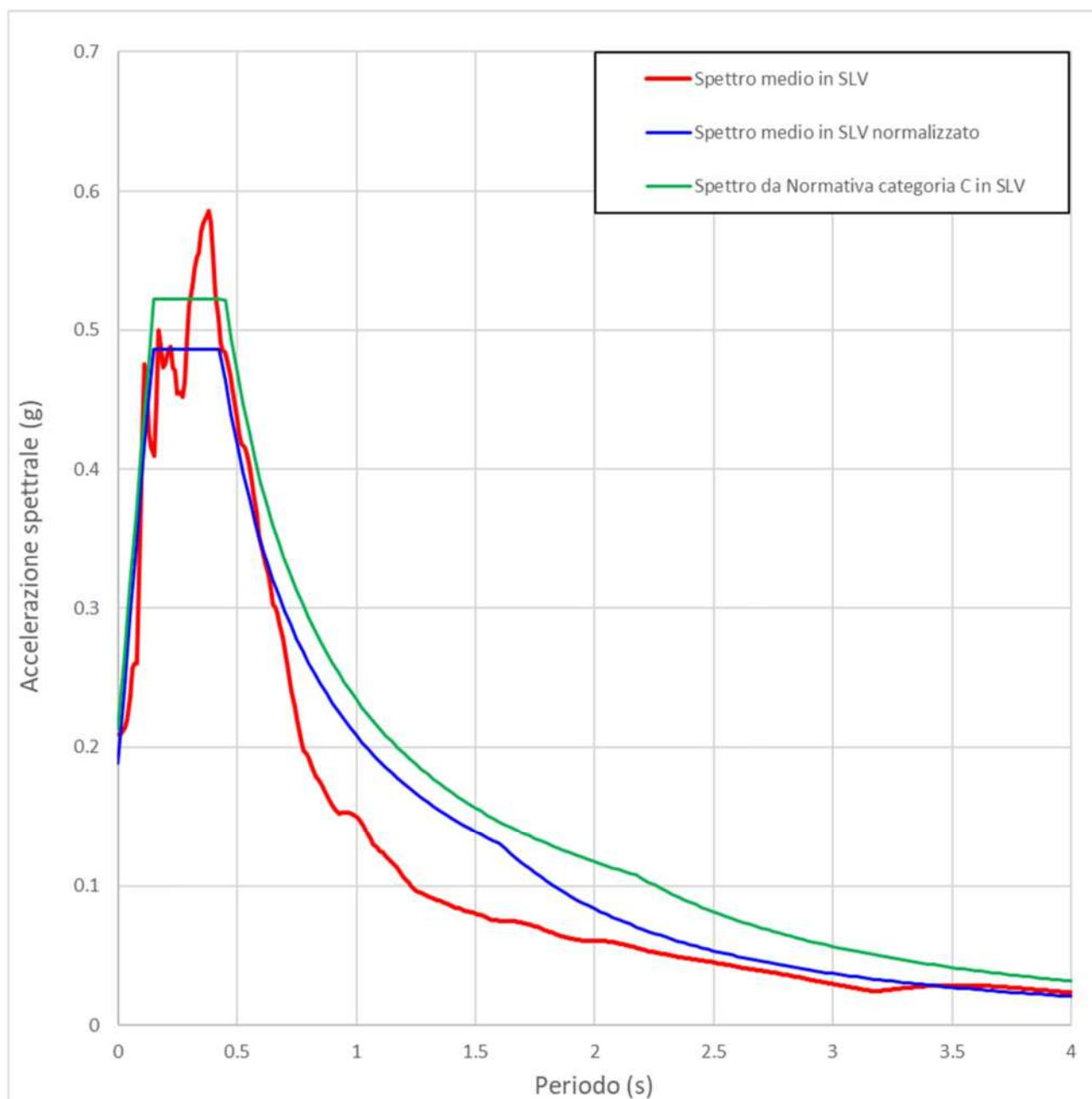


Fig. 60 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P971 – Piastra tecnica in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.188	2.582	0.302	1.000	1.000	0.143	0.429	1.603	1.420

Tab. 50 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P971 – Piastra tecnica in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	83 di 235

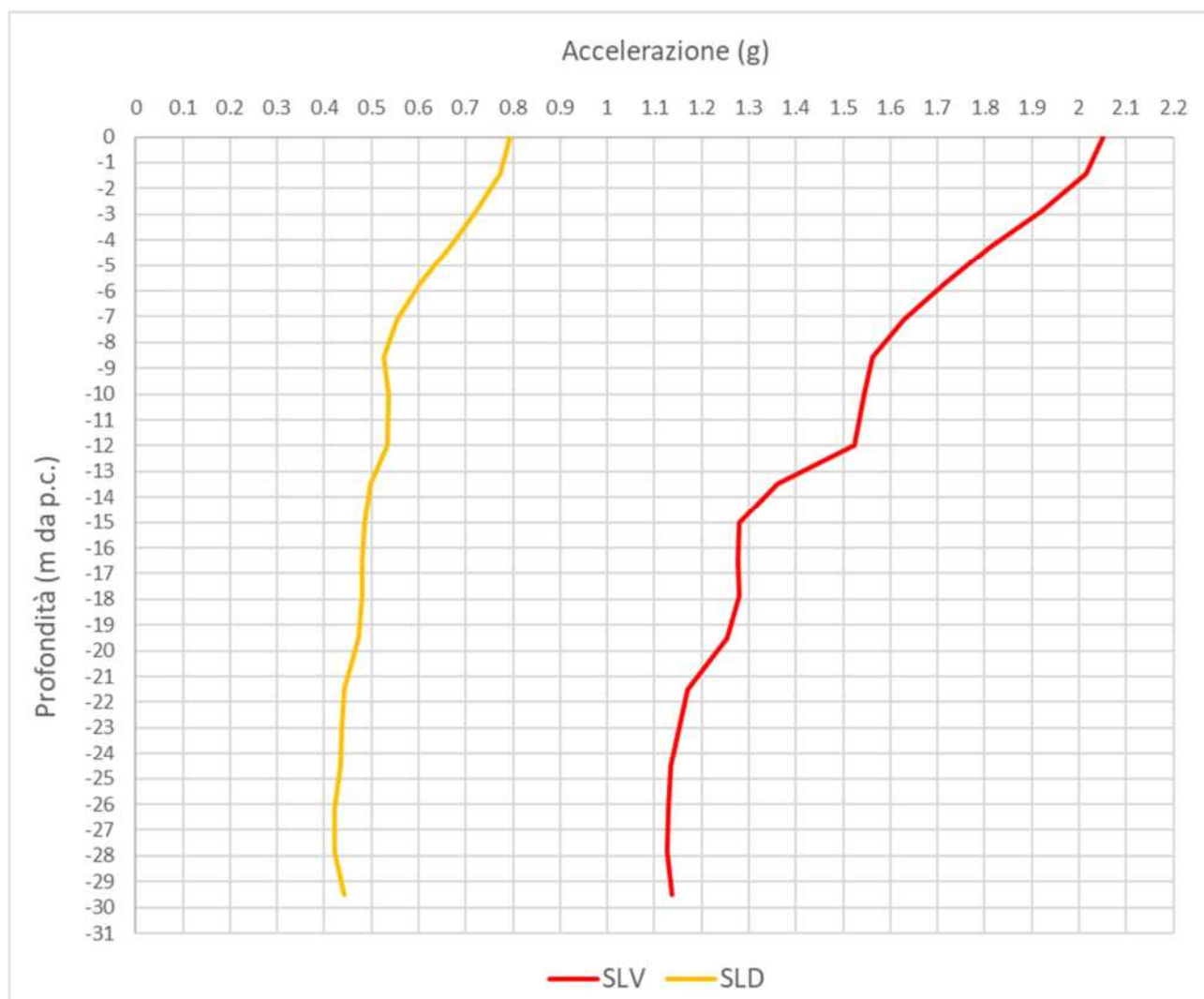


Fig. 61 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P971 – Piastra tecnica

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.53
FA (0.4-0.8 s)	1.84
FA (0.5-1.5 s)	1.54
FA (0.7-1.1 s)	1.46
PGA/PGA ₀	1.45
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.58
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.69
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.55

Tab. 51 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P971 – Piastra tecnica

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	84 di 235



3.5.12 RSL per il sito 034027P972 – Parcheggio Kennedy

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-7.00	7.00	18.00	187.00	Fognano S1 CI2
Argilla 2	-7.00	-17.00	10.00	18.00	300.00	Corazza S2 CI3
Ghiaia 1	-17.00	-21.00	4.00	20.00	951.00	Rollins
Argilla 3	-21.00	-28.50	7.50	18.00	340.00	Corazza S1 CI4
Ghiaia 2	-28.50	-30.00	1.50	21.00	496.00	Rollins
Argilla 4	-30.00	-34.00	4.00	18.00	383.00	Corazza S1 CI4
Bedrock	-34.00	-	-	22.00	550.00	-

Tab. 52 – Modello geofisico della verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy

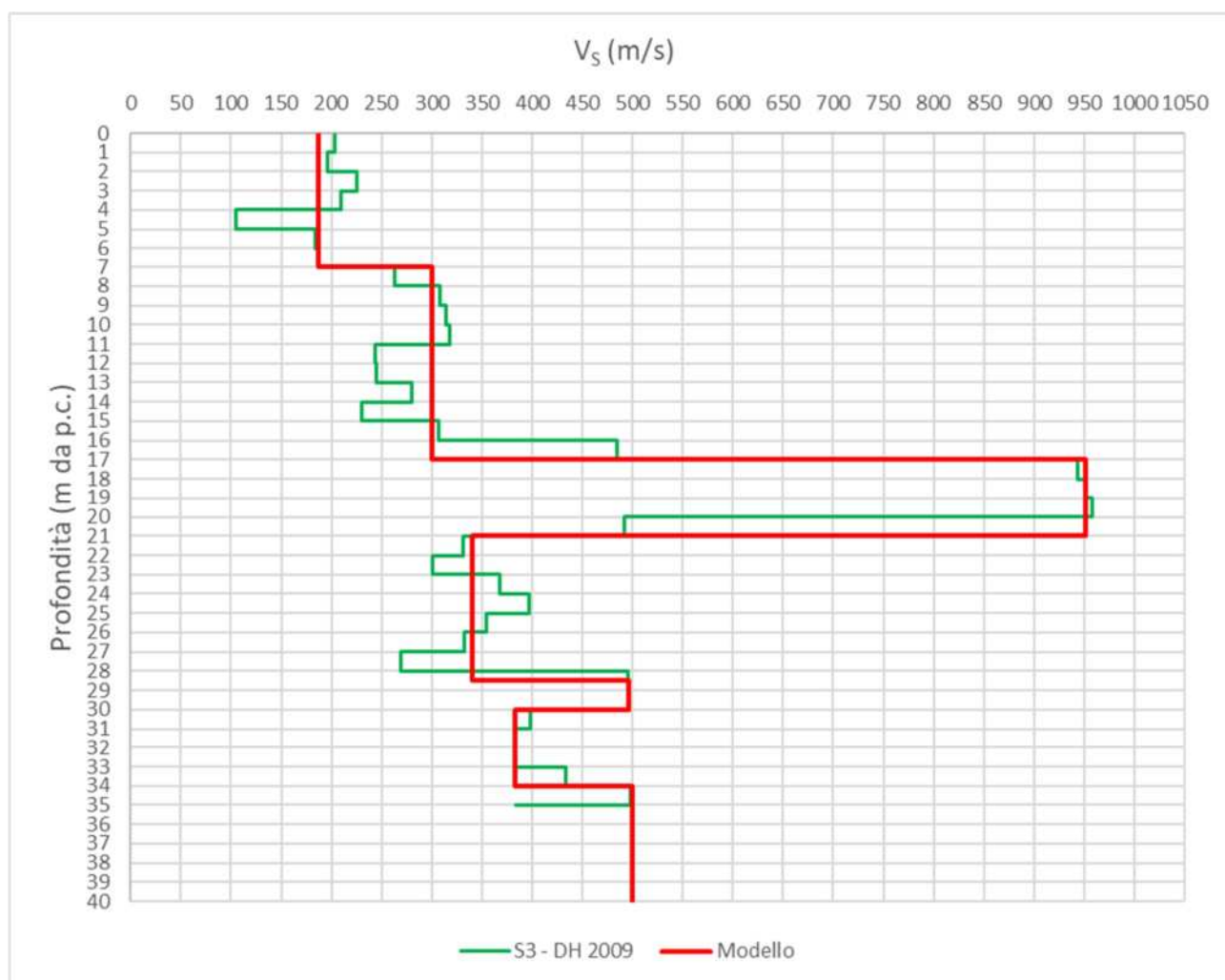


Fig. 62 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy

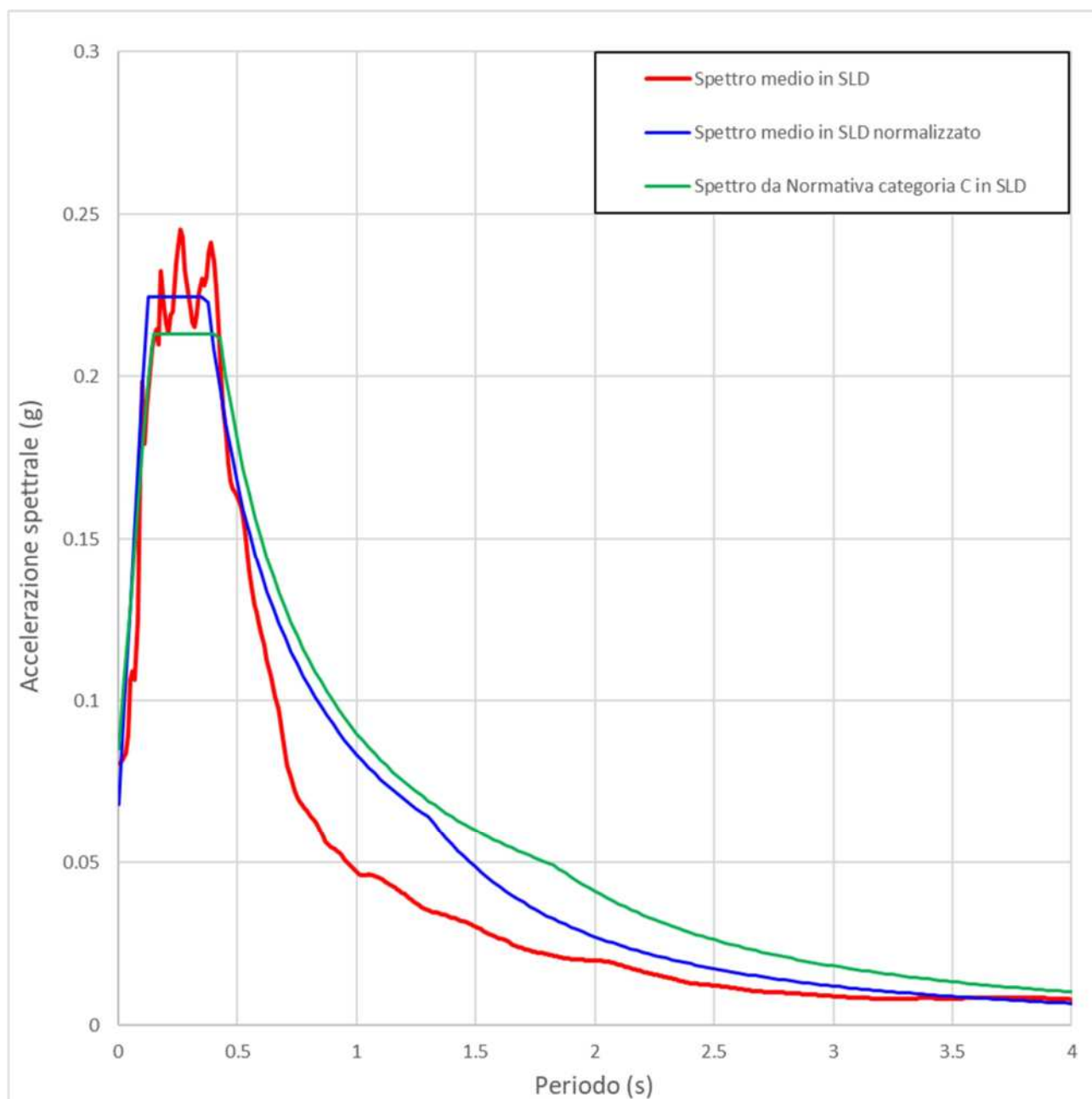


Fig. 63 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.068	3.291	0.262	1.000	1.000	0.124	0.372	1.306	1.420

Tab. 53 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	86 di 235

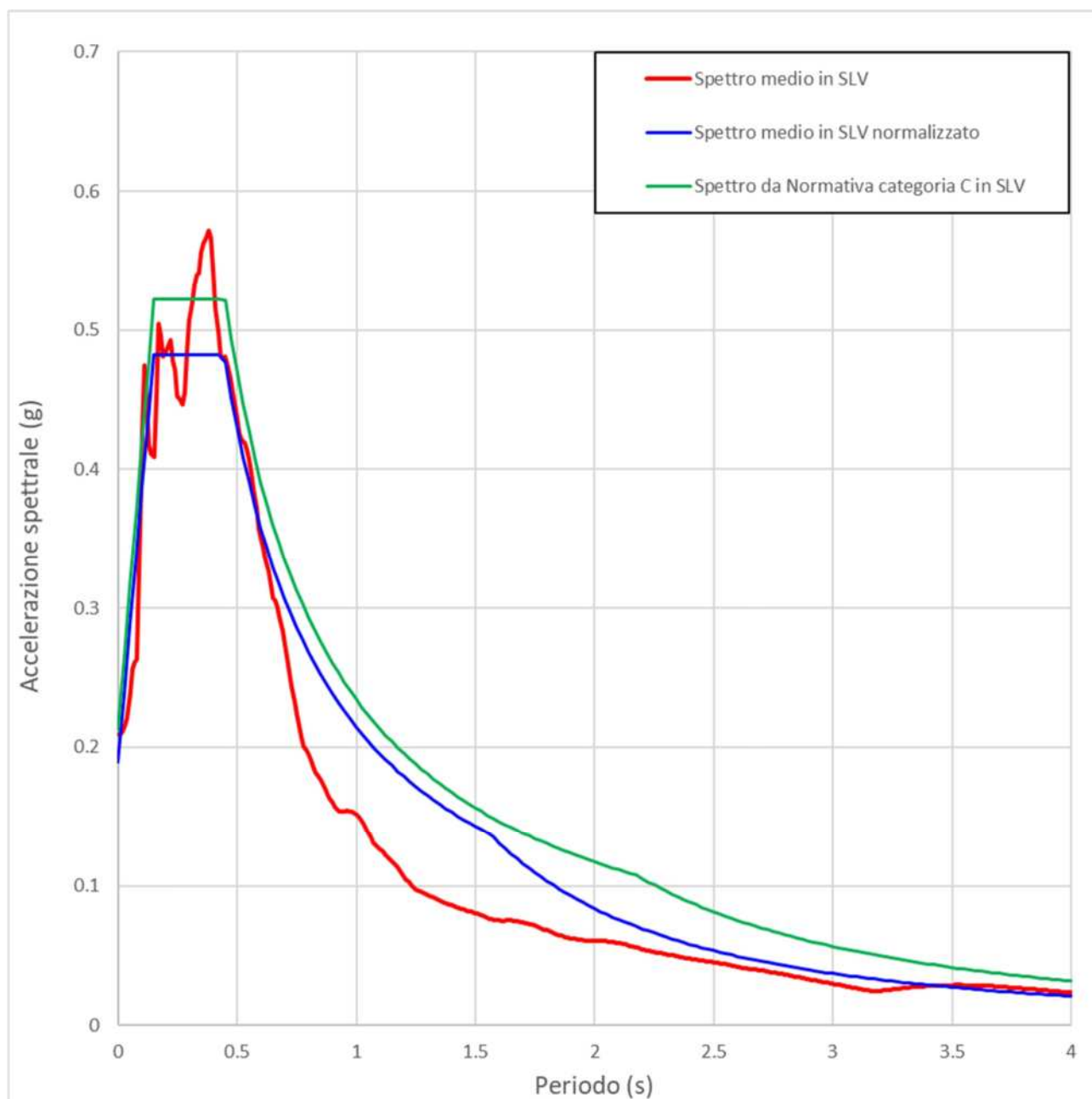


Fig. 64 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.189	2.547	0.314	1.000	1.000	0.148	0.445	1.561	1.420

Tab. 54 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	87 di 235

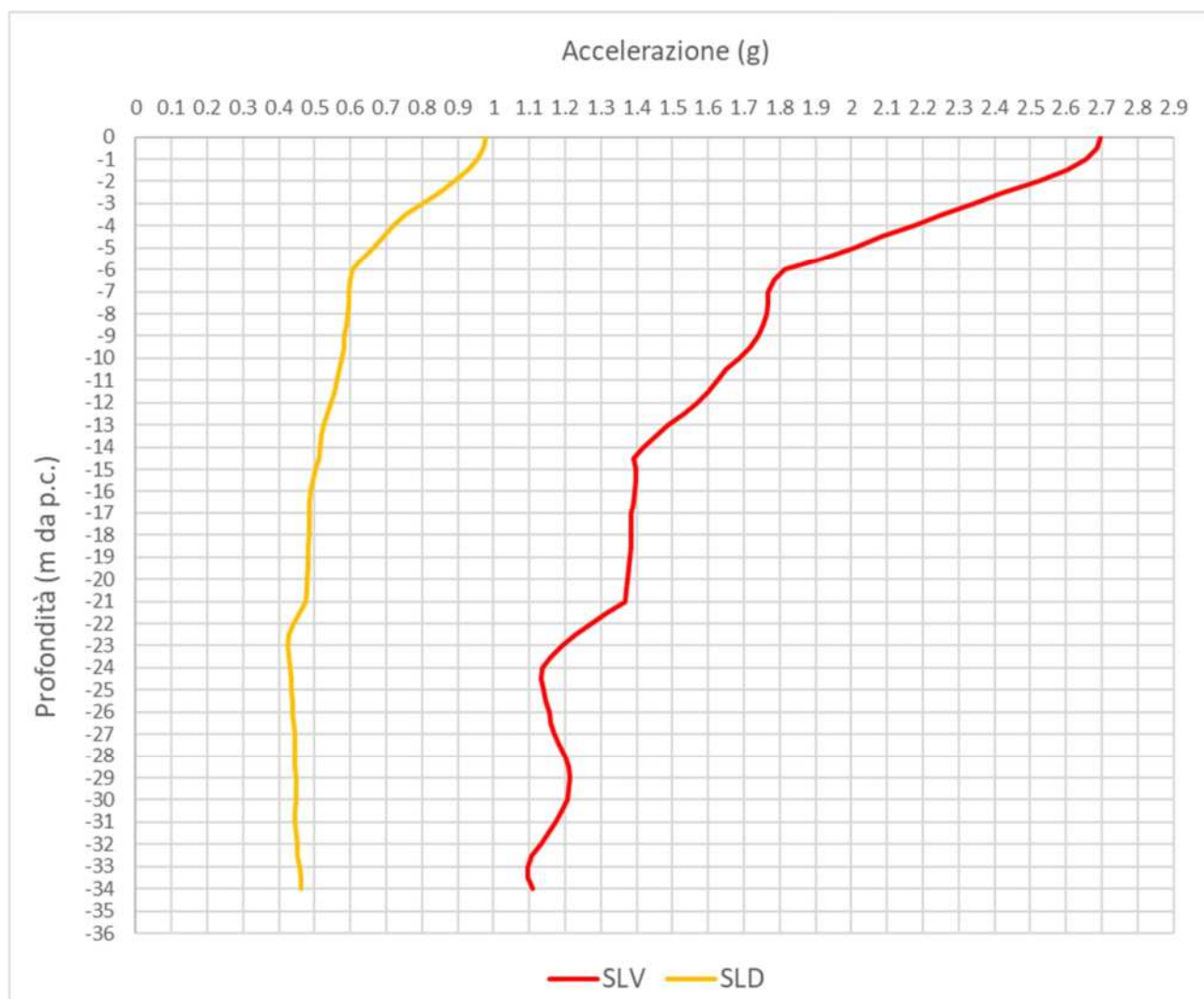


Fig. 65 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.99
FA (0.4-0.8 s)	1.88
FA (0.5-1.5 s)	1.53
FA (0.7-1.1 s)	1.44
PGA/PGA ₀	1.91
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.07
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.77
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.64

Tab. 55 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P972 – Parcheggio Kennedy

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	88 di 235



3.5.13 RSL per il sito 034027P973 – Parcheggio conservatorio

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Ghiaia 1	-0.00	-6.00	6.00	20.00	300.00	Rollins
Ghiaia 2	-6.00	-13.00	7.00	18.00	430.00	Rollins
Argilla 1	-13.00	-18.00	5.00	20.00	320.00	Corazza S2 Cl3
Ghiaia 3	-18.00	-23.00	5.00	18.00	370.00	Rollins
Ghiaia 4	-23.00	-27.00	4.00	21.00	650.00	Rollins
Argilla 3	-27.00	-33.30	6.30	18.00	350.00	Corazza S1 Cl4
Bedrock	-33.30	-	-	22.00	650.00	-

Tab. 56 – Modello geofisico della verticale 034027P973 – Parcheggio conservatorio

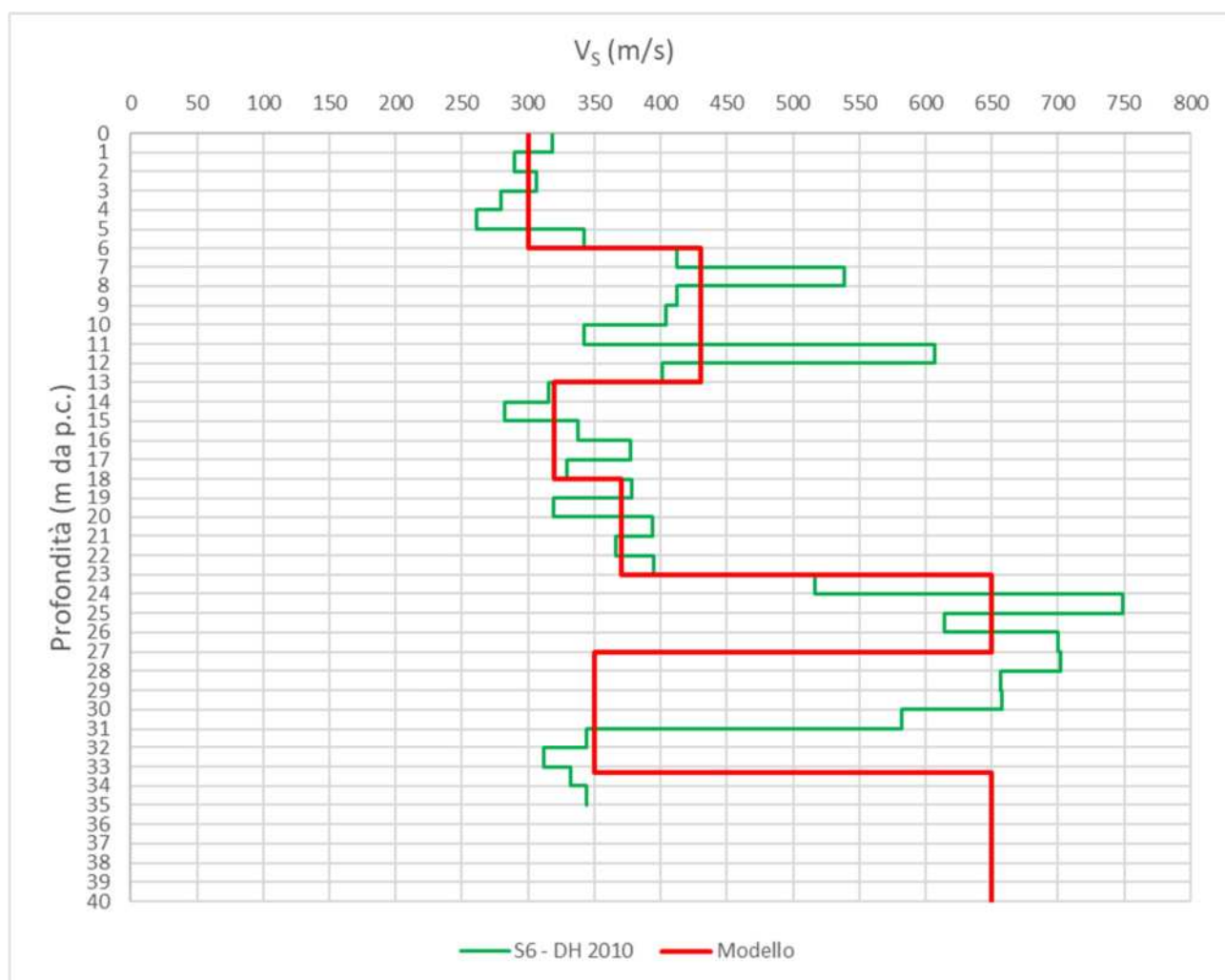


Fig. 66 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P973 – Parcheggio conservatorio

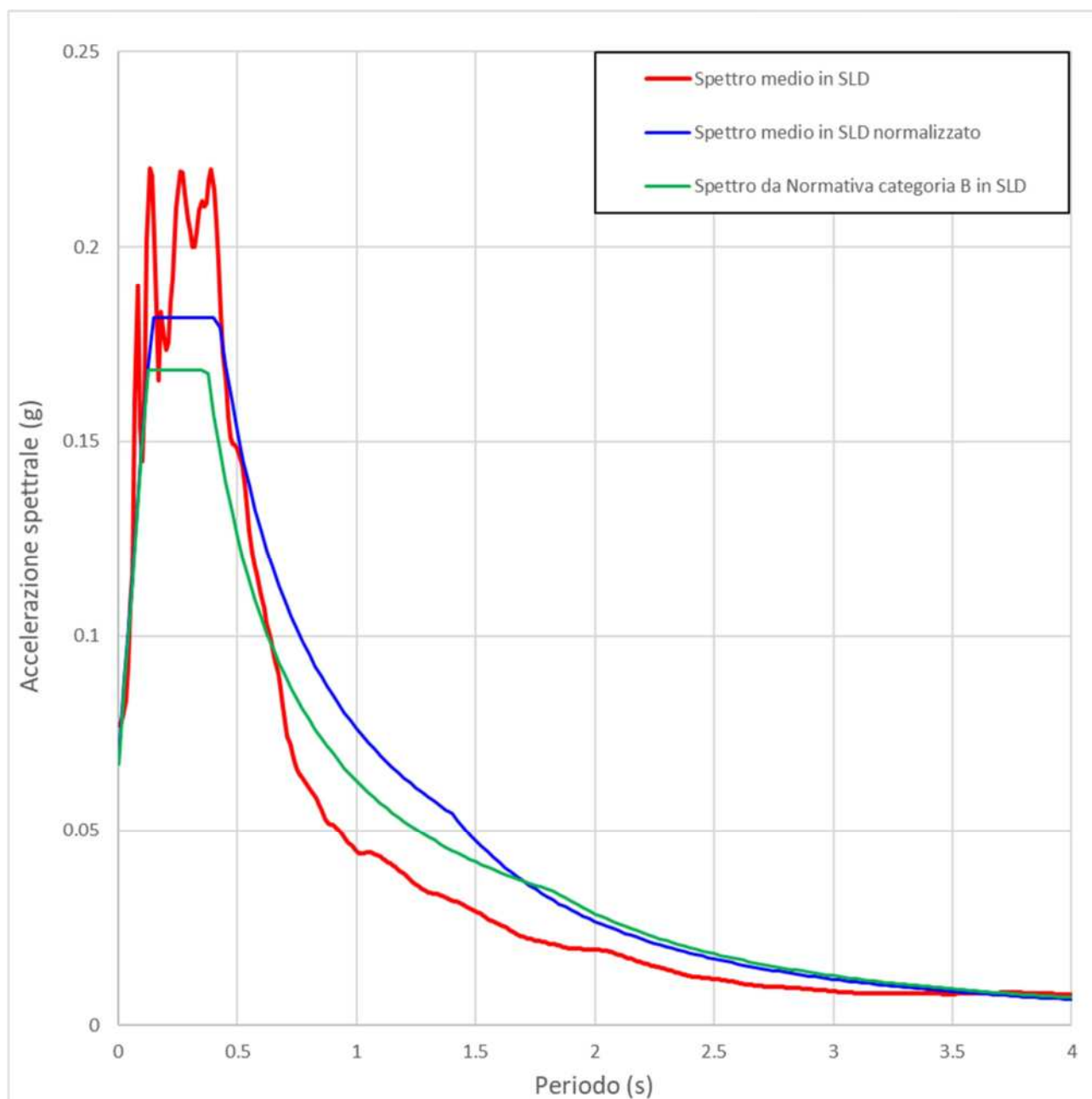


Fig. 67 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P973 – Parcheggio Conservatorio in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.069	2.630	0.295	1.000	1.000	0.140	0.419	1.398	1.420

Tab. 57 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P973 – Parcheggio Conservatorio in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	90 di 235

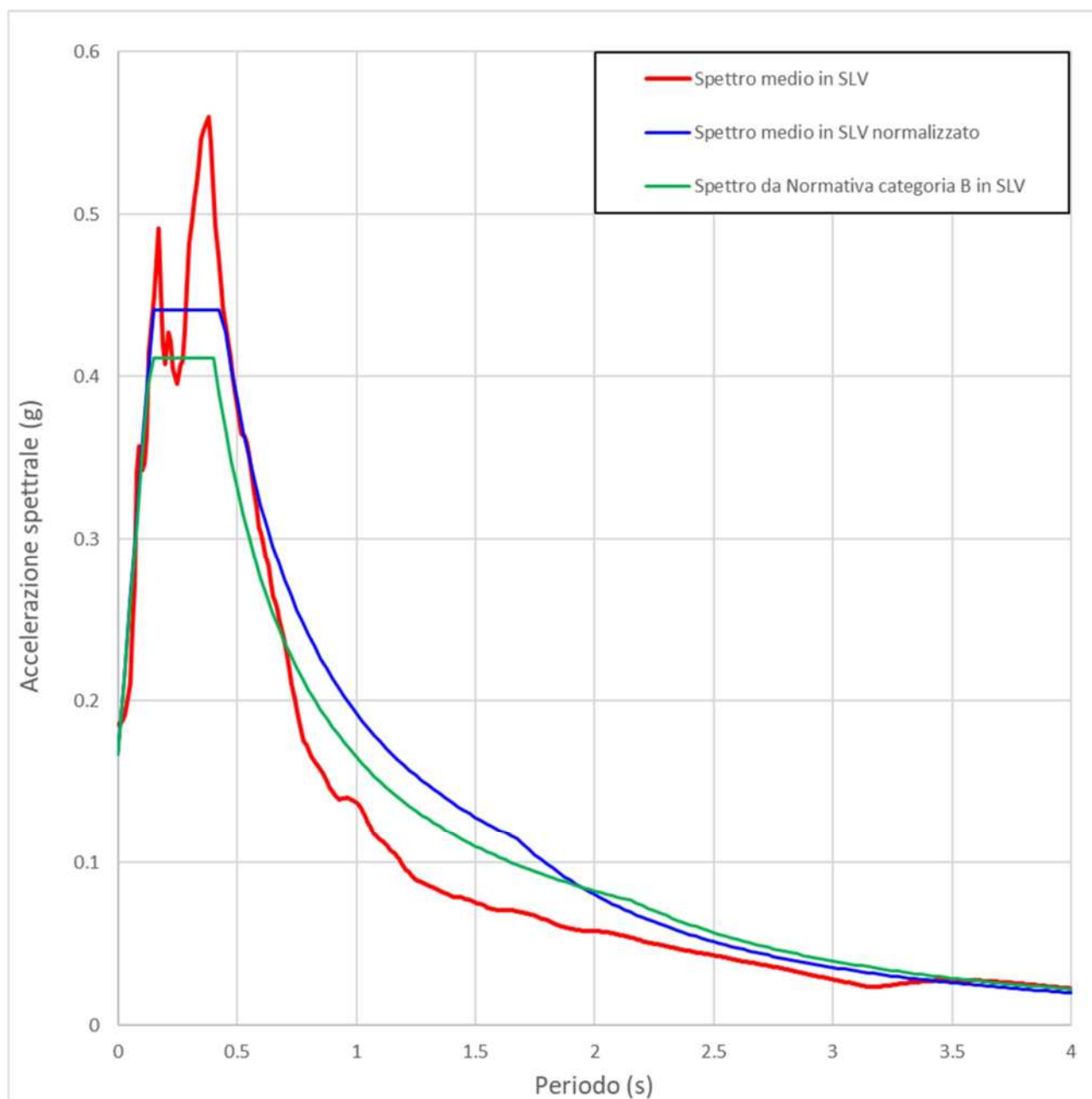


Fig. 68 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P973 – Parcheggio Conservatorio in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.167	2.642	0.307	1.000	1.000	0.145	0.436	1.670	1.420

Tab. 58 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P973 – Parcheggio Conservatorio in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	91 di 235

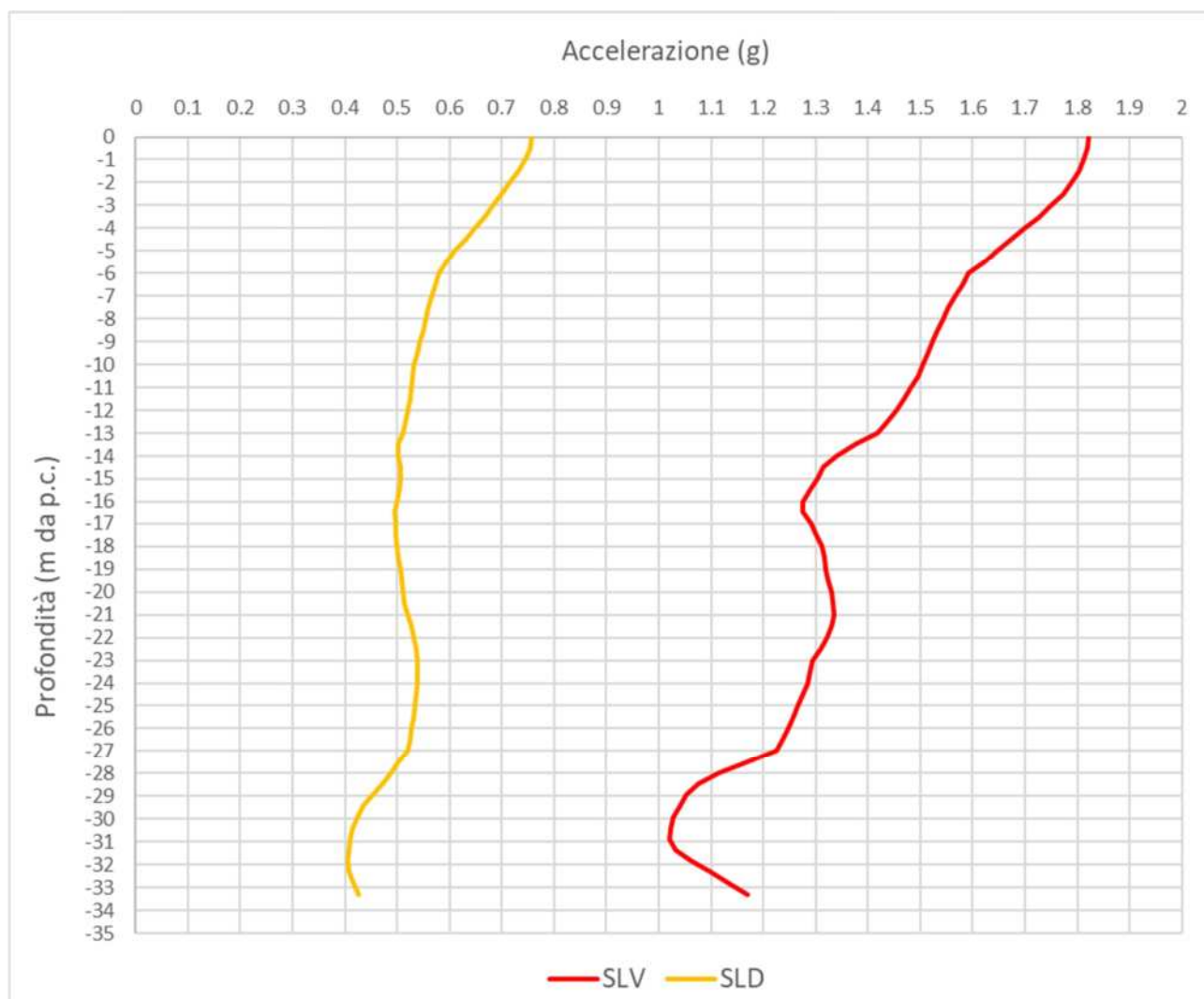


Fig. 69 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P971 – Piastra tecnica

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.43
FA (0.4-0.8 s)	1.67
FA (0.5-1.5 s)	1.42
FA (0.7-1.1 s)	1.35
PGA/PGA ₀	1.32
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.49
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.55
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.45

Tab. 59 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P971 – Piastra tecnica



3.5.14 RSL per il sito 034027P974 – Ex Anagrafe

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	-0.00	-12.00	12.00	18.00	300.00	Fognano S1 Cl2
Ghiaia 1	-12.00	-27.50	15.50	21.00	770.00	Rollins
Ghiaia 2	-27.50	-28.50	1.00	21.00	560.00	Rollins
Ghiaia 3	-28.50	-29.50	1.00	21.00	710.00	Rollins
Ghiaia 4	-29.50	-32.50	3.00	21.00	550.00	Rollins
Bedrock	-32.50	-	-	22.00	850.00	-

Tab. 60 – Modello geofisico della verticale 034027P974 – Ex Anagrafe

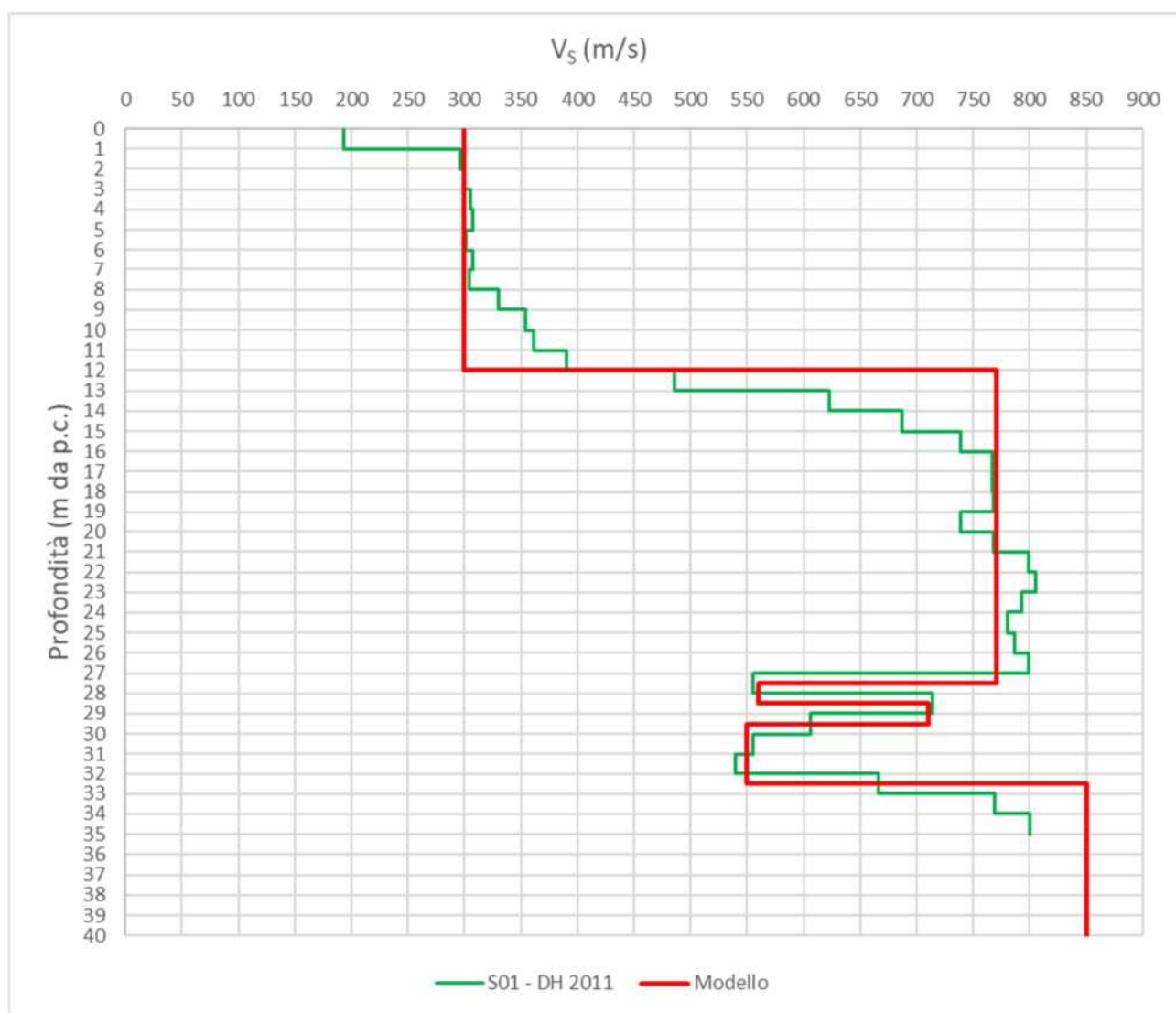


Fig. 70 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P974 – Ex Anagrafe

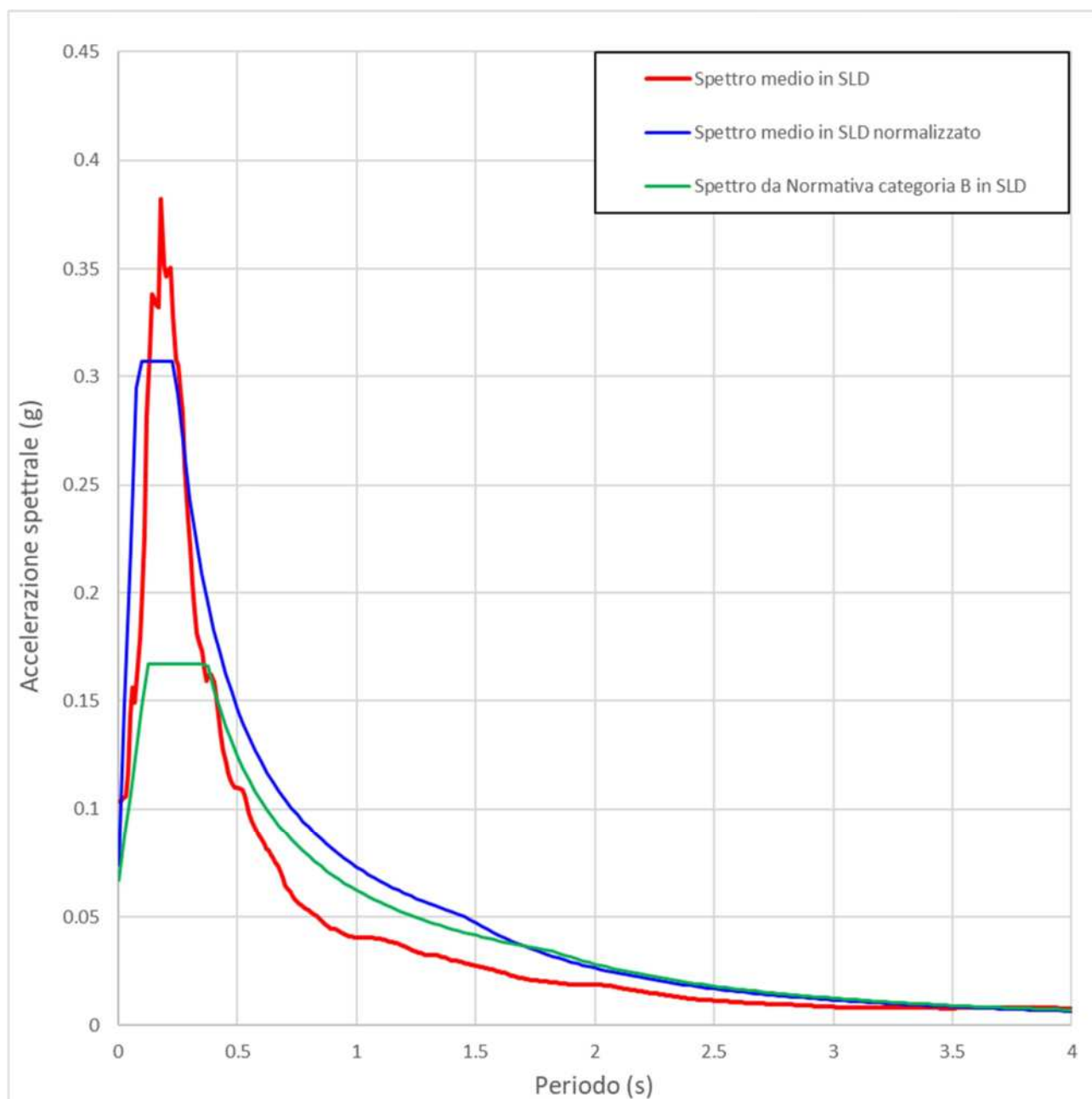


Fig. 71 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P974 – Ex Anagrafe in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.074	4.167	0.167	1.000	1.000	0.079	0.238	1.449	1.420

Tab. 61 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P974 – Ex Anagrafe in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	94 di 235

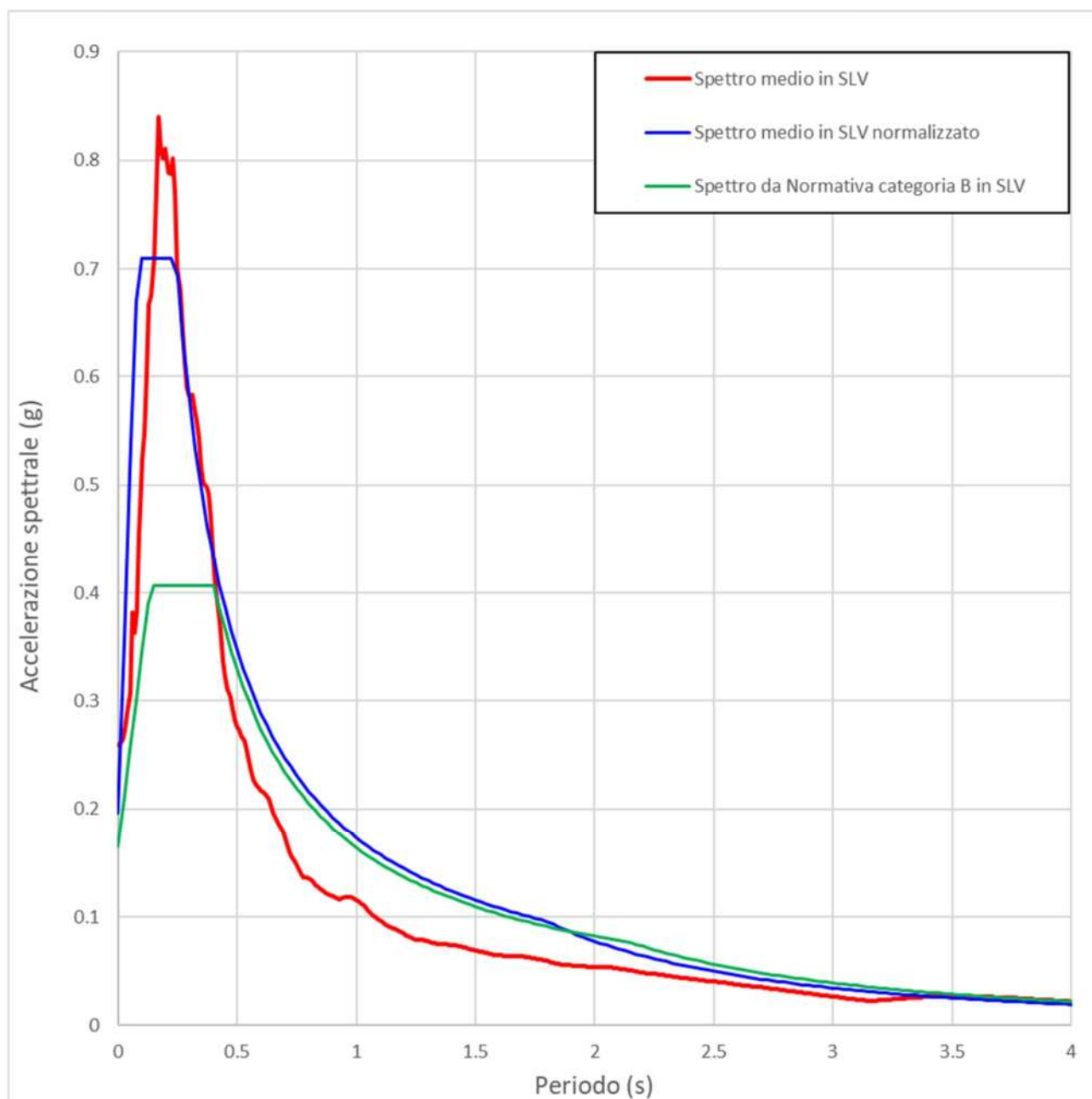


Fig. 72 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P974 – Ex Anagrafe in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.196	3.612	0.172	1.000	1.000	0.081	0.244	1.795	1.420

Tab. 62 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P974 – Ex Anagrafe in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	95 di 235

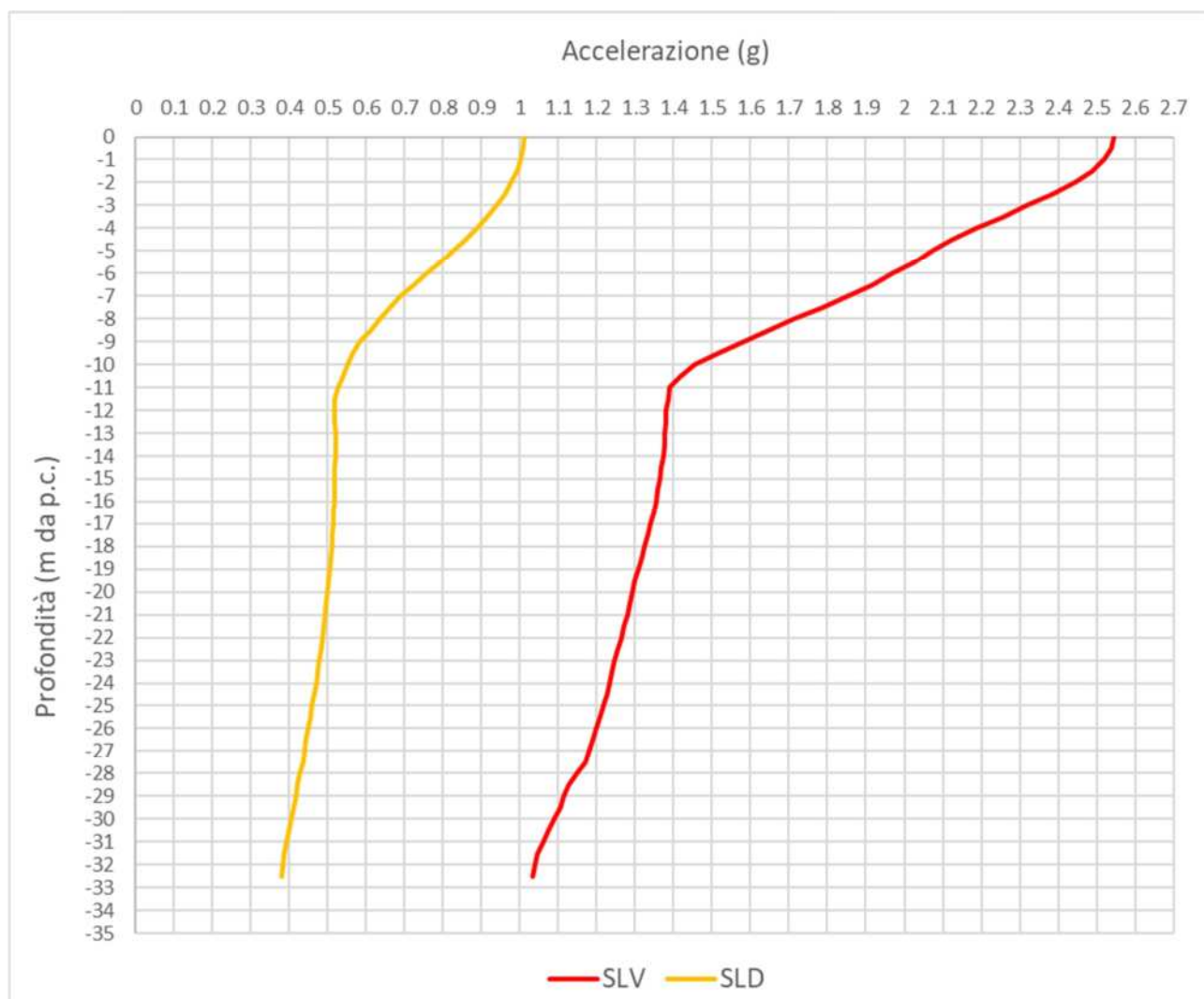


Fig. 73 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P974 – Ex Anagrafe

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.84
FA (0.4-0.8 s)	1.27
FA (0.5-1.5 s)	1.14
FA (0.7-1.1 s)	1.12
PGA/PGA ₀	1.89
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.82
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.30
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.25

Tab. 63 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P974 – Ex Anagrafe

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	96 di 235



3.5.15 RSL per il sito 034027P975 – Impianto polivalente

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-3.50	3.50	18.00	159.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Argilla 2	-3.50	-8.00	4.50	18.00	148.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Argilla 3	-8.00	-16.00	8.00	18.00	182.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Argilla 4	-16.00	-19.00	3.00	18.00	217.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Argilla 5	-19.00	-26.50	7.50	18.00	205.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Ghiaia 1	-26.50	-29.50	3.00	21.00	413.00	Rollins
Ghiaia 2	-29.50	-32.50	3.00	21.00	407.00	Rollins
Bedrock	-32.50	-	-	22.00	771.00	-

Tab. 64 – Modello geofisico della verticale 034027P975 – Impianto polivalente

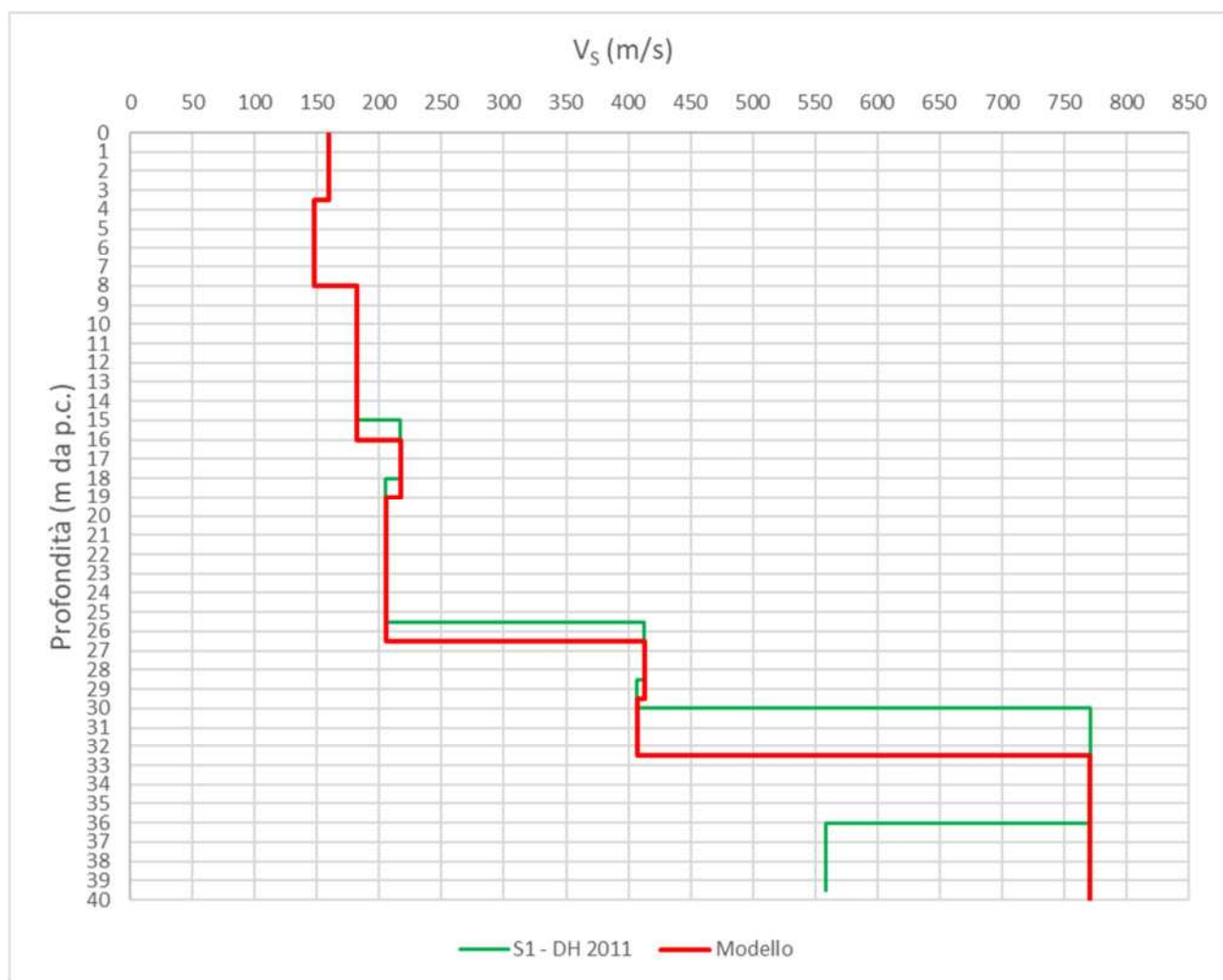


Fig. 74 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P975 – Impianto polivalente

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	97 di 235

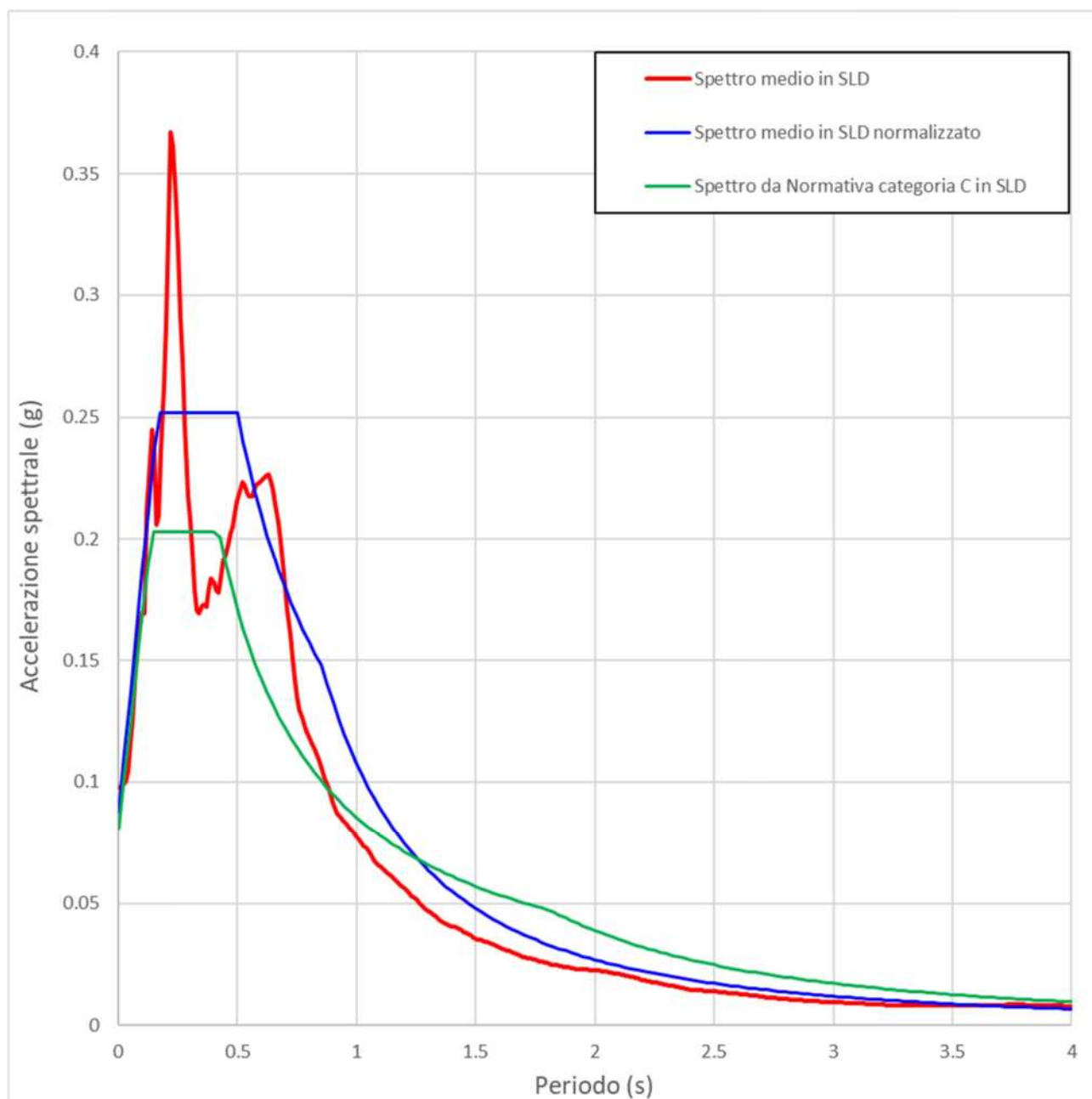


Fig. 75 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P975 – Impianto polivalente in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.088	2.867	0.352	1.000	1.000	0.167	0.500	0.855	1.420

Tab. 65 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P975 – Impianto polivalente in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	98 di 235

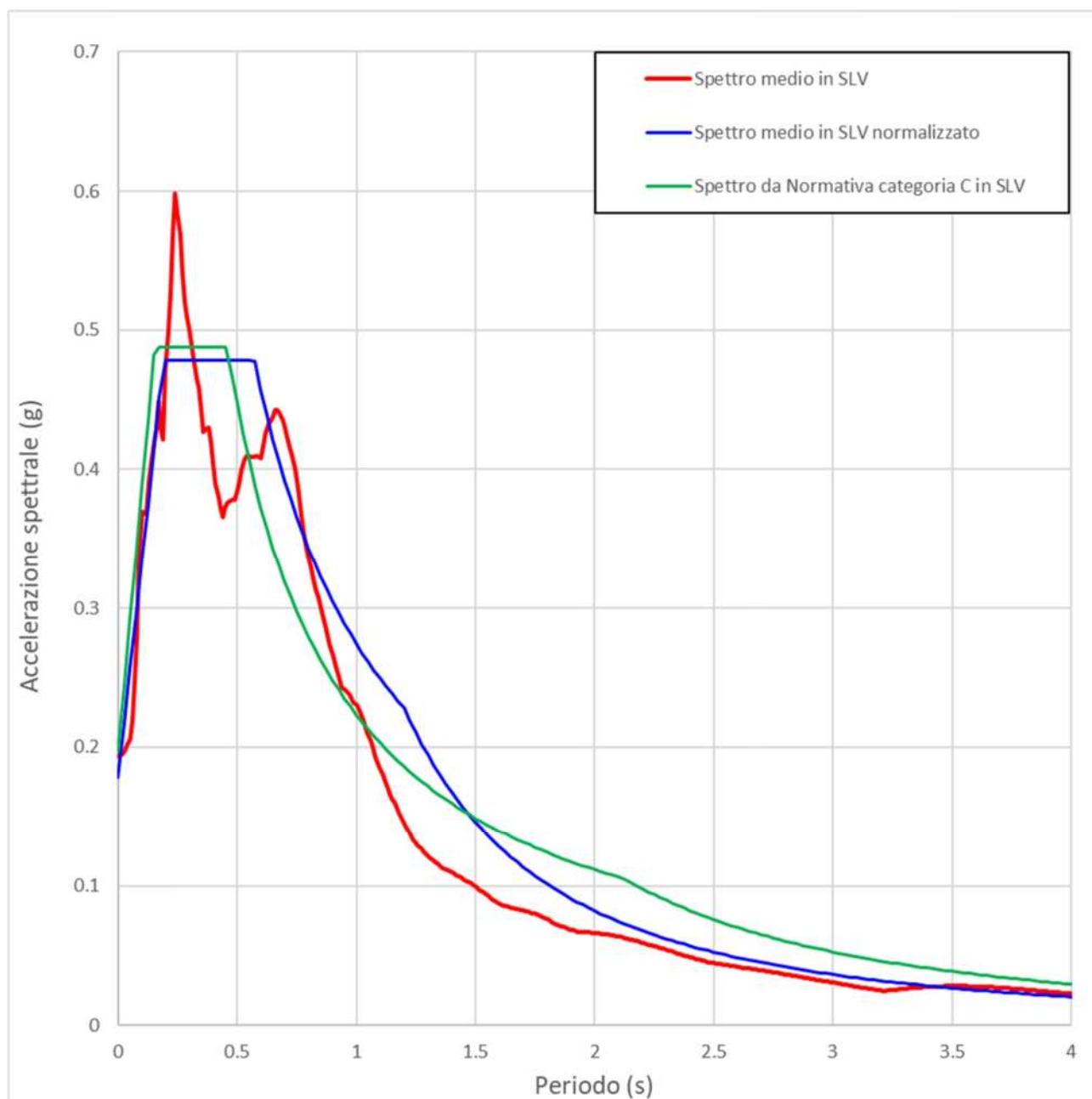


Fig. 76 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P975 – Impianto polivalente in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.178	2.682	0.404	1.000	1.000	0.191	0.574	1.197	1.420

Tab. 66 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P975 – Impianto polivalente in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	99 di 235

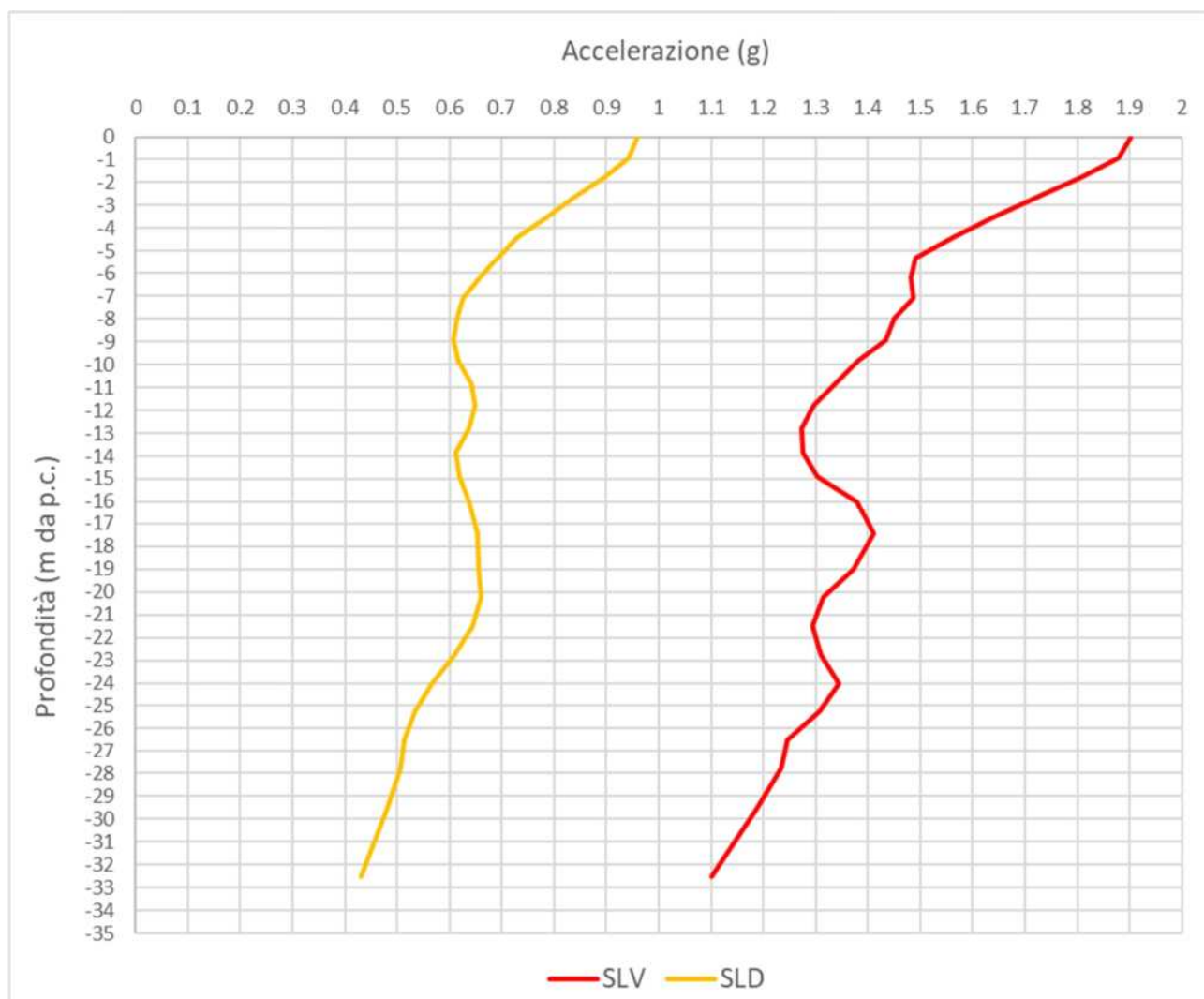


Fig. 77 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P975 – Impianto polivalente

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.51
FA (0.4-0.8 s)	2.35
FA (0.5-1.5 s)	2.34
FA (0.7-1.1 s)	2.60
PGA/PGA ₀	1.46
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.45
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.51
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	2.21

Tab. 67 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P975 – Impianto polivalente

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	100 di 235



3.5.16 RSL per il sito 034027P976 – Centro Cavagnari

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	g (kN/m ³)	V _s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Ghiaia 1	-0.00	-2.00	2.00	21.00	385.00	Rollins
Limo argilloso 1	-2.00	-7.00	5.00	18.50	260.00	Poviglio S1 Sh1
Ghiaia 2	-7.00	-11.00	4.00	21.00	418.00	Rollins
Ghiaia 3	-11.00	-17.00	6.00	21.00	680.00	Rollins
Limo argilloso 2	-17.00	-20.50	3.50	18.50	305.00	Sorbolo S1 Sh2
Ghiaia 4	-20.50	-30.50	10.50	21.00	700.00	Rollins
Limo argilloso 3	-30.50	-37.50	7.00	18.50	317.00	Poviglio S1 Sh1
Bedrock	-37.50	-	-	22.00	720.00	-

Tab. 68 – Modello geofisico della verticale 034027P976 – Centro Cavagnari

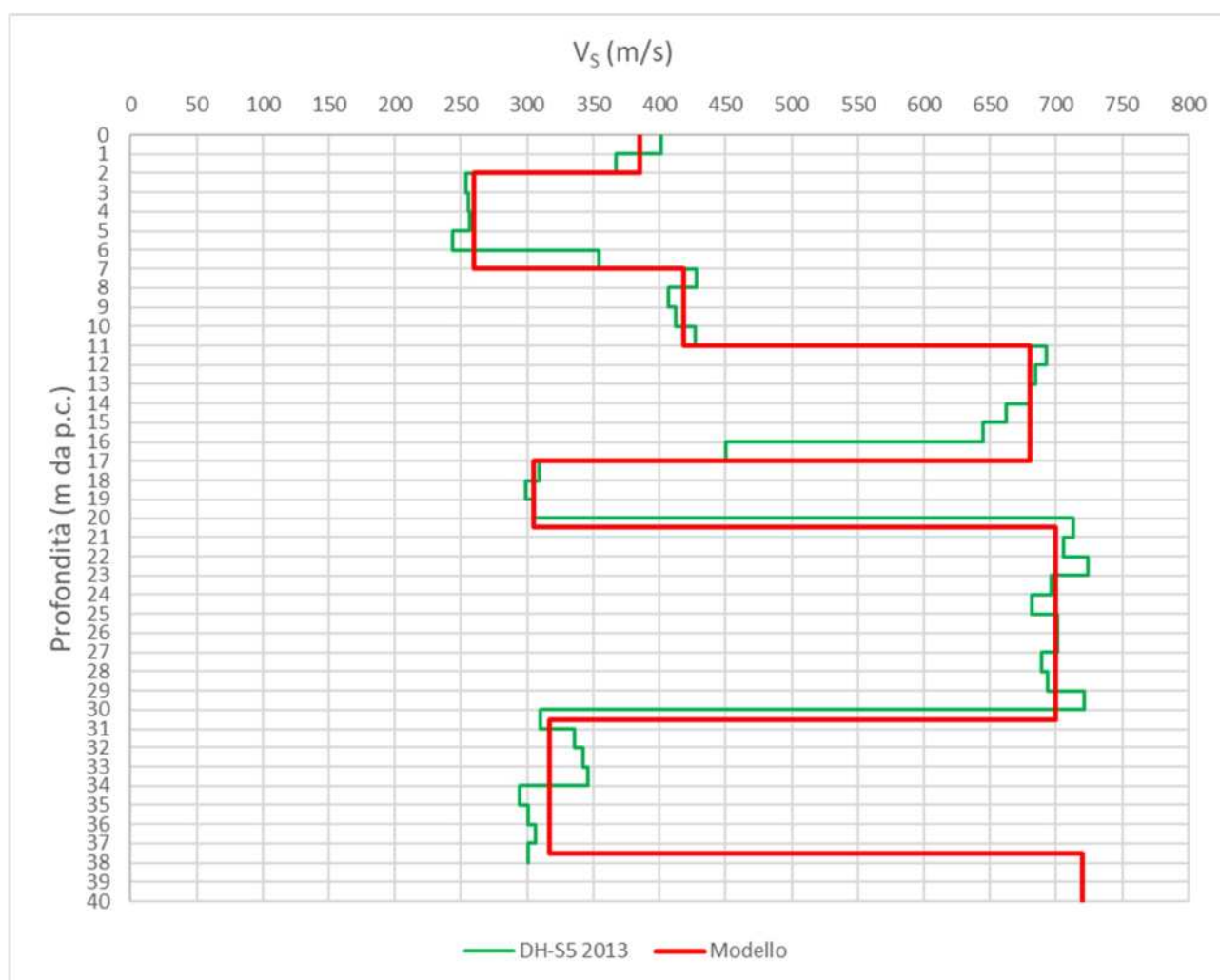


Fig. 78 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P976 – Centro Cavagnari



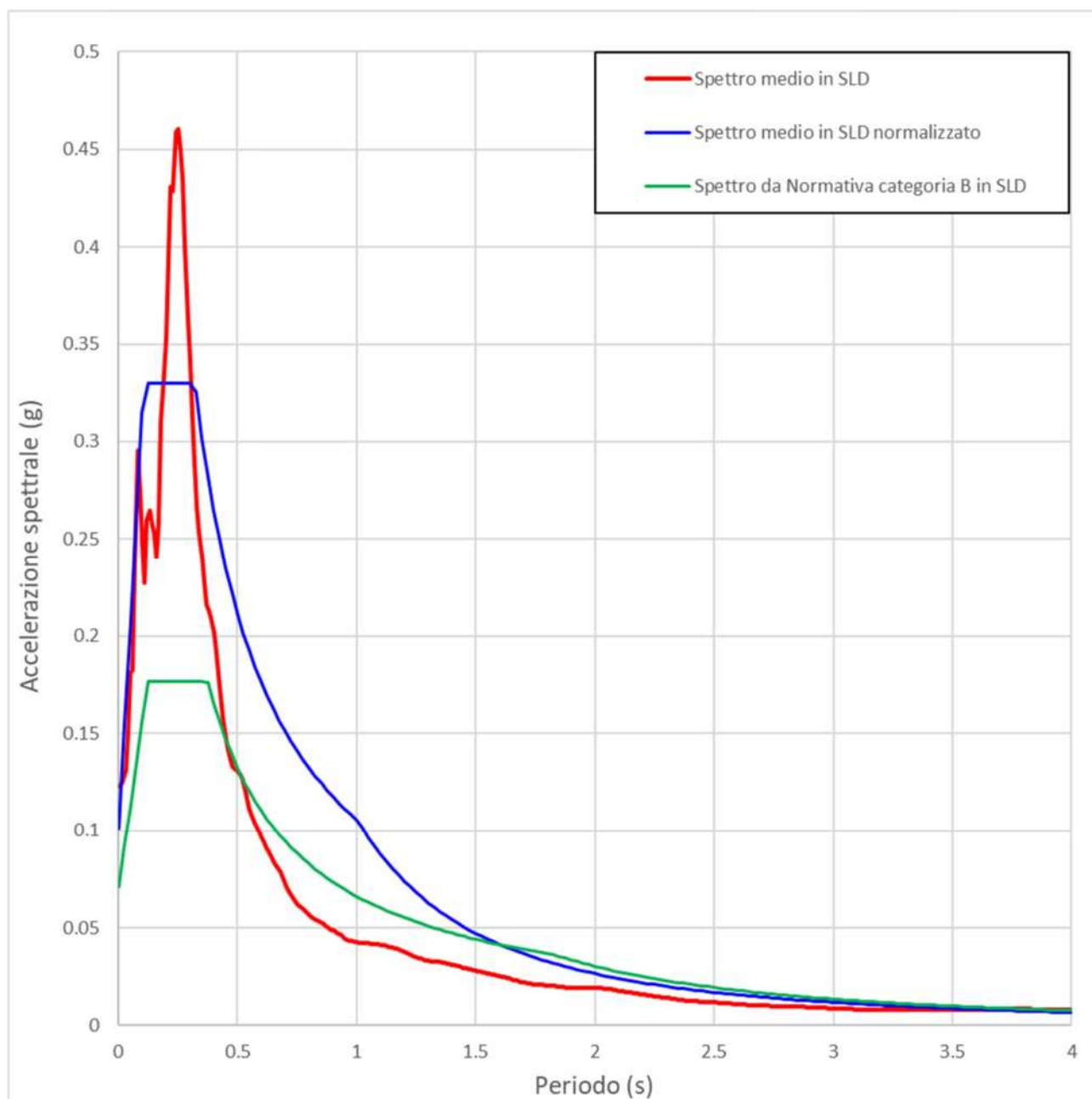


Fig. 79 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P976 – Centro Cavagnari in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.101	3.263	0.226	1.000	1.000	0.107	0.321	1.004	1.420

Tab. 69 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P976 – Centro Cavagnari in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	102 di 235

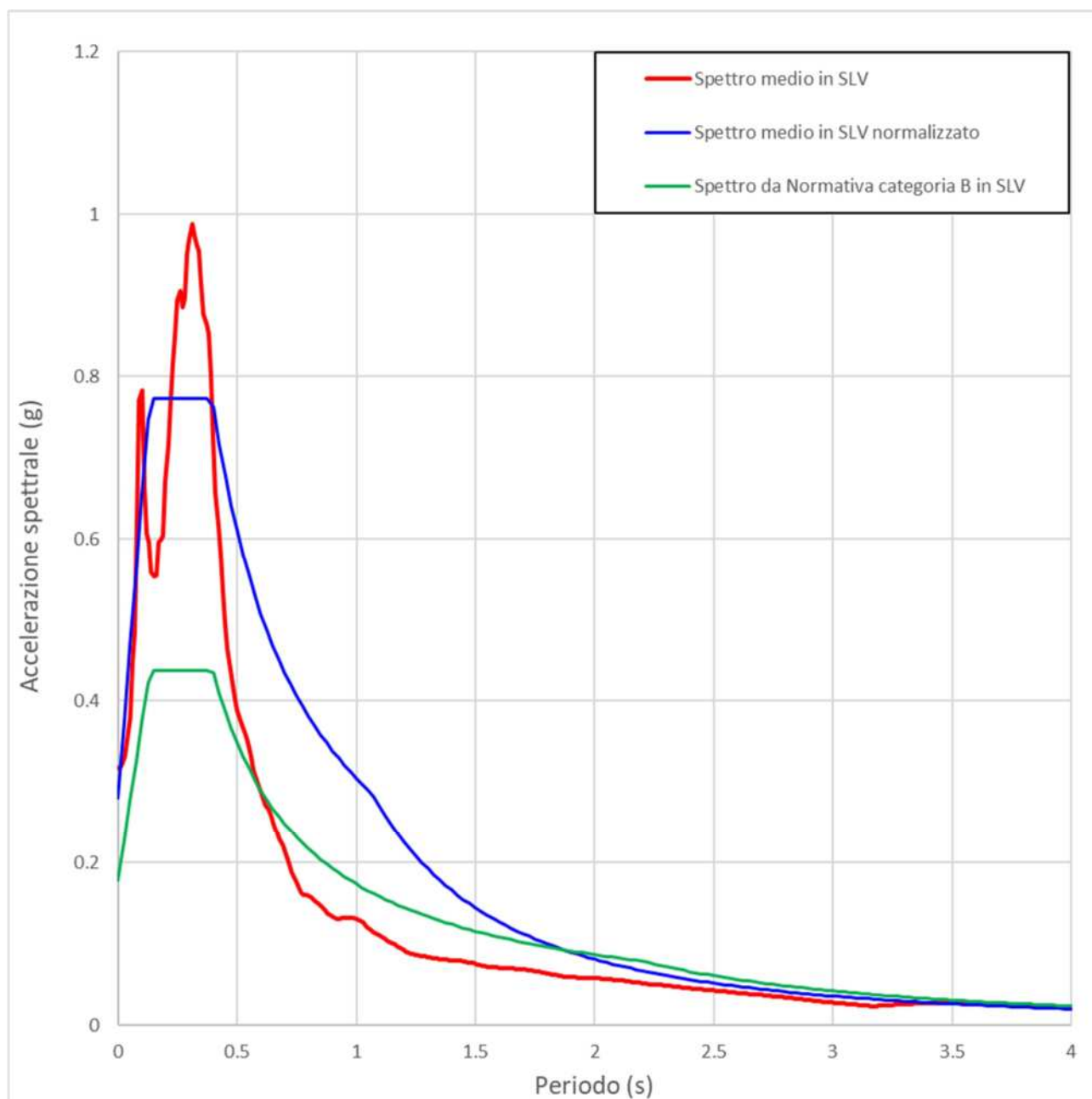


Fig. 80 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P976 – Centro Cavagnari in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.280	2.757	0.278	1.000	1.000	0.131	0.394	1.068	1.420

Tab. 70 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P976 – Centro Cavagnari in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	103 di 235

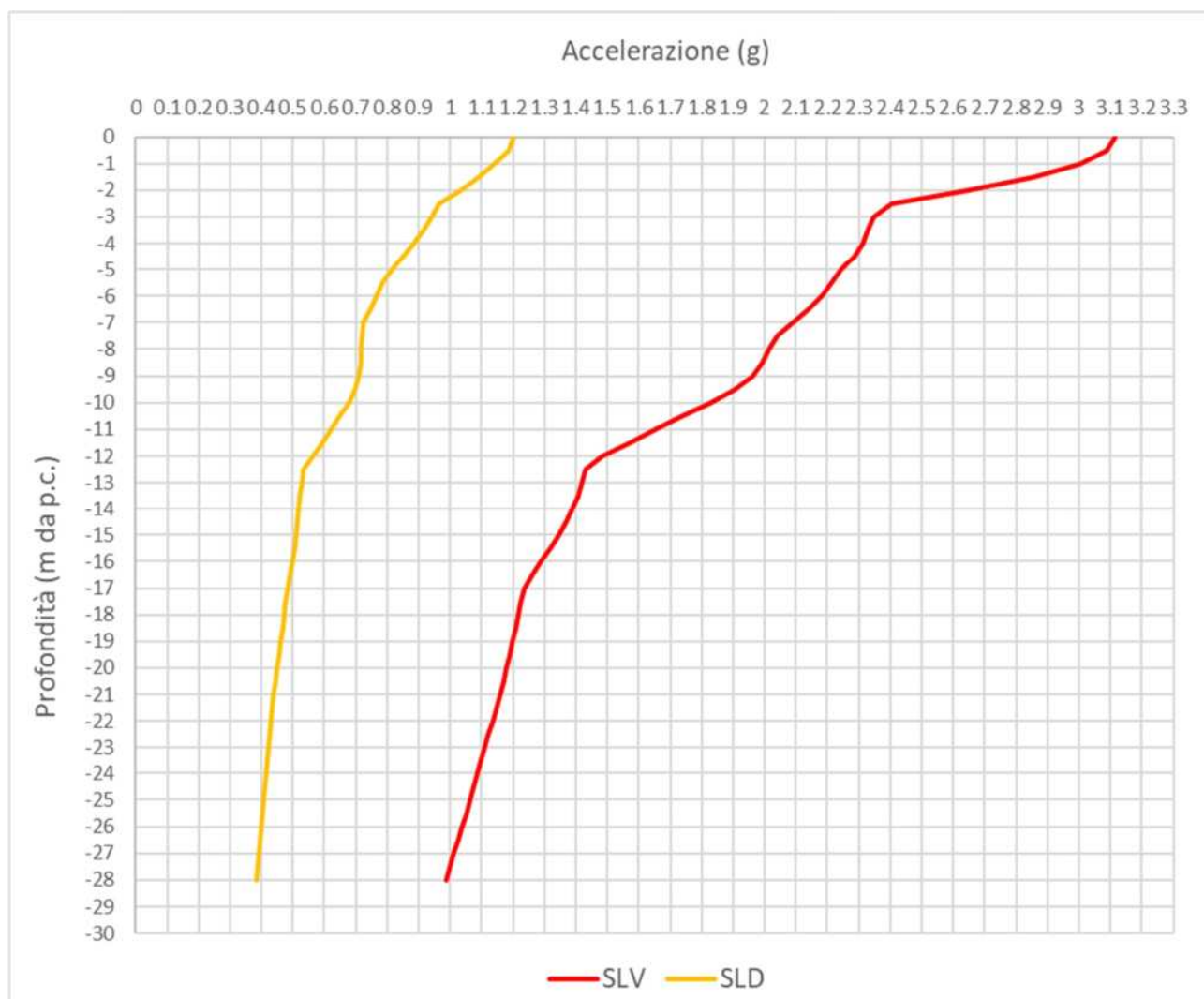


Fig. 81 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P976 – Centro Cavagnari

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	2.22
FA (0.4-0.8 s)	1.65
FA (0.5-1.5 s)	1.33
FA (0.7-1.1 s)	1.25
PGA/PGA ₀	2.22
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.35
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.61
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.51

Tab. 71 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P976 – Centro Cavagnari

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	104 di 235



3.5.17 RSL per il sito 034027P977 – Scuola Corazza

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-7.90	7.90	18.50	270.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia 1	-7.90	-11.70	3.80	21.00	550.00	Rollins
Argilla 2	-11.70	-18.20	6.50	18.00	220.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Argilla 3	-18.20	-22.20	4.00	18.50	270.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia 2	-22.20	-23.20	1.00	21.00	500.00	Rollins
Argilla 1	-23.20	-27.70	4.50	19.50	310.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Sabbia	-27.70	-30.70	3.00	20.00	260.00	Sand Seed & Idriss (1970)
Ghiaia 3	-30.70	-31.70	1.00	18.00	590.00	Rollins
Argilla 5	-31.70	-37.70	16.00	19.50	410.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-37.70	-	-	22.00	650.00	-

Tab. 72 – Modello geofisico della verticale 034027P977 – Scuola Corazza

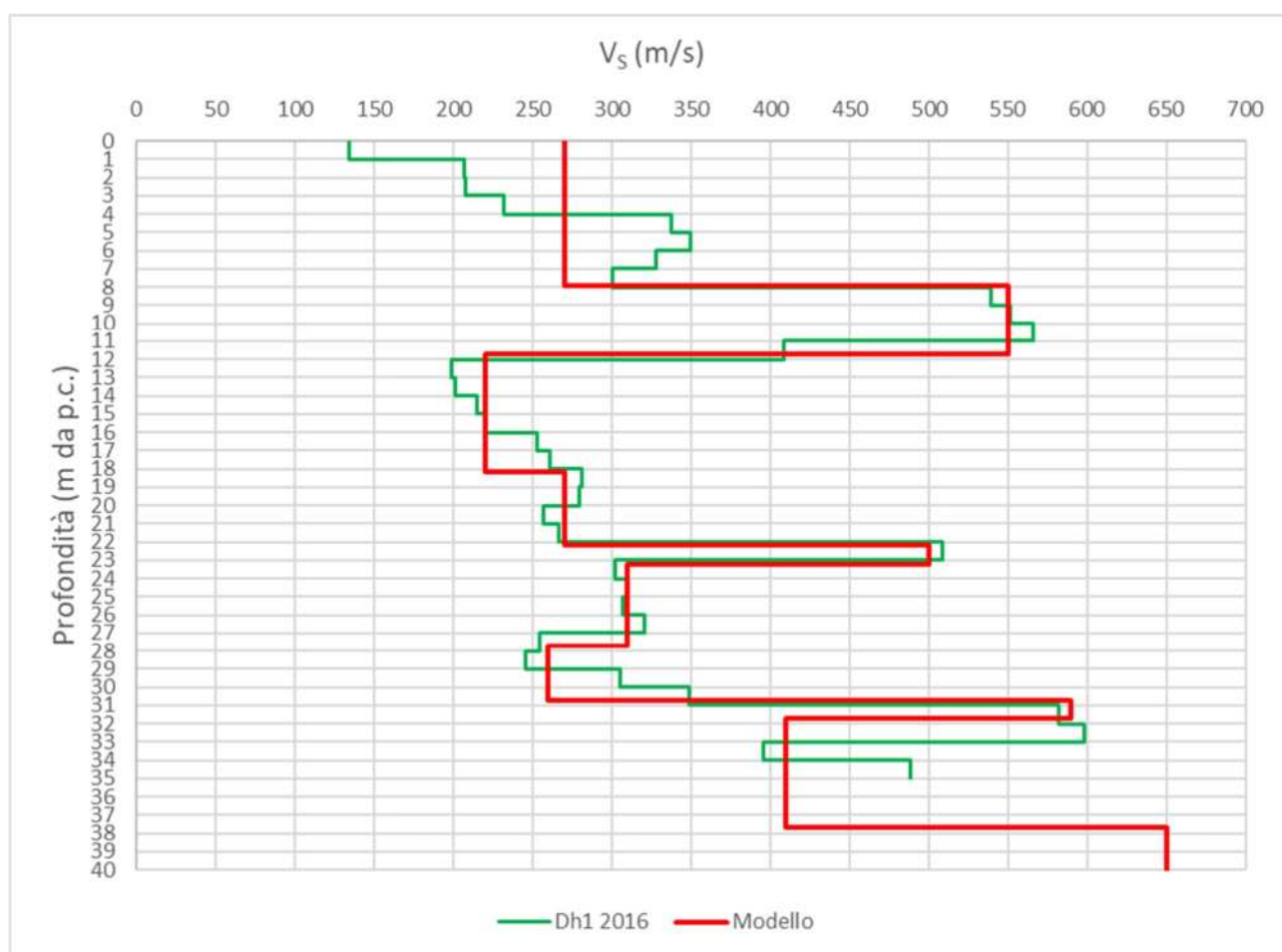


Fig. 82 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P977 – Scuola Corazza



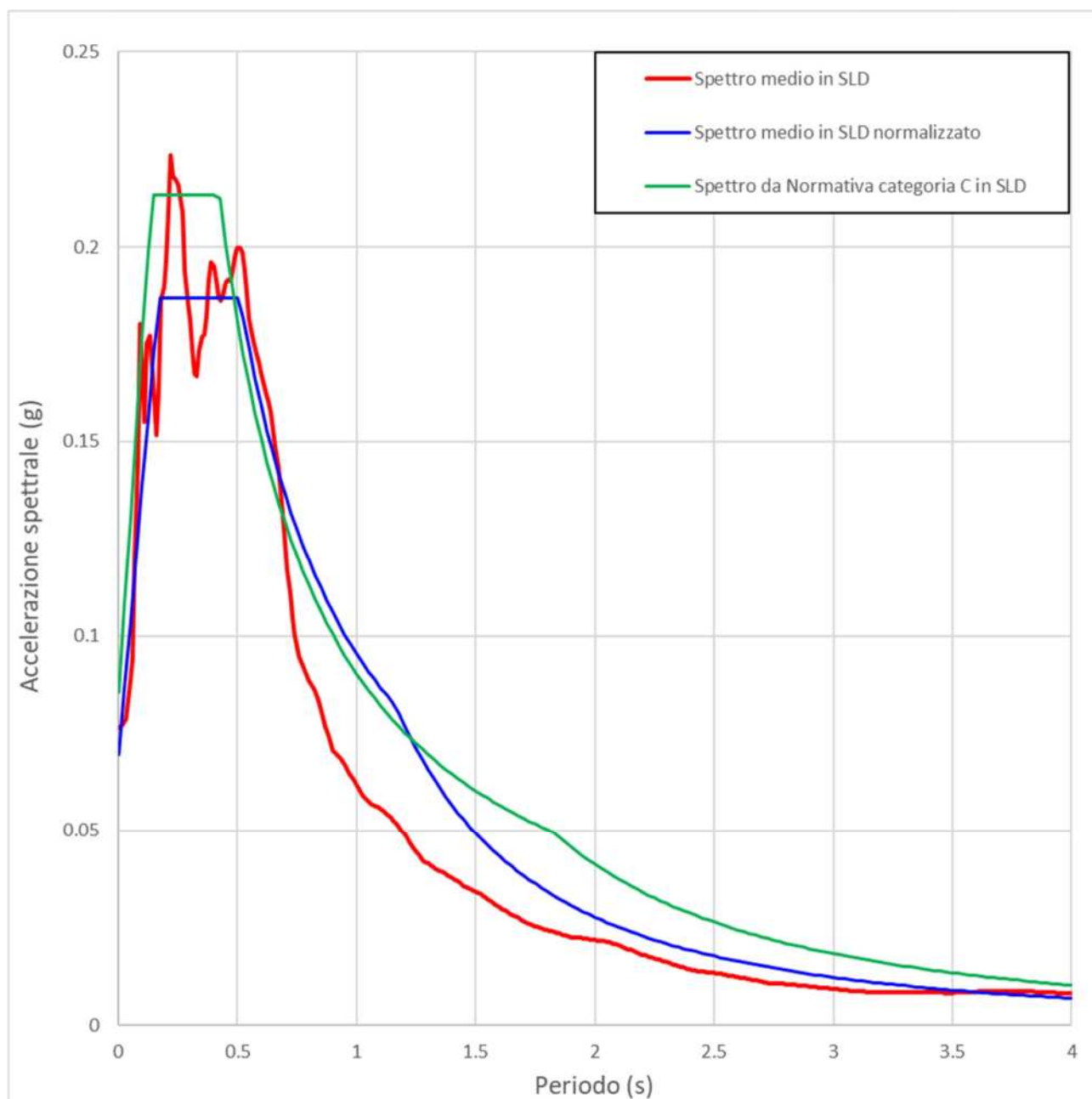


Fig. 83 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P977 – Scuola Corazza in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.069	2.690	0.360	1.000	1.000	0.170	0.511	1.162	1.420

Tab. 73 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P977 – Scuola Corazza in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	106 di 235

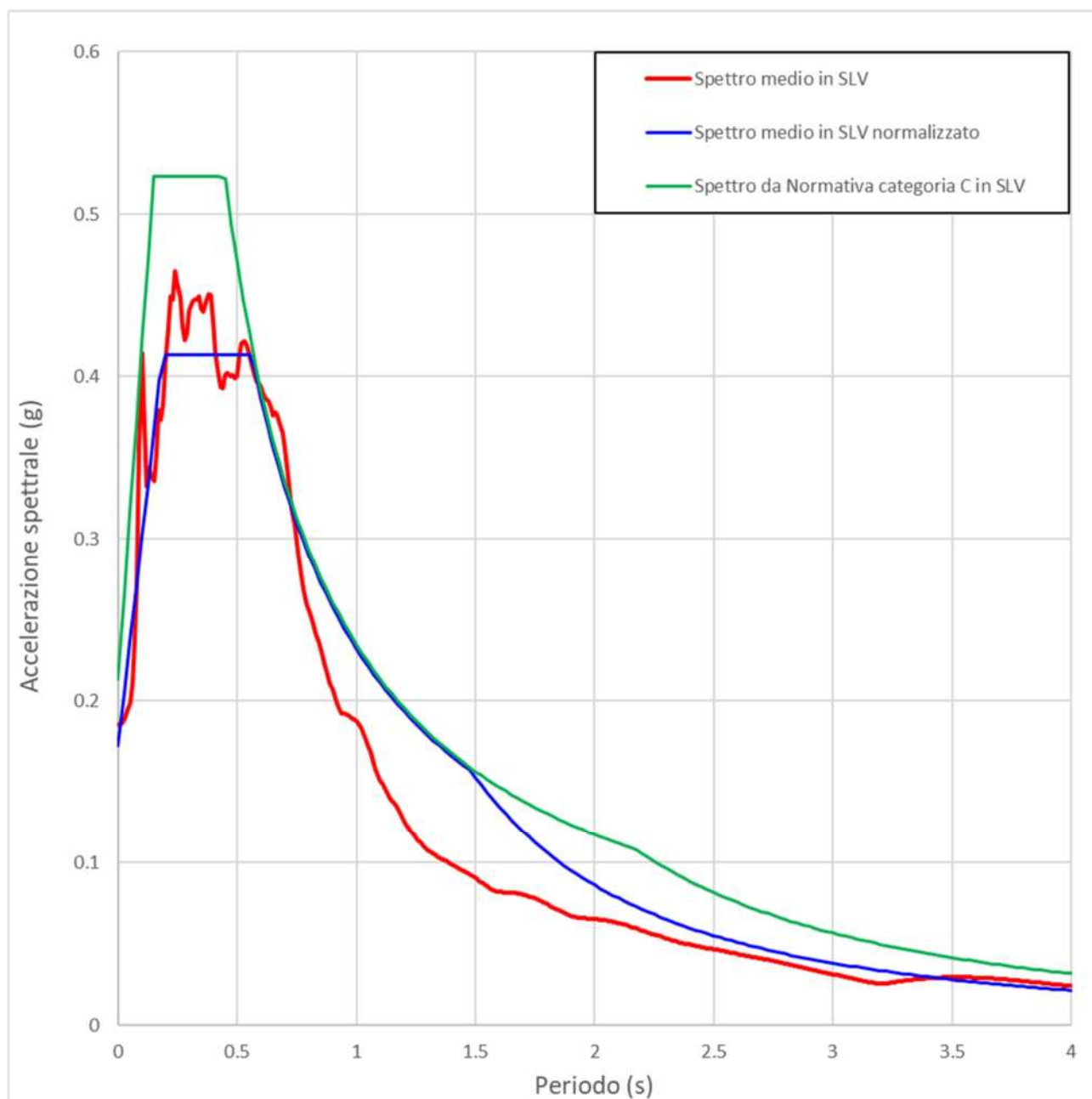


Fig. 84 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P977 – Scuola Corazza in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.172	2.397	0.396	1.000	1.000	0.187	0.562	1.484	1.420

Tab. 74 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P977 – Scuola Corazza in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	107 di 235

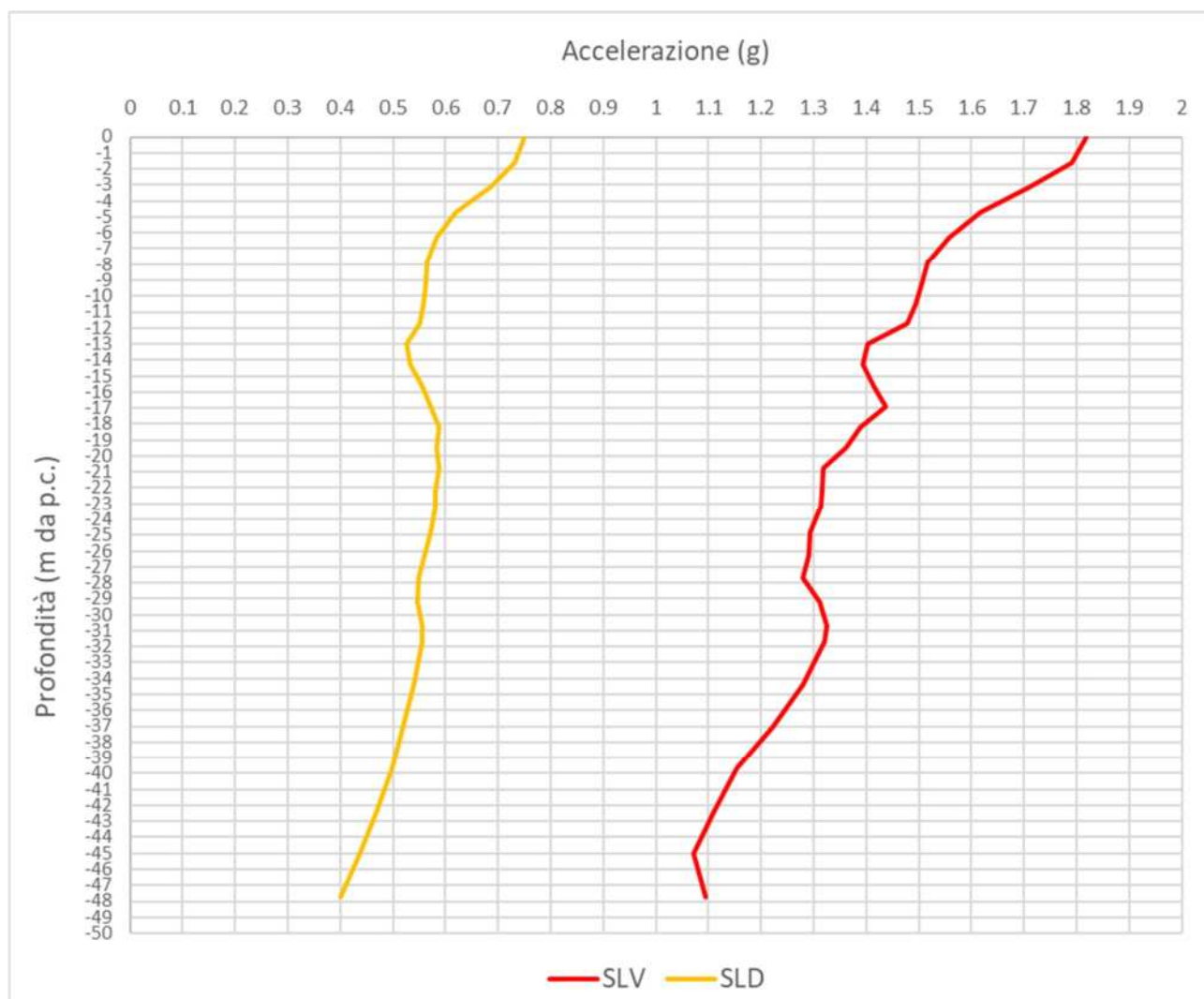


Fig. 85 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P977 – Scuola Corazza

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.28
FA (0.4-0.8 s)	1.99
FA (0.5-1.5 s)	1.85
FA (0.7-1.1 s)	1.88
PGA/PGA ₀	1.29
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.27
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.96
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.76

Tab. 75 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P977 – Scuola Corazza

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	108 di 235



3.5.18 RSL per il sito 034027P979 – Scuola Fognano

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	-0.00	-5.00	5.00	18.50	240.00	Fognano S1 Cl2
Ghiaia	-5.00	-15.00	10.00	20.00	520.00	Rollins
Bedrock	-15.00	-	-	22.00	680.00	-

Tab. 76 – Modello geofisico della verticale 034027P979 – Scuola Fognano

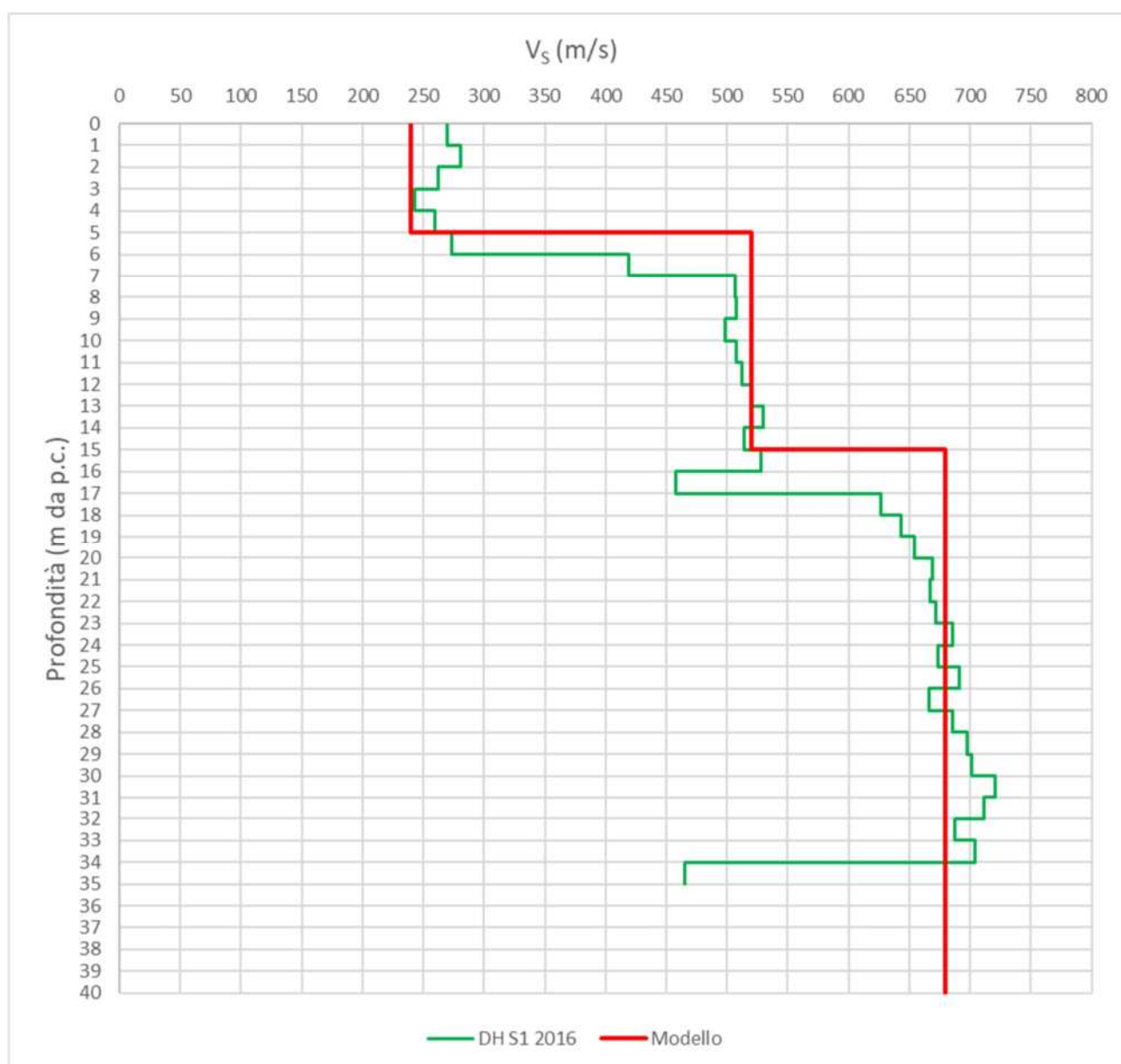


Fig. 86 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P979 – Scuola Fognano

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	109 di 235

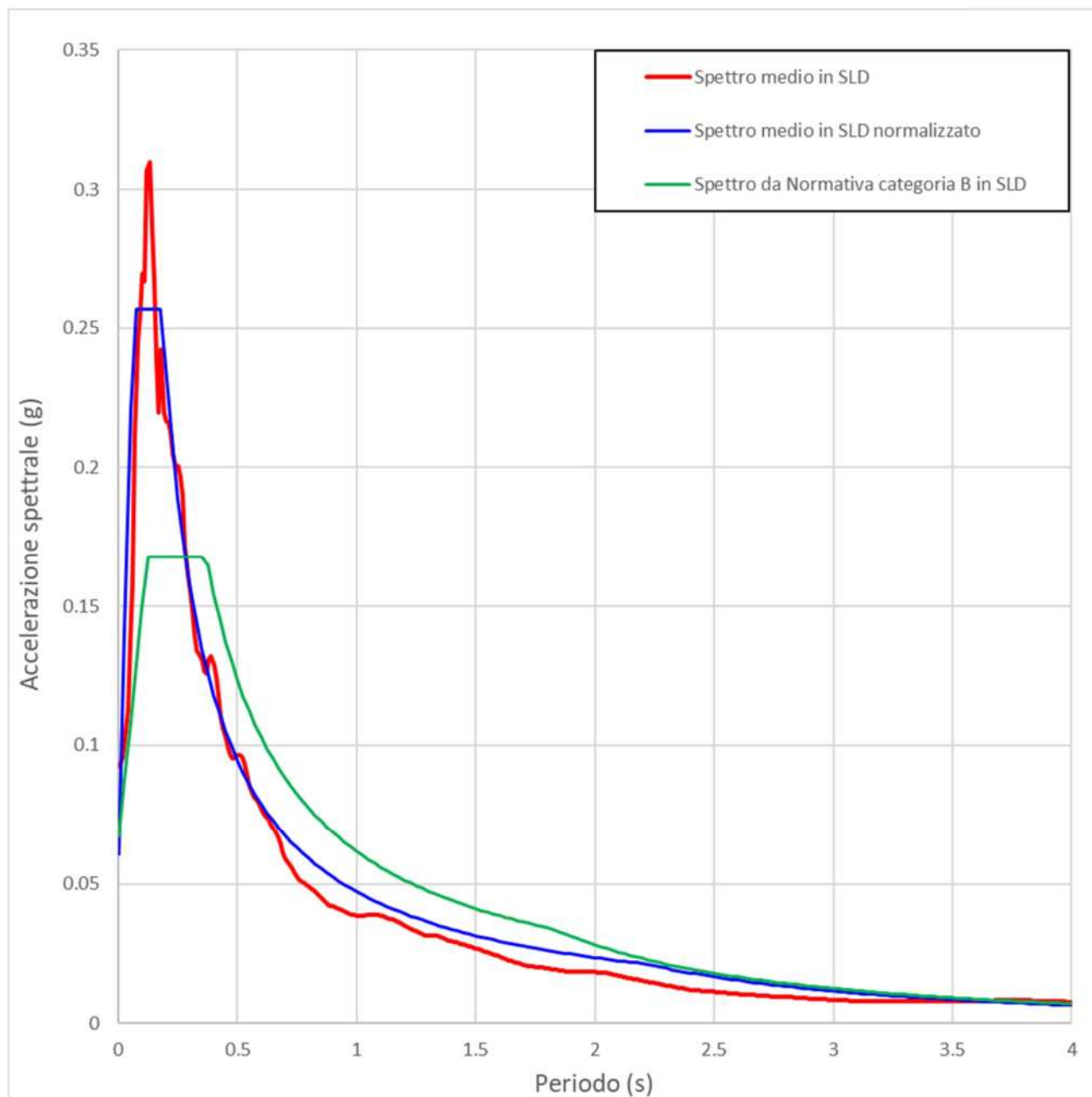


Fig. 87 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P979 – Scuola Fognano in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.061	4.239	0.129	1.000	1.000	0.061	0.184	2.215	1.420

Tab. 77 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P979 – Scuola Fognano in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	110 di 235

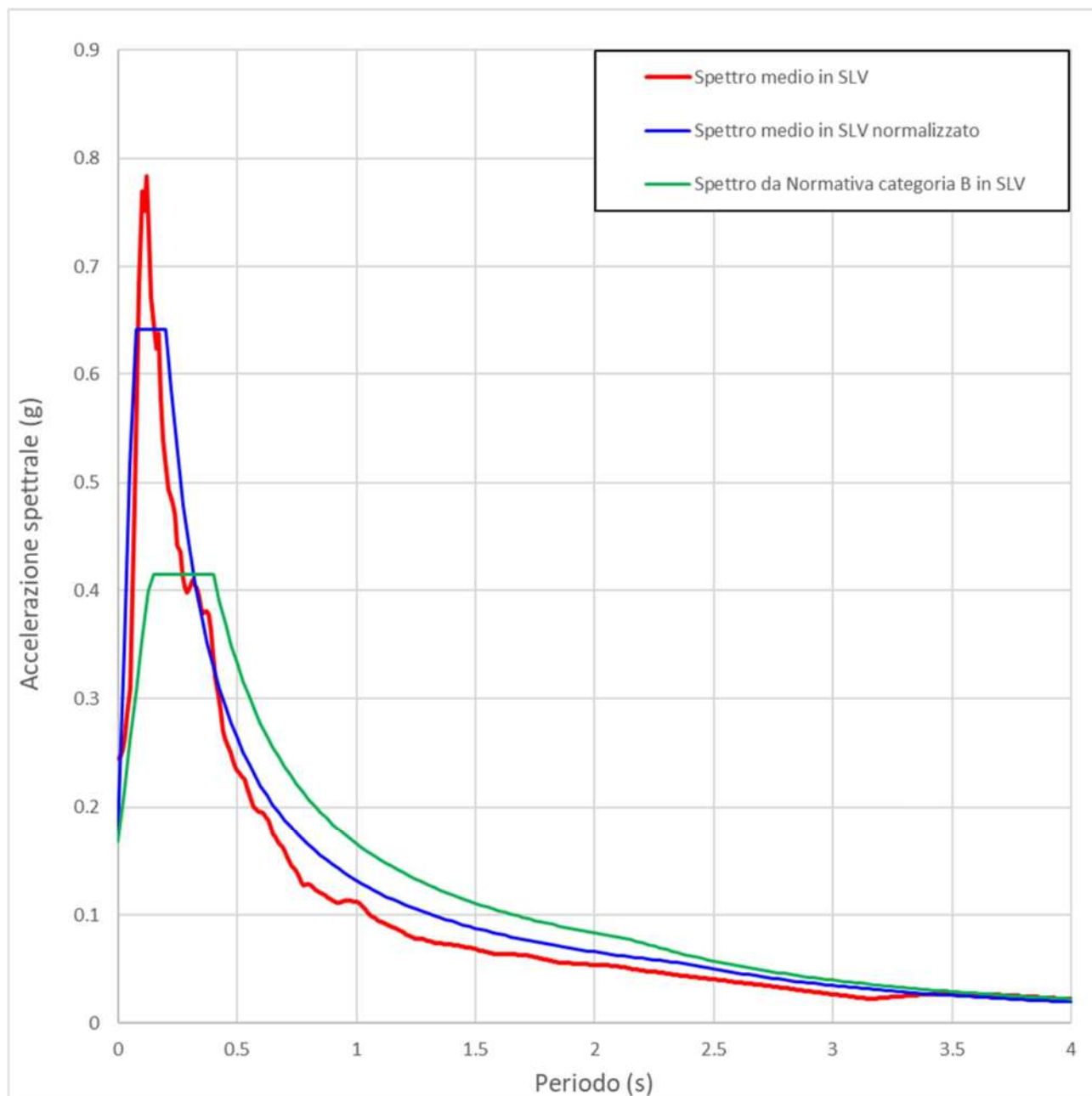


Fig. 88 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P979 – Scuola Fognano in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.177	3.617	0.145	1.000	1.000	0.069	0.206	2.382	1.420

Tab. 78 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P979 – Scuola Fognano in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	111 di 235

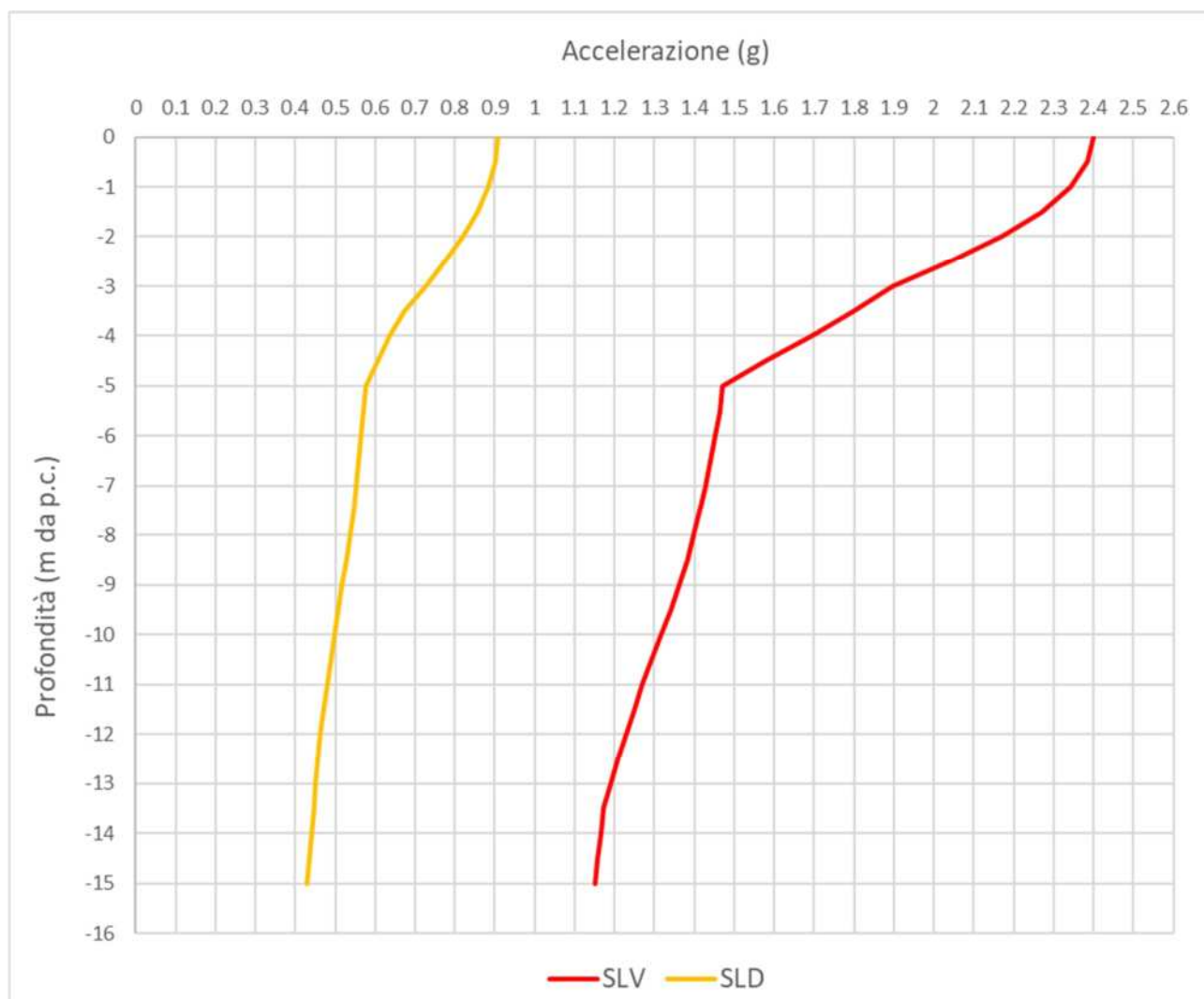


Fig. 89 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P979 – Scuola Fognano

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.41
FA (0.4-0.8 s)	1.08
FA (0.5-1.5 s)	1.04
FA (0.7-1.1 s)	1.04
PGA/PGA ₀	1.73
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.36
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.11
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.09

Tab. 79 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P979 – Scuola Fognano

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	112 di 235



3.5.19 RSL per il sito 034027P980 - Palaciti

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-2.40	2.40	18.50	150.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 2	-2.40	-6.40	4.00	18.50	178.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 3	-6.40	-9.40	3.00	18.50	145.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 4	-9.40	-14.90	5.50	19.50	211.00	Corazza S2 Cl3
Argilla 5	-14.90	-18.40	3.50	19.50	245.00	Corazza S2 Cl3
Argilla 6	-18.40	-25.90	7.50	19.50	219.00	Corazza S2 Cl3
Argilla 7	-25.90	-34.90	9.00	19.50	265.00	Corazza S2 Cl3
Bedrock	-34.90	-	-	22.00	850.00	-

Tab. 80 – Modello geofisico della verticale 034027P980 - Palaciti

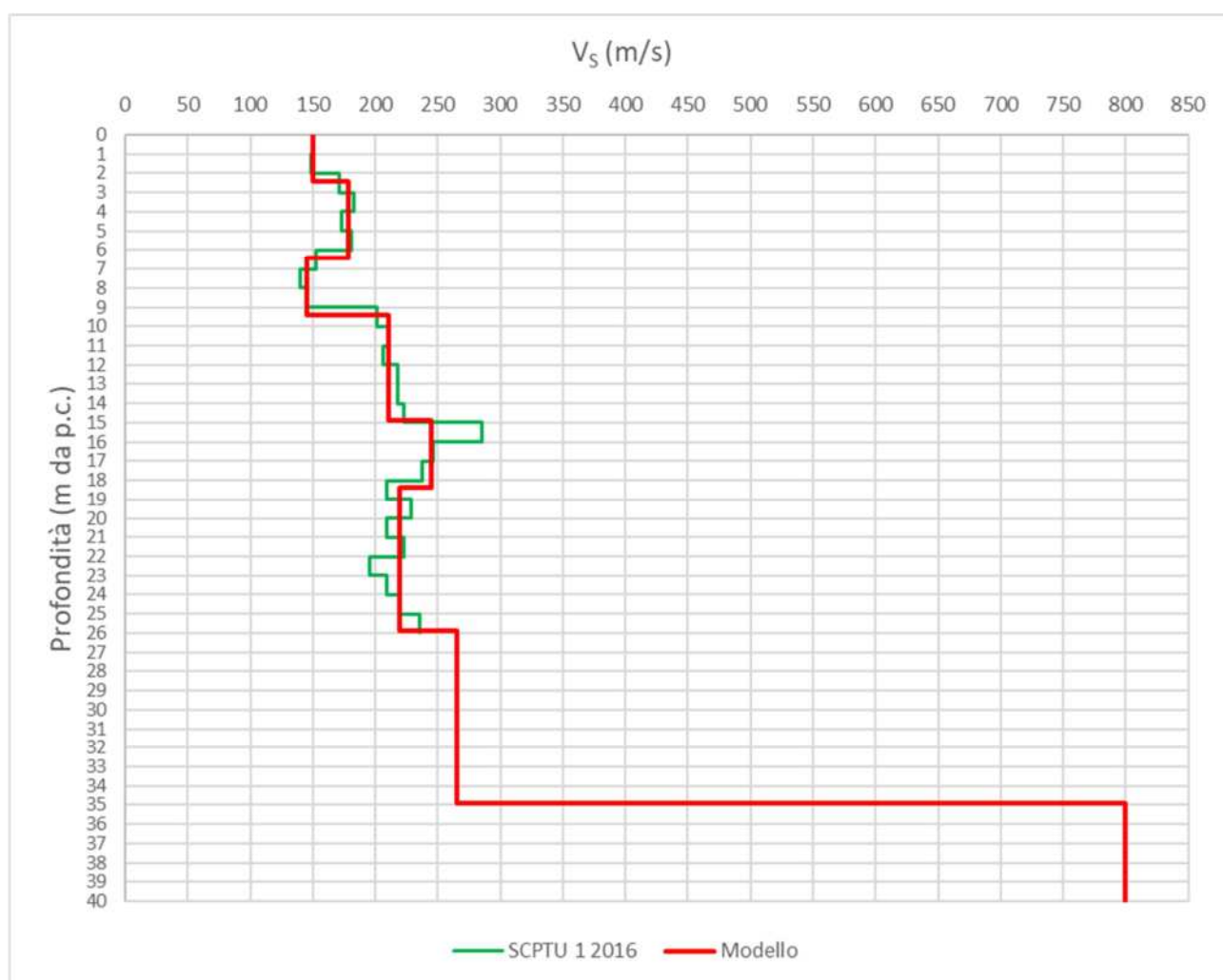


Fig. 90 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P980 - Palaciti



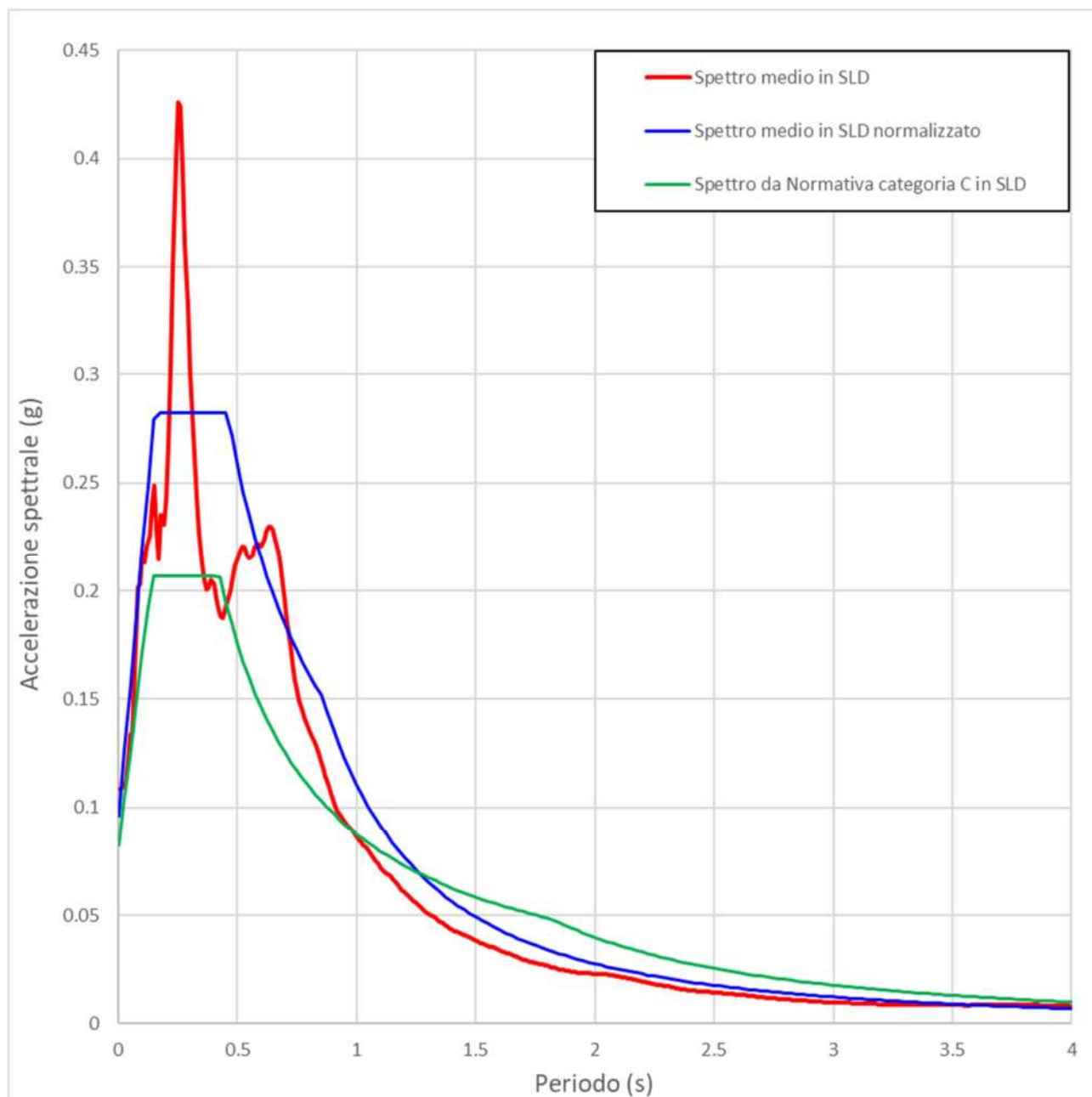


Fig. 91 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P980 - Palaciti in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.096	2.936	0.322	1.000	1.000	0.152	0.457	0.858	1.420

Tab. 81 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P980 - Palaciti in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	114 di 235

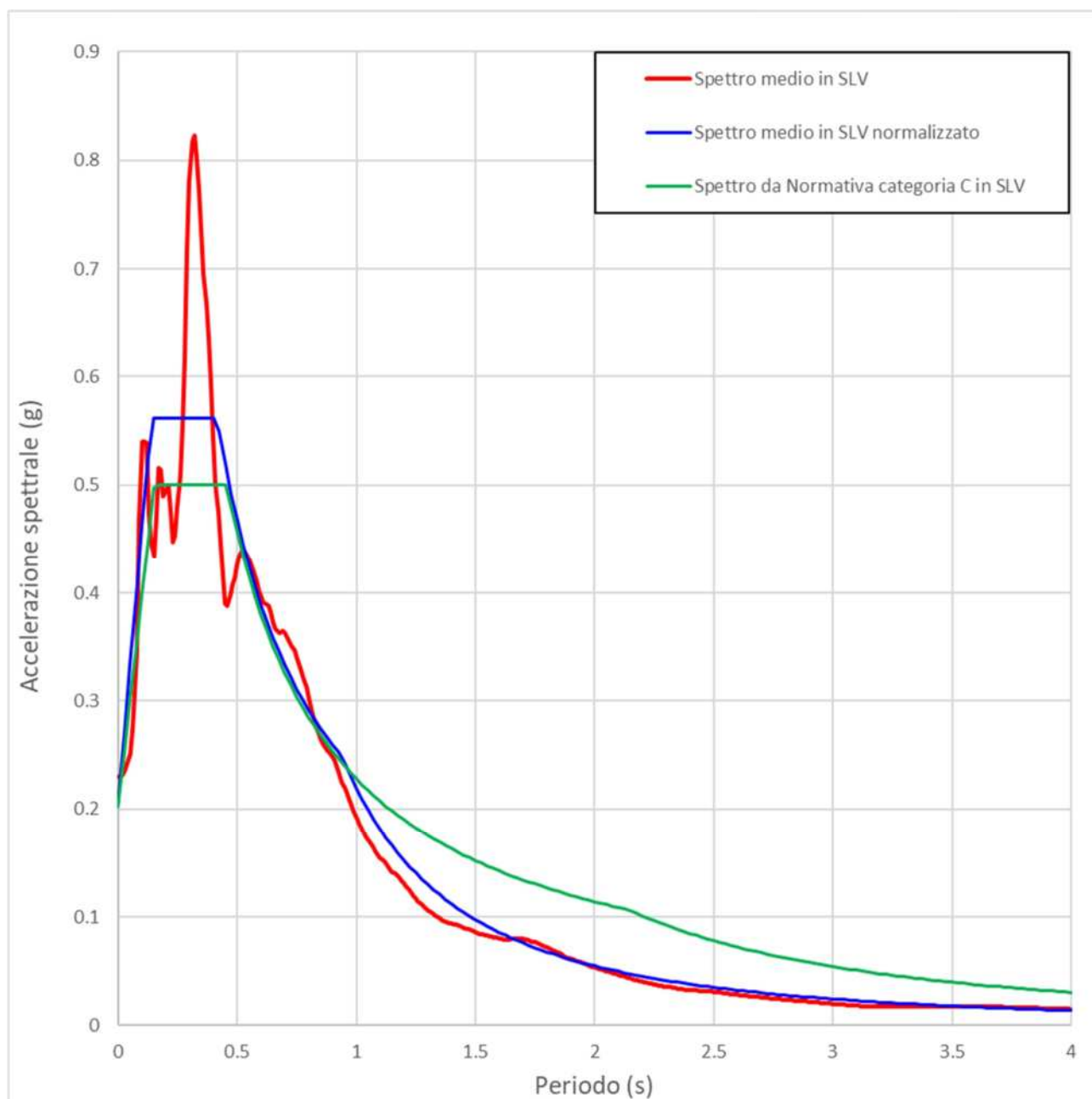


Fig. 92 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P980 - Palaciti in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.204	2.753	0.293	1.000	1.000	0.139	0.416	0.940	1.420

Tab. 82 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P980 - Palaciti in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	115 di 235

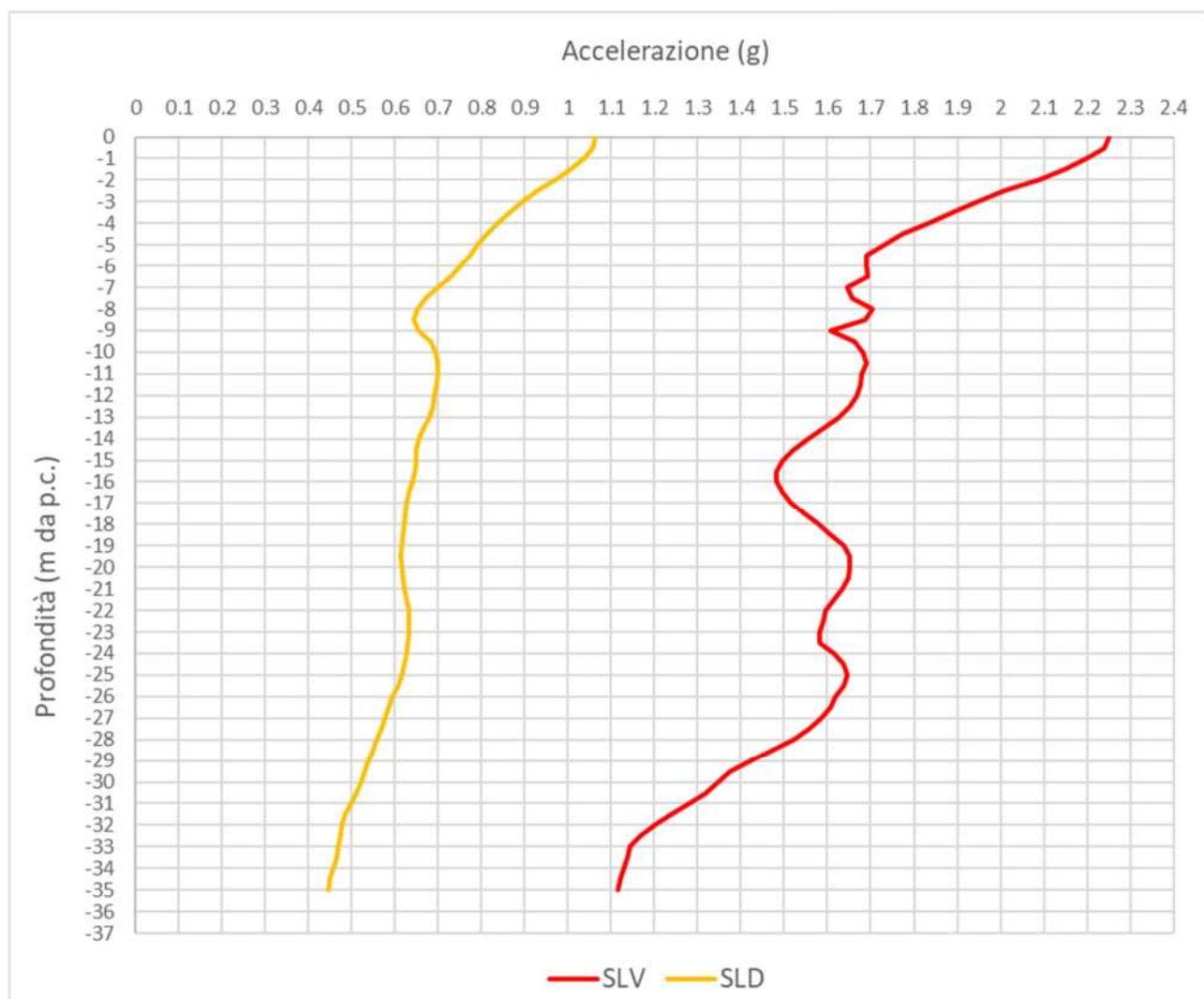


Fig. 93 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P980 - Palaciti

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.70
FA (0.4-0.8 s)	2.49
FA (0.5-1.5 s)	2.74
FA (0.7-1.1 s)	3.16
PGA/PGA ₀	1.79
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.66
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.73
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	2.62

Tab. 83 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P980 - Palaciti

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	116 di 235



3.5.20 RSL per il sito 034027P981 - EULIP

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-6.50	6.50	18.50	215.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 2	-6.50	-16.50	10.00	18.50	165.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 3	-16.50	-30.50	14.00	19.50	220.00	Corazza S2 Cl3
Ghiaia	-30.50	-35.00	4.50	21.00	550.00	Rollins
Argilla 4	-35.00	-45.00	10.00	19.50	400.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-45.00	-	-	22.00	700.00	-

Tab. 84 – Modello geofisico della verticale 034027P981 - EULIP

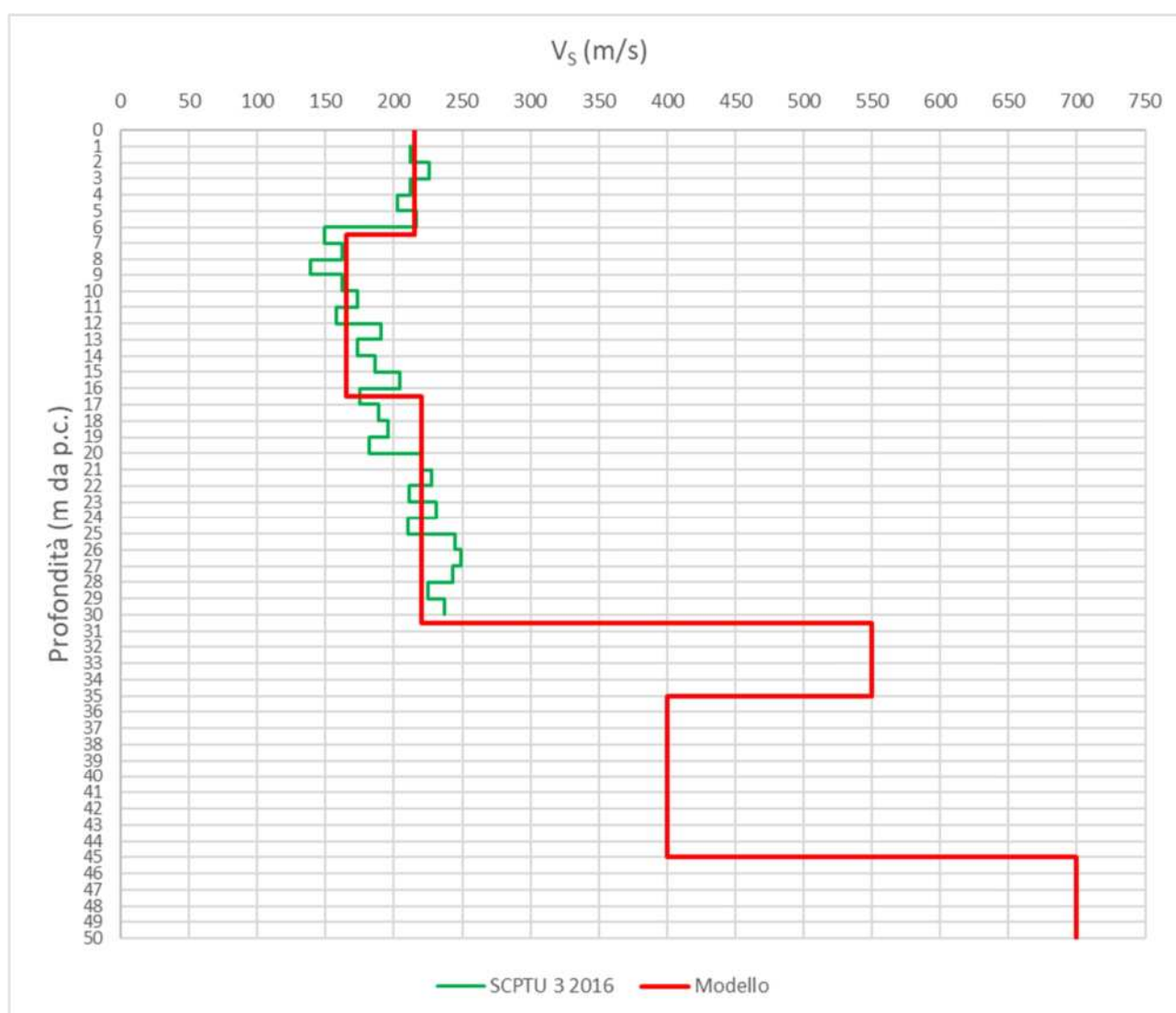


Fig. 94 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P981 - EULIP



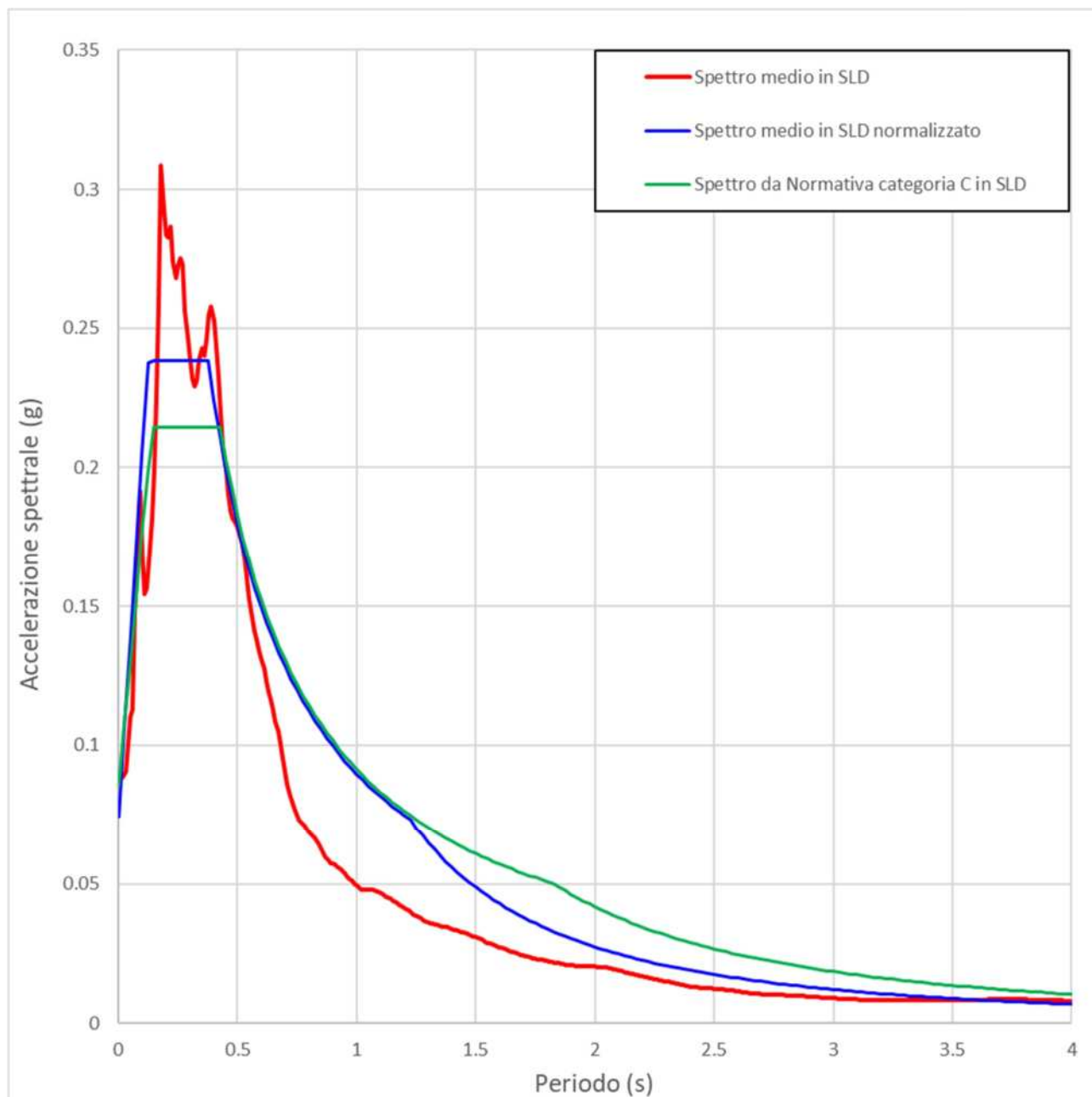


Fig. 95 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P981 - EULIP in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.074	3.203	0.265	1.000	1.000	0.126	0.377	1.222	1.420

Tab. 85 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P981 - EULIP in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	118 di 235

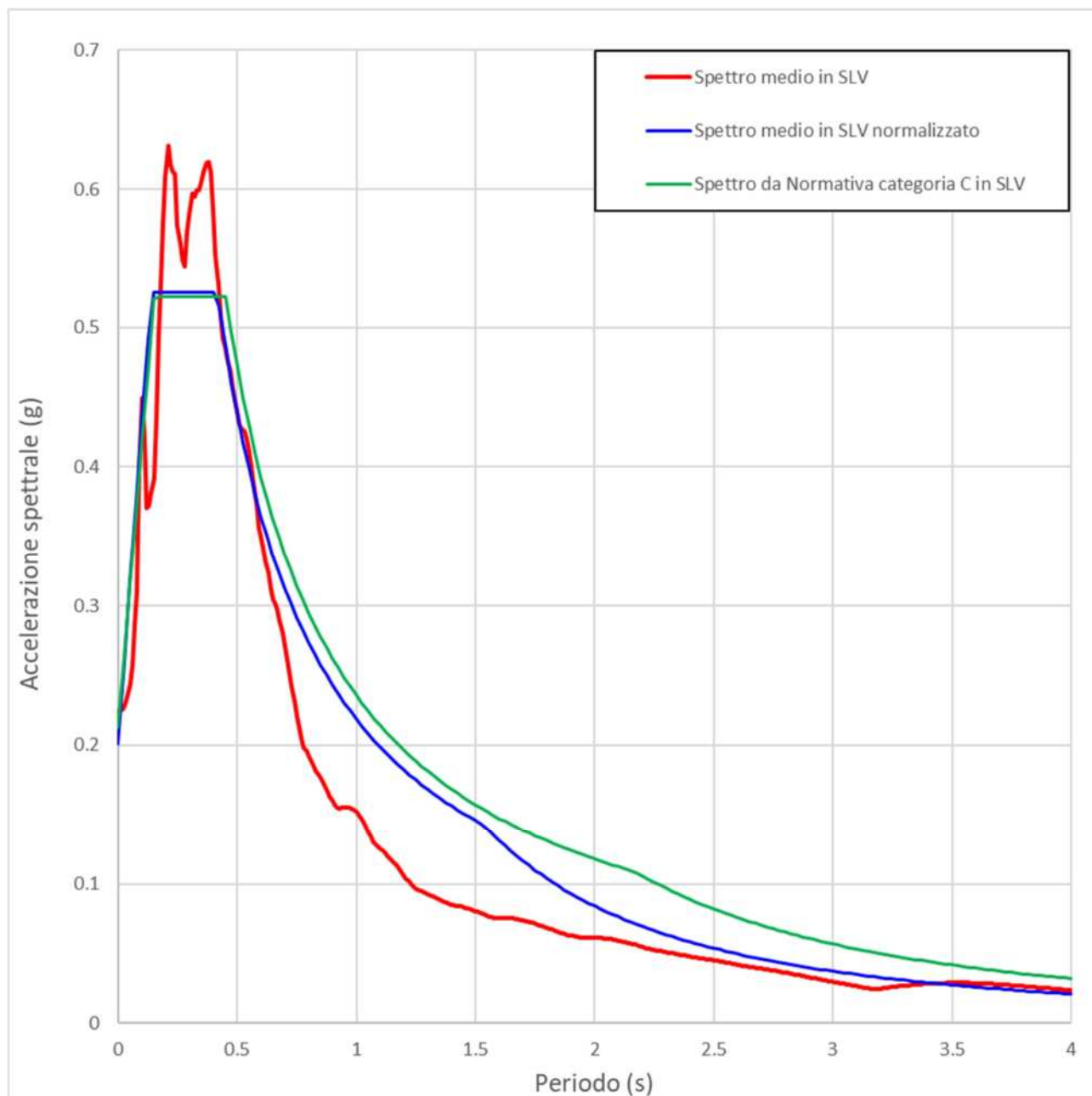


Fig. 96 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P981 - EULIP in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.201	2.615	0.294	1.000	1.000	0.139	0.417	1.537	1.420

Tab. 86 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P981 - EULIP in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	119 di 235

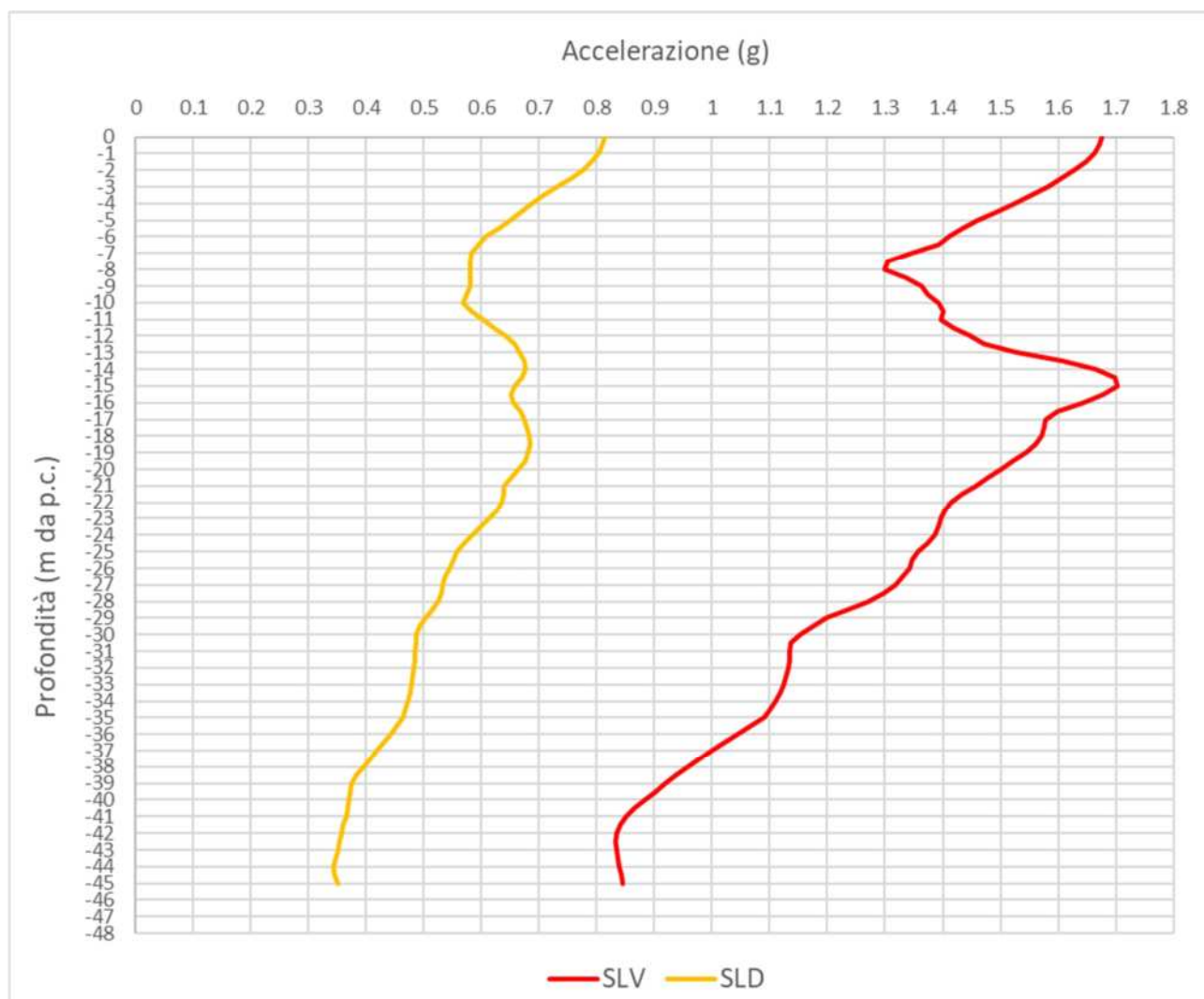


Fig. 97 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P981 - EULIP

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.49
FA (0.4-0.8 s)	2.08
FA (0.5-1.5 s)	2.44
FA (0.7-1.1 s)	2.86
PGA/PGA ₀	1.45
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.47
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.34
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	2.33

Tab. 87 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P981 - EULIP

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	120 di 235



3.5.21 RSL per il sito 034027P982 – Polo oncologico

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Limo argilloso	-0.00	-5.10	5.10	18.50	250.00	Corazza S2 Cl3
Ghiaia 1	-5.10	-8.50	3.40	20.00	465.00	Rollins
Argilla 1	-8.50	-16.95	8.45	19.00	250.00	Ospedale S1 Sh2
Ghiaia 2	-16.95	-17.95	1.00	21.00	380.00	Rollins
Argilla 2	-17.95	-23.95	6.00	19.50	290.00	Ospedale S1 Sh4
Ghiaia 3	-23.95	-31.95	8.00	21.00	550.00	Rollins
Argilla 3	-31.95	-46.95	15.00	19.50	270.00	Ospedale S1 Sh4
Bedrock	-46.95	-	-	22.00	700.00	-

Tab. 88 – Modello geofisico della verticale 034027P982 – Polo oncologico

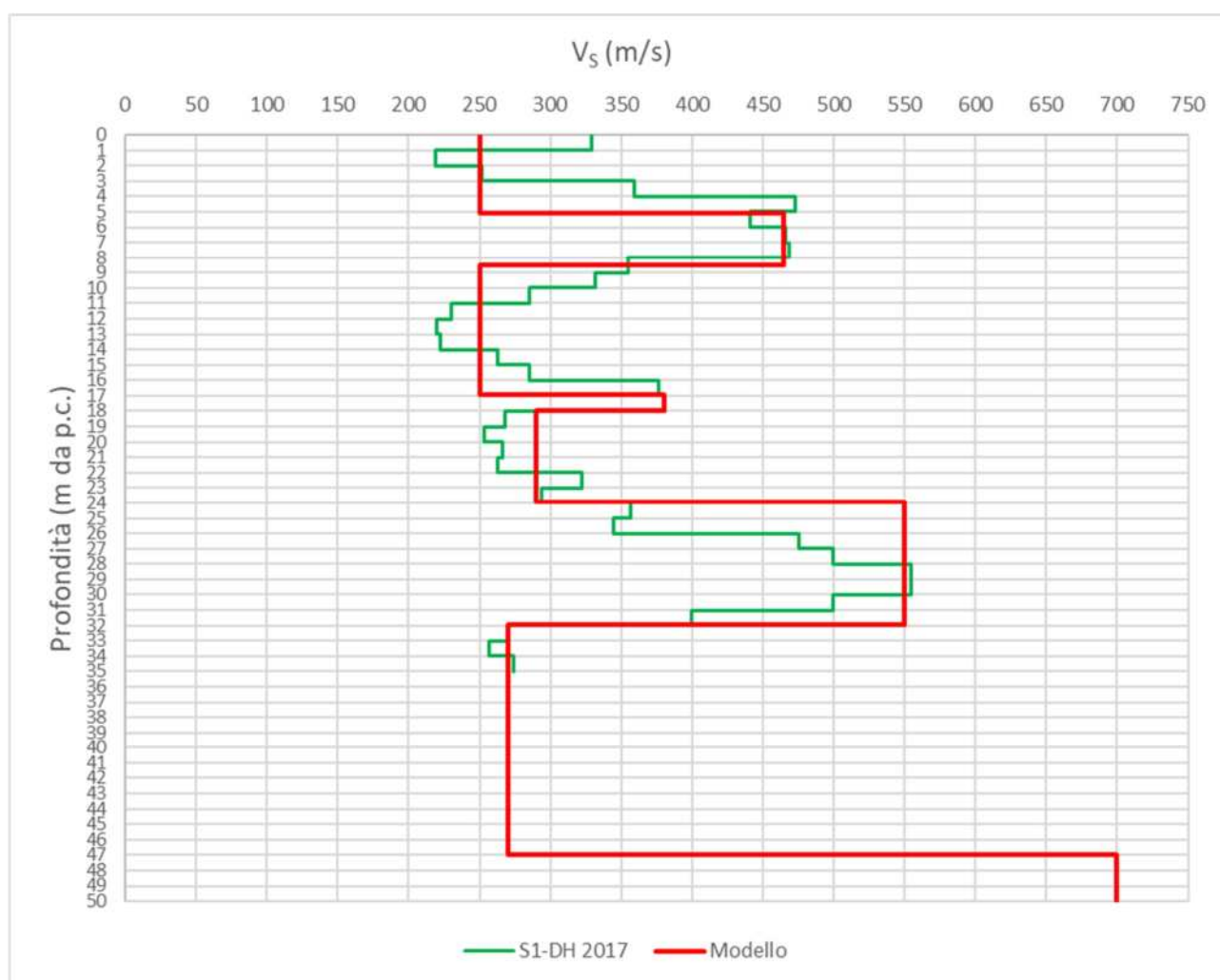


Fig. 98 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P982 – Polo oncologico



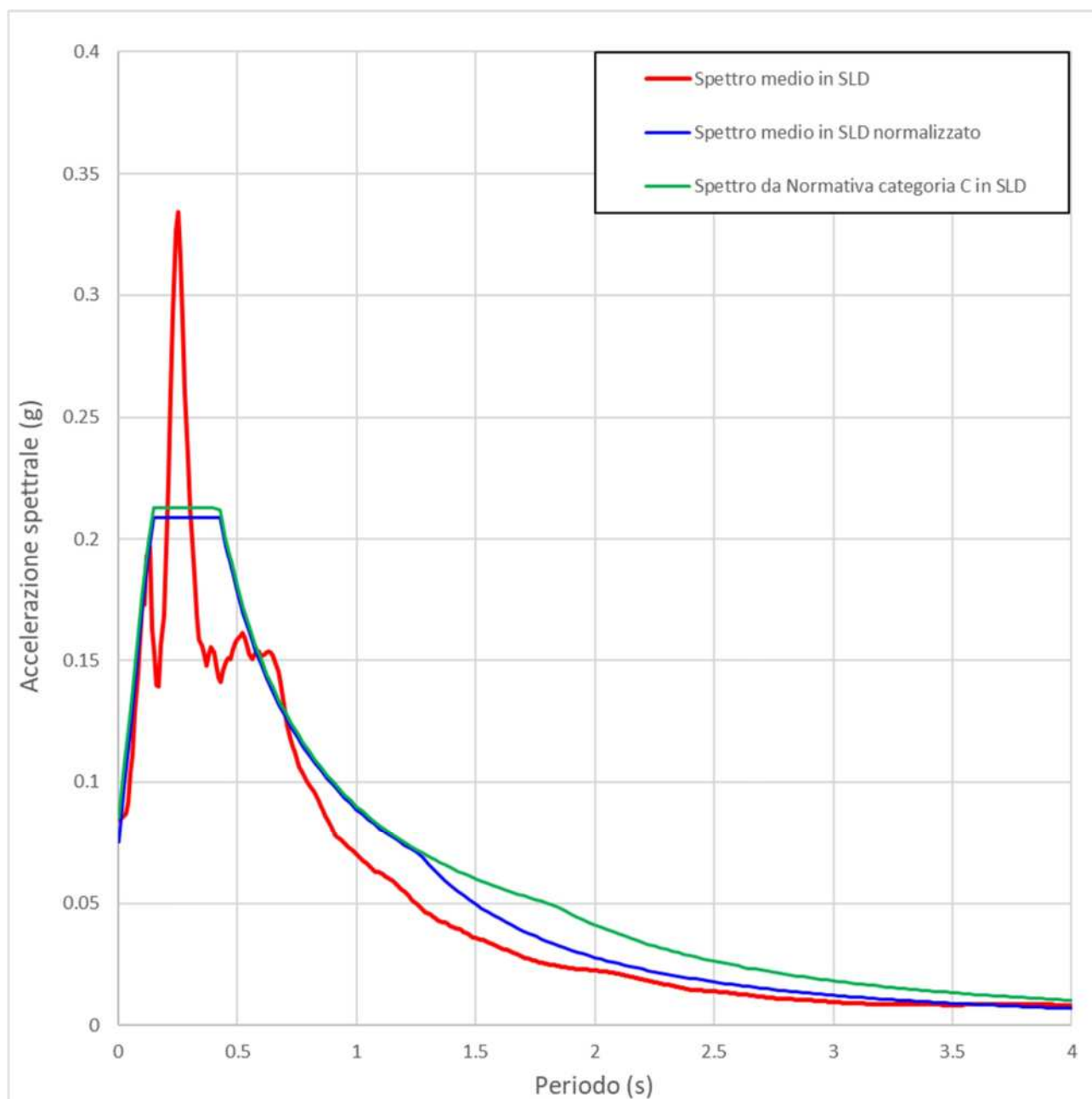


Fig. 99 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P982 – Polo oncologico in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.075	2.787	0.299	1.000	1.000	0.142	0.425	1.257	1.420

Tab. 89 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P982 – Polo oncologico in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	122 di 235

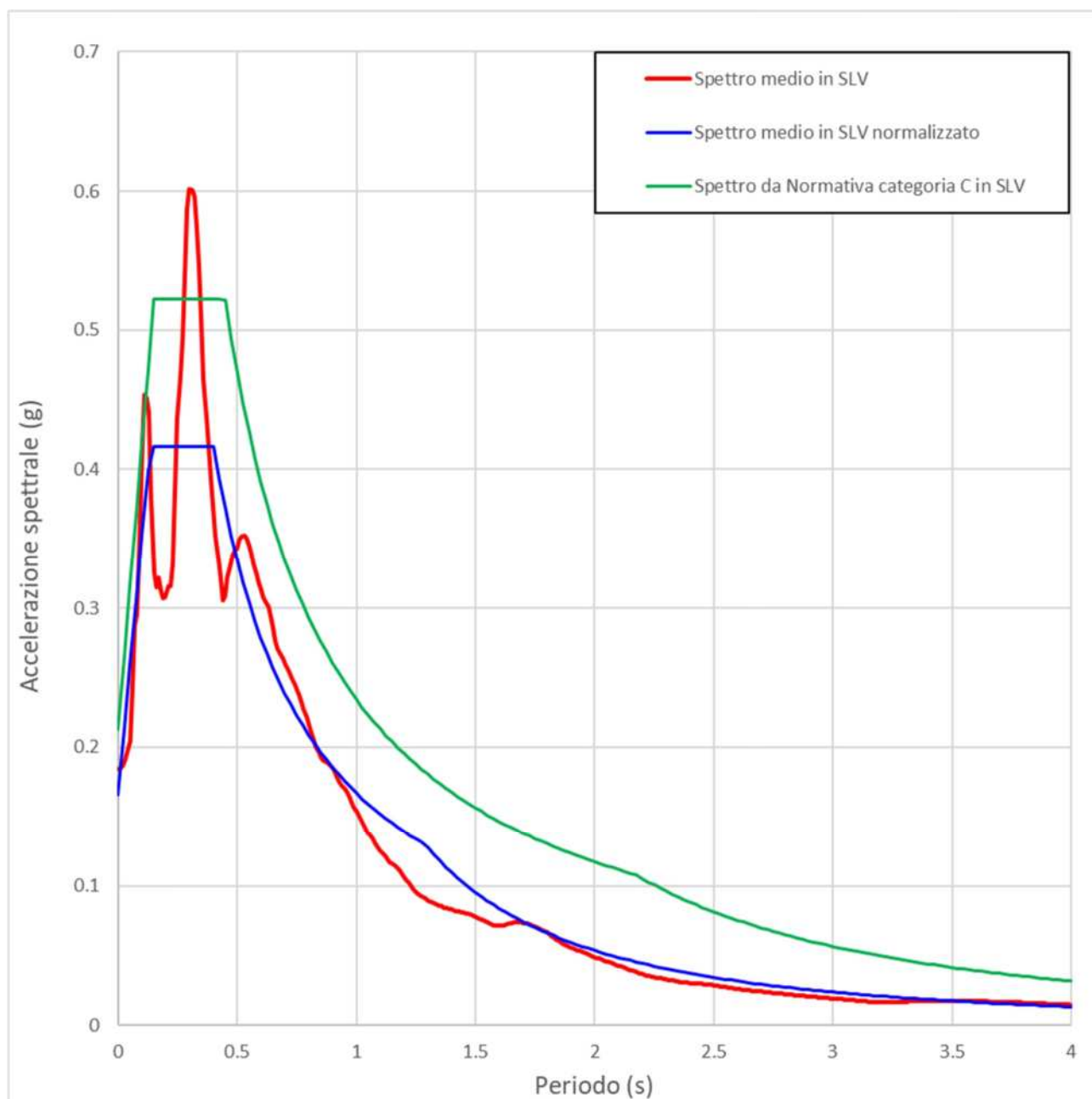


Fig. 100 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P982 – Polo oncologico in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.166	2.508	0.283	1.000	1.000	0.134	0.402	1.286	1.420

Tab. 90 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P982 – Polo oncologico in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	123 di 235

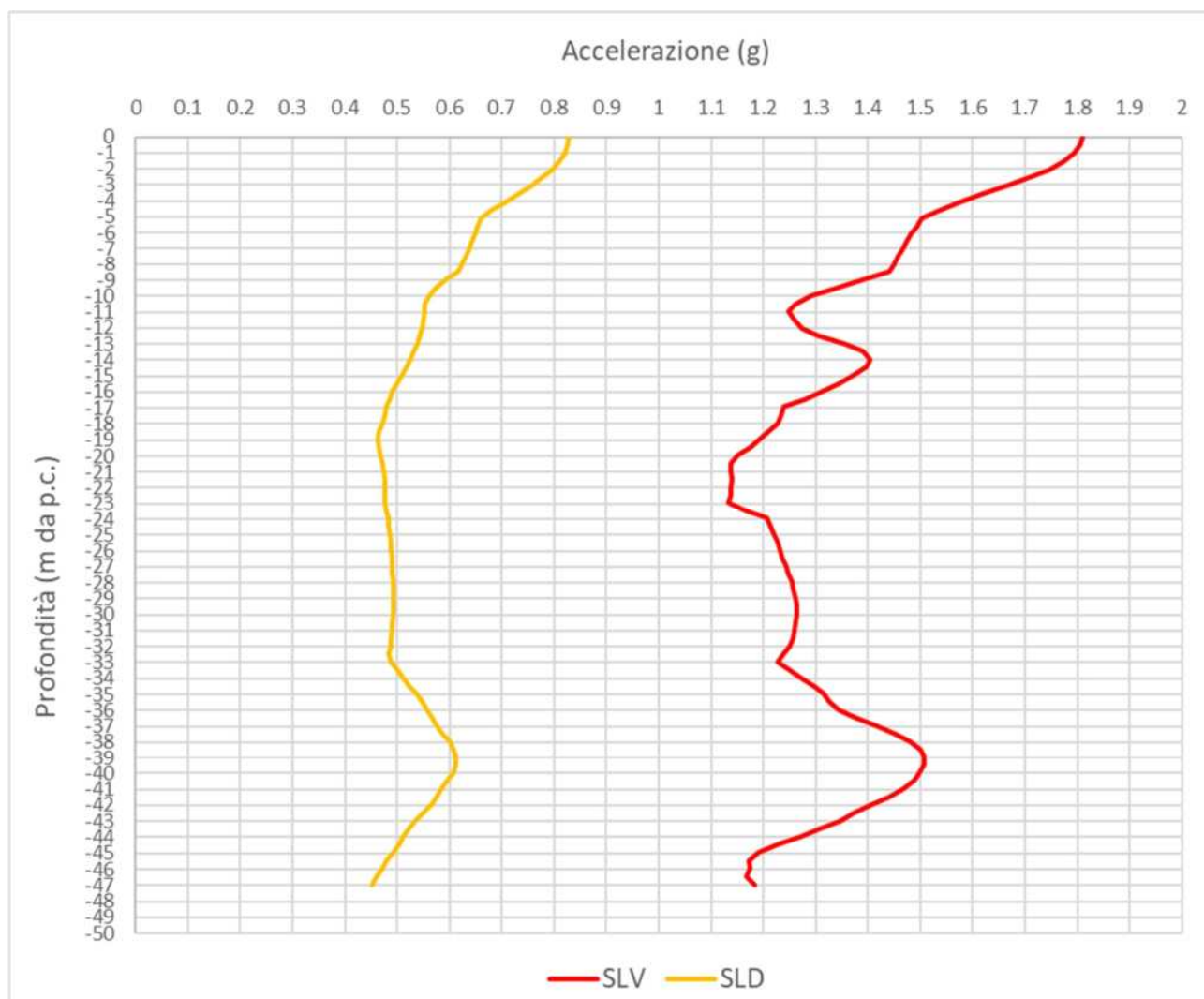


Fig. 101 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P982 – Polo oncologico

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.22
FA (0.4-0.8 s)	1.76
FA (0.5-1.5 s)	1.96
FA (0.7-1.1 s)	2.18
PGA/PGA ₀	1.31
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.20
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.91
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.87

Tab. 91 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P982 – Polo oncologico



3.5.22 RSL per il sito 034027P983 - Raytech

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-10.00	10.00	18.50	170.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 2	-10.00	-19.00	9.00	18.50	180.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 3	-19.00	-25.00	6.00	19.50	220.00	Corazza S2 Cl3
Argilla 4	-25.00	-28.00	3.00	19.50	260.00	Corazza S2 Cl3
Ghiaia	-28.00	-33.00	5.00	21.00	310.00	Rollins
Argilla 5	-33.00	-43.00	10.00	19.50	350.00	Corazza S2 Cl3
Bedrock	-43.00	-	-	22.00	700.00	-

Tab. 92 – Modello geofisico della verticale 034027P983 - Raytech

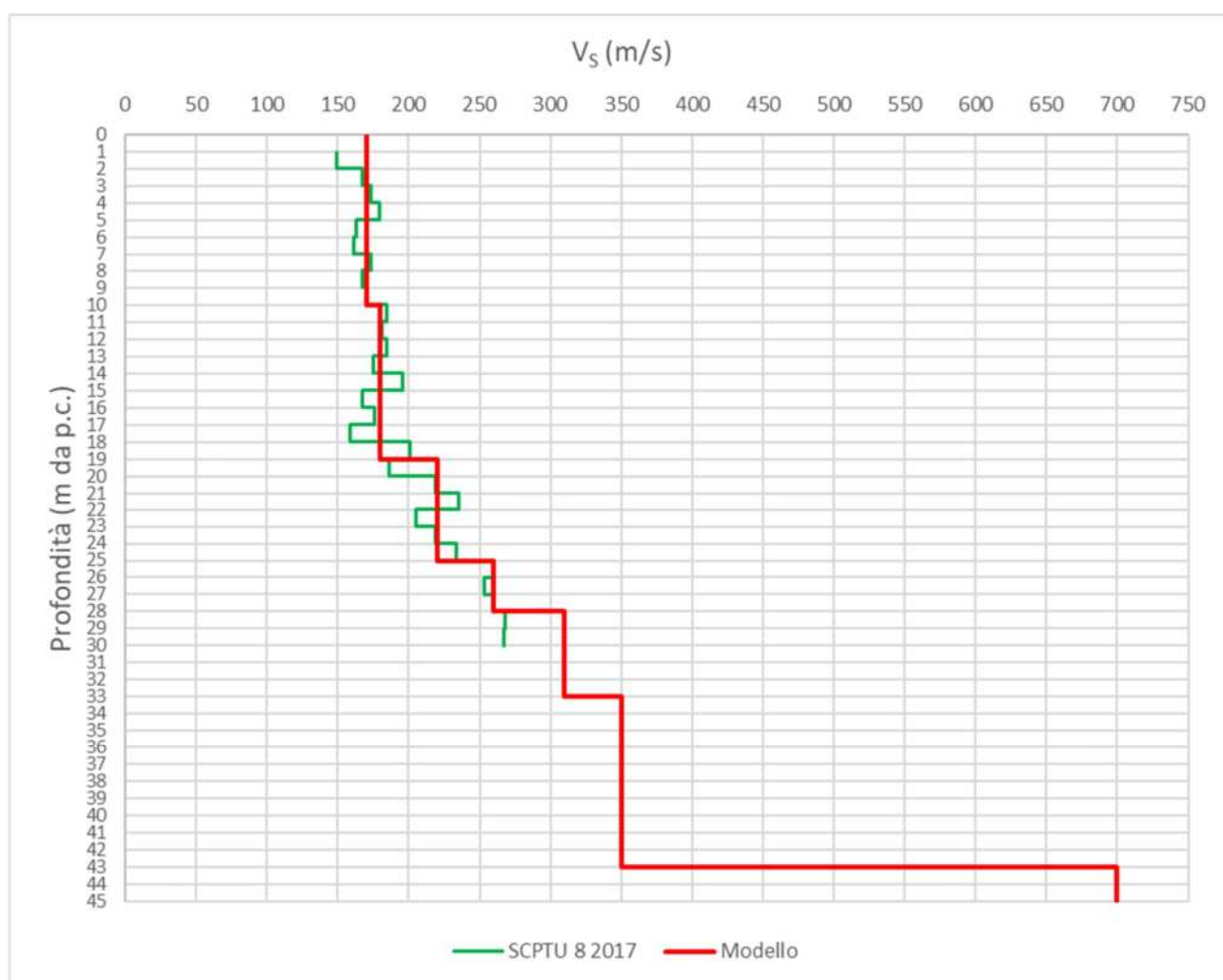


Fig. 102 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P983 - Raytech

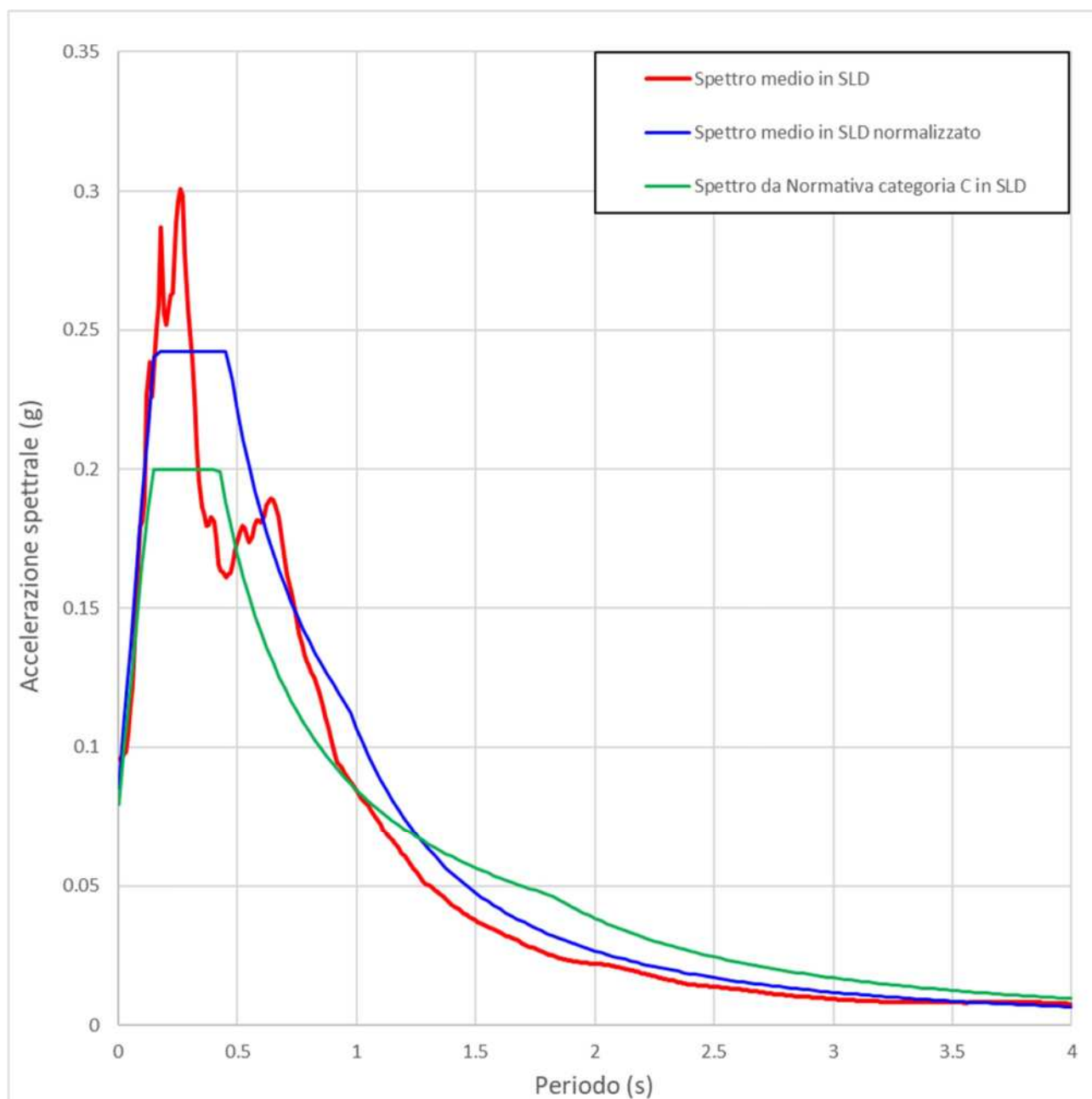


Fig. 103 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P983 - Raytech in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.085	2.838	0.321	1.000	1.000	0.152	0.456	0.967	1.420

Tab. 93 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P983 - Raytech in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	126 di 235

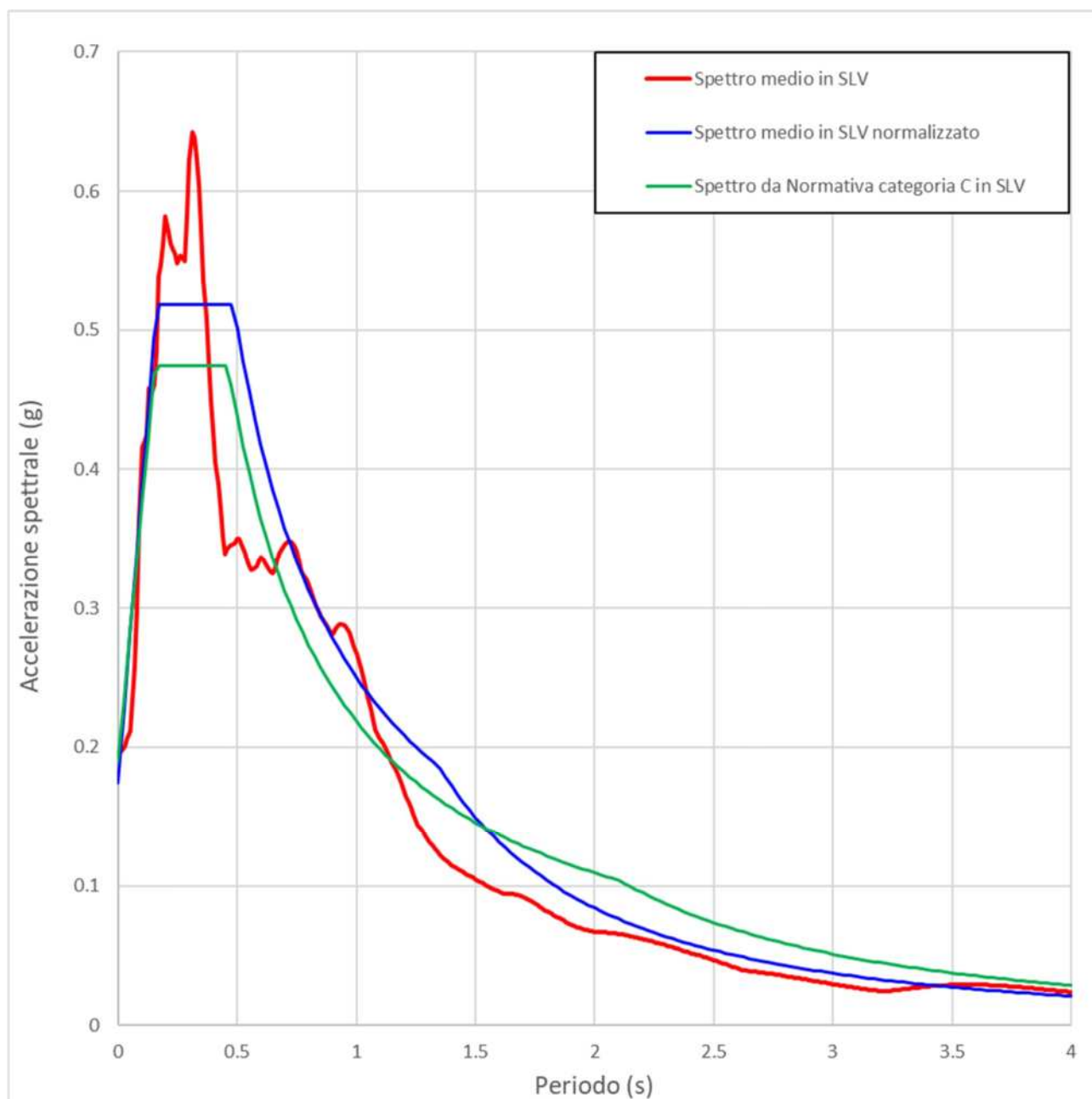


Fig. 104 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P983 - Raytech in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.175	2.961	0.341	1.000	1.000	0.161	0.484	1.344	1.420

Tab. 94 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P983 - Raytech in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	127 di 235

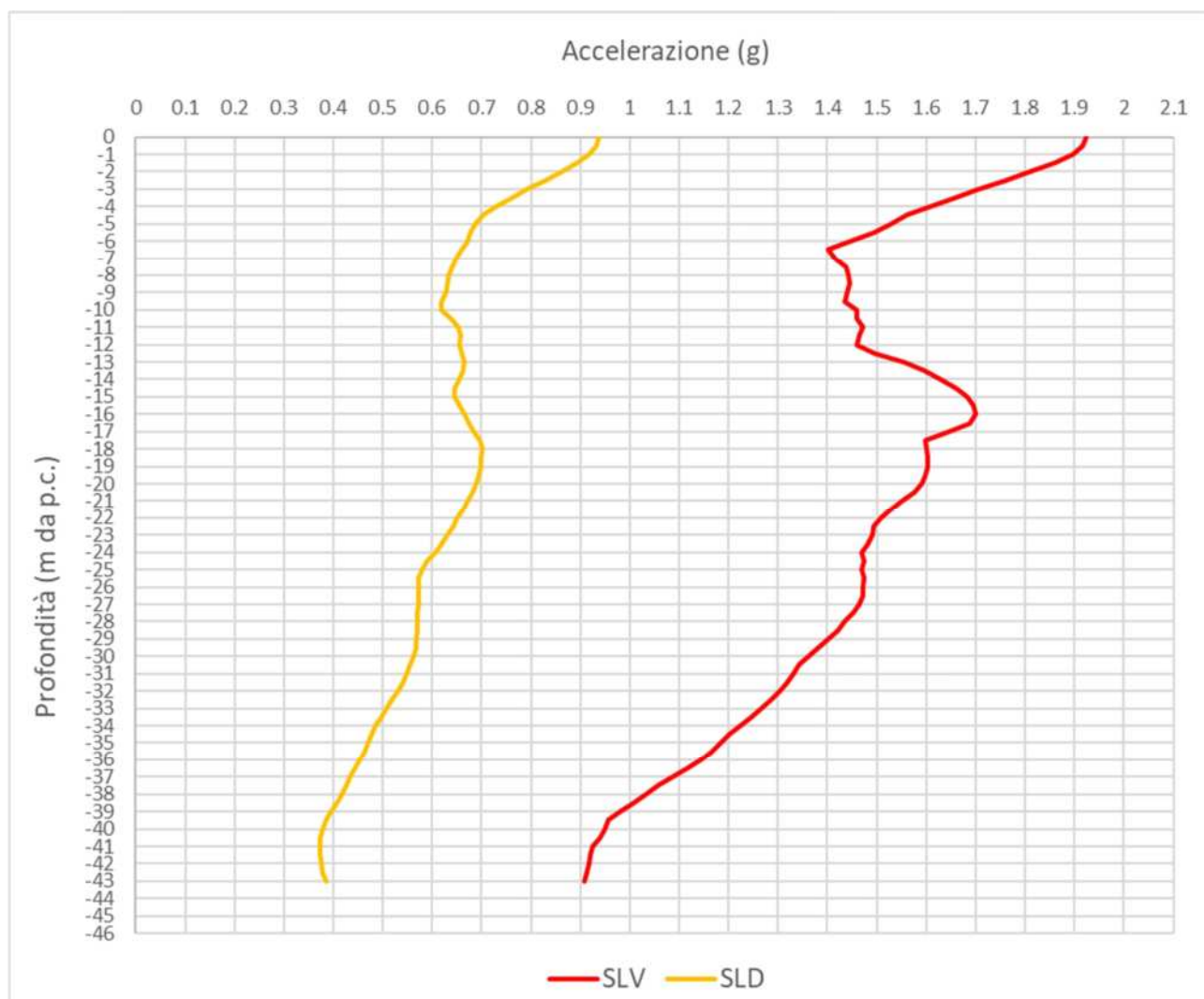


Fig. 105 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P983 - Raytech

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.77
FA (0.4-0.8 s)	2.19
FA (0.5-1.5 s)	2.47
FA (0.7-1.1 s)	2.91
PGA/PGA ₀	1.59
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.73
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.46
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	2.40

Tab. 95 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P983 - Raytech



3.5.23 RSL per il sito 034027P984 – Sede Barilla

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	0.00	-32.50	32.50	18.00	190.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Bedrock	-32.50	-	-	22.00	500.00	-

Tab. 96 – Modello geofisico della verticale 034027P984 – Sede Barilla

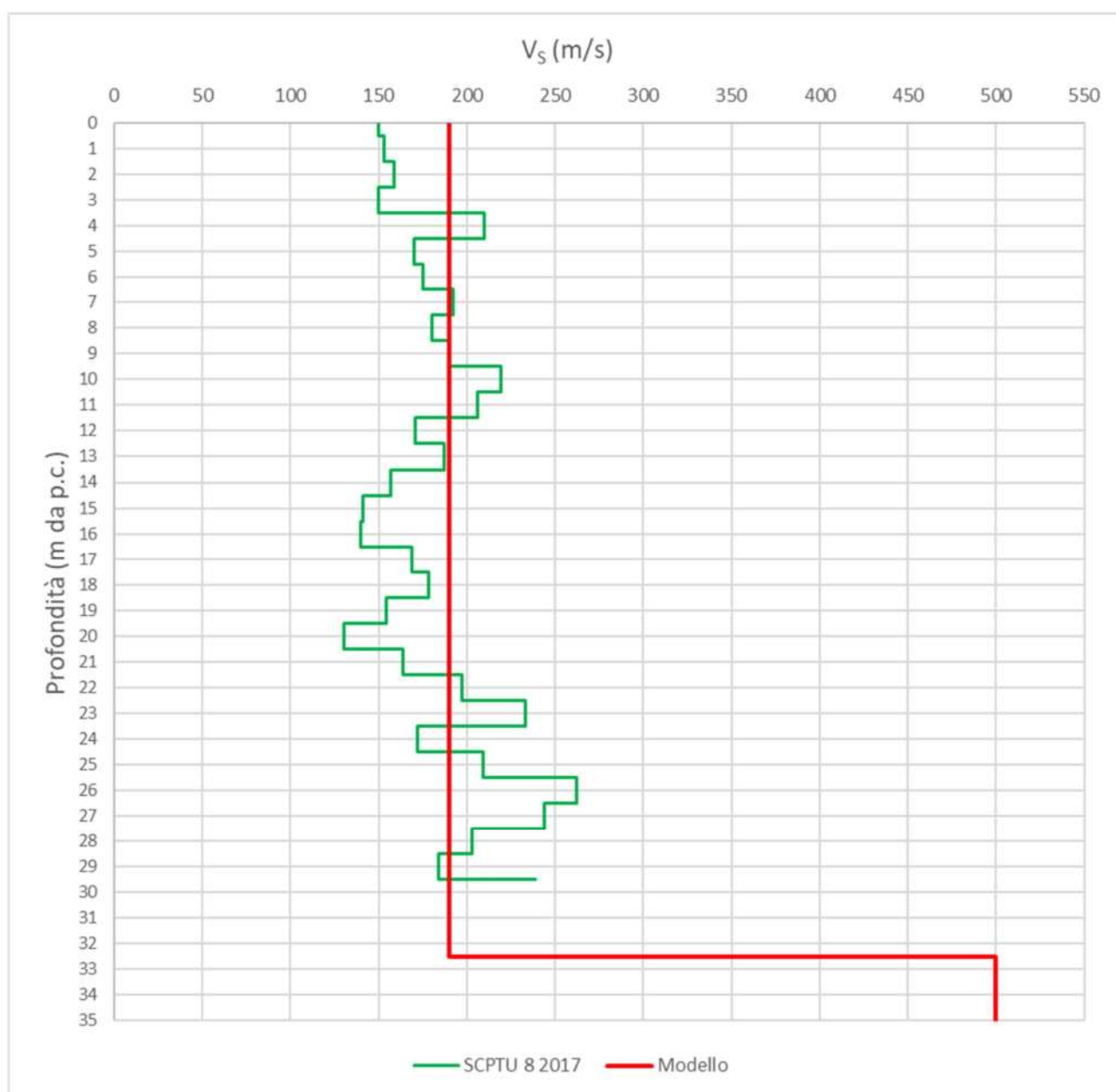


Fig. 106 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P984 – Sede Barilla

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	129 di 235

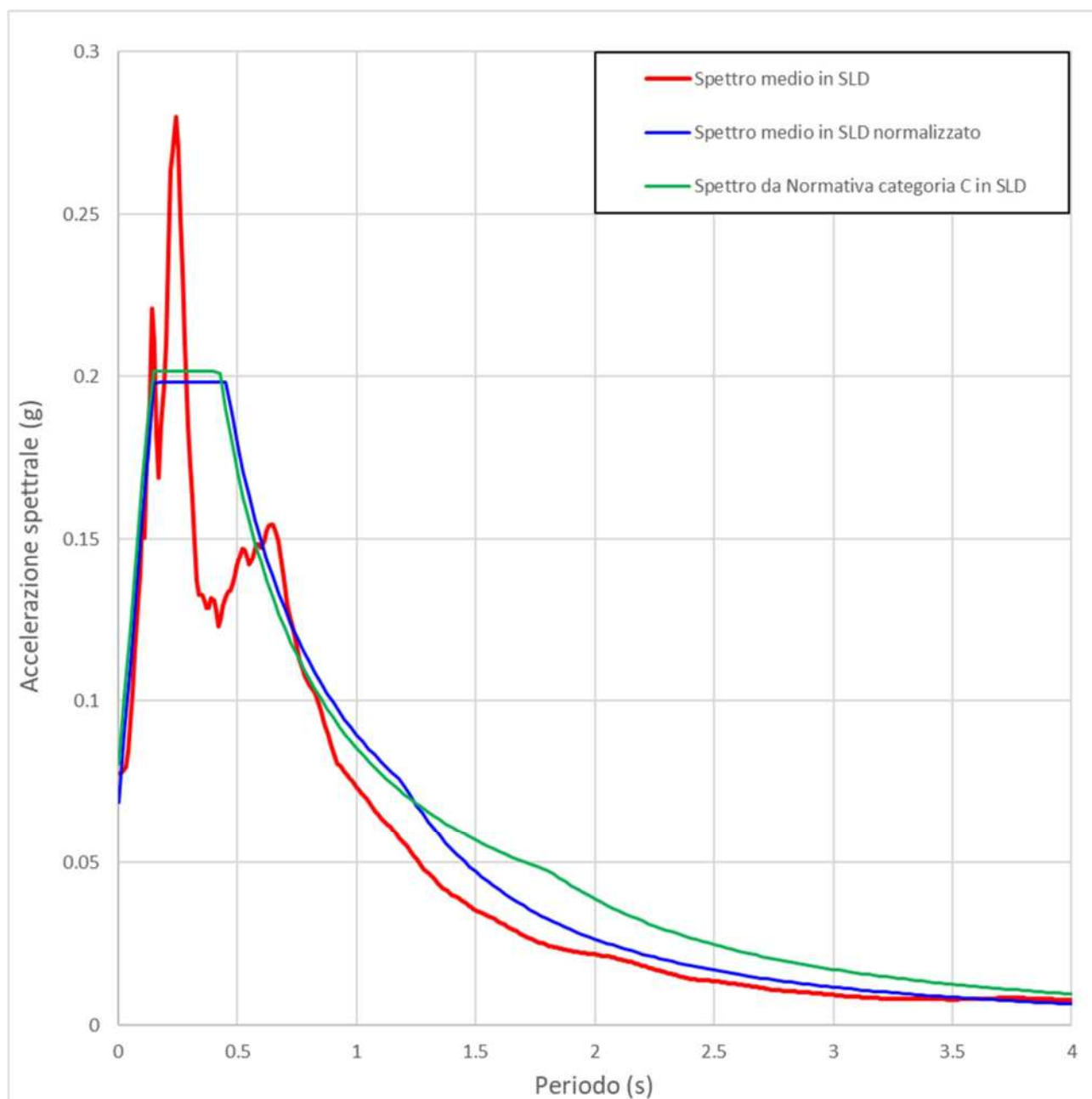


Fig. 107 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P984 – Sede Barilla, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.069	2.880	0.318	1.000	1.000	0.151	0.452	1.184	1.420

Tab. 97 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P984 – Sede Barilla in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	130 di 235

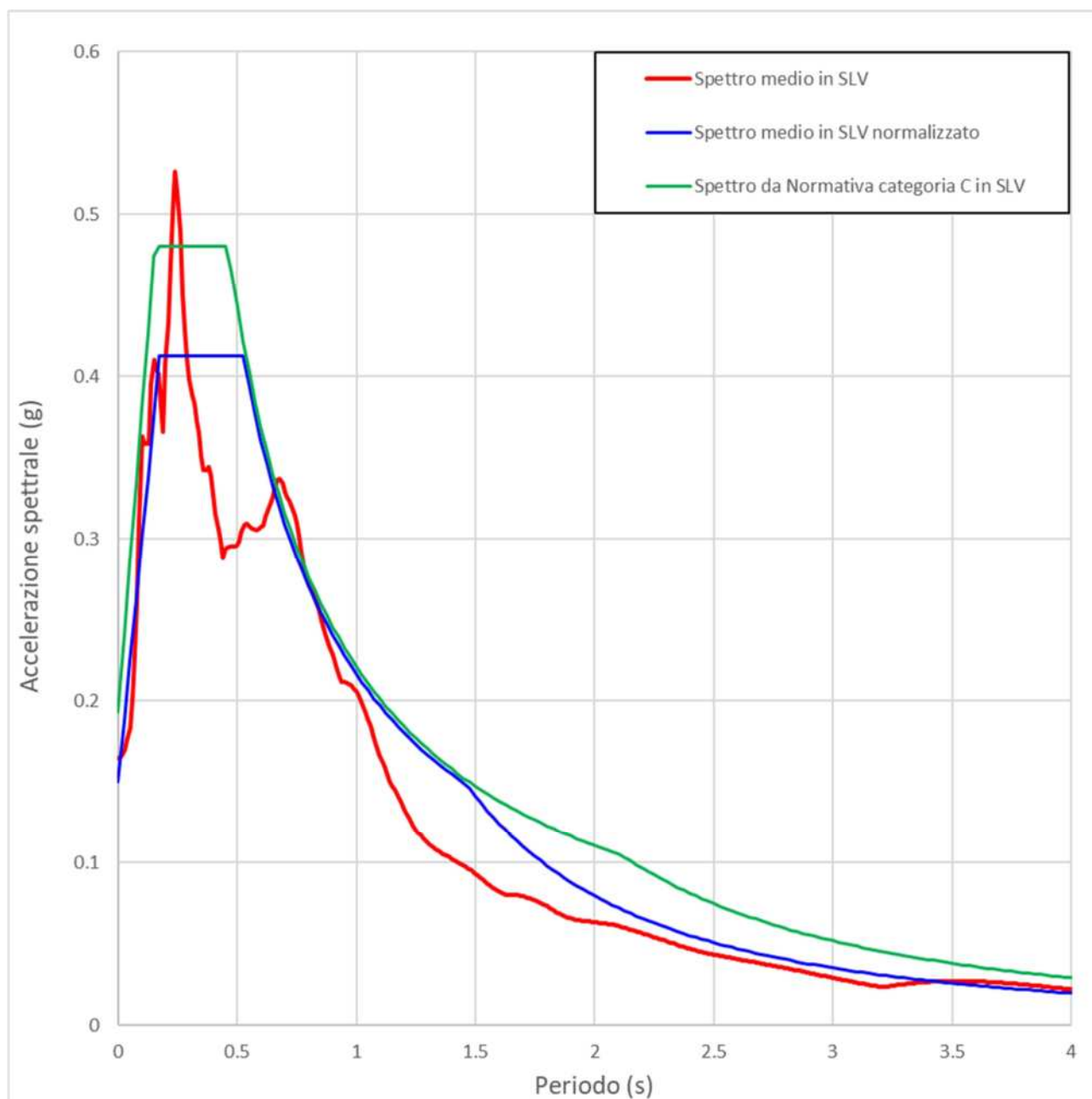


Fig. 108 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P984 – Sede Barilla in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.150	2.751	0.370	1.000	1.000	0.175	0.525	1.468	1.420

Tab. 98 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P984 – Sede Barilla in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	131 di 235

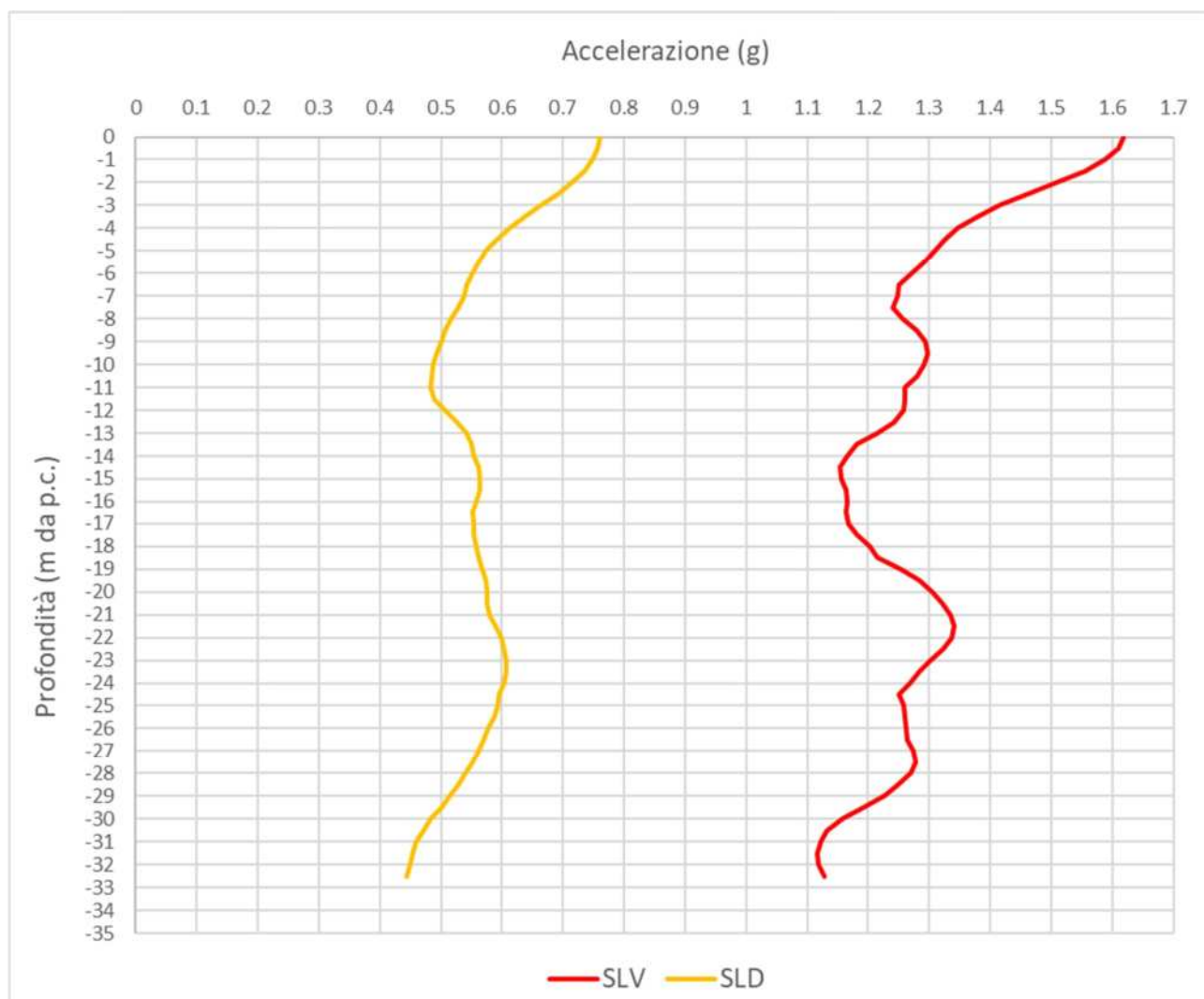


Fig. 109 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P984 – Sede Barilla

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.29
FA (0.4-0.8 s)	1.82
FA (0.5-1.5 s)	1.96
FA (0.7-1.1 s)	2.23
PGA/PGA ₀	1.27
SI/Sl ₀ (0.1-0.5 s)	1.23
SI/Sl ₀ (0.5-1.0 s)	2.00
SI/Sl ₀ (0.5-1.5 s)	1.86

Tab. 99 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P984 – Sede Barilla



3.5.24 RSL per il sito 034027P985 - PAIP

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	0.00	-33.00	33.00	18.00	190.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Bedrock	-33.00	-	-	22.00	520.00	-

Tab. 100 – Modello geofisico della verticale 034027P985 - PAIP

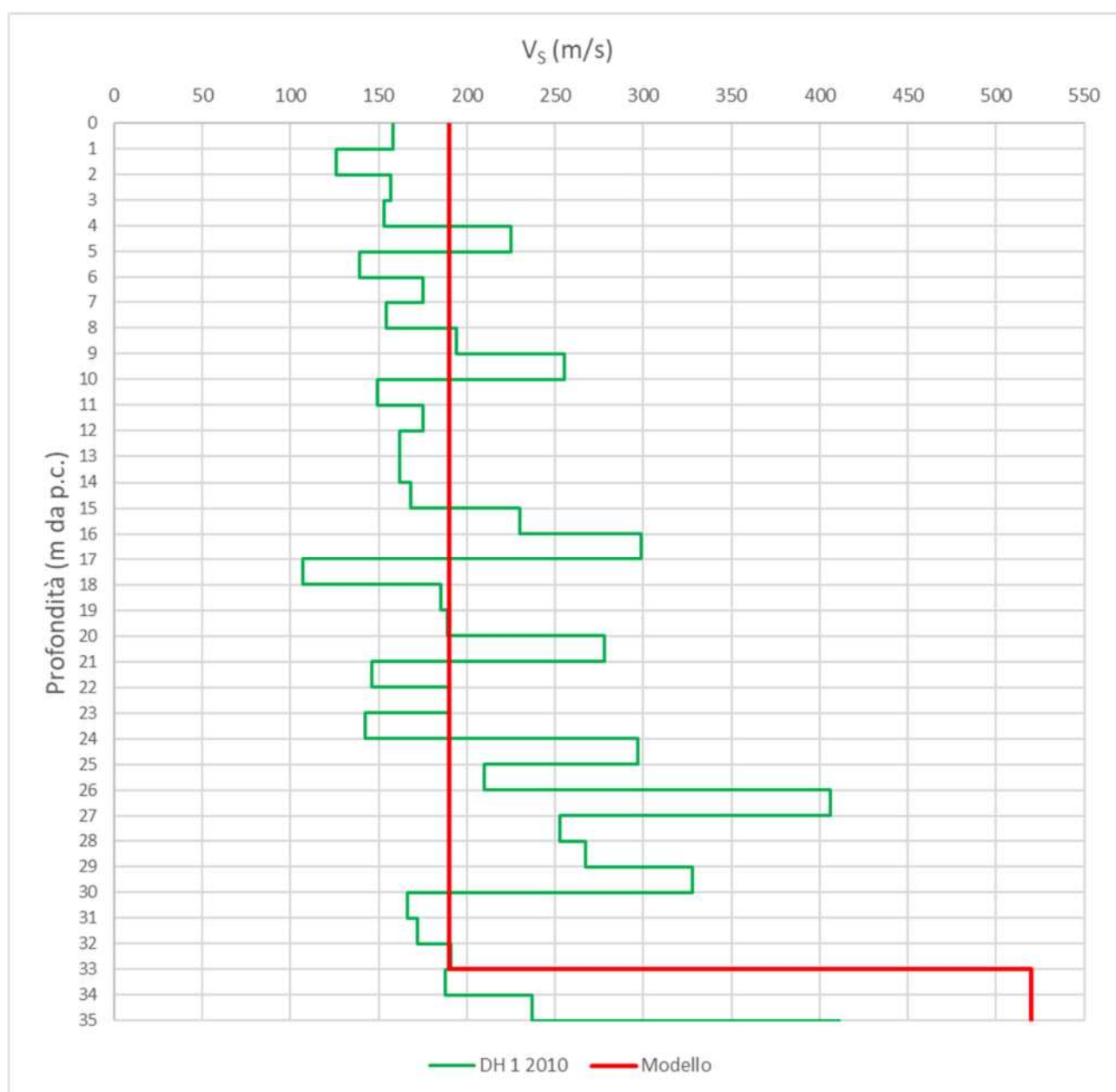


Fig. 110 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P985 - PAIP

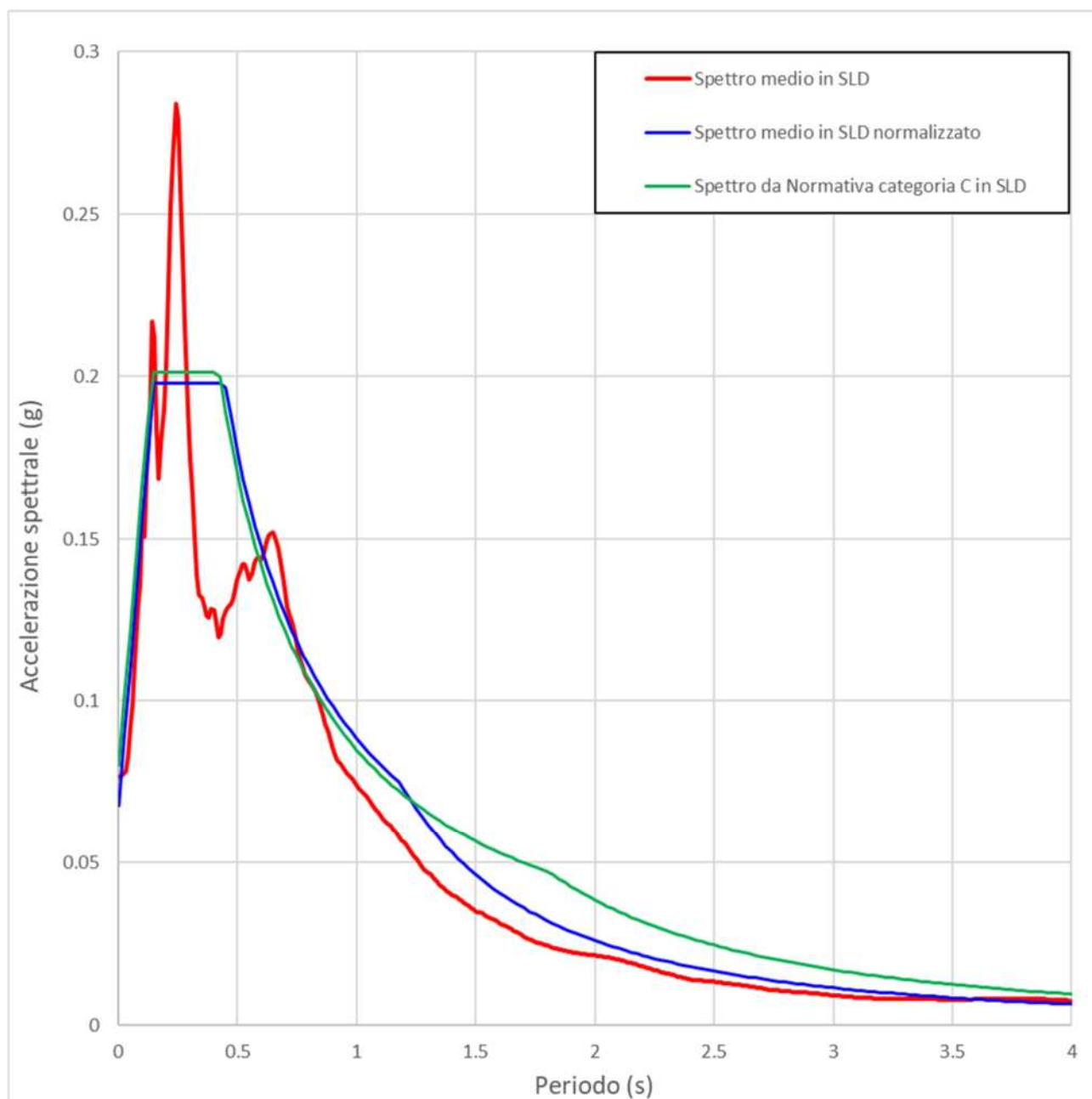


Fig. 111 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P985 - PAIP in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.068	2.918	0.315	1.000	1.000	0.149	0.447	1.178	1.420

Tab. 101 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P985 - PAIP in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	134 di 235

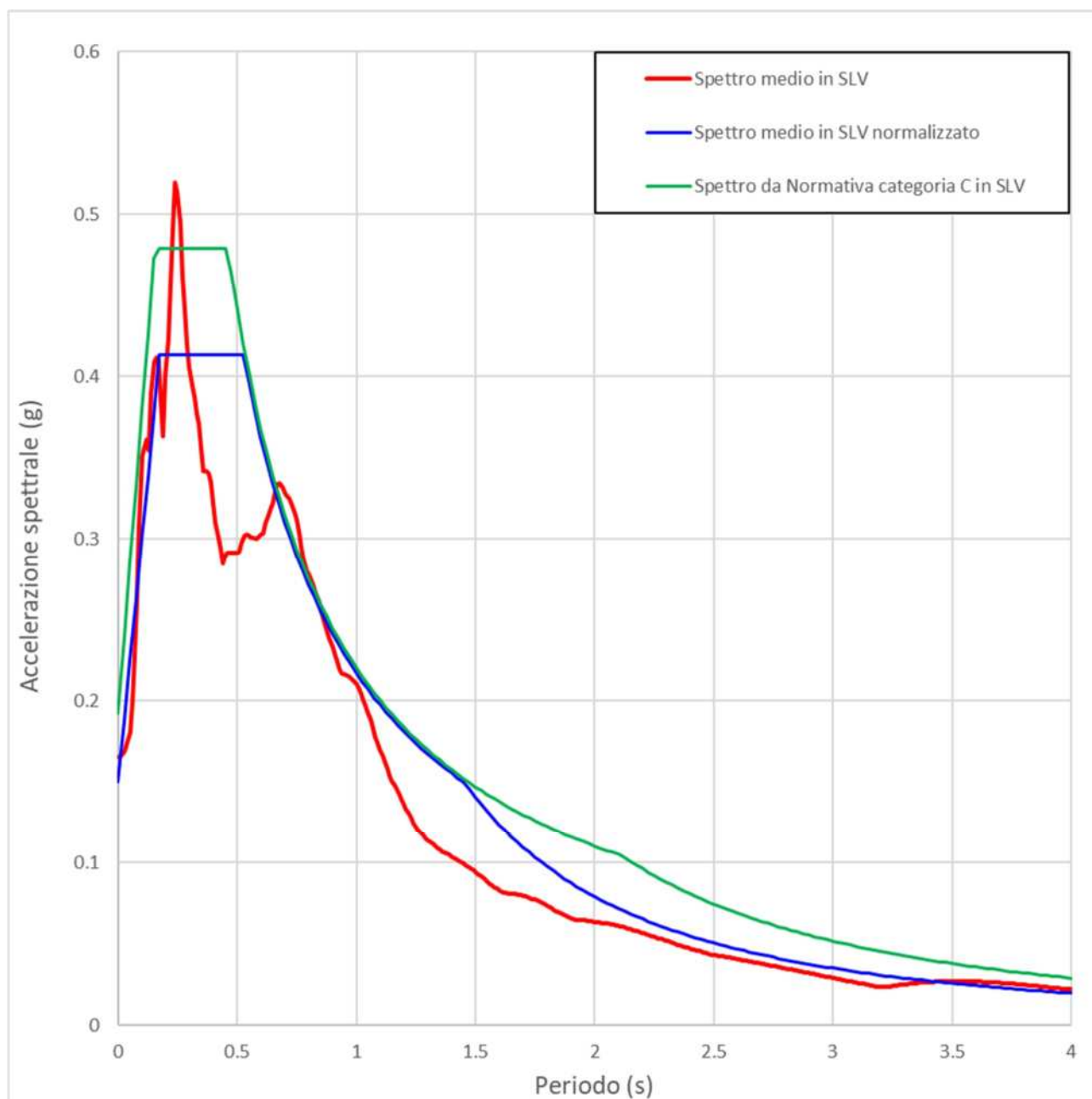


Fig. 112 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P985 - PAIP in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.150	2.752	0.370	1.000	1.000	0.175	0.526	1.457	1.420

Tab. 102 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P985 - PAIP in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	135 di 235

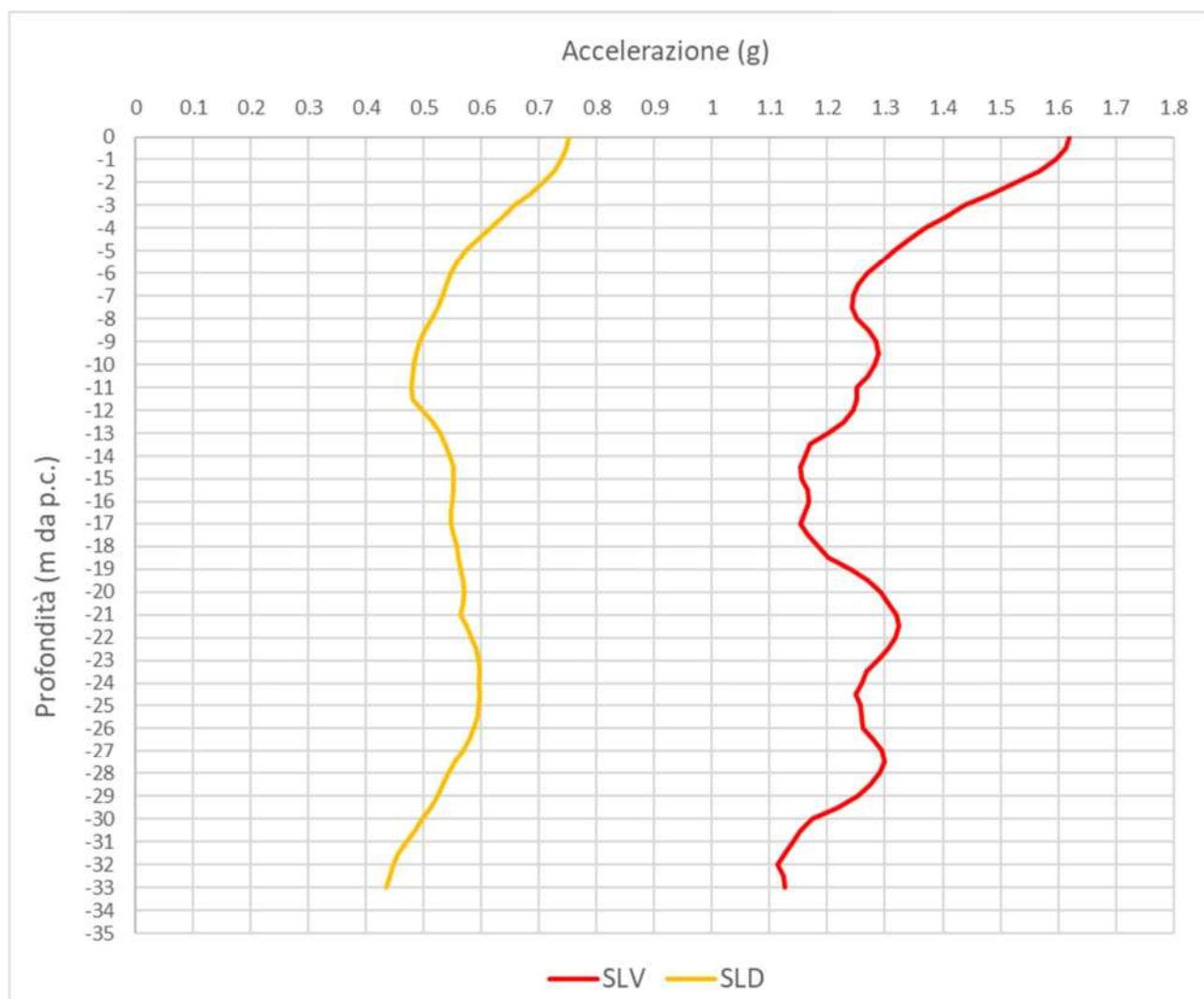


Fig. 113 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P985 - PAIP

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.30
FA (0.4-0.8 s)	1.82
FA (0.5-1.5 s)	1.98
FA (0.7-1.1 s)	2.28
PGA/PGA ₀	1.28
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.24
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.02
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.89

Tab. 103 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P985 - PAIP



3.5.25 RSL per il sito 034027P986 – IKEA

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	0.00	-25.00	25.00	18.00	155.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Ghiaia 1	-25.00	-42.00	17.00	19.00	200.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-42.00	-	-	22.00	500.00	-

Tab. 104 – Modello geofisico della verticale 034027P986 – IKEA

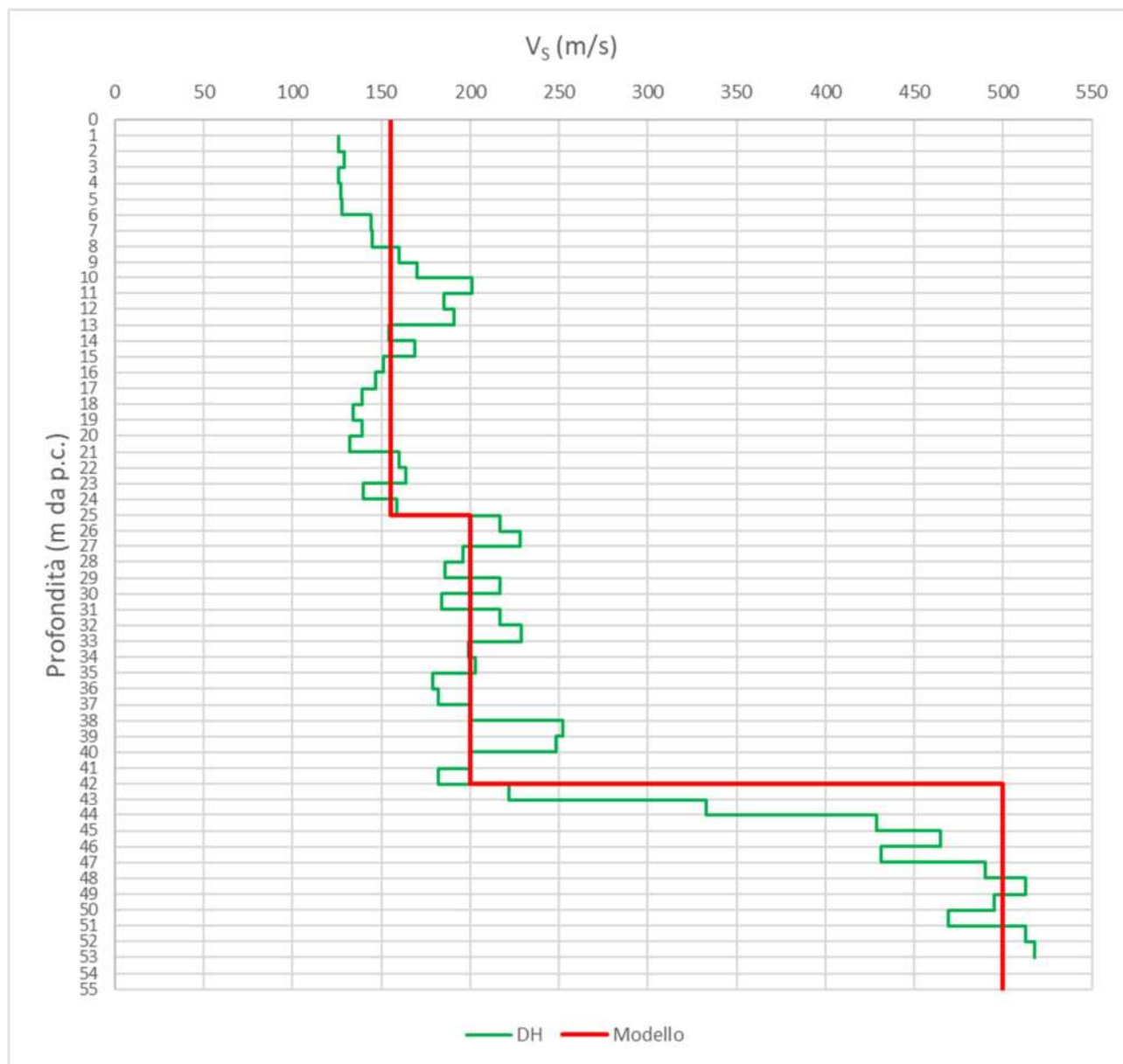


Fig. 114 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P986 – IKEA

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	137 di 235

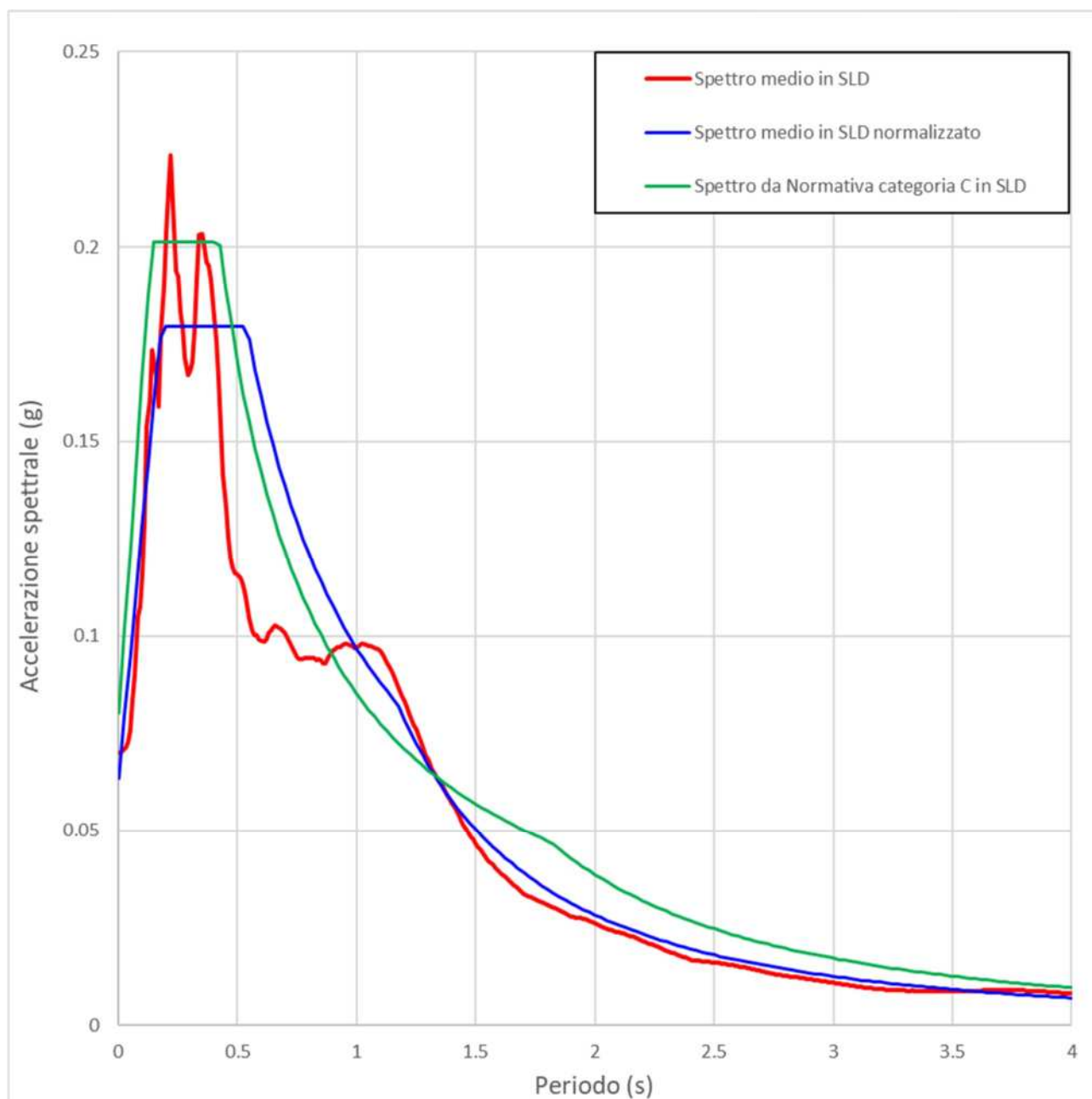


Fig. 115 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P986 – IKEA in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.063	2.831	0.380	1.000	1.000	0.180	0.539	1.167	1.420

Tab. 105 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P986 – IKEA in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	138 di 235

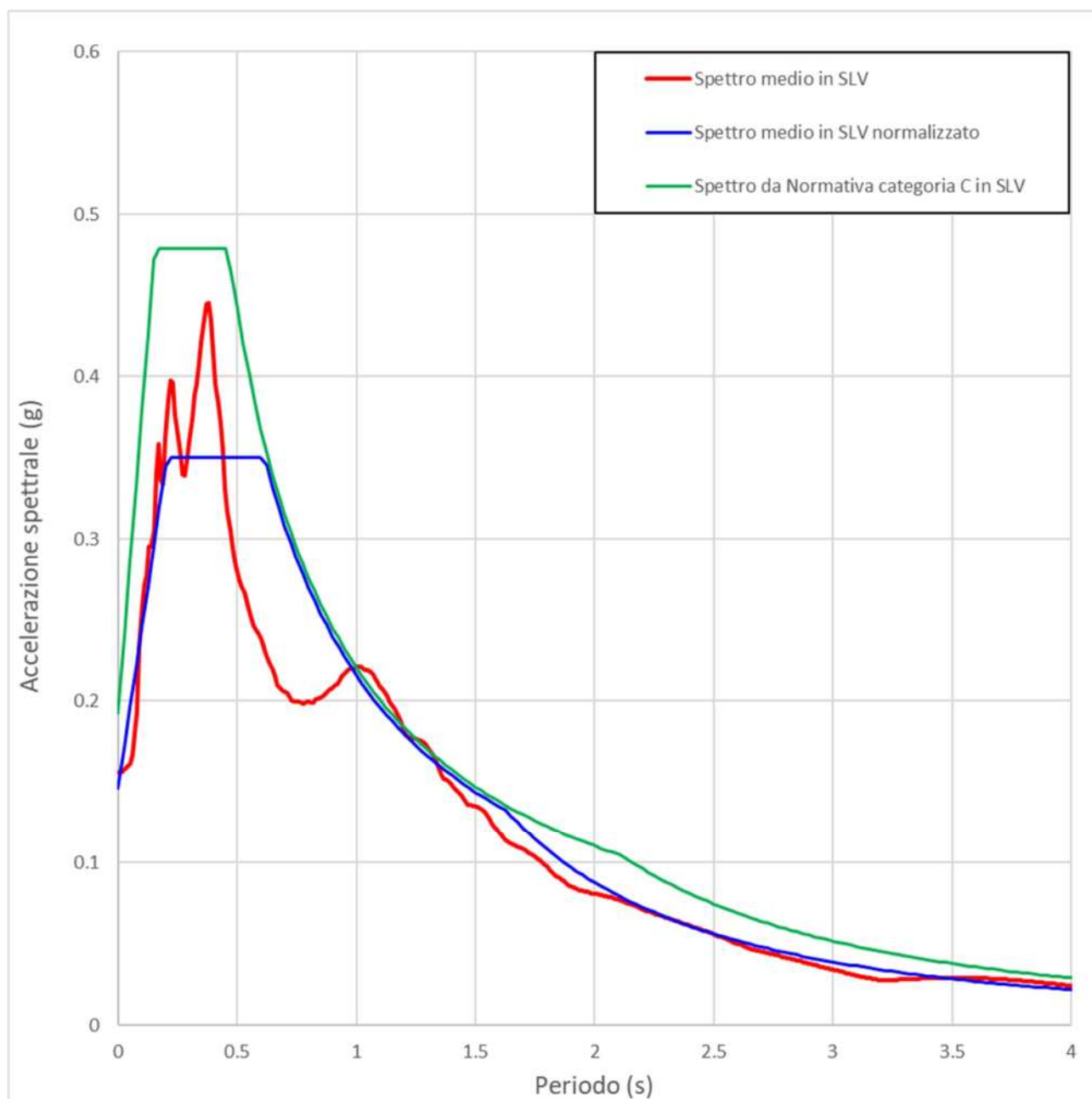


Fig. 116 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P986 – IKEA in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.146	2.398	0.434	1.000	1.000	0.205	0.616	1.628	1.420

Tab. 106 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P986 – IKEA in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	139 di 235

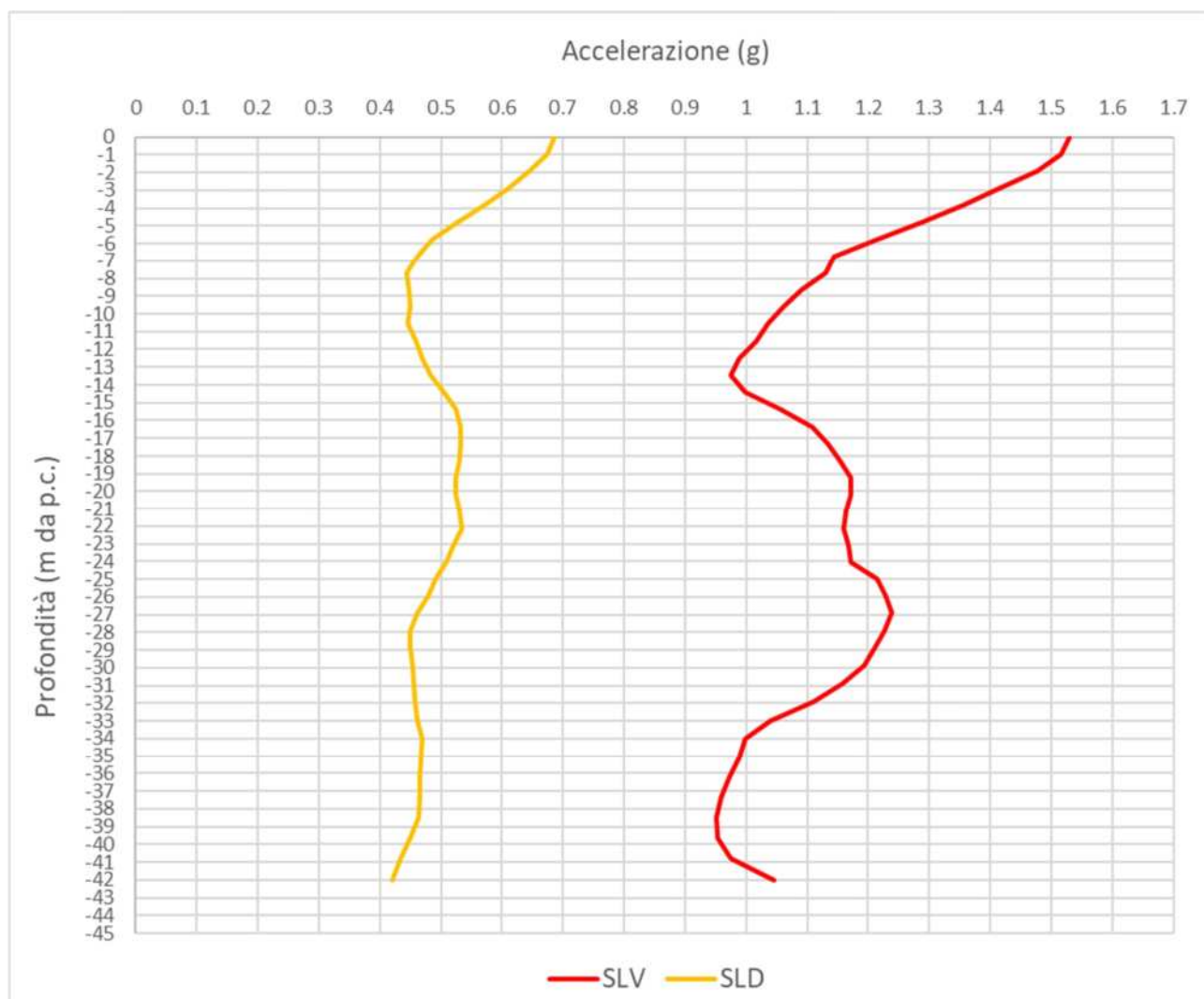


Fig. 117 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P986 – IKEA

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.23
FA (0.4-0.8 s)	1.51
FA (0.5-1.5 s)	1.92
FA (0.7-1.1 s)	2.08
PGA/PGA ₀	1.20
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.23
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.55
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.85

Tab. 107 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P986 – IKEA



3.5.26 RSL per il sito 034027P987 – Sede EFSA

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-2.00	2.00	18.00	100.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia 1	-2.00	-9.30	7.30	20.00	275.00	Rollins
Argilla 2	-9.30	-17.20	7.90	18.00	190.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Ghiaia 2	-17.20	-25.40	8.20	20.00	230.00	Rollins
Argilla 3	-25.40	-31.50	6.10	19.00	180.00	Ospedale S1 Sh4
Bedrock	-31.50	-	-	22.00	450.00	-

Tab. 108 – Modello geofisico della verticale 034027P987 – Sede EFSA

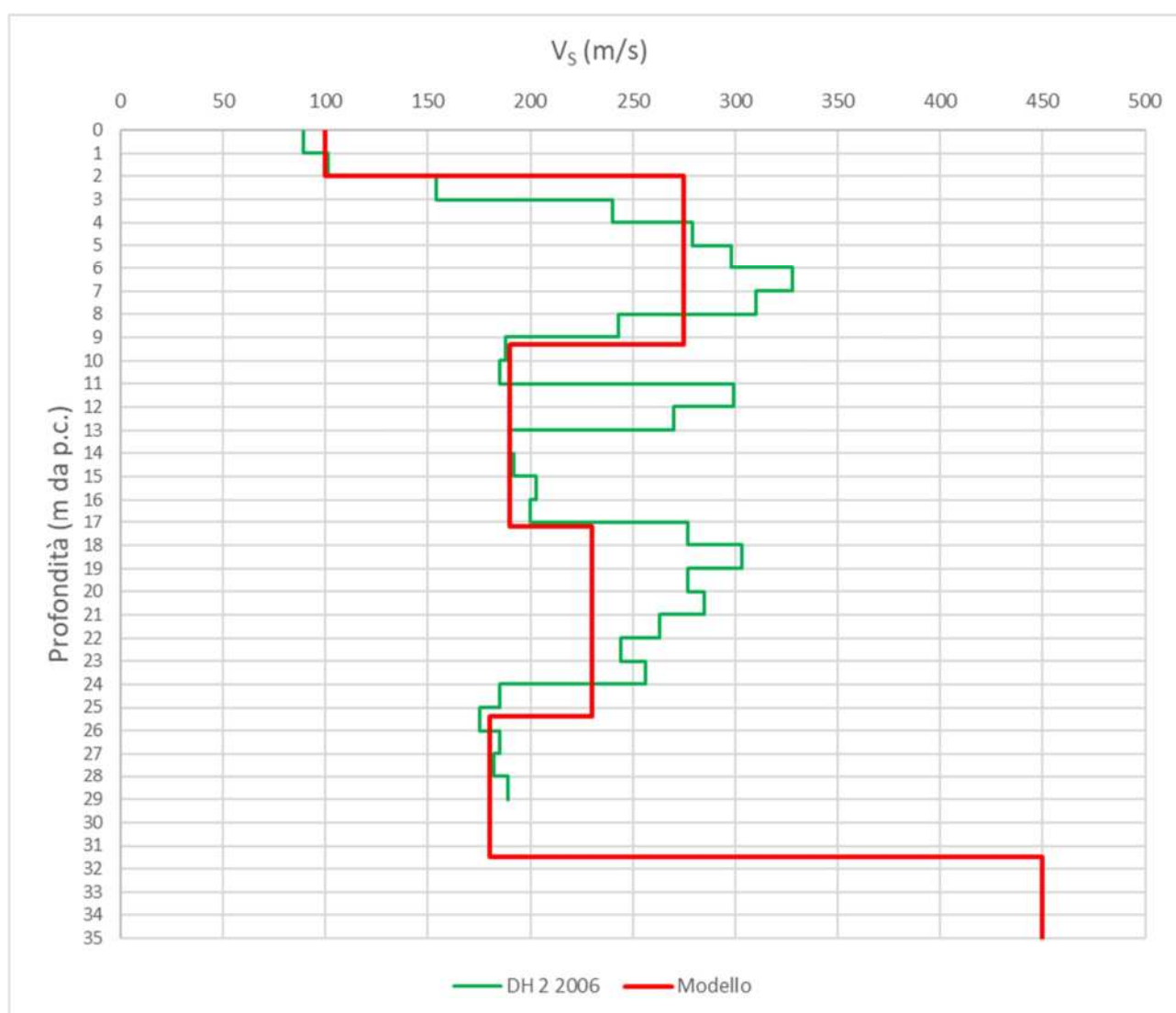


Fig. 118 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P987 – Sede EFSA

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	141 di 235

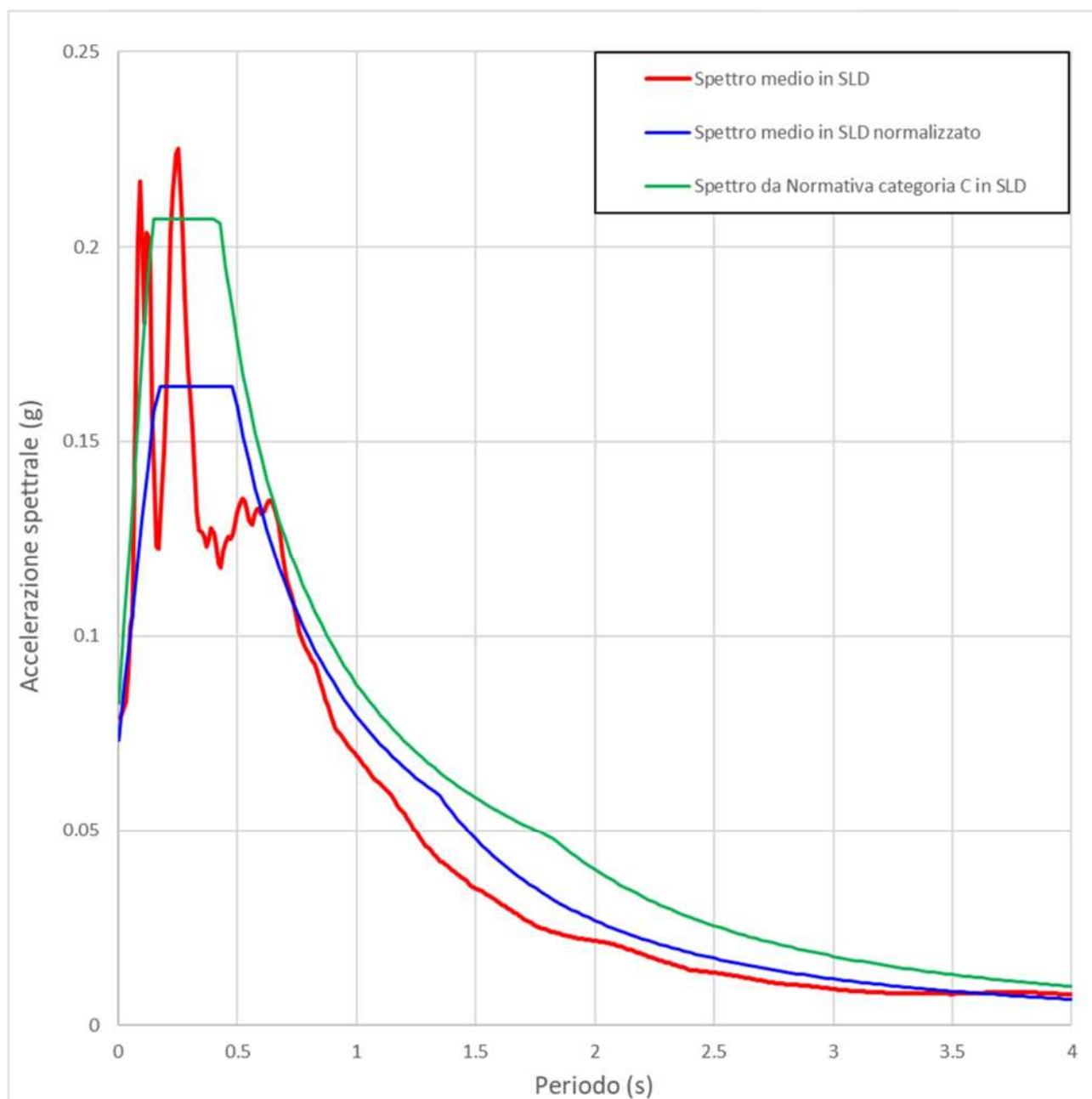


Fig. 119 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P987 – Sede EFSA in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.073	2.240	0.341	1.000	1.000	0.161	0.484	1.352	1.420

Tab. 109 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P987 – Sede EFSA in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	142 di 235

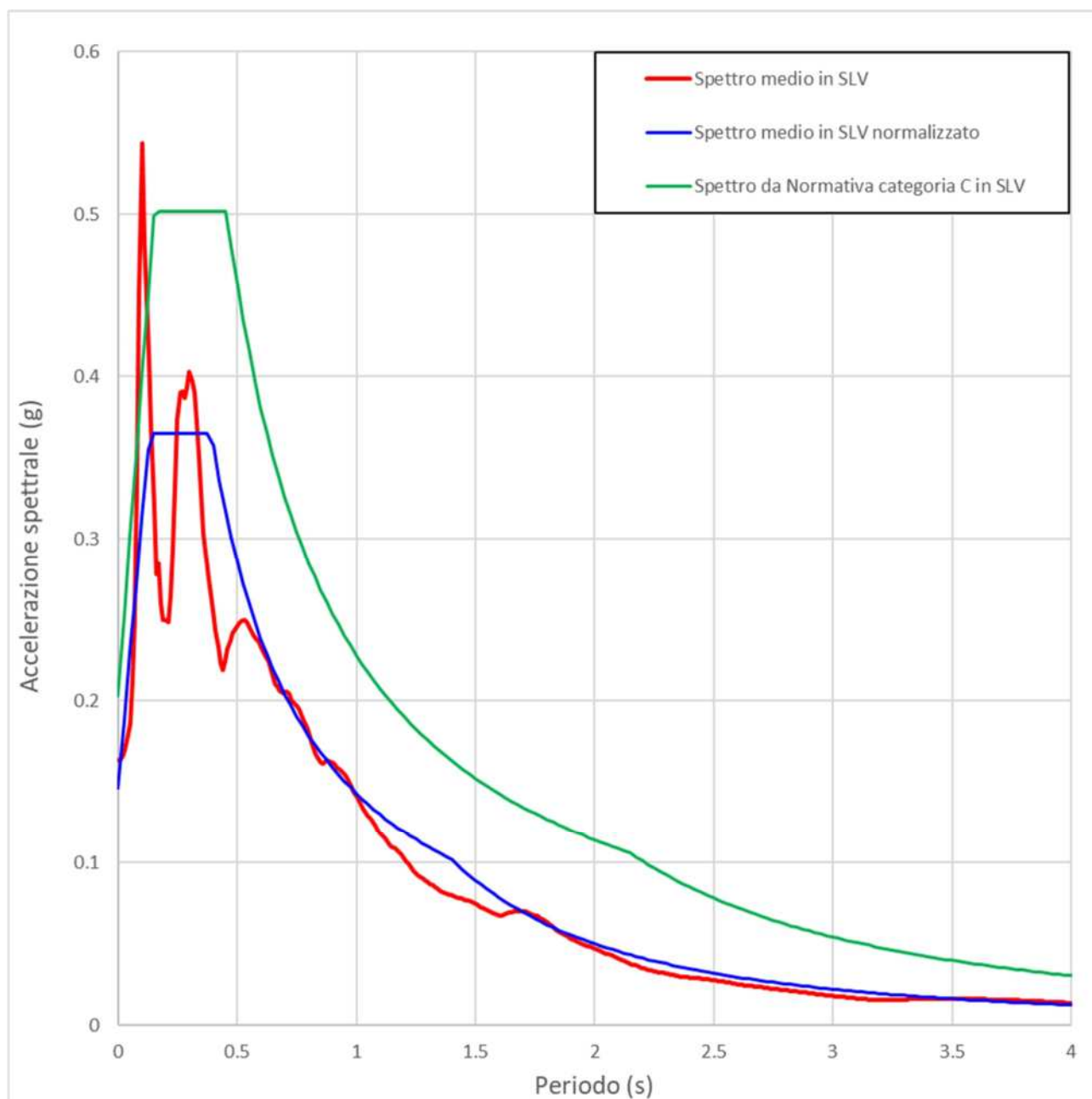


Fig. 120 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P987 – Sede EFSA in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.146	2.491	0.276	1.000	1.000	0.131	0.392	1.403	1.420

Tab. 110 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P987 – Sede EFSA in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	143 di 235

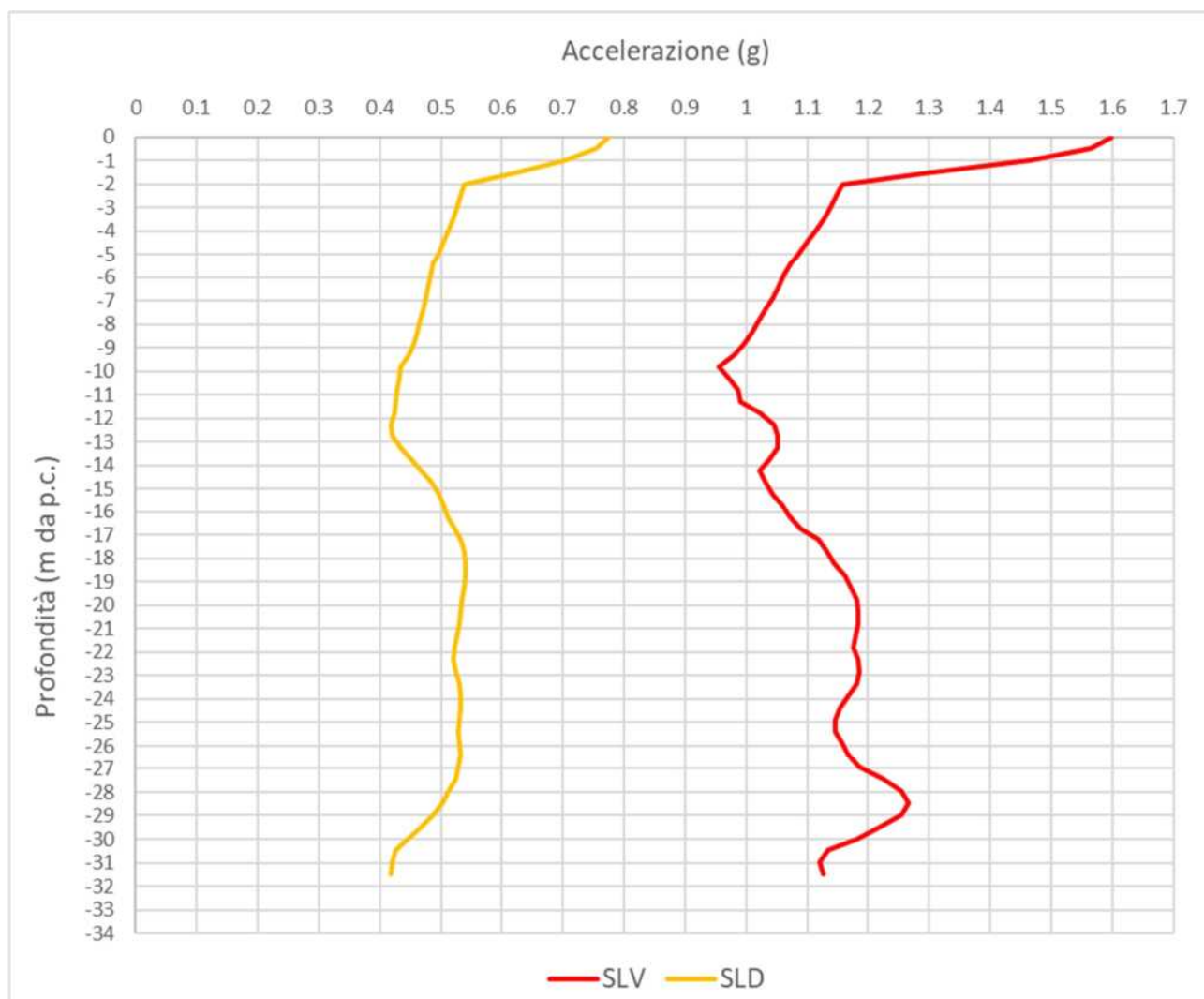


Fig. 121 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P987 – Sede EFSA

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	0.93
FA (0.4-0.8 s)	1.25
FA (0.5-1.5 s)	1.55
FA (0.7-1.1 s)	1.69
PGA/PGA ₀	1.10
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	0.88
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.30
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.45

Tab. 111 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P987 – Sede EFSA



3.5.27 RSL per il sito 034027P988 – RSA

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-12.60	12.60	18.00	250.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia	-12.60	-24.40	11.80	20.00	500.00	Rollins
Argilla 2	-24.40	-29.90	5.50	19.00	280.00	Ospedale S1 Sh4
Bedrock	-29.90	-	-	22.00	530.00	-

Tab. 112 – Modello geofisico della verticale 034027P988 – RSA

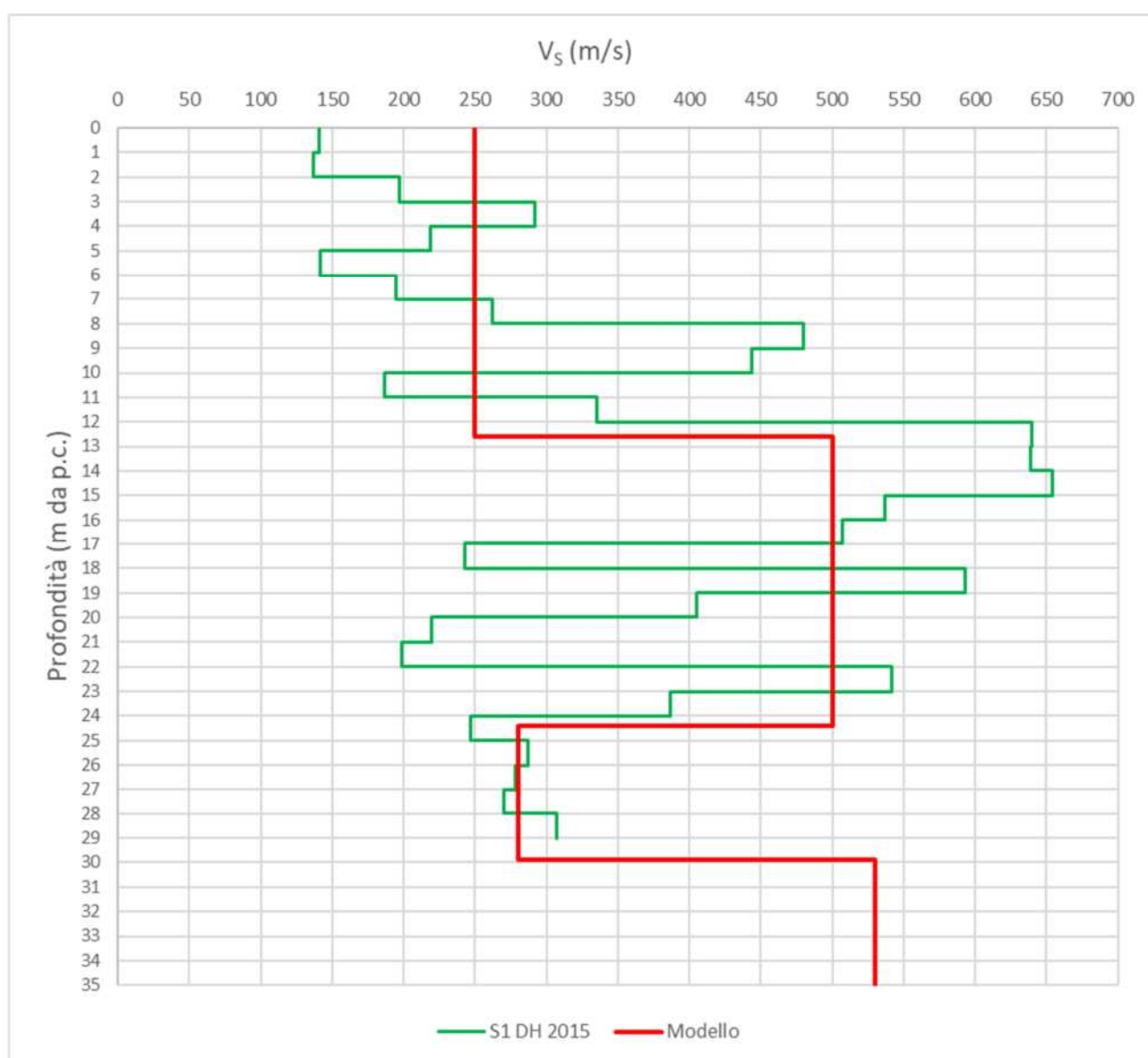


Fig. 122 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P988 – RSA



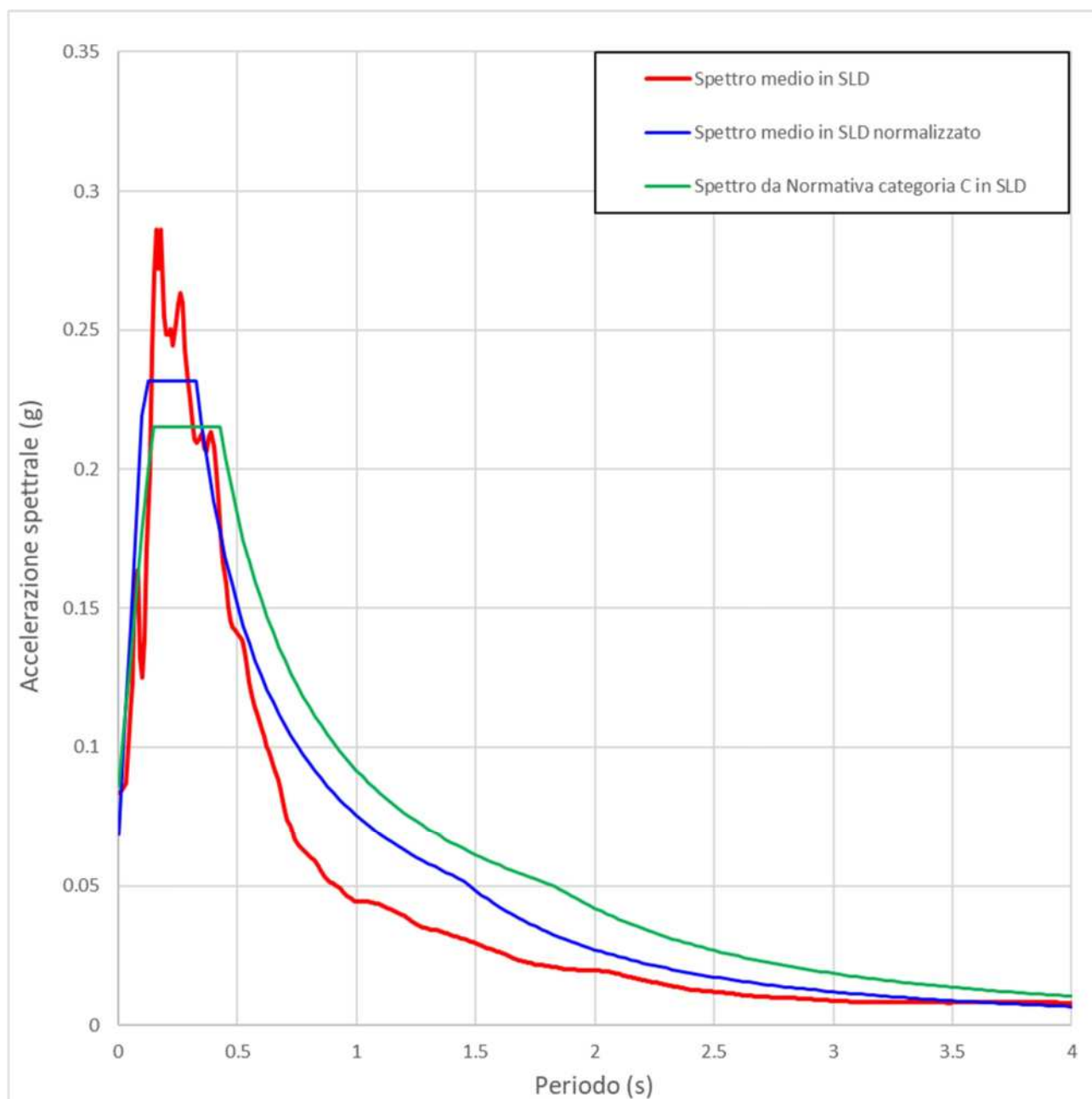


Fig. 123 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P988 – RSA in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	Tc^*	η	S	Tb	Tc	Td	Cc
0.069	3.380	0.229	1.000	1.000	0.108	0.325	1.439	1.420

Tab. 113 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P988 – RSA in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	146 di 235

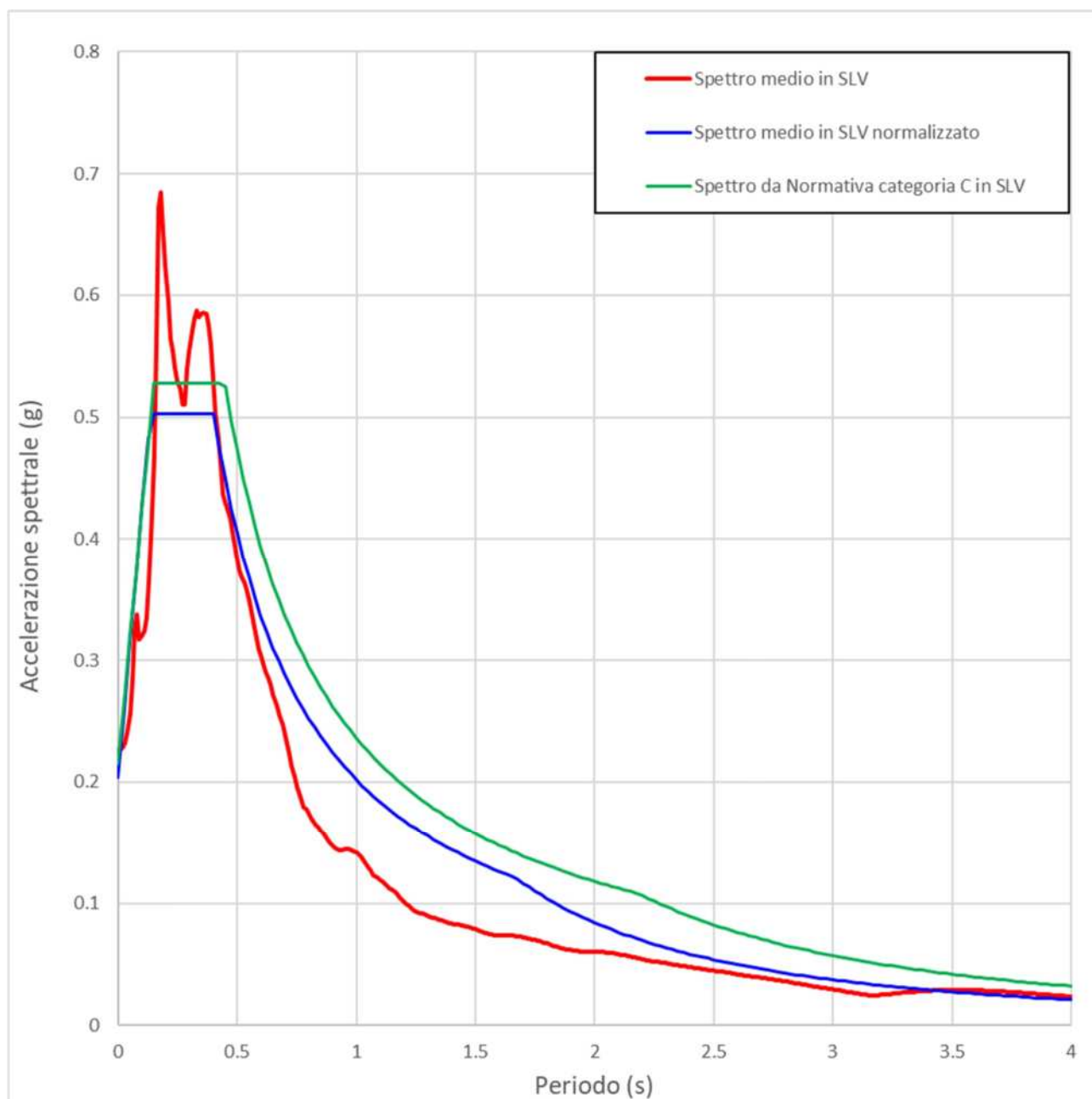


Fig. 124 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P988 – RSA in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.204	2.463	0.283	1.000	1.000	0.134	0.402	1.667	1.420

Tab. 114 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P988 – RSA in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	147 di 235



Fig. 125 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P988 – RSA

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.57
FA (0.4-0.8 s)	1.62
FA (0.5-1.5 s)	1.39
FA (0.7-1.1 s)	1.33
PGA/PGA ₀	1.54
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.64
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.54
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.44

Tab. 115 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P988 – RSA

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	148 di 235



3.5.28 RSL per il sito 034027P989 – Nuova scuola Racagni

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-2.50	2.50	18.00	160.00	Fognano S1 Cl2
Argilla 2	-2.50	-12.50	10.00	18.00	235.00	Fognano S1 Cl2
Ghiaia 1	-12.50	-17.00	4.50	21.00	450.00	Rollins
Ghiaia 2	-17.00	-28.00	11.00	21.00	630.00	Rollins
Bedrock	-28.00	-	-	22.00	710.00	-

Tab. 116 – Modello geofisico della verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni

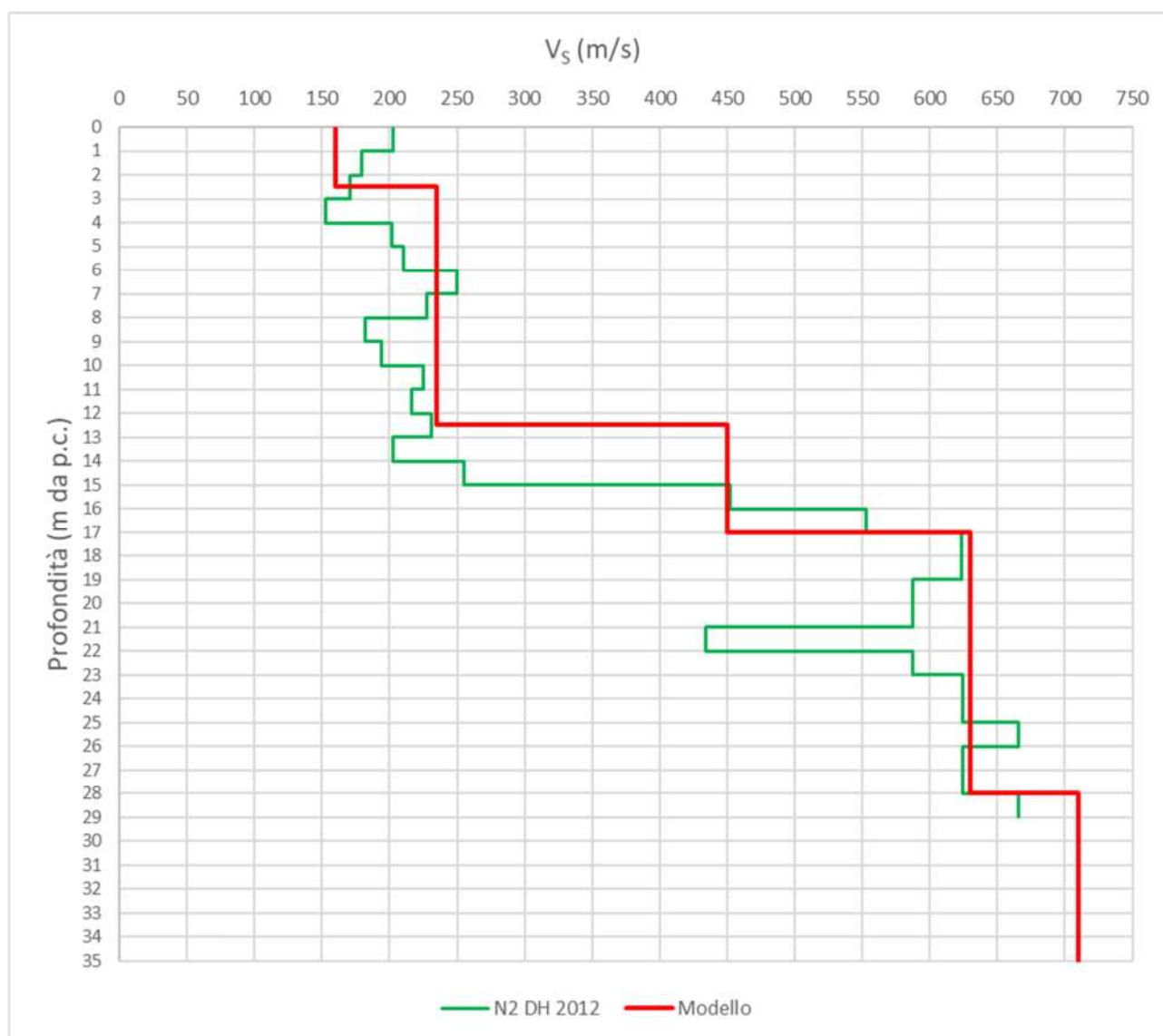


Fig. 126 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	149 di 235

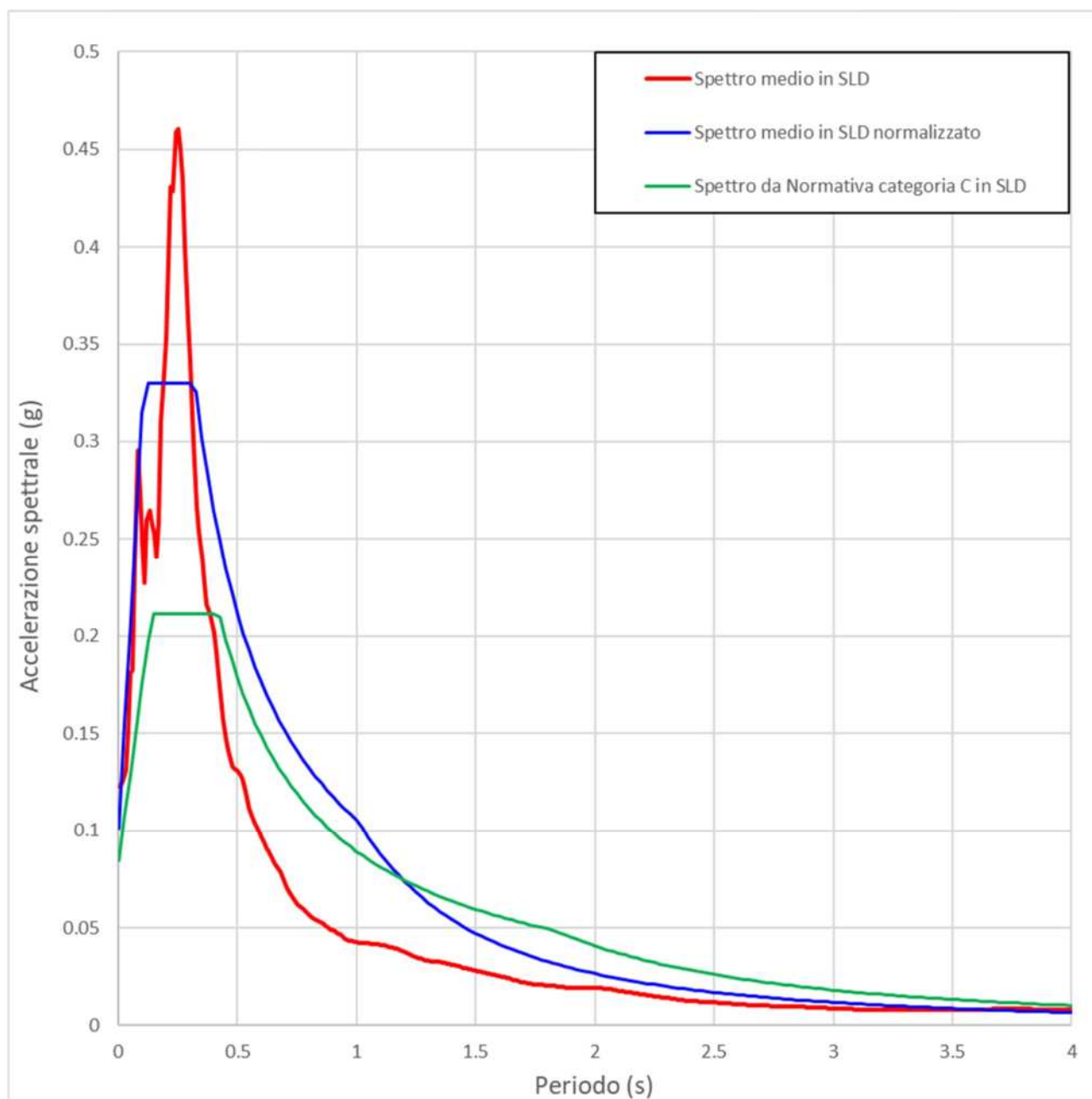


Fig. 127 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.101	3.263	0.226	1.000	1.000	0.107	0.321	1.004	1.420

Tab. 117 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	150 di 235

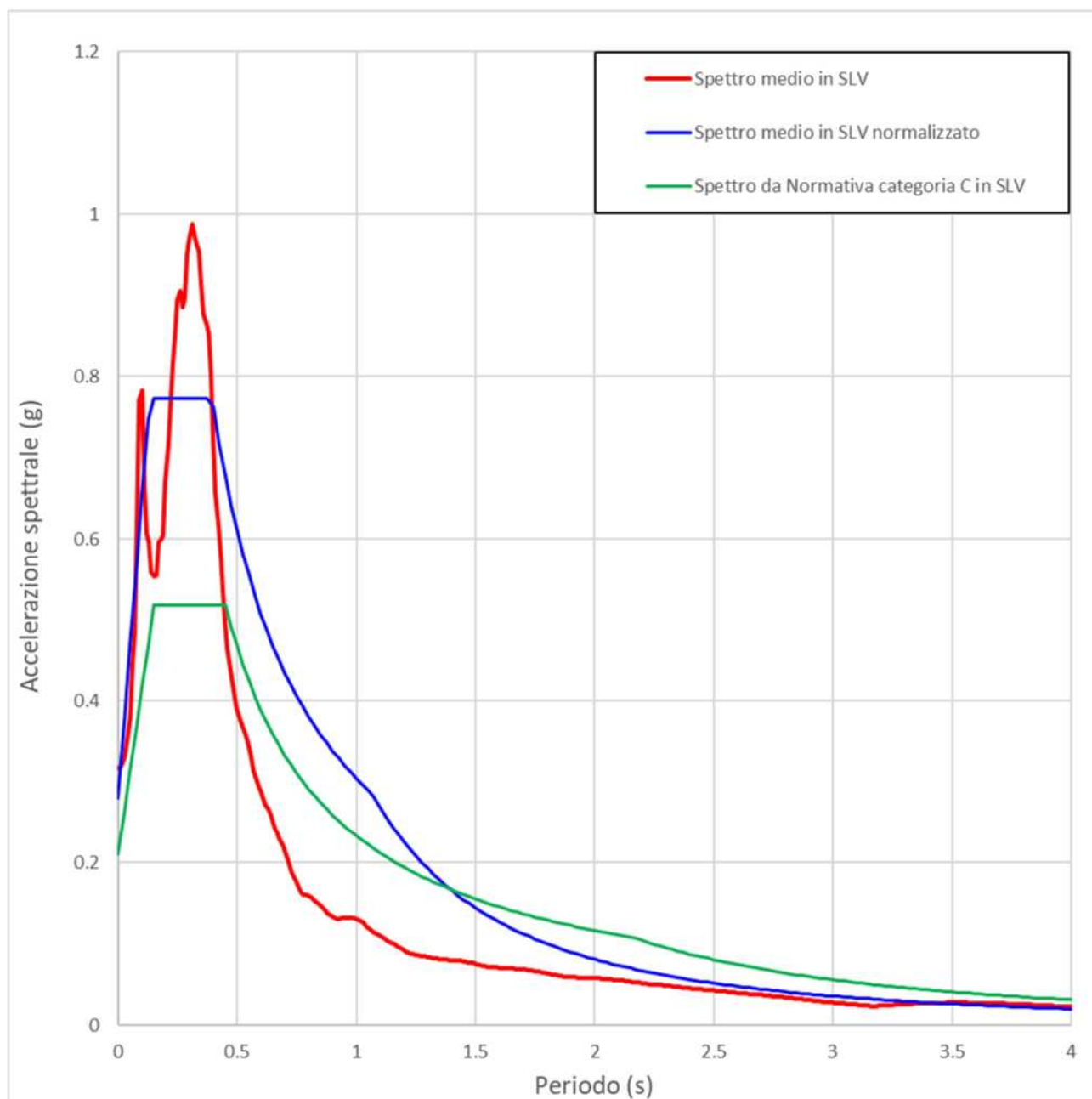


Fig. 128 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.280	2.757	0.278	1.000	1.000	0.131	0.394	1.068	1.420

Tab. 118 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	151 di 235

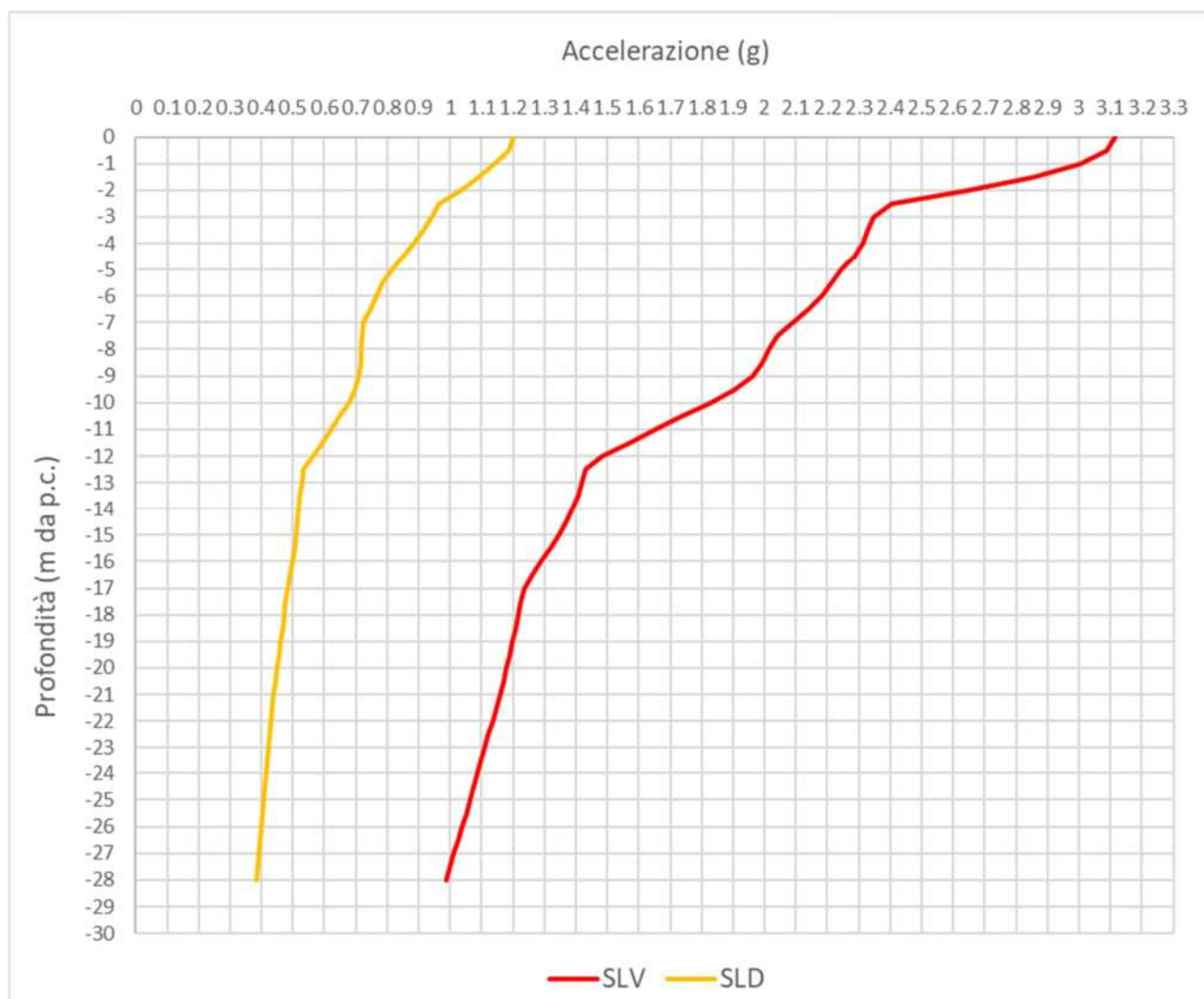


Fig. 129 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	2.22
FA (0.4-0.8 s)	1.65
FA (0.5-1.5 s)	1.33
FA (0.7-1.1 s)	1.25
PGA/PGA ₀	2.22
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.35
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.61
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.51

Tab. 119 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P989 – Nuova scuola Racagni



3.5.29 RSL per il sito 034027P993 – Chiesi Pilotis

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	-0.00	-22.00	22.00	19.00	185.00	Chiesi S1 CI4
Ghiaia	-22.00	-40.00	18.00	21.00	630.00	Rollins
Bedrock	-40.00	-	-	22.00	800.00	-

Tab. 120 – Modello geofisico della verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis

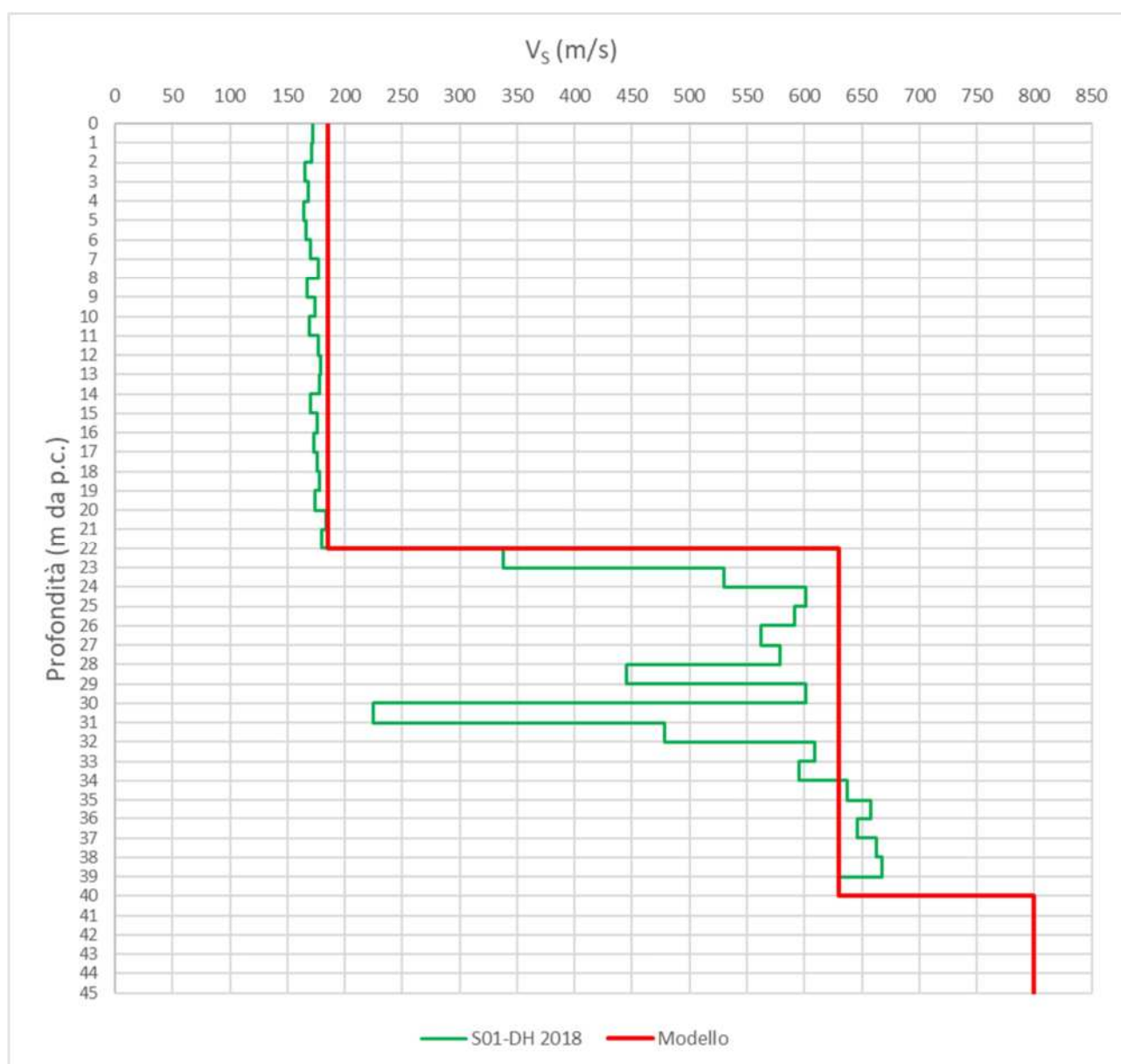


Fig. 130 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	153 di 235

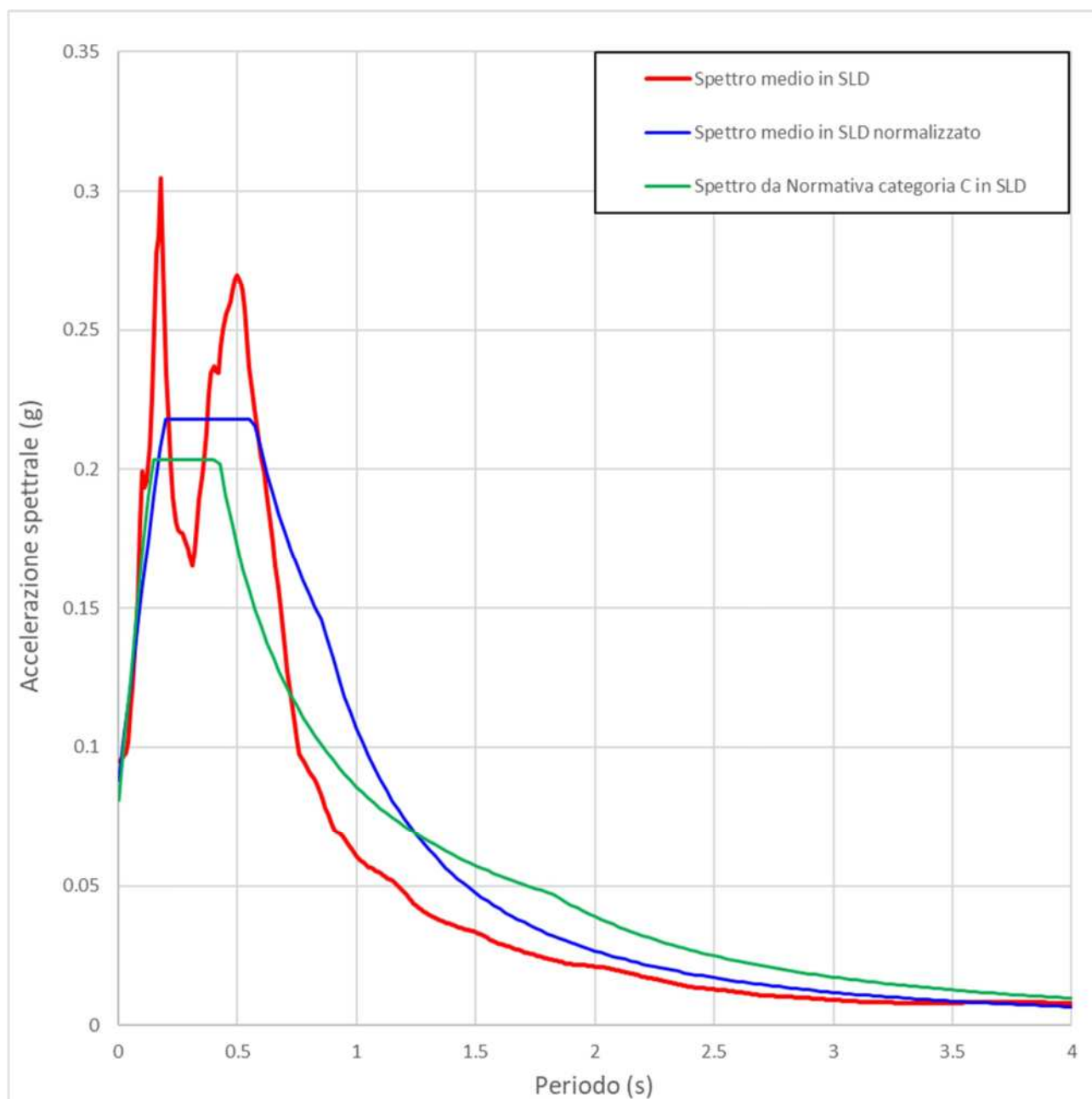


Fig. 131 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.088	2.474	0.401	1.000	1.000	0.190	0.569	0.862	1.420

Tab. 121 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	154 di 235

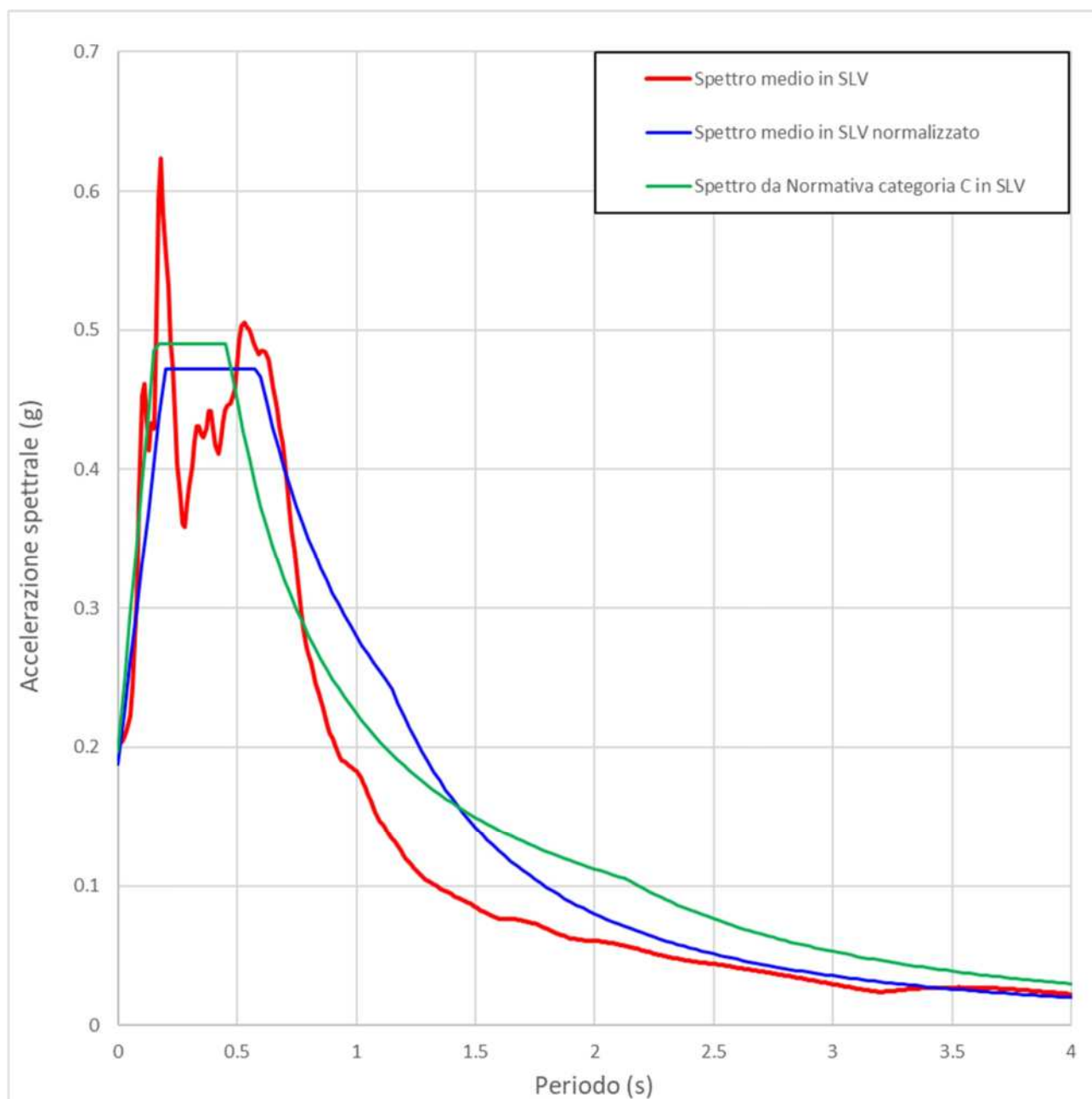


Fig. 132 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.188	2.507	0.418	1.000	1.000	0.198	0.594	1.144	1.420

Tab. 122 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	155 di 235

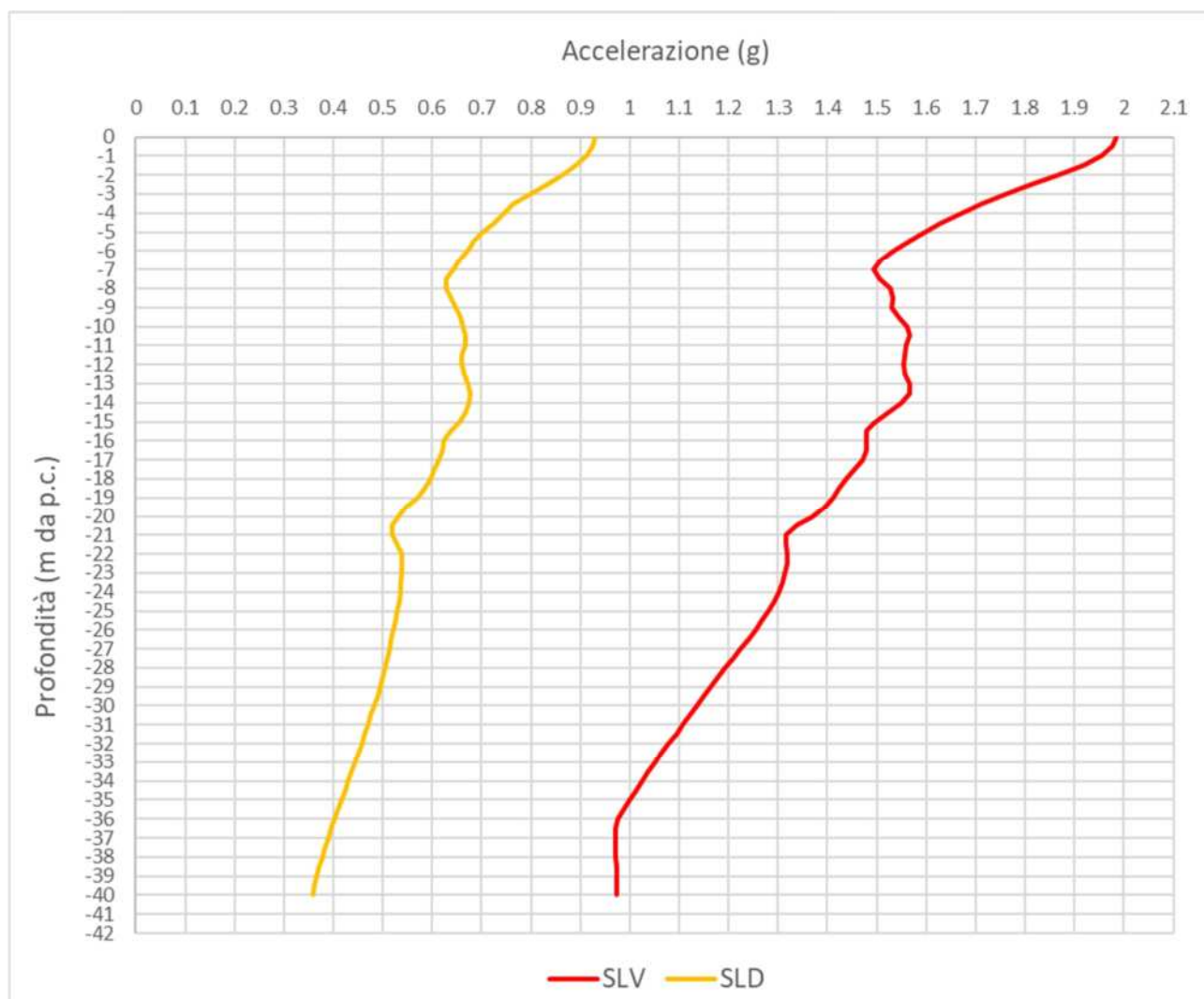


Fig. 133 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.52
FA (0.4-0.8 s)	2.50
FA (0.5-1.5 s)	2.18
FA (0.7-1.1 s)	2.10
PGA/PGA ₀	1.53
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.47
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.43
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	2.08

Tab. 123 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis



3.5.30 RSL per il sito 034027P994 – Scuola Adorni

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-3.70	3.70	18.00	290.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Ghiaia 1	-3.70	-8.50	4.80	20.50	367.00	Rollins
Argilla 2	-8.50	-18.00	9.50	18.50	225.00	Adorni S2 Sh2
Argilla 3	-18.00	-21.00	3.00	18.50	287.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Ghiaia 2	-21.00	-27.80	6.80	21.00	495.00	Rollins
Argilla 4	-27.80	-33.00	5.20	19.00	398.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Bedrock	-33.00	-	-	22.00	650.00	-

Tab. 124 – Modello geofisico della verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis

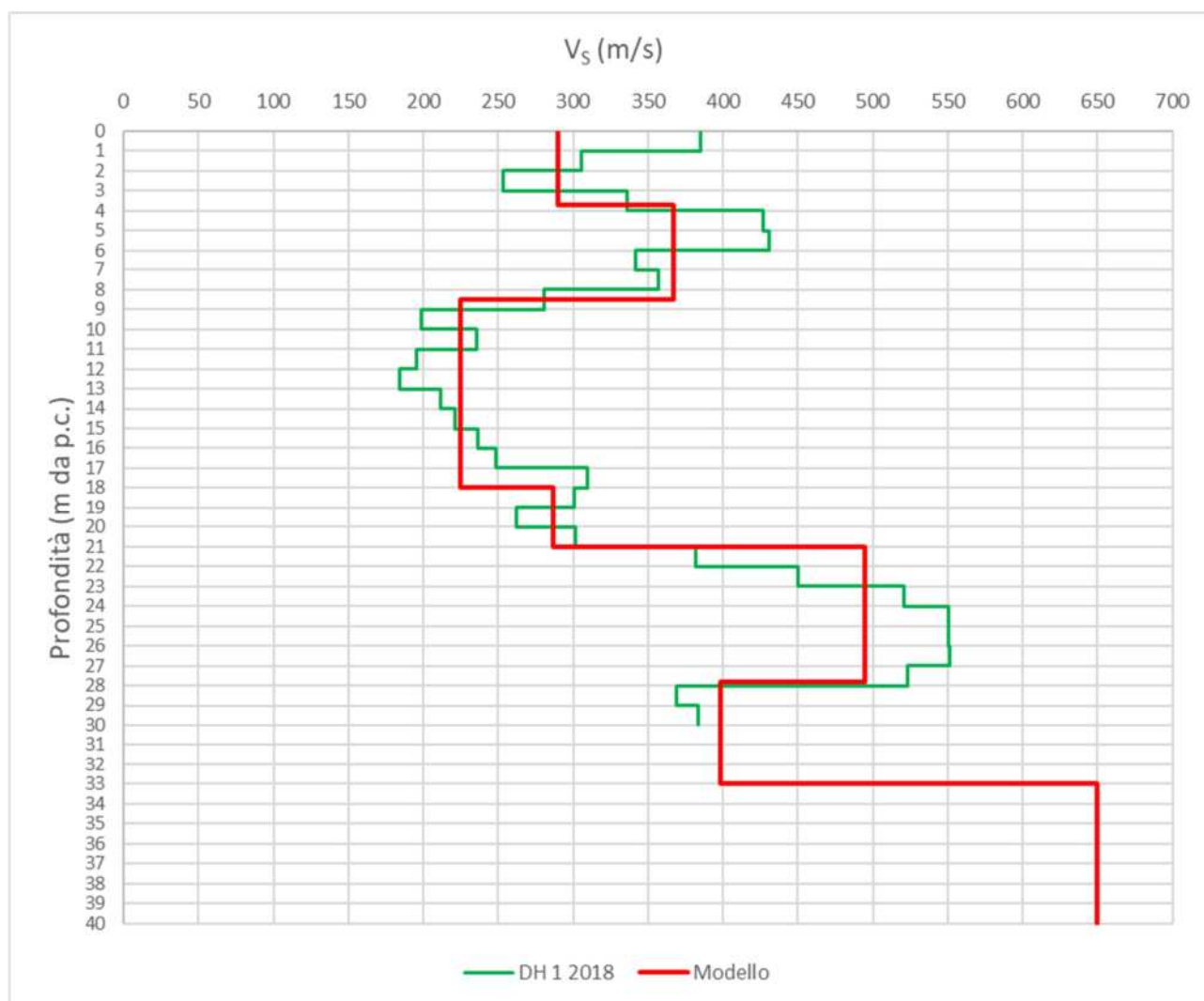


Fig. 134 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	157 di 235

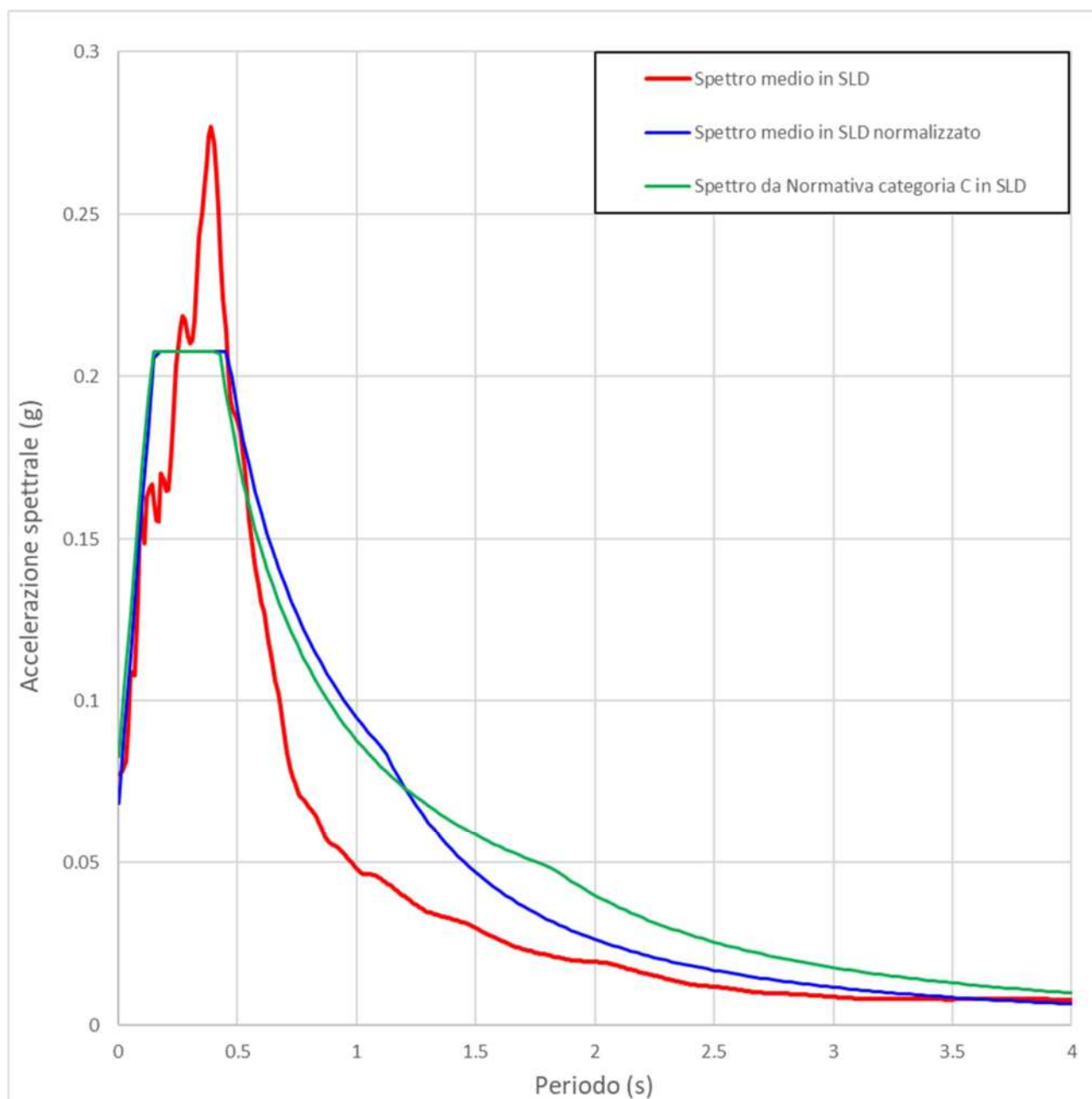


Fig. 135 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.068	3.043	0.321	1.000	1.000	0.152	0.456	1.115	1.420

Tab. 125 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	158 di 235

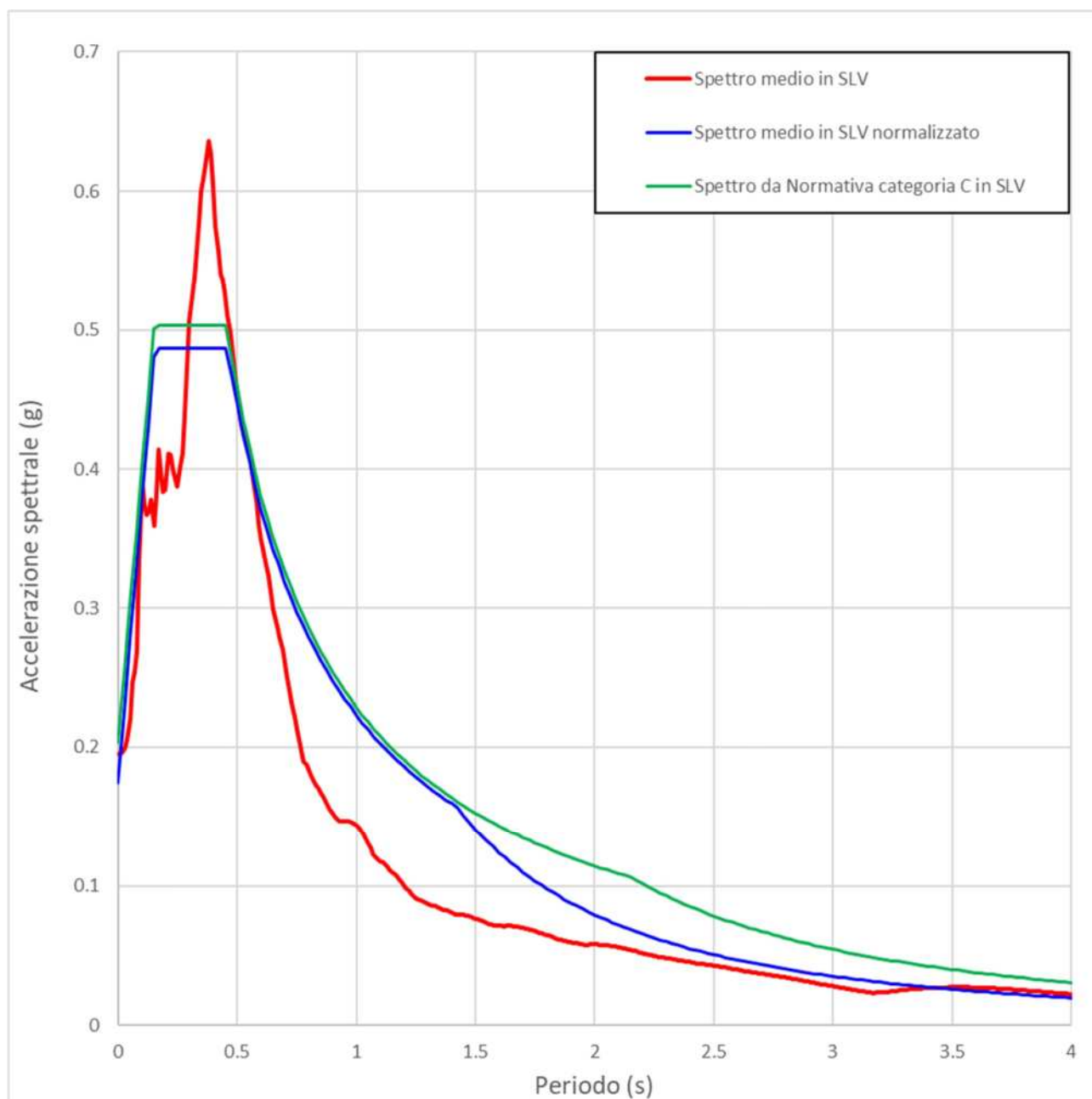


Fig. 136 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.175	2.786	0.323	1.000	1.000	0.153	0.459	1.422	1.420

Tab. 126 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	159 di 235

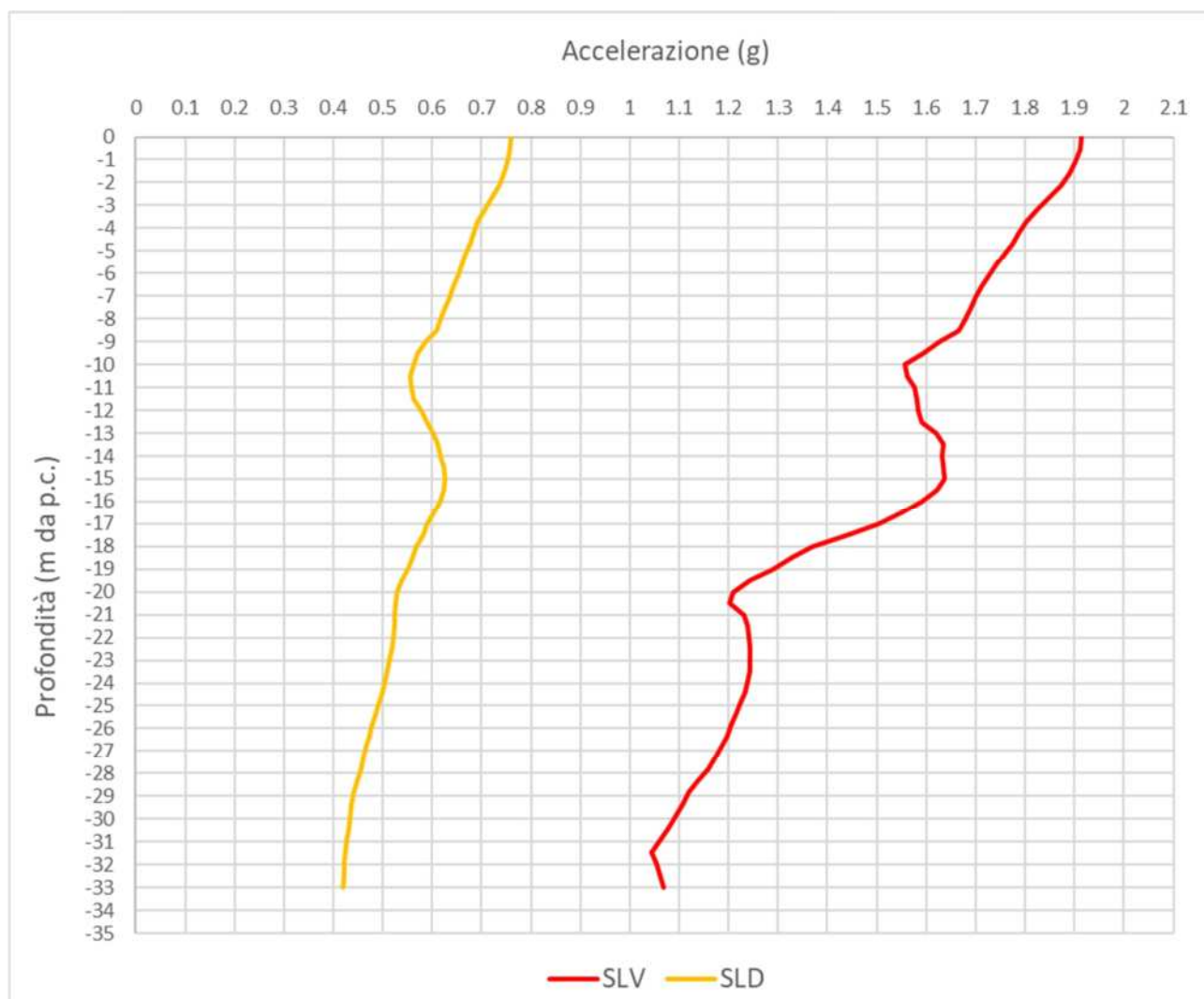


Fig. 137 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.53
FA (0.4-0.8 s)	1.98
FA (0.5-1.5 s)	1.59
FA (0.7-1.1 s)	1.49
PGA/PGA ₀	1.41
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.63
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.78
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.63

Tab. 127 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P993 – Chiesi Pilotis



3.5.31 RSL per il sito 034027P995 – Scuola Bottego

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Limo argilloso 1	-0.00	-2.70	2.70	18.00	170.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Limo argilloso 2	-2.70	-7.50	4.80	18.50	170.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia 1	-7.50	-10.20	2.70	20.50	300.00	Rollins
Limo argilloso 3	-10.20	-17.55	7.35	18.50	170.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Ghiaia 2	-17.55	-21.20	3.65	20.50	184.50	Rollins
Limo argilloso 4	-21.20	-25.00	3.80	19.00	246.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Bedrock	-25.00	-	-	22.00	450.00	-

Tab. 128 – Modello geofisico della verticale 034027P995 – Scuola Bottego

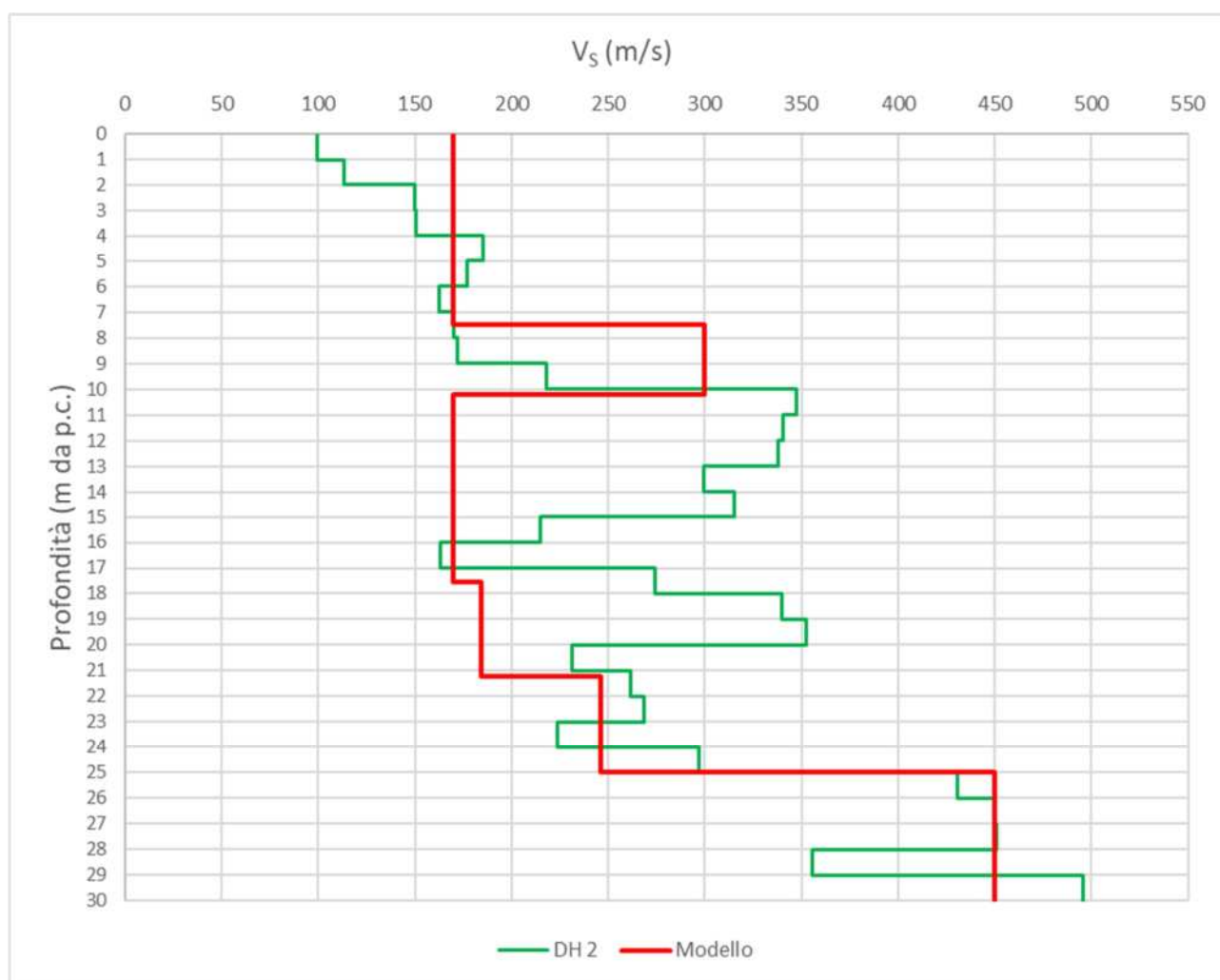


Fig. 138 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P995 – Scuola Bottego

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	161 di 235

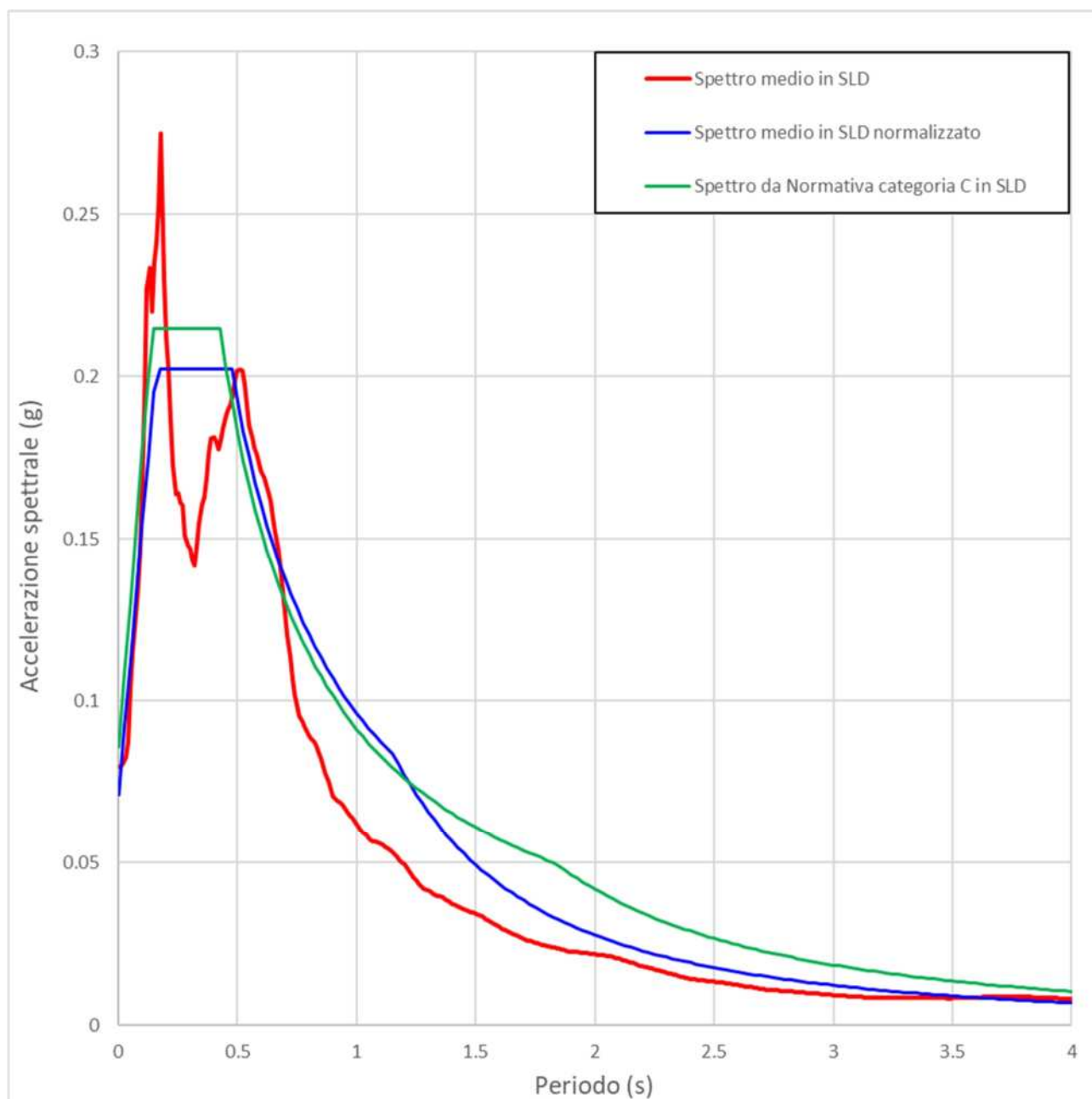


Fig. 139 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P995 – Scuola Bottego in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.071	2.841	0.335	1.000	1.000	0.159	0.476	1.154	1.420

Tab. 129 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P995 – Scuola Bottego in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	162 di 235

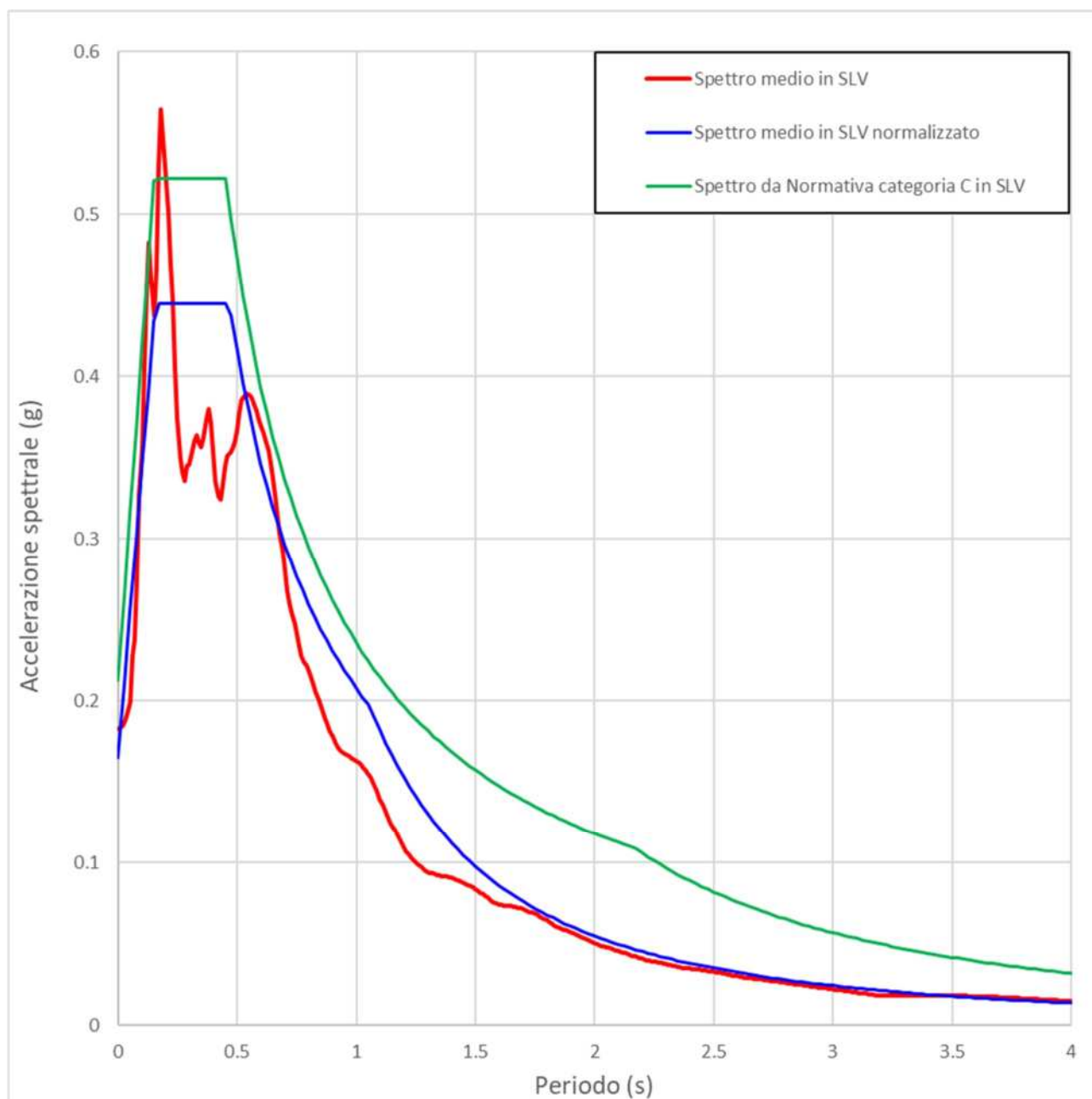


Fig. 140 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P995 – Scuola Bottego in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.165	2.696	0.329	1.000	1.000	0.156	0.467	1.059	1.420

Tab. 130 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P995 – Scuola Bottego in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	163 di 235

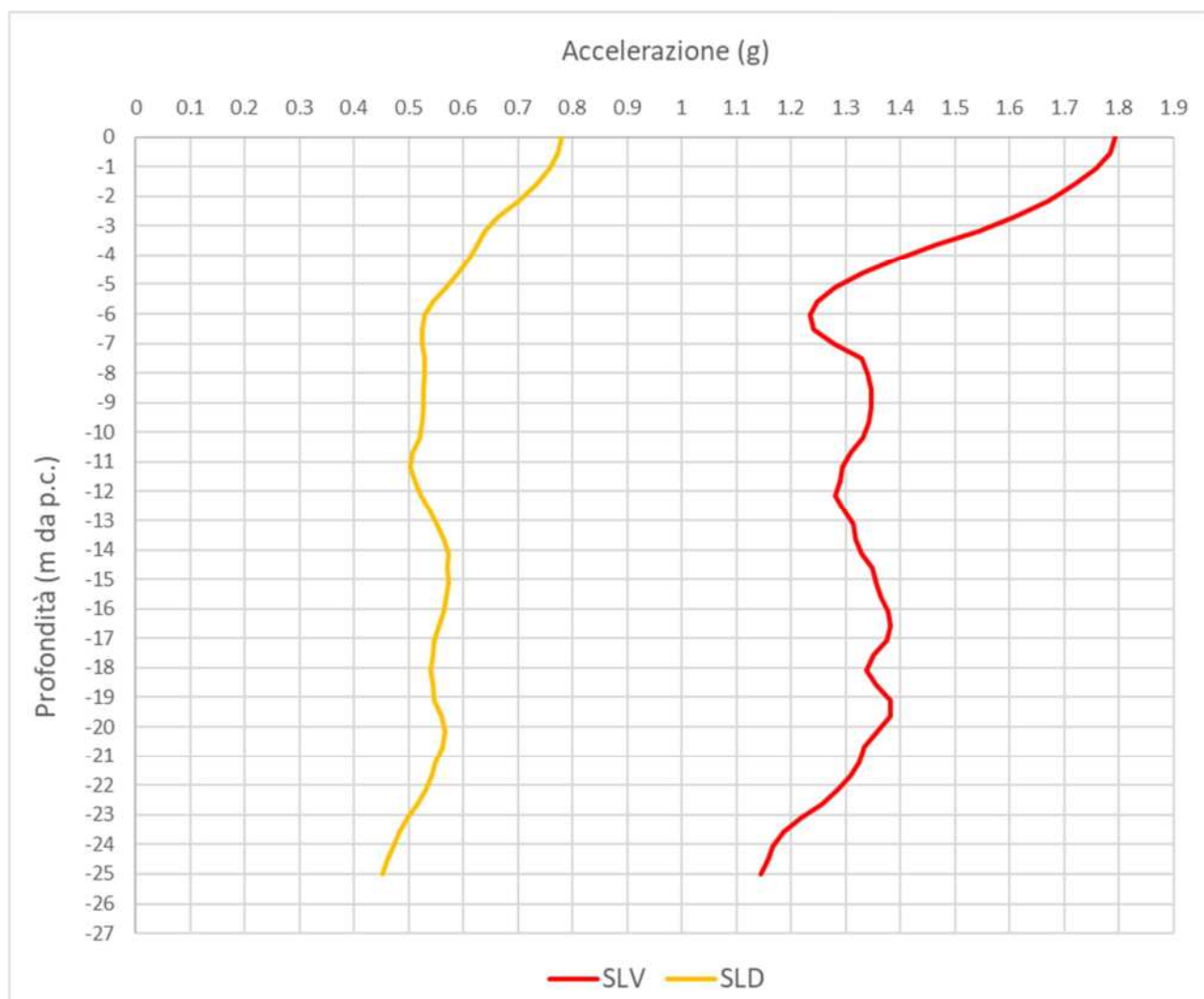


Fig. 141 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P995 – Scuola Bottego

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.23
FA (0.4-0.8 s)	1.89
FA (0.5-1.5 s)	1.88
FA (0.7-1.1 s)	1.98
PGA/PGA ₀	1.30
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.15
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.96
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.79

Tab. 131 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P995 – Scuola Bottego



3.5.32 RSL per il sito 034027P996 – Scuola Agazzi

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla	-0.00	-18.00	18.00	18.00	190.00	EPRI, PI = 30
Bedrock	-18.00	-	-	22.00	515.00	-

Tab. 132 – Modello geofisico della verticale 034027P996 – Scuola Agazzi

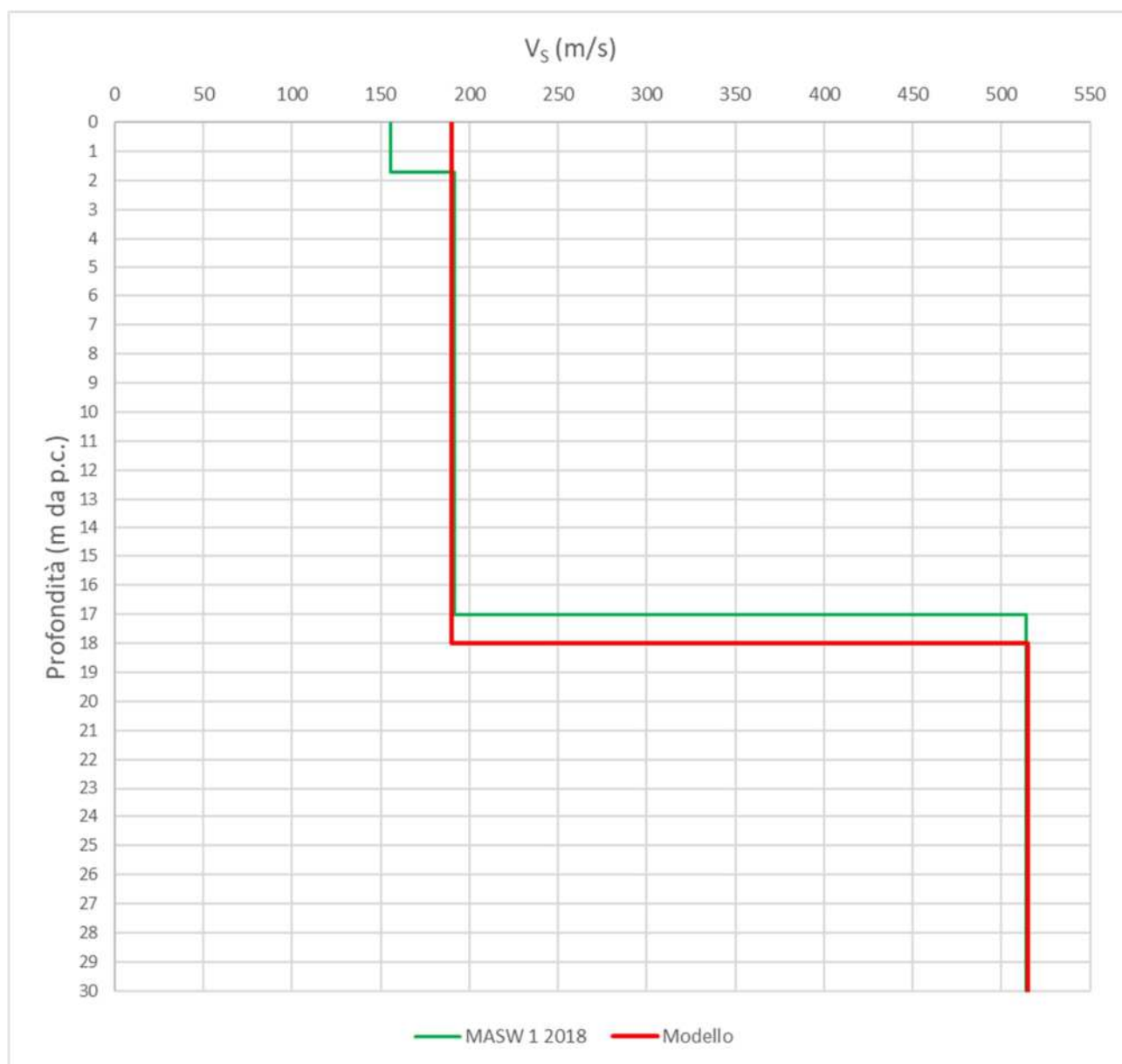


Fig. 142 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P996 – Scuola Agazzi

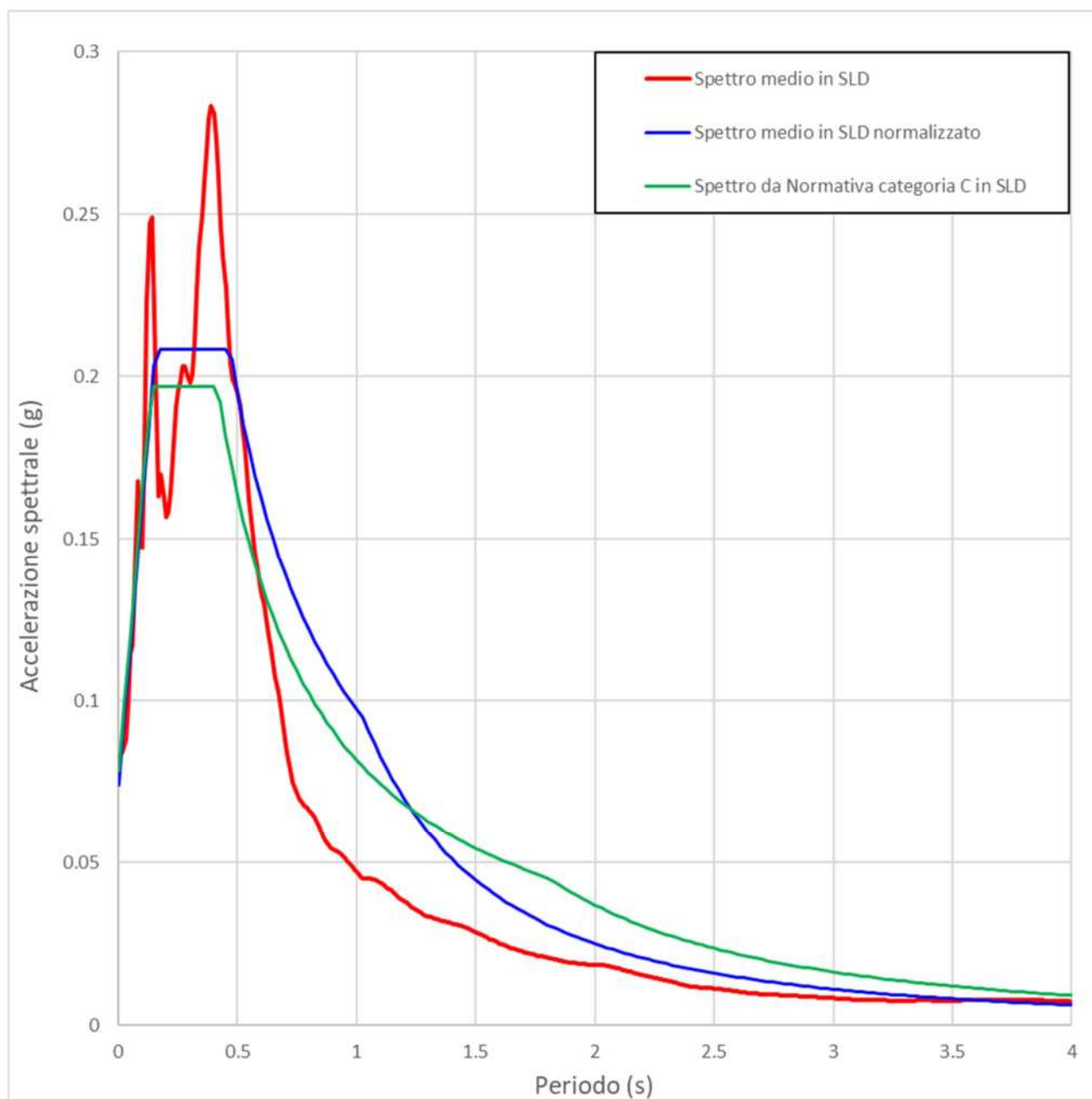


Fig. 143 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P996 – Scuola Agazzi in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.074	2.805	0.329	1.000	1.000	0.156	0.468	1.030	1.420

Tab. 133 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P996 – Scuola Agazzi in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	166 di 235

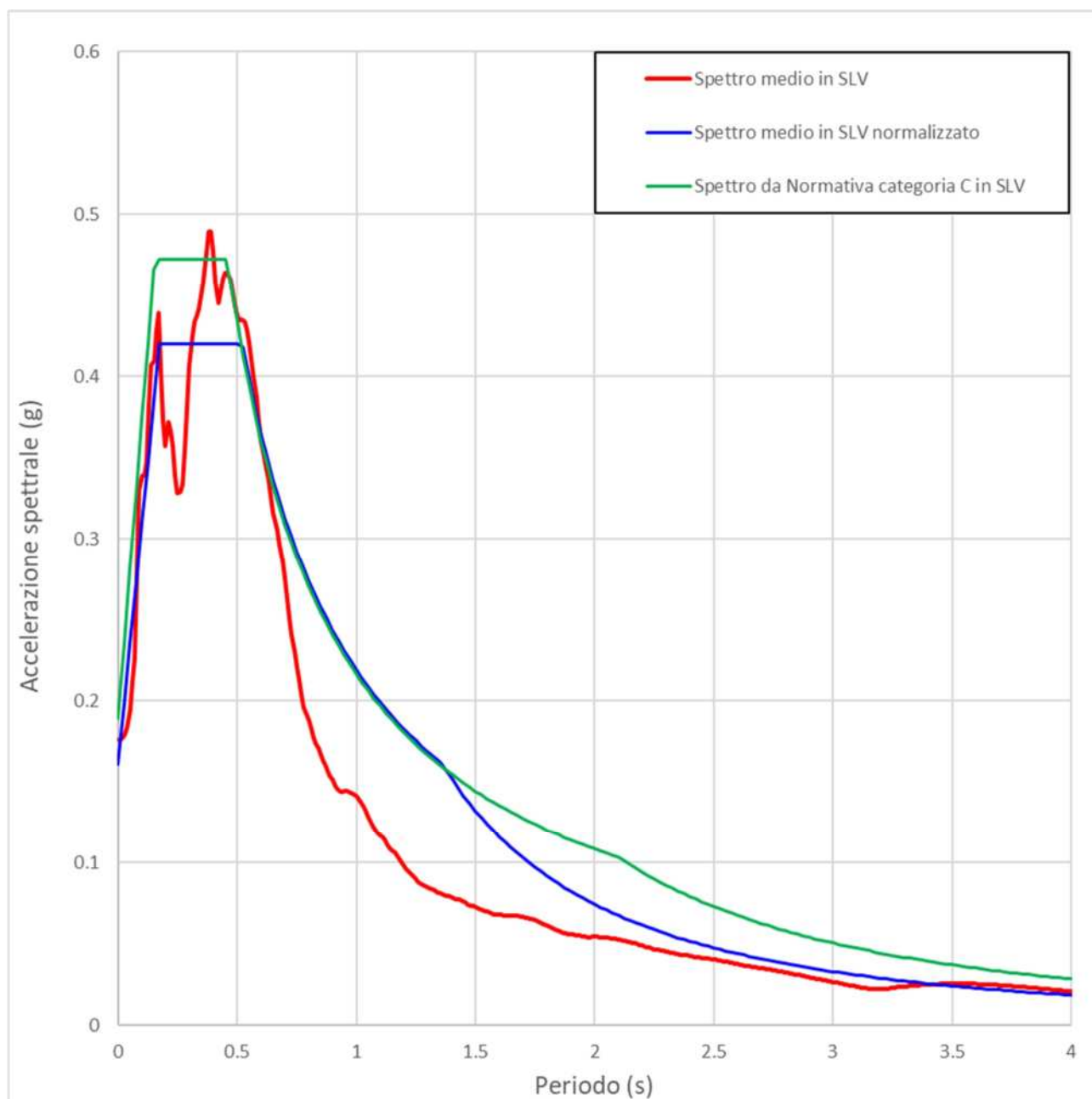


Fig. 144 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P996 – Scuola Agazzi in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.161	2.608	0.367	1.000	1.000	0.174	0.522	1.358	1.420

Tab. 134 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P996 – Scuola Agazzi in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	167 di 235

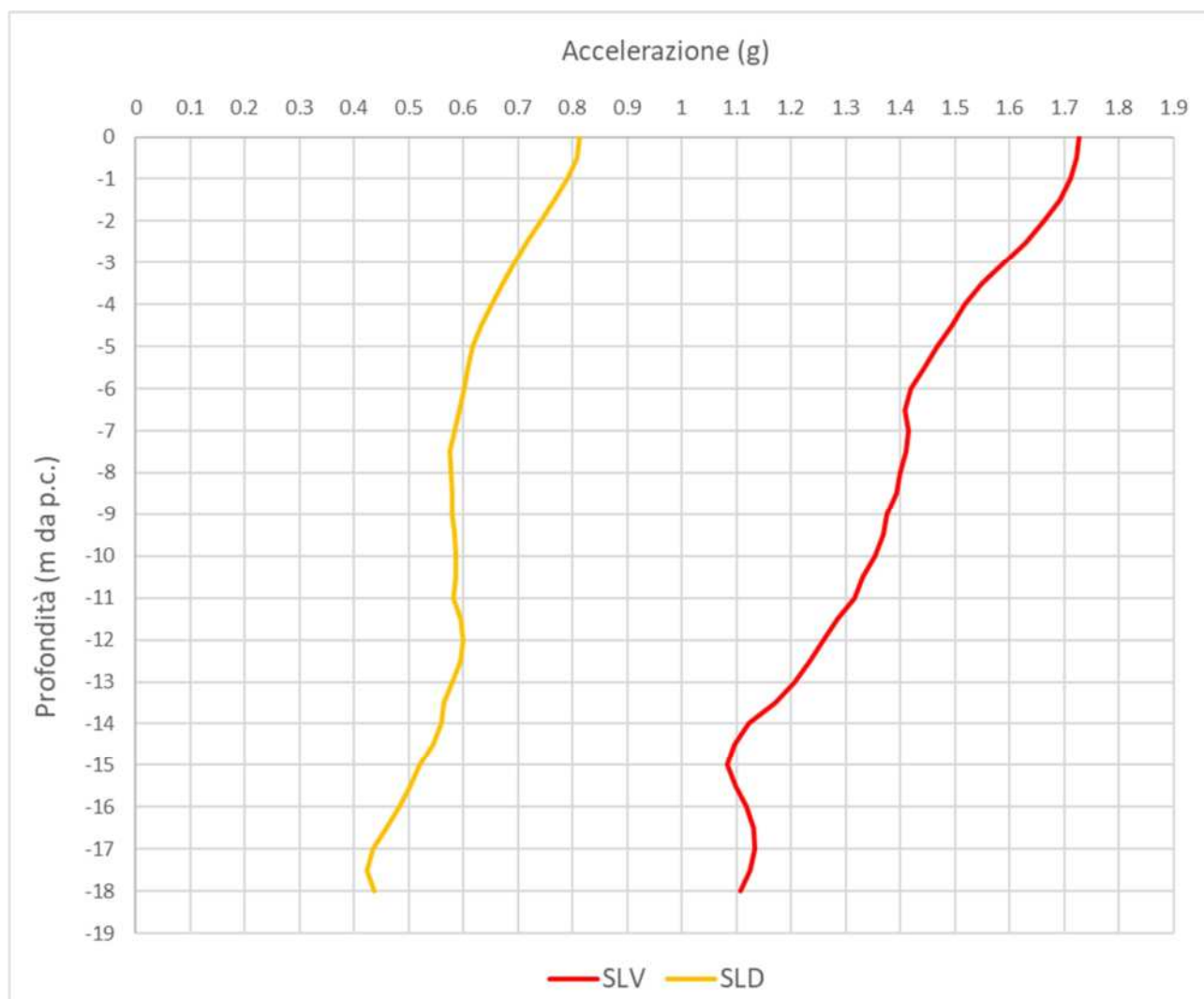


Fig. 145 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P996 – Scuola Agazzi

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.45
FA (0.4-0.8 s)	2.11
FA (0.5-1.5 s)	1.73
FA (0.7-1.1 s)	1.61
PGA/PGA ₀	1.38
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.50
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.92
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.73

Tab. 135 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P996 – Scuola Agazzi



3.5.33 RSL per il sito 034027P997 – Veterinaria

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla 1	-0.00	-14.00	14.00	18.50	230.00	Veterinaria S1DH C11
Ghiaia 1	-14.00	-23.00	9.00	20.00	700.00	Rollins
Ghiaia 2	-23.00	-36.00	13.00	20.00	590.00	Rollins
Ghiaia 3	-36.00	-41.00	5.00	21.00	800.00	Rollins
Argilla 2	-41.00	-46.00	5.00	19.00	400.50	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-46.00	-	-	21.00	700.00	-

Tab. 136 – Modello geofisico della verticale 034027P997 – Veterinaria

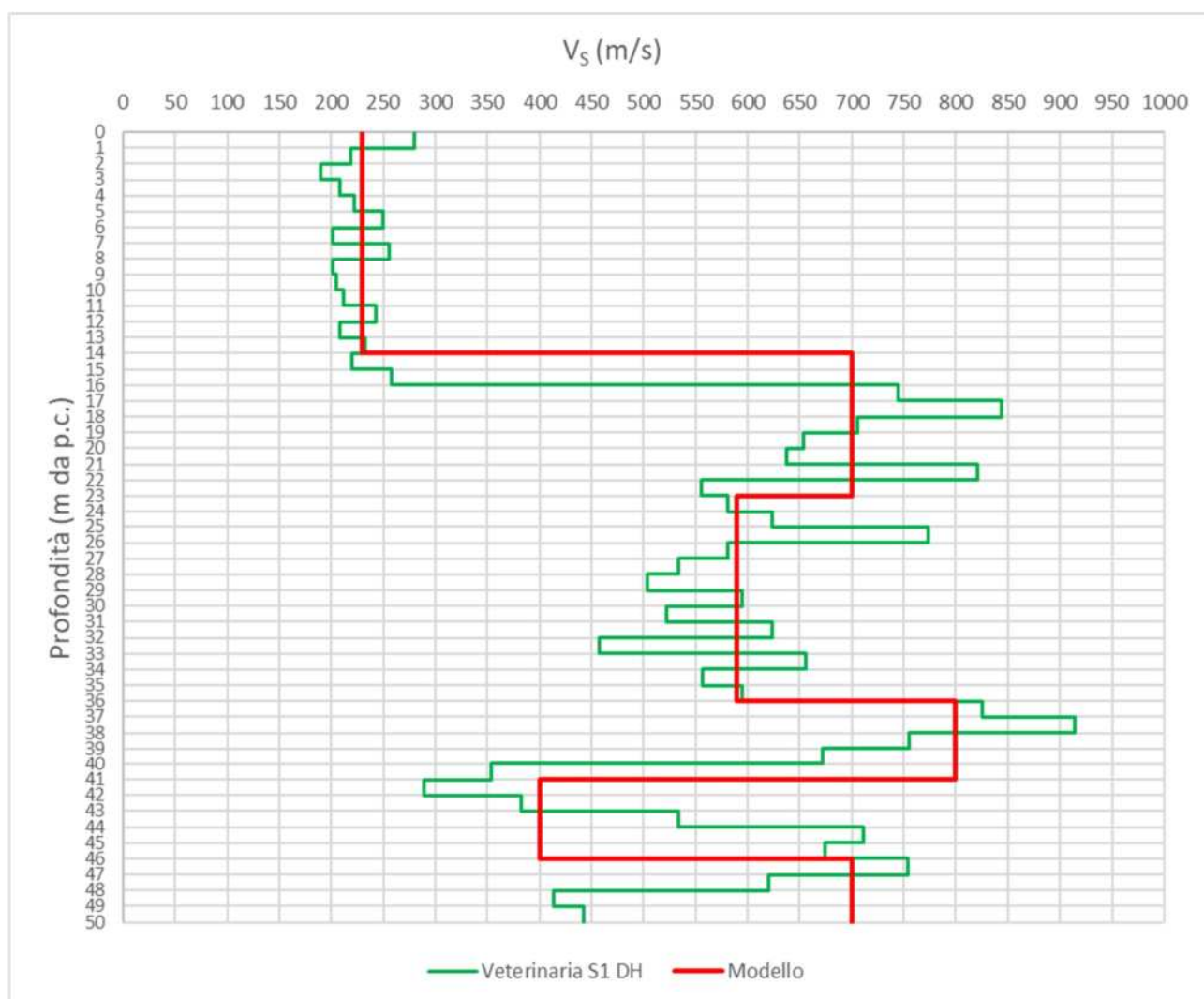


Fig. 146 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P997 – Veterinaria

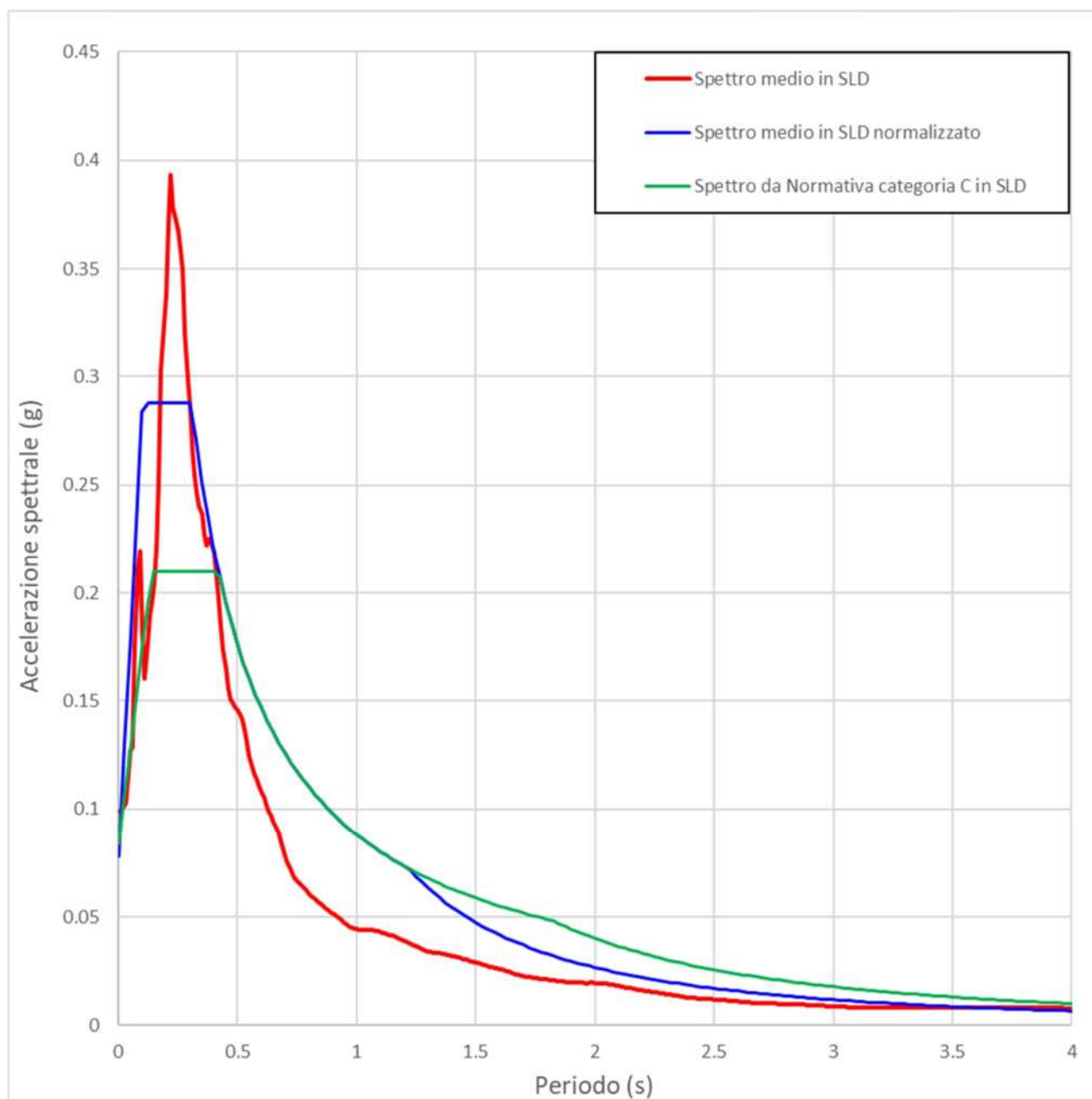


Fig. 147 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P997 – Veterinaria in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.078	3.682	0.215	1.000	1.000	0.102	0.306	1.214	1.420

Tab. 137 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P997 – Veterinaria in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	170 di 235

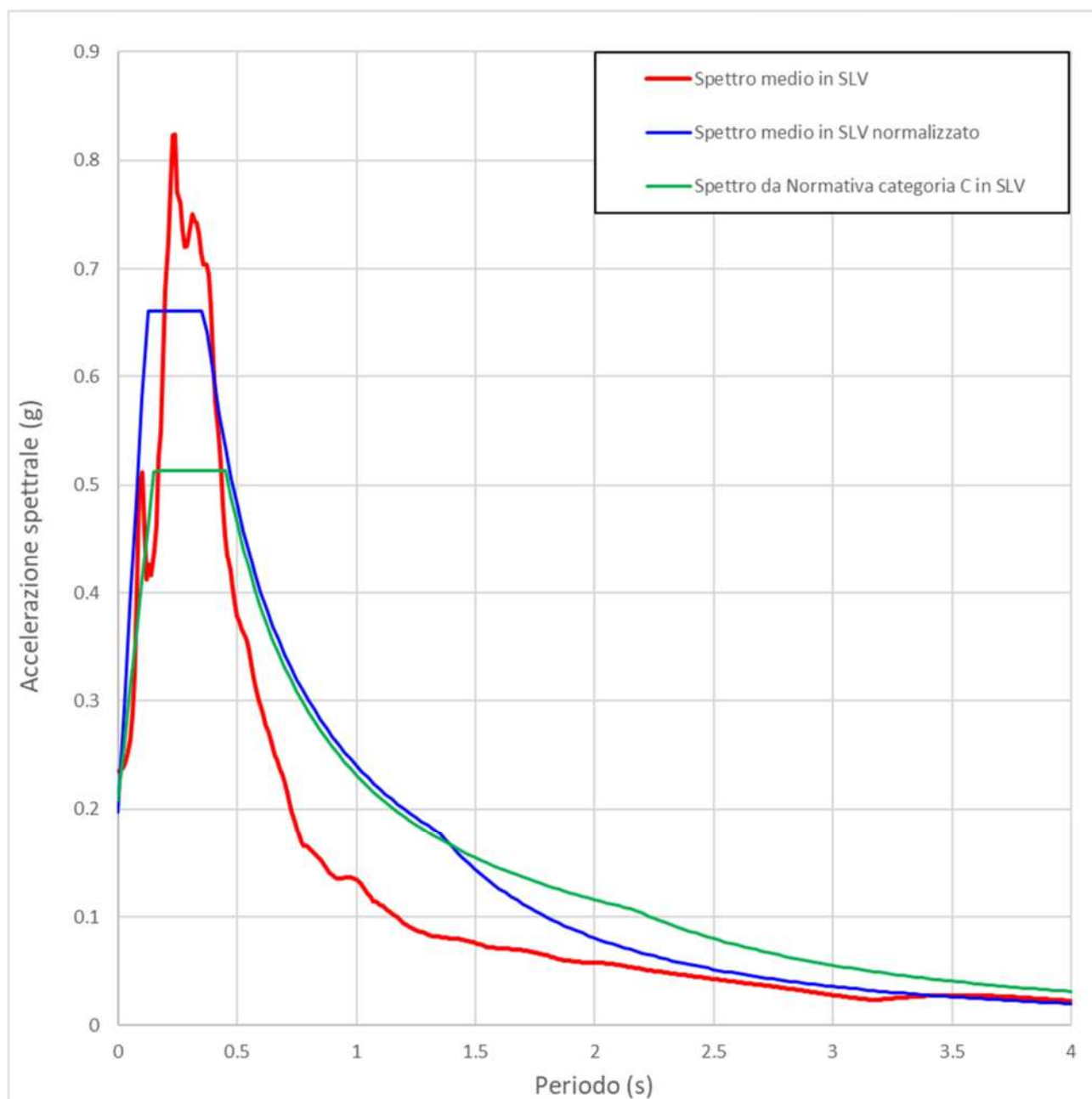


Fig. 148 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P997 – Veterinaria in SLV, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.197	3.348	0.256	1.000	1.000	0.121	0.364	1.344	1.420

Tab. 138 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P997 – Veterinaria in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	171 di 235

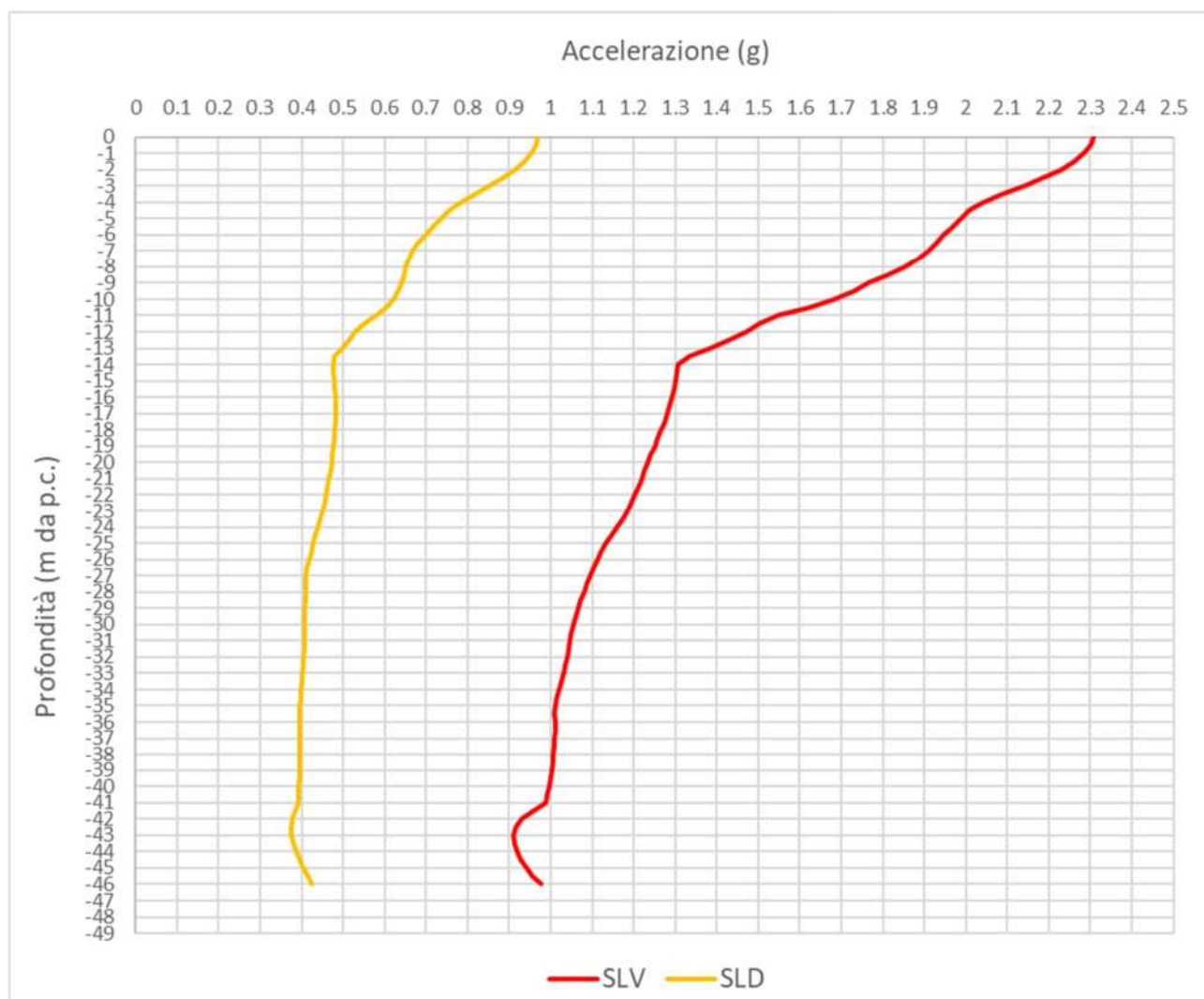


Fig. 149 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P997 – Veterinaria

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.91
FA (0.4-0.8 s)	1.68
FA (0.5-1.5 s)	1.38
FA (0.7-1.1 s)	1.31
PGA/PGA ₀	1.68
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.01
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.60
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.49

Tab. 139 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P997 – Veterinaria

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	172 di 235



3.5.34 RSL per il sito 034027P998 – Ex Centro Grafico

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Ghiaia 1	-0.00	-14.00	14.00	20.00	435.00	Rollins
Argilla limosa	-14.00	-16.80	2.80	18.50	350.00	Campus DH1 Sh1
Ghiaia 2	-16.80	-23.00	6.20	20.00	488.00	Rollins
Ghiaia 3	-23.00	-28.00	5.00	20.50	529.00	Rollins
Ghiaia 4	-28.00	-38.00	10.00	21.00	621.00	Rollins
Bedrock	-38.00	-	-	22.00	800.00	-

Tab. 140 – Modello geofisico della verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico

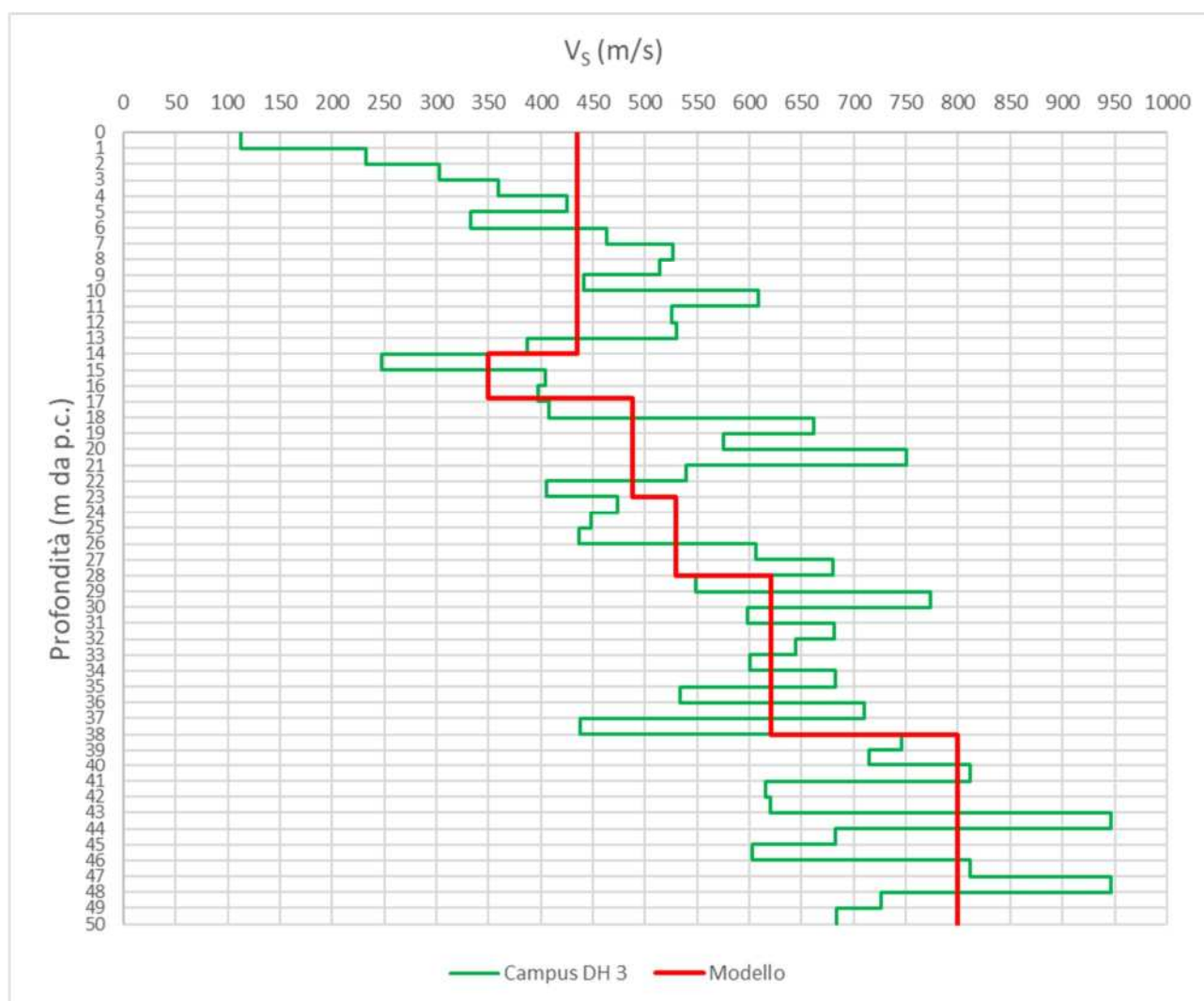


Fig. 150 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico

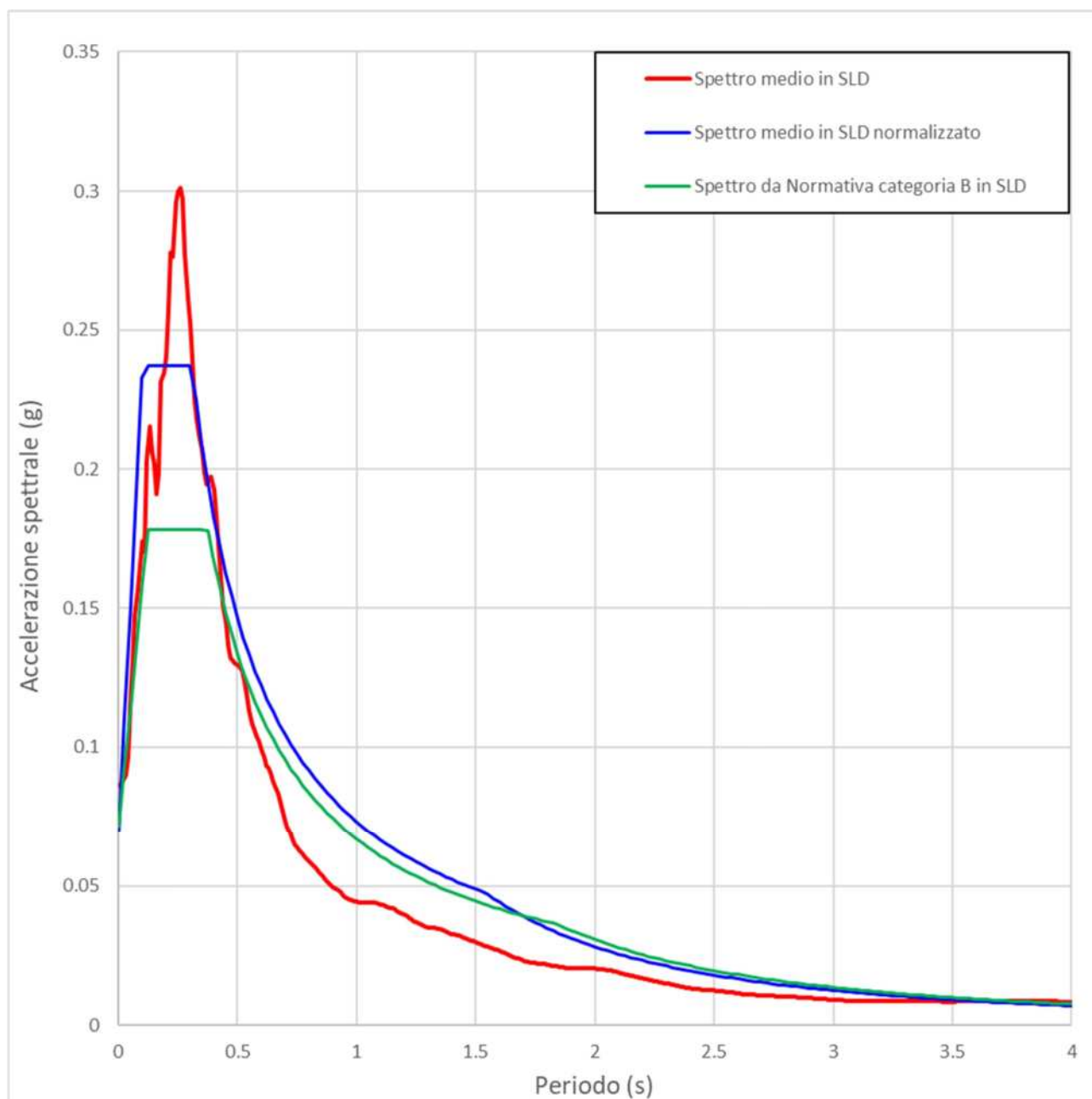


Fig. 151 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.070	3.386	0.217	1.000	1.000	0.103	0.308	1.541	1.420

Tab. 141 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	174 di 235

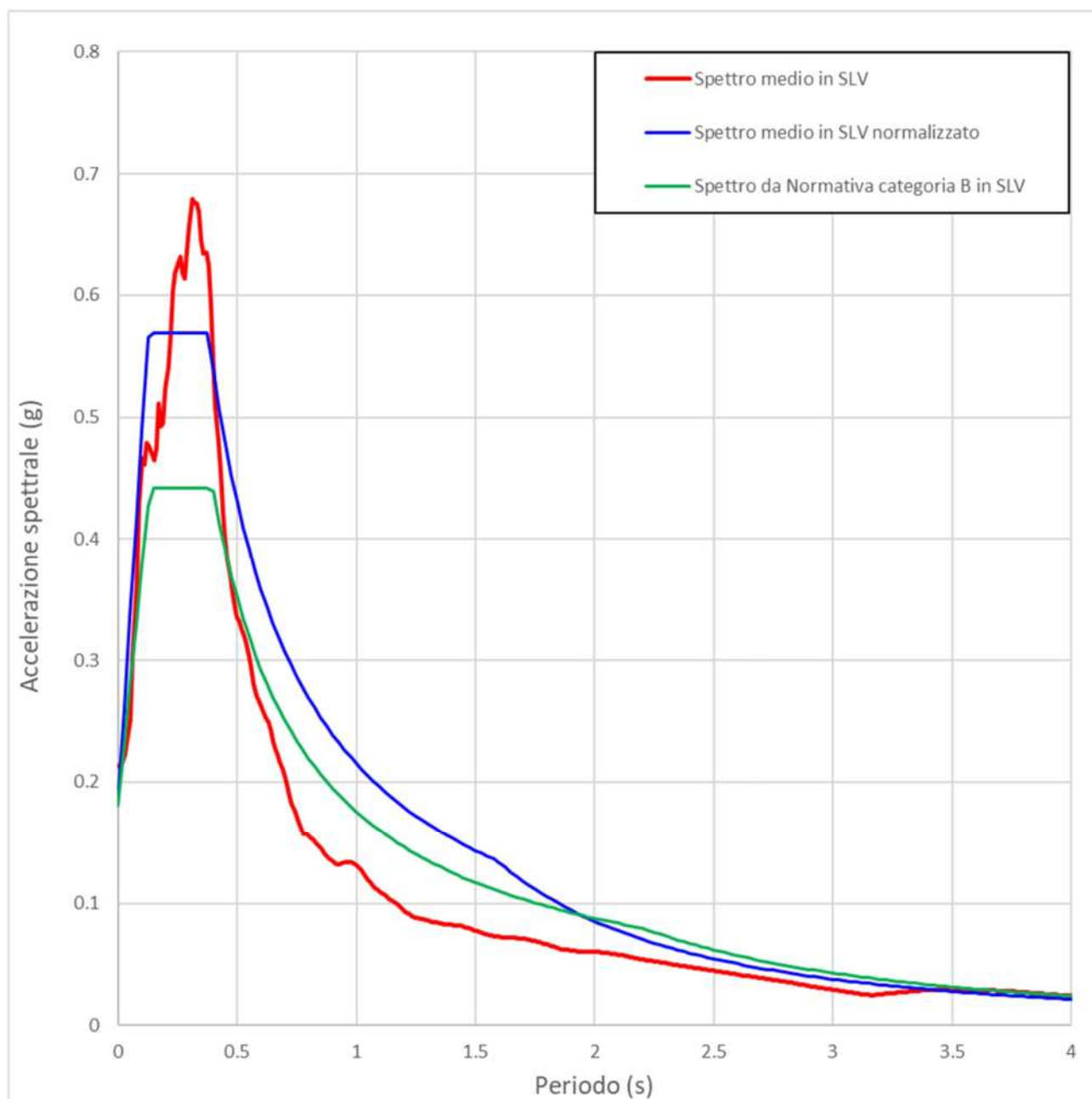


Fig. 152 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.183	3.108	0.266	1.000	1.000	0.126	0.378	1.586	1.420

Tab. 142 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	175 di 235

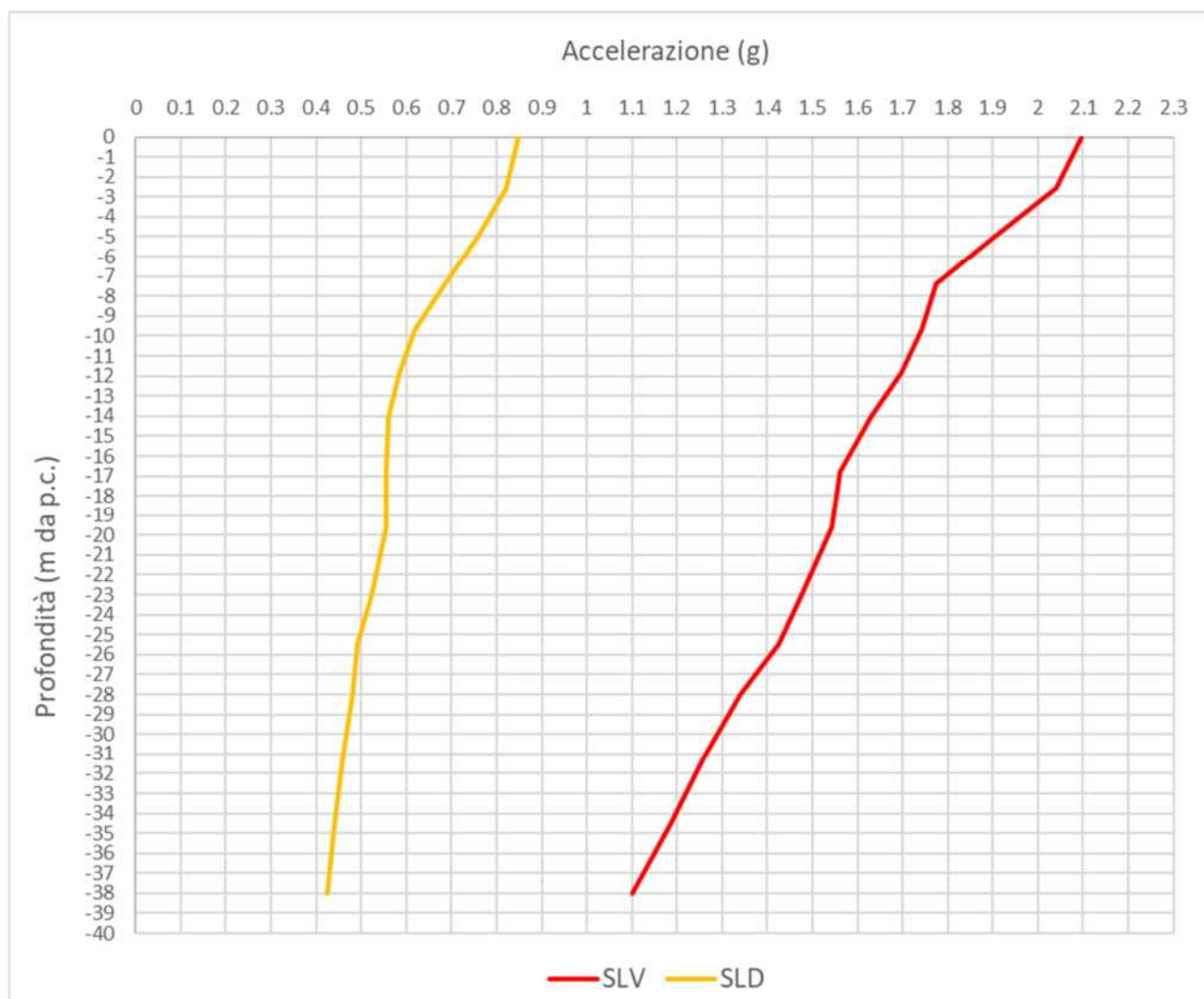


Fig. 153 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.56
FA (0.4-0.8 s)	1.39
FA (0.5-1.5 s)	1.21
FA (0.7-1.1 s)	1.16
PGA/PGA ₀	1.42
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.64
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.34
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.27

Tab. 143 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P998 – Ex Centro Grafico



3.5.35 RSL per il sito 034027P999 – Ingegneria

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla limosa 1	-0.00	-1.00	1.00	18.50	323.00	Campus S1 Sh1
Ghiaia 1	-1.00	-6.00	5.00	20.00	396.00	Rollins
Ghiaia 2	-6.00	-13.00	7.00	20.00	549.00	Rollins
Argilla limosa 2	-13.00	-16.00	3.00	18.50	361.00	Campus DH2 Sh1
Ghiaia 4	-16.00	-35.00	19.00	20.00	660.00	Rollins
Lim o argilloso	-35.00	-36.00	1.00	18.00	300.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-36.00	-	-	22.00	700.00	-

Tab. 144 – Modello geofisico della verticale 034027P999 – Ingegneria

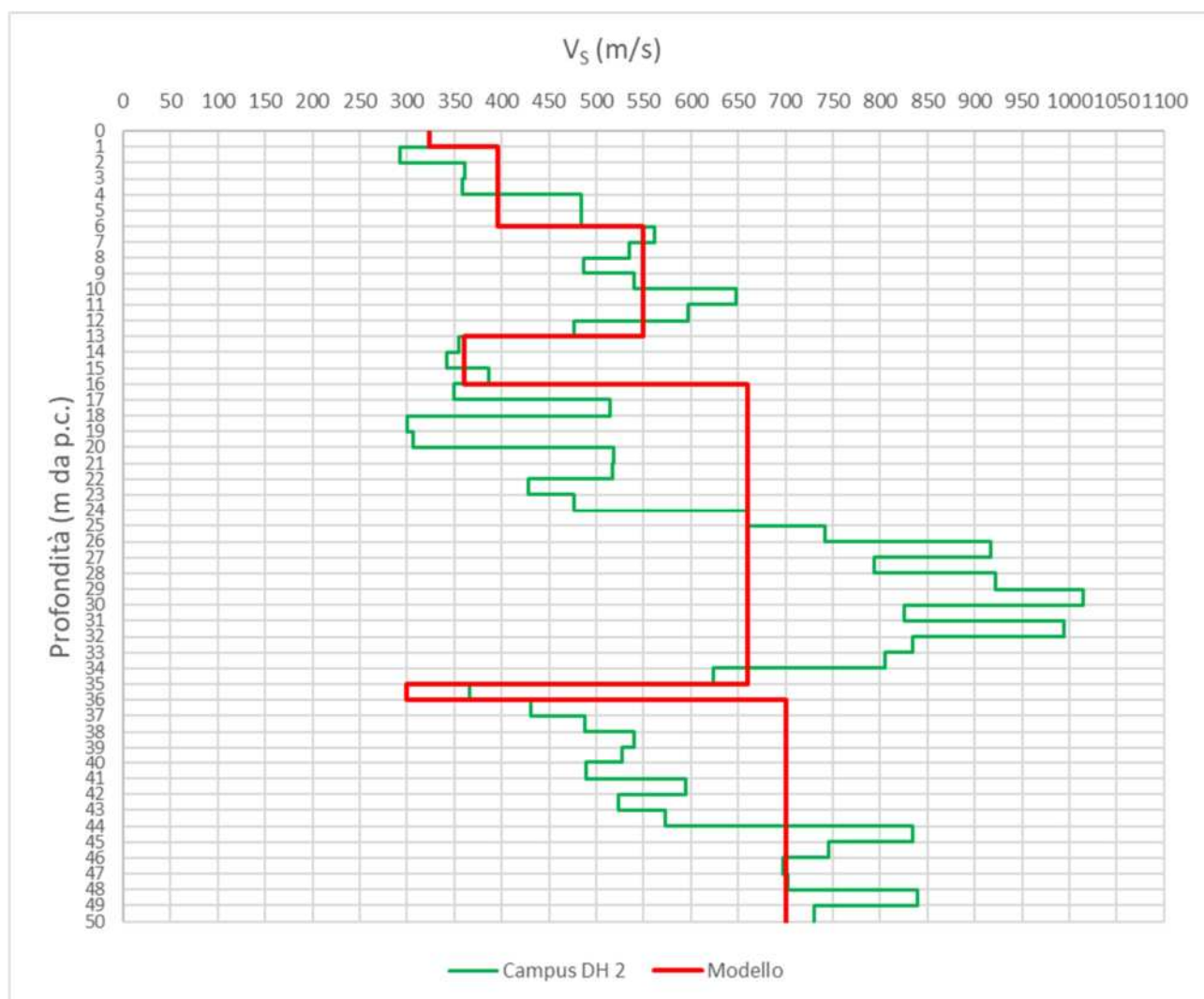


Fig. 154 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P999 – Ingegneria



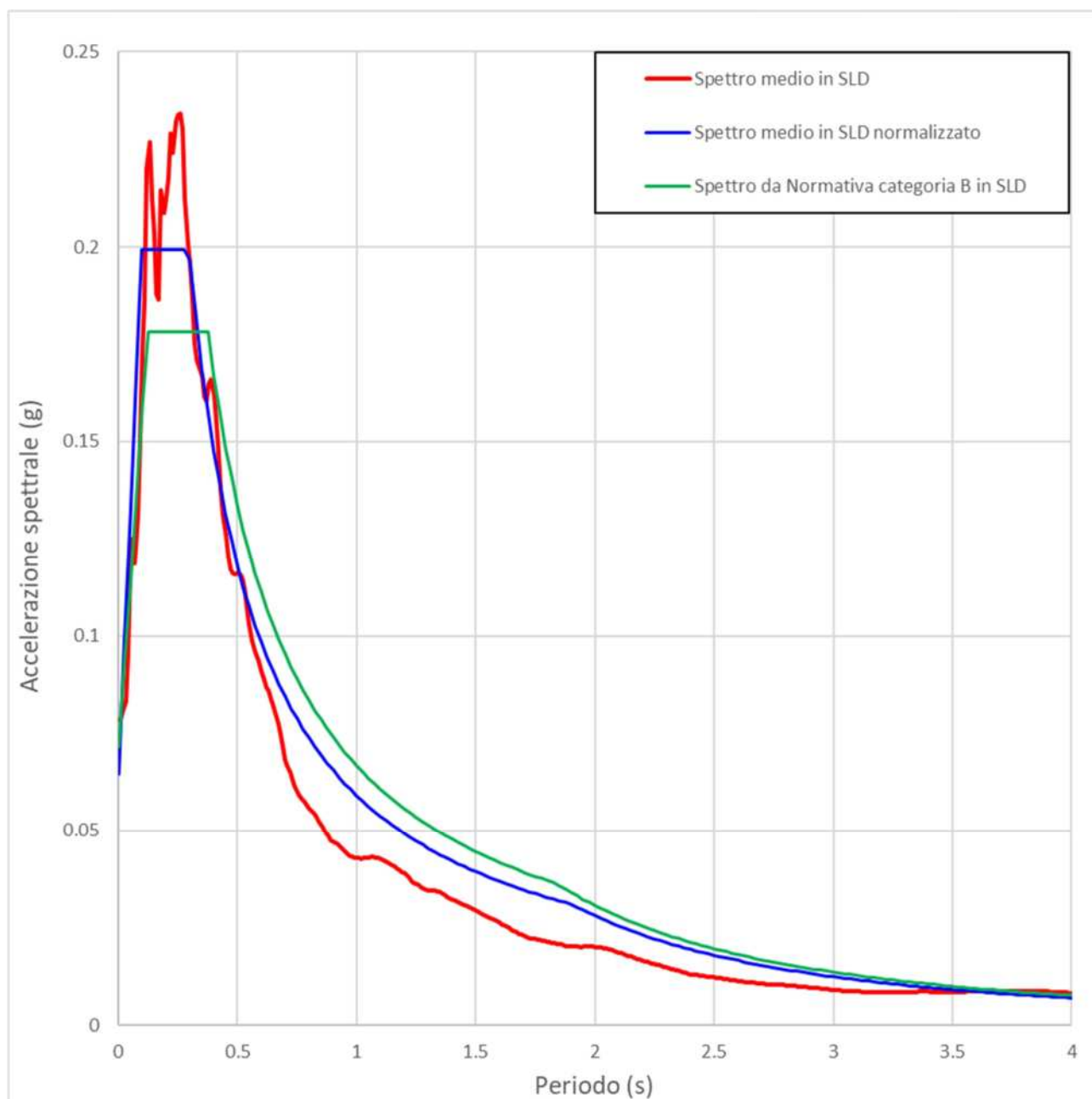


Fig. 155 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P999 – Ingegneria Grafico in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.065	3.084	0.208	1.000	1.000	0.099	0.296	1.903	1.420

Tab. 145 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P999 – Ingegneria in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	178 di 235

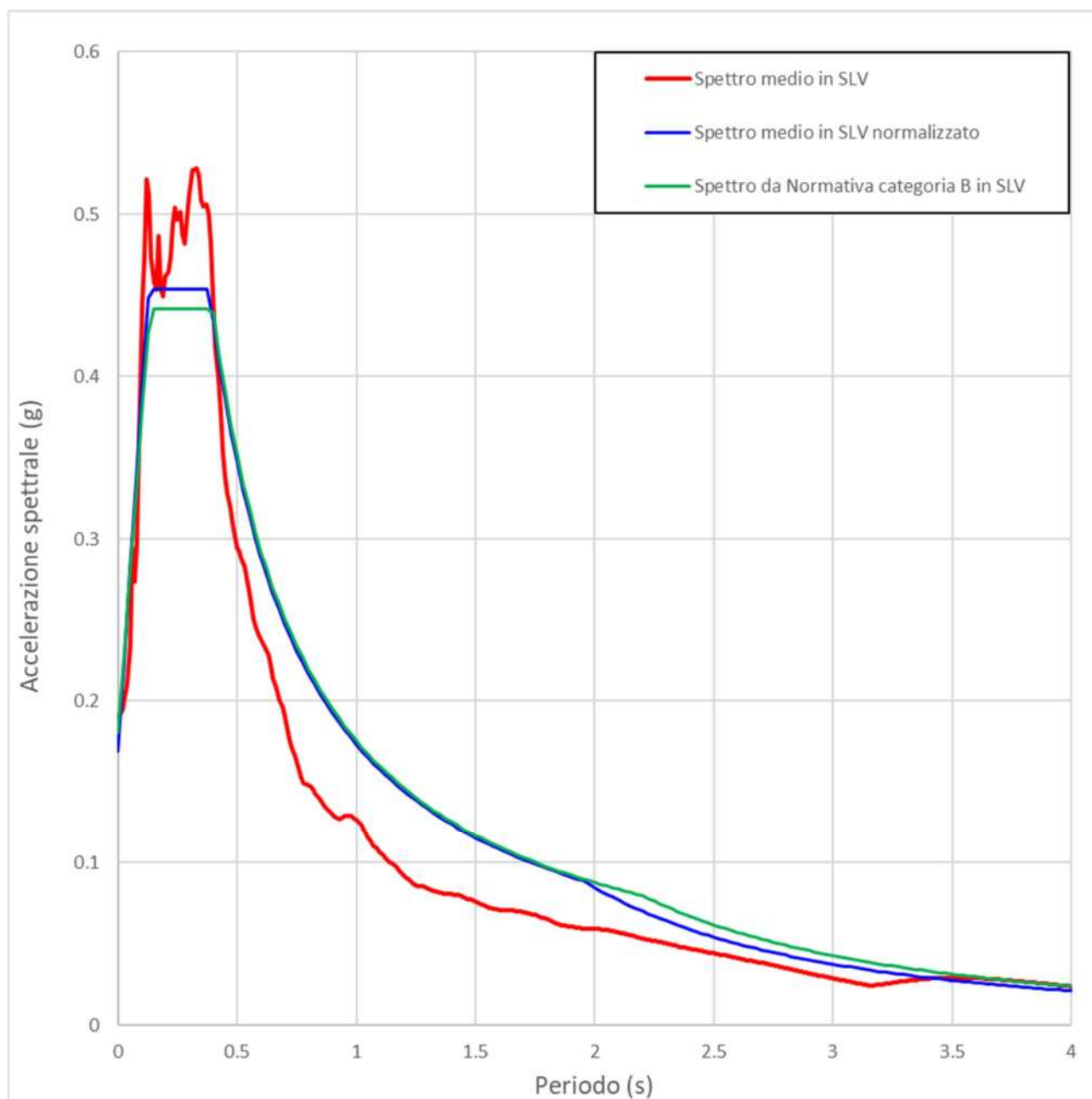


Fig. 156 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P999 – Ingegneria, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.169	2.688	0.269	1.000	1.000	0.127	0.382	1.958	1.420

Tab. 146 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P999 – Ingegneria in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	179 di 235

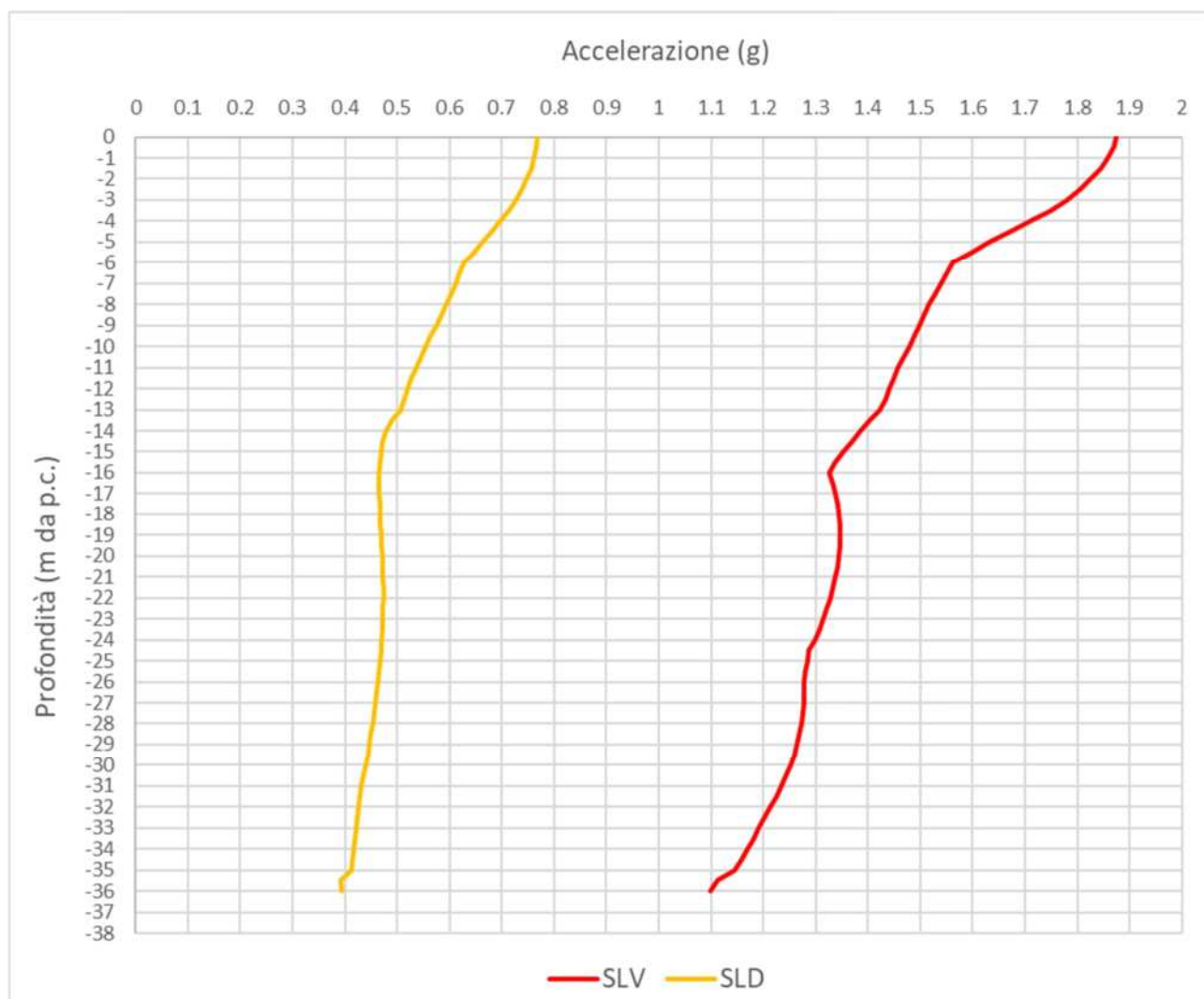


Fig. 157 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P999 – Ingegneria

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.34
FA (0.4-0.8 s)	1.24
FA (0.5-1.5 s)	1.14
FA (0.7-1.1 s)	1.11
PGA/PGA ₀	1.27
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.36
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.21
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.17

Tab. 147 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P999 – Ingegneria

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	180 di 235



3.5.36 RSL per il sito 034027P1000 – Via Volturmo

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla limosa 1	-0.00	-3.00	3.00	18.00	100.00	Vucetic & Dobry, PI = 50
Argilla limosa 2	-3.00	-10.10	7.10	18.50	260.00	Campus DH1 Sh1
Ghiaia 1	-10.10	-12.30	2.20	20.00	530.00	Rollins
Argilla limosa 3	-12.30	-23.40	11.10	18.50	280.00	Campus DH1 Sh2
Ghiaia 2	-23.40	-37.50	14.10	20.00	440.00	Rollins
Lim o	-37.50	-42.00	4.50	19.00	360.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-42.00	-	-	22.00	800.00	-

Tab. 148 – Modello geofisico della verticale 034027P1000 – Via Volturmo

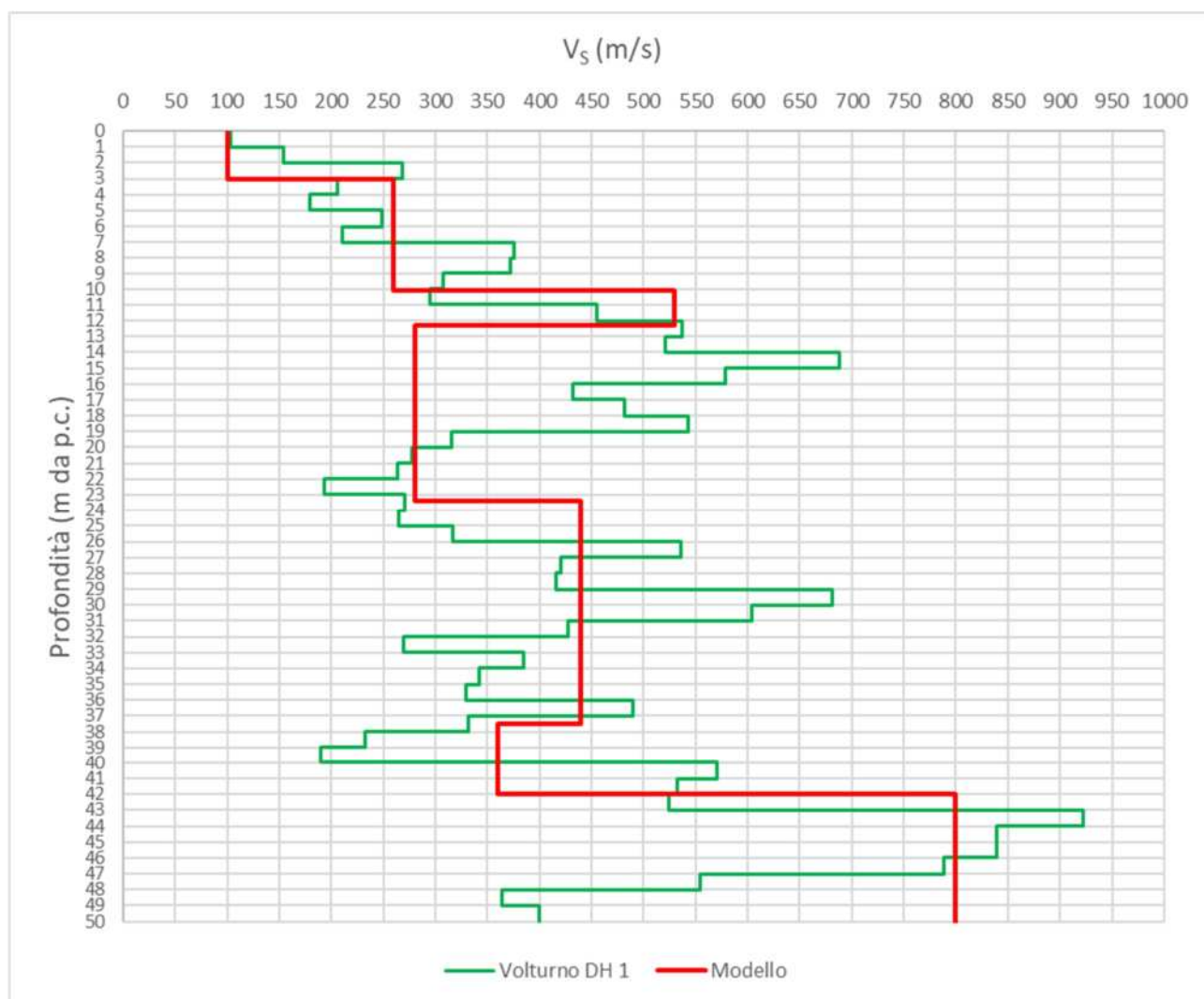


Fig. 158 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P1000 – Via Volturmo

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	181 di 235

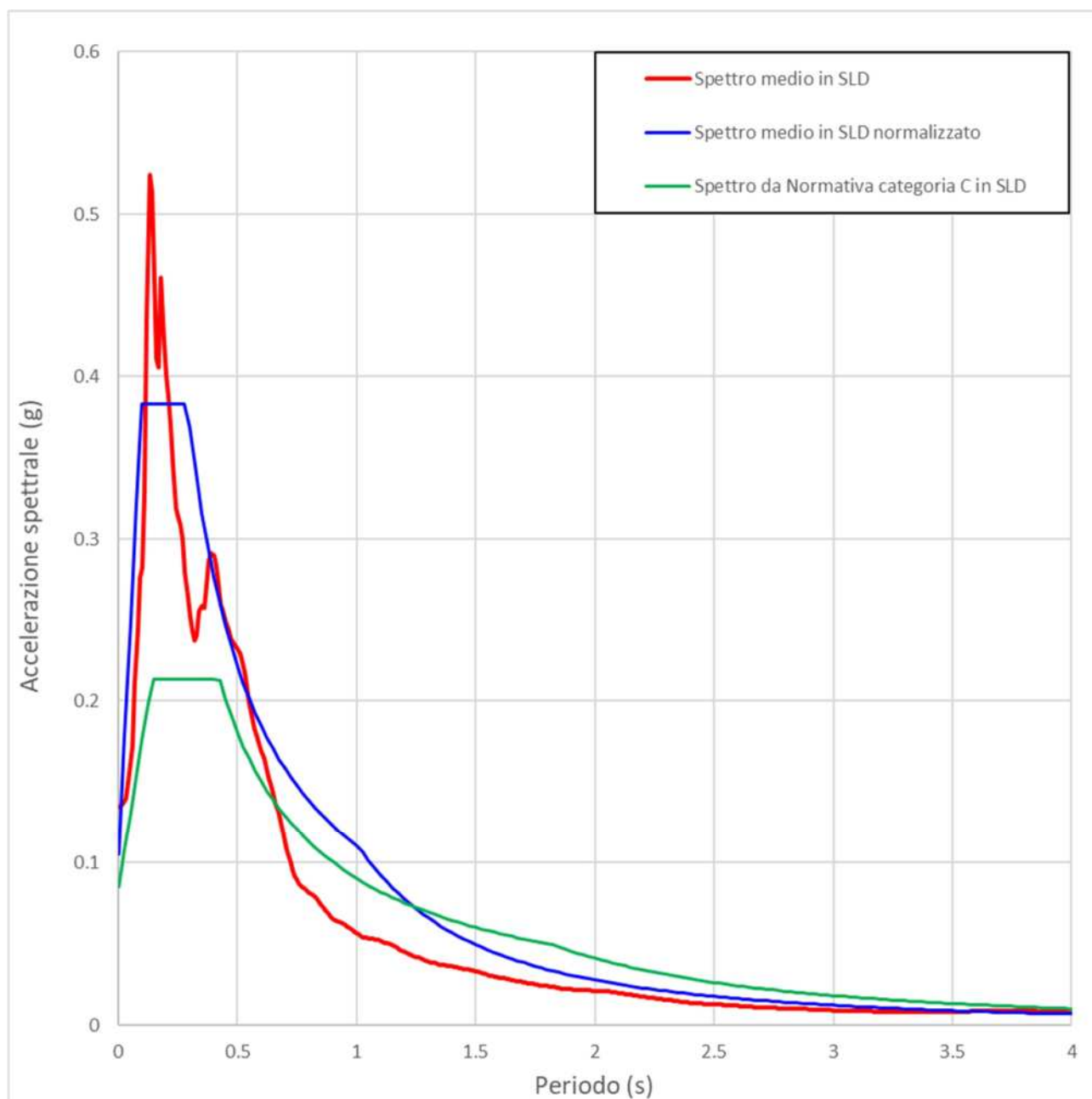


Fig. 159 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1000 – Via Volturno Grafico in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.106	3.627	0.204	1.000	1.000	0.096	0.289	1.009	1.420

Tab. 149 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1000 – Via Volturno in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	182 di 235

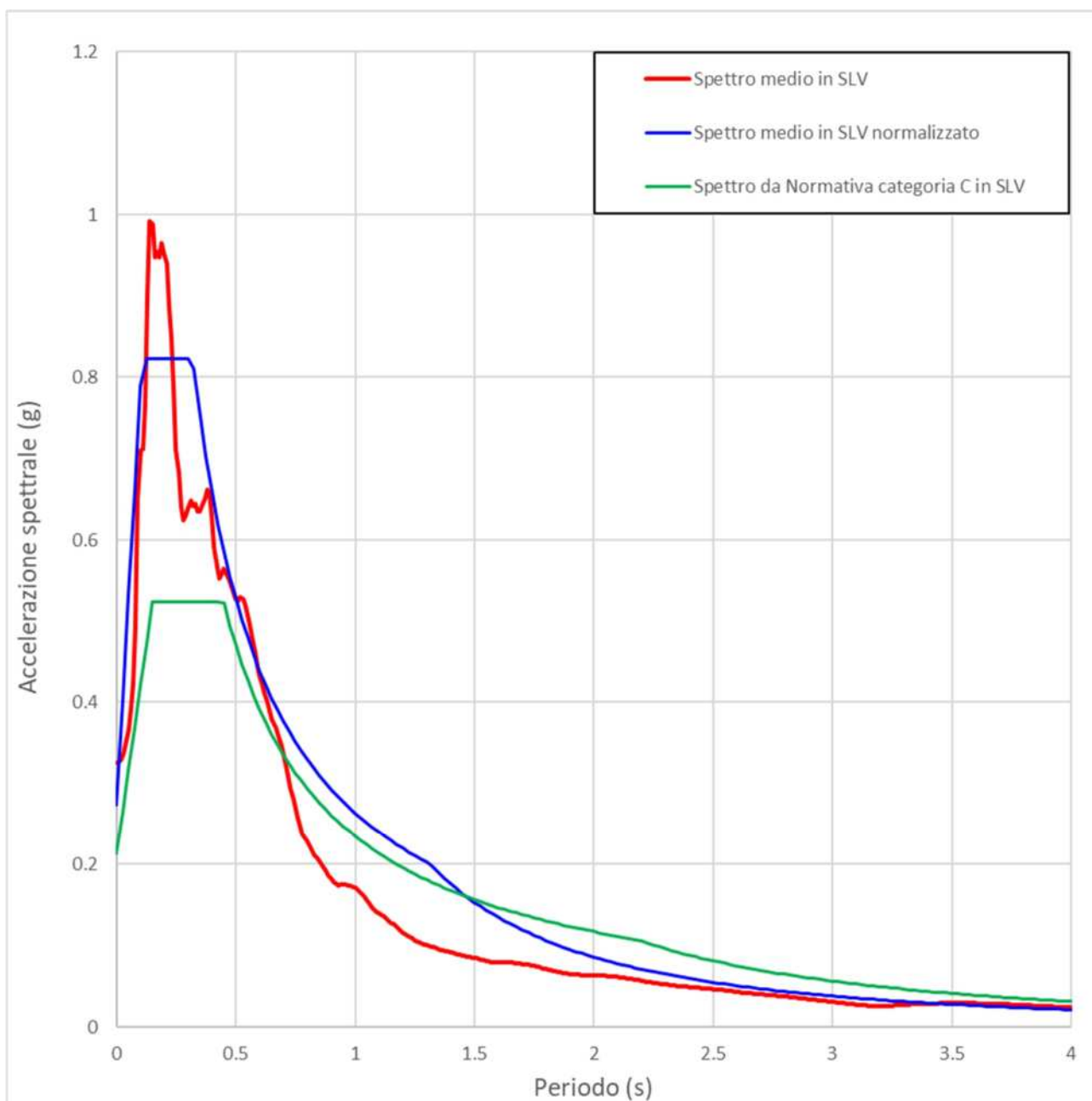


Fig. 160 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1000 – Via Volturno, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.274	3.008	0.225	1.000	1.000	0.107	0.320	1.310	1.420

Tab. 150 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1000 – Via Volturno in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	183 di 235

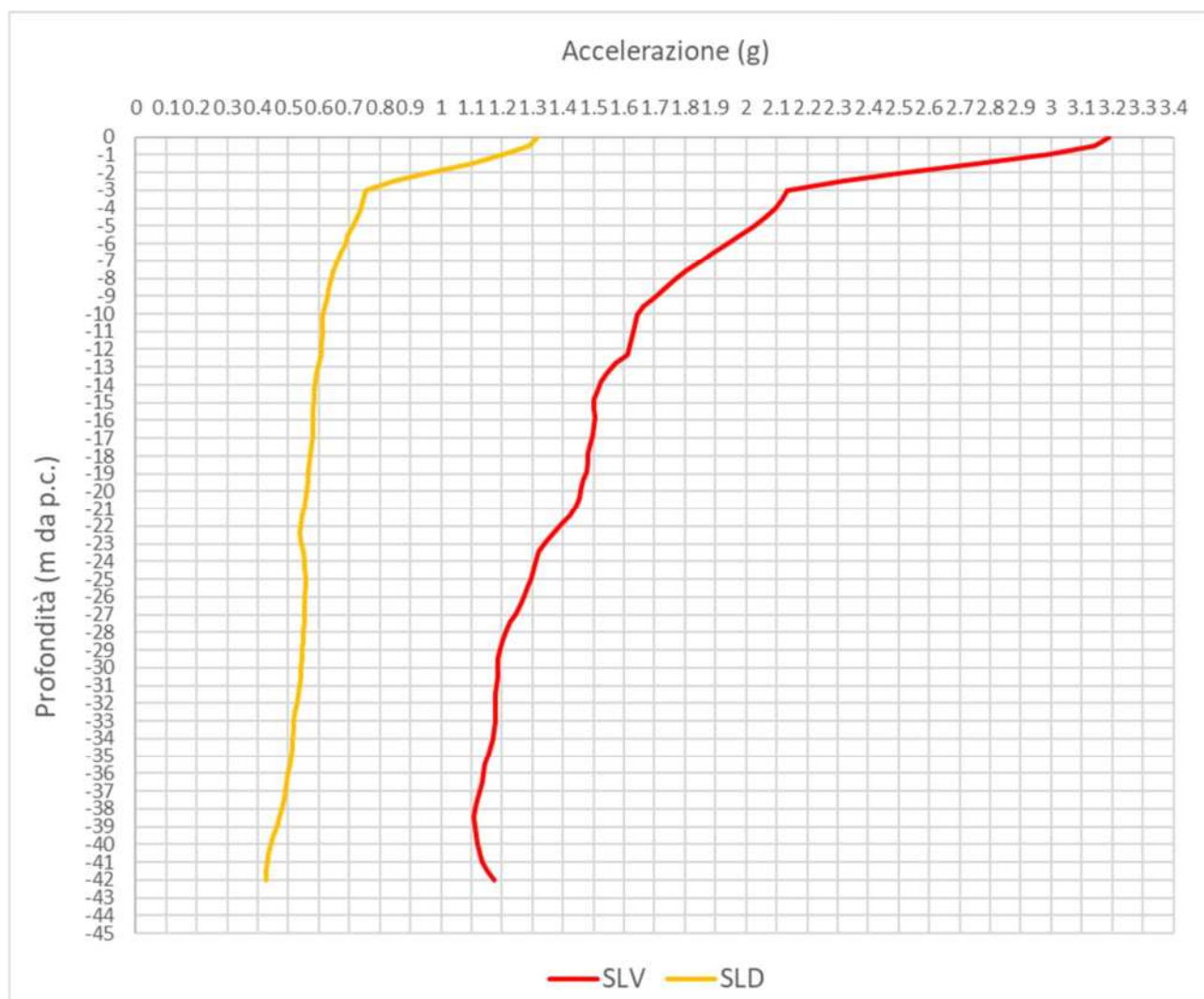


Fig. 161 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P1000 – Via Volturno

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	2.23
FA (0.4-0.8 s)	2.26
FA (0.5-1.5 s)	1.85
FA (0.7-1.1 s)	1.73
PGA/PGA ₀	2.25
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.21
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	2.14
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.92

Tab. 151 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P1000 – Via Volturno



3.5.37 RSL per il sito 034027P1001 – Bioscienze

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Argilla limosa 1	-0.00	-2.00	2.00	18.50	214.00	Campus S1 Sh1
Ghiaia 1	-2.00	-9.00	7.00	20.00	413.00	Rollins
Ghiaia 2	-9.00	-15.00	6.00	20.00	564.00	Rollins
Argilla limosa 1	-15.00	-22.00	7.00	18.50	350.00	Campus DH1 Sh1
Ghiaia 4	-22.00	-26.00	4.00	20.00	700.00	Rollins
Bedrock	-26.00	-	-	22.00	700.00	-

Tab. 152 – Modello geofisico della verticale 034027P1001 – Bioscienze

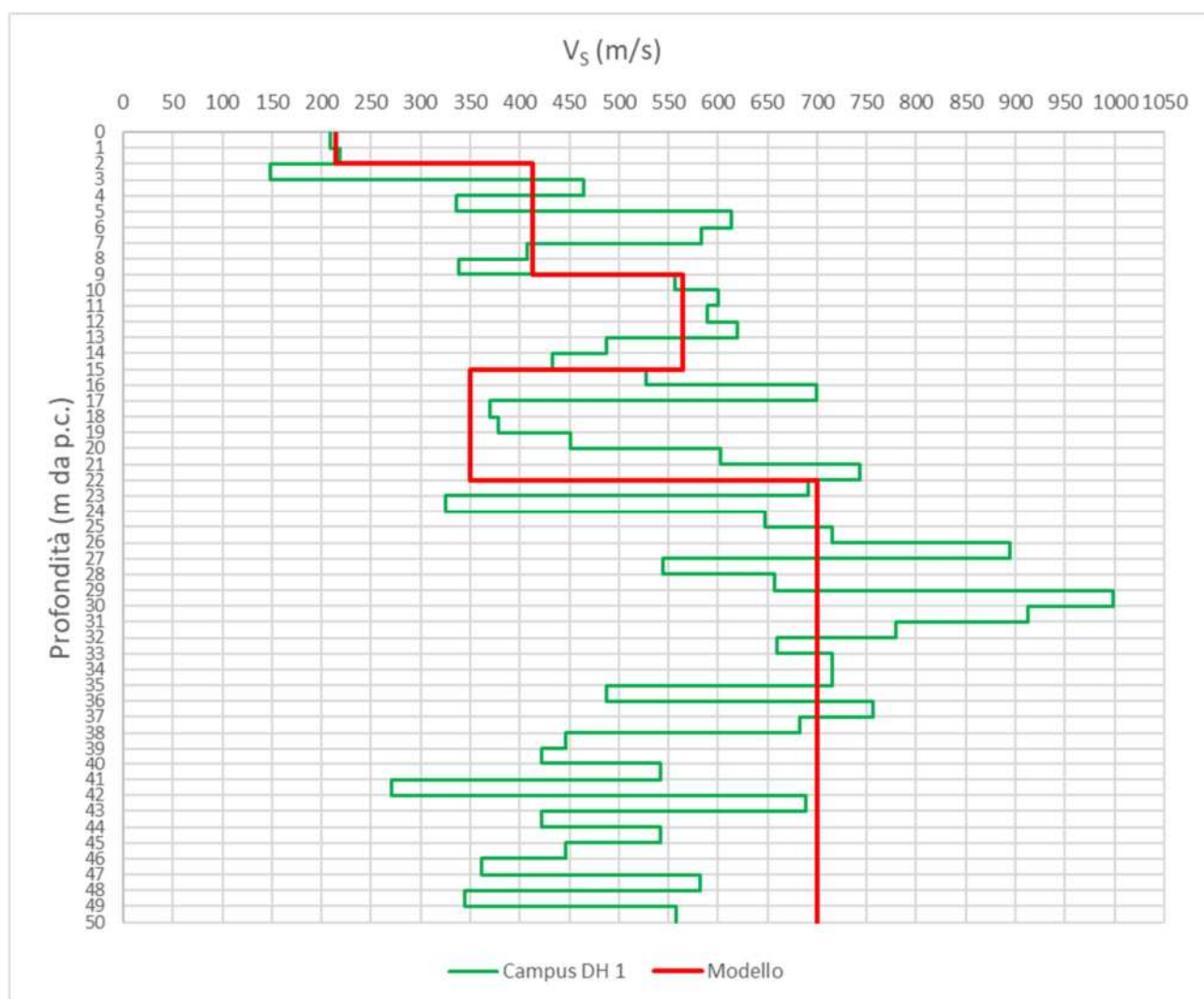


Fig. 162 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P1001 – Bioscienze

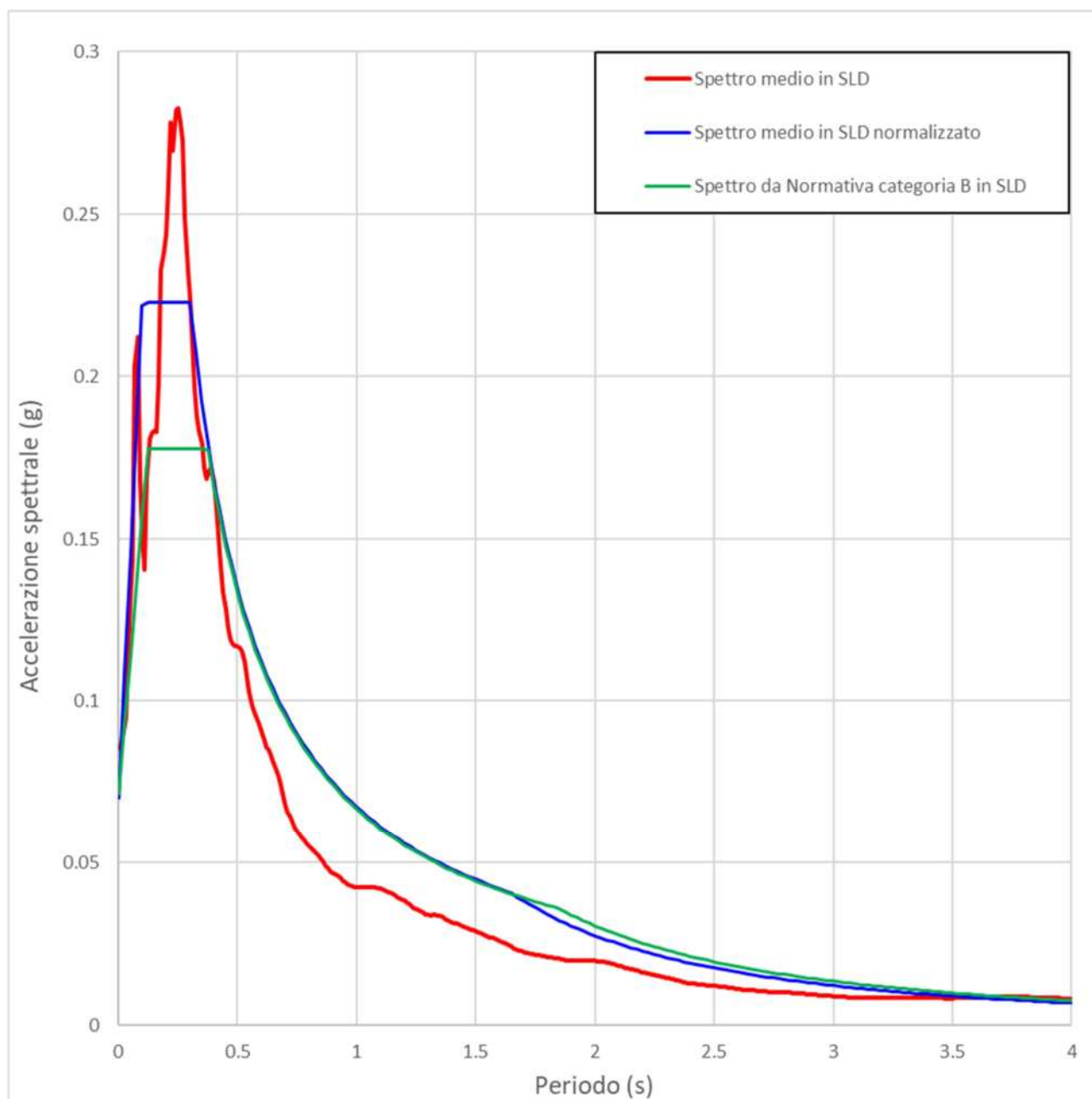


Fig. 163 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1001 – Bioscienze in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.070	3.175	0.213	1.000	1.000	0.101	0.302	1.641	1.420

Tab. 153 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1001 – Bioscienze in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	186 di 235

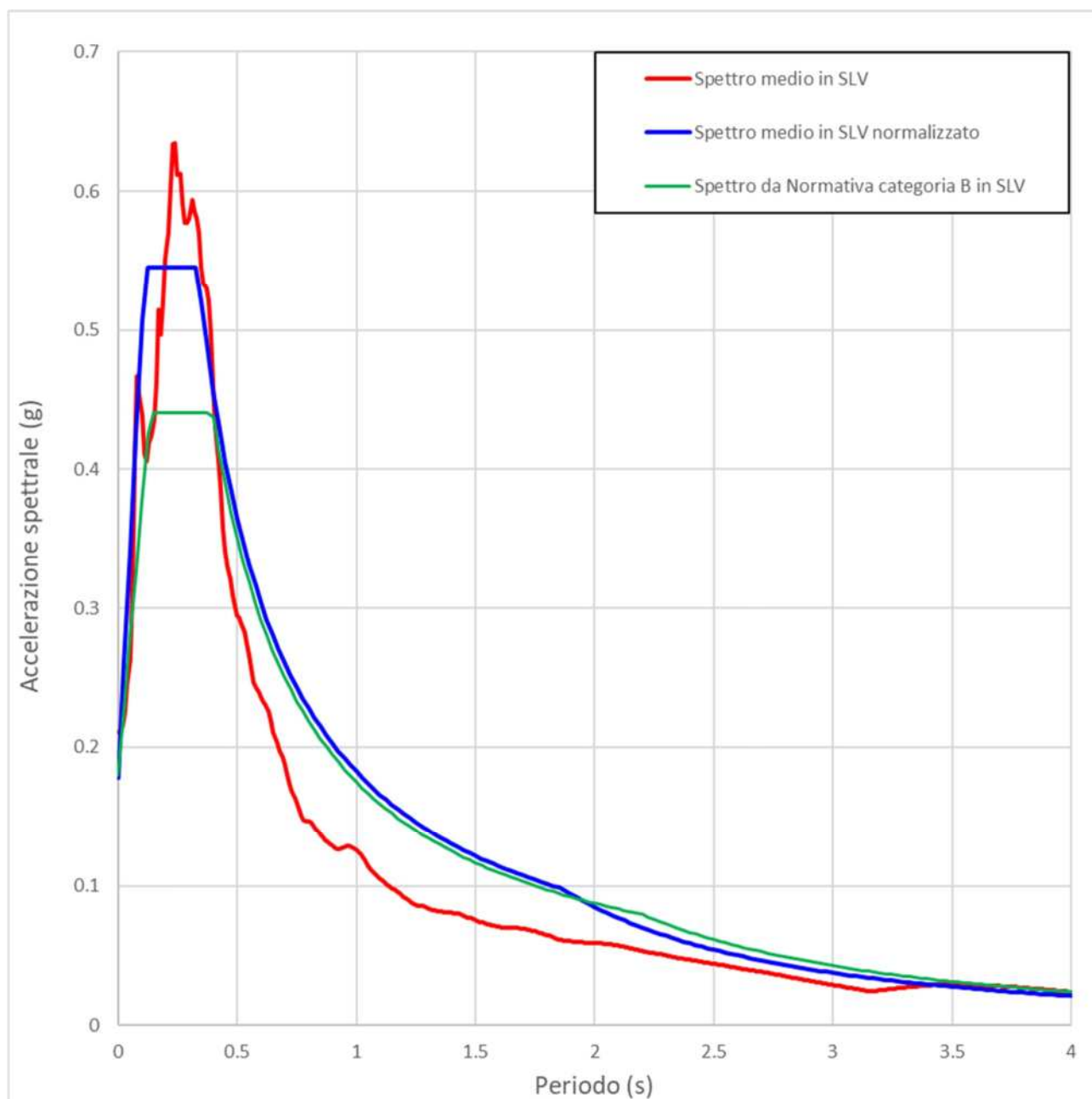


Fig. 164 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1001 – Bioscienze, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo B

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.178	3.065	0.236	1.000	1.000	0.112	0.335	1.861	1.420

Tab. 154 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1001 – Bioscienze in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	187 di 235

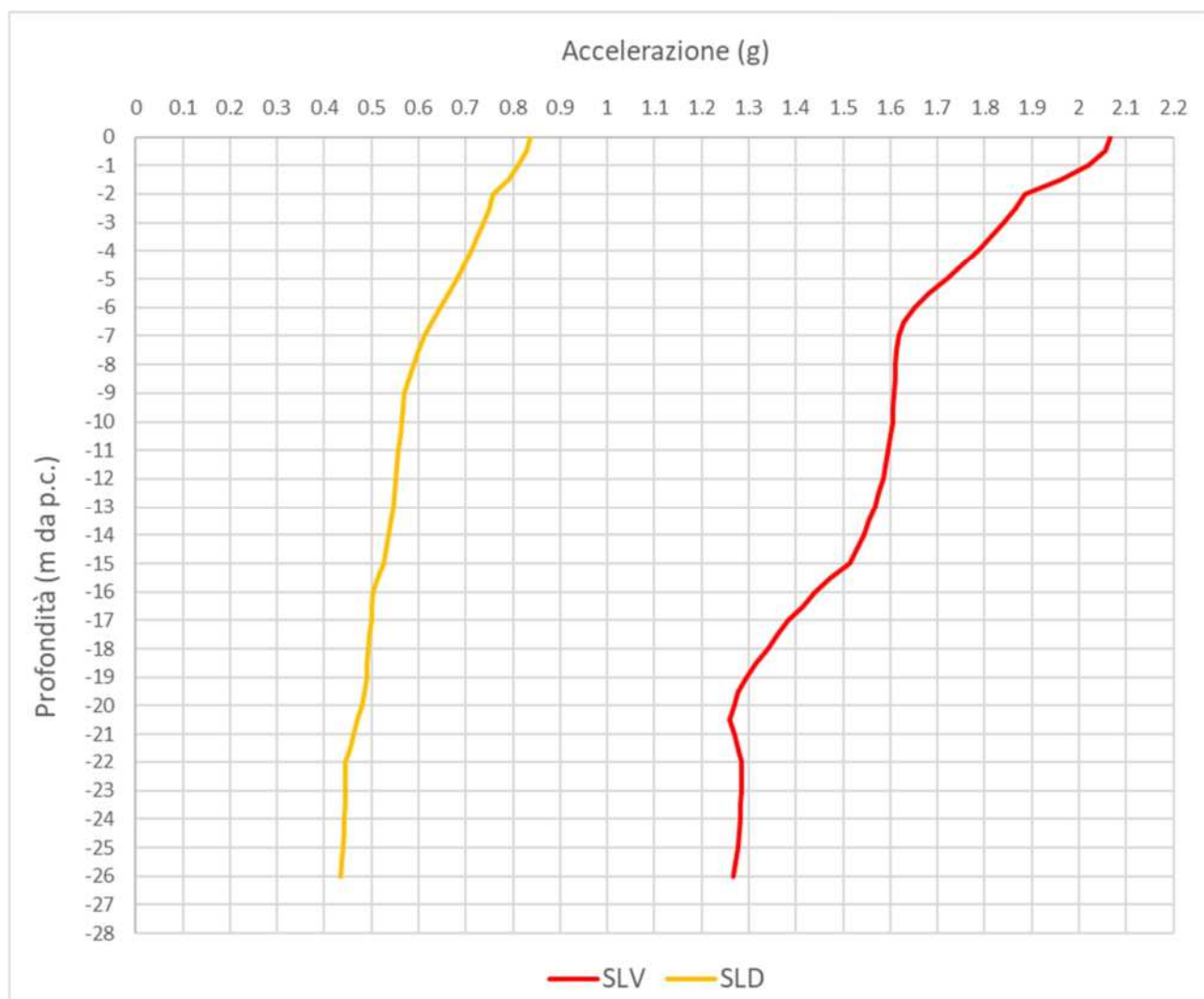


Fig. 165 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P1001 – Bioscienze

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.43
FA (0.4-0.8 s)	1.24
FA (0.5-1.5 s)	1.13
FA (0.7-1.1 s)	1.10
PGA/PGA ₀	1.40
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.48
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.23
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.18

Tab. 155 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P1001 – Bioscienze



3.5.38 RSL per il sito 034027P1002 – Scuola Crociera

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Riporto	-0.00	-3.80	3.80	18.00	225.00	Rollins
Argilla limosa	-3.80	-13.50	9.70	18.50	250.00	Crociera S1-DH CI2
Ghiaia	-13.50	-22.50	9.00	20.50	585.00	Rollins
Argilla	-22.50	-32.90	10.40	18.50	300.00	Crociera S1-DH CI4
Bedrock	-32.90	-	-	22.00	650.00	-

Tab. 156 – Modello geofisico della verticale 034027P1002 – Scuola Crociera

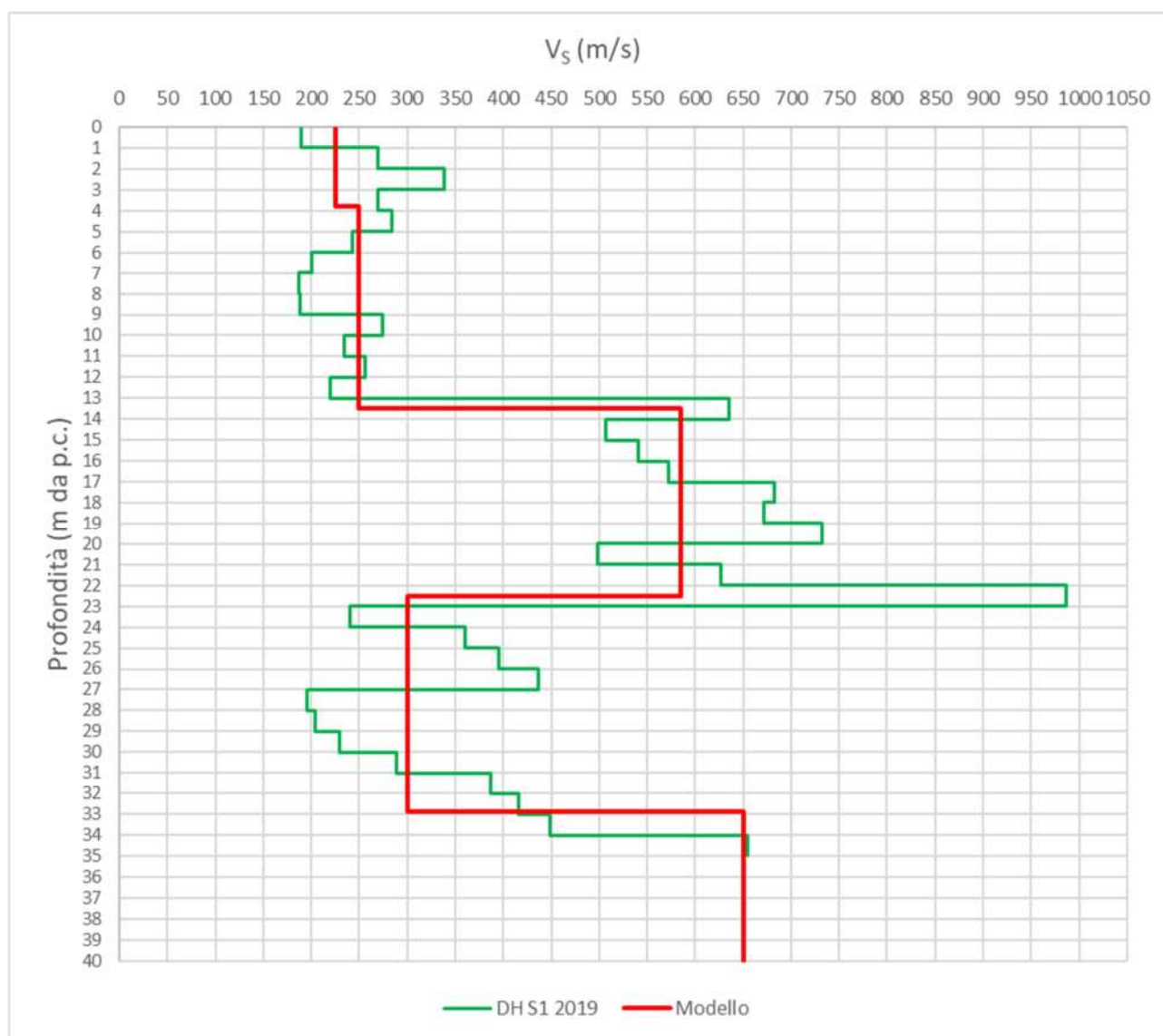


Fig. 166 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P1002 – Scuola Crociera

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	189 di 235

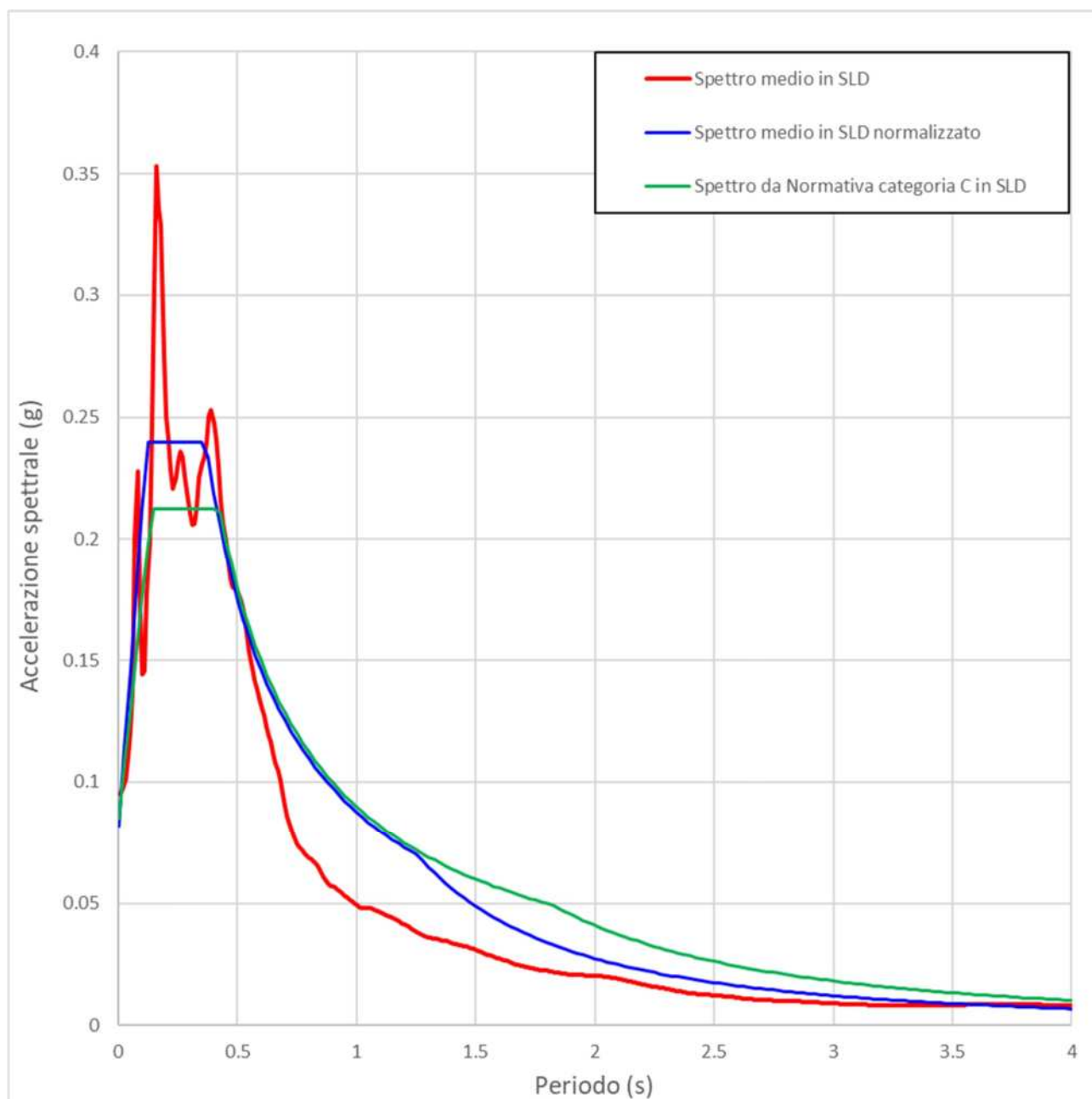


Fig. 167 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1002 – Scuola Crociera in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.082	2.926	0.257	1.000	1.000	0.122	0.365	1.253	1.420

Tab. 157 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1002 – Scuola Crociera in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	190 di 235

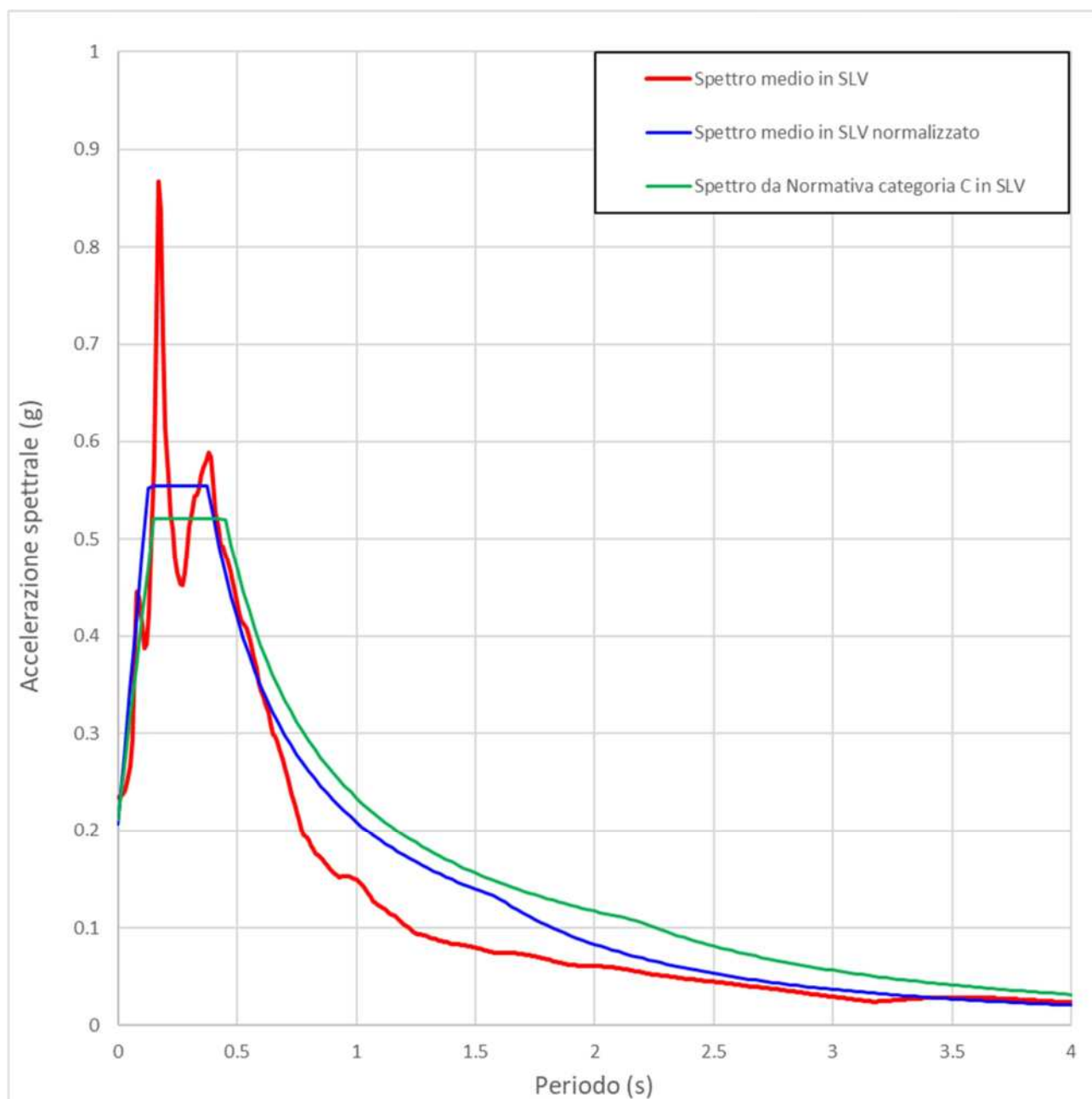


Fig. 168 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1002 – Scuola Crociera, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.207	2.676	0.266	1.000	1.000	0.126	0.377	1.591	1.420

Tab. 158 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1002 – Scuola Crociera in SLV

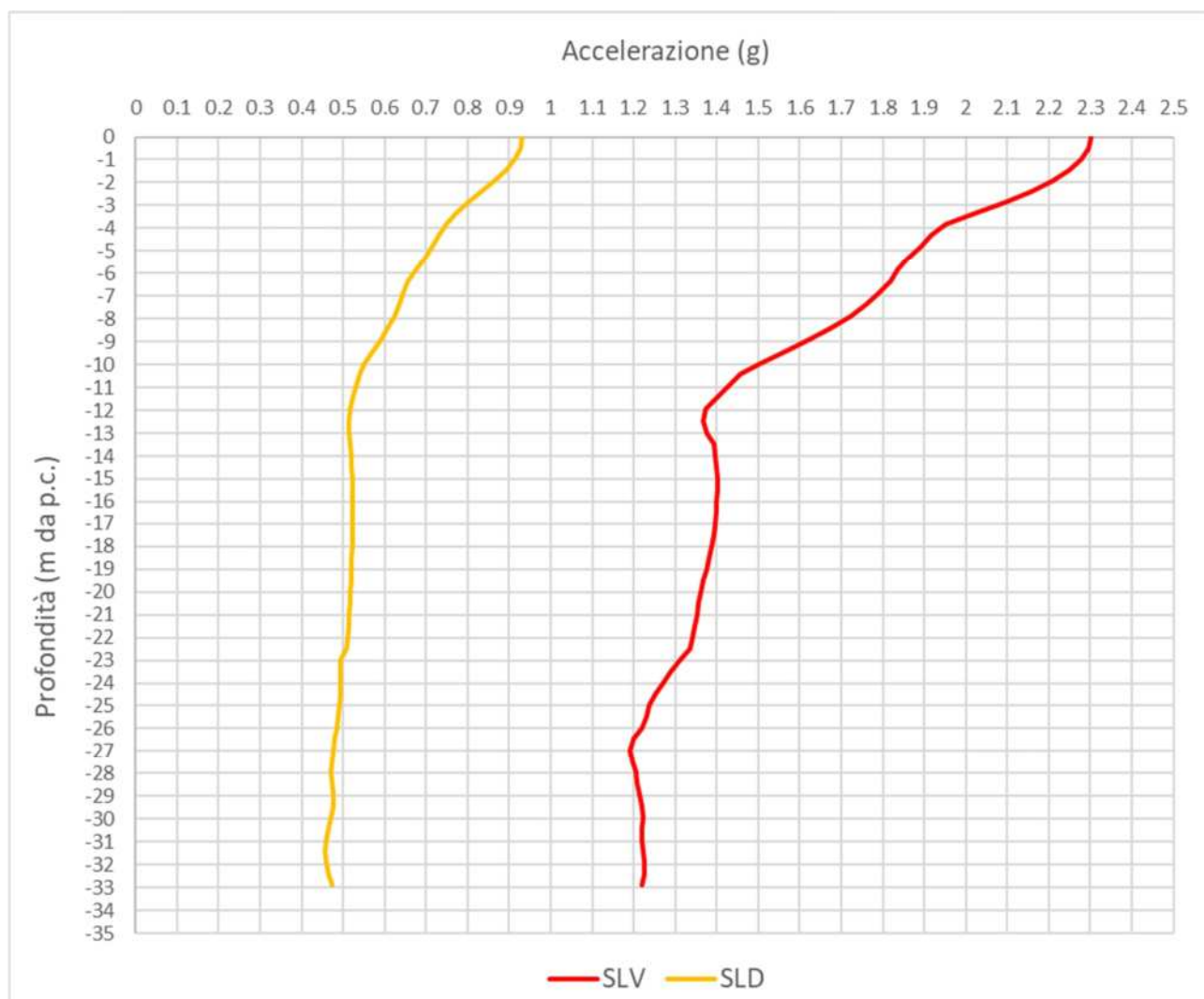


Fig. 169 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P1002 – Scuola Crociera

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.67
FA (0.4-0.8 s)	1.86
FA (0.5-1.5 s)	1.54
FA (0.7-1.1 s)	1.46
PGA/PGA ₀	1.64
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.72
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.74
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.59

Tab. 159 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P1002 – Scuola Crociera



3.5.39 RSL per il sito 034027P1003 – Scuola Trottola

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Limo argilloso	-0.00	-12.80	12.80	18.00	180.00	Trottola S1 CI3
Ghiaia	-12.80	-22.50	9.70	21.00	410.00	Rollins
Argilla limosa	-22.50	-32.50	10.00	18.00	440.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-32.50	-	-	22.00	527.00	-

Tab. 160 – Modello geofisico della verticale 034027P1003 – Scuola Trottola

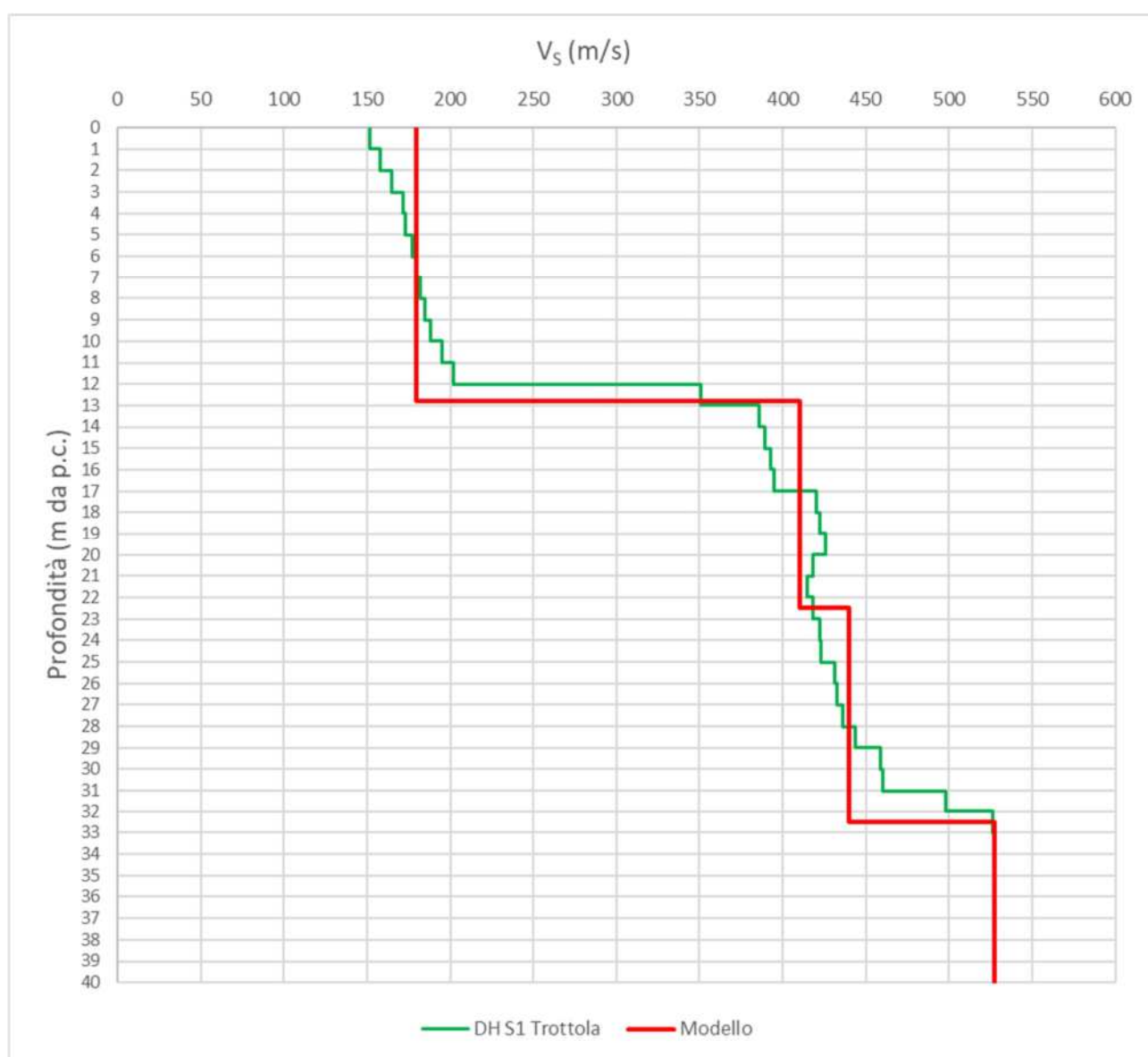


Fig. 170 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P1003 – Scuola Trottola



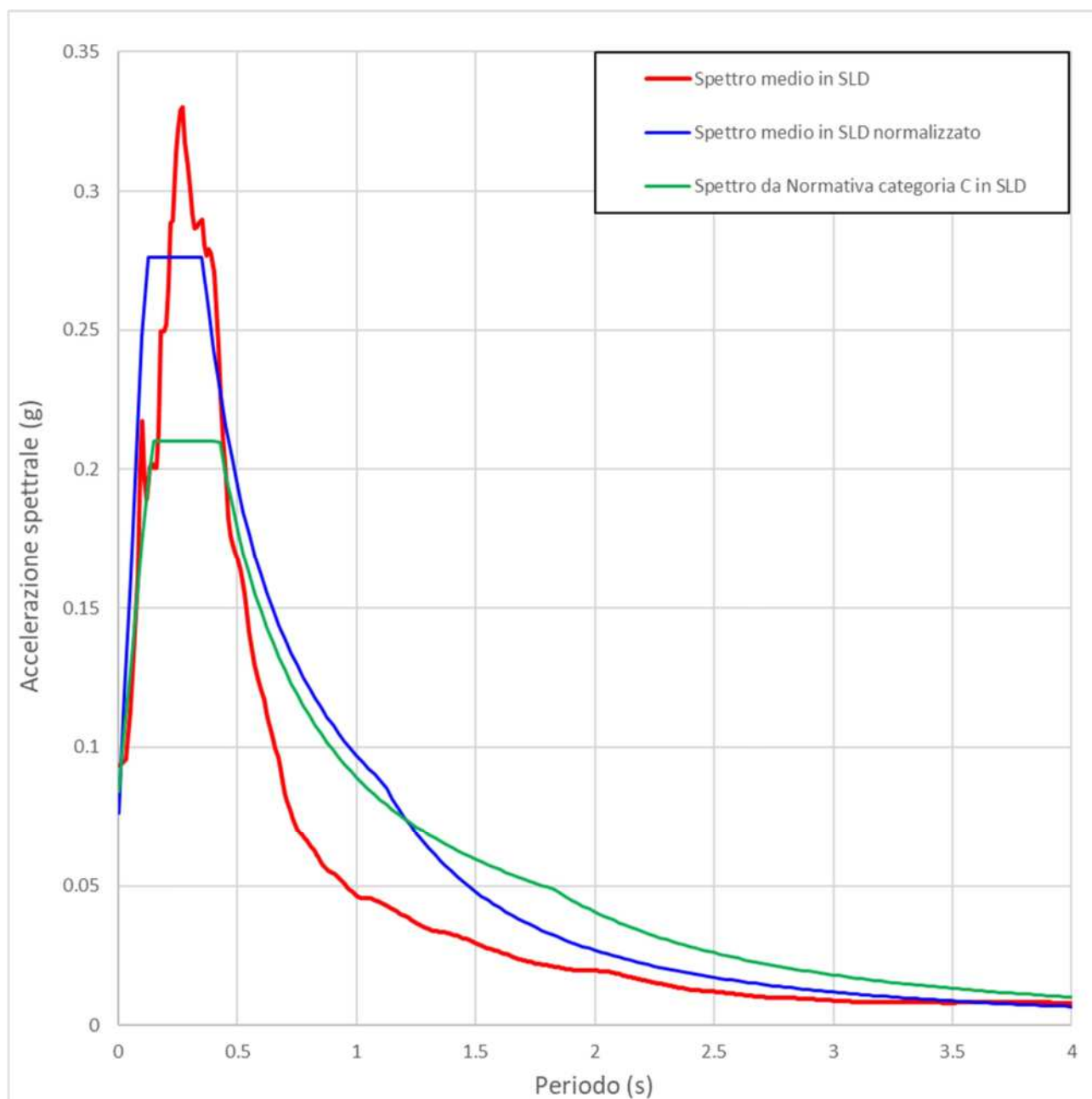


Fig. 171 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1003 – Scuola Trottola in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.076	3.632	0.247	1.000	1.000	0.117	0.351	1.110	1.420

Tab. 161 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1003 – Scuola Trottola in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	194 di 235

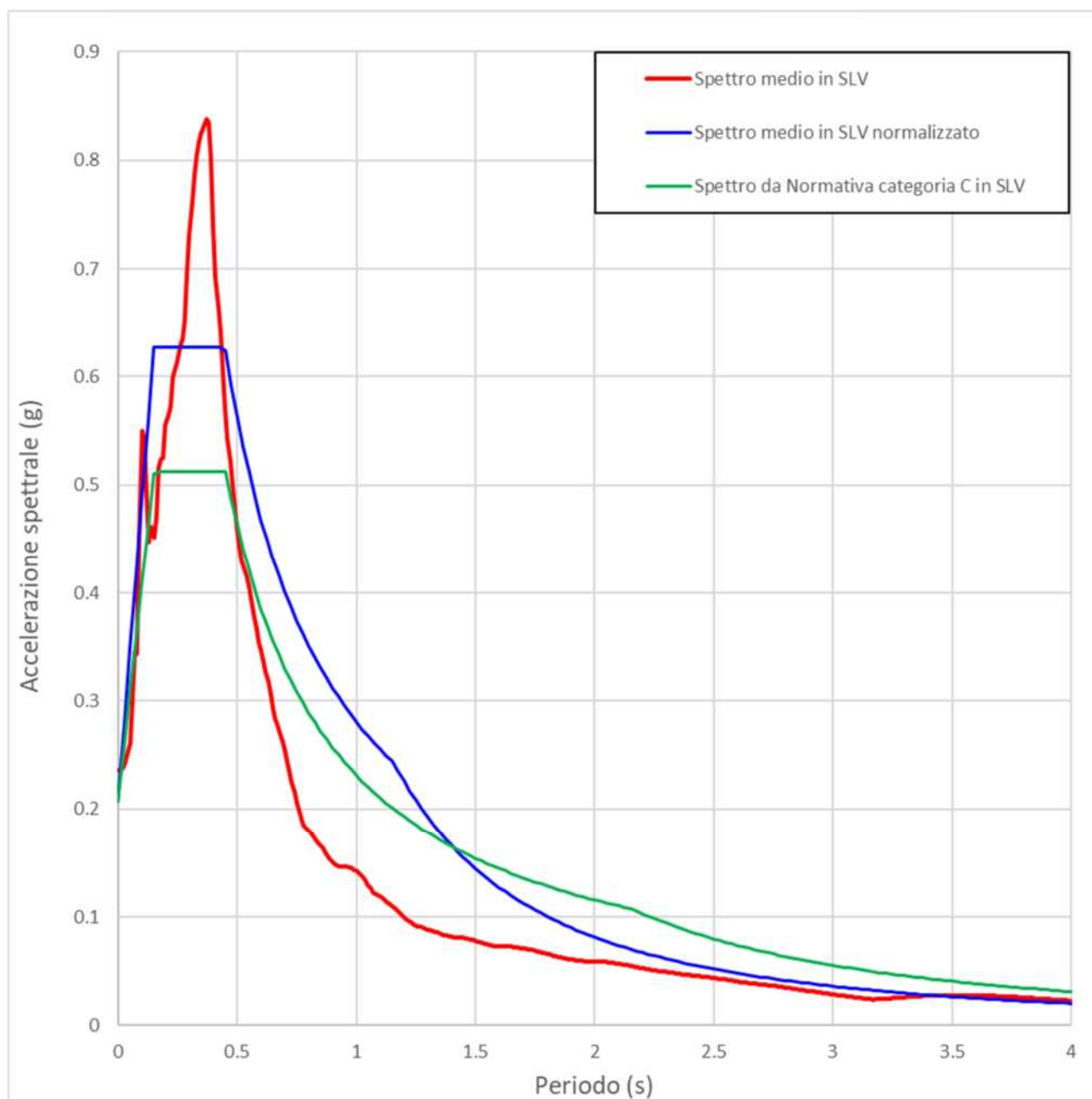


Fig. 172 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1003 – Scuola Trottola, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.208	3.021	0.316	1.000	1.000	0.149	0.448	1.158	1.420

Tab. 162 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1003 – Scuola Trottola in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	195 di 235

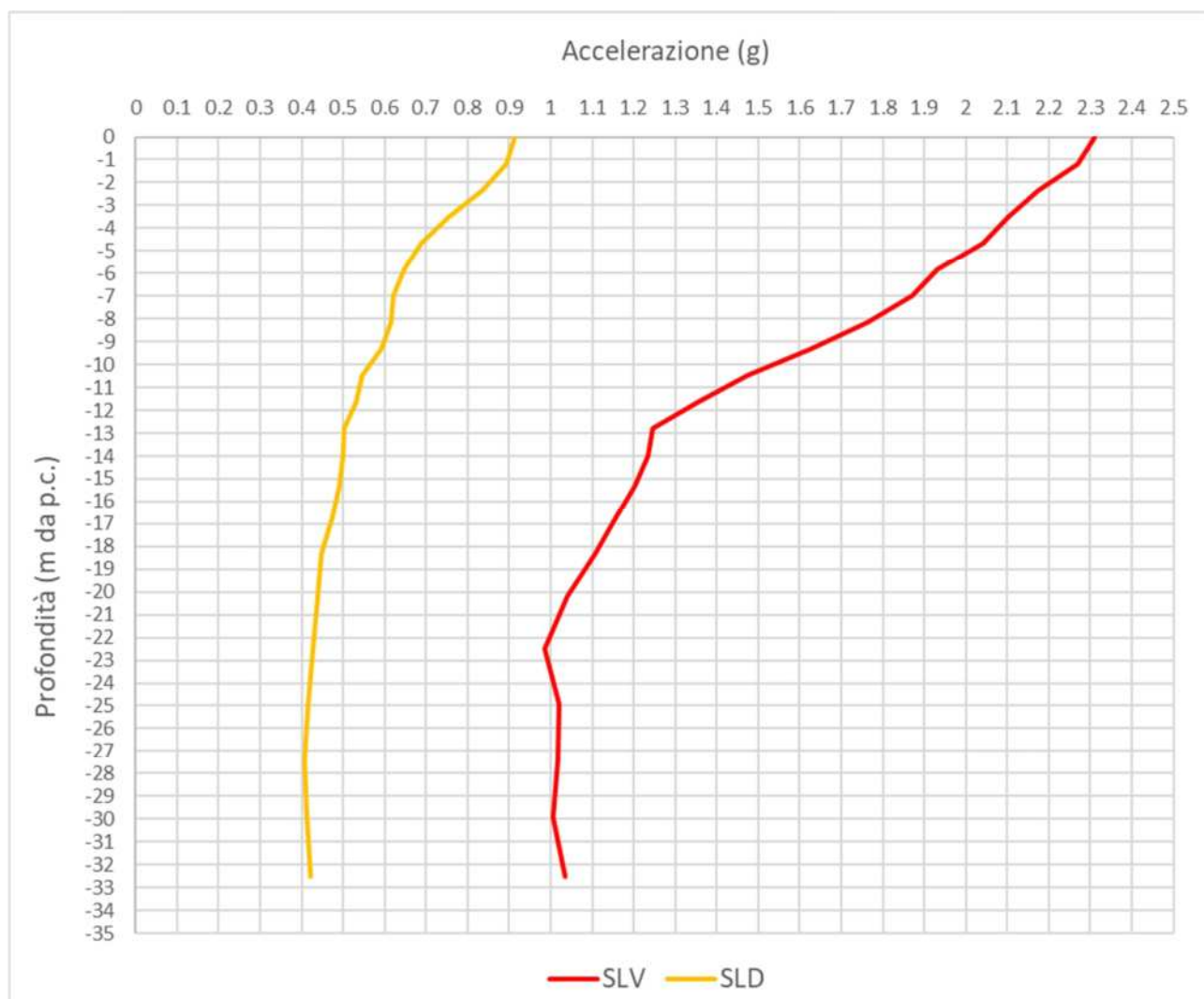


Fig. 173 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P1003 – Scuola Trottola

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.96
FA (0.4-0.8 s)	1.96
FA (0.5-1.5 s)	1.53
FA (0.7-1.1 s)	1.44
PGA/PGA ₀	1.67
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.10
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.78
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.64

Tab. 163 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P1003 – Scuola Trottola



3.5.40 RSL per il sito 034027P1004 – Scuola Lino Maupas

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Lim. sabbioso	-0.00	-3.40	3.40	18.00	170.00	Lino Maupas S1 SH1
Ghiaia 1	-3.40	-25.00	21.60	21.00	410.00	Rollins
Ghiaia 2	-25.00	-27.00	2.00	21.00	450.00	Rollins
Argilla	-27.00	-36.00	9.00	19.00	300.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Bedrock	-36.00	-	-	22.00	650.00	-

Tab. 164 – Modello geofisico della verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas

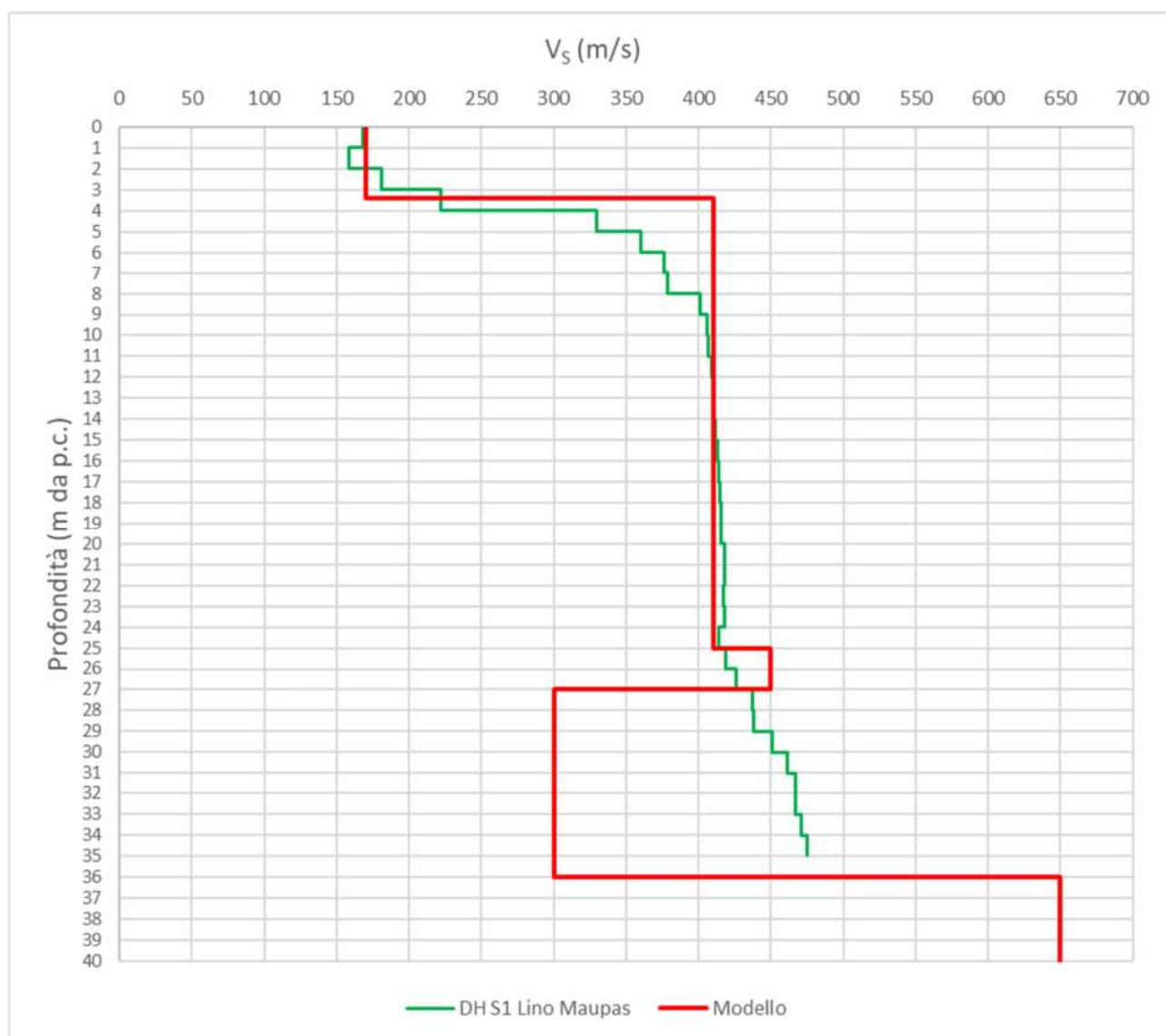


Fig. 174 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	197 di 235

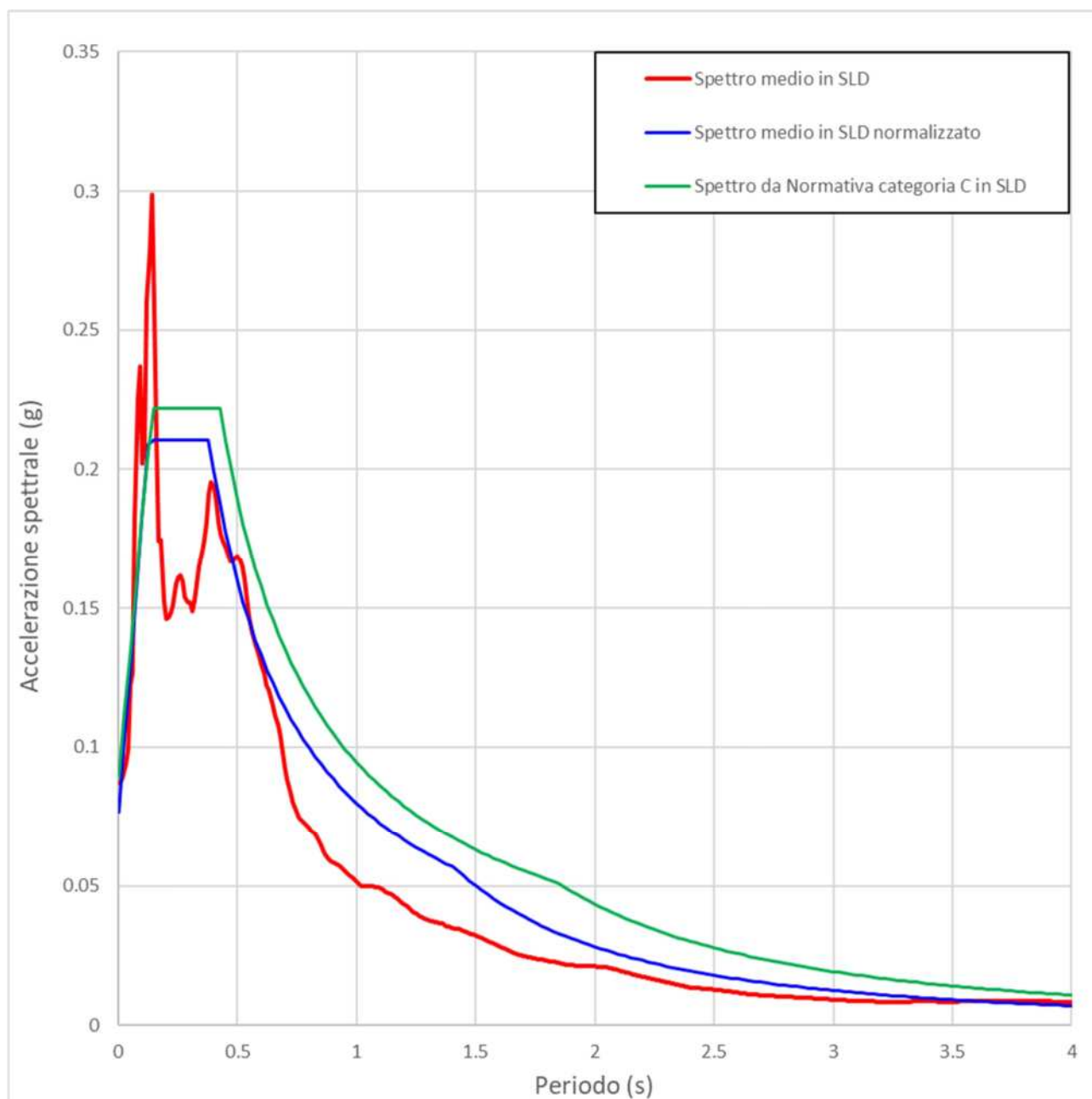


Fig. 175 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.077	2.750	0.267	1.000	1.000	0.126	0.379	1.412	1.420

Tab. 165 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	198 di 235

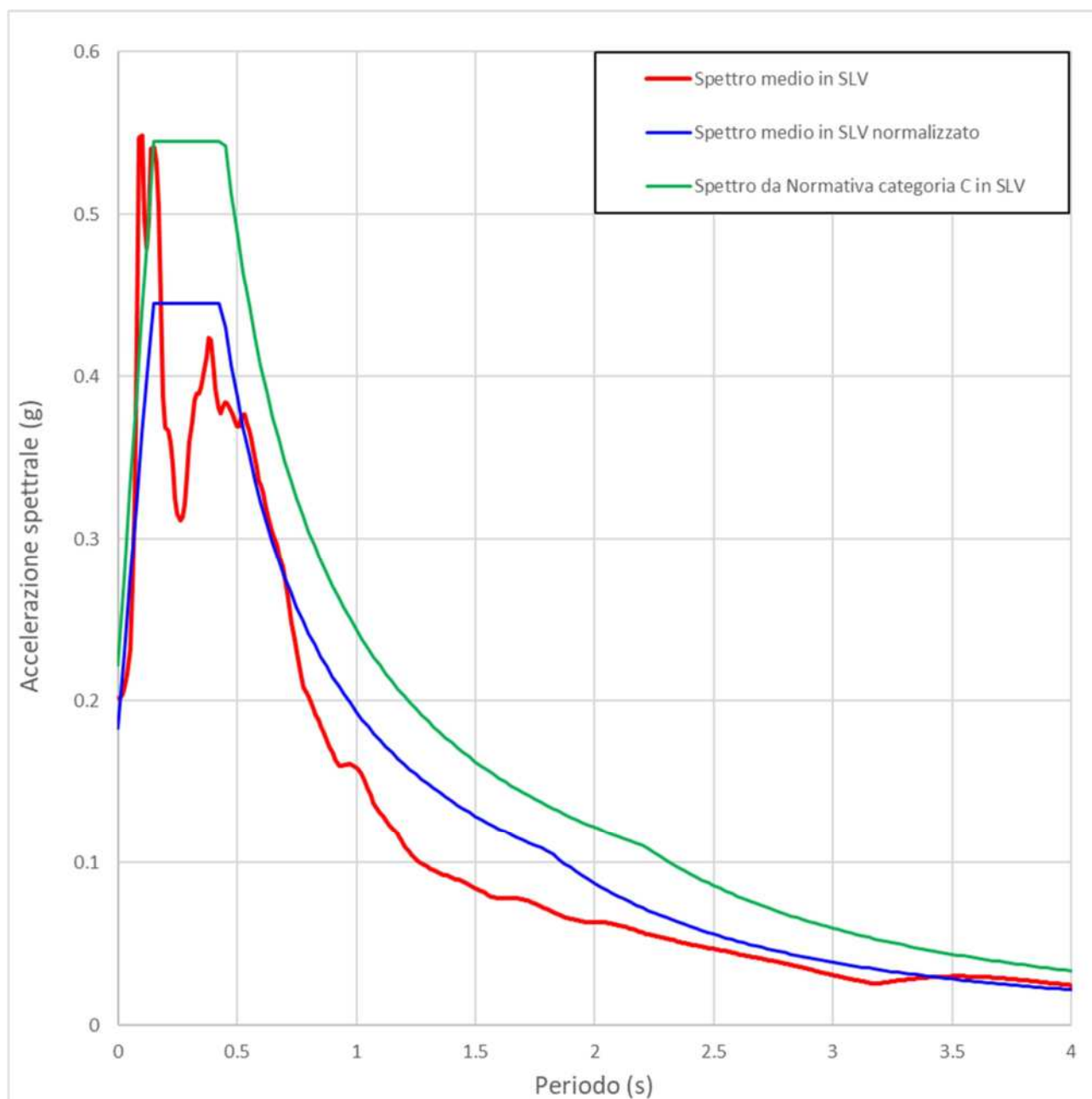


Fig. 176 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.183	2.429	0.306	1.000	1.000	0.145	0.435	1.809	1.420

Tab. 166 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	199 di 235

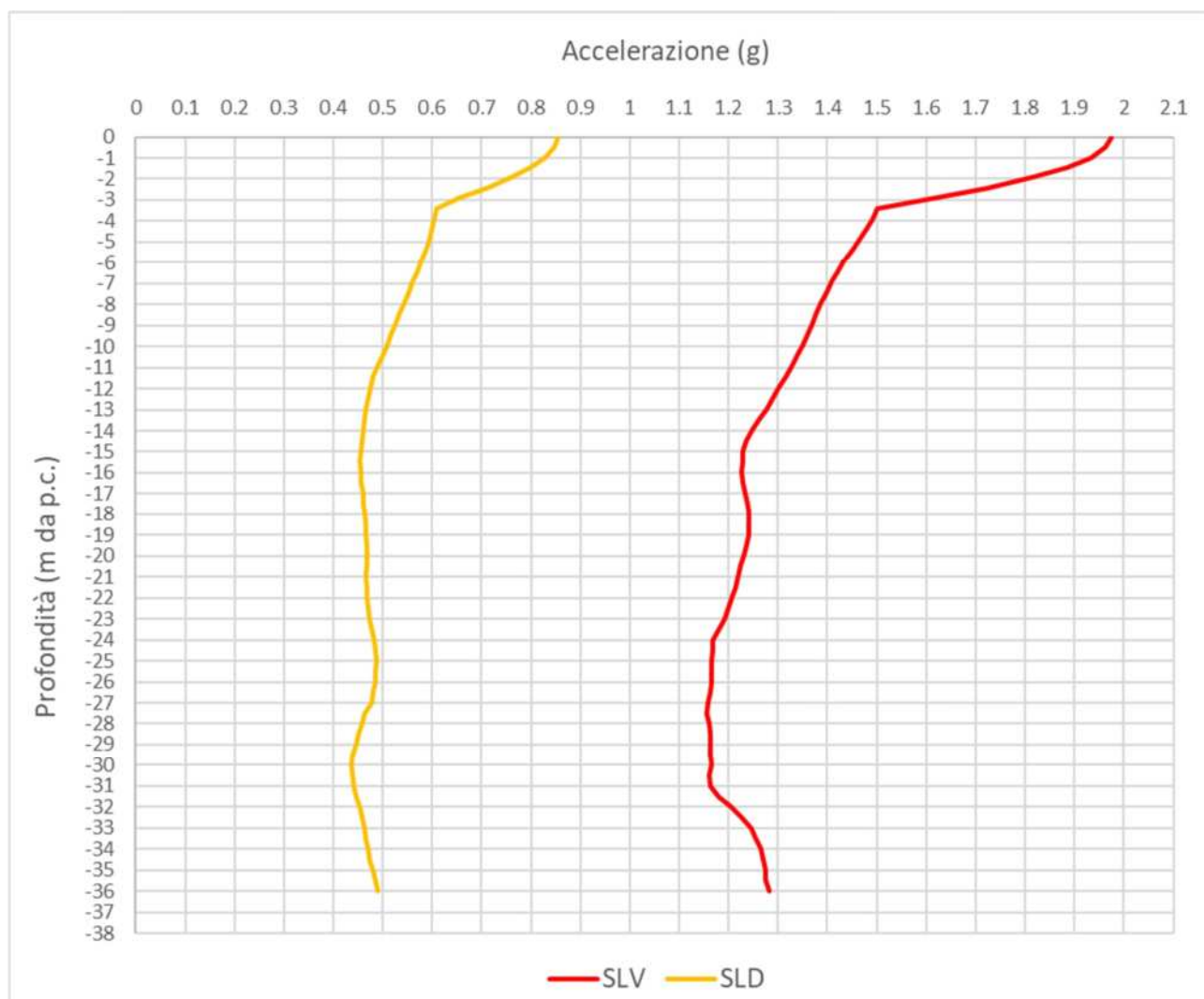


Fig. 177 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.19
FA (0.4-0.8 s)	1.62
FA (0.5-1.5 s)	1.49
FA (0.7-1.1 s)	1.46
PGA/PGA ₀	1.33
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.17
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.57
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.46

Tab. 167 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P1004 – Scuola Lino Maupas



3.5.41 RSL per il sito 034027P1005 – Palestra Ulivi

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Riporto	-0.00	-4.70	4.70	18.00	180.00	Vucetic & Dobry, PI = 0
Ghiaia	-4.70	-9.50	9.70	21.00	410.00	Rollins
Argilla limosa	-9.50	-16.90	10.00	18.00	440.00	Palestra Ulivi S1SH2
Bedrock	-16.90	-	-	22.00	527.00	-

Tab. 168 – Modello geofisico della verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi

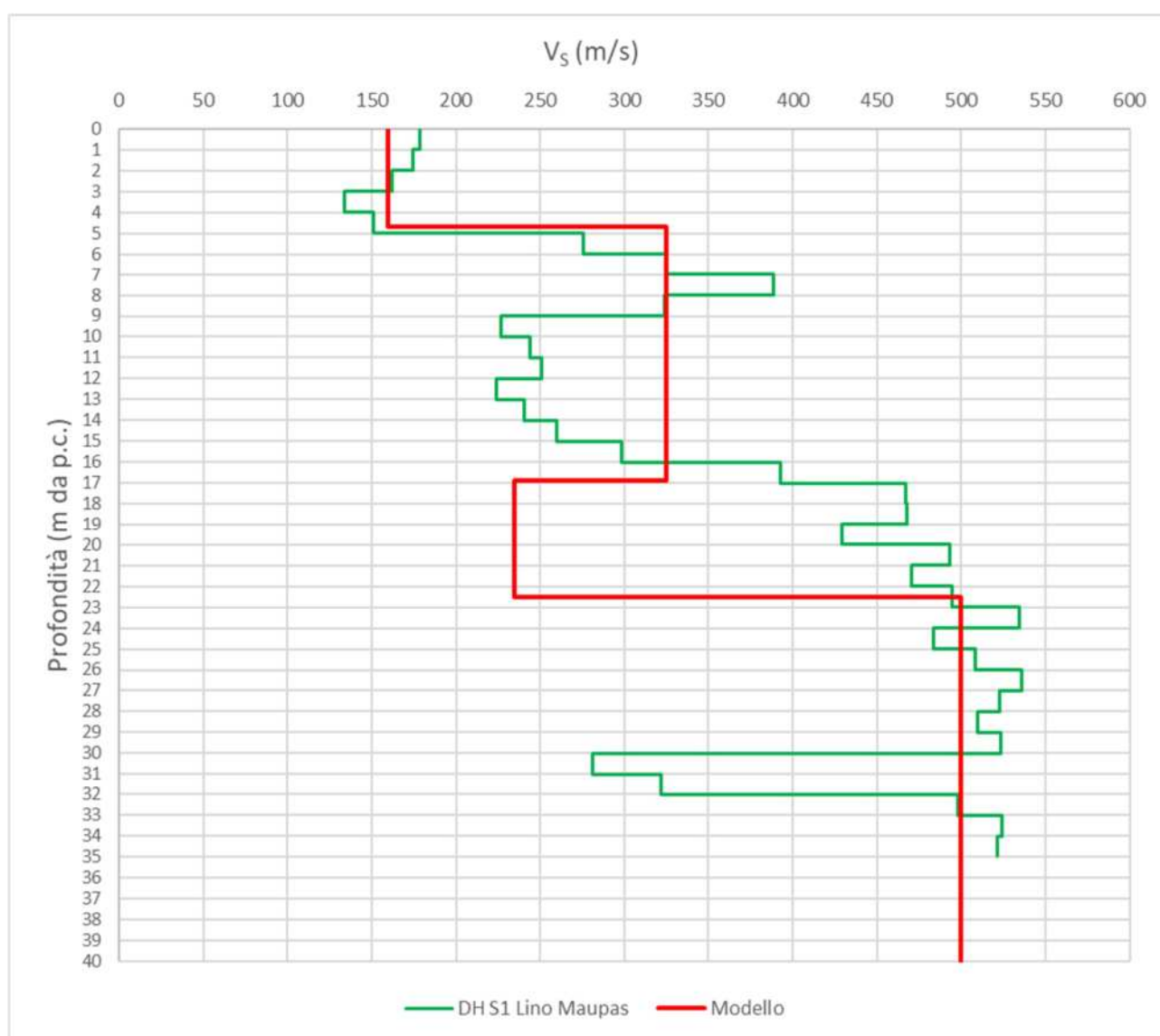


Fig. 178 – Discretizzazione della V_s lungo la verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	201 di 235

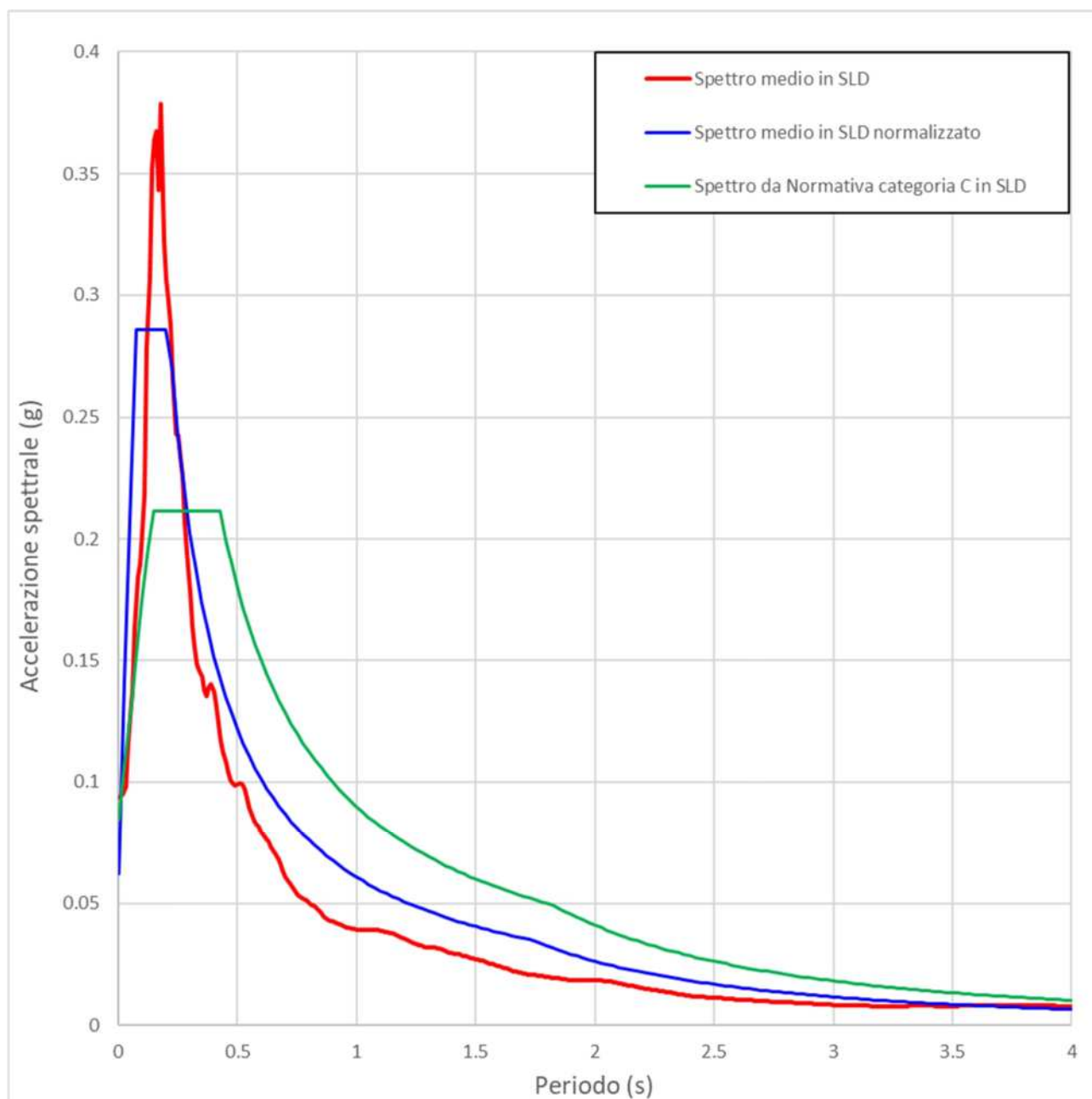


Fig. 179 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi in SLD, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.062	4.611	0.150	1.000	1.000	0.071	0.213	1.733	1.420

Tab. 169 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi in SLD

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	202 di 235

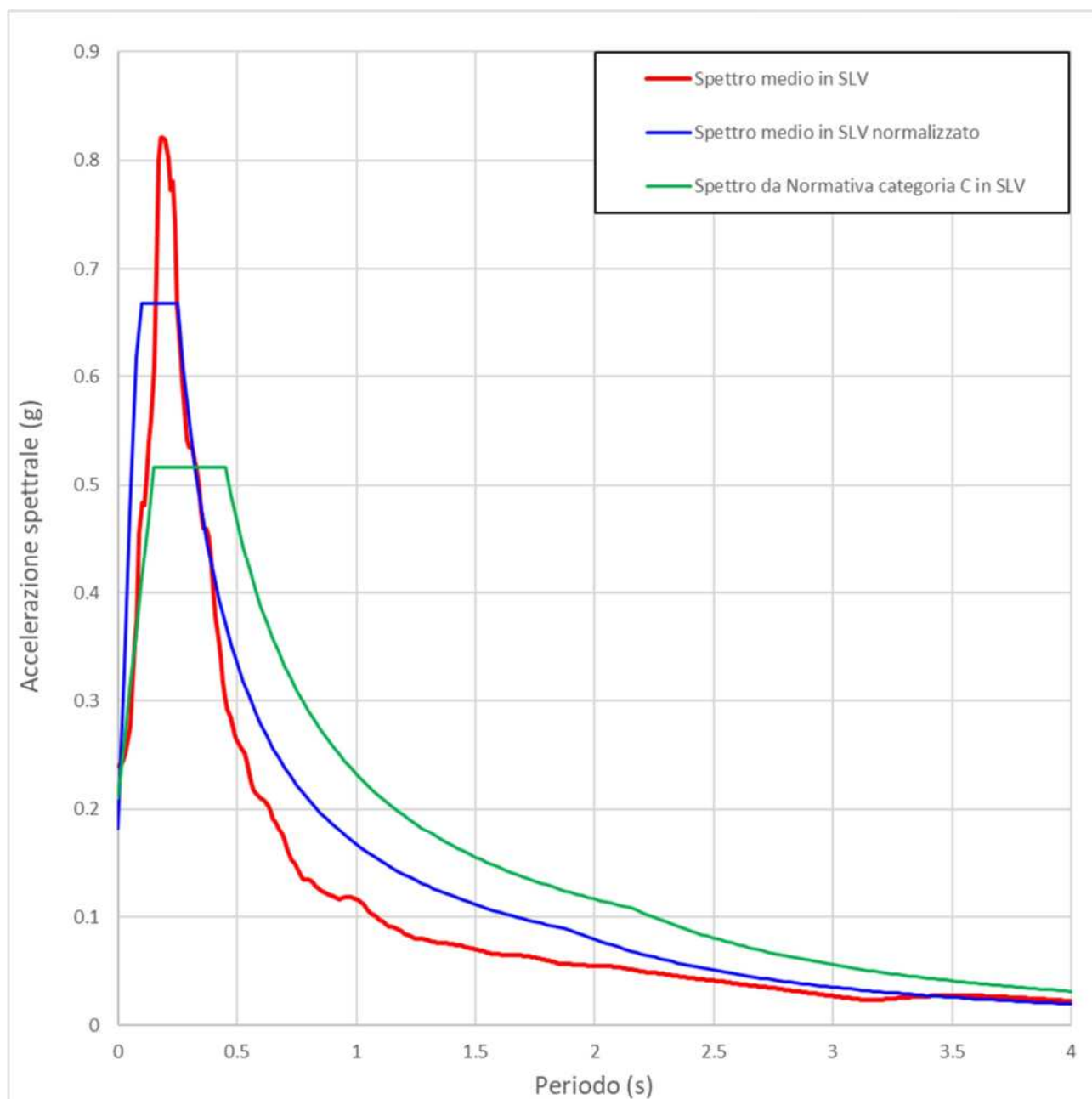


Fig. 180 – Spettro medio di risposta in accelerazione e spettro medio normalizzato per la verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi, confrontati con lo spettro semplificato da normativa per la categoria di sottosuolo C

$a_{max}(T=0)$	F_o	T_c^*	h	S	T_b	T_c	T_d	C_c
0.182	3.662	0.176	1.000	1.000	0.083	0.250	1.905	1.420

Tab. 170 – Parametri normalizzati per la verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi in SLV

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	203 di 235

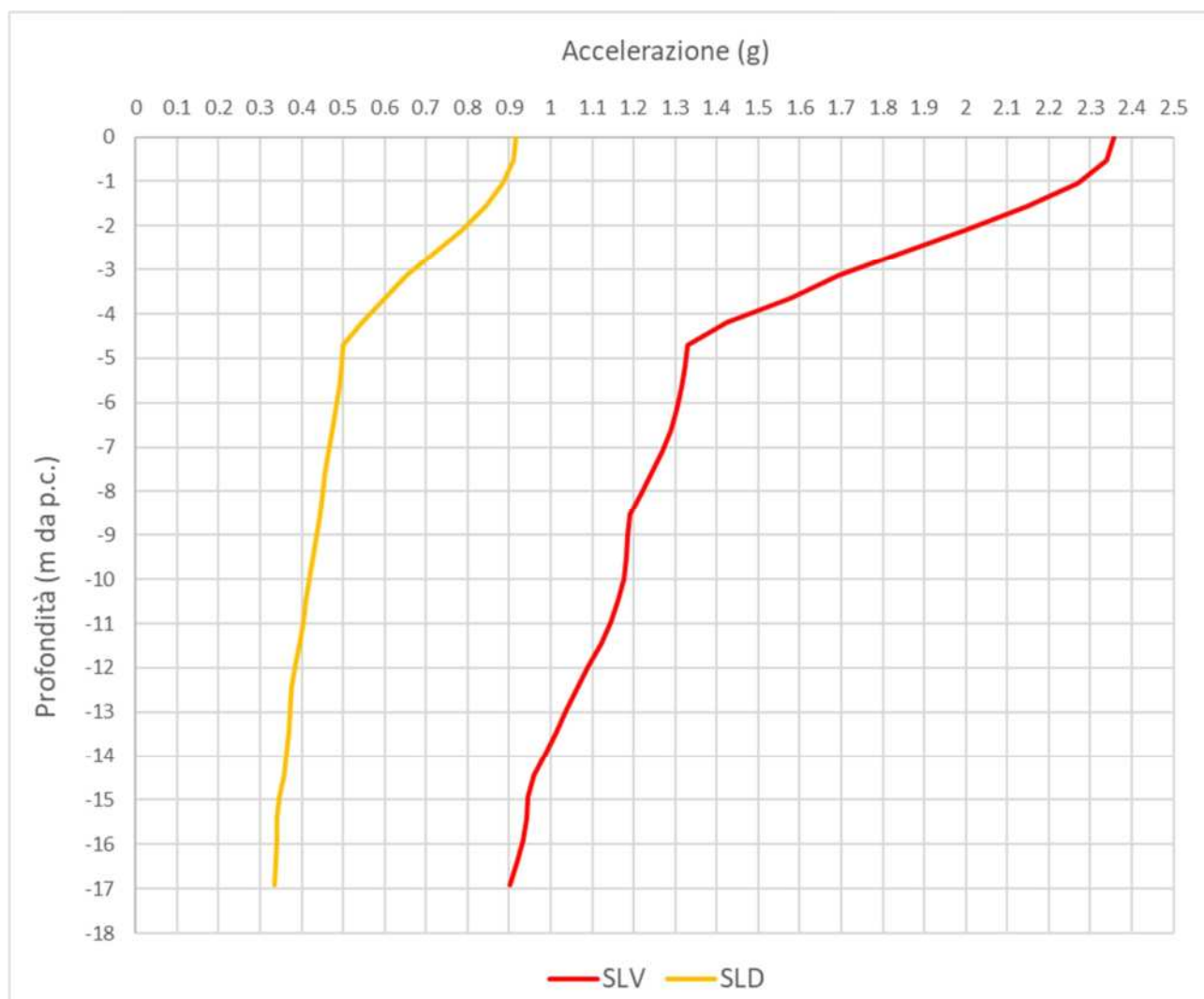


Fig. 181 – Accelerazione in output in funzione della profondità per gli stati limite SLD e SLV lungo la verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.66
FA (0.4-0.8 s)	1.19
FA (0.5-1.5 s)	1.09
FA (0.7-1.1 s)	1.08
PGA/PGA ₀	1.69
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	1.65
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.23
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.19

Tab. 171 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale 034027P1005 – Palestra Ulivi



3.6 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.

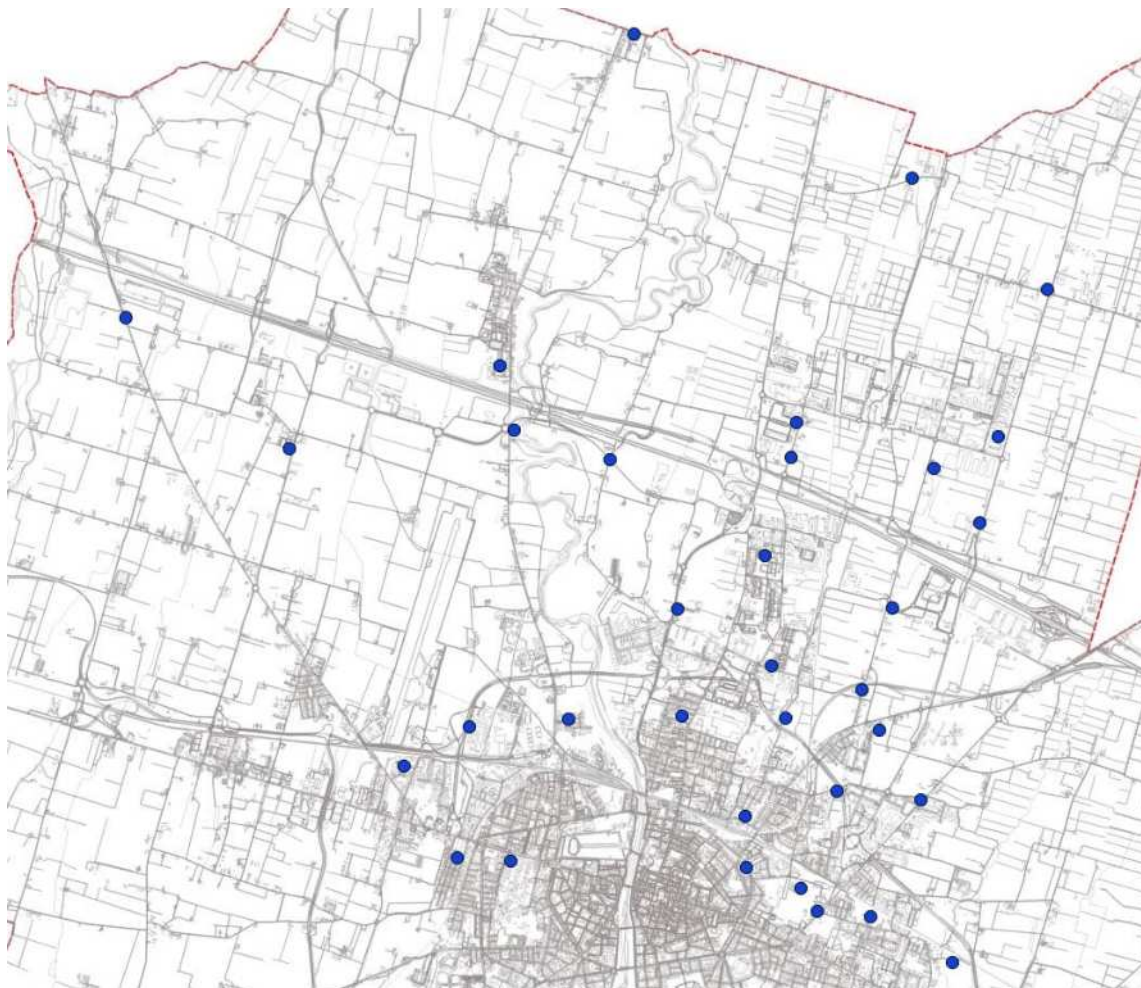


Fig. 182 – Stralcio ubicazione indagini utilizzate per verifica a liquefazione

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 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 LPI¹⁰ 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. 172.

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. 172 – 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. 173.

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. 173 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo *Sonmez*

¹⁰ 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:

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

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
- $w(z)$ 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 = 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. 183 viene presentata, in forma di *flow-chart*, la procedura di calcolo di CRR utilizzata dal programma per la verifica con il metodo NCEER.

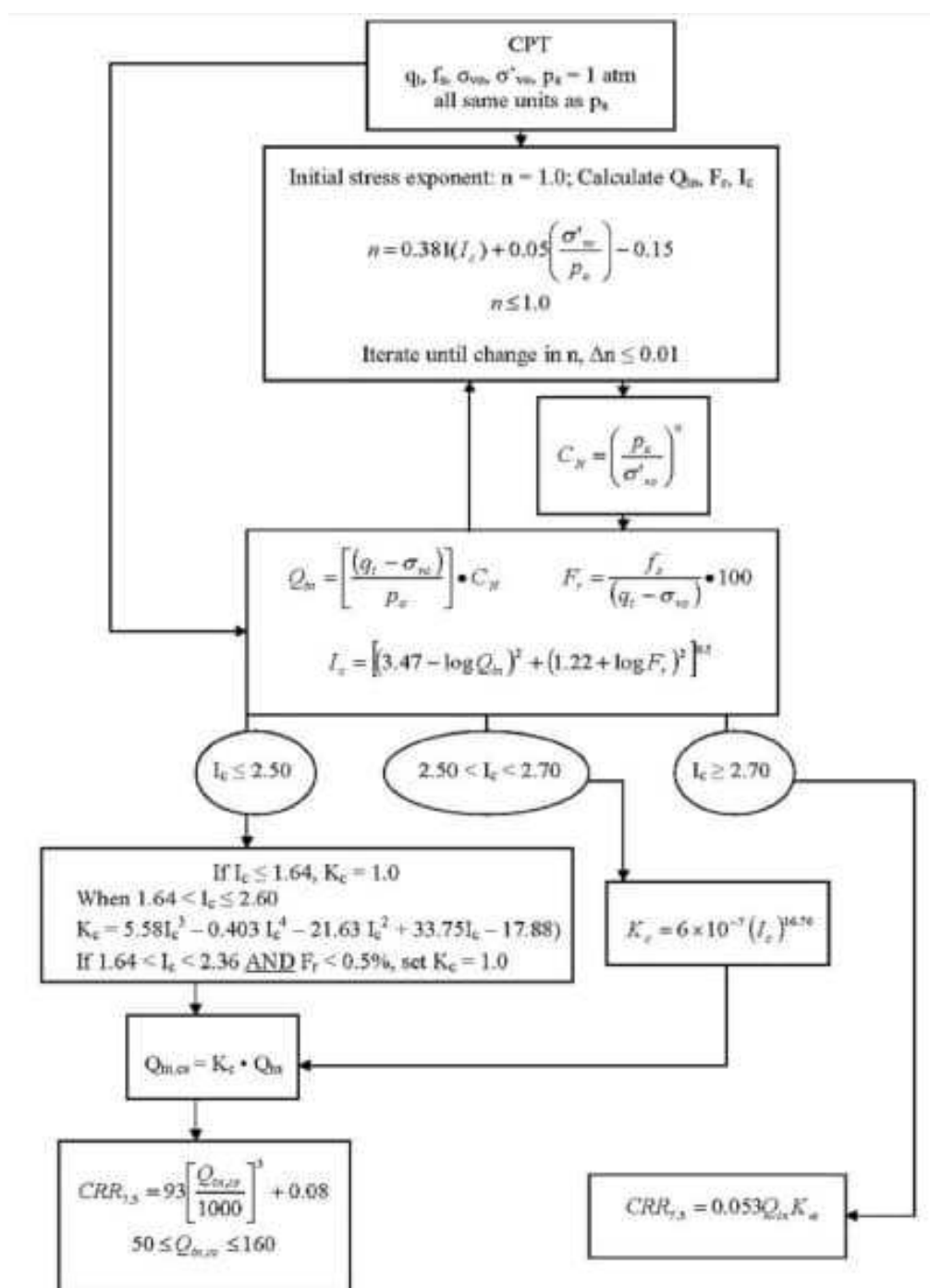


Fig. 183 - Flow chart della procedura di verifica NCEER modificata da Roberson (2009)

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. 184) della classificazione ZS9 dell'IMCS, che è pari a Mw=6.14.



Fig. 184 - 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.

3.6.1 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. 185):

- 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	Aprile 2023	3	209 di 235

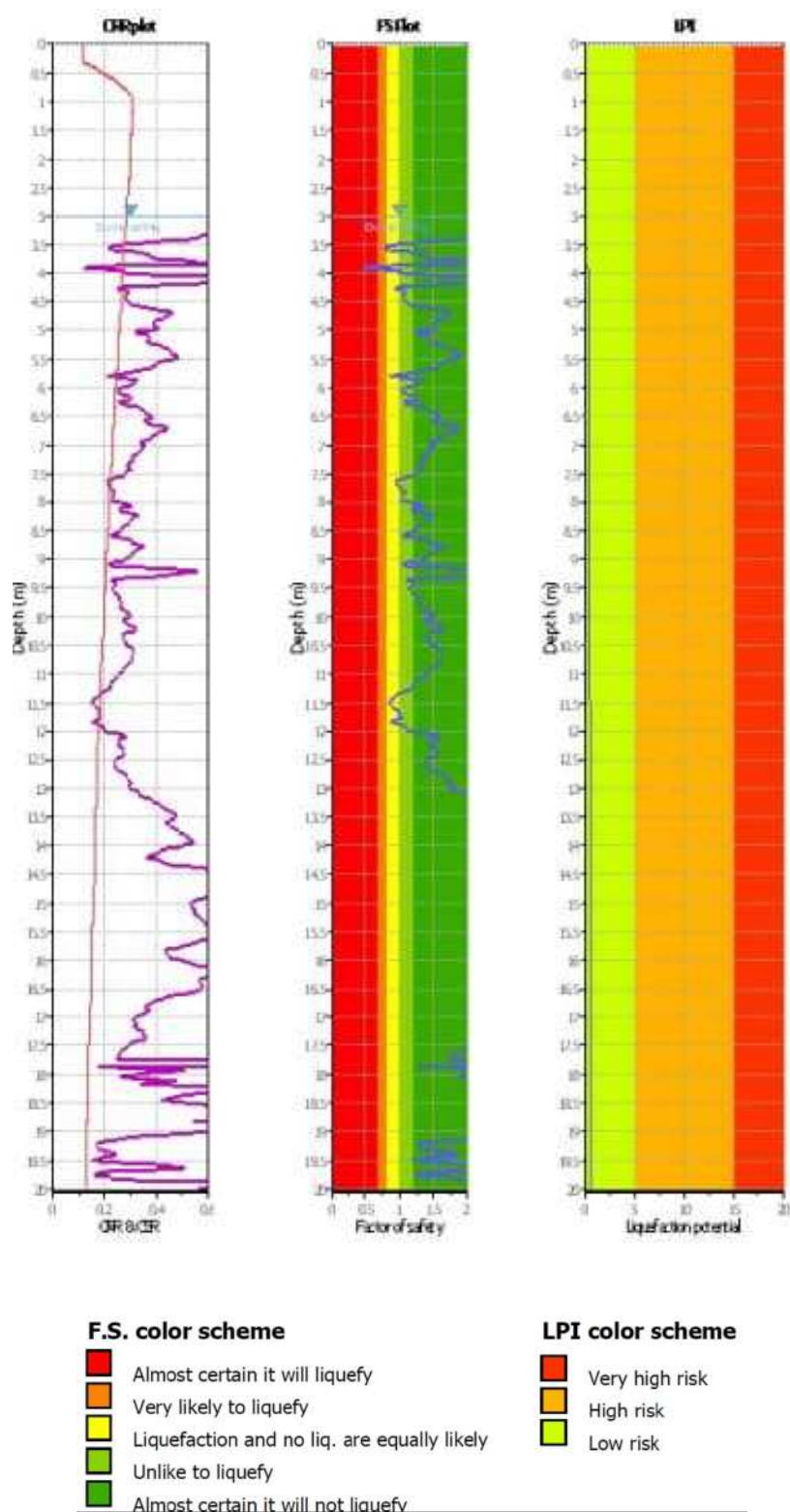


Fig. 185 – Grafici di CSR-CRR, dei fattori di sicurezza FS e dell'indice di liquefazione (LPI), valutati per la prova 034027P935 (CPTU1)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	210 di 235



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. 174 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 uno 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 di 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
SCPTU_3	034027P931	0.00
SCPTU_4	034027P932	0.05
SCPTU_5	034027P933	0.03
SCPTU	034027P980	0.00



<i>Tipologia di prova</i>	<i>Codice prova</i>	<i>LPI</i>
SCPTU	034027P981	0.95
SCPTU	034027P983	0.29
CPTU	034027P990	0.06
CPTU	034027P991	0.15
CPTU	034027P992	0.11

Tab. 174 – Valori di LPI calcolati

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.

3.7 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.

È importante, tuttavia, precisare che i risultati in termini di amplificazione sismica riportati nei paragrafi precedenti sono riferiti ai soli modelli esposti nel § 3.5, cioè a modelli che tengono conto della sola sismostratigrafia riscontrata nei 41 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 litostratigrafici e geofisici.

I risultati in termini di liquefazione, discussi nel § 3.6.1, 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.

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.

3.7.1 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 alii¹¹, 2013 e Martelli et alii¹², 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:

- 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.

¹¹ L. Martelli, L. Calabrese, G. Ercolessi, P. Severi, G. Tarabusi, D. Pileggi, S. Rosselli, L. Minarelli, F. Pergalani, M. Compagnoni, G. Vannucchi, C. Madaia, 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

¹² L. Martelli, P. Severi, G. Biavati, S. Rosselli, R. Camassi, E. Ercolani, A. Marcellini, A. Tinto, 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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	213 di 235



- 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. 186.

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 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.
- Un quarto banco ghiaioso è presente alla profondità di 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. 187 e Fig. 188.

 ENGEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato MS 3 - Relazione illustrativa	Data Aprile 2023	Agg. 3	Pag. 214 di 235
--	---	--------------------------------	----------------------	-------------------------------

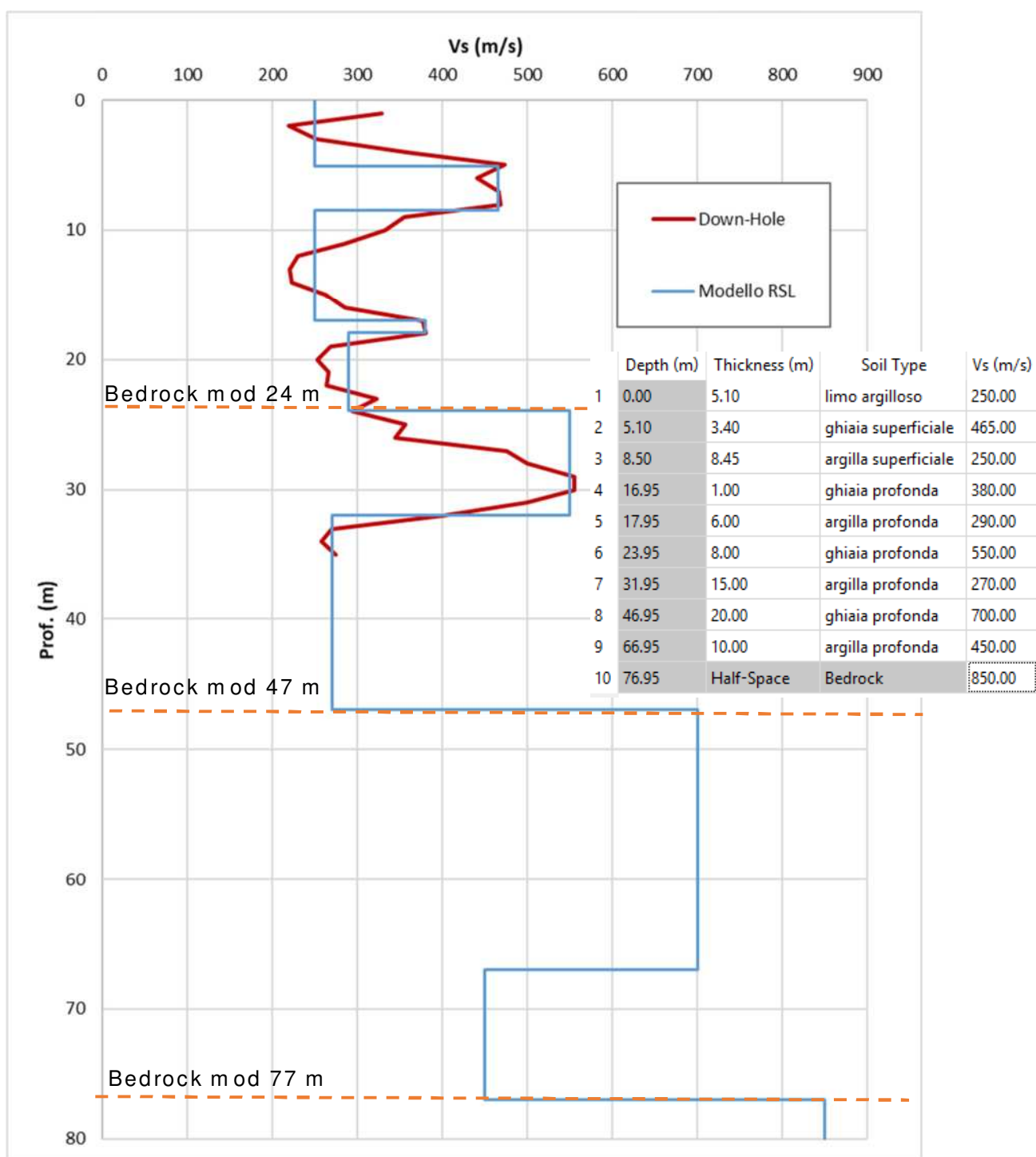


Fig. 186 – Modello di RSL



Il confronto tra gli spettri elastici in accelerazione (Fig. 187) 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.

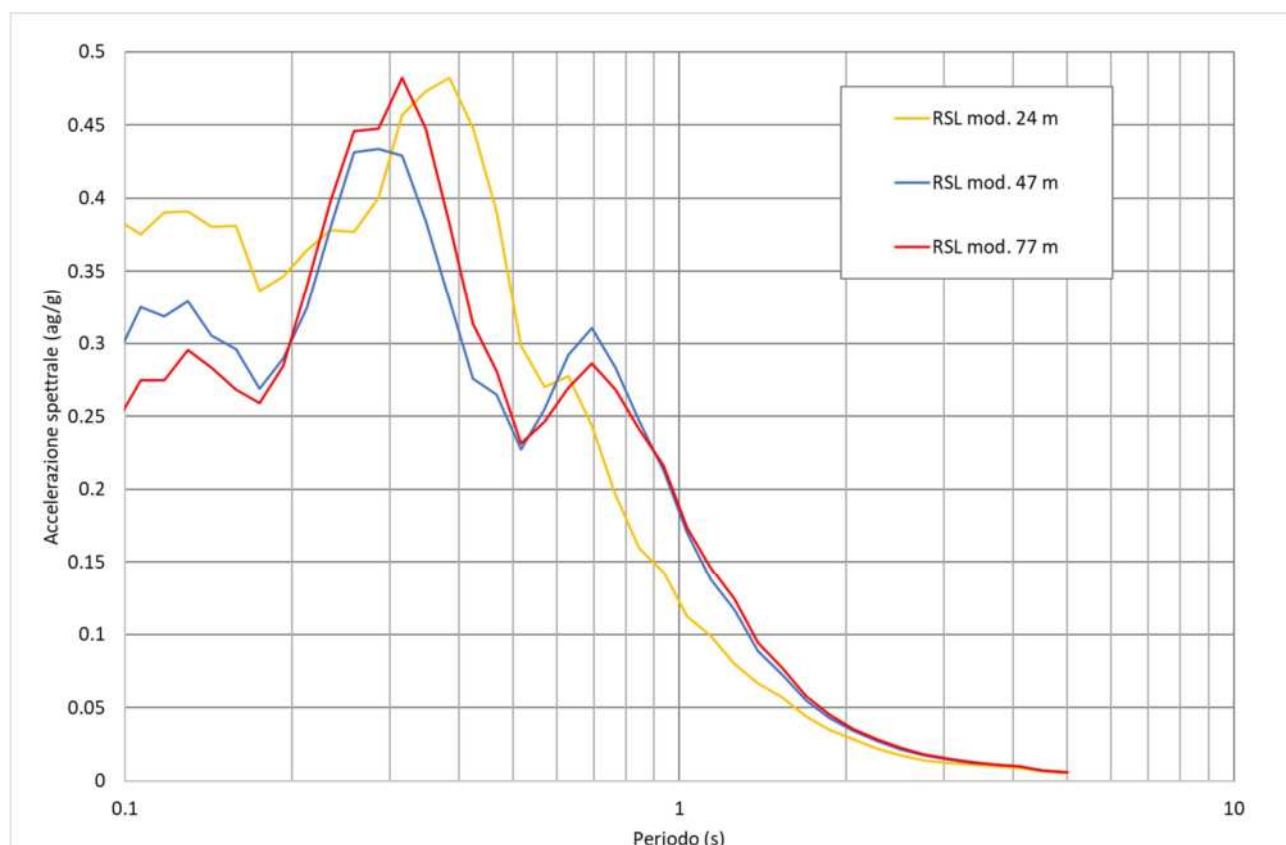


Fig. 187 – Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

Le maggiori differenze, tuttavia, si riscontrano analizzando gli spettri elastici in velocità, riportati in Fig. 188, 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. 175, 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).

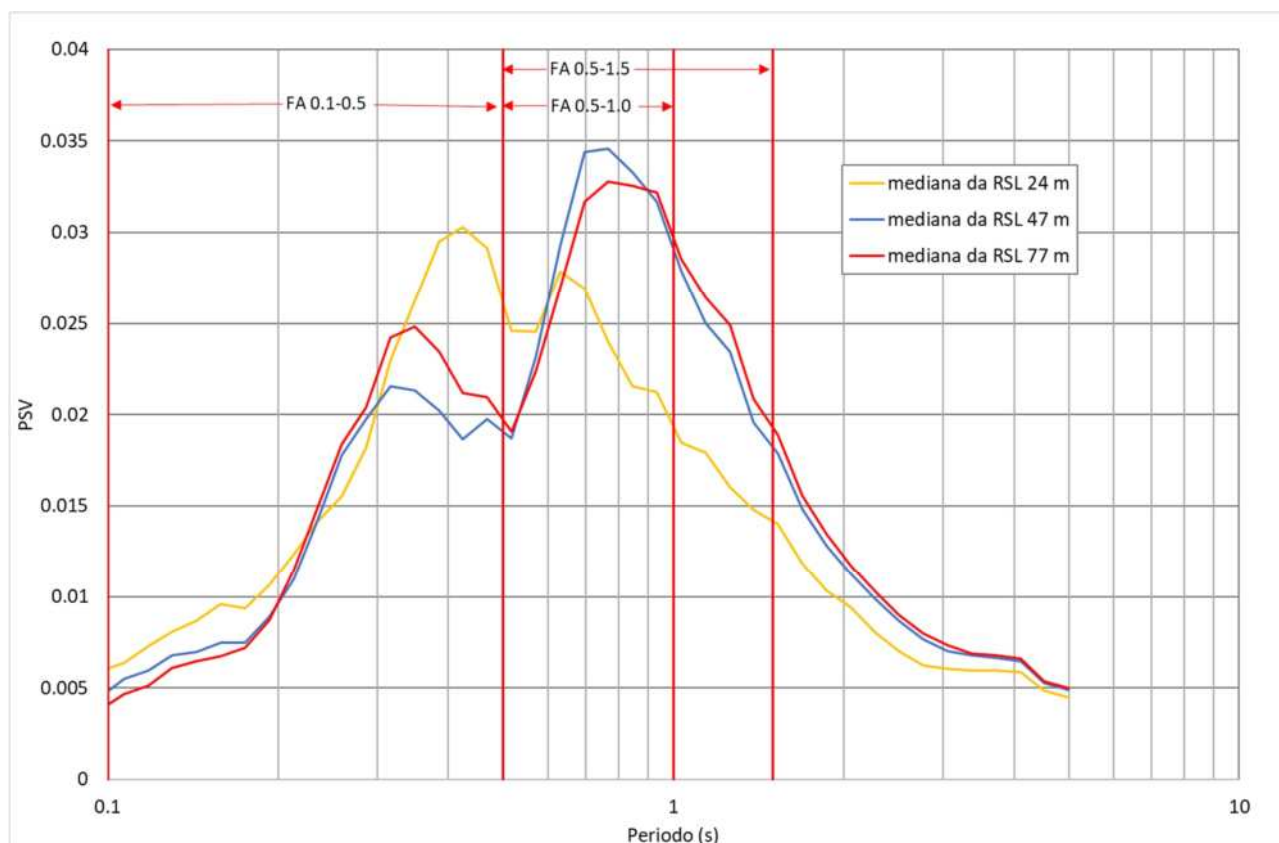


Fig. 188 – Confronto tra gli spettri elastici in velocità

	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. 175 – 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. 189.

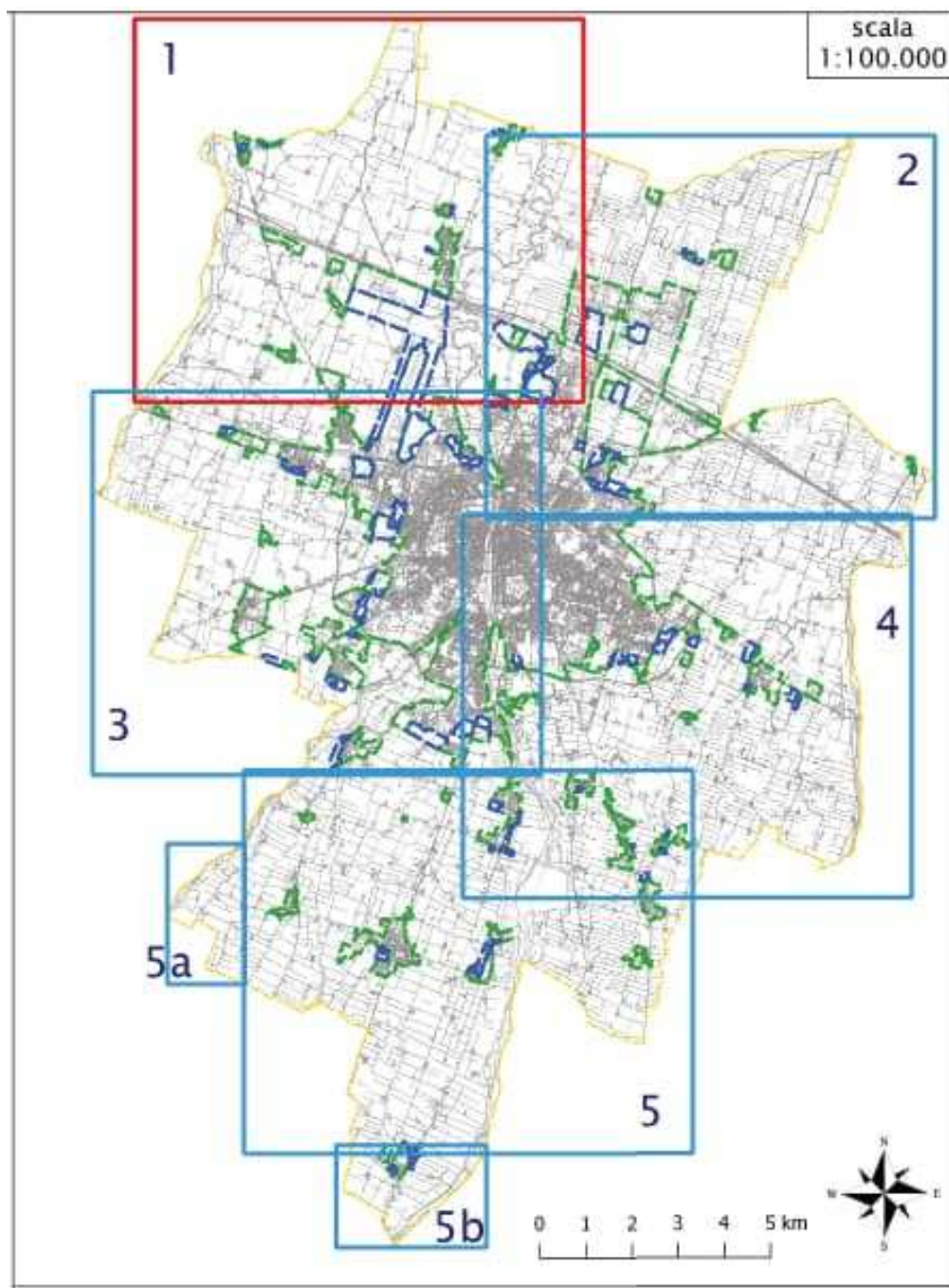


Fig. 189 – Quadro d'unione dei tagli delle tavole alla scala 1:10.000

	Elaborato MS 3 - Relazione illustrativa	Data Aprile 2023	Agg. 3	Pag. 218 di 235
---	---	--------------------------------	----------------------	-------------------------------



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. 190.

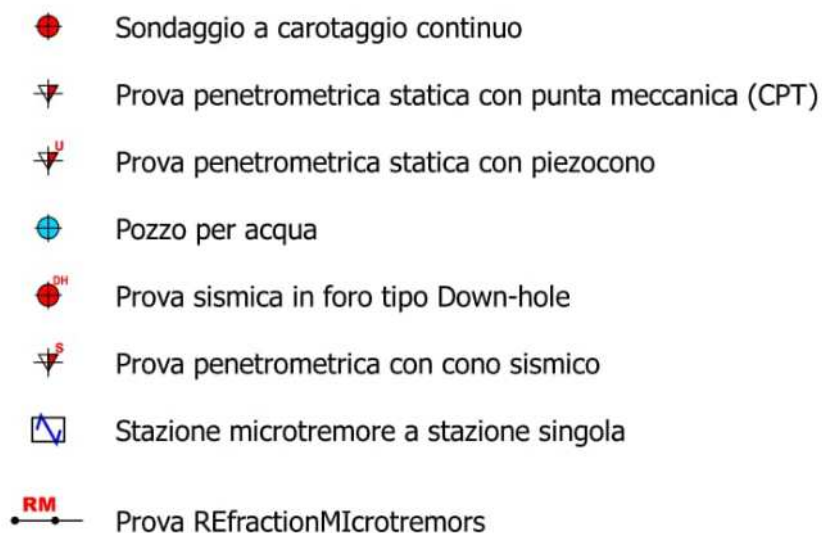


Fig. 190 – Legenda della Carta delle indagini

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

In Tab. 176 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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	219 di 235



<u>TIPO PROVA</u>	<u>provenienti da studio di 2° livello MS</u>	<u>provenienti da archivio comunale</u>	<u>provenienti da archivio Engeo</u>	<u>effettuate per il 3° livello MS</u>	<u>TOTALE</u>
Sondaggio a carotaggio continuo	198	3	14	2	210
Prove Down-Hole		5	15	2	22
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	4		4	28	36
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. 176 – 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
- $0.6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$ Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$ Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$ Hz
- $F_0 > 8$ Hz

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	220 di 235



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. 191.

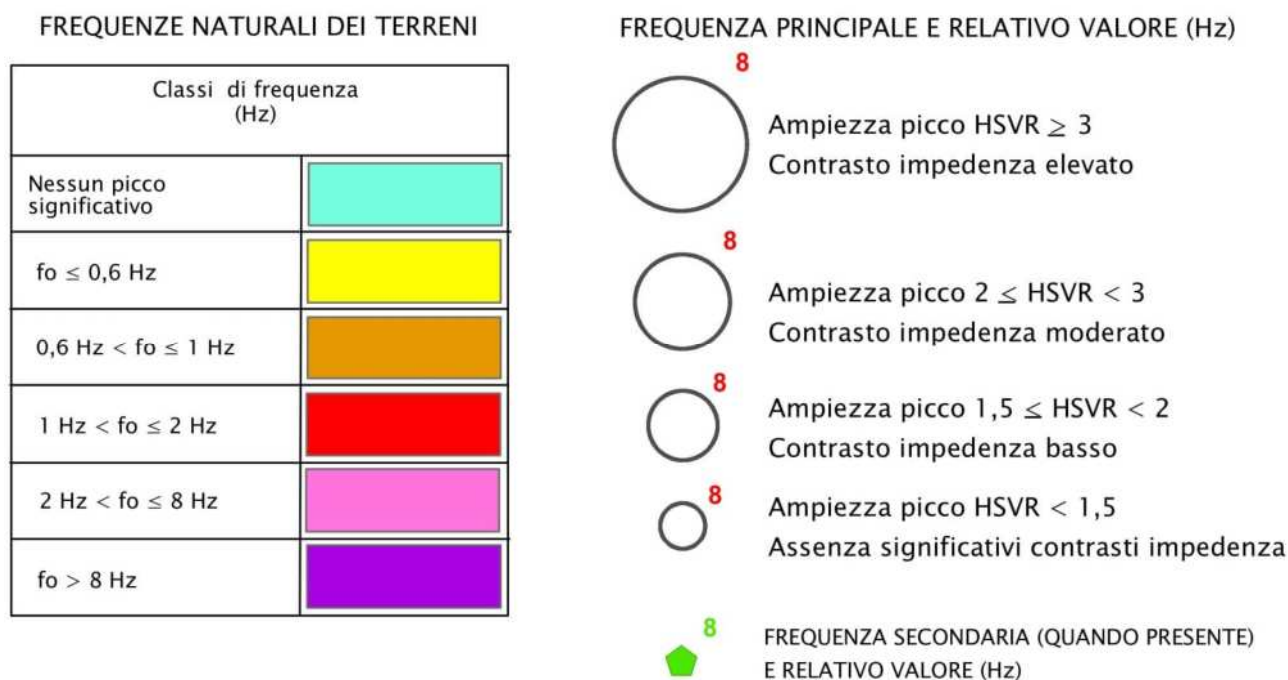


Fig. 191 – Legenda della Carta delle frequenze

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.
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.

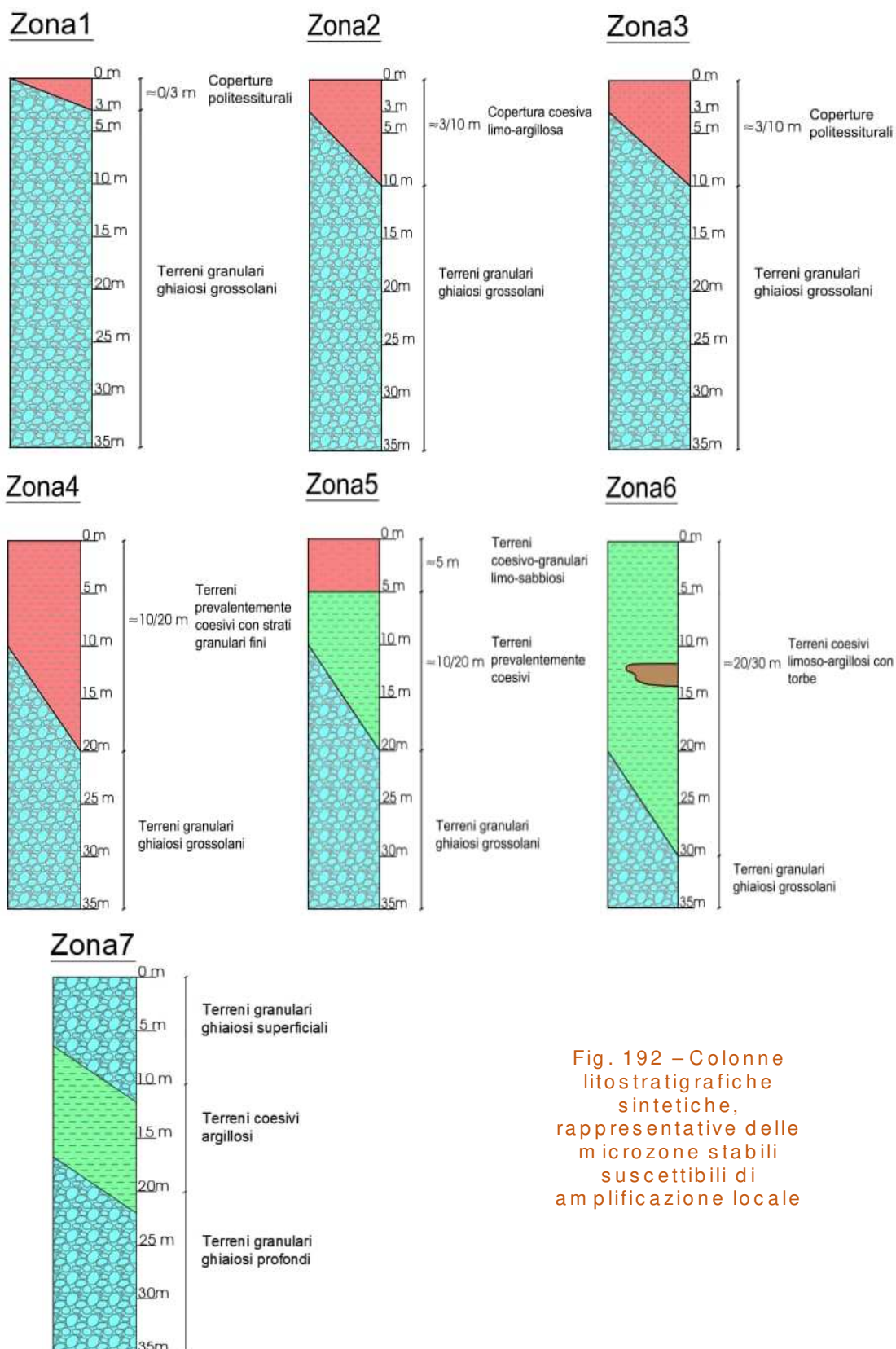


Fig. 192 – Colonne
litostratigrafiche
sintetiche,
rappresentative delle
microzone stabili
suscettibili di
amplificazione locale



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 tromografica, Down-Hole, ReMi e prova penetrometrica con sismo) e indicando il corrispondente valore di V_{sH} (in m/s), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

H = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*
 h_i = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*)
 V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*);

o di V_{s30} (sempre in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

h_i = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);
 V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

In carta si osserva come sia stata utilizzata V_{s30} nella zona Sud del comune, corrispondente alle Zone 1 e 2 della Carta delle MOPS, mentre V_{sH} 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. 193), 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.

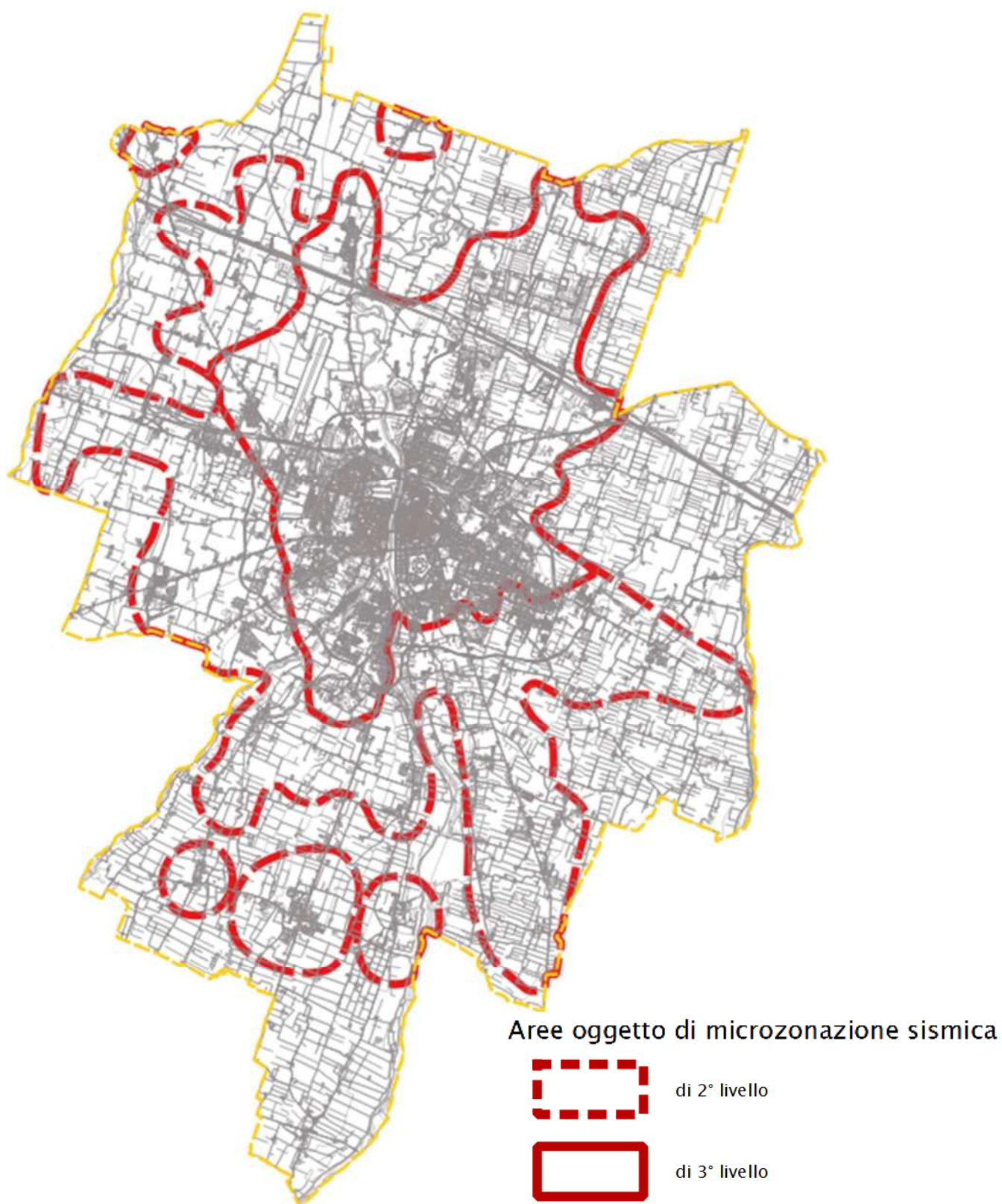


Fig. 193 – Suddivisione del territorio nei vari livelli di approfondimento

	Elaborato MS 3 - Relazione illustrativa	Data Aprile 2023	Agg. 3	Pag. 225 di 235
---	---	--------------------------------	----------------------	-------------------------------



Come precedentemente indicato, l'amplificazione è stata calcolata per un tempo di ritorno $T_R = 475$ anni, con smorzamento $\zeta = 5\%$, relativamente ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- $FA_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
- $FA_{SA} = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - $SA1$ per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - $SA2$ per $0,4s \leq T \leq 0,8s$,
 - $SA3$ per $0,7s \leq T \leq 1,1s$,
 - $SA4$ per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
- $FHSI = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - $SI1$ per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - $SI2$ per $0,5s \leq T \leq 1,0s$,
 - $SI3$ per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

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. 194 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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	226 di 235



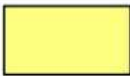
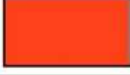
Parametro di amplificazione ²⁹	Simbolo
1.1 – 1.2	
1.3 – 1.4	
1.5 – 1.6	
1.7 – 1.8	
1.9 – 2.0	
2.1 – 2.2	
2.3 – 2.4	
2.5 – 3.0	
3.1 – 3.5	
>3.5	

Fig. 194 – 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. 195, descritte nel § 0 e facenti parte dell'Allegato 23.

Verticale di verifica alla liquefazione con indicato il valore di IL

-  IL ≤ 2
-  2 < IL ≤ 5

Fig. 195 – Legenda adottata per la visualizzazione della verifica alla liquefazione

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	227 di 235



4.6 Carte dello scuotimento atteso

Quali ultimi elaborati grafici, come prescritto dalla DGR 630/2019, sono state redatte delle carte della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2).

Tale parametro è definito come il prodotto dell'*Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione, calcolato per un determinato intervallo di periodi, diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

Gli intervalli di periodi considerati sono:

- $0,1\text{s} \leq T \leq 0,5\text{s}$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - H_{SM}),
- $0,4\text{s} \leq T \leq 0,8\text{s}$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,4-0,8\text{s}}$),
- $0,7\text{s} \leq T \leq 1,1\text{s}$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,7-1,1\text{s}}$),
- $0,5\text{s} \leq T \leq 1,5\text{s}$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM\ 0,5-1,5\text{s}}$),

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, per $0,1\text{s} \leq T \leq 0,5\text{s}$, per i punti della griglia INGV, per un tempo di ritorno T_R uguale a 475 anni (corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni), sono forniti dal file *all_4_coord.kmz*, nella cartella *Allegato_4.zip*, disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

Per gli altri intervalli di periodo sono, invece, stati calcolati, sempre per $T_R = 475$ anni, dallo spettro su suolo A utilizzando i dati di accelerazione spettrale ($Se(T)$) forniti da INGV¹³ nell'ambito degli studi per la redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274.

In particolare, considerato che i dati di accelerazione spettrale vengono forniti per periodi di 0.10, 0.15, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.50, 2.00 secondi, per valutare i valori di ASI negli intervalli di periodo sopra citati è stato necessario procedere a interpolazioni, per ottenere i valori a 0.7, 0.8 e 1.1 secondi.

Una volta calcolati, i valori di H_{SM} sono stati riportati nelle varie carte di scuotimento atteso, grazie a un'etichetta riferita a ciascun poligono esaminato; mentre il colore indica l'appartenenza dello stesso a una delle classi con intervallo pari a 100 definite dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

¹³ Montaldo V., Meletti C., 2007. Valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D3, <http://esse1.mi.ingv.it/d3.html>





Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

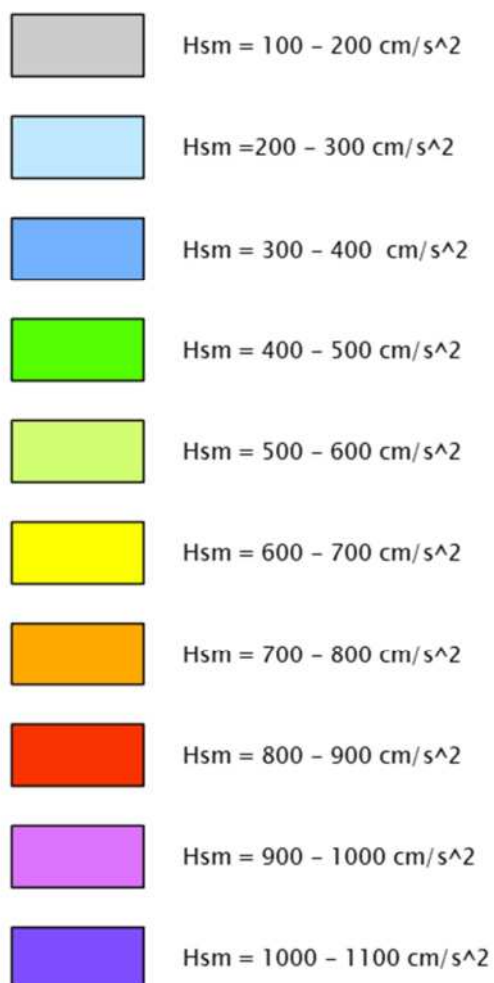


Fig. 196 – Legenda adottata per l'accorpamento dei valori di H_{SM}



5. BIBLIOGRAFIA

- Albarelo 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
- Boulanger, R. W. and Idriss, I. M. (2014) "CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures", Report UCD/CGM - 14/01, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA, 138 pp.
- 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
- Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004). Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes. Proceedings 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Berkeley, 32-56.
- 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): BDM11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano, Bologna
<http://Emidius.mi.ingv.it/DBM11>





- Marcellini A., Martelli L., Tenta A., Daminielli 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 SISMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici
- 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
- Robertson, P.K. and Wride, C.E., (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3): 442-459.
- Robertson, P.K., (2010). Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied strength Using the Cone Penetration Test. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 136(6): 842-853
- Robertson P.K., Cabal K.L. (2015) "Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering 6th edition. Gregg Drilling & testing Inc.
- 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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	231 di 235



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 - FH_{PGA}	1:25.000
5a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH_{PGA}	1:10.000
5b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH_{PGA}	1:10.000
5c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH_{PGA}	1:10.000



5d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH_{PGA}	1:10.000
5e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH_{PGA}	1:10.000
6	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:25.000
6a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
6b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
6c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
6d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
6e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
7	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.4s < T_0 < 0.8s}$	1:25.000
7a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.4s < T_0 < 0.8s}$	1:10.000
7b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.4s < T_0 < 0.8s}$	1:10.000
7c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.4s < T_0 < 0.8s}$	1:10.000
7d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.4s < T_0 < 0.8s}$	1:10.000
7e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.4s < T_0 < 0.8s}$	1:10.000
8	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.7s < T_0 < 1.1s}$	1:25.000
8a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.7s < T_0 < 1.1s}$	1:10.000
8b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.7s < T_0 < 1.1s}$	1:10.000
8c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.7s < T_0 < 1.1s}$	1:10.000
8d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.7s < T_0 < 1.1s}$	1:10.000
8e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.7s < T_0 < 1.1s}$	1:10.000
9	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:25.000
9a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
9b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
9c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
9d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
9e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
10	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{SI\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:25.000
10a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{SI\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
10b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{SI\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
10c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{SI\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
10d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{SI\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
10e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{SI\ 0.1s < T_0 < 0.5s}$	1:10.000
11	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}$	1:25.000



11a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}$	1:10.000
11b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}$	1:10.000
11c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}$	1:10.000
11d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}$	1:10.000
11e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}$	1:10.000
12	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:25.000
12a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
12b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
12c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
12d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
12e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.5s}$	1:10.000
13	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - H_{SM}	1:25.000
13a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - H_{SM}	1:10.000
13b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - H_{SM}	1:10.000
13c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - H_{SM}	1:10.000
13d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - H_{SM}	1:10.000
13e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - H_{SM}	1:10.000
14	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.4s-0.8s}$	1:25.000
14a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.4s-0.8s}$	1:10.000
14b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.4s-0.8s}$	1:10.000
14c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.4s-0.8s}$	1:10.000
14d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.4s-0.8s}$	1:10.000
14e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.4s-0.8s}$	1:10.000
15	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.7s-1.1s}$	1:25.000
15a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.7s-1.1s}$	1:10.000
15b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.7s-1.1s}$	1:10.000
15c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.7s-1.1s}$	1:10.000
15d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.7s-1.1s}$	1:10.000
15e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.7s-1.1s}$	1:10.000
16	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.5s-1.5s}$	1:25.000
16a	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.5s-1.5s}$	1:10.000
16b	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.5s-1.5s}$	1:10.000
16c	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.5s-1.5s}$	1:10.000





16d	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.5s-1.5s}$	1:10.000
16e	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.5s-1.5s}$	1:10.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati

- Allegato 17 – Prove HVSR, in cui sono riportati tutti i report delle nuove indagini tromografiche effettuate.
- Allegato 18 – Stratigrafie sondaggi, con la stratigrafia dei sondaggi realizzati specificamente per il presente studio.
- Allegato 19 – Prove Down-Hole, contenente i risultati delle prove Down-Hole effettuate nei fori di sondaggio.
- Allegato 20 – Analisi di laboratorio, contenente i certificati delle analisi geotecniche effettuate sui campioni prelevati nei sondaggi.
- Allegato 21 – Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono.
- Allegato 22 – Prove penetrometriche con sismocono.
- Allegato 23 – Verifiche liquefazione, per le prove penetrometriche realizzate ex-novo oltre a 6 prove dell'archivio Engeo.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Aprile 2023	3	235 di 235