



Commessa:

**PR-E-1087 Lavori urgenti di messa in sicurezza  
della briglia selettiva a funzione del manufatto limitatore  
della cassa di espansione di monte del torrente Enza  
CUP B77H22000180001**



**PROGETTO ESECUTIVO - 1° STRALCIO  
VERIFICHE STRUTTURALI**

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE  
SISMICA DEL SITO**

Scala: -

**2022-1087-PR-STR1**

Tav.

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	14.11.2022	Emissione	RR	RR	RR

I PROGETTISTI



*Monica Larocca* IL RUP  
Dott. Ing. Monica Larocca

## **1 Caratterizzazione sismica del sito**

La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un certo sito su base probabilistica ed è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche.

La sua valutazione deriva quindi dai dati sismologici disponibili e porta alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo (scuotimento) in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

La mappatura della pericolosità sismica del territorio italiano ha permesso di stilare una classificazione sismica secondo le direttive promulgate dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri il 23 marzo 2003 – Ordinanza n. 3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, con la quale sono stati approvati i “Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” e le connesse norme tecniche per fondazioni e muri di sostegno, edifici e ponti attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

Sulla base della classificazione sismica del territorio italiano, i Comuni di Montechiarugolo e Montecchio Emilia ricadono in Zona Sismica 3 - Zona a sismicità medio-bassa, a cui è attribuito un valore di pericolosità di base, espresso in termini di accelerazione massima su suolo rigido ( $A_g$ ), variabile da  $0.05 < A_g < 0.15$ .

Nel 2006 sono stati approvati i “Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” e la Mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, con OPCM n. 3519, successivamente aggiornati in relazione alle modifiche apportate dalla revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. 14 settembre 2005.

Con la pubblicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) aggiornate con D.M. del 17 gennaio 2018, si definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica ma definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo  $a_g$  sia di forma dello spettro di risposta.

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” aggiornate con D.M. del 17 gennaio 2018, prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una “pericolosità sismica di base” in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La pericolosità sismica di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati del suddetto studio:

- \* in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ( $F_0$  – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,  $T^*c$  – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale);
- \* in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (reticolo di riferimento) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;
- \* per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_r$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

Il valore di sollecitazione sismica di base  $a_g$  atteso nei territori di Montecchio Emilia e Montechiarugolo, così come definito nella tabella 1 allegata al D.M. 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni” aggiornate con D.M. del 17 gennaio 2018, per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni che ha condotto all'elaborazione della mappa di pericolosità sismica fornita dall'INGV di cui sotto, indica il range  $0.100 < A_g < 0.125$ . L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la risposta sismica locale. L'Allegato B alle citate norme fornisce le tabelle contenenti i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, consultabile sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Le NTC 2018 stabiliscono che le verifiche di sicurezza e prestazionali di una struttura devono essere effettuate in relazione agli stati limite di riferimento che si possono verificare durante la vita dell'opera, intesi come condizioni superate le quali l'opera non è più in grado di soddisfare le esigenze per le quali è stata progettata. In tale condizione, la definizione del

periodo di riferimento relativamente alla vita dell'opera implica che, nell'ambito della definizione delle azioni di carico, da considerare nelle verifiche di sicurezza delle opere, sia ricompresa anche l'azione sismica, la cui valutazione è stata oggetto del O.P.C.M. 3274 del 20.04.2003.

Il periodo di riferimento per l'azione sismica VR risulta, quindi, dall'incrocio dei parametri: vita nominale e classe d'uso, definiti dal tipo di costruzione.

La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I delle NTC18. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

La vita nominale delle opere in progetto (essendo costruzioni a livello di prestazioni ordinarie di tipo 2) e di VN=50 anni. La classe d'uso è definita con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 classi d'uso (I, II, III, IV) a ciascuna delle quali corrisponde un coefficiente d'uso CU come definito nelle NTC 2018 (Tab.2.4.II).

Le costruzioni in progetto **NON rientrano nella 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".

Quanto piuttosto in **Classe d'uso 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"

Nel caso in esame, infine, secondo quanto previsto da DM del 26.06.2014 (G.U. n.156 del 08.07.2014) "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", la struttura svolge funzione di "traversa" in quanto "sbarramento avente la funzione primaria di stabilizzare a un valore assegnato la quota idrica a monte; pertanto può essere secondaria la funzione di regolazione delle portate".

Il regime idrometrico in cui la struttura idraulica è inserita è tuttavia di tipo torrentizio e per tale ragione il manufatto è definito "**BRIGLIA SELETTIVA**" e non traversa.

In quanto **BRIGLIA TORRENTIZIA la struttura non è soggetta alle valutazioni strutturali di cui al DM 2014** anche se in fase di valutazione della sicurezza della struttura le indicazioni del DM 2014 verranno considerate e comparate con quanto previsto dalle NTC 2018, con particolare riferimento al §7.11.6.

Secondo la Tab. 2.4.II NTC2018 alla Classe d'uso II corrisponde un Coefficiente d'uso  $C_u = 1.0$  e conseguentemente il periodo di riferimento per l'azione sismica VR risulta pari a:  $VN \times C_u = 50 \times 1.0 = 50$  anni

Con riferimento al D.M. del 17 gennaio 2018, la sismicità di base del territorio comunale di Montecchio Emilia (preso a riferimento) è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni definita nella tabella 1 allegata al citato Decreto Ministeriale in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale.

A seguire la esplicitazione dei parametri geografici e progettuali adottati per la definizione della Pericolosità sismica del sito.

## 1.1 Condizioni topografiche

Dal punto di vista topografico al sito di intervento è assegnabile la **Categoria T1** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ " (Tab. 3.2.III NTC2018).

## 1.2 Localizzazione dell'intervento

Località: ALVEO T. ENZA TRA MONTECCHIO E MONTECHIARUGOLO  
Comune: MONTEGGIO EMILIA (RE)



Provincia: REGGIO EMILIA  
 Regione: EMILIA ROMAGNA  
 Zona sismica = 3  
 Latitudine: 44.7052  
 Longitudine: 10.4387

### 1.3 Vita nominale

La vita nominale VN, assunta alla base del progetto, è quella relativa alle **costruzioni di Tipo 2**, "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie" :

**Vita Nominale VN ≥ 50 anni**

### 1.4 Classe d'uso

Alla costruzione è stata assegnata la seguente classe d'uso: **Classe II**, "...Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti ...". (Par. 2.4.2 NTC2018)

### 1.5 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento VR si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU. Per le strutture in Classe d'uso II si ha CU = 1.0 (Tab. 2.4.11 NTC2018). Il conseguente periodo di riferimento per l'azione sismica VR risulta:

$$VR = VN \cdot CU = 50 \times 1,0 = 50 \text{ anni}$$

## 2 Risposta sismica locale

La valutazione della pericolosità sismica locale è stata sviluppata in accordo con quanto previsto dalla normativa sismica regionale ed i Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale ed in particolare:

- L.R. Regione E.R. n°19 del 30/10/2008 "Norme per la riduzione del rischio sismico";
- L.R. Regione E.R. n°24 del 21/12/2017 inerente la "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio"

Per la valutazione degli aspetti sismici si è fatto riferimento ai risultati dello Studio di microzonazione sismica del Comune di Montecchio Emilia e più precisamente alla Carta delle Microzonazione sismica (tav.4) contenuta nel PSC omogenee in prospezione sismica che inquadra parzialmente l'area di interesse (ossia solo relativamente ad un tratto di sviluppo in sponda dx) tra le zone a cui è assegnato un fattore FA-PGA (ossia in coefficiente di amplificazione sismica espresso in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale) pari a 1.4 con accelerazione al suolo pari a 0.24g

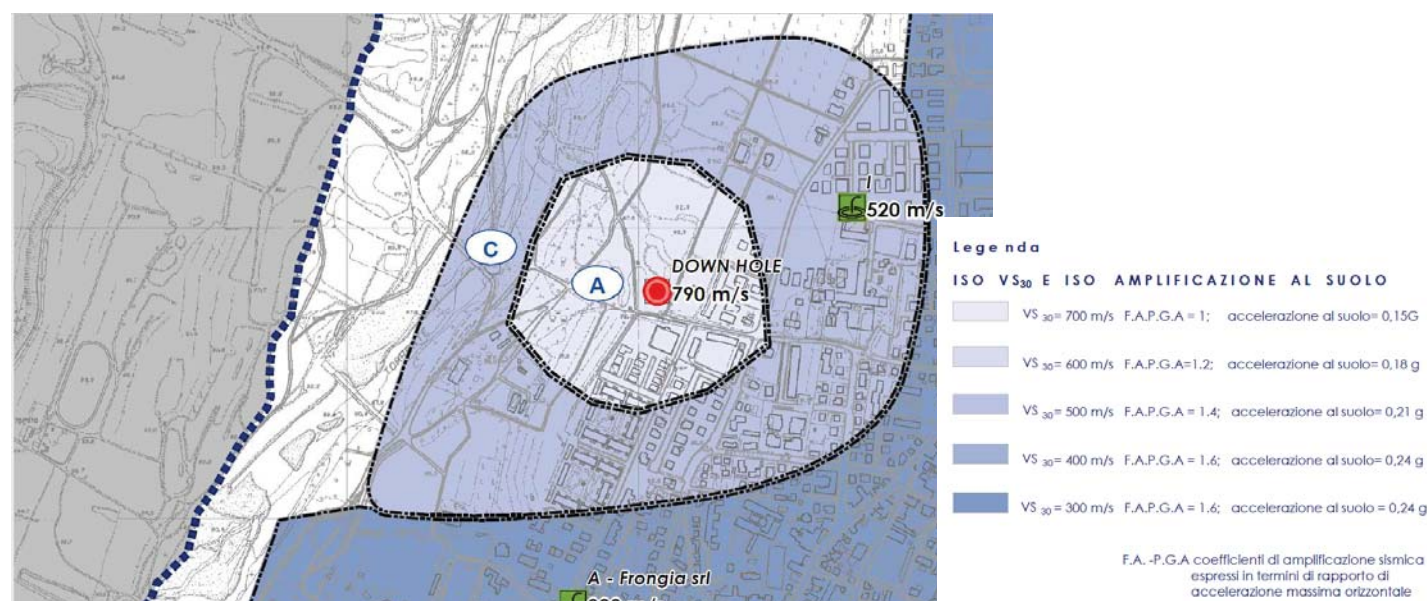


FIGURA 1: Estratto dalla tavola grafica 04 di PSC del Comune di Montecchio Emilia

Per la previsione di sismicità attesa si è fatto riferimento ad ICMS “Indirizzi e criteri per Microzonazione sismica” Protezione Civile Nazionale in particolare al cap. 2.8.2 Valutazione della magnitudo 2008 e tab. 2.81 individuazione magnitudo massima attesa in funzione zona sismogenetica come da ZS9.

Secondo la zonazione ZS9 l'area di Montecchio è ubicata nella n. 913; a cui può essere attribuita una magnitudo presunta max di  $M_{MAX}=6.14$ .

Secondo la classificazione sismica della Regione Emilia Romagna DGR 1164 del 23/07/2018, vengono individuati i fattori di amplificazione sismica locale valutati secondo quanto definito dal DGR 630 del 2019 della Regione Emilia Romagna.

In particolare, con riferimento alla DGR 630/19 relativamente alle zone denominate “APPENNINO” ossia “.. aree collinari e montane dell'Emilia-Romagna. Possono essere applicate anche nelle aree di pianura prossime al margine morfologico appenninico-padano dove le coperture detritiche continentali hanno spessore indicativamente non superiore a 50 m” propone dei valori tabellari di amplificazione delle intensità spettrali SA (accelerazioni) e/o SI (velocità) in funzione di:

- Intervalli di periodo proprio  $T$ ;
- Spessore  $H$  della copertura o profondità del substrato rigido (ovvero bedrock sismico);
- Velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{SH}$ .
- Velocità delle onde di taglio  $V_s$  in ciascuno strato

In caso di coperture su substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s, nell'intervallo di periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s è proposta la tabella seguente relativamente al fattore di amplificazione di SA1

$V_{SH}$ (m/s) → $H$ (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

**FIGURA 2: RLS – Fattori di amplificazione SA1 da DGR 630/19**

$V_{SH}$ (m/s) → $H$ (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

**FIGURA 3: RLS – Fattori di amplificazione SI1 da DGR 630/19**

DGR 630/19 prevede tre livelli di approfondimento ( $1^{\circ}$ - $2^{\circ}$ - $3^{\circ}$ ) con grado di dettaglio crescente: i primi due sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione quando richiesto a seconda delle casistiche degli scenari di pericolosità sismica locale (PSL). Di seguito vengono sintetizzati gli adempimenti e le tempistiche in funzione della zona sismica di appartenenza.

Poiché l'opera in progetto ricade in Zona Sismica 3 e **non** rientra nell'elenco degli edifici strategici e rilevanti (ai sensi del d.d.u.o. n. 19904/03), si può concludere che per l'intervento in oggetto sia richiesto un ulteriore approfondimento sismico oltre il  $1^{\circ}$  livello con l'analisi di  $2^{\circ}$  livello in fase pianificatoria.

Il  $2^{\circ}$  livello di approfondimento permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessaria la classificazione dei terreni compresi tra il piano di imposta delle future fondazioni ed un substrato rigido di riferimento (bedrock) al fine di eseguire l'analisi di risposta sismica locale (RSL), ai sensi del punto 3.2.2. delle NTC-2018, con procedura semplificata: la classificazione può essere basata sulla stima dal piano di posa delle fondazioni dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$

I parametri della  $V_s$  sono stati determinati integrando i dati ricavati da due prove di sismica attiva (MASW) eseguite direttamente sull'area.

La procedura, D.G.R. 630/19 consiste quindi in un approccio semiquantitativo e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione ( $F_a$ ).

Gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di  $F_a$ .

Il valore di  $F_a$  si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di  $F_a$  sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; **in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide**, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Nel caso in oggetto viene considerato lo scenario per gli effetti litologici non essendovi per l'area oggetto d'intervento amplificazioni sismiche per effetti morfologici.

Sul territorio del comune di Montecchio Emilia è stato realizzato lo studio di Microzonazione Sismica di  $2^{\circ}$  livello e l'Analisi della Condizione Limite dell'Emergenza (CLE), in conformità con quanto stabilito dagli indirizzi regionali in materia.

Lo Studio di microzonazione sismica è stato approvato dal Servizio Geologico Sismico e Suoli della Regione Emilia-Romagna in data 21/07/2021 a seguito del Verbale di validazione studi di MS rilasciato dalla Commissione Tecnica della Presidenza del consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile - Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico, per il supporto e il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica.

**L'area in oggetto non ricade all'interno dell'area perimetrata nella suddivisione del territorio comunale di Montecchio in Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).**

Dal momento che l'area oggetto di indagine ricade all'interno di un alveo attivo con depositi olocenici ed in evoluzione, a tratti sabbiosi e limosi, e che l'opera ricopre funzione di pubblica sicurezza, **si è TUTTAVIA provveduto ad eseguire una risposta sismica locale di  $3^{\circ}$  livello (RSLIII)** (si veda in merito **Elaborato 2022-1087-PR-GEO1**).

È stata eseguita una analisi approfondita sugli effetti di amplificazione locale in caso di sisma, analizzando tutti i dati ottenuti dalla campagna di indagini eseguita nel mese di Novembre 2022 ed in particolar modo l'acquisizione con tecnica HVSR in corrispondenza dell'area oggetto di studio, che permette di stimare la frequenza di risonanza fondamentale ( $f_r$ ) del sottosuolo e la profondità del bedrock sismico mediante la relazione  $f_r = V_s/4H$  dove  $H$  si considera lo spessore meno rigido sovrastante, considerando una situazione semplificata di sistema monostrato piano.

Come riscontrabile dall'elaborato 2022-1087-PR\_GEO1 "Relazione geologica" la modellazione numerica condotta con il software STRATA mediante analisi lineare-equivalente nel dominio della frequenza utilizzando come input delle serie temporali in accordo con la Random Vibration Theory (RVT) ha definito una accelerazione media al suolo rispetto ai 7 sismi utilizzati per la modellazione pari a 0.233g con un fattore di amplificazione  $FA=1.35$ . Lo spettro normalizzato

restituisce quindi un'accelerazione al suolo di  $ag = 0.222 \text{ g}$ , che confrontata con l'accelerazione derivante dallo spettro di normativa per l'area di indagine e la categoria topografica risulta essere sostanzialmente concorde.

## 2.1 Condizioni stratigrafiche

Dalle elaborazioni e dalle risultanze delle indagini sismiche sono stati individuati valori di velocità  $V_{s,eq}$  pari a circa 350 e 315 m/s. Secondo le NTC2018 per valutare l'effetto della risposta sismica locale si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo classificate all'interno della Tab. 3.2.11 del D.M. 17/01/2018 (NTC2018). I valori di  $V_{s,eq}$  ricavati inquadrano il **sottosuolo nella categoria C**: *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento della proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

L'approfondimento delle analisi al 3° livello, contenuto sempre all'interno della relazione geologica, ha permesso di fornire una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione ( $F_a$ ).

Il valore di  $F_a$  si riferisce agli intervalli di periodo, di cui per il caso in esame si considera il primo compreso tra 0.1-0.5 s, che si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto

Considerato che lo spettro normalizzato restituisce quindi un'accelerazione al suolo di  $ag = 0.222 \text{ g}$ , che confrontata con l'accelerazione derivante dallo spettro di normativa per l'area di indagine e la categoria topografica risulta essere sostanzialmente concorde è possibile utilizzare l'approccio semplificato e lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo C.

## 3 Quantificazione della azione sismica

L'azione sismica è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell'allegato alle NTC (rispettivamente media pesata e interpolazione). L'azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento  $V_r$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento  $V_r$  e la probabilità di superamento  $P_{ver}$  associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno  $T_r$  e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

$ag$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;

$F_o$ : 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;

Individuati su reticolo di riferimento i parametri di pericolosità sismica si valutano i parametri spettrali riportati in tabella:

$S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente  $S = S_s \cdot S_t$  (3.2.5)

$F_o$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale

$F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima verticale, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $ag$  su sito di riferimento rigido orizzontale

$T_b$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante.

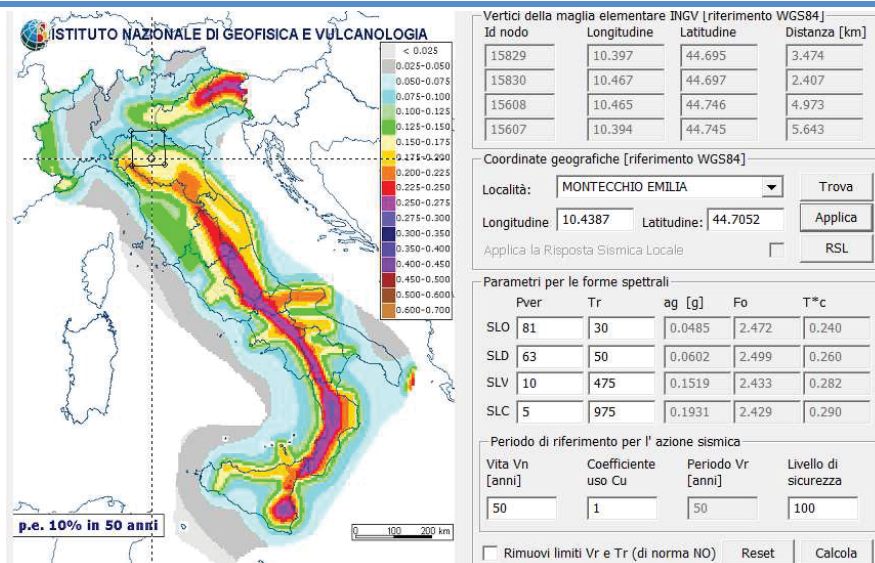
$T_c$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante.

$T_d$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Nei paragrafi seguenti verrà comparato il valore della azione sismica ricavata da:

- DM 26.06.2014 § C.7.7.1
- DM 17.01.2018 § 7.11.6





**Figura 4: Coordinate geografiche e parametri di riferimento per l'azione sismica**

**Parametri e fattori spettrali**

S.L.	ag	S	Fo	Fv	TB	TC	TD
SLO	0.049	1.500	2.472	0.735	0.135	0.404	1.794
SLD	0.060	1.500	2.499	0.828	0.142	0.426	1.841
SLV	0.152	1.478	2.433	1.280	0.150	0.450	2.208
SLC	0.193	1.419	2.429	1.441	0.153	0.458	2.372
Verticale per tutti:	1.000				0.050	0.150	1.000
eta SLO	q SLD x	q SLD y	q SLD z	q SLU x	q SLU y	q SLU z	
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	Aiuto...
Smorzamento...				1.0	1.0	<= Esistenti v. fragili	

**Figura 5: Parametri e fattori spettrali – Terreno tipo C**

**Parametri e fattori spettrali**

S.L.	ag	S	Fo	Fv	TB	TC	TD
SLO	0.049	1.000	2.472	0.735	0.080	0.240	1.794
SLD	0.060	1.000	2.499	0.828	0.087	0.260	1.841
SLV	0.152	1.000	2.433	1.280	0.094	0.282	2.208
SLC	0.193	1.000	2.429	1.441	0.097	0.290	2.372
Verticale per tutti:	1.000				0.050	0.150	1.000
eta SLO	q SLD x	q SLD y	q SLD z	q SLU x	q SLU y	q SLU z	
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	Aiuto...
Smorzamento...				1.0	1.0	<= Esistenti v. fragili	

**Figura 6: Parametri e fattori spettrali – Terreno tipo A (sito di riferimento rigido)**

### 3.1 CALCOLO AZIONE SISMICA DA D.M. 26.06.2014

Paragrafo C.7.7.1. sulla determinazione della azione sismica di calcolo indica che:

*“Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto della sicurezza nei diversi stati limite, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. In assenza di specifici studi sismotettonici e di pericolosità sismica, si fa riferimento a quanto definito nelle NTC. Le azioni sono definite 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, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR, come definiti nelle NTC. E' ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito, nei limiti e con le prescrizioni di cui alle stesse NTC. Le forme spettrali sono definite per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR. Per le dighe ubicate in aree per le quali l'azione sismica di progetto per un  $TR = 475$  anni deve essere riferita ad un valore  $a_g > 0,15 g$  (come definito nelle NTC), **è necessario lo studio sismotettonico del sito**, da cui fare derivare l'azione sismica di progetto, i cui effetti non devono comunque risultare meno gravosi di quelli corrispondenti all'azione sismica definita nelle NTC, relativamente a sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

In ragione di ciò, in conformità con quanto previsto da § 3.2.3.2 di NTC relativamente alla quantificazione del valore della **Accelerazione Sismica Se** mediante spettro di risposta elastico in accelerazione (sia delle componenti orizzontali che verticali), considerando, cautelativamente, un valore di periodo proprio T di vibrazione della struttura compreso tra i valori di  $T_b$  e  $T_c$ , ossia, rispettivamente, il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante ed il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante, si ottiene:

$$S_{eH}(\max) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot (\eta/q) \cdot F_o$$

Accelerazione Sismica massima – componente orizzontale

$$S_{eV}(\max) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot (\eta/q) \cdot F_v$$

Accelerazione Sismica massima – componente verticale

In cui :

$$F_v = 1,35 F_o (a_g/g)^{0.5}$$

Relazione tra i valori massimi dei fattori di amplificazione spettrale

$$S_s = 1$$

Coefficiente di amplificazione stratigrafica pari alla unità per terreni A

$$S_s = 1,70 - 0.60 F_o (a_g/g)$$

Coefficiente di amplificazione stratigrafica per terreni C (tab. 3.2.IV)

$$S_s = 1$$

Per terreni A-B-C-D-E nella valutazione della componente verticale di  $S_e$

$$S_T = 1$$

Coefficiente amplificazione topografica per siti pianeggianti (tab. 3.2.V)

Con:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;

$F_o$ : 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;

$S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente  $S = S_s \cdot S_T$  (3.2.5)

$F_o$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale

$F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima verticale, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale

$T_b$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante.

$T_c$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante.

$T_d$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Le formule 3.2.2 di § 3.2.3.2.1 e 3.2.8 di § 3.2.3.2.2 indicano a prodotto il fattore  $\eta$  che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5% mediante la relazione 3.2.4 dove  $\xi$  è valutato sulla base dei materiali, della tipologia strutturale e del terreno di fondazione.

In questa sede si considera  $\xi$  pari al 5%, quindi  $\eta$  pari all'unità.

Infine per la costruzione si considera un **comportamento strutturale non dissipativo** e pertanto viene utilizzato un **fattore di comportamento  $q = 1,0$  agli SLV-SLO**. Anche agli SLD viene adottato un fattore di comportamento unitario  $q = 1,0$ .

terreno C	Tr	ag	Fo	Tc*	Fv	S (S <sub>T</sub> x S <sub>S</sub> ) <sub>H</sub>	TB	TC	TD	1/q	S <sub>eH</sub>	Fv	S (S <sub>T</sub> x S <sub>S</sub> ) <sub>V</sub>	S <sub>eV</sub>
SLO	30	0,0485	2,472	0,24	0,735	1,5	0,135	0,404	1,794	1	<b>0,180</b>	0,735	1	<b>0,036</b>
SLD	50	0,0602	2,499	0,26	0,828	1,5	0,142	0,426	1,841	1	<b>0,226</b>	0,828	1	<b>0,050</b>
SLV	475	0,1519	2,433	0,282	1,28	1,478	0,15	0,45	2,208	1	<b>0,546</b>	1,280	1	<b>0,194</b>
SLC	975	0,1931	2,429	0,29	1,441	1,419	0,153	0,458	2,372	1	<b>0,666</b>	1,441	1	<b>0,278</b>

terreno A	Tr	ag	Fo	Tc*	Fv	S (S <sub>T</sub> x S <sub>S</sub> ) <sub>H</sub>	TB	TC	TD	1/q	S <sub>eH</sub>	Fv	S (S <sub>T</sub> x S <sub>S</sub> ) <sub>V</sub>	S <sub>eV</sub>
SLO	30	0,0485	2,472	0,24	0,735	1	0,08	0,24	1,794	1	<b>0,120</b>	0,735	1	<b>0,036</b>
SLD	50	0,0602	2,499	0,26	0,828	1	0,087	0,26	1,841	1	<b>0,150</b>	0,828	1	<b>0,050</b>
SLV	475	0,1519	2,433	0,282	1,28	1	0,094	0,282	2,208	1	<b>0,370</b>	1,280	1	<b>0,194</b>
SLC	975	0,1931	2,429	0,29	1,441	1	0,097	0,29	2,372	1	<b>0,469</b>	1,441	1	<b>0,278</b>

**Figura 7: Valori delle componenti orizzontali e verticali di accelerazione sismica in condizioni SLV e SLD**

L'azione sismica verrà quindi quantificata moltiplicando l'accelerazione per le masse sismiche.

### 3.2 CALCOLO AZIONE SISMICA DA NTC 2018 § 7.11.6.2.1

Capitolo 7.11.6 dedicato alle Opere di sostegno precisa in § 7.11.6.2.1 che:

*“A meno di specifiche analisi dinamiche, l'analisi della sicurezza di muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante i metodi pseudo- statici ed i metodi degli spostamenti. Se la struttura può spostarsi l'analisi pseudo statica si esegue mediante i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il volume di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio attivo, e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto. Nell'analisi pseudo-statica l'azione sismica è rappresentata da una forza equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico..”*

$k_h = \beta_m a_{max}/g$  Accelerazione sismica di calcolo – componente orizzontale

$k_v = \pm 0,5 k_h$  Accelerazione sismica di calcolo – componente verticale

in cui :

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima attesa al sito “ $a_{max}$ ” può essere valutata con la relazione 7.11.8, qui di seguito riportata:

$a_{max} = S_S S_T a_g$  Accelerazione massima attesa al sito

$\beta_m = 0,38$  Coefficiente di riduzione della accelerazione massima attesa al sito – Verifiche SLV

$\beta_m = 0,58$  Coefficiente di riduzione della accelerazione massima attesa al sito – Verifiche SLD

$\beta_m = 1,00$  Coefficiente di riduzione della accelerazione massima attesa al sito

Muri NON liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno

Di seguito in forma tabellare la quantificazione dei valori della accelerazione sismica considerando terreni di tipo C ed A. Il corrispettivo valore della azione sismica potrà essere ottenuto moltiplicando il valore della accelerazione per le masse. In via cautelativa si è considerato il coeff.  $\beta_m$  pari all'unità valutando la briglia non libera di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

terreno C	Tr	ag	S (S <sub>T</sub> x S <sub>S</sub> ) <sub>H</sub>	$\beta_m$	kh	kv
SLD	50	0,0602	1,5	1	<b>0,090</b>	<b>0,045</b>
SLV	475	0,1519	1,478	1	<b>0,225</b>	<b>0,112</b>

terreno A	Tr	ag	S (S <sub>T</sub> x S <sub>S</sub> ) <sub>H</sub>	$\beta_m$	kh	kv
SLD	50	0,0602	1	1	<b>0,060</b>	<b>0,030</b>
SLV	475	0,1519	1	1	<b>0,152</b>	<b>0,076</b>

**Figura 8: Valori delle componenti orizzontali e verticali di accelerazione sismica in condizioni SLV e SLD**