

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

OPERE DI RISANAMENTO ACUSTICO – 1° FASE DI ATTUAZIONE DEL PIANO REDATTO AI SENSI DEL D.M. AMBIENTE 29/11/2000

PROGETTO DEFINITIVO

COMUNE DI FIRENZE

CODICI INTERVENTO 048017070 – 048017094


RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

D 1 4 C 0 0 D 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	M. Sciarra	Ottobre-18	R. Briganti	Ottobre-18	R. Sciacca	Ottobre-18	
B	Emissione definitiva	M. Sciarra	Ottobre-19	R. Briganti	Ottobre-19	G. Nardella	Ottobre-19	F. Marchese Ottobre-2019
C	Revisione per CDS	F. Quattrocchi	Novembre 2021	F. Quattrocchi	Novembre 2021	M. Pignatelli	Novembre 2021	

File: D14C0069RGGE0001001C.doc

n. Elab.:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C

INDICE

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	7
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
3.2.1	<i>Assetto strutturale</i>	8
3.2.2	<i>Assetto stratigrafico</i>	9
3.2.3	<i>Assetto stratigrafico dell'area di studio</i>	10
3.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	13
3.3.1	<i>Geomorfologia dell'area</i>	13
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	14
5	CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI	16
5.1	VINCOLO IDROGEOLOGICO E PAESAGGISTICO	16
5.2	RISCHIO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO	16
5.2.1	<i>Piano Stralcio Assetto Idrogeologico</i>	20
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE	21
6.1	PREMESSA	21
6.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE BANCA DATI DELLE INDAGINI REGIONE TOSCANA	21
6.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE ITALFERR.....	22
7	MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO	24
7.1	UNITÀ STRATIGRAFICHE	24
7.2	LIVELLI DI FALDA	24
7.2.1	<i>Monitoraggio piezometrico</i>	25
8	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO TECNICA DEI TERRENI	31
8.1	PREMESSA	31
8.2	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA	31

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 3 di 59

8.3	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA	31
8.4	MATERIALI A GRANA GROSSA (PREVALEMENTEMENTE SABBIE E GHIAIE)	31
8.4.1	<i>Densità Relativa (D_r)</i>	31
8.4.2	<i>Angolo di resistenza al taglio (φ')</i>	32
8.4.3	<i>Caratteristiche di deformabilità</i>	33
8.4.4	<i>Modulo di deformazione a piccole intensità G_0</i>	33
8.5	MATERIALI A GRANA FINE (PREVALEMENTEMENTE LIMI E ARGILLE)	34
8.5.1	<i>Resistenza al taglio non drenata (c_u)</i>	34
8.6	PARAMETRI GEOLOGICO-TECNICI DI RIFERIMENTO	34
9	SISMICITÀ DELL'AREA	36
9.1	PREMESSA	36
9.2	STRUTTURE TETTONICHE E AREE SISMOGENETICHE	36
9.3	SISMICITÀ STORICA	39
9.4	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	43
9.5	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	48
9.5.1	<i>Criteri di esclusione secondo le NTC2018</i>	48
9.5.2	<i>Metodo di analisi</i>	48
9.5.3	<i>Dati di base per le analisi di liquefazione</i>	52
9.5.4	<i>Risultati delle analisi di liquefazione</i>	58
10	CONCLUSIONI	60
11	BIBLIOGRAFIA	62

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
	COMUNE DI FIRENZE					
	CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	4 di 59

TAVOLE ALLEGATE

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
Planimetria ubicazione indagini	1:5000	D	1	4	C	0	0	D	6	9	R	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica con elementi di geomorfologia e profili geologici	1:5000/500	D	1	4	C	0	0	D	6	9	N	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta dei complessi idrogeologici e profili idrogeologici	1:5000/500	D	1	4	C	0	0	D	6	9	N	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A

DOCUMENTI ALLEGATI

Id	Scala	Codifiche Italferr																					
Indagini pregresse	-	D	1	4	C	0	0	D	6	9	R	H	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A	
Indagini geofisiche	-	D	1	4	C	0	0	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A	

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 5 di 59

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica di inquadramento redatto nell'ambito della Progettazione Definitiva delle barriere antirumore Prima Fase di Attuazione del piano elaborato ai sensi del D.M. Ambiente 29 novembre 2000.

Il tratto ferroviario oggetto di risanamento acustico è ubicato lungo la tratta ferroviaria Firenze-Roma presso il Comune di Firenze, tra le progressive Km 2+059 e 3+803 con la codifica C.I. 048017070 e tra le progressive Km 312+081 e 313+320 con la codifica C.I. 048017094.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti sia da fonti bibliografiche sia da indagini geognostiche e in situ, comprendenti sondaggi a carotaggio continuo e prove SPT.

In sintesi nei paragrafi seguenti verranno approfondite le seguenti tematiche:

- 1) inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici;
- 2) Analisi della Cartografia del rischio e dei Vincoli territoriali;
- 3) Descrizione delle indagini geognostiche realizzate;
- 4) Modello geotecnico di riferimento e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni;
- 5) Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 6 di 59

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	7 di 59

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area d'interesse si sviluppa nel settore nord del Comune di Firenze, nei pressi della stazione di Santa Maria Novella.

L'area relativa all'opera in progetto è individuabile in Figura 3-1.



Figura 3-1 Immagine aerea dell'area di Firenze, in rosso si evidenzia la porzione di tracciato oggetto di risanamento acustico.



Figura 3-2 – Immagine aerea di dettaglio del tracciato oggetto di risanamento acustico (Google Earth)

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C FOGLIO 8 di 59

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.2.1 *Assetto strutturale*

L'area in esame è situata nel bacino di Firenze-Prato-Pistoia, il quale presenta una geometria a semi-Graben fortemente asimmetrica, con un margine nord-orientale molto acclive in corrispondenza della faglia principale (nel caso specifico la faglia di Fiesole) e da una rampa di raccordo poco inclinata, a luoghi interessata da faglie minori sul versante sud-occidentale. I depositi di riempimento del bacino si sono sviluppati con ampi delta e fan-delta clastici sviluppati alla base del sistema di faglie maggiori, mentre minori quantità di sedimenti si sono disposti lateralmente e longitudinalmente al bacino a seguito dell'erosione dei terreni affioranti a tetto a quote più elevate del bacino. Questa architettura deposizionale è tipica dei bacini intermontani dell'Appennino Settentrionale. In questo tipo di bacini il sollevamento tettonico dei margini, ed il corrispondente allargamento del drenaggio fluviale, portano alla formazione di potenti sequenze sedimentarie clastiche grossolane in corrispondenza delle aree centrali del bacino (Lazzarotto et al., 1964; S.G.I., 1967; Agili et al., 2004; Carmignani & Lazzarotto, 2004; Aguzzi et al.; 2005). Dal punto di vista sedimentologico i depositi dell'area interessata dal presente studio sono ascrivibili ai seguenti ambienti:

- Supersintema del Lago di Firenze-Prato-Pistoia: lacustri, lacustri-palustri e di fandelta;
- Supersintema di Firenze: lacustri e di fan-delta;
- Supersintema dell'Arno: fluvio-alluvionale e limno-palustre.

I depositi del Supersintema del lago Firenze-Prato-Pistoia sono caratterizzati da deposizione in condizioni climatiche prevalentemente fredde (glaciali Biber e Donau, AUCTT.) di monotone argille grigio bluastre derivanti dallo smantellamento di terreni di appartenenza ligure, con intercalati ed interdigitati i corpi clastici da limoso sabbiosi a ciottoloso-ghiaiosi dei delta e fan-delta di paleo-Affrico, paleo-Mugnone, paleo-Terzolle e paleo-Ema/Greve messi in posto tramite processi di trasporto di massa riferibili a flussi turbolenti ad alta densità, con ricorrenza ciclica dovuta sia a cicli di uplift-denudation connessi a pulsazioni tettoniche che alle variazioni climatiche connesse ai glaciali Biber e Donau (AUCTT). Gli scarsi, e spesso coperti ed antropizzati, affioramenti dell'area fiorentina non consentono di avere un quadro preciso dell'organizzazione di questi depositi; ma date le medesime situazioni tettonico-sedimentari ed ambientali riteniamo di poter fare riferimento a quanto evidenziato da Billi et alii (1991) per i depositi di delta e fan-delta del Valdarno Superiore. Nella zona apicale sono principalmente presenti depositi clastici grossolani mal organizzati, di tipo debris-flow, connessi a lobi o canali intrecciati durante fasi di intenso alluvionamento; nella zona di transizione ci sono canali intrecciati passanti a solchi di canale senza accezione laterale, con corpi ciottoloso-sabbiosi inglobati in depositi limoso-sabbiosi; nella zona più sommersa sono presenti canali distributori scavati entro i depositi argillosi lacustri riempiti di sabbie e ciottolami; nella zona distale questi canali danno luogo a corpi lenticolari di sabbie e ghiaie con gradazioni e sequenze positive. Nel complesso il non elevato livello delle acque nel lago, le sue ridotte dimensioni e bassa energia favoriscono la formazione di ampi fan-delta. Questo assetto sembra nel complesso ben inquadrare quelle che sono le risultanze delle indagini geognostiche svolte nel bacino di Firenze-Prato-Pistoia. Anche nel caso dei depositi del materasso alluvionale che caratterizza nel suo insieme il Supersintema dell'Arno riteniamo che il riferimento ai depositi d'Amo del Valdarno Superiore studiati da Billi et alii (1987), sia corretto si tratta di ciottolami massivi, a stratificazione incrociata, gradanti verso l'alto a sabbie a laminazione incrociata sovrastate da depositi di esondazione costituiti da limi ed argille con diffusapedogenesi a pseudo-gly, organizzati in cicli sedimentari diversi a seconda della distanza dall'area di immissione nella pianura alluvionale. La deposizione di questi corpi clastici è legata più a fenomeni di accrezione lungo corrente che ad accrezione laterale, il tutto in un ambiente di deposizione tipico di fiumi a bassa sinuosità. Nella fase iniziale di sviluppo di questi fiumi si ha spostamento laterale dei canali fluviali, con deposizione dei corpi clastici, legata alla migrazione laterale di barre specie in occasione dei principali eventi alluvionali; successive fasi di innalzamento del livello di base portano allo sviluppo di piane alluvionali con il fiume che tende a spostarsi sia verticalmente che lateralmente, ulteriori innalzamenti del livello di base portano a decremento della sinuosità e diminuzione della pianura alluvionale; questo tipo di fiumi, che tuttora caratterizza l'Appennino Settentrionale, presenta uno spessore pressoché costante del materasso alluvionale (S.G.I., 1967; Aguzzi et al., 2005). L'assetto dei terreni alluvionali dell'area fiorentina, quale risulta dalle indagini geognostiche effettuate, ben si inquadra in questo schema deposizionale. Per la descrizione degli ambiti geologici sono mantenute le stesse classificazioni dove sono stati

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 9 di 59

individuati i sintemi caratterizzanti i terreni fiorentini. Con Sintema si identifica un corpo roccioso di origine comune definito alla base ed al tetto da superfici di discontinuità o da superfici topografiche (Carmignani & Lazzarotto, 2004).

3.2.2 Assetto stratigrafico

In dettaglio i terreni individuati nella pianura fiorentina sono:

RIPORTI E COPERTURE (Attuale)

Materiali antropici e riempimenti costituiti da materiali sciolti misti di varia pezzatura ed origine, più o meno costipati, anche con cocciame di laterizi; nella cartografia geologica sono stati cartografati solo ove costituiscono un livello continuo e potente almeno un paio di metri.

TERRENI FLUVIO-LACUSTRI ED ALLUVIONALI (Plio- Quaternario)

SINTEMA DELL' ARNO: ciottolami e ghiaie dell'Arno, da puliti a sporchi, con livelli e lenti di sabbie, anche gradate, con frequenti episodi di erosione e sostituzione. Questi depositi d'Arno sono interdigitati con i depositi alluvionali recenti dei vari torrenti, costituiti da ghiaie e ciottolami con abbondante matrice limoso-sabbiosa inclusi in corpi limosi (Olocene).

– Depositi d'Arno - costituiti principalmente da ciottolami e ghiaie, da puliti a sporchi, con livelli e lenti di sabbie, anche gradate: i 3-5 m superiori sono formati da limi più o meno sabbiosi, in relazione alla loro distanza dall'alveo; le ghiaie presentano frequenti episodi di erosione e sostituzione.

– Depositi torrentizi - si tratta di depositi d'alveo ghialoso-ciottolosi, con abbondante matrice limoso-sabbiosa imballati in corpi limosi palustri e/o d'esondazione. La divisione tra i vari torrenti è stata fatta in funzione dello zone di pertinenza dei vari apparati torrentizi: hanno potenze variabili da pochi fino alla ventina di metri.

– Depositi palustri - depositi limno-palustri delle residue zone umide ad ovest della città e nella pianura tra Campi e Sesto-Castello; ha potenza di un paio di metri nella zona settentrionale, fino a qualche metro nella zona meridionale della pianura.

– Depositi di conoide - derivano tutti da erosione dei terreni villafranchiani dei rilievi pedecollinari settentrionali: ghiaie in matrice limoso-sabbiosa mal classate e mal assortite con potenza di alcuni metri.

SINTEMA DI FIRENZE: ciottolami e ghiaie d'alveo del paleo-Arno, più o meno sporchi, frammisti a livelli sabbioso-limosi bruni nella zona settentrionale della cerchia dei viali di Firenze; sono essenzialmente depositi ciottolosi e ghiaiosi nella zona Cascine-Osmannoro-Legnaia. Pleistocene Superiore

SINTEMA DEL BACINO (di Firenze-Prato-Pistoia): massicci corpi di argille limose grigio-blustre, all'interno di questo corpo principale sono presenti livelli e lenti di ghiaie e sabbie, in genere sporchi; verso l'alto passano a limi bruni a luoghi varvati, con torbe, frustoli carboniosi, calici e paleosuoli. Depositi clastici di delta e fan-delta costituiti da ciottolami e ghiaie in genere sporchi, ghiaie-sabbiose, sabbie limose e limi sabbiosi, in corpi più o meno massivi e/o canalizzati. Pleistocene Inferiore (Villafranchiano) -Pliocene Superiore. Esso comprende:

- Argille Turchine - depositi limoso-argillosi lacuali costituiti da massicci corpi di argille-limose grigio blustre; all'interno di questo corpo principale sono presenti livelli e lenti di ghiaie e sabbie, in genere sporchi: verso l'alto passano a limi bruni, e luoghi varvati, con torbe, frustoli carboniosi, calici e paleosuoli.
- paleo-Mugnone - ciottolami e ghiaie in matrice limoso-sabbiose e corpi limosoargillosi bruni.
- paleo-Terzolle - ciottolami e ghiaie, spesso sabbiosi, e lenti di limi argillosi bruni.
- paleo-Ema/Greve - ciottolami e ghiaie in matrice sabbiosa (non presente nell'area di studio).

SUBSTRATO LITOIDE pre-Pliocene

UNITA' LIGURI - UNITÀ DI MONTE MORELLO

– Argilliti di Pescina: abbondanti argilliti, con intercalazioni di calcari verdastrati e arenarie calcarifere, e di calcari marnosi e marne calcaree chiare, in grossi banchi con rari livelli basali calcerenitici. Eocene Medio-Inferiore

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMUNE DI FIRENZE					
	CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	10 di 59

– Formazione di Monte Morello: calcari marnosi, calcari chiari tipo Alberese e marne calcaree di colore bianco giallastro in strati da pochi cm 5 qualche metro, a luoghi alternati a livelli calcarenitici e ad argilliti. Eocene Medio-Paleocene

– Pietraforte: regolare alternanza di turbiditi arenacee quarzoso-calcaree grigio brune in strati da 25 cm ad 1 m, argilliti siltose di colore grigio scuro in livelli di 15-20 cm: affiora sui rilievi di Arcetri-Giramonte, e nell'area del Giardino di Boboli Forte Belvedere. Costituisce un corpo all'interno della parte alta della Formazione di Sillano. Cretaceo Superiore

– Formazione di Sillano: argilliti varicolore con irregolari intercalazioni di turbiditi arenacee quarzoso-calcaree e calcarenitiche in strati da 10 cm ad 1 m, marne grigio scure compatte con laminazioni in livelli metrici, calcari marnosi grigio chiari ed avana giallastri ("Pietra Paesina") in strati da 15 cm ad 1 m, e brecciole ofiolitiche, spesso gradate, con clasti centimetrici a spigoli vivi (costituiti da calcare, serpentine, diabase, diaspro) immersi in una matrice siltoso-sabbiosa a cemento carbonatico. Eocene Inferiore-Cretaceo Superiore

FALDA TOSCANA

– Marne di San Polo: marne siltose grigio giallastre con rare intercalazioni di arenarie fini. Miocene Inferiore-Oligocene

– Macigno: turbiditi arenacee quarzoso-feldspatiche gradate, da medie a grossolane con rapporto sabbia/pelite >1, in banchi anche amalgamati di spessore massimo di 8 m e raramente inferiore al mezzo metro, con intercalazioni di turbiditi arenacee fini e turbiditi siltoso-argillose in strati di spessore inferiore ai 30 cm. Miocene Inferiore-Oligocene

Di seguito (Figura 3-3), viene proposta la carta geologica adottata dalla Regione Toscana. Si può osservare come la tratta in esame sia interessata esclusivamente dalla presenza dei depositi alluvionali recenti, composti da ghiaie e sabbie riconducibili al Sintema dell'Arno.

3.2.3 Assetto stratigrafico dell'area di studio

Analizzando la cartografia geologica a disposizione, e facendo riferimento ai sondaggi geognostici disponibili (Paragrafo 0), è possibile delineare il seguente assetto stratigrafico di dettaglio per quanto riguarda il tracciato di progetto:

- La maggior parte del tracciato risulta interessata dalla presenza di estese coperture antropiche di varia natura e spessore. Sulla base dei dati disponibili tali materiali possono raggiungere anche spessori significativi, sino a circa 7 m.
- La maggior parte del tracciato (a partire da ovest sino a Via Vittorio Emanuele II sulla base della cartografia geologica bibliografica) è impostato su depositi afferenti il Sintema dell'Arno, ed in particolare, al di sotto dei riporti, materiali limoso-argillosi con lenti sabbiose (3-5 m), sovrastanti materiali ghiaioso-sabbiosi (depositi torrentizi).
- Al di sotto dei depositi ghiaiosi dell'Arno si rinvencono argille e limi appartenenti al Sintema del bacino Firenze-Prato-Pistoia, ed in particolare alle Argille turchine.
- La porzione di tracciato ad est di Via Vittorio Emanuele II si imposta su depositi Villafranchiani del paleo-Mugnone, costituiti sia da ciottolami e ghiaie in matrice limoso-sabbiose (come indicato dalla cartografia tematica del Piano di Governo del Territorio di Firenze) sia da corpi limoso-argillosi bruni (come indicato dalla cartografia tematica della Regione Toscana).

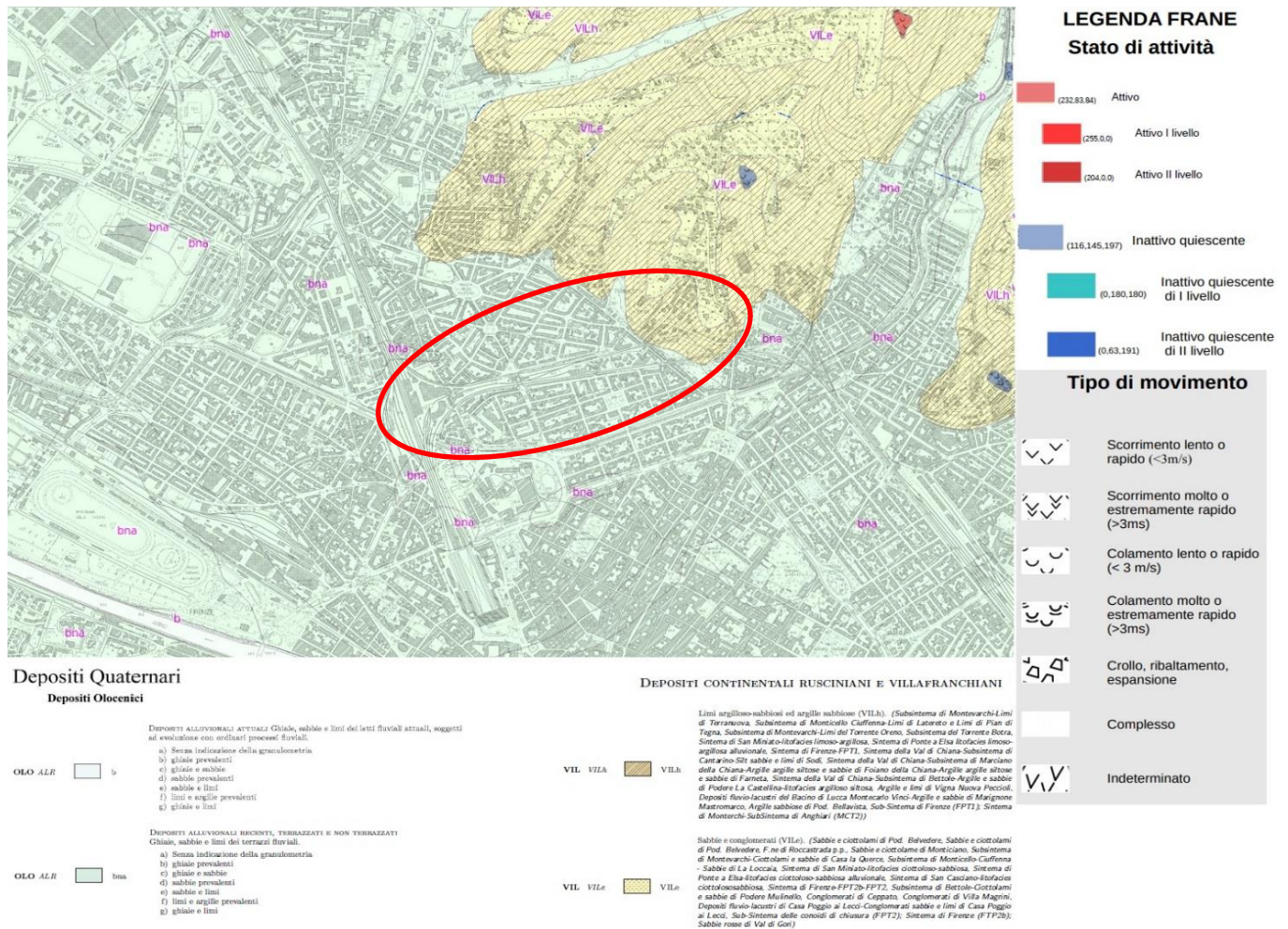


Figura 3-3 - Stralcio della Carta geologica dell'area di Firenze, consultabile dal geoportale della regione Toscana (Scala 1:15.000). In rosso la porzione di tracciato oggetto di risanamento acustico.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

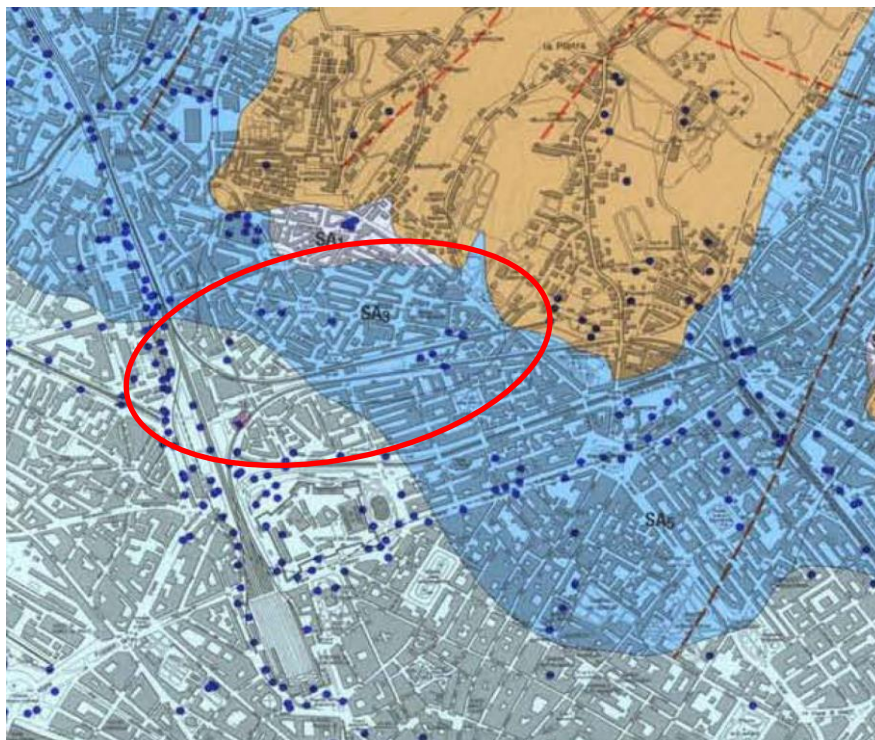
00 D 69

RG

GE0001 001

C

12 di 59



SA - SINTEMA DELL'ARNO Olocene

- SA₀** Depositi d'Arno: costituiti principalmente da ciottolami e ghiaie, da puliti a sporchi, con livelli e lenti di sabbie, anche gradate; i 3-5 m superiori sono formati da limi più o meno sabbiosi, in relazione alla loro distanza dall'alveo; le ghiaie presentano frequenti episodi di erosione e sostituzione.
- SA₃₋₇** Depositi torrentizi: si tratta di depositi d'alveo ghiaioso-ciottolosi, con abbondante matrice limoso-sabbiosa imballati in corpi limosi palustri e/o d'esondazione. La divisione tra i vari torrenti è stata fatta in funzione delle zone di pertinenza dei vari apparati torrentizi; hanno potenze variabili da pochi fino alla ventina di metri. Affrico (**SA₇**), San Gervasio (**SA₆**), Mugnone (**SA₅**), Arcovata-Montughi (**SA₃**), Terzolle-Lastra (**SA₄**).
- SA₂** Depositi palustri: depositi limo-palustri delle residue zone umide ad ovest della città e nella pianura tra Campi e Sesto-Castello; ha potenza di un paio di metri nella zona settentrionale, fino a qualche metro nella zona meridionale della pianura.
- SA₁** Depositi di conoide: ghiaie in matrice limoso-sabbiosa (derivano tutti da erosione dei terreni villafranchiani dei rilievi pedecollinari settentrionali), mal classificati e mal assortiti; hanno potenza di alcuni metri.

SF - SINTEMA DI FIRENZE Pleistocene Superiore

- SF₅** Depositi di margine: limi bruni ghiaiosi a clasti spigolosi centimetrici di natura eminentemente carbonatica.

SB - SINTEMA DEL BACINO DI FIRENZE-PRATO-PISTOIA Pleistocene Inferiore-Pliocene Superiore

- SB₅** Argille Turchine: depositi limoso-argillosi lacuali costituiti da massicci corpi di argille-limose grigio bluastré; all'interno di questo corpo principale sono presenti livelli e lenti di ghiaie e sabbie, in genere sporchi; verso l'alto passano a limi bruni, a luoghi varvati, con torbe, frustoli carboniosi, calici e paleosuoli.
- SB₃** paleo-Mugnone: ciottolami e ghiaie in matrice limoso-sabbiosa e corpi limoso-argillosi bruni.
- SB₄** paleo-Terzolle: ciottolami e ghiaie, spesso sabbiosi, e lenti di limi argillosi bruni.
- SB₁** paleo-Ema/Greve: ciottolami e ghiaie in matrice sabbiosa.

Figura 3-4 – Stralcio della carta geologica del Comune di Firenze. In rosso si evidenzia il tracciato oggetto di risanamento acustico.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 13 di 59

3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

3.3.1 Geomorfologia dell'area

Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia, posto ad una quota media di 45 m slm, si sviluppa in direzione NW-SE per una lunghezza di 45 km ed una larghezza massima di circa 10 km. Esso è delimitato a nord dai Monti della Calvana e da Monte Morello, con altitudine di circa 900 m slm ed a sud dal Montalbano con altitudine di oltre 600 m slm.

La depressione tettonica di Firenze-Prato-Pistoia si è formata a partire dal Pliocene, ma il bacino di Firenze-Prato-Pistoia si individua ed evolve dal Pliocene superiore. La formazione della depressione tettonica, a carattere endoreico, ha richiamato i corsi d'acqua antecedenti alla struttura (T. Bisenzio, T. Mugnone, T. Greve), che sono caratterizzati da un notevole trasporto solido, precedentemente deposto nella pianura costiera pliocenica, nelle attuali zone di San Casciano e Montelupo (Bartolini & Pranzini, 1981; Cencetti & Tacconi, 2005). Detti corsi d'acqua casi intercettati scaricano i loro materiali all'interno del bacino lacustre appena formato, dando luogo anche ad ampie conoidi clastiche. Dal Pleistocene la ripresa dell'attività delle faglie trasversali all'asse della depressione (faglie di Maiano-Bagno a Ripoli e Castello-Scandicci), determina il sollevamento dell'area fiorentina e lo spostamento delle conoidi verso la zona più occidentale, ossia l'attuale area di Casellina-Cascine-Careggi. L'evoluzione del bacino, da questa fase in poi, si differenzia tra l'area occidentale, in cui le condizioni lacustri-palustri permangono fino al "recente" e l'area fiorentina sollevata, in cui si manifestano attività di erosione e deposizione fluviale ad opera del fiume Arno e dei suoi affluenti. In detta area si sviluppa un reticolo fluviale controllato dal livello di base dell'Arno che sfocia nel lago di Prato-Pistoia con un'ampia conoide (zona di Casellina-Cascine-Osmannoro), associata nella zona di Casellina a quelle dei torrenti Greve, Ema e del T. Vingone, e nella zona di Careggi a quella del T. Terzolle. In questo periodo nell'area fiorentina si manifesta una fase erosiva tale da portare il fiume Arno ed i suoi affluenti ad incidere di ben 100 m i sedimenti lacustri Villafranchiani. Si verifica successivamente una fase alluvionale con deposizione di sedimenti grossolani in corrispondenza degli alvei dei fiumi gerarchicamente più importanti e di sedimenti più fini nelle zone di esondazione, in relazione all'innalzamento del livello di base nel lago di Prato-Pistoia per sua graduale colmata. La fase più recente è caratterizzata dalla migrazione del corso dell'Arno che si è spostato da NE verso SW, meandrando ed erodendo alla base le colline di San Miniato e di Bellosguardo. Inoltre, si verifica la sedimentazione di materiali in corrispondenza degli alvei del fiume Amo e dei suoi affluenti (T. Affrico, Fosso San Gervasio, T. Mugnone, T. Lastra, T. Terzolle), con ripetuti impaludamenti di vaste aree.

Il margine nord-orientale dell'area fiorentina è marcato dalla gradinata delle faglie normali di Fiesole, di cui si è già precedentemente detto, con rigetto totale valutabile intorno ai 1.000 m. Parte di detta gradinata di faglie è attualmente sepolta sotto i depositi fluvio-lacustri. Il margine sud-occidentale del bacino non è interessato da faglie importanti. Le faglie di Castello-Scandicci e di Maiano-Bagno a Ripoli sono attualmente sepolte sotto i depositi fluvio-lacustri.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO
		D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C 14 di 59

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La falda idrica più importante della pianura fiorentina è una falda libera, una tavola d'acqua posta ad una profondità compresa fra 1 e 10 metri di profondità, a seconda delle aree e del periodo stagionale.

In alcune zone marginali della pianura si ha una falda semiconfinata, in quanto il livello piezometrico si colloca in corrispondenza dei limi sabbiosi, talora argillosi di copertura, che hanno le caratteristiche di "acquitrando". Se lo strato di terreno superficiale è costituito da limi con argille, ossia in presenza di permeabilità molto basse, l'acquifero sottostante va considerato confinato e pertanto si è in presenza di una falda in pressione. Ciò si verifica nella zona di Novoli - Castello, dove l'acquifero è rappresentato da lenti di ghiaie con matrice limosa discontinua, a bassa permeabilità, ed il livello idrico nei pozzi corrisponde alla pressione idrostatica nell'acquifero. L'acquifero di Firenze, quindi, è costituito dai depositi alluvionali "macroclastici" del Fiume Arno e dei principali affluenti (T. Mugnone, T. Affrico, T. Terzolle, T. Mensola ecc.) poggianti su sedimenti lacustri limoso argillosi con intercalazioni di livelli e/o lenti di ghiaie e sabbie, cui seguono sedimenti lacustri prevalentemente argillosi. Nelle grandi linee il sistema acquifero in questione può essere ritenuto permeabile per porosità, con orizzonti acquiferi, come detto in precedenza, di tipo "a superficie libera" e/o semi-confinati. Schematicamente, gli autori (Capecchi et al., 1976) suddividono l'acquifero in 4 orizzonti:

- Orizzonte Firenze 1 - essenzialmente limoso sabbioso e/o argilloso, di spessore variabile da 2 a 7 metri, costituito da depositi di esondazione dell'Arno e riporti antropici. Dal punto di vista idrogeologico può essere considerato un acquitrando con permeabilità nell'ordine di 10⁻⁷ m/s. Tale orizzonte ricade nel Sintema del Fiume Arno (Capecchi et al., 1976).
- Orizzonte Firenze 2 - costituito da ghiaie e ciottoli, più raramente sabbia, con qualche lente di limo sabbioso o argilloso, presenta uno spessore variabile, fino a un massimo di 20 m. Viene normalmente attribuito alla sedimentazione recente dell'Arno e dei suoi affluenti. Per le sue caratteristiche costituisce il corpo acquifero principale dell'area, con permeabilità fortemente variabili, nell'ordine dei 10⁻³ – 10⁻⁷ m/s. Anche tale orizzonte ricade nel Sintema del Fiume Arno (Capecchi et al., 1976).
- Orizzonte Firenze 3 - litologicamente paragonabile all'orizzonte Firenze 2, rispetto al quale presenta, in genere, un più elevato contenuto di matrice limosa. Caratterizzato da spessori fortemente variabili, presenta estensione limitata. Non sempre tale orizzonte è distinguibile dal sovrastante, specie quando tra i due non è presente un caratteristico livello limoso-argilloso di alcuni metri di spessore. La geometria di tale orizzonte, anche per la mancanza di sondaggi profondi, a tutt'oggi non risulta chiara; la sua deposizione viene attribuita al sistema del paleo-Arno. Presenta permeabilità generalmente più basse dell'orizzonte 2, quando presente, può comunque ospitare una significativa circolazione idrica. Tale orizzonte ricade nel Sintema di Firenze (Capecchi et al., 1976), non presente nell'area di studio.
- Orizzonte Firenze 4 - costituito da una successione di limi argillosi ed argille, a colorazione da turchina a gialla, con pochi strati di ghiaie a matrice limoso-argillosa. Presenta spessore variabile in funzione dell'andamento del tetto del substrato. Stratigraficamente si colloca al di sotto dell'orizzonte Firenze 2. Viene attribuito al Supersintema del Lago Firenze-Prato-Pistoia (Capecchi et al., 1976).

Il Substrato roccioso è composto da calcari marnosi, marne, arenarie e argilliti. Si tratta di rocce che lo fanno assegnare alla Formazione di Sillano e alla Pietraforte. Tale schematizzazione, significativa a scala regionale, assume un carattere indicativo nelle analisi idrogeologiche di dettaglio, quando le forti variazioni stratigrafiche (orizzontali e verticali) legate alla complessità dell'ambiente deposizionale condizionano in maniera determinante la circolazione idrica sotterranea. Al fine di determinare proprio tali elementi di dettaglio soprattutto per la parte di pianura urbanizzata sono state eseguite due campagne di studio in collaborazione con UNIFI (coordinate dal Prof. G. Pranzini) finalizzate a descrivere l'andamento piezometrico della falda nel complesso delle sue articolazioni sia verticali che orizzontali e di confrontare questi risultati con i dati storici già in possesso dell'Università di Firenze.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 15 di 59

L'area di studio, sulla base dei dati disponibili e della cartografia idrogeologica bibliografica, risulta interessata da una falda compresa tra 3 e 6 m da p.c., mentre sulla base delle indagini geognostiche disponibili essa si rinverrebbe a quote, inferiori, tipicamente tra 10 e 12 m da p.c..

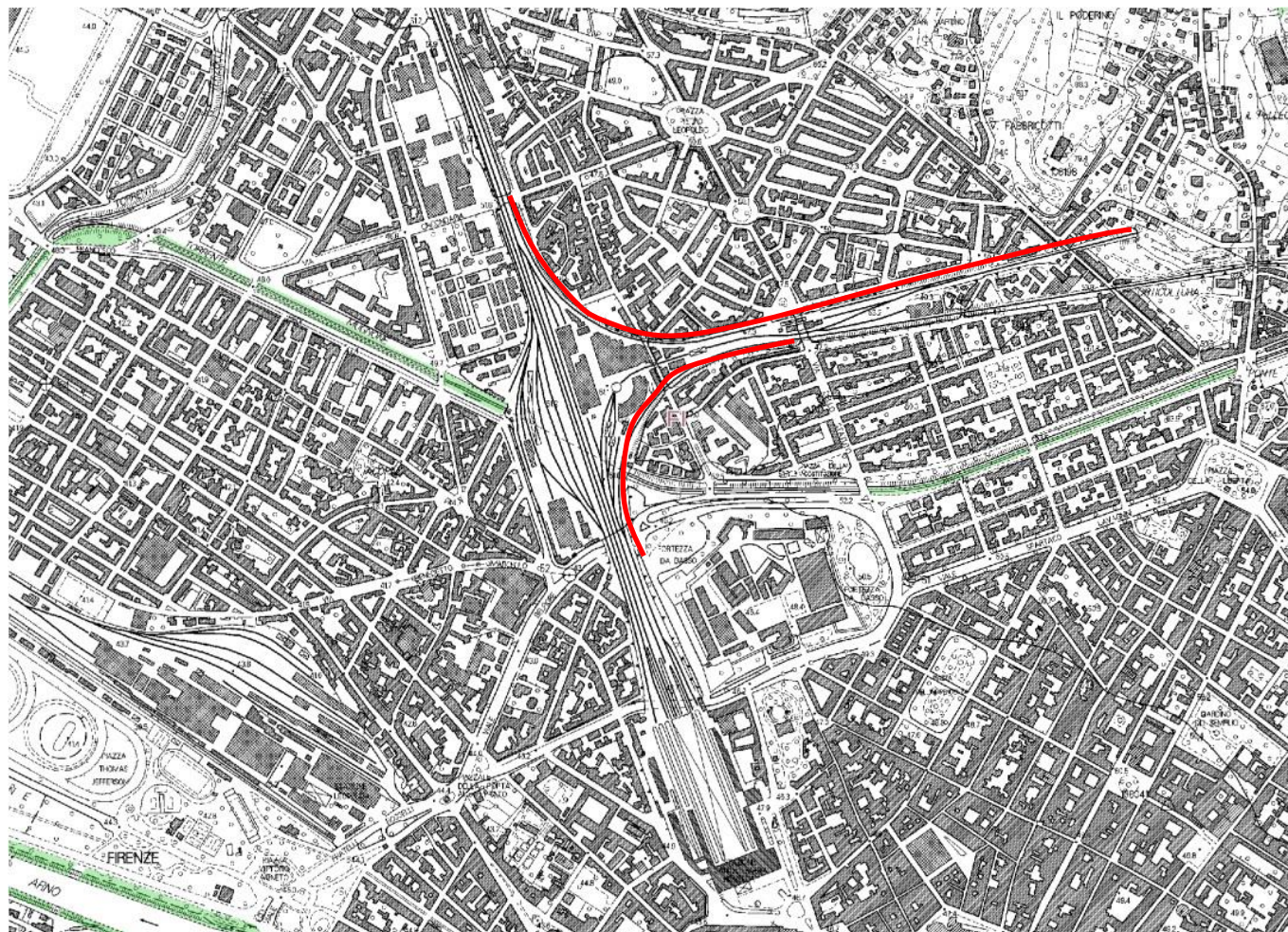
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	16 di 59

5 CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI

5.1 VINCOLO IDROGEOLOGICO E PAESAGGISTICO

Analizzando la cartografia dei vincoli ai sensi del R.D. 3267/1923 (Vincoli per scopi idrogeologici) resa disponibile dal database cartografico della Regione Toscana (Figura 5-1), si evince come l'area di studio non ricada in alcuna fascia soggetta a questa tipologia di vincolo.



Regio Decreto 3267/1923 (Fonte Amministrazioni Provinciali)

R.D. n.3267/1923

Figura 5-1 - Carta dei Vincoli del database cartografico della regione Toscana (Scala 1:10000). In rosso la porzione di tracciato oggetto di risanamento acustico.

5.2 RISCHIO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO

Nell'ambito delle valutazioni circa le caratteristiche geomorfologiche ed idrauliche dell'area in studio è stata analizzata la cartografia tematica del Piano Strutturale ed in particolare:

- La tavola 13e "Vulnerabilità geologica";
- La tavola 13f "Vulnerabilità idraulica";

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C FOGLIO 17 di 59

Nella Tavola della “Vulnerabilità geologica” (Figura 5-3) vengono individuate aree con differenti classi di vulnerabilità dal punto di vista geologico. Si individuano quindi quattro unità principali:

- **G1 (bassa):** aree di pianura in cui sono presenti coltri alluvionali, per lo più di conoide, con grado di addensamento medio-alto e dalle buone a ottime caratteristiche geotecniche ($N_{spt} > 30$);
- **G2 (media):** aree di pianura in cui sono presenti litologie afferibili a depositi alluvionali recenti dalle scadenti o modeste caratteristiche geotecniche, aree di versante in cui sono presenti forme morfologiche e/o morfometriche atte a condizionare la stabilità del pendio, aree collinari con substrato roccioso affiorante;
- **G3 (elevata):** aree che risultano in una condizione al limite dell’equilibrio, ossia non si hanno dati di attività o di dissesti statici e strutturali in atto, includendo tra queste le frange quiescenti, le aree potenzialmente instabili, rilevati, accumuli detritici, aree in erosione generalizzata, cave invasi idrici e piazzali di cava;
- **G4 (molto elevata):** aree che presentano fenomeni di dissesto in atto quali frane attive, aree in soliflusso, cave non in sicurezza e scarpate, alvei e sponde in erosione.

In merito alla vulnerabilità geologica il comune di Firenze comprende poche aree definite come vulnerabili, situate principalmente nella parte nord-est del comune, legate morfologia collinare, soggetta a fenomeni franosi. Sulla base della cartografia dunque il tracciato si trova in aree classificate a vulnerabilità da bassa (G1 a media G2).

Per quanto riguarda la carta della “Vulnerabilità idraulica” (sempre redatta nell’ambito del Piano Strutturale del Comune di Firenze, Figura 5-4), è possibile distinguere quattro aree a vulnerabilità idraulica differente, ovvero:

1. **Bassa:** aree collinari o montane prossime ai corsi d’acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:
 - Non vi siano notizie storiche di inondazioni
 - Siano in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno all’argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.
2. **Media:** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni:
 - Non vi sono notizie storiche di inondazioni;
 - Sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell’argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.
3. **Elevata:** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR < 200$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevate le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:
 - Vi sono notizie storiche di inondazioni;
 - Sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno all’argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.
4. **Molto Elevata:** aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrono contestualmente le seguenti condizioni:

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
	COMUNE DI FIRENZE					
	CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	18 di 59

- Vi siano notizie storiche di inondazioni;
- Siano morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Secondo questa classificazione il tracciato ferroviario oggetto di risanamento acustico risulta adiacente ad ampie aree classificate a vulnerabilità da media a molto elevata, tuttavia il tracciato stesso risulta sempre in classe di vulnerabilità media, essendo posto su rilevato e quindi a quote superiori rispetto alla circostante piana alluvionale soggetta a vulnerabilità maggiore.

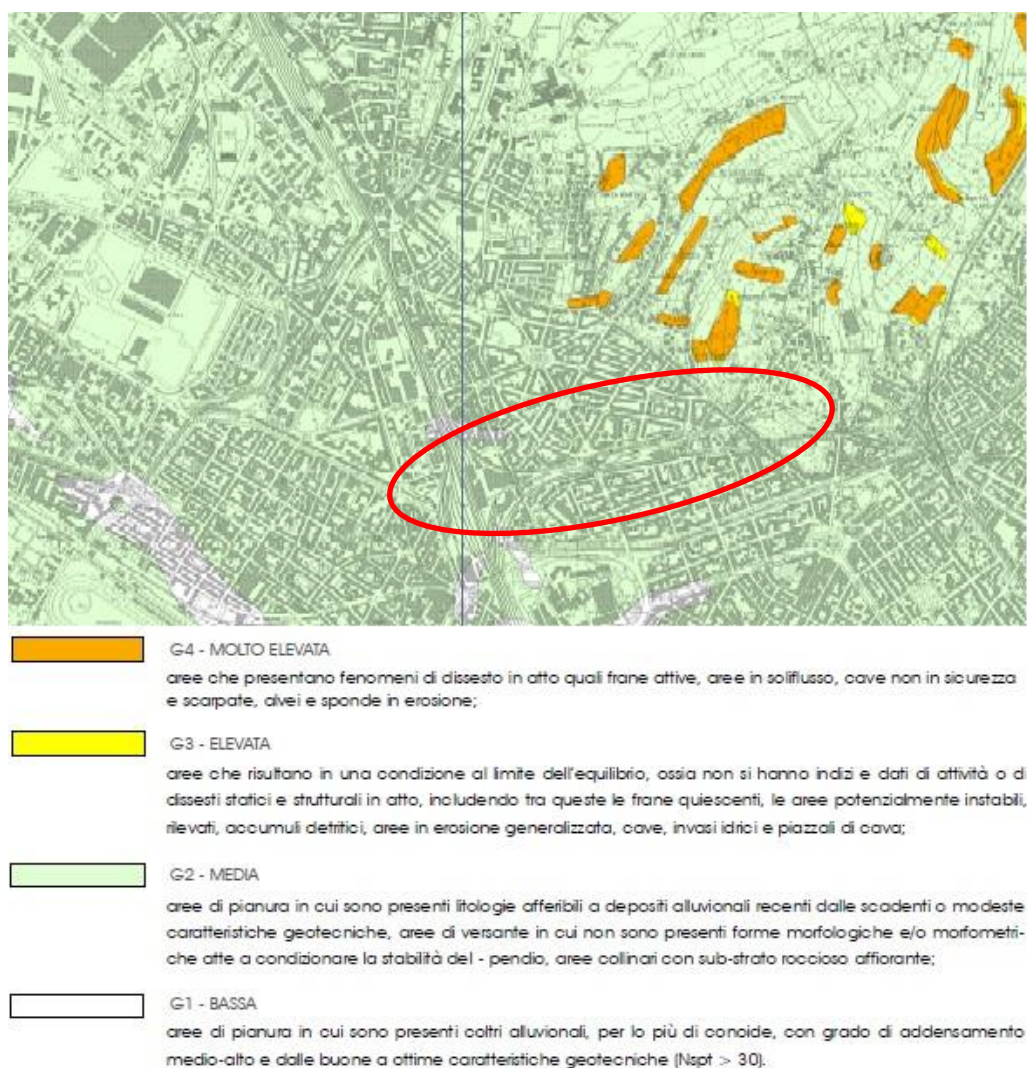


Figura 5-3 - Stralcio della carta “Vulnerabilità geologica” proposta nel Piano Strutturale del Comune di Firenze (Scala 1:10.000). In rosso il tracciato dell’area in esame.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

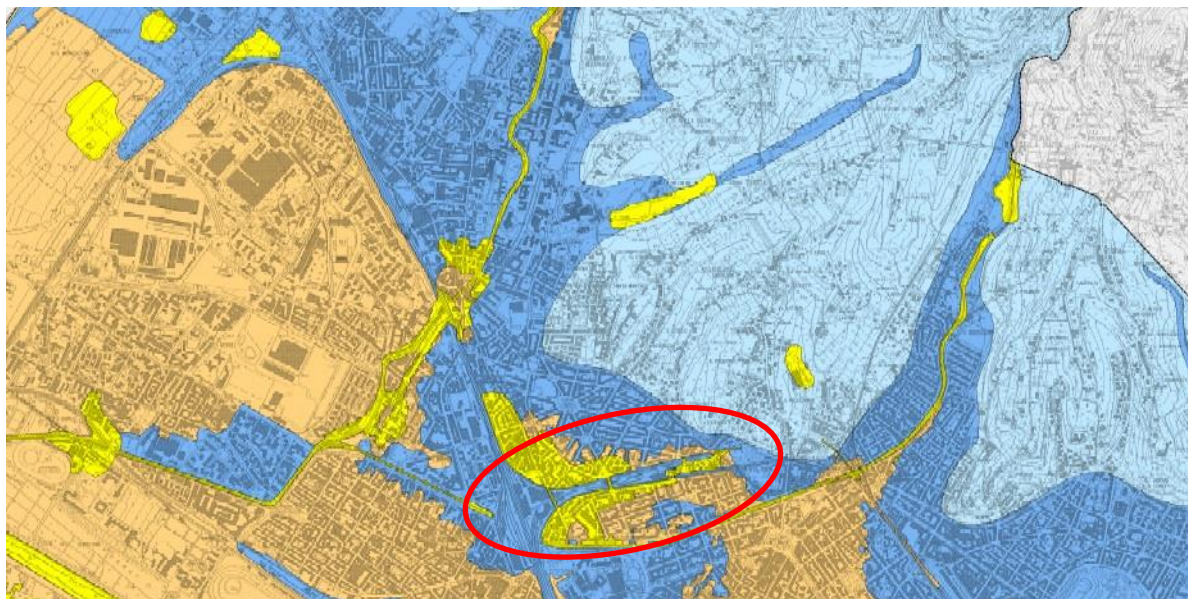
00 D 69

RG

GE0001 001

C

19 di 59



I4 - MOLTO ELEVATA

aree interessate da allagamenti per eventi con $T_r \leq 30$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- a) vi siano notizie storiche di inondazioni;
- b) siano morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

I3 - ELEVATA

aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < T_r < 200$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

I2 - MEDIA

aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < T_r < 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

I1 - BASSA

aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi siano notizie storiche di inondazioni;
- b) siano in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Figura 5-4 - Stralcio della carta "Vulnerabilità idraulica" proposta nel Piano Strutturale del Comune di Firenze (Scala 1:10000). In rosso il in esame.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	20 di 59

5.2.1 Piano Stralcio Assetto Idrogeologico

All'interno della caratterizzazione in termini geomorfologici dell'area è stato preso in considerazione anche il P.A.I. (Piano Stralcio Assetto Idrogeologico) mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. Nello specifico, di seguito si riporta la Carta *on-line* (http://geodataserver.adbarno.it/pmapper/map.phtml?config=PAI_pf10k&resetsession=ALL) della Pericolosità Geomorfologica in scala 1:10.000.

Questo elaborato cartografico, pertanto, fornisce una distribuzione territoriale della mappatura della pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante o da frana. Dall'analisi cartografica l'area non risulta perimetrata come area a pericolosità PF2, PF3, PF4 (Figura 5-5).

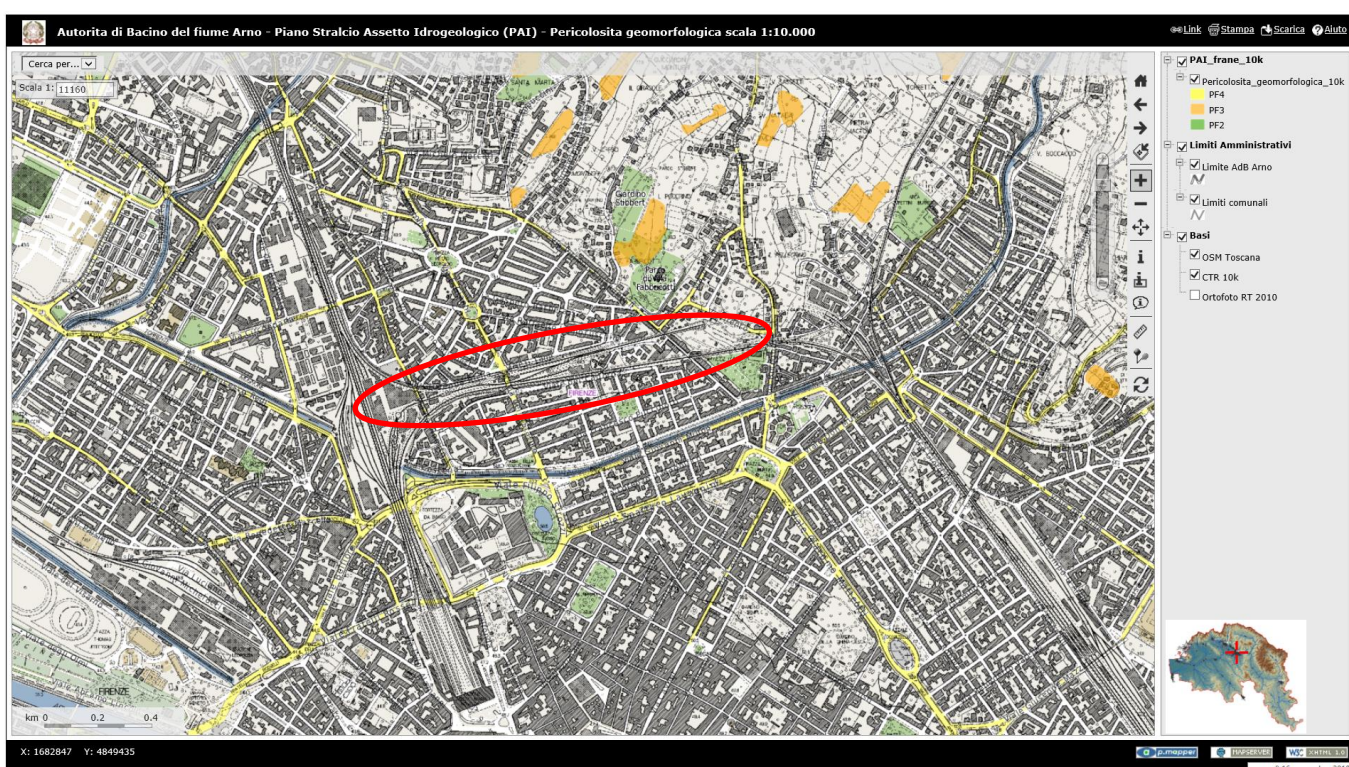


Figura 5-5 - Stralcio della carta on-line dell'Autorità di Bacino del fiume Arno - Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) - Pericolosità geomorfologica scala 1:10.000, . In rosso il in esame.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

6.1 PREMESSA

I dati geognostici a supporto del presente studio, e sulla base dei quali sono state elaborati i profili stratigrafici riportati nell'elaborato "Indagini pregresse – cod. doc D14C 00 D 69 RH GE0001 001 A" derivano sia da:

1. Banca Dati delle indagini Regione Toscana;
2. Esiti delle indagini geognostiche ITALFERR finalizzate alla progettazione definitiva del Passante A.V. di Firenze (Tratta Rifredi-Fortezza) (1997-2001);
3. Esiti delle indagini geognostiche eseguite nell'ambito del piano per la caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/06 per il progetto definitivo di ristrutturazione delle ex-officine motori di Firenze Romito (2007) e per il progetto preliminare di riconversione di alcuni edifici industriali di Firenze Romito ad uso centro direzionale (2014).

Nei paragrafi seguenti si riportano i dettagli relativi alle indagini sopra citate. Le stratigrafie ed i dati di dettaglio vengono riportati nell'elaborato allegato alla presente relazione "Indagini pregresse – cod. doc D14C 00 D 69 RH GE0001 001 A".

6.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE BANCA DATI DELLE INDAGINI REGIONE TOSCANA

In Tabella 6-II, è riportata la profondità dei sondaggi, la quota e le coordinate in Gauss-Boaga recuperati dalla banca dati della Regione Toscana (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geologia.html>).

Tabella 6-I Ubicazione dei sondaggi effettuati da BANCA DATI DELLE INDAGINI REGIONE TOSCANA

SONDAGGI					
SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate Gauss-Boaga	
				E	N
173	15	-	70	-	-
432	50	-	-	-	-
438	36	-	-	168133.6	4850788
804	36	-	53	168133.8	4850781
806	22.5	-	-	-	-
811	14	-	50	-	-
1077	45,8	-	-	-	-
1078	17,4	-	-	-	-
1109	9	-	46	-	-
1160	29.5	-	60	-	-
1258	33	-	-	-	-

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C

6.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE ITALFERR

In Tabella 6-II, è riportata la profondità dei sondaggi effettuati, la data di esecuzione, la quota e le coordinate in Gauss-Boaga relative ai sondaggi eseguiti da parte di ITALFERR per la progettazione del passante A.V. di Firenze tra il 1997 ed il 2001 e nell'ambito dei progetti di ristrutturazione e riconversione dell'area Firenze Romito tra il 2007 ed il 2014.

Tabella 6-II Ubicazione dei sondaggi effettuati da ITALFERR tra il 1997 ed 2014

SONDAGGI					
(progettazione del passante A.V. di Firenze tra il 1997 ed il 2001)					
SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate Gauss-Boaga	
				E	N
S1ECC06	80	20/03/2001	-	-	-
E22	40	20/03/1198	-	-	-
SOEBC011	45	24/05/2000	-	-	-
USOEBN002	50	14/03/2001	49.05	-	-
SOEBG010	50	1/06/2000	-	-	-
E14	40	02/03/1198	-	-	-
SOEBC009	50	12/08/2000	-	-	-
USOEBN005	50	07/02/2000	46.25	-	-
S1ECN003	50	05/04/2001	50.87	-	-
M01	40	19/06/1198	-	-	-
S2EUN001	30	13/07/2001	50.70	-	-
S!UEAN003	40	13/07/2000	-	-	-
SONDAGGI (area Firenze Romito tra il 2007 ed il 2014)					
PZ1	21	31/05/2007	51.28	168073.32	4850665.05
PZ2	20	25/09/2007	51.31	1680696.16	4850622.91
PZ3	20	21/05/2007	51.14	1680658.10	4850612.15
PZ4	21	23/05/2007	51.21	1680650.55	4850653.77
PZ5	22	29/05/2007	-	1680609.95	4850691.74
SS1	14	22/05/2007	-	-	-
SS2	12	21/05/2007	-	-	-
SS3	12	31/05/2007	-	-	-

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

23 di 59

SS4	12	30/05/2007	-	-	-
S1	30	06/08/2014	-	-	-
S2	30	09/10/2014	-	-	-
S3	30	14/10/2014	-	-	-

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C FOGLIO 24 di 59

7 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO

7.1 UNITÀ STRATIGRAFICHE

Sulla base delle informazioni bibliografiche di natura geologica disponibili, e sulla base dei sondaggi bibliografici resi disponibili sia dalla banca dati Italfer che dalla banca dati della Provincia di Firenze, è possibile individuare le seguenti unità stratigrafiche:

- **Materiali di riporto:** materiali di varia natura comprendenti terreni di riporto frammisti a laterizi, calcestruzzo, asfalto.
- **Materiali limoso-argillosi olocenici:** questi materiali sono costituiti dai depositi alluvionali recenti facenti parte del Sintema del fiume Arno, e costituiti principalmente da limi e argille.
- **Materiali ghiaioso-sabbiosi olocenici:** questi materiali sono costituiti dai depositi alluvionali recenti facenti parte del Sintema del Fiume Arno, e costituiti principalmente da ghiaie e sabbie spesso in matrice limoso-argillosa.
- **Materiali argilloso-limosi plio-pleistocenici:** questi materiali sono costituiti dai depositi facenti parte del Sintema del bacino di Firenze-Prato-Pistoia, e costituiti dalle Argille turchine.
- **Materiali limoso argillosi plio-pleistocenici:** questi materiali sono costituiti dai depositi facenti parte del Sintema del bacino di Firenze-Prato-Pistoia, e costituiscono i corpi limoso-argillosi del Paleo Mugnone.
- **Materiali sabbioso ghiaiosi plio-pleistocenici:** questi materiali sono costituiti dai depositi facenti parte del Sintema del bacino di Firenze-Prato-Pistoia, e costituiscono i corpi più grossolani del Paleo Mugnone e le lenti grossolane all'interno delle argille turchine.

7.2 LIVELLI DI FALDA

I dati piezometrici disponibili si riferiscono alle verticali di sondaggio eseguite tra il 2007 ed il 2014 presso l'area di Firenze Romito. Si riportano in Tabella 7-I i valori di falda rilevati.

Tabella 7-I – Livelli di falda rilevata nei sondaggi di Firenze Romito

Sondaggio	Data	Livello falda (m da p.c.)
S1	08/10/2014	11.36
S2	13/10/2014	11.67
S3	15/10/2014	11.48
SS2	21/05/2007	11.80
PZ1	25/05/2007	11.90
PZ2	29/05/2007	11.80
PZ3	23/05/2007	10.80

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C
					FOGLIO 25 di 59	

PZ4	24/05/2007	assente
PZ5	31/05/2007	12.0

7.2.1 Monitoraggio piezometrico

Per la caratterizzazione idrogeologica dell'area di studio e per la valutazione delle escursioni del livello di falda sia nei periodi di morbida sia nei periodi di magra, si riportano, oltre ai dati della Tabella 7-I quelli estrapolati dal portale Italferr SIGMAP – Sistema Informativo Geografico Monitoraggio Ambiente e Progetti.

Nella Tabella 7-II si riportano gli identificativi (ID) dei piezometri utilizzati per il monitoraggio con le rispettive coordinate geografiche piane UTM ED50.

Tabella 7-II – ID piezometri e coordinate geografiche

ID	EST	NORD
PZM_19	680440.58	4850987.74
PZM_A8	680526.08	4850825.208
PZM_A9	680627.461	4850746.297

Per il piezometro **PZM_19** sono stati graficati i valori del livello di falda (m s.l.m.) nel periodo di tempo che va da settembre 2009 a ottobre 2021 (Tabella 7-III e Figura 7-1 – Andamento del livello di falda nel piezometro PZM_19 Figura 7-1).

È stata utilizzata n. 1 lettura per ogni mese considerando, lì dove possibile, un intervallo di 30 giorni tra un dato e l'altro. I valori di picco min e max sono stati registrati nei mesi di ottobre 2009 (38,39 m s.l.m.) e aprile 2013 (40,86 m s.l.m.) come evidenziato in rosso nella Tabella sottostante.

La media dei valori riportati è di 39,89 m s.l.m.

Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.
set-09	38,75	dic-12	40,01	dic-15	39,52	feb-19	39,87
ott-09	38,39	gen-13	40,32	gen-16	39,57	mar-19	39,78
nov-09	38,76	feb-13	40,52	feb-16	39,78	apr-19	39,65
dic-09	39,32	mar-13	40,80	feb-16	39,82	mag-19	39,80
gen-10	39,85	apr-13	40,86	mar-16	40,36	giu-19	39,92
feb-10	40,03	mag-13	40,58	mar-16	40,36	lug-19	39,71
mar-10	40,14	giu-13	40,52	apr-16	40,24	ago-19	39,50
apr-10	40,14	lug-13	40,43	mag-16	40,23	set-19	39,41
mag-10	40,14	ago-13	40,06	giu-16	40,19	ott-19	39,49
giu-10	40,05	set-13	39,70	lug-16	40,00	nov-19	39,86
lug-10	39,94	ott-13	39,72	ago-16	39,75	nov-19	39,90
ago-10	39,75	nov-13	40,03	set-16	39,52	dic-19	40,48

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e
 sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

26 di 59

ott-10	39,89	dic-13	40,13	ott-16	39,57	gen-20	40,55
nov-10	40,20	gen-14	40,00	nov-16	39,88	feb-20	40,35
dic-10	40,65	gen-14	40,01	dic-16	39,95	mar-20	40,35
gen-11	40,66	feb-14	40,76	gen-17	39,82	apr-20	40,20
feb-11	40,39	mar-14	40,79	feb-17	39,69	mag-20	40,15
mar-11	40,30	apr-14	40,54	mar-17	39,92	giu-20	40,16
apr-11	40,23	mag-14	40,31	apr-17	39,82	lug-20	40,05
mag-11	40,06	giu-14	40,13	mag-17	39,81	ago-20	39,77
giu-11	40,27	lug-14	40,00	giu-17	39,65	set-20	39,58
lug-11	40,03	ago-14	39,95	ago-17	39,22	set-20	39,57
ago-11	39,75	set-14	39,83	set-17	39,14	ott-20	39,65
set-11	39,50	ott-14	39,80	ott-17	39,14	nov-20	39,82
ott-11	39,31	nov-14	39,84	nov-17	39,26	dic-20	40,05
nov-11	39,24	dic-14	40,23	dic-17	39,53	gen-21	40,43
dic-11	39,25	dic-14	40,24	gen-18	39,89	feb-21	40,69
gen-12	39,29	gen-15	40,14	feb-18	40,07	mar-21	40,52
feb-12	39,25	feb-15	40,20	mar-18	40,56	apr-21	40,27
mar-12	39,22	mar-15	40,13	apr-18	40,61	mag-21	40,16
apr-12	39,22	apr-15	40,25	mag-18	40,37	giu-21	40,07
mag-12	39,52	mag-15	40,18	giu-18	40,26	lug-21	39,87
giu-12	39,61	giu-15	39,99	lug-18	40,02	ago-21	39,63
lug-12	39,42	lug-15	39,78	ago-18	39,78	set-21	39,42
ago-12	39,18	ago-15	39,57	set-18	39,63	ott-21	39,38
set-12	39,03	set-15	39,45	ott-18	39,55		
ott-12	39,07	ott-15	39,50	dic-18	39,75		
nov-12	39,33	nov-15	39,59	gen-19	39,78		

Tabella 7-III – Valori del livello di falda (m s.l.m.) nel piezometro PZM_19

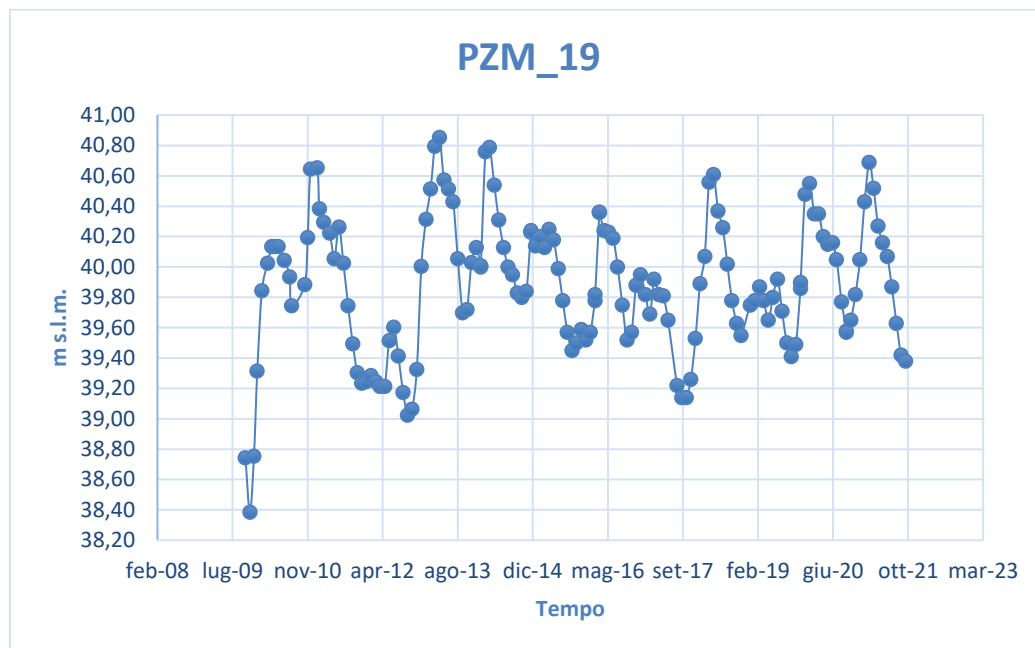


Figura 7-1 – Andamento del livello di falda nel piezometro PZM_19

Per il piezometro **PZM_A8** sono stati graficati i valori del livello di falda (m s.l.m.) nel periodo di tempo che va da novembre 2011 a ottobre 2021 (Tabella 7-IV e Figura 7-2).

È stata utilizzata n. 1 lettura per ogni mese considerando, lì dove possibile, un intervallo di 30 giorni tra un dato e l'altro. I valori di picco min e max sono stati registrati nei mesi di settembre 2017 (38,95 m s.l.m.) e marzo 2013 (41,00 m s.l.m) come evidenziato in rosso nella Tabella sottostante.

La media dei valori riportati è di 39,73 m s.l.m.

Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.
nov-11	39,17	mag-14	40,10	dic-16	39,78	lug-19	39,44
nov-11	39,18	giu-14	39,91	gen-17	39,60	ago-19	39,21
dic-11	39,27	lug-14	39,77	feb-17	39,59	set-19	39,23
gen-12	39,34	ago-14	39,74	mar-17	39,82	ott-19	39,26
feb-12	39,25	set-14	39,68	apr-17	39,59	nov-19	40,07
mar-12	39,24	ott-14	39,66	mag-17	39,57	dic-19	40,49
apr-12	39,33	nov-14	39,99	giu-17	39,42	gen-20	40,26
mag-12	39,55	dic-14	40,05	lug-17	39,19	feb-20	40,10
giu-12	39,62	gen-15	39,94	ago-17	38,98	mar-20	40,11
lug-12	39,36	feb-15	39,89	set-17	38,95	apr-20	39,98
ago-12	39,12	mar-15	40,00	ott-17	38,96	mag-20	40,01
set-12	39,01	apr-15	40,07	nov-17	39,02	giu-20	39,94
ott-12	39,09	mag-15	39,92	dic-17	39,50	lug-20	39,73
nov-12	39,38	giu-15	39,77	gen-18	39,76	ago-20	39,45

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO

D14C

00 D 69

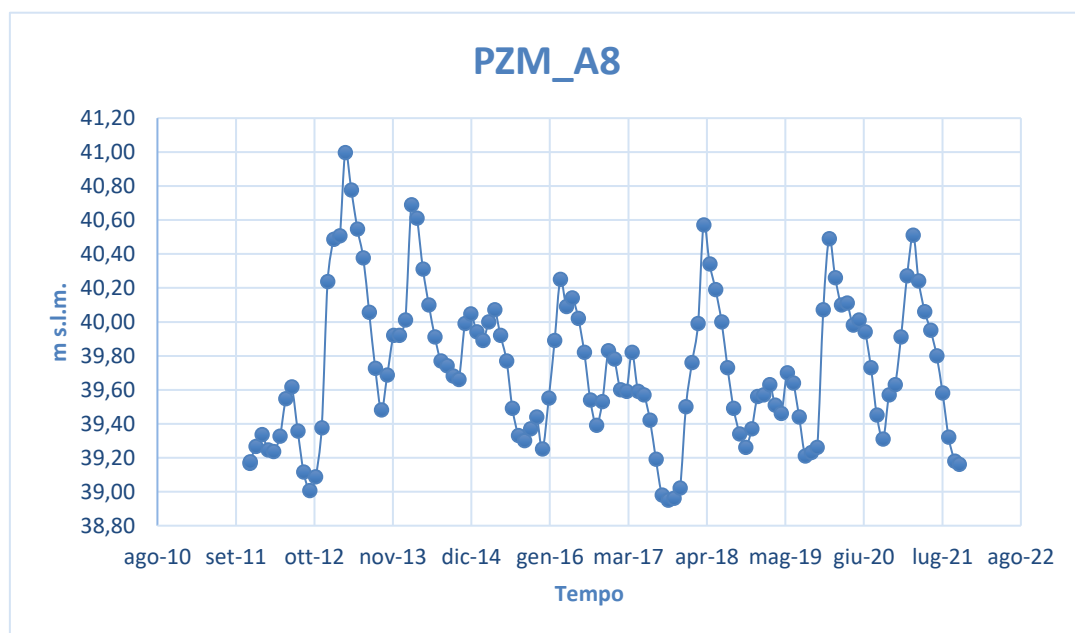
RG

GE0001 001

C

28 di 59

dic-12	40,24	lug-15	39,49	feb-18	39,99	set-20	39,31
gen-13	40,49	ago-15	39,33	mar-18	40,57	ott-20	39,57
feb-13	40,51	set-15	39,30	apr-18	40,34	nov-20	39,63
mar-13	41,00	ott-15	39,37	mag-18	40,19	dic-20	39,91
apr-13	40,78	nov-15	39,44	giu-18	40,00	gen-21	40,27
mag-13	40,55	dic-15	39,25	lug-18	39,73	feb-21	40,51
giu-13	40,38	gen-16	39,55	ago-18	39,49	mar-21	40,24
lug-13	40,06	feb-16	39,89	set-18	39,34	apr-21	40,06
ago-13	39,73	mar-16	40,25	ott-18	39,26	mag-21	39,95
set-13	39,48	apr-16	40,09	nov-18	39,37	giu-21	39,80
ott-13	39,69	mag-16	40,14	dic-18	39,56	lug-21	39,58
nov-13	39,92	giu-16	40,02	gen-19	39,57	ago-21	39,32
dic-13	39,92	lug-16	39,82	feb-19	39,63	set-21	39,18
gen-14	40,01	ago-16	39,54	mar-19	39,51	ott-21	39,16
feb-14	40,69	set-16	39,39	apr-19	39,46		
mar-14	40,61	ott-16	39,53	mag-19	39,70		
apr-14	40,31	nov-16	39,83	giu-19	39,64		

Tabella 7-IV - Valori del livello di falda (m s.l.m.) nel piezometro PZM_A8

Figura 7-2 - Andamento del livello di falda nel piezometro PZM_A8

Per il piezometro **PZM_A9** sono stati graficati i valori del livello di falda (m s.l.m.) nel periodo di tempo che va da novembre 2011 a ottobre 2021 (Tabella 7-V e Figura 7-3).

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

29 di 59

È stata utilizzata n. 1 lettura per ogni mese considerando, lì dove possibile, un intervallo di 30 giorni tra un dato e l'altro. I valori di picco min e max sono stati registrati nei mesi di settembre e ottobre 2017 (39,00 m s.l.m.) e marzo 2013 (41,03 m s.l.m.) come evidenziato in rosso nella Tabella sottostante.

La media dei valori riportati è di 39,79 m s.l.m.

Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.	Tempo	m s.l.m.
nov-11	39,22	giu-14	39,95	dic-16	39,81	lug-19	39,53
dic-11	39,31	lug-14	39,81	gen-17	39,59	ago-19	39,30
gen-12	39,32	ago-14	39,78	feb-17	39,62	set-19	39,30
feb-12	39,28	ago-14	39,76	mar-17	39,87	ott-19	39,34
mar-12	39,25	set-14	39,64	apr-17	39,63	nov-19	40,16
apr-12	39,31	ott-14	39,71	mag-17	39,61	dic-19	40,57
mag-12	39,62	nov-14	40,05	giu-17	39,49	gen-20	40,36
giu-12	39,58	dic-14	40,11	lug-17	39,22	feb-20	40,20
lug-12	39,46	gen-15	40,01	ago-17	39,01	mar-20	40,22
ago-12	39,12	feb-15	39,96	set-17	39,00	apr-20	40,07
set-12	39,02	mar-15	40,07	ott-17	39,00	mag-20	40,11
ott-12	39,10	apr-15	40,14	nov-17	39,11	giu-20	40,03
nov-12	39,43	mag-15	40,01	dic-17	39,54	lug-20	39,83
dic-12	40,26	giu-15	39,85	gen-18	39,79	ago-20	39,56
gen-13	40,53	lug-15	39,62	feb-18	40,05	set-20	39,39
feb-13	40,54	ago-15	39,43	mar-18	40,64	ott-20	39,50
mar-13	41,03	set-15	39,30	apr-18	40,43	nov-20	39,70
apr-13	40,78	ott-15	39,35	mag-18	40,27	dic-20	39,98
mag-13	40,54	nov-15	39,44	giu-18	40,09	gen-21	40,34
giu-13	40,38	dic-15	39,24	lug-18	39,80	feb-21	40,60
lug-13	40,07	gen-16	39,55	ago-18	39,57	mar-21	40,36
ago-13	39,72	feb-16	39,91	set-18	39,41	apr-21	40,12
set-13	39,48	mar-16	40,24	ott-18	39,34	mag-21	40,06
ott-13	39,75	apr-16	40,09	nov-18	39,46	giu-21	39,91
nov-13	39,99	mag-16	40,16	dic-18	39,61	lug-21	39,67
dic-13	39,94	giu-16	40,04	gen-19	39,65	ago-21	39,40
gen-14	40,14	lug-16	39,83	feb-19	39,74	set-21	39,26
feb-14	40,68	ago-16	39,49	mar-19	39,61	ott-21	39,23
mar-14	40,62	set-16	39,44	apr-19	39,56		
apr-14	40,35	ott-16	39,54	mag-19	39,78		
mag-14	40,12	nov-16	39,84	giu-19	39,73		

Tabella 7-V - Valori del livello di falda (m s.l.m.) nel piezometro PZM_A9

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

30 di 59

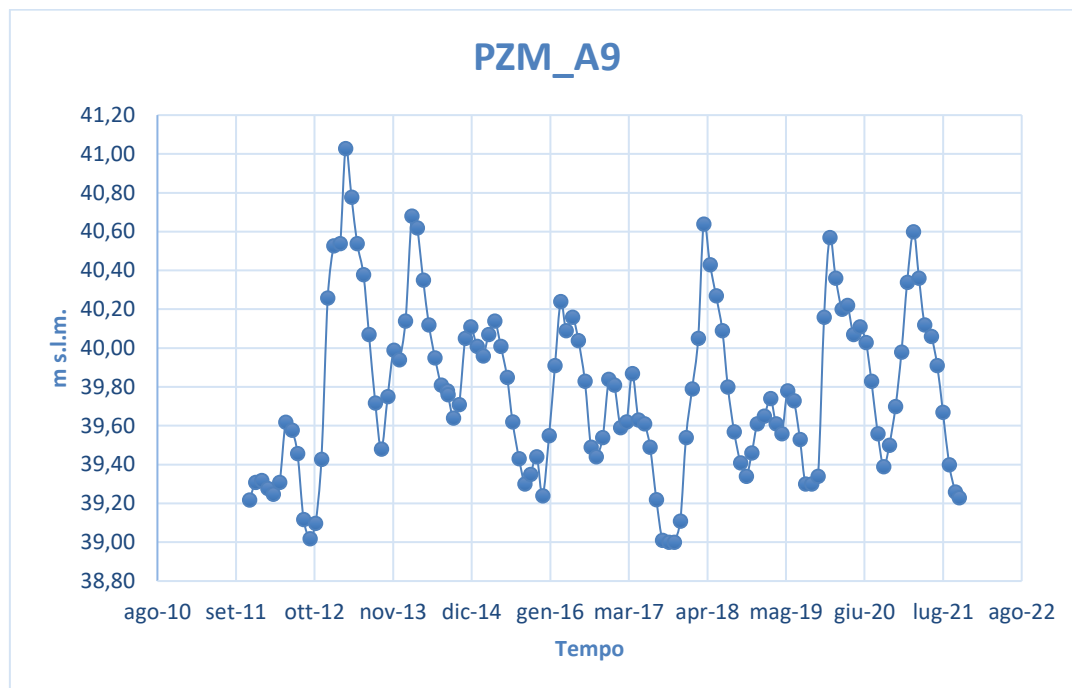


Figura 7-3 - Andamento del livello di falda nel piezometro PZM_A9

Dai dati riportati nel presente paragrafo, relativi ai piezometri PZM_19, PZM_A8 e PZM_9, si rileva un livello di falda posto a circa 40 m s.l.m.

Si fa presente inoltre che per la stessa area la cartografia del comune di Firenze mostra una soggiacenza media di 5 m da p.c.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	31 di 59

8 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO TECNICA DEI TERRENI

8.1 PREMESSA

A partire dall'interpretazione delle indagini in sito disponibili, è stato possibile realizzare il profilo stratigrafico della tratta in progetto, nel quale sono state differenziate le unità stratigrafiche di riferimento. Nel presente paragrafo, in seguito alla descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geologico-tecnica, saranno definiti i parametri di riferimento per ogni unità.

8.2 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

A partire dall'interpretazione delle indagini in sito disponibili, è stato possibile realizzare il profilo stratigrafico della tratta in progetto, nel quale sono state differenziate le unità stratigrafiche di riferimento. Nel presente paragrafo, in seguito alla descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geologico-tecnica, saranno definiti i parametri di riferimento per ogni unità.

8.3 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

La caratterizzazione geologico-tecnica delle unità descritte al paragrafo precedente si basa sulle prove geotecniche in sito realizzate nella campagna di indagini di supporto alla presente fase progettuale, in sintesi:

- sondaggi geognostici;
- prove penetrometriche (SPT);
- prove sismiche tipo Masw.

I criteri adottati per l'interpretazione dei dati a disposizione sono illustrati nei paragrafi seguenti secondo i metodi proposti da Robertson, (Robertson, 1990) e Lunne (Lunne, Robertson, & Powel, 1997).

8.4 MATERIALI A GRANA GROSSA (PREVALEMENTEMENTE SABBIE E GHIAIE)

L'interpretazione delle prove in sito sui materiali a grana grossa è basata sui lavori proposti da Garizio (Garizio, 1997) Jamiolkowski (Jamiolkowski & al., 1988, 2001) Skempton (Skempton, 1986) e Ohta e Goto (Ohta & Goto, 1978). Nel caso in esame i risultati delle prove penetrometriche sono stati utilizzati, tenendo conto della maggiore o minore affidabilità delle correlazioni in funzione della natura del terreno, per indagare:

- Stato di addensamento (D_r);
- Resistenza in terreni incoerenti (ϕ');
- Modulo di Young ;
- Modulo di deformazione a piccole intensità

8.4.1 Densità Relativa (D_r)

Il valore della Densità Relativa per i terreni sabbiosi è determinato in base al valore di N_{spt} basandosi sul metodo di interpretazione di Skempton, 1986:

$$D_r = \left(\frac{1}{A + B \left(\frac{\sigma'_{v0}}{100} \right)} N_{60} \right)^{0.5}$$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 32 di 59

Dove:

- A e B sono delle costanti empiriche, mostrati in 8-I. Per questo caso di studio vengo usati i valori per le sabbie normalconsolidate grossolane;
- σ_{v0}' è lo stress verticale effettivo (kPa) alla profondità dell'esecuzione della prova;
- N60 è il risultato dei colpi equivalente al 60%.
- $K_{0,NC}$, equivalente a 0.5 è il coefficiente di pressione per i terreni normalconsolidati;
- $K_{0,OC}$, equivalente a $0.5(OCR)^{0.5}$ è il coefficiente di pressione dei terreni sovraconsolidati;
- OCR è il rapporto di sovraconsolidazione;
- D_r , Densità Relativa

Per la scelta dei valori dei coefficienti empirici ci si è basati su quanto proposto da Skempton () e mostrati in tabella 8-I.

8-I Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

Soil type	A	B
Normally consolidated fine sands	27.5	27.5
Normally consolidated coarse sands	43.3	21.7
Overconsolidated sands	$27.5 \div 43.3$	$(21.7 \div 27.5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot k_{0,OC}}{1 + 2 \cdot k_{0,NC}}$

8.4.2 Angolo di resistenza al taglio (φ')

L'angolo di resistenza al taglio è calcolato secondo le metodologie proposte da Bolton (Bolton, 1986):

$$\varphi' = \varphi_{cs}' + m \cdot DI$$

$$DI = D_r \cdot [Q \cdot \ln(pf')] - 1$$

dove:

$$\varphi_{cs}' = \text{Angolo di resistenza al taglio allo stato critico} \quad (^\circ)$$

$$Q = 10 \quad (-)$$

$$pf' \approx 1.4 \cdot (\sigma_1' - \sigma_3') \quad (\text{kPa})$$

$$m = \text{coefficiente empirico dipendente dalla modalità di taglio} \quad (^\circ)$$

$$D_r = \text{densità relativa determinata mediante le procedure descritte al paragrafo precedente} \quad (-)$$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 33 di 59

$\sigma_1' =$ Tensione principale massima (kPa)

$\sigma_3' =$ Tensione principale minima (kPa)

$\sigma_2' =$ Tensione principale intermedia (kPa)

8-II Valori del coefficiente empirico – m – secondo Bolton (Bolton, 1986)

Metodologie di taglio	m (°)
Compressione Triassiale ($\sigma_2' = \sigma_3'$)	3
Trazione Triassiale ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$)	5

Per questo lavoro, i parametri m e ϕ_{cs}' sono uguali rispettivamente a 3 e 31°.

8.4.3 Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei materiali a grana grossa sono stati valutati in termini del valore del modulo elastico al 25% del carico di rottura E_{25} secondo (Jamiolkowski & al., 1988):

$$E'_{25} = (3 - D_r) \cdot q_t$$

dove:

D_r	Densità relativa
$q_t = q_c + u_2 \cdot (1 - \alpha)$	Resistenza totale alla punta
q_c	Resistenza alla punta
$\alpha = 0.75$ (presunto)	rapporto di area
u_2	pressione dei pori

8.4.4 Modulo di deformazione a piccole intensità G_0

Nei materiali a grana fine, il modulo di deformazione iniziale (a piccola intensità) è stato valutato sulla base di quanto proposto da Baldi (Baldi, et al., 1989):

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

V_s rappresenta la velocità delle onde di taglio e vengono stimate a partire dal valore di N_{spt} secondo la relazione proposta da Ohta e Goto

$$V_s = C \cdot N_{60}^{0.171} \cdot z^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G$$

Dove:

C =	costante empirica = 67.3;
z =	Profondità dal p.c.;

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C

$f_G =$ costante empirica (Tabella 8-III)

$f_A =$ 1.0 per depositi Olocenici (-)/1.3 per depositi Pleistocenici (-)

f_G	Gravel	Gravelly sand	Coarse sand	Medium sand	Fine sand	Silt & Clay
	1.45	1.15	1.14	1.07	1.09	1.00

Tabella 8-III Valori del coefficiente f_G secondo Ohta e Goto (1987)

8.5 MATERIALI A GRANA FINE (PREVALEMENTEMENTE LIMI E ARGILLE)

Nel caso in esame i risultati delle prove penetrometriche SCPT sono stati utilizzati, tenendo conto della maggiore o minore affidabilità delle correlazioni in funzione della natura del terreno, per indagare:

- Resistenza al taglio non drenata;
- Modulo di deformazione a piccole intensità;

8.5.1 Resistenza al taglio non drenata (c_u)

La resistenza al taglio non drenata C_u dei terreni limoso-argillosi saturi è stata valutata facendo riferimento all'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT, ed è stata determinata a partire dalla formula proposta per le prove in assenza dei valori di U utilizzando dei fattori correttivi, secondo la seguente formula:

$$C_u = (4 \div 6) \cdot N_{60} \text{ (kPa)}$$

Per quanto riguarda la trattazione teorica della determinazione delle caratteristiche di deformazione, queste non vengono mostrate in quanto il procedimento seguito è il medesimo di quello presentato nel paragrafo 8.4.4.

8.6 PARAMETRI GEOLOGICO-TECNICI DI RIFERIMENTO

Nella tabella Tabella 8-IV sono riportati i parametri di riferimento ottenuti dalle interpretazioni dei risultati delle prove SPT condotte sui sondaggi.

Tabella 8-IV Parametri di riferimento per le prove SPT condotte nel Comune di Firenze

Parametri geotecnici depositi Sintema del Fiume Arno									
Unità geotecnica	Descrizione unità geotecnica	Profondità [m dal p.c.]	SPT [bl/m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	ϕ' [°]	C_u [Kpa]	G_0 [Mpa]	E'_{op} [Mpa]
1	Riporto	da 0 a 9	6÷20	19	35÷55	35÷37	-	50÷100	15÷30
2	Deposito argilloso-limoso	da 3 a 9	6÷15	19,9	-	-	35÷85	60÷100	5÷10
3	Deposito Sabbioso-Ghiaioso	da 9 a 15	60÷70	19,4	85÷90	37÷39	-	130÷140	45÷50
Parametri geotecnici depositi Sintema del bacino Firenze-Prato-Pistoia									
Unità geotecnica	Descrizione unità geotecnica	Profondità [m dal p.c.]	SPT [bl/m]	γ [kN/m ³]	Dr [%]	ϕ' [°]	C_u [Kpa]	G_0 [Mpa]	E'_{op} [Mpa]
4	Argille turchine	da 15 a 27	25÷40	20,03	-	-	120÷130	140÷150	45÷50

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 35 di 59

Dall'interpretazione dei dati si è quindi deciso di presentare 4 unità geologico-tecniche, ovvero:

- una prima unità costituita dai materiali di riporto, presenti sulla maggior parte dell'area presa in esame;
- una seconda unità argilloso-limosa posta al di sotto della prima costituente i materiali fini del Sintema dell'Arno;
- una terza unità ghiaioso-sabbiosa posta al di sotto della seconda costituente i materiali grossolani del Sintema dell'Arno
- una quarta unità argillosa posta al di sotto della terza costituente le argille turchine del sintema del bacino di Firenze-Prato-Pistoia.

Per quanto concerne i materiali relativi a quest'ultimo sintema ed afferenti al Paleo-Mugnone (rinvenuti nella porzione più orientale del tracciato in studio), non si hanno a disposizione prove geotecniche a supporto della caratterizzazione; essendo tali materiali prevalentemente costituiti da ghiaie e sabbie con lenti limoso-argillose, a favore di sicurezza si assumono i parametri geotecnici relativi all'unità 2.

Per quanto riguarda i corpi ghiaioso-sabbiosi talvolta presenti all'interno dell'unità geotecnica 4, non costituendo livelli continui, essi vengono trascurati a favore di sicurezza.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 36 di 59

9 SISMICITÀ DELL'AREA

9.1 PREMESSA

Nel seguito si fornisce un inquadramento dell'area interessata dalle opere dal punto di vista della sismicità locale, sulla base dell'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati nel territorio circostante a seguito di terremoti storici.

Per la determinazione delle azioni sismiche di progetto si fa qui diretto riferimento alle indicazioni fornite dall'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018) per ciò che concerne la definizione del periodo di ritorno del terremoto di progetto e dei relativi valori di pericolosità sismica. Sulla base delle indicazioni normative, viene definita l'accelerazione di progetto funzione delle coordinate geografiche e della vita nominale delle opere. Ai sensi delle NTC2018, l'azione sismica deve essere innanzitutto determinata in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1), facendo riferimento alle tabelle in allegato al testo di NTC2018; tali tabelle elencano i valori di accelerazione massima al suolo ed i parametri spettrali in corrispondenza dei punti di una griglia di maglia 5x5 km a coprire il territorio nazionale.

I valori relativi all'area estesa comprendente l'area interessata dal progetto sono mostrati graficamente nella Figura 9-1.

Sulla base dei parametri indicati dalla Norma, i progettisti definiranno successivamente le forme dello spettro di progetto per definite probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento dell'azione sismica (come descritto nei paragrafi seguenti) corrispondenti ai diversi stati limite.

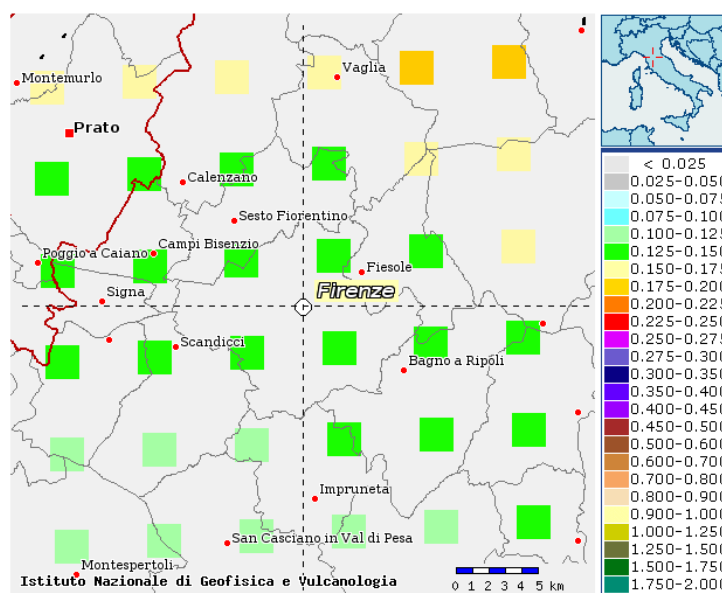


Figura 9-1: Valori di pericolosità sismica nell'intorno dell'area di progetto ($T_R = 475$ anni). da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

9.2 STRUTTURE TETTONICHE E AREE SIMOGENETICHE

La struttura dell'Appennino Settentrionale e Centrale, dove è localizzato il Comune di Firenze, è dominata dalla sovrapposizione di varie unità tettoniche, deformate e scollate, parzialmente o totalmente, dal proprio basamento.

¹ Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 8 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

37 di 59

L'impilamento e la traslazione delle scaglie tettoniche, provenienti dalla deformazione di domini paleogeografici molto diversi, è avvenuto attraverso un lungo processo cominciato nell'Oligocene (cfr. Figura 9-2).

La configurazione attuale dell'Appennino settentrionale è il risultato di una sequenza di intense fasi tettoniche, cominciata nel Miocene superiore in concomitanza con l'apertura del bacino tirrenico, e importanti deformazioni della porzione orientale delle Alpi meridionali. L'Appennino settentrionale comprende una fascia assiale della catena, centrata sullo spartiacque Adriatico-Tirreno, dove l'attività sismica principale è di tipo estensionale (asse di allungamento circa NE-SO). Netamente differente è la deformazione attiva della fascia appenninica esterna (zona padano-adriatica), dove prevale il raccorciamento con direzione variabile (NE-SO ma anche NNO-SSE). Nella fascia interna (tirrenica), comprendente una parte cospicua della Toscana, la sismicità è assai meno intensa rispetto alla parte assiale della catena ed il corrispondente regime di deformazione è quindi meno definibile.

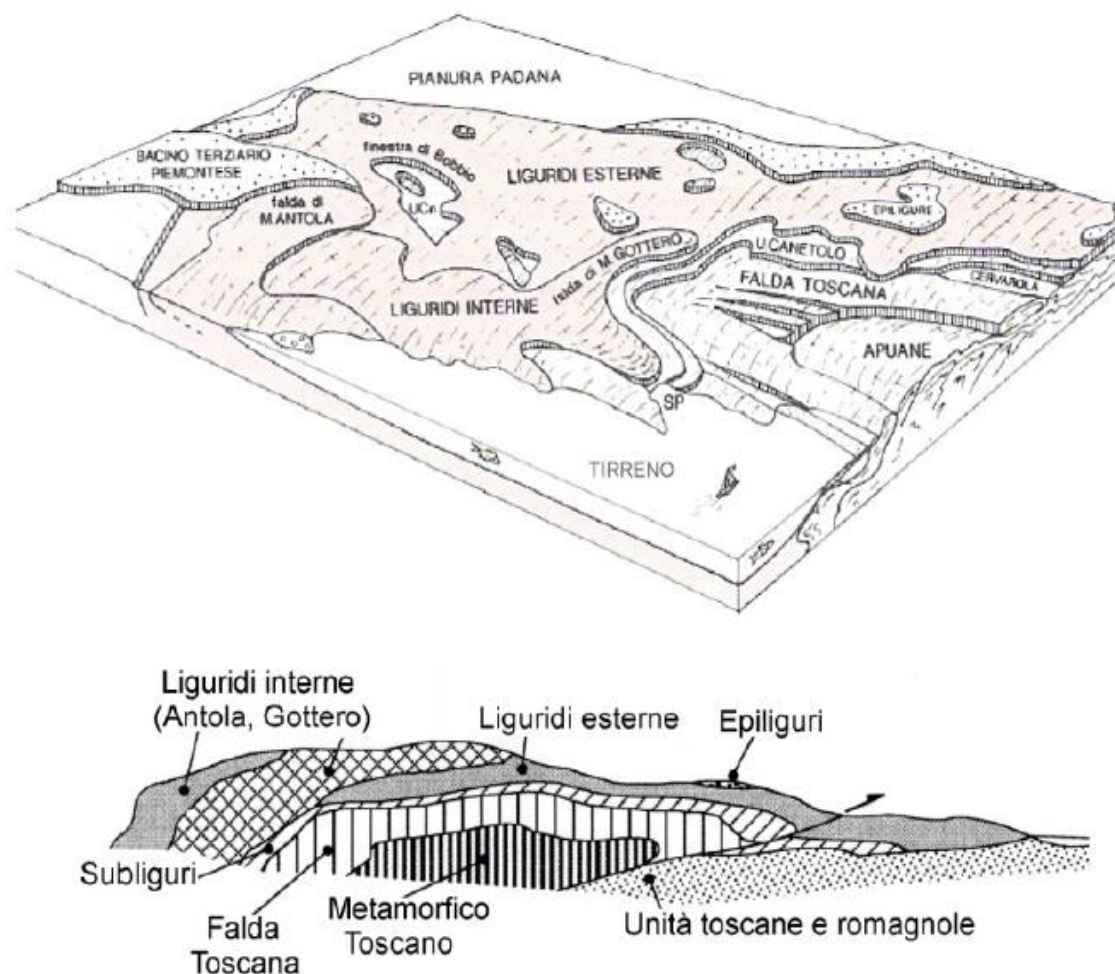


Figura 9-2: Rappresentazione schematica dei rapporti geometrici tra le unità tettoniche che formano l'Appennino settentrionale (da Mantovani et al., 2013). Sopra: vista prospettica del settore di catena compreso tra la finestra tettonica delle Apuane ed il Bacino Terziario Piemontese. SP = La Spezia, UCn = Unità di Canetolo. Sotto: sezione verticale schematica della catena appenninica. La sezione, non in scala, taglia trasversalmente il settore di catena rappresentato nella figura sopra.

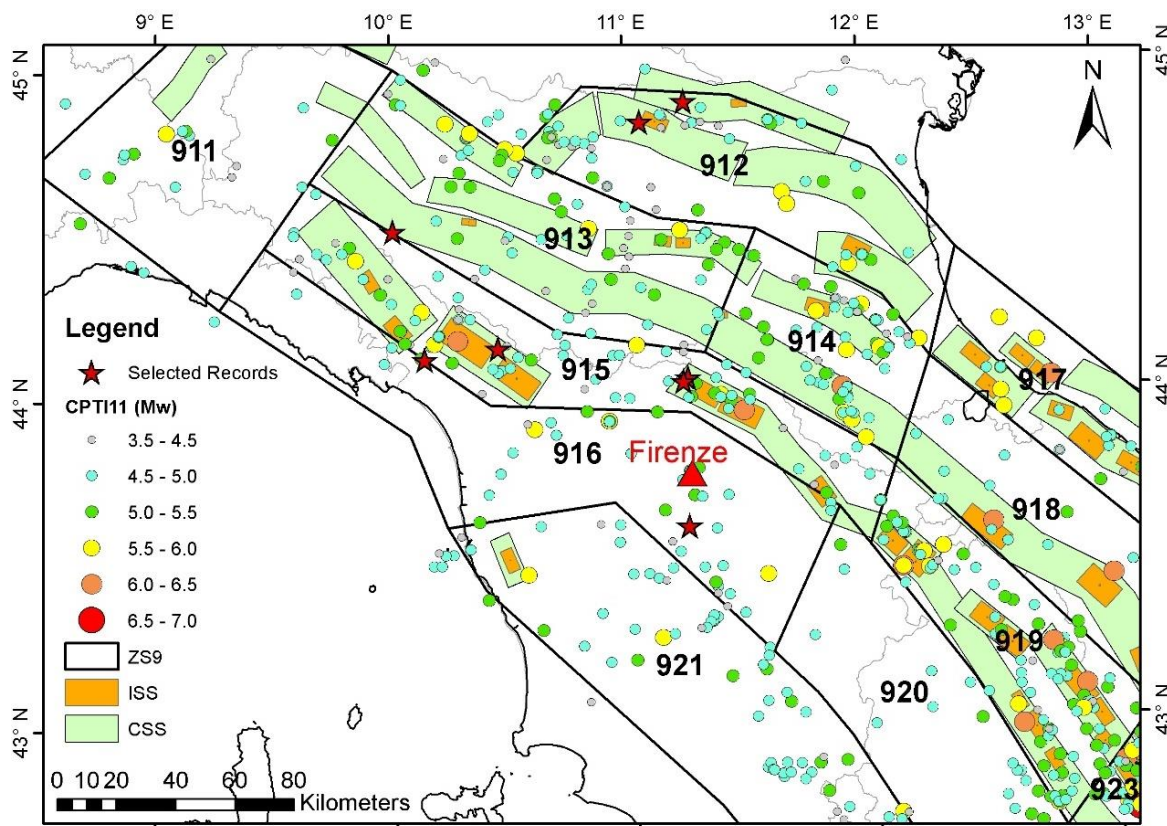


Figura 9-3: Caratterizzazione sismo-tettonica dell'Appennino centro-settentrionale: i poligoni in nero rappresentano i confini delle zone sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i simboli colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI11). I rettangoli arancione rappresentano le faglie individuali (ISS) del modello DISS3, quelli verdi (CSS) i sistemi di faglie composite. Sono indicati con stelle rosse gli eventi di Tabella 9-I.

In termini di attività sismica (prevalentemente storica), la Figura 9-3 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida, 2011) nell'Appennino centro-settentrionale. Gli epicentri sono sovrapposti alle sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano. Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) e sistemi di faglie composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Si osserva come la definizione delle zone sismogenetiche ZS9 corrisponda sia alla distribuzione delle faglie, che a quella degli epicentri dei terremoti e delle loro magnitudo. Il modello di zone sismogenetiche riflette pertanto informazioni sia di natura geologica sia dettate dalla sismicità storica.

La fascia a maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale, corrisponde al settore più interno della catena appenninica generalmente, dove sono presenti importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche. Nel modello ZS9, questa lunga fascia è stata suddivisa in tre zone (ZS915, ZS919 e ZS923) ad includere le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale. Risulta importante, all'interno di questa fascia, la ZS 915, più prossima all'area urbana di Firenze (d≈20km dal sito di progetto), contenente eventi di magnitudo superiori a 6, fra i quali il terremoto della Garfagnana del 1920 (Guidoboni et al., 2007).

La ZS916, dove è situato il comune di Firenze, è caratterizzata da una sismicità di bassa energia, con solo tre eventi di magnitudo MW compresa nell'intervallo 5.6~5.8 (cerchiati in giallo nella Figura 9-3). Questa zona rappresenta una transizione alla distensione peri-tirrenica. Procedendo verso S, la zona ZS920 è pure caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati; la maggiore frequenza di questi eventi in questa zona suggerisce di distinguerla dalla adiacente zona 916.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 39 di 59

Procedendo verso S, la zona ZS921 è caratterizzabile da una sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata.

Più lontano dal sito di interesse, verso N e verso E, troviamo le zone 913, 914 e 918. Estese da Parma fino all'Abruzzo, esse ricadono in una fascia di transizione a carattere misto, ovvero in cui convivono meccanismi diversi (essenzialmente compressivi a NW e distensivi a SE). In questa fascia si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori elevati di magnitudo, con profondità ipocentrali mediamente elevate.

I lineamenti di faglia più vicini al sito di oggetto dello studio (vedi l'estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2 di Figura 9-4) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all'interno dei quali vengono classificate alcune sorgenti individuali (ISS). La faglia più prossima alla zona di Firenze è la ITC037 (Mugello-Città di Castello-Leonessa) che corre per oltre 200 km lungo l'Appennino settentrionale dove è stato localizzato l'epicentro del terremoto del Mugello del 1542 (MW 5.9). Questa sorgente composita è caratterizzata da eventi di modesta magnitudo e, al suo interno, sono evidenziabili la sorgente individuale ITIS087 (Mugello Ovest) generatrice dell'evento del 1542, la ITIS086 (Mugello Est) per la quale il catalogo storico include diversi eventi tra i quali il terremoto distruttivo del Mugello del 1919 (MW 6.3) e, verso S, la sorgente ITIS086 (Poppi).

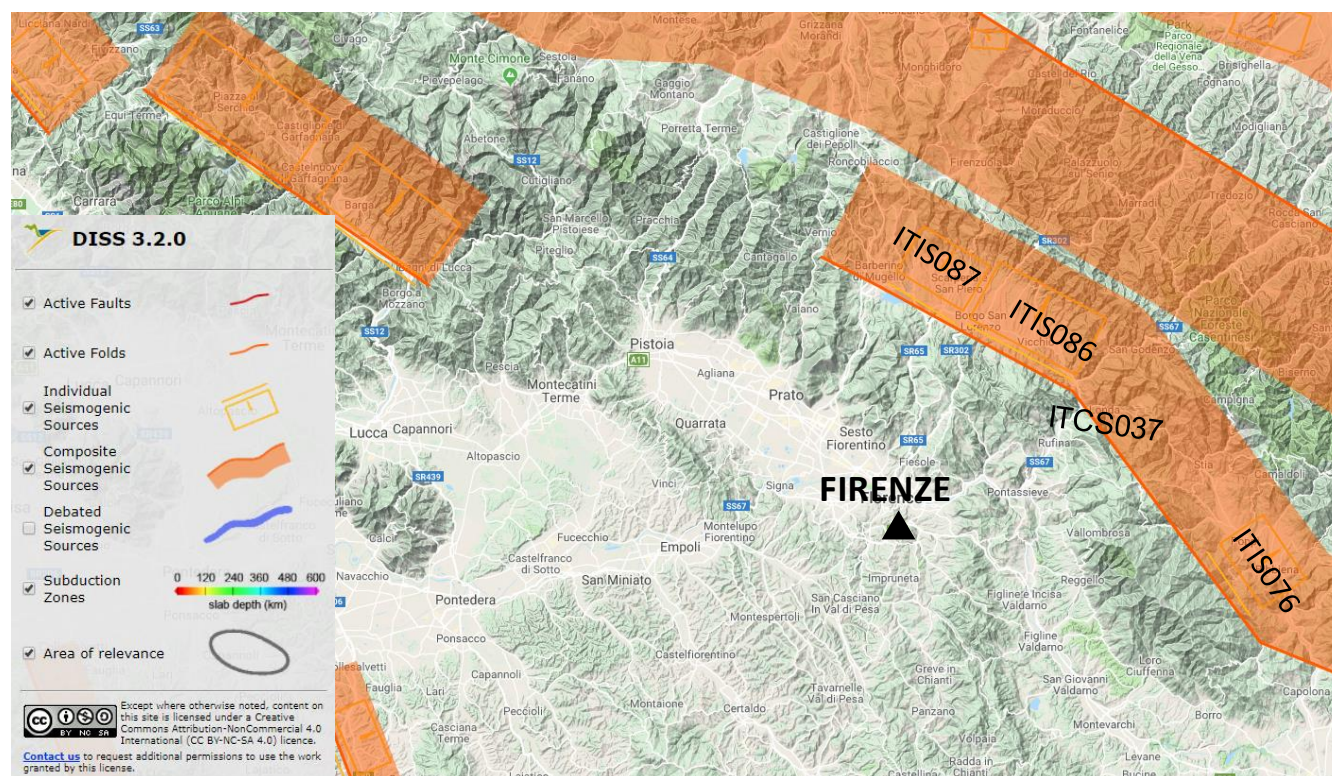


Figura 9-4: Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2) rilevanti per l’area in oggetto.

9.3 SISMICITÀ STORICA

Per avere un quadro temporalmente esteso del livello di sismicità dell’area di progetto, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI11 (Locati et al., 2011), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti dall’anno 1000 (circa) fino al 2004. In Figura

9-5 viene mostrata la storia sismica associata al comune di Firenze in termini di intensità macrosismica mentre, in Tabella 9-I vengono elencati gli eventi caratterizzati da risentimenti a Firenze di intensità superiore al grado 6. Sono documentati alcuni eventi antichi, nel 1148, 1414, e più in particolare nel 1453, che hanno generato nell'area urbana risentimenti macrosismici di grado fino a VII (MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg), affetti peraltro da notevole incertezza sulla severità degli eventi stessi, e legata altresì alla scarsità dei punti ricostruiti sul piano quotato delle intensità.

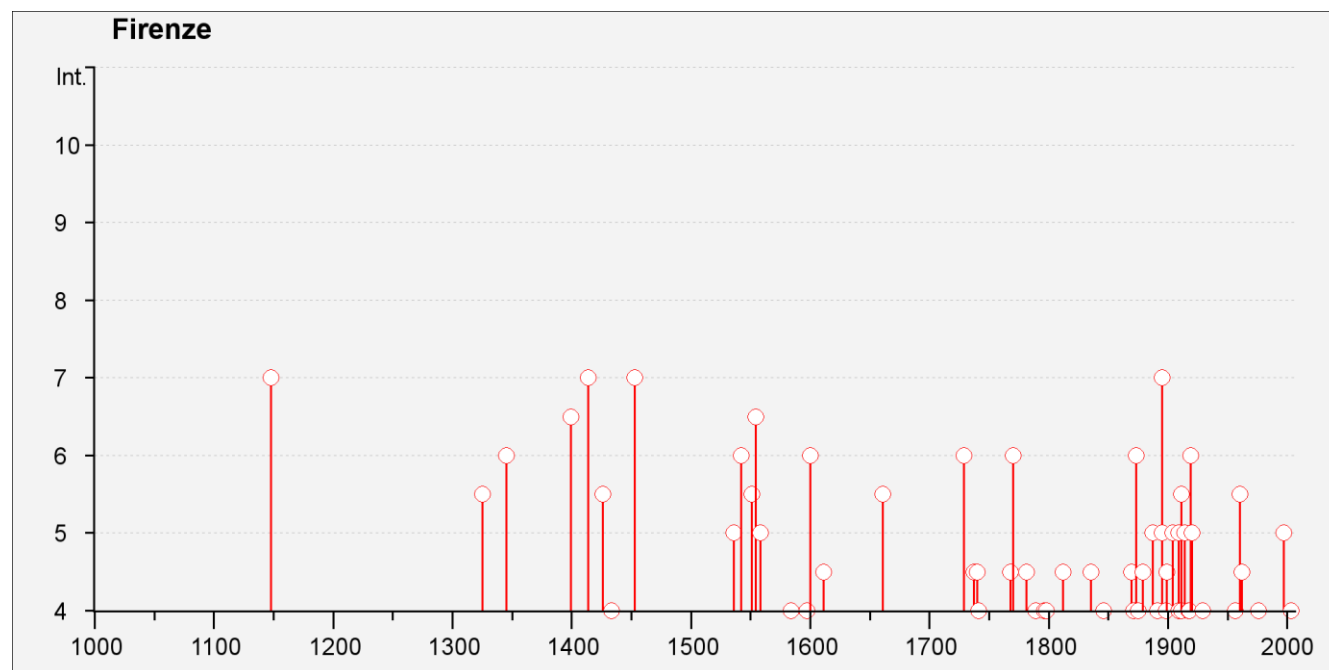


Figura 9-5: Storia sismica del comune di Firenze (dal catalogo DBMI 2011, Locati et al., 2011) in termini di intensità macrosismica (Int) MCS).

Tabella 9-I - Estratto del catalogo DBMI 2011 (Locati et al., 2011). Terremoti che hanno causato i maggiori risentimenti al sito nella storia sismica di Firenze - Is: intensità al sito (MCS) > 6. Mw magnitudo momento.

I (MCS)	Data	Località	M _w
7	1148	Firenze	5.14 ±0.34
6	1345.09.12	Firenze	4.72 ±0.34
6	1345.12.22	Firenze	4.72 ±0.34
6-7	1399.07.20	Modenese	5.14 ±0.34
7	1414.08.07	TOSCANA OCC.	5.61 ±0.67
7	1453.09.28	Firenze	5.30 ±0.71
6	1542.06.13	Mugello	5.94 ±0.21
6-7	1554.11.27	Firenze	4.93 ±0.34

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

41 di 59

I (MCS)	Data	Località	M _w
6	1600.07.06	Firenze	4.72 ±0.34
6	1729.06.23	Casentino	4.87 ±0.94
6	1770.12.27	Valdarno superiore	4.93 ±0.34
6	1873.03.12	Marche meridionali	5.95 ±0.10
7	1895.05.18	Fiorentino	5.43 ±0.08
6	1919.06.29	Mugello	6.29 ±0.09

In epoca più recente, la zona collinare a sud del capoluogo toscano, estesa attraverso il Chianti tra la Val di Greve, la Val di Pesa e la Val d'Elsa, è quella dove si sono verificati i terremoti storici più vicini a Firenze, includendo anche quelli della sequenza più recente del dicembre 2014 (con un evento di magnitudo > 4.0).

Dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Figura 9-6), si evince come nel passato più recente gli eventi più significativi risalgono al periodo fine anni '50/primi anni '60 del secolo scorso: tra questi, il terremoto del 24 marzo 1959 (M_w 4.8) ha avuto epicentro tra Impruneta e Bagno a Ripoli, alle porte di Firenze. Spostato a est, l'evento del 16 settembre 1962 (M_w 4.6) che interessò la zona di Greve in Chianti. Entrambi i terremoti furono avvertiti fortemente e con panico, ma senza danni significativi, a Firenze. Nel catalogo questi eventi appaiono come scosse isolate, e non risultano essere stati registrati né eventi precursori (*foreshocks*) né repliche (*aftershocks*).

Nell'Ottocento è importante il terremoto dell'11 settembre 1812 (M_w 5.2), il cui epicentro sembra ricadere tra Cerbaia, San Casciano Val di Pesa e San Quirico in Collina, e che causò danni diffusi a Poppiano, San Quirico, San Casciano e Cerbaia. A Firenze ancora una volta il sisma fu avvertito fortemente ma senza danni. L'evento fu preceduto 6 ore prima da una scossa forte e seguito da diverse repliche nei giorni successivi.

Il terremoto distruttivo del Mugello, del 29.6. 1919, ampiamente documentato, che causò numerose vittime, e danni distruttivi in un'area abbastanza estesa, fu sentito molto fortemente a Firenze, dove però non causò danni apprezzabili.

Il terremoto più importante per l'area fiorentina, durante gli ultimi 4-5 secoli, è quello del 18 maggio 1895 (M_w 5.4), localizzato più a nord rispetto ai terremoti precedenti; causò danni gravi, crolli e alcune vittime nelle colline a sud di Firenze tra Grassano, Bagno a Ripoli e San Casciano; danni diffusi e ingenti questa volta interessarono anche la stessa Firenze, come descritto più in dettaglio nel prossimo paragrafo. Più indietro nel tempo va segnalato il terremoto di San Casciano Val di Pesa dell'11 giugno 1737 (M_w 4.3).

Nel seguito si forniscono alcuni dettagli storici sul terremoto del 18/5/1895, focalizzando l'attenzione sui risentimenti registrati nell'attuale area centro-urbana di Firenze.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

D14C

LOTTO

00 D 69

CODIFICA

RG

DOCUMENTO

GE0001 001

REV.

C

FOGLIO

42 di 59

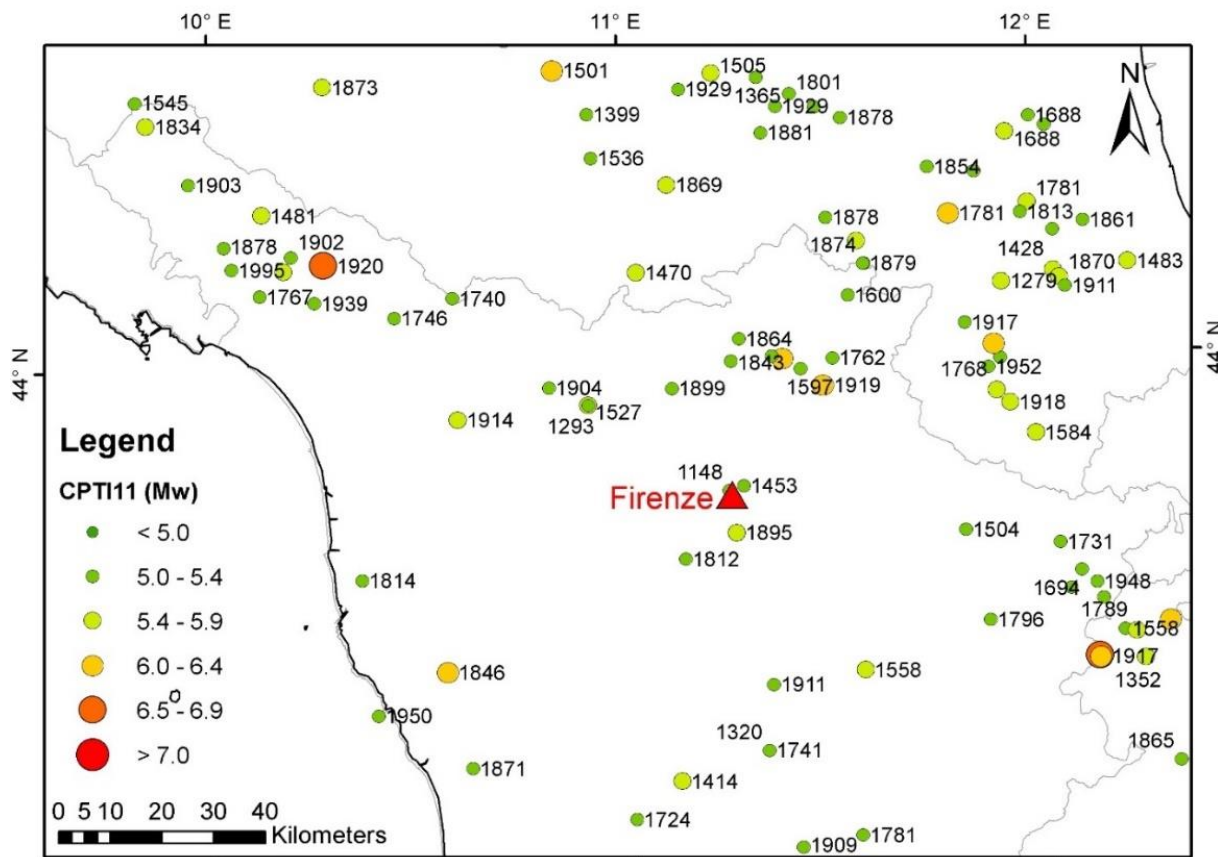


Figura 9-6 – Epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI11).

Terremoto del 18 maggio 1895 ($M_w = 5.4$)

A Firenze i danni causati da questo evento furono molto estesi, ma nel complesso non gravissimi (per una descrizione dettagliata dei danni, si rimanda al libro di E. Cioppi, 1995). Non ci furono grandi distruzioni, ma rimasero più o meno danneggiati quasi tutti i monumenti, le chiese e i palazzi storici, e anche molte opere d'arte in essi conservate: piccoli crolli interessarono Palazzo Pitti e la Galleria degli Uffizi, lesioni rilevanti si aprirono nel Palazzo Medici Riccardi, nel Palazzo Strozzi, nelle volte dei porticati di Piazza SS. Annunziata e di Piazza Cavour (oggi Piazza della Libertà, lungo i viali di circonvallazione). Risultò particolarmente danneggiato il Museo di San Marco, posto nell'omonima chiesa e convento, con cadute di cornicioni e lesioni alle volte e agli archi, soprattutto nel refettorio grande e nella biblioteca. Nel complesso gli effetti a Firenze furono pari al grado 7 della scala MCS e al grado 6-7 della scala EMS98 (Grünthal, 1998).

Nella Cattedrale di Santa Maria del Fiore si aprirono numerose crepe nelle volte e una catena che univa gli archi laterali della navata centrale si spezzò; dalla Cupola del Brunelleschi caddero intonaci e stuccature e la croce posta sulla cuspide della lanterna si piegò verso nord. Il campanile di Giotto ed il vicino Battistero subirono alcune lesioni ma non riportarono danni strutturali.

Successivamente all'evento, circa 100 edifici risultarono inagibili; non vi furono vittime e si contarono solo 6 feriti non gravi (Cioppi, 1995).

La mappa di Figura 9-7, realizzata da Vannucci et al. (2004), riporta una zonazione su base macrosismica dell'area del centro di Firenze elaborata sulla base degli effetti di danno conseguenti al terremoto del 1995. I colori più scuri (dall'arancione al viola) indicano le intensità maggiori, in giallo quelle minori.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

43 di 59

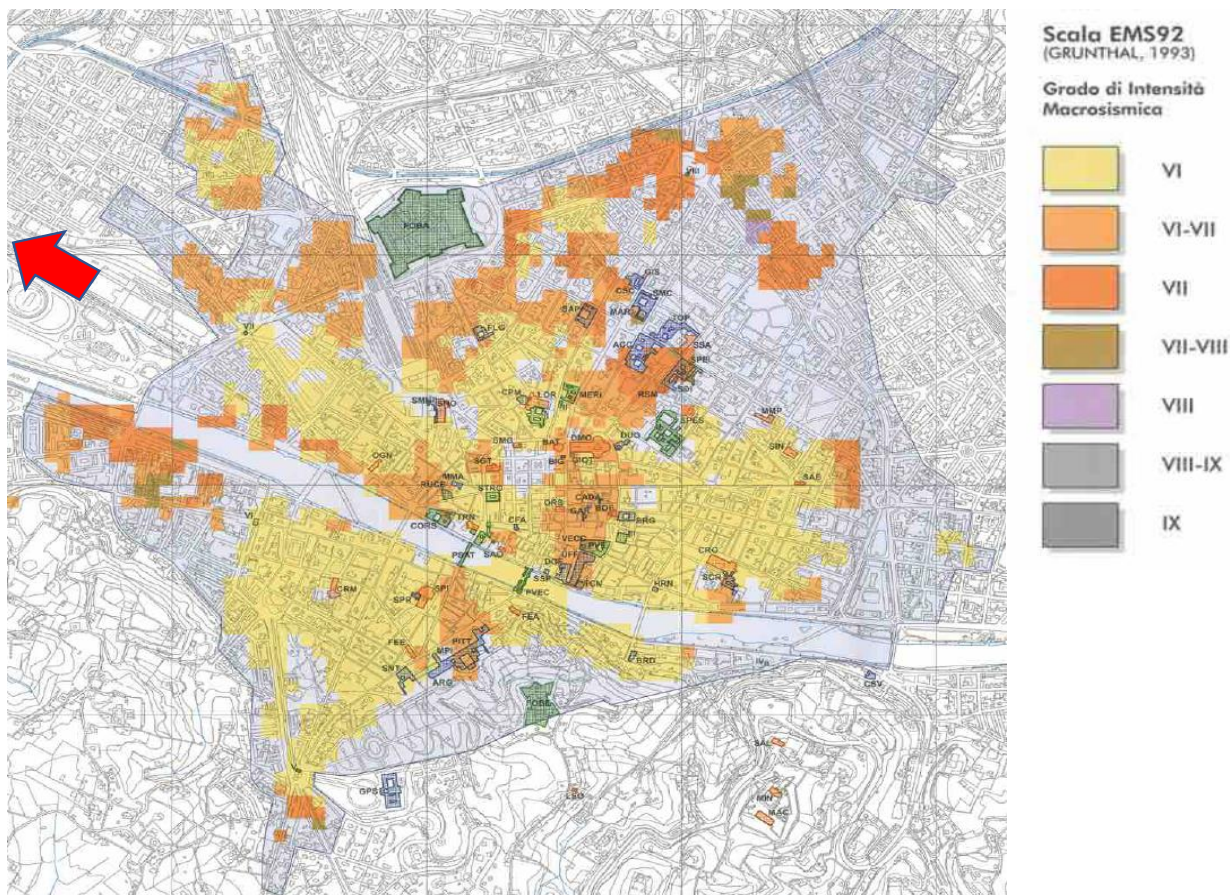


Figura 9-7 – Zonazione su base macrosismica dell’area del centro di Firenze elaborata sulla base degli effetti di danno conseguenti al terremoto del 1995 (da Vannucci et al., 2004). I colori più scuri (dall’arancione al viola) indicano le intensità maggiori, in giallo quelle minori. La freccia rossa indica il sito della Manifattura Tabacchi, collocato a NW poco all’esterno dell’area mappata (verosimilmente in zona non ancora urbanizzata all’epoca del sisma).

9.4 DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La definizione dell’azione sismica di progetto per l’opera segue quanto disposto dalla Norma di riferimento per il progetto, ossia le NTC2018. In particolare, l’azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

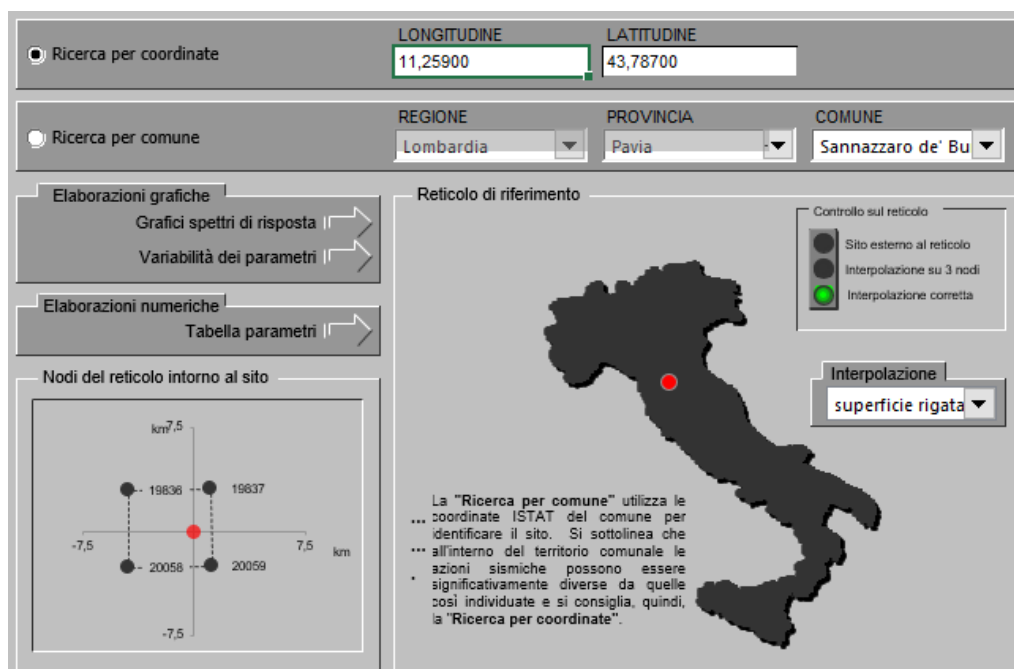
La definizione dell’azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C

In allegato alle NTC 2018 (richiamate dalle NTC 2018) i valori dei suddetti parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori di punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

In Figura 9-8 si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009), in corrispondenza del sito di progetto.



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Figura 9-8 Nodi del reticolo di riferimento in corrispondenza al punto di riferimento. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame (opera ordinaria), ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

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

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame l'opera appartiene ragionevolmente alla Classe d'Uso II, ossia:

“Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 45 di 59

viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti”.

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d'Uso II corrisponde un coefficiente d'uso C_U pari a:

$$C_U = 1.$$

L'azione sismica di verifica delle opere viene quindi definita in relazione ad un periodo di riferimento V_R ottenuto, per ciascun tipo di opera, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

L'azione sismica di progetto va determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R . Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

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

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

$$T_R = - V_R / \ln(1-PVR)$$

I valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite, sono indicati nella seconda colonna di Tabella 9-II.

Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

I valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_{c*} (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per le coordinate del punto di riferimento ed i periodi di ritorno di interesse sono riportati in Tabella 9-II.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 46 di 59

Tabella 9-II Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 50$ anni.

SL	$T_R(\text{anni})$	$a_g (g)$	$F_o (-)$	$T_c^* (s)$
SLO	30	0,047	2,550	0,253
SLD	50	0,057	2,586	0,268
SLV	475	0,132	2,416	0,302
SLC	975	0,168	2,389	0,311

Risposta sismica locale

Le NTC2018 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s), sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

Per quanto riguarda la categoria di sottosuolo, le indagini eseguite per il progetto mostrano che la stratigrafia dell'area è costituita da un'alternanza di depositi di natura alluvionale: in superficie materiali argillosi, che sovrastano uno spessore di materiale ghiaioso, mentre al di sotto si trovano le argille grigio azzurre.

Al fine di valutare il profilo di sottosuolo sono state prese in considerazione le seguenti campagne di indagini geotecniche:

- indagini geotecniche (sondaggi, prove SPT e prove di classificazione di laboratorio) eseguite nell'ambito delle attività di progettazione della Penetrazione Urbana AV in Firenze: tali indagini sono localizzate nella porzione più occidentale del tracciato in esame;
- indagini geotecniche eseguite nell'ambito delle ex Officine Motori di Firenze Romito (sondaggi, prove SPT e prove di classificazione di laboratorio);
- indagini geofisiche di tipo MASW eseguite specificamente per il progetto degli interventi di risanamento acustico, nell'ambito della stazione di Firenze Statuto.

L'insieme dei dati consente di assumere per la definizione delle azioni sismiche di progetto una categoria di sottosuolo B (dalla Tabella 3.2.II-II delle NTC 2018: *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”*).

Il coefficiente S_s si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_s = 1.00 \leq 1.70 \cdot 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50$$

L'area risulta tutto pianeggiante (categoria topografica T1), per cui il coefficiente di amplificazione topografica S_T assume valore 1.

Sulla base di quanto sopra, la Tabella 9-III sintetizza i valori dei due coefficienti S_s e S_T per i 4 stati limite di riferimento.

SL	T _R (anni)	a _g (g)	Fo (-)	Tc* (s)	S _s	S _T	S
SLO	30	0,047	2,550	0,253	1,500	1	1,500
SLD	50	0,057	2,586	0,268	1,500	1	1,500
SLV	475	0,132	2,416	0,302	1,500	1	1,500
SLC	975	0,168	2,389	0,311	1,460	1	1,460

Tabella 9-III Valori dei parametri a_g , F_o , T_c , S_s , S_T , S per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 50$ anni.

Per i fini della presente analisi, risulta di fondamentale importanza la carta del Fattore di Amplificazione FA (parametro assimilabile al coefficiente di amplificazione S da NTC2018), riportata in Figura 8.10. Tale carta è sintetizzata negli elaborati di zonazione sismica del territorio comunale, realizzati nel 2008 da Comune e Università, recepiti nel

Il Piano Strutturale della Città di Firenze di Variante al PS 2010 (2015) ha tra i propri elaborati la Carta del Fattore di Amplificazione Sismica Locale (F.A. Calcolato). Il Fattore di Amplificazione FA costituisce un parametro assimilabile al coefficiente di amplificazione S della NTC2018.

La Figura 9-9 mostra uno stralcio di tale carta per l'area interessata dal progetto: si osserva che i valori del coefficiente FA variano tra 1,3 (estremità orientale del tracciato) e 1,6 (estremità occidentale del tracciato).

Cautelativamente, si assumono i valori della Tabella 9-III per tutte le opere che ricadono nella tratta con $FA < 1,5$, ed il valore $S=1,6$ per le opere poste ad ovest di via del Romito.

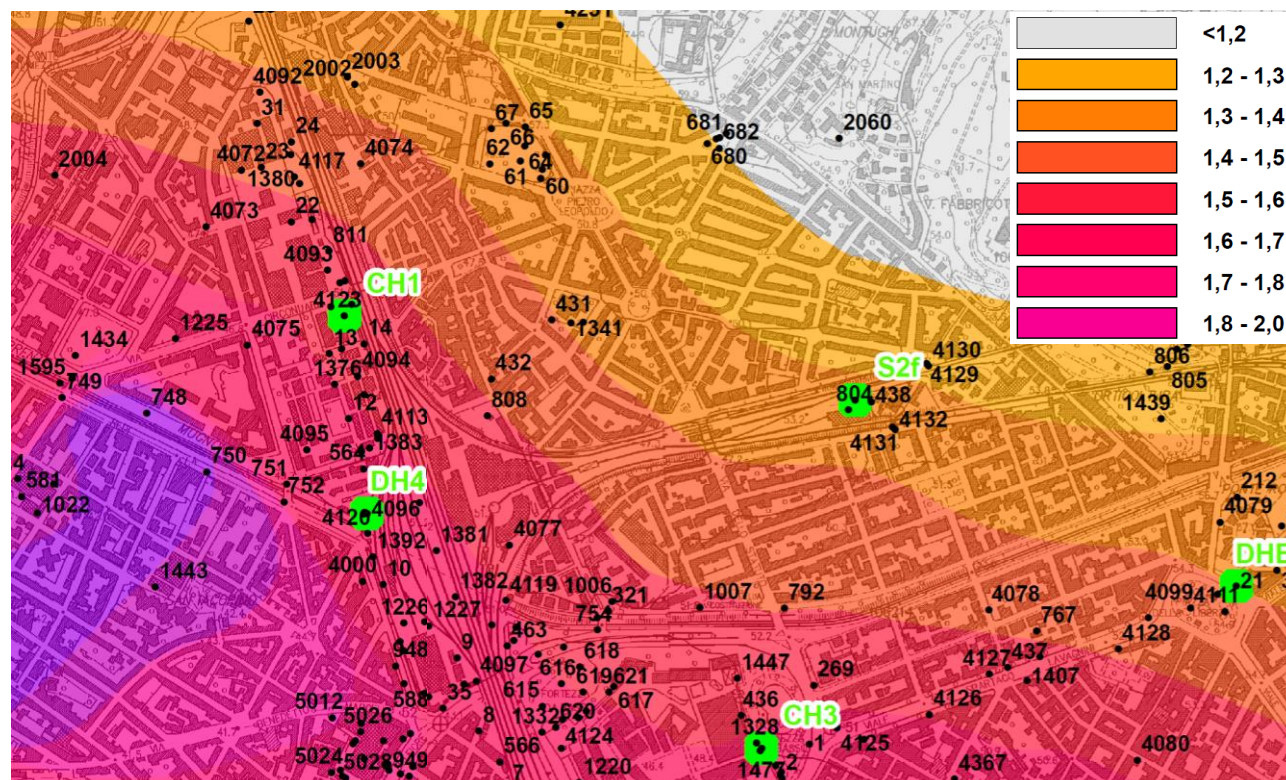


Figura 9-9 Stralcio della Carta del Fattore di Amplificazione Sismica Locale (F.A. Calcolato) del Piano Strutturale della Città di Firenze (2015)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 48 di 59

9.5 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

9.5.1 Criteri di esclusione secondo le NTC2018

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa qualora si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{IN} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{IN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 9-10.

Nel caso in esame, a priori nessuno dei suddetti criteri risulta applicabile, per cui si procede alla verifica a liquefazione.

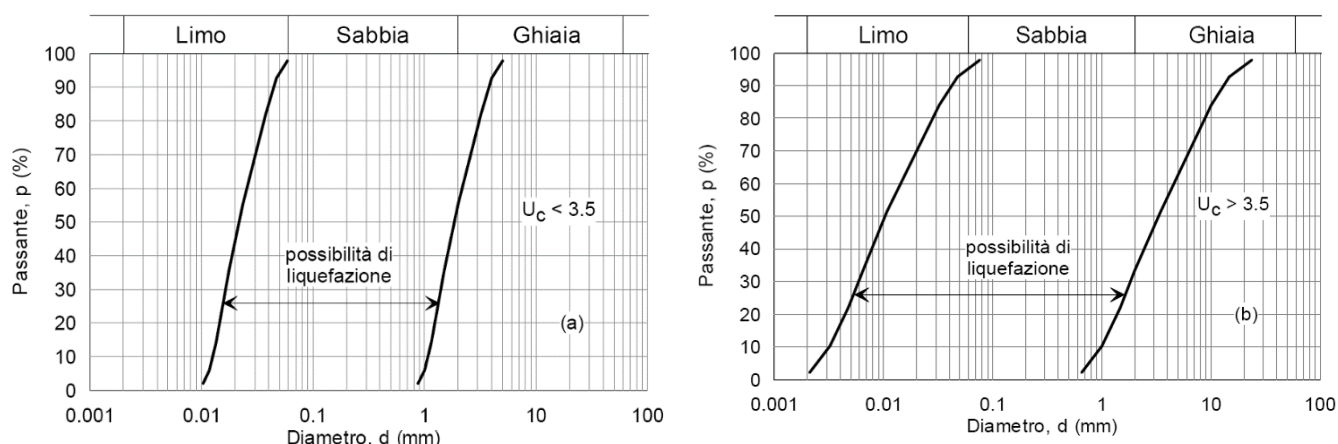


Figura 9-10: Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (a sinistra per $U_c < 3.5$, a destra per $U_c > 3.5$).

9.5.2 Metodo di analisi

La valutazione di suscettibilità alla liquefazione è stata condotta in accordo al “metodo semplificato” originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR) così definiti:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 49 di 59

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un sito a superficie piana durante l'evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore dell'accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco a_{\max} come segue:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{\tau_{\max}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

dove:

a_{\max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

σ_{vo} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

σ'_{vo} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci

r_d coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Blake (Blake, 1996, riportato da Youd et al., 2001):

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2}$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M . Per $M \neq 7.5$ (nel caso in esame $M=6.5$) è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

dove CSR_M e N_M rappresentano i valori di CSR e numero di cicli equivalenti per il valore di magnitudo di progetto, mentre $(CSR)_{M=7.5}$ e $N_{M=7.5}$ sono riferiti all'evento con $M=7.5$.

Nel presente studio è stato identificato un valore di $MSF = 2,3$ per $M = 5.5$ (vedere paragrafo 9.5.3 per la valutazione della magnitudo di riferimento) in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8 Parte 5, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004).

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlino la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT. Il procedimento qui utilizzato si basa sulla relazione riportata in Figura 9-11, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 9-11, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 50 di 59

dove:

C_N = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo C_N . Nel presente studio è stata applicata la relazione proposta da Liao e Whitman (1986):

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \leq 1.7$$

in cui P_a è la pressione atmosferica, pari a 100kPa, e σ'_{v0} è la tensione verticale in sito, in termini di sforzi efficaci.

C_E = coefficiente correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente:

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del meglio all'attrezzo campionatore, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.

I coefficienti C_B (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), C_R (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e C_S (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionatore) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sempre in Figura 9-11, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi sismici avvenuti in passato, con Magnitudo pari $M=7.5$. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

Le curve sono valide per eventi sismici di magnitudo pari a 7.5, per cui è necessario introdurre un fattore di scala (MSF) per adattare le curve di CRR alla magnitudo di riferimento per il caso in esame, come indicato in precedenza.

Si può osservare dalla Figura 9-11 come siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

D14C

LOTTO

00 D 69

CODIFICA

RG

DOCUMENTO

GE0001 001

REV.

C

FOGLIO

51 di 59

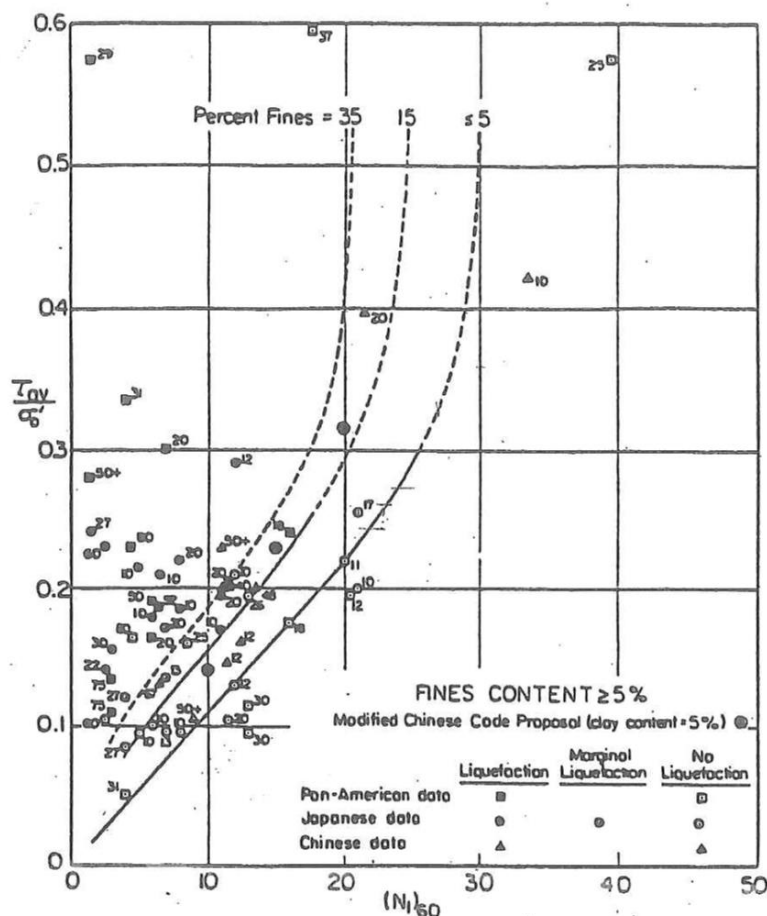


Figura 9-11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985)

La curva di riferimento per sabbie pulite è descritta dalla seguente equazione (Rauch, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

L'equazione è valida per $N_{1(60)} < 30$. Nel caso in cui sia $N_{1(60)} \geq 30$, le sabbie pulite sono classificate come non liquefacibili, a causa della loro elevata densità.

L'equazione che segue (Idriss e Seed, come riportato da Youd et al. 2001) viene utilizzata per la correzione di valori di $N_{1(60)}$ ai valori corrispondenti per sabbia pulita $N_{1(60)cs}$:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60}$$

In cui:

$$\alpha = 0 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/FC^2)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \text{ per } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \text{ per } FC < 5\%$$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 52 di 59

$$\beta = [0.99 + (FC1.5/1000)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \text{ per } FC \geq 35\%$$

La resistenza alla liquefazione aumenta meno che proporzionalmente al crescere della tensione di confinamento. Una rappresentazione di tale relazione è stata proposta da Hynes e Olsen (1999) e riportata da Youd et al. (2001), elaborata sulla base dei risultati di prove cicliche in laboratorio. In particolare, gli autori raccomandano di utilizzare il seguente coefficiente di correzione:

$$k_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{(f-1)} \leq 1$$

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

f = fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.

In accordo a Youd et al. (2001) il fattore “f” si può stimare come segue, sia per sabbie pulite o limose e per ghiaie:

- $40\% < DR < 60\%$ $f = 0.7 \div 0.8$
- $60\% < DR < 80\%$ $f = 0.6 \div 0.7$

Pertanto, per ogni prova SPT dove non è disponibile il relativo contenuto di fini è stato ipotizzato conservativamente un valore di contenuto di fini ritenuto rappresentativo e pari al 5% per i materiali sabbiosi-ghiaiosi, mentre per i terreni argillosi è stato ipotizzato un contenuto di fini pari al 60%, in accordo alle prove granulometriche disponibili.

In accordo a Youd et al. (2001) il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione vale:

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_{\sigma}$$

9.5.3 Dati di base per le analisi di liquefazione

I dati di base per le analisi di liquefazione comprendono:

- le condizioni idrogeologiche del sito, ovvero la soggiacenza minima della falda.
- la sismicità del sito di progetto, definita in termini di accelerazione massima a_{max} e magnitudo;
- la stratigrafia del sito, e la caratterizzazione geotecnica dei singoli strati.

Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche del sito, cautelativamente si è assunto un valore di soggiacenza minima della falda di 5 m da piano campagna.

Per quanto riguarda la sismicità di riferimento, dalle analisi di cui al paragrafo 9.4 si deduce un valore di $a_{max}=0,21$ g in corrispondenza dello stato limite SLV, per un tempo di ritorno di 475 anni.

La seguente Figura 9-12 illustra l'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2018, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1. I valori medi dell'analisi di disaggregazione sono magnitudo 4.9 e distanza 12.3 km.

Cautelativamente, dal momento che il contributo percentuale alla pericolosità da parte di terremoti con magnitudo compresa tra 5,0 e 5,5 è superiore al 5%, si assumerà per le analisi di verifica del rischio di liquefazione un valore di magnitudo $M = 5,5$.

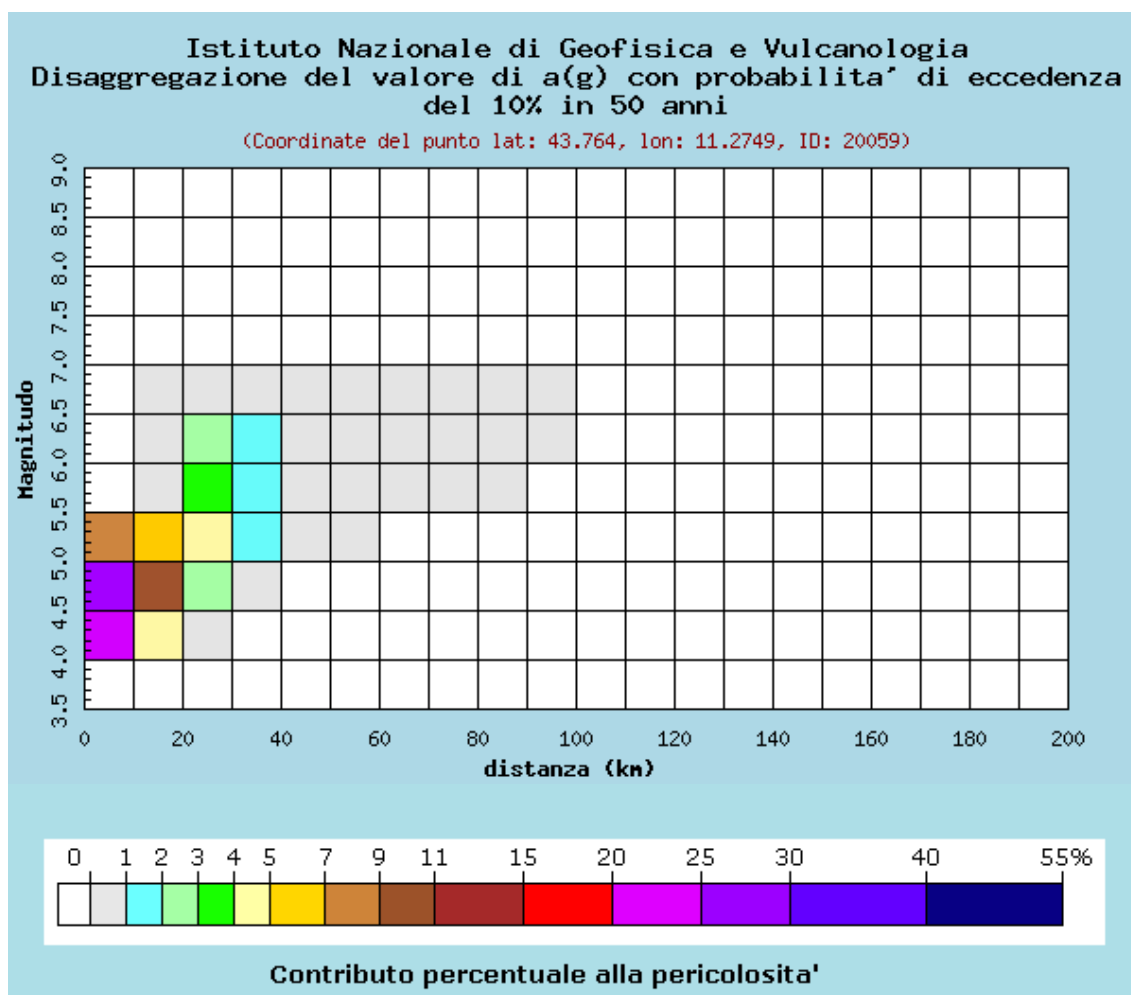


Figura 9-12: Analisi di disaggregazione del dato di pericolosit  per il punto di griglia 20059 per $T_R = 475$ anni, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>).

Per quanto riguarda la caratterizzazione stratigrafica dei siti di progetto sono stati impiegati i risultati delle prove SPT e delle prove di classificazione eseguite per il progetto della Penetrazione Urbana AV e per il progetto degli interventi nell'ambito dell'ex Officina Motori del Romito.

Le seguenti Tabella 9-IV e Tabella 9-V sintetizzano i risultati delle prove SPT nei vari sondaggi.

Le seguenti Figura 9-13 e Figura 9-14 mostrano i risultati delle analisi di classificazione granulometrica svolte sui campioni prelevati nei sondaggi: sono stati suddivisi i campioni prelevati a profondit  minori di 15 m e quelli a profondit  maggiori di 15 m. A parte singoli campioni, si osserva infatti una significativa differenza tra le relative curve granulometriche, con i campioni pi  profondi caratterizzati da un contenuto di fini decisamente pi  elevato. A conferma di tale considerazione, nella seguente Figura 9-15   rappresentato l'andamento con la profondit  del contenuto di fini dei campioni sottoposti ad analisi di laboratorio.

Dall'analisi dei grafici relativi alle curve granulometriche ed al contenuto di fini   stato possibile assumere una stratigrafia di riferimento per le analisi di liquefazione, con la seguente suddivisione:

- da 0 a 5 m da piano campagna: CF = 15%

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 54 di 59

- da 5 a 15 m da piano campagna: CF = 10%
- da 15 a 30 m da piano campagna: CF = 55%

I valori assunti alle diverse profondità sono i minimi riscontrati nell'ambito delle analisi di laboratorio.

Tabella 9-IV Risultati delle indagini SPT eseguite per la progettazione della penetrazione urbana della linea AV.

Sondaggio	Profondità da p.c.	N _{SPT}	Litologia
S1ECC006	4,3	25	LA
	8	32	GH
	11,5	37	GH/LA
E22	5,3	31	GH
	10,8	35	GH
	16,8	29	LA
	21,8	36	AL
	30,3	51	LA
S0EBC011	4,4	7	GH/LS
	8,5	20	GH
	21,3	40	AL
US0EBN002	7,5	27	GH
	11,3	22	GH
S0EBG010	3,3	18	GH
	6,3	23	GH/S
	10,3	32	GH/S
	27,3	31	LS
	34,3	50	GH/AL
	44,6	32	GH/LA
E14	4,9	32	GH/S
	7,8	16	GH/S
	10,6	30	GH
	16,4	37	AL
S0EBG009	3,3	56	GH
	6,3	31	GH
	11	33	GH
US0EBN005	3,2	73	GH
	5,2	73	GH
	8,2	61	GH
	11,2	64	GH
S1ECN003	3,2	15	L
	6,2	19	L
	9,6	39	GH/S

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

55 di 59

Sondaggio	Profondità da p.c.	N _{SPT}	Litologia
	12,2	54	GHS
	15,9	61	GHS
S1ECN004	7,2	11	LA
	10,2	45	GH
	13,2	40	GHS
M01	9,3	29	GH
	12,3	41	GH
	18,3	28	LA
S2EUN001	3,2	6	LA
	6,5	12	LA
	9,2	31	GH
	15,2	50	GHS
	18,2	41	GHS
S1UEAN003	3,8	22	LA
	7,8	68	GH
	12,8	19	GHS

Tabella 9-V Risultati delle indagini SPT eseguite per la progettazione degli interventi nell'ambito dell'ex Officina Motori di Firenze Romito.

Sondaggio	Profondità da p.c.	N _{SPT}	Litologia
S1 - Romito	3	7	Riporto GH-L
	6	21	Riporto GH-S
	12,5	58	GH
	16	72	GH
	19,5	25	AL
	27	41	A
S2 - Romito	3	8	AL
	6	17	AL
	9	21	GHS
	12	59	GHS
	15	69	GHS
	22,5	26	AL
	29,4	86	GH
S3 - Romito	3	9	GHAL
	6	7	LA
	10	22	AL
	13	63	GH
	15	39	GH
	16,5	46	GH
	18	59	GH

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

D14C

LOTTO

00 D 69

CODIFICA

RG

DOCUMENTO

GE0001 001

REV.

C

FOGLIO

56 di 59

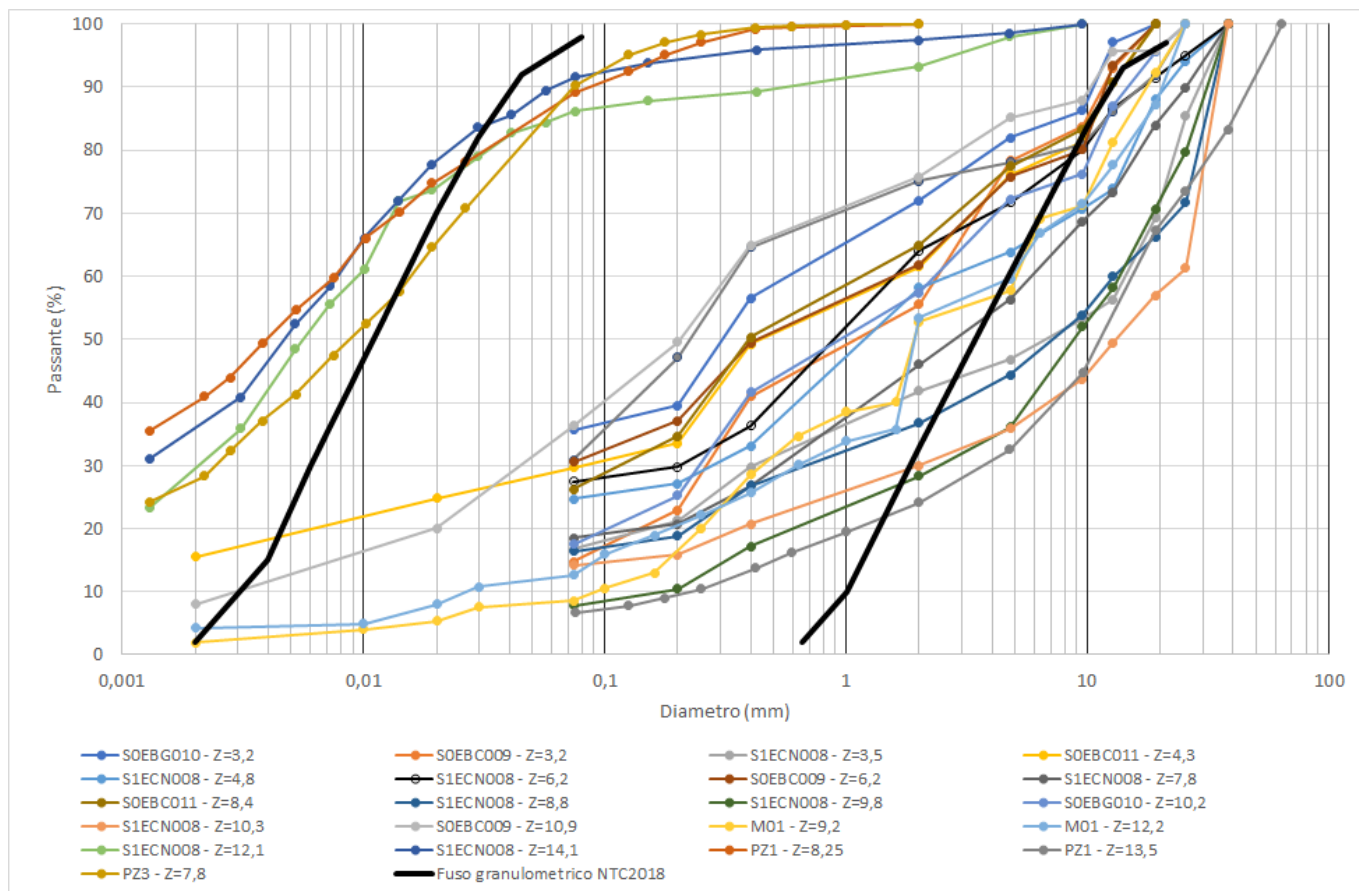


Figura 9-13 Curve granulometriche da campioni prelevati a profondità < 15 m da piano campagna.

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

D14C

LOTTO

00 D 69

CODIFICA

RG

DOCUMENTO

GE0001 001

REV.

C

FOGLIO

57 di 59

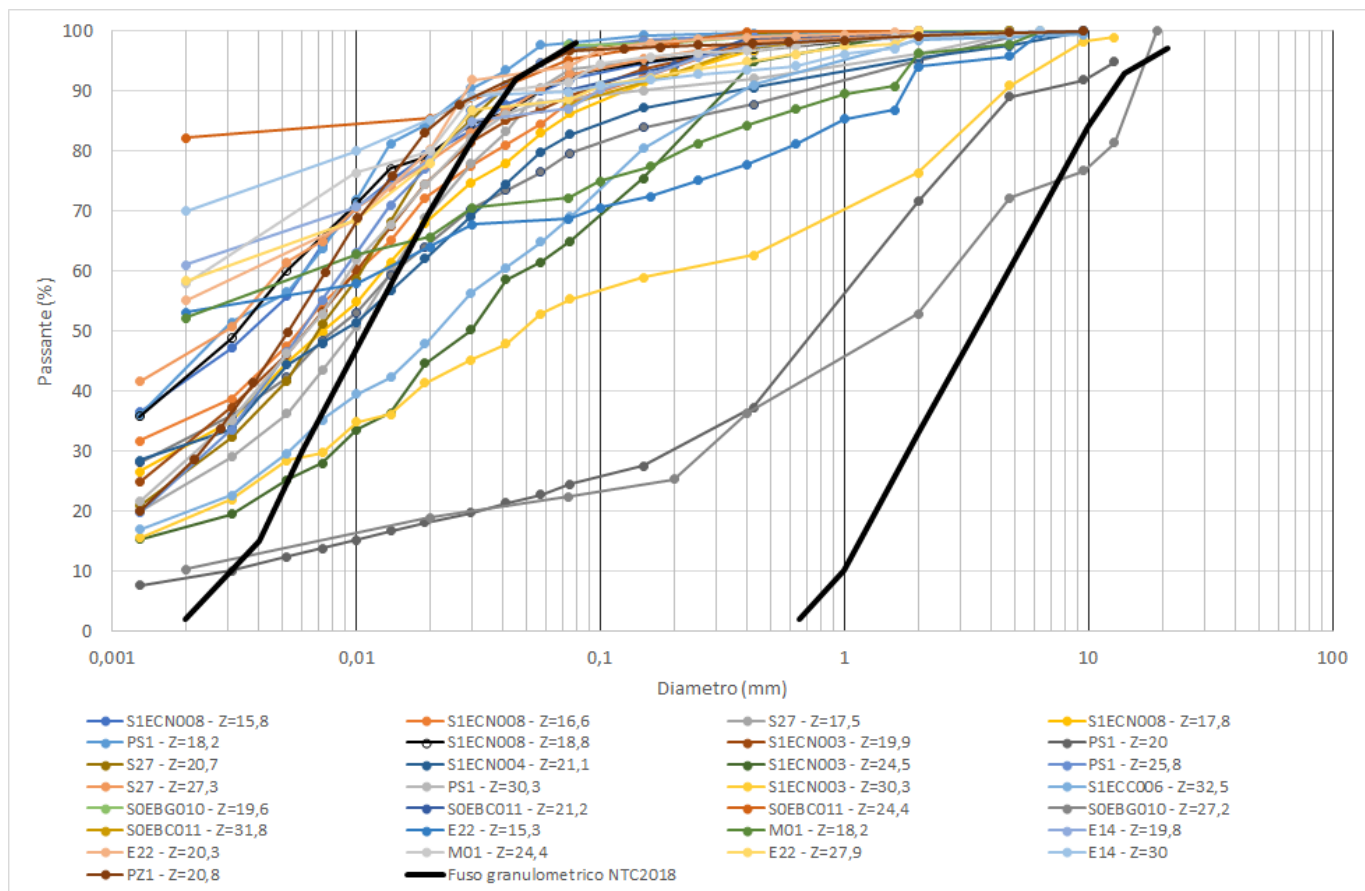
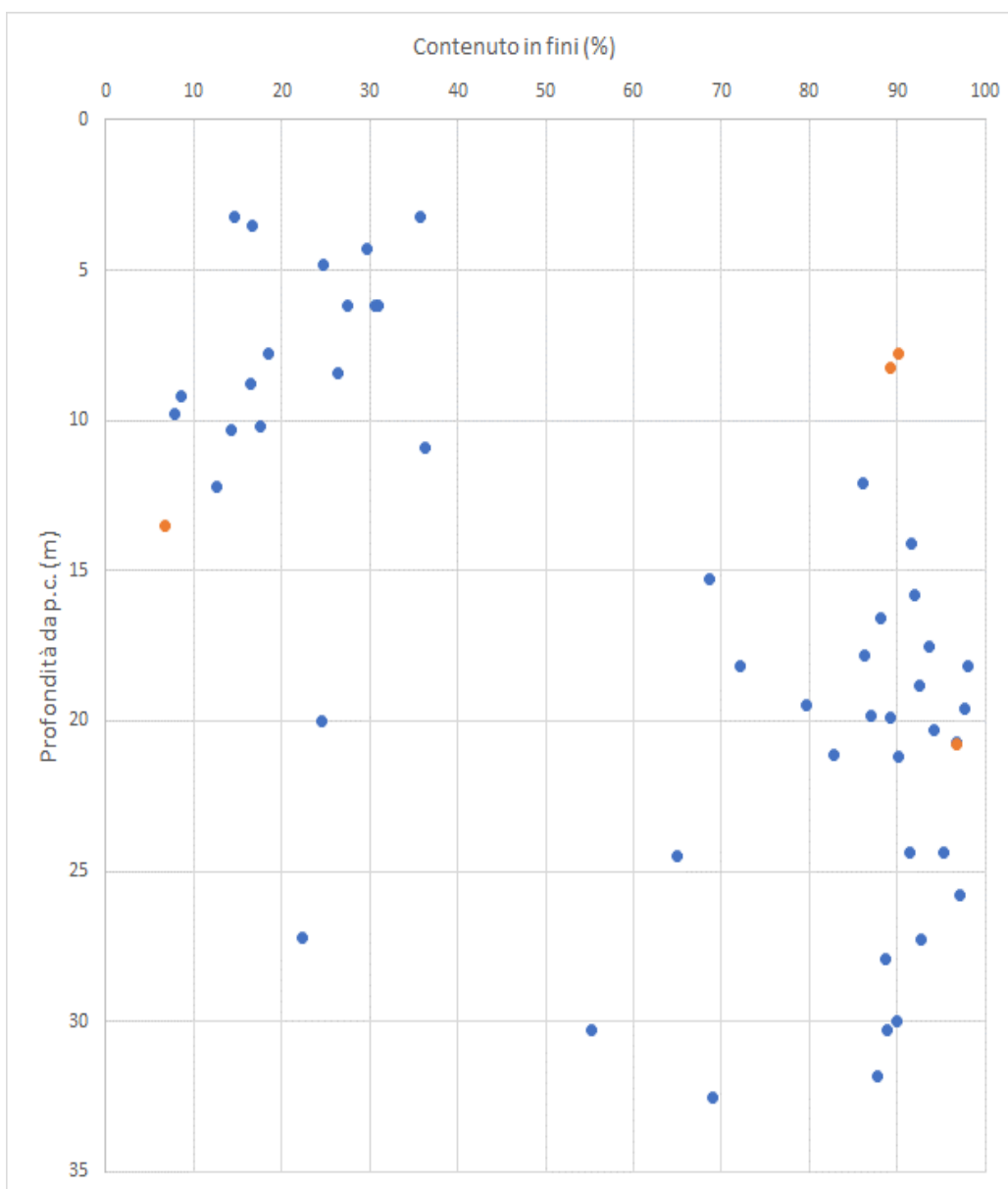


Figura 9-14 Curve granulometriche da campioni prelevati a profondità > 15 m da piano campagna.



Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

D14C

00 D 69

RG

GE0001 001

C

59 di 59

- Andamento con la profondità dello sforzo di taglio ciclico CSR, riferito alla magnitudo di riferimento per l'analisi ($M = 5.5$) e i valori puntuali della resistenza allo sforzo di taglio sismico calcolati per tutti i valori di SPT che non siano stati esclusi dal calcolo di suscettibilità alla liquefazione perché classificati come non liquefacibili (si veda quanto detto al paragrafo 9.5.2).
- Valore del fattore di sicurezza ottenuto come rapporto CRR/CSR per ogni dato. Si osserva a questo proposito che la verifica alla suscettibilità alla liquefazione deve tener conto del potenziale insorgere di deformazioni anche significative anche per valori di $FS > 1$ per cui si ritiene giustificato rappresentare la linea per $FS > 1.25$ in accordo alle prescrizioni dell'Eurocodice 8.

Dall'analisi dei dati riportati si può escludere il rischio di liquefazione per il sito in esame.

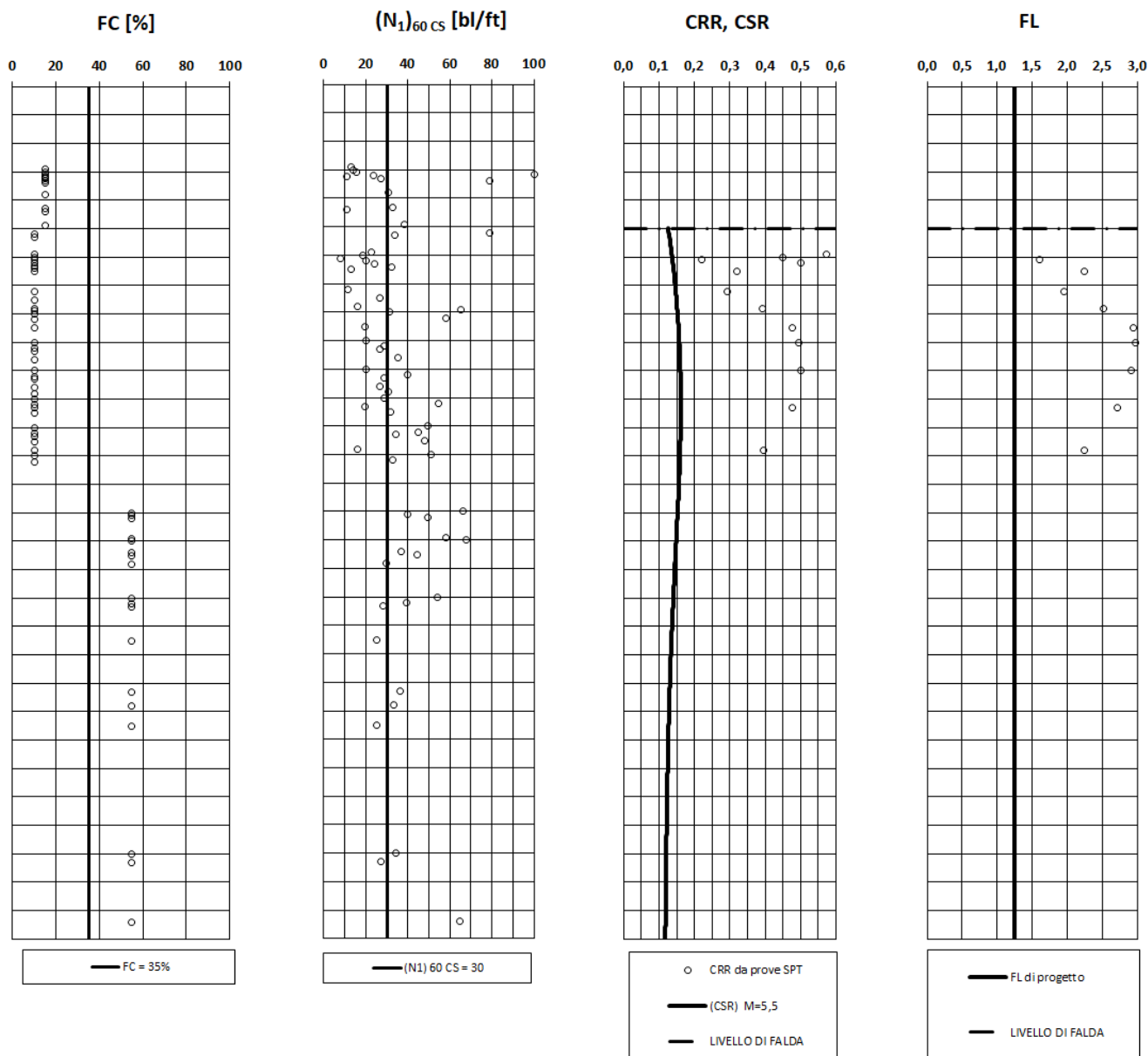


Figura 9-16 Valutazione di suscettibilità alla liquefazione: valori di SPT, contenuto di fini CF, confronto tra CSR e CCR, fattore di sicurezza Fs.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 60 di 59

10 CONCLUSIONI

In conclusione si può affermare che:

- Dal punto di vista geologico e stratigrafico l'area in esame è situata nel bacino di Firenze-Prato-Pistoia, ove sono presenti depositi ascrivibili ai seguenti ambienti:
 - Supersintema del Lago di Firenze-Prato-Pistoia: lacustri, lacustri-palustri e di fandelta;
 - Supersintema di Firenze: lacustri e di fan-delta;
 - Supersintema dell'Arno: fluvio-alluvionale e limno-palustre.
- Dal punto di vista geomorfologico il territorio comunale di Firenze è stato modellato dalla migrazione del corso dell'Arno che si è spostato da NE verso SW, meandrandolo ed erodendo alla base le colline di San Miniato e di Bellosguardo. Inoltre, si è verificata la sedimentazione di materiali in corrispondenza degli alvei del fiume Arno e dei suoi affluenti (T. Affrico, Fosso San Gervasio, T. Mugnone, T. Lastra, T. Terzolle), con ripetuti impaludamenti di vaste aree.
- Da un punto di vista idrogeologico sono stati individuati n. 4 orizzonti idrogeologici, ovvero:
 - Orizzonte Firenze 1 - essenzialmente limoso sabbioso e/o argilloso, di spessore variabile da 2 a 7 metri, costituito da depositi di esondazione dell'Arno e riporti antropici. Dal punto di vista idrogeologico può essere considerato un acquitardo con permeabilità nell'ordine di 10⁻⁷ m/s.
 - Orizzonte Firenze 2 - costituito da ghiaie e ciottoli, più raramente sabbia, con qualche lente di limo sabbioso o argilloso, presenta uno spessore variabile, fino a un massimo di 20 m. Viene normalmente attribuito alla sedimentazione recente dell'Arno e dei suoi affluenti. Per le sue caratteristiche costituisce il corpo acquifero principale dell'area, con permeabilità fortemente variabili, nell'ordine dei 10⁻³ – 10⁻⁷ m/s.
 - Orizzonte Firenze 3 - litologicamente paragonabile all'orizzonte Firenze 2, rispetto al quale presenta, in genere, un più elevato contenuto di matrice limosa. Caratterizzato da spessori fortemente variabili, presenta estensione limitata. Non sempre tale orizzonte è distinguibile dal sovrastante, specie quando tra i due non è presente un caratteristico livello limoso-argilloso di alcuni metri di spessore. Presenta permeabilità generalmente più basse dell'orizzonte 2, quando presente, può comunque ospitare una significativa circolazione idrica.
 - Orizzonte Firenze 4 - costituito da una successione di limi argillosi ed argille, a colorazione da turchina a gialla, con pochi strati di ghiaie a matrice limoso-argillosa. Presenta spessore variabile in funzione dell'andamento del tetto del substrato. Stratigraficamente si colloca al di sotto dell'orizzonte Firenze 2.

La falda idrica più importante della pianura fiorentina è una falda libera, una tavola d'acqua posta ad una profondità compresa fra 1 e 10 metri di profondità, a seconda delle aree e del periodo stagionale. Sulla base della cartografia idrogeologica disponibile essa è presente tra 3 e 6 m da p.c., mentre i sondaggi disponibili la rinvennero a circa 10-12 m da p.c..

- Analizzando la cartografia del vincolo idrogeologico il tracciato oggetto di studio non ricade in alcuna area soggetta a tale tipologia di vincolo.
- Analizzando la cartografia della vulnerabilità geologica il tracciato ricade in aree a classe da bassa (G1) a media (G2), mentre per quanto riguarda la vulnerabilità idraulica esso risulta impostato su un rilevato considerato a vulnerabilità media, ed adiacente ad ampie aree a vulnerabilità da elevata a molto elevata.
- Dal punto di vista geotecnico, sulla base delle prove SPT a disposizione si distinguono prevalentemente 4 unità, ovvero:
 - una prima unità costituita dai materiali di riporto, presenti sulla maggior parte dell'area presa in esame;
 - una seconda unità argilloso-limosa posta al di sotto della prima costituente i materiali fini del Sintema dell'Arno;

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14C	00 D 69	RG	GE0001 001	C	61 di 59

- una terza unità ghiaioso-sabbiosa posta al di sotto della seconda costituente i materiali grossolani del Sintema dell'Arno
- una quarta unità argillosa posta al di sotto della terza costituente le argille turchine del sintema del bacino di Firenze-Prato-Pistoia.

I parametri geotecnici di riferimento vengono riportati in Tabella 8-IV.

- Dal punto di vista sismico, il sito risulta caratterizzato da una media sismicità. Sulla base dei risultati delle indagini in sito disponibili (prove di tipo MASW e SPT), la stratigrafia di progetto è classificabile nella categoria di suolo B.

Per quanto riguarda la potenziale liquefazione dei terreni, le verifiche condotte consentono di escludere tale rischio.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 62 di 59

11 BIBLIOGRAFIA

- Aguzzi M., Amorosi A. & Sarti G. (2005). *Stratigraphic Architecture of late Quaternary Deposits in the Lower Arno Plain (Tuscany, Italy)*. *Geologica Romana* 38, 1-10.
- Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P. (2004). *Carta Geologica dell'area Fiorentina*. Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze
- Baldi, G., Jamiolkowski, M., Lo Presti, D., Manfredini, G., & Rix, G. (1989). *Italian experience in assessing shear wave velocity from CPT and SPT. XII ICSMFE* (p. 213-238). Rio De Janeiro: Taylor& Francis Group.
- Bartolini C. & Pranzini G. (1981). *Plio- Quaternary evolution of the Arno Basin Drainage*. *Zeit. Geomorph. N.F., Suppl Bd.*, 40, 77-91.
- Bolton M. D. (1986). *The strenght and dilatancy of sands*. *Geotechnique*, 36(1), 65-78.
- 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.
- Carmignani, L., & Lazzarotto, A. (2004). *Carta geologica della Toscana (scala 1:250.000)*. Firenze: Università di Siena.
- Cencetti, C., & Tacconi, P. (2005). *The Fluvial Dynamics of the Arno River*. *Giornale di Geologia Applicata* (1), 193 –202, doi: 10.1474/GGA.2005-01.0-19.0019
- Garizio, G. (1997). *Determinazione dei parametri geotecnici e in particolare di K0 da prove penetrometriche*. Politecnico di Torino: M.S.c. Department of Structural Engineering.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. & Valensise G. (2007). *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Jamiolkowski, M., Ladd, C., Germaine, J., & Lancellotta, R. (1985). *New developments in Field and Laboratory Testing of Soils*. San Francisco, USA.
- Jamiolkowski, M., Ghionna VN, Lancellotta R, Pasqualini E (1988). *New correlations of penetration tests for design practice*. *Proc., Penetration Testing* (p. 263-296). Orlando, Florida: De Ruiter ed.
- Jamiolkowski, M., Lo Presti, D., & Monassero, M. (2001). *Evaluation of Realtive Density and Shear Strenght of Sands from CPT and DMT*. *Invited Lecture Ladd Symposium*, (p. 201-238).
- Lazzarotto, A., Mazzanti, R., Giannelli, L., Bannino, E., Feroni, A. C., & Decandia, F. (1964). *Stratigrafia delle formazioni alloctone della Toscana marittima*. Arti grafiche Pacini Mariotti.
- Lunne, T., Robertson, P., & Powel, J. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. New York: Blackie Academic/Routledge Publishing.
- Ohta, Y., & Goto, N. (1978). *Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6.
- Robertson, P. (1990). *Soil Classification using the Cone Penetration Test*. *Canadian Geotechnical Journal* 27(1), 151-158. DOI:10.1139/t90-014
- S.G.I. (1967). *Carta geologica d'Italia foglio n° 106 "Firenze" in scala 1:100.000 e relative note illustrative*. Nuova tecnica grafica, Roma.

	PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO PROGETTO DEFINITIVO COMUNE DI FIRENZE CODICI INTERVENTO 048017070 - 048017094					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	COMMESSA D14C	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. C	FOGLIO 63 di 59

Skempton, A. (1986). *Standard penetration test procedures and the effect in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation*. Geotechnique, 36(3), 425-447.