



SETTORE S4 - PIANIFICAZIONE E SOSTENIBILITA' URBANA EDILIZIA PRIVATA

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

Finanziato dall'Unione Europea NextGenerationEU

Missione M5 - Componente C2 - Misura Investimenti in progetti di rigenerazione urbana, volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale - Investimento 2.1

Progetto n.75 / 22:

"RIGENERAZIONE AREA FERROVIARIA

**EX CONSORZIO AGRARIO: SOTTOPASSO CICLOPEDONALE
STAZIONE FERROVIARIA" - ID 8930**

CUI: S00184280360202200060 - CUP: C94E21000160001

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

progettista

fabio ferrini ingegnere

via ciro menotti 43
41121 modena (mo)
tel. 059.7274501
fax. 059.5960161
fabioferrini@ferriningegneria.com
fabio.ferrini@ingpec.eu

responsabile unico del procedimento

calogero filippello ingegnere

via peruzzi 2
41012 carpi (mo)
tel. 059.6469158
calogero.filippello@comune.carpi.mo.it
lavori.pubblici@pec.comune.carpi.mo.it

elaborato C2

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
PENSILINA SOTTOPASSO**

data	I° revisione	II° revisione	scala
giugno 2023			

SOMMARIO

1.	PREMESSA.....	2
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3.	DEFINIZIONE DI RISCHIO SISMICO E PERICOLOSITA' SISMICA.....	4
4.	AZIONE SISMICA	6
4.1.	VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI.....	6
4.2.	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	8
4.3.	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	9
4.4.	SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE	12
5.	AZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA LOCALE	19
6.	LIQUEFAZIONE.....	20

1. PREMESSA

La presente relazione è stata redatta in conformità alle Norme Tecniche per le Costruzioni (**NTC 2018 – D.M. 17.01.2018**) e alle disposizioni di cui all'art. 93, commi 3,4 e 5 del Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 (**D.P.R. 380/2001**). I capitoli della relazione di calcolo, la documentazione tecnica e gli elaborati grafici costituenti il progetto strutturale sono stati organizzati secondo quanto indicato all'**Allegato B** della Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 1373 del 26.09.2011 (**D.G.R. 1373/2011**) e ss.mm.ii.– Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico.

Si redige la presente **relazione sulla modellazione sismica di sito** relativa al progetto per la realizzazione di un'ampia struttura metallica, avente funzione di tettoia di copertura del sottostante sottopasso di attraversamento ciclo-pedonale, in fase di costruzione da parte di R.F.I. S.p.A., per il collegamento dell'area Oltre ferrovia, dove è in corso di realizzazione il Nuovo Polo Universitario di Carpi, con la Stazione dei treni.

Il presente progetto strutturale è parte del Progetto n. 75/22 "Rigenerazione Area Ferroviaria Ex Consorzio Agrario: sottopasso ciclopedonale stazione ferroviaria" ID 8930, progetto rientrante nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

L'indagine condotta ha avuto come obiettivo finale quello di verificare l'idoneità del sito in relazione alle caratteristiche sismiche così come stabilito dalle NTC 2018, approvate con il decreto MIT (MINISTERIALE INFRASTRUTTURE E TRASPORTI) del 17 gennaio 2018, pubblicate sulla G.U. Serie Generale n. 42 del 20-2-2018 e in vigore dal 22.03.2018 e dalla Circolare Ministeriale del 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. pubblicata sulla G.U. n.35/2019, del 11 febbraio 2019.

L'ubicazione, la descrizione, il rilievo fotografico, la relazione geologica e le risultanze delle indagini geognostiche espletate, timbrate e firmate dalla società esecutrice, GEO GROUP Srl, vengono restituite come elaborato a parte.

La presente relazione riferisce sulla modellazione sismica di sito.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa italiana cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- D.M. del 17 Gennaio 2018 *"Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»"*
- Circolare del 2 Febbraio 2009, n. 617 *"Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008"*
- D.M. del 14 Gennaio 2008 *"Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"*
- Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003. *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*
- Ordinanza n. 3316. *"Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003"*
- D.M. del 16 Gennaio 1996. *"Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi»"*.
- D.M. del 16 Gennaio 1996. *"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"*
- D.M. del 9 Gennaio 1996. *"Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche"*.
- D.M. del 14 Febbraio 1992. *"Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso e per le strutture metalliche"*.
- D.M. del 3 Ottobre 1978. *"Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"*.
- D.M. del 3 Marzo 1975. *"Disposizioni concernenti l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"*.
- D.M. del 3 Marzo 1975. *"Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"*.
- Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974. *"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*.
- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971. *"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica"*.
- *Istruzioni per la valutazione delle: Azioni sulle Costruzioni.* (C.N.R. 10012/85)
- D.G.R. Emilia-Romagna n.1373 del 26 Settembre 2011. *"Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente la riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità degli stessi ai sensi della L.R. 19/2008"*.

Eurocodici di riferimento:

- UNI EN 1993-1-1: 2005 "Eurocodice 3, parte 1-1 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali e regole per gli edifici".
- UNI EN 1993-1-2: 2005 "Eurocodice 3, parte 1-2 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali. Progettazione della resistenza all'incendio".
- UNI EN 1993-1-3: 2007 "Eurocodice 3, parte 1-3 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali. Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo".
- UNI ENV 1993-1-4: 2007 "Eurocodice 3, parte 1-4 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali. Criteri supplementari per acciai inossidabili". Le norme dette si debbono in tal caso applicare integralmente, salvo per i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico, per i quali valgono le prescrizioni riportate nelle norme tecniche del 2018.

3. DEFINIZIONE DI RISCHIO SISMICO E PERICOLOSITA' SISMICA

Il **rischio sismico** nella accezione corrente rappresenta il probabile danno che un determinato sito può subire in occasione di un sisma. In maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate.

La **pericolosità sismica** può essere direttamente riferita alla vibrazione che un sito può subire durante un sisma, mentre la **vulnerabilità** definisce lo stato di conservazione del patrimonio edilizio e delle strutture sociali potenzialmente rese inattive dal sisma.

La *valutazione del rischio sismico*, in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la **macrozonazione sismica**, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze d'intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la **microzonazione sismica**.

Infatti l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, etc.).

La microzonazione sismica mira ad individuare gli strumenti necessari a prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona di dimensioni urbane, tramite opportuni criteri d'uso del territorio.

La valutazione del rischio sismico (R) associato ad un evento tellurico è funzione della pericolosità (P), distinta in pericolosità sismica di base (PSB) ed in pericolosità sismica locale (PSL), della vulnerabilità (V) e del valore esposto (E). Di seguito si riporta una breve descrizione delle variabili in gioco:

- *Pericolosità sismica di base (PSB): rappresenta la probabilità che l'evento sismico si verifichi in una determinata area per un determinato periodo di tempo con una data intensità, ovvero la previsione probabilistica dello scuotimento del suolo in un sito con riferimento ad un terremoto standard di riferimento;*
- *Pericolosità sismica locale (PSL): rappresenta una stima a scala di dettaglio delle variazioni della pericolosità sismica di base per effetto delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito in cui si prevede l'evento sismico (condizioni locali);*
- *Vulnerabilità (V): rappresenta il grado di suscettibilità del territorio agli effetti negativi prodotti dal fenomeno considerato, ovvero l'attitudine dell'elemento a rischio a subire danni, ed è funzione della distribuzione dell'urbanizzato, della densità della popolazione, della distribuzione delle attività e dei servizi pubblici, dell'ambiente naturale;*
- *Valore esposto (E): rappresenta il valore socio – economico relativo agli elementi a rischio ed è funzione della tipologia dell'elemento stesso (ospedali, scuole, case, stalle, ...).*

Il rischio (R) connesso con un determinato evento rappresenta pertanto il prodotto tra questi tre fattori:

$$R = P \times V \times E$$

In definitiva, esso rappresenta il valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà ed alle attività economiche dovuti ad un evento tellurico di una data intensità che ha coinvolto una particolare area per un dato periodo di tempo.

In particolare, le analisi e gli studi riguardanti la pericolosità sismica locale (PSL) hanno permesso di individuare, in determinate caratteristiche proprie del terreno e del suo assetto morfologico, alcune delle cause che possono variare la pericolosità sismica di base (PSB) di un territorio e di conseguenza rendere alcune aree più pericolose di altre.

I differenti effetti che le condizioni locali di un'area possono provocare vengono suddivisi in due categorie principali:

1. Effetti di sito o di amplificazione sismica locale: interessano i terreni che presentano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono legati alle caratteristiche topografiche e/o litologiche del territorio in grado di generare un'esaltazione locale delle azioni sismiche di base;
2. Effetti di instabilità: interessano i terreni che presentano un comportamento instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e possono causare fenomeni di franamento, di liquefazione, di subsidenza, di cedimento assoluto e differenziale.

La pericolosità sismica costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati.

"[...] 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 P_vR nel periodo di riferimento VR . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Ai fini della presente normativa, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_vR , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_o , T_c^ necessari per la determinazione delle azioni sismiche."*

§3.2 – NTC2018

La pericolosità sismica sopra descritta è da intendersi come pericolosità sismica di base, derivante da studi condotti a livello nazionale, che hanno portato alla realizzazione del reticolo o griglia di riferimento.

Individuata, per un determinato tempo di ritorno TR (intervallo di riferimento), l'azione sismica di base, l'azione sismica di progetto viene ottenuta tenendo in considerazione la risposta sismica locale del sito in esame, ossia degli effetti di amplificazione sismica locale sopra citati.

4. AZIONE SISMICA

4.1. VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI

Al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi presenti nel sito di progetto e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (NNTC 2018: capitolo 3, paragrafo 3.2.2 categorie di sottosuolo e condizioni topografiche e relativa Circolare sopra citata) sono state effettuate le indagini sismiche, geologiche e geotecniche, affidate dal Comune di Carpi (MO) alla società GEO GROUP S.r.l. con sede legale in via C. Costa 182 a Modena.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche locali, resa possibile grazie alle indagini sismiche eseguite nell'area d'intervento, consistenti in:

- n.1 indagine sismica passiva HVSR;
- n.2 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono CPTeU spinte alla profondità di 25m;
- n.1 prospezione di tipo M.A.S.W. ((Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh - indagine sismica attiva).

I profili /tomografie delle velocità delle onde Vs sono riportati in Figura 6-3, mentre il rapporto H/V della prova HVSR è riportato in Figura 6-5.

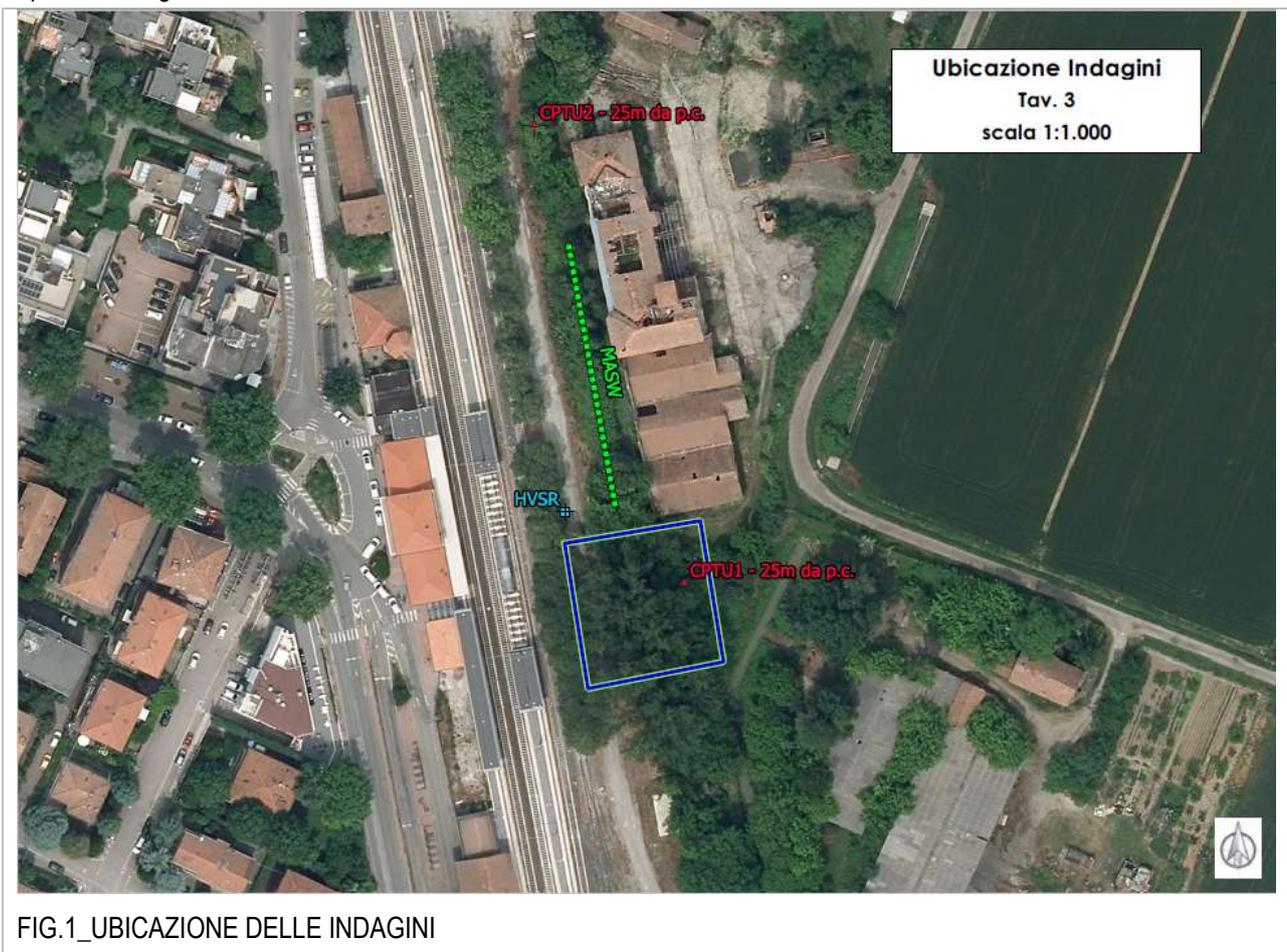
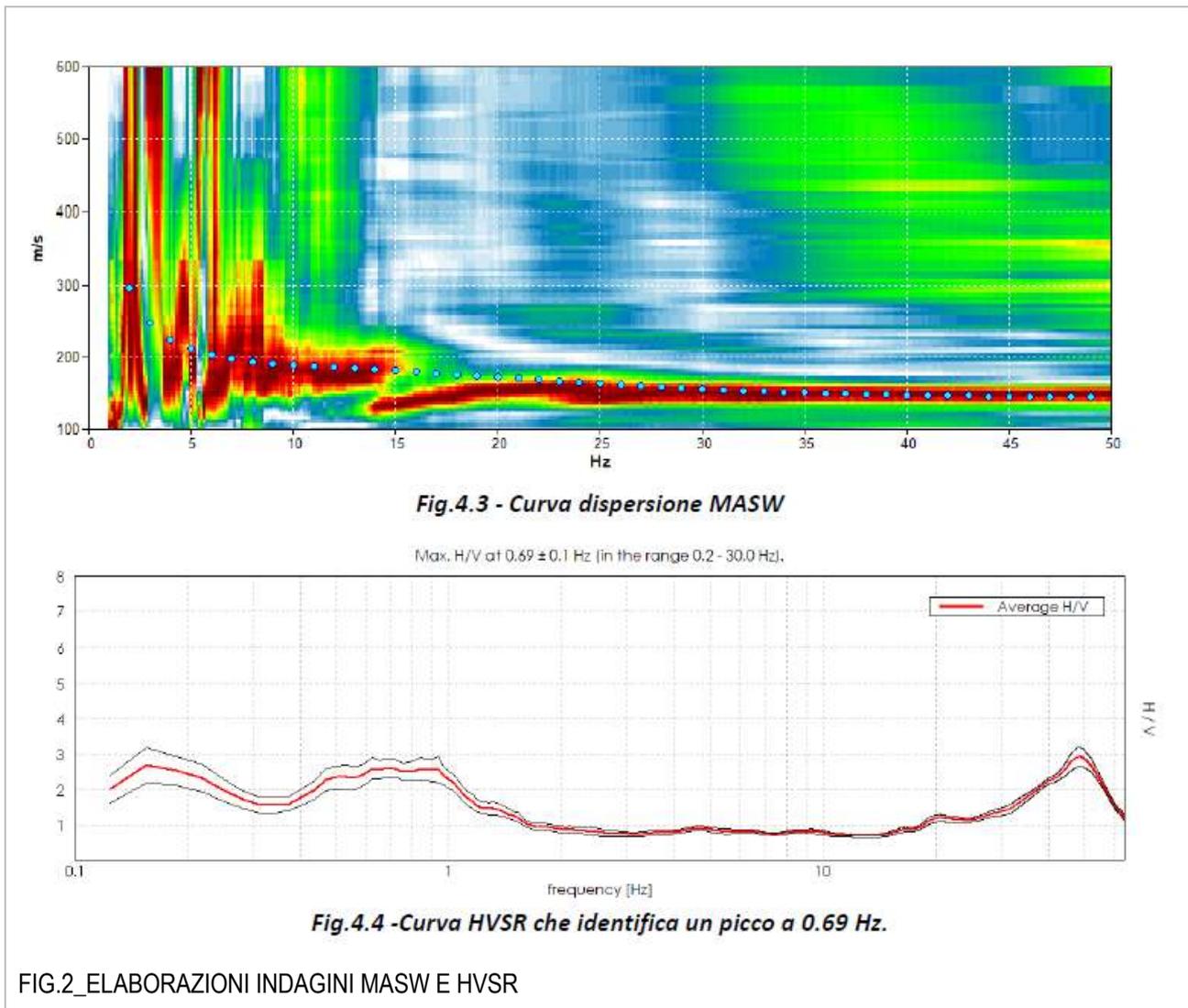


FIG.1_UBICAZIONE DELLE INDAGINI



Dall'Analisi della curva HVSR è emersa una frequenza fondamentale del sito pari a 0.69 Hz.

4.2. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La determinazione dell'amplificazione di tipo stratigrafico dei profili Vs derivati dalle indagini sismiche, per mezzo delle categorie semplificate di normativa, porta alla seguente categorizzazione del sottosuolo (casistica zBedrock sismico >30m):

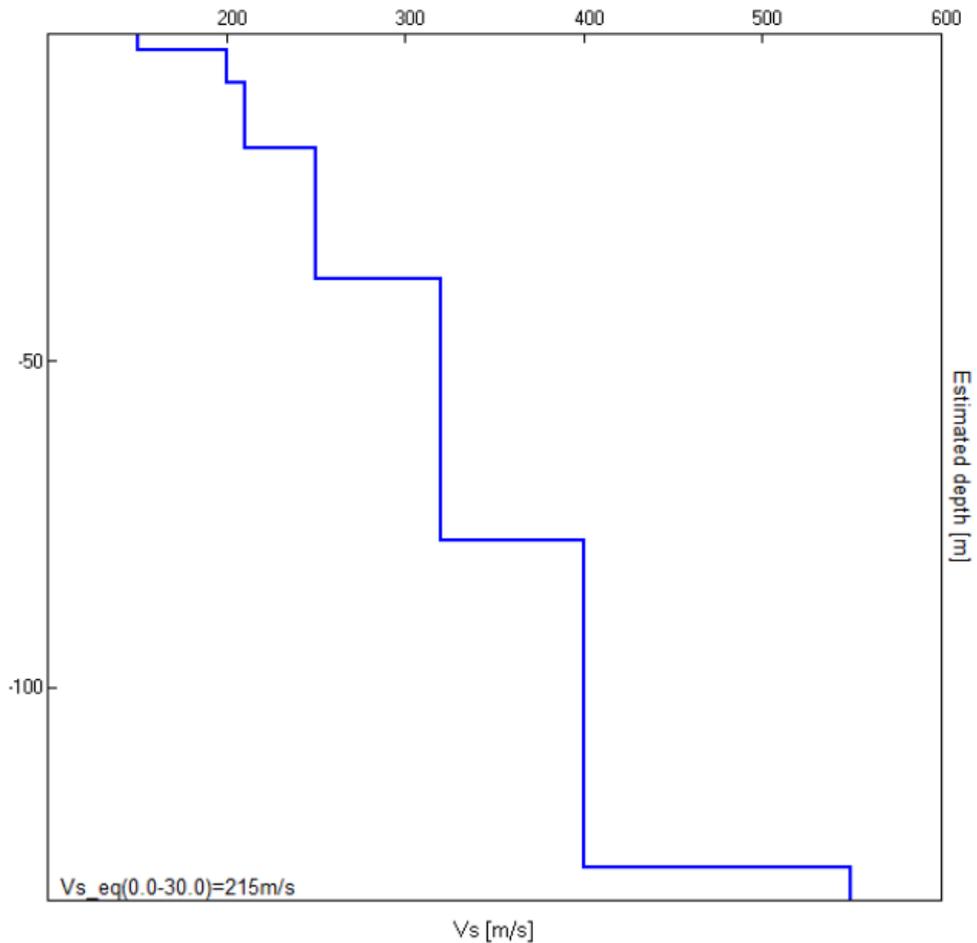


Fig.4.2–Elaborazione congiunta MASW e HVSR

FIG.3_CATEGORIA DI SOTTOSUOLO – ELABORAZIONE CONGIUNTA MASW e HVSR

Come riportato in Relazione Geologica, sulla scorta delle velocità derivate dall'elaborazione congiunta delle indagini sismiche MASW e HVSR, in riferimento a quanto illustrato nel paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018 è stato possibile definire come le indagini riconducano il terreno a una categoria di **sottosuolo C**:

- Vs,30 da prove = 215m/s
- Categoria di sottosuolo tipo C, conformemente a Tab.3.2. II NTC 2018.

4.3. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche di progetto previste dalle vigenti norme tecniche (NTC), in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito in esame.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica, derivata da una PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) messa a punto dall'INGV per l'intero territorio nazionale (Mappe di pericolosità sismica), è definita in termini di accelerazione orizzontale massima a_g attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita dalle NTC), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in pseudo - accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

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 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le azioni sismiche su ciascuna direzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR ricavato con la seguente espressione:

$$VR = V_N \cdot C_u$$

Dove:

- V_N = vita nominale dell'opera
- C_u = Coefficiente d'uso, funzione della classe d'uso dell'opera

La vita nominale dell'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo per lo quale è destinata.

Nel caso del manufatto in esame, la vita nominale può essere assunta pari a **50 anni** così come suggerito dalle NTC per "**opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale**".

La pericolosità sismica è stata calcolata considerando la **CLASSE D'USO 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"**.

Alla classe d'uso considerata per la costruzione in esame, definita con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, corrisponde un coefficiente d'uso **$C_u = 1.5$** .

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Per gli stati limite di esercizio degli edifici in esame si prende in considerazione lo stato limite di danno (SLD) nell'ambito del quale "a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tale da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature".

Per gli stati limite ultimi della struttura in esame si prende in considerazione lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) nell'ambito del quale "a seguito del terremoto di progetto si accetta che la costruzione subisca rotture e crolli dei

componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali, ma la costruzione conserva una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali”.

Gli stati limite precedentemente definiti sono riferiti a terremoti di diversa intensità: elevata per lo SLV e medio - bassa per lo SLD. Pertanto, la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati è diversa e, precisamente:

- Stato limite di danno PvR (75 anni) = 63%;
- Stato limite di salvaguardia della vita PvR (75 anni) = 10%.

Alle predette probabilità di superamento corrispondono i seguenti periodi di ritorno dell'azione sismica di progetto:

- Stato limite di danno TR = 75 anni;
- Stato limite di salvaguardia della vita TR = 712 anni.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dell'edificio in relazione alla sua classe d'uso e alla ubicazione geografica al fine di individuare i parametri di pericolosità sismica.

TIPO DI OPERA (tabella 2.4.I, DM 17/01/2018)	2 - opere ordinarie
VITA NOMINALE (tabella 2.4.I, DM 14/01/2018)	VN = 50 anni
CLASSE D'USO (tabella 2.4.II, DM 14/01/2018)	III - CU = 1,50
PERIODO DI RIFERIMENTO (VR=VN*CU, par. 2.4.3 DM 14/01/2018)	VR= 75 anni

I parametri di sismicità per i vari stati limite, sono riportati di seguito:

Stati limite

Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0,051	2,511	0,263
Danno (SLD)	75	0,065	2,481	0,274
Salvaguardia vita (SLV)	712	0,182	2,552	0,274
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0,241	2,487	0,283

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 75

La determinazione dell'azione sismica di progetto è stata effettuata secondo le prescrizioni contenute nel § 3.2.3.2.1 delle NTC-18, secondo cui questa è esprimibile mediante il concetto di spettro elastico e/o di progetto.

Per quanto riguarda il primo valgono le seguenti equazioni ai fini della sua valutazione:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Dove:

- T è il periodo di vibrazione
- $S_e(T)$ è l'accelerazione spettrale
- S è il coefficiente di sottofondo che tiene conto della categoria del sottosuolo e delle condizioni tipografiche mediante la relazione. Questo è dato da: $S = S_S \cdot S_T$ essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (tabella 3.2.IV, NTC-18) e S_T è il coefficiente di amplificazione topografica (tabella 3.2.V, NTC-18).
- η è il fattore che altera lo spettro di risposta per coefficienti viscosi convenzionali ξ diversi da 5% mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

- F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in funzione della categoria del sottosuolo, ed è dato da:
- $T_C = C_C T_C^*$
- Dove C_C è contenuto nella tabella tabella 3.2.IV, NTC-18, mentre T_C^* è definito al § 3.2 delle NTC-18.
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante e risulta essere:

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro e risulta essere:

$$T_D = 4 \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Per la definizione degli spettri elastici relativi ai diversi stati limite sono necessari i seguenti ulteriori parametri, ovvero:

TIPO DI TERRENO (tabella 3.2.II, DM 17/01/2018)	TIPO C
CATEGORIA TOPOGRAFICA (tabella 3.2.III, DM 17/01/2018)	T1
FATTORE DI SMORZAMENTO	5%
FATTORE η	1

4.4. SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE

Per quanto attiene alle modifiche dell'azione sismica dovuta a caratteristiche locali, si assume, dunque, la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1 (superficie pianeggiate).

A questo punto è possibile definire gli spettri di risposta elastici in accelerazione sia delle componenti orizzontali che verticali.

Gli spettri sono definiti sulla base dei seguenti parametri:

- $\xi = 5\%$ - Coefficiente di smorzamento viscoso convenzionale;
- F_0 - Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- T_c periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;
- T_B periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_D periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro.

TU 2018 - Microzonazione

Ubicazione

Latitudine

Longitudine

Microzonazione Sismica

Tipo di suolo:

Condizioni Topografiche

Coefficiente di amplificazione topografica ST

Vita Nominale

Vita nominale della struttura VN (anni)

Classe d'Uso

Coefficiente d'uso CU

Classe di duttilità della struttura: CDB CDA Struttura Non Dissipativa

Fattore di struttura per sisma Orizzontale

Kr	<input type="text" value="1"/>	C SLV	<input type="text" value="1.5"/>	fattore di struttura q SLV	<input type="text" value="1.5"/>
Kw	<input type="text" value="1"/>	C SLC	<input type="text" value="1"/>	fattore di struttura q SLC	<input type="text" value="1"/>
α_w/α_1	<input type="text" value="1"/>	C SLD	<input type="text" value="1.5"/>	fattore di struttura q SLD	<input type="text" value="1.5"/>
$q_0=C \alpha_w/\alpha_1$ $q=q_0 K_r K_w$		C SLO	<input type="text" value="1"/>	fattore di struttura q SLO	<input type="text" value="1"/>

Fattore di struttura per sisma Verticale

fattore di struttura q

Strutture isolate:

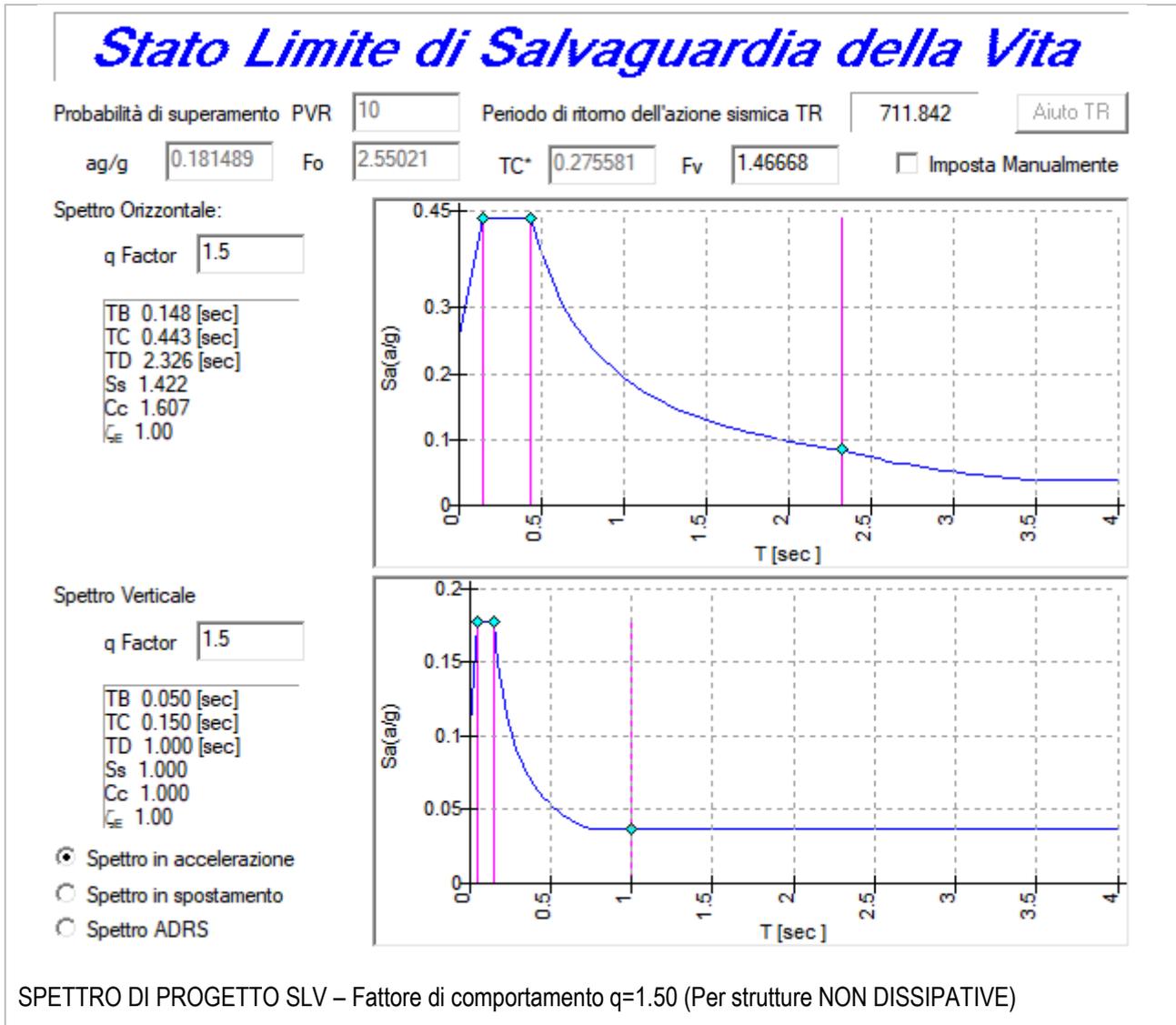
Abbatti lo spettro per $T > 0.8 T_{is}$ $T_{is} =$ Smorzamento equivalente ξ_{eq} (1=1%)

Esponente calcolo vulnerabilità:

Esponente nella formula $T=(T_C/T_R)^a$

Parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica i base del sito

A seguire si riportano immagini degli spettri di progetto per i diversi stati limite.



Stato Limite di Collasso

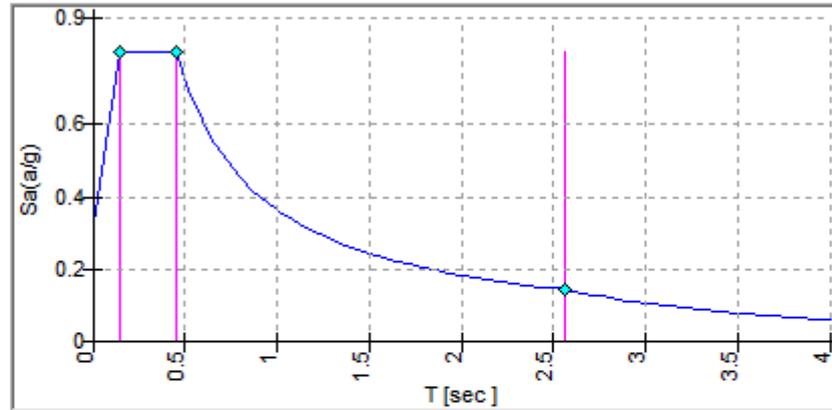
Probabilità di superamento PVR Periodo di ritorno dell'azione sismica TR

ag/g Fo TC* Fv Imposta Manualmente

Spettro Orizzontale:

q Factor

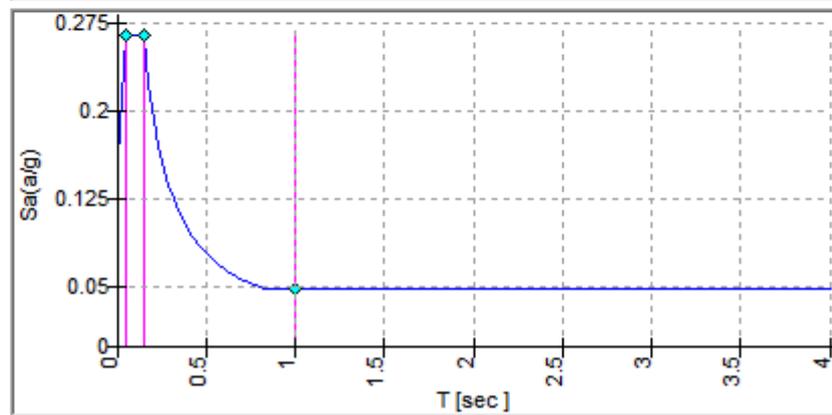
TB 0.151 [sec]
 TC 0.452 [sec]
 TD 2.563 [sec]
 Ss 1.341
 Cc 1.590
 ζ_E 1.00



Spettro Verticale

q Factor

TB 0.050 [sec]
 TC 0.150 [sec]
 TD 1.000 [sec]
 Ss 1.000
 Cc 1.000
 ζ_E 1.00



- Spettro in accelerazione
- Spettro in spostamento
- Spettro ADRS

Stato Limite di Danno

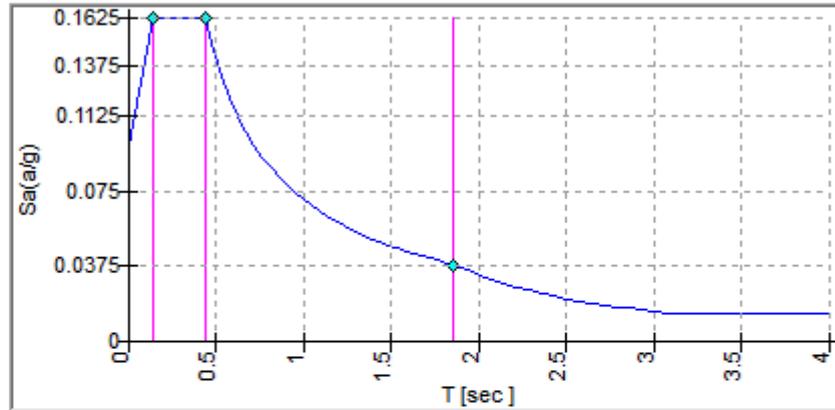
Probabilità di superamento PVR Periodo di ritorno dell'azione sismica TR

ag/g Fo TC* Fv Imposta Manualmente

Spettro Orizzontale:

q Factor

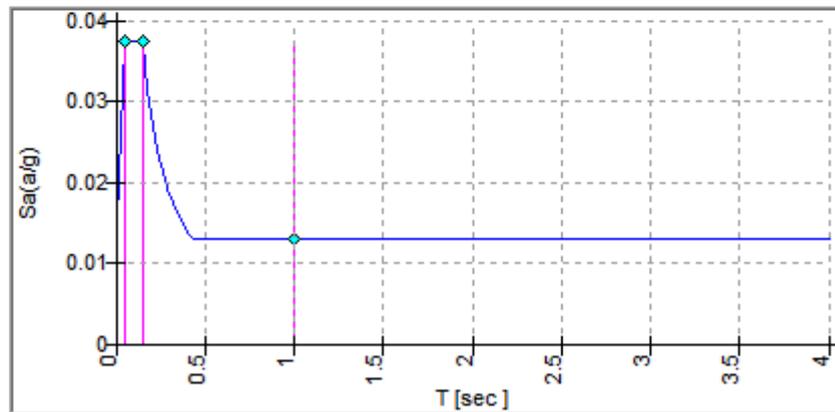
TB 0.146 [sec]
 TC 0.437 [sec]
 TD 1.861 [sec]
 Ss 1.500
 Cc 1.616
 ζ_E 1.00



Spettro Verticale

q Factor

TB 0.050 [sec]
 TC 0.150 [sec]
 TD 1.000 [sec]
 Ss 1.000
 Cc 1.000
 ζ_E 1.00



- Spettro in accelerazione
- Spettro in spostamento
- Spettro ADRS

SPETTRO DI PROGETTO SLD – Fattore di comportamento q=1.50 (Per strutture NON DISSIPATIVE)

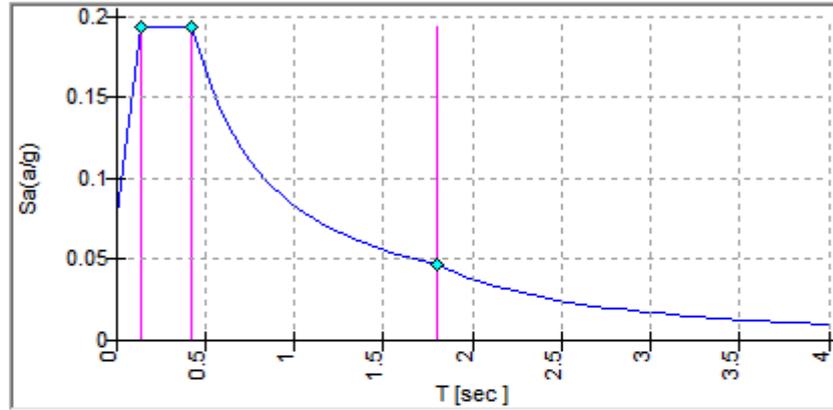
Stato Limite di Operatività

Probabilità di superamento PVR
 Periodo di ritorno dell'azione sismica TR

ag/g
 Fo
 TC*
 Fv
 Imposta Manualmente

Spettro Orizzontale:

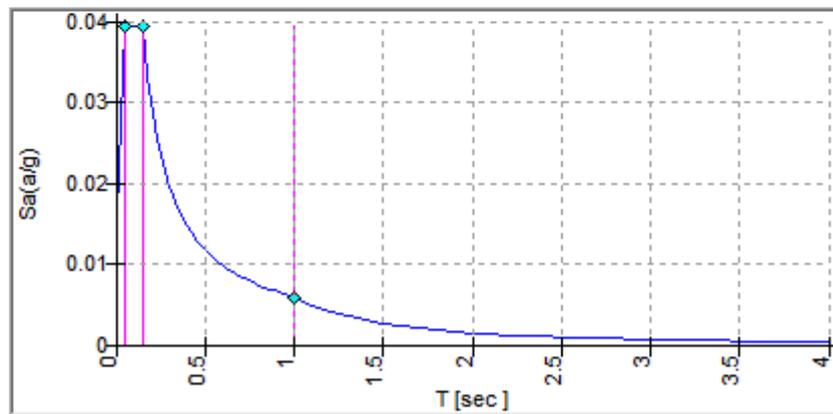
TB 0.143 [sec]
 TC 0.429 [sec]
 TD 1.805 [sec]
 S_s 1.500
 C_c 1.632
 C_E 1.00



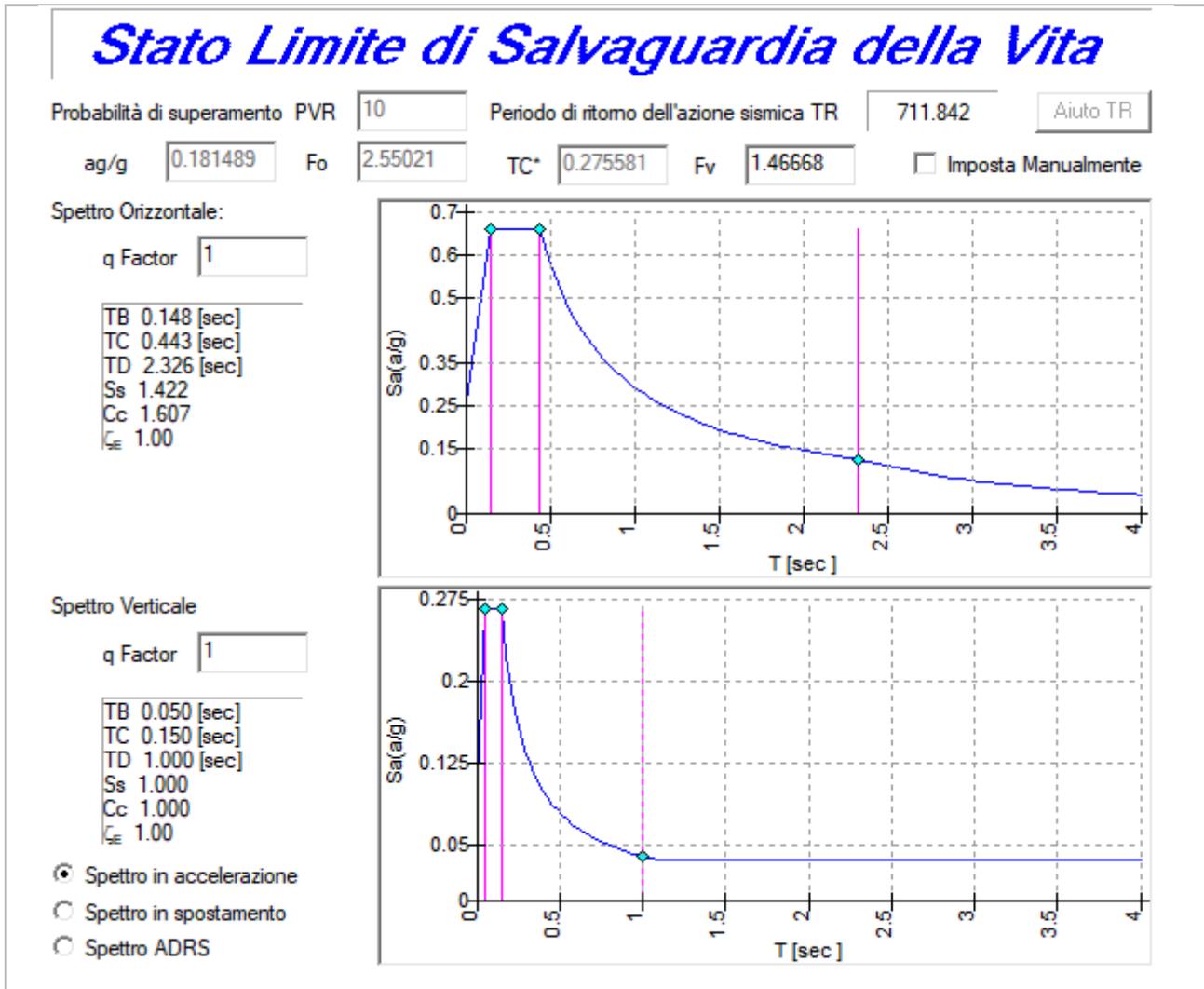
Spettro Verticale

TB 0.050 [sec]
 TC 0.150 [sec]
 TD 1.000 [sec]
 S_s 1.000
 C_c 1.000
 C_E 1.00

- Spettro in accelerazione
- Spettro in spostamento
- Spettro ADRS



Si riportano per completezza anche gli SPETTRI ELASTICI in Accelerazione:



Stato Limite di Danno

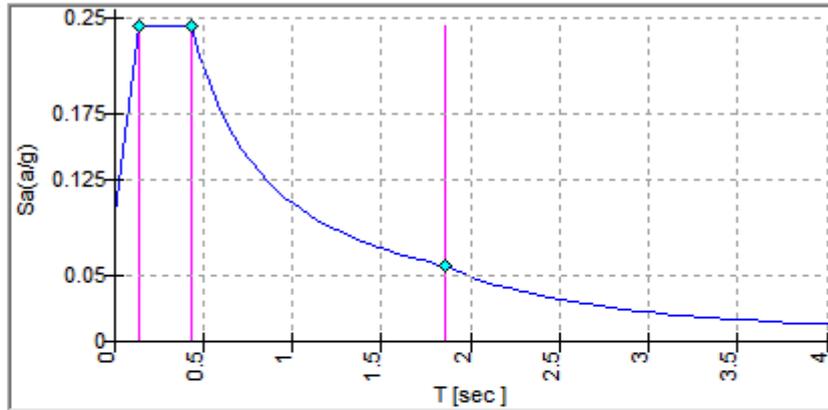
Probabilità di superamento PVR Periodo di ritorno dell'azione sismica TR

ag/g Fo TC* Fv Imposta Manualmente

Spettro Orizzontale:

q Factor

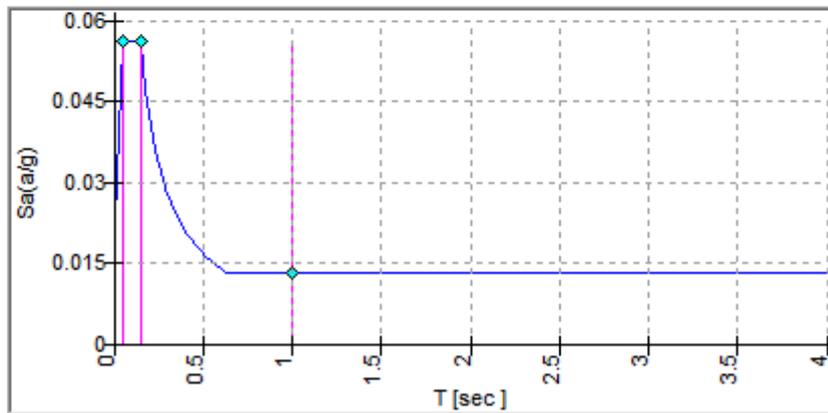
TB 0.146 [sec]
 TC 0.437 [sec]
 TD 1.861 [sec]
 Ss 1.500
 Cc 1.616
 ζ_E 1.00



Spettro Verticale

q Factor

TB 0.050 [sec]
 TC 0.150 [sec]
 TD 1.000 [sec]
 Ss 1.000
 Cc 1.000
 ζ_E 1.00

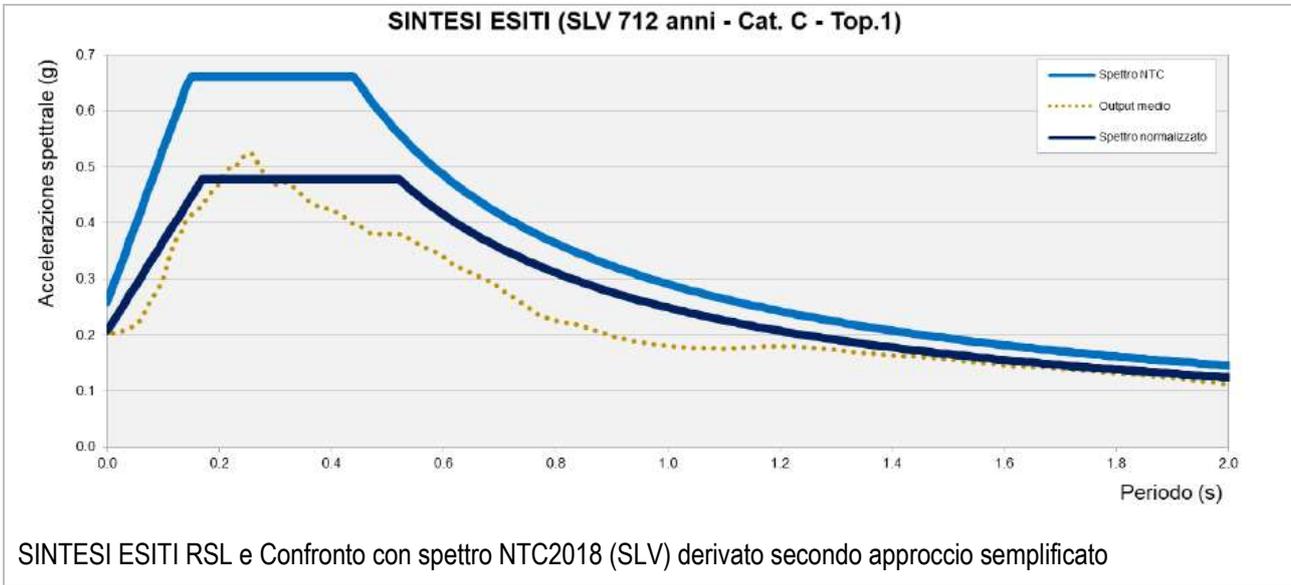


- Spettro in accelerazione
- Spettro in spostamento
- Spettro ADRS

5. AZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'area in esame ricade in una zona soggetta a instabilità §2.3, è stata dunque valutata l'azione sismica di progetto secondo uno studio di **risposta sismica locale**, secondo III livello di approfondimento (si veda Relazione Geologica a firma del dott. Geol. Pierluigi Dallari della società GEO GROUP S.r.l. allegata al progetto).

Si riportano gli esiti dell'Analisi di Risposta Sismica Locale (riportati in maniera estesa in Relazione Geologica allegata):



SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL						
ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.182	2.418	0.274	0.17	0.52	1.14	0.207

PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO derivante da ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 30 simulazioni definisce un'azione sismica inferiore rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C.

Ai fini progettuali si è dunque adottata, in via cautelativa, l'azione sismica derivabile secondo approccio semplificato (categorie di sottosuolo) come esplicitato da normativa tecnica NTC2018.

6. LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno.

Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa.

Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione; la valutazione della stabilità nei confronti della liquefazione è riportata in maniera estesa nella Relazione Geologica a firma del dott. Geol. Pierluigi Dallari della società GEO GROUP S.r.l. allegata al progetto.

Con riferimento alle linee guida emesse dalla Regione Emilia-Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da Sonmez 2003; la valutazione del rischio di liquefazione è riferita alla determinazione del valore di LPI ottenuto dalle analisi. Si riporta la tabella di classificazione:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 15$	Alto
$15 > LPI$	Molto alto

Si riportano i valori di LPI, determinati in Relazione Geologica, dalle verticali di prova CPTu considerando un'accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.26 \text{ g}$ (calcolata secondo l'approccio semplificato NTC18), la soggiacenza della falda freatica è stata ipotizzata in condizioni sismiche alla profondità $D_w = -1.00 \text{ m}$ e una magnitudo di riferimento pari a $M=6.14$.

A seguito della verifica, in riferimento alle verticali CPTU indagate, sono stati ottenuti i seguenti valori di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU1	0.974	BASSO
CPTU2	1.963	BASSO

Nel sito di progetto non sono stati dunque rinvenuti significativi depositi sabbiosi tali da determinare fenomeni di potenziale di liquefazione.

Le valutazioni svolte, riportate per esteso in Relazione Geologica hanno dunque determinato Rischio di potenziale liquefazione Basso.