

# PROGETTO DEFINITIVO

CUP: H91J12000770005

CIG: 9524700F13

TRANVIA DI FIRENZE

LINEA 4.2

LE PIAGGE - CAMPI BISENZIO



## STUDI ED INDAGINI

### GEOLOGIA

#### ELABORATI GENERALI

Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

#### STAZIONE APPALTANTE – COMUNE DI FIRENZE

DIRETTORE DEL SETTORE  
Ing. Michele Priore

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Giacomo Bioli Pini

DEC  
Ing. Andrea Adinolfi

#### APPALTATORE

MANDATARIA



MANDANTI

ALSTOM

HITACHI  
Inspire the Next

com.net  
a nextaly company

#### GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA



MANDANTI

SDAprogetti  
ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI

STUDIO MATTIOLI  
Autismi - Saggiato - Energie

iride

ETS  
Engineering and Technical Services  
S.p.A.

ARCHLANDSTUDIO  
architects - urbanists

steer



Responsabile Integrazione Prestazioni Specialistiche

TEGENTAT Ing. Filippo Busola

Progettista

STUDIO MATTIOLI  
Autismi - Saggiato - Energie  
Geol. Matteo Mattioli

Commessa				Fase	Origine	Ambito		Disciplina		Attività		Parte d'opera			Tipologia		Progressivo		Rev.	Scala
F	L	4	2	D	M	I	N	G	E	0	0	E	G	G	R	T	0	1	B	-
REVISIONE		DATA		DESCRIZIONE						SOCIETÀ		REDATTO		VISTO		APPROVATO				
REV A		03/2024		PRIMA EMISSIONE						Studio Mattioli		F. Tassinari		A. Paone		M. Mattioli				
REV B		09/2024		Emissione a seguito procedura						Studio Mattioli		F. Tassinari		A. Paone		M. Mattioli				
REV C		11/2024		Adeguamento a prescrizioni CdS						Studio Mattioli		F. Tassinari		A. Paone		M. Mattioli				

**STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA  
ELABORATI GENERALI**

**Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica**

---

Novembre 2024

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>REFERENZE .....</b>	<b>6</b>
2.1	ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO .....	6
2.2	NORMATICA DI RIFERIMENTO .....	6
2.3	BIBLIOGRAFIA .....	7
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INDICAZIONI PROGETTUALI.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO .....</b>	<b>12</b>
4.1	PIANO STRUTTURALE COMUNALE FIRENZE (Ps) .....	13
4.2	IL REGOLAMENTO URBANISTICO FIRENZE (RU) .....	22
4.3	IL PIANO OPERATIVO (PO) .....	28
4.4	PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI CAMPI BISENZIO.....	33
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>45</b>
5.1	ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE.....	45
5.2	EVOLUZIONE GEOLOGICA.....	47
5.3	CARATTERI GEOMORFOLOGICI .....	48
5.4	IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA .....	49
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>51</b>
6.1	MACRO-SISMICITÀ DELL'AREA .....	52
<b>7</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE .....</b>	<b>58</b>
7.1	CAMPAGNA INDAGINI 2019 .....	58
7.2	INDAGINI AREA EX INCENERITORE SAN DONNINO (2021).....	58
7.3	INDAGINI BANCA DATI S.I.G.S. ....	59
<b>8</b>	<b>INDAGINI IN SITO .....</b>	<b>60</b>
8.1	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO .....	60
8.1.1	Descrizione dei mezzi utilizzati.....	60
8.1.2	Descrizione delle attività eseguite .....	62
8.2	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE E DINAMICHE .....	67
8.2.1	Prova penetrometrica statica a punta meccanica (CPT) .....	68
8.2.2	Prova penetrometrica dinamica (DPSH) .....	69
8.3	POZZETTI GEOGNOSTICI .....	69
8.4	INDAGINI DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	70
8.5	INDAGINI GEOFISICHE.....	70
8.5.1	Indagini sismiche MASW.....	70
8.5.2	Indagini sismiche HVSR .....	71
8.5.3	Prove sismiche in foro Down Hole.....	72
<b>9</b>	<b>QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>73</b>
9.1	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO ALLA SCALA DELL'OPERA.....	73
9.2	PROFILO STRATIGRAFICO DA PK 0+000 A PK 2+400 .....	74
9.2.1	Area deposito .....	74
9.2.2	Sottopasso via dei Manderi (pk 2+191) e sottopasso stazione Pistoiese (pk 2+287) .....	74
9.3	PROFILO STRATIGRAFICO DA PK 2+400 A PK 4+100 .....	75
9.3.1	Ponte Fosso Macinante (pk 2+422) e prolungamento sottovia scatolare via San Jacopo (pk 2+525) .....	75
9.3.2	Ponte sul canale Acque Basse (pk 2+736) .....	75
9.3.3	Locali tecnologici di linea - sottostazione elettrica 2 Castagno (pk 3+084) .....	75
9.3.4	Ponte Fosso Reale (pk 3+280) .....	76

STUDI ED INDAGINI

GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI

Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

9.3.5	Ponte Fosso Prunaia (pk 3+872).....	76
9.4	PROFILO STRATIGRAFICO DA PK 4+100 A PK 5+369 .....	76
10	IDROSTRUTTURA E COMPLESSI ACQUIFERI .....	77
10.1	LIVELLI PIEZOMETRICI.....	77
10.2	TEST IDROGEOLOGICI .....	80
10.3	MODELLO IDROGEOLOGICO CONCETTUALE E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA.....	80
11	NOTE CONCLUSIVE E GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ .....	81

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento territoriale dell'intervento oggetto di studio .....	11
Figura 4-1 - PS comune di Firenze. Estratto Tavola 1 "Vincoli". In rosso l'area in esame.....	15
Figura 3 - PS comune di Firenze. Estratto Tavola 2 "Invarianti". In rosso l'area in esame.....	17
Figura 4 - comune di Firenze. Estratto Tavola 3 "Tutele". In rosso l'area in esame.....	19
Figura 5 - PS comune di Firenze. Estratto Tavola 4 "Pericolosità geomorfologica". In rosso l'area in esame.....	20
Figura 6 - PS comune di Firenze. Estratto Tavola 5 "Pericolosità sismica". In rosso l'area in esame.....	21
Figura 7 - RU comune di Firenze. Estratto Tavola "Fattibilità geologica". In rosso l'area in esame. ....	23
Figura 8 - RU comune di Firenze. Estratto Tavola "Fattibilità idraulica". In rosso l'area in esame.....	25
Figura 9 - RU comune di Firenze. Estratto Tavola "Fattibilità sismica". In rosso l'area in esame. ....	27
Figura 6 - PO comune di Firenze. Estratto Tavola "pericolosità geologica". ....	29
Figura 7 - PO comune di Firenze. Estratto Tavola "Pericolosità da Alluvioni". ....	30
Figura 8 - PO comune di Firenze. Estratto Tavola "Pericolosità sismica".....	31
Figura 9 - PS Comune di Campi Bisenzio – Aree di rispetto, vincoli e tutele. In rosso il tracciato di progetto e le opere ad esso annesse.....	34
Figura 10 - PS Comune di Campi Bisenzio – I caratteri idro-geo-morfologici dei bacini idrografici e dei sistemi morfogenetici .....	36
Figura 11 - PS Comune di Campi Bisenzio – I caratteri ecosistemici del paesaggio .....	38
Figura 12 - PS Comune di Campi Bisenzio - Il carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, urbani e infrastrutturali .....	41
Figura 13 - PS Comune di Campi Bisenzio – Invariante strutturale IV: I caratteri morfologici dei paesaggi rurali .....	43
Figura 14 - Carta Geologica schematica del Bacino Firenze -Prato - Pistoia e delle aree limitrofe (da Coli&Rubellini, 2007).....	45
Figura 15 - Ricostruzione paleogeografica dell'area di Firenze durante il Pliocene inferiore (da Coli, 1997; modificata).....	46
Figura 16 - Successioni stratigrafiche rappresentative del riempimento del Bacino di Firenze - Prato - Pistoia desunte da sondaggi (Capecchi et al., 1975). 1) Sabbie argillose, 2) Ciottolami e Ghiaie, 3) Ciottolami con matrice sabbioso - argillosa, 4) Argille, 5) Argille con lenti di ciottolami, 6) Calcari cariati tipo travertino, 7) Rocce del substrato della conca fluviolacustre. ....	47
Figura 17 - Istogramma di intensità macrosimica comuni di Firenze e Campi Bisenzio (FI) .....	52
Figura 18 - Zone sismogenetiche riguardanti la Toscana (Meletti e Valensise 2004). ....	53
Figura 19 - Grafico di disaggregazione delle PGA0 (INGV) Comune di Firenze. ....	54
Figura 20 - Tabella di disaggregazione delle PGA0 (INGV) Comune di Firenze. ....	55
Figura 21 - Grafico di disaggregazione delle PGA0 (INGV) Comune di Campi Bisenzio.....	56
Figura 22 - Tabella di disaggregazione delle PGA0 (INGV) Comune di Campi Bisenzio. ....	57
Figura 23 - Estratto carta delle curve isofreatiche (SIT comune di Firenze) e idrogeologica (PS Campi Bisenzio). da Studio geologico PFTE (non in scala) .....	79

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Elaborati progettuali di riferimento.....	6
Tabella 2 - Indagini di riferimento 2019 .....	58
Tabella 3 - Indagini di riferimento 2021 .....	59
Tabella 4 - Indagini di riferimento banca dati S.I.G.S. ....	59
Tabella 5 - Sondaggi meccanici a carotaggio continuo.....	60
Tabella 6 - Prove SPT. ....	64
Tabella 7 - Campioni di terreno prelevati in corso di sondaggio.....	66
Tabella 8 - Prove penetrometriche.....	68
Tabella 9 - Indagini Masw.....	71

STUDI ED INDAGINI

GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI

*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

Tabella 10 - Indagini HVSR.....	71
Tabella 11 - Campagna monitotraggio piezometrico 2019-2020.....	77
Tabella 12 - Livelli piezometrici campagna di indagine 2023-2024.....	78
Tabella 13 - Risultati prove Lefranc 2019 .....	80

## **1 PREMESSA**

---

Nell'ambito del servizio di progettazione definitiva della tranvia di Firenze, linea 4.2 - Le Piagge-Campi Bisenzio è stato redatto il presente documento inerente lo studio dei terreni del primo sottosuolo interessati dal progetto.

La modellazione geologica del territorio in esame è desunta dalle indagini in sito di riferimento per il progetto e scopo del presente lavoro è analizzare e descrivere la situazione morfologica, idrogeologica e geo-litologica generale, determinare la natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo e le loro caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche.

Il presente studio è stato attuato secondo quanto previsto dal D.M 17/01/2018 "Norme Tecniche per le costruzioni", sviluppando i punti seguenti:

- Inquadramento generale, dove viene fornito un inquadramento geologico del territorio interessato dalla realizzazione dei sovrappassi, con descrizione dell'area in esame da un punto di vista strutturale, geomorfologico ed idrogeologico.
- Modello geologico di riferimento con descrizione delle opere in progetto, verifica della conformità delle proposte progettuali alle previsioni in materia urbanistica ed ambientale e definizione del modello geologico e sismico di riferimento desunto dalle indagini geognostiche disponibili.

## 2 REFERENZE

### 2.1 ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO

Codifica elaborato	Titolo elaborato
FL42-D-T-IN-IG-00-EGG-RT-01	Relazione indagini Geognostiche pregresse
FL42-D-T-IN-IG-00-EGG-RT-02-A	Relazione indagini Integrative - In situ
FL42-D-T-IN-IG-00-EGG-PL-01-A	Planimetria ubicazione indagini pregresse e integrative - Tav. 1/3
FL42-D-T-IN-IG-00-EGG-PL-02-A	Planimetria ubicazione indagini pregresse e integrative - Tav. 2/3
FL42-D-T-IN-IG-00-EGG-PL-03-A	Planimetria ubicazione indagini pregresse e integrative - Tav. 3/3
FL42-D-T-IN-IG-01-EGG-RT-01-A	Relazione indagini Integrative - Prove di Laboratorio
FL42-D-M-IN-GE-01-EGG-PL-01-A	Carta Geologica e Geomorfologica
FL42-D-M-IN-GE-01-EGG-PR-01-A	Profilo Geologico del tracciato di progetto - Tav. 1
FL42-D-M-IN-GE-01-EGG-PR-02-A	Profilo Geologico del tracciato di progetto - Tav. 2
FL42-D-M-IN-GE-01-EGG-PR-03-A	Profilo Geologico del tracciato di progetto - Tav. 3
FL42-D-M-IN-GE-02-EGG-PL-01-A	Carta Idrogeologica
FL42-D-T-IN-SM-00-EGG-RT-01-A	Relazione sismica

TABELLA 1 - ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO

### 2.2 NORMATICA DI RIFERIMENTO

- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- D.M. 21 gennaio 1981 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. Dir. Centr. Tecn. n. 97/81 – “Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods, 1981.
- D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 – “Istruzioni applicative al D.M. 11/03/88”.
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- D.M. 14.09.2005 - “Norme tecniche sulle costruzioni”.
- D.M. 14.01.2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 17.01.2018 - “Norme tecniche per le costruzioni”.



## 2.3 BIBLIOGRAFIA

- Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P. (2004) – *Carta Geologica del substrato Litoide dell'area Fiorentina. Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.*
- Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P. (2004) – *Carta Geologica dell'area Fiorentina. Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.*
- Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P. (2004) – *Firenze: Carta Litotecnica. Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.*
- Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P. (2004) – *Dati idrogeologici del sottosuolo del Comune di Firenze: Livelli piezometrici di morbida anni 1971 e 2002 . Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.*
- Bartolini C. & Pranzini G. (1981) – *Plio-Quaternary evolution of the Arno basin drainage. Zeitschrift fuer geomorphologie. Suppl. BD40, 77-91.*
- Boccaletti M., Moratti G. & Pranzini G. (1997) – *Geologia del bacino di Firenze, in Geologia Urbana di Firenze, Atti del convegno "Geologia delle grandi aree urbane", Bologna, 4/5 novembre 1997, vol. A, 2-9.*
- Briganti F., Ciufegni S., Coli M., Polimeni S. & Pranzini G. (2003) – *Plio-Quaternary evolution of the Firenze area. Boll. Soc. Geol. It., 122.*
- Capecchi F., Guazzone G., & Pranzini G. (1976) – *Ricerche geologiche ed idrogeologiche nel sottosuolo della pianura di Firenze . Boll. Soc. Geol. It., XCVI (4), 661-692*
- Capecchi F., Guazzone G. & Pranzini G. (1976) – *Il bacino lacustre di Firenze - Prato - Pistoia. Geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva. Boll. Soc. Geol. It., XCVI (4), 1975, 637-660.*
- Capecchi F., Guazzone G. & Pranzini G. (1976) – *Gli acquiferi profondi fra Firenze e Pistoia. Boll. Ingegn. Prov. Firenze, 1975, (12), 1-3.*
- Coli M., Agili F. & Pranzini G. (2003) – *Geological setting of the Firenze underground. 4th Europ. Congr. on Reg. Cartography and inf. System, Bologna, 17-20/06/03.*
- Coli M., Agili F., Pini G., & Coli N. (2004) – *Firenze: il suo impatto sull'evoluzione geologica dell'area. Atti Convegno AIQUA: "La Geologia del Quaternario in Italia, temi emergenti e zone d'ombra. C.N.R. Roma. Comune di Firenze (2010) – Piano Strutturale.*
- Coli M., Pini G., Rubellini P. & Agostini A. (2006) – *Firenze - Carta litotecnica. Ricerca cofinanziata dal Comune di Firenze e Università di Firenze Dip.to Scienze della Terra. SELCA Firenze.*
- Coli M., Pranzini G. & Rubellini P. (2012) – *Idrogeologia dell'area fiorentina. Comune di Firenze e Università di Firenze Dipartimento Scienze della Terra.*
- Fah D., Kind F. & Giardini D., (2001). *A theoretical investigation of average H/V ratios. Geophys. J. Int. 145, 535-549.*
- Gori P. (1970) – *Osservazioni idrogeologiche e sedimentologiche nell'area compresa fra Campi Bisenzio, Scandicci e Lastra a Signa. Tesi di laurea inedita, Istituto di Geologia di Firenze.*
- Grigioni A. (2012) – *Relazione geologica e idrogeologica. Impianto di recupero energia da incenerimento di rifiuti non pericolosi loc. Case Passerini, Sesto Fiorentino (Firenze), 1-158.*
- Guazzone G. (1971) – *Ricerca sulle falde acquifere profonde fra Firenze e Pistoia. Parte I. Indagine geologica. Quaderni dell'Istituto di ricerca sulle acque, 6, 42-53.*
- Lachet C. & Bard P. Y., (1994). *Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique. J. Phys. Earth 42, 377-397.*
- Mulargia F., Castellaro S., Rossi P. L., (2007). *Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica. Il Geologo dell'Emilia Romagna Anno VII-2007 N.25 - Nuova serie.*

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

- Nakamura Y., (1989). *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface*. QR of RTI, 30, 25-33.
- Nogoshi M. & Igarashi T., (1970). *On the propagation characteristics of microtremors*, J. Seism. Soc. Japa, 23, 264-280.
- Pandeli E. (2008) – *La pianura di Firenze-Prato-Pistoia nel quadro dell'evoluzione geologica dell'Appennino Settentrionale*. In: *Un piano per la Piana: idee e progetti per un parco*. Atti del convegno 9-10 maggio 2008 – Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino, Università di Firenze, 1-16.
- Pasqualini E., (1983). *S.P.T. parametri di progetto da prove in situ* – Atti convegno naz. Geotecnica 1983
- Pranzini G. (1994) – *Water resources of the Arno Basin*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 785-794.
- Pranzini G. (2008) – *Idrogeologia della Piana Fiorentina*. Atti del convegno “Un Piano per la Piana: idee e progetti per un parco”. Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino, Università degli studi di Firenze.
- Regione Toscana (2003) – *Piano di tutela delle Acque della Toscana*. Vol. 1: *Il bacino del fiume Arno*. 318pp.
- Regione Toscana – *Carta Geologica Regionale scala 1:10.000*. Foglio 263, Sez. 263150, 263160; Foglio 275 Sez. 275030, 275040, 275070, 275080.
- Servizio Geologico d'Italia (1965) – Foglio 106 “Firenze” in scala 1:100.000.
- Vannucci G, Gasperini P., Boccaletti M., Loddo F. – *Zonazione sismica di dettaglio dell'area urbana di Firenze e valutazione del rischio per i beni artistici e culturali– GNGTS* – Atti del 20° convegno nazionale / 04. 19.

### 3 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INDICAZIONI PROGETTUALI

La linea 4.2 insiste sui territori dei Comuni di Firenze e Campi Bisenzio con uno sviluppo complessivo di circa km 5+360 m, sviluppandosi sulla direttrice sud/est verso nord/ovest, a quote altimetriche comprese tra 35 e 47 m s.l.m. Per gran parte del suo sviluppo, il tracciato si affianca alle direttrici principali di traffico lasciando la sede stradale attuale a svolgere la sua funzione con le medesime caratteristiche presenti, senza cioè alterarne la sezione e l'organizzazione stradale.

Il territorio attraversato si presenta parzialmente urbanizzato, con tratti ove l'antropizzazione si concretizza in abitati tipici della periferia a tratti di campagna quali zone cuscinetto agricolo tra gli agglomerati urbani.

La zona nel Comune di Firenze presenta edifici multipiano a scopo abitativo con ampie aree a verde che spostandosi verso ovest assume sempre più una prevalenza di aree verdi rispetto alle aree antropizzate.

Superata l'autostrada A1 ci si muove verso nord, verso la SR "Pistoiese" entrando nel territorio comunale di Campi Bisenzio: il contesto presenta alternativamente aree costruite ed aree verdi, le prime conseguenza dell'urbanizzazione tipica dei contesti periferici che si sono sviluppati attorno alle principali direttrici di traffico, nello specifico la via Pistoiese, fin da epoche remote: questa zona è stata abitata fin dall'epoca romana e ha una lunga storia di agricoltura e attività manifatturiere fino ai giorni nostri.

La realizzazione della nuova SR "Pistoiese" ha spostato l'infrastruttura principale al di fuori o ai limiti degli agglomerati urbani, ma negli anni lo sviluppo edilizio ha creato un grande borgo senza soluzione di continuità.

Si incontrano in successione da est verso ovest il Canale Macinante con a fianco il fosso S. Donnino, il fosso o collettore Acque Basse-Gavine, il Fosso Reale con i suoi colatori laterali ed infine il fosso Prunaia. La geomorfologia del territorio presenta una piana solcata da un "pettine" di corpi idrici che confluiscono nel fiume Bisenzio a sua volta immissario del più ampio bacino del fiume Arno.

Spostandosi verso nord ovest fino a raggiungere il centro del Comune di Campi Bisenzio, il contesto assume nuovamente una prevalenza di insediamenti antropici (nuclei abitati, zone commerciali, infrastrutture per la mobilità) seppur la valenza ambientale rimanga un elemento caratterizzante del paesaggio: ampie distese coltivate o parchi pubblici si alternano lasciando spazio all'edificazione intensa solo nell'intorno del centro abitato comunale.

Dal punto di vista progettuale, la linea tramviaria 4.2, quale naturale proseguimento della linea 4.1 Leopolda - Le Piagge (non oggetto del presente progetto definitivo), si sviluppa dalla fermata Le Piagge (compresa nel progetto e lavori della linea 4.1) all'abitato di San Donnino e da questo fino al centro di Campi Bisenzio. Obiettivo principale della progettazione è il miglioramento dell'offerta di mobilità pubblica da e verso il capoluogo fiorentino lungo la direttrice nord ovest, attualmente molto trafficata e facente capo alla SR "Pistoiese", lungo la quale si sviluppano anche le linee di trasporto pubblico urbano ed extraurbano: si tratta di mettere a servizio delle comunità locali un sistema di trasporto alternativo a quello su gomma, al fine di ridurre il traffico veicolare che insiste su tutta l'area ed il centro del capoluogo.

La linea 4.2 ha uno sviluppo complessivo di circa km 5+360 m dalla fermata Le Piagge al capolinea Rucellai in Piazza Aldo Moro a Campi Bisenzio. Il tracciato presenta sempre due binari tranviari in direzioni di marcia opposte.

Lungo il suo sviluppo sono previste n. 11 fermate di cui n. 4 nel comune di Firenze (Nave di Brozzi, Campania, Abruzzi, San Donnino) e n. 7 nel comune di Campi Bisenzio (Pistoiese, Castagno, Repubblica, Racchio, Palagetta, Giordano Bruno, Rucellai).

Per l'esercizio tranviario è previsto anche una zona cosiddetta "Deposito" dove trovano ubicazione le strutture per il rimessaggio e la manutenzione dei mezzi: la sua collocazione sul territorio è prevista in Comune di Firenze ed in adiacenza all'Autostrada A1 sul lato ovest, a sud dell'abitato del quartiere di San Donnino.

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

Per favorire la massima attrattività della linea tranviaria nei confronti dell'utenza, lungo il tracciato sono state individuate delle aree da destinarsi a parcheggi, per favorire lo scambio intermodale tra il traffico privato e il trasporto pubblico. I parcheggi prendono il nome dalle località e sono ubicati in prossimità di fermate della tranvia:

1. Parcheggio Campania
2. Parcheggio Castagno
3. Parcheggio S. Donnino
4. Parcheggio Pistoiese

L'intersezione con i corsi d'acqua prevede che la linea tranviaria si sviluppi su idonei manufatti di scavalco: i 4 principali attraversamenti con ponti sono nell'ordine da ovest verso est:

- Ponte sul Canale Macinante;
- Ponte sul fosso o collettore Acque Basse-Gavine;
- Viadotto sul Fosso Reale e i colatori laterali
- Ponte sul fosso Prunaia

Nel tratto che si affianca alla SR "Pistoiese" sono previsti degli interventi strutturali per il prolungamento dei sottopassi stradali di via S. Jacopo e Via dei Manderi e la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale in corrispondenza del previsto parcheggio e fermata "Pistoiese".

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*



FIGURA 1 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'INTERVENTO OGGETTO DI STUDIO

## 4 QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO

---

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 comune di Firenze
- PS – Piano Strutturale comune di Campi Bisenzio

Per il Comune di Firenze allo stato attuale risultano vigenti il Piano Strutturale approvato con DCC 2011/C/00036 (con successive varianti) ed il Regolamento Urbanistico, approvato con DCC 2015/C/00025 (con successive varianti), e quindi l'insieme dei relativi studi di supporto e norme di carattere geologico, idraulico e sismico, elaborati secondo il previgente DPGR 53/R/2011.

A Marzo 2024 sono stati approvati, con deliberazione di Consiglio Comunale, i nuovi strumenti della pianificazione comunale: nuovo Piano Strutturale (PS) ed il Piano Operativo (PO). Tali piani contengono nuove/integrate indagini geologiche, sismiche ed idrauliche e nuovi criteri per la fattibilità degli interventi, secondo la più recente normativa regionale DPGR 5/R/2020.

Gli studi e le norme di carattere geologico, idraulico e sismico del nuovo PS/PO approvati, hanno ottenuto un esito positivo a seguito del controllo svolto dal Genio Civile Valdarno Superiore ai sensi del DPGR 5/R/2020. Nell'ambito del PO approvato è presente la scheda norma ATs 09.12

Tramvia Linea 4.2. Il progetto definitivo oggetto di PAU risulta coerente alla scheda in quanto questa contiene, diversamente dalla medesima scheda del PO adottato, anche il Deposito Tramviario. Nella scheda sono definiti i criteri di fattibilità e le prescrizioni in relazione alle pericolosità geologiche, idrauliche e sismiche desunte dagli studi di supporto al nuovo PS ed al PO.

Allo stato attuale, a partire dalla data di approvazione del nuovo PS/PO e fino al conseguimento della loro efficacia, sono validi ai fini urbanistico/edilizi il Regolamento Urbanistico ed il Piano Strutturale vigenti e, per il nuovo Piano Strutturale ed il Piano Operativo adottati con DC/2023/00006, le misure di salvaguardia di cui all'art. 12 del DPR 380/2001 e all'art. 103 della LR 65/2014.

Si ritiene tuttavia, considerata la coerenza del progetto alla scheda ATs 09.12 e l'esito positivo del controllo eseguito dal competente Genio Civile Valdarno Superiore, che gli studi di supporto e la disciplina del nuovo PS/PO approvati e quindi anche la suddetta scheda del PO approvato, siano da prendere a riferimento per la definizione dei criteri di fattibilità cui deve essere condizionato quanto previsto dal progetto definitivo.

#### **4.1 PIANO STRUTTURALE COMUNALE FIRENZE (PS)**

Il Piano Strutturale è lo strumento comunale di pianificazione territoriale introdotto dalla legge regionale sul governo del territorio (L.R. 1/2005) che insieme al Regolamento Urbanistico sostituisce il Piano Regolatore Generale.

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 Regolamento Urbanistico 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 Regolamento Urbanistico, 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 presente paragrafo si analizzerà il sistema dei vincoli e delle tutele che interessano l'area in esame in relazione alle disposizioni del Piano Strutturale del comune di Firenze.

In particolare, verranno prese in esame le seguenti cartografie tematiche allegate al PS:

- Tavola 1 - Vincoli
- Tavola 2 - Invarianti
- Tavola 3 - Tutele
- Tavola 4 - Pericolosità geomorfologica
- Tavola 5 - Pericolosità idraulica
- Tavola 6 - Pericolosità sismica



Tavola 1 - Vincoli

La tavola raccoglie i vincoli che interessano le aree la cui trasformazione può modificare il grado di funzionalità e sicurezza delle infrastrutture territoriali esistenti e previste, nonché aree ed elementi con caratteri di elevata qualità paesaggistica, ambientale e storica. Essi vengono recepiti da leggi nazionali o regionali e da strumenti di pianificazione generale o di settore sovraordinati.







**Pag. 15**

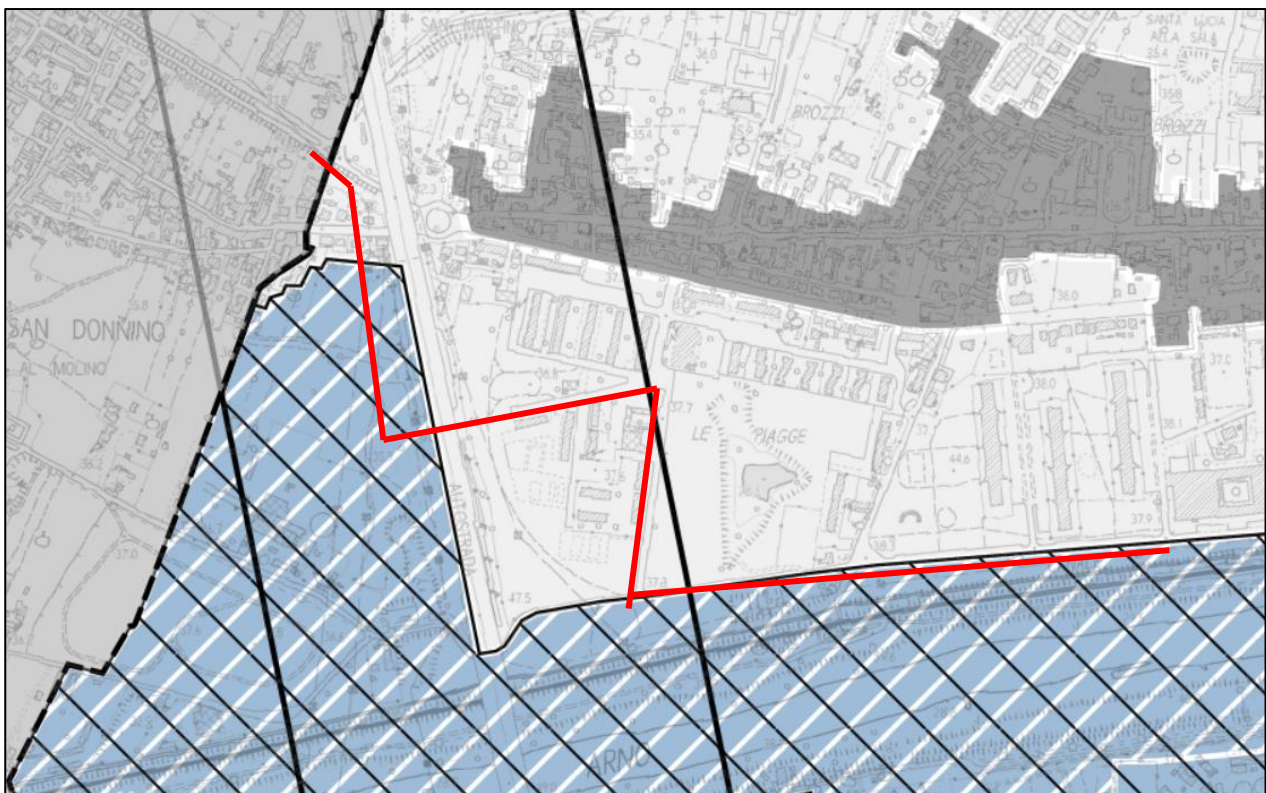
#### Tavola 2 - Invarianti

Le invarianti interessano aree con caratteri di elevata qualità paesaggistica, ambientale e storico insediativa, individuate come risorse dalla legislazione vigente nazionale e dalla pianificazione regionale e provinciale, ovvero dal Piano Strutturale. Esse sono volte alla salvaguardia delle risorse naturali, paesaggistiche e storico insediative del territorio comunale.

Le modalità di tutela emanate direttamente dalle norme di piani sovraordinati (PIT, PIT con valore paesaggistico e PTCP) sono recepite da tutte le componenti del sistema della pianificazione comunale, trovano riscontro nelle presenti NTA e declinazione nel Regolamento Urbanistico e nella pianificazione di settore.

La Tavola 2 “Invarianti” individua e rappresenta le risorse, ovvero i beni del territorio comunale da conservare mediante discipline di tutela di vario livello, con la seguente articolazione:

- i fiumi e le valli
- il paesaggio aperto
- il nucleo storico
- i tessuti storici e di relazione con il paesaggio aperto



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

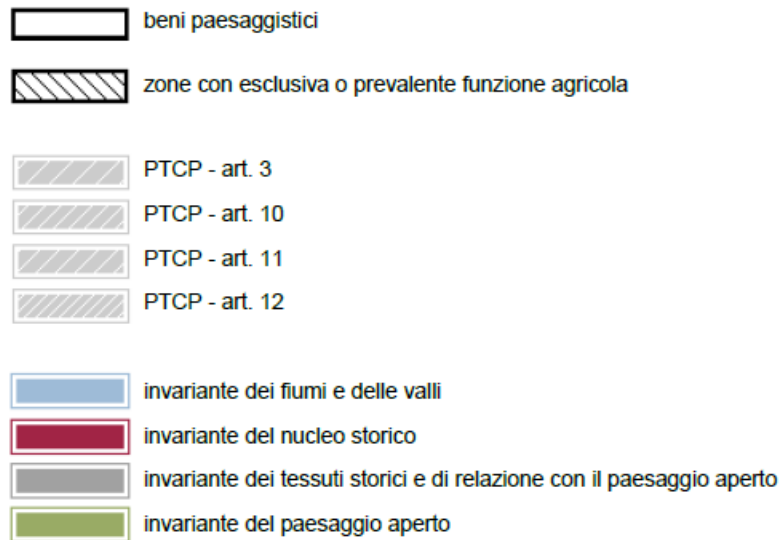


FIGURA 3 - PS COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA 2 "INVARIANTI". IN ROSSO L'AREA IN ESAME.

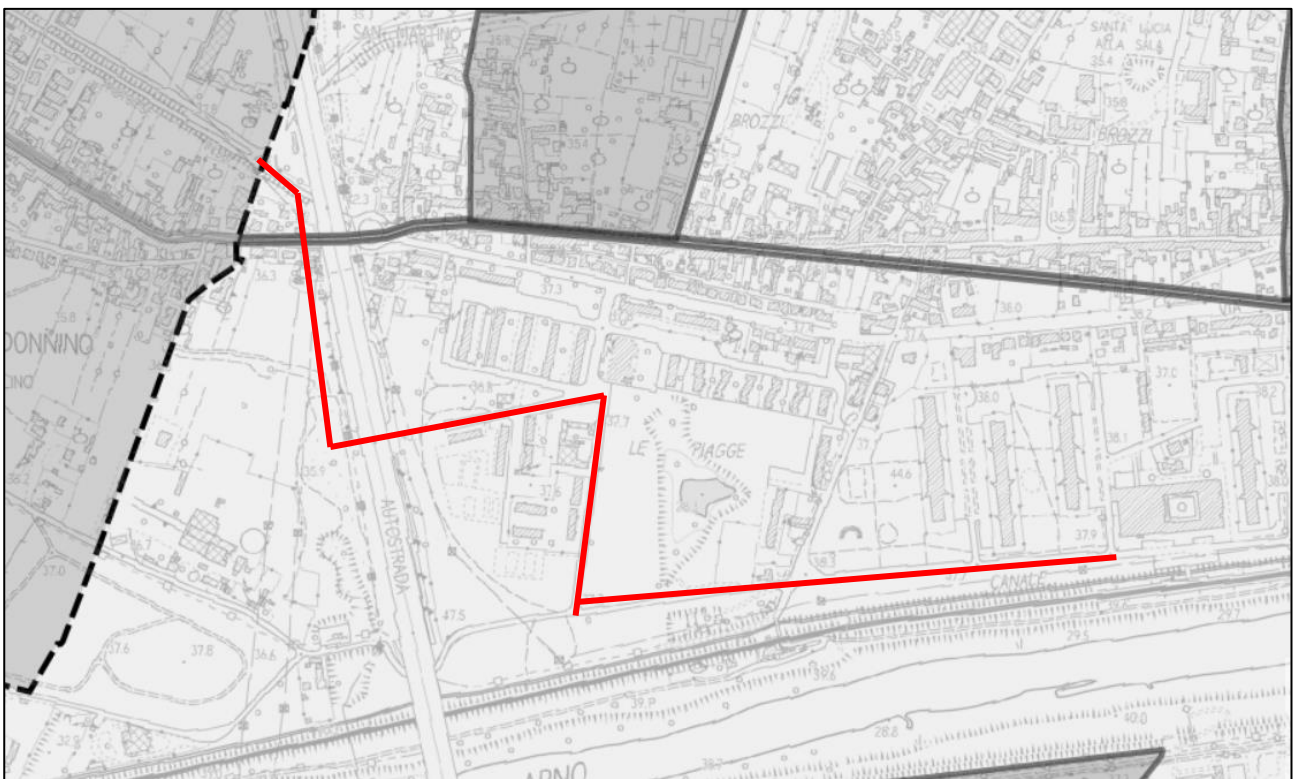
**L'area in esame risulta perimetrata come invariante con esclusiva o prevalenza funzione agricola, invariante dei fiumi e delle valli (Art. 7, 9, 10 e 11 ivarianti) e area soggetta a notevole interesse pubblico di una fascia laterale dell'Autostrada del Sole (Artt. 9 e 10).**

### Tavola 3 - Tutele

Le tutele interessano elementi e temi specifici del territorio comunale che, ancorché non derivanti da vincoli di legge sono soggetti a particolari forme di attenzione e riguardano il rischio archeologico e l'area di protezione attorno alle ville Medicee candidate ad essere inserite nelle liste del patrimonio tutelato dall'UNESCO.

La Tavola 3 individua e rappresenta le aree da sottoporre a particolari forme di attenzione o utili per il controllo delle trasformazioni, costituendo risorsa di interesse pubblico, con particolare riferimento a:

- testimonianze archeologiche;
- ville e giardini medicei;
- punti di belvedere e corrispondenti assi visuali.



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

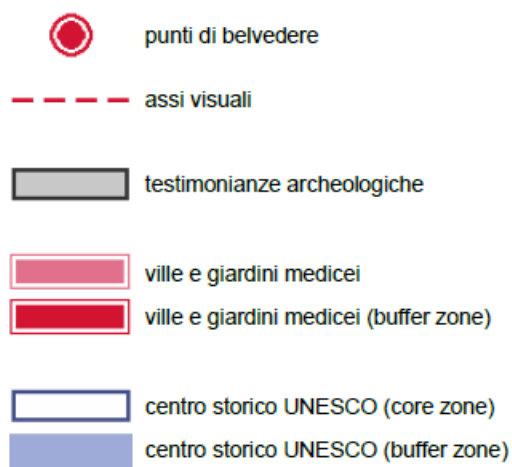


FIGURA 4 - COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA 3 "TUTELE". IN ROSSO L'AREA IN ESAME.

**L'area in esame non risulta perimetrata in nessuna zona sottoposta a tutela.**



#### Tavola 4 - Pericolosità geologica

La cartografia di perimetrazione e conseguentemente le relative Norme di attuazione di applicazione della pericolosità geomorfologica del PAI costituiscono elemento normativo sovraordinato e pertanto agenti indipendentemente dalle perimetrazioni: il recepimento delle eventuali modifiche, integrazioni ed aggiornamenti del PAI relativi alla medesima non costituiscono variante al piano.

Nell’ambito delle definizioni delle classi di pericolosità sono specificati gli interventi che il Regolamento Urbanistico attraverso la definizione di fattibilità e le relative condizioni o limitazioni può prevedere.

Sono sempre consentiti la messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente all’adeguamento igienico sanitario, sismico, 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 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 Regolamento Urbanistico indica le condizioni di fattibilità, in relazione alla classe di pericolosità dell’area.

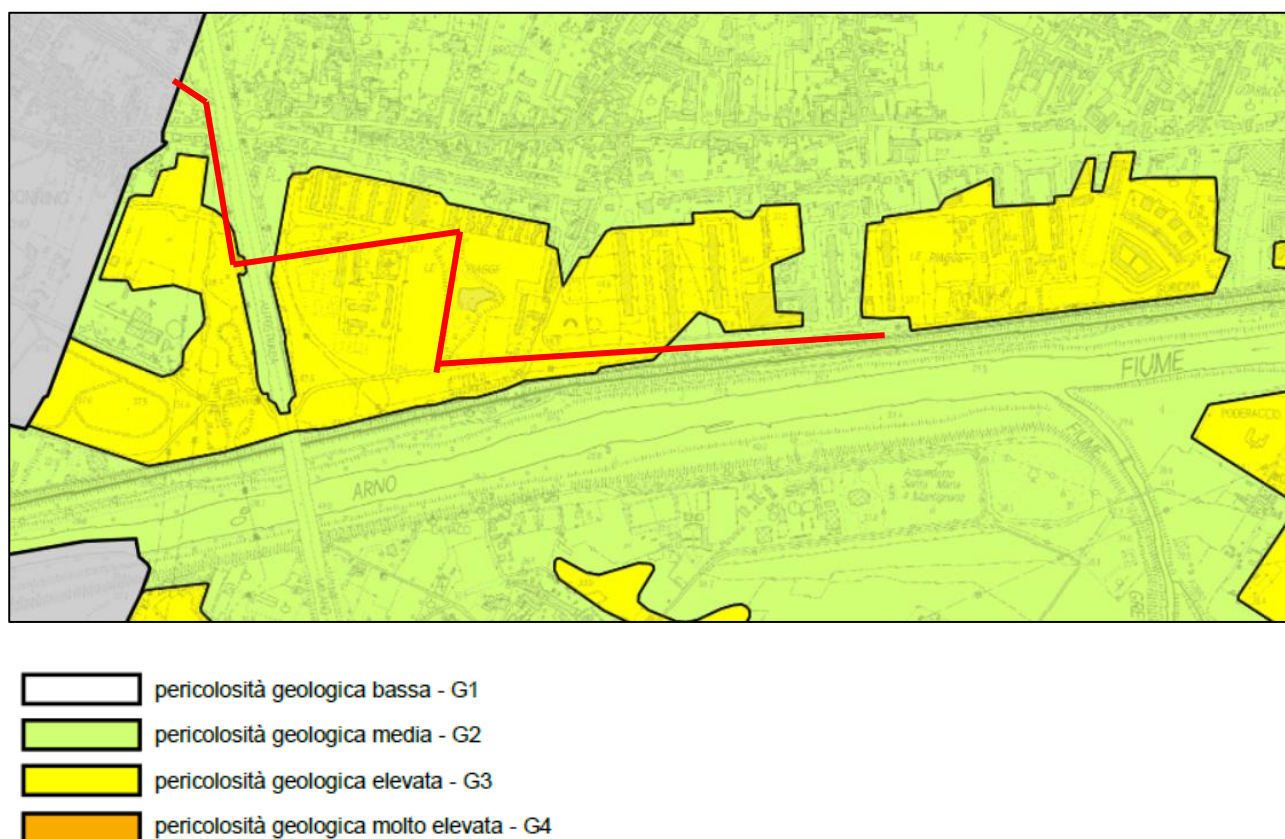


FIGURA 5 - PS COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA 4 “PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA”. IN ROSSO L’AREA IN ESAME.

**Per quanto riguarda la carta di pericolosità geologica, l’area in esame risulta ricompresa nella classe di pericolosità G2 – “Pericolosità geologica media”, e classe di pericolosità G3 – “Pericolosità Geologica Elevata” per la quale il Regolamento Urbanistico può prevedere ogni tipologia di intervento dettandone le condizioni di attuazione in funzione di specifiche indagini da eseguire in fase di abilitazione all’intervento**

**edilizio. In ogni caso gli interventi previsti dovranno garantire la sicurezza della popolazione, non determinare condizioni di instabilità e non modificare negativamente le condizioni e i processi geomorfologici dell'area interessata.**

#### Tavola 5 - Pericolosità sismica

Nell'ambito delle definizioni delle classi di pericolosità sono specificate le condizioni e le limitazioni che il Regolamento Urbanistico, 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 Regolamento Urbanistico indica le condizioni di fattibilità, in relazione alla classe di pericolosità dell'area.










- |   |  |
|---|--|
|  | S1 - pericolosità bassa  |
|  | S2 - pericolosità media  |
|  | S2* - pericolosità media con contrasti attesi<br>oltre alcune decine di metri di profondità e $f_0 < 1$ Hz |
|  | S3 - pericolosità elevata  |
|  | S3f - pericolosità elevata per cause geomorfologiche (dissesto inattivo)                                   |
|  | S3g - pericolosità elevata per caratteristiche geotecniche<br>scadenti (terreno di riporto)                |
|  | S4 - pericolosità molto elevata  |

FIGURA 6 - PS COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA 5 "PERICOLOSITÀ SISMICA". IN ROSSO L'AREA IN ESAME.

Pericolosità sismica elevata S3 - riguarda tutto il territorio comunale che negli studi di MS livello 3 assume valore del fattore di amplificazione stratigrafica FA01\_05 > 1,4: in particolare la classe è attribuita all'intera zona centro-orientale della pianura alluvionale, che presenta valori di FA compresi tra 1,7 e 2,0 con picchi di 2,4 in alcune porzioni del Centro Storico. Sempre alla classe S3 sono attribuite anche alcune porzioni residuali delle zone collinari e pedecollinari, sia nel quadrante settentrionale che meridionale. Infine vengono classificate a pericolosità elevata:

- sottoclasse S3f, tutte le aree caratterizzate da instabilità di versante quiescente o potenzialmente instabili, secondo quanto individuato negli studi geomorfologici del nuovo Piano;
- sottoclasse S3g, tutte le aree interessate da terreno di riporto di significativa estensione e tutte le aree di riempimento di cava, secondo quanto individuato negli studi geomorfologici del nuovo Piano.

**L'area studio si colloca in zona a pericolosità sismica elevata S.3g.**

## **4.2 IL REGOLAMENTO URBANISTICO FIRENZE (RU)**

Il Regolamento Urbanistico è il più importante atto di governo del territorio della città, costituisce insieme al Piano Strutturale quello che storicamente ha rappresentato il Piano Regolatore Generale.

Il Regolamento Urbanistico disciplina l'attività urbanistica ed edilizia per l'intero territorio comunale. Esso si compone di due parti:

- una di durata indeterminata che gestisce la disciplina per la gestione ordinaria degli insediamenti esistenti;
- una di durata limitata (5 anni) che disciplina le aree oggetto di trasformazione (piani attuativi/interventi edilizi diretti convenzionati e aree da espropriare).

Il RU è costituito da numerosi elaborati che hanno finalità specifiche (conoscitive, progettuali e valutative), nonché contenuti e forme diversi. Ad ogni fase del procedimento corrispondono specifici elaborati, analizzati in questa sezione.

### Fattibilità geologica

La fattibilità geologica, idraulica e sismica degli interventi previsti dal Regolamento Urbanistico è definita da classi di fattibilità. La definizione delle classi di fattibilità è stata effettuata sulla base di quanto previsto dal DPGR 53/R/2011 e sulla scorta dei principi generali fissati dal Piano Strutturale, quali indirizzi per il Regolamento Urbanistico. Per quello che riguarda la fattibilità sismica si è tenuto conto del fatto che le pericolosità del Piano Strutturale, oltre ad essere conformate alle prescrizioni generali della normativa regionale hanno tenuto conto anche degli studi effettuati dal Comune e dall'Università di Firenze, che hanno portato alla mappatura del fattore di amplificazione sismica su tutto il territorio comunale.

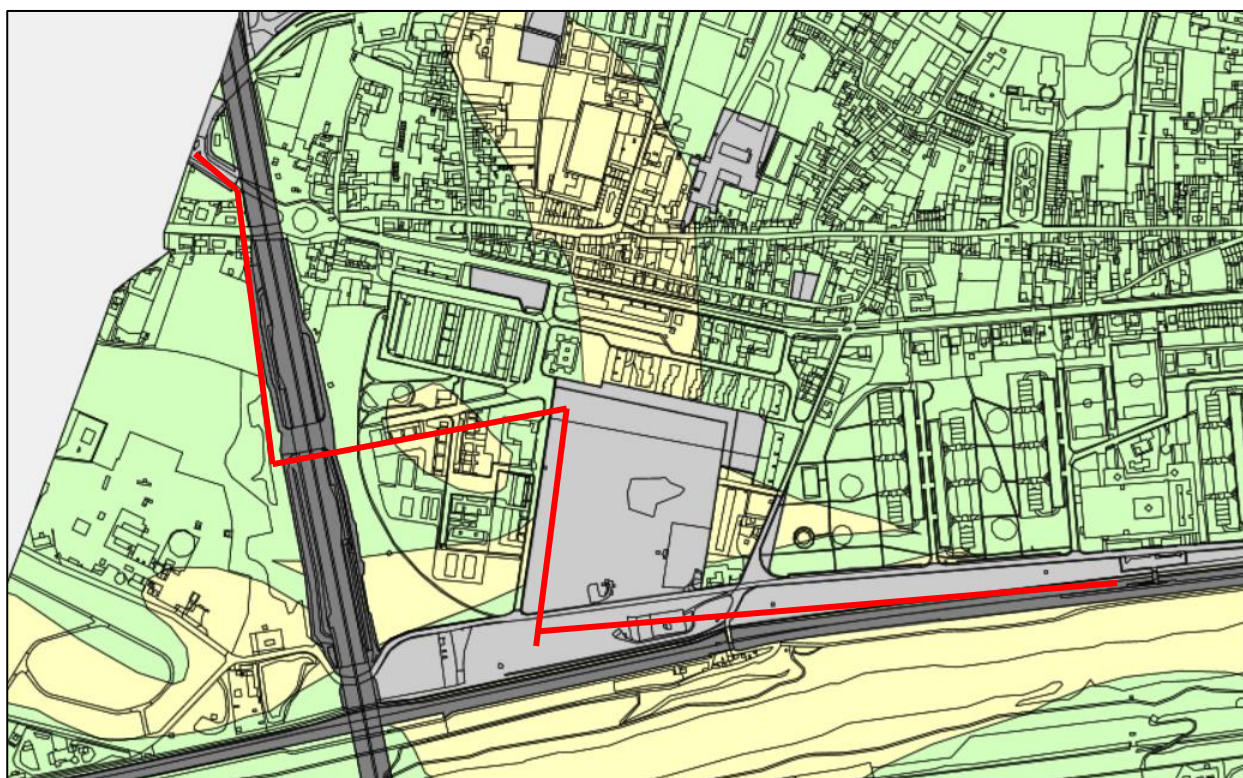
In tutto il territorio comunale la fattibilità delle opere relative ad edifici esistenti o di nuova costruzione che si attuano mediante intervento edilizio diretto viene definita in base alla matrice "Fattibilità geologica, idraulica e sismica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area" allegata al Regolamento Urbanistico e di seguito riportata. Sono fatte salve eventuali specifiche prescrizioni geologiche connesse ai piani di settore comunali. La fattibilità delle opere del sistema infrastrutturale non specificatamente ricomprese all'interno delle schede norma ATs è anch'essa definibile sulla base della suddetta matrice. Per edifici ricadenti in classi di fattibilità differenti si deve considerare quella peggiore.

Per quello che riguarda gli interventi disciplinati con apposita scheda norma (AT, ATt, ATa, ATs) la definizione della fattibilità è quella indicata nelle schede stesse: per quegli interventi che troveranno attuazione attraverso strumenti urbanistici attuativi tale fattibilità potrà essere ridefinita sulla base di considerazioni di maggior dettaglio derivanti da appositi studi.



Per tutto il resto del territorio comunale, partendo primariamente dall'obiettivo della tutela dell'incolumità delle persone, la fattibilità è definita sulla base della classe di pericolosità individuata dal Piano Strutturale e dall'intervento più "vulnerabile e con la classe di esposizione più alta" consentito dalla disciplina urbanistico-edilizia del Regolamento Urbanistico. Le limitazioni ed i condizionamenti conseguentemente indicati si aggiungono e non sostituiscono quelli determinati dalle normative di settore. Su tutto il territorio comunale sono consentiti gli interventi funzionali a ridurre il livello di pericolosità territoriale e conseguentemente a variare la fattibilità a condizione che non aggravino la condizione delle aree contermini o comunque correlate.

Per i manufatti accessori la classe di fattibilità massima da considerare deve essere la III, a prescindere dalla matrice o dalla carta della fattibilità.



■ fattiibilità geologica senza particolari limitazioni FG.1

■ fattiibilità geologica con normali vincoli FG.2

■ fattiibilità geologica condizionata FG.3

■ fattiibilità geologica limitata FG.4

■ infrastrutture

■ aree di trasformazione (AT, ATt, ATa, ATs)

FIGURA 7 - RU COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA "FATTIBILITÀ GEOLOGICA". IN ROSSO L'AREA IN ESAME.

L'area studio si colloca in zona a fattiibilità geologica con normali vincoli FG.2 e FG.1 ove sono consentiti gli interventi di nuova edificazione e di realizzazione di nuove infrastrutture, nonché la ristrutturazione urbanistica e quella edilizia con demolizione e ricostruzione la cui progettazione deve contenere apposite considerazioni basate su studi ed indagini di dettaglio che diano conto che l'intervento garantisce la sicurezza

della popolazione, non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente le condizioni e i processi geomorfologici dell'area interessata.

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

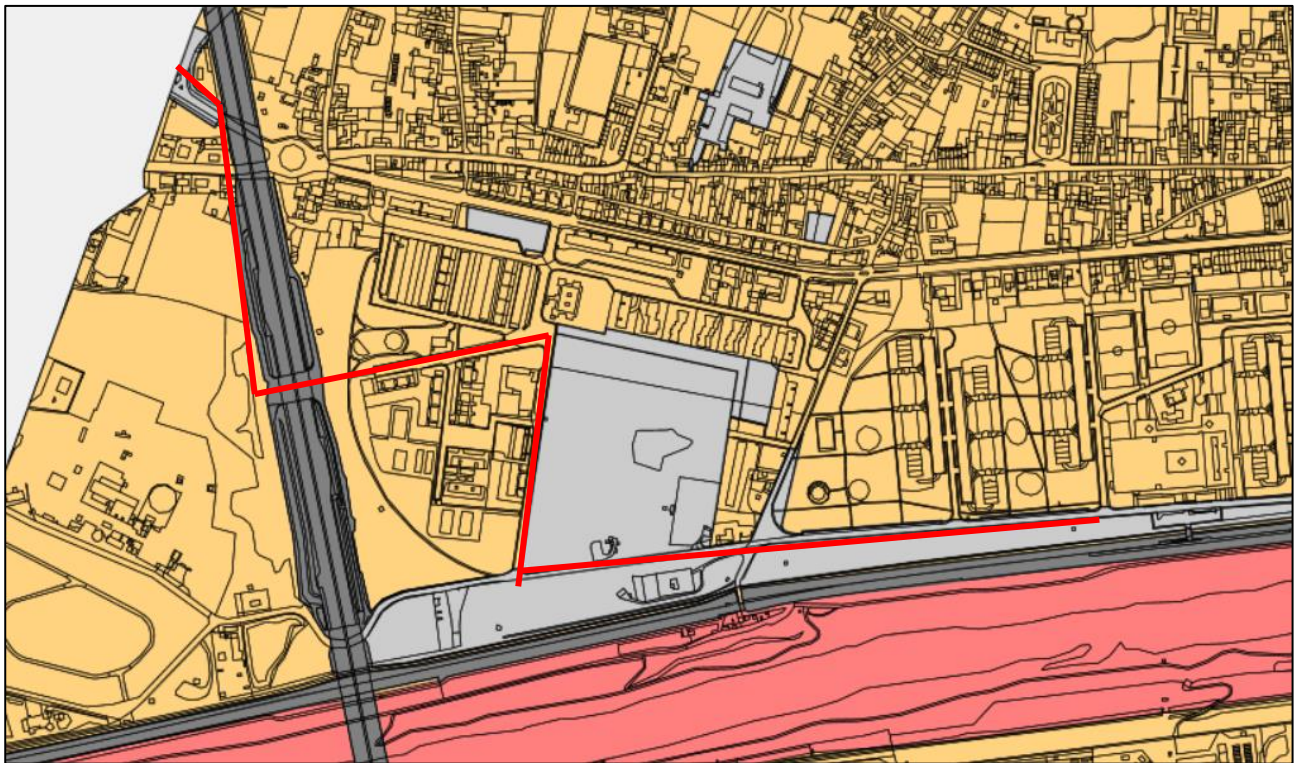
#### Fattibilità idraulica

Le seguenti indicazioni rappresentano prescrizioni di carattere generale relative agli interventi di messa in sicurezza e di compensazione volumetrica ed operano su tutto il territorio interessato dal rischio idraulico, qualora ricorrono le condizioni per la loro applicazione.

I livelli idraulici di riferimento per la progettazione degli interventi di messa in sicurezza e di compensazione, devono essere derivati dagli studi di base del PS, salvo eventuali studi successivi sostitutivi o integrativi, rispetto a quelli impiegati per le elaborazioni del vigente PS e RU. Nella progettazione degli interventi di messa in sicurezza si deve tenere conto di un franco di 30 cm rispetto al livello idraulico di riferimento o, per le aree di transito, rispetto al battente convenzionale di 30 cm. Nelle aree dove non sono presenti battenti idraulici legati ad un modello, gli interventi di messa in sicurezza, ove previsti, devono essere progettati rispetto ad un franco convenzionale di 30 cm, senza necessità di compensazione dei volumi sottratti.

Nel caso di nuova SUL in aree libere da edifici, non può essere attuata la messa in sicurezza mediante opere di auto sicurezza (tipo porte o finestre a tenuta stagna), ma occorre prevedere il rialzamento del piano di calpestio o la realizzazione del piano terra con pilotis.

Nella definizione attuativa dei comparti discontinui, nel caso l'intervento nel suo complesso determini sottrazione dei volumi esondabili, e comunque qualora ne ricorrano le condizioni normative per tutti gli altri interventi previsti dal RU, si devono individuare aree di compensazione idraulica all'interno dell'area di intervento o in aree ad essa circostanti, comunque all'interno dello stesso bacino idraulico. Devono essere evitate strutture compensative all'interno degli edifici e privilegiate strutture con svuotamento a gravità. Se tali strutture non sono realizzabili per impossibilità strutturali, le stesse devono essere dotate di un idoneo sistema di pompaggio, regolato rispetto al sistema ricevente. Per i parcheggi in fregio ai corsi d'acqua si intendono quelli immediatamente a ridosso del ciglio di sponda o del piede esterno dell'argine del corso d'acqua al quale sono riferibili.



- fattibilità idraulica senza particolari limitazioni FI.1
- fattibilità idraulica con normali vincoli FI.2
- fattibilità idraulica condizionata FI.3
- fattibilità idraulica limitata FI.4
- infrastrutture
- aree di trasformazione (AT, ATi, ATa, ATs)

FIGURA 8 - RU COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA "FATTIBILITÀ IDRAULICA". IN ROSSO L'AREA IN ESAME.

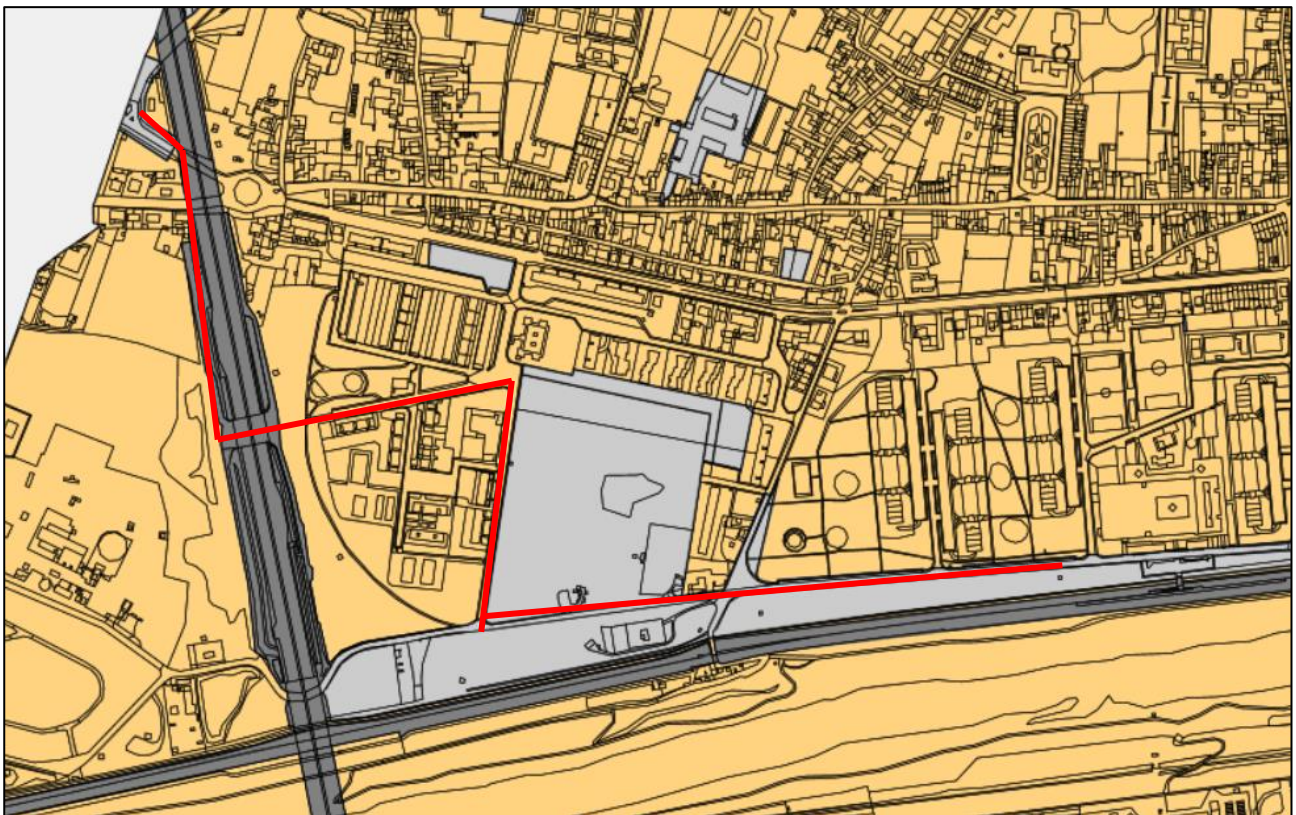
L'area studio si colloca in zona a fattibilità idraulica condizionata FI.3 ove sono consentiti gli interventi di nuova edificazione o la realizzazione di nuove infrastrutture, la ristrutturazione urbanistica e la ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione a condizione che sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, anche attraverso interventi diretti sulle strutture e sulle dotazioni tecnologiche dei manufatti (infissi a tenuta stagna, impianti di pompaggio, rialzamento prese d'aria, realizzazioni perimetri a tenuta stagna, ecc.), comunque senza aggravio del livello di rischio della zona di intervento e delle zone limitrofe.



#### Fattibilità sismica

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 RU, 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 sismico 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 NTC2008 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008 e s.m.i.) 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 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 al DPGR 36/R/2009 e s.m.i.) è altresì consentito di fare riferimento esclusivamente al fattore di amplificazione sismica di cui alla Carta del fattore di amplificazione sismico locale.



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

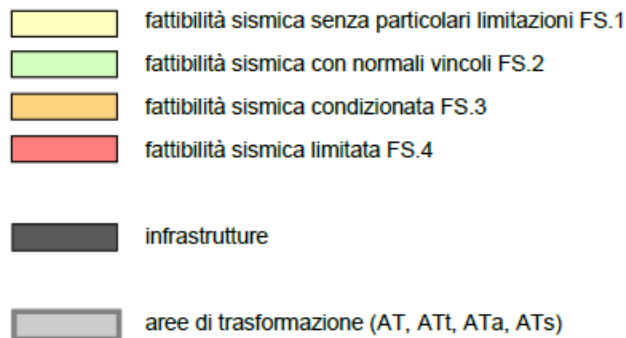


FIGURA 9 - RU COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA "FATTIBILITÀ SISMICA". IN ROSSO L'AREA IN ESAME.

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 al DPGR 36/R/2009 e 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.**

**Gli interventi di restauro e risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia relativi a emergenze di valore storico-architettonico-beni culturali ed emergenze di valore storico-architettonico sono soggetti al DPCM 09.02.2011, "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14.01.2008", oltreché alle relative normative di carattere nazionale e regionale ed a quanto contenuto nelle norme comuni.**

### **4.3 IL PIANO OPERATIVO (PO)**

Il Piano Operativo PO è lo strumento con cui vengono attuate, concretamente, le strategie contenute all'interno del Piano Strutturale, stabilendo nel dettaglio dove, come e quanto si può intervenire nella trasformazione, valorizzazione e tutela del territorio comunale.

Il Piano Operativo disciplina l'attività urbanistica ed edilizia per l'intero territorio comunale e si compone di due parti:

- una di durata limitata (5 anni), relativa alle aree oggetto di trasformazione (piani attuativi/interventi edilizi diretti convenzionati e aree da espropriare).
- l'altra di durata indeterminata che gestisce la disciplina per la gestione ordinaria sul territorio.

Le trasformazioni previste nel regolamento sono contenute nelle 244 schede norma che costituiscono la Parte 5 delle NTA e nello specifico del progetto oggetto della presente relazione, l'area di trasformazione ATs09.12 è relativa all'estensione della linea tramviaria 4.1 dalle Piagge a Campi Bisenzio. L'opera consente al sistema tramviario di servire l'insediamento urbano ad ovest di Firenze, migliorando l'offerta di mobilità pubblica da e verso il capoluogo con un sistema di trasporto alternativo a quello su gomma e riducendo il traffico veicolare che investe la parte ovest della città e l'area limitrofa.

Oggi l'area metropolitana di San Donnino-Campi Bisenzio (ca. 45.000 abitanti) non è servita da alcun trasporto su ferro: la linea tramviaria 4.2 è l'occasione per creare un collegamento diretto tra questa popolosa area e la città di Firenze attraverso un'infrastruttura moderna, efficiente e rapida.

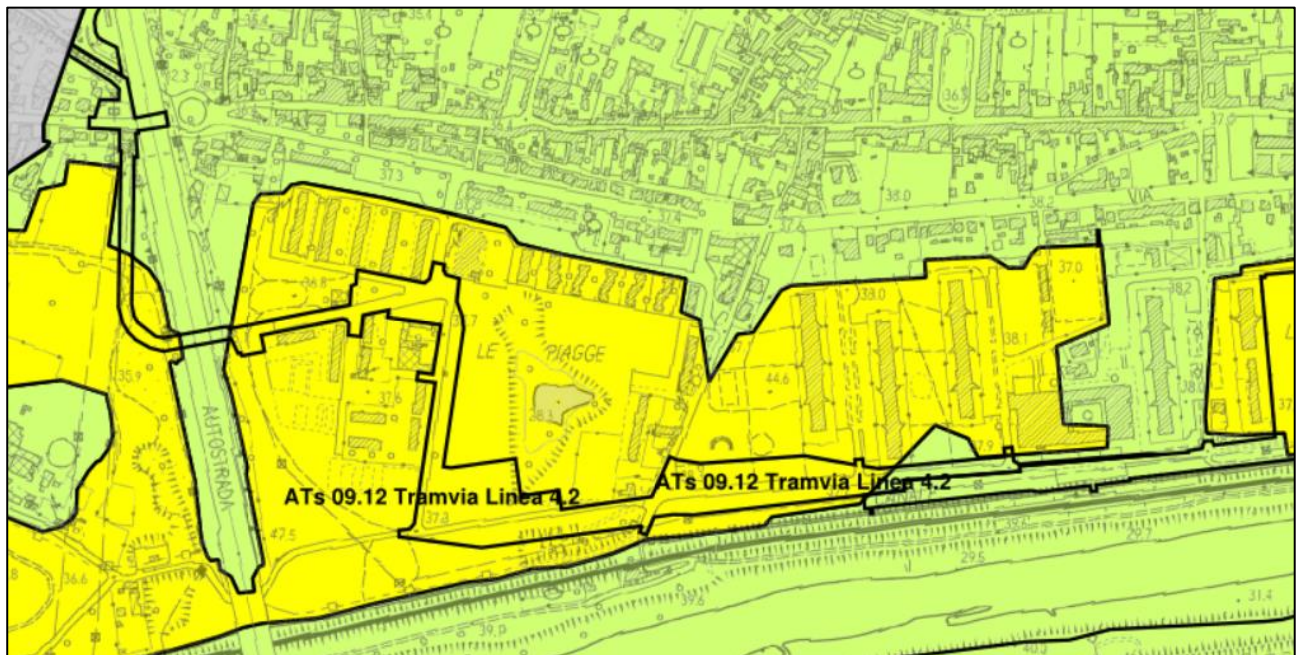
Il progetto di fattibilità tecnico economica è stato inviato al MIT per il finanziamento a gennaio 2021. Con decreto del novembre 2021 l'intervento è stato finanziato nell'ambito del PNRR.

#### Pericolosità geologica

La pericolosità geologica, da alluvioni e sismica degli interventi previsti dal Piano Operativo è definita da classi di fattibilità. La definizione delle classi di pericolosità è stata effettuata sulla base di quanto previsto dal DPGR 53/R/2011 e sulla scorta dei principi generali fissati dal Piano Strutturale, quali indirizzi per il Regolamento Urbanistico. Per quello che riguarda la fattibilità sismica si è tenuto conto del fatto che le pericolosità del Piano Strutturale, oltre ad essere conformate alle prescrizioni generali della normativa regionale hanno tenuto conto anche degli studi effettuati dal Comune e dall'Università di Firenze, che hanno portato alla mappatura del fattore di amplificazione sismica su tutto il territorio comunale.

Per quello che riguarda gli interventi disciplinati con apposita scheda norma (AT, ATt, ATa, ATs) la definizione della pericolosità è quella indicata nelle schede stesse: per quegli interventi che troveranno attuazione attraverso strumenti urbanistici attuativi potrà essere ridefinita sulla base di considerazioni di maggior dettaglio derivanti da appositi studi.





AT area di trasformazione  
ATs area di trasformazione per servizi

P3a | aree a pericolosità geomorfologica elevata  
P4 | aree a pericolosità geomorfologica molto elevata

pericolosità geologica bassa - G1  
pericolosità geologica media - G2  
pericolosità geologica elevata - G3  
pericolosità geologica molto elevata - G4

FIGURA 10 - PO COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA "PERICOLOSITÀ GEOLOGICA".

**L'area studio si colloca in zona a pericolosità geologica media G2 ed elevata G3 ove si evidenzia che "La fattibilità è subordinata alle risultanze di specifiche indagini geognostiche e sismiche in applicazione delle norme vigenti in materia (NTC 2018 e DPGR 1R/2022), tra cui sondaggi geognostici in corrispondenza di ciascuna delle opere d'arte di rilevanza strutturale."**

#### Pericolosità da alluvioni

Le seguenti indicazioni rappresentano prescrizioni di carattere generale relative agli interventi di messa in sicurezza e di compensazione volumetrica ed operano su tutto il territorio interessato dal rischio idraulico, qualora ricorrano le condizioni per la loro applicazione.



FIGURA 11 - PO COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA "PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONI".

**L'area studio si colloca in zona a pericolosità P2 ove sono consentite nuove infrastrutture a sviluppo lineare e relative pertinenze sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio, non sia superato il rischio medio R2 e siano previste misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.**



### Pericolosità sismica

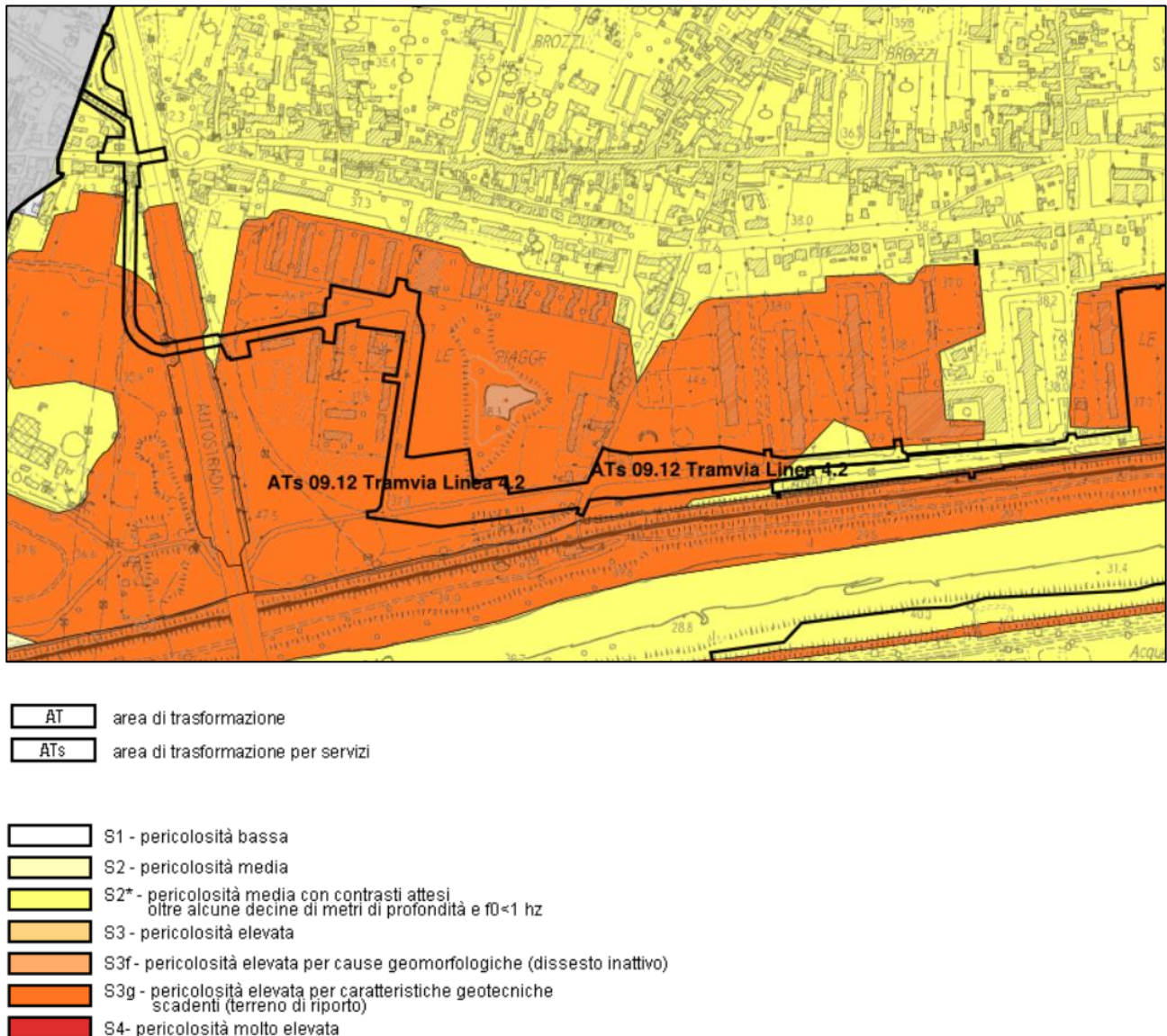


FIGURA 12 - PO COMUNE DI FIRENZE. ESTRATTO TAVOLA "PERICOLOSITÀ SISMICA".

L'area studio si colloca in zona a pericolosità sismica S3g e S2\* ove la progettazione dovrà tener conto dell'analisi combinata della frequenza fondamentale del terreno ( $f_0 < 1$  Hz) e del periodo proprio delle tipologie edilizie di progetto, al fine di verificare l'eventuale insorgenza di fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura nella fase della progettazione edilizia.

**Nelle zone caratterizzate da terreni di fondazione scadenti (classe S3g), dovranno essere eseguite indagini geognostiche e verifiche geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti; tipologie e quantità di indagini potranno essere graduate avvalendosi del modello geologico-tecnico e sismico presente negli studi di MS, fatto salvo quanto previsto dal DPGR 1R/2022 e dalle NTC 2018 paragrafi 6.1.1/6.1.2.**

Area di trasformazione ATs09.12



FIGURA 13 - PO COMUNE DI FIRENZE. FRONTESPIZIO SCHEDA ATs09.12

Stante i criteri di fattibilità e prescrizioni contenuti all'interno della scheda, in merito agli aspetti geologici, si evidenzia che i dati di sottosuolo sono desunti da indagini già di riferimento per il precedente livello di progettazione, oltre che da prove geognostiche e geofisiche da fonti bibliografiche a cui si è aggiunta, nell'ambito della fase di PD, una campagna di indagine mirata alla definizione delle caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni del primo sottosuolo interessati da opere d'arte di rilevanza strutturale (cfr. Cap. 7-8). Per ciò che riguarda gli aspetti sismici, nelle zone caratterizzate da terreni di fondazione scadenti (classe S3g), a supporto delle verifiche geotecniche contenute negli elaborati specifici, sono state previste indagini geognostiche ad hoc, mentre sotto il punto di vista idrogeologico, in fase di progettazione sono state condotte verifiche sulle eventuali interferenze dell'intervento sulla risorsa mediante approfondimenti sulle oscillazioni piezometriche del livello idrico all'interno dei piezometri installati in corso di indagine (cfr. cap. 10).



#### 4.4 PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI CAMPI BISENZIO

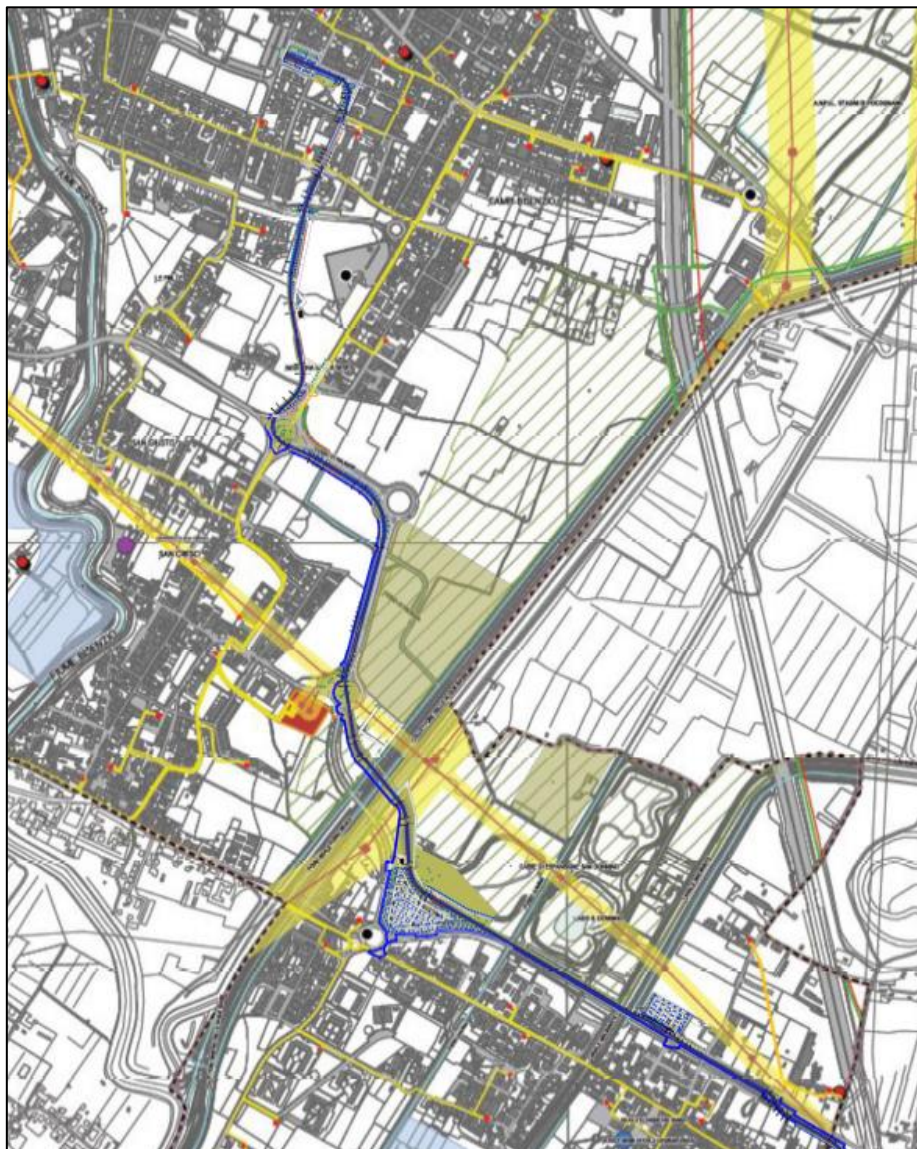
Il Piano Strutturale è lo strumento comunale di pianificazione territoriale introdotto dalla legge regionale sul governo del territorio (L.R. 1/2005) che insieme al Regolamento Urbanistico sostituisce il Piano Regolatore Generale.

Il Piano Strutturale pone alla base delle proprie scelte lo statuto del territorio, atto di riconoscimento identitario mediante il quale la comunità locale riconosce il proprio patrimonio territoriale e ne individua le regole di tutela, riproduzione e trasformazione, all'interno della più ampia strategia di sviluppo sostenibile promossa dallo strumento medesimo.

Con deliberazione n. 221 del 28.10.2021, il Consiglio comunale ha approvato il Piano Strutturale, ai sensi della L.R. 31 gennaio 2005 n.1.


Si riportano di seguito le aree vincolate e di particolare rilevanza ambientale e naturalistica previste dallo strumento di pianificazione territoriale vigente nel Comune di Firenze, all'interno del quale ricade parte del tracciato di linea 4.2.

##### Aree di rispetto, vincoli e tutele



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica


DISTANZE DALLE SORGENTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI (DM 29/05/2008)


 distanze di prima approssimazione (DPA)


Rete elettrica ad alta tensione

 cavo


Rete elettrica a media tensione

 cabina


 cavo aereo


 cavo interrato

DISTANZA DALLE STAZIONI ELETTRICHE (DM 36/2001)

 stazioni elettriche

RISPETTO METANODOTTI E OLEODOTTI (DM 24/11/84)

 condotta metano

 condotta oleodotto


RISPETTO FERROVIARIO (DPR 753/1980)

 linee ferroviarie

RISPETTO CIMITERIALE (art. 338 RD 1265/1934)

 cimiteri

SITI DA BONIFICARE (SISBON - DGRT 301/2010)

 siti attivi

AZIENDE A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE (Dlgs 105/2015)

 aree di attenzione delle aziende a rischio

RETE NATURA 2000 E SIR


 zone speciali di conservazione e di protezione speciale ZSC-ZPS (Stagni della Piana Fiorentina e Pratese)

FIGURA 14 - PS COMUNE DI CAMPI BISENZIO – AREE DI RISPETTO, VINCOLI E TUTELE. IN ROSSO IL TRACCIATO DI PROGETTO E LE OPERE AD ESSO ANNESSE.

Come risulta evidente dallo stralcio sopra riportato, l'area di intervento della linea 4.2 interferisce in vari tratti della sua estensione con la fascia di rispetto relativa alla distanza di prima approssimazione (DPA) dalle sorgenti dei campi elettromagnetici. Tale porzione di territorio è delimitata in base alle prescrizioni contenute all'interno del D.M. 29/05/2008, il quale definisce altresì le azioni consentite all'interno della stessa.

In particolare, tale decreto non consente nella fascia di rispetto alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

Il tracciato attraversa, inoltre, una zona speciale di conservazione e di protezione speciale (Stagni della Piana Fiorentina e Pratese) appartenente alla Rete Natura 2000. Per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo relativo alla pianificazione ambientale.

### **Invarianti**

Come espresso all'interno del documento di Disciplina del Piano Strutturale, all'articolo 9 dello stesso, le invarianti strutturali identificano i caratteri specifici, i principi generativi e le regole che assicurano la tutela e la riproduzione delle componenti identitarie che qualificano il patrimonio territoriale.

Il Piano Strutturale, in conformità alle indicazioni del PIT-PPR, individua quattro invarianti strutturali nel territorio di Campi Bisenzio, identificandole in:

- I caratteri idrogeomorfologici dei bacini idrografici e dei sistemi morfogenetici
- I caratteri ecosistemici del paesaggio
- Il carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, urbani ed infrastrutturali
- I caratteri morfotipologici dei paesaggi rurali.

Il PS persegue gli obiettivi generali indicati per ciascuna invariante negli artt. 7, 8, 9 ed 11

della Disciplina del Piano del PIT-PPR e, nei successivi articoli del presente Capo, recepisce, integrandoli e specificandoli ove necessario, gli obiettivi specifici e le azioni indicati dal PIT-PPR da declinare nei successivi atti di governo del territorio.

#### **Invariante strutturale I: i caratteri idrogeomorfologici dei bacini idrografici e dei sistemi morfogenetici**

I caratteri idrogeomorfologici dei bacini idrografici e dei sistemi morfogenetici costituiscono la struttura fisica fondativa dei caratteri identitari alla base dell'evoluzione storica dei paesaggi del territorio comunale.



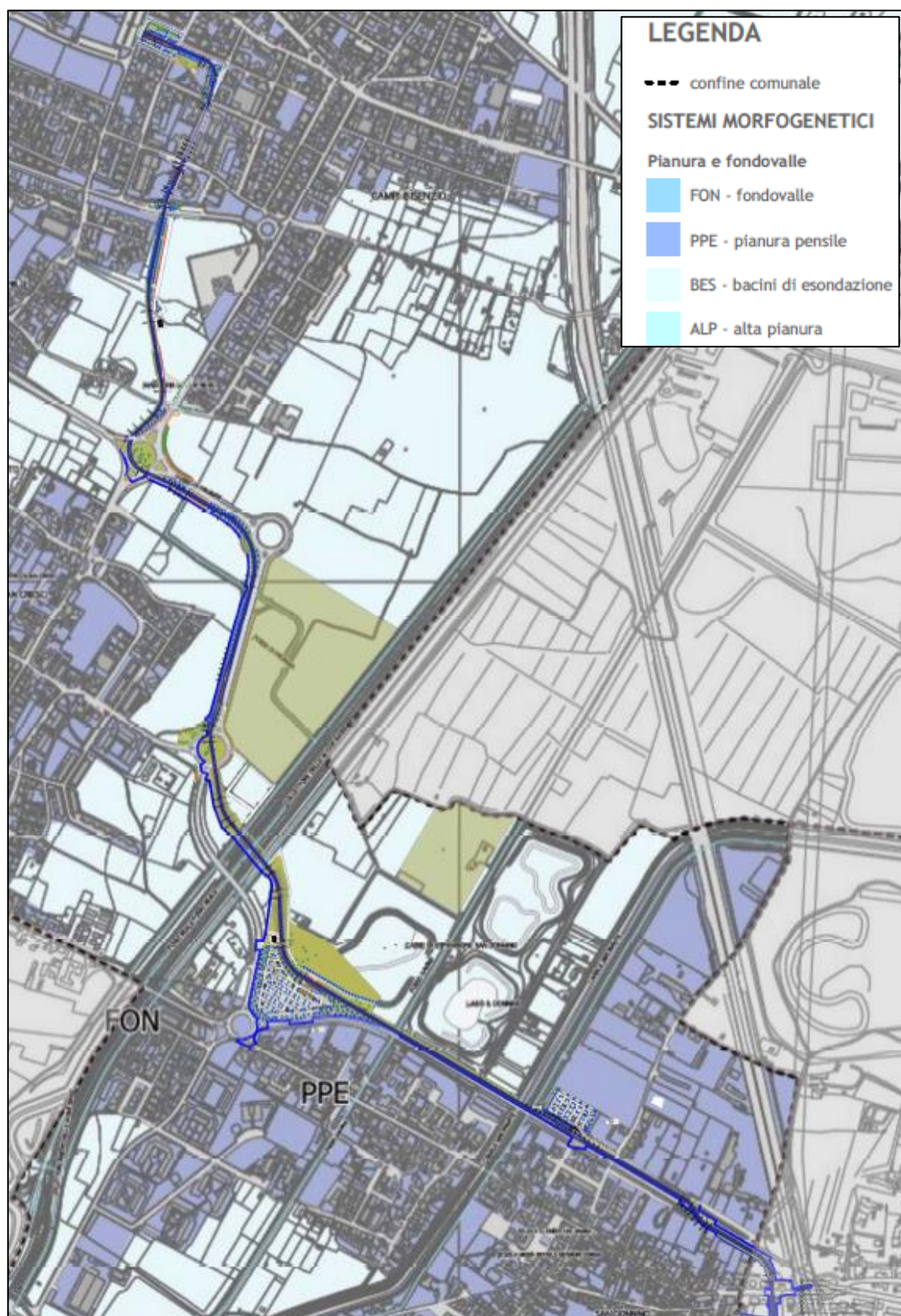


FIGURA 15 - PS COMUNE DI CAMPI BISENZIO – I CARATTERI IDRO-GEO-MORFOLOGICI DEI BACINI IDROGRAFICI E DEI SISTEMI MORFO GENETICI

Il tracciato e le aree di pertinenza, così come visibili dalla figura sopra, attraversano le aree indicate in legenda come pianura pensile e bacini di esondazione.

Il PS recepisce le azioni che, per ciascun sistema morfogenetico, sono indicate dal PIT-PPR nell'Abaco dell'Invariante I, come di seguito riportate:

**Pianura pensile PPE:**

- Limitare il consumo di suolo per ridurre l'esposizione al rischio idraulico e salvaguardare i caratteri qualitativi e quantitativi delle risorse idriche;
- Mantenere e ripristinare le reti di drenaggio superficiale.

**Bacini di esondazione (BES)**

- Limitare il consumo di suolo per ridurre l'esposizione al rischio idraulico e mantenere la permeabilità dei suoli
- Mantenere e ove possibile ripristinare le reti di smaltimento delle acque superficiali;
- Regolamentare gli scarichi e l'uso di sostanze chimiche ad effetto eutrofizzante dove il sistema di drenaggio coinvolga aree umide di valore naturalistico.

Invariante strutturale II: i caratteri ecosistemici del paesaggio

I caratteri ecosistemici del paesaggio costituiscono la struttura biotica dei paesaggi del territorio del Comune DI Campi Bisenzio.

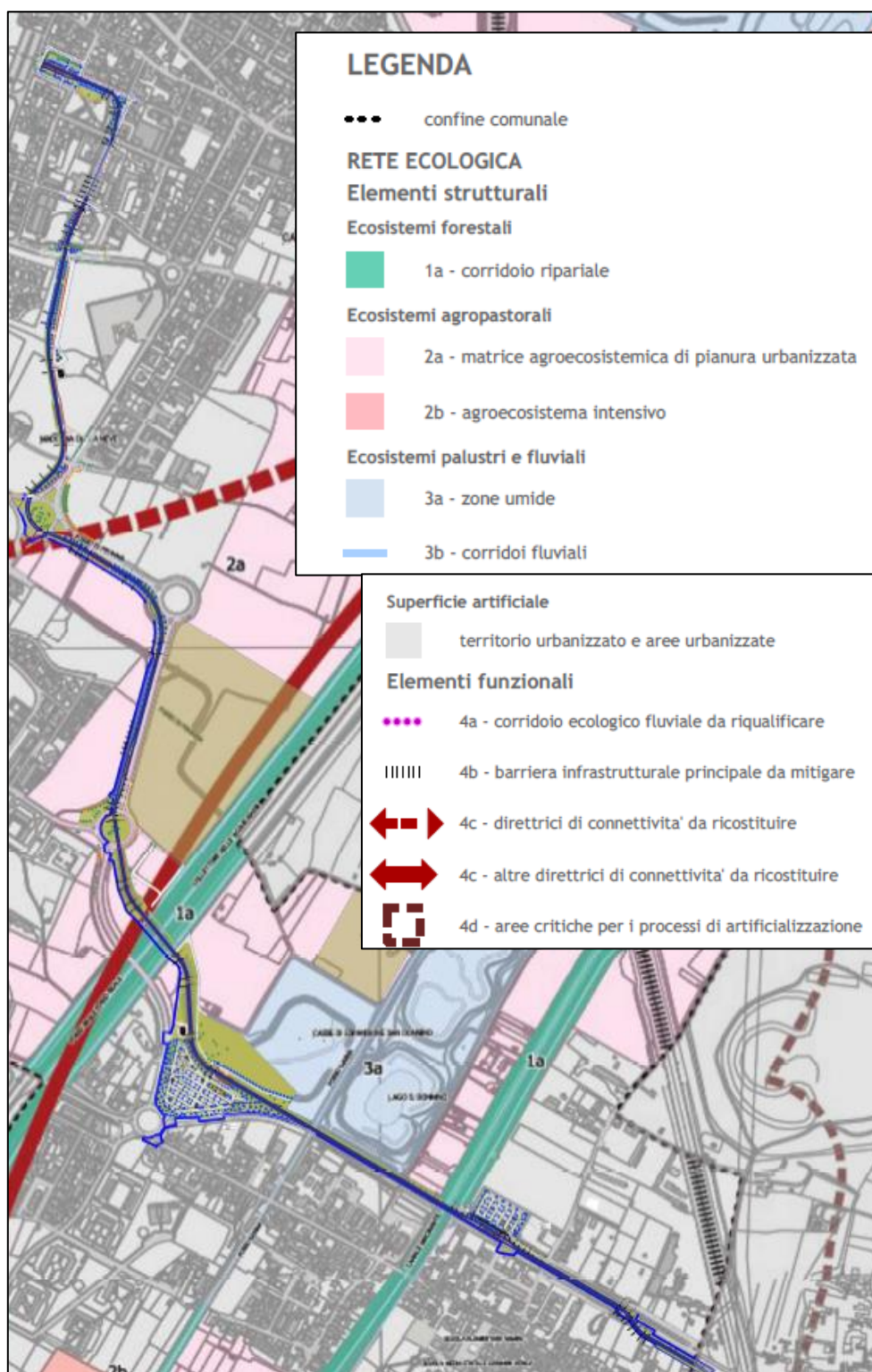


FIGURA 16 - PS COMUNE DI CAMPI BISENZIO – I CARATTERI ECOSISTEMICI DEL PAESAGGIO



Il primo e l'ultimo tratto della linea, così come visibile dalla figura sopra, attraversano il territorio urbanizzato per poi interferire con la zona umida di San Donnino e la matrice agrosistemica di pianura urbanizzata nella parte centrale del suo sviluppo.

Inoltre, il tracciato percorre i corridoi ripariali del Canale Macinante e del Fosso Reale nonché, come indicati tra gli elementi funzionali in legenda, direttrici di connettività da ricostruire.

Il PS recepisce le azioni che, per ciascun elemento strutturale e funzionale della rete ecologica, sono indicate dal PIT-PPR nell'Abaco dell'Invariante II, come di seguito riportate:

**Corridoio ripariale:**

- Miglioramento della qualità ecosistemica complessiva degli ambienti fluviali, degli ecosistemi ripariali e dei loro livelli di maturità, complessità strutturale e continuità longitudinale e trasversale ai corsi d'acqua;
- Riduzione dei processi di artificializzazione degli alvei, delle sponde e delle aree di pertinenza fluviale;
- Miglioramento della compatibilità ambientale della gestione idraulica, delle opere per lo sfruttamento idroelettrico e delle attività di pulizia delle sponde;
- Miglioramento della qualità delle acque;
- Mitigazione degli impatti legati alla diffusione di specie aliene
- Riduzione delle utilizzazioni forestali negli impluvi e lungo i corsi d'acqua.

**Matrice agrosistemica di pianura urbanizzata:**

- Riduzione dei processi di consumo di suolo agricolo a opera dell'urbanizzato residenziale e industriale/commerciale e delle infrastrutture lineari (strade, autostrade, ferrovie, elettrodotto, ecc.), evitando la saldatura delle aree urbanizzate, conservando i varchi ineditati, e mantenendo la superficie delle aree agricole e la loro continuità
- Mantenimento degli elementi di connessione tra le aree agricole di pianura e tra queste e il paesaggio collinare circostante, con particolare riferimento alle Direttrici di connettività da riqualificare/ricostruire
- Mantenimento delle attività agricole e pascolive relittuali, favorendo lo sviluppo di un'agricoltura innovativa che coniughi vitalità economica con ambiente e paesaggio
- Miglioramento della permeabilità ecologica delle aree agricole attraverso la salvaguardia e, ove possibile, la ricostituzione degli elementi vegetali lineari e puntuali (siepi, filari alberati, boschetti, alberi camporili), la creazione di fasce tampone lungo gli impluvi e il mantenimento dei residuali elementi naturali (ad es. boschetti planiziali) e seminaturali
- Mitigazione degli impatti dell'agricoltura intensiva sul reticolo idrografico e sugli ecosistemi fluviali, lacustri e palustri, promuovendo attività agricole con minore consumo di risorse idriche e minore utilizzo di fertilizzanti e prodotti fitosanitari (con particolare riferimento alle aree critiche per la funzionalità della rete ecologica e comunque in prossimità di ecosistemi fluviali e aree umide di interesse conservazionistico)
- Forti limitazioni alle trasformazioni di aree agricole in vivai o arboricoltura intensiva. Sono da evitare i processi di intensificazione delle attività agricole, di eliminazione degli elementi vegetali lineari del paesaggio agricolo o di urbanizzazione nelle aree interessate da Direttrici di connettività da ricostruire/riqualificare
- Mantenimento del caratteristico reticolo idrografico minore e di bonifica delle pianure agricole alluvionali
- Mantenimento delle relittuali zone umide interne alla matrice agricola urbanizzata e miglioramento dei loro livelli di qualità ecosistemica e di connessione ecologica.

**Zone umide:**

- Riduzione dei processi di frammentazione delle zone umide e di artificializzazione delle aree circostanti, evitando nuovi processi di urbanizzazione, di consumo e impermeabilizzazione del suolo e favorendo la trasformazione delle attività agricole verso il biologico o comunque verso forme di agricoltura a elevata sostenibilità ambientale
- Miglioramento della qualità delle acque e riduzione delle pressioni ambientali e delle fonti di inquinamento di origine industriale, civile o agricola, situate nelle aree adiacenti o comunque confluenti nelle aree umide
- Mantenimento e/o incremento dell'attuale superficie degli habitat umidi; tutela degli habitat di interesse regionale e/o comunitario, delle fitocenosi e delle rare specie animali e vegetali palustri e lacustri
- Attuazione di urgenti interventi di gestione naturalistica per le aree umide della Piana.
- Mantenimento/incremento delle aree con estesi canneti e realizzazione di interventi di gestione e riqualificazione degli habitat palustri e lacustri
- Miglioramento della gestione idraulica e controllo dei processi di interrimento
- Controllo/riduzione della presenza di specie aliene invasive
- Aumento della superficie interessata da boschi planiziali anche attraverso progetti di riforestazione mediante utilizzo di specie ed ecotipi forestali locali
- Riqualificazione e valorizzazione di ecosistemi lacustri derivanti dalla presenza di siti estrattivi abbandonati su terrazzi alluvionali.

**Direttrice di connettività da ricostruire:**

- Mantenimento degli elementi di connessione tra le aree agricole di pianura e tra queste e il paesaggio collinare; limitazioni alle trasformazioni e all'urbanizzazione di aree agricole, all'eliminazione degli elementi vegetali lineari del paesaggio agricolo, mantenimento del caratteristico reticolo idrografico minore e di bonifica delle pianure agricole alluvionali; mantenimento delle relittuali zone e miglioramento dei loro livelli di qualità ecosistemica e di connessione ecologica.

*Invariante strutturale III: il carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, urbani e infrastrutturali*

Il carattere policentrico del sistema insediativo del Comune di Campi Bisenzio trae origine dalla rete degli insediamenti storici a carattere urbano legato agli assi viari fondativi ed ai ponti storici sul Bisenzio: i centri antichi e fortificati di Campi e Capalle, i nuclei storici di S.Maria, S.Lorenzo, S.Martino, S.Piero a Ponti, S.Donnino, i tessuti storicizzati costituiti dagli aggregati edilizi e dalle formazioni lineari sorti in prossimità e lungo gli assi fondativi.

A questo modello insediativo, fortemente legato alla colonizzazione agricola della piana organizzata sulla centuriazione romana e poi sul sistema delle ville fattorie del contado fiorentino, si sono sovrapposti gli effetti dell'impetuoso processo di trasformazione economica e di espansione urbana della seconda metà del Novecento: la saldatura dei poli originari del capoluogo in una conurbazione urbana estesa e plurifunzionale; gli accrescimenti lineari e gli addensamenti lungo via Pistoiese, via Lucchese, via Barberinese, via Tre Ville, via Buoizzi, via Palagetta e via della Crescia; la nascita e lo sviluppo della zona industriale a nord dell'A11. Nonostante gli accrescimenti e le trasformazioni del sistema insediativo, rimane viva e leggibile l'identità individualità dei singoli centri e nuclei storici che rappresentano una risorsa da tutelare e valorizzare anche e soprattutto nelle aree di più intenso sviluppo.

Obiettivo generale dell'invariante è proprio la salvaguardia e la valorizzazione del carattere policentrico e reticolare del sistema insediativo e delle specifiche identità paesaggistiche che lo caratterizza.

Perciò il PS stabilisce le azioni specifiche, in linea con le prescrizioni del PIT, da attuare nelle singole aree individuate.

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

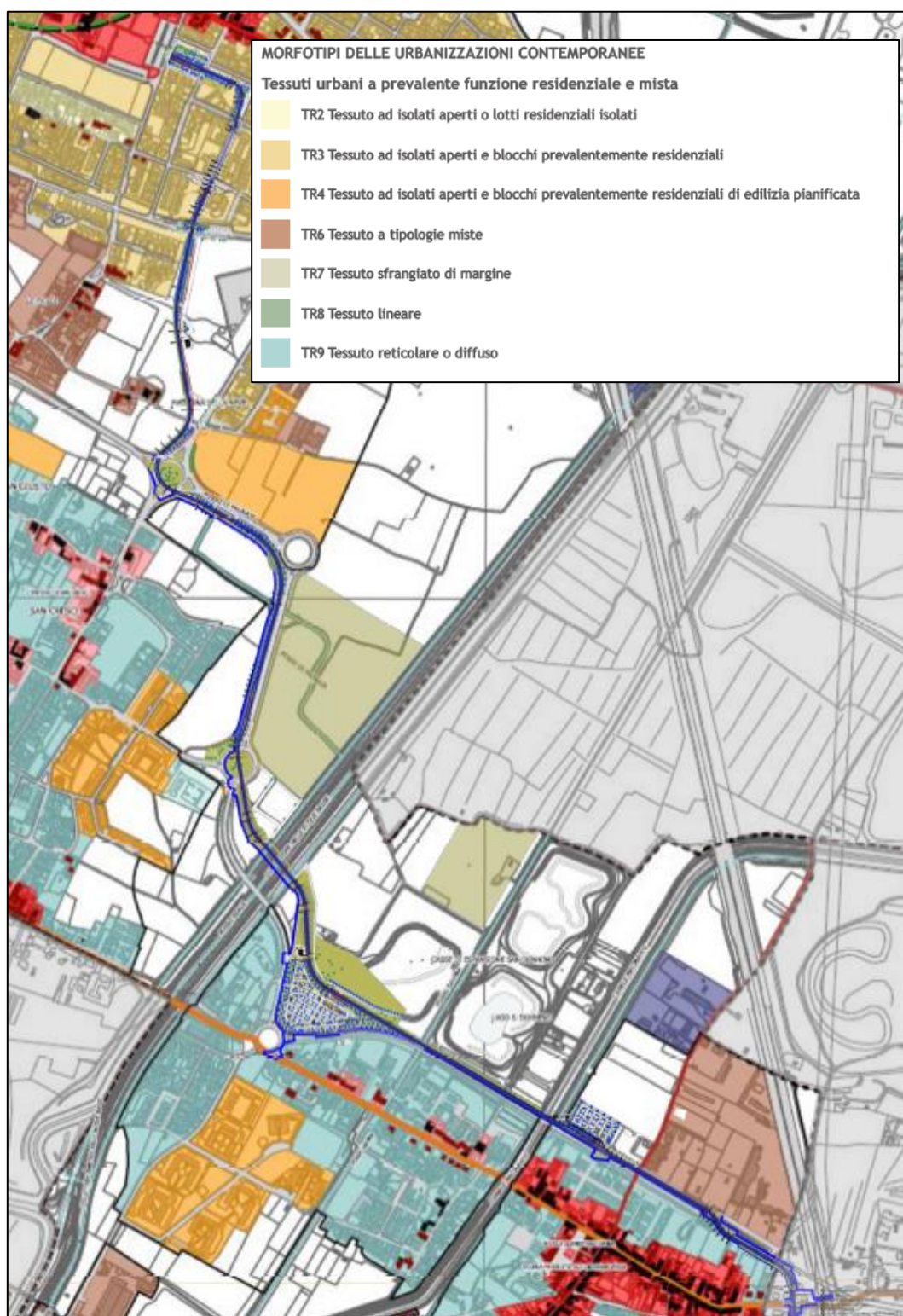


FIGURA 17 - PS COMUNE DI CAMPI BISENZIO - IL CARATTERE POLICENTRICO E RETICOLARE DEI SISTEMI INSEDIATIVI, URBANI E INFRASTRUTTURALI

Il tracciato e le opere annesse, indicate in rosso nello stralcio sovrastante, fiancheggiano nella porzione iniziale del loro sviluppo l'area del tessuto reticolare o diffuso per poi intersecare la superficie del tessuto ad isolati aperti o lotti residenziali isolati, sul finale del percorso. Entrambi le tipologie, così come leggibile nello stralcio di legenda riportato, fanno parte dei morfotipi delle urbanizzazioni contemporanee.

All'interno della relazione di coerenza a conformità, che costituisce insieme a numerosi altri elaborati il PS del Comune di Campi Bisenzio, sono indicate le prescrizioni e gli obiettivi declinati in azioni per le varie porzioni di territorio:

Tessuto ad isolati aperti o lotti residenziali isolati:

- Conferire dimensione urbana a partire dalla dotazione e dalla qualità dei servizi e della rete degli spazi pubblici
- Ridefinire la struttura "ordinatrice" ed il ruolo dello spazio pubblico e del connettivo aumentandone la dotazione e la funzionalità
- Conferire dimensione urbana ai tessuti insediativi realizzando nuove centralità, recuperando l'edilizia e lo spazio pubblico
- Riqualificare i fronti urbani verso l'esterno definendo altresì un margine urbano-rurale capace di dare luogo a nuove relazioni con il territorio aperto

Tessuto reticolare o diffuso:

- Trasformare le urbanizzazioni diffuse in nuclei urbani policentrici. Riqualificare le relazioni funzionali, visive e paesaggistiche tra città e campagna, evitando ulteriori fenomeni di densificazione e saturazione edilizia degli spazi aperti interclusi.
- Selezionare aree di trasformazione dell'urbanizzazione dove è possibile progettare nuclei urbani densi, dotati di spazi pubblici e di servizi e delocalizzare e liberare varchi nei filamenti meno densi dell'urbanizzazione
- Contenere i processi di dispersione insediativa impedendo ulteriori processi di densificazione dei filamenti residenziali
- Riprogettare il "bordo del recinto urbanizzato" con azioni di qualificazione paesaggistica per frenare i processi di saturazione insediativa, anche tramite l'istituzione di parchi agricoli periurbani, attrezzando anche i grandi spazi aperti interclusi
- Migliorare i fronti urbani verso lo spazio agricolo, chiudendo alcune maglie per dare unitarietà all'edificato
- Progettare il complesso degli spazi aperti interni alla frangia periurbana, come strategia per il miglioramento dello spazio aperto urbano periferico creando spazi in continuità e connessioni in chiave paesaggistica con gli spazi verdi dell'aperta campagna e con la città compatta
- Dotare lo spazio periferico di servizi e dotazioni alla scala di quartiere

Invariante strutturale IV: i caratteri morfologici dei paesaggi rurali

Il paesaggio rurale interessa una parte significativa del territorio del Comune di Campi Bisenzio e, nonostante le contrazioni e le alterazioni subite per effetto dell'espansione delle aree urbanizzate, è ancora caratterizzato, in alcune porzioni del territorio comunale, dalla permanenza di alcuni tratti originari: lo stretto rapporto fra sistema insediativo e territorio agricolo, la permanenza delle infrastrutture rurali (insediamenti sparsi, viabilità podereale, reticolo idrografico della bonifica) e di elementi paesaggistici di valore ecologico (aree e prati umidi, siepi campestri ed altri elementi vegetazionali).

Obiettivo generale dell'invariante è salvaguardare e valorizzare i tratti originari ed il carattere multifunzionale dei paesaggi rurali, da perseguire, come indicato dalla Disciplina del PIT-PPR, mediante una serie di azioni differenti a seconda delle aree indicate negli elaborati grafici costituenti il PS comunale, di cui si riporta sotto un estratto.



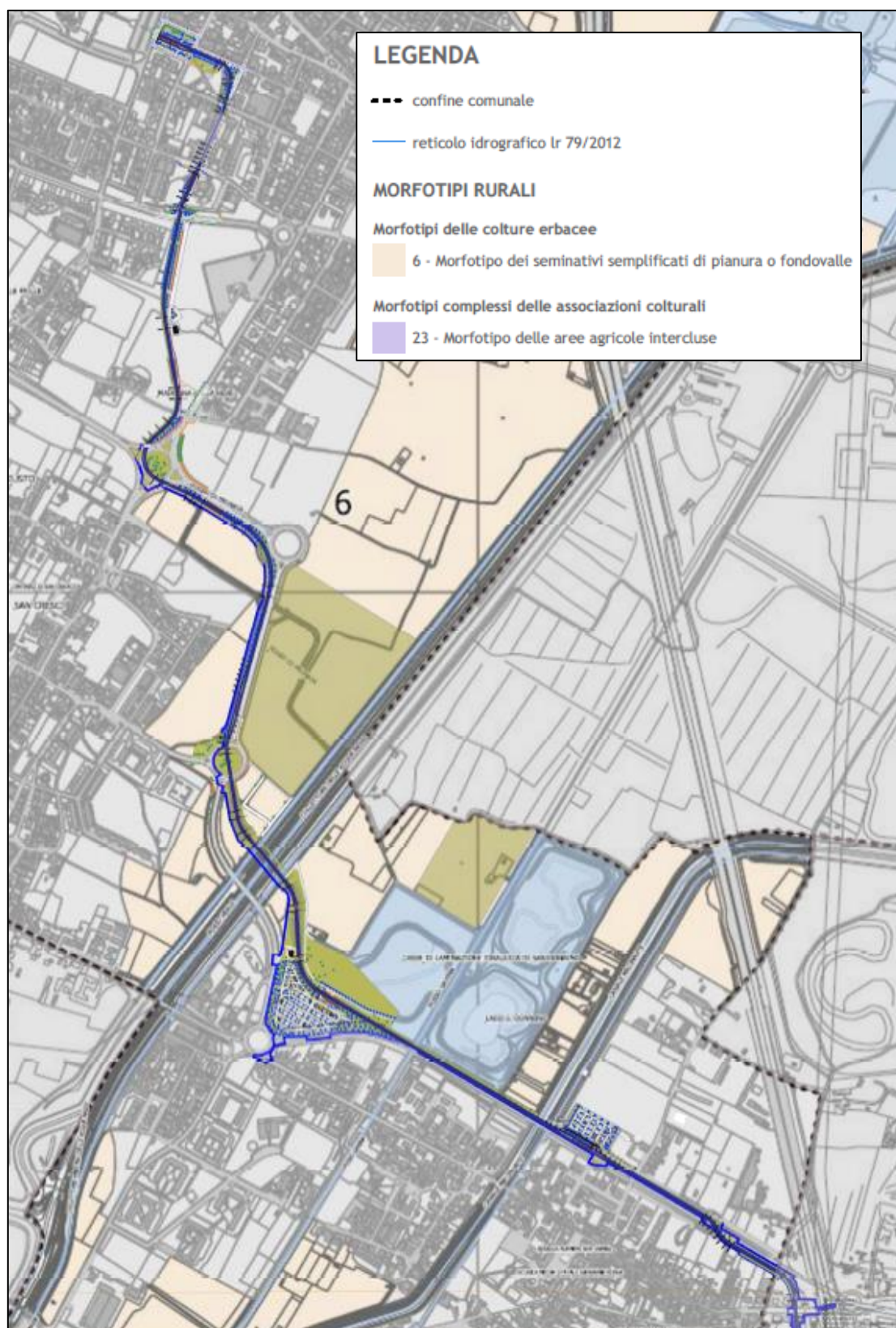


FIGURA 18 - PS COMUNE DI CAMPI BISENZIO – INVARIANTE STRUTTURALE IV: I CARATTERI MORFOLOGICI DEI PAESAGGI RURALI



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

Il tracciato e la sua area d'intervento interferiscono con entrambi i morfotipi rurali indicati negli elaborati cartografici del Piano Strutturale, di cui lo stralcio sopra: morfotipo dei seminativi semplificati di pianura o fondovalle e morfotipo delle aree agricole intercluse.

Per esse, in base agli obiettivi dell'invariante da perseguire come sopra riportati, vengono indicate all'interno del PS delle specifiche azioni distinte in base al morfotipo:

Morfotipo dei seminativi semplificati di pianura e fondovalle:

- la conservazione degli elementi e delle parti dell'infrastruttura rurale storica ancora presenti (siepi, filari arborei e arbustivi, alberi isolati e altri elementi di corredo della maglia agraria; viabilità podereale e interpodereale; sistemazioni idraulico-agrarie di piano);
- la realizzazione di appezzamenti morfologicamente coerenti con il contesto paesaggistico (in termini di forma, dimensione, orientamento) ed efficienti sul piano della funzionalità idraulica dei coltivi e della rete scolante;
- il miglioramento del livello di infrastrutturazione paesaggistica ed ecologica della maglia dei coltivi attraverso l'introduzione di siepi, filari di alberi, a corredo dei confini dei campi, della viabilità podereale, delle sistemazioni idraulico-agrarie di piano;
- la ricostituzione di fasce o aree di rinaturalizzazione lungo i corsi d'acqua (per es. di vegetazione riparia) con funzioni di strutturazione morfologico-percettiva del paesaggio agrario e di miglioramento del livello di connettività ecologica.

Morfotipo delle aree agricole intercluse:

- la limitazione e il contrasto di fenomeni di dispersione insediativa, saldatura lineare dei centri abitati ed erosione del territorio aperto da parte dell'urbanizzazione;
- il consolidamento dei margini dell'edificato soprattutto in corrispondenza delle espansioni recenti anche mediante la realizzazione di orti urbani o di aree a verde pubblico che contribuiscano alla ricomposizione morfologica dei tessuti;
- la promozione e la valorizzazione dell'uso agricolo degli spazi aperti;
- la messa a sistema degli spazi aperti attraverso la predisposizione di elementi naturali finalizzati alla ricostituzione e al rafforzamento delle reti ecologiche e mediante la realizzazione di reti di mobilità dolce che li rendano fruibili come nuova forma di spazio pubblico;
- la creazione e il rafforzamento di relazioni di scambio e di reciprocità tra ambiente urbano e rurale e in particolare tra produzione agricola della cintura periurbana e mercato urbano;
- una corretta gestione degli spazi caratterizzati da una scarsa vocazione agricola per difficoltà di gestione o accessibilità, orientata anche verso forme di rinaturalizzazione.

**Dal momento che il progetto tranviario determinerà un miglioramento delle dotazioni infrastrutturali del comune e prevederà non solo che il tracciato ricalchi e si affianchi ad una strada già esistente in un contesto già notevolmente antropizzato ma anche interventi di inserimento paesaggistico-ambientale mediante la predisposizione di opere a verde, esso non risulta essere in contrasto con le azioni previste per ciascuna invariante strutturale analizzata nel presente paragrafo.**

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Nel presente capitolo verrà descritta l'area in esame da un punto di vista geologico-geomorfologico e contestualmente verrà illustrata la componente idrogeologica locale.

### 5.1 ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE

La zona in oggetto è parte di un'area ben più vasta indicato come Bacino di Firenze-Prato-Pistoia, la cui storia ed evoluzione strutturale sono da ricondursi a quanto, a più grande scala, ha caratterizzato l'intero Appennino Settentrionale. Si tratta di una depressione tettonica limitata al suo margine nordorientale da un complesso di faglie normali di collasso ove affiorano estesamente le unità liguri, minoritariamente le unità toscane arenaceo turbiditiche. Altre faglie ad andamento trasversale suddividono il bacino in direzione antiappenninica, individuando blocchi variamente ribassati: si tratta della faglia di Castello - Scandicci e della faglia Maiano - Bagno a Ripoli, che hanno provocato il sollevamento dell'area fiorentina, alto strutturale all'interno del bacino.

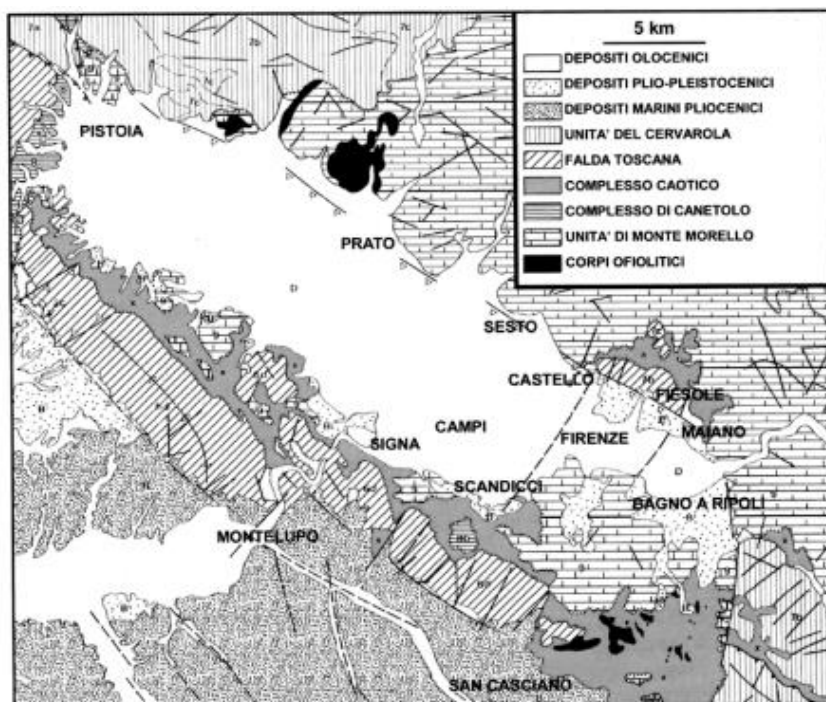


FIGURA 19 - CARTA GEOLOGICA SCHEMATICA DEL BACINO FIRENZE -PRATO - PISTOIA E DELLE AREE LIMITROFE (DA COLI&RUBELLINI, 2007)

Nel Pliocene inferiore iniziò la sedimentazione con depositi fluviali per lo più grossolani e lacustro-palustri antichi: è dal Pliocene superiore che si forma la conca valliva e nel bacino così individuato iniziano a deporsi sedimenti limoso-argillosi più o meno sabbiosi e ghiaiosi (Sintema dei Firenze) di ambiente lacustre freddo, parte più consistente del riempimento del bacino. Nelle zone prossimali del bacino tali depositi passavano a quelli ghiaioso-ciottolosi coincidenti con apporti deltizi in coincidenza degli sbocchi dei torrenti nel bacino stesso. Nel Villafranchiano sup (Pleistocene inf) sono state attive delle faglie trasversali a sollevare il blocco di Firenze rispetto al restante bacino lacustre (sollevamento testimoniato dal ridotto spessore dei depositi lacustri palustri nell'area). Segue una fase di stasi tettonica durante la quale si verifica il colmamento del

bacino e si creano anche superfici morfologiche ubicate a quote diverse tra la parte nord e centrale del bacino, in funzione del riattivarsi di sistemi di faglie sopra descritti.

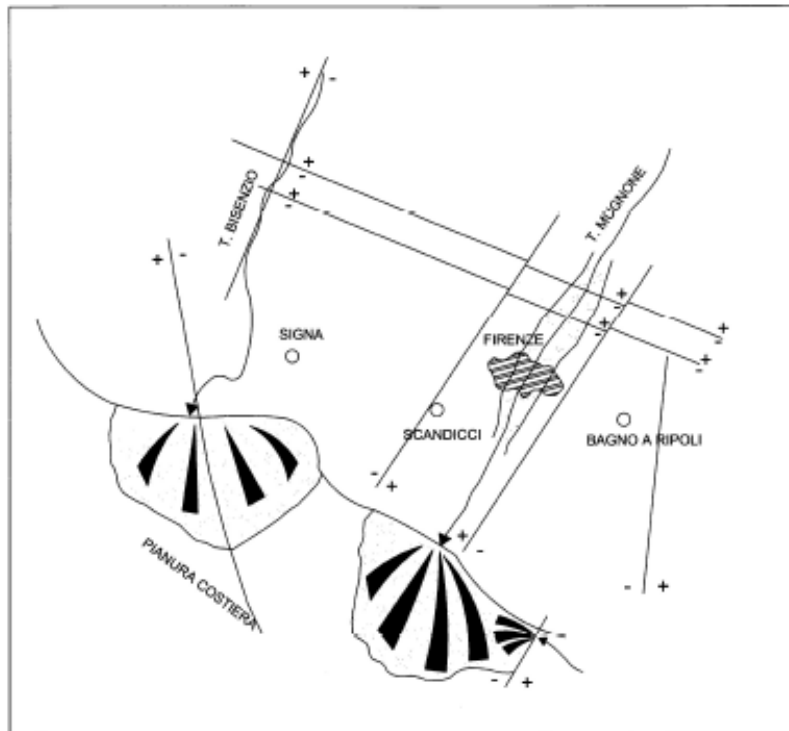


FIGURA 20 - RICOSTRUZIONE PALEOGEOGRAFICA DELL'AREA DI FIRENZE DURANTE IL PLIOCENE INFERIORE (DA COLI, 1997; MODIFICATA)

Nel Pleistocene medio si passa ad un ambiente di sedimentazione fluviale che si imposta sopra i depositi del bacino palustre-lacustre, oramai colmato, localmente anche incidendoli. L'analisi delle stratigrafie di pozzi profondi disponibili in letteratura e della stratigrafia dei sondaggi geognostici disponibili, si rileva che i drenaggi dei corsi d'acqua principali e le aree di sedimentazione relative, non differivano sostanzialmente da quelli attuali se non per il divagare più accentuato nelle aree di pianura, in alcuni casi. In tempi recenti (Olocene-Attuale) i fiumi divagavano maggiormente nella pianura persistendo in alcuni casi ancora condizioni lacustro-palustri; tali situazioni successivamente nel tempo furono bonificate, anche con la realizzazione di opere di rettificazione e canalizzazione degli alvei, ove si limitava l'attività di deposizione dei sedimenti stessi

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

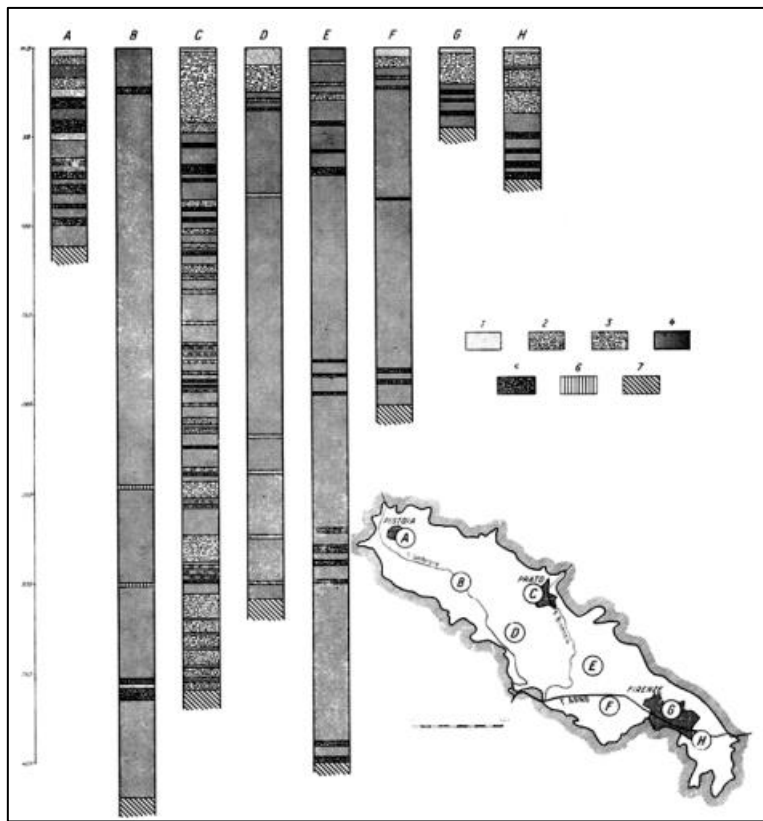


FIGURA 21 - SUCCESSIONI STRATIGRAFICHE RAPPRESENTATIVE DEL RIEMPIMENTO DEL BACINO DI FIRENZE - PRATO - PISTOIA DESUNTE DA SONDAGGI (CAPECCHI ET AL., 1975). 1) SABBIE ARGILLOSE, 2) CIOTTOLAMI E GHIAIE, 3) CIOTTOLAMI CON MATRICE SABBIOLO - ARGILLOSA, 4) ARGILLE, 5) ARGILLE CON LENTI DI CIOTTOLAMI, 6) CALCARI CARIATI TIPO TRAVERTINO, 7) ROCCE DEL SUBSTRATO DELLA CONCA FLUVIOLACUSTRE.

## 5.2 EVOLUZIONE GEOLOGICA

L'evoluzione geologica dell'area fiorentina può essere dunque ricostruita a partire dal Pliocene, momento in cui l'attività delle faglie di Fiesole (ad andamento NW-SE e con rigetti verticali totali intorno ai 1000 m) e quella delle faglie trasversali (ad andamento NE-SW e con rigetti verticali complessivi nell'ordine delle centinaia di metri), determinano una disarticolazione e generale ribassamento del bedrock costituito dalla successione di sedimenti di età dal Giurassico superiore al Miocene (ofioliti, calcari, diaspri e argille del Complesso Ofiolitifero; arenarie, calcari marnosi e marne del Gruppo della Calvana; argille scagliose del Complesso del Canetolo; arenarie, siltiti ed argilloscisti del Gruppo del Macigno).

Dati relativi a perforazioni profonde eseguite nell'area fiorentina permettono una sommaria ricostruzione dell'andamento della superficie di tetto del substrato litoide pre-pliocenico, il quale è stato osservato a debole profondità dal piano campagna (profondità < 20 m) nell'area del centro storico della città, tendendo ad approfondirsi verso NE, verso la zona dei viali e dei rilievi pedecollinari, ove raggiunge le massime profondità, finanche oltre i 170 m.

Spostandosi ad Ovest della cinta muraria della città, in corrispondenza del brusco gradino delineato dalla faglia trasversale Scandicci-Castello, si osserva un brusco ribassamento del substrato litoide, che si osserva a profondità di circa 100 m dal p.c., via via in aumento continuando a spostarsi verso i quadranti occidentali, ove lo stesso si intercetta a profondità anche superiori ai 600 m dal p.c. nella zona di Campi Bisenzio.

A partire dal Pliocene superiore, in concomitanza con l'avvio di una fase di tettonica distensiva, ha inizio la deposizione di una successione di sedimenti, a riempimento del bacino via via in formazione, di ambiente fluvio-lacustre, in discordanza stratigrafica con le formazioni del bedrock sottostante.



Caratteristica peculiare di questa sedimentazione clastica è l'estrema variabilità di facies, sia in senso laterale, sia in senso verticale, con frequenti e repentine variazioni granulometriche che determinano la formazione di corpi litologici dai rapporti stratigrafici spesso piuttosto complessi, con geometrie lenticolari ed accostamenti laterali secondo superfici sedimentarie eteropiche e/o secondo superfici erosive anche ripetute.

### 5.3 CARATTERI GEOMORFOLOGICI

La morfologia del territorio fiorentino è fortemente influenzata dall'assetto tettonico strutturale instauratosi, a partire dal Pliocene superiore, con la formazione della depressione tettonica del "Bacino di Firenze-Prato-Pistoia", sede dell'ambiente di tipo fluvio-lacustre a partire dal Villafranchiano.

Questo bacino, che si pone a quote mediamente intorno ai 45 m s.l.m., si sviluppa con una forma allungata in direzione NW-SE per una lunghezza complessiva di circa 45 Km ed una larghezza di circa 10 Km, risultando delimitato a Nord dal gruppo dei Monti della Calvana e di Monte Morello, che raggiungono quote fino a 900 m s.l.m., a Sud dal Montalbano e dai rilievi collinari di Montegufoni e dell'Impruneta, con quote massima fino a 600 m s.l.m..

L'area di intervento ricade in corrispondenza del margine Sud-orientale del bacino, ove quest'ultimo tende a richiudersi compreso tra la fascia pedecollinare dei rilievi di Fiesole a Nord, di Bagno a Ripoli a Est e di Bellosguardo, San Gaggio e Monte alle Croci a Sud.

L'evoluzione morfogenica del bacino inizia a partire dal Pliocene superiore, momento in cui la formazione di una depressione a carattere endoreico esercita un'azione di richiamo dei corsi d'acqua che sfociavano nelle pianure costiere ubicate nelle attuali zone di San Casciano e Montelupo. Questi corsi d'acqua pertanto, caratterizzati anche da un ingente trasporto solido, cominciano a scaricare il loro materiale all'interno del bacino lacustre di neo formazione, dando luogo inoltre alla formazione di ampie conoidi alluvionali.

A partire dal Pleistocene, il sollevamento per cause tettoniche dell'area fiorentina condiziona l'evoluzione del bacino, con il permanere di un ambiente lacustre-palustre nelle aree occidentali (area di Casellina-Cascine Careggi) e l'alternarsi di attività di erosione e deposizione fluviale nelle aree orientali.

L'attuale morfologia del territorio fiorentino è il frutto soprattutto degli eventi avvenuti a partire dalla fine del Pleistocene, con la formazione di un reticolo idrografico avente come livello di base il corso del Fiume Arno, le cui dinamiche sono controllate dalle fluttuazioni glacio-eustatiche e dipendenti pertanto dall'alternanza di fasi climatiche glaciali ed inter-glaciali.

Durante l'ultimo glaciale, a causa di una forte regressione del livello medio del mare, si instaurano le condizioni per lo sviluppo di un'intensa fase erosiva, tale da portare l'Arno ed i suoi affluenti ad incidere profondamente i precedenti sedimenti lacustri villafranchiani. Successivamente il progressivo innalzamento del livello marino comporta una crescente fase di alluvionamento dei terreni precedentemente incisi, con deposizione di sedimenti grossolani in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua e via via più fini allontanandosi dagli stessi.

Questa fase culmina con la migrazione del corso dell'Arno, che si sposta da Nord-Est verso Sud-Ovest, assumendo un andamento meandriforme e andando ad intaccare la base dei rilievi collinari di San Miniato e di Bellosguardo.

La pianura fiorentina si configura pertanto come un'area di tipo alluvionale, essendo stata fino ad oggi soggetta a fenomeni di esondazione e di erosione laterale dei corsi d'acqua talora anche molto accentuati. Il fiume Arno attualmente scorre nella porzione meridionale della pianura, caratterizzato da una linearità artificiale e da processi di approfondimento in alveo, dovuti ad interventi antropici eseguiti nelle zone di monte, che negli ultimi 150 anni circa hanno raggiunto valori dell'ordine dei 4-6 m.

Lo sviluppo della città di Firenze, che sulla base dei dati storici può essere fatto risalire a partire dal 59 a.c., ha visto l'alternarsi di diverse fasi di costruzione ed ampliamento con momenti in cui parti della città venivano

altresì demolite e ricostruite per far fronte alle nuove esigenze di ammodernamento e di funzionalità. Si è venuta così a creare, nel corso del tempo, una coltre di materiali di riporto antropico che, in alcune aree della città, raggiunge spessori rilevanti, con modifiche anche significative della morfologia originaria di alcune fasce di territorio. Escavazioni, scarichi di detriti, colmate per operazioni di bonifica, hanno pertanto determinato l'attuale assetto morfologico, soprattutto attraverso le opere di deviazione, canalizzazione o totale tombamento degli originari corsi d'acqua che solcavano la pianura fiorentina

## 5.4 IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

I caratteri idrografici dell'area fiorentina risultano notevolmente influenzati dagli innumerevoli interventi antropici succedutisi nel tempo durante l'evoluzione del tessuto urbano.

Il corso d'acqua principale che solca il territorio comunale è rappresentato dal Fiume Arno, il quale rappresenta il livello di base locale di tutto il reticolo di fossi e torrenti che solcano l'area fiorentina.

Gli interventi antropici che hanno caratterizzato le diverse fasi di crescita urbanistica della città, con la bonifica delle aree paludose, hanno provocato sostanziali alterazioni del reticolo idrografico, con corsi d'acqua deviati dal loro percorso originario o che spesso scorrono interrati e solo in parte canalizzati.

In destra idraulica dell'Arno, ad eccezione del Torrente Mugnone, sono presenti affluenti di origine recente, impostatisi in erosione sui sedimenti villafranchiani, caratterizzati da un regime idraulico di tipo torrentizio, presentandosi con tragitti brevi e piuttosto acclivi nelle zone di monte, viceversa canalizzati, deviati o coperti nell'area urbana di pianura.

In sinistra idraulica dell'Arno degli antichi affluenti oggi rimane solo la testimonianza del Fosso di San Rocca, il cui corso scendeva dalla località San Gaggio lungo una vallecchia compresa tra le colline di Boboli e Bellosguardo, per poi sfociare in città nell'Arno, all'incirca in corrispondenza dell'attuale Ponte alla Carraia, Dal punto di vista idrogeologico, il sottosuolo della pianura fiorentina, che ospita un acquifero sede di una falda idrica freatica molto importante per estensione e potenzialità, è costituito da diversi complessi acquiferi, con caratteristiche di permeabilità variabili e strettamente dipendenti dalla costituzione dei singoli litotipi.

Il substrato di base che funge da sostegno della circolazione idrica sotterranea (acquiclude) è costituito dal complesso idrogeologico roccioso delle Formazioni di Sillano e di Pietraforte, rappresentate da calcari marnosi, marne, arenarie ed argilliti, generalmente di bassa permeabilità a meno della presenza di orizzonti fratturati che ne aumentano localmente la conducibilità idraulica.

Al di sopra di questo substrato poggia tutta la successione dei terreni di origine alluvionale, caratterizzata da una sequenza basale di sedimenti lacustri limoso argillosi con intercalazioni di livelli e/o lenti di ghiaie e sabbie, cui segue una sequenza di depositi fluviali a granulometria prevalentemente grossolana, la cui deposizione è riconducibile all'azione del Fiume Arno e dei suoi affluenti.

Dal punto di vista idrogeologico la copertura dei depositi alluvionali può essere dunque schematicamente così suddivisa, procedendo dall'alto verso il basso:

- a) Orizzonte Firenze 1: a granulometria limoso sabbiosa e/o limoso argillosa, di spessore variabile tra 2 e 7 m, costituito da depositi di esondazione dell'Arno e da riporti antropici, con permeabilità nell'ordine dei  $10^{-7}$  m/sec che ne identifica caratteristiche di acquitrando.
- b) Orizzonte Firenze 2: costituito da ghiaie e ciottoli, raramente sabbie, al cui interno sono intercalate lenti di limi sabbiosi e argillosi, con uno spessore variabile fino ad un massimo di 20 m e permeabilità altrettanto variabili, comprese tra  $10^{-3}$  e  $10^{-7}$  m/sec, che ne determinano la caratteristica di corpo acquifero principale.
- c) Orizzonte Firenze 3: confrontabile, dal punto di vista litologico, all'orizzonte soprastante, rispetto al quale presenta generalmente un maggior contenuto nella matrice limosa, ma spesso difficilmente

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

distinguibile dallo stesso, soprattutto quando tra i due non è presente un caratteristico livello limoso-argilloso di alcuni metri di spessore. Presenta permeabilità in genere più basse rispetto all'orizzonte 2, potendo comunque essere sede di significative circolazioni idriche sotterranee.

- d) Orizzonte Firenze 4: costituito da una successione di limi argillosi e argille limose, con rare intercalazioni di ghiaie a matrice limo-argillosa, di spessore variabile e stratigraficamente sottostante all'orizzonte 2, caratterizzato da una bassa permeabilità.

Questa schematizzazione, decisamente significativa a scala regionale, assume un carattere puramente indicativo a scala locale, in virtù delle caratteristiche di notevole variabilità ed eterogeneità dei terreni alluvionali, le quali condizionano in maniera determinante i caratteri della circolazione idrica sotterranea.

L'acquifero costituito dalla coltre dei terreni alluvionali è sede di una falda freatica che, nell'area della piana fiorentina, si riscontra generalmente a profondità comprese tra 1 e 10 m, variabili anche in relazione al periodo stagionale e che trova la sua alimentazione dai corsi d'acqua, dalle piogge efficaci ricadenti nell'area della piana e dalle acque di ruscellamento superficiale che scendono dai rilievi collinari e si infiltrano nei detriti di versante e nei depositi eluvio-colluviali presenti nella fascia pedecollinare.

La circolazione idrica ipogea si estende per lo più all'interno degli orizzonti clastici grossolani delle alluvioni dell'Arno e dei suoi affluenti (Orizzonte Firenze 2), i quali sono presenti in maniera pressoché continua nel sottosuolo di gran parte della pianura fiorentina. Solo in corrispondenza delle parti marginali della pianura, ove l'orizzonte superiore limoso-argilloso presenta spessori maggiori e la superficie piezometrica tende a raggiungere quote prossime alla superficie topografica, si determinano condizioni tipiche di falda semiconfinata.

La ricostruzione dell'andamento delle superfici isofreatiche, indica un flusso idrico dalle colline verso la valle con una componente verso Ovest, in accordo con il verso di scorrimento dell'Arno, che esercita un'azione di alimentazione della falda nel suo primo tratto in pianura, mentre nel resto del suo corso all'interno dell'area fiorentina mostra un'alternanza di tratti "drenanti" con tratti viceversa "alimentanti" in funzione delle oscillazioni dei livelli piezometrici.

## 6 INQUADRAMENTO SISMICO

La normativa in materia di costruzioni vigente (D.M. 17/01/2018) asserisce che “le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito interessato dalla costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale”. Come stabilisce l’allegato A delle NTC/18 “la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC/18 e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali”; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti: in termini di valori di accelerazione massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC/18, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopracitate, in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 Km) per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodo di ritorno dell’azione sismica  $T_r$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni, estremi esclusi. L’azione sismica così calcolata (azione sismica di base) è ulteriormente caratterizzata sulla base della risposta sismica locale, individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito. L’INGV, attraverso un reticolo di riferimento con maglia di 10 Km e un periodo di ritorno ricadente in un intervallo di riferimento (30-2475 anni) ha definito la pericolosità di base sull’intero territorio nazionale. Per qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri ( $F_0$ ,  $a_g$  e  $T_c$ ) di interesse per la definizione dell’azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici nella maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, secondo quanto riportato nell’Allegato A delle NTC/18. Le azioni di progetto si ricavano in funzione di:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima del sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali si valuta il rispetto dei vari stati limite considerati, vengono definite a partire dalla pericolosità sismica di base sito-specifica. La pericolosità sismica è figlia di stime probabilistiche che sfruttano un catalogo dei terremoti, una zonazione simogenetica del territorio e relazioni di attenuazione sismica. La pericolosità sismica rappresenta la probabilità di eccedenza di un determinato parametro descrittivo del moto del terreno (intensità macrosismica, picco di accelerazione, valori spettrali). Questo è generalmente rappresentato in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (o PGA0) al substrato rigido ( $>800$  m/s) con topografia piana e condizione di free-field, nonché di ordinate dello spettro elastico al bedrock. Questi valori sono riferiti a determinate probabilità di eccedenza  $P_{vr}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . La rappresentazione di riferimento per le componenti dell’azione sismica è lo spettro di risposta elastico, che rappresenta la massima accelerazione (o spostamento, o velocità) orizzontale o verticale a cui sarà sottoposto un oscillatore armonico con periodo proprio  $T$  ad un grado di libertà nel campo elastico. Il metodo semplificato previsto da normativa permette di ottenere lo spettro di risposta elastico in accelerazione (anche relativo alla superficie) della componente orizzontale tramite le espressioni di seguito riportate, le quali sono risolvibili a partire dai parametri di base ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$ ), dalla categoria di suolo (A, B, C, D, E) e dalla categoria topografica ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$ ), dalla Vita nominale (VN) e dalla Classe d’uso dell’Opera (Cu).

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$



Ne consegue che, per una determinata area, ricostruendo lo spettro di risposta elastico sia in superficie che e al bedrock è possibile ottenere informazioni quantitative riguardanti l'amplificazione sismica del sito (stratigrafica e topografica) e il contenuto in frequenza del moto. Il fenomeno di amplificazione sismica viene parametrizzato tramite i Fattori di Amplificazione Sismica. In alternativa all'approccio semplificato, è possibile un approccio numerico deterministico, come previsto negli studi di Risposta Sismica Locale (RSL) e negli studi di Microzonazione Sismica di III livello. Questa pratica richiede l'utilizzo di una serie di accelerogrammi spettro-compattibili alla sismicità di base del sito, che vengono (nei codici 1D di RSL) ricondotti ad un'onda s polarizzata sul piano orizzontale che oscilla in verticale dal bedrock alla superficie e viceversa e che, in caso di monostrato su bedrock, va in risonanza alle frequenze che sono i multipli dispari di  $f=VS/4*H$ .

## 6.1 MACRO-SISMICITÀ DELL'AREA

La raccolta di dati storici relativi la macrosismicità dell'area consente una prima approssimazione delle caratteristiche tettono-sismiche di sito e consente di ottenere data, intensità macrosismica e magnitudo momento degli eventi indicativi relativi all'area in esame. Questi stessi eventi registrati, combinati con una schematizzazione delle sorgenti sismogenetiche e con leggi di attenuazione del moto sismico, sono la base per il calcolo probabilistico delle  $PGA_0$  relative il bedrock sismico.

È riportato di seguito il relativo grafico-istogramma degli eventi sismici registrati che hanno interessato i comuni di Firenze e Campi Bisenzio.

Gli eventi nell'archivio storico includono il periodo tra 1148 e il 2019 con Magnitudo comprese tra 3.7 e 7.08.

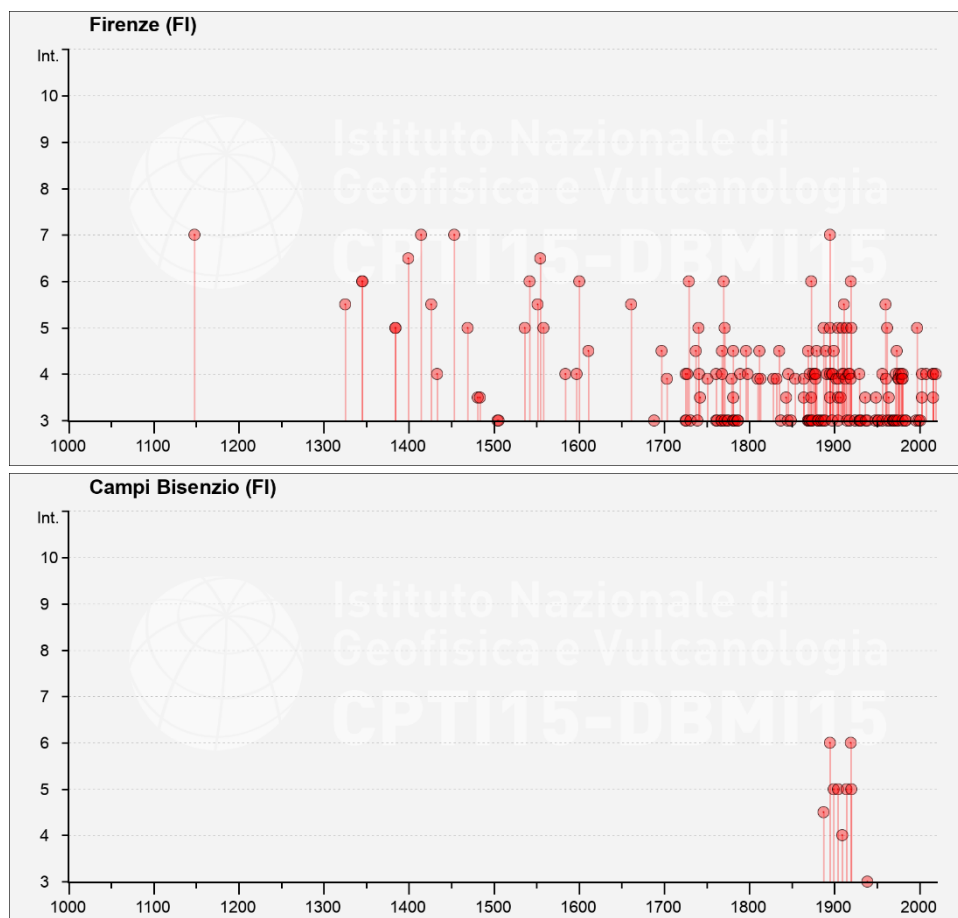


FIGURA 22 - ISTOGRAMMA DI INTENSITÀ MACROSISMICA COMUNI DI FIRENZE E CAMPI BISENZIO (FI)

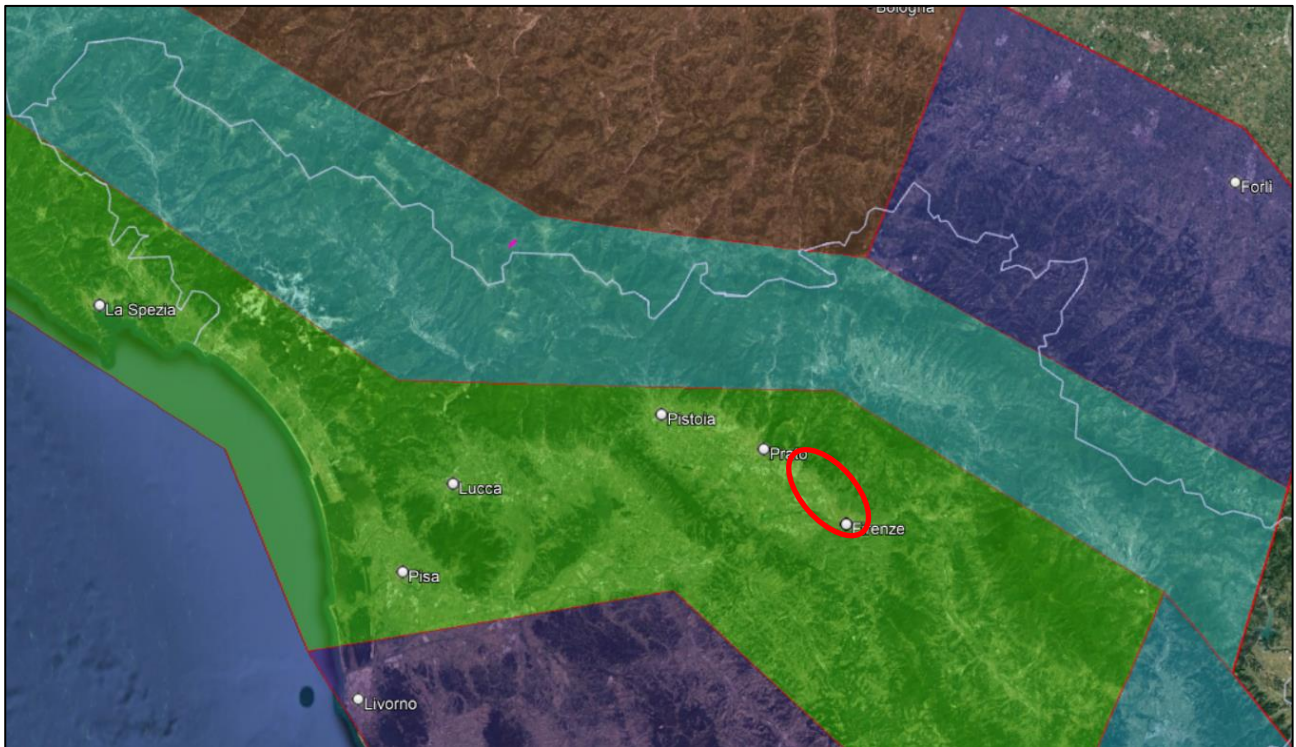


FIGURA 23 - ZONE SISMOGENETICHE RIGUARDANTI LA TOSCANA (MELETTI E VALENSISE 2004).

Per una successiva schematizzazione della macro-sismicità: il territorio nazionale viene suddiviso in 4 differenti zone sismiche, ognuna contrassegnata da un diverso parametro  $a_g$  (PGA0), espresso come una frazione dell'accelerazione di gravità. I territori comunali di Firenze (FI) e Campi Bisenzio (FI) sono classificati come Zona sismica 3.

Zona	Valore di $a_g$
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Sulla base dei dati precedentemente presentati: il metodo proposto in “Indirizzi e criteri di microzonazione sismica” (I.C.M.S. 2009) per la stima del valore di Magnitudo di progetto attesa al sito viene di seguito riportato: si considera sempre la zonazione sismogenetica (ZS9), Secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una Magnitudo Momento massima  $M_{wmax}$ .

Per i siti che ricadono all'interno di una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come  $M$  il valore di  $M_{wmax}$ .

Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona si determinano le minime distanze ( $R$ ) dalle zone ( $j$ ) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo  $M_i$  della zona è inferiore alla Magnitudo fornita dalla relazione  $M_s=1+3\log(R)$ . Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria: si assume il valore di Magnitudo  $M_i$  più alto fra quelli per i quali la verifica risulta necessaria.

STUDI ED INDAGINI  
 GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
 Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

In alternativa è possibile il processo di disaggregazione della PGA. Questo processo permette di valutare, grazie alla mappatura delle zone sismogenetiche, il contributo di vari scenari Magnitudo-distanza epicentrale (M-R) alla determinazione della PGA0 di sito. In un certo senso si può considerare come il processo inverso a quello probabilistico per la costruzione della mappa di pericolosità sismica del territorio Italiano. Sulla base dei suddetti criteri l'area oggetto di studio rientra entro la zona sismogenetica 916, per tanto la relativa Magnitudo Momento Massima attesa al sito è  $M_{wmax}=6.1$ . Mentre nelle figure sottostanti sono riportate le carte di disaggregazione delle PGA elaborate da INGV per il Comune di Firenze e Campi Bisenzio, le quali evidenziano che i terremoti più probabili attesi nell'area hanno una Magnitudo Momento media  $M_{wmedia}=4.9$  e una Magnitudo Momento massima  $M_{wmax}=6.0$ .

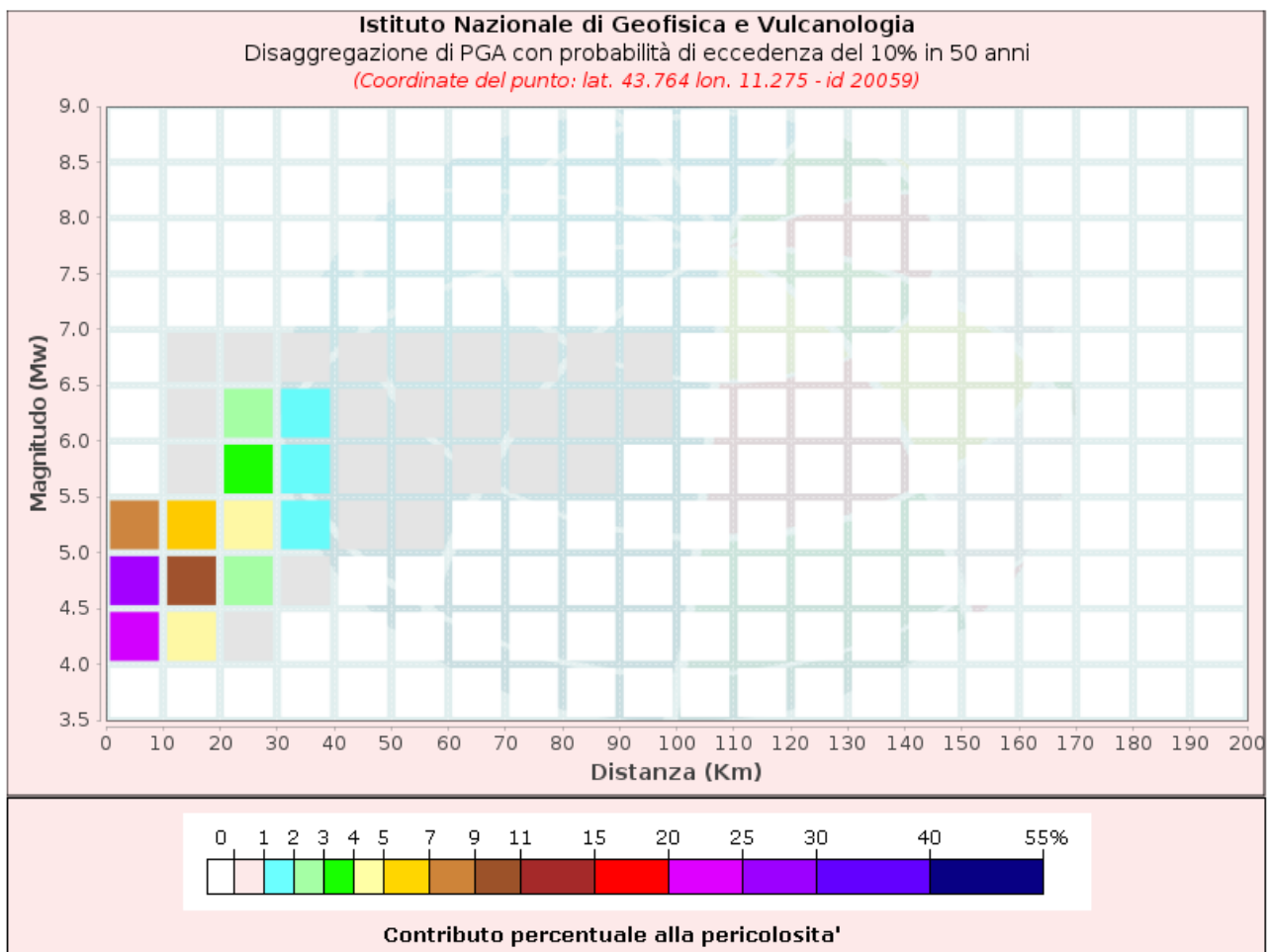


FIGURA 24 - GRAFICO DI DISAGGREGAZIONE DELLE PGA0 (INGV) COMUNE DI FIRENZE.

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

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.764 lon. 11.275 - id 20059)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0- 5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	21.9000	27.1000	8.2600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	4.8900	9.6900	5.6400	0.8790	0.5590	0.0759	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2560	2.5400	4.1500	3.3600	2.5600	0.3930	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0686	1.2300	1.9200	1.7400	0.3110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.2410	0.8210	0.5610	0.1140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.2330	0.1980	0.0474	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0280	0.0886	0.0171	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0421	0.0055	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0155	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.91	12.3	1.09

FIGURA 25 - TABELLA DI DISAGGREGAZIONE DELLE PGA0 (INGV) COMUNE DI FIRENZE.



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

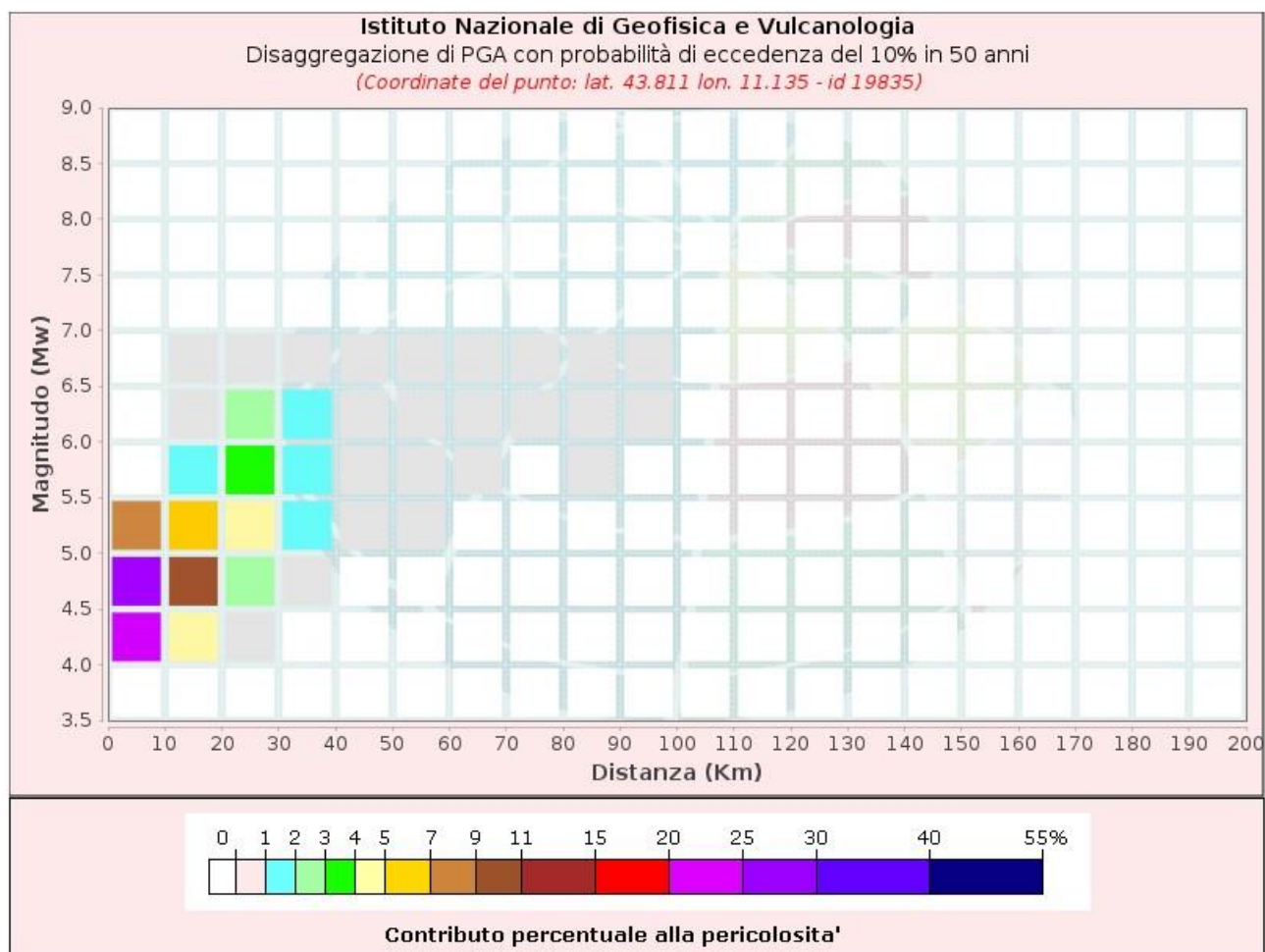


FIGURA 26 - GRAFICO DI DISAGGREGAZIONE DELLE PGA0 (INGV) COMUNE DI CAMPI BISENZIO.

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

**STUDI ED INDAGINI**

**GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI**

**Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica**

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.811 lon. 11.135 - id 19835)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0- 5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	21.1000	26.3000	8.0800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	4.8500	9.7600	5.8400	1.1000	0.6990	0.0950	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2620	2.7600	4.5900	3.8500	2.8600	0.4390	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0608	1.1900	1.9200	1.8100	0.3230	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.2030	0.7350	0.5310	0.1090	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0080	0.2040	0.1880	0.0454	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0219	0.0700	0.0218	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0206	0.0088	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0082	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.93	12.6	1.13

FIGURA 27 - TABELLA DI DISAGGREGAZIONE DELLE PGAO (INGV) COMUNE DI CAMPI BISENZIO.

## 7 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

I dati di sottosuolo pregressi sono desunti dalle indagini già di riferimento per lo studio geologico redatto a supporto del progetto di fattibilità tecnica ed economica della Linea 4.2.

Le indagini di repertorio comprendono una campagna geognostica realizzata a supporto del PFTE (2019) oltre che prove geognostiche e geofisiche realizzate per la riqualificazione dell'area ex Inceneritore San Donnino (2021) e sondaggi a carotaggio continuo disponibili all'interno del database di pubblico accesso del S.I.G.S. Sistema informativo geologico del Sottosuolo, Città di Firenze (<http://maps.comune.fi.it/geo/>).

### 7.1 CAMPAGNA INDAGINI 2019

La campagna di indagine realizzata a supporto del PFTE è consistita nella realizzazione di:

- sondaggi meccanici a carotaggio continuo spinti a profondità comprese tra -15,00 e -30,00 m da p.c., con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro e prelievo di campioni di terreno da sottoporre a test di laboratorio geotecnico;
- prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT);
- prove penetrometriche dinamiche (DPSH);
- indagini geofisiche MASW e a rifrazione in onde P ed S.

Nella tabella seguente vengono sintetizzate le indagini dirette realizzate con indicazione delle profondità investigate e del livello idrico misurato in foro.

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Data esecuzione	Livello idrico [m da p.c.]
S02	-15,00	30/05/2019	-9,70
S03	-25,00	22/05/2019	-10,50
S04	-30,00	14/05/2019	n.r.
S05	-25,00	20/05/2019	-11,00
S06	-30,00	16/05/2019	-11,00
S07	-25,00	24/05/2019	-5,00
S08	-25,00	29/05/2019	-1,00
CPT01	-18,60	12/06/2019	-9,90
CPT02	-15,00	12/06/2019	n.r.
DPSH0	-15,00	13/06/2019	n.r.

TABELLA 2 - INDAGINI DI RIFERIMENTO 2019

Per l'ubicazione delle prove si rimanda alle relative planimetrie tematiche.

### 7.2 INDAGINI AREA EX INCENERITORE SAN DONNINO (2021)

Per la caratterizzazione geologica del suolo e del sottosuolo nell'area del deposito sono state analizzate le seguenti indagini eseguite per il progetto di riqualificazione dell'area ex Inceneritore San Donnino:

- n.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo denominato S1 Inc ed S2 Inc della lunghezza di 20 m con prove SPT in foro e prelievo di campioni successivamente sottoposti ad analisi di laboratorio. Il

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

sondaggio S1 è stato proseguito a distruzione di nucleo fino alla profondità di 31 m ed è stato attrezzato con tubazione per prova down-hole.

- n. 1 prova penetrometrica dinamiche (DPSH6) spinta sino alla profondità di -15,00 m da p.c.
- n. 1 indagine sismica di superficie per mezzo di tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Data esecuzione	Livello idrico [m da p.c.]
S1 Inc	-20,00	n.d.	n.d.
S2 Inc	-31,00	n.d.	n.d.
DPSH6	-15,00	n.d.	n.d.

TABELLA 3 - INDAGINI DI RIFERIMENTO 2021

Per l'ubicazione delle prove si rimanda alle relative planimetrie tematiche.

### 7.3 INDAGINI BANCA DATI S.I.G.S.

Le indagini di repertorio, già di riferimento per lo studio geologico a corredo del PFTE, comprendono sondaggi a carotaggio continuo disponibili all'interno del database di pubblico accesso del S.I.G.S. Sistema informativo geologico del Sottosuolo Città di Firenze, raggiungibile all'indirizzo <http://maps.comune.fi.it/geo/>.

Di seguito si riporta in forma tabellare un quadro riassuntivo delle indagini di riferimento, con indicazione delle profondità investigate e data di esecuzione:

Id. Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Data esecuzione
903	-23,50	31/12/1991
904	-26,20	31/12/1991
148	-25,00	n.d.
147	-25,00	n.d.
785	-30,00	n.d.
262	-18,00	n.d.
993	-25,00	n.d.
263	-11,00	n.d.
1868	-30,00	n.d.
46	-26,00	30/07/1991
336	-28,50	19/05/1970

TABELLA 4 - INDAGINI DI RIFERIMENTO BANCA DATI S.I.G.S.

Per l'ubicazione delle prove si rimanda alle relative planimetrie tematiche.

## 8 INDAGINI IN SITO

Ai fini del presente studio e ad integrazione dei dati pregressi, per meglio dettagliare la successione stratigrafica interessata dalla realizzazione delle opere, oltre che per infittire i dati geologici disponibili, a cavallo degli anni 2023-2024 è stata prevista una campagna di indagine mirata alla definizione delle caratteristiche geologiche dei terreni del primo sottosuolo interessati dalla realizzazione dell'opera.

Le indagini integrative hanno previsto la realizzazione di:

- sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo spinti a profondità comprese tra -20,00 e -40,00 m da p.c., con esecuzione di prove SPT, installazione di strumentazione geotecnica in foro e prelievo di campioni di terreno da sottoporre a test di laboratorio geotecnico;
- Prove penetrometriche prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) ovvero prove penetrometriche dinamiche (DPSH);
- indagini sismiche di superficie per mezzo di tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) ovvero HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

Negli elaborati FL42DTINIG00EGGRT01 e FL42DTINIG01EGGRT01 vengono proposti i risultati scaturiti dalla campagna di indagine, mentre per l'ubicazione delle prove si rimanda alle relative planimetrie tematiche.

### 8.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

L'indagine ha previsto la realizzazione di n. 38 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, spinti sino a profondità comprese tra -10,00 m e -30,00 m dal piano campagna.

Nella seguente Tabella si riporta il quadro riassuntivo dei sondaggi meccanici realizzati in sito con indicazione delle profondità investigate, del livello idrico misurato a fine sondaggio e delle eventuali attrezzature installate.

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Strumentazione	Data esecuzione	Livello idrico [m da p.c.]
S01	-20,00	Piezometro Norton 3"	15/12/2023	-10,70
S03	-20,00	Piezometro Norton 3"	19/12/2023	-7,20
S04	-30,00	Tubo PVC per prova DH	20/12/2023	--
S05	-20,00	Piezometro Norton 3"	15/02/2024	-7,90
S07	-40,00	Piezometro Norton 3"	09/12/2023	-8,27
S08	-40,00	Piezometro Norton 3"	05/02/2024	-8,65
S09	-40,00	Tubo PVC per prova DH	07/02/2024	--
S10	-30,45	Tubo PVC per prova DH	22/01/2024	--
S11	-20,45	Piezometro Norton 3"	29/01/2024	1,30

TABELLA 5 - SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO

#### 8.1.1 Descrizione dei mezzi utilizzati

##### ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE

È stata utilizzata una attrezzatura di perforazione adeguata alle caratteristiche dei terreni da attraversare ed agli scopi del sondaggio; le caratteristiche dell'attrezzatura sono state approvate dal tecnico responsabile della Direzione Lavori in cantiere.



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

L'attrezzatura utilizzata consta di:

1. sonda a rotazione (testa idraulica) con i seguenti requisiti minimi:

Velocità di rotazione	0-500	rpm
Coppia massima	$\geq 400$	kgm
Corsa continua	$\geq 150$	cm
Spinta	$\geq 3000$	kg
Tiro	$\geq 3000$	kg
Pressione pompa (gruppo energia autonomo)	$\geq 70$	bar
2. pompa con circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro;
3. impianto per la preparazione ed il recupero dei fanghi impiegati;
4. accessori e utensili necessari per l'esecuzione del lavoro a norma di specifica.

*UTENSILI DI PERFORAZIONE*

Sono stati utilizzati i seguenti strumenti di perforazione:

- carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice:
- Diametro nominale  $\phi_{est} = 101$  mm;
- Lunghezza utile  $l = 150-300$  cm.
- corone di perforazione in widia e diamante del tipo adatto ai terreni incontrati;
- aste di perforazione con filettatura tronco-conica:
- Diametro esterno  $\phi_{est} = 60-76$  mm.

*UTENSILI DI PULIZIA FONDO FORO*

Per la pulizia di fondo foro si sono utilizzati:

- carotiere semplice,  $l = 80$  cm;
- attrezzo a fori radiali, impiegati con circolazione di fluido (acqua) uscente dall'utensile con inclinazione di  $90^\circ$  rispetto alla verticale;

*RIVESTIMENTO PROVVISORIO*

In relazione alle caratteristiche dei terreni incontrati al fine di evitare il rischio di franamenti delle pareti del foro è stato utilizzato un rivestimento provvisorio in acciaio avente le seguenti caratteristiche:

- spessore tubo  $s = 10$  mm;
- diametro interno  $\phi_{int} = 127$  mm;
- lunghezza spezzoni  $l = 150-200$  cm.

*STRUMENTI DI CONTROLLO E PROVA*

Fanno parte del corredo della sonda i seguenti strumenti:

- scandaglio a filo graduato, per misura della quota reale di fondo foro;
- sondina piezometrica elettrica;
- penetrometro tascabile, fondo scala  $\geq 5$  kg/cm<sup>2</sup>.

### 8.1.2 Descrizione delle attività eseguite

#### RILIEVO STRATIGRAFICO

Il tecnico responsabile delle attività di cantiere, in accordo con il responsabile della Direzione Lavori, ha provveduto alla compilazione della scheda stratigrafica relativa a ciascun sondaggio, completandola con i seguenti elementi:

- cantiere;
- numero ed ubicazione del sondaggio;
- date di perforazione;
- metodo di perforazione;
- attrezzatura impiegata;
- utensile di perforazione;
- diametro di perforazione;
- diametro del rivestimento;
- tipo di terreno;
- consistenza;
- litologia;
- colore o colore prevalente;
- quota prelievo e numero progressivo dei campioni;
- eventuali note.

Nell'elaborato FL42DTINIG00EGGRT01 vengono proposte le stratigrafie concernenti i sondaggi effettuati e le relative fotografie delle cassette catalogatrici.

#### ESECUZIONE DI PROVE STANDARD PENETRATION TEST (SPT) IN OGNI FORO DI SONDAGGIO

La prova è consistita nell'infiggere nel terreno alla base del sondaggio un campionatore, per 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di NSPT è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

Prima di eseguire la prova si è controllato con scandaglio la quota del fondo foro, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta.

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Prova SPT (n. colpi/15 cm)	N <sub>SPT</sub>
S01	1,70	6 - 5 - 8	13
	3,00	6 - 7 - 9	16
	9,50	2 - 3 - 5	8
	11,00	22 - 25 - 25	50
	12,40	6 - 32 - 38	70
	16,50	7 - 30 - 35	65
S03	3,00	3 - 6 - 6	12
	4,50	6 - 8 - 12	20
	7,50	6 - 5 - 5	10

STUDI ED INDAGINI  
 GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
 Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Prova SPT (n. colpi/15 cm)	N <sub>SPT</sub>
	10,00	17 - 15 - 15	30
	12,55	21 - 26 - 31	57
S04	4,50	11 - 11 - 10	21
	7,50	19 - 26 - 30	56
	9,50	18 - 28 - 32	60
	10,60	16 - 27 - 39	56
	13,80	15 - 21 - 26	47
	15,10	9 - 13 - 15	28
	16,40	10 - 15 - 19	34
	19,50	5 - 11 - 13	24
S05	11,50	3 - 3 - 4	7
	13,50	6 - 8 - 9	17
	15,00	3 - 7 - 9	16
	17,00	18 - 27 - 35	62
S07	7,50	8 - 10 - 13	23
	11,00	6 - 7 - 11	18
	19,00	8 - 11 - 13	24
	20,50	14 - 18 - 21	39
	22,00	18 - 21 - 25	46
	27,00	9 - 13 - 27	40
	28,50	24 - 31 - 36	67
	30,00	26 - 29 - 33	62
	31,50	25 - 28 - 34	62
S08	14,00	8 - 11 - 13	24
	20,00	15 - 21 - 24	45
	21,50	18 - 24 - 27	51
	23,00	21 - 24 - 34	58
	25,50	21 - 25 - 28	53
	27,00	21 - 26 - 29	55
	28,50	20 - 24 - 29	53
	30,00	13 - 14 - 19	33
	31,50	13 - 18 - 19	37
S09	13,00	10 - 12 - 14	26
	16,00	18 - 24 - 27	51
	20,00	19 - 23 - 28	51
	21,50	23 - 26 - 29	55
	23,00	19 - 26 - 31	57

STUDI ED INDAGINI  
 GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
 Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Prova SPT (n. colpi/15 cm)	N <sub>SPT</sub>
	24,50	26 - 27 - 30	57
	26,00	22 - 26 - 29	55
	29,50	19 - 24 - 28	52
	31,50	18 - 27 - 29	56
S10	7,00	5 - 6 - 9	15
	9,00	6 - 8 - 11	19
	11,00	5 - 2 - 15	17
	21,00	12 - 14 - 16	30
	24,50	40 - 25 - 29	54
	30,00	24 - 29 - 33	62
S11	12,00	8 - 11 - 13	24
	15,00	10 - 12 - 15	27
	17,55	14 - 19 - 23	42
	20,00	12 - 16 - 21	37

TABELLA 6 - PROVE SPT.

PRELIEVO DI CAMPIONI PER LE DETERMINAZIONI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 19 campioni rimaneggiati di terreno all'interno delle cassette catalogatrici (a seguito delle attività di sorveglianza archeologica) da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico.

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Campione Indisturbato [I] Rimaneggiato [R]
S01	2,50-3,00	S1C1 [R]
	4,50-5,00	S1C2 [R]
	7,50-8,00	S1C3 [I]
	8,00-8,40	S1C4 [R]
	10,70-11,00	S1C5 [R]
	14,00-14,50	S1C6 [I]
S03	6,00-6,50	S3C1 [I]
	8,40-8,65	S3C2 [R]
	10,60-10,85	S3C3 [R]
	15,60-15,80	S3C4 [R]
	16,30-16,80	S3C5 [I]
S04	2,10-2,60	S4C1 [I]
	6,00-6,40	S4C2 [R]
	11,00-11,40	S4C3 [R]

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Campione Indisturbato [I] Rimaneggiato [R]
	15,60-16,00	S4C4 [R]
	17,00-17,50	S4C5 [I]
	21,00-21,50	S4C6 [I]
	2,00-2,50	S5C1 [I]
	3,50-4,00	S5C5 [R]
S05	6,00-6,50	S5C2 [I]
	9,30-9,80	S5C3 [I]
	10,00-10,50	S5C56[R]
	14,50-15,00	S5C6 [R]
	19,50-20,00	S5C4 [I]
S07	3,00-3,50	S7C1 [I]
	8,00-8,40	S7C5 [R]
	10,00-10,50	S7C2 [I]
	15,00-15,40	S7C6 [R]
	18,00-18,50	S7C3 [I]
	24,00-24,50	S7C4 [I]
	28,00-28,40	S7C7 [R]
S08	2,00-2,50	S8C1 [I]
	6,00-6,50	S8C5 [R]
	9,00-9,50	S8C2 [I]
	13,50-14,00	S8C6 [R]
	15,00-15,50	S8C3 [I]
	19,00-19,50	S8C4 [I]
	20,50-21,00	S8C7 [R]
S09	4,00-4,50	S9C1 [I]
	7,00-7,40	S9C5 [R]
	12,00-12,50	S9C2 [I]
	15,00-15,30	S9C6 [R]
	18,00-18,50	S9C3 [I]
	29,00-29,50	S9C4 [I]
	33,00-33,40	S9C7 [R]
S10	2,00-2,50	S10C1 [I]
	6,00-6,50	S10C2 [I]
	8,30-8,60	S10C5 [R]
	12,00-12,50	S10C3 [I]
	14,70-15,00	S10C6 [R]



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Campione Indisturbato [I] Rimaneggiato [R]
	18,40-18,70	S10C7 [R]
	25,00-25,50	S10C4 [I]
S11	2,00-2,50	S11C1 [I]
	4,00-4,50	S11C1 [R]
	6,00-6,40	S11C2 [R]
	8,00-8,50	S11C2 [I]
	10,00-10,40	S11C3 [R]
	14,00-14,50	S11C3 [I]
	18,00-18,50	S11C4 [I]

TABELLA 7 - CAMPIONI DI TERRENO PRELEVATI IN CORSO DI SONDAGGIO

Il prelievo dei campioni è avvenuto mediante l'utilizzo di campionatori ad infissione (indisturbati) o attraverso il recupero all'interno delle cassette catalogatrici, del materiale estratto nel corso del carotaggio (campioni con grado di qualità Q3)

I campioni prelevati sono stati contraddistinti da cartellini inalterabili, indicanti:

- Il prelievo dei campioni è avvenuto a seguito delle attività di sorveglianza archeologica, attraverso il recupero all'interno delle cassette catalogatrici del materiale estratto nel corso del carotaggio (campioni con grado di qualità Q3)
- I campioni prelevati sono stati contraddistinti da cartellini inalterabili, indicanti:
- cantiere;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;
- profondità di prelievo;
- data di prelievo.

Il numero del campione è stato quindi riportato sulla stratigrafia alla relativa quota.

I campioni destinati al laboratorio sono stati quindi sistemati in cassette con adeguati separatori ed imbottiture alle estremità, onde assorbire le inevitabili vibrazioni del trasporto.

#### INSTALLAZIONE IN PVC PER PIEZOMETRI A TUBO APERTO

Per poter controllare il livello della falda presente nel terreno, di seguirne nel tempo le variazioni e monitorare la qualità delle acque sotterranee soggiacenti il sito, i fori di sondaggio sono stati attrezzati a piezometro di tipo "Norton" con  $\varnothing=3"$ .

I piezometri idraulici a tubo aperto installati, constano di una colonna di tubi in PVC rigido, fessurati (open-stand-pipe) rivestiti esternamente di materassino granulare in ghiaietto calibrato per la parte in falda e ciechi per il rimanente tratto.

Una volta eseguita a quota la pulizia del foro, si è inserita la colonna fino a fondo foro; quindi si è proceduto all'immissione, nell'intercapedine colonna-tubazione, di materiale granulare (sabbia-ghiaietto) in modo da realizzare un filtro poroso attorno al tratto di colonna fenestrato.

Tale operazione è stata eseguita ritirando la tubazione provvisoria mano a mano che si procedeva con l'immissione dall'alto del materiale filtrante.

Al termine della formazione del filtro, si è proceduto all'esecuzione di un tappo impermeabile di circa 1 metro di altezza, formato da palline di bentonite, onde separare la zona filtrante dal tratto di foro superficiale, successivamente cementato.

Per il contenimento e la protezione della testa dei piezometri, in superficie si è quindi provveduto alla messa in posa di un chiusino di sicurezza in metallo dotato di lucchetto.

#### INSTALLAZIONE DI TUBI PER PROVE GEOFISICHE "DOWN-HOLE"

I tubi per prospezioni sismiche "Down-Hole" installati sono realizzati in PVC a sezione circolare in spezzoni da 3 m di lunghezza, assemblati mediante filettatura a vite e dotati delle seguenti caratteristiche:

- Spessore = 3 mm
- diametro interno  $\phi_{\text{int}}$  = 75-100 mm.

## 8.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE E DINAMICHE

L'indagine ha previsto la realizzazione di prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) ovvero prove penetrometriche dinamiche (DPSH), così come dettagliato nella tabella che segue, mentre l'ubicazione planimetrica delle prove realizzate è proposta nelle relative planimetrie tematiche.

Prova	Profondità [m da p.c.]	Data esecuzione	Livello idrico [m da p.c.]
CPT1+DPSH	-8,20	13/12/2023	n.r.
DPSH02	-7,60	17/01/2024	n.r.
DPSH03	-12,40	14/02/2024	n.r.
CPT4+DPSH	-8,80	20/12/2023	n.r.
DPSH05	-4,00	20/12/2023	n.r.
DPSH06+bis	-2,80	20/12/2023	n.r.
CPT7	-9,40	20/12/2023	n.r.
CPT9	-15,00	03/01/2024	n.r.
CPT10	-15,00	12/02/2024	n.r.
CPT11	-15,00	31/01/2024	n.r.
CPT12	-15,00	31/01/2024	n.r.
CPT13	-15,00	12/02/2024	n.r.
CPT14	-15,00	14/02/2024	n.r.
CPT15	-15,00	04/01/2024	n.r.
CPT16	-15,00	04/01/2024	n.r.
CPT17	-15,00	04/01/2024	n.r.
CPT18	-15,00	03/01/2024	n.r.
DPSH19	-15,00	31/01/2024	n.r.
CPT20	-15,00	31/01/2024	n.r.

Prova	Profondità [m da p.c.]	Data esecuzione	Livello idrico [m da p.c.]
CPT21	-15,00	31/01/2024	n.r.

TABELLA 8 - PROVE PENETROMETRICHE

### 8.2.1 Prova penetrometrica statica a punta meccanica (CPT)

Il penetrometro statico utilizzato (montato su carro cingolato mod. Pagani TG 63), con cella di carico da 20 t, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm<sup>2</sup> per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (friction jacket) della superficie di 150 cm<sup>2</sup> per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo Begemann).

La punta tipo Begemann (cfr. figura a lato) ha un diametro di base pari a 37,5 mm. e angolo di apertura del cono pari a 60°, come da raccomandazioni AGI 1977 e indicazioni internazionali standardizzate. La batteria di aste è composta da una serie di spezzoni di aste cave di lunghezza pari a 1 m. e con diametro esterno di 36 mm. al cui interno è posta la batteria di astine che permette l'apertura della punta meccanica. La penetrazione avviene ad una velocità costante pari a 2 cm/sec (con tolleranza  $\pm 0,5$  cm/sec), indipendentemente dalla resistenza opposta dal terreno.

Il dispositivo di spinta è solidale al terreno mediante un ancoraggio centrale in modo da non muoversi rispetto al piano di lavoro durante l'immissione. Esso agisce alternativamente sulla batteria di aste interne (consentendo l'avanzamento dapprima della punta e poi del manicotto laterale) e su quella di aste cave esterne (durante tale fase la punta si richiude e torna in posizione iniziale). Si ottengono in tal modo misure "discontinue", poiché il ciclo di apertura-chiusura avviene ogni 20 cm, che consistono in:

- Lp: spinta necessaria per l'avanzamento della sola punta;
- Lp+Ll: spinta per l'avanzamento della punta e del manicotto;

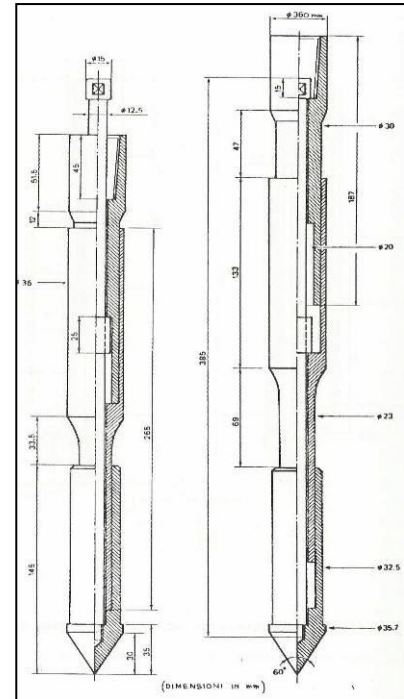
Tramite semplici formule di conversione si ottengono:

- Rp: resistenza alla punta;
- Rl: resistenza per attrito locale sul manicotto.

Ogni 20 cm di penetrazione dell'intera batteria di aste, il sistema di spinta, consente di spingere alternativamente nel terreno la punta e il manicotto, con una velocità di avanzamento di 20 mm/s, compiendo quindi una misura della resistenza di punta ed una misura dell'attrito laterale locale.

Un'indicazione della stratigrafia dei terreni indagati è fornita dal rapporto tra la resistenza all'infissione statica della punta (Rp) e la resistenza per attrito laterale locale (Rl) che il materiale sviluppa sul manicotto della punta meccanica. Nell'interpretazione quantitativa dei risultati, che consente di determinare le grandezze di alcuni parametri geotecnici dei terreni attraversati mediante formule empiriche, si è tenuto in considerazione che le prove sono assimilabili a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito. Pertanto, in terreni coesivi, si ottiene una stima della coesione non drenata cu. Nei terreni sabbiosi è possibile valutare il grado di addensamento e una stima del valore di angolo di attrito.

I risultati della penetrometria statica sono illustrati in forma diagrammatica (diagrafie) in Allegato 1, dove sono riportati, in funzione della profondità, i valori della punta qc (kg/cm<sup>2</sup>), il valore della resistenza



dell'attrito laterale locale  $f_s$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), ed il rapporto  $q_c/f_s$  che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati utilizzando l'interpretazione più attendibile e di più facile applicazione quella proposta da Schmertmann J.H., 1978.

Le quote dei grafici sono riferite al piano di campagna attuale e l'ubicazione delle prove viene riportata nelle relative planimetrie tematiche.

### 8.2.2 Prova penetrometrica dinamica (DPSH)

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) misurando il numero di colpi  $N$  necessari.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii e la consistenza in generale del terreno.

Le prove penetrometriche dinamiche sono state realizzate mediante un penetrometro dinamico pesante (DPSH) montato su carro cingolato mod. Pagani TG 63, dalle seguenti caratteristiche tecniche:

- Peso massa battente:  $M = 63,50\text{kg}$
- Altezza caduta libera:  $H = 0,75\text{m}$
- Peso sistema battuta:  $M_s = 0,63\text{kg}$
- Diametro punta conica:  $D = 51,00\text{mm}$
- Area base punta conica:  $A = 20,43\text{cm}^2$
- Lunghezza delle aste:  $L_a = 1,00\text{m}$
- Peso aste per metro:  $M_a = 6,31\text{kg}$
- Profondità giunzione l'asta:  $P1 = 0,40\text{m}$
- Avanzamento punta:  $\delta = 0,20\text{m}$
- Numero di colpi punta:  $N = N(20) \Rightarrow$  relativo ad un avanzamento di  $20\text{cm}$

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche sono illustrati in forma tabellare e diagrammatica nell'elaborato FL42DTINIG00EGGRT01, nel quale sono riportati, in funzione della profondità, il numero di colpi per la penetrazione della punta  $N=N(20)$  ed il valore della resistenza dinamica della punta  $R_{pd}$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

## 8.3 POZZETTI GEOGNOSTICI

Il piano d'indagine ha previsto l'esecuzione di n. 12 pozzetti esplorativi realizzati tramite escavatore a benna rovescia, ubicati lungo l'asse del tracciato tranviario che hanno raggiunto profondità pari a c.ca 2,00 metri.

Il materiale estratto da ciascuna trincea è stato accumulato ordinatamente di fianco al pozzetto stesso, ad una distanza dalle pareti dello scavo sufficiente da permettere il proseguimento dello scavo ed il contemporaneo rilievo stratigrafico in condizioni di sicurezza.

Nel corso della realizzazione degli scavi, si è proceduto al rilievo stratigrafico dei fronti di scavo con contestuale report fotografico e nell'elaborato FL42DTINIG00EGGRT01 si riportano le stratigrafie relative ai pozzetti realizzati, unitamente alla documentazione fotografica.

Una volta raggiunta la quota di fondo scavo si è proceduto al prelievo di campioni di terreno da sottoporre a test di laboratorio geotecnico ovvero all'esecuzione di prove di carico su piastra (PLT) per la determinazione del modulo di deformazione.

Al termine delle attività, le trincee sono state ritombate riportando il terreno scavato avendo cura di ripristinare, per quanto possibile, le condizioni stratigrafiche originarie e costipando adeguatamente il riempimento.

Per l'ubicazione dei pozzetti geognostici realizzati si rimanda alle relative planimetrie tematiche.

## 8.4 INDAGINI DI LABORATORIO GEOTECNICO

Per quanto concerne le determinazioni geotecniche di laboratorio, i campioni di terreno prelevati in corso di sondaggio, sono stati conferiti presso laboratorio geotecnico e nell'elaborato FL42DTINIG01EGGRT01 sono presentati i certificati di prova relativi ai test eseguiti.

## 8.5 INDAGINI GEOFISICHE

Ad integrazione dei dati geognostici disponibili ed al fine di ottenere informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno indagato e quindi al fine di valutare il parametro  $V_{seq}$  caratteristico dell'area (ai sensi del DM 17/01/2018) sono state realizzate indagini geofisiche come di seguito illustrato.

### 8.5.1 Indagini sismiche MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Re.Mi.) (Zywicki, 1999, Park e Miller, 2006, Roma, 2006) ed ai fini del presente studio è stato utilizzato il "metodo Masw attivo".

I profili sono stati eseguiti con stendimenti di 12 geofoni interdistanziati di 2,00 metri.

L'elaborazione dei dati acquisiti consente la trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "Phase Velocity-Frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità. Dall'inversione della curva di dispersione si ottengono i modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativi delle aree investigate.

Indagine	Intervallo profondità [m da p.c.]	$V_{seq}$ (m/s)	Categorie NTC-18
MASW1	0-30	328	C



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

MASW2	0-30	248	C
MASW3	0-30	231	C
MASW4	0-30	325	C

TABELLA 9 - INDAGINI MASW

L'ubicazione planimetrica delle indagini realizzate è proposta nelle relative planimetrie tematiche.

### 8.5.2 Indagini sismiche HVSr

Il metodo HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei  $\mu\text{m/s}$ ). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007).

Esiste un consenso generale sull'efficacia del metodo HVSr nel fornire stime sulla frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, almeno nel caso di un modello semplice unidimensionale con strato soffice al di sopra di uno strato rigido (Lachet and Bard, 1994). In questo caso semplice, tale frequenza  $f_0$  è legata allo spessore  $h$  e alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  dello strato soffice attraverso la seguente relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4 \cdot H} H_z$$

Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve H/V sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve H/V sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche (Fäh et al., 2001).

La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

Nella seguente tabella si riporta il quadro riassuntivo delle indagini sismiche di superficie realizzate in sito con indicazione delle frequenze fondamentali del sito.

Indagine	Data esecuzione	Picco principale (Hz)
HVSr1	04/01/2024	0,44 ± 0,03
HVSr2	04/01/2024	0,31 ± 19,43
HVSr3	04/01/2024	0,54 ± 4,76

TABELLA 10 - INDAGINI HVSr

L'ubicazione planimetrica delle realizzate è proposta nelle relative planimetrie tematiche.

### 8.5.3 Prove sismiche in foro Down Hole

Questa prova sismica consiste nella misura diretta del tempo d'arrivo necessario a un impulso generato in superficie per raggiungere un sensore che è calato in foro di sondaggio. Quest'ultimo è opportunamente allestito per la prova sismica in foro, tramite rivestimento del foro di sondaggio mediante un tubo in PVC del diametro di 63 mm che viene adeguatamente cementato. Lo scopo del metodo sismico Down-Hole è di ricavare la velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio, che si propagano nel terreno in seguito a una energizzazione superficiale realizzata tramite massa battente. Per registrare l'arrivo delle onde di compressione e di taglio è utilizzata una terna geofonica da foro che è opportunamente orientata in relazione alla direzionalità dell'impulso. L'accoppiamento della terna al tubo è garantito tramite un sistema a compressione d'aria, che permette al sensore di aderire alle pareti del tubo e garantire una continuità fisica al terreno circostante. Per generare impulsi compressivi è utilizzato un martello battente (massa=5 Kg) che impatta una piastra metallica, la quale si comporterà similmente a una sorgente sismica puntale dalla quale si propaga un treno d'onde ricco in componente compressiva. Da questo tipo di energizzazione è individuato l'arrivo delle onde p. Per generare impulsi di taglio è utilizzato un sistema che prevede il posizionamento di una traversina (parallelepipedo in legno) al di sotto di un contrappeso, la quale ha asse longitudinale parallelo al sensore che si utilizza per registrare l'impulso di taglio. La battuta laterale della traversina, tramite un martello battente, genera un treno d'onde ricco in componente di taglio, nello specifico risulta identificabile l'arrivo delle onde di taglio s polarizzate sul piano orizzontale (onde SH). La battuta all'altro capo della traversina consente di sfruttare la proprietà di polarizzazione inversa delle onde di taglio, le quali, se sovrapposte le tracce acquisite a polarità inversa, generano nel sismogramma delle tipiche forme a ogiva che permettono il più preciso riconoscimento dell'onda SH. Tutte le energizzazioni sono effettuate ad una distanza di 5 m dal boccaforo, la quale è adeguatamente vicina all'asse verticale di misura per non registrare onde rifratte alle interfacce acustiche e sufficientemente distante per non generare propagazione di onde nel tubo di rivestimento. Dopo ogni energizzazione e acquisizione del segnale relativamente le tre componenti, la terna geofonica viene posizionata a una differente profondità, mantenendo un passo prestabilito e ripetuta l'acquisizione. Una volta ottenute le tracce sismiche relative a ogni componente sensoriale per ogni profondità investigata, si sottopongono le tracce a una fase picking dell'onda p e dell'onda s, basata su un semplice riconoscimento visivo dell'impulso di interesse, considerando l'orientazione del sensore in esame rispetto l'impulso e il rapporto segnale rumore (S.toN.R.) osservabile. I procedimenti fino a ora descritti permettono di ottenere una sequenza di tempi di arrivo-profondità (sia per l'onda p che per l'onda s). Questi ultimi possono essere elaborati seguendo due differenti metodologie: il metodo diretto e il metodo dell'intervallo temporale. Il metodo diretto prevede la correzione dei tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tener conto dell'inclinazione del percorso. Se d è la distanza tra la sorgente e l'asse verticale del foro, r è la distanza fra la sorgente e la sonda dei sensori e z è la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t<sub>corr</sub>) mediante la seguente formula di conversione:

$$t_{corr} = \left( \frac{z}{r} \right) \cdot t$$

Viene quindi costruita la dromocrona (grafico t<sub>corr</sub> – z) in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei possa essere rappresentata dall'inclinazione della retta interpolante i dati sperimentali relativi un determinato intervallo di profondità. È quindi suddivisa la dromocrona in segmenti a uguale pendenza ciascuno dei quali rappresenta un sismo-strato, per il quale sono definiti valori di v<sub>p</sub> e v<sub>s</sub>.

Nell'elaborato FL42DTINIG00EGGRT01 sono presentati i risultati e le elaborazioni delle prove DH effettuate.

## 9 QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo indagato scaturisce dalle conoscenze geologiche dell'area acquisite tramite fonti bibliografiche e dall'analisi dei risultati conseguiti a seguito della realizzazione delle indagini geognostiche di riferimento per il presente studio.

Da un punto di vista stratigrafico, tenendo conto della inevitabile eterogeneità delle caratteristiche litologiche dei terreni caratterizzanti le aree oggetto di studio è possibile distinguere diverse unità stratigrafiche che caratterizzano il sottosuolo, con rapporti stratigrafici fortemente eteropici e conseguenti repentine variazioni e cambi di facies sia in senso orizzontale che verticale.

Le unità individuate sono riconducibili alle seguenti formazioni e sintemi:

### RIPORTI

Questi terreni risultano caratterizzare la porzione più superficiale dell'intervallo stratigrafico di riferimento e comprendono depositi sciolti rimaneggiati dalle attività agricole e/o antropiche in genere; trattasi di terreni di natura sabbiosa e/o limosa che presentano localmente inclusi di varia natura, caratterizzati da eterogeneità degli spessori e delle caratteristiche di consistenza.

### DEPOSITI ALLUVIONALI (Sintema dell'Arno - Olocene)

Organizzati in tre associazioni di facies:

- Argille limose: argille limose e limi argillosi nocciola-plastici e consistenti con livelli decimetrici ghiaioso-sabbiosi al cui interno possono rinvenirsi livelli torbosi, frustoli carboniosi, concrezioni carbonatiche e/o ossidazioni ferrose
- Limi ed argille: alternanze di limi ed argille con rari livelli ghiaioso-sabbiosi.
- Ghiaie e sabbie: Caratterizzate da ghiaie in matrice limoso-sabbiosa-argillosa strutturate in corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme.

### 9.1 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO ALLA SCALA DELL'OPERA

La successione stratigrafica del primo sottosuolo alla scala dell'opera, risulta caratterizzata da depositi esclusivamente alluvionali di età olocenica, organizzati in tre associazioni di facies che si succedono nel sottosuolo, spesso presentando interdigitazioni tra di esse.

Lo schematico quadro stratigrafico illustrato, coerente con il quadro geologico generale descritto al cap. 4, si basa sulla correlazione stratigrafica dei sondaggi geognostici realizzati a supporto del progetto e tenendo conto delle campagne di indagine pregresse. La descrizione dei sondaggi, oltre ad avvalersi della tradizionale descrizione litologica "di cantiere", si basa sulla caratterizzazione sedimentologica delle carote e sull'analisi delle relazioni verticali-laterali tra le associazioni di facies. La possibilità di disporre di verticali omogeneamente distribuite è evidentemente condizionata dai vincoli di superficie (fondazioni, edifici, sottoservizi, occupazioni superficiali) imposti dall'ambiente urbano, specie in seno ad un centro storico.

Il quadro stratigrafico risultante costituisce una approssimazione della complessa realtà geologica dell'area in esame, caratterizzata da depositi alluvionali che, come è noto, presentano geometrie prevalentemente lenticolari, caratterizzate da un'elevata variabilità verticale e laterale e per questo difficilmente prevedibili sulla base di semplici criteri di correlazione fisica. Per questo le carote di sondaggio sono state studiate in dettaglio secondo i criteri propri dell'analisi sedimentologica-stratigrafica, consentendo di definire specifiche colonne stratigrafiche. L'affidabilità delle correlazioni stratigrafiche risulta ovviamente maggiore dove più elevata è la densità dei dati.

L'assetto stratigrafico con l'indicazione della distribuzione delle diverse unità geologiche in profondità è rappresentato, per il tracciato in progetto, nel profilo geologico proposto negli elaborati FL42DMINGE01EGGPR01 - FL42DMINGE01EGGPR02 - FL42DMINGE01EGGPR03. La reale geometria delle

diverse unità è accertata solo in corrispondenza delle verticali d'indagine prese in esame, mentre per le altre distribuzioni, trattandosi di estrapolazioni su base sedimentologica in funzione delle indagini, sono da tener conto possibili variazioni locali.

## 9.2 PROFILO STRATIGRAFICO DA PK 0+000 A PK 2+400

Questa porzione del tracciato ha inizialmente un andamento E-O, per poi curvare all'altezza della pk 0+730 verso N fino alla progressiva 1+050 e nuovamente procedere in direzione NO sino alla fermata Pistoiese. Si assesta in media su quote comprese tra 36,2 e 37,8 m s.l.m.

I depositi di materiali sciolti sono organizzati in strati a sviluppo nastriforme di potenza decametrica, costituiti da clasti a varia granulometria, normalmente arrotondati o sub arrotondati, in stato di addensamento moderato. Si tratta in prevalenza di ghiaie e sabbie con variabili percentuali di limo ed argilla. Sono talvolta presenti lenti di argilla e limo, di spessore metrico.

Lo spessore più superficiale rinvenibile da p.c. e sino a profondità massime pari a c.ca -7,00 m (sigs147) è rappresentato da materiali sciolti rimaneggiati dalle attività agricole e/o antropiche in genere, mentre i terreni coesivi sono rappresentati da argille prevalentemente limose con livelli più francamente sabbiosi rinvenibili sino alla profondità massima di c.ca -10,00 m da p.c., con  $N_{SPT}$  compreso tra 20 e 27, che sovente chiudono la successione stratigrafica.

Le prove MASW restituiscono valori di Vs compresi tra 259 e 328 m/s per l'intervallo in questione, a profondità comprese tra il piano campagna e 30 m.

### 9.2.1 Area deposito

Le indagini di riferimento realizzate in corrispondenza dell'area di sedime del deposito, individuano al di sotto del primo livello di terreni sciolti rimaneggiati dalle attività agricole e/o antropiche in genere di spessore compreso tra 1,00-6,00 m (S2-INC, 2021), la presenza di sabbie, ghiaie e ciottoli di medio-alto addensamento ( $NSPT=34-66$ ), sino alla profondità di circa -20,00 m da p.c. (13,7 m s.l.m.) che comprendono al loro interno corpi nastriformi e/o lenticolari di spessore metrico o plurimetrico di argille da limose a sabbiose a media-elevata consistenza ( $qc=3-6,29$  MPa). Seguono e chiudono la successione argille limose grigio-marroni che sfumano verso il basso in limi da argillosi a sabbiosi.

Le indagini sismiche realizzate a supporto del progetto di riqualificazione dell'area ex Inceneritore San Donnino (2021), hanno restituito velocità equivalenti delle onde di taglio VSeq comprese fra 318 m/s e 321 m/s (suolo di categoria C), mentre la prova passiva a stazione singola HVSRO1 realizzata, mostra picco di frequenza principale a 0,44 Hz attribuibile al contatto alluvioni/substrato.

### 9.2.2 Sottopasso via dei Manderi (pk 2+191) e sottopasso stazione Pistoiese (pk 2+287)

Il sottosuolo risulta caratterizzato da p.c. e sino a profondità massime pari a c.ca 2,00 m da terreni di riporto di natura sabbioso-limosa con inclusi eterogenei, seguiti da alternanze di limi ed argille di color marrone-ocra a bassa plasticità e consistenza medio-bassa ( $N_{SPT}=20-27$ ,  $\phi=20^\circ$ ,  $c'=20-25$  kPa) rinvenute sino alla profondità di -17,00 m da p.c. (19,1 m s.l.m.). A partire dalla base dei suddetti litotipi si riscontra la presenza di argille limose con sabbia e ghiaia a media consistenza di spessore medio pari 1,50 m, cui seguono ghiaie sabbiose con  $\phi=34^\circ$  e  $c'=8,8$  kPa.

Stante lo stendimento MASW01 realizzato nell'ambito delle indagini 2019, al suolo è attribuibile una categoria C con VSeq pari a 321 m/s.

### 9.3 PROFILO STRATIGRAFICO DA PK 2+400 A PK 4+100

Il tracciato, a partire dalla fermata Pistoiese, si dirama in direzione Nord Ovest sino all'altezza della fermata Racchio.

Il profilo litostratigrafico evidenzia la presenza, al di sotto del livello più superficiale rappresentato dai terreni di riporto e/o rimaneggiati, di depositi argilloso limosi e/o limoso-argillosi mediamente consistenti ( $N_{SPT}=18-24$ ) con frequenti livelli decimetrici ghiaioso-sabbiosi rinvenuti sino alla profondità di c.ca -20,00 m (15,00 m s.l.m.); tali depositi passano a partire dalla pk 3+200 (e sino a fine tracciato) a terreni più marcatamente argillosi ( $N_{SPT}=11-19$ ). A partire da -20,00 m da p.c. vengono individuati materiali ghiaiosi ( $N_{SPT}=33-62$ ) con corpi lenticolari di natura prevalentemente coesiva sino a quote comprese tra 140 e 130 m s.l.m. e successivamente la presenza di alternanze limose ed argillose che chiudono la successione.

Come per la prova HVSR1, l'indagine sismica HVSR2 realizzata all'altezza della fermata Castagno (pk 2+938) mostra picco di risonanza in profondità in corrispondenza del contatto alluvioni/substrato, mentre gli stendimenti MASW realizzata lungo la tratta, restituiscono valori di Vs compresi tra 231 e 273 m/s.

#### 9.3.1 Ponte Fosso Macinante (pk 2+422) e prolungamento sottovia scatolare via San Jacopo (pk 2+525)

La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo prevede, al di sotto dell'orizzonte di vegetale in superficie, materiali di riporto sino alla profondità di 1,50-3,00 m da p.c. m (31,50-30,00 m s.l.m.), cui seguono argille limose perlopiù a media consistenza ( $N_{SPT}=20-27$ ,  $q_c=1,20-2,20$  MPa) ed in successione argille limose e limi argillosi con inclusi ghiaioso-sabbiosi, rinvenibili sino a quote 16,00-17,00 m s.l.m.

Chiudono la sequenza ghiaie con sabbie per le quali le prove SPT eseguite hanno restituito valori di  $N_{SPT}$  comprese tra 39 e 62.

La prova MASW2 (2023) restituisce valori di Vs pari a 248 m/s per il sito in questione, a profondità comprese tra il piano campagna e 30 m.

#### 9.3.2 Ponte sul canale Acque Basse (pk 2+736)

Dal piano campagna e sino a circa 1,00 m di profondità da p.c. (34,00 m s.l.m.) è presente lo strato di terreni di riporto, alla cui base emergono depositi argilloso limosi e/o limoso-argillosi mediamente consistenti ( $N_{SPT}=18-24$ ) con frequenti livelli decimetrici ghiaioso-sabbiosi rinvenuti sino alla profondità di c.ca -20,00 m (15,00 m s.l.m.); segue poi la sedimentazione ghiaioso-sabbiosa ( $N_{SPT}=39-62$ ) la cui base sedimentaria è situata alla quota di 3,00 m s.l.m. c.ca. Al di sotto dello strato ghiaioso-sabbioso e sino a -40,00 m da p.c. (-5,00 m s.l.m.) si individua quindi un livello costituito da materiale più fine rappresentato dalle argille limose grigio-marroni consistenti con ghiaietto e noduli carbonatici.

Stante gli esiti dell'indagine MASW2 (2023) al suolo di interesse è attribuibile la categoria C.

#### 9.3.3 Locali tecnologici di linea - sottostazione elettrica 2 Castagno (pk 3+084)

La realizzazione della SSE2 Castagno è prevista in corrispondenza della pk 3+084 c.ca dove il sottosuolo risulta caratterizzato da p.c. e sino a profondità pari a c.ca -2,00 m (32,6 m s.l.m.) da terreni di riporto di natura sabbioso-limosa con inclusi eterogenei, seguiti da depositi argillosi

ricchi in sostanza organica di spessore pari a c.ca 2,50 m ( $N(20)=2-3$ ). A partire dalla base dei suddetti litotipi, si evidenzia la presenza di sabbie limose con ghiaie ( $N(20)=6-14$ ), seguite da materiale argilloso limoso fino a



STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

-15,20 m da p.c. (22,3 m s.l.m.) e successivamente la presenza di materiale più francamente incoerente costituito da ghiaie in matrice sabbiosa. Chiude la successione argilla limosa rinvenuta a profondità comprese tra -20,60 e -25,00 m.

Come si evince dai profili delle velocità riportati nella relazione indagini geognostiche e sismiche (FL42DTINIG00EGGRT01), il valore del parametro  $V_{Seq}$  relativo alla linea sismica MASW1 (2023) realizzata è stato stimato pari a 328 m/sec, con suolo di interesse classificabile quindi di classe C.

#### **9.3.4 Ponte Fosso Reale (pk 3+280)**

L'area si colloca alla quota topografica media di 35,00 m s.l.m. L'alternanza litologica riscontrata attraverso la ricostruzione del profilo geologico delinea una architettura stratigrafica che prevede la presenza di sedimenti prevalentemente argilloso-limosi ( $N_{SPT}=11$ ) sino alla profondità di c.ca -15,00 m da p.c. (20,00 m s.l.m.), sormontati in superficie da terreni di riporto. Seguono nella successione alternanze di limi ed argille con abbondanti inclusi ( $N_{SPT}=24$ ) spinte sino a quote comprese tra 14,00 m e 15,00 m s.l.m. a partire dalle quali si sviluppano materiali ghiaiosi di spessore sino a 15,00 m ( $N_{SPT}=33-62$ ) con lenti limoso-argillose e successivamente la presenza di alternanze limose ed argillose che chiudono la successione.

Il valore del parametro  $V_{Seq}$  relativo alla linea sismica MASW2 (2019) realizzata è stato stimato pari a 273 m/sec, con suolo di interesse classificabile quindi in classe C.

#### **9.3.5 Ponte Fosso Prunaia (pk 3+872)**

All'altezza della pk 3+872 il sottosuolo risulta caratterizzato al di sotto dei terreni di riporto di spessore c.ca 1,00 m, da argille limose con ghiaietto centimetrico e talvolta debolmente sabbioso ( $N_{SPT}=15-19$ ) passanti verso il basso ad argille sabbiose ( $N_{SPT}=30$ ) rinvenibili sino a -25,00 m da p.c. (10 m s.l.m.). Sabbie con ghiaie e frammenti litici addensate vengono rinvenute sino alle massime profondità indagate.

$V_{Seq}$  pari a 231 m/s (MASW3-2023), categoria di sottosuolo C.

### **9.4 PROFILO STRATIGRAFICO DA PK 4+100 A PK 5+369**

Il tracciato, a partire dall'uscita dal centro storico di Brescia, si dirama in direzione Nord sino all'altezza della pk 5+200 c.ca per poi proseguire in direzione NE sino al capolinea Rucellai.

Il profilo litostratigrafico evidenzia l'attraversamento di materiali prevalentemente coesivi a media consistenza costituiti da argille limose con inclusi e caratterizzati da angolo di attrito compreso tra 20-24° e coesione pari a 28-34 kPa ai quali si intercala il livello sedimentario costituito da ghiaie e sabbie in matrice coesiva di spessore pari a c.ca 5,00 m il cui tetto passa da quota 19,00 m s.l.m. (pk 4+200) a 31,00 m s.l.m in corrispondenza del capolinea.  $N_{SPT}$  risulta compreso tra 19-27, mentre i test di laboratorio effettuati sui campioni prelevati in corso di sondaggio restituiscono valori di  $\phi=22^\circ$  e  $c'=43$  kPa.

Le prove MASW (MASW3-2019 e MASW4-2023) restituiscono valori di  $V_s$  compresi tra 256 e 325 m/s per la tratta in esame, mentre la stazione singola HVSR realizzata in corrispondenza del capolinea Rucellai, evidenzia picco principale a 0,54 Hz, confrontabile con quanto emerso lungo l'intero tracciato.

## 10 IDROSTRUTTURA E COMPLESSI ACQUIFERI

Sulla base dell'assetto stratigrafico definito nel precedente capitolo e messo in evidenza attraverso le sezioni geologiche tracciate, si evidenzia che la coltre dei depositi alluvionali recenti, nel suo orizzonte superficiale prevalentemente limoso-argilloso e con spessore intorno ai 6–8 m circa, può essere considerata come un complesso in genere dotato di bassa permeabilità, anche se comunque potenzialmente percolabile dalle acque di infiltrazione.

Il sottostante complesso dei depositi ghiaiosi a matrice sabbiosa invece, in ragione della sua composizione granulometrica, comunque soggetta a frequenti variazioni sia in senso laterale che verticale, può essere considerato in generale da mediamente permeabile a permeabile, con sensibili riduzioni di conducibilità idraulica laddove sono presenti intercalazioni di spessore metrico costituite da materiali più fini.

Questo complesso, che sulla base dell'assetto stratigrafico ricostruito per l'area in esame si osserva fino a profondità non inferiori ai 20 m è sede della principale circolazione idrica sotterranea, costituita da una falda in genere freatica, a luoghi parzialmente confinata al tetto, sostenuta dal sottostante complesso dei depositi argilloso-limosi, i quali, in ragione di una permeabilità generalmente da bassa a molto bassa e della loro continuità laterale, svolgono pertanto funzione di acquicludo.

### 10.1 LIVELLI PIEZOMETRICI

La ricostruzione dell'idrostruttura alla scala dell'opera si è basata sul riconoscimento stratigrafico dei corpi acquiferi e misura dei relativi livelli piezometrici all'interno dei fori di sondaggio attrezzati a piezometro caratterizzati da tratti filtranti localizzati in corrispondenza degli acquiferi intercettati.

Le misure di soggiacenza riferite alle diverse campagne di indagine e monitoraggio piezometrico condotte, sono riportate nelle tabelle che seguono.

Sondaggio	Livello idrico Mag.-Giu. 2019	Livello idrico Nov. 2019	Livello idrico Mag 2020	Livello idrico media
	[m da p.c.]	[m da p.c.]	[m da p.c.]	[m da p.c.]
S02	-9,70	-8,83	-7,43	-7,43
S03	-10,50	-10,03	-8,74	-8,74
S05	-11,00	-10,78	-9,98	-9,98
S06	-11,00	-11,10	-10,31	-10,31
S07	-5,00	-8,73	-8,27	-8,27
S08	-1,00	-1,20	-1,87	-1,87

TABELLA 11 - CAMPAGNA MONITORAGGIO PIEZOMETRICO 2019-2020

Sondaggio	Livello idrico Feb.-Mar. 2024
	[m da p.c.]
S01	-10,70
S03	-7,20
S05	-7,90
S07	-8,27

STUDI ED INDAGINI  
GEOLOGIA – ELABORATI GENERALI  
*Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica*

Sondaggio	Livello idrico Feb.-Mar. 2024 [m da p.c.]
S08	-8,65
S11	-1,30

TABELLA 12 - LIVELLI PIEZOMETRICI CAMPAGNA DI INDAGINE 2023-2024

Sulla base della ricostruzione dell'andamento delle isopieze nel tempo (vd. Elaborato 04FL42DMINGE02EGGPL01) ed in accordo con la carta idrogeologica PS di Campi Bisenzio contenente le linee isofreatiche (PS 2020) e della carta delle isofreatiche del 2010 del SIT del Comune di Firenze (vd. Figura 25, estratto da PFTE), si osserva una circolazione idrica sotterranea caratterizzata da flusso idrico orientato all'incirca da E verso NO, con gradiente idraulico valutabile intorno allo 0,5% circa, certamente in diretta connessione idraulica con il livello del Fiume Arno.



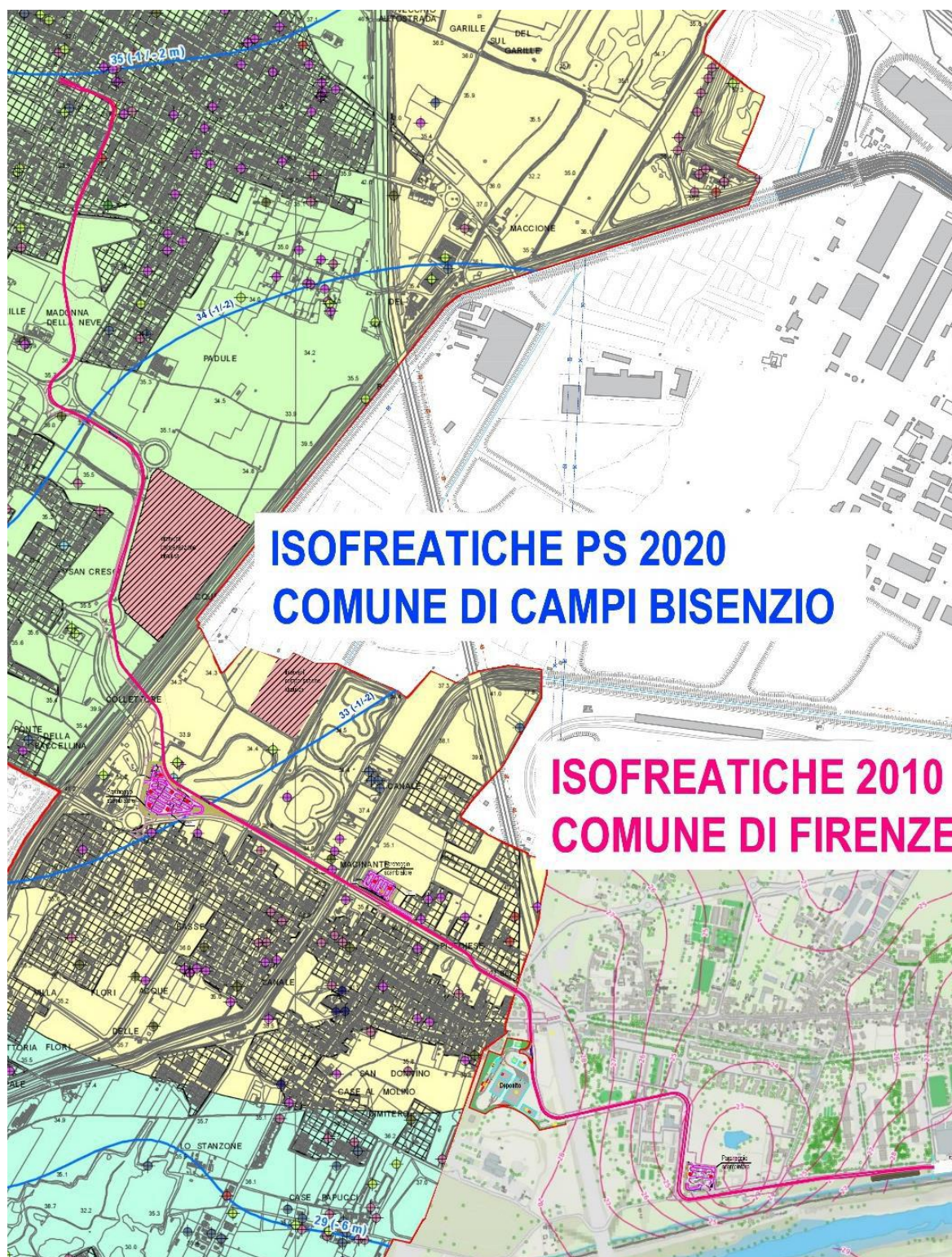


FIGURA 28 - ESTRATTO CARTA DELLE CURVE ISOFREATICHE (SIT COMUNE DI FIRENZE) E IDROGEOLOGICA (PS CAMPI BISENZIO). DA STUDIO GEOLOGICO PFTE (NON IN SCALA)

## 10.2 TEST IDROGEOLOGICI

Al fine di definire le caratteristiche idrodinamiche del complesso acquifero individuato, nel corso della campagna di indagine 2019 è stata pianificata una campagna di prove di permeabilità in sito i cui esiti sono riassunti nella tabella che segue.

Sondaggio	Profondità [m da p.c.]	Coefficiente permeabilità k [m/s]
S02	-12,60	$2,05 \times 10^{-5}$
S03	-10,60	$7,97 \times 10^{-9}$
	-18,60	$2,73 \times 10^{-7}$
S04	-15,60	$6,95 \times 10^{-7}$
S05	-28,60	$8,96 \times 10^{-7}$
S06	-22,60	$1,77 \times 10^{-6}$
S07	-22,70	$2,06 \times 10^{-6}$
S08	-13,60	$2,82 \times 10^{-7}$

TABELLA 13 - RISULTATI PROVE LEFRANC 2019

## 10.3 MODELLO IDROGEOLOGICO CONCETTUALE E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA

Per quanto esposto, il tracciato della linea tranviaria in progetto, si colloca all'interno di un sistema acquifero idrostratigraficamente ospitato nei depositi alluvionali della porzione sommitale della sequenza stratigrafica e più precisamente risulta interessato il complesso acquifero "Firenze 2" caratterizzato da permeabilità variabile generalmente compresa tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  m/sec e comunque variabile in funzione della granulometria e del grado di consistenza.

In termini di livelli piezometrici, ai fini del dimensionamento delle opere, il livello di falda di riferimento progettuale (carico idraulico) può essere assunto pari a quello del livello misurato nel corso delle campagne di monitoraggio ed individuato a quote comprese tra c.ca 27,9 m s.l.m. (fermata Navi di Brozzi) e c.ca 26.86 m s.l.m. (fermata Racchio), con una risalita fino ad una soggiacenza anche dell'ordine di 1-2 m da p.c. nell'area dell'abitato di Campi Bisenzio (33,00-35,00 m s.l.m.).

Allo stato attuale dunque, vista la geometria delle opere in sotterraneo da realizzarsi, si ritiene che non sussistano le condizioni per un effetto barriera persistente ai fini del flusso idrico sotterraneo; tuttavia qualora si ravvisasse l'esistenza di eventuali condizioni che possano portare all'interruzione, da parte delle strutture in progetto, del flusso idrico sotterraneo, saranno previste opportune opere di mitigazione.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella previsione e gestione delle possibili fonti di contaminazione della risorsa idrica sotterranea connesse alla realizzazione dell'opera (es. percolamento dei cantieri, utilizzo di fanghi/schiume di scavo e miscele di iniezione, sversamenti accidentali, etc.)



## 11 NOTE CONCLUSIVE E GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ

La presente relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica è stata redatta a corredo del progetto definitivo della tranvia di Firenze, linea 4.2 - Le Piagge-Campi Bisenzio, nel quale si illustrano le principali caratteristiche geologiche, geolitologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del settore interessato dal progetto tranviario in un intorno sufficientemente vasto per poter valutare le potenziali interferenze tra l'opera in progetto e le varie componenti ambientali afferenti gli aspetti sopra citati.

Il tracciato in esame si sviluppa completamente entro i territori comunali di Firenze e Campi Bisenzio a quote comprese tra circa 37,8 s.l.m. in corrispondenza del settore più orientale e a circa 36,3 m s.l.m. in corrispondenza del capolinea Rucellai.

Da un punto di vista geomorfologico il territorio in oggetto si colloca nell'ambito della depressione tettonica del "Bacino di Firenze-Prato-Pistoia", sede dell'ambiente di tipo fluvio-lacustre a partire dal Villafranchiano, caratterizzata dalla presenza di materiali alluvionali a tessitura granulometricamente variabile da fine a grossolana.

Per la valutazione di dettaglio delle caratteristiche geologiche dell'area, individuate e rappresentate nelle carte tematiche e profili geolitologici redatti, si è fatto riferimento ad indagini pregresse ed integrative realizzate a supporto del presente livello di progettazione.

La successione stratigrafica del primo sottosuolo alla scala dell'opera, risulta caratterizzata da depositi esclusivamente alluvionali di età olocenica, organizzati in tre associazioni di facies (argille limose, limi ed argille con livelli ghiaioso-sabbiosi e ghiaie e sabbie) che si succedono nel sottosuolo, spesso presentando interdigitazioni tra di esse, mentre l'orizzonte più superficiale è rappresentato da terreni di riporto.

A partire dalle misure piezometriche eseguite in corrispondenza delle verticali piezometriche allestite nel corso delle attività di indagine, si può indicare come condizione normale la presenza di circolazione idrica sotterranea a quote comprese tra 27,9 m s.l.m. (fermata Navi di Brozzi) e c.ca 26.86 m s.l.m. (fermata Racchio).

Dal punto di vista sismico, i territori comunali di Firenze (FI) e Campi Bisenzio (FI) sono classificati come Zona sismica 3, con  $a_g=0,15 g$ .

In relazione ai risultati delle indagini di riferimento per il progetto, si riscontra che i terreni sono classificabili in categoria C (NTC-2018) ovvero come depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste dalle NTC 2018 – Tab. 3.2.V, in particolare, l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T=1,0$ .

A valle dello studio condotto, della natura e delle caratteristiche degli interventi da attuarsi, i lavori in progetto risultano ammissibili per i criteri di fattibilità disposti dai vigenti piani e programmi di riferimento in ambito geologico e sismico e compatibili la situazione geologica e morfologica dei luoghi, tali da non influire negativamente sulla stabilità delle aree.