



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Aprile 2025

Provincia di Parma

Comune di Salsomaggiore Terme

**Adeguamento degli studi di
microzonazione sismica comunale agli
indirizzi approvati con la DGR 630/2019**

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Geologi
Dr. Carlo Caleffi
Dr. Francesco Cerutti

Collaboratori
Dott. Andrea Conti
Dott.ssa Melinda Raimondo



INDICE

1.	Premesse	2
2.	Analisi di risposta sismica locale	4
2.1	Segnali in input.....	4
2.2	Modello geofisico del sottosuolo.....	5
2.3	Procedura di analisi RSL	5
2.3.1	Metodo lineare equivalente	6
2.3.2	Soluzione alla singola iterazione mediante FEM	7
2.3.3	Smorzamento	8
2.3.4	Procedimento iterativo.....	9
2.3.5	Interpretazione dei risultati.....	9
2.4	Risultati della modellazione numerica	11
2.4.1	RSL1 – Salsomaggiore Terme.....	11
2.4.2	RSL2 – Tabiano “Campo sportivo” su terrazzo	13
2.4.3	RSL3 – Tabiano “Campo sportivo” su coltre	15
2.4.4	RSL4 – Tabiano “Centro turistico” su terrazzo	17
2.4.5	RSL5 – Tabiano “Centro turistico” su coltre	19
3.	Elaborati cartografici	21
3.1	Carte di microzonazione sismica.....	21
3.2	Carte dello scuotimento atteso	22
4.	Norme speciali per la riduzione del rischio sismico	24
4.1	Disposizioni generali ai fini pianificatori	24
4.2	Disposizioni generali ai fini progettuali.....	25
4.3	Disposizioni relativa all’analisi della Condizione Limite per l’Emergenza.....	26
5.	Allegati.....	27



1. PREMESSE

La presente relazione descrive l'adeguamento degli studi di microzonazione sismica del territorio comunale di Salsomaggiore Terme agli indirizzi approvati con Deliberazione di Giunta Regionale n. 630 del 29/04/2019 della Regione Emilia-Romagna "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)".

In particolare, in ambito sismico, il comune di Salsomaggiore Terme dispone dei seguenti studi:

- Studio di Microzonazione Sismica con approfondimento di II livello, redatto da Ambiter s.r.l. e dallo studio geologico dott. Andrea Bricoli, secondo quanto previsto dall'OPCM 4007/2012, e validato dal Dip. di Protezione Civile in data 15/06/2018;
- Studio di Microzonazione Sismica con approfondimento di III livello e l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), redatto dai dott. geol. Gabriele Oppo e Sergio Lasagna, secondo quanto previsto dall'OCDPC 171/2014, e validato dal Dip. di Protezione Civile in data 12/04/2023.

Questi studi, a seguito dell'emanazione della sopracitata DGR 630/2019, hanno necessitato di integrazioni ed aggiornamenti, effettuati dagli scriventi nell'ambito di un incarico affidato con determinazione del dirigente del settore tecnico, arch. Michela Fedeli, n. 178 del 20 marzo 2025.

In particolare, tale incarico ha previsto la redazione, oltre che del presente documento, dei seguenti elaborati:

- **Tav. 1 - Carta di microzonazione sismica - FAPGA¹**
- Tav. 2 - Carta di microzonazione sismica - FASA 0,1-0,5 s
- Tav. 3 - Carta di microzonazione sismica - FASA 0,4-0,8 s
- Tav. 4 - Carta di microzonazione sismica - FASA 0,7-1,1 s
- Tav. 5 - Carta di microzonazione sismica - FASA 0,5-1,5 s
- **Tav. 6 - Carta di microzonazione sismica - FHSI 0,1-0,5 s¹**
- **Tav. 7 - Carta di microzonazione sismica - FHSI 0,5-1,0 s¹**
- Tav. 8 - Carta di microzonazione sismica - FHSI 0,5-1,5 s
- Tav. 9 - Carta di microzonazione sismica - HSM
- Tav. 10 - Carta di microzonazione sismica - HSM 0,4-0,8 s
- Tav. 11 - Carta di microzonazione sismica - HSM 0,7-1,1 s
- Tav. 12 - Carta di microzonazione sismica - HSM 0,5-1,5 s

Inoltre, è stata redatta la cartografia di confronto tra le mappe contenenti gli elementi della Condizione Limite per l'Emergenza e lo studio di Microzonazione Sismica (FH_{SI} 0,5-1,0 s), riportata nella Tav. 13 - Carta di sovrapposizione MS+CLE e sono state fornite delle

¹ Elaborato che sostituisce quello già redatto per lo studio di III livello pregresso (è stato evidenziato in rosso proprio per segnalare che il vecchio non va più considerato)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2025		2 di 28



indicazioni in relazione all'applicazione delle norme speciali per la riduzione del rischio sismico (cfr. capitolo 4).

Nel capitolo 2 viene descritta la metodologia adottata per l'analisi di risposta sismica locale (RSL) effettuata tenendo conto delle risultanze dello studio di microzonazione di III livello già validato.

Nel capitolo 3 sono, invece, illustrati gli elaborati cartografici prodotti.

Per tutto quanto non esplicitamente sostituito con il presente adeguamento (vedi tavole evidenziate in rosso nell'elenco a pag. 2) si può fare riferimento ai due studi di microzonazione pregressi.

 ENGEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2025		3 di 28



2. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'analisi di III livello della risposta sismica locale (RSL), per il Comune di Salsomaggiore Terme, è stata eseguita su cinque verticali analizzate nell'ambito del già citato studio di Microzonazione Sismica di III livello, di cui una ubicata nell'area sud del Capoluogo, e quattro ubicate nella frazione di Tabiano Bagni.

2.1 Segnali in input

Quali segnali di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dalla piattaforma WebGIS sviluppata da EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna nell'ambito dell'accordo "Acquisizione del servizio di rilevamento a scala regionale del rischio sismico degli edifici residenziali ordinari e aggiornamento dei segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale negli studi di microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento"².

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nelle banche dati. Il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il servizio fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008. Per il sito posto nel Capoluogo sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo 15157 (cfr. Tab. 1), mentre per i due siti posti in località Tabiano Bagni sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo 15380 (cfr. Tab. 2).

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

Tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalle NTC per ciascun punto di indagine.

M _w	Distanza epicentrale	Fattore di scala	File
6.20	29.90	1.96%	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
5.74	12.57	1.28%	NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
6.69	38.07	0.99%	NGA RSN1091_NORTHV_VAS000.AT2
5.60	18.00	0.95%	ESM IT.LRS..HNE.D.19980909.112800.C.ACC.ASC
6.20	78.79	2.63%	NGA RSN2989_CHICHI.05_CHY102N.AT2
6.60	31.00	0.61%	KiKnet SMNH100010061330.EW2
6.50	57.74	3.23%	NGA RSN8167_SANSIMEO_DCPP247.AT2

Tab. 1 – Sismi estratti per un tempo di ritorno di 475 anni riferiti al nodo 15157

M _w	Distanza epicentrale	Fattore di scala	File
6.20	29.90	2.03%	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
5.74	12.57	1.33%	NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
5.99	54.21	2.51%	NGA RSN703_WHITTIER.A A-VAS000.AT2
6.93	83.53	1.48%	NGA RSN804_LOMAP_SSF205.AT2

² [R.E.R.\(eucentre.it\)](http://R.E.R.(eucentre.it))





M _w	Distanza epicentrale	Fattore di scala	File
6.69	38.07	1.12%	NGA RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
6.60	31.00	0.63%	KiKnet SMNH100010061330.EW2
5.90	14.40	2.65%	ESM IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

Tab. 2 – Sismi estratti per un tempo di ritorno di 475 anni riferiti al nodo 15380

2.2 Modello geofisico del sottosuolo

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

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio (V_s);
- curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione e densità in situ,

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

Per la determinazione delle litologie e della V_s si rimanda alla Relazione illustrativa dello studio di III livello realizzato dai Dott. Geol. Gabriele Oppo e Sergio Lasagna.

Per quanto riguarda le curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G_0) in funzione della deformazione di taglio γ , sono state utilizzate le n. 6 prove di laboratorio in colonna risonante sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi realizzati per il sopracitato studio.

Le curve calcolate di cui sopra sono state integrate con curve presenti in letteratura. In particolare, per i depositi fini (coperture) sono state utilizzate le curve di Vucetic & Dobry, (1993)³ mentre per i depositi pelitici sono state utilizzate le curve di EPRI, (1993)⁴.

2.3 Procedura di analisi RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 5.2.0 di STACEC.

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

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale, come nel caso in esame, è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e

³ M. Vucetic; R. Dobry – 1991 – Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response – Journal of Geotechnical Engineering, [Vol. 117, Issue 1](#).

⁴ EPRI; 1993: Guidelines for determining design basic ground motions. EPRI, Report TR-102293-V2

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2025		5 di 28



all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

2.3.1 Metodo lineare equivalente

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

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

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

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Fig. 1. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

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

dove:

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

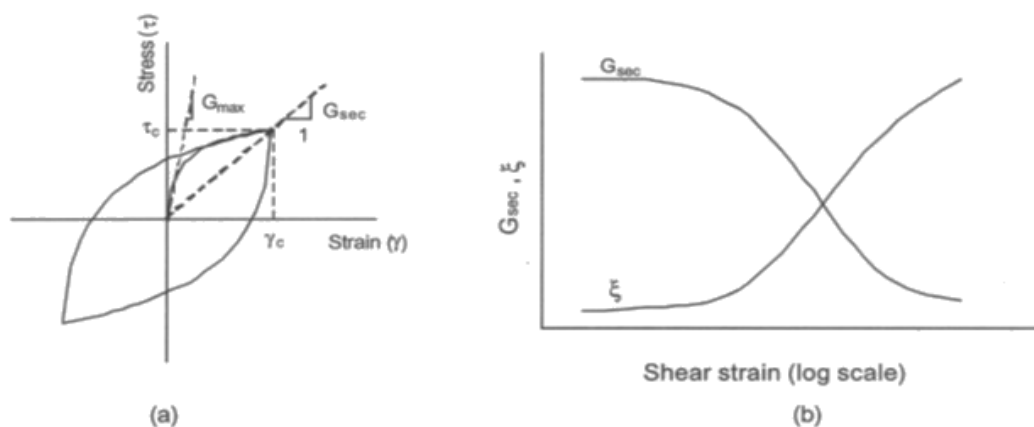


Fig. 1 - Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo



Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Fig. 1. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

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

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

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

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

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

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

dove:

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

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Fig. 1b).

2.3.2 Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Fig. 2) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

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

dove:

M = matrice di massa del sistema;

C = matrice di smorzamento del sistema;

K = matrice di rigidezza del sistema;

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

a_g = vettore di accelerazione alla base;



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

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

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

dove:

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

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

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

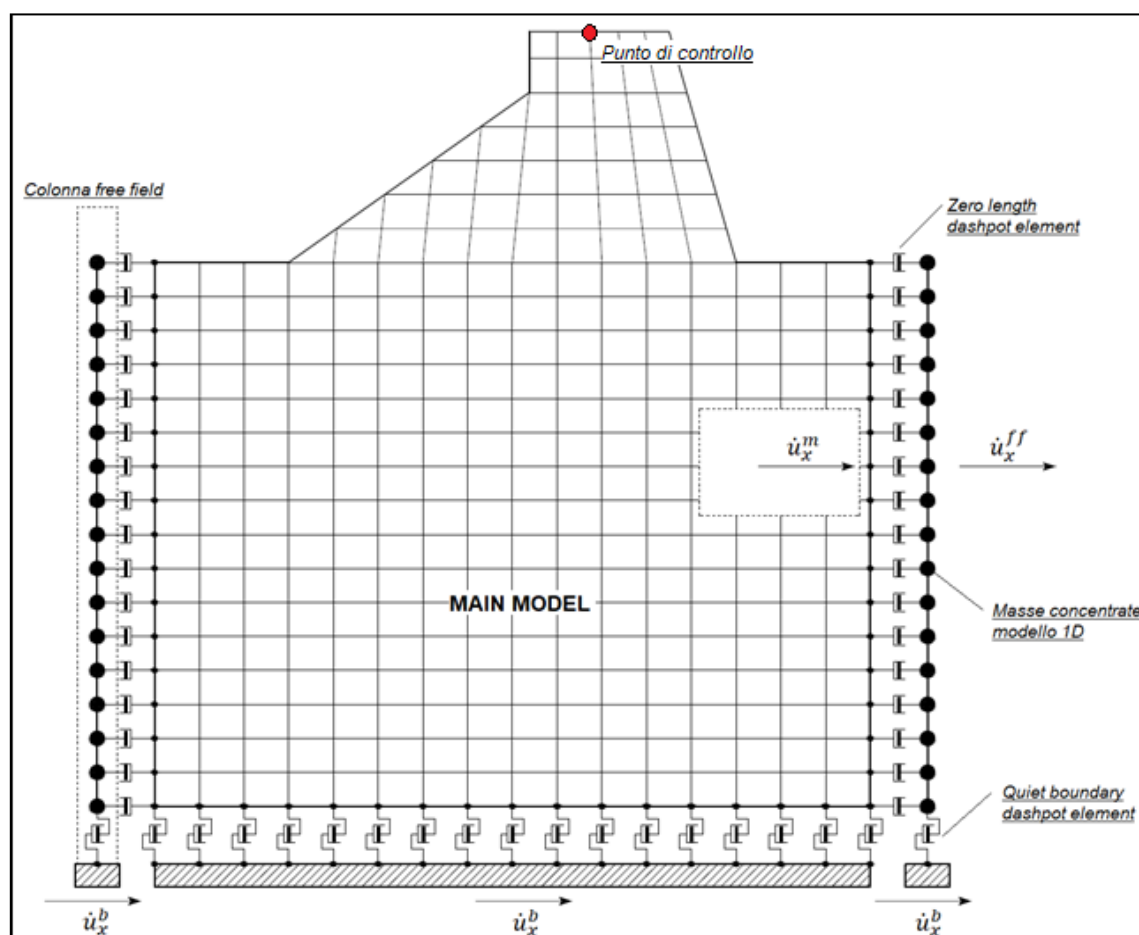


Fig. 2 - Discretizzazione FEM del terreno.

2.3.3 Smorzamento

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2025		8 di 28



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

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh;

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

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

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

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

dove:

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

2.3.4 Procedimento iterativo

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

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

2.3.5 Interpretazione dei risultati

I risultati delle analisi condotte con il codice LSR2D, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire, per ciascun sito:

 EN GEO s.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2025		9 di 28



- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output)
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FA_{PGA}), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH_{IS}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

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

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

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

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

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

$$FA_{SA\ 0.4-0.8} = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{superficie}(T)dt}{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{SA\ 0.7-1.1} = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{superficie}(T)dt}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

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



2.4 Risultati della modellazione numerica

Di seguito vengono presentati in dettaglio i risultati delle analisi effettuate sulle n. 5 verticali studiate.

2.4.1 RSL1 - Salsomaggiore Terme

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Coltre 1	0.00	-3.00	3.00	18.00	120.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Coltre 2	-3.00	-6.00	3.00	18.00	200.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Pelite 1	-6.00	-12.00	6.00	21.00	400.00	EPRI Rocks (21 – 50 feet)
Pelite 2	-12.00	-20.00	8.00	21.00	560.00	EPRI Rocks (21 – 50 feet)
Pelite 3	-20.00	-28.00	8.00	21.00	660.00	EPRI Rocks (51 – 120 feet)
Bedrock	-28.00	-	-	22.00	800.00	-

Tab. 3 – Modello geofisico della verticale RSL1

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	2.24
FA (0.4-0.8 s)	1.32
FA (0.5-1.5 s)	1.16
FA (0.7-1.1 s)	1.14
PGA/PGA ₀	2.52
SI/SI ₀ (0.1-0.5 s)	2.18
SI/SI ₀ (0.5-1.0 s)	1.38
SI/SI ₀ (0.5-1.5 s)	1.34

Tab. 4 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale RSL 1



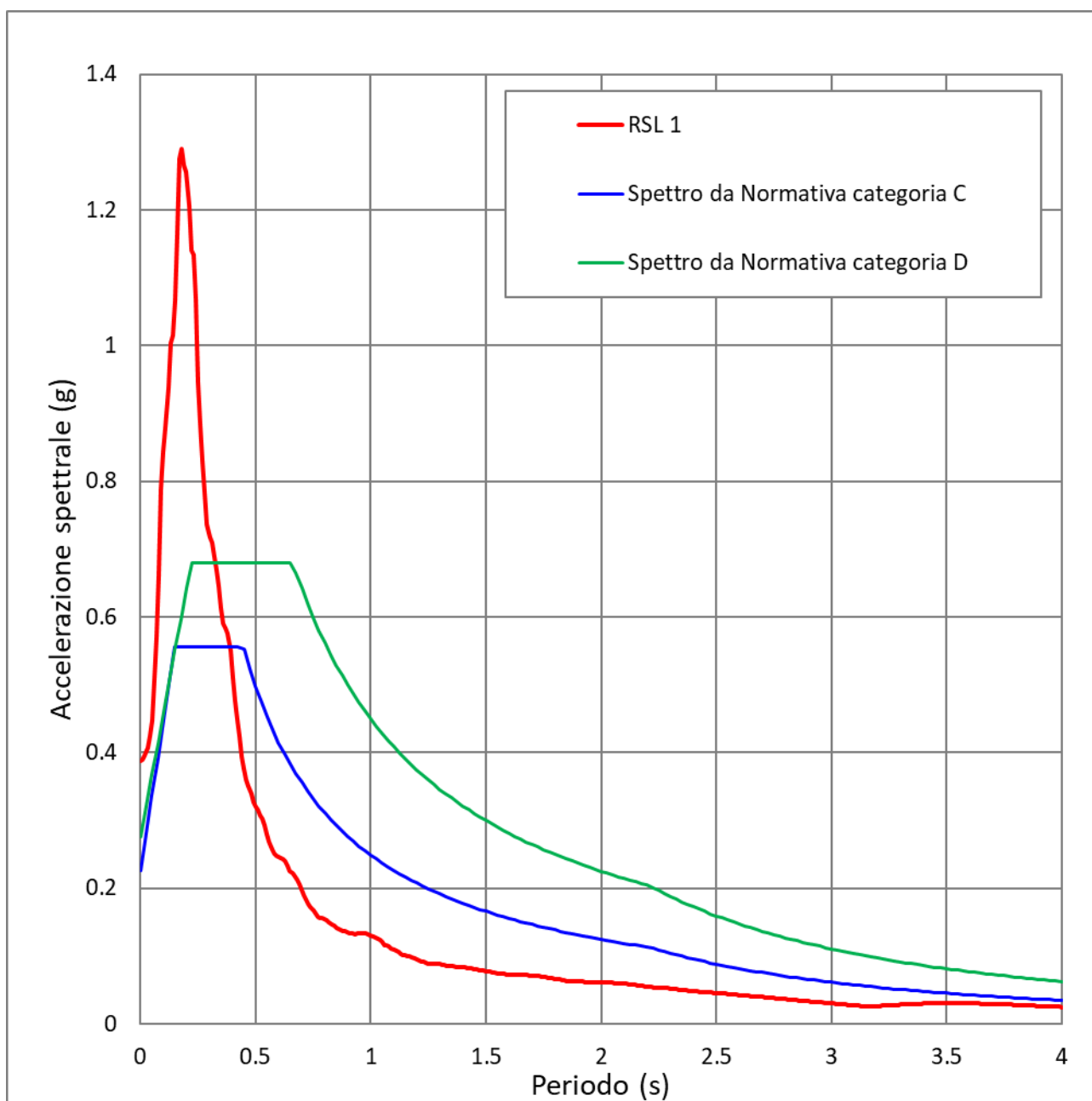


Fig. 3 - Spettro medio di risposta in accelerazione calcolato lungo la verticale RSL 1 confrontato con gli spettri semplificato da normativa per le categorie di sottosuolo C e D



2.4.2 RSL2 - Tabiano "Campo sportivo" su terrazzo

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Alluvione	0.00	-4.00	4.00	18.00	190.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Pelite 1	-4.00	-6.00	2.00	18.50	240.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Pelite 2	-6.00	-16.00	10.00	20.00	300.00	S2 Sh1
Pelite 3	-16.00	-22.00	6.00	20.50	380.00	S2 Sh2
Pelite 4	-22.00	-42.00	20.00	21.00	520.00	EPRI Rocks (51 - 120)
Bedrock	-22.00	-	-	22.00	600.00	-

Tab. 5 - Modello geofisico della verticale RSL 2

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.83
FA (0.4-0.8 s)	1.52
FA (0.5-1.5 s)	1.27
FA (0.7-1.1 s)	1.22
PGA/PGA ₀	1.71
SI/Sl ₀ (0.1-0.5 s)	1.87
SI/Sl ₀ (0.5-1.0 s)	1.47
SI/Sl ₀ (0.5-1.5 s)	1.40

Tab. 6 - Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale RSL 2

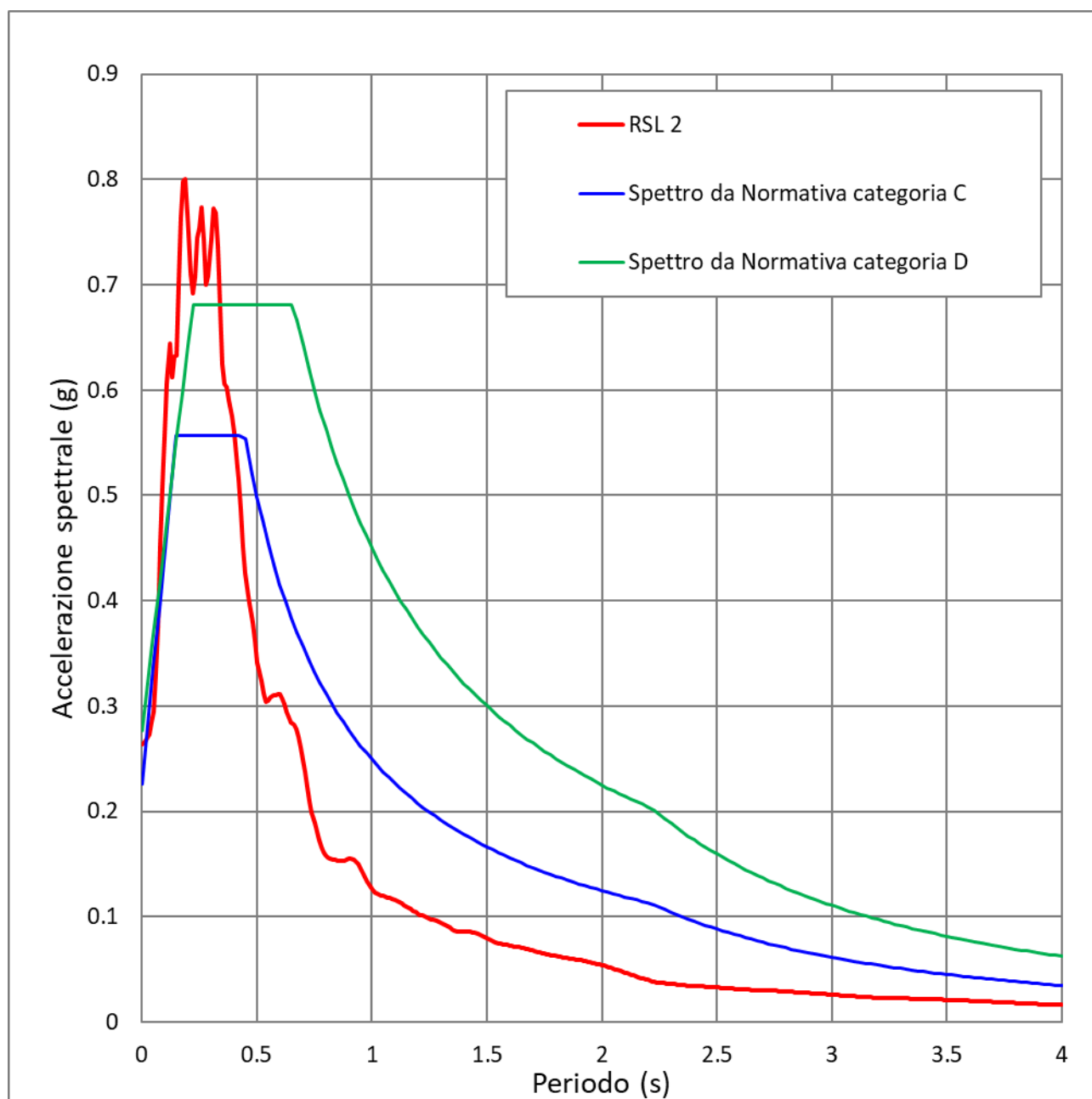


Fig. 4 - Spettro medio di risposta in accelerazione calcolato lungo la verticale RSL 2 confrontato con gli spettri semplificato da normativa per le categorie di sottosuolo C e D



2.4.3 RSL3 - Tabiano "Campo sportivo" su coltre

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V _s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Alluvione	0.00	-7.00	7.00	18.00	190.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Pelite 1	-7.00	-9.00	2.00	18.50	240.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Pelite 2	-9.00	-19.00	10.00	20.00	300.00	S2 Sh1
Pelite 3	-19.00	-25.00	6.00	20.50	380.00	S2 Sh2
Pelite 4	-25.00	-45.00	20.00	21.00	520.00	EPRI Rocks (51 - 120)
Bedrock	-45.00	-	-	22.00	600.00	-

Tab. 7 - Modello geofisico della verticale RSL3

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.99
FA (0.4-0.8 s)	1.73
FA (0.5-1.5 s)	1.38
FA (0.7-1.1 s)	1.31
PGA/PGA ₀	1.73
SI/Sl ₀ (0.1-0.5 s)	2.05
SI/Sl ₀ (0.5-1.0 s)	1.63
SI/Sl ₀ (0.5-1.5 s)	1.52

Tab. 8 - Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale RSL 3

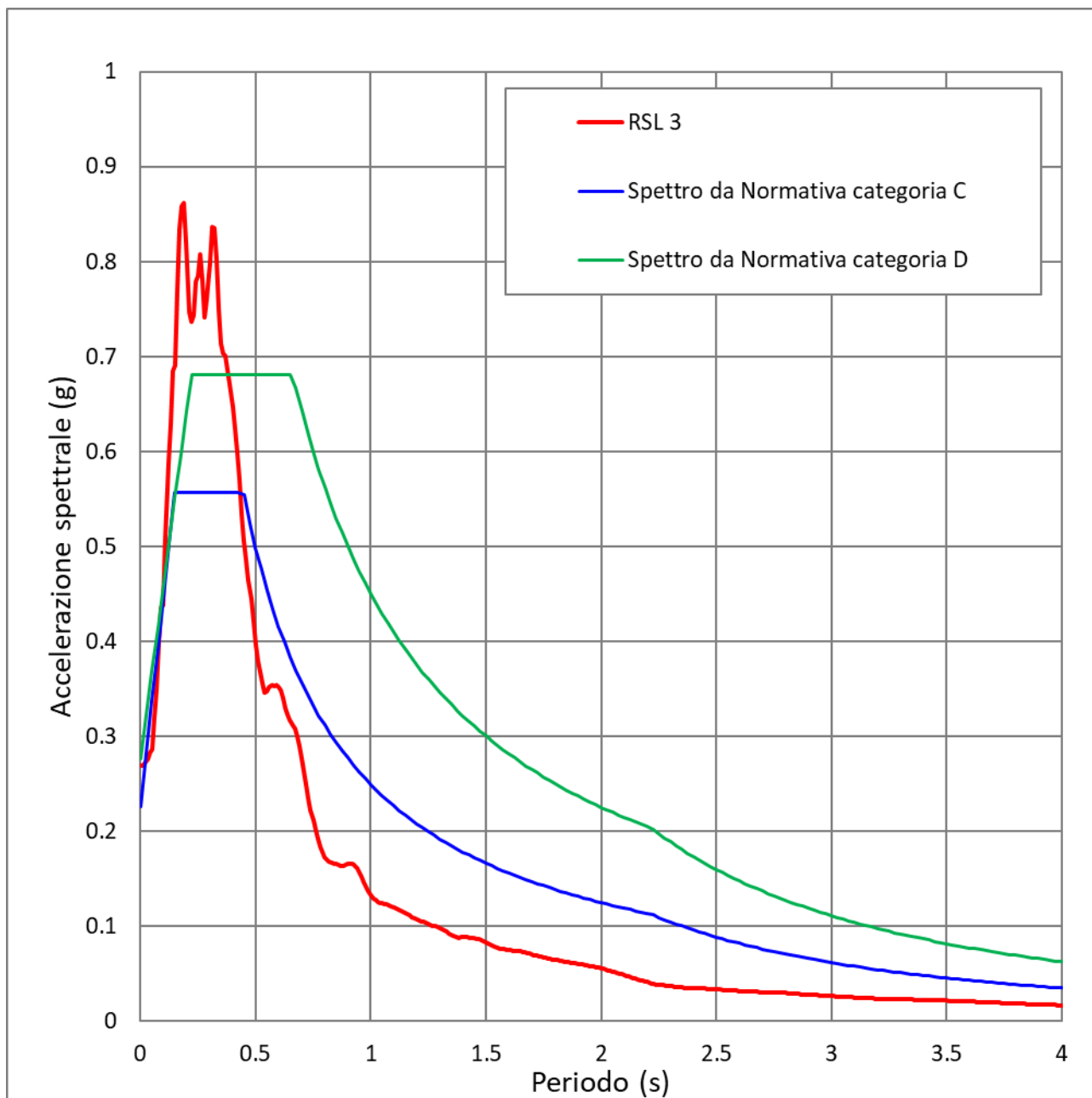


Fig. 5 - Spettro medio di risposta in accelerazione calcolato lungo la verticale RSL 3 confrontato con gli spettri semplificato da normativa per le categorie di sottosuolo C e D



2.4.4 RSL4 - Tabiano "Centro turistico" su terrazzo

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Alluvione	0.00	-3.00	3.00	18.00	160.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Pelite 1	-3.00	-8.00	5.00	18.50	240.00	S1 Sh1
Pelite 2	-8.00	-17.00	9.00	19.00	300.00	S1 Sh2
Pelite 3	-17.00	-28.00	11.00	20.00	340.00	EPRI Rocks (51 – 120 feet)
Bedrock	-28.00	-	-	22.00	500.00	-

Tab. 9 - Modello geofisico della verticale RSL4

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.79
FA (0.4-0.8 s)	1.62
FA (0.5-1.5 s)	1.33
FA (0.7-1.1 s)	1.27
PGA/PGA ₀	1.67
SI/Sl ₀ (0.1-0.5 s)	1.84
SI/Sl ₀ (0.5-1.0 s)	1.53
SI/Sl ₀ (0.5-1.5 s)	1.43

Tab. 10 - Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale RSL 4

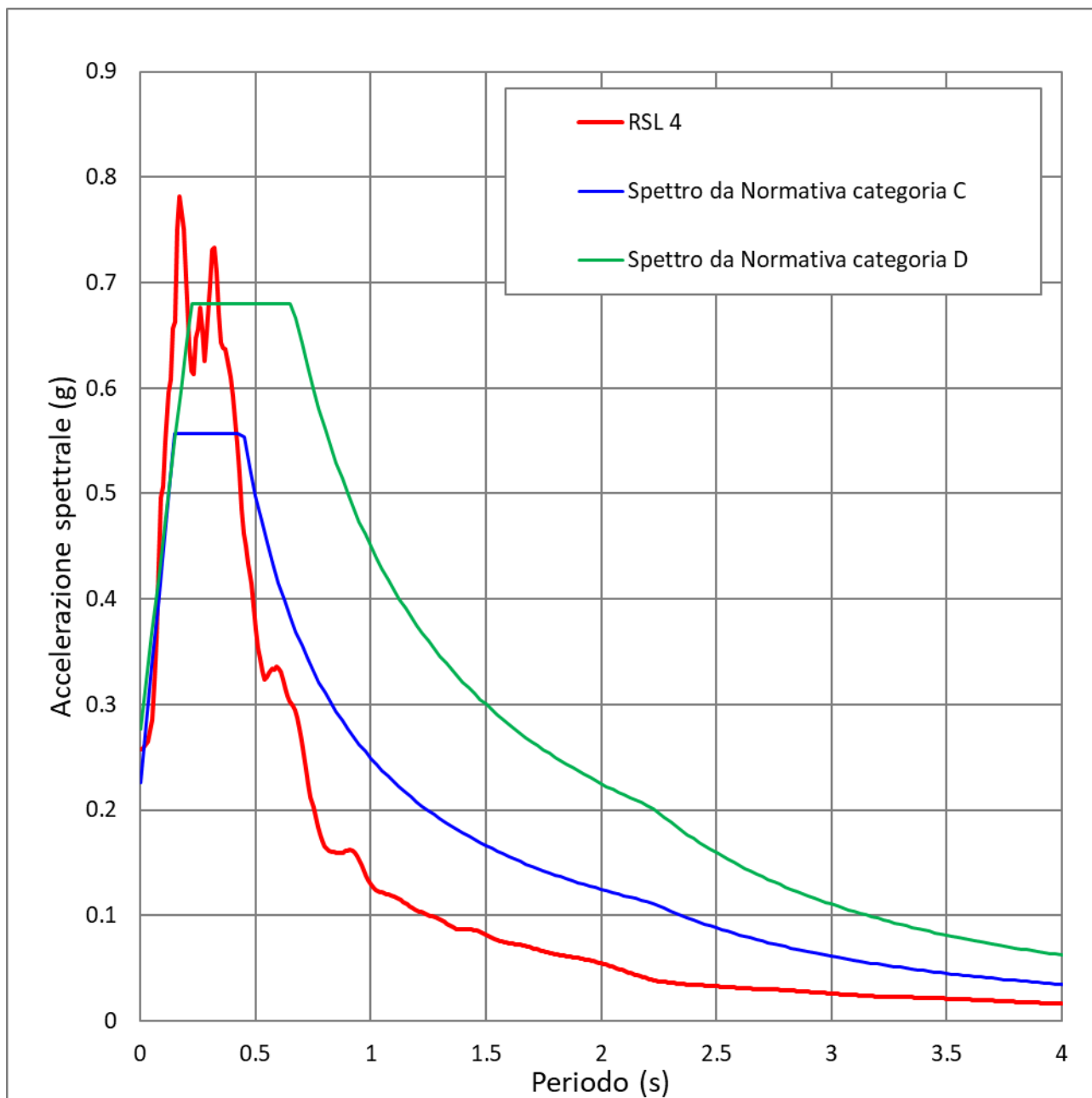


Fig. 6 - Spettro medio di risposta in accelerazione calcolato lungo la verticale RSL 4 confrontato con gli spettri semplificato da normativa per le categorie di sottosuolo C e D



2.4.5 RSL5 - Tabiano "Centro turistico" su coltre

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Alluvione	0.00	-7.00	7.00	18.00	160.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Pelite 1	-7.00	-12.00	5.00	18.50	240.00	S1 Sh1
Pelite 2	-12.00	-21.00	9.00	19.00	300.00	S1 Sh2
Pelite 3	-21.00	-32.00	11.00	20.00	340.00	EPRI Rocks (51 – 120 feet)
Bedrock	-32.00	-	-	22.00	500.00	-

Tab. 11 – Modello geofisico della verticale RSL5

Fattore di amplificazione	Valore
FA (0.1-0.5 s)	1.89
FA (0.4-0.8 s)	1.97
FA (0.5-1.5 s)	1.56
FA (0.7-1.1 s)	1.48
PGA/PGA ₀	1.69
SI/Sl ₀ (0.1-0.5 s)	1.97
SI/Sl ₀ (0.5-1.0 s)	1.80
SI/Sl ₀ (0.5-1.5 s)	1.65

Tab. 12 – Fattori di amplificazione calcolati lungo la verticale RSL 5

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2025		19 di 28

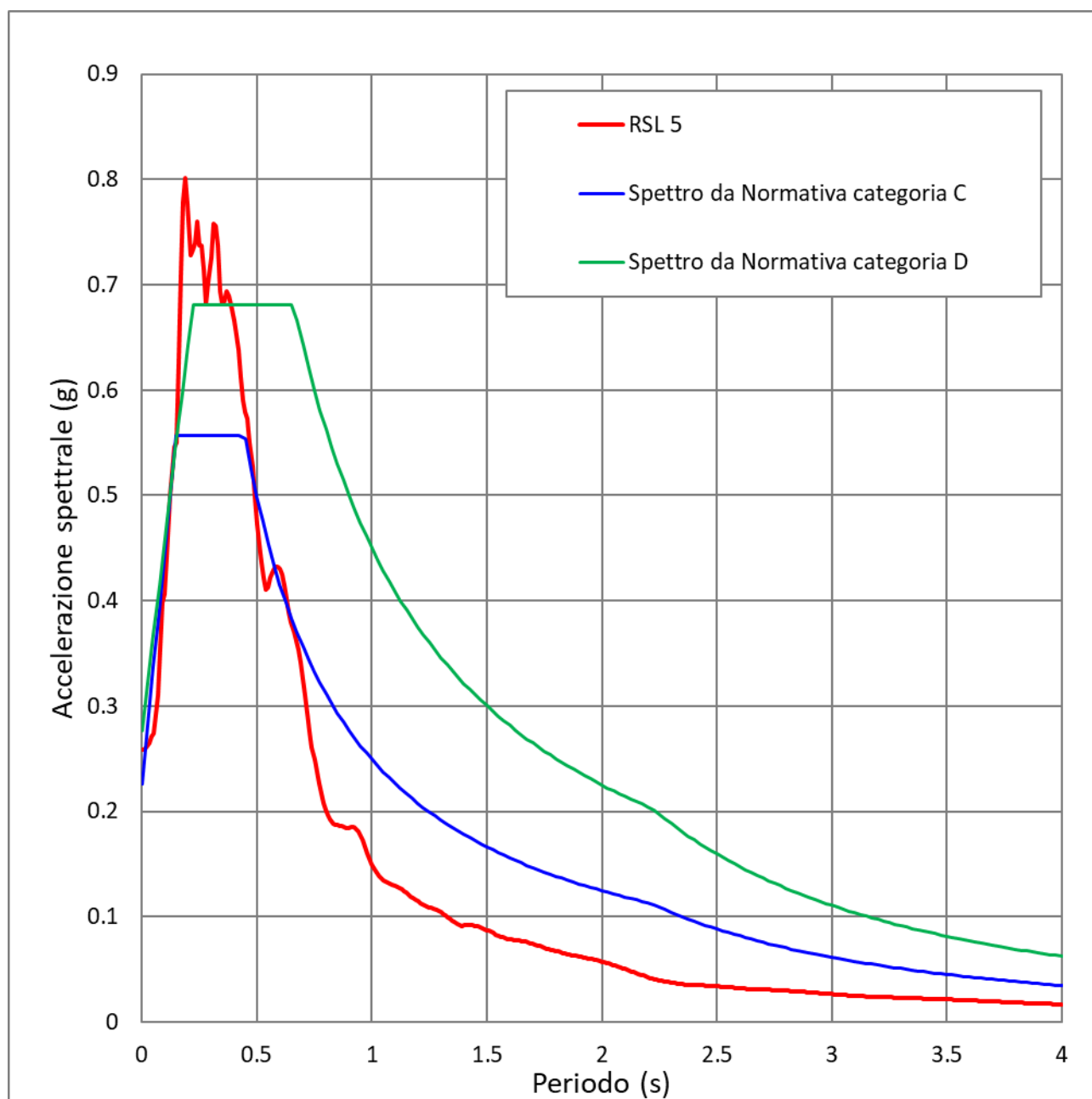


Fig. 7 - Spettro medio di risposta in accelerazione calcolato lungo la verticale RSL 5 confrontato con gli spettri semplificato da normativa per le categorie di sottosuolo C e D



3. ELABORATI CARTOGRAFICI

3.1 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica costituiscono gli elaborati grafici conclusivi del presente aggiornamento. In esse sono state differenziate le aree oggetto di approfondimenti di III livello. Nel caso di Tabiano Bagni, tra le 4 verticali di RSL ubicate nella stessa MOPS, è stata scelta la verticale *RSL 3 – Tabiano “Campo sportivo” su coltre*, in quanto presenta i valori di accelerazione di picco maggiori.

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

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

Nelle zone in cui non sono stati effettuati approfondimenti di 3° livello, i fattori di amplificazione sono stati determinati utilizzando gli abachi forniti dalla Regione Emilia-Romagna utilizzando, come parametri di ingresso (H e V_{SH}), gli stessi utilizzati negli studi precedenti citati nelle premesse.

Dato che il substrato presenta una velocità delle onde di taglio S quasi sempre inferiore a 800 m/s, sono state utilizzate le tabelle APPENNINO con coperture su substrato non rigido. Si segnala che i fattori di amplificazione previsti da tali abachi per la tipologia



APPENNINO non prevedono l'intervallo 0.5 – 1.5 s pertanto, nelle tavole dedicate, sono presenti solo le aree su cui è stato effettuato l'approfondimento di III livello.

3.2 Carte dello scuotimento atteso

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

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

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

Gli intervalli di periodi considerati sono:

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

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

Per gli altri intervalli di periodo sono, invece, stati calcolati, sempre per $T_R=475$ anni, dallo spettro su suolo A utilizzando i dati di accelerazione spettrale ($Se(T)$) forniti da INGV⁵ nell'ambito degli studi per la redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274.

In particolare, considerato che i dati di accelerazione spettrale vengono forniti per periodi di 0.10, 0.15, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.50, 2.00 secondi, per valutare i valori di ASI negli intervalli di periodo sopra citati è stato necessario procedere a interpolazioni, per ottenere i valori a 0.7, 0.8 e 1.1 secondi.

⁵ Montaldo V., Meletti C., 2007. Valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D3, <http://esse1.mi.ingv.it/d3.html>





Una volta calcolati, i valori di H_{SM} sono stati riportati nelle varie carte di scuotimento atteso, grazie a un'etichetta riferita a ciascun poligono esaminato, mentre il colore indica l'appartenenza dello stesso a una delle classi presenti in legenda.

$H_{SM} \leq 0,21g$ $H_{0408} \leq 0,14g$ $H_{0711} \leq 0,09g$	204, 204, 204	$0,71g \leq H_{SM} \leq 0,85g$ $0,46g \leq H_{0408} \leq 0,55g$ $0,30g \leq H_{0711} \leq 0,35g$	255, 170, 0
$0,22g \leq H_{SM} \leq 0,38g$ $0,15g \leq H_{0408} \leq 0,25g$ $0,10g \leq H_{0711} \leq 0,16g$	0, 255, 255	$0,86g \leq H_{SM} \leq 0,99g$ $0,56g \leq H_{0408} \leq 0,65g$ $0,36g \leq H_{0711} \leq 0,45g$	252, 0, 0
$0,39g \leq H_{SM} \leq 0,54g$ $0,26g \leq H_{0408} \leq 0,34g$ $0,17g \leq H_{0711} \leq 0,22g$	85, 255, 0	$H_{SM} \geq 1g$ $H_{0408} \geq 0,66g$ $H_{0711} \geq 0,46g$	204, 0, 204
$0,55g \leq H_{SM} \leq 0,70g$ $0,35g \leq H_{0408} \leq 0,45g$ $0,23g \leq H_{0711} \leq 0,29g$	255, 255, 0	N.B.: H_{0515} come H_{0711}	

Fig. 8 – Legenda adottata per l'accorpamento dei valori di H_{sm}



4. NORME SPECIALI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Come anticipato nelle premesse, nell'ambito dell'incarico, sono state fornite delle indicazioni in relazione all'applicazione delle norme speciali per la riduzione del rischio sismico.

4.1 Disposizioni generali ai fini pianificatori

Le cartografie di riferimento per l'applicazione delle presenti norme speciali nella pianificazione urbanistica e regolamentare sono quelle descritte nel capitolo 3, oltre che quelle già redatte negli studi di microzonazione sismica di I e II livello.

Le cartografie distinguono all'interno del territorio comunale urbanizzato e urbanizzabile differenti aree sulla base degli effetti locali attesi in caso di evento sismico, individuando zone stabili suscettibili di amplificazione sismica e zone di attenzione per instabilità.

L'approfondimento di III livello della Microzonazione Sismica, ove non sia già stato realizzato, è sempre prescritto per la predisposizione e approvazione di accordi operativi, di piani attuativi di iniziativa pubblica (art. 38 della L.R. 24/2017), oltre a strumenti ad esse assimilabili che prevedano la localizzazione e l'attuazione dei seguenti interventi:

1. nuove urbanizzazioni;
2. addensamento e sostituzione urbana (cfr. art. 7, comma 4, lettera c), L.R. 24/2017);
3. ristrutturazione urbanistica (cfr. art. 7, comma 4, lettera b), L.R. 24/2017);
4. edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli interventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

I dati e le elaborazioni di risposta sismica locale effettuati nell'ambito dello studio di Microzonazione Sismica possono essere utilizzati, per tali siti, giustificando l'adeguatezza dei dati sulla base di adeguati riscontri sismo-stratigrafici.

La zona da indagare e la scala di restituzione degli elaborati devono essere commisurate alla criticità e alle dimensioni dell'area e all'importanza dell'intervento da realizzare.

Gli accordi operativi e i piani attuativi di iniziativa pubblica potranno variare i perimetri e i parametri delle carte di pericolosità sopra citate della Microzonazione Sismica solamente a seguito di approfondimenti di analogo livello condotti secondo i criteri e gli indirizzi regionali vigenti.

La Valutazione della Sostenibilità Ambientale e Territoriale (ValSAT) degli accordi operativi e dei piani attuativi conterrà esplicita valutazione della coerenza degli interventi di trasformazione previsti con le risultanze dello studio di Microzonazione Sismica allegato al PUG.



Nello sviluppo delle analisi di III livello con fini pianificatori è fortemente raccomandato che i valori della velocità delle onde di taglio (V_s) siano determinati con metodi diretti. È consigliata, inoltre, la determinazione mediante analisi di laboratorio delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G_0) in funzione della deformazione di taglio γ .

Per gli ambiti di trasformazione urbanistica individuati all'esterno delle aree oggetto di studi di Microzonazione Sismica sono richiesti approfondimenti condotti secondo i criteri e gli indirizzi regionali vigenti.

4.2 Disposizioni generali ai fini progettuali

Le disposizioni del presente paragrafo integrano quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (nel prosieguo, semplicemente "NTC"), che si intendono qui integralmente richiamate.

Nelle aree costituite da terreni di riporto o di natura antropica caratterizzati da spessori maggiori o uguali a 3 m, gli interventi previsti devono valutare i risultati della risposta sismica locale e la stima dei potenziali cedimenti.

In relazione al periodo fondamentale di vibrazione delle strutture, al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza e contenere gli effetti del sisma, gli accordi operativi o piani attuativi di iniziativa pubblica e/o i titoli abilitativi diretti devono garantire che gli interventi edilizi realizzino la minore interferenza tra periodo di vibrazione del terreno e il periodo di vibrazione delle strutture. Indicazioni sulle frequenze fondamentali del terreno sono riportate nella *Carta delle frequenze naturali dei terreni*, prodotta a corredo dello studio di Microzonazione Sismica di II livello, al quale si rimanda per i dettagli.

Nelle carte di Microzonazione Sismica (riportate nel cap. 3 della presente nota tecnica) sono rappresentati i fattori di amplificazione del moto sismico attesi, anche in termini di Intensità di Housner, per i periodi compresi tra [0,1-0,5 s], [0,5-1,0 s] e [0,5-1,5 s] e di rapporto $FA_{SA} = SA/SA_0$ (dove SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione e SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento) per i periodi compresi tra [0,1-0,5 s], [0,4-0,8 s], [0,7-1,1 s] e [0,5-1,5 s]. Ne consegue che per la progettazione di interventi che prevedano opere con periodo fondamentale di vibrazione superiore a 1,5 s sono da sviluppare specifici studi di risposta sismica locale.

In merito alla verifica di stabilità nei confronti della liquefazione dei siti oggetto di intervento, restano ferme le disposizioni delle vigenti NTC indipendentemente dalla zona in cui ricade il sito oggetto di intervento. Qualora non ricorrano le condizioni di esclusione della verifica di liquefazione previste dalle vigenti NTC, occorrerà valutare l'indice del potenziale di liquefazione adottando i metodi previsti dagli indirizzi regionali per gli studi di Microzonazione Sismica; nel caso di effettuazione di prove penetrometriche statiche queste dovranno essere con punta elettrica (CPTU/SCPTU).



La progettazione esecutiva degli interventi di nuova costruzione, di adeguamento e di miglioramento, nonché la valutazione della sicurezza definita dalle vigenti NTC, riguardanti edifici e opere infrastrutturali di cui al punto 4 dell'Art. 2, devono essere effettuate sulla base di analisi di risposta sismica locale.

Limitatamente agli interventi locali e alle riparazioni riguardanti edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli interventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso è possibile utilizzare un approccio semplificato basato sulle categorie di sottosuolo così come disciplinato dalle vigenti NTC purché debitamente motivato.

Per tutte le tipologie di interventi e per la valutazione della sicurezza su edifici e opere infrastrutturali diversi da quelli sopradefiniti restano ferme le disposizioni previste dalle vigenti NTC in merito alla scelta del più idoneo metodo di stima degli effetti locali attesi.

Limitatamente alle zone soggette ad approfondimento di terzo livello e per le opere ricadenti in classe d'uso II e vita nominale 50 anni è ammesso l'utilizzo degli spettri SLD e SLV derivanti dal presente studio purché si dimostri con specifiche indagini previste dalle vigenti NTC che l'assetto sismo-stratigrafico dell'area di intervento sia compatibile con la verticale oggetto di analisi di risposta sismica locale.

Nello sviluppo degli studi di risposta sismica locale con fini progettuali, è fortemente raccomandato che i valori della velocità delle onde di taglio (V_s) siano determinati con metodi diretti. È consigliata, inoltre, la determinazione mediante analisi di laboratorio delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G_0) in funzione della deformazione di taglio γ .

4.3 Disposizioni relativa all'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza

Garantire e migliorare l'accessibilità alle funzioni strategiche, e quindi l'efficienza del sistema di gestione dell'emergenza, è obiettivo strutturale della pianificazione urbanistica; pertanto, gli accordi operativi, i piani attuativi di iniziativa pubblica oltre agli strumenti ad essi assimilabili devono attenersi all'applicazione delle seguenti disposizioni sulla riduzione del rischio.

Al fine di salvaguardare l'accessibilità alle funzioni strategiche nel contesto urbano e territoriale in caso di emergenza sismica e con riferimento alla viabilità individuata quale infrastruttura di connessione o di accesso alle funzioni strategiche sugli elaborati costitutivi la CLE, gli strumenti urbanistici sopra individuati promuovono la realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità degli edifici esistenti prospicienti le infrastrutture di accessibilità e di connessione.



5. ALLEGATI

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

Elaborato		scala
1	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{PGA}	1:10.000
2	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.1s - 0.5s}$	1:10.000
3	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.4s - 0.8s}$	1:10.000
4	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.7s - 1.1s}$	1:10.000
5	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{SA\ 0.5s - 1.5s}$	1:10.000
6	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.1s - 0.5s}$	1:10.000
7	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s - 1.0s}$	1:10.000
8	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FH_{IS\ 0.5s - 1.5s}$	1:10.000
9	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - H_{SM}	1:10.000
10	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.4s-0.8s}$	1:10.000
11	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.7s-1.1s}$	1:10.000
12	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $H_{0.5s-1.5s}$	1:10.000
13	Carta di sovrapposizione MS+CLE	1:10.000

