

VARIANTE AL LOTTO N°2 DEL COLLEGAMENTO PEDONALE DAL CENTRO STORICO DEL CAPOLUOGO ALLE AREE DEI SERVIZI PUBBLICI LUNGO VIALE GRAMSCI

Relazione geologica

INDICE GENERALE

1.-PREMESSA.....	3
1.1.-Campagna geognostica a supporto del progetto originale (2021).....	4
1.2.-Campagna geognostica a supporto della Variante al Lotto n°2 (2026).....	4
2.-INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	4
3.-INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	5
4.-PERICOLOSITA' DELL'AREA E FATTIBILITÀ DELLE TRASFORMAZIONI.....	6
4.1.-Pericolosità geologica.....	6
4.2.-Pericolosità da alluvioni.....	6
4.3.-Pericolosità sismica.....	7
4.4.-Criteri generali di fattibilità.....	8
5.-DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO.....	11
6.-VARIANTE AL LOTTO N°2.....	11
7.-INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO AI SENSI DEL DPGR 19/1/2022 N. 1/R.....	12
8.-INDAGINI A DISPOSIZIONE.....	12
9.-INDAGINI GEOGNOSTICHE CONDOTTE A SUPPORTO DEL PRESENTE PROGETTO.....	12
9.1.-Indagini condotte nell'anno 2021.....	12
9.2.-Indagini condotte nell'anno 2026.....	13
9.3.-Sondaggi a carotaggio continuo.....	15
9.3.1.-Sondaggi eseguiti nel 2021.....	15
9.3.2.-Sondaggio eseguito nel 2026.....	17
9.4.-Prove geotecniche di laboratorio.....	19
9.4.1.-Campagna di indagine del 2021.....	19
9.4.2.-Campagna di indagine del 2026.....	22
9.5.-Prove penetrometriche CPT.....	23
9.5.1.-Campagna di indagine del 2021.....	23
9.5.2.-Campagna di indagine del 2021, a supporto della Variante al Lotto n°2.....	24
9.6.-Prove penetrometriche CPTU.....	25
9.7.-Indagini sismiche down-hole.....	25

9.7.1.-Campagna di indagine del 2021.....	25
9.7.2.-Indagine sismica down-hole condotta nel 2026 a supporto della Variante al Lotto n°2.....	25
9.8.- <i>Profili sismici a rifrazione</i>	26
9.9.- <i>Indagini di sismica passiva HVSR</i>	26
10.-SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	26
11.-CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	28
11.1.- <i>Categoria topografica</i>	29
12.-RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	30
12.1.- <i>Classificazione sismica della zona in esame</i>	30
12.2.- <i>Analisi di Risposta Sismica locale per la torre ascensore di monte (via Bellincioni, 2021)</i>	30
12.2.1.-Risposta sismica locale – Stato Limite SLD.....	31
12.2.1.1.-Procedura di analisi.....	31
12.2.1.2.-Risultati della RSL: stato limite SLD.....	35
12.2.2.-Risposta Sismica Locale: Stato Limite SLV.....	38
12.2.2.1.-Procedura di analisi.....	38
12.2.2.2.-Risultati della RSL: stato limite SLV.....	40
12.3.- <i>Analisi di Risposta Sismica locale per le torri ascensore di valle (viale Gramsci, 2021)</i>	43
12.3.1.-Risposta sismica locale.....	43
12.3.1.1.-Procedura di analisi.....	43
12.3.1.2.-Risultati della RSL: stato limite SLD.....	47
12.3.2.-Risposta Sismica Locale – Stato Limite SLV.....	50
12.3.2.1.-Procedura di analisi.....	50
12.3.3.-Risultati della RSL: stato limite SLV.....	52
12.4.- <i>Analisi di Risposta Sismica locale per la torre ascensore di valle (viale Gramsci, 2026, condotta a nell'ambito della Variante al Lotto n°2)</i>	55
12.4.1.-Configurazione stratigrafica: Torre di valle 1D n.....	55
12.4.1.1.-Modello numerico.....	55
12.4.1.1.1.-Proprietà meccaniche dei materiali.....	55
12.4.1.1.2.-Curve di decadimento.....	57
12.4.1.1.3.-Sequenza stratigrafica.....	57
12.4.2.-Verifiche ai diversi stati limite.....	58
12.4.2.1.-Verifiche SLO.....	58
12.4.2.2.-Verifiche SLD.....	60
12.4.2.3.-Verifiche SLV.....	61
12.4.2.4.-Verifiche SLC.....	64

12.4.3.-Considerazioni sull'analisi di Risposta Sismica Locale.....	65
13.-MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DELL'AREA DI VALLE.....	66
14.-REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.....	66
15.-VALUTAZIONI GEOLOGICHE SULL'INTERVENTO IN PROGETTO.....	67
16.-CONCLUSIONI.....	68

Allegati:

Appendice 1 –	Carta geologica
Appendice 2 –	Carta geomorfologica
Appendice 3 –	Pericolosità geologica
Appendice 4 –	Pericolosità idraulica
Appendice 5 –	Interventi per la messa in sicurezza idraulica
Appendice 6 –	Pericolosità sismica
Appendice 7 –	Indagini geognostiche a disposizione
Appendice 8 –	Prove penetrometriche CTP e CPTU
Appendice 9 –	Sondaggi a carotaggio continuo
Appendice 10 –	Prove geotecniche di laboratorio
Appendice 11 –	Indagini sismiche
Appendice 12 –	Estratto dalla Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2
Appendice 13 –	Torre ascensore di monte: valori dello spettro di risposta elastico da RSL allo SLD
Appendice 14 –	Torre ascensore di monte: valori dello spettro di risposta elastico da RSL allo SLV
Appendice 15 –	Torre ascensore di valle: valori dello spettro di risposta elastico da RSL allo SLD
Appendice 16 –	Torre ascensore di valle: valori dello spettro di risposta elastico da RSL allo SLV
Appendice 17 -	Torre ascensore di valle: valori dello spettro di risposta elastico da RSL allo SLO, SLD, SLV, SLC (Aggiornamento Aprile 2026)

Tavola Unica fuori testo – PLANIMETRIA GENERALE E MODELLO GEOLOGICO

1.- PREMESSA

Il presente studio geologico è stato redatto originariamente nel marzo 2022 a supporto del progetto complessivo (suddiviso in 2 lotti) per il collegamento pedonale tra il centro storico di Peccioli e le aree dei servizi pubblici, ubicate al piede del rilievo collinare, lungo Viale Gramsci ed integrato e aggiornato nell'aprile 2026 in occasione della Variante al lotto 2, riguardante la realizzazione del collegamento sotterraneo tra le torri-ascensore di valle e le aree comunali poste a valle del Viale Gramsci (Strada Provinciale 64 della Fila).

Tale progetto rappresenta la fase attuativa della previsione urbanistica approvata con la Variante Parziale al Piano Operativo per il comparto in esame (Scheda 29), redatta nel settembre 2021 ai sensi del DPGR 30/01/2020 n. 5/R e rappresenta il completamento del sistema di risalita

meccanizzata e pedonale che collega l'area a servizi adiacente il Viale Gramsci con il centro storico di Peccioli.

1.1.- Campagna geognostica a supporto del progetto originale (2021)

Partendo dal quadro conoscitivo rappresentato da numerose indagini già esistenti nella zona ed effettuate per la costruzione della passerella già esistente, nel 2021 è stata approfondita la conoscenza delle caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche in corrispondenza dell'area di intervento attraverso l'esecuzione di una specifica campagna d'indagine composta da:

- 4 sondaggi a carotaggio continuo,
- 4 prove penetrometriche CPT,
- 9 prove CPTU,
- 2 indagini sismiche in foro (down-hole),
- 2 indagini sismiche passive a stazione singola (HVSr),
- 2 indagini sismiche a rifrazione (onde P e S).

1.2.- Campagna geognostica a supporto della Variante al Lotto n°2 (2026)

Nel marzo 2026, a supporto della Variante al progetto del Lotto 2 è stata condotta una seconda indagine geognostica costituita da:

- 1 sondaggio a carotaggio continuo
- 1 indagine sismica in foro (down-hole)
- 5 prove penetrometriche CPT

I dati acquisiti sono stati integrati con le indagini già a disposizione lungo il versante, recuperati dal progetto del percorso pedonale già realizzato a monte di quello in esame e dalla banca dati delle indagini geognostiche di supporto al Piano Strutturale comunale.

2.- INQUADRAMENTO NORMATIVO

- Piano Strutturale del Comune di Peccioli;
- Piano Operativo del Comune di Peccioli;
- Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Chianni, Lajatico, Peccioli e Terricciola adottato nell'aprile 2023;

- Classificazione sismica della Toscana, DGRT n. 421 del 26/05/2014;
- PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- PAI Dissesti dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n.1/R: "Regolamento di attuazione dell'Art. 181, della L.R. 10 novembre 2014 n.65";
- D.M. 17 gennaio 2018, T.U. "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circolare C.S.L.P. 21 gennaio 2019, n. 7: "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

3.- INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame si sviluppa tra la via Bellincioni e la S.P. posta al piede del versante, lungo un pendio dalla pendenza generalmente costante da via Bellincioni fino all'intersezione con via Leonardo da Vinci, a valle della quale l'acclività aumenta fino alla zona di fondovalle.

La zona ha forma di impluvio naturale, al centro del quale è presente una linea di scolo censita dalla Regione Toscana nel Reticolo Idrografico di riferimento definito ai sensi della LR 79/2012.

Considerata la pendenza dell'area e la natura dei terreni affioranti, il corso d'acqua si presenta localmente inciso, con sponde marcate di altezza superiore ad 1 m.

Nella zona affiorano depositi di versante di spessore variabile, sovrapposti su terreni maggiormente sabbiosi nella porzione posta a quote più elevate, che passano a litologie prevalentemente argillose nella zona di valle.

Sul versante in esame sono note lenti discontinue di natura torbosa che localmente hanno determinato alcune criticità in occasione di scavi e movimenti terra che le hanno portate in superficie, a causa del conseguente rapido decadimento delle caratteristiche fisico-meccaniche di tali terreni.

Le indagini geognostiche disponibili, rappresentate prevalentemente da sondaggi a carotaggio continuo, mettono in luce le fitte alternanze di litologie coesive con altre maggiormente sabbiose, con conseguenti variazioni della permeabilità secondo la profondità.

Il lato meridionale dell'area risulta bordato da rilevanti muri di contenimento, caratterizzati da locali perdite di verticalità e una generale scarsa manutenzione, che sostengono i giardini e le zone a verde delle abitazioni adiacenti; dagli stessi muri emergono diversi tubi di scarico delle acque reflue che successivamente proseguono, nella zona di interesse del presente lavoro, in sotterraneo.

La presenza di zone ricche di acqua, con locali ristagni (evidenziati anche dalla tipica vegetazione spontanea) lascia supporre che tali tubazioni possano disperdere (per rotture o scollegamenti) le loro acque nel suolo che vanno poi ad accumularsi e ad emergere in corrispondenza dei livelli argillosi impermeabili.

In generale il versante non presenta fenomeni di dissesto attivo ma denota condizioni di criticità in relazione al particolare assetto stratigrafico.

La zona di fondovalle, prossima alla viabilità provinciale, si presenta pressoché pianeggiante, con una marcata scarpata a valle della stessa Strada Provinciale: ciò discende dalle modellazioni antropiche condotte a seguito della realizzazione dell'asse viario e la livellazione delle zone più a

monte alle quote del rilevato stradale. In tali zone sono presenti terreni di riporto posti al di sopra di depositi di versante depositati a seguito dell'erosione del pendio adiacente.

4.- PERICOLOSITA' DELL'AREA E FATTIBILITÀ DELLE TRASFORMAZIONI

Nell'ambito della Variante parziale al Piano Operativo comunale che ha interessato la Scheda n.29, riferita all'area in esame, sono state definite le pericolosità della zona e le relative condizioni di fattibilità, ai sensi del DPGR 30/01/2020 n.5/R, qui di seguito riportate.

4.1.- Pericolosità geologica

Nel Piano Strutturale vigente, in relazione all'acclività del pendio ed alla natura dei terreni affioranti (in cui sono noti orizzonti discontinui di argille torbose) nonché alla presenza di una coltre detritica di spessore variabile, è stata ricondotta alla Classe G3 – pericolosità elevata, come definita nel DPGR 53/R/2011.

Considerata tale situazione, anche in relazione alle caratteristiche del terreno valutate attraverso le indagini geognostiche a disposizione, ai sensi del DPGR 30/1/2020 n.5/R all'area può essere confermata la Classe di Pericolosità G3 (pericolosità elevata).

Nel Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Chianni, Lajatico, Peccioli e Terricciola, adottato nell'aprile 2023, redatto ai sensi del DPGR 30/01/2020 n.5/R sono confermate tali valutazioni di pericolosità geologica.

4.2.- Pericolosità da alluvioni

Nell'aggiornamento della Pericolosità idraulica condotto nell'ambito del Piano Operativo, gran parte dell'area ricade nella Classe I2 (pericolosità media) come definita nel DPGR 53/R/2011, mentre in adiacenza della sponda sinistra del corso d'acqua presente è individuata una fascia ricadente nella Classe I4 (pericolosità molto elevata), ampia fino a circa 20 m.

Dal momento che tali studi idraulici sono di recente redazione e risultano conformi alle direttive del PGRA del Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale possono essere ritenuti sufficienti per la presente variante urbanistica: le aree interessate dalle esondazioni per tempi di ritorno trentennali ricadono nella Classe P3 (alluvioni frequenti), quelle interessate dalle esondazioni per tempi di ritorno duecentennali ricadono nella Classe P2 (alluvioni poco frequenti) mentre le altre ricadono nella Classe P1 (alluvioni rare o di estrema intensità).

La magnitudo idraulica per le aree interessate dalle esondazioni è stata valutata considerando i soli battenti attesi, in quanto non sono disponibili i valori di velocità delle acque. A tal proposito sono stati considerati gli intervalli appositamente definiti dalla LR 41/2018 (magnitudo moderata per battenti minori di 30 cm, severa per battenti compresi tra 30 e 50 cm, molto severa per battenti superiori a 50 cm): nelle aree di variante è da considerarsi moderata nelle zone lungo il versante, con ridotte zone in magnitudo severa e molto severa nella parte di valle.

Per la messa in sicurezza idraulica sono state individuate due soluzioni alternative:

- la soluzione 1 prevede la compensazione dei volumi delle acque di esondazione spostati dalle trasformazioni, il cui valore massimo è stato stimato in 264 m^3 , nella zona di valle adiacente alla S.P. 64. Le aree qui considerate risultano esterne alla fascia di 10 m dal corso d'acqua in quanto, all'interno di tale limite non sono possibili scavi e modellamenti del terreno (RD 523/1904, art.3 LR 41/2018). Tali interventi potranno essere realizzati con ribassamento della quota del terreno naturale oppure attraverso cisterne/vasche poste sotto infrastrutture lineari o loro pertinenze (viabilità, percorsi ciclo/pedonali e parcheggi) in grado di accumulare naturalmente tali volumi, la cui reale entità potrà essere definita nell'ambito della progettazione esecutiva delle trasformazioni. La posizione di tali accumuli permetterà lo scarico delle acque nel corso d'acqua esistente attraverso una scarico di ridotte dimensioni in grado restituire gradualmente le acque senza sovraccaricare il reticolo idraulico locale. La superficie individuata presenta una superficie di circa 560 m^2 , con un ribassamento medio previsto per la compensazione dei volumi d'acqua di circa 47 cm.
- la soluzione 2, alternativa in tutto o in parte alla soluzione 1, prevede la rimozione di un tratto del tombamento esistente, mantenendo solo la parte sottostante alla S.P. 64, che risulta essere quella di maggiori dimensioni (diametro di circa 1500 mm). Tale operazione dovrà prevedere l'adeguamento alle nuove portate di progetto del tratto a valle della viabilità, posto in adiacenza del depuratore comunale e oggi tombato: la progettazione coordinata di tali interventi (a monte ed a valle della S.P. 64) permetterà di individuare le soluzioni idrauliche in grado di definire le condizioni di rischio idraulico residuo per le diverse zone e provvedere, in caso di insufficienza per le portate definite per eventi con tempo di ritorno duecentennale (alluvioni poco frequenti), ad opere locali di mitigazione del rischio, quali quelle di compensazione dei volumi (nelle aree previste per la soluzione 1).

Entrambe le soluzioni sono in grado di perseguire la messa in sicurezza dell'area seppur con modalità diverse sia per le superfici impegnate che per la tempistica di attuazione.

In riferimento alle condizioni definite dal Settore Genio Civile Valdarno Inferiore, le soluzioni di messa in sicurezza individuate a livello di progettazione attuativa o esecutiva dovranno essere trasmesse allo stesso Settore, che procederà a verificare il corretto dimensionamento delle sopracitate opere per la gestione del rischio di alluvioni.

4.3.- Pericolosità sismica

Nel Piano Strutturale comunale alla zona è stata assegnata la Classe di Pericolosità S3 (pericolosità elevata) in ragione della coltre detritica presente e delle eterogeneità del substrato.

La pericolosità sismica dell'area è stata individuata a partire dai risultati dello studio di Microzonazione Sismica di livello 2, nel quale sono stati definiti i fattori di amplificazione locale per gli intervalli di frequenze da 1 e 5 Hz e tra 5 e 10 Hz, che risultano:

$$FA_{0105} = 2,1$$

$$FA_{0510} = 1,6$$

da cui:

$$F_{Amax} = 2,1$$

che determina l'assegnazione della Classe S3 (pericolosità elevata).

L'accelerazione (a_g) della zona riferita a tempi di ritorno di 475 anni risulta:

$$a_g = 0,125 \text{ g}$$

e pertanto si riferisce ad una *Pericolosità sismica di base* (P) bassa.

Considerando i dati a disposizione la pericolosità sismica locale può essere ricondotta a *zone stabili suscettibili di amplificazione con alto contrasto di impedenza sismica e altre tipologie di terreni (S3)* in ragione del particolare assetto stratigrafico.

Utilizzando i coefficienti definiti nella nell'Allegato 1 alla DGRT n.31 del 20/01/2020 si ottiene:

$$P = 1$$

$$I_{ploc} = 3$$

$$\text{da cui } IP = P + I_{ploc} = 4$$

A tale valore di IP corrisponde una Classe di Pericolosità (P2) pari a 2

4.4.- Criteri generali di fattibilità

Nell'ambito della Variante Parziale al Piano Operativo per la Scheda 29 sono state definite le condizioni alla fattibilità degli interventi nel comparto in esame, così riassumibili:

- Per gli aspetti geologici: Considerata la criticità dell'area in esame, gli interventi edilizi ed infrastrutturali qui localizzati dovranno essere supportati da rilievi e indagini geognostiche e geofisiche che implementino il quadro delle conoscenze nella zona di intervento, in ragione del particolare assetto stratigrafico e della presenza di depositi superficiali di natura e spessore variabile. A partire dai dati acquisiti dovranno essere condotte analisi volte alla verifica della stabilità del versante, in relazione alle trasformazioni previste.
Qualora si rendesse necessario prevedere opere di messa in sicurezza o di stabilizzazione del versante, queste dovranno:
 - a.1) non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
 - a.2) non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;
 - a.3) consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

Per gli eventuali interventi di messa in sicurezza del pendio dovrà essere predisposto un monitoraggio, esteso ad un periodo di almeno 18 mesi, che verifichi l'efficacia delle opere realizzate.

Il raggiungimento delle condizioni di sicurezza costituisce il presupposto per il rilascio di titoli abilitativi.

- Per gli aspetti idraulici: L'area risulta attraversata da un corso d'acqua inserito nel reticolo idrografico della Regione Toscana (LR 79/2012), alimentato prevalentemente dalle acque meteoriche raccolte dalle fognature bianche nel centro abitato sovrastante: gli studi idrologico-idraulici condotti nell'ambito del Piano Strutturale hanno evidenziato locali esondazioni potenziali dello stesso per eventi con tempo di ritorno trentennale (Tr30) e duecentennale (Tr200), con conseguente individuazione di zone a pericolosità da alluvioni poco frequenti P2 e da alluvioni frequenti P3:

In generale, gli interventi previsti sono soggetti ai contenuti della LR 24/7/2018 n.41 relativamente alla fascia di rispetto totale di 10m dal ciglio di sponda del corso d'acqua (art. 3), alla sicurezza gli interventi edilizi (art.11) ed infrastrutturali (art.13) rispetto alle possibili esondazioni.

Condizioni generali

Eventuali interventi nelle fasce di 10 m dal ciglio di sponda del corso d'acqua presenti, qualora compatibili con quanto definito dall'art. 3 della LR 41/2018, sono soggetti ad autorizzazione dell'Autorità Idraulica competente.

In tutta l'area, considerata la criticità di deflusso del corso d'acqua presente, eventuali convogliamenti di acque meteoriche dalle nuove zone impermeabilizzate dovranno perseguire l'invarianza idraulica delle trasformazioni.

Interventi ricadenti nelle Classi P2 e P3 di pericolosità

La fattibilità degli interventi nelle zone residenziali ricadenti nelle Classi P3 e P2 con magnitudo moderata, è subordinata alla gestione del rischio di alluvioni rispetto allo scenario per alluvioni poco frequenti; in particolare potranno essere realizzate opere idrauliche [LR 41/2018 art. comma 1 lettere a) e b)] che riducano la pericolosità della zona oppure opere di sopraelevazione [LR 41/2018 art. 8, comma 1 lettera c)] verificando il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree.

Nelle zone di valle interessate da pericolosità P3 e P2 con magnitudo severa e molto severa, eventuali interventi di nuova edificazione dovranno prevedere opere strutturali di messa in sicurezza sul corso d'acqua presente, secondo quanto definito dall'articolo 8 comma 1 lettere a) e b) della LR 41/2018.

In tali aree le infrastrutture lineari e a rete potranno essere

realizzate a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) (opere di messa in sicurezza idraulica del corso d'acqua) o c), relative a sopraelevazione senza aggravio nelle zone adiacenti..

Nelle stesse aree, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite:

- a) itinerari ciclopedonali, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;
- b) parcheggi in superficie, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;

Le opere per la gestione del rischio idraulico potranno prevedere, in alternativa, dei volumi di invaso delle acque di esondazione spostate dagli interventi, posti nella porzione di valle del comparto (in prossimità di Viale Gramsci) oppure attraverso l'adeguamento dell'attraversamento del corso d'acqua al di sotto della viabilità.

Interventi ricadenti nella Classe P1 di pericolosità

Nelle aree ricadenti nella Classe P1, nonostante l'assenza di particolari criticità, è comunque consigliato il rialzamento del piano di calpestio degli interventi di almeno 20 cm, al fine di aumentarne il livello di sicurezza.

- Per gli aspetti sismici: Considerati gli aspetti stratigrafici della zona nonché le potenziali amplificazioni locali emerse dallo studio di microzonazione sismica, in queste aree gli interventi edilizi ed infrastrutturali devono essere supportati da adeguate indagini geognostiche e verifiche geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti. Le caratteristiche di risposta sismica locale devono essere valutate a partire da una campagna di indagini geofisiche di superficie (quali, ad esempio, profili sismici a riflessione o rifrazione, prove sismiche in foro) che definisca geometrie e velocità sismiche dei litotipi presenti, al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica. E' opportuno che tale ricostruzione sia coerente con i risultati delle indagini geognostiche, al fine di restituire un modello geologico e geofisico unitario, che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti per valutare l'entità del (o dei) contrasti di rigidità sismica tra coperture e bedrock sismico o entro le coperture stesse.

5.- DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

Il percorso in progetto rappresenta il secondo troncone del sistema di collegamento pedonale dal centro storico dell'abitato di Peccioli, del quale la porzione a quote più elevate è già realizzata ed in corso di collaudo.

Il progetto in esame prevede di superare il dislivello tra il punto di partenza, posto a margine di via 8 Marzo, e la zona di valle attraverso un sistema di tratti orizzontati collegati da torri/ascensore, in parte sopraelevati ed in parte sotterranei.

Nel dettaglio, procedendo verso valle, l'intervento può essere così descritto, suddiviso in due lotti:

- Lotto 1
 - Via Bellincioni sarà superata attraverso una passerella sopraelevata, al cui termine sarà realizzata una torre/ascensore che condurrà in sotterraneo;
 - dall'arrivo del primo ascensore il percorso preseguirà orizzontalmente, inizialmente in sotterraneo e poi a raso;
 - parallelamente, da via Bellincioni verso valle, è previsto anche un percorso di superficie in cui saranno alternati tratti in pendenza e scale fino all'intersezione con Via Leonardo da Vinci;
 - il percorso orizzontale e quello in pendenza si riuniranno collegandosi a Via Leonardo da Vinci;
- Lotto 2
 - da via Leonardo da Vinci il collegamento orizzontale procederà verso valle proseguendo in quota, con una passerella sopraelevata, fino alle torri-ascensore di valle;
 - dall'intersezione con Via Leonardo da Vinci è previsto anche un percorso di superficie proseguirà attraverso una serie di tornanti fino alla zona di valle.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati del progetto architettonico.

6.- VARIANTE AL LOTTO N°2

La Variante in oggetto prevede alcune modifiche nell'area delle torri di Valle, dove è prevista la realizzazione di un percorso interrato che dalla torre stessa permetta l'attraversamento sotterraneo del Viale Gramsci (Strada Provinciale 64), per il collegamento alle aree acquisite di recente dall'Amministrazione Comunale di Peccioli ubicate ad Ovest della stessa viabilità: per garantire tale collegamento, la struttura della torre ascensore sarà approfondita fino alla quota del camminamento sotterraneo.

7.- INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO AI SENSI DEL DPGR 19/1/2022 N. 1/R

Rispetto al Paragrafo 3 dell'Allegato 1 al DPGR 19/1/2022 n. 1/R l'intervento presenta un'altezza maggiore di 20 e pertanto ricade nella Classe di Indagine n.4.

8.- INDAGINI A DISPOSIZIONE

Nella zona in esame sono note indagini geognostiche e sismiche che hanno permesso di inquadrare preliminarmente le caratteristiche della zona.

In particolare i sondaggi a carotaggio continuo (n.188 e n.189) hanno messo in luce la presenza di alternanze di orizzonti maggiormente sabbiosi con altri a comportamento coesivo (limo-argillosi), con presenza di livelli torbosi.

Analogamente le indagini condotte a supporto della passerella pedonale già realizzata più a monte hanno fornito indicazioni circa le caratteristiche della porzione posta a quote più elevate del progetto in esame: il sondaggio S3 è stato eseguito in prossimità dell'inizio della struttura di attraversamento di via Bellincioni qui analizzata, evidenziando anche in questo caso l'alternanza di terreni di natura limo-argillosa con altri più sabbiosi.

Nello stesso sondaggio è stata eseguita un'indagine sismica in foro (down-hole) che ha fornito un valore di Vs30 pari a 254 m/s (Categoria C, art. 3.2.2. DM 17/01/2018).

9.- INDAGINI GEOGNOSTICHE CONDOTTE A SUPPORTO DEL PRESENTE PROGETTO

9.1.- Indagini condotte nell'anno 2021

La definizione delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dal presente intervento edilizio è stata basata su una campagna di indagine costituita da:

- 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con prelievo di campioni indisturbati;
- 4 prove penetrometriche CPT
- 9 prove penetrometriche CPTU
- 2 indagini sismiche down-hole
- 2 profili sismici a rifrazione
- 2 indagini sismiche passive HVSr

L'ubicazione delle indagini eseguite è rappresentata nella Tavola Unica fuori testo.

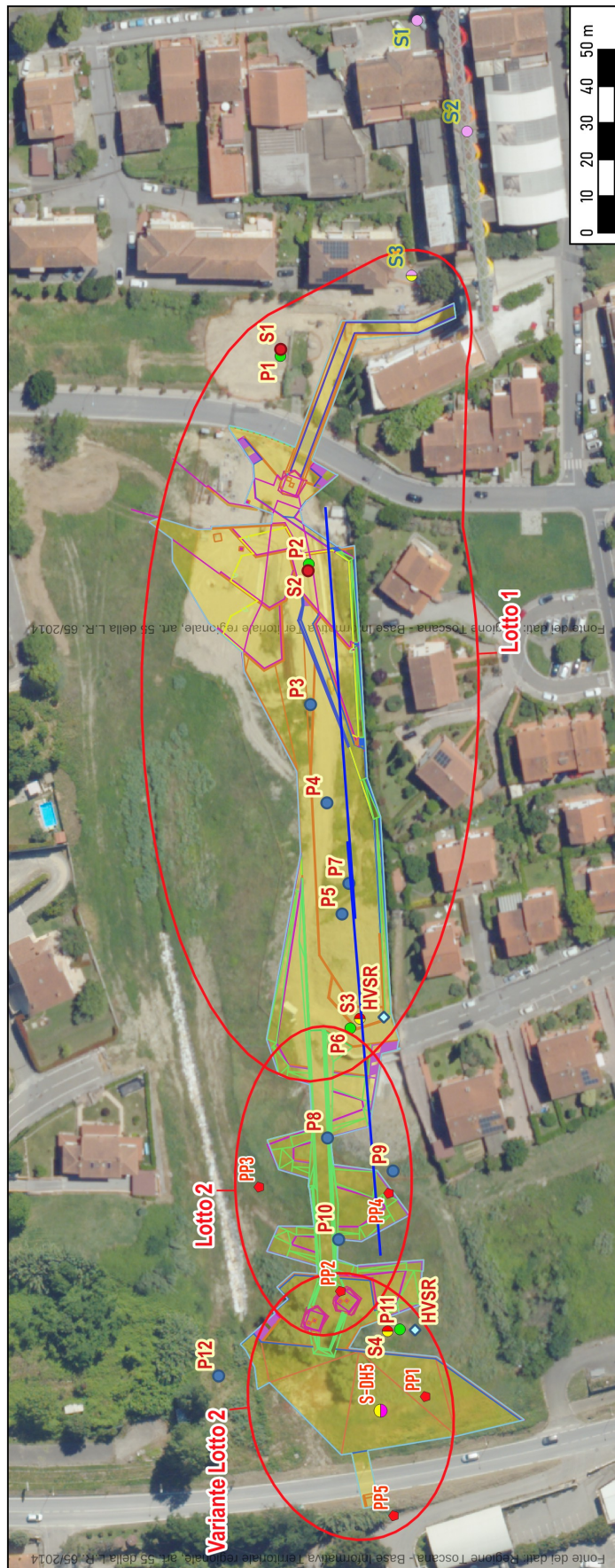
9.2.- Indagini condotte nell'anno 2026

Nell'ambito della Variante al Lotto n°2 è stato condotto uno specifico supplemento di indagine, costituito da:

- 1 sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di 2 campioni indisturbati
- 1 indagine sismica in foro (down-hole)
- 5 prove penetrometriche CPT

VARIANTE AL LOTTO N°2 DEL COLLEGAMENTO PEDONALE DAL CENTRO STORICO DEL CAPOLUOGO
ALLE AREE DEI SERVIZI PUBBLICI LUNGO VIALE GRAMSCI
PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO FUNZIONALE 2

Ubicazione delle indagini disponibili nell'area



Legenda

Elementi progettuali

perimetro totale interventi

Indagini condotte nell'ambito della Variante al Lotto 2

- CPT - Prove penetrometriche statiche
- S-DH - Sondaggi a carotaggio continuo con down-hole

Indagini condotte nell'ambito del progetto originario

Indagini puntuali

- CPT - Prove penetrometriche statiche
- SS - Sondaggi a carotaggio continuo
- CPTU - Prove penetrometriche statiche con piezometro
- SDH - Sondaggi a carotaggio continuo e sismica downhole
- HVSR - Misure di sismica passiva

Indagini lineari

- SR - Profili sismici a rifrazione

Indagini di progetti precedenti

- Sondaggi a carotaggio continuo
- Sondaggi a carotaggio continuo con Down-hole

9.3.- Sondaggi a carotaggio continuo

9.3.1.- Sondaggi eseguiti nel 2021

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati distribuiti lungo il versante interessato dall'intervento, a valle del sondaggio S3 contenuto nella Relazione geologica del Dott. Geol. Andrea Petresi condotta a supporto del progetto per la passerella già realizzata nella porzione più a monte del pendio.

Il sondaggio S1 è stato realizzato a monte di Via Bellincioni ed ha raggiunto la profondità di 15 m dal piano campagna, e la stratigrafia può essere così sinteticamente riassunta:

Sondaggio S1

<i>Profondità (m)</i>	<i>Litologia</i>	<i>Campioni</i>	<i>Profondità campione (m)</i>	<i>SPT</i>
0,00- 2,80	Limi sabbiosi	S1C1	1,70 - 2,40	
2,80 – 6,45	Sabbie e sabbie limose con sottili orizzonti ghiaiosi			2-4-5 (3.00-3,45)
6,45 - 12,50	Argille grigie, con livelli fossiliferi e intercalazioni torbose	Campione S1C2	10,50 - 11,00	3-6-8 (6,00 – 6,45)
12,50 – 15,00	Alternanze tra argille e limi sabbiosi	Campione S1C3	14,50 – 15,00	

Il sondaggio S2 è stato realizzato al di sotto di via Bellincioni, nell'intorno dell'area destinata ad ospitare la torre ascensore di monte, ed ha raggiunto la profondità di circa 27 dal piano campagna.

La stratigrafia riscontrata risulta essere la seguente

Sondaggio S2

<i>Profondità (m)</i>	<i>Litologia</i>	<i>Campioni</i>	<i>Profondità campione (m)</i>	<i>SPT</i>
0,00 – 5,10	Sabbie limose	S2C1	1,50 – 2,20	
5,10 – 17,80	Argille con livelli fossiliferi, intercalazioni torbose e sottili orizzonti limoso-sabbiosi	S2C2 S2C3	6,00 – 6,70 9,50 – 10,00	
17,80 – 26,80	Sabbie, da grigie a gialle, con livelli addensati			17-21-65 (20,00-20,45) 15-42-51 (26,40-26,80)

Il sondaggio S3 è stato realizzato in corrispondenza della via Leonardo Da Vinci, ha raggiunto la profondità di 32 m dal piano campagna ed è stato attrezzato per l'esecuzione dell'indagine sismica down-hole. La stratigrafia nel punto di indagine è risultata la seguente:

Sondaggio S3

<i>Profondità (m)</i>	<i>Litologia</i>	<i>Campioni</i>	<i>Profondità campione (m)</i>	<i>SPT</i>
0,00 – 1,20	Terreno vegetale			
1,20 – 5,80	Argille grigie, torbose, con livelli sabbiosi	S3C1 S3C2	2,20 – 2,70 4,00 – 4,70	14-21-21 (5,00 – 5,45)
5,80 – 9,10	Sabbie fini gialle			
9,10 – 12,30	Argille e argille torbose			
12,30 – 17,10	Sabbie gialle e grigie			23-30-32 (12,30 – 12,75)
17,10 – 21,50	Alternanze tra sabbie ed argille	S3C4	19,00 – 19,20	
21,50 – 30,00	Argille e argille torbose con sottili orizzonti sabbiosi			
30,00 – 32,00	Perforazione a distruzione di nucleo			

Il sondaggio S4 è stato realizzato nella porzione di valle del pendio, nell'area destinata ad ospitare le torri ascensore di valle, ed ha raggiunto la profondità di 40 m dal piano campagna. Anche questo è stato attrezzato per l'indagine sismica down-hole e la stratigrafia è risultata la seguente:

Sondaggio S4

<i>Profondità (m)</i>	<i>Litologia</i>	<i>Campioni</i>	<i>Profondità campione (m)</i>	<i>SPT</i>
0,00 – 4,60	Argille limose e limi argillosi	S4C1	2,00 – 2,50	
4,60 – 5,70	Sabbia limosa	S4C2	5,60 – 5,10	
5,70 – 11,20	Alternanze tra argille limose e sabbie limose, con livelli organici			
11,20 – 16,50	Argille grigie, con livelli organici ed orizzonti fossiliferi	S4C3	12,10 – 12,60	
16,50 – 21,10	Sabbie limose e limi sabbiosi			16-35-49 (17,50-18,00)
21,10 – 24,20	Argille organiche con orizzonti fossiliferi	S3C4	23,90 – 24,20	
24,20 – 27,20	Sabbie limose/Limi sabbiosi			
27,20 – 31,10	Argille limose e limi argillosi			
31,10 – 33,50	Limi sabbiosi-argillosi	S4C5		
33,50 – 34,70	Argille organiche			
34,70 – 36,00	Sabbie fini, limose			
36,00 – 36,80	Argille organiche			
36,80 – 40,00	Limi sabbiosi e sabbie limose			

9.3.2.- Sondaggio eseguito nel 2026

Il sondaggio S5 è stato eseguito nell'ambito della campagna geognostica del marzo 2026, nell'area compresa tra la torre di valle e la viabilità adiacente (Viale Gramsci/S.P. 64), interessata dall'attraversamento sotterraneo.

Sondaggio S5

<i>Profondità (m)</i>	<i>Litologia</i>	<i>Campioni</i>	<i>Profondità campione (m)</i>	<i>SPT</i>
0,00 – 1,00	Suolo agrario, limo-argilloso, marrone			
1,00 – 2,90	Limi sabbiosi-argillosi di colore nocciola			
2,90 – 7,40	Argille limose compatte, grigie, con sottili livelli organici	S5C1	6,00 – 6,50	
7,40 – 8,00	Argille grigie con ghiaia fine e sottili orizzonti sabbiosi			
8,00 – 8,80	Sabbie argillose grigie			
8,80 – 12,20	Argille grigie, compatte, con livelli conchigliari	S5C2	11,70 – 12,20	
12,20 – 14,40	Argille grigie, compatte, con livelli organici (torbosi)			
14,40 – 15,10	Limi argillosi con sabbia, grigi			
15,10 – 15,60	Sabbie grigie, con limo			
15,60 – 18,20	Argille limose/limi argillosi, di colore grigio			
18,20 – 20,00	Sabbie grigie, limose			
20,00 – 20,80	Argille torbose			
20,80 – 22,10	Limi sabbiosi con ghiaia fine			
22,10 – 22,90	Argille grigie			
22,90 – 24,70	Limi con sottili livelli sabbiosi			
24,70 – 25,00	Argille grigie			
25,00 – 36,00	Perforazione a distruzione di nucleo			

9.4.- Prove geotecniche di laboratorio

9.4.1.- Campagna di indagine del 2021

I campioni prelevati nel corso dei sondaggi sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio al fine di determinarne le caratteristiche fisico-meccaniche. Qui di seguito sono riportate nel dettaglio le prove eseguite ed i risultati ottenuti:

Sondaggio S1		Campioni			
			S1C1	S1C2	S1C3
Profondità		<i>m</i>	1,7-2,4	10,5-11,0	14,5-15,0
Umidità allo stato naturale	<i>W</i>	%	20,8	25,6	15,4
Peso di Volume	<i>g</i>	<i>kN/m³</i>	20,4	19,6	20,5
Peso di Volume secco	<i>g_{sec}</i>	<i>kN/m³</i>	16,9	15,6	17,8
Peso di Volume saturo	<i>g_{sat}</i>	<i>kN/m³</i>	20,5	19,6	21
Indice dei vuoti	<i>e₀</i>		0,56	0,7	0,49
Porosità	%		36	41,1	32,8
Grado di saturazione	%		99,5	98,8	84,8
Limite di Liquidità	<i>WL</i>	%	33,5	44,3	35,8
Limite di Plasticità	<i>Wp</i>	%	18,1	21,3	18,8
Indice di Plasticità	<i>IP</i>	%	15,4	23	17
Indice di Consistenza	<i>IC</i>	%	0,83	0,81	1,2
Classificazione di Casagrande			CI	CI	CI
Prova di Espansione Laterale Libera (ELL)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>			880
Prova di Taglio Diretto Consolidato Drenato (CD)	<i>c'</i>	<i>kPa</i>	23	24,8	29,2
	<i>Φ'</i>	°	25,2	21,1	19
Prova di Compressione Triassiale Non Consolidata – Non Drenata (UU)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>	74,6	224	202,5
Prova Edometrica (EDO)					
Intervallo 24,6 – 49,2 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	2647		
Intervallo 49,2 – 98,4 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	3304		
Intervallo 98,4 – 196,8 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	5292		
Intervallo 196,8 – 393,6kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	9733		

Sondaggio S2		Campioni			
			S2C1	S2C2	S2C3
Profondità		<i>m</i>	1,5-2,2	6,0-6,7	9,5-10,0
Umidità allo stato naturale	<i>W</i>	%	24,1	24	20,2
Peso di Volume	<i>g</i>	<i>kN/m³</i>	19,8	19,9	20,5
Peso di Volume secco	<i>g_{sec}</i>	<i>kN/m³</i>	16	16,1	17
Peso di Volume saturo	<i>g_{sat}</i>	<i>kN/m³</i>	19,9	19,9	20,5
Indice dei vuoti	<i>e0</i>		0,66	0,65	0,55
Porosità	%		39,6	39,3	35,6
Grado di saturazione	%		99,2	99,8	98,8
Limite di Liquidità	<i>WL</i>	%		53,6	53,5
Limite di Plasticità	<i>Wp</i>	%		24,8	24,2
Indice di Plasticità	<i>IP</i>	%		28,8	29,3
Indice di Consistenza	<i>IC</i>	%		1,03	1,14
Classificazione di Casagrande				CH	CH
Prova di Espansione Laterale Libera (ELL)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>		211	315
Prova di Taglio Diretto Consolidato Drenato (CD)	<i>c'</i>	<i>kPa</i>	12,1	27,4	32,7
	<i>Φ'</i>	°	32	24,5	23,8
Prova di Compressione Triassiale Non Consolidata – Non Drenata (UU)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>	202,5		
Prova Edometrica (EDO)					
Intervallo 24,6 – 49,2 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>			
Intervallo 49,2 – 98,4 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>			
Intervallo 98,4 – 196,8 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>			
Intervallo 196,8 – 393,6kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>		14471	

Sondaggio S3		Campioni				
			S3C1	S3C2	S3C3	S3C4
Profondità		<i>m</i>	2,3-2,8	4,0-4,4	12,0-12,5	19,0-19,2
Umidità allo stato naturale	<i>W</i>	%	16,1	15,9	12,2	15,5
Peso di Volume	<i>g</i>	<i>kN/m³</i>	19,7	21,5	21,3	20,5
Peso di Volume secco	<i>g_{sec}</i>	<i>kN/m³</i>	17	18,5	19	17,7
Peso di Volume saturo	<i>g_{sat}</i>	<i>kN/m³</i>	20,5	21,5	21,8	21
Indice dei vuoti	<i>e₀</i>		0,56	0,43	0,39	0,49
Porosità	%		35,8	29,9	28,2	33
Grado di saturazione	%		78,2	100,1	83,7	85
Limite di Liquidità	<i>WL</i>	%	36,6	43,8	30,7	30,7
Limite di Plasticità	<i>Wp</i>	%	16,6	24,4	18,4	
Indice di Plasticità	<i>IP</i>	%	20	19,4	12,3	
Indice di Consistenza	<i>IC</i>	%	1,02	1,44	1,5	
Classificazione di Casagrande			CI	CI	CI	MI o OI
Prova di Espansione Laterale Libera (ELL)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>				
Prova di Taglio Diretto Consolidato Drenato (CD)	<i>c'</i>	<i>kPa</i>	29,8	30,6	19,4	17,8
	<i>Φ'</i>	°	22,1	20,3	27,6	31,5
Prova di Compressione Triassiale Non Consolidata – Non Drenata (UU)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>	173,3	374,7		
Prova Edometrica (EDO)						
Intervallo 24,6 – 49,2 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>				
Intervallo 49,2 – 98,4 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>				
Intervallo 98,4 – 196,8 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>				
Intervallo 196,8 – 393,6kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>		17891		

Sondaggio S4			Campioni				
			S4C1	S4C2	S4C3	S4C4	S4C5
Profondità		<i>m</i>	1,5-2,0	4,6-5,1	12,1-12,6	23,9-24,2	32,4-32,9
Umidità allo stato naturale	<i>W</i>	%	18,4	22	22,5	18,3	25,6
Peso di Volume	<i>g</i>	<i>kN/m³</i>	20,2	20,2	19,9	19,6	19,5
Peso di Volume secco	<i>g_{sec}</i>	<i>kN/m³</i>	17,1	16,6	16,3	16,5	15,5
Peso di Volume saturo	<i>g_{sat}</i>	<i>kN/m³</i>	20,6	20,2	20	20,2	19,6
Indice dei vuoti	<i>e0</i>		0,55	0,6	0,63	0,6	0,71
Porosità	%		36,5	37,3	38,6	37,6	41,4
Grado di saturazione	%		90,4	99,7	96,7	82,2	97,6
Limite di Liquidità	<i>WL</i>	%	35,1	31,8	52,7	39,8	
Limite di Plasticità	<i>Wp</i>	%	16,9	18,3	24,9	21,5	
Indice di Plasticità	<i>IP</i>	%	18,2	13,5	27,8	18,3	
Indice di Consistenza	<i>IC</i>	%	0,92	0,73	1,09	1,17	
Classificazione di Casagrande			CI	CI	CH	CI	
Prova di Espansione Laterale Libera (ELL)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>					
Prova di Taglio Diretto Consolidato Drenato (CD)	<i>c'</i>	<i>kPa</i>	18,2	13,8	24,7	23,8	8,6
	<i>Φ'</i>	°	24,9	27,6	22,9	25,6	32,3
Prova di Compressione Triassiale Non Consolidata – Non Drenata (UU)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>	67,9	64	319,5		
Prova Edometrica (EDO)							
Intervallo 24,6 – 49,2 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	2041				
Intervallo 49,2 – 98,4 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	3154				
Intervallo 98,4 – 196,8 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	5262				
Intervallo 196,8 – 393,6kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	8033				

9.4.2.- Campagna di indagine del 2026

Nel sondaggio S5, condotto nell'ambito della Variante al Lotto n°2 sono stati prelevati due campioni indisturbati che sono stati sottoposti alla seguente caratterizzazione geotecnica.

Sondaggio S5		Campioni		
			S5C1	S5C2
Profondità		<i>m</i>	6,0-6,5	11,7-12,2
Umidità allo stato naturale	<i>W</i>	%	27,8	22
Peso di Volume	<i>g</i>	<i>kN/m³</i>	19,9	18,1
Peso di Volume secco	<i>g_{sec}</i>	<i>kN/m³</i>	15,6	14,8
Peso di Volume saturo	<i>g_{sat}</i>	<i>kN/m³</i>	19,6	19,1
Indice dei vuoti	<i>e0</i>		0,698	0,785
Porosità	%		41,1	44
Grado di saturazione	%		100	75,5
Prova di Taglio Diretto Consolidato Drenato (CD)	<i>c'</i>	<i>kPa</i>	23,8	26,1
	<i>Φ'</i>	°	27,3	24,7
Prova di Compressione Triassiale Non Consolidata – Non Drenata (UU)	<i>c_u</i>	<i>kPa</i>	81	231
Prova Edometrica (EDO)				
Intervallo 49,2 – 98,4 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	4970	
Intervallo 98,4 – 196,8 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	5771	
Intervallo 196,8 – 393,6 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	7984	
Intervallo 393,6 – 787,2 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	11134	
Intervallo 787,2 – 1574,4 kPa	<i>E</i>	<i>kPa</i>	19153	

9.5.- Prove penetrometriche CPT

9.5.1.- Campagna di indagine del 2021

Le 4 prove penetrometriche CPT della campagna geognostica del 2021 sono state localizzate in adiacenza ai sondaggi a carotaggio continuo, in modo da avere una preventiva valutazione sulla stratigrafia dell'area e definire il programma dei campioni indisturbati da prelevare.

Tali prove, eseguite con penetrometro statico da 200kN e punta Begemann (dotata di manicotto per la misura dell'attrito laterale) hanno fornito buone indicazioni sulle caratteristiche meccaniche del substrato indagato.

Nella prova CPT01, eseguita a monte di via Bellincioni, sono stati registrati valori di Resistenza alla Punta (R_p) intorno ai 15-20 Kg/cm^2 fino alla profondità di 8,50 m, dove è stato individuato un orizzonte maggiormente compatto che ha fatto registrare valori di R_p compresi tra 40 e 120 kg/cm^2 .

La prova CPT02, eseguita a valle di via Bellincioni, nell'area destinata ad ospitare la torre ascensore di monte, ha rilevato un orizzonte superficiale, fino alla profondità di circa 6 m, dove la Resistenza alla Punta ha oscillato tra 15 e 60 kg/cm^2 , seguito da un livello maggiormente addensato (con R_p tra 50 e 80 kg/cm^2) esteso fino alla profondità di 10 m dal p.d.c.

Successivamente la prova è proseguita all'interno di un livello molto consistente ($R_p > 100 \text{ kg/cm}^2$) che ha condotto al rifiuto strumentale alla profondità di circa 15 m.

La prova CPT06 è stata eseguita in corrispondenza con il previsto collegamento con via Leonardo da Vinci e, a causa di un orizzonte consistente molto superficiale (a partire dalla profondità di circa 3 m) è stata interrotta a circa 7 m per rifiuto strumentale.

La prova CPT11 è stata ubicata nella zona di valle, in corrispondenza della torre ascensore di valle ed ha registrato la presenza di un livello superficiale mediamente consistente (R_p compresa tra 10 e 15 kg/cm^2) fino alla profondità di circa 6,5 m. Successivamente la resistenza del terreno è rapidamente aumentata con valori di R_p che hanno oscillato tra 40 e 100 kg/cm^2 , per poi condurre al rifiuto strumentale alla profondità di 17 m dal p.d.c.

L'elaborazione dei dati acquisiti ha contribuito a definire le geometrie dei vari orizzonti del sottosuolo, favorendo la correlazione orizzontale tra i litotipi individuati nei sondaggi a carotaggio continuo.

9.5.2.- Campagna di indagine del 2021, a supporto della Variante al Lotto n°2

Le 5 prove penetrometriche condotte nell'ambito della campagna geognostica del 2026 sono state ubicate nelle aree interessate dal Lotto 2: due di queste hanno interessato le zone dove sarà realizzato il collegamento sotterraneo tra le torri-ascensore e le aree a valle di Viale Gramsci, mentre le altre 3 sono state condotte lungo il versante, per verificare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in condizioni di elevata saturazione (in quanto eseguite durante un lungo periodo piovoso) anche in relazione alle problematiche emerse nel corso della realizzazione del Lotto 1.

La prova P1, eseguita ad Est della strada provinciale in prossimità del sondaggio S5, ha messo in evidenza la presenza di terreni eterogenei riconducibili, nei livelli più superficiali, alle operazioni di livellamento con il rilevato stradale adiacente.

La prova P2, eseguita nella zona adiacente a quella destinata ad ospitare le torri-ascensore, ha individuato una stratigrafia coerente con il modello geologico definito in precedenza.

La prova P3, ubicata a margine delle zone interessate dal percorso pedonale a raso, in cui sono stati riscontrati terreni compressibili per uno spessore di circa 4 m.

La prova P4, ubicata lungo il percorso pedonale a raso nella porzione più elevata del Lotto2 ha individuato una stratigrafia coerente con il modello geologico definito in precedenza.

La prova P5 è stata invece eseguita ad Ovest del rilevato stradale, ed ha individuato, al di sotto di un primo livello compatto riconducibile ai terreni compatti del rilevato stradale, una sequenza

prevalentemente coesiva di terreni di ridotta resistenza, riferibile a litologie di natura alluvionale-colluviale.

9.6.- Prove penetrometriche CPTU

Le prove CPTU sono state realizzate lungo lo sviluppo dell'intervento che caratterizza il pendio in esame. Le acquisizioni hanno permesso di registrare oltre alla Resistenza alla Punta (R_p) ed alla Resistenza per Attrito Laterale (R_{al}) anche le pressioni neutre attraverso il piezocono, che forniscono indicazioni circa la permeabilità dei terreni e la pressione dei fluidi.

Come le prove CPT, anche le indagini CPTU hanno permesso di individuare gli orizzonti con differenti caratteristiche fisico-meccaniche, giungendo spesso al rifiuto strumentale (CPTU05, CPTU07, CPTU08, CPTU09, CPTU10 e CPTU13).

In generale le indagini hanno individuato terreni dalle buone caratteristiche meccaniche, con livelli molto compatti e addensati.

I dati acquisiti, inclusi i valori delle pressioni neutre registrati, hanno permesso di definire la stratigrafia del substrato, contribuendo alla ricostruzione del modello geologico della zona in esame.

9.7.- Indagini sismiche down-hole

9.7.1.- Campagna di indagine del 2021

Per la definizione delle caratteristiche sismiche della zona sono stati utilizzati i dati di 4 indagini sismiche down-hole, delle quali una è riferita allo studio geologico condotto dal Geol. Andrea Petresi per la passerella pedonale già realizzata a monte dell'intervento in oggetto, due appositamente realizzate nel corso della campagna di indagini del 2021 ed una nel 2026.

Il sondaggio a monte di via Bellincioni (Geol. Andrea Petresi) ha fatto registrare velocità delle onde di taglio (onde S) crescenti con la profondità, con velocità V_{s30} pari a 254 m/s.

Il foro del sondaggio S3 è stato attrezzato per la prova down-hole (DH1), i cui risultati hanno messo in evidenza velocità delle onde S crescenti con la profondità, ottenendo un valore di V_{s30} pari a 311 m/s.

Nel foro del sondaggio S4 è stata eseguita l'indagine down-hole DH2, che ha fornito il valore di V_{s30} pari a 247 m/s.

9.7.2.- Indagine sismica down-hole condotta nel 2026 a supporto della Variante al Lotto n°2

Il foro del sondaggio S5, ubicato nella zona adiacente alla viabilità provinciale (Viale Gramsci/S.P. 64) è stato attrezzato per l'esecuzione dell'indagine downhole DH3, che ha fornito una sismostratigrafia con valori di velocità delle onde S crescenti con la profondità, permettendo di definire il valore di V_{s30} pari a 248 m/s.

9.8.- Profili sismici a rifrazione

Lungo il pendio in esame è stata eseguita un'indagine sismica a rifrazione costituita da 2 profili contigui parzialmente sovrapposti.

I risultati delle onde P (onde primarie, di compressione) mostrano un rapido incremento della velocità sismica con la profondità, soprattutto nella porzione più elevata del versante.

Le onde S (onde secondarie, di taglio) forniscono un profilo in cui le velocità aumentano, rispetto alla profondità, con un gradiente minore, probabilmente in relazione alla natura permeabile di alcuni orizzonti ed alla conseguente presenza di fluidi.

In generale dall'elaborazione dei dati sismici non emergono morfologie sepolte che possono determinare potenziali amplificazioni locali del moto sismico.

9.9.- Indagini di sismica passiva HVSR

In adiacenza alle indagini down-hole (DH1 e DH2) sono state eseguite misure sismiche passive a stazione singola (HVSR):

- nell'indagine HVSR 1 (adiacente a S3/DH1) l'analisi spettrale mostra un picco di impedenza sismica (H/V) in corrispondenza della frequenza di circa 0,9 Hz (che si estende fino a 1,3 Hz), con valori di poco inferiori a 3;
- anche nell'indagine HVSR 2 (adiacente a S4/DH2) è riscontrata un'analisi spettrale simile, con un picco di impedenza sismica (inferiore a 3) posto a cavallo della frequenza di 1 Hz (tra 0,9 e 1,3 Hz).

Il progettista delle opere strutturali potrà utilizzare tali informazioni per verificare il possibile innesco di fenomeni di doppia risonanza terreno/struttura per le frequenze indicate.

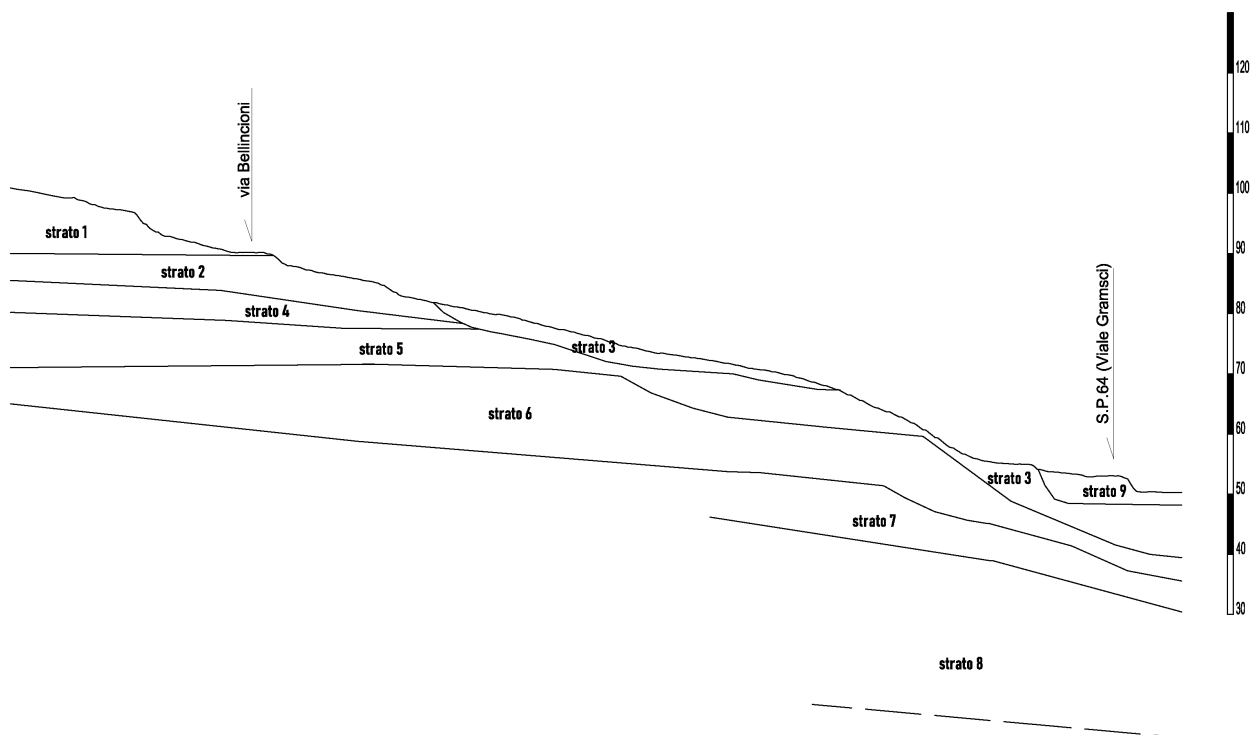
10.- SINTESI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Le indagini condotte, utilizzando anche metodologie diverse, hanno permesso di definire il modello geologico di riferimento per l'intervento in esame.

Gli elementi principali sono stati individuati dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo, disposti lungo la direttrice dell'intervento, la cui distribuzione spaziale è stata correlata attraverso i risultati delle prove penetrometriche e della sismica a rifrazione.

Attraverso i risultati delle prove penetrometriche è stata rilevata la presenza di un livello superficiale discontinuo costituito da depositi di versante (Livello 3), già noto a livello geomorfologico, che interessa alcune porzioni del versante.

E' stato quindi definito un modello geologico esteso a tutto il tratto di versante analizzato, così riassumibile:



(esagerazione verticale x2)

Attraverso l'analisi dei dati acquisiti con le indagini geognostiche ed i risultati delle indagini di laboratorio sono stati definiti

Strato	γ	γ_{sat}	c_{u_m}	c_{u_k}	c'_m	c'_k	Φ'_m	Φ'_k	Litologia
	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	($^\circ$)	($^\circ$)	
1	20,1	21	72	54	10,6	8	33	27	Limi argillosi
2	20,4	20,5	138	74	17,1	12,8	30,4	26,8	Sabbie e limi argillosi
3	20,2	20,6	91	87	16	10	28	24	Sabbie e limi argillosi alterati
4	20,1	20,5	200	90	24,8	19,9	23,9	21,8	Argille e limi argillosi
5	20,7	21,1	64	50	22	19,4	31,8	28,3	Sabbie e limi argillosi
6	19,9	20,1	220	150	21,25	17,8	27,2	22,9	Sabbie e limi sabbiosi
7	20	20,1	240	170	23	22	23	21	Limi sabbiosi e argillosi
8	19,6	19,9	250	190	17	14	32	27	Sabbie e limi sabbiosi, addensati
9	19	20	120	106	0	0	35	33	Limi sabbiosi con intercalazioni argillose
<i>m - valori medi</i>									
<i>k - valori caratteristici</i>									

In cui:

c_u = coesione non drenata

c' = coesione efficace

ϕ = angolo di attrito

$_m$ = parametri medi

$_k$ = parametri caratteristici

γ = peso di volume in condizioni di umidità naturale

γ_{sat} = peso di volume in condizioni sature

11.- CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

I perfori dei sondaggi S3, S4 ed S5 sono stati allestiti per indagini sismiche di tipo down-hole, al fine di determinare la velocità delle onde sismiche S nei primi 30 m di sottosuolo.

I sondaggi hanno fornito valori diversi, in ragione della diversa stratigrafia verificata lungo il pendio, come di seguito riassunto:

Indagine sismica	Sondaggio di riferimento	Vs30	Categoria di sottosuolo
DH1	S3	311 m/s	C
DH2	S4	247 m/s	C
DH3	S5	248 m/s	C

Così definite:

D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II – <i>Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

11.1.- Categoria topografica

Trattandosi di pendio con pendenza media minore di 15°, la categoria topografica corrispondente risulta essere la T1, come definito nella tabella seguente:

D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.III – <i>Categorie topografiche</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

12.- RISPOSTA SISMICA LOCALE

In riferimento ai contenuti del DPGR 19/01/2022 n.1/R, l'intervento in esame ricade nella Classe di Indagine n. 4 in un'area definita con Pericolosità sismica S3 (pericolosità elevata) per amplificazione locale del moto sismico nell'ambito del Piano Strutturale del 2015, supportato da uno studio di Microzonazione Sismica di livello 1.

A tale studio, di livello qualitativo, è seguito uno studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 co-finanziato dalla Regione, redatto nel 2019 e approvato dal Dipartimento di Protezione Civile nazionale, che ha fornito un'analisi semi-quantitativa dei fattori di amplificazione locale basata sugli abachi definiti dalla Regione Toscana.

Nell'area in esame i fattori di amplificazione per l'intervallo di periodi tra 0,1 e 0,5 secondi, il fattore di amplificazione è risultato pari a 2,1, ben al di sopra del valore limite di 1,4 che definisce, secondo il recente Regolamento regionale 5/R/2020, il limite tra la classe S2 (pericolosità sismica media) e la classe S3 (pericolosità sismica elevata): ne risulta che interpretando tali dati secondo le definizioni del Regolamento 5/R, a cui si riferiscono le indicazioni contenute nel Regolamento 1/R/2022, la zona ricade comunque nella Classe S3 e pertanto devono essere condotte specifiche analisi di risposta sismica locale basate sui risultati delle indagini in sito.

Per l'analisi della risposta sismica locale di tipo monodimensionale (RSL) si è proceduto ai sensi dei paragrafi 7.11.3.1 e 3.2.3 delle NTC 2018.

Il modello sismostratigrafico del sito utilizzato per l'analisi della RSL è basato sui risultati delle indagini geologico-tecniche e sismiche condotte nell'ambito della presente indagine.

12.1.-Classificazione sismica della zona in esame

Nella classificazione sismica 2014 della Regione Toscana in aggiornamento degli allegati 1 e 2 della D.G.R.T. 878/2012 ("aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 ..."), il territorio comunale di Peccioli è stato confermato sismico nella zona "3".

La magnitudo sismica massima nella zona sismogenetica ZS9 n. 921 "Etruria", si estende sul Comune di Peccioli, è di Mw 6.14 (INGV - Redazione della mappa di pericolosità sismica PCM 3274/2003 - Rapporto conclusivo, aprile 2004)

12.2.-Analisi di Risposta Sismica locale per la torre ascensore di monte (via Bellincioni, 2021)

L'analisi locale è stata riferita alla quota di imposta delle fondazioni, posta a -14 m sotto il piano di campagna attuale, e il valore della V_{seq} di riferimento, calcolato dal piano di base della fondazione è risultato di circa 523 m/s sulla base dei risultati dell'indagine sismica in sito di tipo a rifrazione in onde P ed SH appositamente condotta.

La registrazione in sito dei microtremori naturali del sottosuolo, elaborata in termini di rapporto tra le due componenti di vibrazione orizzontale e verticale del suolo (H/V o HVSR), segnala un picco di amplificazione di moderata entità ($H/V = 2,8$) intorno alla frequenza di 0,9 Hz ed in generale un

intervallo di amplificazione del rapporto H/V tra 0,8 e 1,5 Hz circa con valori del rapporto tra 2 e 2,6 circa (HVSr in sito n. 1, Appendice 11, Indagini sismiche).

12.2.1.- Risposta sismica locale – Stato Limite SLD

12.2.1.1.- Procedura di analisi

Ubicazione del sito (ED50):	N 43,548839	E 10,718245
-----------------------------	-------------	-------------

I parametri di partenza per l'analisi della RSL sono stati ricavati utilizzando il foglio elettronico "Spettri-NTC" del CSLPP e l'interfaccia per la disaggregazione dell'azione sismica di base fornita dall' INGV (Progetto DPC-INGV- S1):

Stato limite	SLD
Vn	50 anni
Cu	1,5
Periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica	75 anni
Ag	0.070 g
F0	2,47
T*c	0,253 s
Range M-R (disaggregazione)	M 4 – 6
distanza R	da 0 a 40 km

Per la selezione e l'estrazione degli accelerogrammi di ingresso si è utilizzata l'interfaccia "Rexel v. 3.5" dell'Università di Napoli Federico II, realizzata da:

Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E.
REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis.
Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362, 2010
DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

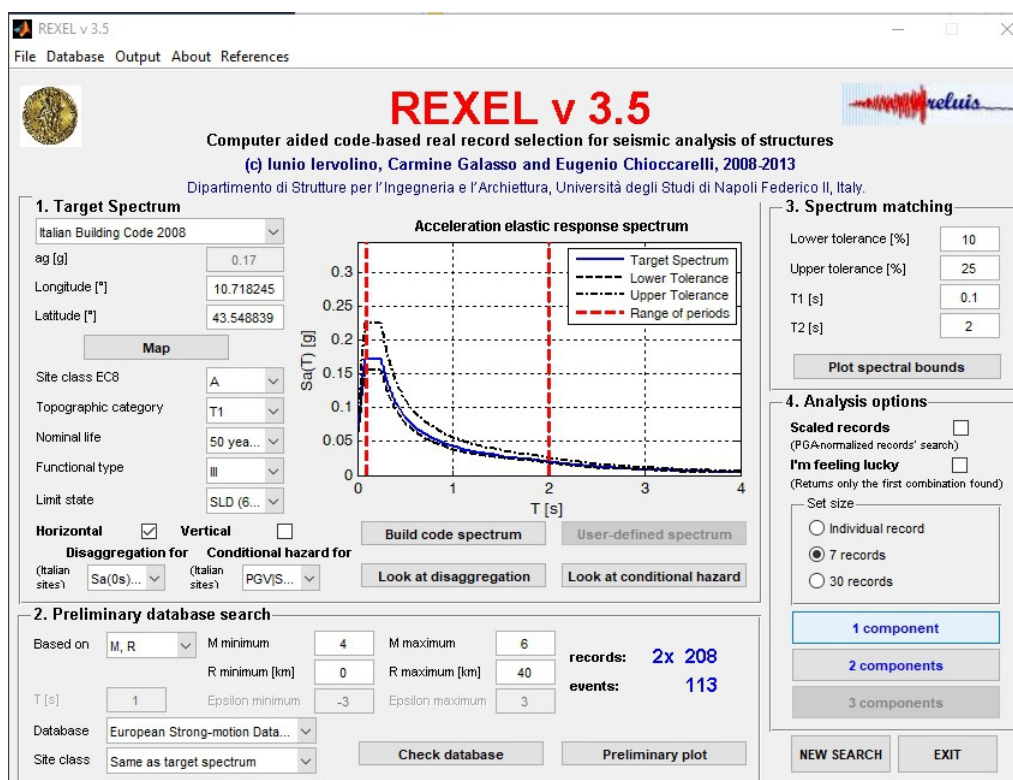
e la banca dati sismica europea ESD:

Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B.
Internet-Site for European Strong-Motion Data,
European Commission, Research-Directorate General, Environment and
Climate Programme (2002)

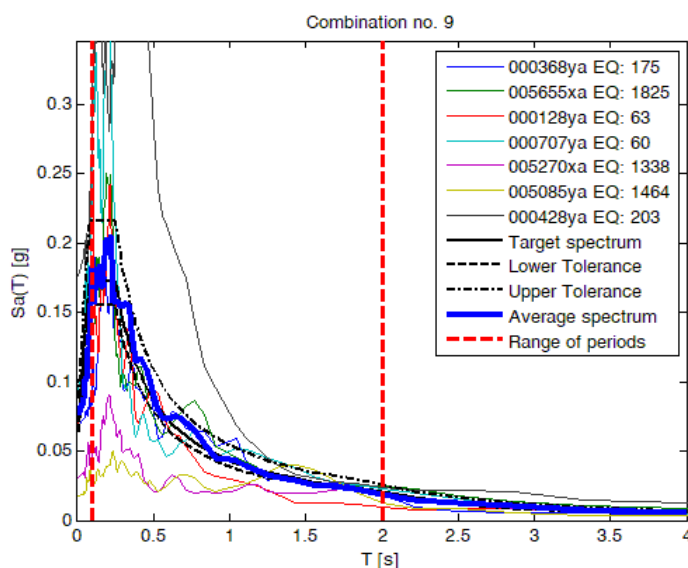
<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/>

Tramite le indagini sismiche in sito, in particolare la sismica a rifrazione in onde P ed SH, si è riscontrata la presenza di terreni con V_s tra 700 ed 800 m/s al di sotto dei 40 m dal p.c., per cui la ricerca dei sismogrammi di input tramite Rexel è stata effettuata utilizzando stazioni sismometriche poste su terreni di categoria A.

La seguente immagine mostra i parametri utilizzati in Rexel per la selezione dei sismogrammi sismocompatibili e spettrocompatibili con la sismicità di riferimento del sito in esame, ai sensi delle NTC 2018 par. 7.11.3.1 e par. 3.2.3.



Nella seguente immagine sono riportati gli spettri degli accelerogrammi estratti, aventi fattore di scala pari a 1:



L'analisi della risposta sismica locale è stata effettuata tramite il software libero 1D "Strata", di cui si riporta la pagina di riferimento:

Strata Help Manual

by Albert Kottke

The manual for Strata is separated into two parts. The first part is a pdf document, referred as the *technical manual*, that describes the theory and methodology of Strata. This document can be installed during the Strata install. The second part is this html help manual that is directed towards the interaction with the Strata interface. This help manual is separated into sections depending on the currently active interface. Each interface is further broken down into the various groupboxes with the purpose of each member described. The following are for the input tab:

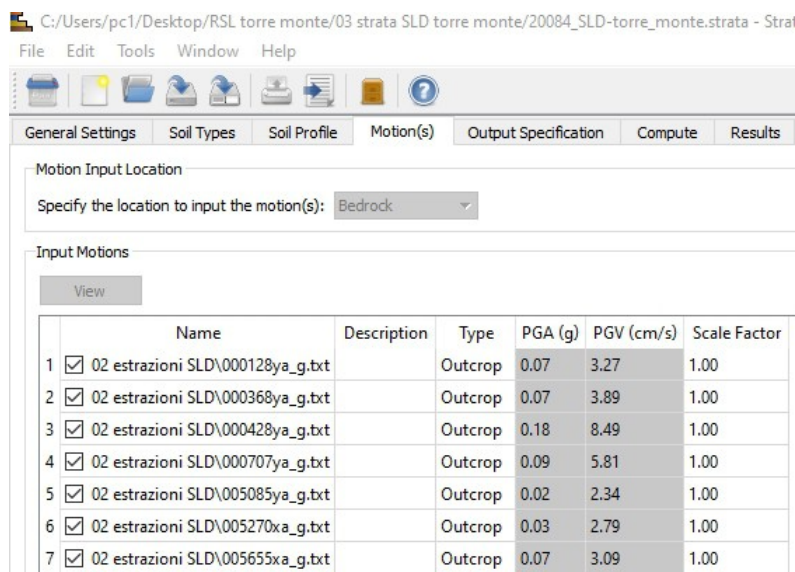
- General Settings
- Soil Types
- Soil Profile
- Motion(s)
- Output Specification
- Compute

In addition, there are the following items:

- Non-Linear Curve Dialog
- Output Page

The Strata program is released under the GNU Public License (GPL) version 3 which requires that the source code be made available. Contact me at albert.kottke@gmail.com for the source code. Also feel free to contact me regarding questions, comments, or suggestions.

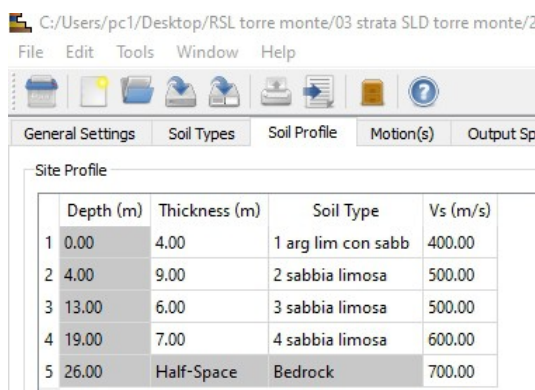
In Strata sono stati caricati gli accelerogrammi estratti tramite Rexel:



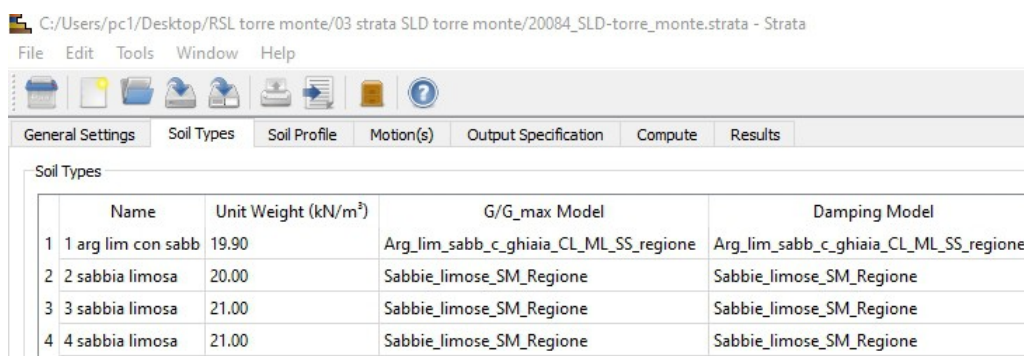
Per quanto riguarda il modello sismostratigrafico, dato che la quota di imposta delle fondazioni si trova a -14 m dal p.c., dalla stratigrafia della relazione geologica è stato escluso uno spessore iniziale di pari entità, ponendo così l'output della RSL allo 0,0 del modello sismostratigrafico, fissato alla base della porzione interrata della struttura.

Il punto di partenza dell'input sismico è stato posto all'interfaccia tra le coperture con Vs minore di 600 m/s ed i terreni con Vs superiore ai 700-800 m/s, questi ultimi, ai fini dell'analisi di RSL assimilabili ad un sottosuolo di categoria A delle NTC.

Il modello sismostratigrafico utilizzato per l'analisi RSL è riportato nelle immagini seguenti.



Le curve di decadimento sono state estratte da quelle dei corrispondenti litotipi contenuti nella banca dati del progetto VEL della Regione Toscana:



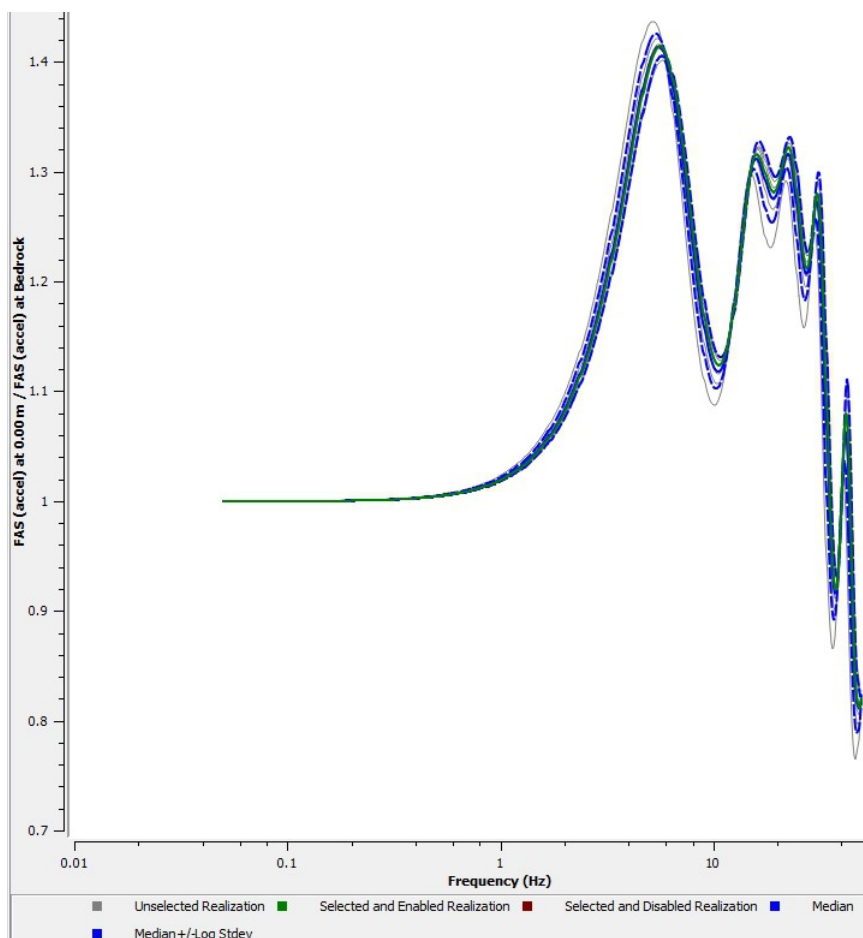
Al termine del calcolo il software ha restituito una certificazione di errore statistico inferiore allo 0,5%, che indica la buona qualità dell'analisi scaturita dal modello sopra descritto (Appendice 13).

12.2.1.2.- Risultati della RSL: stato limite SLD

La Funzione di Amplificazione Spettrale (Funzione di Trasferimento) ottenuta dal software e riportata nella seguente immagine, evidenzia una frequenza principale di amplificazione, alla quota della fondazione, intorno a 5,5 Hz circa, con un modesto rapporto di amplificazione, tra segnale al bedrock e segnale alla base della fondazione (quota 0,0 della sismostratigrafia), intorno a 1,4.

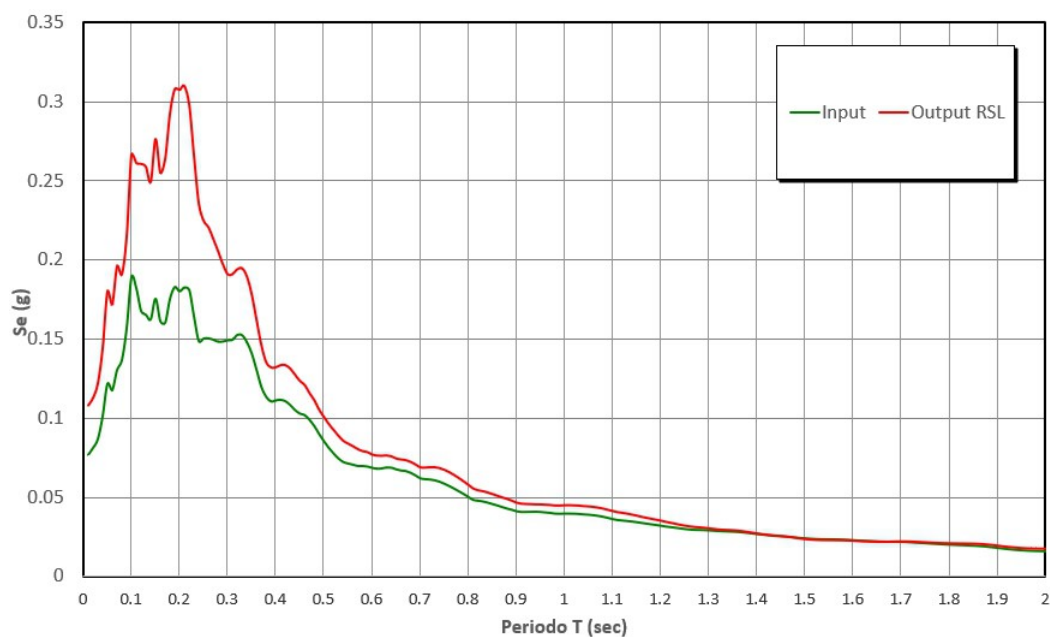
Un modo di vibrare secondario, sempre alla base della fondazione, si colloca tra i 15 ed i 23 Hz circa, con un rapporto di amplificazione ugualmente modesto, di circa 1,3 (figura seguente).

La FAS della RSL a -14 m dal p.c. presenta perciò uno spettro con un modo principale di vibrare più spostato verso le alte frequenze se confrontato con lo spettro H/V dei microtremiti misurati al p.c. e ciò coerentemente con un minor spessore delle coperture, come anche per il rapporto di amplificazione bedrock/outcrop del picco della FAS, minore rispetto a quello rilevato dall'H/V al p.c.



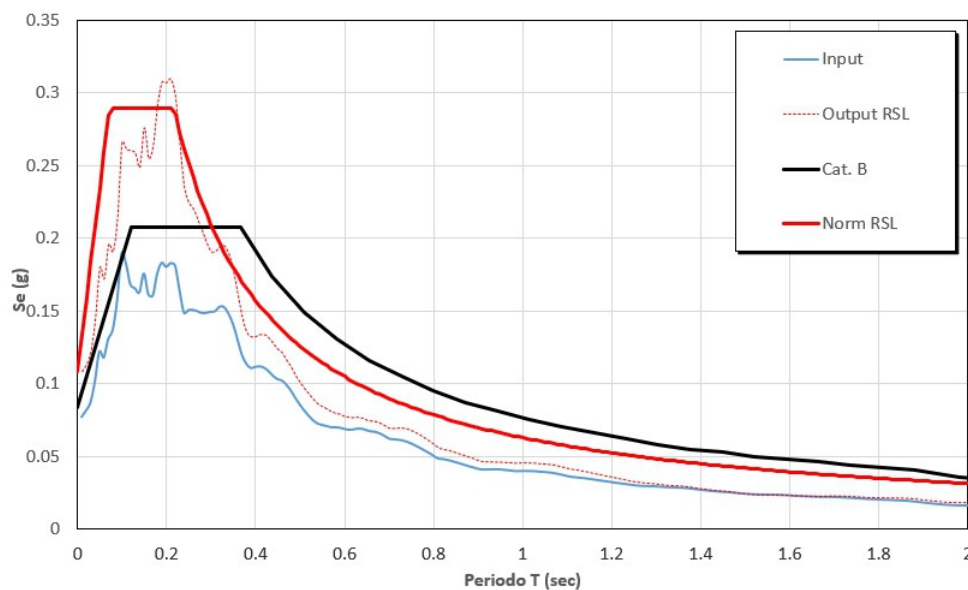
Nella seguente immagine si riporta il grafico dello spettro di RSL per lo stato SLD, componente orizzontale. Gli intervalli con maggiori amplificazioni sono compresi nel periodo tra 0,1 e 0,3 s circa.

I valori dei singoli punti dello spettro di risposta sono integralmente riportati in Appendice 13.



Nel grafico che segue si riporta la normalizzazione dello spettro di risposta della RSL allo SLD. La normalizzazione dello spettro di RSL è stata effettuata ai fini del suo confronto con quello delle categorie di sottosuolo di cui alla Tab. 3.2.II delle NTC, in particolare con la categoria B, relativa alla V_{se} del sito alla quota delle fondazioni pari a 523 m/s.

Lo spettro normalizzato mostra un'amplificazione spettrale ricavata dalla RSL maggiore rispetto a quella della categoria di sottosuolo "B" fino a circa 0,3 s. Per periodi maggiori l'amplificazione spettrale risulta contenuta all'interno dei valori dello spettro standard di categoria B.



I parametri dello spettro di risposta della RSL normalizzato, per lo stato SLD, sono i seguenti:

T_c	0,2167 s
T_b	0,0722 s
T_d	2,033 s
F_0	2,68
ag	0,070 g
S	1546

La normalizzazione dello spettro SLD è stata effettuata secondo le procedure ICMS di cui alla seguente bibliografia:

- ICMS - Gruppo di lavoro MS; 2008: Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 3 vol. e DVD.

- Pergalani F., Compagnoni M.; 2014: Spettri di risposta e Norme Tecniche per le Costruzioni. La microzonazione sismica dell'area urbana di Umbertide. Regione Umbria Servizio Geologico e Sismico, Publisher: Regione Umbria Servizio Geologico e Sismico, Editor: Dimensione Grafica Spello, ISBN: 978-8-896-27719-5
- D'Intinosante V. e GdL Fivizzano; 2015: La microzonazione sismica nel centro abitato di Fivizzano (MS). Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste
- Gruppo di Lavoro Fivizzano; 2017: Microzonazione sismica di livello 3: il caso del centro abitato di Fivizzano (MS), Roma, 2019

12.2.2.- Risposta Sismica Locale: Stato Limite SLV

12.2.2.1.- Procedura di analisi

Ubicazione del sito (ED50)	N 43,548839	E 10,718245
----------------------------	-------------	-------------

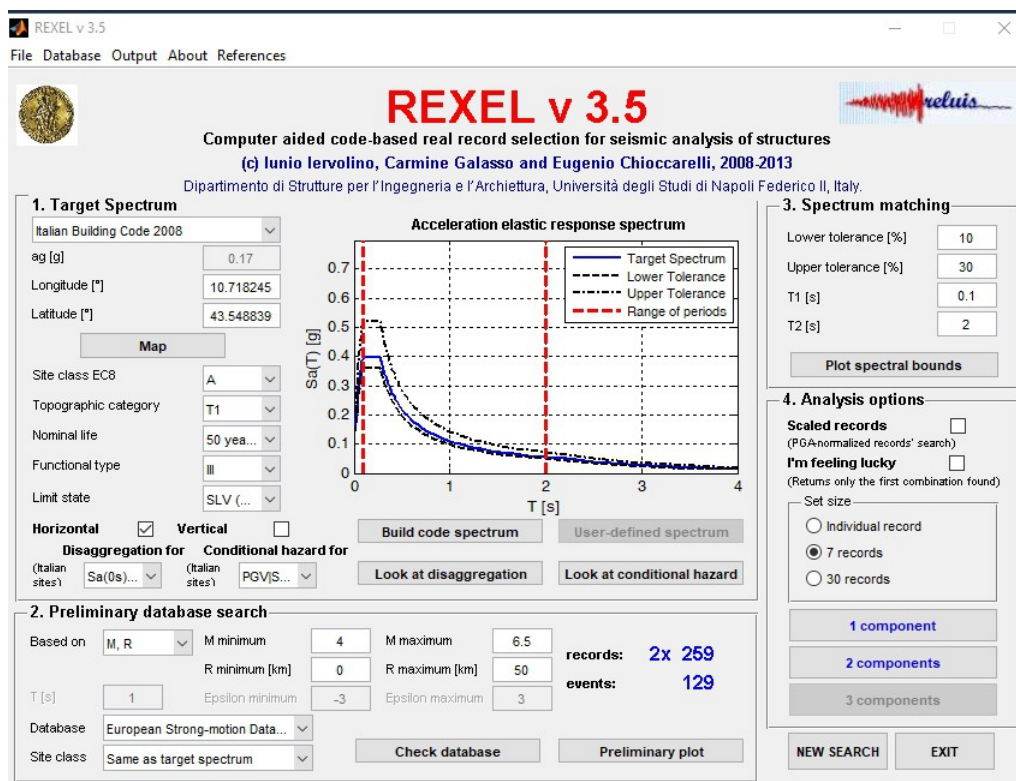
I parametri di partenza per l'analisi della RSL sono stati ricavati utilizzando il foglio elettronico "Spettri-NTC" del CSLLPP e l'interfaccia per la disaggregazione dell'azione sismica di base fornita dall' INGV (Progetto DPC-INGV- S1):

Stato limite	SLV
Vn	50 anni
Cu	01.05.00
Periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica	712 anni
Ag	0,160 g
F0	2,5
T*c	0,278 s
Range M-R (disaggregazione)	M 4 – 6
distanza R	da 0 a 20-40 km

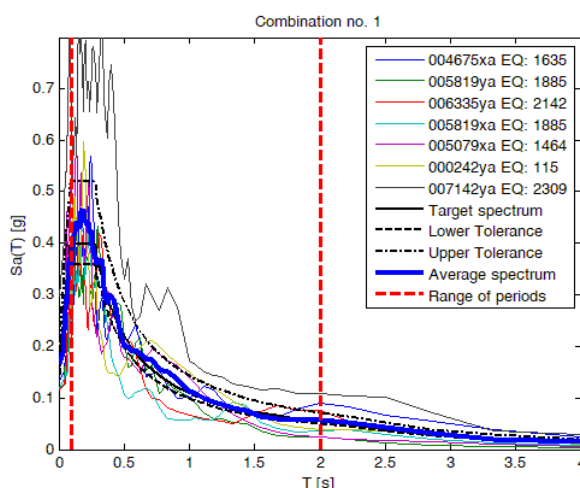
Per l'estrazione degli accelerogrammi di ingresso si è utilizzata anche in questo caso l'interfaccia "Rexel v. 3.5" e la banca dati sismica europea ESD.

Nella seguente immagine si riportano i parametri utilizzati in REXEL per la selezione dei sismogrammi sismocompatibili e spettrocompatibili con la sismicità di riferimento del sito in esame, ai sensi delle NTC 2018 par. 7.11.3.1 e par. 3.2.3. L'intervallo M-R di ricerca degli input sismici è stato leggermente ampliato comprendendo un più ampio insieme di record da sottoporre ad analisi di sismocompatibilità e spettrocompatibilità.

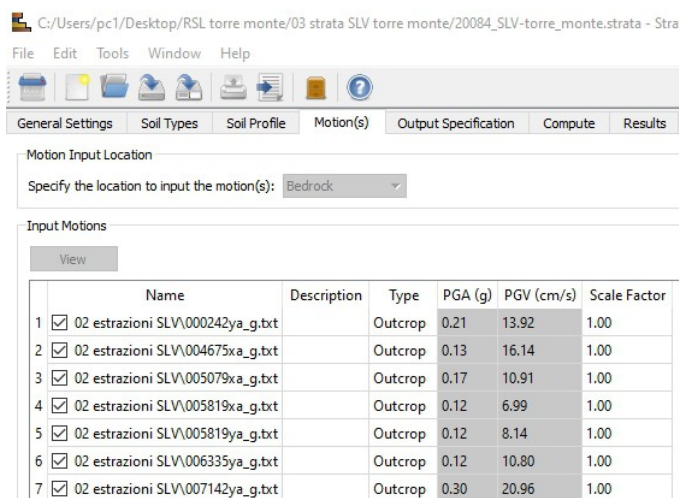
Anche in questo caso la ricerca dei sismogrammi è stata effettuata da stazioni sismometriche poste su terreni di categoria A.



Gli spettri degli accelerogrammi estratti, aventi fattore di scala pari a 1, sono riportati nella seguente immagine:



Come per lo stato limite SLD, anche per l'SLV l'analisi della risposta sismica locale è stata effettuata con il software libero 1D "Strata" e con gli accelerogrammi estratti tramite Rexel:



Il modello sismostratigrafico utilizzato per l'analisi all'SLV è analogo a quello per l'SLD, già descritto nel precedente paragrafo.

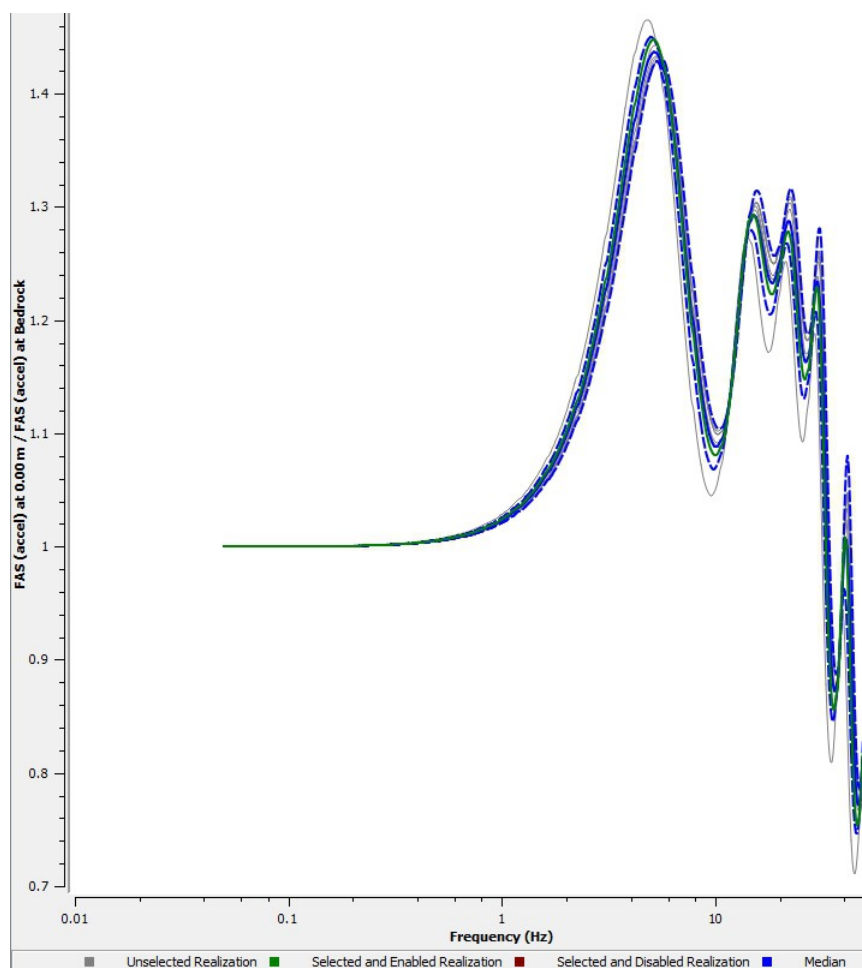
Al termine del calcolo il software ha restituito una certificazione di errore statistico inferiore all'1%, indice di una buona qualità dell'analisi basata sulla modellazione sismostratigrafica del sito (Appendice 14).

12.2.2.2.- Risultati della RSL: stato limite SLV

La Funzione di Amplificazione Spettrale (Funzione di Trasferimento) ottenuta dal software e riportata nella seguente immagine, evidenzia una frequenza principale di amplificazione, alla quota della fondazione, intorno a 5 Hz circa, con un modesto rapporto di amplificazione, tra segnale al bedrock e segnale alla base della fondazione (quota 0,0 della sismostratigrafia), intorno a 1,45.

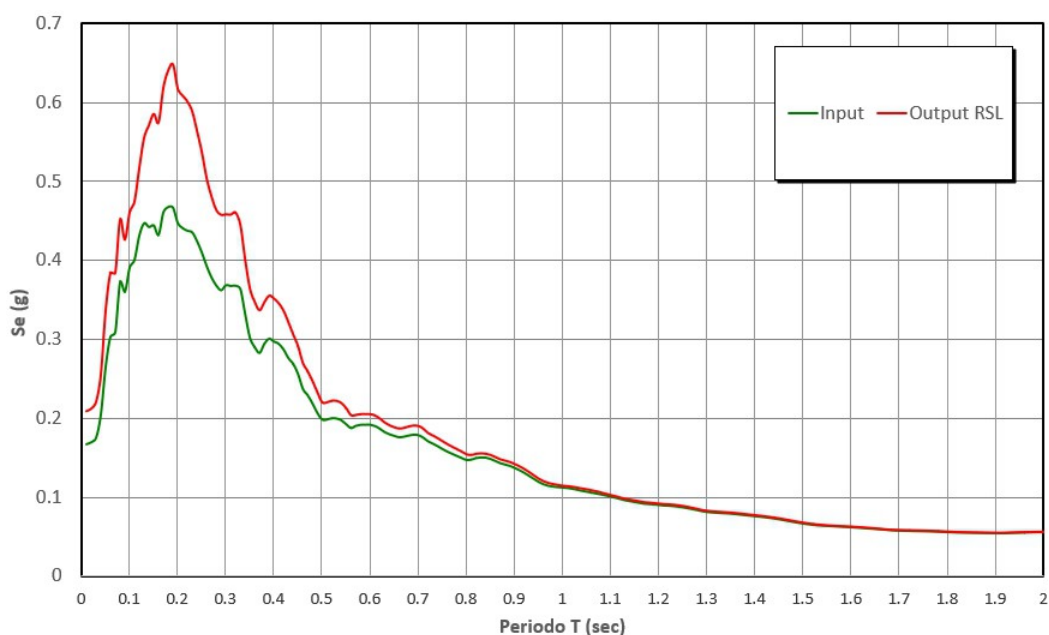
Un modo di vibrare secondario riferito alla base della fondazione, si colloca tra i 15 ed i 20 Hz circa, con un rapporto di amplificazione ugualmente modesto, di circa 1,3 (figura seguente).

Anche nel caso dell'SLV, la FAS della RSL a -14 m dal p.c. presenta uno spettro con un modo principale di vibrare più spostato verso le alte frequenze se confrontato con spettro H/V dei microtremori misurati al p.c. e ciò coerentemente con un minor spessore delle coperture, come anche per il rapporto di amplificazione bedrock/outcrop del picco della FAS, minore rispetto a quello mostrato dall'H/V al p.c..



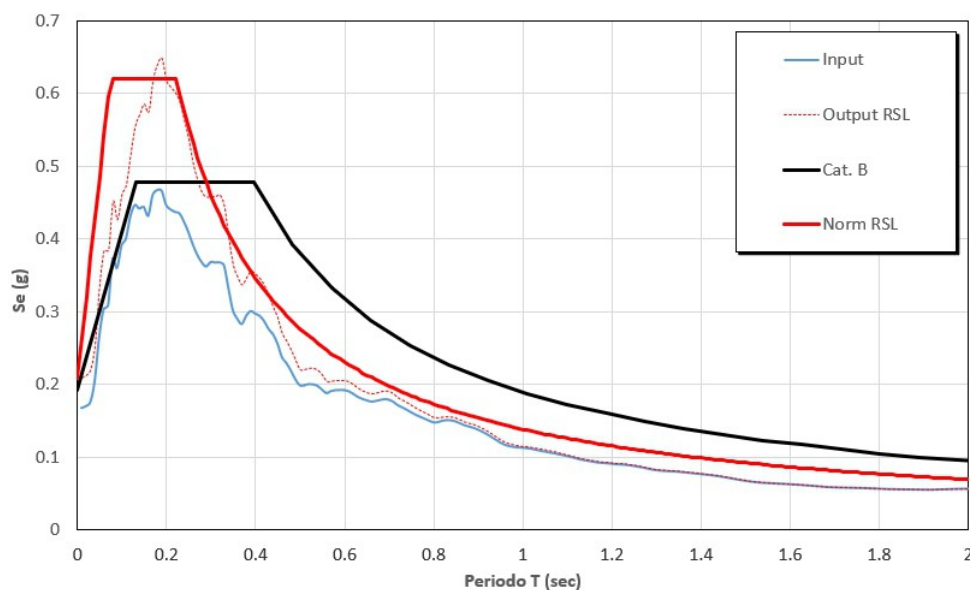
Nella seguente immagine si riporta il grafico dello spettro di RSL per lo stato SLV, componente orizzontale. Gli intervalli con maggiori amplificazioni sono compresi nel periodo tra 0,1 e 0,3 s circa.

I valori dei singoli punti dello spettro di risposta allo SLV sono integralmente riportati in Appendice 14.



Nel grafico che segue si riporta la normalizzazione dello spettro di risposta della RSL allo SLV. La normalizzazione dello spettro di RSL è stata effettuata ai fini del suo confronto con quello delle categorie di sottosuolo di cui alla Tab. 3.2.II delle NTC, in particolare con la categoria B, relativa alla V_{se} del sito pari a 523 m/s.

Lo spettro normalizzato mostra anche per l'SLV un'amplificazione spettrale ricavata dalla RSL maggiore rispetto a quella della categoria di sottosuolo "B" fino ad un periodo di circa 0,3 s. Per periodi maggiori l'amplificazione spettrale risulta contenuta all'interno dei valori dello spettro standard di categoria B.



I parametri dello spettro di risposta della RSL normalizzato, per lo stato SLV, sono i seguenti:

Tc	0,2230 s
Tb	0,0743 s
Td	2,4366 s
F0	2,96
ag	0,160 g
S	1,31

La normalizzazione dello spettro SLV è stata effettuata secondo le stesse procedure ICMS utilizzate per lo stato limite SLD.

12.3.-Analisi di Risposta Sismica locale per le torri ascensore di valle (viale Gramsci, 2021)

L'analisi locale è stata riferita alla quota di imposta delle fondazioni, posta a -1 m sotto il piano di campagna attuale, e il valore della V_{seq} di riferimento, calcolato dal piano di base della fondazione è risultato di circa 247 m/s sulla base dei risultati dell'indagine sismica in foro appositamente condotta.

La registrazione in sito dei microtremiti naturali del sottosuolo, elaborata in termini di rapporto tra le due componenti di vibrazione orizzontale e verticale del suolo (H/V o HVSR), segnala un picco di amplificazione di moderata entità ($H/V = 2,6 - 2,8$) intorno alla frequenza di 1 Hz ed in generale un range di amplificazione del rapporto H/V tra 1 e 3 Hz circa con valori del rapporto tra 2 e 2,5 circa (HVSR in sito n. 2, Appendice 1 Indagini sismiche).

12.3.1.- Risposta sismica locale

12.3.1.1.- Procedura di analisi

Ubicazione del sito (ED50)	N 43,548501	E 10,715578
----------------------------	-------------	-------------

I parametri di partenza per l'analisi della RSL sono stati ricavati utilizzando il foglio elettronico "Spettri-NTC" del CSLLPP e l'interfaccia per la disaggregazione dell'azione sismica di base fornita dall' INGV (Progetto DPC–INGV- S1):

Stato limite	SLD
Vn	50 anni
Cu	1,5
Periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica	75 anni
Ag	0,070 g
F0	2,47
T*c	0,253 s
Range M-R (disaggregazione)	M 4 – 6
distanza R	da 0 a 40 km

Per la selezione e l'estrazione degli accelerogrammi di ingresso si è utilizzata l'interfaccia "Rexel v. 3.5" dell'Università di Napoli Federico II, realizzata da:

Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E.
REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis.
Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362, 2010
DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

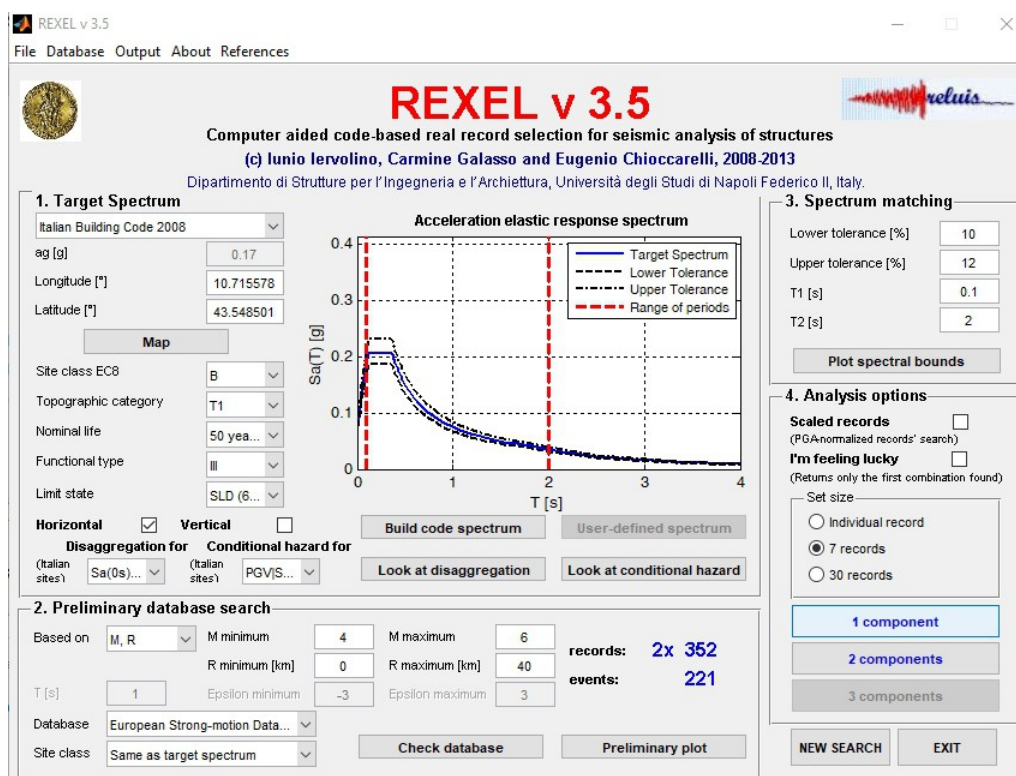
e la banca dati sismica europea ESD:

Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B.
Internet-Site for European Strong-Motion Data,
European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme (2002)

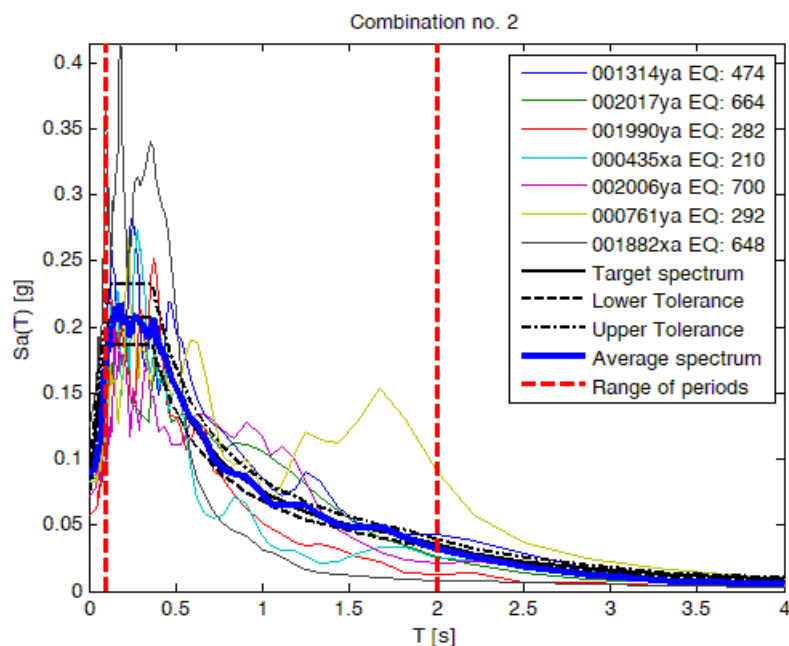
<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/>

Dato che nel sito non si è riscontrata la presenza di un bedrock sismico (terreni di categoria "A" con $V_s > 800$ m/s) entro le prime decine di metri di profondità, la ricerca dei sismogrammi tramite Rexel è stata effettuata selezionando le stazioni sismometriche poste su terreni di categoria B, in quanto dalle indagini in foro effettuate in sito si rileva la presenza di un suolo di categoria B oltre i - 20 m circa di profondità.

La seguente immagine mostra i parametri utilizzati in Rexel per la selezione dei sismogrammi sismocompatibili e spettrocompatibili con la sismicità di riferimento del sito in esame, ai sensi delle NTC 2018 par. 7.11.3.1 e par. 3.2.3.



Nella seguente immagine sono riportati gli spettri degli accelerogrammi estratti, aventi fattore di scala pari a 1:



L'analisi della risposta sismica locale è stata effettuata tramite il software libero 1D "Strata", di cui si riporta la pagina di riferimento:

Strata Help Manual

by Albert Kottke

The manual for Strata is separated into two parts. The first part is a pdf document, referred as the *technical manual*, that describes the theory and methodology of Strata. This document can be installed during the Strata install. The second part is this html help manual that is directed towards the interaction with the Strata interface. This help manual is separated into sections depending on the currently active interface. Each interface is further broken down into the various groupboxes with the purpose of each member described. The following are for the input tab:

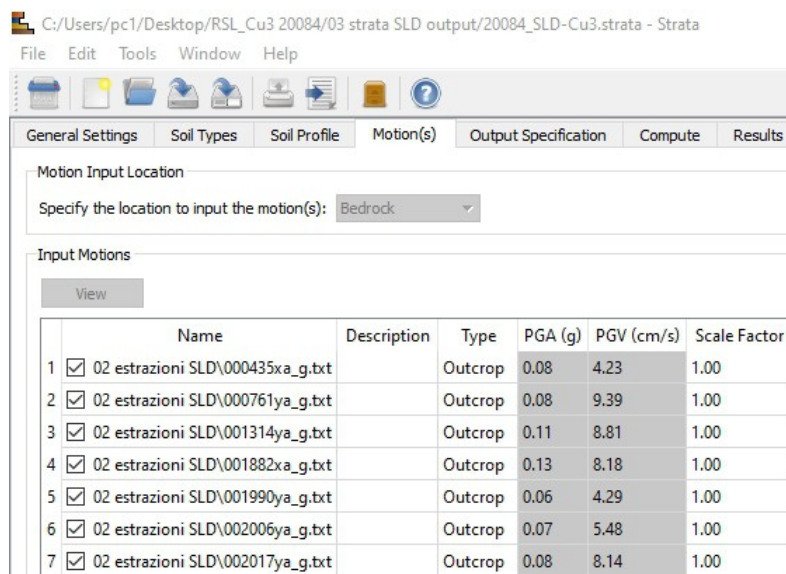
- General Settings
- Soil Types
- Soil Profile
- Motion(s)
- Output Specification
- Compute

In addition, there are the following items:

- Non-Linear Curve Dialog
- Output Page

The Strata program is released under the GNU Public License (GPL) version 3 which requires that the source code be made available. Contact me at albert.kottke@gmail.com for the source code. Also feel free to contact me regarding questions, comments, or suggestions.

In Strata sono stati caricati gli accelerogrammi precedentemente estratti tramite Rexel:



Per quanto riguarda il modello sismostratigrafico, considerata una quota media di imposta delle fondazioni a -1 m dal p.c., dalla stratigrafia della relazione geologica è stato escluso uno spessore iniziale di 1 m, ponendo così l'output della RSL allo 0,0 del modello sismostratigrafico in corrispondenza della base delle fondazioni.

Il punto di partenza dell'input sismico è stato posto all'interfaccia tra le coperture ed i terreni con la maggior Vs rilevata direttamente con la prova down-hole, pari a 583 m/s a -40 m dal p.c.

Il modello sismostratigrafico utilizzato per l'analisi RSL è riportato nelle immagini seguenti.

General Settings	Soil Types	Soil Profile	Motion(s)	Output Sp
Site Profile				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.50	1 arg lim sabb	156.00
2	3.50	2.50	2 arg sabb ghiaia	174.00
3	6.00	4.20	3 arg sabb ghiaia	165.00
4	10.20	5.30	4 arg sabbiosa	302.00
5	15.50	4.50	5 argilla limosa	304.00
6	20.00	5.00	6 argilla limosa	385.00
7	25.00	4.00	7 sabbia limo-argillosa	491.00
8	29.00	4.00	8 sabbia limo-argillosa	446.00
9	33.00	6.00	9 sabbia limo-argillosa	539.00
10	39.00	Half-Space	Bedrock	583.00

Le curve di decadimento sono state estratte da quelle dei corrispondenti litotipi contenuti nella banca dati del progetto VEL della Regione Toscana:

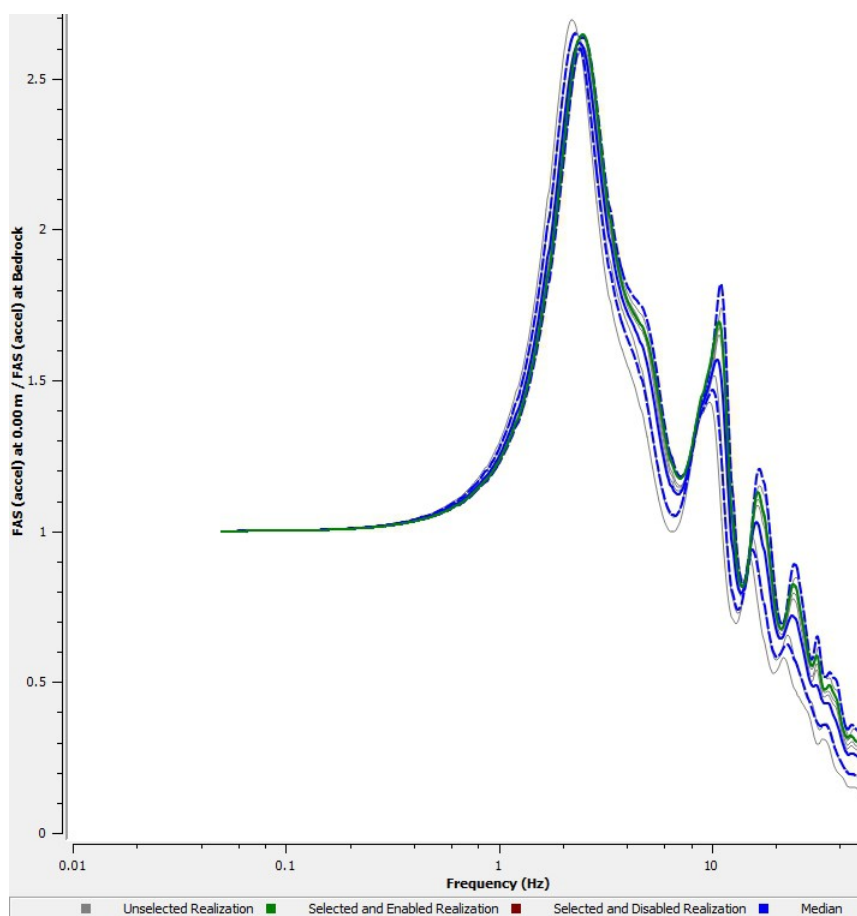
General Settings	Soil Types	Soil Profile	Motion(s)	Output Specification	Compute	Results
Soil Types						
	Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model		
1	1 arg lim sabb	20.20	Arg_lim_sabb_c_ghiaia_CL_ML_SS_regione	Arg_lim_sabb_c_ghiaia_CL_ML_SS_regione		
2	2 arg sabb ghiaia	20.20	Arg_sabb_c_ghiaia_CL_SS_regione	Arg_sabb_c_ghiaia-CL_SS_regione		
3	3 arg sabb ghiaia	20.20	Arg_sabb_c_ghiaia_CL_SS_regione	Arg_sabb_c_ghiaia-CL_SS_regione		
4	4 arg sabbiosa	19.90	Arg_sabbiosa_CH_SS_reg	Arg-sabbiosa-CH_SS_reg		
5	5 argilla limosa	19.60	Limo_ML_regione	Limo_ML_regione		
6	6 argilla limosa	19.60	Limo_ML_regione	Limo_ML_regione		
7	7 sabbia limo-argillosa	19.50	Sabbie_limoso_argillose-SC_SM_regione	Sabbie_limoso_argillose-SC-SM_regione		
8	8 sabbia limo-argillosa	19.50	Sabbie_limoso_argillose-SC_SM_regione	Sabbie_limoso_argillose-SC-SM_regione		
9	9 sabbia limo-argillosa	19.50	Sabbie_limoso_argillose-SC_SM_regione	Sabbie_limoso_argillose-SC-SM_regione		

Al termine del calcolo il software ha restituito una certificazione di errore statistico inferiore all'1 %, che indica la buona qualità dell'analisi scaturita dal modello sopra descritto (Appendice 15).

12.3.1.2.- Risultati della RSL: stato limite SLD

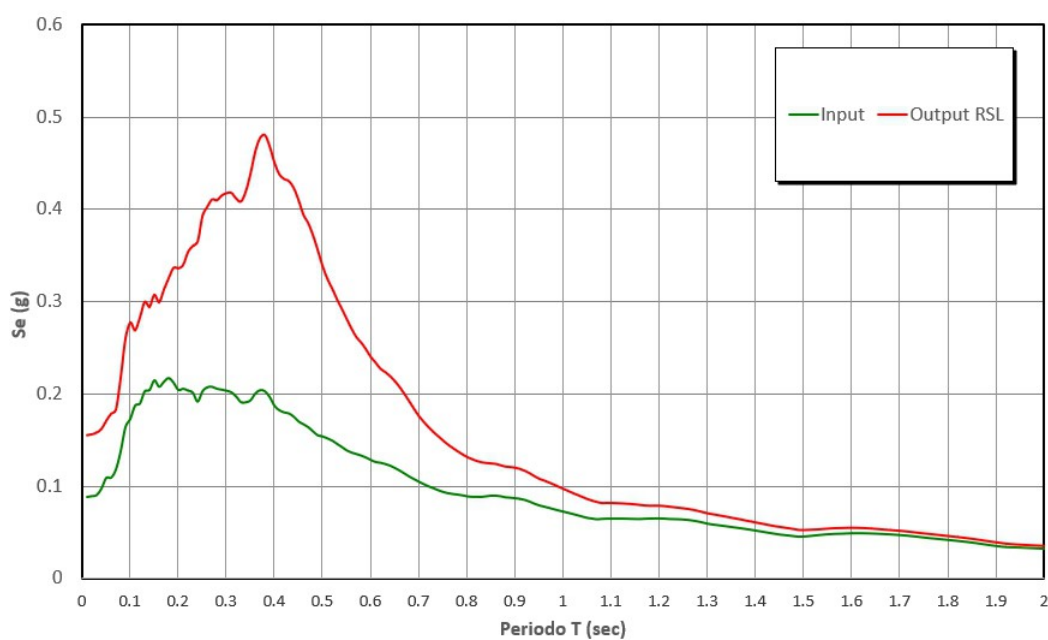
La Funzione di Amplificazione Spettrale (Funzione di Trasferimento) ottenuta dal software e riportata nella seguente immagine, evidenzia una frequenza principale di amplificazione intorno a 2,4 Hz circa, con un rapporto di amplificazione, tra segnale al bedrock e segnale alla base della fondazione (quota 0,0 della sismostratigrafia), intorno a 2,6.

La FAS ottenuta dalla RSL risulta quindi congruente con lo spettro H/V elaborato dalla misurazione dei microtremori in sismica passiva in sito.



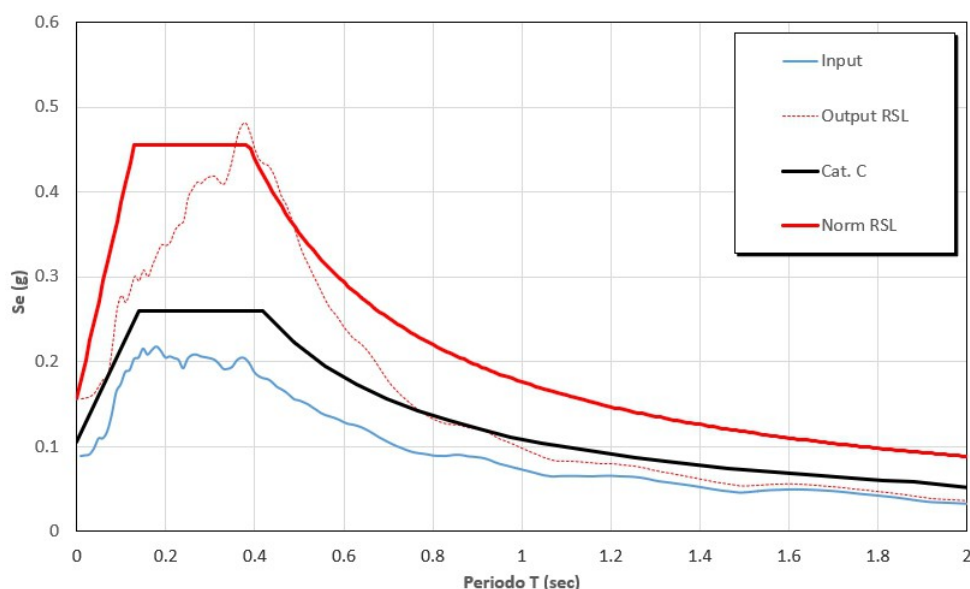
Nella seguente immagine si riporta il grafico dello spettro di RSL per lo stato SLD, componente orizzontale. Gli intervalli con maggiori amplificazioni sono compresi tra 0,1 e 0,6 s.

I valori dei singoli punti dello spettro di risposta sono integralmente riportati in Appendice 15.



Nel grafico che segue si riporta la normalizzazione dello spettro di risposta della RSL allo SLD. La normalizzazione dello spettro di RSL è stata effettuata ai fini del suo confronto con quello delle categorie di sottosuolo di cui alla Tab. 3.2.II delle NTC, in particolare con la categoria C, relativa alla V_{se} del sito pari a 247 m/s.

Lo spettro normalizzato mostra un'amplificazione spettrale ricavata dalla RSL maggiore rispetto a quella relativa alla categoria di sottosuolo "C".



I parametri dello spettro di risposta della RSL normalizzato, per lo stato SLD, sono i seguenti:

T_c	0,3867 s
T_b	0,1289 s
T_d	2,2219 s
F_0	2,93
ag	0,070 g
S	2,22

La normalizzazione dello spettro SLD è stata effettuata secondo le procedure ICMS di cui alla seguente bibliografia:

- ICMS - Gruppo di lavoro MS; 2008: Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 3 vol. e DVD.
- Pergalani F., Compagnoni M.; 2014: Spettri di risposta e Norme Tecniche per le Costruzioni. La microzonazione sismica dell'area urbana di Umbertide. Regione Umbria Servizio Geologico e Sismico, Publisher: Regione Umbria Servizio Geologico e Sismico, Editor: Dimensione Grafica Spello, ISBN: 978-8-896-27719-5

- D'Intinosante V. e GdL Fivizzano; 2015: La microzonazione sismica nel centro abitato di Fivizzano (MS). Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste
- Gruppo di Lavoro Fivizzano; 2017: Microzonazione sismica di livello 3: il caso del centro abitato di Fivizzano (MS), Roma, 2019

12.3.2.- Risposta Sismica Locale – Stato Limite SLV

12.3.2.1.- Procedura di analisi

Ubicazione del sito (ED50)	N 43,548501	E 10,715578
----------------------------	-------------	-------------

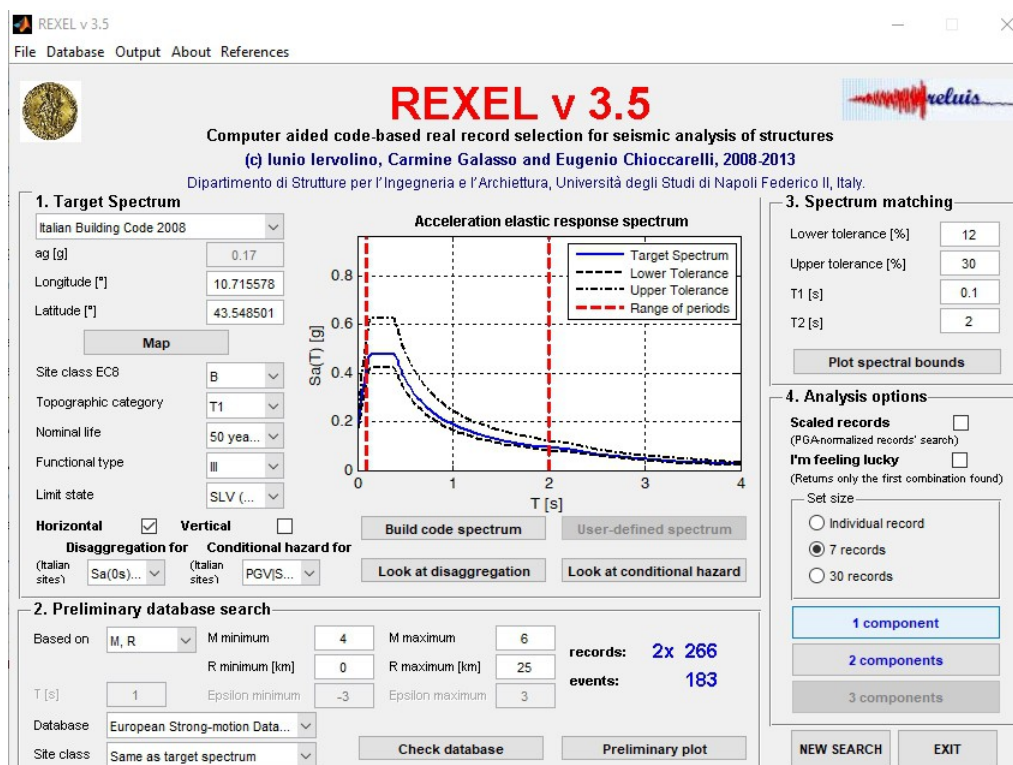
I parametri di partenza per l'analisi della RSL sono stati ricavati utilizzando il foglio elettronico "Spettri-NTC" del CSLLPP e l'interfaccia per la disaggregazione dell'azione sismica di base fornita dall' INGV (Progetto DPC-INGV- S1):

Stato limite	SLV
Vn	50 anni
Cu	1,5
Periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica	712 anni
Ag	0,160 g
F0	2,5
T*c	0,278 s
Range M-R (disaggregazione)	M 4 – 6
distanza R	da 0 a 20 km

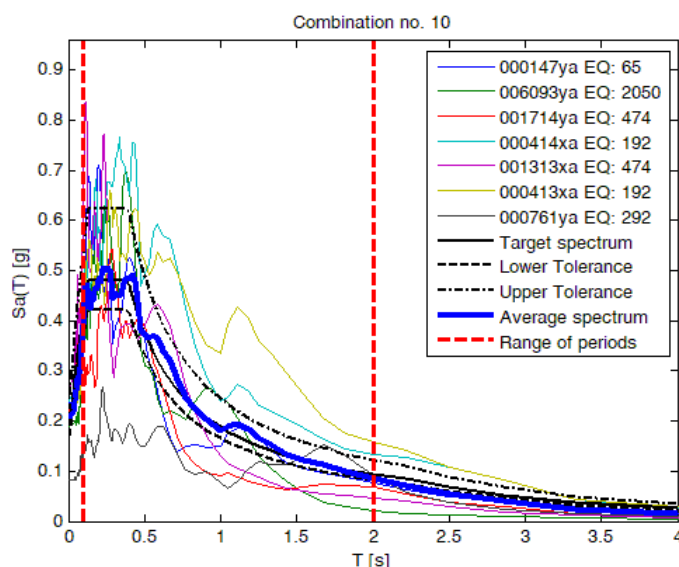
Per l'estrazione degli accelerogrammi di ingresso si è utilizzata la stessa interfaccia "Rexel v. 3.5" e la banca dati sismica europea ESD.

Nella seguente immagine si riportano i parametri utilizzati in REXEL per la selezione dei sismogrammi sismocompatibili e spettrocompatibili con la sismicità di riferimento del sito in esame, ai sensi delle NTC 2018 par. 7.11.3.1 e par. 3.2.3.

Anche in questo caso, data l'assenza del bedrock sismico entro le prime decine di metri di profondità, la ricerca dei sismogrammi è stata effettuata da stazioni sismometriche poste su terreni di categoria B.



Gli spettri degli accelerogrammi estratti, aventi fattore di scala pari a 1, sono riportati nella seguente immagine:



Come per lo stato limite SLD, anche per l'SLV l'analisi della risposta sismica locale è stata effettuata con il software libero 1D "Strata" e con gli accelerogrammi estratti tramite Rexel:

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Motion Input Location

Specify the location to input the motion(s): Bedrock

Input Motions

View

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	☒ 02 estrazioni SLV\000147ya_g.txt		Outcrop	0.24	18.93	1.00
2	☒ 02 estrazioni SLV\000413xa_g.txt		Outcrop	0.21	32.87	1.00
3	☒ 02 estrazioni SLV\000414xa_g.txt		Outcrop	0.24	31.64	1.00
4	☒ 02 estrazioni SLV\000761ya_g.txt		Outcrop	0.08	9.39	1.00
5	☒ 02 estrazioni SLV\001313xa_g.txt		Outcrop	0.27	16.07	1.00
6	☒ 02 estrazioni SLV\001714ya_g.txt		Outcrop	0.22	12.84	1.00
7	☒ 02 estrazioni SLV\006093ya_g.txt		Outcrop	0.19	15.21	1.00

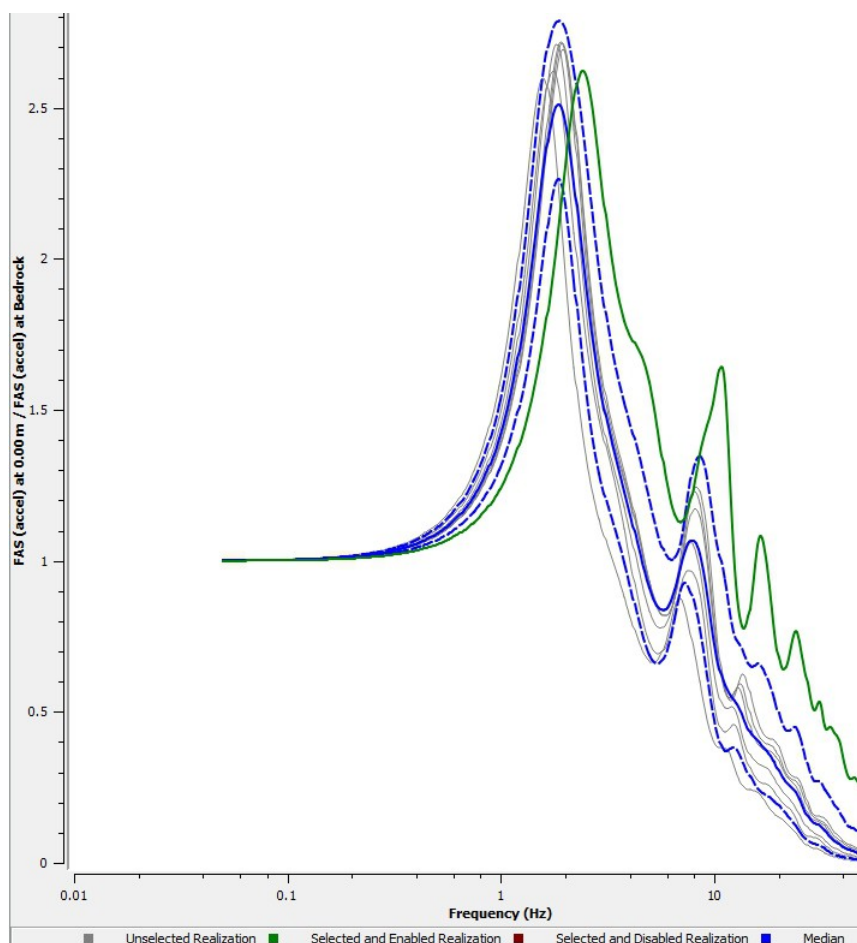
Il modello sismostratigrafico utilizzato per l'analisi all'SLV è analogo a quello per l'SLD, già descritto nel precedente paragrafo.

Al termine del calcolo il software ha restituito una certificazione di errore statistico inferiore all'1,2%, indice di una buona qualità dell'analisi basata sulla modellazione sismostratigrafica del sito (Appendice 16).

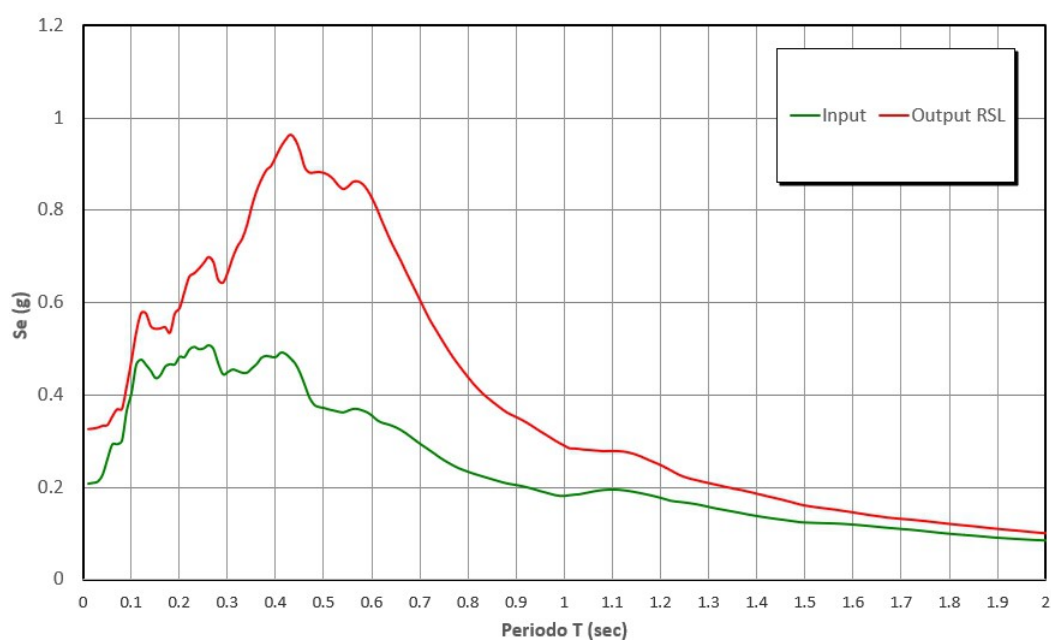
12.3.3.- Risultati della RSL: stato limite SLV

La Funzione di Amplificazione Spettrale all'SLV ottenuta dal software, riportata nella seguente immagine, evidenzia una frequenza principale di amplificazione intorno a 1,9 Hz circa, con un rapporto di amplificazione medio, tra segnale al bedrock e segnale alla base della fondazione (quota 0,0 della sismostratigrafia), intorno a 2,5.

La FAS ottenuta dalla RSL risulta congruente con lo spettro H/V elaborato dalla misurazione dei microtremori in sismica passiva in sito.



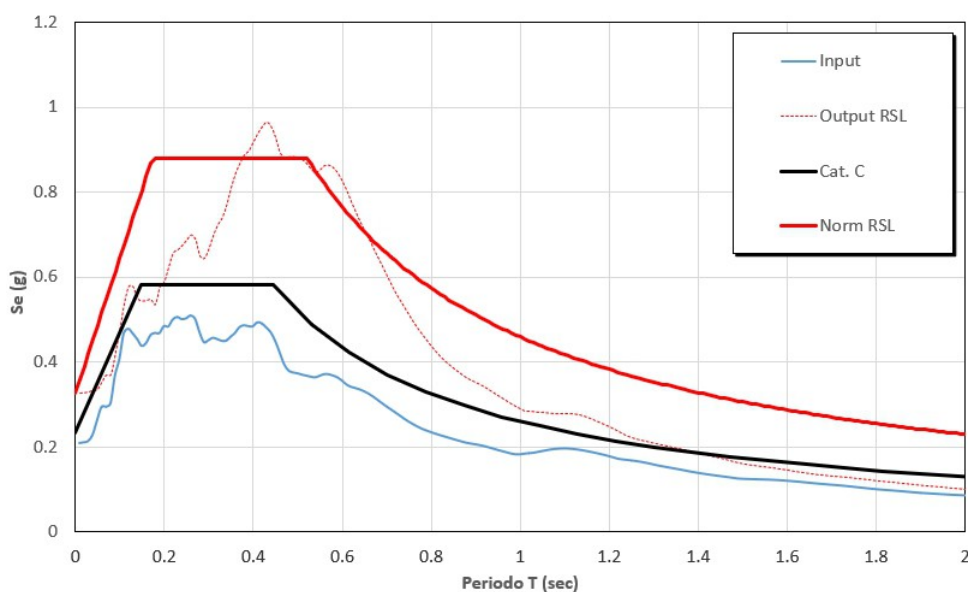
Nella seguente immagine si riporta il grafico dello spettro di RSL per lo stato SLV, componente orizzontale. Gli intervalli con maggiori amplificazioni sono compresi tra 0,2 e 0,8 s circa.



I valori dei singoli punti dello spettro di risposta allo SLV sono integralmente riportati in Appendice 16.

Nel grafico che segue si riporta la normalizzazione dello spettro di risposta della RSL allo SLV. La normalizzazione dello spettro di RSL è stata effettuata ai fini del suo confronto con quello delle categorie di sottosuolo di cui alla Tab. 3.2.II delle NTC, in particolare con la categoria C, relativa alla V_{se} del sito pari a 247 m/s.

Lo spettro normalizzato mostra un'amplificazione spettrale ricavata dalla RSL maggiore di quella relativa alla categoria di sottosuolo "C".



I parametri dello spettro di risposta della RSL normalizzato, per lo stato SLV, sono i seguenti:

T_c	0,5212 s
T_b	0,1737 s
T_d	2,9013 s
F_0	2,71
ag	0,160 g
S	2,03

La normalizzazione dello spettro SLV è stata effettuata secondo le stesse procedure ICMS utilizzate per lo stato limite SLD.

12.4.-Analisi di Risposta Sismica locale per la torre ascensore di valle (viale Gramsci, 2026, condotta a nell'ambito della Variante al Lotto n°2)

L'analisi locale è stata riferita alla quota di imposta delle fondazioni, posta a -6 m sotto il piano di campagna attuale, e il valore della V_{seq} di riferimento, calcolato dal piano di base della fondazione è risultato di circa 247 m/s sulla base dei risultati dell'indagine sismica in foro appositamente condotta. Qui di seguito vengono descritte le analisi numeriche di Risposta Sismica Locale a supporto della Variante al Lotto n°2 del progetto in epigrafe, condotte col codice di calcolo AlgoShake2D 3.0.0 di Algoritmiqa srl.

Il software è dedicato alla simulazione della risposta sismica locale dei terreni, finalizzata alla valutazione degli effetti di sito in condizioni sismiche ed applicabile in ambito di progettazione geotecnica. Le analisi consentono di modellare la propagazione delle onde sismiche all'interno di depositi stratificati tenendo conto della geometria del substrato e dei contatti stratigrafici.

Il comportamento non lineare dei terreni in condizioni dinamiche viene modellato mediante algoritmo lineare equivalente, che consente di aggiornare iterativamente le proprietà dinamiche dei materiali, in particolare il modulo di taglio e il rapporto di smorzamento, in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico.

Il moto sismico risultante viene valutato in specifici nodi del modello definiti sulla base delle esigenze progettuali, generalmente corrispondenti a punti di controllo posti lungo la superficie del terreno o in corrispondenza di particolari quote del deposito. In tali punti vengono calcolate le storie temporali di accelerazione, velocità e spostamento.

A partire da queste grandezze, il software presenta una sezione di post-processing che consente di determinare ulteriori parametri di interesse ingegneristico, tra cui gli spettri di risposta in accelerazione e i fattori di amplificazione del moto sismico, utili per la valutazione degli effetti di sito e per le successive verifiche di progetto. La relazione è organizzata per configurazioni stratigrafiche. Per ciascuna configurazione vengono descritti il modello numerico e i risultati delle analisi eseguite.

12.4.1.- Configurazione stratigrafica: Torre di valle 1D n

Nel presente capitolo viene descritto il modello numerico adottato per la configurazione stratigrafica corrente ed i risultati delle analisi condotte.

12.4.1.1.- Modello numerico

12.4.1.1.1.- Proprietà meccaniche dei materiali

Si riportano le proprietà fisiche dei materiali utilizzati per caratterizzare la risposta meccanica delle regioni che compongono il modello numerico.

Nome	γ (kN/m ³)	Modello	Vs (m/s)	Vp (m/s)	D (%)	Curve di decadimento	Modello resistenza al taglio	ID
Bedrock - argille azzurre	0,88	Visco-Elastico lineare	33,33	57,75	0,03	Nessuno	Nessuno	11
Sabbie e limi sabbiosi 700	0,83	Visco-Elastico lineare	29,17	50,53	0,08	Nessuno	Nessuno	10
Sabbie e limi sabbiosi 600	0,83	Visco-Elastico lineare equivalente	25,00	43,31	0,00	Darendeli & Stokoe (2001)	Nessuno	9
Sabbie e limi sabbiosi 500	0,83	Visco-Elastico lineare equivalente	20,83	36,09	0,00	Darendeli & Stokoe (2001)	Nessuno	5
Sabbie e limi sabbiosi 328	0,83	Visco-Elastico lineare equivalente	13,67	23,67	0,00	Darendeli & Stokoe (2001)	Nessuno	4
Limi sabbiosi e argillosi 328	0,83	Visco-Elastico lineare equivalente	13,67	23,67	0,00	Darendeli & Stokoe (2001)	Nessuno	8
Limi sabbiosi e argillosi 166	0,83	Visco-Elastico lineare equivalente	6,92	11,99	0,00	Darendeli & Stokoe (2001)	Nessuno	3
Sabbie e limi sabbiosi 166	0,85	Visco-Elastico lineare equivalente	6,92	11,99	0,00	Darendeli & Stokoe (2001)	Nessuno	7
Sabbie e limi sabbiosi 156	0,85	Visco-Elastico lineare equivalente	6,50	11,26	0,00	Darendeli & Stokoe (2001)	Nessuno	2

Tabella 1 - Caratteristiche meccaniche dei materiali

dove:

- *Nome: Attribuisce un nominativo al materiale.;*
- *γ (kN/m³): Specifica il peso per unità di volume del materiale;*
- *Modello: Specifica il tipo di modello meccanico da adottare per tale materiale.;*
- *Vs (m/s): velocità di propagazione delle onde di taglio;*
- *Vp (m/s): Velocità di propagazione delle onde longitudinali;*
- *D (%): Specifica il rapporto di smorzamento viscoso nel caso di materiale con modello elastico lineare (non viene utilizzato per il modello lineare equivalente).;*
- *Curve di decadimento: Specifica il modello non lineare per il modulo di taglio e per lo smorzamento.;*
- *Modello resistenza al taglio: Specifica il modello utilizzato nella definizione delle caratteristiche di resistenza al taglio ciclico e per la definizione del rapporto di sovrappressione interstiziale per i vari litotipi.;*

12.4.1.1.2.- Curve di decadimento

Si riportano i modelli di decadimento adottati per la caratterizzazione non lineare dei materiali.

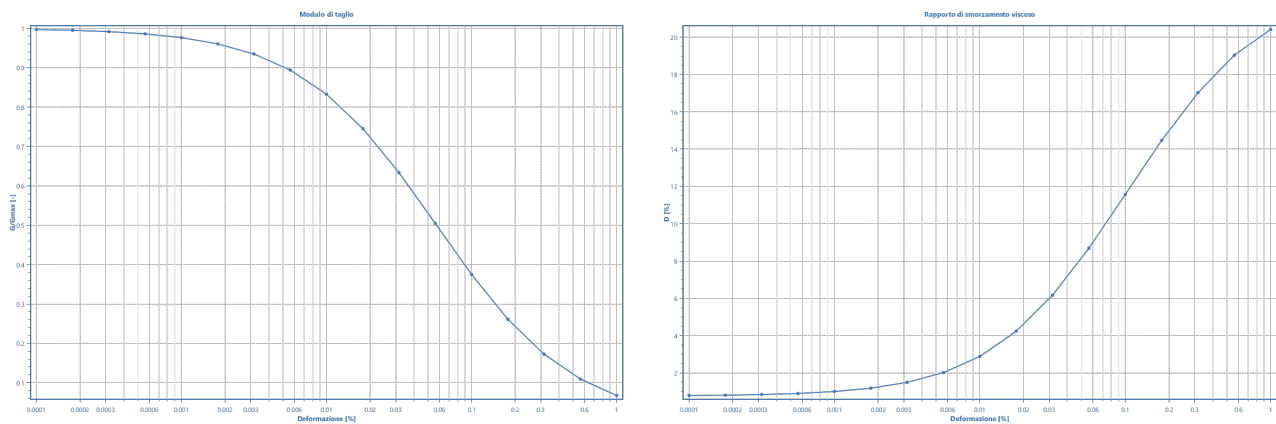


Figura 1 - Darendeli & Stokoe (2001) (a. Modulo di taglio normalizzato; b. Rapporto di smorzamento viscoso)

12.4.1.1.3.- Sequenza stratigrafica

Di seguito viene riportata una tabella che specifica la sequenza stratigrafica monodimensionale per l'analisi corrente.

Nome	Spessore (m)	Materiale
Sabbie e limi sabbiosi 156	4,00	Sabbie e limi sabbiosi 156
Sabbie e limi sabbiosi 166	2,10	Sabbie e limi sabbiosi 166
Sabbie e limi sabbiosi 166	0,60	Sabbie e limi sabbiosi 166
Limi sabbiosi e argillosi 166	4,30	Limi sabbiosi e argillosi 166
Limi sabbiosi e argillosi 328	1,80	Limi sabbiosi e argillosi 328
Sabbie e limi sabbiosi 328	6,60	Sabbie e limi sabbiosi 328
Sabbie e limi sabbiosi 328	6,60	Sabbie e limi sabbiosi 328
Sabbie e limi sabbiosi 500	7,50	Sabbie e limi sabbiosi 500
Sabbie e limi sabbiosi 500	7,00	Sabbie e limi sabbiosi 500
Sabbie e limi sabbiosi 600	9,00	Sabbie e limi sabbiosi 600
Sabbie e limi sabbiosi 600	7,50	Sabbie e limi sabbiosi 600
Sabbie e limi sabbiosi 600	7,50	Sabbie e limi sabbiosi 600
Sabbie e limi sabbiosi 700	7,50	Sabbie e limi sabbiosi 700
Sabbie e limi sabbiosi 700	7,50	Sabbie e limi sabbiosi 700
Bedrock - argille azzurre	20,00	Bedrock - argille azzurre

Tabella 2 - Sequenza stratigrafica: Torre di valle 1D n

12.4.2.- Verifiche ai diversi stati limite

Qui di seguito sono riportati i risultati, in forma grafica, delle elaborazioni condotte per i diversi stati limite (SLO, SLD, SLV, SLC): la trattazione completa è riportata nella relazione di Risposta Sismica Locale inserita in Appendice.

12.4.2.1.- Verifiche SLO

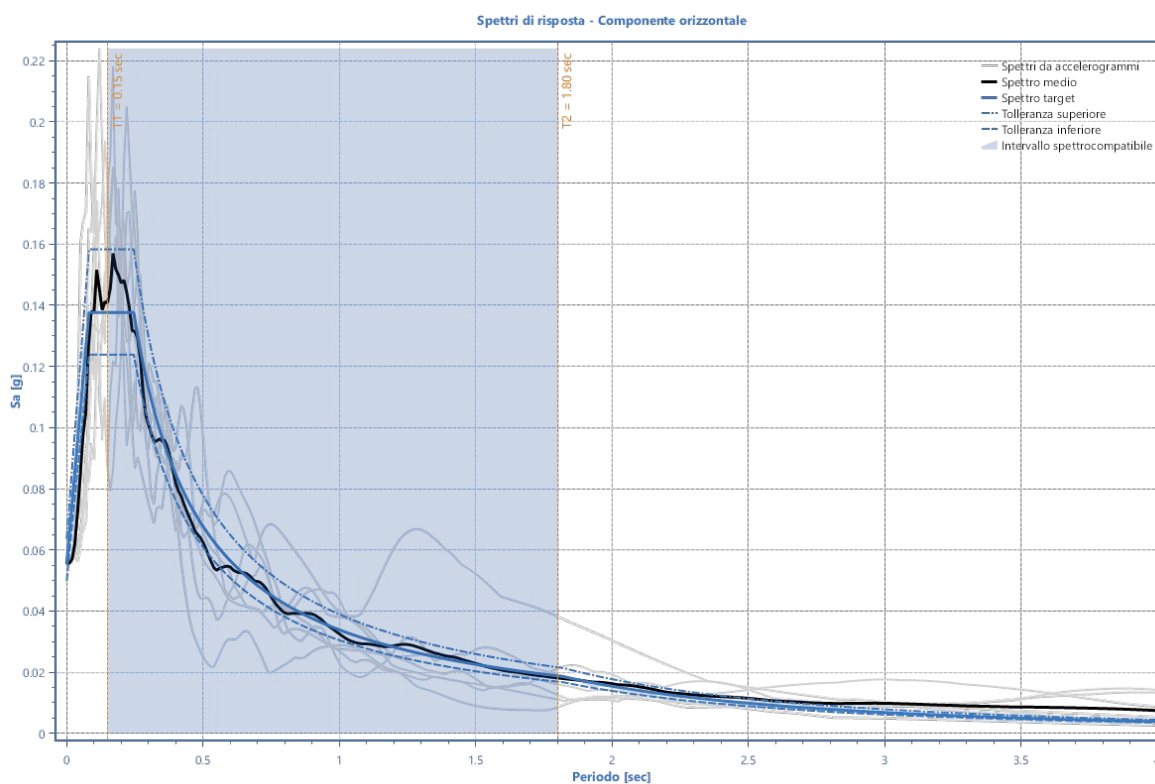


Figura 2 - Verifica spettro-compatibilità scenario: SLO peccioli 2026

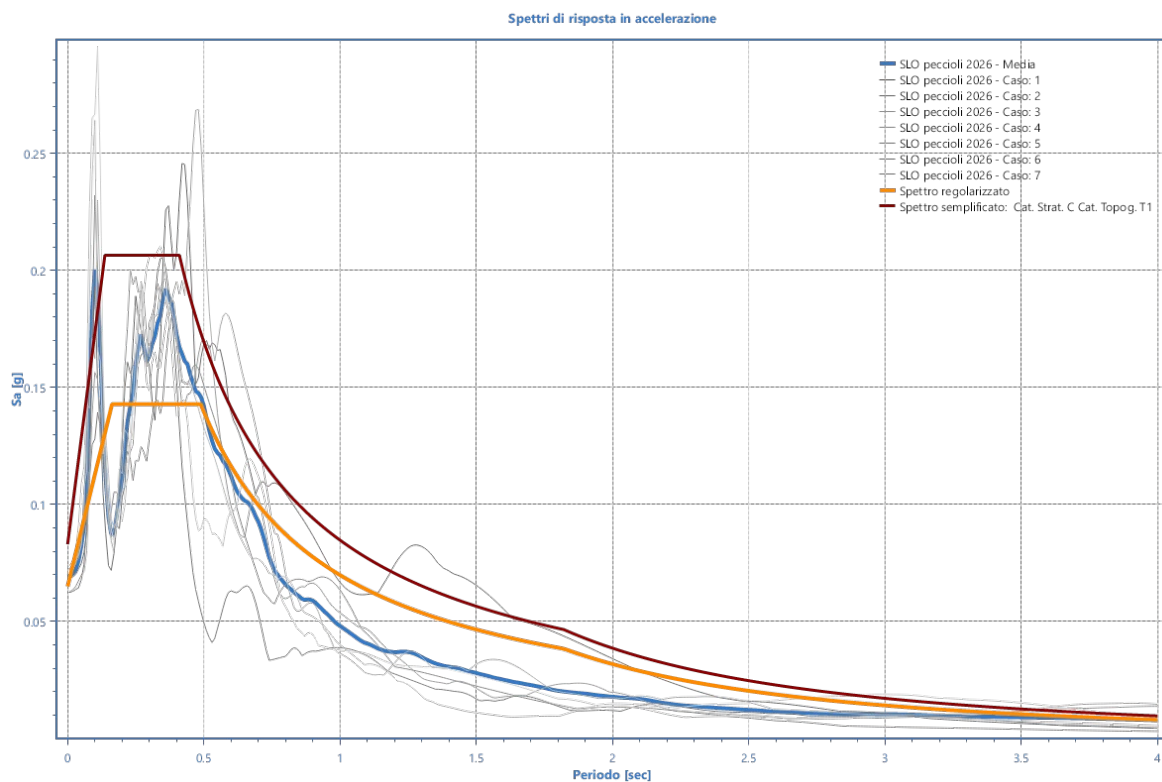


Figura 3 - Regolarizzazione spettro di risposta medio per il punto: N: 15

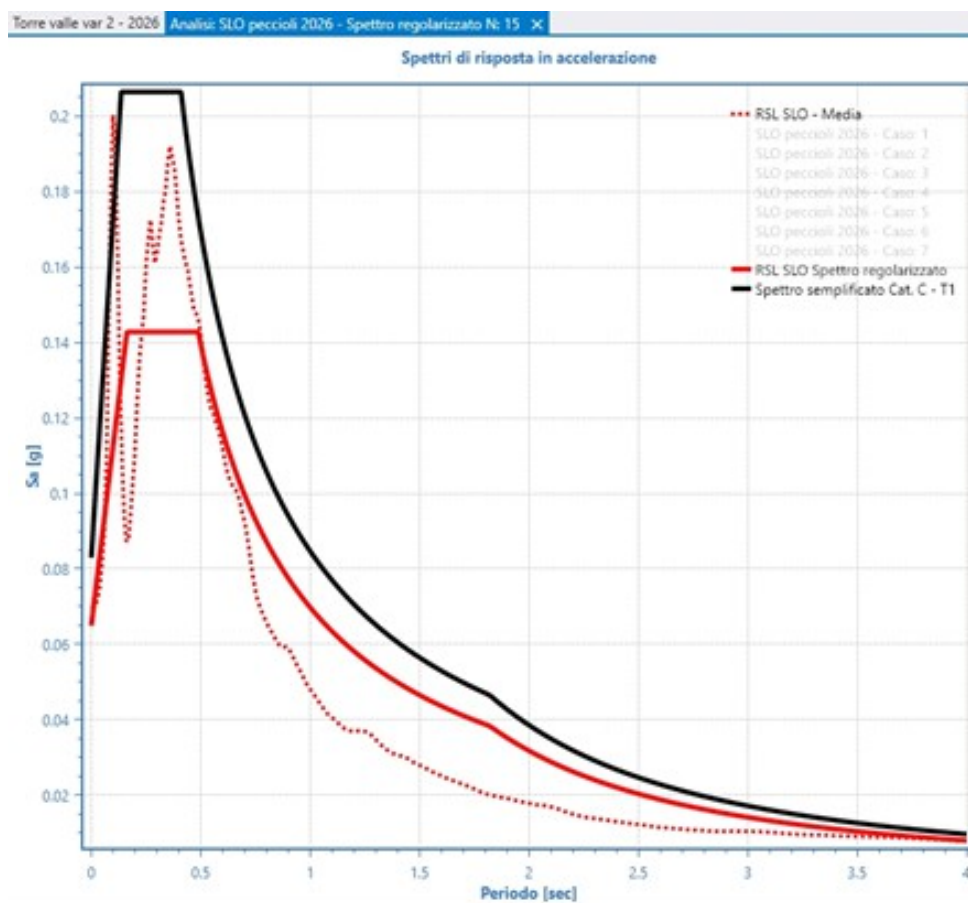


Figura 4 - Funzione di amplificazione SLO

12.4.2.2.- Verifiche SLD

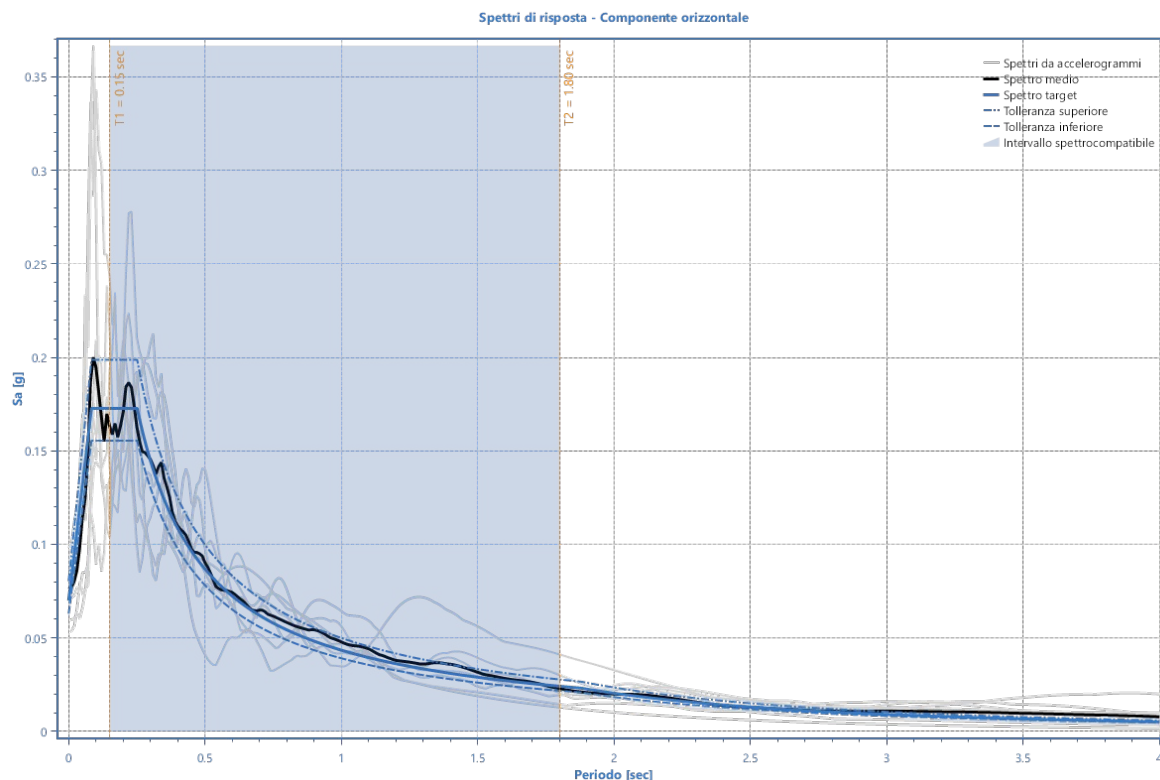


Figura 5 - Verifica spettro-compatibilità scenario: SLD peccioli 2026

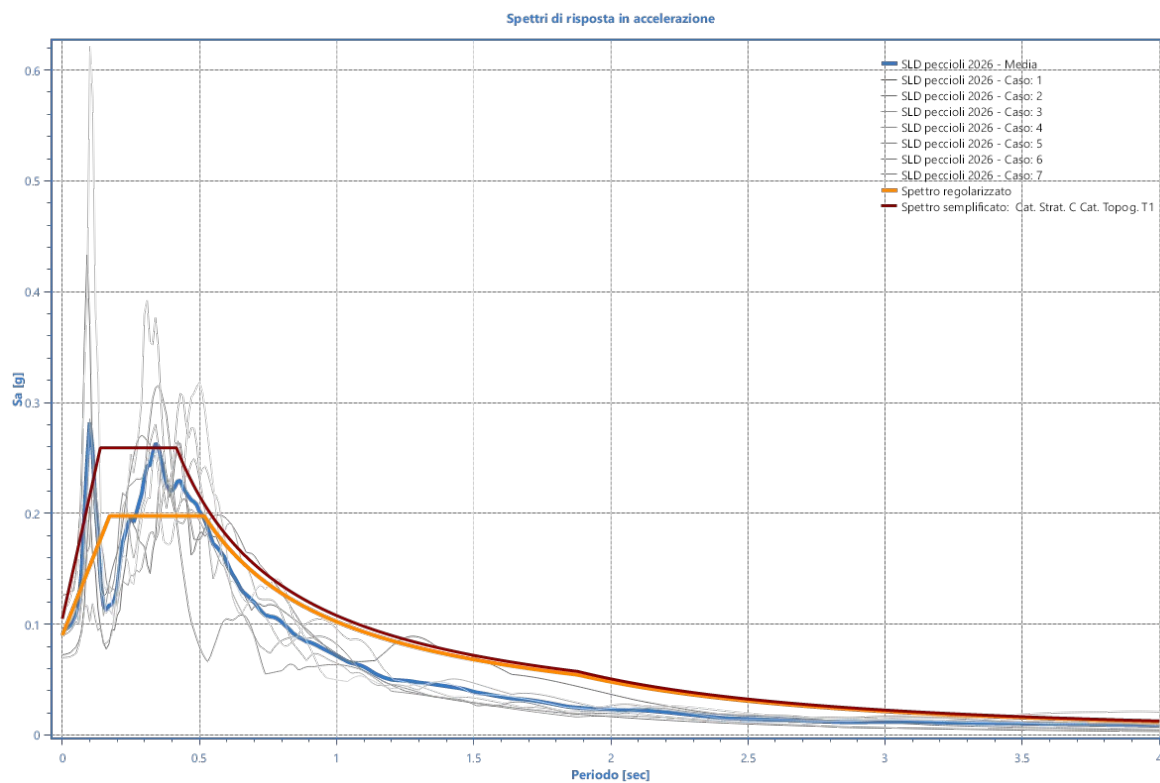


Figura 6 - Regolarizzazione spettro di risposta medio per il punto: N: 15

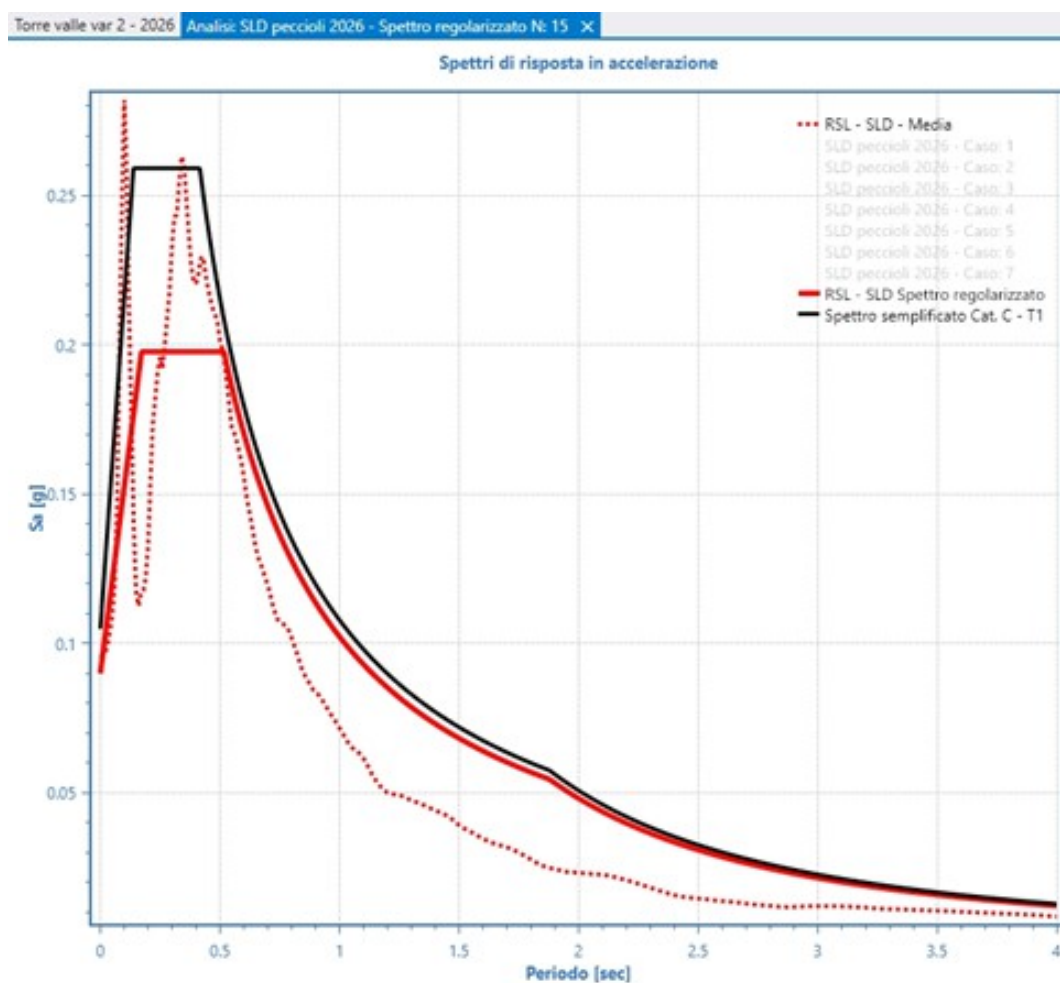


Figura 7 - Spettro regolarizzato per il punto di controllo n. 15. In nero lo spettro di categoria di sottosuolo C e categoria topografica T1. In tratto puntinato rosso lo spettro medio di output allo SLD. In tratto più spesso rosso lo spettro di RSL regolarizzato.

12.4.2.3.- Verifiche SLV

VARIANTE AL LOTTO N°2 DEL COLLEGAMENTO PEDONALE DAL CENTRO STORICO DEL CAPOLUOGO
ALLE AREE DEI SERVIZI PUBBLICI LUNGO VIALE GRAMSCI
PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO FUNZIONALE 2

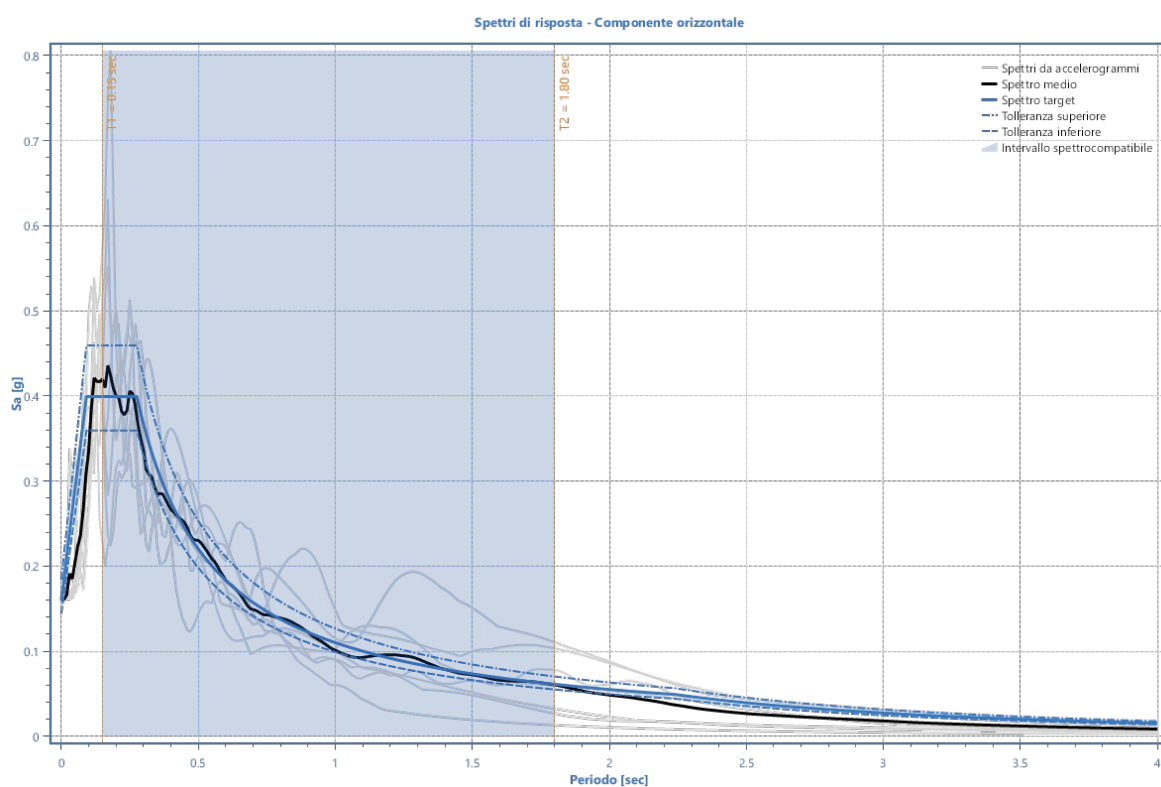


Figura 8 - Verifica spettro-compatibilità scenario: SLV peccioli 2026

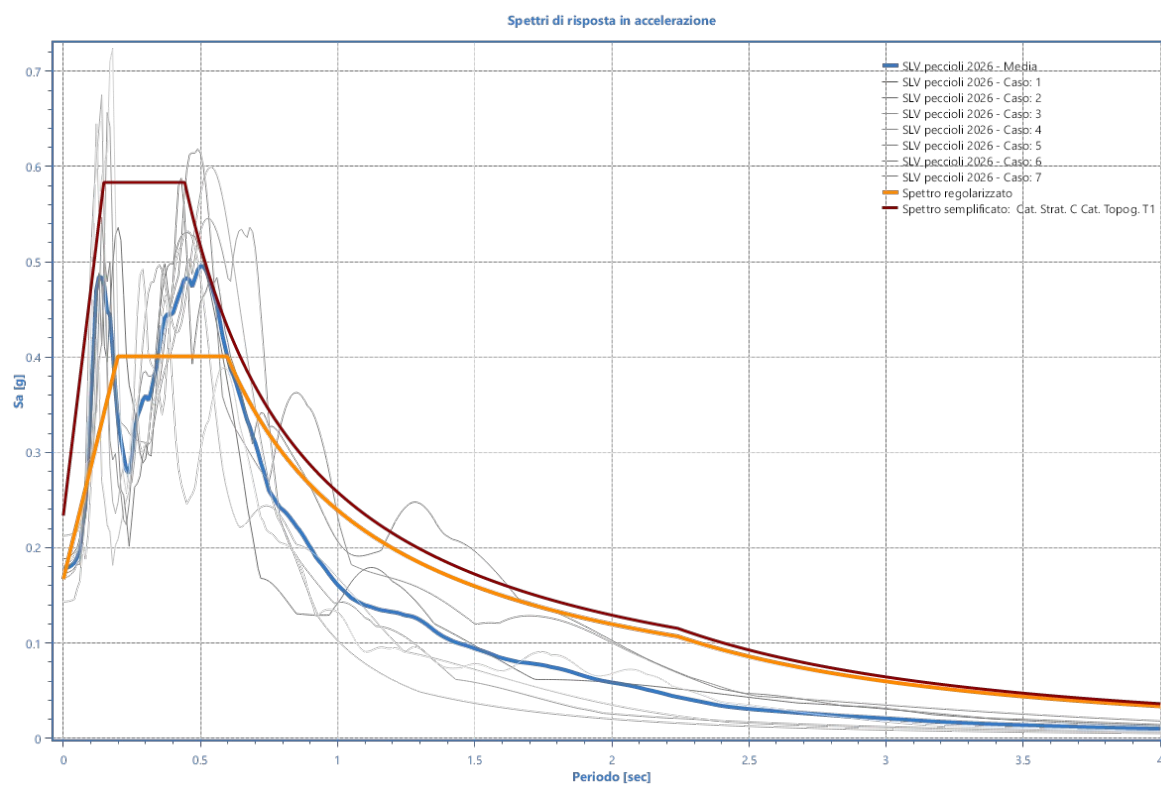


Figura 9 - Regolarizzazione spettro di risposta medio per il punto: N: 15

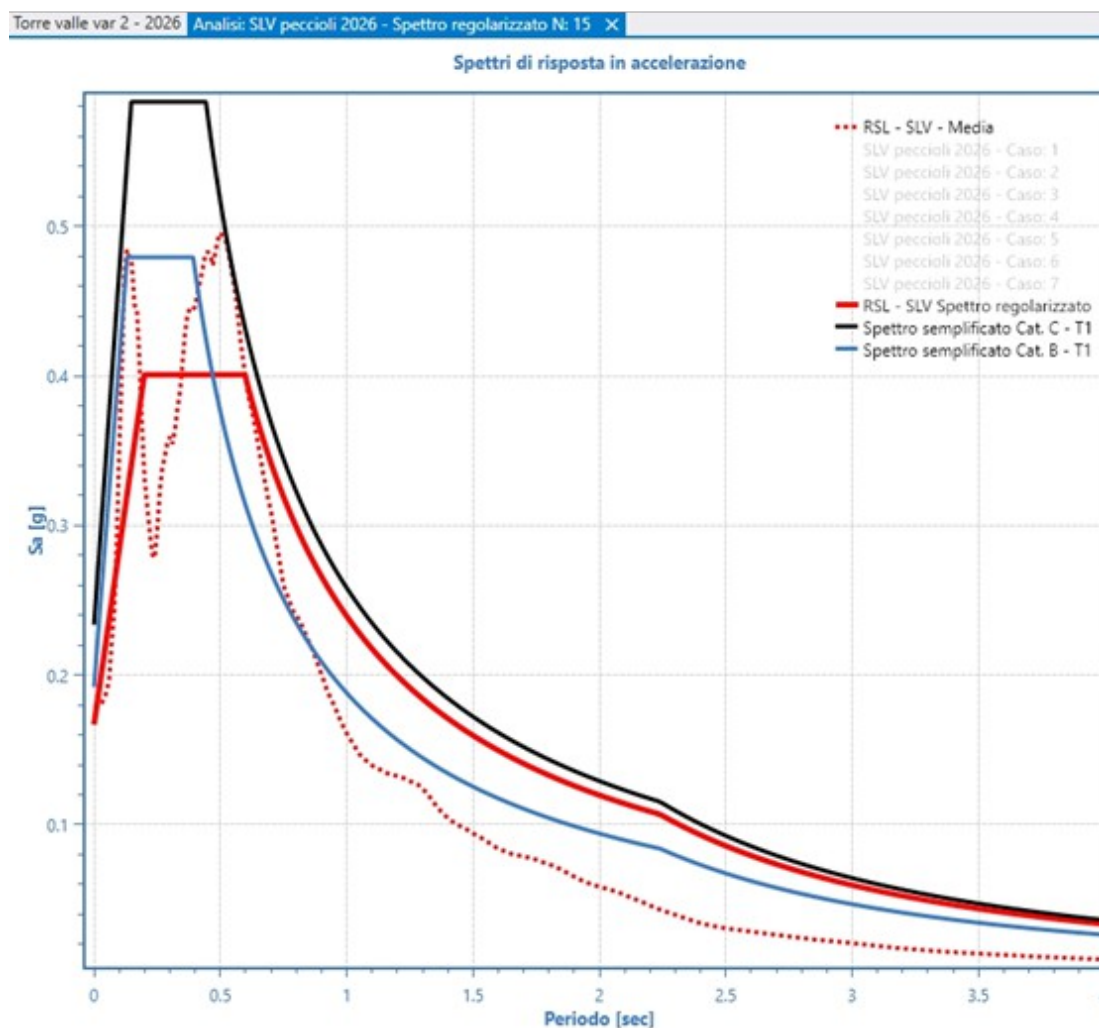


Figura 10 - Spettro regolarizzato per il punto di controllo n. 15. In nero lo spettro di categoria di sottosuolo C e categoria topografica T1. In tratto puntinato rosso lo spettro medio di output allo SLV. In tratto più spesso rosso lo spettro di RSL regolarizzato.

12.4.2.4.- Verifiche SLC

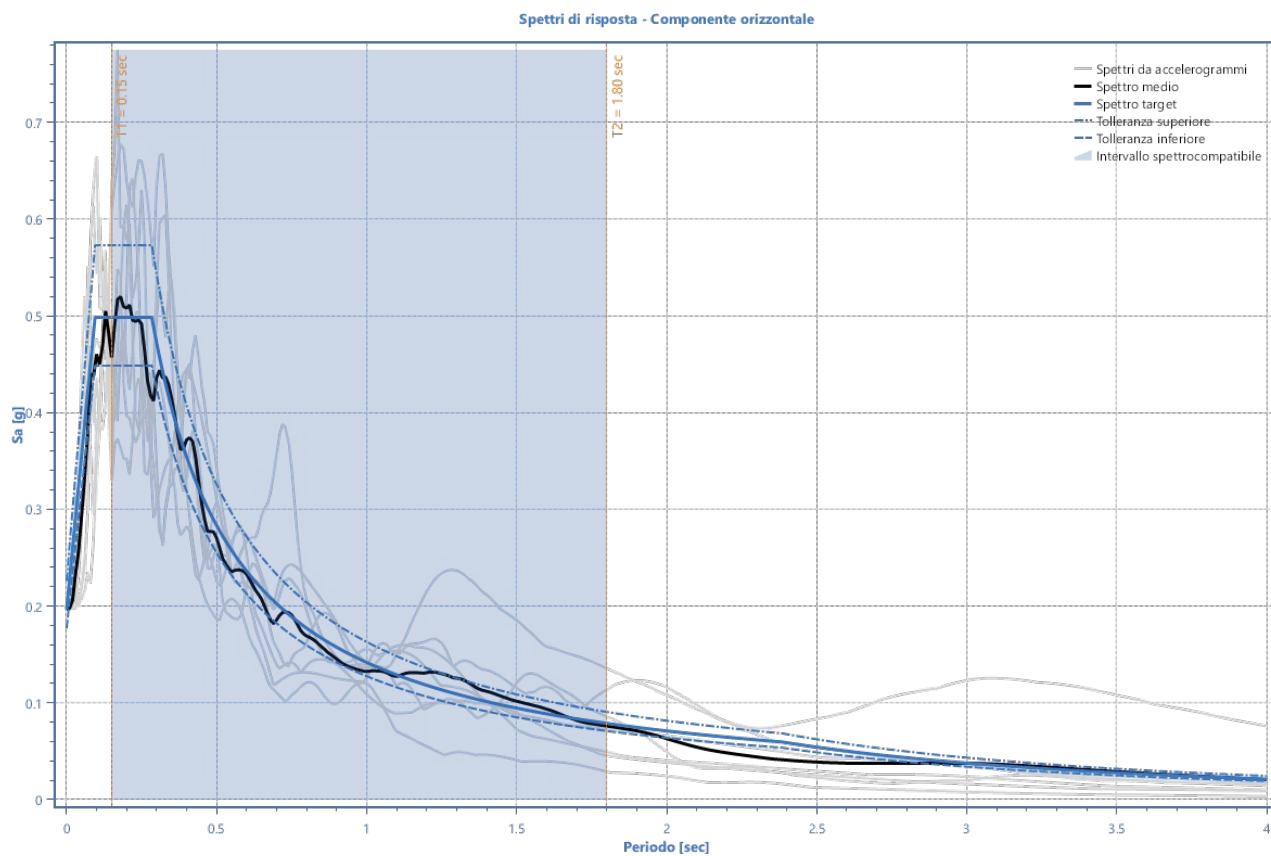


Figura 11 - Verifica spettro-compatibilità scenario: SLC peccioli 2026

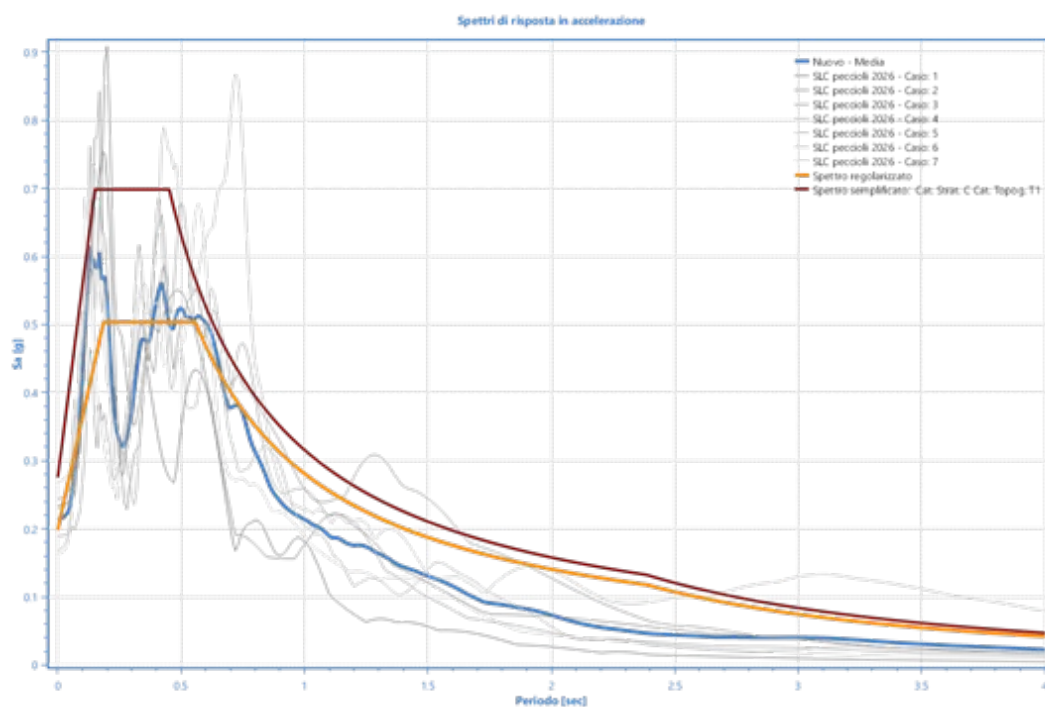


Figura 12 - Regolarizzazione spettro di risposta medio per il punto: N: 15

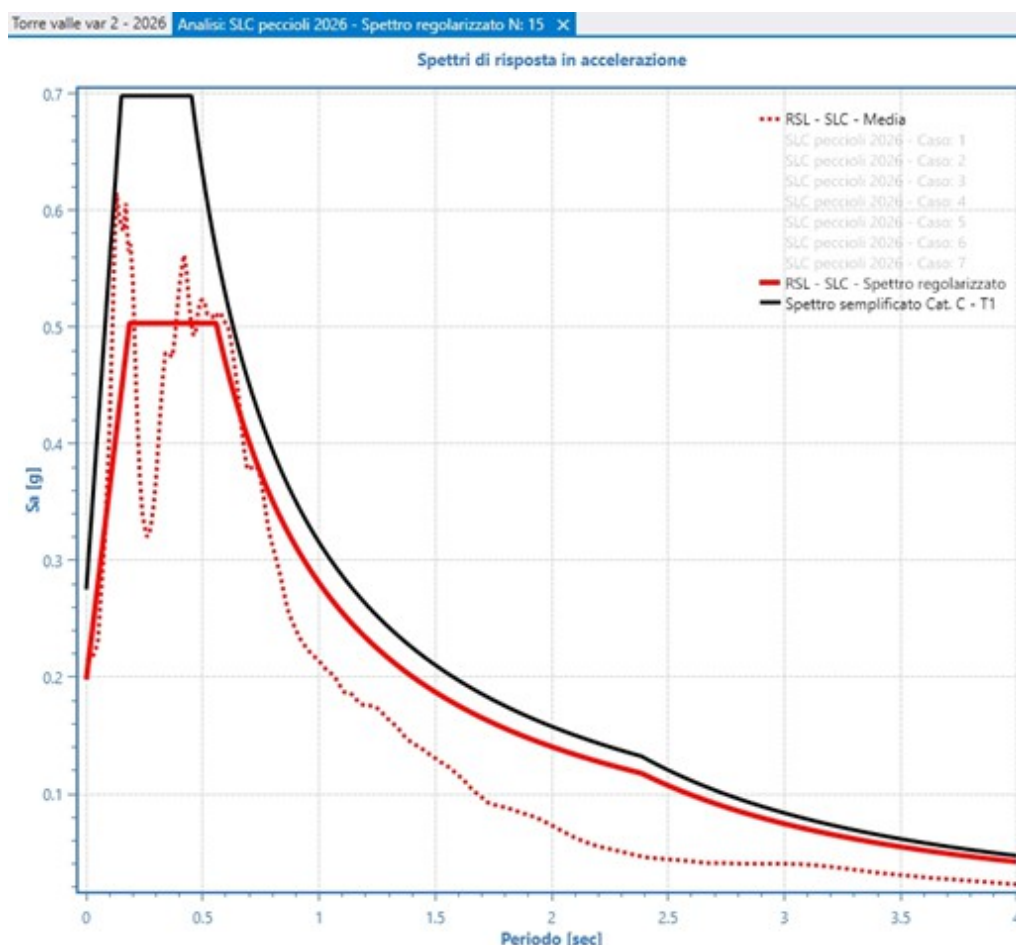


Figura 13 - Spettro regolarizzato per il punto di controllo n. 15. In nero lo spettro di categoria di sottosuolo C e categoria topografica T1. In tratto puntinato rosso lo spettro medio di output allo SLC. In tratto più spesso rosso lo spettro di RSL regolarizzato.

12.4.3.- Considerazioni sull'analisi di Risposta Sismica Locale

L'analisi di Risposta Sismica Locale condotta a supporto della Variante al progetto del Lotto 2 ha permesso di definire con maggiore dettaglio gli effetti locali.

L'analisi dei risultati, rappresentata sinteticamente nell'immagine seguente, ha permesso il confronto tra gli spettri di risposta calcolati ("spettro medio") e quelli standard di normativa riferiti alla Categoria di sottosuolo C, direttamente confrontabili con i risultati dello studio di RSL.

Da ciò appare che l'utilizzo dello spettro di risposta della categoria C può risultare appropriato per la definizione delle azioni sismiche riferibili alle torri-ascensore in quanto riflette le caratteristiche sismostratigrafiche del sito nel rispetto delle indicazioni delle NTC 2018.

Rispetto all'analisi di RSL condotta nell'ambito della Variante, quella precedente (riferita al progetto originale ed alla profondità di 1 m dal piano di campagna) risulta più cautelativa, con spettro medio superiore a quello della Categoria C: sarà cura del progettista strutturale valutare gli spettri da utilizzare nella definizione delle azioni sismiche di progetto.

Rispetto all'analisi di RSL condotta in precedenza (valutata ad una profondità di 1 m dal piano di campagna) i risultati ottenuti nella verifica riferita alla profondità di 6 m gli spettri presentano fattori di amplificazione più bassi:

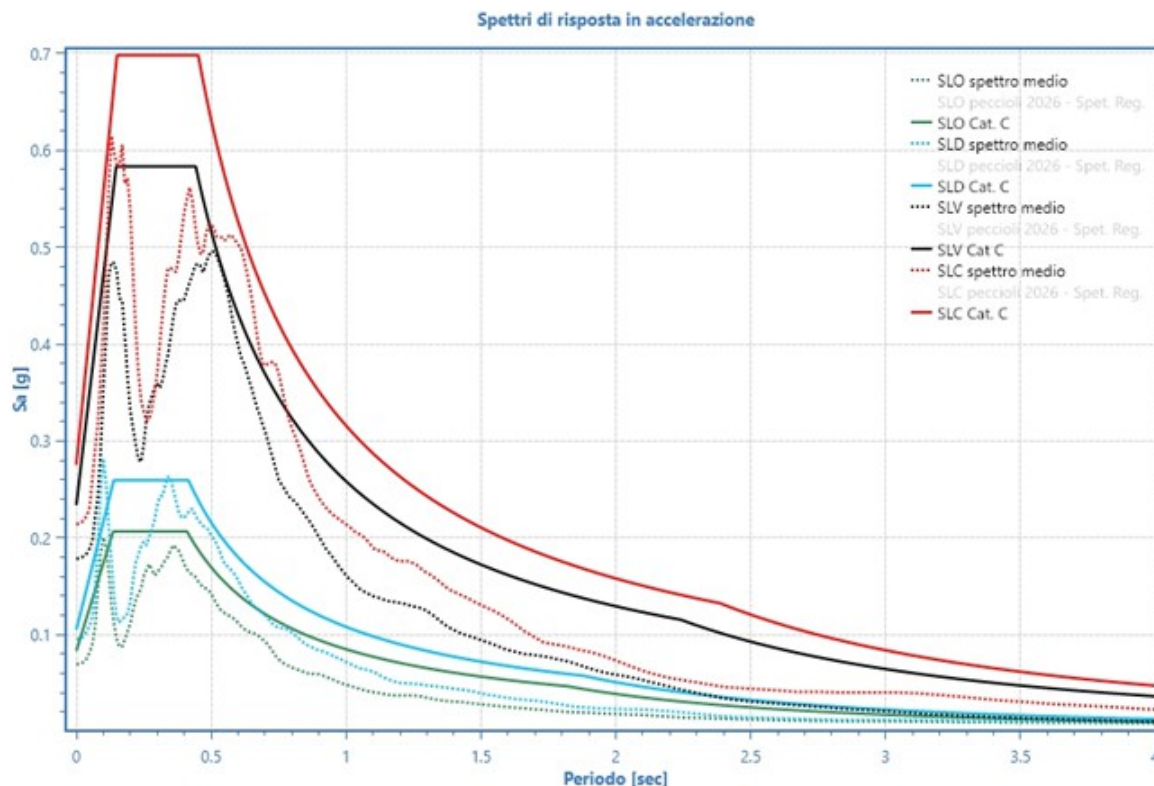


Figura 14 - Riepilogo spettri di risposta

13.- MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DELL'AREA DI VALLE

Come indicato negli elaborati della Variante Parziale al Piano Operativo che ha recentemente interessato la Scheda n.29, la zona di valle risulta interessata da potenziali esondazioni del corso d'acqua adiacente, determinando condizioni di pericolosità idraulica.

Da ciò derivano le prescrizioni circa la messa in sicurezza di tali aree le cui soluzioni sono state valutate e definite negli elaborati redatti dall'Ing. Jacopo Taccini, allegati al progetto in esame.

14.- REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

Al fine di mitigare gli effetti delle impermeabilizzazioni, le acque meteoriche raccolte lungo il percorso aereo e quello a raso saranno convogliate nel sistema idraulico collegato ad una vasca volano ubicata nella zona di valle, prima del loro rilascio nel corso d'acqua presente in adiacenza.

Nel tratto in sotterraneo, per abbattere le pressioni neutre sulle strutture, saranno realizzati dei drenaggi in materiale arido dotati di tubazioni microfessurate all'interno dell'intercapedine tra le

paratie di pali e le pareti esterne dell'opera in progetto, con indirizzamento delle acque raccolte verso la vasca volano già prevista a valle.

Già in fase di cantiere, considerata la circolazione sotterranea negli orizzonti permeabili di natura sabbiosa, nelle zone interessate dagli scavi è prevista la raccolta delle acque ed il loro recapito a valle, favorendo la sicurezza degli operatori e agevolando le lavorazioni in programma.

15.- VALUTAZIONI GEOLOGICHE SULL'INTERVENTO IN PROGETTO

L'intervento in esame prevede la realizzazione di un percorso pedonale prevalentemente orizzontale, con torri ascensore che permettono il superamento dei vari dislivelli.

Il Lotto 1, non oggetto della presente relazione, è caratterizzato, per gli aspetti strettamente geologici, da rilevanti scavi necessari per la realizzazione dei tratti al di sotto del livello del suolo, a monte ed a valle di via Bellincioni, oltre ai camminamenti in parte in rilevato nella zona adiacente a via Leonardo da Vinci.

Il Lotto 2 prevede un camminamento aereo, da realizzarsi su una passerella appoggiata su pile in corrispondenza di via Leonardo da Vinci e sulle torri-ascensore di valle.

A monte delle torri-ascensore, per garantire la stabilità del versante e la sicurezza delle operazioni di cantiere, sarà realizzata una paratia di pali (berlinese).

Nelle aree di fondovalle, adiacenti al corso d'acqua che borda l'intervento e poste a monte della berlinese, è presente un livello superficiale compressibile dello spessore di alcuni metri.

Gli scavi profondi per la realizzazione delle opere interrato intercetteranno gli orizzonti permeabili che favoriscono la circolazione idrica sotterranea e pertanto dovranno essere dotati di sistemi di allontanamento delle acque fin dalle fasi di cantiere che, per la torre ascensore di monte dovranno essere sostituiti con sistema idraulico di raccolta definitivo.

Per le torri di valle, solidali con la struttura dei locali posti alla quota di sbarco a livello del terreno, sono previste fondazioni a platea poste alla profondità dell'attraversamento pedonale previsto al di sotto del viale Gramsci (S.P. 64)

Per scavi e tagli del pendio le pareti del terreno, durante le fasi transitorie del cantiere, dovranno mantenere pendenze non superiori a 45° per periodi non superiori di 15 giorni, altrimenti dovranno essere protette con opere provvisorie che ne garantiscano la sicurezza.

Nella zona di valle, dove è previsto il collegamento sotterraneo tra le torri-ascensore e le zone ad Ovest della viabilità provinciale, sono presenti terreni di riporto sovrainposti a depositi eluvio-colluviali di scarse proprietà meccaniche. Anche in queste aree gli scavi dovranno prevedere pareti a basso angolo (non superiori a 45°) e sistemi di raccolta e allontanamento delle acque di circolazione sotterranea

Nella Tavola Unica fuori testo è rappresentata la planimetria generale dell'intervento e la sezione relativa al modello geologico sopra descritto.

16.- CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state analizzate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e sismiche dell'area interessata dalla Variante al Lotto n°2 del collegamento pedonale tra il centro storico del capoluogo e le aree dei servizi poste lungo viale Gramsci.

Attraverso una nuova campagna geognostica integrativa sono state definite le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presenti e le loro geometrie, pervenendo alla definizione di un modello geologico.

Le caratteristiche sismiche della zona inizialmente indagate attraverso due indagini sismiche in foro e due profili sismici a rifrazione sono state ulteriormente verificate mediante una nuova indagine downhole. L'insieme dei dati ha permesso di condurre una nuova analisi di risposta sismica locale che ha tenuto conto delle variazioni al progetto strutturale delle torri-ascensore.

Vista la presenza di acque di superficie e di circolazione sotterranea, oltreché di potenziali scarichi danneggiati, gli scavi dovranno essere protetti da drenaggi e da sistemi di allontanamento delle acque, al fine di garantire la sicurezza delle operazioni di cantiere e, successivamente, la stabilità del versante. Nelle zone di pendio gli scavi in cui non è prevista la messa in opera di paratie di pali dovranno prevedere scarpate con pendenze non superiori a 45° per periodi non superiori ai 15 giorni, oltre i quali dovranno essere protetti da opere provvisorie.

In generale sono state rappresentate le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei terreni di fondazione individuando le stratigrafie di dettaglio in corrispondenza dei singoli interventi.

Sulla base dei risultati ottenuti, nei limiti di quanto esposto, si conclude che l'intervento in progetto è compatibile con il contesto geologico e geotecnico nel quale si inserisce.

Ponsacco, aprile 2026

Geol. Alberto Frullini