

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO  
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa  
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)  
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)  
1° stralcio

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. AN58

PROGETTAZIONE:  
RAGGRUPPAMENTO  
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



**sinergo**

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE:

*Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl  
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045*

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Società Pro Iter Srl  
Albo Geol. Lombardia n. A762*

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

*Ing. Massimo Mangini – Società Erre.Vi.A Srl  
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502*

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

*Dott. ing. Vincenzo Catone*

PROTOCOLLO:

DATA:



**03 - GEOLOGIA E GEOTECNICA**

**03.04 - SISMICA**

Relazione sismica

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GE04GETRE01A.pdf			
<b>L0702M</b>	<b>E</b>	<b>2101</b>	<b>T00GE04GETRE01</b>		<b>A</b>	<b>R</b>
D						
C						
B						
A	EMISSIONE		FEBBRAIO 2023	VITIELLO	MEZZANZANICA	FORMICHI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

1	PREMESSA .....	1
2	NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	3
2.1	Normative e raccomandazioni tecniche.....	3
2.2	Elaborati delle fase precedenti della progettazione .....	3
2.3	Elaborati del progetto esecutivo.....	3
3	SISMICITÀ DELL'AREA.....	5
3.1	Sismicità storica e aspetti sismogenetici .....	6
3.2	Faglie capaci .....	9
4	AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	10
4.1	Sismicità locale e stati limite nei confronti delle azioni sismiche.....	10
4.2	Periodo di riferimento per l'azione sismica.....	11
4.3	Parametri sismici.....	11
4.4	Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica .....	14
4.5	Suscettibilità alla liquefazione .....	16
4.6	Categoria sismica dei suoli di fondazione.....	18
4.6.1	<i>Risultati delle indagini geofisiche eseguite per le campagne di indagini.....</i>	<i>19</i>
4.6.2	<i>Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione.....</i>	<i>23</i>
4.7	Coefficiente di amplificazione topografica per h>30 m.....	23
4.8	Caratterizzazione sismica dei terreni .....	23
4.9	Analisi pseudostatiche .....	24
4.9.1	<i>Stabilità dei fronti di scavo e rilevati.....</i>	<i>24</i>
4.9.2	<i>Opere di sostegno.....</i>	<i>25</i>
4.9.3	<i>Manufatti scatolari.....</i>	<i>25</i>
4.9.4	<i>Paratie.....</i>	<i>25</i>

## 1 PREMESSA

Il presente documento ha per oggetto la caratterizzazione sismica dei terreni coinvolti nel progetto esecutivo per l'adeguamento a due corsie del tratto della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza – Mercatello Ovest (Lotto 3°) dell'itinerario internazionale E78 S.G.C. Grosseto - Fano.

L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di Parnacciano (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento.

Nell'ambito del presente documento, in particolare finalizzato a caratterizzare ed inquadrare da un punto di vista generale gli aspetti ed i problemi sismici, vengono affrontati i seguenti macro-temi:

- sismicità dell'area, storica e attuale;
- caratterizzazione della pericolosità sismica del sito (azione sismica di progetto);
- interpretazione delle indagini sismiche disponibili e definizione delle categorie sismiche di sottosuolo.

L'obiettivo della presente relazione è la definizione delle azioni di progetto in termini di accelerazione massima al suolo per il sito oggetto di intervento.

A tal scopo inizialmente vengono definite le normative di riferimento, a livello nazionale e regionale e viene descritta la sismicità del territorio, mediante un'analisi critica della sismicità storica e delle mappe di pericolosità del territorio messe a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia.

Successivamente viene definita l'azione sismica di progetto, tenendo conto degli stati limite sismici prescritti dalla normativa, in termini di accelerazione massima prevista al suolo, e della categoria di suolo dei terreni, definita in base anche ai risultati delle indagini disponibili.

Le caratterizzazioni sismiche per i terreni coinvolti nella realizzazione delle opere succitate sono state desunte dai risultati ottenuti nelle campagne di indagini geognostiche eseguite nelle precedenti fasi progettuali definitive ed esecutive e dalle loro relazioni, con particolare riferimento al progetto esecutivo del 2° Lotto redatto da Geodata S.p.A. nel 1996, al progetto definitivo Anas del 2018 nell'ambito del quale è stata eseguita una apposita campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche (cfr. elaborati **T00SG10GEORE02**, **T00SG10GEORE03** e **T00SG10GEORE04**), e al progetto definitivo Anas del 2022 del 4° Lotto nell'ambito del quale è stata eseguita dapprima una campagna per la progettazione definitiva (cfr. elaborato **T00SG10GEORE04**) e poi una integrativa per il progetto esecutivo (cfr. elaborato **T00SG11GEORE02**).

Risultano disponibili anche i risultati di una campagna di indagine geognostica eseguita nel 1999 durante la fase di realizzazione del 3° Lotto (cfr. elaborato **T00SG10GEORE01**) e le risultanze dei sondaggi geognostici realizzati per il Comune di Mercatello sul Metauro nel periodo compreso tra il 1994 e il 2014, utilizzati nell'ambito della progettazione esecutiva del 4° Lotto (cfr. elaborato **T00SG10GEORE04**).

Si specifica infine che, nell'ambito dell'attuale fase di progettazione esecutiva, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche (2022), i cui risultati sono mostrati nell'elaborato **T00SG11GEORE01**, necessaria soprattutto nell'ottica di affinare la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi in progetto.

Per la redazione del presente documento sono stati considerati principalmente i contenuti della documentazione di cui sopra e, in generale, ai seguenti elaborati:

- “Relazione geologica” (Geodata, 1996) - Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici;
- “Relazione geotecnica generale” (Rabbiosi 1999) - Progetto esecutivo del 3° Lotto funzionale: dall'imbocco della Galleria della Guinza all'abitato di Mercatello sul Metauro;
- “Relazione geotecnica generale”, “Relazione geotecnica sui rilevati”, “Imbocco lato Umbria - Interventi di messa in sicurezza paratia d'imbocco - Relazione di calcolo”, “Muro su pali – Relazione di calcolo

- muri” e “Relazione sismica” (Anas 2018) - Progetto definitivo dell’Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2) e del tratto Guinza-Mercatello Ovest (lotto 3) – 1° Stralcio;
- “Relazione geologica”, “Relazione geotecnica generale” e “Relazione sismica” (Anas 2022) – Progetto definitivo dell’Adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest-Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)

## 2 NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 17.01.2018** “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale”, n.42 del 20.02.2018).
- **Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.** – Istruzioni per l'applicazione dell’“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

### 2.2 Elaborati delle fasi precedenti della progettazione

- “Relazione geologica” e “Carta geologica-geomorfologica e idrogeologica” (Geodata, 1996) - Progetto esecutivo dei lavori di completamento della via sinistra della Galleria della Guinza e relativi collegamenti con la viabilità esistente ed impianti tecnologici;
- “Relazione geotecnica generale” (Rabbiosi 1999) - Progetto esecutivo del 3° Lotto funzionale: dall’imbocco della Galleria della Guinza all’abitato di Mercatello sul Metauro;
- “Relazione geotecnica generale”, “Relazione geotecnica sui rilevati”, “Imbocco lato Umbria - Interventi di messa in sicurezza paratia d’imbocco - Relazione di calcolo”, “Muro su pali – Relazione di calcolo muri” e “Relazione sismica” (Anas 2018) - Progetto definitivo dell’Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2) e del tratto Guinza-Mercatello Ovest (lotto 3) – 1° Stralcio;
- “Relazione geologica”, “Relazione geotecnica generale” e “Relazione sismica” (Anas 2022) – Progetto definitivo dell’Adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest-Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)

### 2.3 Elaborati del progetto esecutivo

#### Indagini geognostiche

- **T00SG10GEORE01** – “Documentazione indagini geognostiche e prove di laboratorio 1999”
- **T00SG10GEORE02** – “Documentazione indagini geognostiche 2018”
- **T00SG10GEORE03** – “Documentazione prove di laboratorio 2018”
- **T00SG10GEORE04** – “Documentazione indagini geofisiche 2018”
- **T00SG10GEORE05** – “Documentazione indagini geofisiche via Cà Lillina”
- **T00SG11GEORE01** – “Documentazione indagini geognostiche 2022”
- **T00SG11GEORE02** – “Documentazione indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio Via Cà Lillina”

#### Geologia

- **T00GE01GEORE01** – “Relazione geologica”
- **T00GE01GEORE02** – “Studio delle deformazioni storiche con interferometria SAR satellitare – Relazione tecnica Nhazca”
- **T00GE01GEOPU01÷10** – “Planimetria con ubicazione delle indagini” – 10 tavv.
- **T00GE01GEOCG01÷04** – “Carta geologica generale” – 4 tavv.
- **T00GE01GEOCG05÷14** – “Carta geologica di dettaglio” – 10 tavv.
- **T00GE01GEOCG15** – “Intersezione Lato Umbria - Carta geologica di dettaglio”
- **T00GE01GEOCG16** – “Intersezione Lato Marche – Carta geologica di dettaglio”

- **T00GE01GEOCG17÷26** – “Carta geomorfologica” – 10 tavv.
- **T00GE01GEOCI01÷10** – “Carta idrogeologica” - 10 tavv.
- **T00GE01GEOFG01÷05** – “Profilo geologico asse principale” – 5 tavv.

#### Gestione materie

- **T00GE02GEORE01** – “Piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo”
- **T00GE02GEOCD01** – “Corografia cave, siti di deposito definitivo delle terre e dei materiali da demolizione”
- **T00GE02GEODC01** – “Planimetria e sistemazione morfologica del sito di deposito definitivo di Molino dei Roghi”

#### Geotecnica

- **T00GE03GETRE01** – “Relazione geotecnica generale”
- **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”
- **T00GE03GETFG01** – “Intersezione lato Umbria - Profilo geotecnico Asse 3 e Asse 4”
- **T00GE03GETFG02** – “Intersezione lato Marche - Profilo geotecnico Asse 1\_1 e Asse 2”
- **T00GE03GETFG03** – “Intersezione Lato Umbria - Profili geotecnici paratie (imbocco sud galleria Guinza e laterale)”
- **T00GE03GETFG04** – “Intersezione Lato Umbria – Profili geotecnici muri su pali (Asse 3 e Asse 5)”
- **T00GE03GETFG05** – “Intersezione Lato Umbria - Profilo geotecnico tombino scatolare”
- **T00GE03GETFG06** – “Profilo geotecnico Adeguamento Via Cà Lillina”
- **T00GE03GETSG01** – “Intersezione Lato Umbria – Sezioni geotecniche Muro Asse 3”
- **T00GE03GETSG02** – “Intersezione Lato Umbria - Sezioni geotecniche Muro Asse 5”
- **T00GE03GETFG07÷12** – “Profilo geomeccanico Galleria Guinza” - 6 tavv.

#### Sismica

- **T00GE04GETCS01÷04** – “Planimetria con classificazione sismica del territorio” – 4 tavv.

### 3 SISMICITÀ DELL'AREA

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, [http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone\\_sismo.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html)) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

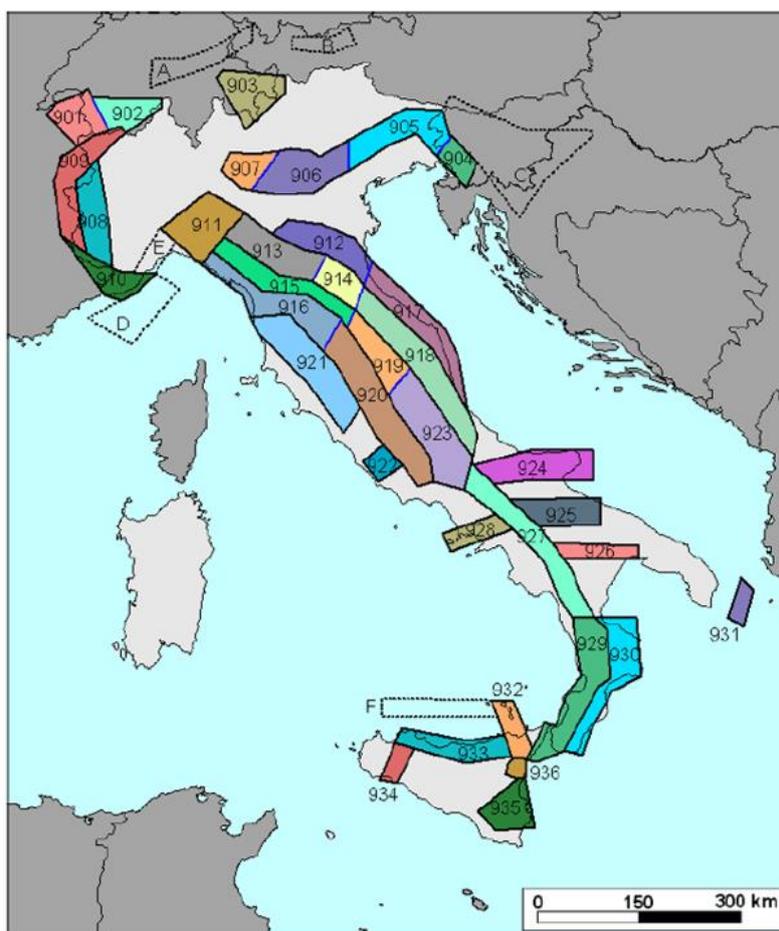


Figura 1 – Zonazione sismogenetica ZS9, dal sito [zonesismiche.mi.ingv.it](http://zonesismiche.mi.ingv.it) (Gruppo di Lavoro, 2004)

Come è possibile verificare dalla figura soprastante, la zona in esame ricade in un'area a cavallo tra diverse zone sismiche tra cui la 920, 919, 918, 916 e 915. In linea generale, tali zone, identificano la sismicità appartenente alla fascia appenninica e pede-appenninica adriatica. Tale sismicità, del centro Italia, è collegata a meccanismi distensivi della catena interna e trascorrenti della fascia pede-appenninica adriatica.

### 3.1 Sismicità storica e aspetti sismogenetici

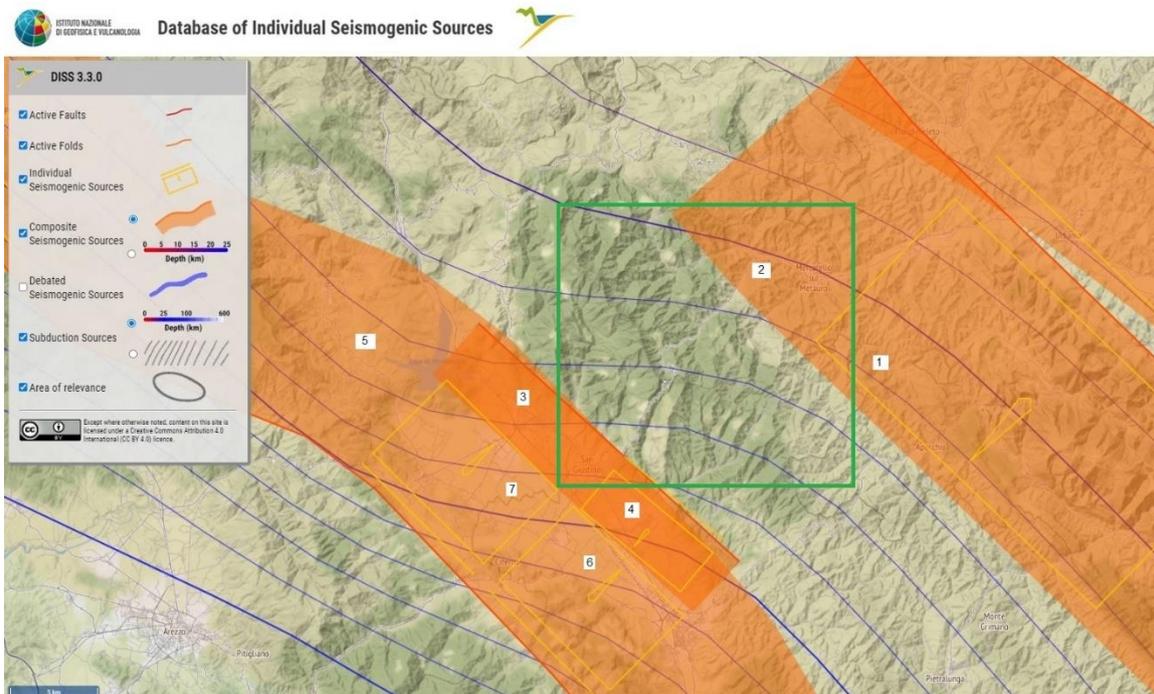
Il territorio in esame si colloca tra la fascia appenninica ad alta sismicità e la fascia pede-appenninica adriatica a bassa o bassissima sismicità. La sismicità del centro Italia è collegata a meccanismi distensivi della catena interna e trascorrenti della fascia pede-appenninica adriatica.

In particolare, sono state individuate diverse sorgenti sismogenetiche disposte lungo il margine estensionale occidentale dell'Appennino settentrionale. Gli studi di Neotettonica indicano per l'area di studio un sollevamento pressoché continuo nel Pliocene e nel Quaternario e un sollevamento tardivo, a partire dal Pliocene superiore. Tale differenziazione potrebbe aver provocato tensioni tettoniche nella zona di passaggio. Il campo macrosismico delineato dalle isoiste generalmente presenta andamento "appenninico".

Tra le strutture sismogenetiche più importanti, il "Sistema dell'Etruria" (noto in letteratura anche come "Faglia Altotiberina") è una faglia normale di estensione regionale, riconosciuta tramite evidenze di campo (Boncio et al., 1998) e dati di sottosuolo (Anelli et al., 1994; Barchi et al., 1998). Questo sistema raggiunge profondità di 12-14 km sotto la fascia a pieghe/sovrascorrimenti tra Umbria e Marche (Boncio et al., 1998 and 2000). I numerosi studi geologici e sismologici indicano l'attività della zona estensionale, suggerendone un ruolo nello scollamento basale delle faglie normali sismogenetiche immergenti ad Ovest.

Entrando più nel dettaglio, per quanto riguarda le faglie attive in generale, cioè quelle strutture che possono generare eventi sismici di significativa entità, il riferimento ufficiale è il DISS 3.3.0 (*Database of Individual Seismogenic Sources*), una banca dati continuamente aggiornata a cura dell'INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia). Il DISS, consultabile online, fornisce una rappresentazione cartografica della presenza di faglie considerate attive allo stato attuale nell'area di interesse; inoltre può essere interrogato per dare informazioni sulle varie sorgenti sismogenetiche. Nella rappresentazione cartografica, le strutture sismogenetiche sono delle campiture associate a dei rettangoli; si tratta, grosso modo, della rappresentazione planimetrica di piani di faglia, o gruppi di piani, la cui orientazione ed immersione sono simboleggiate dai rettangoli gialli.

La figura seguente e la successiva tabella, tratte dal DISS, rappresentano le strutture sismogenetiche interferenti con il progetto.



**Figura 2 - Strutture sismogenetiche presenti nell'area di interesse (da DISS v. 3.0, al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss>), identificata dal riquadro verde; ogni struttura è associata a un numero riportato nella tabella successiva**

1
ITIS047: Cagli (SS individuale)
Profondità: 2 – 8.7 km Magnitudo max associata: 6.5
2
ITCS129: Paindimeleto-Bavareto (SS composita)
Profondità: 1 – 10 km Magnitudo max associata: 7.1
3
ITCS041: Sansepolcro (SS composita)
Profondità: 1 – 5 km Magnitudo max associata: 5.8
4
ITIS065: Selci Lama (SS individuale)
Profondità: 1 – 4 km Magnitudo max associata: 5.5
5
ITCS037 Mugello-Citta' di Castello-Leonessa (SS composita)
Profondità: 0.5 – 8 km Magnitudo max associata: 6.9
6
ITIS063 – Monterchi (SS individuale)
Profondità: 0.5 – 4 km Magnitudo max associata: 5.8
7
ITIS064 – Anghiari (SS individuale)
Profondità: 0.5 – 4 km Magnitudo max associata: 5.8

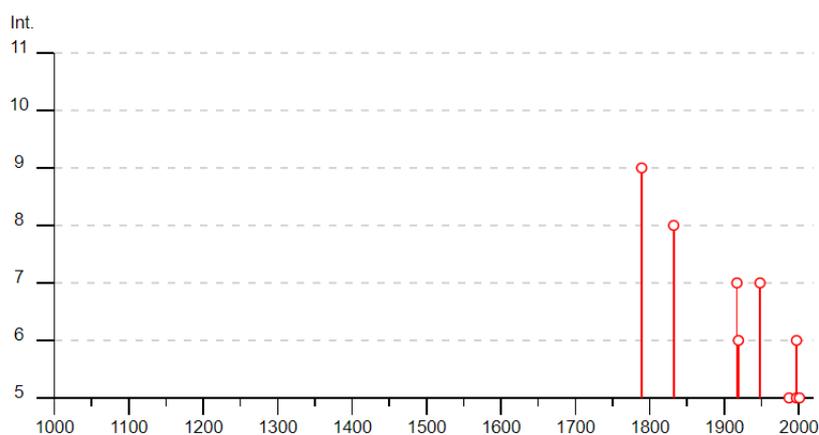
**Tabella 1** - Strutture sismogenetiche presenti nell'area di interesse (da DISS v 3.0, al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss>)

Si nota che l'area in esame è, in parte, direttamente interferente con sorgenti sismogenetiche (es. "2" - ITCS129 Piandimeleto-Bavareto) ed inoltre sotto il tiro incrociato di possibili sollecitazioni sismiche provenienti da diverse sorgenti poste nelle vicinanze, con magnitudo all'origine comprese tra 5.5 e 6.5.

Nel sito dell'INGV è possibile consultare anche il *DBMI15 Database Macrosismico Italiano 2015* (v.3.0), il quale fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

Di seguito è riportata la tabella di sintesi rappresentante l'elenco dei terremoti ricercato per la località San Giustino, in ordine decrescente di intensità macrosismica risentita nel sito di riferimento, preceduta dalla tabella di inquadramento; a partire dall'anno 1000 d.C., risulta un numero totale di eventi pari a 31.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
9	1789	09	30	10			Alta Valtiberina	73	9	5.89
8	1832	01	13	13			Valle Umbra	101	10	6.43
7	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
7	1948	06	13	06	33	3	Alta Valtiberina	142	7	5.04
6	1919	10	25	13	51		Alta Valtiberina	30	6	5.03
6	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
5	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7	5.06
5	1997	10	02	19	38	0	Alta Valtiberina	55		4.42
5	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
4-5	1990	05	08	22	33	1	Alta Valtiberina	64	5	3.77
4-5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5	1998	04	03	07	26	3	Appennino umbro-marchigiano	14		5.10
4	1892	11	21				Alta Valtiberina	22	5-6	4.25
4	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
4	1989	07	09	03	54	3	Montefeltro	48	5	4.09
4	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
4	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
4	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
4	2000	06	22	12	16	3	Bacino di Gubbio	107	5	4.47
F	1731	03	29				Alta Valtiberina	9	6	4.76
F	1973	04	19	17	41	3	Pietralunga	22	7	4.61
3-4	1991	01	14	07	38	3	Casentino	62	5	4.26
3-4	1993	01	17	10	51	2	Alta Valtiberina	76	5	4.26
3-4	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72
3-4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3-4	2002	02	21	14	36		Casentino	43	5	4.09
2-3	2000	08	01	02	34	3	Montefeltro	84	5-6	4.27
2	1971	02	11	18	49	2	Valle del Chiascio	71	6	4.61
NF	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29



**Figura 3 - DBMI15, Database Macrosismico Italiano 2015, per la località San Giustino: catalogo di sito e distribuzione temporale eventi con IS≥5**

Come risulta dalla precedente tabella il territorio di San Giustino è stato interessato direttamente nel periodo storico da n.9 terremoti di intensità di sito IS ≥ 5.

### 3.2 Faglie capaci

Il database denominato "ITHACA" (ITaly HAZard from CApable faults), a cura dell'ISPRA, fornisce lo stato delle conoscenze sulla distribuzione nel territorio nazionale della fagliazione attiva superficiale: giacitura, geometria, cinematica, terremoti associati, tasso di deformazione medio e cartografia di dettaglio.

La consultazione del database "ITHACA – Catalogo delle faglie capaci", possibile al link di collegamento <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html> ha consentito di verificare che il progetto non interferisce con alcuna delle faglie attive capaci ad oggi individuate, essendo la più vicina situata ad almeno 6 km più a sud-ovest e corrispondente alla faglia normale *San Giustino – Badiali*.

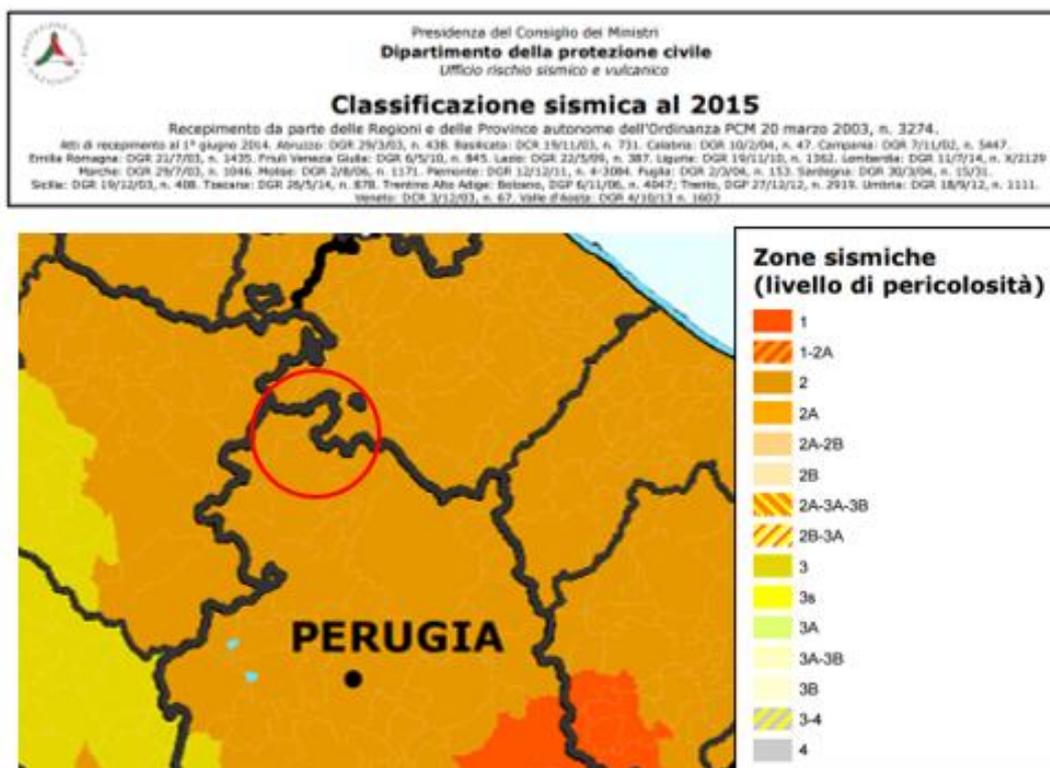


Figura 4 - Stralcio cartografico Progetto ITHACA con indicazione delle faglie capaci (fonte ISPRA-SGI)

## 4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

### 4.1 Sismicità locale e stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio, facendo riferimento all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274, e degli atti di recepimento delle Regioni, il Comune di San Giustino è classificato in Zona Sismica 2.



**Figura 5 - Classificazione sismica al 2015 del Comune di San Giustino (PG), Dipartimento della Protezione Civile – il cerchio rosso identifica l'area in esame**

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione

conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018):

Stati Limite		<b>PVR0: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento <math>V_R</math></b>
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

## 4.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. Si ritiene di attribuire alla infrastruttura in progetto, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 17.01.2018, una vita nominale  $V_N \geq 50$  anni nonché una classe d'uso IV. In base alla tabella 2.4.II il coefficiente d'uso vale  $CU = 2$ .

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N CU = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

## 4.3 Parametri sismici

In base a quanto descritto nel D.M. 17/01/2018 la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km.

Le forme spettrali previste dal D.M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F^0$  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.

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici  $a_g$ ,  $F^0$  e  $T_c^*$  per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, mediante la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i}{\sum_{i=1}^4 d_i} = \frac{\sum_{i=1}^4 1}{\sum_{i=1}^4 d_i}$$

in cui:

$p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

$p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

$d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i valori dei parametri sismici  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$  ricavati mediante il programma "Spettri NTC ver.1.0.3.xls", disponibile sul sito <http://www.cslp.it/cslp>, inserendo le coordinate geografiche di inizio tracciato, fine tracciato e delle opere infrastrutturali di maggiore rilevanza. I valori riportati sono stati ottenuti in funzione del periodo di ritorno  $T_R$  e di una vita di riferimento  $V_{R=100}$  anni.

San Giustino, PG (12.1745-43.5504)

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (s)
SLO	60	0,098	2,342	0,271
SLD	101	0,124	2,338	0,277
SLV	949	0,286	2,402	0,310
SLC	1950	0,360	2,404	0,324

inizio tracciato (12.28391-43.55772)

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (s)
SLO	60	0,098	2,347	0,274
SLD	101	0,124	2,333	0,281
SLV	949	0,288	2,398	0,314
SLC	1950	0,360	2,408	0,327

imbocco sud galleria Guinza - lato Umbria (12.28471-43.55962)

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (s)
SLO	60	0,098	2,347	0,274
SLD	101	0,124	2,334	0,281
SLV	949	0,288	2,398	0,314
SLC	1950	0,360	2,409	0,327

imbocco nord galleria Guinza – lato Marche (12.29330-43.612806)

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (s)
SLO	60	0,094	2,376	0,277
SLD	101	0,120	2,351	0,284
SLV	949	0,279	2,410	0,316
SLC	1950	0,348	2,427	0,328

fine tracciato (12.32238-43.63828)

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (s)
SLO	60	0,089	2,413	0,282
SLD	101	0,112	2,384	0,289
SLV	949	0,257	2,485	0,319
SLC	1950	0,320	2,516	0,332

Mercatello sul Metauro, PU (12.3376-43.6483)

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (s)
SLO	60	0,088	2,418	0,282
SLD	101	0,110	2,395	0,291
SLV	949	0,250	2,514	0,320
SLC	1950	0,311	2,554	0,333

Nell'ottica di una caratterizzazione sismica adeguata, sulla base della tipologia di rilievo e delle opere attraversate dal tracciato, si è scelto di utilizzare i dati dei parametri sismici relativi all'imbocco sud della galleria Guinza (lato Umbria), che forniscono, per l'area in esame, i valori di  $a_g$  più elevati:

**imbocco sud galleria Guinza - lato Umbria (12.28471-43.55962)**

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (s)
SLO	60	0,098	2,347	0,274
SLD	101	0,124	2,334	0,281
SLV	949	0,288	2,398	0,314
SLC	1950	0,360	2,409	0,327

#### 4.4 Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica

La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro & Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diversi sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in *magnitudo e distanza (M-R)*, che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Il processo di disaggregazione in *M-R* fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

In particolare, per effettuare tale analisi viene messo a disposizione il sito "<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>", dell'INGV, dove è possibile eseguire l'analisi di disaggregazione.

In particolare, all'interno del sito, è possibile compilare il "modello di pericolosità sismica MPS04-S1", dove dovranno essere riportati il comune oggetto d'indagine o le coordinate, la probabilità di accadimento di un sisma in 50 anni (indicando il valore più vicino al tempo di ritorno prossimo a quello di progetto) e il percentile, che corrisponde a "50" ai sensi delle NTC 2018. In questo modo è possibile avviare il software e ottenere i valori di magnitudo-distanza *M-R* con relativa probabilità di accadimento.

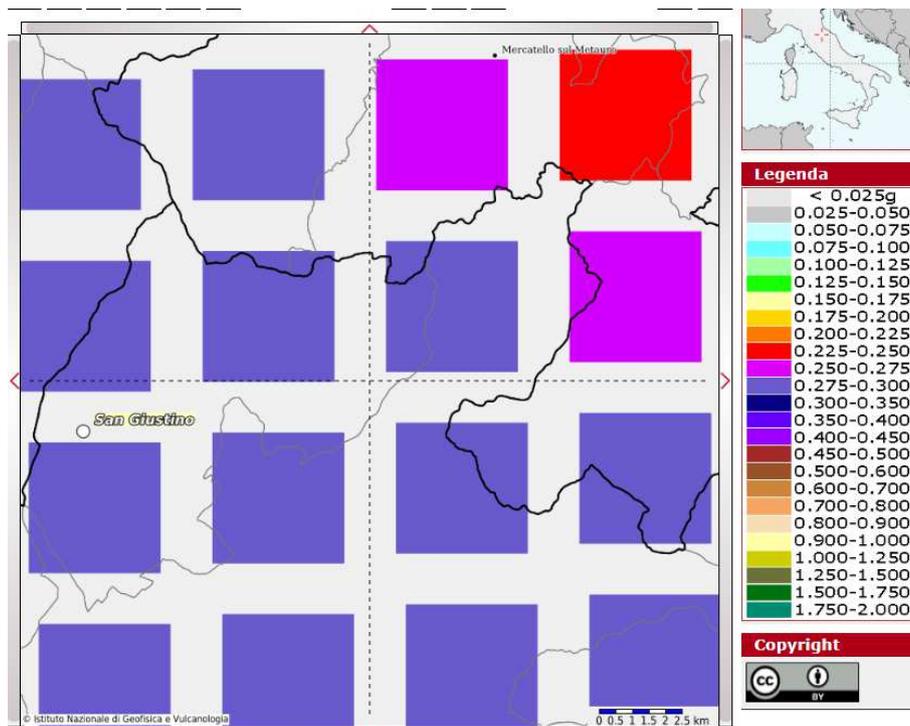
Nel caso dell'infrastruttura in oggetto, sono stati inputati i seguenti dati:

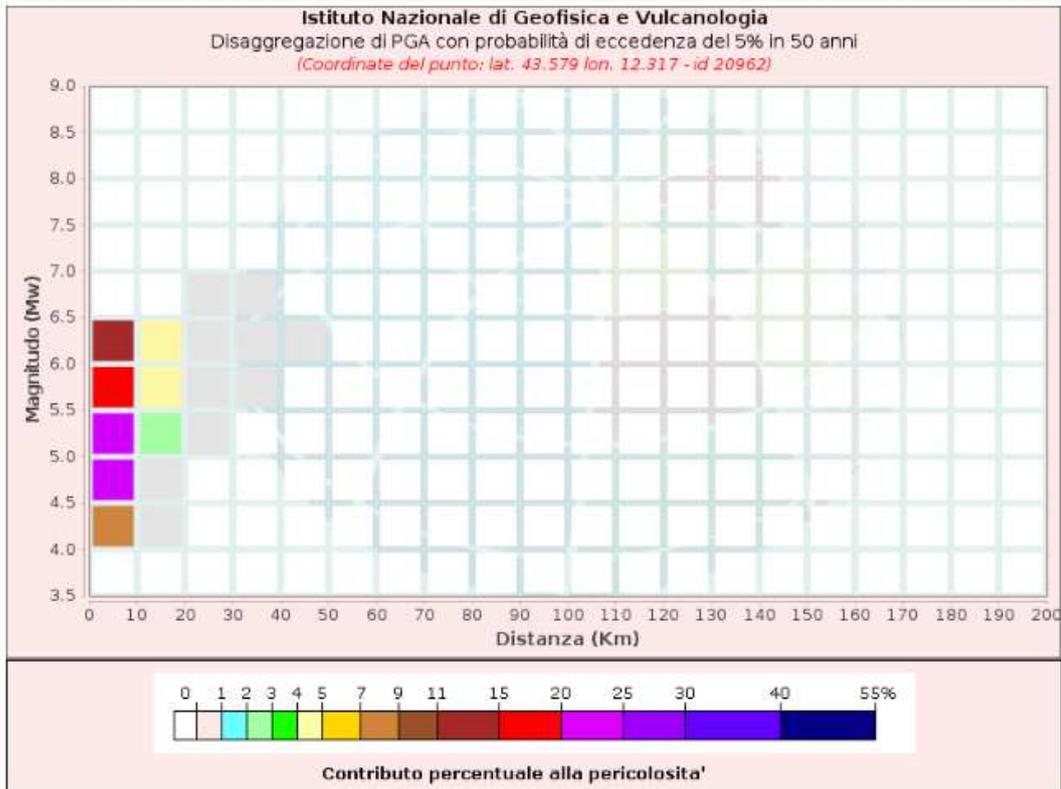
- Coordinate imbocco Umbria: Lon. 12.28471; Lat. 43.55962;
- Valore vita di riferimento  $V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100$  anni
- Valore tempo di ritorno prossimo a quello di progetto (ovvero  $T_r = 949$ ):  $T_r = 975$ , corrispondente alla probabilità di accadimento del 5% in 50 anni

I dati di disaggregazione sismica risultanti, nel caso in oggetto, sono i seguenti (cfr. anche figura sottostante):

- Magnitudo (M) compresa tra 4.0 e 6.5 Mw
- Distanza (R) compresa tra 0 e 20 km

da cui è stata ricavata la coppia magnitudo-distanza (M-R) con maggior probabilità di accadimento, corrispondente ai valori medi di magnitudo 5.33 Mw e distanza 5.66 km.





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni  
(Coordinate del punto: lat. 43.579 lon. 12.317 - id 20962)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
0-10	0.0000	8.4000	24.1000	24.0000	19.4000	11.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0082	0.5520	2.4000	4.4600	4.3600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0081	0.3170	0.7800	0.0089	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0648	0.0035	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5,33	5,66	1,22

Figura 6 – Risultati dell'analisi di disaggregazione sismica

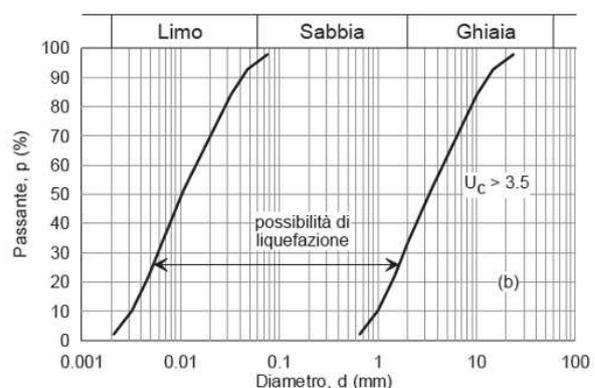
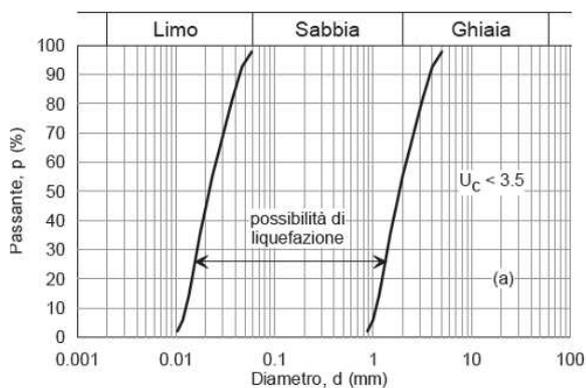
## 4.5 Suscettibilità alla liquefazione

Con il termine liquefazione si intende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche, in terreni saturi sabbiosi sollecitati in condizioni non drenate da azioni sismiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere dunque stabile nei confronti della liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

In base al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018 la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$ , e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

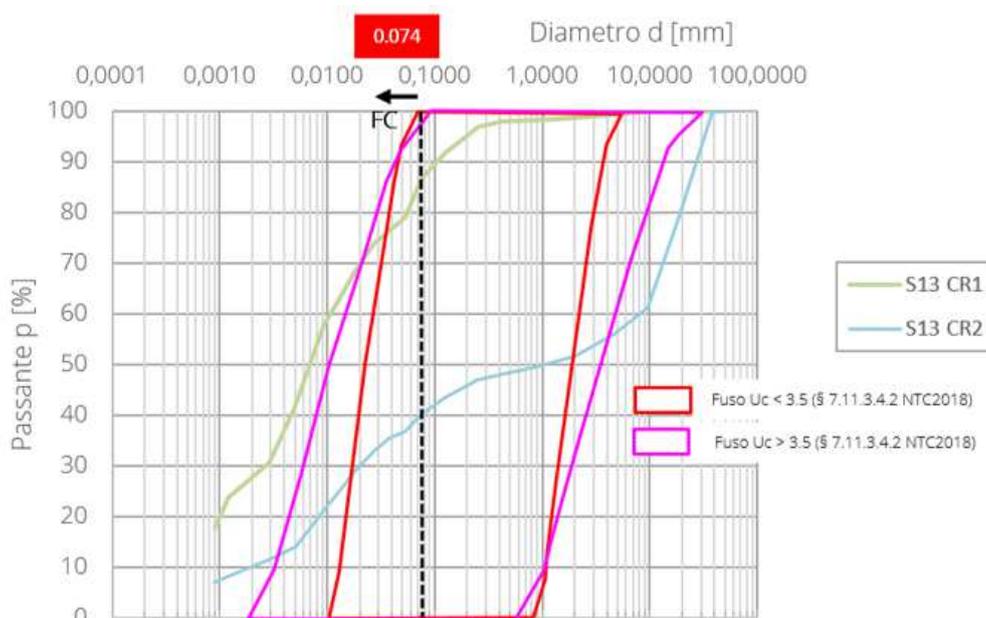


Come già analizzato negli elaborati geotecnici di progetto definitivo, in corrispondenza del collegamento lato Umbria e dell'imbocco lato Marche della galleria Guinza, la litostratigrafia marnoso-arenacea a prevalente componente pelitica impedisce la formazione di orizzonti idrici significativamente in rete: non essendo presente una falda lateralmente continua, si esclude che le opere in progetto possano essere interessate da fenomeni di liquefazione.

In corrispondenza del collegamento lato Marche e fino a fine tracciato, le indagini hanno intercettato una falda sospesa, circolante nei depositi di versante e alluvionali, sostenuta dal substrato marnoso-arenaceo "virtualmente" impermeabile.

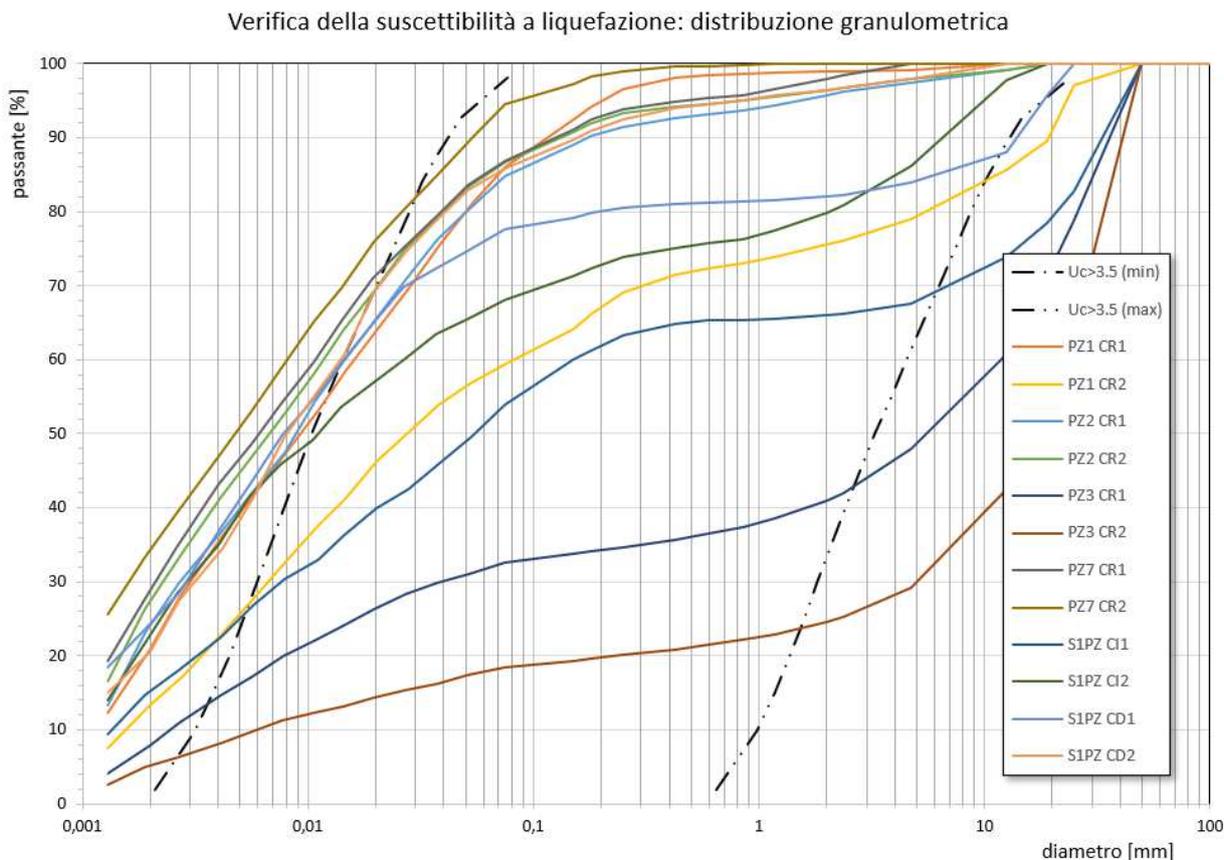
Nel dettaglio, analizzando i risultati delle prove eseguite per il sondaggio S13 (2018, Lotto 3), già nel progetto definitivo, e per il sondaggio S1PZ (2022, Lotto 4) e i pozzetti ambientali Pz1, Pz2, Pz3 e Pz7 (2022, Lotto 4) in ottica di caratterizzare la zona di adeguamento di Cà Lillina, è possibile definire quanto segue.

Il report stratigrafico del sondaggio S13p mostra fino a 9.0 m la presenza di detriti di versante, localmente costituiti da argille limose e limi argillosi debolmente sabbiosi poco consistenti. In successione, è stata rilevata la presenza delle alluvioni terrazzate, formate da clasti e ciottoli marnoso-arenacei in matrice limo-argillosa. A 12.0 m da testa sondaggio segue fino alle massime profondità investigate (18.0 m) il substrato flyschoidale, costituito da alternanze decimetriche di marne e arenarie poco alterate e fratturate. Infine, le misure di livello piezometrico disponibili dal sondaggio S13 indicano una soggiacenza di -2.8m da p.c. da quota bocca-foro. Di seguito viene riportato il grafico dal Progetto Definitivo contenente le curve granulometriche derivanti dalle analisi di laboratorio dei campioni CR1 e CR2 del sondaggio S13p di cui sopra, in relazione ai fusi granulometrici di normativa. Dall'esame del caso, si può dichiarare omessa la verifica dei terreni nei confronti della liquefazione, in quanto per il sito di progetto risulta verificata la quarta condizione del § 7.11.3.4.2, per la quale la distribuzione granulometrica è esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



**Figura 7** – Sovrapposizione curve granulometriche campioni e fusi limite NTC2018 (par.7.11.3.4.2) per i campioni CR1 e CR2 del sondaggio S13p del Progetto Definitivo

Considerando le analisi granulometriche (setacciatura e sedimentazione) effettuate per i campioni di verticali e pozzetti nell'ambito del progetto esecutivo delle opere del Lotto 4, di riferimento per l'attuale progettazione dell'adeguamento dell'area di Cà Lillina, è stato redatto il grafico contenente le curve granulometriche dei terreni messe a confronto con i limiti di figura b) di cui sopra, validi per terreni con coefficiente di uniformità  $> 3.5$ , com'è nel caso in esame (cfr. **Figura 8**).



**Figura 8** – Fusi granulometrici per la stima della suscettibilità alla liquefazione dei campioni prelevati nell'ambito della campagna di indagine 2022 per il Progetto Esecutivo del Lotto 4

In particolare, è possibile verificare che la totalità dei campioni risulta avere una percentuale di materiale fine esterna al limite sinistro del fuso di riferimento. Analogamente, la quasi totalità dei campioni risulta avere una percentuale di materiale grossolano esterna al limite destro del fuso.

In base alle valutazioni sopra espresse, la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è trascurabile e l'ambiente fisico entro cui ricadono le opere in progetto non risulta vulnerabile alla liquefazione.

#### 4.6 Categoria sismica dei suoli di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. del 17/01/2018.

In assenza di tali analisi o per una prima stima, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, identificate in funzione dei valori della velocità di propagazione  $V_S$  (velocità sismiche delle onde di taglio).

Con riferimento alla vigente normativa "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018) la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

Relazione sismica

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella Tab.3.2.II del NTC 2018, riportata di seguito.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

#### 4.6.1 Risultati delle indagini geofisiche eseguite nelle campagne di indagini

Dall'analisi dei dati a disposizione dal progetto definitivo, si dispone delle seguenti indagini geofisiche:

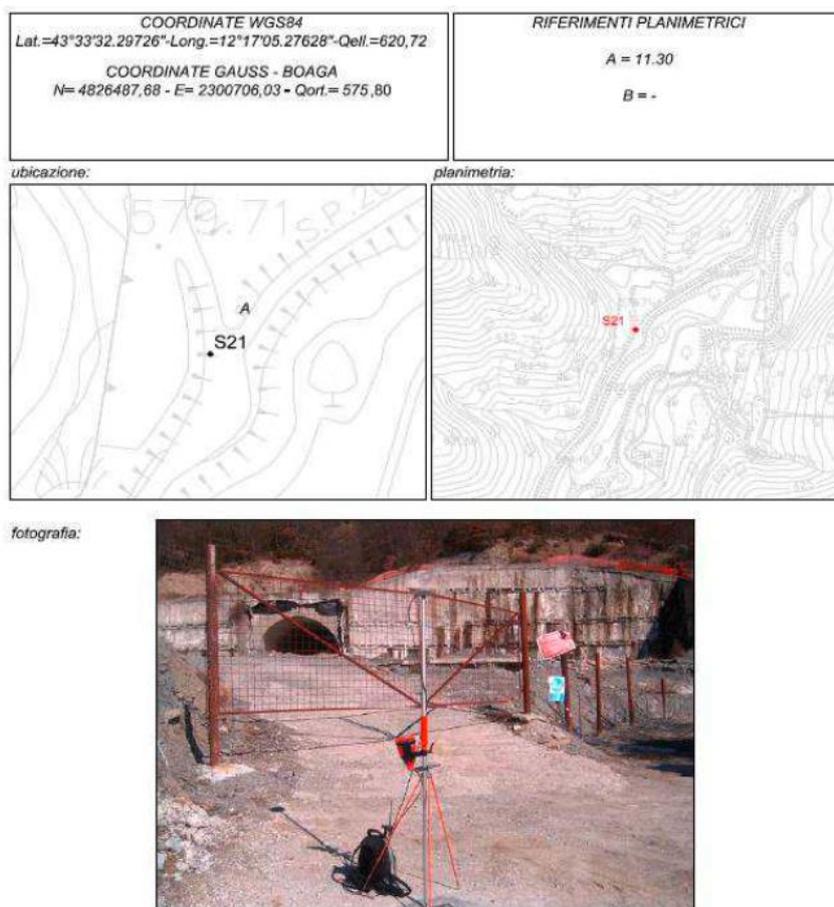
- n.1 prospezione sismica in foro tipo down-hole (**S21DH**);
- n.6 prospezioni sismiche a rifrazione (**REF1\_R1\_MONTE, REF\_R1\_VALLE, REF\_R2\_P, REF\_R2\_S, REF\_R3\_MONTE, REF\_R3\_VALLE**);
- n.1 prospezione sismica tipo MASW (**M1**).

mentre dall'analisi dei dati a disposizione dal progetto definitivo del Lotto 4 si dispone delle seguenti indagini geofisiche:

- n.2 prospezioni sismiche tipo MASW (**MASW1, MASW2**).

#### **Progetto Definitivo (Lotti 2 e 3)**

L'indagine down-hole, denominata "S21\_DH" ed eseguita nel Marzo 2011, è stata realizzata nel foro di sondaggio S21 che risulta ubicato in prossimità del piazzale antistante l'imbocco lato Umbria della galleria Guinza. Purtroppo, non si dispone del report ufficiale di tale prospezione, ma soltanto l'ubicazione e i risultati della stessa all'interno della Relazione Sismica di Progetto Definitivo: nella **Figura 9** si riporta la georeferenziazione della prova e l'ubicazione planimetrica e fotografica disponibile.

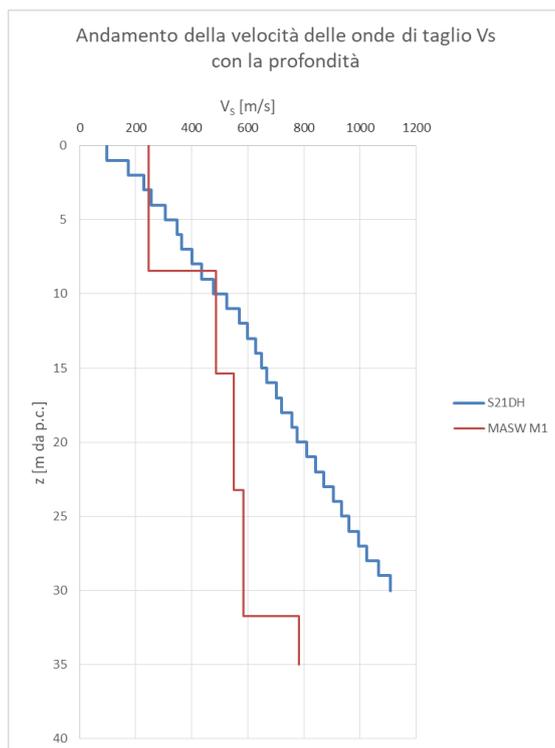


**Figura 9** - Ubicazione indagine sismica S21DH eseguita nel Maggio 2011

La prospezione MASW del progetto definitivo del Lotto 3, denominata "M1", è stata eseguita nelle zone prospicienti lo svincolo finale del progetto, in prossimità del centro abitato di Mercatello sul Metauro, realizzata nel Maggio 2018 mediante stendimento di n.24 geofoni a interasse 3 m per una lunghezza globale di circa 69 m. Nella **Figura 10** vengono graficati i profili di velocità in onde S restituiti dalla prova tipo down-hole e dalla prospezione sismica tipo MASW "M1".

L'analisi del profilo DH, in accordo con la colonna stratigrafica del sondaggio S21, mostra un unico sismostrato correlabile con la formazione marnoso-arenacea, caratterizzato da velocità gradualmente crescenti con la profondità. Il bedrock sismico, inteso come strato caratterizzato da velocità  $V_s \geq 800$  m/s, è collocabile ad una profondità di circa 20.0 m.

Riguardo la prova MASW, sono stati riconosciuti n.3 orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche. La prova evidenzia una copertura "lenta" ( $V_s = 247$  m/s, spessore 8.5 m circa), attribuibile ai detriti di versante; in successione verticale, fino a 32.0 m circa di profondità, è identificabile un orizzonte sismico caratterizzato da velocità  $V_s = 500 \div 600$  m/s, correlabile alla formazione marnoso-arenacea. A profondità superiori, si nota un cambiamento di velocità delle onde di taglio ( $V_s = 780$  m/s), indice della presenza di un ammasso debolmente fessurato o caratterizzato dalla prevalenza della facies arenacea. Tale velocità viene pressoché mantenuta sino alle massime profondità indagate (35 m da p.c.).



**Figura 10** – Grafico di andamento delle velocità delle onde longitudinali  $V_p$  e onde di taglio  $V_s$  con la profondità per le prospezioni geofisiche delle indagini S1DH e M1 inerenti alla campagna di indagine 2018

Poiché la profondità del bedrock “H” risulta superiore a 30 m, come indicato al §3.2.2 delle NTC2018, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_s$  è definita dal parametro  $V_{Seq}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nell’espressione riportata al § 4.2 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Sulla scorta dei valori di velocità equivalente delle indagini di cui sopra, risultati compresi tra 360 m/s e 800 m/s, essendo anche in presenza di “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”, risulta possibile definire in questo caso una categoria di sottosuolo tipo B.

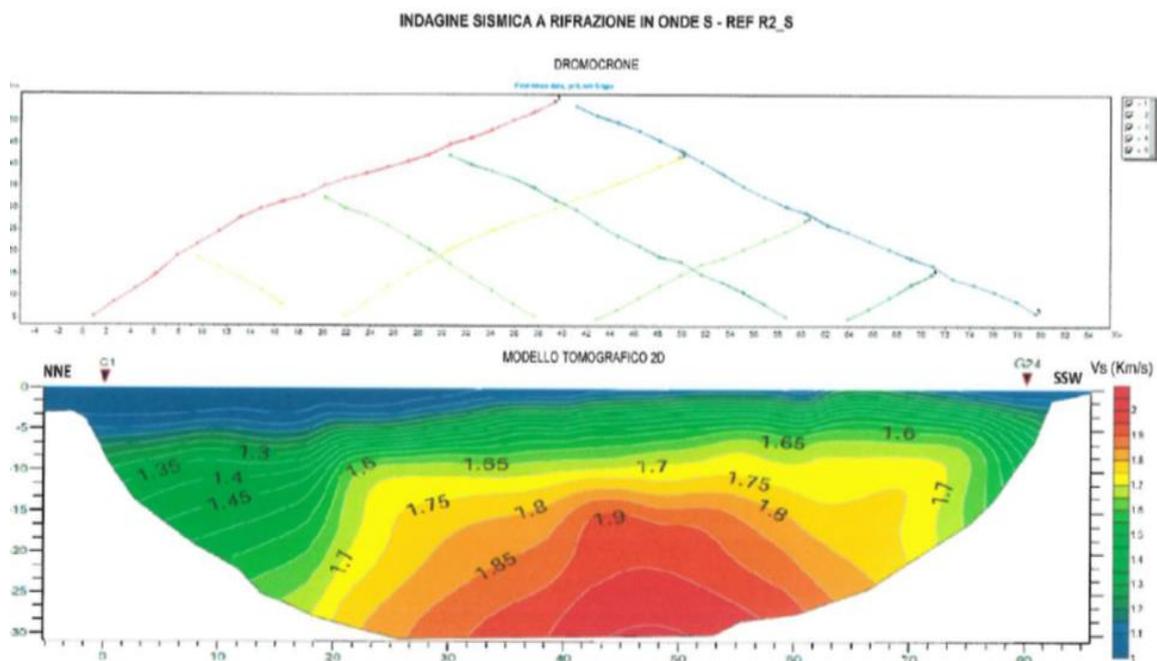
Per quanto riguarda i n.6 stendimenti a rifrazione, eseguiti nella campagna di indagine del Maggio 2018, i risultati sono mostrati nell’elaborato **T00SG10GEORE04 – Documentazione indagini geofisiche 2018**. Nella **Tabella 1** **Tabella 2** di seguito se ne riporta la sintesi.

ID	DESCRIZIONE	LUNGHEZZA TOT. STENDIMENTO
REF_R1_MONTE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R1_VALLE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R2_P	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 3,50 m	84 m
REF_R2_S	Prospezione sismica a rifrazione in onde S per distanza intergeofonica di 3,50 m	84 m
REF_R3_MONTE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R3_VALLE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m

**Tabella 2** – Stendimenti a rifrazione eseguiti nell’ambito della campagna di indagine 2018 per il PE

Di seguito, si riporta unicamente lo stendimento a rifrazione denominato “REF R2\_S” poiché, rispetto a tutte le basi a rifrazione eseguite, è l’unica per cui è avvenuta l’acquisizione in onde S (e non delle sole onde P). Tale stendimento è anch’esso ubicato sul piazzale prospiciente l’imbocco lato Parnacciano della galleria Guinza in zona prossima a S21DH.

La tomografia in onde S associata alla base sismica a rifrazione “REF\_R2\_S” evidenzia un andamento abbastanza regolare dei sismostrati (cfr. figura sottostante), mostrando in media valori di  $V_s$  ovunque superiori rispetto a quelli delineati dalle indagini sismiche discusse in precedenza (oltre 1000 m/s), indicando un sottosuolo riconducibile ad una categoria A.



**Figura 11** – Sezione sismica derivante dalla tomografia ad onde S dello stendimento a rifrazione inerente alla campagna di indagine 2018

Tuttavia, come categoria di riferimento per le valutazioni strutturali e geotecniche è da impiegarsi una **categoria di sottosuolo di tipo B**, visto in particolare che l’adozione della categoria A non costituirebbe un’assunzione progettuale nel senso della sicurezza.

#### **Lotto 4**

Dall’analisi dei dati sismici inerenti al progetto definitivo dei Lotti 2 e 3, analizzando i risultati delle due prospezioni MASW eseguite (“MASW1” e “MASW2”) realizzate per il Lotto 4 e utilizzate come riferimento per la progettazione esecutiva delle opere dell’area di Cà Lillina, risulta quanto sintetizzato nella tabella seguente.

Indagine sismica	Profondità del tratto indagato [m]	$V_{s,eq}$ NTC2018 [m/s]	Profondità del substrato [m]	Categoria di sottosuolo
MASW1	30	454	<30	<b>B</b>
MASW2	30	462	<30	<b>B</b>

**Tabella 3** - Stima della  $V_{s,eq}$  e categoria di sottosuolo della campagna di indagine di progetto definitivo del Lotto 4 prossima alla zona di Cà Lillina

Sulla scorta delle risultanze delle prove geofisiche per la campagna definitiva del Lotto 4, anche per la zona di Cà Lillina, come per il restante sviluppo progettuale, si conferma che per le valutazioni geotecniche delle opere in progetto è da impiegarsi in definitiva una **categoria di sottosuolo tipo B**.

#### 4.6.2 Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione

Dai risultati delle prove eseguite, anche in considerazione della distribuzione delle formazioni geologiche lungo il tracciato e, soprattutto, delle opere da realizzare, è possibile definire, in modo cautelativo, una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a 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  $V_{Seq}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (cfr. anche l'elaborato di progetto T00GE00GETCS01÷04A - Planimetria con classificazione simica del territorio).

Tale categoria è identificata nei seguenti tratti di tracciato:

- da inizio tracciato all'imbocco sud galleria Guinza (lato Umbria);
- dall'imbocco nord galleria Guinza (lato Marche) all'imbocco sud galleria Valpiana;
- dall'imbocco nord galleria Valpiana all'imbocco sud galleria S. Antonio;
- dall'imbocco nord galleria S'Antonio a fine tracciato.

#### 4.7 Coefficiente di amplificazione topografica per $h > 30$ m

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T1 = superficie pianeggiante, T2 = in corrispondenza della sommità di un pendio, T3 = in corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°, T4 = in corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°), si possono adottare i seguenti valori del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/18):

Categoria topografica	$S_T$
T1	1.0
T2	1.2
T3	1.2
T4	1.4

#### 4.8 Caratterizzazione sismica dei terreni

I terreni appartenenti ai tratti di tracciato definiti al **punto 4.6.2** sono caratterizzati dalla **categoria di sottosuolo B**.

In caso di categoria topografica T1 ( $S_T=1$ ), il valore di  $a_{max}$  risulta il seguente:

Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_{max}$ [g]
SLO	60	0.118
SLD	101	0.149
SLV	949	0.324
SLC	1950	0.379

in caso di categoria topografica T2 ( $S_T=1.2$ ), il valore di  $a_{max}$  risulta il seguente:

Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_{max}$ [g]
SLO	60	0.142
SLD	101	0.179
SLV	949	0.388
SLC	1950	0.455

in caso di categoria topografica T3 ( $S_T=1.2$ ), il valore di  $a_{max}$  risulta il seguente:

Stato Limite	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>max</sub> [g]
SLO	60	0.142
SLD	101	0.179
SLV	949	0.388
SLC	1950	0.455

in caso di categoria topografica T4 (S<sub>T</sub>=1.4), il valore di a<sub>max</sub> risulta il seguente:

Stato Limite	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>max</sub> [g]
SLO	60	0.165
SLD	101	0.209
SLV	949	0.453
SLC	1950	0.531

## 4.9 Analisi pseudostatiche

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno  $W$  considerato. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi mediante dei coefficienti di proporzionalità diretta denominati coefficienti sismici orizzontale e verticale e indicati con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente. I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni (§ 7.11.6.2.1 del D.M. 17.01.2018):

$$\begin{aligned} F_h &= k_h \cdot W \\ F_v &= k_v \cdot W \end{aligned} \quad \text{con} \quad \begin{aligned} k_h &= \beta \cdot a_{\max} / g \\ k_v &= \pm 0.5 \cdot k_h \end{aligned}$$

dove:

- a<sub>max</sub> = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g = accelerazione di gravità;
- β = coefficiente di riduzione di a<sub>max</sub>.

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S<sub>S</sub> = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
- S<sub>T</sub> = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
- a<sub>g</sub> = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

### 4.9.1 Stabilità dei fronti di scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali. Nei metodi pseudostatici i valori dei coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  da utilizzare nelle verifiche geotecniche, in mancanza di studi specifici, sono stati ottenuti a partire da una accelerazione

Relazione sismica

24

orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_s$  da utilizzare risulta (cfr. § 7.11.4.):

$$\beta_s = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

#### 4.9.2 Opere di sostegno

La sicurezza delle opere di sostegno deve essere garantita prima, durante e dopo il terremoto. È ammesso l'uso di metodi pseudo-statici come specificato nel § 7.11.6.2.1.

I valori dei coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  da utilizzare nelle verifiche strutturali e geotecniche si ottengono a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** come visto nei precedenti paragrafi della relazione e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_m$  da utilizzare risulta:

$$\beta_m = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

Per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

#### 4.9.3 Manufatti scatolari

Il calcolo delle spinte delle terre sui ritti dei manufatti scatolari è stato eseguito assimilando tali opere ad opere di sostegno rigide, che non sono in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_m$  può essere considerato pari a 1.

#### 4.9.4 Paratie

Nel caso delle paratie l'azione sismica, nelle analisi pseudo-statiche, è definita mediante un'accelerazione orizzontale equivalente  $a_h$  pari a:

$$a_h = k_h g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

- $g$  = accelerazione di gravità
- $k_h$  = coefficiente sismico in direzione orizzontale
- $\alpha$  = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera
- $\beta$  = coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza

mentre la componente verticale  $a_v$  dell'accelerazione equivalente può essere posta uguale a 0.

Anche in questo caso l'accelerazione massima può essere valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale oppure mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- $S_S$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
- $S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori dei coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  possono essere ricavati dai grafici sottostanti (cfr. *Figura 7.11.2I* e *Figura 7.11.3* delle NTC 2018):

