

# PROGETTO DEFINITIVO

CUP: H91J12000770005

CIG: 9524700F13

TRANVIA DI FIRENZE

LINEA 4.2

LE PIAGGE – CAMPI BISENZIO

## STUDI E INDAGINI SISMICA ELABORATI GENERALI Relazione Sismica

STAZIONE APPALTANTE – COMUNE DI FIRENZE		
DIRETTORE DEL SETTORE Ing. Michele Priore	RUP Ing. Giacomo Bioli Pini	DEC Ing. Andrea Adinolfi

APPALTATORE	GRUPPO DI PROGETTAZIONE	
MANDATARIA 	MANDATARIA 	
MANDANTI   	MANDANTI      	
	Responsabile Integrazione Prestazioni Specialistiche  Ing. Filippo Busola	Progettista  Ing. Alessandro Rizzo

Commessa				Fase	Origine	Ambito		Disciplina		Attività		Parte d'opera			Tipologia		Progressivo		Rev.	Scala
F	L	4	2	D	T	I	N	S	M	O	O	E	G	G	R	T	0	1	C	-
REVISIONE		DATA		DESCRIZIONE							SOCIETÀ			REDATTO			VISTO		APPROVATO	
REV A		03/2024		PRIMA EMISSIONE							Technital			M. Micalizzi			A. Rizzo		A. Rizzo	
REV B		09/2024		Emissione a seguito procedura PAUR							Technital			M. Micalizzi			A. Rizzo		A. Rizzo	
REV C		12/2024		Emissione per CdS							Technital			M. Micalizzi			A. Rizzo		A. Rizzo	

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione Sismica*

**STUDI E INDAGINI  
SISMICA  
ELABORATI GENERALI**

**Relazione Sismica**

---

Dicembre 2024

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>INQUADRAMENTO LOCALE .....</b>	<b>4</b>
3.2.1	Parcheggio e sottostazione elettrica Campania .....	4
3.2.2	Scotolare San Donnino e Deposito.....	5
3.2.3	Ponte Fosso Macinante .....	6
3.2.4	Ponte Canale Acque Basse e scatolare San Jacopo .....	7
3.2.5	Parcheggio e sottostazione elettrica Castagno .....	8
3.2.6	Viadotto Fosso Reale .....	9
3.2.7	Ponte Fosso Prunaia .....	10
3.2.8	Sottostazione elettrica Palagetta .....	11
<b>4</b>	<b>STRUMENTI URBANISTICI E PIANI VIGENTI.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI FIRENZE.....</b>	<b>12</b>
4.1.1	Pericolosità Sismica .....	12
<b>4.2</b>	<b>PIANO OPERATIVO DI FIRENZE (PO) .....</b>	<b>14</b>
4.2.1	Fattibilità Sismica .....	14
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1</b>	<b>ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO.....</b>	<b>17</b>
5.1.1	Sismicità storica ed effetti macrosismici documentati (dal 1000 al 2023) .....	17
5.1.2	Sismicità recente (dal 1985 a marzo 2024).....	27
<b>5.2</b>	<b>FAGLIE CAPACI .....</b>	<b>28</b>
<b>5.3</b>	<b>STRUTTURE SISMOGENETICHE .....</b>	<b>30</b>
<b>5.4</b>	<b>CLASSIFICAZIONE SISMICA TERRITORIALE (INGV).....</b>	<b>31</b>
<b>5.5</b>	<b>CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO.....</b>	<b>34</b>
<b>5.6</b>	<b>MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI FIRENZE .....</b>	<b>36</b>
5.6.1	Parcheggio e sottostazione elettrica Campania .....	36
5.6.2	Deposito San Donnino .....	39
<b>5.7</b>	<b>MICROZONAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA COMUNE DI CAMPI BISENZIO .....</b>	<b>41</b>
5.7.1	Ponte Fosso Macinante, scatolare Manderi, parcheggio e sottopasso Pistoiese .....	41
5.7.2	Ponte Collettore Acque Basse e scatolare San Jacopo.....	43
5.7.3	Sottostazione elettrica Castagno e parcheggio .....	44
5.7.4	Viadotto Fosso Reale .....	45
5.7.5	Ponte Fosso Prunaia .....	46
5.7.6	Sottostazione elettrica Palagetta .....	47
<b>6</b>	<b>LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....</b>	<b>48</b>
<b>6.1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>48</b>
<b>6.2</b>	<b>PARCHEGGIO SCAMBIATORE E SOTTOSTAZIONE ELETTRICA VIA CAMPANIA .....</b>	<b>48</b>
<b>6.3</b>	<b>AREA DEPOSITO SAN DONNINO .....</b>	<b>49</b>
<b>6.4</b>	<b>MURI VIA PISTOIESE .....</b>	<b>50</b>
<b>6.5</b>	<b>PONTE CANALE MACINANTE – SCOTOLARE SAN JACOPO .....</b>	<b>50</b>
<b>6.6</b>	<b>PONTE COLLETTORE ACQUE BASSE.....</b>	<b>51</b>
<b>6.7</b>	<b>SOTTOSTAZIONE ELETTRICA CASTAGNO .....</b>	<b>52</b>
<b>6.8</b>	<b>VIADOTTO FOSSE REALE .....</b>	<b>52</b>
<b>6.9</b>	<b>PONTE FOSSE PRUNAIA .....</b>	<b>53</b>
<b>6.10</b>	<b>SOTTOSTAZIONE ELETTRICA PALAGETTA.....</b>	<b>54</b>
	<b>ALLEGATO: ANALISI SISMICA LOCALE .....</b>	<b>55</b>
<b>A.</b>	<b>ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>56</b>
<b>A.1</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>56</b>

---

A.2	CARATTERIZZAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA .....	57
A.3	CURVE DI DECADIMENTO E DI SMORZAMENTO .....	60
A.4	INPUT SISMICI .....	63
A.5	SOFTWARE STRATA .....	64
A.6	RISULTATI .....	65
B.	CONCLUSIONI .....	67



## INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1 – Tragitto Linea 4 .....	3
Figura 3.2 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 275020).....	4
Figura 3.3 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	4
Figura 3.4 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 275020).....	5
Figura 3.5 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	5
Figura 3.6 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 275020).....	6
Figura 3.7 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	6
Figura 3.8 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 275020).....	7
Figura 3.9 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	7
Figura 3.10 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 263140).....	8
Figura 3.11 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	8
Figura 3.12 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 263140).....	9
Figura 3.13 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	9
Figura 3.14 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 263140).....	10
Figura 3.15 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	10
Figura 3.16 – Inquadramento geografico dell'area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 263140).....	11
Figura 3.17 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).....	11
Figura 4.1: Carta di pericolosità sismica con tracciato in blu (PS) .....	13
Figura 4.2: Carta di pericolosità e relativa legenda .....	15
Figura 5.1 – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2022 nel Comune di Campi Bisenzio .....	18
Figura 5.2 – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2022 nel Comune di Firenze.....	26
Figura 5.3 – Database ISIDE – Periodo 1985 – marzo 2023.....	27
Figura 5.4 – Database ISIDE: distribuzione terremoti periodo 1985-2023 (dettaglio area di intervento).....	27
Figura 5.5 – Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA".....	28
Figura 5.6 – Distribuzione sorgenti sismogenetiche individuali e composite, da DISS .....	30
Figura 5.7 – Classificazione Sismica al 31/03/2022 (Dipartimento di Protezione Civile) .....	32
Figura 5.8 – Classificazione Sismica della Regione Toscana .....	33
Figura 5.9 – quadrante sismico area d'interesse.....	35
Figura 5.10 – Carta delle MOPS, P.S di Firenze.....	36
Figura 5.11 – Inquadramento dell'area di studio all'interno della MS di 3° livello. ....	37
Figura 5.12 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale di Firenze (2014) .....	37
Figura 5.13 – Carta di pericolosità sismica, nuovo piano strutturale di Firenze .....	38
Figura 5.14 – Carta delle MOPS, P.S di Firenze.....	39
Figura 5.15 – Inquadramento dell'area di studio all'interno della MS di 3° livello. ....	39
Figura 5.16 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale di Firenze (2014) .....	40
Figura 5.17 – Carta di pericolosità sismica, nuovo piano strutturale di Firenze .....	40
Figura 5.18 – Carta delle Mops dal PFTE .....	41
Figura 5.19 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale Campi Bisenzio.....	42
Figura 5.20 – Carta delle Mops dal PFTE .....	43
Figura 5.21 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale Campi Bisenzio.....	43
Figura 5.22 – Carta delle Mops dal PFTE .....	44
Figura 5.23 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale Campi Bisenzio.....	44
Figura 5.24 – Carta delle Mops dal PFTE .....	45
Figura 5.25 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale di Campi Bisenzio.....	45
Figura 5.26 – Carta delle Mops dal PFTE .....	46
Figura 5.27 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale di Campi Bisenzio.....	46
Figura 5.28 – Carta delle Mops dal PFTE .....	47
Figura 5.29 – Carta di pericolosità sismica, piano strutturale di Campi Bisenzio.....	47

Figura 49 – Colonna stratigrafica risultante dal sondaggio S2 .....	56
Figura 50 – Profilo della velocità di propagazione delle onde di taglio ottenuto dalle precedenti considerazioni .....	58
Figura 51 - Curva di decadimento determinata per le unità B da regressione quantile 5% .....	60
Figura 52 - Curva di smorzamento determinata per le unità B da regressione quantile 5% .....	61
Figura 53 – Curva di decadimento utilizzata per le unità A e C (Rollins et al.,1998) .....	62
Figura 54 – Curva di smorzamento utilizzata per le unità A e C (Rollins et al.,1998) .....	62
Figura 55 – Funzione di amplificazione al variare della frequenza e del rapporto di smorzamento .....	66
Figura 56 – Funzione di trasferimento calcolata considerando la media dei 7 spettri .....	66

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – intensità macrosismiche dal 1000 al 2022 nel Comune di Campi Bisenzio .....	18
Tabella 2 – intensità macrosismiche dal 1000 al 2022 nel Comune di Firenze .....	26
Tabella 3 – Faglie capaci nel sito di intervento.....	29
Tabella 4 – Zone sismiche.....	31
Tabella 5 – Classificazione Sismica al 2014 (Fonte: Regione Toscana).....	33
Tabella 6 – Verifica a liquefazione parcheggio scambiatore e sottostazione elettrica via Campania .....	49
Tabella 7 – Verifica a liquefazione area deposito San Donnino .....	49
Tabella 8 – Verifica a liquefazione muri Via Pistoiese .....	50
Tabella 9 – Verifica a liquefazione ponte su canale Macinante .....	51
Tabella 10 – Verifica a liquefazione scatolare San Jacopo .....	51
Tabella 11 – Verifica a liquefazione ponte collettore Acque Basse.....	52
Tabella 12 – Verifica a liquefazione sse Castagno .....	52
Tabella 13 – Verifica a liquefazione viadotto Fosso Reale .....	53
Tabella 14 – Verifica a liquefazione ponte Fosso Prunaia .....	54
Tabella 15 – Verifica a liquefazione sse Palagetta.....	54
Tabella 16 – Principali unità presenti desunte dal sondaggio stratigrafico S2.....	56
Tabella 17 – Sottostrati definiti, con relative profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio.....	59
Tabella 18 – Tipologie di suolo e modelli utilizzati .....	63
Tabella 19 – Accelerogrammi selezionati .....	63
Tabella 20 – Frequenza di risonanza del deposito .....	66

## 1 INTRODUZIONE

---

Viene redatta la presente Relazione Tecnica per definire i caratteri sismici di alcuni interventi della Linea 4.2 della Tramvia che collegherà Firenze a Campi Bisenzio. Gli interventi sono riassumibili come segue:

- Realizzazione di 3 sottostazioni elettriche
- Realizzazione di tre ponti
- Realizzazione di tre parcheggi scambiatori, di cui uno nel comune di Firenze e due nel comune di Campi Bisenzio
- Realizzazione di una nuova area di deposito delle tramvie nel comune di Firenze
- Realizzazione di un Viadotto sul Fosso Reale
- Realizzazione di un sottopasso, tre scatolari e una serie di muri

Tale relazione viene presentata ad espletamento della normativa attualmente vigente per quanto riguarda la redazione di documentazione tecnico – scientifica di supporto alla progettazione edilizia (D.M. 17.01.2018 e sua Circolare Ministeriale Applicativa n.7/2019) e della normativa Regionale e comunale vigente per la stessa materia (L.R. 65/2014, DPGR n. 53/R del 07/05/2007, N.T.A. Comune di Firenze, N.T.A. Comune di Campi Bisenzio).

Lo studio ha il solo scopo di fornire un inquadramento generale da un punto di vista sismico delle aree d'intervento; pertanto, si basa esclusivamente sulla consultazione dello studio geologico di supporto ai P.S. comunali oltre che la bibliografia tecnico-scientifica disponibile per il sito in esame.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

---

Lo studio è stato realizzato nel rispetto e in ottemperanza alla normativa vigente, ed elencata di seguito:

- Legge 464/84. Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio geologico (Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT) della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale
- Ministero delle Infrastrutture e degli Interni (2018). NTC 2018: Norme Tecniche delle Costruzioni
- Ministero delle Infrastrutture e degli Interni (2019). Circolare n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2003). Ordinanza OPCM 3274/2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2006). Ordinanza OPCM 3519/2006: Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
- Presidenza della Repubblica (2001). DPR 380/2001: Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia
- Normativa dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Bacino del Fiume Arno: il DPCM 6.05.2005 di approvazione del Piano stralcio Assetto Idrogeologico (PAI); il DPCM 226/1999 Piano stralcio per la Riduzione del Rischio Idraulico; il Piano di Gestione delle Acque (PGA) del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale; il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale
- Legge Regione Toscana n. 41/18 – Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 e simili
- Legge Regione Toscana n. 65/14
- Regolamento regionale DPGR 1/R/22 e relative direttive tecniche
- Piano Strutturale Comune di Firenze
- Piano Operativo Comune di Firenze
- Piano Strutturale Comune di Campi Bisenzio
- Piano Operativo Comune di Campi Bisenzio
- Del. GRT n. 421 del 26/05/2014: classificazione sismica dei Comuni della Regione Toscana.

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

#### 3.1 INQUADRAMENTO GENERALE

La Linea 4.2 della Tramvia si sviluppa dall'area delle Piagge, nel comune di Firenze, a Piazza Aldo Moro, nel centro del comune di Campi Bisenzio, attraversando il Fosso Macinante, il Collettore Acque Basse, il Fosso Reale e il Fosso Prunaia. L'intero tragitto si sviluppa in area pianeggiante, entro una fascia altimetrica variabile tra +33.8 a +40.8 m s.l.m..

Di seguito si riportano gli inquadramenti cartografici per ogni area d'intervento.



FIGURA 3.1 – TRAGITTO LINEA 4



## 3.2 INQUADRAMENTO LOCALE

### 3.2.1 Parcheggio e sottostazione elettrica Campania

Il parcheggio e la sottostazione elettrica Campania saranno costruiti a ridosso di Via di San Donnino in località Le Piagge. Il lotto si trova in prossimità del Fiume Arno, ad una quota di circa +34.7 m s.l.m. ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 275020.

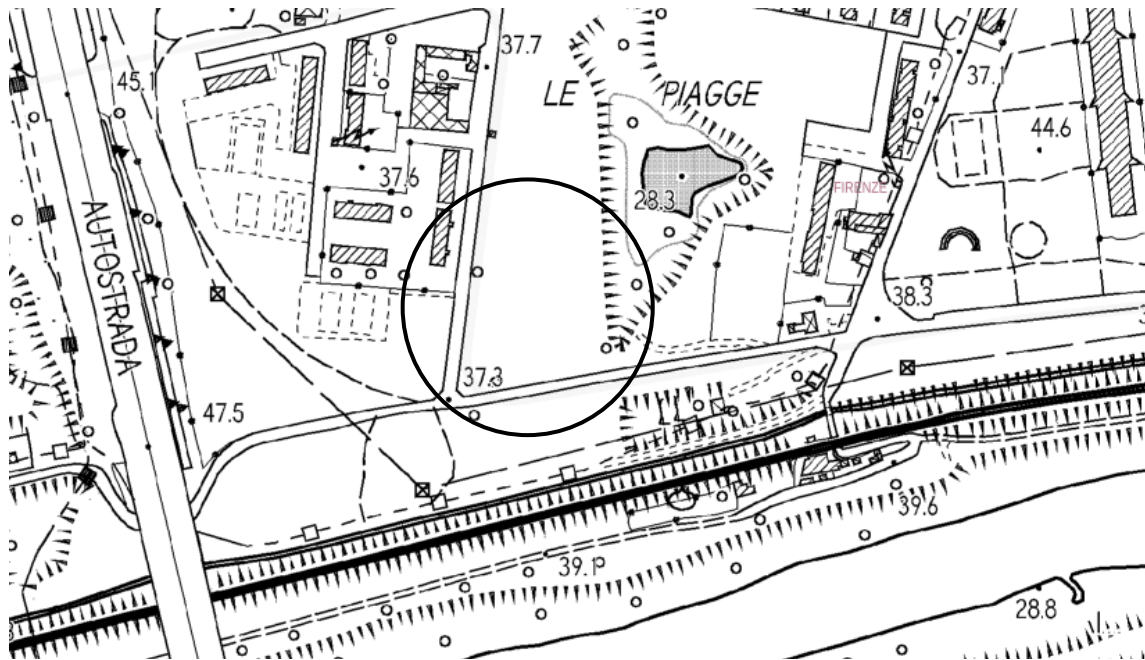


FIGURA 3.2 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 275020)



FIGURA 3.3 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)

### 3.2.2 Scatolare San Donnino e Deposito

Lo scatolare San Donnino e il deposito delle tramvie con relativi muri pertinenziali verranno realizzati a ridosso dell'autostrada A1, in località San Donnino, nel comune di Firenze. Il lotto si trova in destra idrografica del Fiume Arno, ad una quota altimetrica media di +36.8 m s.l.m. ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 275020.

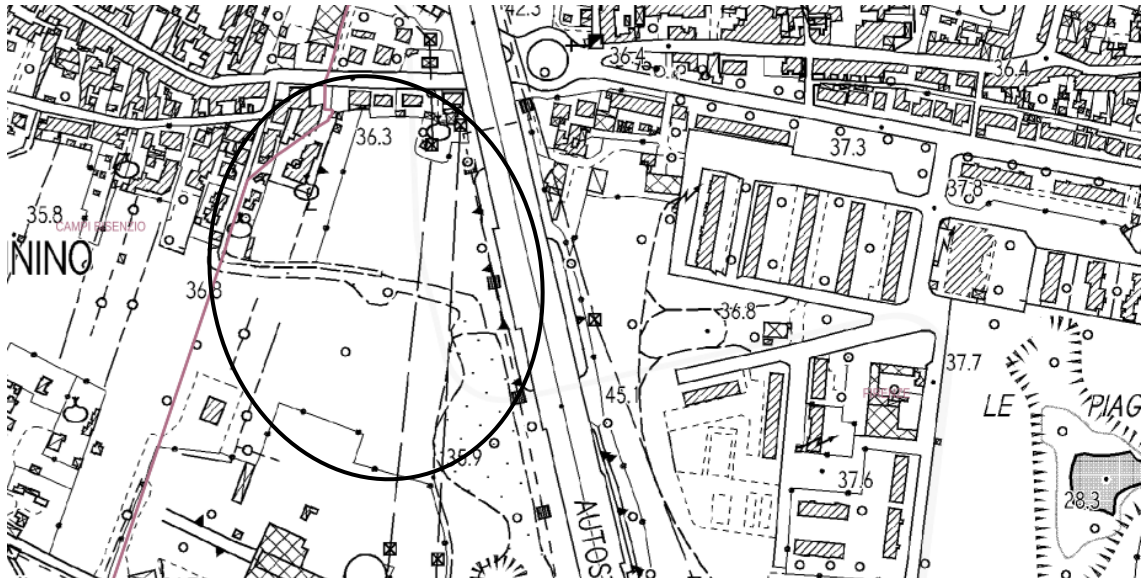


FIGURA 3.4 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 275020)



FIGURA 3.5 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)



### 3.2.3 Ponte Fosso Macinante

Il Ponte Fosso Macinante e le opere accessorie come lo scatolare Manderi, il parcheggio e il sottopasso Pistoiese, oltre una serie di muri, verranno realizzati in adiacenza alla SR66, all'interno del comune di Campi Bisenzio, tra il Fosso Macinante e Via dei Manderi. Il lotto si trova in destra idrografica del Fiume Arno, a Nord dell'abitato di San Donnino, alla quota altimetrica media di +35.0 m s.l.m. ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 275020.

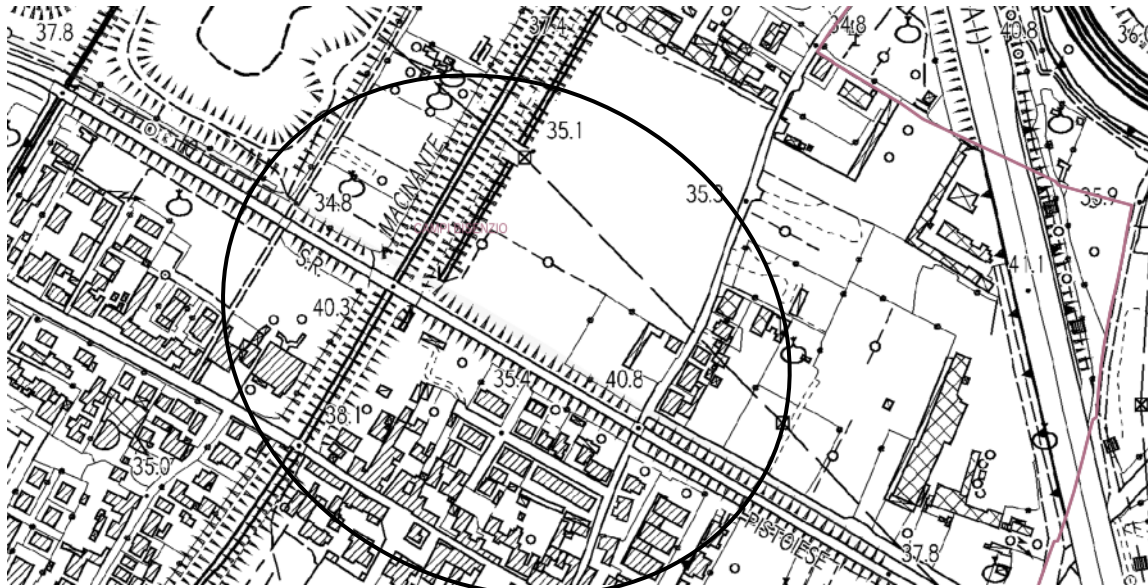


FIGURA 3.6 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 275020)



FIGURA 3.7 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)



### 3.2.4 Ponte Canale Acque Basse e scatolare San Jacopo

L'area del ponte su Collettore Acque Basse e scatolare San Jacopo e verranno realizzati in adiacenza alla SR66, tra il Fosso Macinante e il Collettore Acque Basse, nel comune di Campi Bisenzio. Il lotto si trova in destra idrografica del Fiume Arno, a Nord dell'abitato di San Donnino, ad una quota altimetrica media di +34.6 m s.l.m., ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 275020.



FIGURA 3.8 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 275020)



FIGURA 3.9 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)



### 3.2.5 Parcheggio e sottostazione elettrica Castagno

L'area del parcheggio e la sottostazione elettrica Castagno verranno realizzati nei pressi della rotonda di Via Pistoiese e del SR66, nel comune di Campi Bisenzio. Il lotto si trova in destra idrografica del Fiume Arno, ad una quota media di 37.7 m s.l.m., ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 263140.

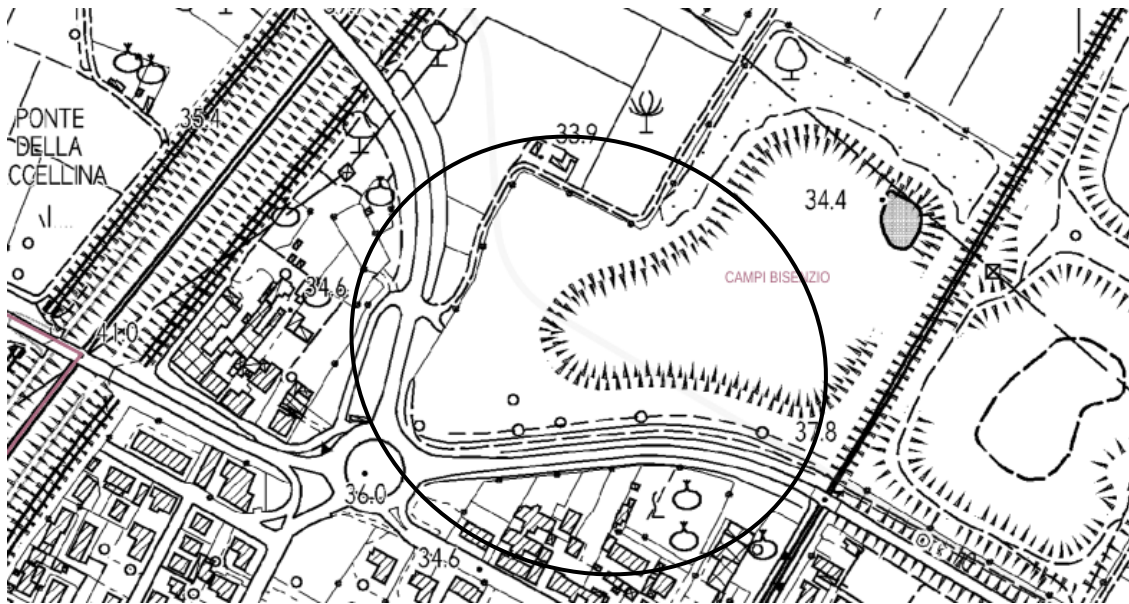


FIGURA 3.10 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 263140)



FIGURA 3.11 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)



### 3.2.6 Viadotto Fosso Reale

L'area del Viadotto su Fosso Reale oltre ad alcune strutture pertinenziali si trova in Via Libero Roti, nel comune di Campi Bisenzio.

Il lotto si trova in destra idrografica del Fiume Arno, ad una quota altimetrica media di +33.0 m s.l.m., ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 263140.



FIGURA 3.12 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 263140)



FIGURA 3.13 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)

### 3.2.7 Ponte Fosso Prunaia

Il ponte sul Fosso Prunaia verrà realizzato in località San Cresci, nei pressi di Via Libero Roti, nel comune di Campi Bisenzio.

Il lotto si trova in destra idrografica del Fiume Arno, ad una quota di circa +34.5 m s.l.m., ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 275020.

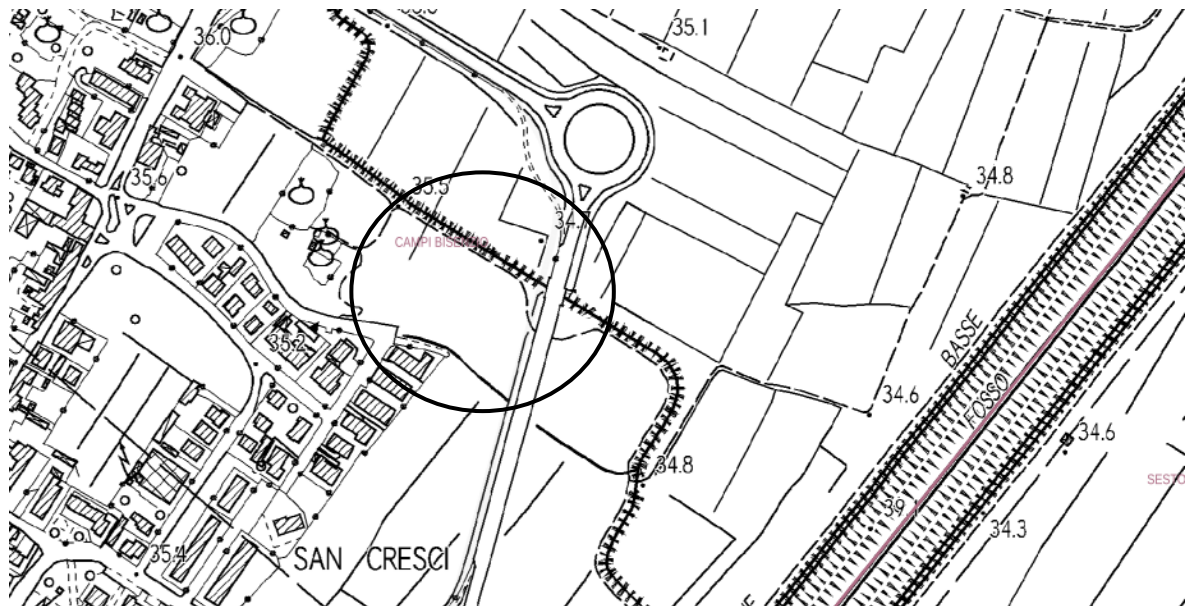


FIGURA 3.14 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 263140)



FIGURA 3.15 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)



### 3.2.8 Sottostazione elettrica Palagetta

La sottostazione elettrica Palagetta verrà realizzata in località Madonna della Neve, nei pressi di Via Palagetta, nel comune di Campi Bisenzio.

Il lotto si trova in destra idrografica del Fiume Arno, ad una quota di circa +36.0 m s.l.m., ed è individuato nella carta tecnica CTR in scala 1: 10.000 della Regione Toscana e ricade all'interno della sezione 263140.

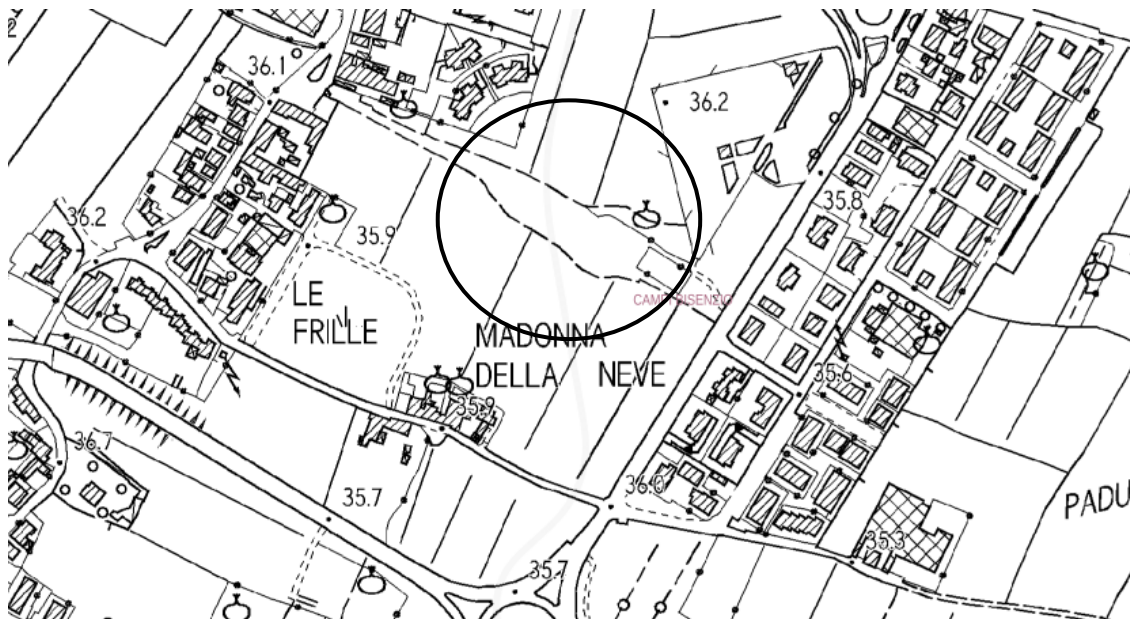


FIGURA 3.16 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA (CTR REGIONE TOSCANA 1:10.000 – FOGLIO 263140)



FIGURA 3.17 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA GOOGLE MAPS)

## 4 STRUMENTI URBANISTICI E PIANI VIGENTI

Il presente paragrafo riprende quanto già riportato all'interno dell'Allegato 13.4 del presente progetto.

Per la verifica della conformità della proposta progettuale con le previsioni in materia urbanistica e geologico/ambientale coerenti all'intervento, che corrisponde a quello che nella legislazione nazionale viene definito "Quadro di riferimento Programmatico" è possibile fare riferimento agli elaborati progettuali di riferimento, dove si procede all'analisi della coerenza con la cartografia allegata ai seguenti piani:

- PS – Piano Strutturale comunale Firenze
- PO – Piano Operativo comunale Firenze

### 4.1 PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI FIRENZE

In data 05.04.2023 è stato pubblicato sul BURT n. 14, parte II, l'avviso relativo all'avvenuta adozione del **Piano Strutturale** e del **Piano Operativo**, con quest'ultimo che va a sostituire il precedente Regolamento Urbanistico.

La diversa impostazione della disciplina attuale sta nell'aver diviso il processo di pianificazione in due parti: una parte strutturale e strategica, che attiene alle grandi scelte territoriali di lungo periodo, e una parte operativa, alla quale spetta la traduzione delle scelte strategiche in interventi localizzati e ordinari.

Il Piano Strutturale ed il Piano Operativo costituiscono la nuova forma di piano:

- il Piano Strutturale, non conformativo della proprietà privata, di durata indeterminata, compie scelte strategiche di assetto e sviluppo del territorio;
- il Piano Operativo Comunale, conformativo della proprietà privata è costituito da due parti: una di durata limitata (5 anni), relativa alle aree oggetto di trasformazione (piani attuativi e aree da espropriare); l'altra di durata indeterminata che gestisce la disciplina ordinaria degli interventi sul territorio.

Nel seguente paragrafo sarà preso in esame la sola cartografia riguardante la pericolosità sismica, tematica importante allegata al PS.

#### 4.1.1 Pericolosità Sismica

Nell'ambito delle definizioni delle classi di pericolosità sono specificate le condizioni e le limitazioni che il Piano Operativo, attraverso la definizione di fattibilità, prescrive per ogni previsione di intervento.

Sono sempre consentiti, nel rispetto della normativa per la progettazione edilizia antisismica, la messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente all'adeguamento igienico sanitario, di sicurezza ed igiene sul lavoro, al superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di ripristino di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici.

Sono inoltre consentiti, alle medesime condizioni di cui sopra, gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e risanamento conservativo.

Per i casi in cui tali interventi siano associati al mutamento della destinazione d'uso a residenziale o ad altre destinazioni con elevata vulnerabilità (es. attività sanitarie, di formazione, di esposizione di beni artistici o culturali, ecc.) il Piano Operativo indica le condizioni di fattibilità, in relazione alla classe di pericolosità dell'area.



STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica



FIGURA 4.1: CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA CON TRACCIATO IN BLU (PS)

L'area studio si colloca in zona a pericolosità sismica elevata S3g. Nelle aree classificate S3 il Piano Operativo in accordo con il DPGR 5/R/2020 definisce le classi di fattibilità relative, prevedendo che in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento e dei piani attuativi, o in caso di intervento diretto, in sede di predisposizione dei progetti edilizi, nelle situazioni ricadenti nelle zone con "simbologia" 2a, 2b, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, siano eseguite indagini geofisiche e geotecniche di dettaglio per la puntuale definizione dell'azione sismica e conseguentemente dei suoi effetti sulle strutture.

Nelle aree classificate in S.3 un maggior dettaglio del valore del fattore di amplificazione sismico calcolato ( $F_a$ ) si trova nella relativa cartografia della microzonazione sismica alla tavola "Carta dei fattori di amplificazione dei terreni basata su Analisi Sismica Monodimensionale" allegata al Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale. Il valore di  $F_a$  è comunque da considerarsi come indicativo e non come valore di sito assegnato.



## 4.2 PIANO OPERATIVO DI FIRENZE (PO)

Il Piano Operativo, che sostituisce nominalmente il Regolamento Urbanistico mantenendo invariato il proprio ruolo, è costituito da due parti:

- una di durata indeterminata che gestisce la disciplina ordinaria degli interventi sul territorio;
- una di durata limitata (5 anni), relativa alle aree oggetto di trasformazione (Piani attuativi e aree da espropriare)

Al titolo 2 delle norme tecniche di attuazione del piano operativo del comune di Firenze, vengono definiti i principi e le disposizioni generali di carattere ambientale per la mitigazione dei rischi territoriali.

Al punto 3 dell'articolo 82 – “disposizioni generali” vengono definiti i criteri di fattibilità in relazione agli aspetti geologici, al rischio alluvioni e in relazione agli aspetti sismici.

### 4.2.1 Fattibilità Sismica

I criteri di fattibilità derivano da quanto prescritto nel paragrafo 3.6 dell'allegato A del DPGR 5/R/2020 – “Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche”. Questo documento mette in relazione tali criteri con gli aspetti sismici sulla base della pericolosità sismica fornita dal Piano Strutturale, integrando così anche gli studi di Microzonazione Sismica effettuata dall'università di Firenze che hanno portato alla mappatura del fattore di amplificazione su tutto il territorio comunale. L'area di trasformazione ATs 9.12, quella relativa al lotto 4.2 della tranvia di Firenze, definisce una pericolosità S3g | Pericolosità Elevata. Per tali zone, secondo il DPGR 5/R/2020, devono essere approfonditi alcuni aspetti fondamentali:

- per i terreni potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica devono essere effettuati indagini geognostiche e verifiche geotecniche per il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni e della distribuzione areale dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI), così come indicato nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione” – LIQ, approvate con la deliberazione della Giunta regionale 23 febbraio 2015, n.144 (Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione sismica). Tali valutazioni sono finalizzate alla individuazione della “zona di suscettibilità a liquefazione - ZSLQ” e della “zona di rispetto a liquefazione - ZRLQ”;
- Nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti, saranno effettuate adeguate indagini geognostiche e verifiche geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti;
- In presenza di zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse, sarà effettuata una campagna di indagini geofisiche di superficie che definisca geometrie e velocità sismiche dei litotipi, posti a contatto, al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica. È opportuno che tale ricostruzione sia tarata mediante indagini geognostiche;
- Nelle zone stabili suscettibili di amplificazione locale, caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido o entro le coperture stesse entro alcune decine di metri, saranno raccolti i dati bibliografici oppure sarà effettuata una specifica campagna di indagini geofisiche (quali, ad esempio, profili sismici a riflessione o rifrazione, prove sismiche in foro e, ove risultino significative, profili MASW) e geognostiche (quali, ad esempio, pozzi o sondaggi, preferibilmente a carotaggio continuo) che definiscano spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti per valutare l'entità del (o dei) contrasti di rigidità sismica tra coperture e bedrock sismico o entro le coperture stesse. Nelle zone di bordo della valle è preferibile l'utilizzo di prove geofisiche di superficie capaci di effettuare una ricostruzione bidimensionale del sottosuolo, quale quella sismica a rifrazione o riflessione.
- Nel caso di zone di instabilità di versante quiescente e relativa zona di evoluzione saranno realizzati studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche, secondo quanto definito al paragrafo 3.1.1 del DPGR 5/R/2020, tenendo conto anche dell'azione sismica e in coerenza con quanto indicato nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismo-indotte”,

emanate dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica e recepite all'interno delle specifiche tecniche regionali di cui all'o.d.p.c.m. 3907/2010.

Inoltre, risulta necessario seguire alcuni criteri per le zone di pericolosità S3:

- Per le aree individuate come zone di suscettibilità a liquefazione (ZSLQ) e di rispetto a liquefazione (ZRLQ), la fattibilità degli interventi di nuova edificazione è subordinata all'esito delle verifiche delle condizioni di liquefazione dei terreni e, in funzione di tale analisi, alla realizzazione di interventi di riduzione della pericolosità sismica dei terreni (in conformità a NTC2018, punto 7.11.3.4);
- per le aree individuate come zone di suscettibilità a liquefazione (ZSLQ) e di rispetto a liquefazione (ZRLQ), la fattibilità degli interventi di nuova edificazione è subordinata all'esito delle verifiche delle condizioni di liquefazione dei terreni e, in funzione di tale analisi, alla realizzazione di interventi di riduzione della pericolosità sismica dei terreni (in conformità a NTC2018, punto 7.11.3.4);
- la fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente, fatti salvi quelli che non incidono sulle parti strutturali degli edifici e fatti salvi gli interventi di riparazione o locali (NTC18, punto 8.4.3), è subordinata all'esecuzione di interventi di miglioramento o adeguamento sismico (in coerenza con le NTC 2018, punto 8.4). Limitatamente alle aree di suscettibilità (ZSLQ) e rispetto alla liquefazione (ZRLQ), oltre agli interventi di miglioramento o adeguamento, la fattibilità è subordinata, in funzione dell'esito delle verifiche, anche ad interventi di riduzione della pericolosità (in conformità a NTC 2018, punto 7.11.3.4).

La relazione "Studi di Microzonazione sismica del territorio comunale di Firenze" del piano strutturale, al paragrafo 7.1, cita testualmente: "In relazione agli aspetti geologico-tecnici, si precisa che in base all'analisi dei vari sondaggi e prove di laboratorio disponibili per l'area fiorentina non è mai emersa la presenza di corpi di sabbie monogranulari sature e di spessore significativo e quindi potenzialmente soggette a liquefazione in caso di evento sismico". Questo suggerisce la non obbligatorietà di ulteriori indagini volte al calcolo dell'indice del Potenziale di Liquefazione (LPI), essendo in tal senso tale verifica già soddisfatta.



FIGURA 4.2: CARTA DI PERICOLOSITÀ E RELATIVA LEGENDA

In relazione alle conoscenze sulle caratteristiche sismiche del sottosuolo del territorio comunale, oltre a fare obbligatoriamente riferimento alle relative cartografie di cui al PS ed al PO, ed alle relative normative di carattere nazionale e regionale, le condizioni di amplificazione sismica locale per effetti stratigrafici a cui fare riferimento, sono dettate nella Carta del fattore di amplificazione sismica locale. In particolare si prescrive che, relativamente alla scelta del coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) da utilizzare per la ricostruzione degli spettri di risposta elastici e di progetto (di cui al par. 3.2.3.2.1 e 7.11.3.2 delle NTC2018 - Norme tecniche per le costruzioni) si deve fare riferimento al più cautelativo tra il valore del fattore di amplificazione sismica di cui alla suddetta cartografia (prendendone come riferimento il valore più alto in cui

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione Sismica*

ricade l'area di intervento o porzione di essa) e il valore di  $S_s$  derivante da indagini sismiche specifiche (da realizzarsi sulla base delle normative nazionali o regionali) condotte sull'area di intervento e volte alla definizione della categoria sismica di sottosuolo. Nel caso in cui il progettista decida di derogare da tale prescrizione deve effettuare analisi di risposta sismica locale, le quali dovranno essere realizzate, oltreché sulla base di quanto ritenuto necessario al fine dell'ottimale modellazione sismica del sottosuolo, effettuando prove sismiche passive e per lo meno un sondaggio a carotaggio continuo con prova down-hole. Il sondaggio deve essere di profondità non inferiore a 30 m, e comunque spinto fino al raggiungimento del substrato sismico se presente entro i 60 m.

Per costruzioni o interventi di modesta rilevanza, così come definiti da normative nazionali o regionali (classe di indagine 1 di cui all' Allegato 1 – art.5 Regolamento 1R/2022) è altresì consentito di fare riferimento esclusivamente al fattore di amplificazione sismica di cui alla Carta del fattore di amplificazione sismico locale.

L'area studio si colloca in zona a fattibilità sismica condizionata FS.3 ove sono consentiti gli interventi di ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione, ristrutturazione urbanistica, nuova edificazione o realizzazione di nuove infrastrutture, condizionati all'esecuzione di studi geofisici e geognostici di dettaglio funzionali alla determinazione dell'azione sismica di progetto, facendo riferimento anche alle norme comuni. Per la realizzazione di nuove strutture ad elevata vulnerabilità o classe di esposizione (per es. depositi o esposizioni di beni artistici e culturali, depositi di sostanze pericolose o inquinanti, edifici, strutture ed impianti strategici per la protezione civile, opere ricadenti in classe di indagine 4 di cui all' Allegato 1 – art.5 Regolamento 1R/2022e s.m.i.) deve essere considerato anche il periodo di oscillazione del terreno in relazione a quello delle opere da realizzare.

Sono consentiti senza specifici condizionamenti gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e risanamento conservativo, nonché tutti gli interventi manutentivi necessari a garantire il corretto funzionamento delle reti dei servizi pubblici e privati.

## 5 CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA

### 5.1 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

#### 5.1.1 Sismicità storica ed effetti macrosismici documentati (dal 1000 al 2023)

Con riferimento all'analisi della sismicità storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel DBMI15 (INGV, 2022). La versione 4.0 del Database Macrosismico Italiano DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente versione 3.0 (Locati et al. 2021) che venne pubblicata a gennaio 2021. Le variazioni tra la versione 3.0 e la 4.0 consiste nell'allungamento della copertura temporale dalla fine del 2019 alla fine del 2020.

DBMI v4.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2020. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

In particolare, sono stati estratti i dati disponibili per il comune di Firenze e Campi Bisenzio, dove sono localizzate le aree di studio.

Nella tabella seguente viene riportato l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3, i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento.

Campi Bisenzio	
PlaceID	IT_44753
Coordinates (lat, lon)	43.820, 11.138
Municipality (ISTAT 2015)	Campi Bisenzio
Province	Firenze
Region	Toscana
No. of reported earthquakes	17

Int. at place	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral Area	Lat	Long	Dep Def	Io Def	Mw Def
4-5	1887	11	14	5	48	5	Fiorentino	43.749	11.219		6	4.47
6	1895	5	18	19	55	12	Fiorentino	43.703	11.264		8	5.5
NF	1897	7	27	9	2	14	Valdarno inferiore	43.636	10.655		5-6	4.27
5	1899	6	26	23	17	22	Valle del Bisenzio	43.958	11.117		7	5.02
NF	1899	7	8	22	56	55	Bagno di Romagna	44.01	11.822		4	4.02

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

NF	1903	7	27	3	46		Lunigiana	44.329	9.953		7-8	5.19
5	1904	11	17	5	2		Pistoiese	43.965	10.821		7	5.1
NF	1906	4	21	6	35		Valdelsa	43.446	11.137		5-6	4.3
NF	1907	12	20	10	29	15	Chianti	43.486	11.374		6	4.44
4	1909	1	13	0	45		Emilia Romagna orientale	44.579	11.688		6-7	5.36
NF	1909	8	25	0	22		Crete Senesi	43.15	11.403		7-8	5.34
NF	1913	2	13	16	39		Corno alle Scale	44.13	10.805		5	4.18
5	1914	10	27	9	22		Lucchesia	43.912	10.598		7	5.63
6	1919	6	29	15	6	13	Mugello	43.957	11.482		10	6.38
5	1920	9	7	5	55	40	Garfagnana	44.185	10.278		10	6.53
3	1939	2	11	11	17		Mugello	44.002	11.431		7	5.01
2-3	1995	10	10	6	54	21.72	Lunigiana	44.109	9.997	4.8	7	4.82

TABELLA 1 – INTENSITÀ MACROSISMICHE DAL 1000 AL 2022 NEL COMUNE DI CAMPI BISENZIO

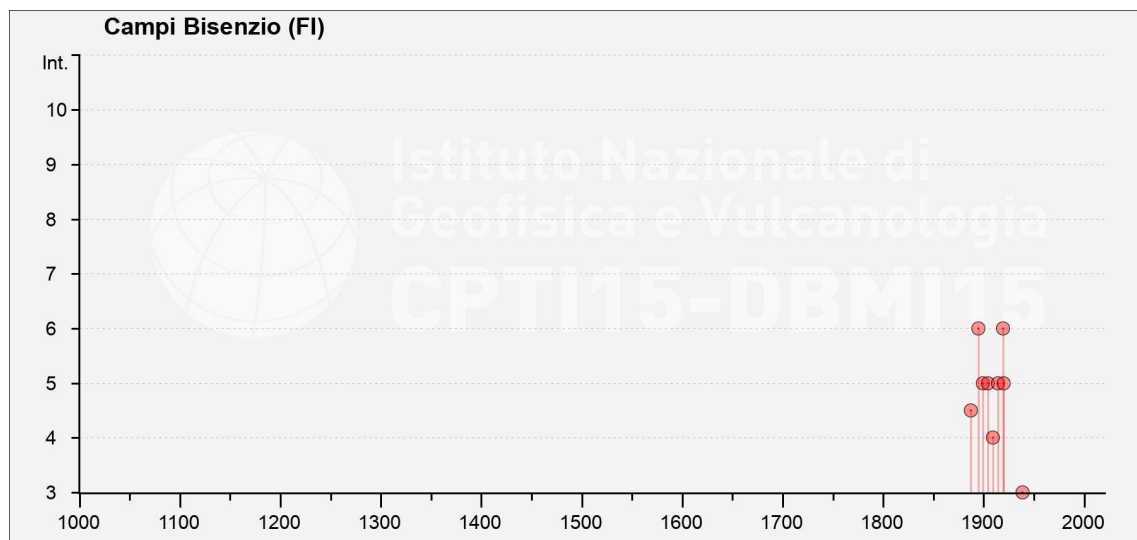


FIGURA 5.1 – INTENSITÀ MACROSISMICHE DAL 1000 AL 2022 NEL COMUNE DI CAMPI BISENZIO

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Campi Bisenzio sono pari a IS=6 per un evento del 1895 e un evento del 1919.

TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

Firenze	
PlaceID	IT_45020
Coordinates (lat, lon)	43.773, 11.257
Municipality (ISTAT 2015)	Firenze
Province	Firenze
Region	Toscana
No. of reported earthquakes	234

Int. at place	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral Area	Lat	Long	Dep Def	Io Def	Mw Def
7	1148						Firenze	43.773	11.257		7	5.1
5-6	1325	5	21				Firenze	43.773	11.257		5-6	4.4
6	1345	9	12				Firenze	43.773	11.257		6	4.63
6	1345	12	22				Firenze	43.773	11.257		6	4.63
5	1384	2	4	5	5		Firenze	43.773	11.257		5	4.16
5	1384	2	4	17	10		Firenze	43.773	11.257		5	4.16
6-7	1399	7	20	23			Appennino modenese	44.441	10.925		7	5.1
7	1414	8	7				Colline Metallifere	43.27	11.121		7-8	5.7
5-6	1426						Firenze	43.773	11.257		5-6	4.4
4	1433	5	4	8	5		Bologna	44.494	11.343		6	4.63
7	1453	9	28	22	45		Fiorentino	43.783	11.287		7-8	5.38
5	1469	4	7	6	25		Firenze	43.773	11.257		5	4.16
3-4	1481	2	6	21	15		Monti Pisani	43.781	10.454		5-6	4.4
3-4	1483	8	11	19	40		Romagna	44.155	12.229		8	5.69
NF	1504	11	1				Casentino	43.697	11.816		7	5.1
3	1504	12	31	4			Bolognese	44.494	11.343		6	5.02
3	1505	1	3	2			Bolognese	44.507	11.23		8	5.62
5	1536	8	17	0	5		Appennino settentrionale	44.365	10.934		6-7	5.12
6	1542	6	13	2	15		Mugello	44.006	11.385		9	6.02
5-6	1551	9	26	16	30		Firenze	43.773	11.257		5-6	4.4
6-7	1554	11	27	18	30		Firenze	43.773	11.257		6-7	4.86
5	1558	4	13	9			Valdarno superiore	43.456	11.564		9	5.97
G	1570	11	17	19	10		Ferrarese	44.824	11.632		7-8	5.44
4	1584	9	10	20	30		Appennino forlivese	43.862	11.992		9	5.97
4	1597	8	3	23	40		Mugello	43.987	11.429		7-8	5.28

TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

6	1600	7	6				Firenze	43.773	11.257		6	4.63
4-5	1611	9	8	22	10		Mugello	44.01	11.359		7	5.1
5-6	1661	3	22	12	50		Appennino forlivese	44.021	11.898		9	6.05
3	1688	4	11	12	20		Romagna	44.39	11.942		8-9	5.84
4-5	1697	6	18				Val di Pesa	43.67	11.09		5-6	4.4
NF	1697	9	20	15	50		Siena	43.318	11.332		5-6	4.4
NF	1697	9	20	16	50		Siena	43.318	11.332		6-7	4.86
NF	1697	9	30	12	15		Siena	43.318	11.332		6-7	4.86
NF	1697	10	1				Siena	43.318	11.332		6	4.63
NF	1697	10	28	1			Siena	43.318	11.332		6	4.63
NF	1697	12	20	19	45		Siena	43.318	11.332		6	4.63
F	1703	1	14	18			Valnerina	42.708	13.071		11	6.92
4	1725	4	17	13			Appennino umbro- marchigiano	43.564	12.487		5-6	4.8
3	1725	10	29	17	40		Appennino tosc- emiliano	44.207	11.573		8	5.67
3	1726	4	19	22			Crete Senesi	43.242	11.51		7-8	5.33
4	1727	3	9	11			Mugello	44.057	11.367		6-7	4.93
6	1729	6	23				Casentino	43.773	11.486		6	4.63
3	1731	12	9				Appennino pistoiese	43.933	10.915		4	3.7
4-5	1737	6	11	0	30		Val di Pesa	43.563	11.166		5	4.16
3	1739	7	16	5			Mugello					
5	1740	3	6	5	40		Garfagnana	44.074	10.489		8	5.64
4	1741	4	24	9	20		Fabrianese	43.425	13.005		9	6.17
3-4	1742	1	27	11	20		Livornese	43.551	10.309		6	4.87
F	1751	7	27	1			Appennino umbro- marchigiano	43.225	12.739		10	6.38
3	1761	6	10	0	10		Appennino forlivese	43.946	11.909		4	3.7
4	1761	6	20	22			Appennino forlivese	43.834	11.96		6	4.63
3	1762	4	15	18			Mugello	44.004	11.506		7	5.14
3	1767	1	21	7	45		Lunigiana	44.138	10.133		7	5.27
3	1767	1	21	9			Lunigiana	44.238	10.124		5-6	4.6
4-5	1768	10	19	23			Appennino forlivese	43.943	11.904		9	5.99
4	1768	11	30	11	30		Valdelsa	43.565	10.946		5	4.16



TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

6	1770	12	27	4			Valdarno superiore	43.701	11.409		6-7	4.86
5	1771	7	27	22	45		Mugello	43.946	11.318		5	4.16
3	1771	7	27	23			Mugello	44.119	11.379		5	4.16
3	1775	1	4	18			Appennino emiliano	44.647	10.926		4	4.43
3	1775	1	5	22	45		Appennino emiliano	44.238	10.124		5	4.55
F	1779	12	24	17			Appennino pistoiese	44.061	10.86		5-6	4.59
3	1781	1	3	2	30		Crete Senesi	43.171	11.537		7-8	5.19
3	1781	4	4	21	20		Faentino	44.251	11.798		9-10	6.12
3-4	1781	6	3				Cagliese	43.596	12.512		10	6.51
4-5	1781	7	17	9	40		Faentino	44.268	11.987		8	5.61
3	1783	6	29				Casentino	43.774	11.716		5-6	4.4
3	1786	12	25	1			Riminese	43.991	12.565		8	5.66
3	1787	12	26				Casentino	43.723	11.767		5-6	4.4
4	1789	9	30	10			Alta Valtiberina	43.51	12.217		9	5.89
4-5	1796	2	5	2			Aretino	43.534	11.873		7	4.96
4	1798	5	26				Senese	43.343	11.417		6-7	4.85
F	1810	12	25	0	45		Pianura emiliana	44.9	10.719		6	5.06
4-5	1812	9	11	12			Val di Pesa	43.659	11.14		7-8	5.24
F	1813	9	21	7	45		Romagna	44.25	11.97		7	5.28
F	1828	4	11	22	25		Appennino umbro-marchigiano	43.326	12.41		5-6	4.93
2-3	1828	10	9	2	20		Oltrepò Pavese	44.821	9.047		8	5.72
F	1832	1	13	13			Valle Umbra	42.98	12.605		10	6.43
4-5	1835	2	6	18	50		Mugello	43.962	11.416		6	4.63
3	1837	4	11	17			Lunigiana	44.175	10.182		9	5.94
3-4	1843	10	25	3	30		Mugello	44.003	11.261		6-7	5.03
3	1845	9	14	22	20		Appennino tosco-emiliano	43.843	10.505		5	4.73
4	1846	8	14	12			Colline Pisane	43.47	10.562		9	6.04
3	1849	1	6	2	40		Romagna Toscana	44.096	11.414		5-6	4.4
F	1854	6	16	13	25		Imola	44.353	11.714		5	4.57
NF	1857	2	1				Parmense-Reggiano	44.749	10.48		6-7	5.11
3-4	1864	3	15				Zocca	44.337	11.059		6-7	4.84
F	1864	12	11	17	40		Mugello	44.042	11.282		7	5.11



TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

3	1869	2	7				Senese	43.342	11.35		6-7	4.81
2-3	1869	2	7	4	52		Senese	43.336	11.333		5-6	4.4
4-5	1869	6	25	13	58		Appennino bolognese	44.314	11.116		7-8	5.43
3	1869	9	26	20	45		Valdelsa	43.453	11.105		6-7	4.98
3	1870	10	30	18	34		Forlivese	44.133	12.062		8	5.61
3	1871	1	22	21	30		Pianura romagnola	44.218	12.075		6	4.95
4	1871	7	29	20	45		Val di Cecina	43.301	10.619		7-8	5.15
6	1873	3	12	20	4		Appennino marchigiano	43.089	13.244		8	5.85
3	1873	6	29	3	58		Alpago Cansiglio	46.159	12.383		9-10	6.29
3-4	1873	9	17				Appennino tosco-ligure	44.234	9.862		6-7	5.26
3	1874	10	7				Imolese	44.168	11.589		7	4.96
4	1875	3	17	23	51		Costa romagnola	44.209	12.659		8	5.74
4	1877	3	3	2	9		Chianti					
2	1878	3	12	21	36		Bolognese	44.424	11.543		6	4.84
F	1878	6	4	14	40		Bolognese	44.276	11.38		5	4.52
4	1878	11	9	17	48	50	Tossignano	44.226	11.491		5	4.53
4-5	1879	4	27	4	6		Appennino tosco-emiliano	44.168	11.587		7	5.03
3	1881	1	24	16	14		Bolognese	44.401	11.349		7	5.22
2	1881	1	25	7	6		Bolognese	44.411	11.459		5	4.59
3	1881	2	2				Russi	44.371	12.033		5-6	4.69
3	1881	2	14	9	0	30	Appennino bolognese	44.405	11.484		6	4.77
3	1881	9	28				Cesena	44.142	12.189		6-7	4.71
3	1885	2	26	20	48		Pianura Padana	45.209	10.169		6	5.01
3	1887	2	23	5	21	50	Liguria occidentale	43.891	7.992		9	6.27
5	1887	11	14	5	48	5	Fiorentino	43.749	11.219		6	4.47
3	1889	3	8	2	57	4	Bolognese	44.355	11.314		5	4.53
2-3	1889	12	8				Gargano	41.83	15.688		7	5.47
4-5	1890	2	15	2	35	8	Valdelsa	43.589	11.169		5	4.52
NF	1890	5	4	12	9		Valdelsa	43.542	11.172		5	4.16
4	1891	6	7	1	6	14	Valle d'Ilasi	45.564	11.165		8-9	5.87
NF	1891	8	1	13	32	22	Lugo	44.353	11.896		4-5	4.36
NF	1891	12	8				Alta Valtiberina	43.391	12.147		5	4.34
2	1892	11	21				Alta Valtiberina	43.48	12.273		5-6	4.25

TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

NF	1892	12	29	13	47	48	Castel del Rio	44.127	11.502		5-6	4.37
NF	1894	11	27	5	7		Bresciano	45.563	10.123		6	4.89
7	1895	5	18	19	55	12	Fiorentino	43.703	11.264		8	5.5
2	1895	5	20	15	32	57	Valle Umbra	42.655	12.637		5-6	4.49
5	1895	6	6	0	35	5	Fiorentino	43.762	11.241		5-6	4.55
4	1895	8	7	19	49	32	Appennino tosc-emiliano	43.967	10.818		5	4.67
2	1895	8	9	17	38	20	Adriatico centrale	42.54	15.015		6	5.11
3-4	1895	10	25	0	24	58	Chianti	43.529	11.214		5-6	4.51
2	1896	10	16				Liguria occidentale	43.77	8.735		6	4.91
NF	1896	12	8	17	6	45	Sestola	44.202	10.817		5	4.33
4	1897	9	6	3	10	44	Valdarno inferiore	43.79	10.667		5-6	4.59
3	1897	12	18	7	24	20	Alta Valtiberina	43.498	12.382		7	5.09
2	1898	1	16	13	10		Romagna settentrionale	44.657	11.821		6	4.59
4	1898	3	4	21	5		Parmense	44.655	10.26		7-8	5.37
2	1898	3	9	11	43		Romagna settentrionale	44.657	11.821		6	4.59
4-5	1899	6	26	23	17	22	Valle del Bisenzio	43.958	11.117		7	5.02
2	1899	7	8	22	56	55	Bagno di Romagna	44.01	11.822		4	4.02
2	1900	8	28	16	38		Chianti	43.469	11.287		4	3.7
NF	1901	1	23	0	17	10	Oltrepò Pavese	45.034	8.998		5	4.23
2	1902	3	5	7	6		Garfagnana	44.093	10.463		7	4.98
2-3	1902	6	27	16	48		Casentino	43.643	11.832		6	4.46
F	1902	12	4	16	35	1	Lunigiana	44.121	10.128		5	4.35
2	1903	7	27	3	46		Lunigiana	44.329	9.953		7-8	5.19
3	1904	2	25	18	47	50	Reggiano	44.49	10.64		6	4.81
3-4	1904	6	10	11	15	28	Frignano	44.2	10.842		6	4.82
5	1904	11	17	5	2		Pistoiese	43.965	10.821		7	5.1
F	1905	2	12	8	28		Monte Amiata	42.862	11.558		6	4.55
3-4	1907	12	20	10	29	15	Chianti	43.486	11.374		6	4.44
5	1909	1	13	0	45		Emilia-Romagna orientale	44.579	11.688		6-7	5.36
4	1909	8	25	0	22		Crete Senesi	43.15	11.403		7-8	5.34
4	1911	2	19	7	18	30	Forlivese	44.117	12.074		7	5.26
5-6	1911	9	13	22	29	2	Chianti	43.436	11.344		7	5.08
F	1913	7	21	22	35		Appennino romagnolo	44.041	11.762		5-6	4.79

TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

5	1914	10	27	9	22		Lucchesia	43.912	10.598		7	5.63
3	1915	1	13	6	52	43	Marsica	42.014	13.53		11	7.08
2	1916	8	16	7	6	14	Riminese	44.019	12.737		8	5.82
4	1917	4	26	9	35	59	Alta Valtiberina	43.467	12.129		9-10	5.99
3	1918	1	22	19	39		Corazzano	43.621	10.868		5	4.16
4	1918	11	10	15	12	28	Appennino forlivese	43.917	11.933		9	5.96
6	1919	6	29	15	6	13	Mugello	43.957	11.482		10	6.38
F	1919	10	25	13	51		Alta Valtiberina	43.571	12.132		6	5.03
5	1920	9	7	5	55	40	Garfagnana	44.185	10.278		10	6.53
NF	1920	10	6	22	47		Mantovano	45.126	10.824		4-5	4.14
3	1924	6	12	21	3	48	Frignano	44.147	10.776		5-6	4.46
2	1926	1	1	18	4	3	Carniola interna	45.76	14.281		7-8	5.72
NF	1928	6	13	8			Carpi	44.797	10.872		6	4.67
2-3	1929	4	10	5	44		Bolognese	44.445	11.387		6	5.05
2	1929	4	19	4	16		Bolognese	44.496	11.202		6-7	5.13
2-3	1929	4	20	1	10		Bolognese	44.481	11.15		7	5.36
2-3	1929	4	22	8	26		Bolognese	44.482	11.111		6-7	5.1
3	1929	5	11	19	23		Bolognese	44.479	11.112		6-7	5.29
4	1929	7	18	21	2		Mugello	43.988	11.507		6-7	4.96
3	1930	5	24	22	2		Appennino tosc-emiliano	44.136	10.724		5	4.91
3	1930	10	30	7	13		Senigallia	43.689	13.385		8	5.83
3	1931	9	5	1	25	53	Mugello	44.057	11.367		6	4.88
2	1931	12	15	3	23		Mugello	44.112	11.527		6	4.62
3-4	1936	10	18	3	10		Alpago Cansiglio	46.089	12.38		9	6.06
3	1937	12	10	18	4		Frignano	44.334	10.834		6	5.3
2-3	1939	2	11	11	17		Mugello	44.002	11.431		7	5.01
3	1939	10	15	14	5		Garfagnana	44.125	10.255		6-7	4.96
3	1948	6	13	6	33	36	Alta Valtiberina	43.598	12.127		7	5.04
3-4	1949	3	9	4	16	30	Mugello	43.987	11.489		5	4.42
NF	1951	1	16	1	11		Gargano	41.808	15.9		7	5.22
3	1951	5	15	22	54		Lodigiano	45.226	9.62		6-7	5.17
2	1951	8	8	19	56		Gran Sasso	42.466	13.461		7	5.25
3	1952	7	4	20	35	12	Appennino forlivese	43.98	11.883		7	4.94
3	1956	4	26	3	0	3	Appennino bolognese	44.209	11.33		6	4.74

TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

4	1956	5	26	18	40		Appennino forlivese	43.939	11.897		7	4.99
2	1956	6	3	1	45	57	Appennino forlivese	44.003	11.876		6	4.51
2	1957	4	30	6	5	8	Alta Valtiberina	43.733	12.013		5	4.23
5-6	1960	10	29	0	8	39	Mugello	43.999	11.385		7	4.91
F	1961	5	8	22	45	51	Forlivese	44.134	11.962		5	4.37
3	1962	5	11	1	5	31	Appennino bolognese	44.168	11.176		5-6	4.69
5	1962	9	16	14	49	45	Chianti	43.545	11.35		6	4.54
3-4	1964	9	5	21	9		Appennino tosc- emiliano	44.138	11.233		5	4.35
3	1965	12	18	9	22	25	Pianura romagnola	44.27	12.021		5	4.54
2-3	1967	12	30	4	19		Emilia-Romagna orientale	44.604	11.997		6	5.05
2	1968	6	26	3	15		Senese	43.298	11.28		5	4.19
3	1969	1	6	22	3	28	Appennino pistoiese	44.049	10.727		6-7	4.67
3	1969	2	15	8	54	39	Mugello	44.057	11.367		4-5	4.56
3	1970	8	19	12	19		Colline Metallifere	43.252	10.788		6	4.68
3	1971	7	15	1	33	23	Parmense	44.814	10.345		8	5.51
4	1972	10	25	21	56	11.31	Appennino settentrionale	44.503	9.865	67.2	5	4.87
4-5	1973	4	20	16	45	34	Fiorentino	43.844	11.226		5	4.38
3	1973	11	7	17	6	17	Pistoiese	44.018	10.832		4	4.06
3	1975	4	4	9	10	53	Appennino pistoiese	43.971	11.004		4	4.07
F	1975	11	16	13	4	25.14	Appennino piacentino	44.749	9.519	20.1	4-5	4.93
4	1976	5	6	20	0	13.17	Friuli	46.241	13.119		9- 10	6.45
2	1976	8	22	2	49	13	Alta Val di Taro	44.499	9.762		5	4.54
2-3	1976	9	11	16	35	2.44	Friuli	46.256	13.233	4.3	7-8	5.6
F	1976	9	15	9	21	19.01	Friuli	46.3	13.174	11.2	8-9	5.95
4	1978	12	5	15	39	4	Romagna	44.124	11.891		4-5	4.61
F	1979	9	19	21	35	37	Valnerina	42.73	12.956		8-9	5.83
4	1980	6	7	18	35	1	Garfagnana	44.07	10.564		6-7	4.64
3	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	40.842	15.283		10	6.81
F	1980	12	23	12	1	6	Piacentino	44.808	9.787		6-7	4.57

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

3	1983	11	9	16	29	52	Parmense	44.755	10.265		6-7	5.04
3	1984	4	29	5	2	59	Umbria settentrionale	43.262	12.525		7	5.62
2-3	1995	8	24	17	27	33	Appennino pistoiese	44.133	10.961		6	4.45
3	1996	10	15	9	55	59.95	Pianura emiliana	44.798	10.678	1.3	7	5.38
5	1997	9	26	9	40	26.6	Appennino umbro-marchigiano	43.014	12.853	9.8	8-9	5.97
3	1999	7	7	17	16	12.59	Frignano	44.292	10.852	11.5	5	4.67
3	2001	11	26	0	56	55.46	Casentino	43.6	12.108	5.5	5-6	4.63
3-4	2003	1	26	19	57	3.21	Appennino forlivese	43.883	11.96	6.5	6	4.66
4	2003	9	14	21	42	53.18	Appennino bolognese	44.255	11.38	8.3	6	5.24
NF	2003	12	7	10	20	33.04	Forlivese	44.162	12.18	9.2	5	4.18
2-3	2004	11	24	22	59	38.55	Garda occidentale	45.685	10.521	5.4	7-8	4.99
4	2008	12	23	15	24	21.77	Parmense	44.544	10.345	22.9	6-7	5.36
4	2016	8	24	1	36	32	Monti della Laga	42.698	13.233	8.1	10	6.18
3-4	2016	10	26	19	18	7.42	Valnerina	42.904	13.09	9.6		6.07
4	2016	10	30	6	40	17.32	Valnerina	42.83	13.109	10		6.61
2	2017	1	18	10	14	9.9	Aquilano	42.531	13.283	9.6		5.7
4	2019	12	9	3	37	3.94	Mugello	44.004	11.319	7.3	5	4.69

TABELLA 2 – INTENSITÀ MACROSISMICHE DAL 1000 AL 2022 NEL COMUNE DI FIRENZE

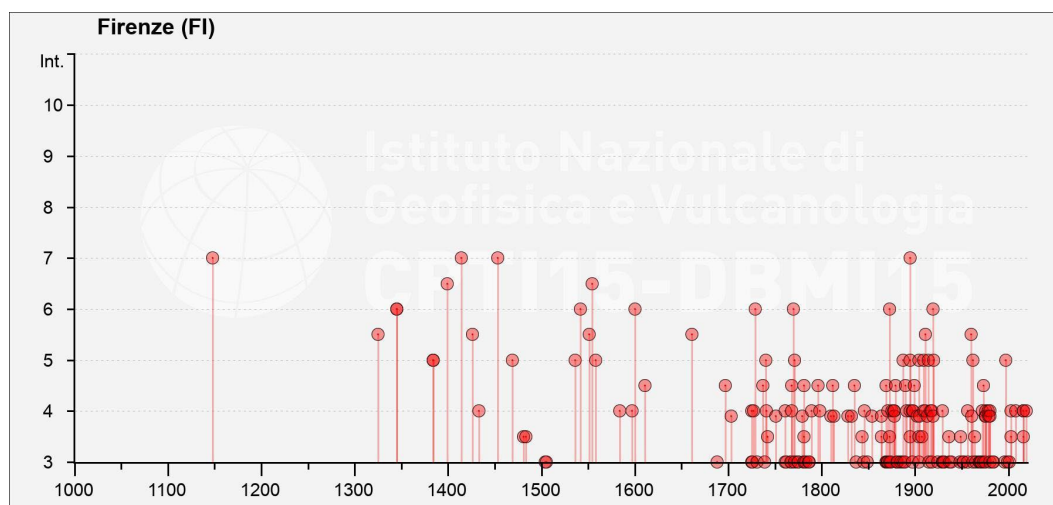


FIGURA 5.2 – INTENSITÀ MACROSISMICHE DAL 1000 AL 2022 NEL COMUNE DI FIRENZE

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Firenze sono pari a IS=7 per gli eventi del 1148, 1414, 1453 e 1895.



### 5.1.2 Sismicità recente (dal 1985 a marzo 2024)

Per quanto concerne i sismi che possono aver interessato l'area di interesse dal 1985 alla data odierna, è stato esaminato il database ISIDE (INGV, 2023), considerando una sismicità di magnitudo  $\geq 3$  per un'estensione di circa 50 km dal sito di interesse progettuale. In tale ambito sono incluse la maggior parte delle aree epicentrali dei terremoti descritti al paragrafo precedente.

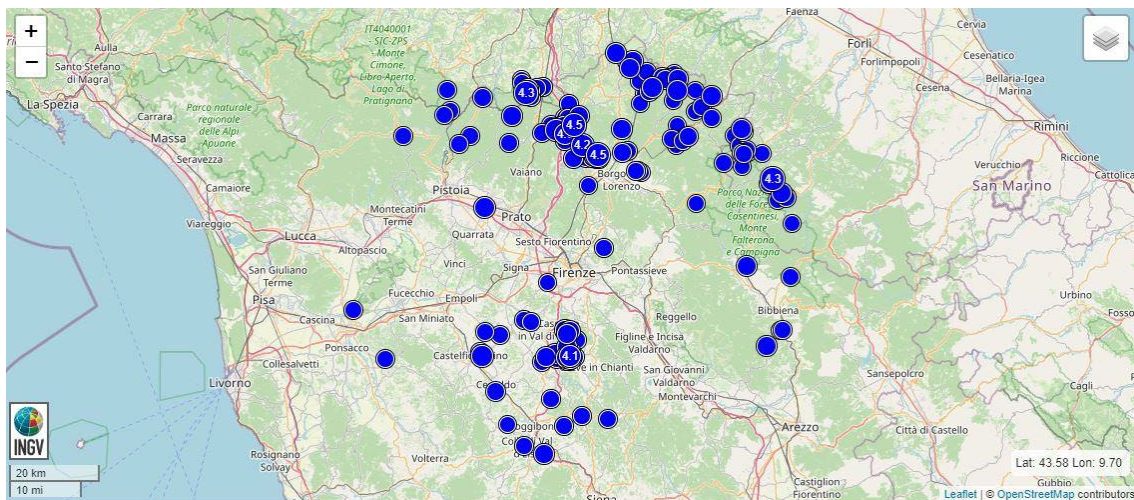


FIGURA 5.3 – DATABASE ISIDE – PERIODO 1985 – MARZO 2023

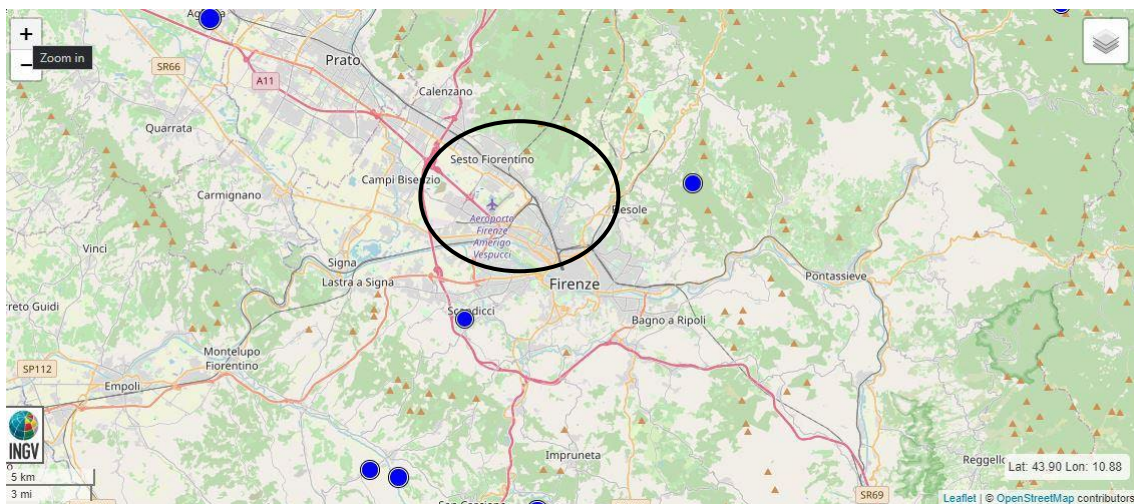


FIGURA 5.4 – DATABASE ISIDE: DISTRIBUZIONE TERREMOTI PERIODO 1985-2023 (DETTAGLIO AREA DI INTERVENTO)

## 5.2 FAGLIE CAPACI

Il termine “faglie capaci” è utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie.

La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere  $\geq$  VIII-IX grado della scala ESI2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from CAPable faults”, disponibile on-line all’indirizzo <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>.

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Nella seguente figura si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci del Progetto ITHACA relativamente ad un ampio areale contenente l’area di studio.



FIGURA 5.5 – DISTRIBUZIONE FAGLIE CAPACI “PROGETTO ITHACA”

Dalla figura si evidenzia come il sito d’intervento sia ad una distanza minima di 4.0 km da una faglia capace, classificata con la denominazione Firenze – Pistoia system.

STUDI E INDAGINI  
 SISMICA – ELABORATI GENERALI  
 Relazione Sismica

Firenze – Pistoia system	
FAULT NAME	Firenze – Pistoia
FAULT CODE	62100
MACROZONE	
REGION NAME	Toscana
SYSTEM NAME	Firenze – Pistoia System
KINEMATICS	NORMAL
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	120
DIP	UNDEFINED
DIP DIRECTION	SWS
LENGTH (Km)	45.5
DEPTH (Km)	-
ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability
STUDY QUALITY	LOW
LAST ACTIVITY	Pleistocene generic
SLIP-RATE (mm/yr)	-
MAX CREDIBLE SLIP (m)	-
NOTES	-

TABELLA 3 – FAGLIE CAPACI NEL SITO DI INTERVENTO



### 5.3 STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismo-tettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, 99entità dello scivolamento ecc.) non possono essere definite solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources – DISS 3.2.1", si osserva che l'area di studio non risulta all'interno di alcuna area sismogenetica.

La figura seguente evidenzia l'area sismogenetica più vicina all'area di studio (rettangolo giallo) corrispondente al sistema Mugello – Città di Castello – Leonessa, definita quale proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia.

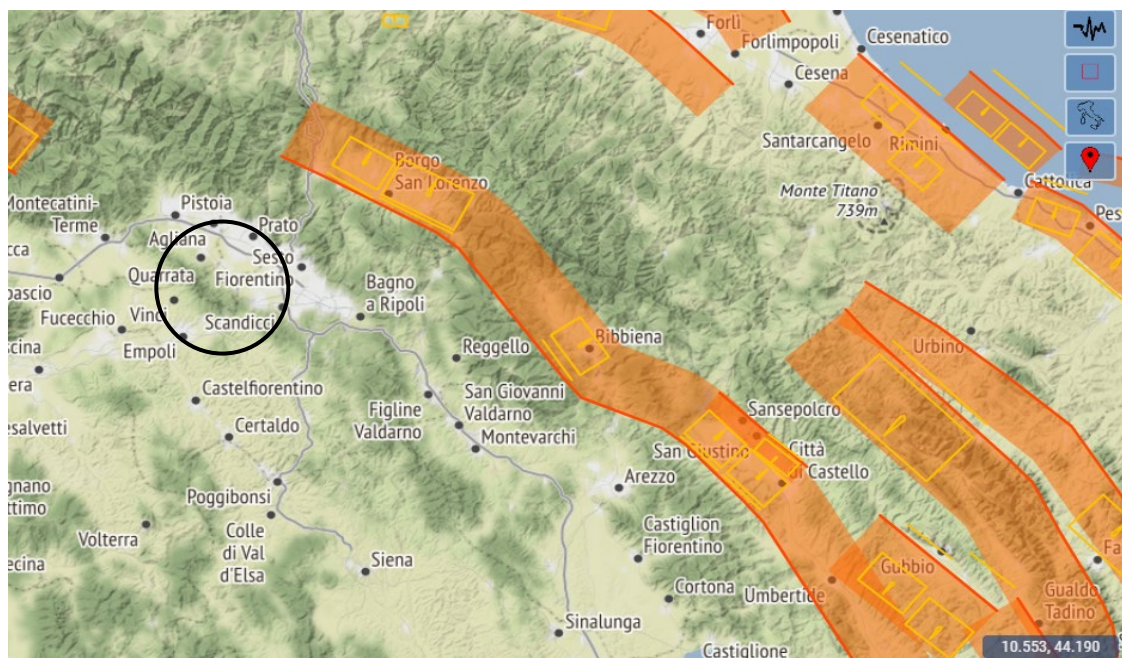


FIGURA 5.6 – DISTRIBUZIONE SORGENTI SISMOGENETICHE INDIVIDUALI E COMPOSITE, DA DISS

## 5.4 CLASSIFICAZIONE SISMICA TERRITORIALE (INGV)

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

Dal 1999 al 2003, la classificazione sismica del territorio nazionale era riconducibile alla mappa di classificazione sismica prodotta dal Gruppo di Lavoro (GdL, 1999), istituito dal Servizio Sismico Nazionale su indicazione della Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile. L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 ha rappresentato una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si sono stabiliti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche introducendo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani (successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006) ed abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco  $a_g$  su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4; procedendo in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico, poiché di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica. Con la successiva ordinanza OPCM 3519/2006 è stata adottata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale (INGV, 2004), e sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche su base probabilistica. I nuovi criteri per la determinazione della classificazione sismica individuano 12 fasce e sono basati, (innovando le disposizioni del precedente OPCM 3274/2003) su valori delle accelerazioni massime al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi. Tale classificazione è quindi basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro  $a_g$  secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

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

TABELLA 4 – ZONE SISMICHE

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

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

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

Di seguito si riporta uno stralcio della mappa di “Classificazione Sismica” pubblicata dalla Protezione Civile a Marzo 2022.

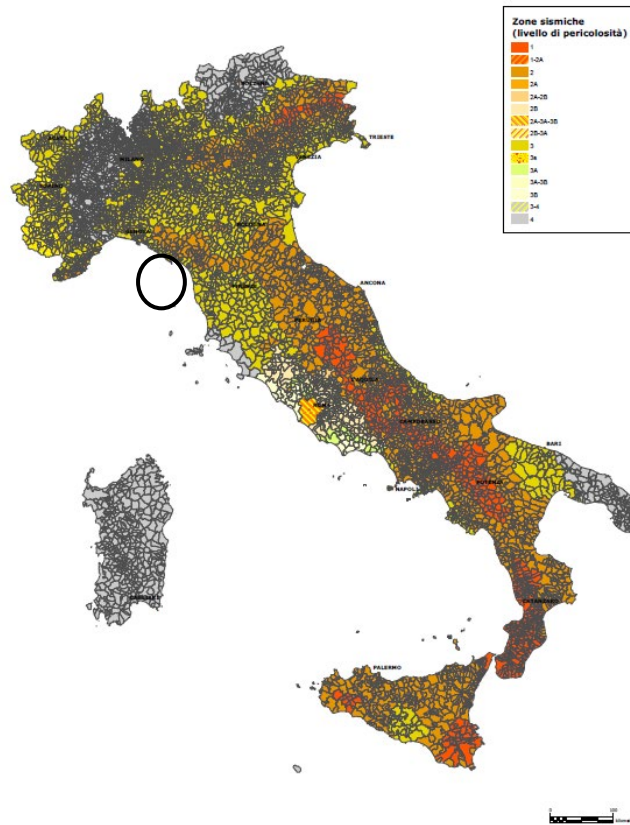


FIGURA 5.7 – CLASSIFICAZIONE SISMICA AL 31/03/2022 (DIPARTIMENTO DI PROTEZIONE CIVILE)

In ambito locale, la normativa nazionale è stata recepita dalla Regione Toscana con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, che ha approvato la classificazione sismica regionale, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 Ottobre 2012.

Di seguito si riporta la “Mappa di aggiornamento della classificazione Sismica della Regione Toscana da Delibera del GRT 421/2014”.

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

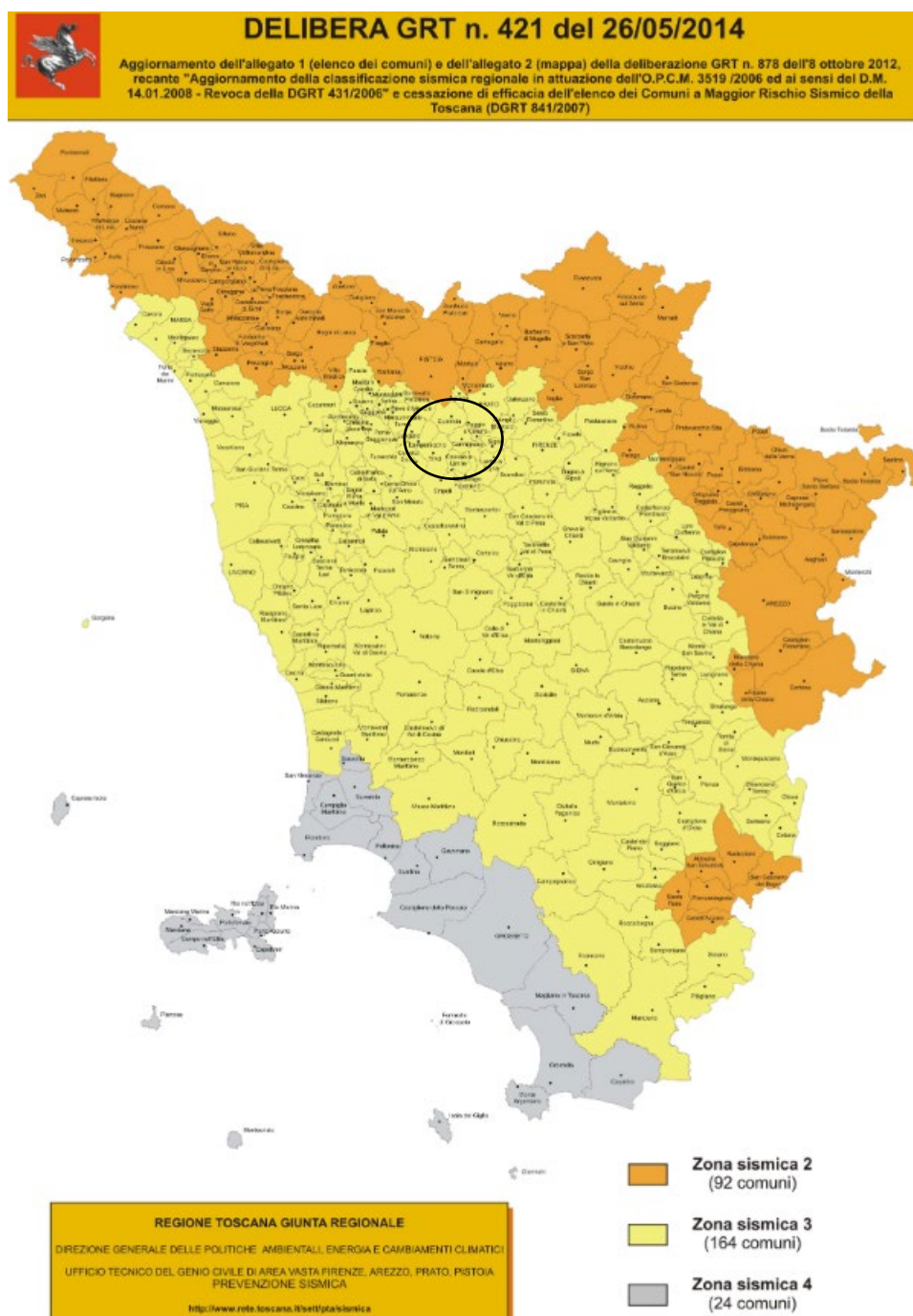


FIGURA 5.8 – CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA REGIONE TOSCANA

In conformità alla normativa vigente, i comuni interessati dal progetto ricadono nella seguente classe:

Regione	Provincia	Codice Istat	Denominazione	Classificazione 2020 (P.C.)
Toscana	Firenze	048017	Firenze	3
Toscana	Firenze	048006	Campi Bisenzio	3

TABELLA 5 – CLASSIFICAZIONE SISMICA AL 2014 (FONTE: REGIONE TOSCANA)

## 5.5 CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

Allo stato attuale, i valori di pericolosità di base associati alle zone o sottozone definite a scala regionale non hanno diretta influenza sulla progettazione.

Le NTC 2018 stabiliscono infatti che i parametri sismici di progetto ed i relativi spettri di risposta siano calcolati direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento associati alla normativa.

La procedura di calcolo ammessa dalla normativa prevede che, attraverso gli allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (v. NTC 2018 par. 3.2) sia possibile determinare, per il sito di interesse e per differenti periodi di ritorno ( $T_R$ ), i parametri di riferimento del moto sismico in superficie:  $a_g$  (accelerazione orizzontale max al sito di rif.),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), necessari per la successiva definizione degli spettri di risposta elastici del terreno. Successivamente, sulla base della localizzazione geografica del sito di progetto, correlando i suddetti parametri di riferimento con la vita nominale dell'opera e la sua classe d'uso, si giunge al calcolo degli spettri di risposta per i diversi stati limite definiti dalla normativa; ciò al fine di definire gli obiettivi da raggiungere in termini di sicurezza e prestazioni a dell'opera o parte di essa.

Per il calcolo degli elementi suddetti si rimanda agli elaborati geotecnici e strutturali.

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

Nonostante l'estensione dell'area di intervento, nel suddetto modello di pericolosità sismica (MPS04-S1, INGV) essa ricade integralmente all'interno dello stesso nodo (ID 19835), nella fascia le cui accelerazioni massime attese (con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni su suoli molto rigidi) sono comprese tra  $0,125 < a_g < 0,150$ .



**Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)**  
Informazioni sul nodo con ID: 19835 - Latitudine: 43.811 - Longitudine: 11.135

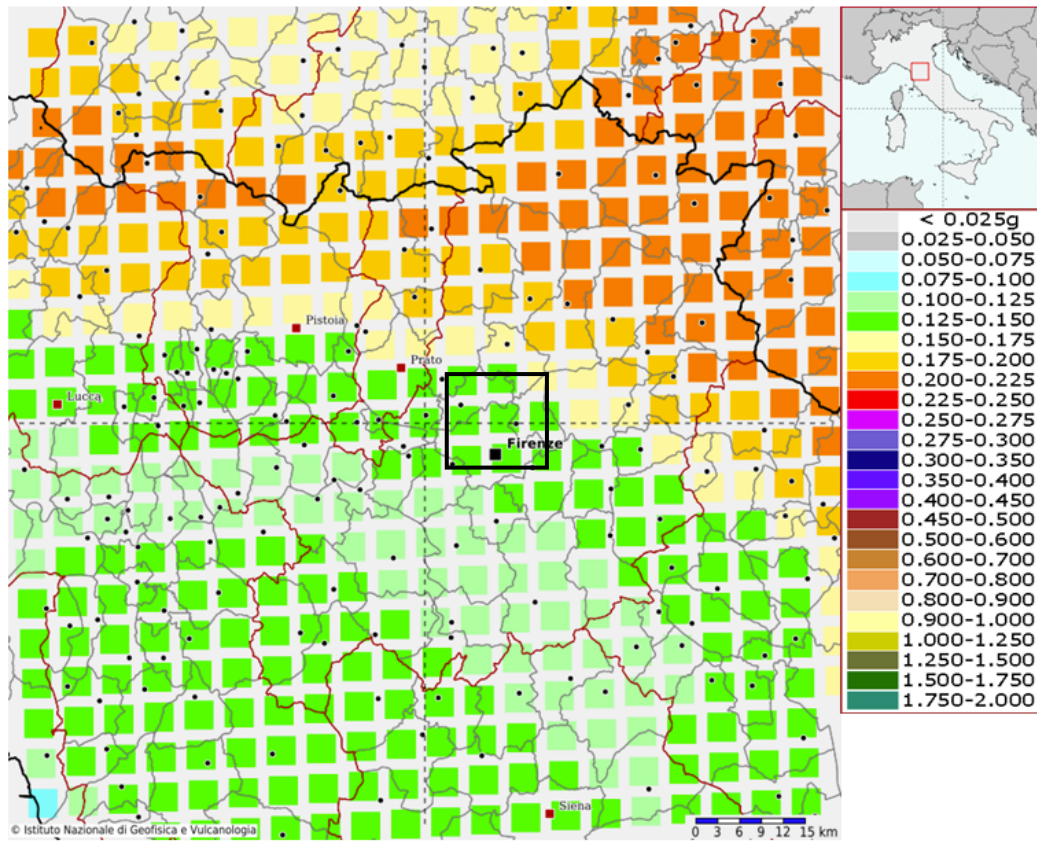


FIGURA 5.9 – QUADRANTE SISMICO AREA D'INTERESSE



## 5.6 MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI FIRENZE

Nel settembre del 2021 sono stati completati gli studi di Microzonazione Sismica di 3° Livello del territorio Comunale di Firenze, con una cartografia finale che rappresenta il dato geologico delle MOPS dalla MS di primo livello elaborato sulla base dei dati sismici da misure HSRV, dati sismici derivanti da simulazione 2D e da modellazione 1D dai modelli geologici e sismici fiorentini. Per facilitare l'inquadramento nei paragrafi successivi verrà riportata la cartografia per ogni settore d'intervento. Attualmente è in fase di approvazione il nuovo piano strutturale, che è stato adottato nel 2023, per questo motivo per la carta di pericolosità sismica si farà riferimento sia a quest'ultimo strumento di pianificazione, sia a quello approvato del 2014 e tutt'ora vigente.

### 5.6.1 Parcheggio e sottostazione elettrica Campania

Il parcheggio e la sottostazione elettrica Campania sono compresi all'interno delle zone 31-32, definite come zone suscettibile di amplificazioni locali, con un FA (fattore di amplificazione) compreso tra 1.1 e 1.2. Secondo le carte di pericolosità sismica, l'intervento ricade in un'area a pericolosità sismica elevata S3 sia per il PS del 2014 sia per quello del 2023; ma in quello più recente viene anche individuata un'area con pericolosità sismica elevata per la presenza di terreni di riporto.



FIGURA 5.10 – CARTA DELLE MOPS, P.S DI FIRENZE

STUDI E INDAGINI  
 SISMICA – ELABORATI GENERALI  
 Relazione Sismica

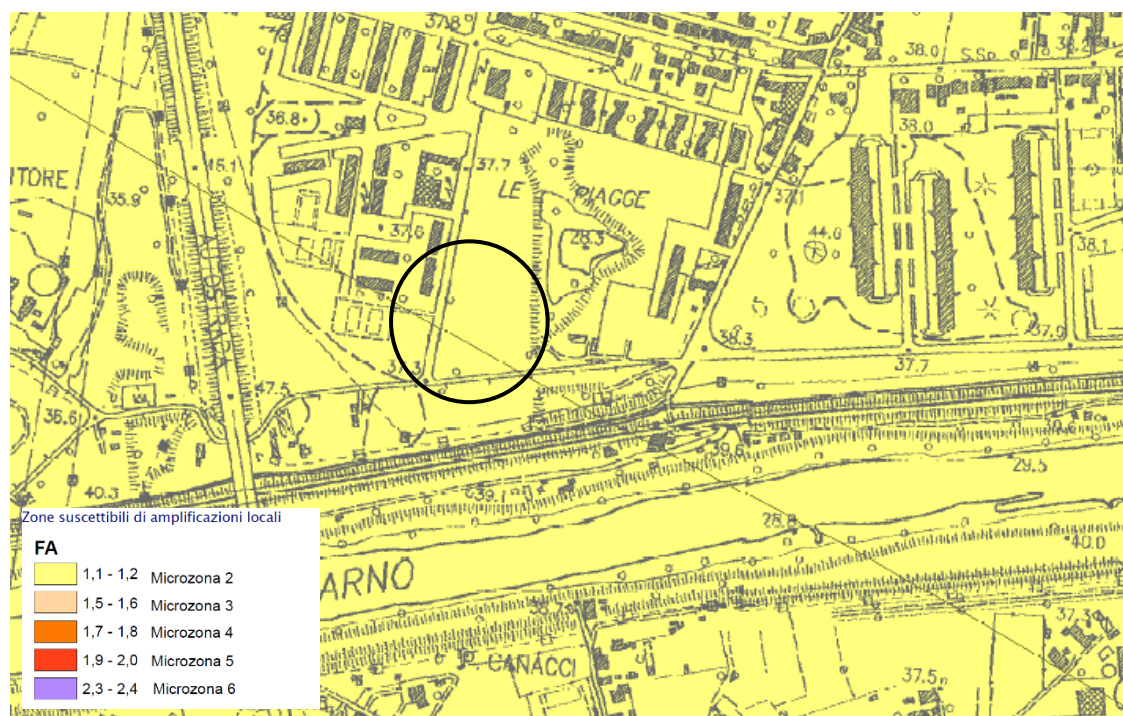


FIGURA 5.11 – INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO ALL'INTERNO DELLA MS DI 3° LIVELLO.

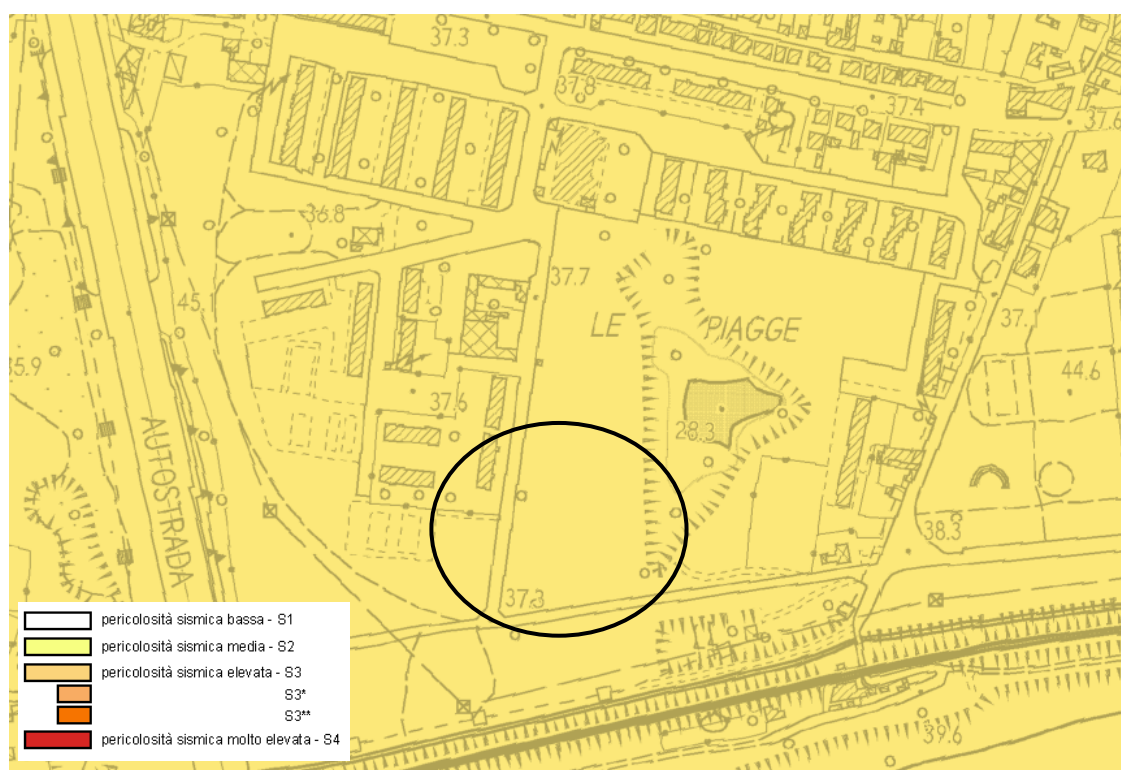


FIGURA 5.12 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE DI FIRENZE (2014)

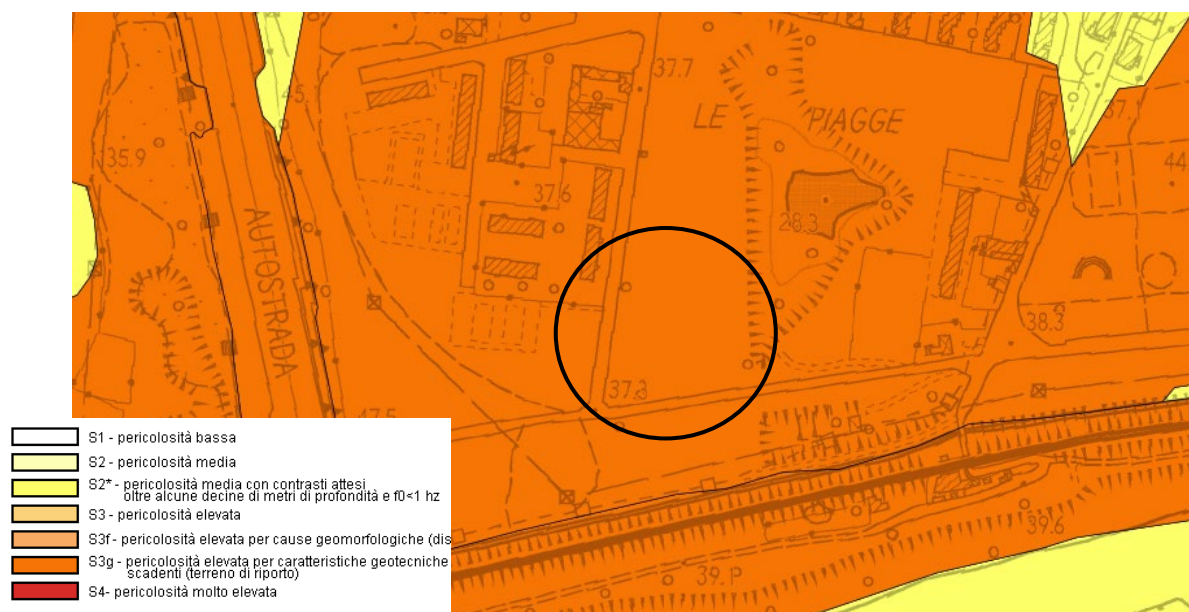


FIGURA 5.13 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, NUOVO PIANO STRUTTURALE DI FIRENZE



### 5.6.2 Deposito San Donnino

L'area deposito di San Donnino a scatolare annesso con relativi muri pertinenziali sono compresi all'interno delle zone 31-32, definite come zona suscettibile di amplificazioni locali, con un FA (fattore di amplificazione) compreso tra 1.1 e 1.2.



FIGURA 5.14 – CARTA DELLE MOPS, P.S DI FIRENZE



FIGURA 5.15 – INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO ALL'INTERNO DELLA MS DI 3° LIVELLO.

Secondo le carte di pericolosità sismica, l'intervento ricade in un'area a pericolosità sismica elevata S3 sia per il PS del 2014 sia per quello del 2023; in quello più recente viene individuata come area con pericolosità sismica elevata per la presenza di terreni di riporto.

TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO  
 PROGETTO DEFINITIVO  
 STUDI E INDAGINI  
 SISMICA – ELABORATI GENERALI  
 Relazione Sismica

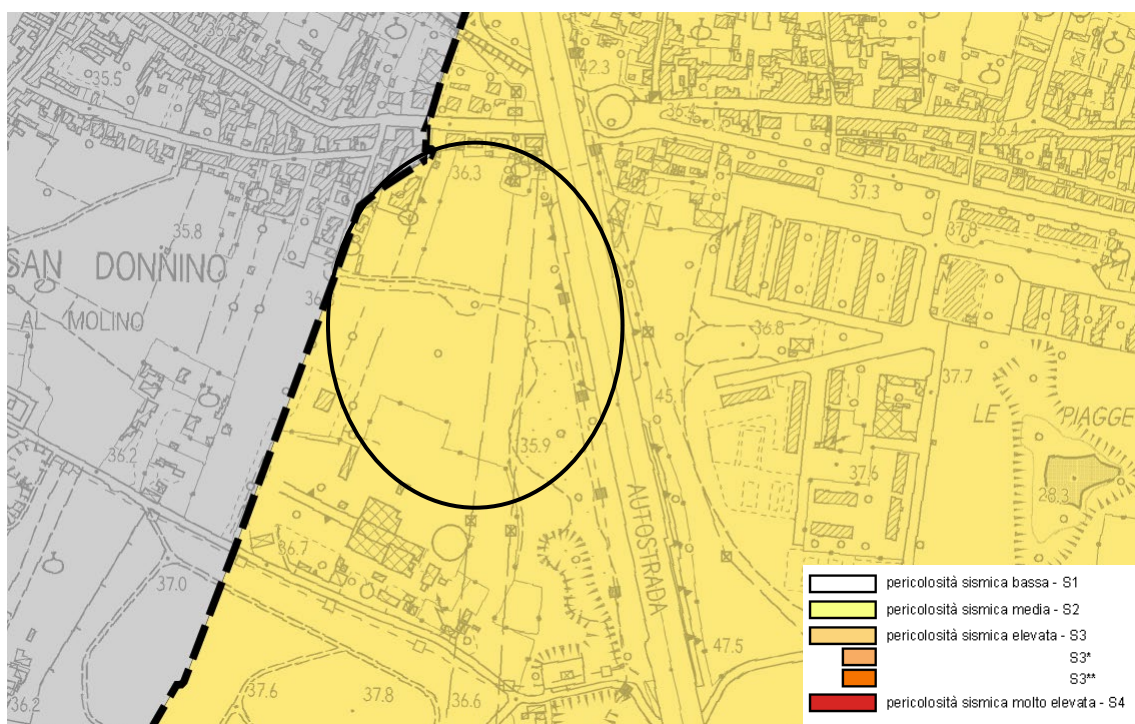


FIGURA 5.16 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE DI FIRENZE (2014)

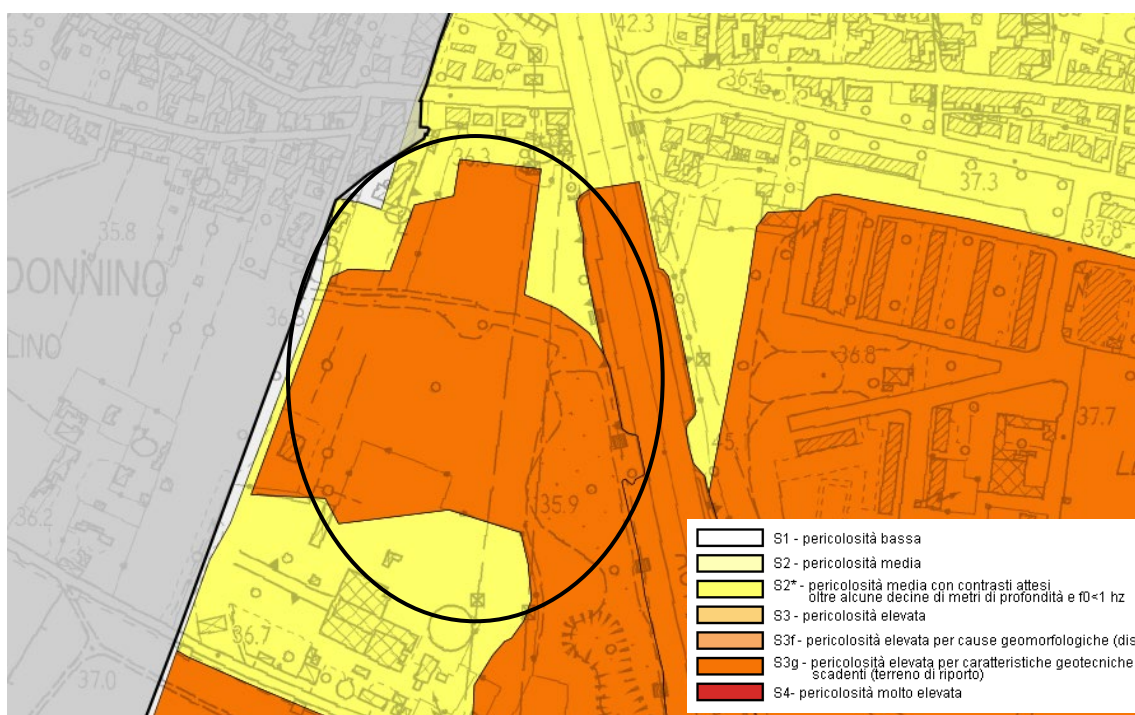


FIGURA 5.17 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, NUOVO PIANO STRUTTURALE DI FIRENZE



## 5.7 MICROZONAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA COMUNE DI CAMPI BISENZIO

Relativamente alla microzonazione sismica del territorio Comunale di Campi Bisenzio, nel novembre del 2018 sono stati completati gli studi di Microzonazione Sismica di 1° Livello, con una cartografia finale che rappresenta il dato geologico delle MOPS dalla MS di primo livello elaborato sulla base dei dati sismici da misure HSRV, dati sismici derivanti da simulazione 2D e da modellazione 1D dai modelli geologici e sismici. Tuttavia, molti settori d'interesse risultavano esclusi dalle zone della carta dove erano state valutate le MOPS; per questo motivo gli stralci sono stati ripresi dalla carta delle MOPS del PFTE che era stata elaborata anche per i settori non coperti dalla carta originale. Per facilitare l'inquadramento nei paragrafi successivi verrà riportata la cartografia per ogni settore d'intervento.

### 5.7.1 Ponte Fosso Macinante, scatolare Manderi, parcheggio e sottopasso Pistoiese

L'area del ponte sul Fosso Macinante, scatolare Manderi, parcheggio e sottopasso Pistoiese è compreso all'interno della zona 4, definita come zona suscettibile di amplificazioni locali, caratterizzata dalla presenza di depositi di limi argillosi fino a 15-30 m, seguiti da depositi argillosi con sporadiche lenti ghiaiose fino a profondità superiori a 100 metri. L'intervento ricade in un'area a pericolosità sismica media S2.

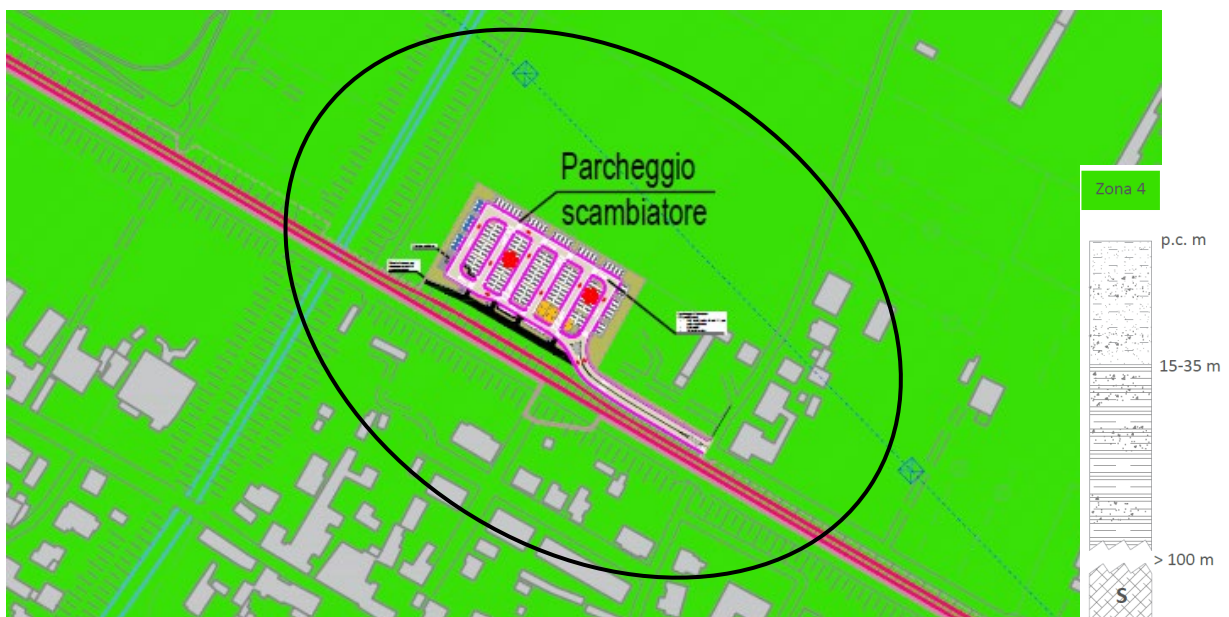


FIGURA 5.18 – CARTA DELLE MOPS DAL PFTE

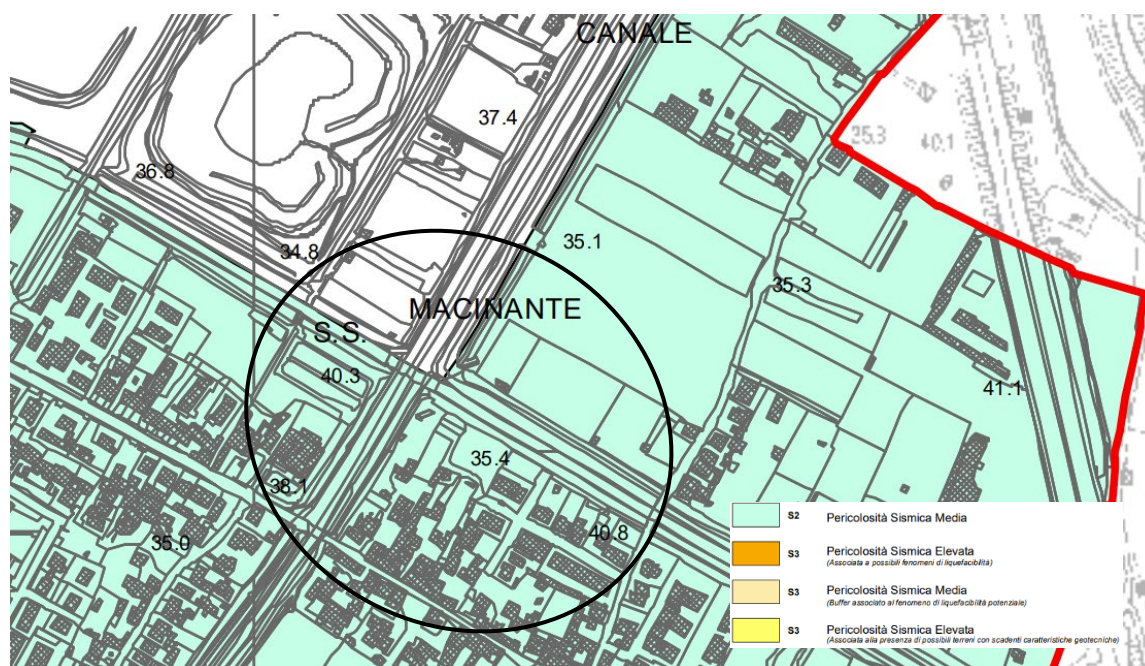


FIGURA 5.19 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE CAMPI BISENZIO



### 5.7.2 Ponte Collettore Acque Basse e scatolare San Jacopo

L'area del Ponte su Collettore Acque Basse e scatolare San Jacopo è compresa all'interno della zona 4, definita come zona suscettibile di amplificazioni locali, mentre quello del ponte sul Canale Acque Basse si trova all'interno di una zona di attenzione per cedimenti differenziali. La zona 4 è caratterizzata dalla presenza di depositi di limi argillosi fino a 15-30 m, seguiti da depositi argillosi con sporadiche lenti ghiaiose fino a profondità superiori a 100 metri. Secondo la carta di pericolosità sismica, gli interventi non sono ricompresi nelle aree in cui è stata valutata la pericolosità, ma, per similitudine con le aree circostanti, si assegna una pericolosità media S2.



FIGURA 5.20 – CARTA DELLE MOPS DAL PFTE

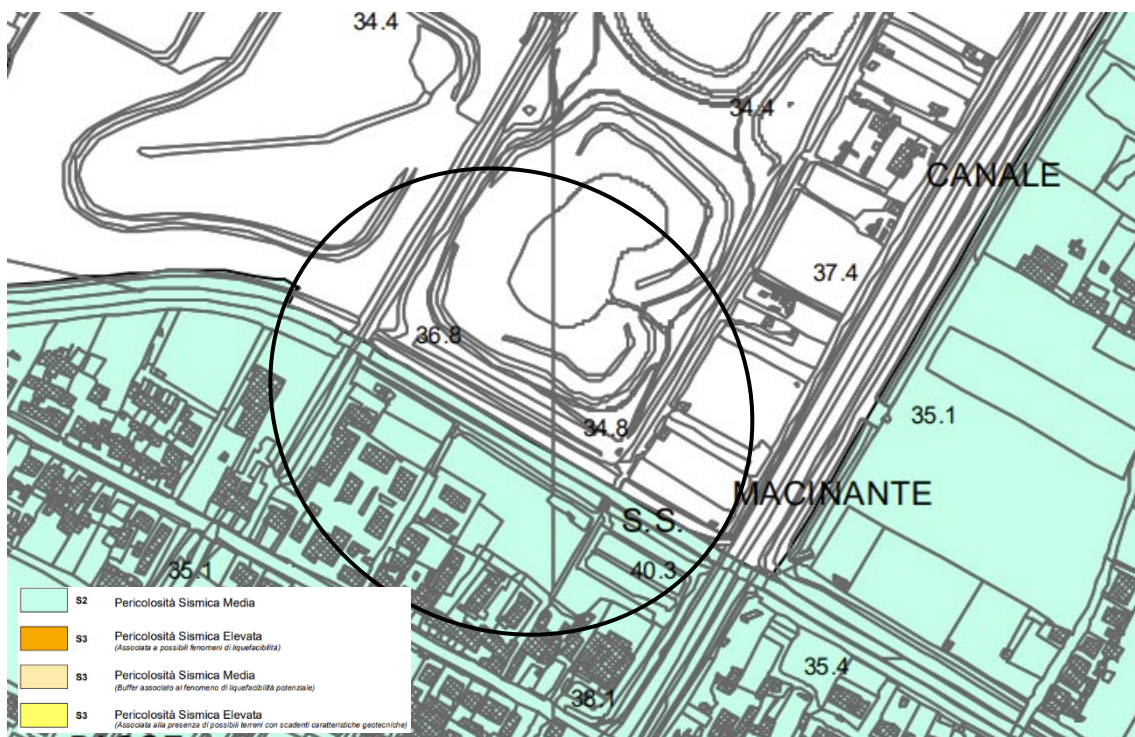


FIGURA 5.21 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE CAMPI BISENZIO



### 5.7.3 Sottostazione elettrica Castagno e parcheggio

Il sito della sottostazione elettrica Castagno e parcheggio è compreso all'interno della zona 4, definita come zona suscettibile di amplificazioni locali e parzialmente nella zona di attenzione per cedimenti differenziali. La zona 4 è caratterizzata dalla presenza di depositi di limi argillosi fino a 15-30 m, seguiti da depositi argillosi con sporadiche lenti ghiaiose fino a profondità superiori a 100 metri. Secondo la carta di pericolosità sismica, gli interventi non sono ricompresi nelle aree in cui è stata valutata la pericolosità, ma, per similitudine con le aree circostanti, è possibile definire una pericolosità media S2.

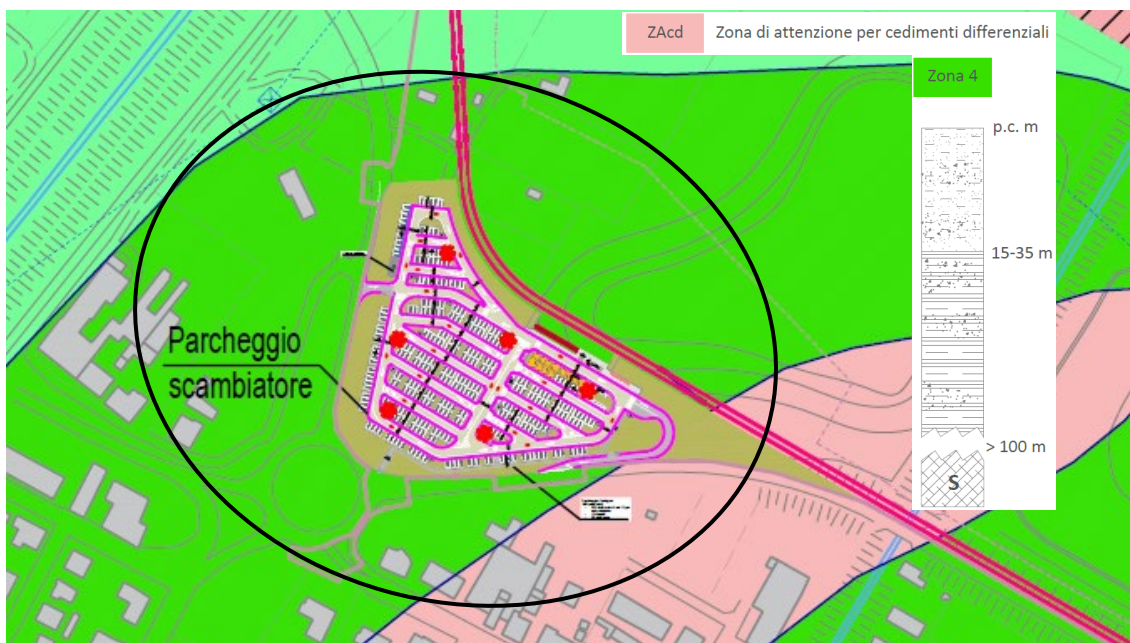


FIGURA 5.22 – CARTA DELLE MOPS DAL PFTE

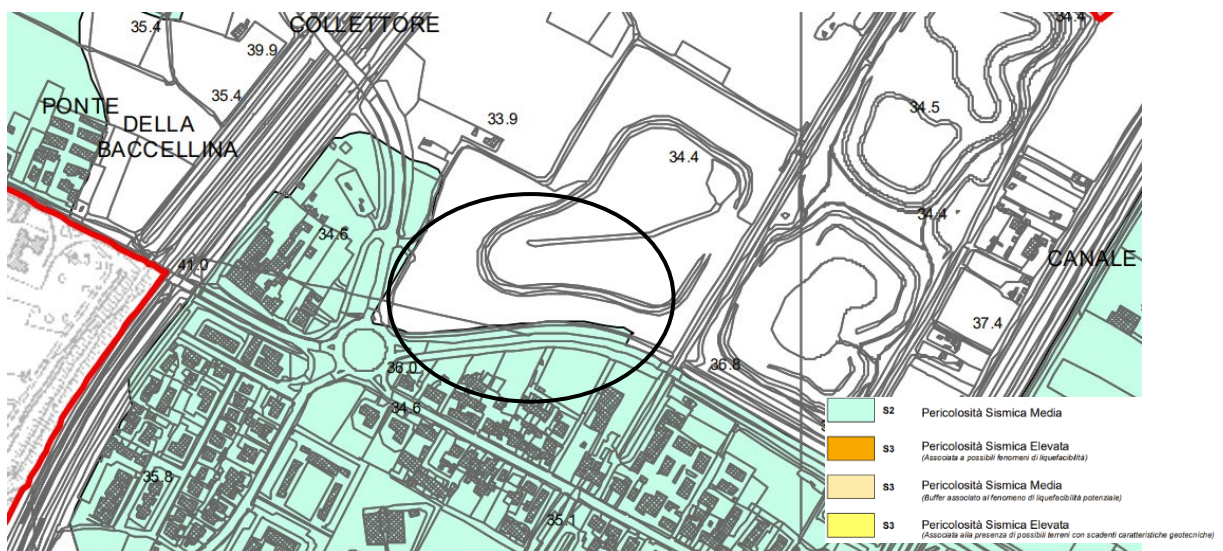


FIGURA 5.23 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE CAMPI BISENZIO



#### 5.7.4 Viadotto Fosso Reale

Il sito del Viadotto Fosso Reale è compreso all'interno della zona 1, definita come zona suscettibile di amplificazioni locali, caratterizzata dalla presenza di depositi di limi argillosi fino a 15-35 m, seguiti da depositi argillosi con lenti ghiaiose fino a profondità superiori a 100 metri.

Secondo la carta di pericolosità sismica, l'intervento non è ricompreso nelle aree in cui è stata valutata la pericolosità, ma, per similitudine con le aree circostanti, è possibile definire una pericolosità media S2.

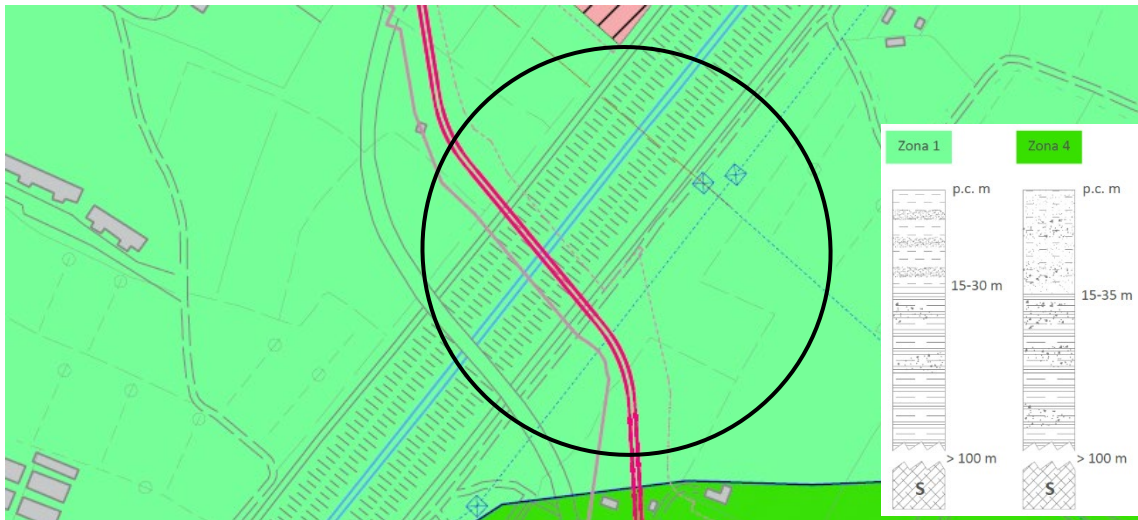


FIGURA 5.24 – CARTA DELLE MOPS DAL PFTE

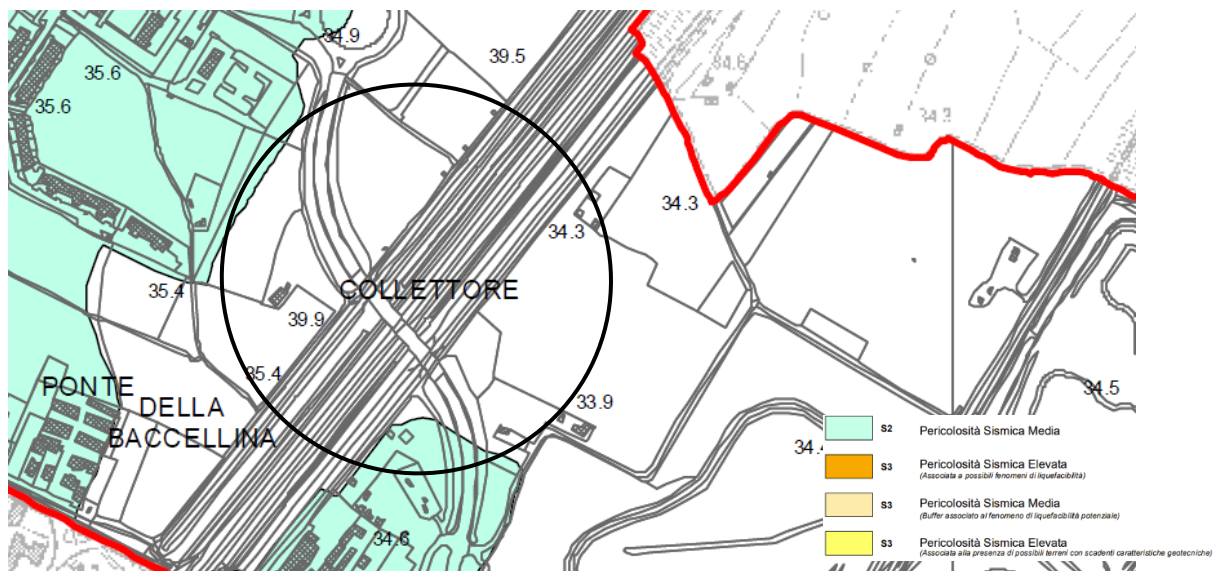


FIGURA 5.25 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE DI CAMPI BISENZIO

#### 5.7.5 Ponte Fosso Prunaia

Il sito del ponte sul Fosso Prunaia è compreso all'interno della zona 1, definita come zona suscettibile di amplificazioni locali, caratterizzata dalla presenza di depositi di limi argillosi fino a 15-35 m, seguiti da depositi argillosi con lenti ghiaiose fino a profondità superiori a 100 metri.

Secondo la carta di pericolosità sismica, l'intervento ricade in un'area a pericolosità sismica elevata S3.

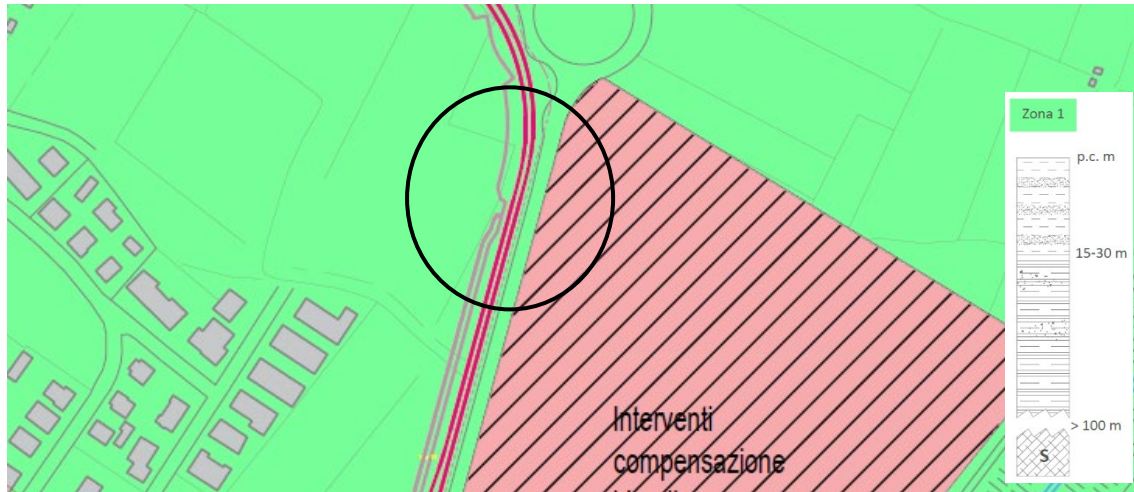


FIGURA 5.26 – CARTA DELLE MOPS DAL PFTE

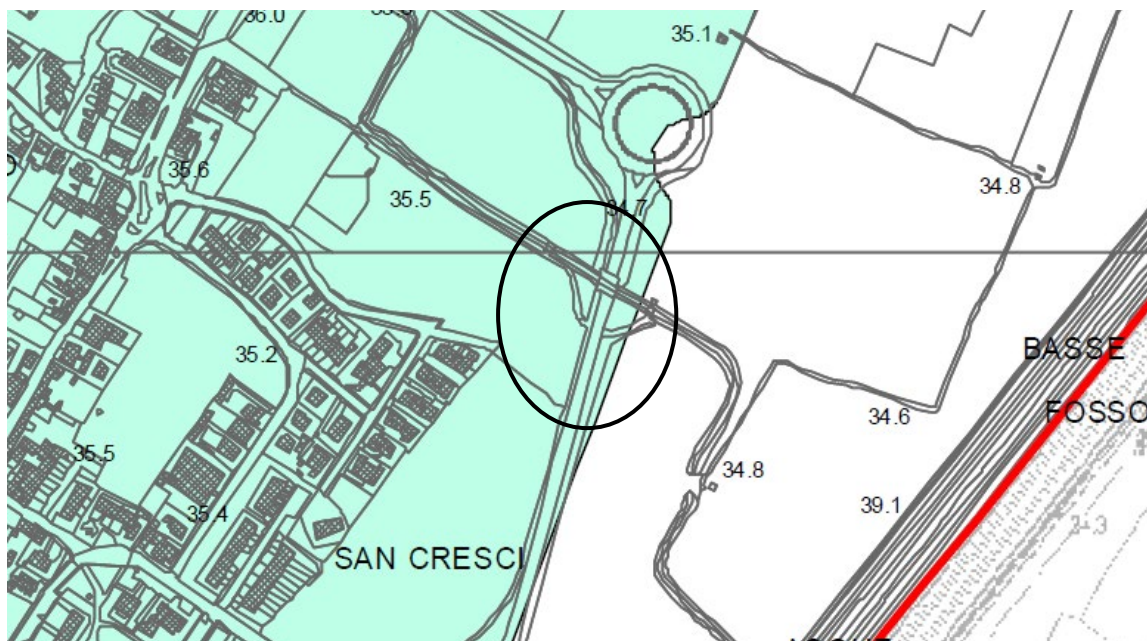


FIGURA 5.27 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE DI CAMPI BISENZIO



### 5.7.6 Sottostazione elettrica Palagetta

Il sito della sottostazione elettrica Palagetta è compreso all'interno della zona 1, definita come zona suscettibile di amplificazioni locali, caratterizzata dalla presenza di depositi di limi argillosi fino a 15-35 m, seguiti da depositi argillosi con lenti ghiaiose fino a profondità superiori a 100 metri.

Secondo la carta di pericolosità sismica, l'intervento ricade in un'area a pericolosità sismica elevata S3.

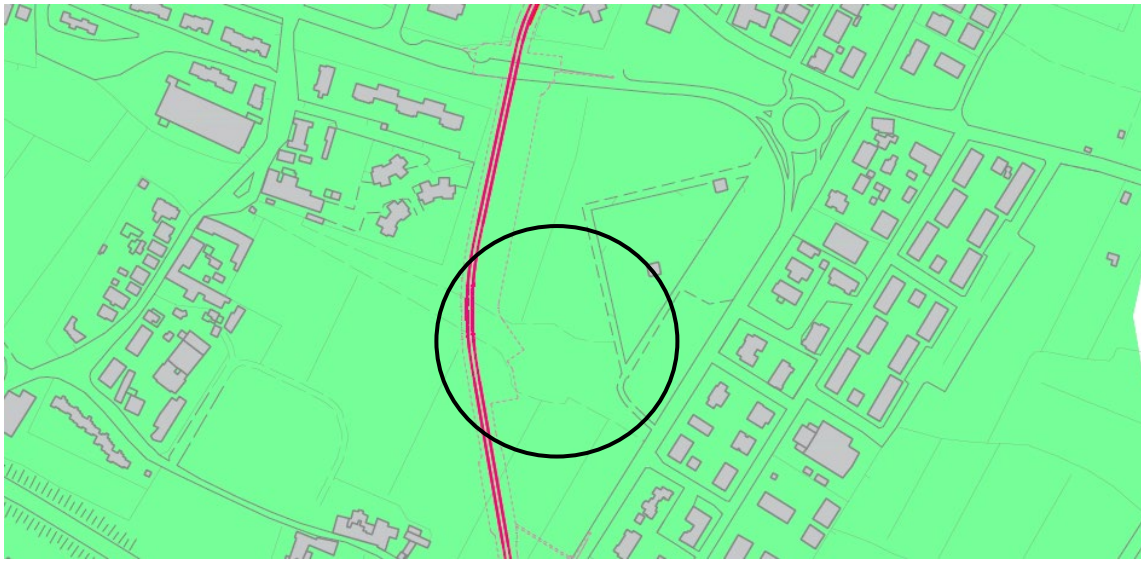


FIGURA 5.28 – CARTA DELLE MOPS DAL PFTE

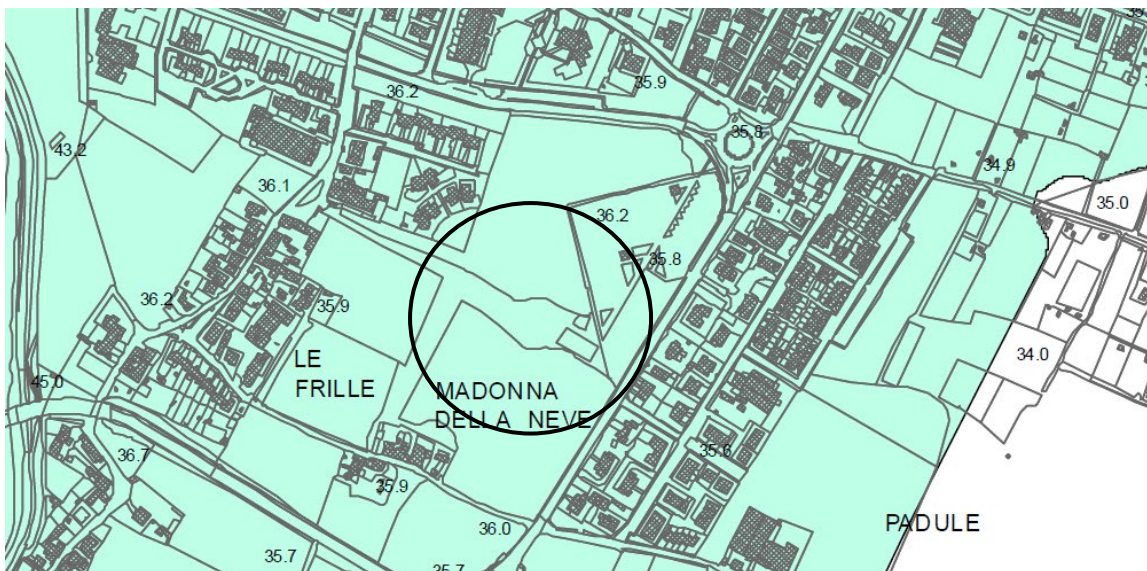


FIGURA 5.29 – CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA, PIANO STRUTTURALE DI CAMPI BISENZIO

## 6 LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

### 6.1 INTRODUZIONE

Ai sensi del cap. 7.11.3.4.2 delle NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa se si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$

Il calcolo della verifica di stabilità viene eseguito con metodo semplificato con cui, sempre ai sensi delle NTC2018, la resistenza del deposito alla liquefazione viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Per la determinazione del valore di CRR (resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico, R nella tabella di calcolo) e del valore di CSR (sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma, T nella tabella di calcolo) è stato adottato il metodo di Seed e Idriss che richiede la conoscenza di pochi parametri geotecnici come la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, la densità relativa, il peso di volume. La verifica a liquefazione dà risultato nei casi di presenza di terreno incoerente, di strato sottofalda, di strato avente spessore dello strato  $>1m$  e di presenza di sisma.

### 6.2 PARCHEGGIO SCAMBIATORE E SOTTOSTAZIONE ELETTRICA VIA CAMPANIA

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di  $-7.00m$  dal p.c. attuale, così come ripreso da dati esistenti per l'area in esame. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.



STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

$\sigma_{vo}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{vo}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	7.50	15.00	12.818	131.348	126.445	0.117	0.224	1.91	Livello non liquefacibile
2	12.20	30.00	20.906	221.587	170.591	0.135	0.872	6.48	Livello non liquefacibile
3	17.00	50.00	29.072	316.145	218.077	0.137	4.739	34.62	Livello non liquefacibile

TABELLA 6 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE PARCHEGGIO SCAMBIATORE E SOTTOSTAZIONE ELETTRICA VIA CAMPANIA

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

### 6.3 AREA DEPOSITO SAN DONNINO

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di -7.2 m dal p.c. attuale, così come misurato in S03. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

$\sigma_{vo}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{vo}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	1.00	15.00	29.028	17.500	17.500	0.141	4.699	33.36	Livello non liquefacibile
2	3.60	15.00	18.309	67.939	67.939	0.135	2.211	16.34	Livello non liquefacibile
3	20.00	45.00	21.649	403.414	277.886	0.145	1.261	8.67	Livello non liquefacibile
4	30.00	40.00	14.970	600.411	376.814	0.125	1.091	8.71	Livello non liquefacibile

TABELLA 7 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE AREA DEPOSITO SAN DONNINO

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## 6.4 MURI VIA PISTOIESE

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di –7.9 m dal p.c. attuale, così come misurato in S5. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	1.00	10.00	19.352	17.500	17.500	0.125	0.777	6.23	Livello non liquefacibile
2	3.00	10.00	13.322	56.499	56.499	0.121	0.952	7.86	Livello non liquefacibile
3	13.00	7.00	4.320	251.516	201.501	0.127	0.213	1.67	Livello non liquefacibile
4	20.00	62.00	29.960	395.014	276.351	0.127	5.629	44.39	Livello non liquefacibile

TABELLA 8 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE MURI VIA PISTOIESE

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## 6.5 PONTE CANALE MACINANTE – SCATOLARE SAN JACOPO

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di –10.5 m dal p.c. attuale, così come misurato in S03. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	1.00	10.00	19.352	17.500	17.500	0.141	0.777	5.49	Livello non liquefacibile
2	7.60	15.00	11.640	146.198	146.198	0.127	0.672	5.28	Livello non liquefacibile
3	18.30	20.00	9.932	343.565	267.071	0.134	0.480	3.58	Livello non liquefacibile

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

4	23.60	50.00	21.330	450.623	322.153	0.130	0.953	7.34	Livello non liquefacibile
5	37.10	25.00	7.949	716.569	455.707	0.100	0.340	3.39	Livello non liquefacibile

TABELLA 9 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE PONTE SU CANALE MACINANTE

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

=====

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	1.00	10.00	19.352	17.500	17.500	0.125	0.777	6.23	Livello non liquefacibile
2	7.60	15.00	11.640	146.198	146.198	0.112	0.672	5.98	Livello non liquefacibile
3	18.30	20.00	9.932	343.565	267.071	0.118	0.480	4.06	Livello non liquefacibile
4	23.60	50.00	21.330	450.623	322.153	0.115	0.953	8.32	Livello non liquefacibile
5	37.10	25.00	7.949	716.569	455.707	0.088	0.340	3.84	Livello non liquefacibile

TABELLA 10 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE SCATOLARE SAN JACOPO

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## 6.6 PONTE COLLETTORE ACQUE BASSE

La falda è stata assunta a partire dalla profondità minima di -8.27 m dal p.c. attuale, così come misurato in S07. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

=====

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	1.00	10.00	19.352	17.500	17.500	0.141	0.777	5.49	Livello non liquefacibile
2	6.50	15.00	12.931	124.748	124.748	0.130	0.877	6.76	Livello non liquefacibile

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

3	19.50	20.00	10.310	364.890	254.759	0.146	0.516	3.55	Livello non liquefacibile
4	26.30	50.00	21.152	502.248	325.431	0.134	0.918	6.84	Livello non liquefacibile
5	39.70	25.00	7.914	766.224	457.995	0.097	0.338	3.48	Livello non liquefacibile

TABELLA 11 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE PONTE COLLETTORE ACQUE BASSE

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## 6.7 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA CASTAGNO

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di -8.27 m dal p.c. attuale, così come misurato in S07. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

=====

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	1.00	10.00	19.352	17.500	17.500	0.141	0.777	5.49	Livello non liquefacibile
2	6.60	15.00	12.913	125.018	125.018	0.129	0.873	6.75	Livello non liquefacibile
3	14.40	20.00	11.783	274.442	214.326	0.144	0.691	4.79	Livello non liquefacibile

TABELLA 12 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE SSE CASTAGNO

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## 6.8 VIADOTTO FOSSO REALE

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di -8.65 m dal p.c. attuale, così come misurato in S08. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

=====



**TRANVIA DI FIRENZE – LINEA 4.2 – LE PIAGGE-CAMPI BISENZIO**  
**PROGETTO DEFINITIVO**

**STUDI E INDAGINI**  
**SISMICA – ELABORATI GENERALI**  
**Relazione Sismica**

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	1.00	4.00	7.741	17.500	17.500	0.141	0.162	1.14	Livello non liquefacibile
2	11.00	10.00	6.448	212.967	189.921	0.135	0.272	2.02	Livello non liquefacibile
3	15.50	15.00	8.313	299.365	232.188	0.142	0.361	2.54	Livello non liquefacibile
4	20.50	36.00	17.036	399.864	283.653	0.140	1.368	9.76	Livello non liquefacibile
5	30.50	55.00	20.548	591.861	377.581	0.122	0.319	2.61	Livello non liquefacibile
6	41.00	30.00	9.074	799.757	482.506	0.092	0.411	4.48	Livello non liquefacibile

TABELLA 13 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE VIADOTTO FOSCO REALE

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## 6.9 PONTE FOSCO PRUNAIA

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di -8.65 m dal p.c. attuale, così come misurato in S08. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

=====

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	0.60	7.00	14.745	10.500	10.500	0.155	0.388	2.51	Livello non liquefacibile
2	6.50	10.00	8.717	122.598	122.598	0.141	0.386	2.74	Livello non liquefacibile
3	12.50	17.00	10.495	239.166	201.410	0.151	0.535	3.55	Livello non liquefacibile
4	25.00	33.00	14.199	479.162	318.821	0.147	0.753	5.14	Livello non liquefacibile

STUDI E INDAGINI  
SISMICA – ELABORATI GENERALI  
Relazione Sismica

5	31.00	62.00	23.133	597.361	378.178	0.132	1.727	13.10	Livello non liquefacibile
---	-------	-------	--------	---------	---------	-------	-------	-------	---------------------------

TABELLA 14 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE PONTE FOSSO PRUNAIA

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## 6.10 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA PALAGETTA

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di -1.30 m dal p.c. attuale, così come misurato in S11. La categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 così come ricavato dalle indagini geofisiche condotte in sito è C.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE – Metodo del C.N.R. – GNDT Da Seed e Idriss

=====

$\sigma_{v0}$ : Pressione totale di confinamento;  $\sigma'_{v0}$ : Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	$\sigma_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{v0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	0.60	7.00	14.745	10.500	10.500	0.128	0.388	3.04	Livello non liquefacibile
2	10.40	10.00	8.789	210.277	121.034	0.189	0.391	2.07	Livello non liquefacibile
3	20.00	30.00	17.630	398.434	215.046	0.167	2.363	14.16	Livello non liquefacibile

TABELLA 15 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE SSE PALAGETTA

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerate trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sottofalda.

## **ALLEGATO: ANALISI SISMICA LOCALE**

---

A seguito della procedura di Conferenza dei Servizi si è proceduto ad un'analisi della risposta sismica locale con una modellazione specifica, anche ai fini della variante urbanistica legata principalmente al Deposito.

Si riportano di seguito i capitoli svolti per tale argomento.

## A. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

### A.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Le indagini eseguite nella zona interessata dal deposito (sondaggi S1-INC, S2, S2-INC) portano a presupporre la presenza di tre orizzonti litotecnici principali.

La prima unità (A) caratterizzata da terreni di riporto, terreni superficiali alterati e suscettibili alle variazioni di umidità stagionali.

La seconda (B) composta da limi ed argille da marroni a nocciola con concrezioni carbonatiche, ossidazioni ferrose, spalmature di torba e rari livelli centimetrici-decimetrici ghiaiosi-sabbiosi.

La terza (C) formata da un'alternanza di ghiaie dominanti con livelli di limi ed argille. Le ghiaie si presentano in strati metrici in cui lo scheletro ghiaioso è immerso in matrice limo-sabbiosa-argillosa. Sono presenti, inoltre, le livelli metrici di limi, sabbie ed argille.

Unità	Profondità	Descrizione
<b>A</b>	0.00 – 0.40 m	Terreni di riporto
<b>B</b>	0.40 – 9.90 m	Limi e argille
<b>C</b>	9.90 – 15.00 m	Ghiaie e sabbie limose

TABELLA 16 – PRINCIPALI UNITÀ PRESENTI DESUNTE DAL SONDAGGIO STRATIGRAFICO S2

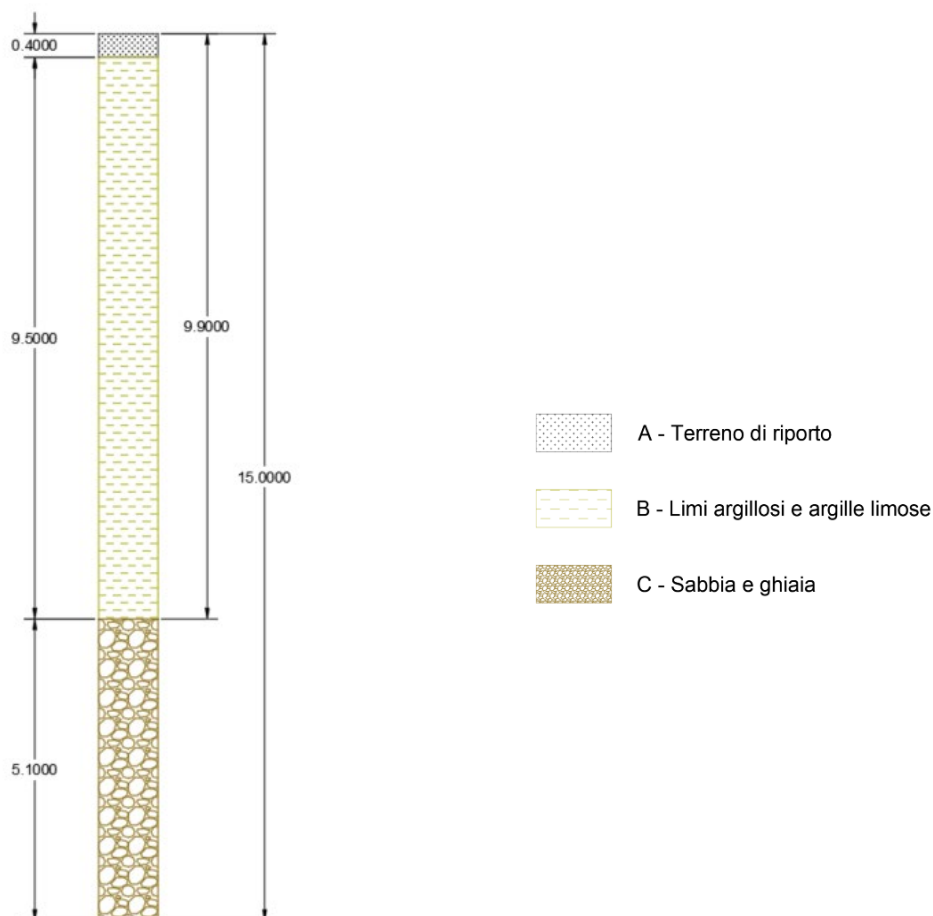


FIGURA 30 – COLONNA STRATIGRAFICA RISULTANTE DAL SONDAGGIO S2



## A.2 CARATTERIZZAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA

Dalla prova *down-hole* condotta nella sezione comprendente la zona del deposito ("*Down-hole Inc.*") sono stati ricavati i profili di velocità di propagazione delle onde di taglio per i primi 30m dalla superficie.

Per gli strati più in profondità è stato modellato un aumento della velocità di tipo esponenziale, caratterizzato dalla seguente forma:

$$V_s = a \cdot z^b$$

Con:

- $V_s$  : Velocità di propagazione delle onde di taglio;
- $z$  : Profondità misurata dal p.c.;
- $a, b$  : Coefficienti variabili in base alle velocità e profondità ipotizzate.

Ipotizzando una profondità del bedrock (con  $V_s$  pari a 800m/s come da NTC2018) di 100m ed interpolando tali parametri con quelli rispettivi dell'ultimo strato superficiale noto si ricavano i seguenti valori dei coefficienti:

$$a = 40.652 \quad b = 0.647$$

Così facendo risulta quindi possibile estendere i profili di velocità fino allo strato di base, una volta definiti gli spessori delle singole superfici di calcolo.

La discretizzazione in altezza degli strati è stata formulata in modo da consentire il trasferimento della massima frequenza significativa dell'input sismico agli strati superiori (ipotizzata cautelativamente pari a 20Hz):

$$\Delta H \leq \frac{1}{5} \cdot \frac{V_s}{f_0}$$

Dove:

- $\Delta H$ : Spessore massimo dello strato;
- $V_s$ : Velocità delle onde di taglio nello strato;
- $f_0$ : Massima frequenza significativa del segnale in ingresso.

Si giunge dunque alla seguente discretizzazione verticale delle velocità:

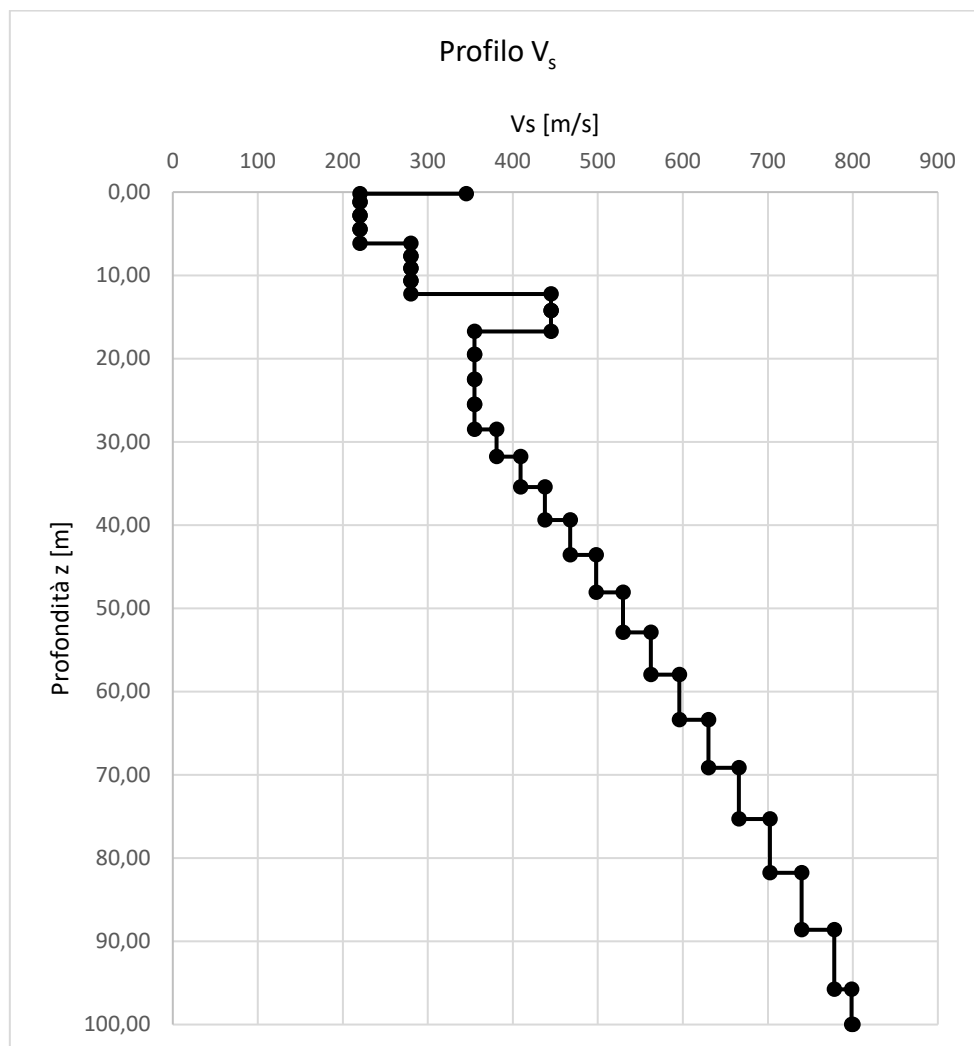


FIGURA 31 – PROFILO DELLA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO OTTENUTO DALLE PRECEDENTI CONSIDERAZIONI

STUDI E INDAGINI  
 SISMICA – ELABORATI GENERALI  
 Relazione Sismica

I sottostrati definiti ai fini della modellazione sono quindi i seguenti:

Strato	Unità	Z <sub>max</sub> [m]	Z <sub>min</sub> [m]	ΔH [m]	V <sub>s</sub> [m/s]
1	A	0.00	0.40	0.40	345
2	B	0.40	2.00	1.60	220
3	B	2.00	3.65	1.65	220
4	B	3.65	5.30	1.65	220
5	B	5.30	7.00	1.70	220
6	B	7.00	8.45	1.45	280
7	B	8.45	9.90	1.45	280
8	C	9.90	11.45	1.55	280
9	C	11.45	13.00	1.55	280
10	C	13.00	15.50	2.50	445
11	C	15.50	18.00	2.50	445
12	C	18.00	21.00	3.00	355
13	C	21.00	24.00	3.00	355
14	C	24.00	27.00	3.00	355
15	C	27.00	30.00	3.00	355
16	C	30.00	33.55	3.55	381
17	C	33.55	37.35	3.80	409
18	C	37.35	41.40	4.05	438
19	C	41.40	45.75	4.35	467
20	C	45.75	50.40	4.65	498
21	C	50.40	55.35	4.95	530
22	C	55.35	60.60	5.25	562
23	C	60.60	66.20	5.60	596
24	C	66.20	72.15	5.95	630
25	C	72.15	78.45	6.30	666
26	C	78.45	85.10	6.65	702
27	C	85.10	92.10	7.00	740
28	C	92.10	99.45	7.35	778
29	C	99.45	100.00	0.55	799
30	Bedrock	100.00	Inf.	Inf.	800

TABELLA 17 – SOTTOSTRATI DEFINITI, CON RELATIVE PROFONDITÀ E VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO

### A.3 CURVE DI DECADIMENTO E DI SMORZAMENTO

Per la caratterizzazione delle curve di decadimento e smorzamento si è fatto riferimento alle indagini svolte nel corso del programma VEL della Regione Toscana. Per l'unità B, caratterizzate da matrici argillose e limose di colore da marrone a nocciola è stata considerata la formazione bn rilevata durante il programma Vel con 56 prove su diversi campioni estratti all'interno del territorio Toscano.

L'approccio svolto per l'identificazione delle curve per la formazione bn ha previsto l'utilizzo della regressione quantile applicata alla relazione empirica di Yokota et al. svolgendo un'analisi di sensitività tra i quantili 0.05 e 0.95. L'analisi non ha mostrato differenze, ragion per cui si è scelto di procedere con la curva di regressione con quantile 0.05.

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha \cdot \gamma^\beta} \quad D = D_{max} \cdot e^{\lambda \cdot \frac{G}{G_0}} \quad (\text{Yokota et al.})$$

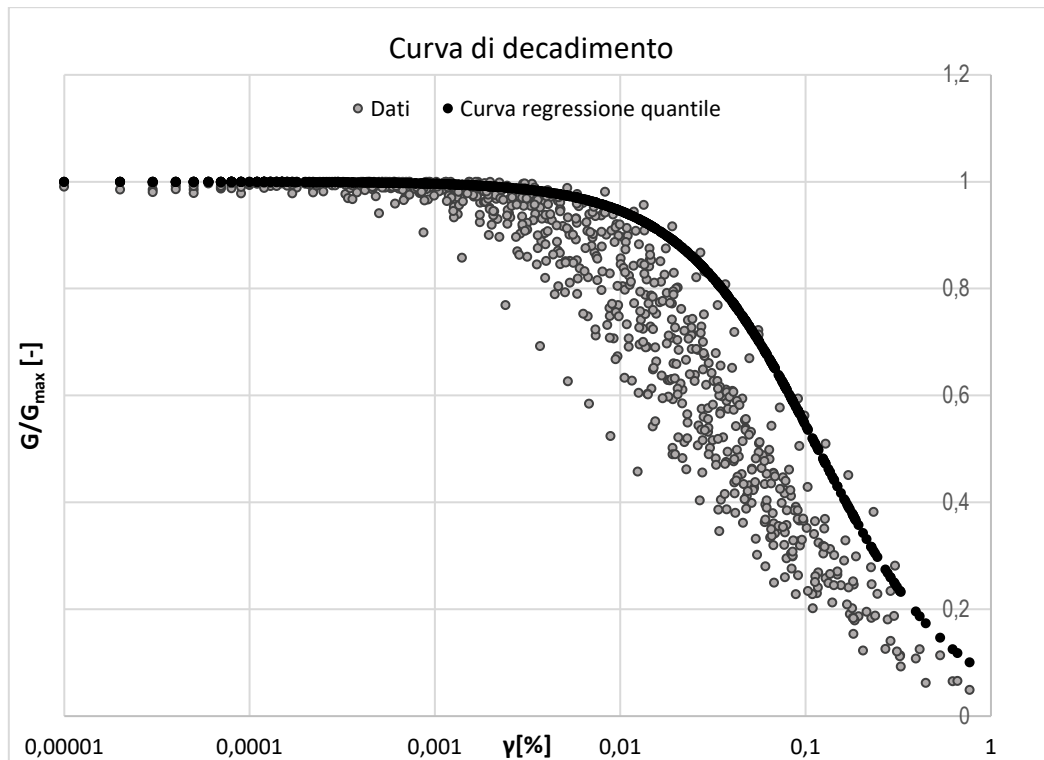


FIGURA 32 - CURVA DI DECADIMENTO DETERMINATA PER LE UNITÀ B DA REGRESSIONE QUANTILE 5%



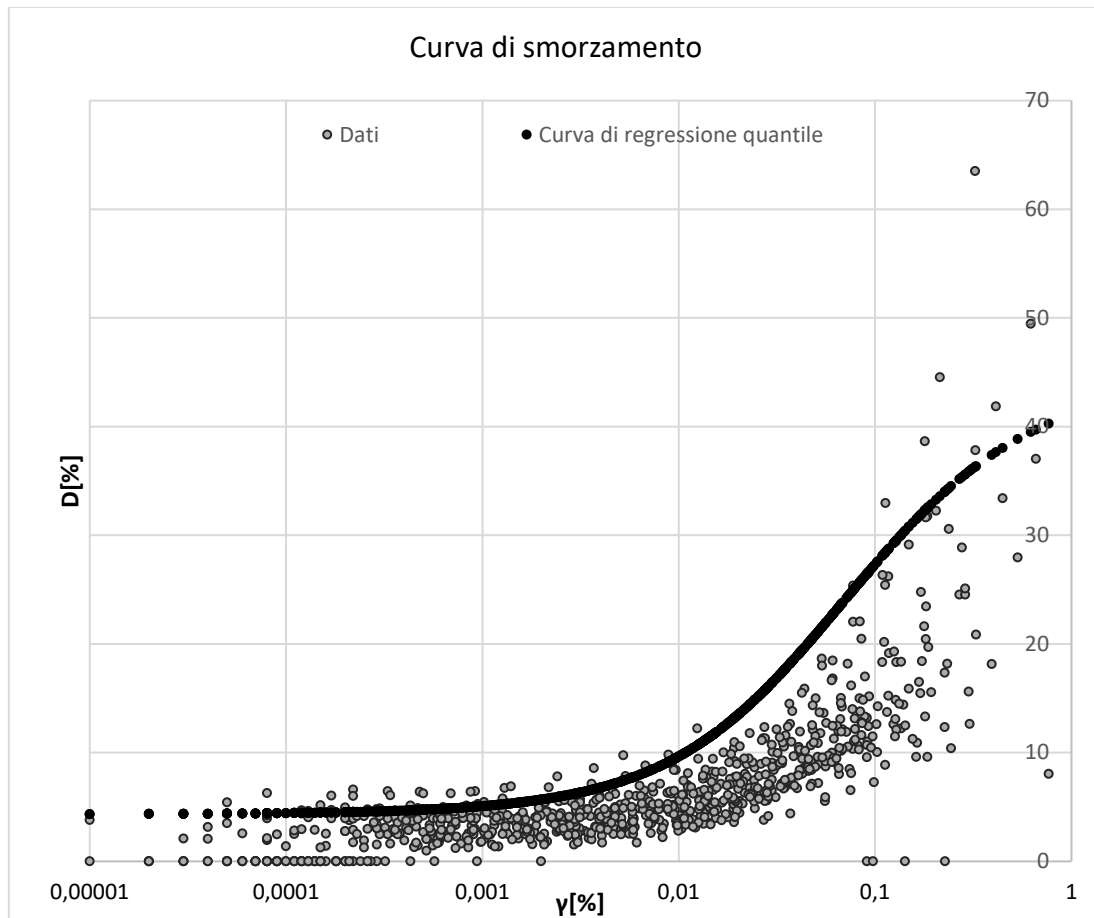


FIGURA 33 - CURVA DI SMORZAMENTO DETERMINATA PER LE UNITÀ B DA REGRESSIONE QUANTILE 5%

Per quanto riguarda invece gli strati di riporto e quelli profondi, di natura sabbiosi e ghiaiosa, trattandosi di materiali a grana grossa per i quali un'analisi diretta di curve in laboratorio è difficilmente praticabile, si è ricorsi alle correlazioni sperimentali di letteratura seguenti:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + 16 \cdot \gamma \cdot (1.2 + 10^{-20 \cdot \gamma})} \quad \text{Rollins et al. (1998), ghiaie}$$

Per quanto riguarda invece  $D(\gamma)$  le correlazioni sperimentali utilizzate sono quelle indicate di seguito:

$$D = 0.8 + 18 \cdot (1 + 0.15 \cdot \gamma^{-0.9})^{-0.75} \quad \text{Rollins et al (1998), ghiaie}$$

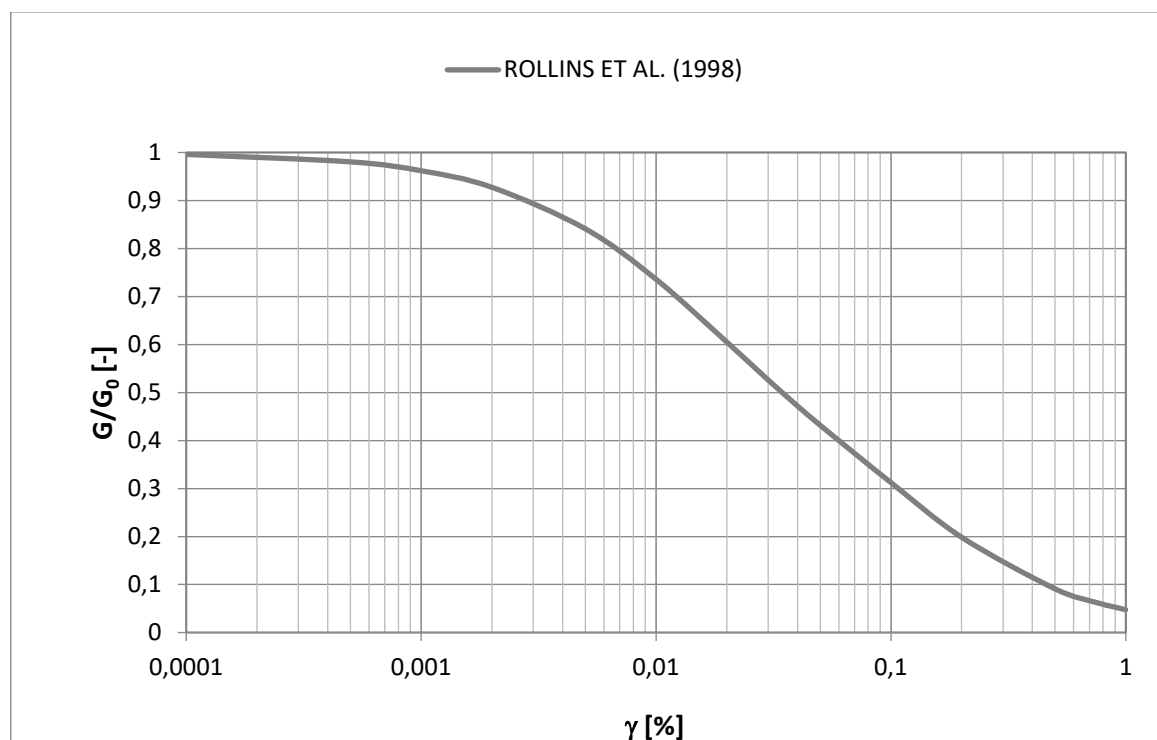


FIGURA 34 – CURVA DI DECADIMENTO UTILIZZATA PER LE UNITÀ A E C (ROLLINS ET AL.,1998)

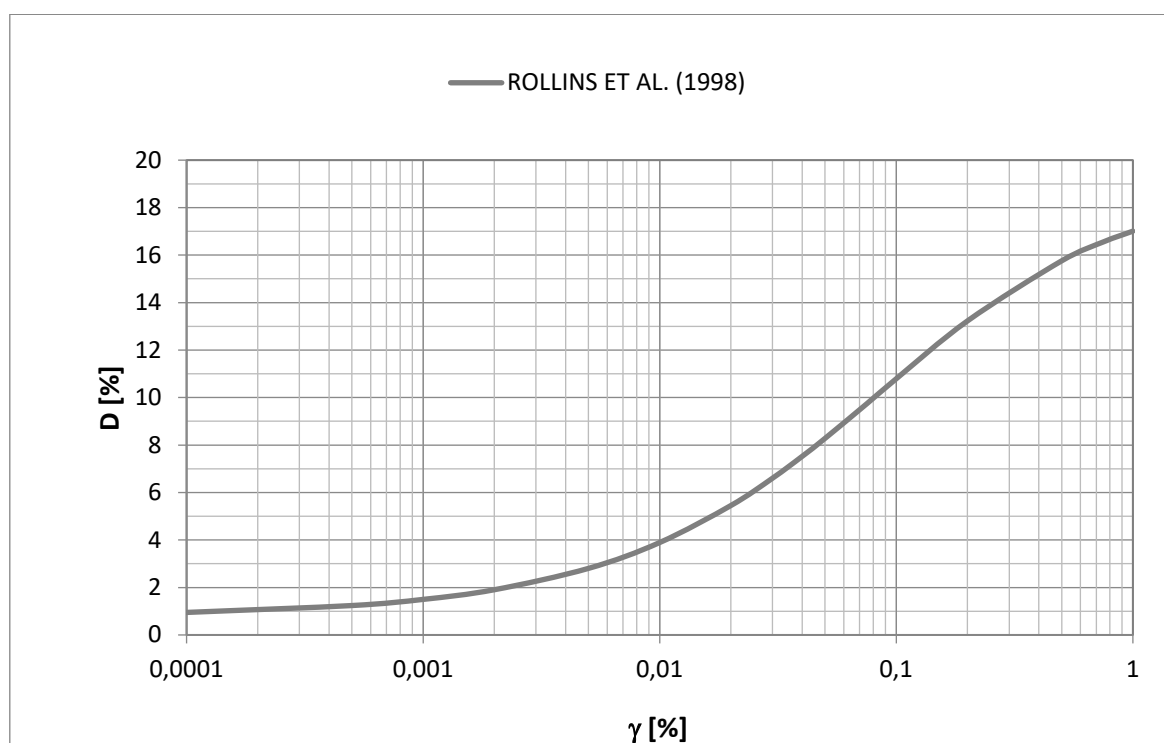


FIGURA 35 – CURVA DI SMORZAMENTO UTILIZZATA PER LE UNITÀ A E C (ROLLINS ET AL.,1998)

Le tipologie di suolo definiti per l'analisi presentano dunque in sintesi le seguenti caratteristiche:

Unità	Peso di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Modello G/G <sub>0</sub>	Modello D/D <sub>0</sub>	Limite D [%]
A	17.0	Rollins	Rollins	0.5
B	20.0	B	B	0.5
C	21.0	Rollins	Rollins	0.5
Bedrock	22.0	-	-	1.0

TABELLA 18 – TIPOLOGIE DI SUOLO E MODELLI UTILIZZATI

#### A.4 INPUT SISMICI

In accordo con quanto espresso dalle NTC 2018 al 3.2.3.6, è ammesso l'uso di accelerogrammi per la rappresentazione del moto sismico in ingresso al sistema, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Per quanto riguarda l'utilizzo di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate, queste devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame.

Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente B del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite. Come raccomandato (circolare allegata alle NTC 2018, C7.11.3.1.2.2, pag. 242) gli accelerogrammi selezionati sono nel numero minimo di sette.

Per selezionare le storie temporali rispettose delle limitazioni imposte dalla norma vigente è stato utilizzato l'applicativo SCALCONA-3.0 (<https://www.regione.toscana.it/-/accelerogrammi-di-riferimento-per-la-progettazione>), strumento sviluppato appositamente per la ricerca di accelerogrammi spettro-compatibili per i territori della Regione Toscana.

Considerando una vita di riferimento pari a  $VN = VU \cdot CU$  pari a 75 anni sono stati selezionati gli accelerogrammi riferiti allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), caratterizzati da un tempo di ritorno di 712 anni:

Denominazione	Fattore di scala	Stato Limite / Tr
W_TR00712_Firenze_1	1.5	SLV / 712
W_TR00712_Firenze_2	1.6	SLV / 712
W_TR00712_Firenze_3	2.5	SLV / 712
W_TR00712_Firenze_4	1.1	SLV / 712
W_TR00712_Firenze_5	0.5	SLV / 712
W_TR00712_Firenze_6	1.4	SLV / 712
W_TR00712_Firenze_7	2.3	SLV / 712

TABELLA 19 – ACCELEROGRAMMI SELEZIONATI

## A.5 SOFTWARE STRATA

Il software scelto in questa sede, STRATA di Rathje e Park (2001), svolge analisi di tipo monodimensionale lineare equivalente, ovvero nelle quali i valori di  $G$  e  $D$  sono assunti costanti ma vengono aggiornati ad ogni iterazione. Il programma opera in tensioni totali, nel dominio delle frequenze. La verticale di indagine è schematizzata come una colonna multistrato continua e ad ogni sottostrato, considerato omogeneo a comportamento visco-elastico lineare, è applicata l'equazione della trave a taglio:

$$\rho_i \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = G_i \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} + \eta_i \cdot \frac{\partial^3 u_i}{\partial z^2 \partial t}$$

Con:

$$\eta_i = \frac{2G_i D_i}{\omega_i}$$

Il problema è risolto nel dominio delle frequenze, imponendo la congruenza degli spostamenti al contatto tra due strati successivi e la condizione  $\tau = 0$  sulla superficie libera.

La modellazione avviene quindi discretizzando la verticale in un numero finito di sottostrati; a ciascuno di essi si assegnano lo spessore  $h_i$ , il peso di volume  $g_i$ , il valore di velocità delle onde di taglio  $V_{s,i}$  e le curve rappresentative delle leggi di variazione del modulo di taglio normalizzato e del rapporto di smorzamento con la deformazione di taglio, ovvero  $\frac{G_i(\gamma)}{G_{0i}}$  e  $D_i(\gamma)$ . Anche per il bedrock sismico vengono definiti il peso di volume  $g$ , il valore di  $V_s$  e quello dello smorzamento iniziale  $D_0$ .

La trasformata di Fourier e principio di sovrapposizione possono essere applicati a rigore solo se il comportamento del terreno è lineare quando in realtà  $G$  e  $D$  non sono costanti ma oltre la soglia elastica ma dipendono dalla deformazione  $\gamma$ . Il problema, come già accennato, viene aggirato se si accetta una soluzione approssimata, utilizzando un approccio lineare equivalente. Quest'ultimo consiste in una sequenza di analisi lineari in cui  $G$  e  $D$  vengono aggiornati, mediante una procedura iterativa, ad ogni passo in base al valore della deformazione 'efficace' ( $\gamma_{eff}$ ) ottenuta al passo precedente, fino a convergenza.

Generalmente si assume:

$$|\gamma_{eff}| = \beta \cdot |\gamma_{max}|$$

Con  $\beta = 0.65$ .



## A.6 RISULTATI

Dal profilo di velocità precedentemente determinato è possibile calcolare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio del deposito, andando a considerare i contributi apportati da ogni strato i-esimo in base alla propria altezza e rigidezza.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_1^N \frac{h_{i(strato)}}{V_{s,i(strato)}}} = 454.16 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Da questa grandezza è possibile stimare il valore della frequenza caratteristica del primo modo di vibrazione del terreno:

$$f_0 = \frac{V_{s,eq}}{4 \cdot H} = \frac{454.16}{4 \cdot 100} = 1.14 [Hz]$$

Che corrisponde ad un'oscillazione con periodo:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} = 0.88 [s]$$

### Spettri e funzioni di trasferimento

Passando all'analisi degli spettri di ampiezza di Fourier è possibile andare a confrontare la trasformazione delle onde durante il tragitto dal bedrock alla superficie al variare della frequenza. Per questo scopo è utile definire una funzione complessa, denominata funzione di trasferimento  $F(\omega)$ , calcolata come rapporto tra gli spettri di Fourier dei segnali in superficie  $F_s(\omega)$  ed alla base  $F_r(\omega)$ :

$$F(\omega) = \frac{F_s(\omega)}{F_r(\omega)}$$

Con:  $\omega = f \cdot 2\pi$

Tale correlazione (o meglio, il suo modulo, detta funzione di amplificazione  $F_a(\omega) = |F(\omega)|$ ) permette di quantificare le amplificazioni (o deamplificazioni) del moto alle diverse frequenze. Essa, in caso di strati visco-elastici su substrato rigido, presenta i massimi relativi in corrispondenza delle frequenze naturali del deposito:

$$f_n = \frac{V_s}{2\pi H} \cdot \left( \frac{\pi}{2} + n\pi \right) \quad \text{con } n = 0, 1, 2 \dots$$

I massimi relativi della funzione si riducono all'aumentare della frequenza e del rapporto di smorzamento, come illustrato nella figura seguente:

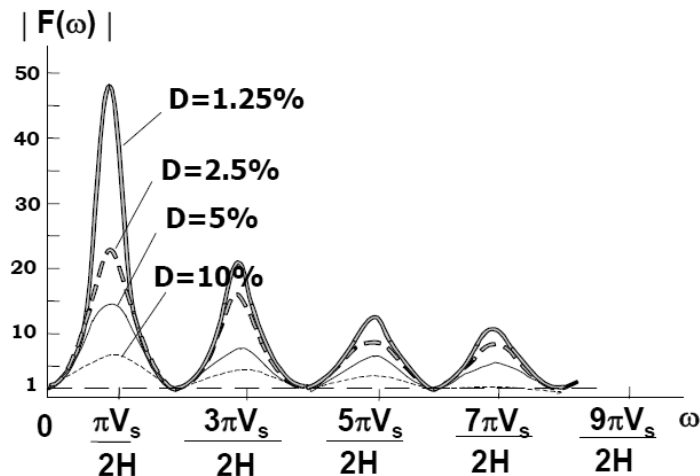


FIGURA 36 – FUNZIONE DI AMPLIFICAZIONE AL VARIARE DELLA FREQUENZA E DEL RAPPORTO DI SMORZAMENTO

Il massimo assoluto della funzione di amplificazione si ha dunque in corrispondenza della frequenza fondamentale del deposito:

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{V_s}{4H}$$

La funzione di trasferimento ricavata considerando il valore medio dei sette spettri di Fourier in ingresso è la seguente:

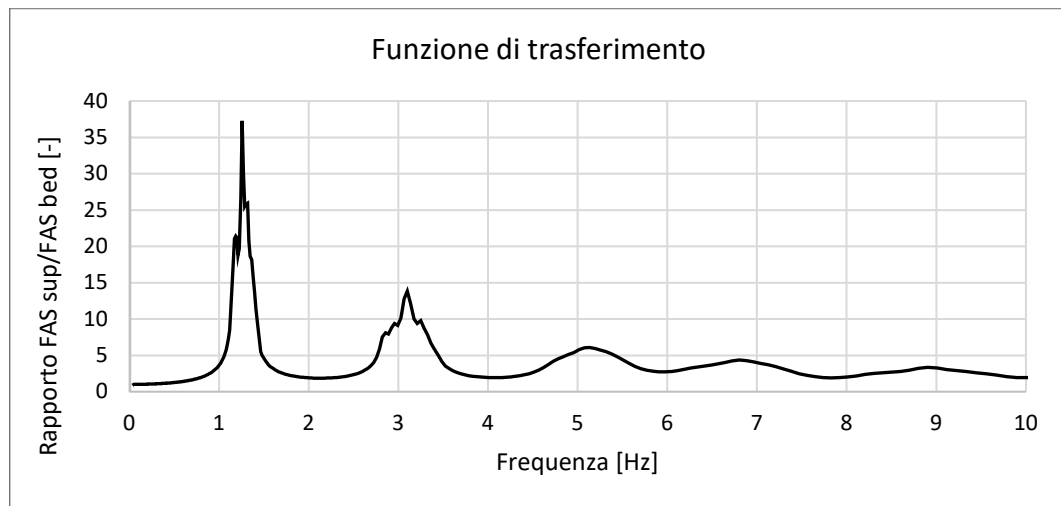


FIGURA 37 – FUNZIONE DI TRASFERIMENTO CALCOLATA CONSIDERANDO LA MEDIA DEI 7 SPETTRI

Tale relazione, come già descritto, evidenzia l'andamento delle amplificazioni in funzione delle diverse frequenze. Si riporta il valore tabulato dei parametri corrispondenti alla frequenza naturale del deposito:

Modo	n	Frequenza di risonanza [Hz]	Periodo di risonanza [s]
1	0	1.26	0.80

TABELLA 20 – FREQUENZA DI RISONANZA DEL DEPOSITO

## **B. CONCLUSIONI**

---

Dalla disamina dei risultati ottenuti a seguito della presente analisi di risposta sismica locale monodimensionale è possibile concludere che, sul sito esaminato, sono presenti fenomeni amplificativi per onde sismiche caratterizzate da determinate classi di frequenze.

In particolare, dall'analisi degli spettri di risposta di Fourier, la frequenza principale del deposito risulta essere pari a  $1.26\text{ Hz}$ , corrispondente ad un periodo di  $0.80\text{ s}$ . Tale valore appare compatibile con quello precedentemente stimato mediante il calcolo della velocità di propagazione delle onde di taglio in forma equivalente.