



SOGGETTO ATTUATORE - Art.7 D.L. 11 novembre 2016, n. 205 (già art.15 ter del D.L. 17 ottobre 2016, n.189, convertito dalla L. 15 dicembre 2016, n.229)
 ex OCDPC 408 / 2016 - art.4
 OCDPC 475 / 2017 - art.3

PNC - PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4,"Investimenti sulla rete stradale statale"

Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio lungo la S.S. n. 210 "Fermana Faleriense" - Amandola - Servigliano"

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Eugenio Moroni Ordine Roma n° 10020	IMPRESA CONCORRENTE A.T.I.: Mandataria:  Mandante: 
IL GEOLOGO Dott.ssa Geol. Maria Bruno Ordine dei Geologi del Lazio al n° 668	RTP DI PROGETTAZIONE: Mandataria:  Structure and Transport Engineering Direttore Tecnico Ing. E. Moroni Ordine Ing. Roma N. 10020 Mandanti:  Società di Ingegneria Direttore Tecnico Ing. G. Grimaldi Ordine Ing. Roma N. 17703A Dott. Geol. M. BRUNO Ordine Geologi Lazio N. 668
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Francesco M. La Camera Ordine Roma n° 7290	

GEOLOGIA E GEOTECNICA
 Geotecnica
 Relazione Sismica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T03_GE01_GET_RE01_A		
A N 2 6 6	D	2 3	CODICE ELAB. T 0 3 G E 0 2 G E O R E 0 1	A	-
D					
C					
B					
A	EMISSIONE		Dicembre 2023	CAPATA	GRIMALDI MORONI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	SISMICITA' DELL'AREA	4
3.1	Classificazione sismica	6
3.2	Pericolosità sismica di base	10
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	13
4.1	Generalità	13
4.2	Vita Nominale	14
4.3	Classe D'Uso	14
4.4	Periodo Di Riferimento	16
4.5	Valutazione dei Parametri di Pericolosità Sismica	17
4.5.1	Caratteristiche sismiche del sito	19
4.6	Caratterizzazione Sismica Del Terreno	20
4.6.1	Categorie di Sottosuolo	20
4.6.2	Condizioni Topografiche	22
4.6.3	Amplificazione Stratigrafica e Topografica	24
4.7	Parametri Sismici di Calcolo	25

1 PREMESSA

La presente relazione riguarda la caratterizzazione geotecnica a supporto dei lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni lungo la S.S. n. 210 "Fermana Faleriense" – Amandola – Servigliano, nei comuni di Servigliano (FM) e Santa Vittoria in Matenano (FM). Inoltre, Il presente documento tratta lo studio deformativo e la verifica di stabilità dei rilevati stradali di nuova costruzione.

In particolare, nel presente documento sono affrontati gli aspetti relativi alla sismicità dell'area e alla categoria sismica delle opere in progetto, raccogliendo e sintetizzando quanto già presente nella relazione geologica e geotecnica di progetto.

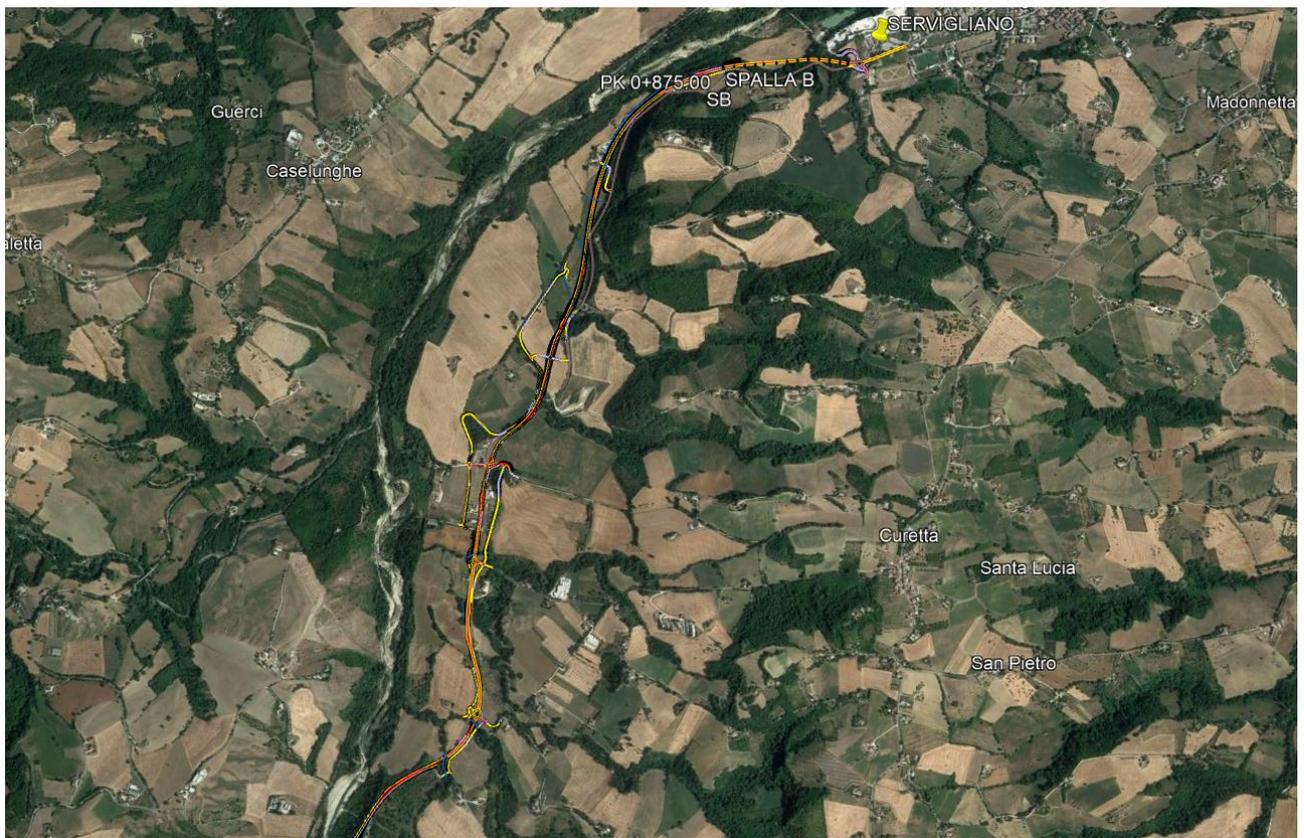


Figura 1: Ubicazione dell'area di intervento.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1].Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;
- [2].Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- [3].Eurocodice EN 1997-1: Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- [4].Eurocodice EN 1998-5: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazione, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

3 SISMICITA' DELL'AREA

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato dai comuni di Servigliano (FM) e Santa Vittoria in Matenano (FM), vengono esaminati i dati riportati nel DBMI15 (INGV, gennaio 2022). Il Database Macrosismico Italiano DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2021, le cui fonti provengono da studi di autori ed enti diversi. I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. E' bene precisare che l'Intensità macrosismica (Is) definisce gli effetti di un terremoto sulle costruzioni, sull'uomo e sull'ambiente, classificandoli in dodici gradi attraverso la scala Mercalli: in tale contesto, quindi, l'intensità non rappresenta una misura dell'energia del terremoto, bensì del grado di danneggiamento, che tiene conto, principalmente, non della violenza dello scuotimento ma delle caratteristiche degli edifici e della densità di popolazione. Si riportano di seguito i grafici inerenti le intensità macrosismiche registrate dal 1898 al 2006 al Comune di Servigliano e dal 1639 al 2017 al Comune di Santa Vittoria in Matenano mentre non è indicato l'elenco dettagliato a causa del elevato numero di eventi, comunque consultabili sul sito <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.

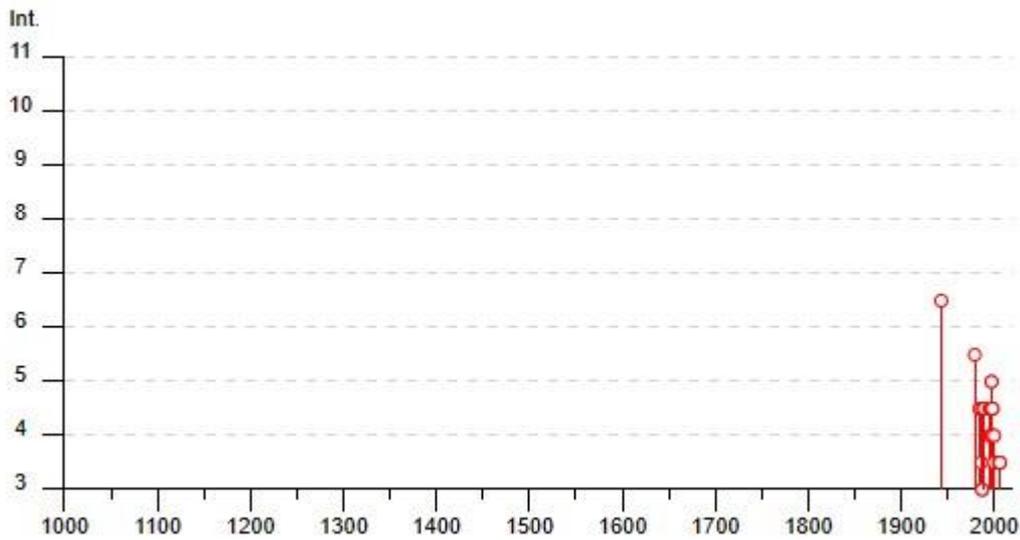


Figura 2-Intensità macrosismiche nel comune di Servigliano (FM).

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Servigliano hanno raggiunto $IS=6-7$ e $5-6$ rispettivamente per l'evento del 1943 e del 1979; le aree epicentrali sono collocate principalmente nell'Ascolano e in Valnerina.

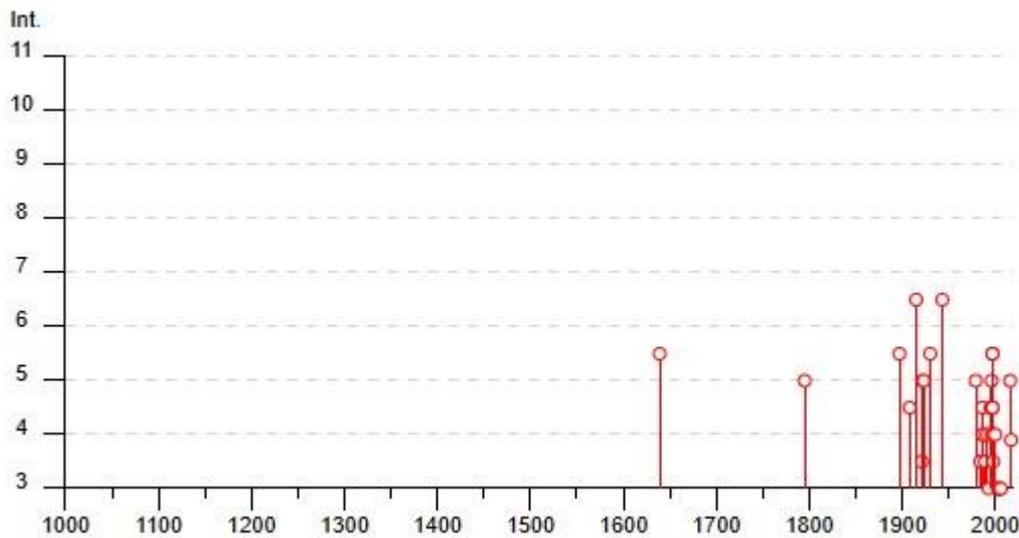


Figura 3-Intensità macrosismiche nel comune di Santa Vittoria in Matenano (FM).

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Santa Vittoria in Matenano hanno raggiunto $IS=6-7$ e $5-6$ rispettivamente per l'evento del 1915 e del 1977; le aree epicentrali sono collocate principalmente nella Marsica e nell'Appennino Umbro-Marchigiano.

3.1 Classificazione sismica

Negli ultimi anni si sono succeduti diversi provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

Dal 1999 al 2003, la classificazione sismica del territorio nazionale era riconducibile alla mappa di classificazione sismica prodotta dal Gruppo di Lavoro (GdL, 1999), istituito dal Servizio Sismico Nazionale su indicazione della Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 ha rappresentato una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si sono stabiliti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche introducendo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani (successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006) ed abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4; procedendo in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico, poiché di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

	Caratteristiche	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$0.25 < a_g < 0.35$
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0.15 < a_g \leq 0.25$
Zona 3	I comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	$0.05 < a_g \leq 0.15$
Zona 4	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g \leq 0.05$

Con la successiva ordinanza OPCM 3519/2006 è stata adottata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale (INGV, 2004), e sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche su base probabilistica. I nuovi criteri

per la determinazione della classificazione sismica individuano 12 fasce e sono basati, (innovando le disposizioni del precedente OPCM 3274/2003) su valori delle accelerazioni massime al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi. Tale classificazione è quindi basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, le Regioni hanno inoltre riclassificato il proprio territorio in termini di livello di pericolosità, o mantenendo le quattro zone nazionali o adottando tre sole zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Allo stato attuale, tale valore di pericolosità di base non ha diretta influenza sulla progettazione. Infatti, con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008 e succ. DM 17/01/2018) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) avviene direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B delle stesse NTC), indipendentemente dai limiti amministrativi comunali (criterio "zona dipendente").

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g).

Di seguito si riporta uno stralcio della mappa di "Classificazione Sismica" pubblicata dalla Protezione Civile (marzo 2023).

La normativa nazionale è stata recepita dalla Regione Marche con DGR n°1142 del 9/9/2022 "Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche della Regione Marche". In conformità a tale normativa, il comune interessato dal progetto ricade nella seguente classe:

Regione	Provincia	Codice Istat	Comune	Classificazione
Marche	Fermo	044069	Servigliano	2
		109036	Santa Vittoria in Matenano	2

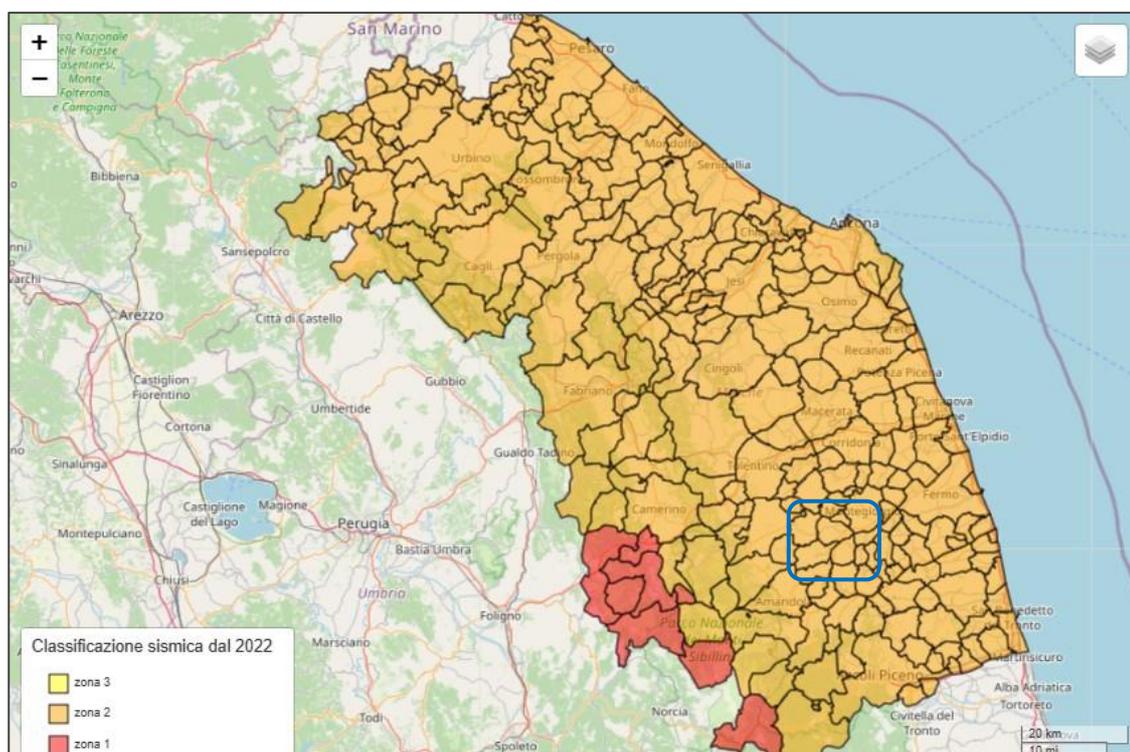


Figura 4- Aggiornamento della classificazione sismica della Regione Marche DGR n°1142 del 9/9/2022.

3.2 Pericolosità sismica di base

Con riferimento al sito di interesse progettuale, e utilizzando la mappa di pericolosità sismica fornita da INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>), di seguito si definisce lo scuotimento $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo secondo OPCM 3519/2006) per uno dei punti della griglia di riferimento (disposti a passo 0.05°) ad esso più prossimi.

Secondo quanto risulta dall'analisi di disaggregazione del nodo ID 23199, per gli interventi nel territorio comunale di Servigliano, il maggiore contributo alla pericolosità per eventi sismici (probabilità di superamento del 10% in 50 anni - $Tr = 1000$ anni) deriva da terremoti aventi epicentro a una distanza media di 10.8 km e aventi magnitudo media pari a 5.27 Mw.

Per l'analisi di disaggregazione del nodo ID 23421, per gli interventi nel territorio comunale di Santa Vittoria in Matenano, il maggiore contributo alla pericolosità per eventi sismici (probabilità di superamento del 10% in 50 anni - $Tr = 1000$ anni) deriva da terremoti aventi epicentro a una distanza media di 10.9 km e aventi magnitudo media pari a 5.29 Mw.

Per entrambi i comuni, i valori di accelerazione al suolo sono compresi nell'intervallo 0.175 - 0.200 ag, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A, punto 3.2.2 del D.M. 17.01.2018).

COMUNE DI SERVIGLIANO - Nodo ID:23199

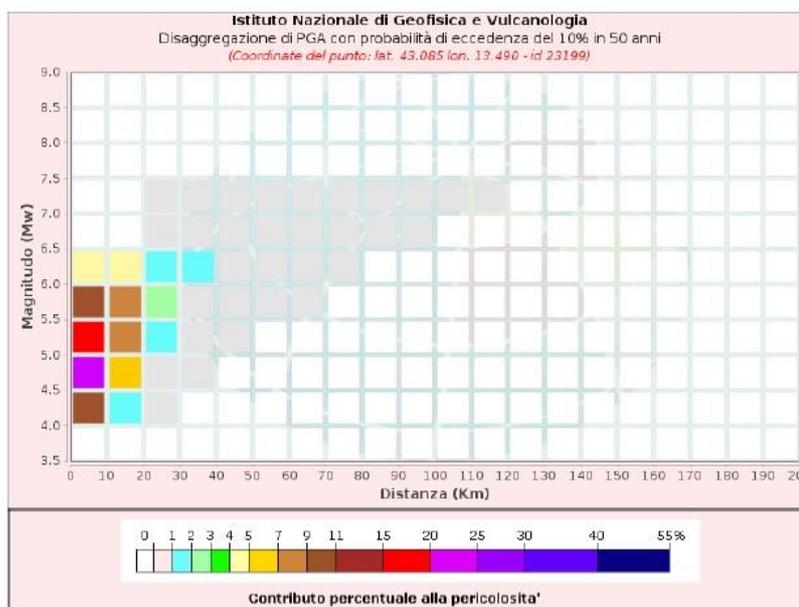


Figura 5- Analisi di disaggregazione di a(g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni – Tr 1000 anni, secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica per il comune di Servigliano (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Per distanze epicentrali variabili fino a circa 30-40 km (ed oltre) dal sito di interesse, il contributo percentuale complessivo della pericolosità per ogni classe di Magnitudo vale:

- 11.6 % per magnitudo (Mw) comprese tra $4.0 < M < 4.5$;
- 27.9 % per $4.5 < M < 5.0$;
- 24.9 % per $5.0 < M < 5.5$;
- 20.7 % per $5.5 < M < 6.0$;
- 12.2% per $6.0 < M < 6.5$;
- 1.4 % per $6.5 < M < 7.0$
- 1.3 % per $7.0 < M < 7.5$

1 COMUNE DI SANTA VITTORIA IN MATEANO - Nodo ID:23421

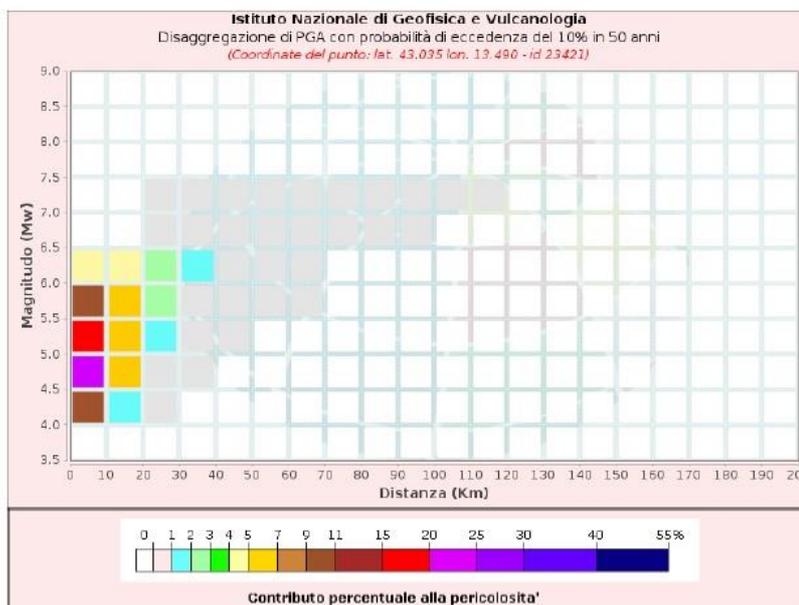


Figura 6- Analisi di disaggregazione di a(g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni – Tr 1000 anni, secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica per il comune di Santa Vittoria in Mateano (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Per distanze epicentrali variabili fino a circa 30-40 km (ed oltre) dal sito di interesse, il contributo percentuale complessivo della pericolosità per ogni classe di Magnitudo vale:

- 11.4 % per magnitudo (Mw) comprese tra $4.0 < M < 4.5$;
- 27.7 % per $4.5 < M < 5.0$;
- 24.4 % per $5.0 < M < 5.5$;
- 20.3 % per $5.5 < M < 6.0$;
- 12.6% per $6.0 < M < 6.5$;
- 2.0 % per $6.5 < M < 7.0$
- 1.7 % per $7.0 < M < 7.5$

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

4.1 Generalità

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2018), le azioni sismiche di progetto 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, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1 del D.M. 2018, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4.3 del D.M. 2018. 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.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di a_g , F_0 e T_{c^*} necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

4.2 Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per la definizione della Vita Nominale da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria si rimanda alla Tab. 2.4.1 dell'NTC2018.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 1: Vita Nominale in funzione del tipo di costruzione.

Tenendo conto delle indicazioni precedenti, le strutture di progetto avranno Vita Nominale pari a:

$$V_N=50 \text{ anni.}$$

4.3 Classe D'Uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe 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.

Classe 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.

Classe 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 D.M. 5 novembre 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.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 2: Tabella Classe d'uso Coeff. d'uso in funzione del tipo di costruzione.

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso,

la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Tenendo conto delle indicazioni precedenti, i **rilevati e i muri in terra armata** appartengono alla **Classe d'Uso III** ossia:

"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 III** corrisponde un coefficiente d'uso pari a:

$$CU= 1.5$$

I **viadotti** e tutto ciò che vi concerne (**muri in c.a. per spalle, paratie definitive per pile**) appartengono alla **Classe d'Uso IV** ossia:

"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 D.M. 5 novembre 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".

Alla **classe d'uso IV** corrisponde un coefficiente d'uso pari a:

$$CU= 2$$

4.4 Periodo Di Riferimento

Il periodo di riferimento VR si ottiene moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU. Nel caso in esame:

$$VR = VN \times CU = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

$$VR = VN \times CU = 50 \times 2 = 100 \text{ anni}$$

L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità PVR di realizzarsi nel periodo di riferimento VR.

4.5 Valutazione dei Parametri di Pericolosità Sismica

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- **Stati Limite Ultimi (SLU):**
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- **Stati limite di Esercizio (SLE):**
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1-P_{VR})$$

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica e le probabilità di superamento per i diversi Stati Limite sono mostrati nella tabella che segue.

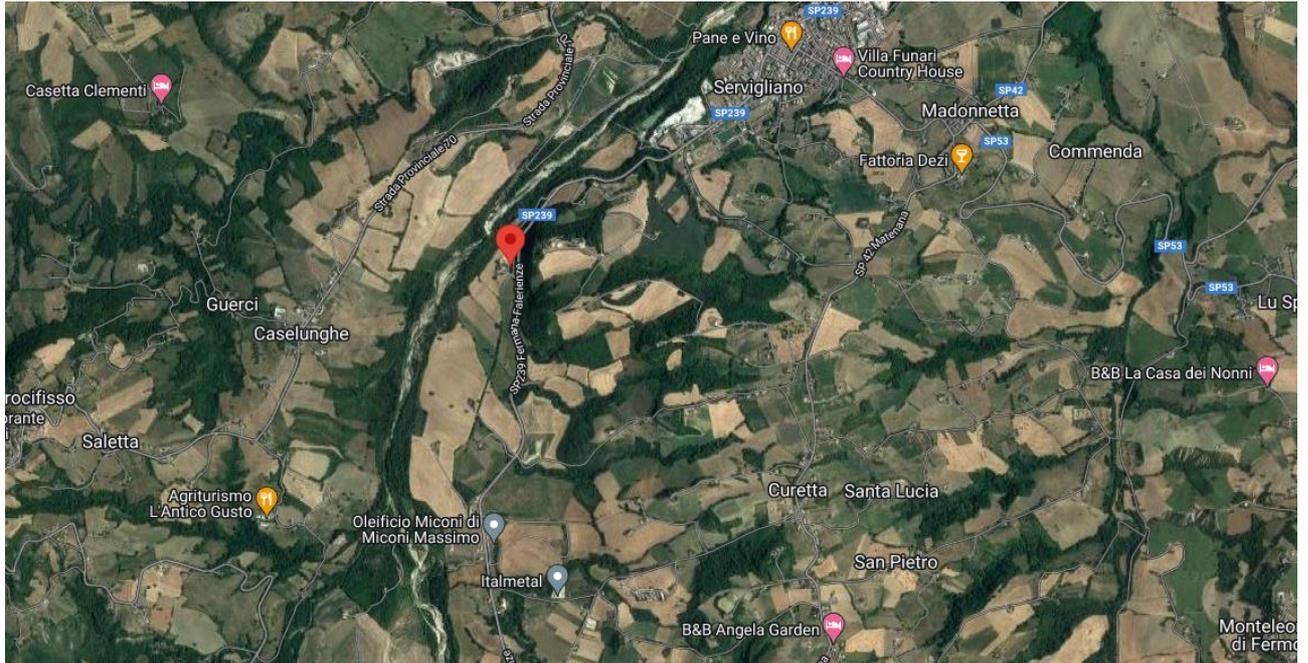
Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento P_{VR}	Periodo di ritorno dell'azione sismica T_R per $V_r = 75$
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	45
	Stato limite di danno (SLD)	63%	75
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	712
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	1462

Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento P_{VR}	Periodo di ritorno dell'azione sismica T_R per $V_r = 100$
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	60
	Stato limite di danno (SLD)	63%	101
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	949
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	1950

Tabella 3: Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto per i diversi stati limite.

Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto mediante EdiLus – MS (mappe sismiche).

4.5.1 Caratteristiche sismiche del sito



Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)
43.06865374	13.47104784
Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)
43.070382	13.471879

Figura 7: Individuazione del sito di progetto.

Per i valori di a_g , F_0 e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018 cfr. par. 3.2).

Sulla base della localizzazione geografica del sito di progetto vengono definiti, quindi, i parametri di riferimento del moto sismico in superficie, successivamente correlati con gli stati

limite e la vita nominale dell'opera, al fine di definire gli obiettivi da raggiungere in termini di sicurezza e prestazioni delle opere o di parti di esse.

Stato Limite	T_R anni	a_g g	F_0 -	T_C^* s
SLO	45	0.068	2.477	0.287
SLD	75	0.084	2.456	0.302
SLV	712	0.203	2.447	0.345
SLC	1462	0.260	2.487	0.351

Tabella 4: Parametri di riferimento del moto sismico in superficie per i differenti stati limite definiti dalla normativa e $V_r=75$ anni.

Stato Limite	T_R anni	a_g g	F_0 -	T_C^* s
SLO	60	0.076	2.449	0.295
SLD	101	0.096	2.441	0.316
SLV	949	0.225	2.447	0.348
SLC	1950	0.286	2.487	0.354

Tabella 5: Parametri di riferimento del moto sismico in superficie per i differenti stati limite definiti dalla normativa e $V_r=100$ anni.

4.6 Caratterizzazione Sismica Del Terreno

4.6.1 Categorie di Sottosuolo

La normativa, al capitolo 3.2.2, cita:

"Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s ."

$V_{s,eq}$ è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{h}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

- h_i = spessore (in m);
- V_i = velocità delle onde di taglio dello strato "i-esimo", per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori;
- N = numero di strati.

Le prove geofisiche eseguite nell'area di intervento hanno permesso di classificare secondo il DM. 2018 e successive modifiche i terreni interessati dalle indagini. Per quanto riguarda la zona indagata i terreni appartengono, per la maggior parte dei casi alla categoria di suolo **B**, ad eccezione della zona in cui è stata condotta la DH-S010, tale per cui il terreno appartiene alla categoria di suolo **E**.

ID indagine	tipo	anno di esecuzione	Vs,eq (m/s)	profondità bedrock sismico (m da p.c.)	categoria sismica suolo
DH-S1	Down-Hole	2022	364	30.00	B
DH-S03	Down-Hole	2023	412	14.00	B
DH-S4	Down-Hole	2022	407	30.00	B
MASW1	MASW	2022	518	30.00	B
DH-S08	Down-Hole	2023	437	16.00	B
DH-S010	Down-Hole	2023	347	12.00	E
DH-S013	Down-Hole	2023	373	9.00	B
MASW2	MASW	2022	378	30.00	B
MASW3	MASW	2022	439	30.00	B

Tabella 6: Categoria di sottosuolo ricavata dai risultati delle indagini geofisiche.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Tabella 7: Categoria di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

4.6.2 Condizioni Topografiche

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo tutte le aree in oggetto localizzate in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, le morfologie

possono essere ricondotte ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III.

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 8: Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S_T .

In particolare, il sito in oggetto può essere classificato di categoria **T1**, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1$ e di categoria **T2**, "Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.2$.

4.6.3 Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_s \cdot S_T$ e di C_C in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti che sono riportati di seguito:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 9: Tabella delle espressioni per S_s e C_c .

4.7 Parametri Sismici di Calcolo

Di seguito si riportano i parametri sismici di calcolo validi per le opere in progetto per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV.

Parametri sismici ($V_R= 100$ anni, categoria di suolo B, T1)

- $ag/g= 0.225$
- $F0= 2.447$
- $Tc^*= 0.348$ s
- $SS= 1.18$
- $Cc= 1.36$
- $ST= 1$
- $amax/g= 0.2654$

Parametri sismici ($V_R= 100$ anni, categoria di suolo B, T2)

- $ag/g= 0.225$
- $F0= 2.447$
- $Tc^*= 0.348$ s
- $SS= 1.18$
- $Cc= 1.36$
- $ST= 1.2$
- $amax/g= 0.319$

Parametri sismici ($V_R=75$ anni, categoria di suolo B, T1)

- $a_g/g=0.203$
- $F_0=2.447$
- $T_{c^*}=0.345$ s
- $SS=1.20$
- $C_c=1.36$
- $ST=1$
- $a_{max}/g=0.244$

Parametri sismici ($V_R=75$ anni, categoria di suolo B, T2)

- $a_g/g=0.203$
- $F_0=2.447$
- $T_{c^*}=0.345$ s
- $SS=1.20$
- $C_c=1.36$
- $ST=1.2$
- $a_{max}/g=0.292$

Parametri sismici ($V_R=75$ anni, categoria di suolo E, T1)

- $ag/g=0.203$
- $F_0=2.447$
- $T_{c^*}=0.345$ s
- $SS=1.45$
- $C_c=1.76$
- $ST=1$
- $a_{max}/g=0.295$