

**A90 – SVINCOLO TIBURTINA**  
**Intervento di potenziamento dallo svincolo**  
**“CENTRALE DEL LATTE” allo svincolo A24**  
**2° fase funzionale**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Cod. RM 105**

**PROGETTAZIONE:** R.T.I. PROGIN S.p.A. (capogruppo mandataria)  
 CREW Cremonesi Workshop S.r.l. – TECNOSISTEM S.p.A.  
 ART Ambiente Risorse Territorio S.r.l. - ECOPLAME S.r.l.

**RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**  
 Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)

**PROGETTISTA FIRMATARIO**  
 Dott. Ing. Lorenzo INFANTE (Progin S.p.A.)  
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno n. 3446

**RESPONSABILE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE**  
 Dott. Arch. Salvatore SCOPPETTA (Progin S.p.A.)

**IL GEOLOGO:**  
 Dott. Geol. Giovanni CARRA (ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l.)  
 Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna n. 643

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**  
 Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**  
 Dott. Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI

**CAPOGRUPPO MANDATARIA:**



Direttore Tecnico:  
 Dott. Ing. Lorenzo INFANTE

**MANDANTI:**



Direttore Tecnico  
 Dott. Arch. Claudio TURRINI



Direttore Tecnico:  
 Dott. Ing. Ivo FRESIA



Direttore Tecnico:  
 Dott. Arch. Pasquale PISANO



Direttore Tecnico  
 Dott. Ing. M. AVETA

PROTOCOLLO

DATA

**GEOLOGIA E GEOTECNICA**

**GEOTECNICA**

Relazione sismica

**CODICE PROGETTO:**

**NOME FILE:**  
 T00GE02GETRE02A

**REVISIONE**

**DP RM 105 D20**

**T 0 0 G E 0 2 G E T R E 0 2**

**A**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Emissione a seguito istruttoria ANAS	10/2021	M. Galletti	G. Carra	L. Infante

## Sommario

<b>1</b>	<b><i>RIFERIMENTI NORMATIVI</i></b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><i>AZIONI SISMICHE</i></b> .....	<b>2</b>
2.1	Spettro di risposta elastico .....	5
<b>3</b>	<b><i>RISPOSTA SISMICA LOCALE</i></b> .....	<b>7</b>
3.1	Premessa metodologica .....	7
3.2	Determinazione dell'input sismico .....	11
3.3	Elaborazione .....	13

## 1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Lo studio è stato condotto in osservanza alla normativa vigente in materia ed in particolare:

- O.P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519 – “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018– Testa Unitario – Norme tecniche per le costruzioni (G.U. del 20.02.2018) e Circolare 21 gennaio 2019 n. 7” Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, Ministero delle Infrastrutture e Trasporti. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- DGR n. 571 del 2 agosto 2019 che modifica la DGR n. 387 del 22 maggio 2009 “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e della DGR Lazio n. 766/03”;
- Regolamento Regionale del 26 ottobre 2020 n. 26 “Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n.14 e successive modifiche”
- Regolamento Regionale del 16 aprile 2021 n. 7 “Modifiche al regolamento regionale 26 ottobre 2020, n. 26”
- Delibera Giunta Regione Lazio 5 novembre 2020, n. 793 “Modifica della Deliberazione di Giunta regionale 23 luglio 2019, n. 493. Sostituzione dell'allegato A rubricato “Elenco delle strutture in Classe d'Uso IV (Strategiche) e in Classe d'uso III (Rilevanti)”.

## 2 AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati dalle NTC 2018, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le NTC 2018 stabiliscono che le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

L’area di studio, a scopo cautelativo, è indicativamente ubicata alle coordinate (ED50) Lat: 41,9260078° Long: 12,60863387° e ricade pertanto all’interno del reticolo di riferimento tra i 4 vertici indicati nella Figura 1 per i quali le NTC definiscono i parametri necessari per definire l’azione sismica.



**Figura 1: Rappresentazione dei punti della maglia del reticolo di riferimento riportati nella Tab.1 allegata alle NTC 2018**

La classificazione dell’area rispetto alle zone sismiche per il territorio di Roma, ai sensi dell’Ord. 3274/2003, aggiornata con DGR n. 387 del 22/05/2009 e successivamente modificata con la DGR n. 571 del 2/08/2019, individuata secondo

valori di accelerazione di picco orizzontale su terreno rigido ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% (SLV) in 50 anni (periodo di riferimento VR), è attribuibile alla **Zona 2B**.

<b>Zona sismica 2B</b>	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti. La sottozona 2B indica un valore di $a_g < 0,20g$ . Comprende le aree territoriali dei Municipi IV, V, VI, VII, VIII, IX di Roma.
<b>Zona sismica 3A</b>	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti. La sottozona 3A indica un valore di $a_g \geq 0,10g$ . Comprende le aree territoriali dei Municipi I, II e III più i Municipi X, XI, XII, XIII, XIV e XV di Roma.
<b>Zona sismica 3B</b>	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti. La sottozona 3B indica un valore di $a_g < 0,10g$ . Comprende l'area territoriale dell'isola amministrativa (Municipio XV).

**Figura 2: Classificazione delle zone sismiche di Roma suddivisa per Municipi**

**Tabella 1 - Parametri sismici dell'area di intervento (Tabella 1 allegata alle NTC 2018)**

Stato limite	Tr [anni]	Ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,067	2,478	0,275
SLD	101	0,083	2,488	0,281
SLV	949	0,182	2,535	0,292
SLC	1950	0,225	2,510	0,303

Per quanto riguarda inoltre la definizione dei coefficienti sismici sono state operate le seguenti classificazioni tipologiche sia per quanto concerne l'opera in progetto, sia per quanto riguarda la stratigrafia del sito di edificazione.

In primo luogo, è stata definita a livello preliminare la classe prevalente delle opere, facendo riferimento alla **IV Classe**, così come definita dalle NTC 2018 (Tabella 2).

**Tabella 2 - Classi degli edifici secondo le NTC 2018**

Classe	Descrizione
Classe	Descrizione
I.	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
II.	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
III.	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
IV.	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

È stata quindi definita la "Vita nominale" dell'opera, facendo riferimento al valore di **50 anni**, così come definito dalle NTC 2018 (Tabella 3).

**Tabella 3 - Vita nominale delle opere secondo le NTC 2018**

Tipo opera	Vita Nominale
Opere provvisorie	$\leq 10$ ,
Opere ordinarie	$\geq 50$ ,
Grandi opere	$\geq 100$

È stata inoltre definita, sempre con riferimento ai criteri classificativi introdotti dalle NTC, e alle caratteristiche stratigrafiche individuate, la categoria di sottosuolo del sito di edificazione, facendo riferimento alla **Categoria C**, così come definita dalle NTC (Tabella 4).

**Tabella 4 - Categorie di sottosuolo secondo le NTC 2018**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per quanto riguarda infine la definizione della categoria topografica dell'area in esame è stato fatto riferimento alla categoria **T1** in ragione della morfologia dell'area e così come definita dalle NTC 2018 (Tabella 5).

**Tabella 5 - Categorie topografiche secondo le NTC 2018**

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
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 $i > 30^\circ$

Sulla base delle classificazioni sopra riportate è stato possibile calcolare i coefficienti sismici che permetteranno di definire gli spettri di accelerazione sia orizzontali che verticali, così come definiti dalle relazioni riportate nel paragrafo 3.2.3.2 delle NTC.

La seguente Tabella 6 riporta i coefficienti sismici necessari per la definizione dello spettro relativo all'area di intervento.

**Tabella 6 - Calcolo dei coefficienti sismici**

**Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni:**

<b>Coefficienti</b>	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
kh	0,020	0,025	0,062	0,086
kv	0,010	0,012	0,031	0,043
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,982	1,219	2,538	2,999
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

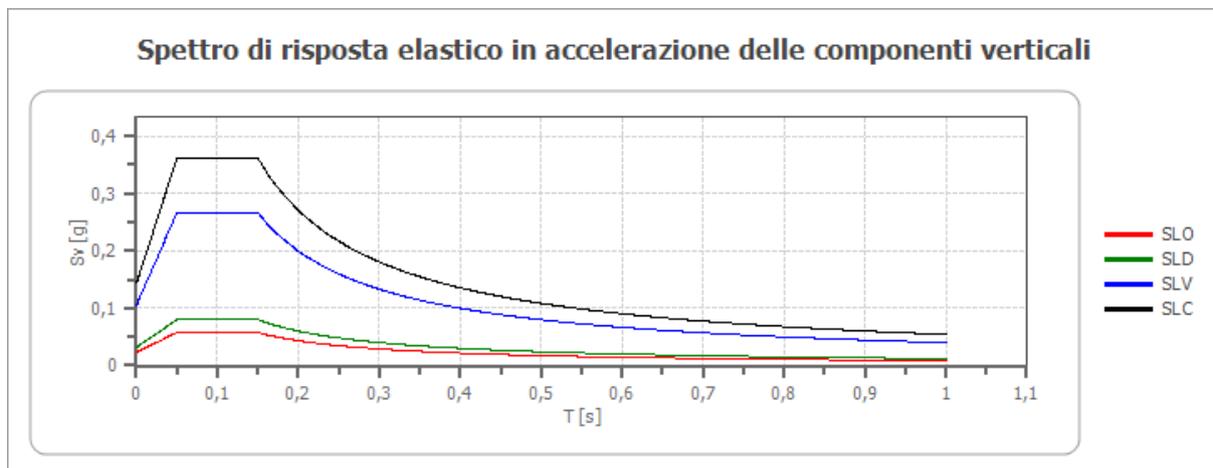
**Coefficienti sismici per fronti di scavo e rilevati:**

<b>Coefficienti</b>	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
kh	--	0,058	0,098	--
kv	--	0,029	0,049	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,982	1,219	2,538	2,999
Beta	--	0,470	0,380	--



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,067	2,478	0,275	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,148	0,443	1,867	0,100	0,248
SLD	2,0	0,083	2,488	0,281	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,150	0,450	1,932	0,124	0,309
SLV	2,0	0,182	2,535	0,292	1,420	1,580	1,000	1,420	1,000	0,154	0,462	2,329	0,259	0,656
SLC	2,0	0,225	2,510	0,303	1,360	1,560	1,000	1,360	1,000	0,158	0,473	2,499	0,306	0,767

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,067	2,478	0,275	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,023	0,058
SLD	2,0	0,083	2,488	0,281	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,032	0,080
SLV	2,0	0,182	2,535	0,292	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,105	0,266
SLC	2,0	0,225	2,510	0,303	1	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,144	0,361

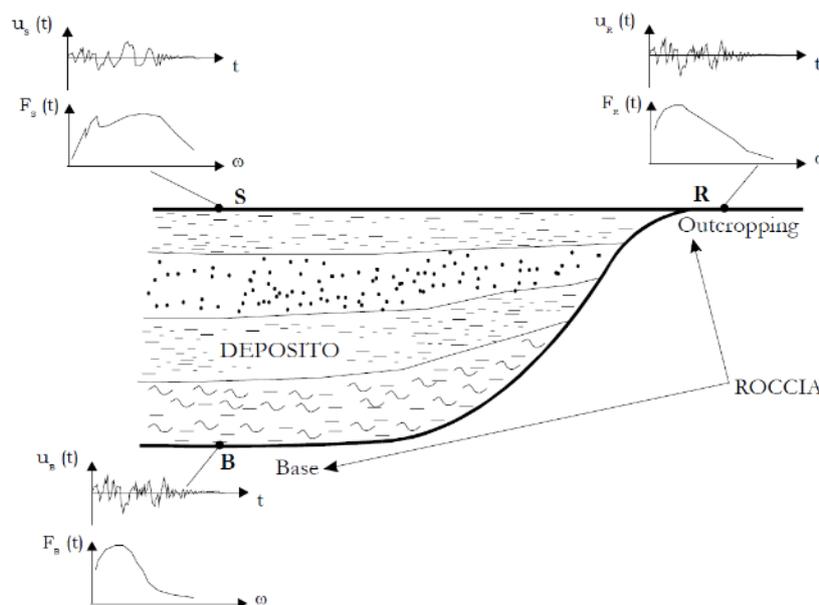
### 3 RISPOSTA SISMICA LOCALE

#### 3.1 Premessa metodologica

Ai fini di una migliore caratterizzazione dal punto di vista sismico dell'area di intervento è stata condotta l'analisi della risposta sismica locale attraverso il codice di calcolo STRATA, in grado di simulare la propagazione (e l'amplificazione) delle onde sismiche all'interno dei depositi di terreno presenti al di sopra del substrato rigido.

Lo scopo è infatti quello di determinare le modifiche che un segnale sismico  $u_B(t)$  partendo dalla base (B) di un deposito subisce fino a raggiungere la superficie, S, trasformandosi in un segnale, amplificato o deamplificato,  $u_S(t)$ . Nel modello vengono inseriti ed analizzati uno o più sismi in input  $u_R(t)$ .

Per spiegare questo è necessario parlare della funzione di trasferimento (o impropriamente funzione di amplificazione), la quale rappresenta una funzione complessa nel dominio della frequenza, ed esprime il rapporto tra la trasformata di Fourier del moto sismico in superficie al deposito e la trasformata del moto su roccia affiorante, per cui l'ampiezza, o modulo, della funzione di trasferimento è pari al rapporto tra le ampiezze degli spettri di Fourier rispettivamente in superficie e su roccia affiorante.

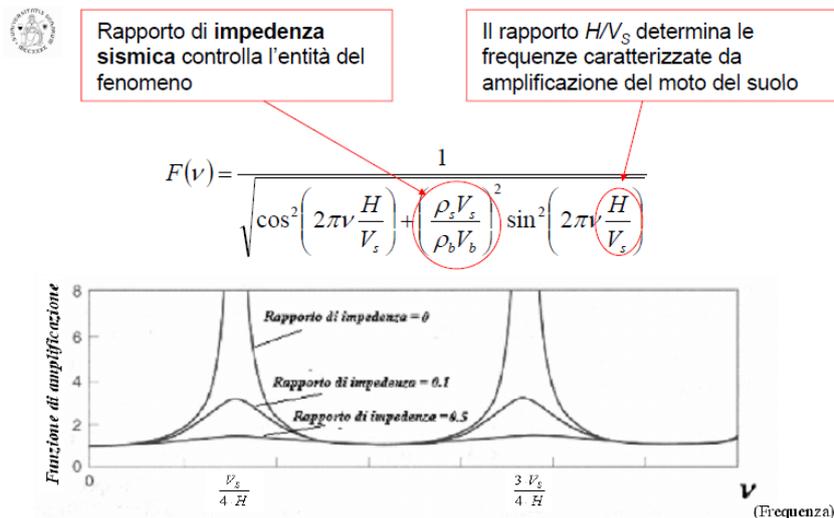


*Figura 3: Rappresentazione tipo per la determinazione della risposta sismica locale (fonte: J. Facciorusso)*

Studiare la risposta sismica locale, quindi, vuol dire definire la funzione di trasferimento o la funzione di amplificazione rappresentativa della situazione geologico strutturale del sito in esame. Bisogna dunque stabilire una relazione fra la struttura del sottosuolo e la funzione di amplificazione o di trasferimento. Si presume che la forma di queste due funzioni sia legata alle modalità di trasmissione delle onde all'interno dello strato superficiale ed in particolare alle interferenze che si generano fra queste onde. Le caratteristiche del processo sono controllate dall'impedenza sismica (Figura 4).

Una tipica situazione capace di amplificare il moto del suolo è quella di un basamento rigido coperto da sedimenti soffici. In questo caso, l'onda emergente dal basso rimane intrappolata all'interno dello strato sedimentario a causa della presenza di forti contrasti di impedenza sismica sia alla base che in superficie. Se il contrasto alla base è molto grande, l'intrappolamento è perfetto e tutta l'energia rimane all'interno del sedimento. Le onde all'interno interferendo tra loro possono generare amplificazioni.

In un intrappolamento perfetto delle onde, l’amplificazione è massima per certe frequenze (chiamate Frequenze di risonanza) che dipendono dallo spessore dello strato e dalle velocità delle onde al suo interno. Per minori contrasti di impedenza, parte dell’energia intrappolata riesce ad uscire dal sistema. L’entità di amplificazione dipende dunque dal contrasto alla base del sistema.



**Figura 4: Rappresentazione della funzione di amplificazione in cui compaiono i parametri chiave del rapporto di impedenza sismica e il rapporto dello spessore e la velocità delle onde di taglio (fonte: D. Albarello, 2013)**

La valutazione della RSL solo in termini di ampiezze massime è poco significativa. La funzione di trasferimento, infatti, indica quali sono le componenti del moto sismico che, attraversando il deposito, vengono maggiormente modificate (amplificandole o attenuandole). Il deposito agisce quindi da filtro smorzante o amplificante per determinate frequenze, con un valore massimo corrispondente alla frequenza caratteristica del deposito.

In un sistema monodimensionale e in campo lineare la funzione di trasferimento rappresenta la proprietà intrinseca del deposito, legata alle sue caratteristiche geometriche e meccaniche, in grado di fornire informazioni di tipo qualitativo. Nella maggior parte dei casi, la risposta sismica, a causa della non linearità del terreno, è funzione delle specifiche caratteristiche dell’input sismico e non si può definire una funzione di trasferimento.

I codici di calcolo monodimensionali utilizzati si basano su un serie di ipotesi e principalmente si assume che:

- il bedrock sia orizzontale e indefinitamente esteso
- il deposito sia omogeneo o al più stratificato orizzontalmente
- la sollecitazione sismica sia costituita da sole onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (SH) incidenti il bedrock con direzione di propagazione verticale.

Adotta il modello fisico a strati continui ed omogenei a comportamento viscoelastico linearizzato di Kelvin-Voigt in cui ogni strato è omogeneo, isotropo, ed è caratterizzato da uno spessore  $h$ , densità  $\rho$ , dal modulo di taglio  $G$  e dal rapporto di smorzamento  $D$ .

Lavora inoltre nel campo delle tensioni totali e quindi non tiene conto delle sovrappressioni interstiziali generate dal sisma che possono influenzare direttamente le caratteristiche di rigidezza dei terreni.

Il comportamento del terreno risulta però spesso non lineare, e per ovviare a questo problema (pur mantenendo un’impostazione lineare delle equazioni del moto, applicando il metodo della trasformata di Fourier) si applica una procedura iterativa (modello lineare equivalente EQL) che considerando le curve di decadimento del modulo di taglio  $G$

e la variazione del rapporto di smorzamento D. Nello specifico la procedura iterativa utilizzata dal software, come indica il manuale di STRATA e ripreso da L. Nori e P. Di Marcantonio (2014), segue i seguenti passaggi:

1. vengono calcolate per ogni i-esimo strato le ampiezze delle onde propagatisi verso l'alto e verso il basso;
2. viene calcolata una funzione di trasferimento delle deformazioni per ogni i-esimo strato;
3. la funzione di trasferimento delle deformazioni viene applicata allo spettro di Fourier di input, definendo così la risposta massima in deformazione per ogni strato;
4. per ogni strato, dalla deformazione massima si calcola il rapporto deformativo effettivo, di default il 65% della deformazione massima;
5. modulo di taglio G e rapporto di smorzamento D sono ricalcolati a partire dalla deformazione effettiva e dalle curve di decadimento utilizzate;
6. i nuovi valori di G e D sono propagati alla precedente iterazione e viene calcolato l'errore. La procedura viene terminata quando l'errore per tutti gli strati è minore della soglia prescelta.

Per le analisi svolte nel nostro caso di studio, sono state prese di riferimento le curve ottenute dalle prove di colonna risonante eseguite sui campioni CI3 (18,0-18,5m – limi con sabbia argillosi ghiaiosi) e CI5 (30,0-30,5m – argille con limo sabbiose) e quelle bibliografiche di Seed e Idriss (1998) per le sabbie ed EPRI per terreni con P.I. = 10 e 30. Queste ultime curve bibliografiche sono state considerate per l'analogo indice di plasticità determinato nei campioni CI01 e CI02 del sondaggio CI05-DH; mentre quelle determinate tramite colonna risonante, sono attribuibili rispettivamente alle formazioni continentali e marine considerate come pseudo bedrock.

Il vantaggio dato da un'analisi numerica della RSL attraverso codici di calcolo monodimensionali, quindi, è dato dalle informazioni in output:

1. variazione con la profondità dei valori massimi dell'accelerazione massima, della tensione e della deformazione di taglio;
2. la storia temporale dell'accelerazione, spostamento e velocità relativa, delle tensioni e delle deformazioni di taglio per ciascuno strato e per il bedrock;
3. la funzione di trasferimento del deposito;
4. lo spettro di Fourier;
5. lo spettro di risposta in termini di accelerazione, velocità e spostamento per ciascuno strato e per il bedrock.

Grazie a questi parametri è possibile infine ricavare il fattore di amplificazione, il quale viene espresso in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale  $FA_{PGA}$

$$FA_{PGA} = \frac{PGA}{PGA_0}$$

$PGA_0$ , rappresenta l'accelerazione massima orizzontale al suolo di riferimento;

PGA (Peak Ground Acceleration) l'accelerazione massima orizzontale calcolata alla superficie del sito esaminato.

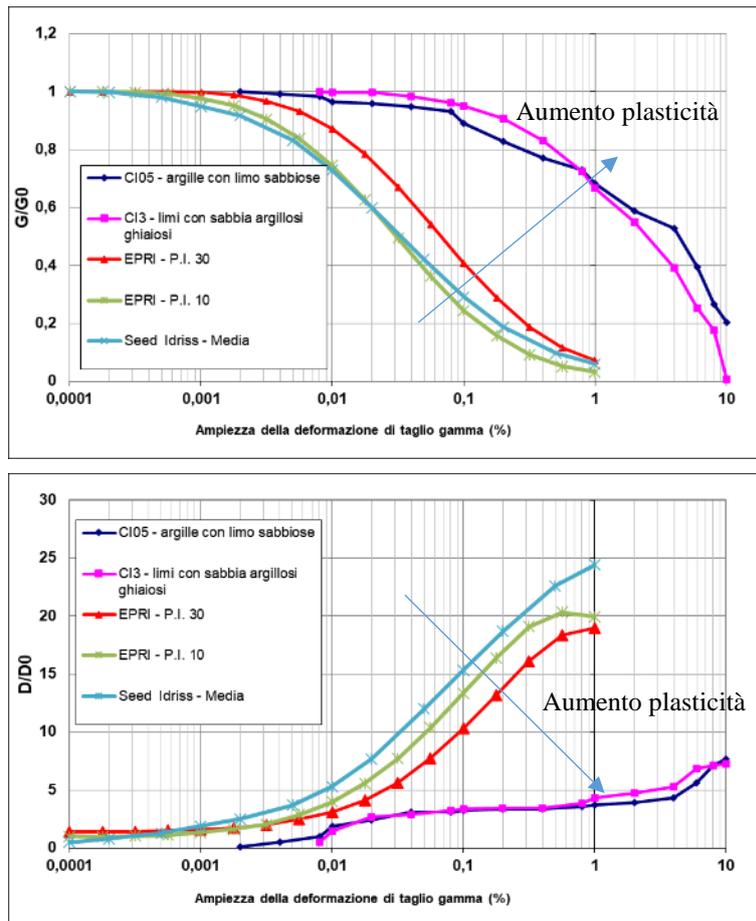


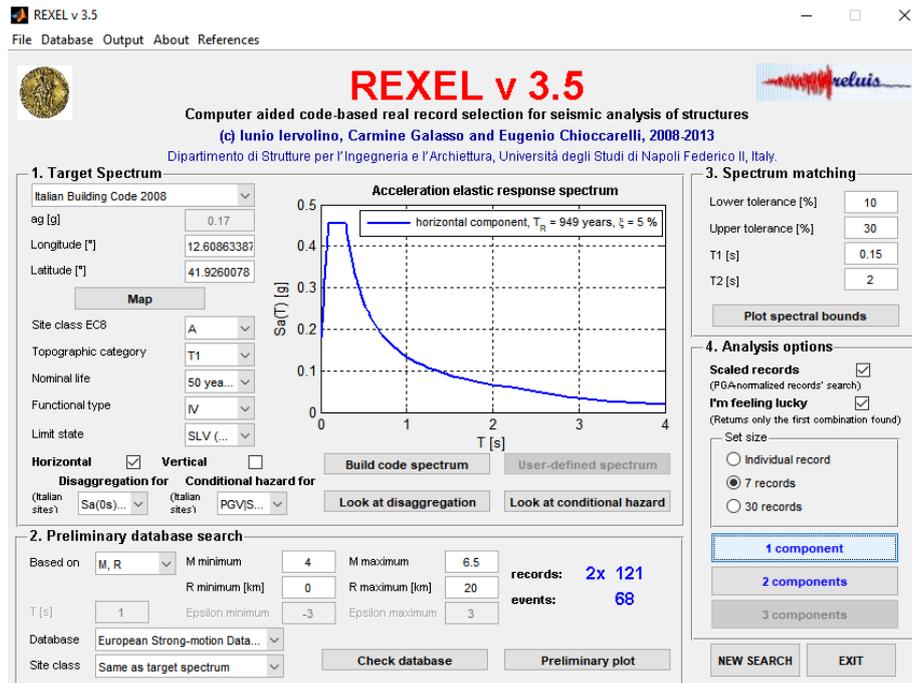
Figura 5: Curve di decadimento normalizzate del rapporto dei moduli di taglio e del rapporto di smorzamento al variare della deformazione di taglio ciclica

### 3.2 Determinazione dell'input sismico

Gli accelerogrammi in input sono stati estratti attraverso l'utilizzo del software REXEL v 3.5 sviluppato presso la ReLUIS di Napoli in ambiente Matlab.

Questo software permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali derivati da diverse banche dati, tra cui: la banca dati europea ESD, la banca dati italiana ITACA e la banca dati Simbad.

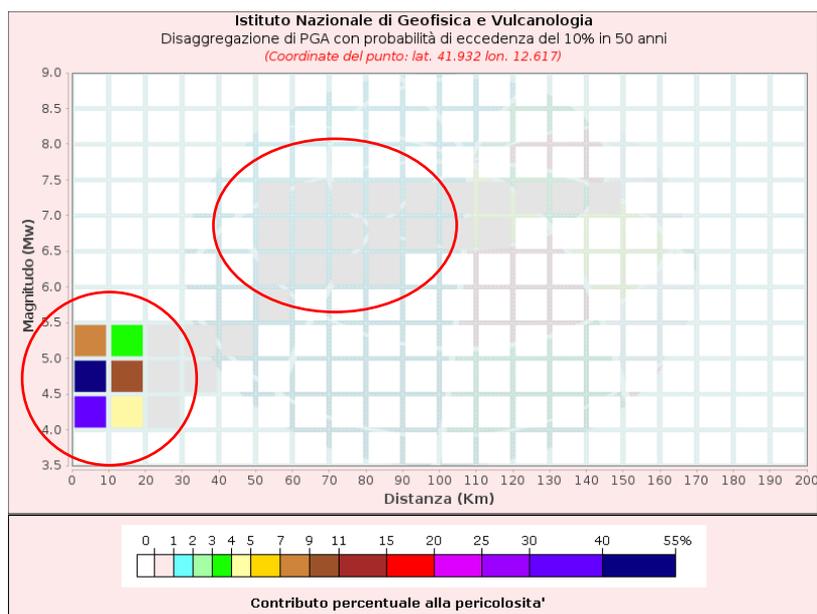
In Figura 6 è riportato l'interfaccia del programma dove sono stati inseriti i parametri specifici del sito in esame.



**Figura 6: Finestra iniziale REXEL con i parametri utilizzati per il nostro caso di studio**

I valori inseriti nella sezione “2. Preliminary database search” sono stati ottenuti da un’analisi di disaggregazione sismica consultando il database dell’Istituto di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>). In Figura 7 sono rappresentati i risultati dell’analisi nel punto di interesse. A tal proposito si nota come i dati ottenuti presentano una distribuzione bimodale, in cui il maggiore contributo percentuale si ha per eventi localizzati entro 10 km, di modesta magnitudo (4.0 – 5.5), mentre sono presenti in percentuale molto inferiore dei terremoti ad alta intensità (6.0 – 7.5). In quest’ultimo caso, gli eventi sismici potrebbero essere significativi per determinate strutture; in particolare concorrono ad aumentare il contenuto in alti periodo (basse frequenze), i quali possono interagire costruttivamente, con effetti negativi, con i modi propri di edifici di altezza elevata. A tale riguardo, considerando le strutture in progetto, risulta più significativo considerare eventi con caratteristiche magnitudo/distanza epicentrale, moderati e vicini.

Dopo aver inserito i valori target di magnitudo 4 – 5.5 REXEL non ha trovato set di accelerogrammi con le caratteristiche imposte ed è stato così modificata in un range 4 – 6.5 e distanza 20 km.



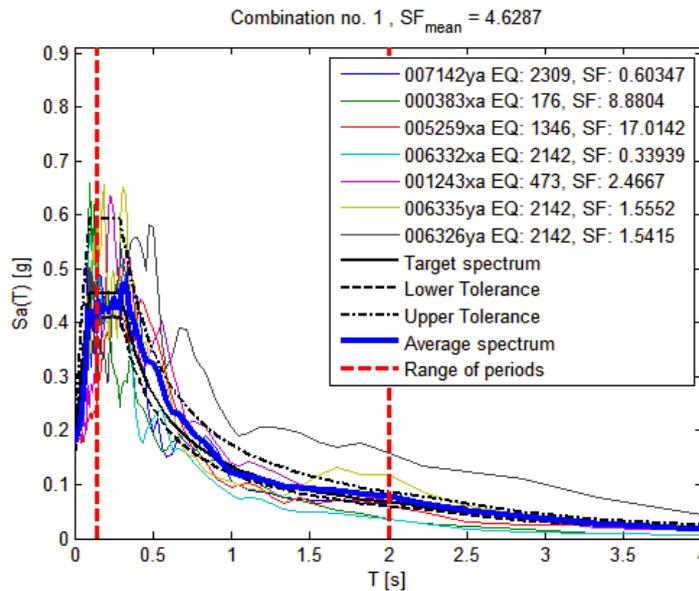
**Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni**  
(Coordinate del punto: lat. 41.932 lon. 12.617)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	30.2000	41.1000	7.8100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	4.2900	9.5700	3.4500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0199	0.7240	0.7640	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0004	0.0669	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0460	0.1060	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0763	0.2750	0.2900	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0199	0.2000	0.2560	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.1170	0.2030	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0467	0.1350	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0121	0.0753	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0244	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0064	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

**Figura 7: Grafico Magnitudo – Raggio e rispettivi valori percentuali ricavati dall’analisi di disaggregazione nel punto considerato**

Nella medesima sezione inoltre è necessario indicare nella finestra “Site class” l’opzione “Same as target spectrum” per ottenere input sismici la cui media sia aderente allo spettro target del progetto in esame.

Nella quarta e ultima sezione è stata scelta l’opzione “7 records” che restituisce gli accelerogrammi necessari per l’analisi di risposta sismica locale. La Figura 8 rappresenta l’output di Rexel in cui sono rappresentati graficamente gli spettri dei segnali ricavati con i relativi codici identificativi in legenda.



**Figura 8:** Spettri (delle componenti orizzontali) degli accelerogrammi sismo compatibili con le caratteristiche del sito in esame

### 3.3 Elaborazione

L'analisi con STRATA prevede l'inserimento iniziale di diversi parametri generali caratteristici del sito in esame. Nel nostro caso sono state considerate le seguenti opzioni di analisi:

- Metodo di approccio: Lineare Equivalente o EQL (modulo di rigidità G e smorzamento D variabili in funzione della deformazione);
- “Vary the properties” ovvero le proprietà del terreno trattate come variabili aleatorie o funzioni di distribuzione e non come scalari. In questo modo per ogni input si ottengono diversi output compatibili con le variazioni e l'incertezza delle proprietà del terreno.

Il profilo stratigrafico e sismico è stato costruito in corrispondenza del sondaggio S05-DH (in cui è stata eseguita l'indagine sismica in foro down-hole) e all'indagine HVSR05.

Nella figura sottostante sono indicati i parametri inseriti nelle apposite maschere di STRATA.

È stata inoltre posta la falda a 2,8 m dal piano campagna.

Site Profile				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.00	Sabbie	75.00
2	1.00	1.00	EPRI PI = 30	117.00
3	2.00	1.00	EPRI PI = 30	154.00
4	3.00	1.00	EPRI PI = 30	258.00
5	4.00	1.00	EPRI PI = 30	271.00
6	5.00	1.00	EPRI PI = 30	279.00
7	6.00	1.00	EPRI PI = 30	310.00
8	7.00	1.00	EPRI PI = 30	313.00
9	8.00	0.30	EPRI PI = 30	316.00
10	8.30	0.70	EPRI PI = 30	316.00
11	9.00	1.00	EPRI PI = 10	345.00
12	10.00	1.00	EPRI PI = 10	346.00
13	11.00	1.00	EPRI PI = 10	347.00
14	12.00	1.00	EPRI PI = 10	430.00
15	13.00	1.00	EPRI PI = 10	450.00
16	14.00	1.00	EPRI PI = 10	458.00
17	15.00	1.05	Sabbie	523.00
18	16.05	0.30	EPRI PI = 10	523.00
19	16.35	0.55	Sabbie	523.00
20	16.90	0.30	EPRI PI = 10	523.00
21	17.20	Half-Space	Bedrock	597.00

Input Motions						
	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> Accelerogrammi\000383xa_record.txt		Outcrop	0.18	12.64	0.92
2	<input checked="" type="checkbox"/> Accelerogrammi\001243xa_record.txt		Outcrop	0.18	13.40	0.25
3	<input checked="" type="checkbox"/> Accelerogrammi\005259xa_record.txt		Outcrop	0.18	13.46	1.76
4	<input checked="" type="checkbox"/> Accelerogrammi\006326ya_record.txt		Outcrop	0.18	27.27	0.16
5	<input checked="" type="checkbox"/> Accelerogrammi\006332xa_record.txt		Outcrop	0.16	6.43	0.03
6	<input checked="" type="checkbox"/> Accelerogrammi\006335ya_record.txt		Outcrop	0.18	16.96	0.16
7	<input checked="" type="checkbox"/> Accelerogrammi\007142ya_record.txt		Outcrop	0.18	12.34	0.06

**Figura 9: Rappresentazione grafica riassuntiva delle finestre di STRATA in cui sono stati inseriti i dati caratteristici del nostro caso di studio**

Il profilo stratigrafico/sismico inserito nelle analisi di RSL, desunto dalle indagini geognostiche e sismiche, è caratterizzato da *bedrock-like* sismico (rappresentato dalle formazioni continentali composte da alternanze di ghiaie, sabbie e limi) ad una profondità di circa 17 m da piano campagna con una Vs registrata di circa 600 m/s.

In “Input Motion” è stato inserito il fattore di scala per ogni segnale in ingresso per portare la PGA0 al valore di normativa di ag, pari a 0,182 nel nostro caso.

Una volta inseriti i dati, quindi, è stato svolto il calcolo vero e proprio che porta in output lo spettro di risposta medio il quale descrive il comportamento del terreno rispetto ai segnali di riferimento utilizzati.

Considerando le fondazioni della presente opera su pali, è stato estrapolato dal software lo spettro alle profondità di imposta della testa dei pali ad una quota di 1,52 e 2,97 m da p.c., e corrispondenti rispettivamente ai viadotti VI04 e al viadotto VI03

In Figura 10 e Figura 11 è possibile apprezzare il confronto tra lo spettro di risposta al suolo normalizzato (in verde) con quello di normativa. Nel primo caso (VI04) si nota come lo spettro sia oltre quello di normativa ma con intensità spettrale inferiore agli alti periodi mentre nel secondo (VI03) sia inferiore allo spettro di normativa di tipo C. Questa sostanziale differenza è da imputare ai lenti depositi superficiali che attenuano notevolmente l’input sismico.

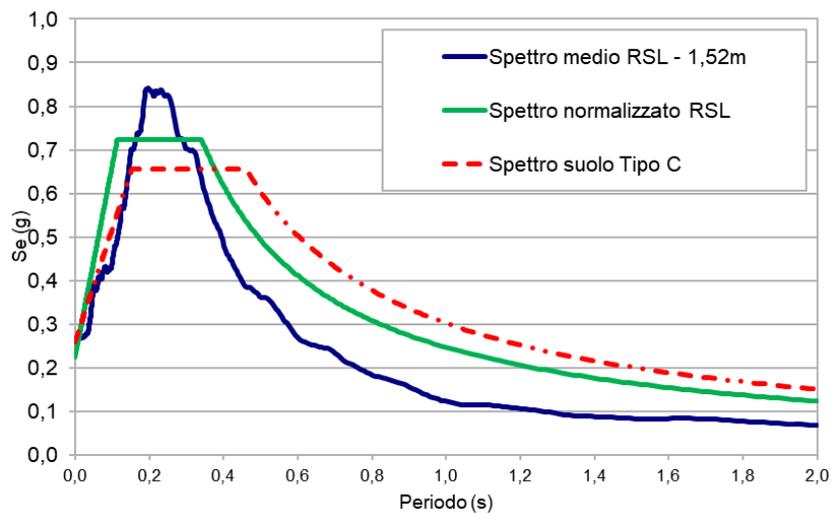


Figura 10: Confronto tra lo spettro di normativa (Suolo C) con lo spettro medio da analisi di RSL (in verde) alla testa dei pali sul VI04

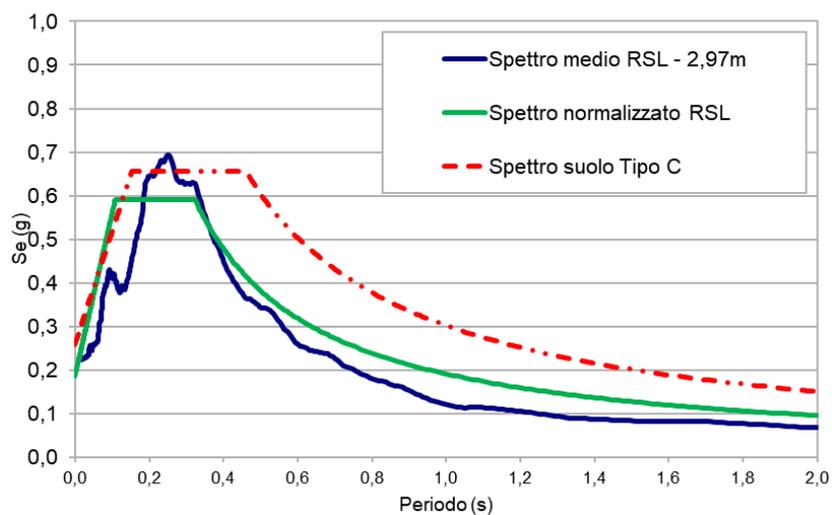


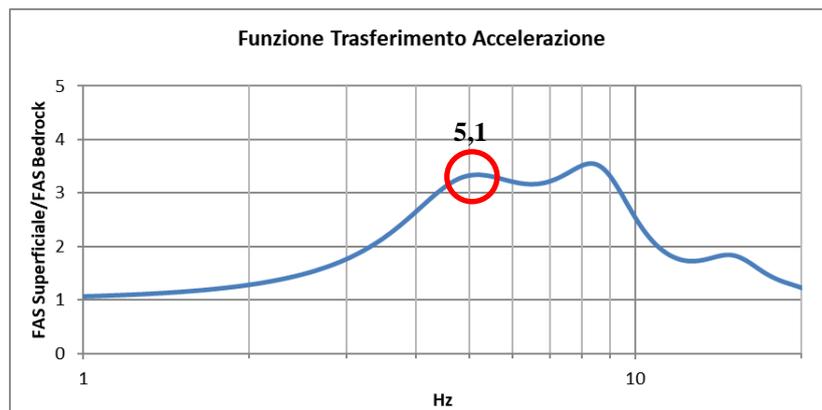
Figura 11: Confronto tra lo spettro di normativa (Suolo C) con lo spettro medio da analisi di RSL (in verde) alla testa dei pali sul VI03

Tabella 7 - Parametri sismici degli spettri normalizzati da Risposta Sismica Locale

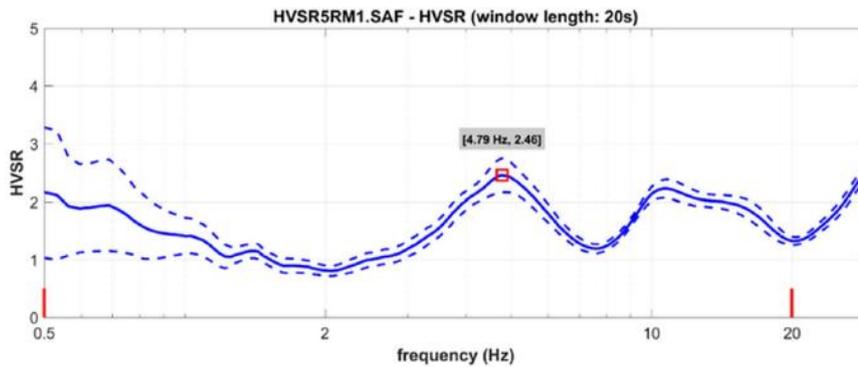
Spettro RSL – VI04		
$T_C$	0,341	s
$T_B$	0,114	s
$T_D$	2,495	s
$a_{max}$	0,224	g
$F_0$	3,232	

Spettro RSL - VI03		
$T_C$	0,324	s
$T_B$	0,108	s
$T_D$	2,343	s
$a_{max}$	0,186	g
$F_0$	3,177	

Le figure seguenti rappresentano le funzioni di trasferimento del suolo, in cui sono evidenziati i massimi picchi di amplificazione. I valori trovano un simile riscontro nell’indagine a HVSR05 effettuata, infatti, nei risultati della RSL si è ottenuta una frequenza di risonanza di 5,1Hz con ampiezza di 3,2 mentre nella prova in campagna di 4,79Hz e un’ampiezza di 2,5. Queste frequenze sono correlabili ad un *bedrock-like* posto a una profondità di circa 15-17 m dal piano campagna; mentre il confronto con le differenti ampiezze, determinate dal contrasto di impedenza tra depositi di copertura e pseudo bedrock, e di poco differenti, può essere trascurabile in quanto la misurazione del profilo sismostratigrafico eseguito con la prova in foro down-hole risulta più affidabile della prova a sismica passiva.



**Figura 12: Funzione di trasferimento del moto oscillatorio del profilo di terreno analizzato**



**Figura 13: Diagramma del segnale HVSR05 eseguito in campagna per il presente studio di Risposta Sismica Locale**