



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E
DEI TRASPORTI



E.N.A.C.
ENTE NAZIONALE per L'AVIAZIONE
CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

PROJECT REVIEW - PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento Completo

VIABILITÀ - VBT
VBT1-ELABORATI GENERALI E SPECIALISTICI OPERE CIVILI
Relazione geologica viabilità principale

Livello di Progetto

SCHEDE DI APPROFONDIMENTO PROGETTUALE A LIVELLO MINIMO DI PROGETTO DI
FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE COMPLETO
PSA	01	MARZO 2024	-	FLR-MPL-PSA-VBT1-013-GL-RT_Rel Geol Vbt Princ
				TITOLO RIDOTTO
				Rel Geol Vbt Princ

01	03/24	EMISSIONE PER PROCEDURA VIA-VAS	M.SANI	L. TENERANI	L. TENERANI
00	10/22	EMISSIONE PER DIBATTITO PUBBLICO	M.SANI	D. VESTRINI	L.TENERANI
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>COMMITTENTE PRINCIPALE</p>  <p>ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti</p>	<p>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</p>  <p>DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p>	<p>SUPPORTI SPECIALISTICI</p> <p>PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</p>  <p>Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p> <p>SUPPORTO SPECIALISTICO</p>  <p>TERRA & OPERE S.R.L. SOCIETÀ D'INGEGNERIA CONSULENZE GEOLOGICHE</p> <p>Dott. Geol. Michele Sani Ordine dei Geologi della Toscana n°383</p>
<p>POST HOLDER PROGETTAZIONE</p> <p>Ing. Lorenzo Tenerani</p>	<p>RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</p> <p>Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p>	
<p>POST HOLDER MANUTENZIONE</p> <p>Ing. Nicola D'Ippolito</p>		
<p>POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO</p> <p>Geom. Luca Ermini</p>		

GRUPPO DI LAVORO

responsabile di commessa e coordinamento
dr. geol. Michele Sani

collaborazione
testi: dr. geol. Fabio Picchi
figure e tavole fuori testo: dr.geol. Paride Bigazzi

INDICE

1. Premessa.....	7
1.1. Generalità.....	7
1.2. Descrizione delle opere e degli interventi.....	8
1.3. Individuazione dei vincoli presenti.....	10
2. Fasi di lavoro.....	12
3. Geologia.....	13
3.1. Evoluzione tettonica del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia.....	13
3.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze.....	15
3.2.1. <i>Substrato pre-lacustre</i>	15
3.2.2. <i>Depositi pre-lacustri</i>	15
3.2.3. <i>Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano</i>	16
3.2.4. <i>Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia</i>	16
3.2.4.1. <i>Argille turchine AUCTT</i>	16
3.2.4.2. <i>Depositi clastici di delta e fan-delta dei paleo-torrenti</i>	17
3.2.5. <i>Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi)</i>	17
3.2.6. <i>Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti)</i>	17
3.3. Orizzonti "Firenze".....	18
3.3.1. <i>Orizzonte "Firenze 1"</i>	18
3.3.2. <i>Orizzonte "Firenze 2"</i>	19
3.3.3. <i>Orizzonte "Firenze 3"</i>	20
3.3.4. <i>Orizzonte "Firenze 4"</i>	21
3.3.5. <i>Considerazioni sull'andamento degli orizzonti "Firenze"</i>	21
3.4. Geologia dell'area di intervento.....	23
3.4.1. <i>Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)</i>	24
3.4.2. <i>bna1 e bna2</i>	24
3.4.3. <i>Depositi alluvionali attuali (b)</i>	24
3.4.4. <i>Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5)</i>	24
3.4.5. <i>Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi [h1]</i>	24
4. Idrogeologia.....	25
4.1. Aspetti idrogeologici generali.....	25
4.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame.....	26
4.3. Superficie piezometrica.....	27
5. Geomorfologia e stabilità.....	29
5.1. Introduzione.....	29
5.1.1. <i>Forme di origine antropica</i>	29
5.1.2. <i>Forme dovute e processi fluviali</i>	30
6. Classi di pericolosità.....	30
6.1. Pericolosità geologica.....	30
6.2. Pericolosità idraulica.....	30
6.3. Pericolosità sismica.....	31
7. Classi di fattibilità.....	32
7.1. Comune di Sesto Fiorentino.....	32
7.1.1. <i>Fattibilità geologica</i>	32
7.1.2. <i>Fattibilità idraulica</i>	33
7.1.3. <i>Fattibilità sismica</i>	33
7.2. Comune di Firenze.....	33
7.2.1. <i>R.U. approvato</i>	34

7.2.1.1. Fattibilità geologica.....	34
7.2.1.2. Fattibilità idraulica.....	34
7.2.1.3. Fattibilità sismica.....	34
7.2.2. P.O. adottato.....	35
7.2.2.1. Fattibilità in aree classificate a pericolosità geologica media.....	35
7.2.2.2. Fattibilità in aree classificate a rischio di alluvioni (art. 84 N.T.A.).....	35
7.2.2.3. Fattibilità in aree non soggette a rischio alluvioni (art. 84 N.T.A.).....	35
7.2.2.4. Fattibilità in aree classificate a pericolosità sismica media S2 (art. 85 N.T.A.).....	35
8. Risultati delle indagini eseguite.....	35
8.1. Generalità.....	35
8.2. Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU).....	37
8.3. Prove SPT e campioni prelevati nei sondaggi a carotaggio continuo (Campagne indagini TAE 2015 e 2017).....	44
8.3.1. Standard Penetration Test.....	44
8.3.2. Prove geotecniche di laboratorio.....	46
8.4. Indagini da DB Geologico - Regione Toscana.....	49
8.4.1. Sondaggi presso il centro commerciale IKEA e l'impianto di trattamento di Case Passerini.....	49
8.5. Quadro riepilogativo delle indagini geognostiche.....	49
8.6. Indagini geofisiche.....	53
8.6.1. Sismica a rifrazione.....	53
8.6.2. Indagine sismica in foro downhole.....	53
9. Sismicità e definizione dei parametri sismici.....	54
9.1. Zona sismica.....	54
9.2. Parametri sismici.....	55
9.2.1. Aspetti generali.....	55
9.2.2. Categoria di sottosuolo (approccio semplificato).....	55
9.2.3. Categoria topografica.....	58
9.2.4. Parametri dell'azione sismica locale.....	58
9.2.4.1. Parametri dell'azione sismica locale (area rotatoria B Osmannoro Baxter Polo Scientifico).....	59
9.2.4.2. Parametri dell'azione sismica locale (tratto fra rotatorie A e B, incluso tratto attraversamento pista tramite sottopasso).....	66
9.2.4.3. Parametri dell'azione sismica locale (area rotatoria A Cantone Osmannoro).....	79
9.2.4.4. Parametri dell'azione sismica locale (area presso Vasca C).....	86
9.2.4.5. Parametri dell'azione sismica locale (area presso Torre controllo A11).....	93
10. Modellazione geologica e geotecnica.....	99
10.1. Sezione geologica.....	99
10.2. Modello geologico del sottosuolo.....	100
10.3. Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni presenti nel volume significativo e definizione del modello geotecnico di sottosuolo.....	103
10.3.1. Aspetti generali.....	103
10.3.2. Analisi e caratterizzazione geotecnica delle prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) lungo il percorso del sottopasso della pista, dalla rotonda di Sesto Fiorentino allo svincolo A11 Sesto Fiorentino.....	104
10.3.3. Modello geotecnico.....	109
10.3.4. Considerazioni sui terreni coesivi superficiali.....	113
11. Liquefazione.....	115
12. Terre e rocce da scavo.....	116
13. Indicazioni relative alla realizzazione dei lavori.....	117

13.1. Indicazioni inerenti la gestione delle acque di aggettamento.....	117
13.2. Indicazioni sulla necessità di opere provvisoriale e loro tipologia.....	117
13.3. Indicazione sulla tutela dei suoli interessati dalle aree di cantiere.....	117
13.4. Indicazione degli interventi di ripristino delle aree a fine cantiere.....	117
14. Conclusioni.....	117
15. Bibliografia.....	119

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Ubicazione dell'area di progetto in scala 1:10.000.	11
Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecchi et al., 1976b).	19
Figura 3 - I diagrammi mostrano i valori dei dati misurati (grafico di sinistra) e i valori normalizzati (diagramma di destra).	48
Figura 4 - Sezione sismica tomografica 2D RIFR5 (ubicata presso il tracciato del sottopasso), in alto piano di rif. 0 m p.c. , in basso piano di rif. -9 m p.c.	57
Figura 5 - Sezione sismica tomografica 2D RIFR4 (ubicata presso il tracciato del sottopasso)	57
Figura 6 - Tratto viabilità compresa fra le due rotatorie A e B con il sottoattraversamento della pista . .	100
Figura 7 -Correlazione delle prove CPTU lungo il tracciato del sottopasso (dalla rotonda B su via dell'Osmanoro a Sesto Fiorentino, a nord, alla rotonda A presso lo svincolo A11 Sesto Fiorentino, a sud.	101
Figura 8 - Valori della pressione di preconsolidazione ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni prelevati da sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree del sistema della viabilità e di aree circostanti del sedime aeroportuale, con sondaggi e campioni ubicati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).	114
Figura 9 - Valori di OCR ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni prelevati da sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree oggetto della presente relazione e di altre circostanti del sedime aeroportuale, con i campioni prelevati da sondaggi ubicati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).	114
Figura 10 - Valori di OCR in funzione della profondità di prelievo (m dal p.c.), ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni di sondaggi realizzati per le campagne TAE 2015 e 2017 e per altri progetti limitrofi al sedime aeroportuale.	115

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Classi di permeabilità.	27
Tabella 2 - Misure piezometriche (04/09/2017).	29
Tabella 3 - Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite durante la perforazione di alcuni sondaggi.	45
Tabella 4 - Elaborazioni delle prove penetrometriche in foro S.P.T. realizzate nei sondaggi nell'area di studio.	47
Tabella 5 - Dati geotecnici dai progetti TAE 2015 e 2017, impianto Case Passerini e centro commerciale Ikea (1 di 3)	50
Tabella 6 - Dati geotecnici dai progetti TAE 2015 e 2017, impianto Case Passerini e centro commerciale Ikea (2 di 3)	51
Tabella 7 - Dati geotecnici dai progetti TAE 2015 e 2017, impianto Case Passerini e centro commerciale Ikea (3 di 3)	52
Tabella 8 - Valori $V_{s_{eq}}$	54
Tabella 9 - Spessore e tagli degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	104

Tabella 10 - Caratterizzazione SBTn degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	105
Tabella 11 - Resistenza statica alla punta (qc) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	106
Tabella 12 - Resistenza non drenata (Cu) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	107
Tabella 13 - Modulo edometrico (Med) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	107
Tabella 14 - Densità relativa (Dr) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	108
Tabella 15 - Coefficiente di permeabilità (k) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	108
Tabella 16 - Velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	109
Tabella 17 - Grado di sovraconsolidazione (OCR) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso	109
Tabella 18 - Livello piezometrico misurato nei piezometri (a tubo aperto) realizzati nell'area aeroportuale	111
Tabella 19 - Modello geotecnico e valori caratteristici per i terreni del sottosuolo relativi alle opere della viabilità principale	112
Tabella 20 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.	116

ALLEGATI E TAVOLE FUORI TESTO

Allegato A Stratigrafie sondaggi e prove di laboratorio
Allegato B Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
Allegato C Indagini sismiche
Carta geologica
Carta idrogeologica
Carta geomorfologica
Ubicazione delle indagini geognostiche
Sezione litostratigrafica A – A'

* * *

1. Premessa

1.1. Generalità

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica dell'intervento relativo alle opere inerenti la nuova viabilità (situate nel Comune di Sesto Fiorentino e, per una piccola porzione nel territorio del Comune di Firenze, come riportato in figura 1), parte integrante della Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale (o Masterplan) al 2035 dell'aeroporto di Firenze, qui sviluppata e dettagliata ad un livello tecnico ritenuto congruo con le finalità della presente fase procedurale, comunque non inferiore a quello del progetto di fattibilità tecnica ed economica di cui all'art. 41 del D. Lgs. n. 36/2023.

Il citato approfondimento tecnico viene previsto ad integrazione della Sezione Generale della Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale al 2035, predisposta in aderenza alle normative e/o regolamenti specifici del settore aeronautico, rispetto alla quale si pone l'obiettivo di elaborare ulteriori elementi tecnici di studio, dettaglio, analisi e progettazione, ritenuti necessari ai fini del compiuto espletamento dei procedimenti amministrativi (di compatibilità ambientale e di autorizzazione) ai quali risulta per legge assoggettato lo strumento del Piano di Sviluppo Aeroportuale, così integrato in modo da rafforzarne la valenza e la funzione progettuale, strettamente interconnessa con quella pianificatoria e programmatica di investimento.

Le informazioni di seguito riportate vanno, pertanto, analizzate in stretta correlazione rispetto ai più ampi ed estesi aspetti tecnico-economici trattati all'interno dei documenti afferenti alla Sezione Generale del Masterplan, con i quali esse si relazionano secondo un processo capillare di progressivo approfondimento e dettaglio, ritenuto utile per una più completa, consapevole e piena visione dell'insieme delle previsioni di trasformazione dello scalo aeroportuale e delle aree circostanti, e per una più esauriente analisi e comprensione della Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale.

La citata Project Review costituisce la nuova formulazione tecnica delle previsioni progettuali e di investimento che ENAC prevede di attuare, nel medio-lungo periodo (orizzonte 2035, coerente con quello del Piano Nazionale degli Aeroporti in fase di aggiornamento), relativamente all'infrastruttura aeroportuale di Firenze, redatta dal Gestore aeroportuale di

intesa con l'Ente regolatore in attuazione degli obblighi di miglioramento, ottimizzazione e sviluppo dell'aeroporto insiti nel contratto di concessione che lega lo stesso Gestore alle Istituzioni dello Stato (Ministero delle Infrastrutture e ENAC) per la gestione totale dell'infrastruttura aeroportuale (bene dello Stato). Ne consegue che l'insieme documentale di cui la presente relazione costituisce parte integrante deve essere visto e analizzato nella propria autonomia e indipendenza sostanziale, per quanto inevitabilmente consequenziale rispetto al precedente Masterplan 2014-2029 col quale risultano ancora sussistenti più elementi di dialogo che, tuttavia, ci si pone l'obiettivo di non assurgere a valenza prodromica e a funzionalità necessaria per una completa illustrazione, definizione e comprensione del nuovo Piano di Sviluppo Aeroportuale 2035.

Si auspica, infine, di aver esaurientemente e correttamente tradotto e trasferito, all'interno della documentazione di cui al nuovo Masterplan 2035, quel prezioso bagaglio di esperienza e quell'insieme di utili risultanze derivanti dal dialogo costruttivo e dialettico che, nell'ultimo decennio, ha visto in più momenti la partecipazione di ENAC, del Gestore aeroportuale, degli Enti/Amministrazioni interessati, delle Istituzioni nazionali e regionali, dei vari stakeholders e della cittadinanza attiva intorno ai temi relativi al trasporto aereo, alla multimodalità della mobilità, al ruolo della rete aeroportuale territoriale toscana e al futuro dello scalo aeroportuale di Firenze, che ENAC vede sempre più strategico, integrato e funzionale alla rete nazionale ed europea dei trasporti.

Il presente studio descrive le caratteristiche geologiche (litologiche e giaciture), idrogeologiche, idrauliche, geomorfologiche e di stabilità, di pericolosità (geologica, idraulica e sismica) dell'area in oggetto, riassume i risultati delle indagini geognostiche eseguite nel 2015 e nel 2017 per le due fasi della *Campagna di indagini geognostiche per la realizzazione della nuova pista e delle opere accessorie* dell'Aeroporto Internazionale di Firenze Amerigo Vespucci, determina le classi di fattibilità dell'intervento (geologica, idraulica e sismica), e contiene la modellazione geologica, geotecnica e sismica del terreno.

1.2. Descrizione delle opere e degli interventi

La presente relazione geologica ha come oggetto i seguenti interventi principali previsti dalla configurazione di progetto del project review del Piano di Sviluppo Aeroportuale 2035, secondo il quale le indicazioni progettuali al momento note sono le seguenti:

- Viabilità, tutte le strade saranno realizzate parte in trincea parte in rilevato, con altezza media di 1,5 m (a eccezione della nuova rampa di immissione sull'autostrada dove si raggiungeranno i 5,0 m):
- Tratto A-B : la nuova viabilità sostituirà l'attuale Via dell'Osmannoro, ripristinando il collegamento di Sesto con l'Osmannoro, (strada extraurbana secondaria di categoria C) avrà una carreggiata unica dotata di una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,75 m e banchine di larghezza pari a 1,5m, per una lunghezza complessiva di 1355,11 m;
- Viabilità di servizio all'Aeroporto (strada extraurbana locale F1) presenterà una carreggiata unica dotata di una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,5 m e banchine di larghezza pari a 1 m, per una lunghezza complessiva di 940,39 m;
- Nuova tratto di riconnessione a Via del Pantano: viabilità che consente di "ricucire" la rete viaria locale ripristinando il collegamento tra Via Perfetti Ricasoli e Casa Passerini (strada extraurbana locale di categoria F2) avrà una carreggiata unica dotata di una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,25m e banchina di larghezza pari a 1m, per una lunghezza complessiva di 565,82 m;
- Intersezioni:
 - la viabilità principale sarà dotata di due rotatorie compatte: Il NODO B di diametro esterno 50 m, dislocato a sud della pista, in prossimità dello svincolo di Sesto Fiorentino, gestirà lo scambio tra i volumi autostradali e quelli presenti su Via dell'Osmannoro/Via del Cantone e consentirà l'accesso all'area aeroportuale; il NODO A, di diametro esterno 50 m, a nord della pista, situata in corrispondenza di via dell'Osmannoro, consentirà la deviazione dei flussi sul nuovo tracciato e l'accesso al Polo Scientifico Universitario;
 - la viabilità di accesso all'aeroporto si snoderà invece tramite una rotatoria convenzionale di diametro esterno pari a 45 m.
 - Verranno inoltre realizzate due rotatorie che consentiranno la circolazione dei mezzi pesanti per il trasporto merci dalla Stazione di Castello all'area logistica all'interno del sedime aeroportuale nei pressi del Parco Fotovoltaico. Si tratta del NODO E presso la Stazione Ferroviaria di Castello e NODO D esterno al sedime aeroportuale in corrispondenza del futuro Parco Fotovoltaico.

- Opere d'arte:
 - sono previsti due ponti a servizio della viabilità principale, entrambi insistenti sulla deviazione del Fosso Reale e poggianti su impalcato: il primo a nord della nuova pista, nei pressi della Baxter Manufacturing S.p.A. e il secondo a sud della nuova pista nella rampa di immissione all'autostrada A11, nei pressi della vasca di auto contenimento idraulico C¹.
 - sottoattraversamento della pista: galleria artificiale a sezione scatolare che misura complessivamente circa 412 m e presenta una sezione stradale di larghezza massima di 14,43 ml (profondità massima scavo di circa 9 m da p.c.);
 - opere d'arte minori: verrà infine previsto uno scatolare in corrispondenza della rotatoria B con attraversamento per viabilità di manutenzione argine del nuovo rilevato di progetto con dimensioni esterne di 5,00 x 5,00 e spessore 0,50m e lunghezza 10ml.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli altri elaborati progettuali.

Vista la tipologia di opera prevista, il progetto è considerato di interesse strategico ai sensi del Decreto del Presidente della Giunta Regionale 19 gennaio 2022 n. 1/R².

1.3. Individuazione dei vincoli presenti

L'area in cui saranno realizzati gli interventi in progetto dal punto della presenza dei principali vincoli territoriali presenta attualmente la seguente situazione:

- l'area di progetto non è interessata dal Vincolo Idrogeologico ai sensi del Regio Decreto Legge n. 3267 del 30 dicembre 1923, mentre risulta interessata dal Vincolo Idrogeologico determinato dalla presenza di una fascia di vegetazione ripariale attorno al Lago di Peretola (com a 1 dell'art. 37 della L.R. 39/2000);
- la porzione di strada di ripristino della viabilità principale in progetto ricade all'interno del Sito di Interesse Regionale (SIR) *Stagni della Piana Fiorentina e Pratese* e dell'Area Protette di interesse locale *A.N.P.I.L. di Podere la Querciola*;

¹ Si tratta di un'opera idraulica da realizzare nell'ambito dei lavori previsti dal Master 2035 per l'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze.

² Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014 n. 65 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.

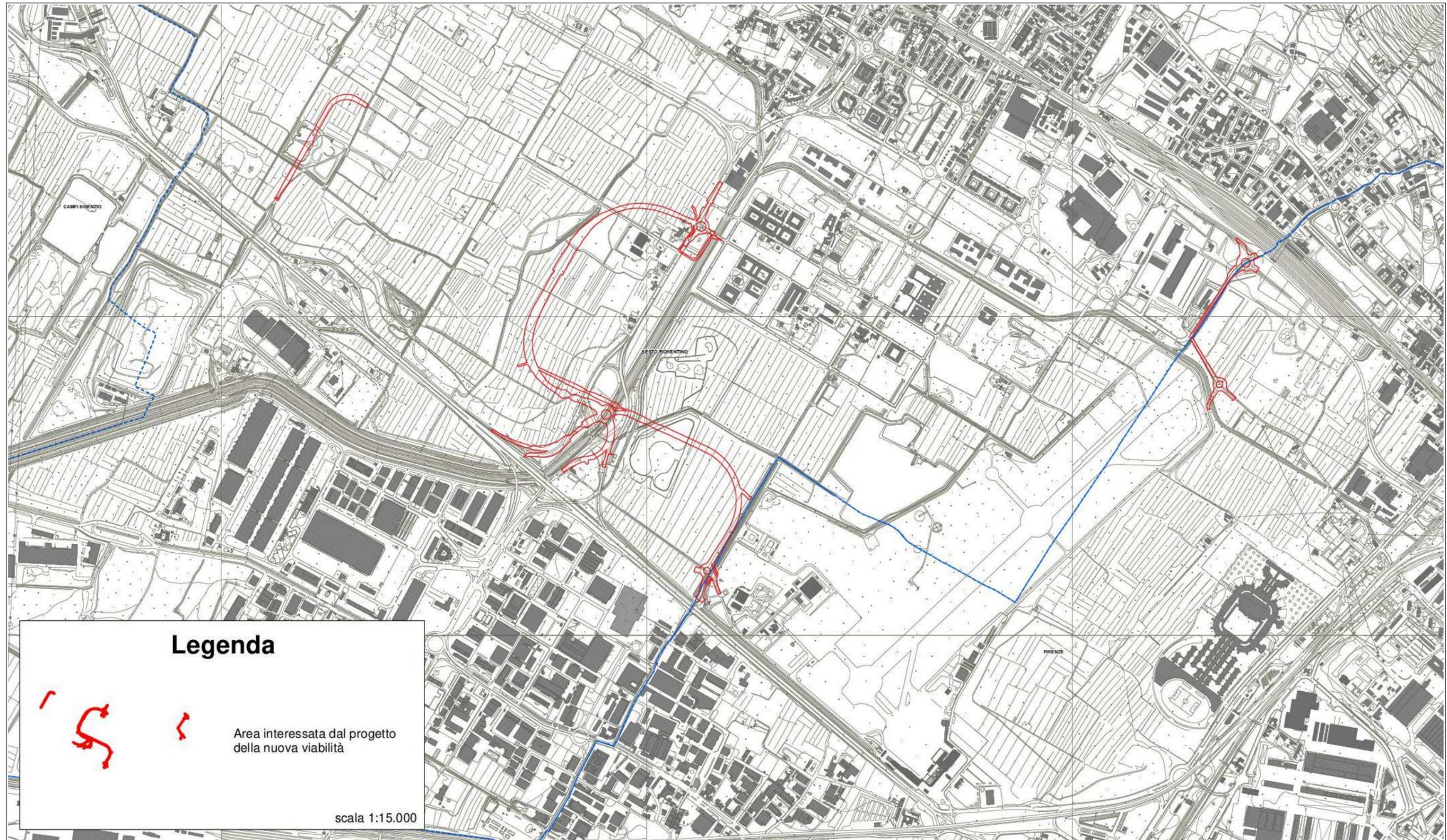


Figura 1 - Ubicazione dell'area di progetto in scala 1:10.000.

- il tratto da realizzare a sud della nuova pista è ubicata in parte all'interno di un'area di notevole interesse pubblico ex art. 136, lettera a, Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42³;
- la parte orientale della futura viabilità di accesso è parzialmente interna al Vincolo aeroportuale (Fascia di rispetto perimetrale m. 300 pendenza 1/7);
- territori contermini ai laghi (lettera e, comma 1, art. 142 del D.Lgs. 42/2004) in particolare il tratto di strada di ripristino nella porzione occidentale;
- i territori coperti da foreste e da boschi (lettera g, comma 1, art. 142 del D.Lgs. 42/2004) per la fascia ripariale del Lago di Peretola;
- zone gravate da usi civici (lettera h, comma 1, art. 142 del D.Lgs. 42/2004).

2. Fasi di lavoro

La presente relazione geologica è stata articolata nelle seguenti fasi di lavoro:

- consultazione delle *Indagini geologico-tecniche* di supporto al Piano Strutturale e al Secondo Regolamento Urbanistico del Comune di Sesto Fiorentino;
- consultazione delle *Indagini geologico-tecniche* di supporto al Piano Strutturale del Comune di Firenze (Variante al P.S. 2010 approvato con Deliberazione C.C. n. 2015/C/00025 del 2 aprile 2015 e nuovo P.S. adottato con D.C.C. n.6 del 2023);
- presa visione del Piano di Bacino del Fiume Arno - Stralcio Assetto idrogeologico (PAI - Norme di attuazione ed allegati) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- presa visione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- esecuzione di alcuni sopralluoghi sul posto e nelle aree immediatamente limitrofe, per prendere visione della situazione attuale, per la comprensione della situazione geomorfologica e della stabilità generale del sito;
- attribuzione della fattibilità agli interventi in progetto dal punto di vista geologico, idraulico e sismico (si veda il § 7);
- utilizzo delle indagini geognostiche dell'Aeroporto Internazionale di Firenze Amerigo

³ Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137, aggiornamento del quadro conoscitivo con deliberazione n. 46 del 23 luglio 2019.

Vespucci eseguite da Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporto Engineering S.r.l., nel 2015 e nel 2017;

- analisi dei risultati delle indagini geognostiche a disposizione per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni di sottofondazione (si veda il § 8);
- definizione della categoria di sottosuolo secondo l'approccio semplificato ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018 (si veda il § 9.1)
- determinazione dei parametri sismici (si veda il § 9.2);
- elaborazione del modello geologico del sito e del modello geotecnico di sottosuolo (§ 10);
- indicazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici ricavati (§ 10.3);
- valutazioni in merito alla suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione (§ 11).

3. Geologia

3.1. Evoluzione tettonica del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia

Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia, posto ad una quota media di 45 m s.l.m., 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-nord-est dai Monti della Calvana e dal Monte Morello, con altitudine di circa 900 m s.l.m. e a sud-sudovest dal Montalbano con altitudine di oltre 600 m s.l.m.. In questo contesto geografico è prevista la realizzazione della nuova pista, delle opere accessorie e di quelle di compensazione dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze. Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia presenta una geometria a semi-graben fortemente asimmetrica, con un margine nord-orientale molto acclive, in corrispondenza della faglia principale di Fiesole e da una rampa di raccordo poco inclinata localmente 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. In questo tipo di bacini il sollevamento tettonico dei margini, e il corrispondente allargamento del drenaggio fluviale, portano alla formazione di potenti sequenze sedimentarie clastiche grossolane in corrispondenza delle aree centrali. Nel dettaglio, dal punto di vista tettonico-geometrico, l'area di Firenze è caratterizzata dalla presenza di una fascia interessata da più faglie disposte a gradinata e in parte sepolte al di sotto dei depositi fluvio-lacustri villafranchiani, localizzata nell'area pedemontana a nord della pianura di Firenze, e dalla presenza delle faglie sepolte

Castello-Scandicci e Maiano-Bagno a Ripoli che interessano il substrato pre-lacustre, trasversalmente al bacino. Le faglie controllano la morfologia dell'area fiorentina determinando, rispetto al basso morfologico-strutturale della pianura di Firenze, l'alto delle colline di Castello-Trespiano-Fiesole nel settore settentrionale, e delle colline di Bellosguardo-Arcetri-S.Miniato a Monte a sud della città. L'area fiorentina risulta quindi delimitata a nord da lineamenti tettonici paralleli con direzione NNO-SSE, che hanno giocato come faglie a movimento verticale distensivo determinando lo sviluppo del bacino fluvio-lacustre con il ribassamento del blocco meridionale. La principale attività delle faglie è riferita a un periodo anteriore al Pliocene inferiore, periodo in cui si è determinato il maggiore movimento verticale; successivamente si è registrata una ripresa di movimenti al tetto del Pliocene inferiore, a cui è associato il movimento verticale responsabile dell'origine della depressione lacustre, e un'ultima pulsazione al termine del Villafranchiano, che ha determinato il sollevamento del blocco di Firenze rispetto al resto del lago e ha stabilito i rapporti tettonico-geometrici attuali. La master fault, a cui viene attribuito il principale movimento verticale, è manifestata da una scarpata tettonica che ha determinato lo sviluppo dei ripidi versanti meridionali delle colline di Castello-Monte Rinaldi-Fiesole; in realtà si tratta di una zona interessata da varie faglie disposte a gradinata, di cui solo la più orientale affiora con la scarpata degradata dei versanti di Fiesole, mentre le altre sono sepolte sotto i depositi villafranchiani di San Domenico, o addirittura sotto l'area delle Cure-Campo di Marte. Tali faglie sono dislocate da lineamenti tettonici trasversali che interessano il substrato con generali direzioni NNE-SSO, e il cui movimento risulta prevalentemente verticale distensivo. Le faglie a carattere prevalentemente distensivo, di Castello-Scandicci a ovest e di Maiano-Bagno a Ripoli a est, sono risultate attive a più riprese a partire dal Pliocene inferiore, giocando successivamente, verso la fine del Villafranchiano, un ruolo determinante per il sollevamento dell'area fiorentina rispetto al restante bacino lacustre. Questi elementi strutturali hanno sollevato la pianura di Firenze, ribassando il blocco a NO nel caso della faglia occidentale, e il blocco a SE per la faglia orientale con un rigetto globale stimabile in alcune centinaia di metri. Nel Villafranchiano sono state documentate due fasi tettoniche lungo tali lineamenti, probabilmente in regime compressivo, in accordo con evidenze regionali. Nella zona nord-orientale dell'area fiorentina lungo le colline di Fiesole-Monte Rinaldi, il motivo strutturale è dato da una piega anticlinale con asse orientato NO-SE, delimitato a SO dalla omonima zona di faglia che mette in contatto le arenarie torbiditiche del

Macigno con i depositi recenti fluvio-lacustri; la struttura è interessata da faglie minori ad andamento NE-SO e prevalente movimento verticale. L'assetto tettonico delle Unità Liguri affioranti a NO di Firenze e nell'area meridionale è dato da una blanda monoclinale immergente in genere verso N-NE di valori medi ($<40^\circ$). I depositi lacustri Villafranchiani risultano dislocati dalle faglie sinsedimentarie trasversali al bacino, ma mantengono una giacitura sub-orizzontale su entrambi i blocchi dislocati; i depositi alluvionali recenti e attuali sono ancora in giacitura primaria. Per nessuna delle faglie presenti nella zona ci sono indizi geologici di attività tettonica più recente di circa 500.000 anni.

3.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze

Il sottosuolo della piana di Firenze è costituito da sedimenti plio-quadernari di riempimento del bacino fluvio-lacustre formatosi a seguito della fase tettonica distensiva, depositi sulle rocce del paleoinvaso. Nei paragrafi seguenti si descrivono le unità litostratigrafiche presenti, a partire dai terreni più antichi.

3.2.1. Substrato pre-lacustre

Il substrato pre-lacustre è costituito da rocce appartenenti alle Unità Liguri, ed è composto, in particolare, dai calcari marnosi, dalle calcareniti e dalle argilliti della Formazione di Sillano e dalle arenarie calcaree e dalle argilliti rosse della Formazione della Pietraforte. Il tetto del substrato pre-pliocenico risulta a profondità contenute in corrispondenza del centro storico di Firenze (profondità inferiori a 20 m dal piano di campagna). Il corso del Fiume Arno spostato verso il bordo meridionale del bacino ha portato il fiume a erodere le rocce liguri, creando un terrazzo di erosione lungo tutto il margine meridionale cittadino da est ad ovest. L'attività tettonica collegata alla faglia trasversale Castello-Scandicci ha ribassato di un centinaio di metri il tetto del substrato subito a ovest della linea di faglia, ma l'abbassamento si spinge fino alla profondità di 600 m in corrispondenza della piana di Campi Bisenzio-Sesto Fiorentino. Nelle zone nord-orientali della città il substrato è stato dislocato in modo differenziale dalle faglie trasversali e longitudinali, ed è possibile trovarlo a profondità superiori a 110 m, mentre nelle aree sudorientali l'abbassamento ha avuto minore intensità.

3.2.2. Depositi pre-lacustri

Nel periodo compreso tra il Miocene superiore e il Pliocene inferiore si sono depositi:

- sedimenti pre-lacustri di ambiente fluviale (Depositi del paleo-Mugnone) quando la linea di costa era prossima all'attuale zona di San Casciano Val di Pesa;
- sedimenti residuali delle deposizioni limno-palustri in aree di limitata estensione.

3.2.3. Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano

Nell'area interessata dal presente studio si hanno i seguenti complessi sedimentari andando dal più antico e seguendo la classificazione UBSU (*Unconformity-bounded Stratigraphic Units*):

- Sintema del bacino di Firenze-Prato-Pistoia;
- Sintema di Firenze (depositi antichi);
- Sintema dell'Arno (depositi alluvionali recenti).

Con il termine *sintema* si identifica un corpo sedimentario di origine comune definito alla base e al tetto da superfici di discontinuità o da superfici topografiche. Dal punto di vista sedimentologico il Sintema del bacino di Firenze-Prato-Pistoia è ascrivibile ad ambienti lacustri, lacustri-palustri e di fan-delta, il Sintema di Firenze ad ambienti lacustri e di fan-delta e il Sintema dell'Arno ad ambienti fluvio-alluvionale e limno-palustre.

3.2.4. Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia

E' costituito dai depositi lacustri villafranchiani, a sua volta composto dalle Argille turchine AUCTT. e dai Depositi clastici di delta e fan delta dei paleo-torrenti. Tali unità vengono di seguito descritte dalla più antica alla più recente.

3.2.4.1. Argille turchine AUCTT.

Questa unità è costituita da massicci corpi di argille e argille limose di colore grigio-azzurro, deposte in ambiente lacustre in condizioni climatiche fredde (periodi glaciali Biber e Donau). Sono presenti livelli e lenti di ghiaie e sabbie, in genere sporchi. Frequenti interdigitazioni avvengono con i depositi di delta e fan-delta dei paleo-corsi d'acqua provenienti dai rilievi posti più a nord, come il paleo-Mugnone, il paleo-Affrico e il paleo-Terzolle. Nella zona del centro cittadino le argille azzurre raggiungono spessori massimi di 90 m, mentre arrivano a 160 m nelle zone ubicate a nord-est della città.

3.2.4.2. Depositi clastici di delta e fan-delta dei paleo-torrenti

Si tratta di ciottolami e ghiaie prevalentemente sporchi, ghiaie sabbiose, sabbie limose e limi sabbiosi, in corpi più o meno massivi e/o canalizzati, formati a opera dei vari torrenti confluenti nel lago. A essi sono riconducibili i depositi del paleo-Affrico/Mensola, del paleo-Mugnone, del paleo-Terzolle e, con provenienze dal bordo meridionale, dal paleo-Ema/Greve. Questi terreni costituiscono i depositi clastici più profondi del bacino di Firenze, riconducibili a periodi caratterizzati da un clima a forte piovosità. Al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia, in particolare alle Argille turchine AUCTT., Capecchi *et al.* (1976b) hanno fatto corrispondere l'Orizzonte Firenze 4 (si veda il § 3.3.4).

3.2.5. Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi)

E' costituito da ciottolami e ghiaie d'alveo del paleo-Arno e dei paleo-torrenti, con percentuale di matrice in modo variabile. Nella zona settentrionale urbana della città risultano frammisti a intervalli sabbioso-limosi di colore marrone scuro, mentre nella zona Cascine-Osmannoro-Legnaia risultano essere costituiti prevalentemente da ciottoli e ghiaie. In particolare, i depositi del paleo-Arno hanno costruito il conoide del fiume nel lago di Prato-Pistoia, ben sviluppato nella zona Cascine-Osmannoro con apice nella zona della Fortezza. A questi depositi, Capecchi *et al.* (1976b), hanno fatto corrispondere l'Orizzonte Firenze 3 (si veda il § 3.3.3). Il corpo sedimentario, che è stimato avere una potenza di una ventina di metri, è stato eroso dallo stesso Fiume Arno: di ciò si ha evidenza alle Cascine dove si trova a contatto direttamente tra il corpo sedimentario in questione e le ghiaie alluvionali recenti depositate dal fiume.

3.2.6. Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti)

Il Sintema del Fiume Arno è costituito dai depositi d'alveo e di esondazione recenti e attuali della coltre alluvionale deposta dal Fiume Arno e dei suoi affluenti nell'area fiorentina, in complessi rapporti di eteropie laterali erosive e sedimentarie. I primi metri superficiali (3÷5 m) sono composti da limi di esondazione sabbiosi. A questo intervallo è da far corrispondere l'Orizzonte Firenze 1 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 3.3.1). I depositi d'alveo sono costituiti prevalentemente da ciottolami e ghiaie, con percentuale molto variabile della matrice fine, con intercalati livelli e lenti di sabbie. Le ghiaie compongono il corpo clastico principale,

rilevato sull'intera superficie fiorentina, ed è l'intervallo corrispondente all'Orizzonte Firenze 2 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 3.3.2), il cui spessore varia da pochi metri fino a 20÷30 m. La deposizione delle ghiaie è avvenuta su una superficie di erosione sui corpi sedimentari che possono essere sia i depositi alluvionali antichi che il substrato pre-pleiocenico. L'ambiente di deposizione era tipicamente fluviale a caratterizzato da alta energia. Come detto, i Depositi alluvionali recenti sono da ricondurre all'azione sedimentaria sia del Fiume Arno che degli affluenti principali (Torrente Mugnone, Torrente Terzolle, Torrente Affrico, Torrente Mensola). Nella piana fra Campi Bisenzio e Sesto Fiorentino-Castello i Depositi alluvionali recenti sono costituiti da sedimenti di ambiente limno-palustre, i quali raggiungono uno spessore che va da un paio di metri a nord della piana fino a qualche metro nella parte a sud, con presenza di livelli torbosi nella piana di Sesto Fiorentino. I Depositi alluvionali recenti costituiscono il principale acquifero dell'area fiorentina (ghiaie dell'Orizzonte Firenze 2, che si trovano spesso a contatto diretto con il corpo sedimentario costituito dall'Orizzonte Firenze 3), come esposto dettagliatamente nel prosieguo.

3.3. Orizzonti "Firenze"

In Capecchi, Guazzone, Pranzini, (1976b), sono stati identificati e definiti quattro livelli denominati "orizzonti Firenze" (figura 2), corrispondenti a successive fasi di deposizione. Tale suddivisione risulta fondamentale per approfondire e comprendere le caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito in studio.

3.3.1. Orizzonte "Firenze 1"

Si tratta dello strato superficiale indicato dai vecchi Autori col nome di *pancone* o *gentilone*. E' costituito da sabbia fine con argilla con le ghiaie e i ciottoli frequentemente dispersi nel banco e più rare piccole lenti di argilla.

In varie località l'orizzonte Firenze 1 è composto da sabbie anche grossolane e relativamente pulite come, a esempio, all'Anconella e in altri luoghi in prossimità del Fiume Arno. Da notare che nel centro della città alla composizione di questo strato contribuiscono in buona parte materiali di scarico derivanti dalle rovine di costruzione di varie epoche. Questo strato superficiale, costituito in massima parte da materiale depositato dal Fiume Arno durante le piene, è presente in tutta l'area studiata a eccezione dell'area dell'Osmannoro a nord della

Via Pistoiese. Il suo spessore varia da 3 a 9 metri ma nel centro della città ha una media di 4÷5 m.

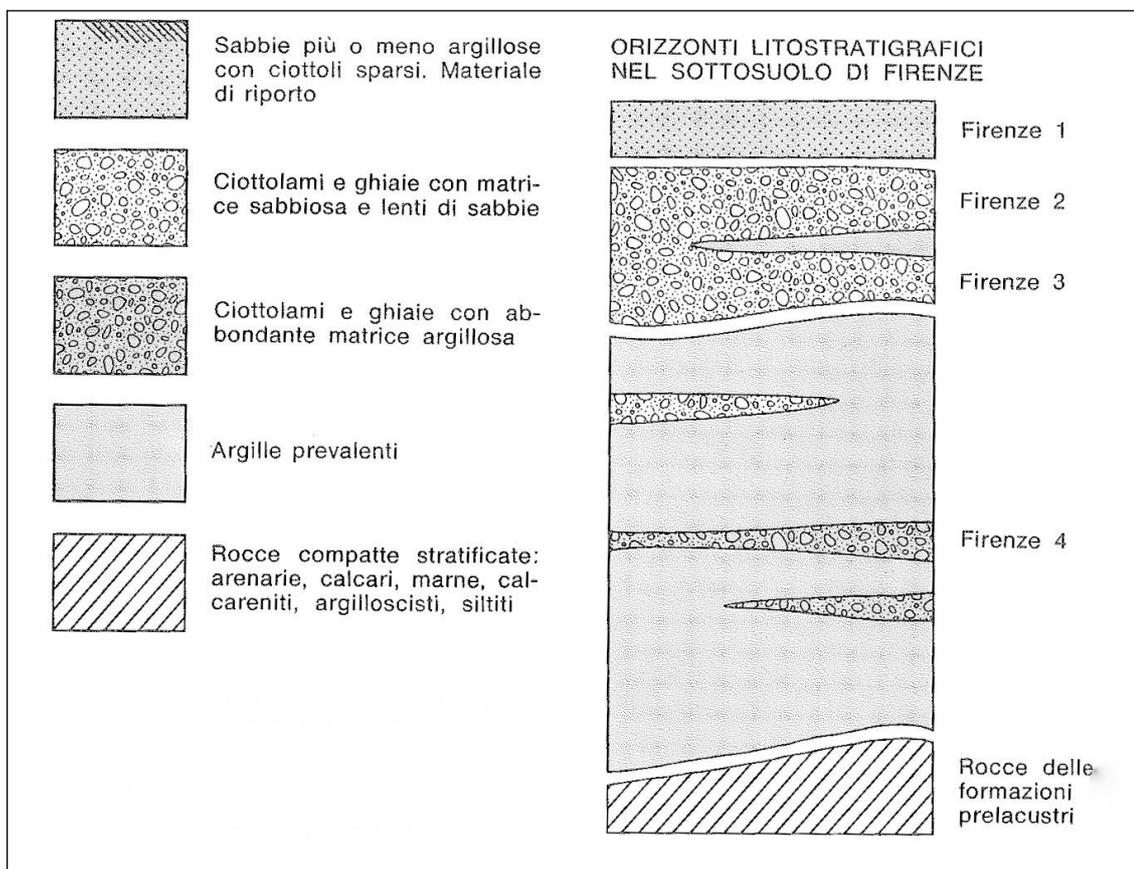


Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecchi et al., 1976b).

3.3.2. Orizzonte "Firenze 2"

Si tratta di depositi fluviali incoerenti che presentano notevoli e rapide variazioni granulometriche sia in senso verticale che orizzontale composti da ciottolami, ghiaie e sabbie. La frazione argillosa è di solito assai scarsa tanto da permettere una buona permeabilità. E' in questo livello, infatti, che trovano alimentazione quasi tutti i pozzi per acqua scavati fin da epoche remote nell'area urbana. Sono presenti in questo intervallo sottili lenti di argilla plastica giallo-rossastra. Le caratteristiche sedimentologiche di questi depositi sono osservabili nelle cave per ghiaia scavate nelle zone delle Piagge, di Mantignano e di Varlungo-Coverciano. Nel corpo sedimentario si possono osservare canali di erosione e stratificazione incrociata. Uno studio granulometrico (Gori, 1970) ha messo in luce una distribuzione bimodale per la maggior

parte dei campioni prelevati, un sorting basso e, in generale, indici sedimentologici che confermano la deposizione fluviale. In particolare, il regime doveva essere torrentizio e con notevole capacità di trasporto. La natura litologica dei ciottoli di questo orizzonte non è uniforme su tutta l'area in cui affiorano. Nella zona orientale, dall'Anconella al centro città, i ciottoli sono quasi esclusivamente formati da arenarie quarzoso-micacee, probabilmente provenienti dalla formazione Macigno. Lo studio dei campioni prelevati in pozzi situati nelle zone delle Cascine, di Mantignano e delle Piagge, ha messo in luce una maggiore eterogeneità litologica: insieme a quelli di arenaria Macigno, sono presenti ciottoli di calcareniti, spesso fossilifere, calcari di vario tipo e arenarie calcaree provenienti soprattutto dalle formazioni di Monte Morello, di Sillano e della Pietraforte. Lo spessore di questo orizzonte è molto variabile; diminuisce gradualmente verso i margini della pianura e verso ovest. In Capecchi *et al.* (1976b) sono riportate le isobate del tetto di questo orizzonte nell'area urbana che mettono in risalto, oltre ad una generale pendenza della superficie verso l'asse della valle e nel senso di scorrimento dell'Arno, alcune fasce di alto relativo piuttosto strette. Esse corrispondono probabilmente al percorso del Fiume Arno durante le ultime fasi di deposito dell'orizzonte macroclastico.

3.3.3. Orizzonte "Firenze 3"

L'Orizzonte Firenze 3 è composto da ciottolami, ghiaie e sabbie, con una matrice argillosa più abbondante che nei sedimenti macroclastici dell'orizzonte Firenze 2 soprastante, tanto da risultare meno permeabile. L'argilla è presente anche in lenti. Nella zona dell'Osmannoro una di queste lenti, dello spessore di 3÷4 m, divide l'orizzonte in due distinti livelli porosi. Dal punto di vista litologico i ciottoli sono molto eterogenei: prevalgono calcari e calcareniti provenienti dalle formazioni di Monte Morello e di Sillano, ma sono presenti anche ciottoli, in genere molto alterati, di arenaria Pietraforte e Macigno. L'impossibilità di osservare in affioramento i sedimenti di questo orizzonte non permette di definire con sicurezza l'ambiente di deposizione. La maggior percentuale della matrice argillosa nei sedimenti più grossolani fa pensare ad un deposito lacustre prossimale, in corrispondenza dello sbocco di un fiume, con fasi di avanzamento e retrocessione della linea di riva del lago. L'Orizzonte Firenze 3 è in genere separato dall'Orizzonte Firenze 2 da uno strato di argilla turchina di probabile origine lacustre; nelle zone dove tale strato argilloso manca i due orizzonti ciottolosi non

possono essere distinti con certezza.

3.3.4. Orizzonte "Firenze 4"

L'Orizzonte Firenze 4 è costituito da argille di origine lacustre, compatte, di colore turchino, più raramente giallastro, talora con lignite e torba. A vari livelli sono presenti lenti di ghiaie e ciottoli, più raramente di sabbie; in questi strati la matrice argillosa è quasi sempre abbondante, tanto da limitarne la permeabilità. La distribuzione areale di queste lenti a granulometria più grossolana è difficile da ricostruire con precisione, soprattutto perché sono pochi i sondaggi che hanno raggiunto e attraversato questa unità. Si osserva comunque che esse divengono meno frequenti e di minor spessore a valle di Firenze oltre la zona delle Cascine, procedendo verso ovest e nord-ovest. A monte di Firenze, nella zona dell'Anconella-Bandino, queste lenti sono invece più numerose e potenti che altrove e molte contengono solo una bassa percentuale della frazione argillosa. Questo fatto è probabilmente da mettere in relazione con lo sbocco, al margine sud-est della conca lacustre, di uno o più torrenti immissari con notevole trasporto solido. Nella parte basale dell'Orizzonte Firenze 4, al contatto con le rocce del paleoinvaso, è talora presente un piccolo livello (1÷3 m) di ciottoli anche molto grossi, ossidati e poco arrotondati, che può essere considerato un deposito di pseudo-trasgressione. La maggioranza dei ciottoli è costituita da calcari marnosi bianchi tipo alberese e subordinatamente da arenarie calcaree tipo Pietraforte e calcareniti. Lo spessore dell'Orizzonte Firenze 4 è determinato dalla quota del fondo lago: all'Anconella è intorno a 70 m mentre nel centro città, nella zona della stazione di Santa Maria Novella, è circa 25 m; esso aumenta rapidamente spostandosi a ovest delle Cascine fino a superare i 300 m nella zona di San Donnino.

3.3.5. Considerazioni sull'andamento degli orizzonti "Firenze"

Lo strato argilloso-sabbioso superficiale (Orizzonte Firenze 1), che raggiunge una potenza massima nel centro città, diminuisce di spessore verso la zona di Peretola; più a nord-ovest e nella zona dell'Osmannoro, il tipo litologico presente nel sottosuolo fin dai primi metri è costituito da argilla compatta. L'Orizzonte Firenze 2 è presente in tutte le sezioni idrogeologiche elaborate da Capecchi *et al.* (1976b) che mostrano come la terminazione occidentale di questo intervallo coincida in tutti questi profili con la terminazione dell'Orizzonte Firenze 1. Si può

ritenere quindi che oltre Peretola, a nord della Via Pistoiese, il Fiume Arno non si sia mai spinto a depositare né le sue alluvioni grossolane (Orizzonte Firenze 2), né quelle più fini recenti (Orizzonte Firenze 1). In alcune sezioni verso le colline si osserva la terminazione laterale dell'Orizzonte Firenze 2. Questi sedimenti fluviali si appoggiano su superfici di erosione dei sedimenti lacustri. L'Orizzonte Firenze 2 presenta il massimo spessore in una zona corrispondente più o meno col centro della città (Piazza D'Azeglio - Piazza San Marco). La diminuzione di spessore a partire da questa zona è evidente sia in senso longitudinale sia in senso trasversale. Come detto, solo in una sezione l'Orizzonte Firenze 2 risulta separato dall'Orizzonte Firenze 3 da una lente di argilla. In tutte le altre sezioni vi sono zone di contatto fra i due orizzonti, costituendo un unico intervallo poroso, interrotto solo localmente da lenti poco estese di argilla. In queste zone o c'è stata continuità nella sedimentazione grossolana, oppure episodi erosivi hanno distrutto la continuità dell'intervallo argilloso di separazione. Le sezioni documentano la maggior frequenza ed estensione dei ciottolami entro le argille lacustri (Orizzonte Firenze 4) nella zona orientale della conca di Firenze. Nella zona dell'Anconella questi ciottolami sono particolarmente abbondanti e relativamente puliti. La distinzione dai ciottolami fluviali sovrastanti si è basata non tanto sulla presenza del piccolo strato argilloso intorno ai 10 m di profondità, quanto sulle correlazioni granulometriche e litologiche di dettaglio. In particolare, in un pozzo il diagramma litologico presenta a 10 m un brusco aumento dei calcari e una corrispondente diminuzione delle arenarie; la stessa rapida variazione litologica è stata osservata in altri pozzi al passaggio fra i sedimenti fluviali e quelli sicuramente lacustri. Dalla zona delle Cascine procedendo verso ovest il substrato roccioso scende infatti molto rapidamente, fino a raggiungere la profondità di circa 300 m nella zona di Brozzi. Questa rapida discesa è determinata da una o più faglie trasversali al profilo che, in tempi relativamente recenti, hanno determinato il sollevamento della conca fiorentina rispetto al resto del bacino lacustre. Una sezione in particolare (Capecchi *et al.*, 1976b) mette bene in evidenza fra le Cascine e il Ponte San Niccolò l'alto relativo del substrato nel tratto urbano. In particolare, il tratto orizzontale del substrato rappresenta una superficie di erosione e testimonia quindi una fase erosiva esercitata dall'Arno. In altre sezioni si può osservare come nel centro città il fondo sia relativamente alto. Tale alto trova una corrispondenza in superficie negli affioramenti del Macigno di Fiesole a nord e della Pietraforte del Piazzale Michelangiolo e di Bellosguardo a sud. In base alle stratigrafie e alle correlazioni nella pubblicazione più volte

citata sono state ricostruite le curve di ugual spessore degli Orizzonti Firenze 2 e Firenze 3. Questi orizzonti, costituiti in prevalenza da sedimenti grossolani, sono quelli, in tutta la serie fluvio-lacustre, dotati della migliore permeabilità e rappresentano quindi gli acquiferi più importanti. Per quanto riguarda l'Orizzonte Firenze 2 si osserva in particolare che:

- l'orizzonte si estende su tutta la zona pianeggiante, salvo che a nord della linea Rifredi-Novoli-Peretola-Brozzi;
- nelle zone di Badia a Ripoli e Scandicci, rispettivamente a sud-est e a sud-ovest del centro fiorentino, i dati a disposizione indicano che l'Arno ha deposto i suoi sedimenti grossolani fino al margine della pianura;
- l'area di maggior spessore dell'orizzonte è fra piazza D'Azeglio e piazza del Duomo (circa 20 m). Quest'area costituisce il massimo assoluto entro una fascia che corrisponde all'asse centrale della valle;
- l'orizzonte continua ad ovest dell'area studiata, con spessori minori e, per quanto si può osservare nelle cave, con diminuzione delle dimensioni medie dei clasti.

Per l'Orizzonte Firenze 3 si osserva invece che:

- esso è limitato alla parte occidentale, ad ovest delle Cascine;
- gli spessori sono minori rispetto a quelli dell'Orizzonte Firenze 2;
- l'area di massimo spessore corrisponde ad una fascia presso l'attuale corso dell'Arno, più o meno sul proseguimento di quella dell'Orizzonte Firenze 2 (circa 12 m alle Piagge);
- anche questo orizzonte continua a ovest dell'area studiata, interessando una zona non occupata dai sedimenti dell'Orizzonte Firenze 2.

3.4. Geologia dell'area di intervento

Nella zona in studio affiorano i Depositi Olocenici, in particolare i Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1 e bna2), i Depositi alluvionali attuali (b), i Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5) e i Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi (h1), come mostrato nella carta geologica riportata nella carta geologica, disegnata utilizzando i Fogli n. 275040 e 275080 della Carta Geologica Regionale della Regione Toscana – Servizio Geologico Regionale (*Progetto Carg*). Nel capitolo 3.2, è stato descritto il sottosuolo della piana di Firenze, costituito da sedimenti plio-quaternari di riempimento del bacino fluvio-lacustre formatosi a seguito della fase tettonica distensiva appenninica, deposti sulle rocce del paleoinvaso. I

Depositi alluvionali recenti terrazzati corrispondono ai depositi del Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti, § 3.2.6), secondo la classificazione UBSU (Unconformity-bounded Stratigraphic Units) e possono essere inoltre correlati all'Orizzonte Firenze 1 e all'Orizzonte Firenze 2 di Capecchi et al. (1976b) (si veda il § 3.3).

3.4.1. Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)

Si tratta di depositi di origine alluvionale costituiti da ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali, di 1° ordine [bna1] e di 2° ordine [bna2] i quali compongono la totalità dei terreni affioranti nell'area della carta geologica. Le opere oggetto della presente relazione saranno realizzate quasi interamente sui terrazzi fluviali di 1° ordine (bna1).

3.4.2. bna1 e bna2

Dall'esame della documentazione inerente le campagne di indagine si evince che, dal punto di vista meramente litologico, nell'area interessata dal progetto in esame affiorano, al di sotto di alcuni decimetri di terreno vegetale oppure di terreni di riporto, argille e limi a tratti debolmente sabbiosi. Il colore del terreno in posto nelle porzioni più superficiali è giallastro per passare a grigio ad alcuni metri di profondità.

3.4.3. Depositi alluvionali attuali (b)

Sono costituiti da ghiaie, sabbie e limi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con ordinari processi fluviali, nella zona in studio sono presenti negli alvei sia naturali che artificiali del reticolo idrografico.

3.4.4. Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5)

L'unità raggruppa tutti quei depositi connessi con l'attività umana. Comprende quindi terreni di riporto, rilevati stradali, terreni di bonifica per colmata. In particolare, nell'area investigata, essi costituiscono i rilevati delle opere infrastrutturali come le autostrade e gli argini di fossi e di parte del reticolo idrografico minore della piana (a esempio gli argini del Fosso Reale).

3.4.5. Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi [h1]

Questa unità identifica i terreni presenti in corrispondenza della discarica di Case Passerini, ubicata a ovest della zona in esame, in prossimità della località Osmannoro. La

discarica e gli impianti si trovano in un'area delimitata dal Fosso Reale (a sud), dall'autostrada Firenze – Mare A11 (a nordest) e dagli stagni di Focognano (a nordovest).

4. Idrogeologia

4.1. Aspetti idrogeologici generali

Con riferimento agli orizzonti descritti al § 3.3, dal punto di vista idrogeologico, l'Orizzonte Firenze 1 può essere considerato un acquitardo con permeabilità nell'ordine di 10^{-7} m/s. L'Orizzonte Firenze 2, invece, per le sue caratteristiche granulometriche e tessiturali, costituisce il corpo acquifero principale dell'area fiorentina, con permeabilità fortemente variabili, nell'ordine dei $10^{-3} \div 10^{-7}$ m/s. L'Orizzonte Firenze 3 presenta permeabilità generalmente più basse dell'Orizzonte Firenze 2, ma può comunque ospitare una significativa circolazione idrica. L'Orizzonte Firenze 4, infine, può essere sede di limitati acquiferi (in pressione) ubicati nelle lenti di ghiaie e sabbie che si trovano disperse all'interno del corpo costituito dalle argille turchine; tali acquiferi non sono ovviamente di interesse ai fini dello sfruttamento idrico.

La falda nell'area fiorentina è posizionata in corrispondenza dei Depositi Alluvionali Recenti (Orizzonte Firenze 2); oppure, nella zona delle Cascine-Osmannoro, nei Depositi Alluvionali Antichi (Orizzonte Firenze 3). L'acquifero più superficiale (Orizzonte Firenze 2) può essere rinvenuto nella maggior parte della pianura. Solo a ovest della città, lungo una linea pressappoco coincidente con la Via Pistoiese, i ciottolami e le ghiaie alluvionali recenti lasciano spazio, verso nord, ai limi e alle argille di natura lacustre o palustre. Il Fiume Arno non ha infatti scavato ed eroso i sedimenti fluvio-lacustri precedenti (Capecchi *et al.* 1976b). Il primo acquifero riscontrabile nell'area dell'Osmannoro è ubicato nei Depositi Alluvionali Antichi. Gli acquiferi sopra elencati sono caratterizzati da porosità primaria e dal punto di vista granulometrico sono composti da ciottoli, ghiaia e sabbia, con una percentuale variabile di matrice limoso-argillosa. Quest'ultima componente influenza indubbiamente il valore della conducibilità idraulica (permeabilità). Tramite diverse tipologie di indagine, sono stati calcolati valori di permeabilità risultati variabili tra $10^{-3} \div 10^{-7}$ m/s. La falda è di tipo libero nella maggior parte della piana di Firenze, quindi il livello freatico e quello piezometrico corrispondono. Invece, ai margini della piana, dove sono presenti maggiori spessori degli intervalli superficiali

composti dai limi di esondazione, la falda è di tipo semi-confinato (o addirittura confinato) e la superficie freatica si attesta a quote prossime alla superficie topografica. A Nord della via Pistoiese la prima falda può essere considerata confinata, dato che le ghiaie dell'Orizzonte Firenze 3 sono coperte da almeno 16 m di terreno a bassa permeabilità (riconducibile all'Orizzonte Firenze 1 passante verso nord ai sedimenti limno-palustri dei Depositi alluvionali recenti della piana di Sesto Fiorentino). Ugualmente confinate sono le falde ubicate nei livelli permeabili della successione fluvio-lacustre presente al di sotto dell'Orizzonte Firenze 2 (Orizzonte Firenze 4 corrispondente al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia), costituiti da ghiaie e sabbie, spesso con matrice limosa abbondante. Come detto precedentemente, nelle lenti di ghiaie e sabbie che si rinvencono all'interno dei depositi lacustri delle argille azzurre, appartenenti al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia, sono ubicate falde confinate, peraltro alimentate con difficoltà dal fatto di essere disperse in potenti serie argillitiche. Nella piana di Firenze le isofreatiche indicano, come andamento generale, un flusso di falda che dai rilievi collinari si dirige verso il Fiume Arno, con una componente verso ovest in modo concorde con la direzione di flusso dell'Arno. Il gradiente idraulico diminuisce dalle zone pedecollinari verso il centro della valle (da 1,0÷1,5 % a 0,2 %), dovuta all'aumento dei valori di trasmissività dei sedimenti.

4.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche della principale unità geologica presente (bna), è possibile stimare la permeabilità su base qualitativa, in funzione degli elementi da cui dipende (caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, presenza di pozzi, densità del reticolo idrografico) (carta idrogeologica). Nel dettaglio, i terreni di origine alluvionale presenti nelle aree di pianura sono dotati di permeabilità per porosità primaria legata alla presenza di pori tra le particelle del terreno, acquisita al momento della loro formazione. Tale permeabilità per i Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1 e bna2) è in genere bassa e diminuisce o aumenta in corrispondenza rispettivamente dei livelli fini o grossolani. Durante le perforazioni di tutti i sondaggi realizzati nelle campagne di indagine del 2015 e del 2017, solo in rari casi è stata rinvenuta acqua. La spiegazione dell'acqua rinvenuta

sta nel fatto che il sottosuolo dell'area esaminata, costituito da terreni fini in massima parte rappresentati da argille e limi, è un acquicludo in cui si può avere, nelle stagioni delle piogge, presenza di acqua di ritenzione a causa dell'alta porosità, ma questa acqua non circola in quanto la porosità efficace è molto bassa, dell'ordine di pochi punti percentuali. Per quanto concerne la permeabilità delle altre formazioni affioranti, è generalmente molto bassa per i Depositi antropici (h5 e h1), mentre può essere considerata media per i Depositi alluvionali attuali (b).

Nella carta idrogeologica riportata in allegato, le formazioni geologiche presenti nell'area sono state suddivise in base alla permeabilità precedentemente indicata e riassunta nella tabella 1.

Classe	Terreni permeabili per porosità primaria	Permeabilità
1	Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5) Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi (h1)	molto bassa
2	Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1 e bna2)	bassa
3	Depositi alluvionali attuali (b)	media
4	-	alta
5	-	molto alta

Tabella 1 - Classi di permeabilità.

Volendo invece fornire un valore indicativo del coefficiente di permeabilità K, si può far riferimento a quello ottenuto dalle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati durante la perforazione dei sondaggi (si veda il § 8.3.2) che risulta compreso tra $8,00E-12$ m/sec (campione S81-CI1, limo con argilla debolmente sabbioso) e $2,47E-10$ m/sec (campione S116-CI1, limo con argilla debolmente sabbioso) e a quello derivante dalle prove di permeabilità in situ di tipo Lefranc eseguite durante la prima fase di indagine (n. 23), le quali non hanno fornito nella maggior parte dei casi valori di permeabilità indicativi per l'assenza di abbassamenti significativi; solo nel caso dei sondaggi S19 e S35 (realizzati lungo il sedime della nuova pista dell'aeroporto) è stato ricavato un valore medio del coefficiente k pari rispettivamente a $3,62E-09$ m/s (profondità prova $5,00 \div 7,00$ m) e $4,47E-08$ m/s (tra 25,00 e 30,00 m)

4.3. Superficie piezometrica

Come detto, durante l'esecuzione della quasi totalità dei sondaggi realizzati non è stata

riscontrata la presenza di acqua; è comunque opportuno fare alcune precisazioni in merito alle interferenze eventualmente presenti e prevedibili tra gli interventi in progetto e le acque di sottosuolo. Come detto nei capitoli precedenti, la zona in studio presenta schematicamente le seguenti caratteristiche idrogeologiche:

- superficialmente è presente un livello dello spessore di un paio di metri al di sotto del piano di campagna, che a seconda della stagione, può essere interessato da saturazione alla profondità compresa tra 0 e 1,5 m; questo livello non ha alcun valore e interesse dal punto di vista della risorsa idrica;
- al di sotto di due metri di profondità dal piano di campagna fino alla profondità di almeno 25 m non è stata registrata presenza di una falda;
- i livelli in cui ha sede la falda principale della pianura fiorentina sono identificati con l'Orizzonte Firenze 2 (parte inferiore del Sintema del Fiume Arno) e con l'Orizzonte Firenze 3 (Sintema di Firenze) che al di sotto dell'area di interesse per il presente studio non risultano essere presenti.

Per la realizzazione della viabilità è previsto uno scotico di modesta entità che coinvolge solo lo strato superficiale dell'Orizzonte Firenze 1 (porzione superiore del Sintema del Fiume Arno); anche nel caso della realizzazione dei ponti l'orizzonte interessato sarà il medesimo. Pertanto le uniche interferenze che si potranno avere tra le opere in progetto e le acque di sottosuolo saranno con quelle che stagionalmente vanno a occupare i primi metri superficiali al di sotto del piano di campagna e non interesseranno mai l'acquifero saturo principale in quanto assente nell'area strettamente di interesse e rilevato a sud nella zona dell'Osmannoro (§ 4.1).

Nella campagna di indagini geognostiche di riferimento per il presente studio, sono stati realizzati numerosi piezometri (si veda l'ubicazione delle indagini in allegato) all'interno dei quali è stato possibile effettuare delle misure piezometriche le quote delle quali variano da 0,47 a 4,37 m dal piano di campagna. In particolare si riportano nella tabella 2 le misure piezometriche effettuate in data 4 settembre 2017 (si veda l'allegato A) nei piezometri S90 e S112 limitrofi e prossimi all'area in esame.

sigla piezometro	quota [m s.l.m.]	profondità [m da p.c.]
S90 <i>(a nord dell'area in esame)</i>	33,62	3,37
S112 <i>(a nord dell'area in esame)</i>	32,42	3,16

Tabella 2 - Misure piezometriche (04/09/2017).

E' fondamentale sottolineare che, come sopra scritto, le misure eseguite rappresentano dei livelli piezometrici pertanto, in presenza di un acquifero libero, la superficie piezometrica corrisponde alla reale quota della falda freatica, mentre se l'acquifero è confinato, o semi confinato, come quello dell'area di progetto, la superficie piezometrica misurata nei pozzi corrisponde a una quota fittizia, non reale, della falda nel terreno: la quota dell'acqua raggiunta nel pozzo, in questa situazione, è determinata infatti dalla pressione dovuta alla differenza di carico tra la zona di alimentazione e l'opera di captazione considerata. In alcuni casi invece l'acqua misurata è acqua di ritenzione dei terreni fini quali argille e limi, come spiegato al paragrafo precedente.

5. Geomorfologia e stabilità

5.1. Introduzione

La viabilità principale in progetto, partendo all'altezza dello stabilimento Baxter Manufacturing S.p.A. di Via dell'Osmannoro (rotatoria B - § 1.2), correrà verso sud - ovest attraverso un nuovo sottopassaggio viario della nuova pista di volo, per poi ricongiungersi infine al tracciato esistente di Via dell'Osmannoro (rotatoria A). Da qui inizierà la viabilità di accesso all'aeroporto che si svilupperà intorno alla vasca di auto contenimento idraulico C. L'intera zona è pianeggiante ed è posta a quote variabili tra circa 35 e 39 m s.l.m.. La carta geomorfologica in allegato è stata elaborata a partire dai medesimo elaborato delle *Indagini geologico-tecniche* di supporto al Piano Strutturale e al Secondo Regolamento Urbanistico del Comune di Sesto Fiorentino e integrata con il lavoro di campagna. Le forme individuate sono state classificate in base all'origine e distinte in due gruppi che vengono di seguito descritti.

5.1.1. Forme di origine antropica

Tra le forme legate all'attività antropica si osservano numerosi *Depositi antropici*,

terreni di riporto (rilevati stradali dell'Autostrada A11 e degli svincoli e argini), bonifica per colmata, due cave inattive (il lago di Peretola a sud-est e il lago nei pressi di Mollaia a nord-ovest) e la discarica di Case Passerini (Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani).

5.1.2. *Forme dovute e processi fluviali*

Il contatto tra le due principali unità geologiche affioranti (bna1 e bna2 - carta geologica), coincide con il limite deposizionale delle conoidi alluvionali che sono state cartografate.

6. Classi di pericolosità

L'opera di cui si tratta ricade quasi interamente nel Comune di Sesto Fiorentino e, per una piccola porzione nel Comune di Firenze; entrambi i comuni sono dotati del Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico e dunque delle Carte di pericolosità previste dalla legislazione vigente. In data 13/03/2023 è stato inoltre adottato il nuovo Piano Strutturale (PS) ed il nuovo Piano Operativo (PO) del Comune di Firenze.

6.1. Pericolosità geologica

La *Carta della pericolosità geologica - sud* (Secondo il Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-3) classifica l'area in cui sorgerà l'opera in progetto in classe di pericolosità geologica medio-bassa (G2).

La porzione che ricade nel territorio comunale di Firenze è classificata in classe di pericolosità geologica media (G2) sia nella *Carta della pericolosità geologica* (Tavola 4 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*) che nella *Carta della pericolosità geologica* (Tavola 04/1 del nuovo *Piano Strutturale* adottato).

Per quanto riguarda il Piano di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, la zona in oggetto non è classificata nella cartografia delle aree con pericolosità da frana e nelle aree con propensione al dissesto.

6.2. Pericolosità idraulica

La *Carta della pericolosità idraulica ai sensi del 53/R* (Secondo Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-9H) classifica l'area in cui sorgeranno le opere in progetto in parte in classe di pericolosità idraulica I.4 (alveo del

Fosso Reale attuale), in parte in classe di pericolosità idraulica I.3 e in parte in classe di pericolosità idraulica I.3* (Aree di potenziale ristagno e/o insufficienza di drenaggio della rete di acque basse).

All'interno della Carta della pericolosità idraulica ai sensi del PGRA (Secondo Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-9I) l'area di intervento in piccola parte ricade in classe P3, limitatamente alle porzioni sul tracciato attuale del Fosso Reale, e in classe P2 nell'area di Ponte a Giogoli, mentre la maggior parte dell'area di intervento ricade nell'area di studio dell'aeroporto.

La porzione che ricade nel territorio del Comune di Firenze è compresa in classe di pericolosità idraulica elevata I.3, per quanto riguarda la porzione a sud, e in classe di pericolosità idraulica media I.2 per quando riguarda la zona a nord (vicino al parco fotovoltaico) nella *Carta della pericolosità idraulica* (Tavola 5 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*).

Per quanto riguarda la *Carta della pericolosità da alluvioni* l'area che ricade nel territorio comunale di Firenze è classificata in area a pericolosità da alluvioni poco frequenti P.2 per quanto riguarda la porzione a sud, e in area a pericolosità da alluvioni rare P.1 per quando riguarda la zona a nord (vicino al parco fotovoltaico) (Tavola 06/1 del nuovo *Piano Strutturale* adottato).

In riferimento al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), è stato adottato nella seduta dalla Conferenza Istituzionale Permanente con la delibera n. 26 del 20 dicembre 2021 il "primo aggiornamento PGRA (2021-2027)", che rappresenta il riferimento in materia di pericolosità e rischio di alluvioni, l'area risulta caratterizzata prevalentemente dalle classi di pericolosità idraulica P2 e, limitatamente alle porzioni sul tracciato attuale del Fosso Reale, P3.

La parte a nord (vicino al parco fotovoltaico), invece, ricade in pericolosità idraulica P1.

6.3. Pericolosità sismica

La *Carta della pericolosità sismica - sud* (Secondo Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-4) classifica l'area di progetto in classe di pericolosità sismica media (S2).

La parte di viabilità compresa nel Comune di Firenze è invece classificata con pericolosità sismica elevata S.3 nella *Carta della pericolosità sismica* (Tavola 6 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*) e in pericolosità sismica *media S2 con contrasti attesi oltre alcune*

decine di metri di profondità e $f_0 < 1$ Hz (Tavola 05/1 del nuovo Piano Strutturale adottato).

7. Classi di fattibilità

Per quanto riguarda le prescrizioni relative alle classi di fattibilità geologica e sismica di seguito assegnate, si evidenzia che il presente studio geologico è basato su dati ottenuti da indagini geognostiche eseguite nell'area di intervento o nelle immediate vicinanze. In merito agli aspetti idraulici (art. 46, comma 4 e 5 delle Norme Generali del Secondo Regolamento Urbanistico del Comune di Sesto Fiorentino e art. 75, comma 3 delle N.T.A. del Comune di Firenze) si rimanda agli altri elaborati progettuali.

7.1. Comune di Sesto Fiorentino

Nella *Relazione geologica di fattibilità (ai sensi del DPGR 53/R/2011)* a supporto del Secondo Regolamento Urbanistico Indagini Geologico-Tecniche e Idrauliche), sono presenti due tabelle, una per la pericolosità geologica (tabella A) e una per la pericolosità idraulica (tabella B) e sono presenti gli interventi riguardanti le *aree destinate all'ampliamento di sedi stradali esistenti o alla realizzazione di nuovi brevi tratti di viabilità di ingresso, di servizio o per il miglioramento dell'attuale viabilità di accesso a zone da edificare*, invece per quanto riguarda il sottoattraversamento della pista non vi è nulla cui possa essere assimilata quella cui si riferisce la presente relazione. L'attribuzione della classe è stata fatta sulla base dei principi generali espressi nel DPGR 53/R/2011.

Per quanto riguarda l'attribuzione della fattibilità sismica sulla base della pericolosità sismicità e degli interventi in progetto non è presente un abaco all'interno della *Relazione geologica di Fattibilità*, ma al nell'art. 47 delle *Norme Generali* sono definite le condizioni delle classi di fattibilità. L'attribuzione della classe è stata fatta sulla base dei principi generali espressi nel DPGR 53/R/2011.

7.1.1. Fattibilità geologica

Vista la tipologia di intervento (*Aree destinate all'ampliamento di sedi stradali esistenti o alla realizzazione di nuovi brevi tratti di viabilità di ingresso, di servizio o per il miglioramento dell'attuale viabilità di accesso a zone da edificare*) e la classe di pericolosità geologica media G2 (§ 6.1), si assegna, secondo i criteri della tabella A contenuta nella *Relazione geologica di fattibilità (ai sensi del DPGR 53/R/2011)* a supporto del Secondo Regolamento Urbanistico

Indagini Geologico-Tecniche e Idrauliche, una fattibilità condizionata F.G.3. Le prescrizioni specifiche contenute nell'art. 45, comma 3 delle Norme Generali del Secondo Regolamento Urbanistico sono relative a interventi eseguiti su versanti o che interferiscano con edifici esistenti o in progetto.

7.1.2. Fattibilità idraulica

Gli interventi in progetto ricadono per la quasi totalità in pericolosità idraulica I.3 e I.3* (§ 6.2), in base all'abaco B della relazione di fattibilità precedentemente citata viene attribuita una fattibilità idraulica condizionata F.I.3 (si considera la medesima tipologia di opera precedentemente indicata). Anche laddove l'intervento in progetto ricade in pericolosità idraulica I.4 viene attribuita una fattibilità idraulica condizionata F.I.3, considerato che il tracciato del Fosso Reale subirà un riassetto idraulico che comporterà una nuova configurazione che circonda la nuova pista.

7.1.3. Fattibilità sismica

Viste le tipologie di intervento previste e vista la classe di pericolosità sismica media (S2) si ritiene di attribuire una classe di fattibilità 2 con normali vincoli. Il comma 2 dell'articolo 47 delle Norme Generali del Secondo Regolamento Urbanistico, stabilisce che per questa classe di fattibilità *non sussistono condizioni di fattibilità specifiche per la fase di predisposizione dei Piani Attuativi o dei Progetti Unitari, ovvero per la valida formazione dei titoli o atti abilitativi all'attività edilizia.*

7.2. Comune di Firenze

Le Norme Tecniche di Attuazione del Piano Strutturale del Comune di Firenze forniscono le regole per procedere all'assegnazione della classe di fattibilità in funzione del tipo di intervento edilizio o urbanistico e del grado di pericolosità in relazione agli aspetti legati al rischio geologico, idraulico e sismico. Tali disposizioni sono contenute nel Volume I, Parte 4, Titolo II, *Disciplina ecologico ambientale*, Capo II, *Misure di protezione* delle NTA suddette.

Per quanto riguarda il nuovo Piano Operativo, adottato con D.C.C. n.6 del 2023, sono stati invece definiti i criteri di fattibilità.

7.2.1. R.U. approvato

7.2.1.1. Fattibilità geologica

In merito agli aspetti geologici, ai sensi della *Matrice della fattibilità geologica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area*, viene attribuita al tratto di strada in progetto (gruppo: *infrastrutture e reti tecnologiche, realizzazione di infrastrutture per la mobilità (strade, ferrovie, piste ciclabili, ecc.) o modifiche alle esistenti*) una fattibilità geologica con normali vincoli F.G.2, poiché l'area ricade in classe di pericolosità geologica media G.2. Come riporta l'art. 74 delle N.T.A., tale classe di fattibilità prevede le seguenti prescrizioni: *Sono consentiti gli interventi di nuova edificazione e di realizzazione di nuove infrastrutture, nonché la ristrutturazione urbanistica e quella edilizia con demolizione e ricostruzione la cui progettazione deve contenere apposite considerazioni basate su studi ed indagini di dettaglio che diano conto che l'intervento garantisce la sicurezza della popolazione, non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente le condizioni e i processi geomorfologici dell'area interessata.*

7.2.1.2. Fattibilità idraulica

Per quanto riguarda la fattibilità idraulica, in base alla "Matrice della fattibilità idraulica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area", vista le tipologia di intervento precedentemente descritta e la classe di pericolosità idraulica elevata I.3, viene attribuita all'opera in oggetto una fattibilità idraulica condizionata - F.I.3.

7.2.1.3. Fattibilità sismica

Relativamente alla fattibilità sismica, secondo l'abaco *Matrice della fattibilità sismica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area*, analogamente a quanto fatto in precedenza (tipologia intervento, area in classe di pericolosità sismica elevata S.3), si assegna una fattibilità sismica condizionata – FS3 alla viabilità da realizzare. Questa classe di fattibilità sismica, come contenuto nell'art. 76 delle N.T.A., richiede le seguenti norme: *Sono consentiti gli interventi di ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione, ristrutturazione urbanistica, nuova edificazione o realizzazione di nuove infrastrutture, condizionati all'esecuzione di studi geofisici e geognostici di dettaglio funzionali alla determinazione dell'azione sismica di progetto, facendo riferimento anche alle norme comuni.*

7.2.2. P.O. adottato

7.2.2.1. Fattibilità in aree classificate a pericolosità geologica media

La fattibilità degli interventi di: nuova costruzione (ai sensi della LR 41/2018); nuova costruzione previa demolizione del patrimonio edilizio esistente; incrementi di superficie coperta e/o di volume; ristrutturazione edilizia, anche a carattere conservativo con mutamento di destinazione d'uso; ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare e a rete; è condizionata alle risultanze di specifiche indagini geologiche, geognostiche e geofisiche da eseguirsi in fase progettuale, al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.

7.2.2.2. Fattibilità in aree classificate a rischio di alluvioni (art. 84 N.T.A.)

Nelle aree caratterizzate da pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti la fattibilità degli interventi è perseguita secondo quanto disposto dalla LR 41/2018, oltre a quanto già previsto dalla pianificazione di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

7.2.2.3. Fattibilità in aree non soggette a rischio alluvioni (art. 84 N.T.A.)

Ad interventi e previsioni esterni ad aree classificate a pericolosità da alluvioni non si attribuiscono prescrizioni specifiche per il conseguimento del titolo abilitativo, salvo opportune indicazioni di misure per il riordino o ripristino del drenaggio superficiale.

7.2.2.4. Fattibilità in aree classificate a pericolosità sismica media S2 (art. 85 N.T.A.)

Nelle zone classificate a pericolosità sismica S2 si applicano le condizioni di fattibilità previste al paragrafo 3.6.5 dell'Allegato A al DPGR 5/R/2020.

8. Risultati delle indagini eseguite

8.1. Generalità

Come detto in premessa, le indagini di riferimento per il presente studio sono quelle eseguite da *Ambiente sc* di Carrara, su incarico di *Toscana Aeroporto Engineering S.r.l.*, nella Campagna di indagini geognostiche realizzate nel 2015 e nel 2017. Di seguito si elencano nel dettaglio le indagini geognostiche realizzate per lo studio delle caratteristiche litologiche,

stratigrafiche e meccaniche dei terreni presenti nell'area interessata dalle opere in progetto, (ubicate come nella planimetria generale delle indagini, nella tavola fuori testo). Per la caratterizzazione geologica ma soprattutto geotecnica della parte più profonda (indicativamente da circa 8-10 m p.c. a circa 30 m p.c.) del volume significativo del sottosuolo oggetto delle opere previste nell'ambito della viabilità, si è fatto riferimento ai progetti per la realizzazione dell'impianto di recupero di Case Passerini e per il centro commerciale Ikea, entrambi ubicati nelle immediate vicinanze della corsia lato sud dell'autostrada A11.

- Per la viabilità, il sottoattraversamento della pista e relative rotatorie:
 - n. 8 prove penetrometriche statiche con piezocono denominate CPTU01, CPTU02, CPTU11, CPTU12, CPTU18, CPTU23, CPTU24 e CPTU25, che hanno raggiunto profondità comprese tra di 8,19 e 10,27 m dal p.c., eseguite dalla Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);
 - n. 16 sondaggi a carotaggio continuo denominati S09, S19÷S28, e n.5 sondaggi S75, S77, S79÷S81, aventi una profondità di 4,0 m dal p.c., con l'eccezione dei sondaggi attrezzati a piezometro S19-pz, S22-pz e S28-pz profondi 10,0 m;
 - n. 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S118, fino ad una profondità di 5,0 m dal p.c. per poi essere a distruzione di nucleo fino ad una profondità di 32,0 m dal p.c.;
 - n. 11 sondaggi a carotaggio continuo denominati S04, S05, S83, S85, S92, S101, S103, S104, S106, S107 e S116, aventi una profondità di 15,0 m dal p.c.;
 - n. 2 sondaggi a carotaggio continuo denominati S93, S121, fino ad una profondità di 10,0 m dal p.c.
 - n. 3 sondaggi a carotaggio continuo denominati S91, S117 e S119, aventi una profondità di 32,0 m dal p.c.;
 - nei sondaggi S21, S24, S25, S91, S92, S101, S103, S104, S106, S107 e S116, S117, S118 e S119 sono state eseguite prove SPT (Standard Penetration Test), come riassunto nella tabella 3;
 - prelievo di campioni indisturbati, tramite fustella a pareti sottili tipo Shelby, dai sondaggi realizzati, come riportato nelle tabelle 5, 6 e 7;
 - nei campioni suddetti sono state eseguite prove geotecniche da parte del laboratorio Igetecma s.n.c. di Montelupo Fiorentino (Provincia di Firenze) che sono descritte nel §

8.3.2 e riportate nelle tabelle 5, 6 e 7.

Le stratigrafie dei sondaggi e i certificati delle prove di laboratorio sono contenuti nell'Allegato A e i certificati delle prove CPTU nell'Allegato B.

8.2. Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)

Le prove penetrometriche statiche CPTU sono state eseguite con un penetrometro cingolato gommato, modello TG 63-200 KN, capace di una spinta di 200 kN (20 ton), progettato e prodotto da Pagani Geotechnical Equipment di Piacenza, attrezzato con punta elettrica/piezocono Geotech. Le prove sono state realizzate secondo le specifiche ASTM D 5578 - 95 (*Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils*) e ISSMFE (*Technical Committee on Penetration Testing (1988) - Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure*). Le verticali hanno raggiunto il rifiuto strumentale ad una profondità inferiore ai 15 m dal p.c. previsti. Di seguito si descrivono le prove eseguite (si vedano i certificati nell'allegato A):

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 01:
 - Profondità indagata: 9,72 m dal p.c.;
 - Nel primo metro circa dal p.c., elevati valori della resistenza alla punta (q_c), con picco fino a circa 10 MPa alla profondità di 50 cm dal p.c., primo metro di spessore costituito prevalentemente da sabbia limosa e limo sabbioso nella metà superiore e terreni coesivi molto consistenti nella metà inferiore di questo intervallo (SBT, Robertson, 2010); da tale profondità fino a fondo foro, si ha una drastica riduzione della q_c nella colonna argillosa, con q_c compresa mediamente fra 2 e 3 MPa, con punte locali di 4 MPa; da circa 9,50 m dal p.c. fino a fondo infissione la q_c torna a crescere fino a circa 6 MPa;
 - La resistenza laterale (f_s) presenta un andamento simile a quello della resistenza alla punta (q_c), sebbene con il picco sfasato per motivi litologici, con valori fino a 500 kPa in corrispondenza della profondità di circa 1 m p.c., per diminuire progressivamente nella colonna argillosa fino a 100÷150 kPa a 6,50 m dal p.c., per poi risalire fino a valori di 400÷500 kPa, sempre nella colonna argillosa, fino a fondo infissione (9,72 m dal p.c.);

- La pressione interstiziale (u) assume valori prossimi allo 0 fino a circa 2,5 m dal p.c., poi aumenta progressivamente nella colonna argillosa fino alla profondità di circa 6 m dal p.c. con valori di pressione dei pori che raggiungono 1500÷1800 kPa, poi si assesta a 1250 kPa fino a 7,5 m dal p.c. e torna ad aumentare fino a quasi 3.000 kPa a fondo infissione.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 02:
 - Profondità indagata: 10,64 m dal p.c.;
 - Nello spessore dei primi 1,5 metri circa dal p.c., elevati valori della resistenza alla punta (q_c), con picco fino a circa 7 MPa alla profondità di 75 cm dal p.c., spessore costituito prevalentemente da sabbia limosa e limo sabbioso nella metà superiore e terreni coesivi molto consistenti nella metà inferiore di questo intervallo (SBT, Robertson, 2010); da tale profondità fino a fondo foro, si ha una drastica riduzione della q_c nella colonna argillosa, con q_c compresa mediamente fra 1,5 e 3 MPa; da circa 9,25 m dal p.c. fino a fondo infissione la q_c torna a crescere fino a circa 4 MPa;
 - La resistenza laterale (f_s) presenta un andamento simile a quello della resistenza alla punta (q_c), con valori superiori a 400 kPa in corrispondenza della profondità di circa 1,5 m p.c., per diminuire progressivamente nella colonna argillosa a 100÷200 kPa fino a circa 9 m dal p.c., per poi risalire fino a valori di 300÷400 kPa, ancora nella colonna argillosa, fino a fondo infissione;
 - La pressione dei pori (u) assume valori prossimi allo 0 fino a circa 3 m dal p.c., poi aumenta progressivamente nella colonna argillosa fino alla profondità di circa 9,25 m dal p.c. con valori di pressione dei pori che raggiungono 1300÷1400 kPa, poi la pressione dei pori si azzerava ma riprende ad aumentare fino a 300 kPa a fondo infissione.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 11:
 - Profondità indagata: 9,41 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (q_c) aumentano dal piano di campagna fino alla profondità di 2,0 m dal p.c. raggiungendo valori di 4,2 MPa, corrispondenti ad un

intervallo costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010); dalla profondità di 2,0 m fino a 3,8 m dal p.c. si registra una diminuzione con valori minimi pari a circa 1,5 MPa per la presenza di argille; in corrispondenza della profondità da 4,0 a 4,5 m dal p.c. i valori di resistenza alla punta (qc) tendono a risalire con valori massimi pari a circa 3,8 MPa, indicando la presenza di un livello argilloso più compatto, mentre dalla profondità di circa 4,5 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (9,41 m dal p.c.) la resistenza alla punta (qc) oscilla su valori inferiori, compresi tra 1,6 e 3,0 MPa.

- Dal piano di campagna fino alla profondità di 1,3 m dal p.c. i valori di resistenza laterale (fs) crescono fino a un massimo di 370 KPa per poi oscillare su valori compresi tra 120 e 200 kPa fino a fine infissione, con picchi massimi di resistenza laterale pari a 300 KPa alla profondità di 4,3 m dal p.c. Coerentemente con quanto registrato nel diagramma della resistenza alla punta, indicando la presenza di un livello argilloso più compatto.
 - I valori della pressione interstiziale (u) rimangono bassi fino alla profondità di circa 3,5 m dal p.c., profondità oltre la quale la pressione interstiziale (u) inizia a crescere fino alla profondità di 4,2 m dal p.c. raggiungendo valori di circa 580 kPa; dalla profondità di 4,3 m dal p.c. i valori di pressione interstiziale (u) calano bruscamente arrivando a valori di 200 kPa. Si registra un ulteriore aumento della pressione interstiziale dei pori a partire da 6,5 m dal p.c. Pari a circa 550 KPa che decrescono nuovamente a circa 350 KPa in corrispondenza dello strato che va dalla profondità di 7,5 m a 8,0 m dal p.c. Si ha infine un ulteriore aumento da 8,2 m dal p.c. Fino a fondo infissione con valori che raggiungono i 600 Kpa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 12:
 - Profondità indagata: 8,19 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) diminuiscono dal p.c. e in particolare a partire da circa il primo metro in cui si registrano valori di 2,5 MPa fino a circa 3,5 m dal p.c.; in questo intervallo i valori minimi di resistenza alla punta (qc) osservati sono corrispondenti alle argille e sono pari a circa 1,2 MPa. A partire da 3,5 m dal p.c. si osserva un leggero aumento del valore pari a circa 3,8 MPa seguito da un nuovo trend decrescente fino alla profondità di 6,5 m dal p.c. A questa profondità si registra un

picco di valore massimo pari a circa 5,2 MPa, in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta, e una successiva diminuzione del valore fino alla profondità di fine infissione, con valori massimi pari a 3 MPa.

- I valori di resistenza laterale (f_s) aumentano dal p.c. mantenendo un andamento costante con valori medi intorno a 100 KPa fino alla profondità di 2,5 m dal p.c., in cui si assiste a un trend crescente che mostra un picco di 300 KPa alla profondità di circa 3,7 m dal p.c., in corrispondenza di un importante strato di argille più compatto. A partire da circa 4,2 m dal p.c. si assiste a un andamento oscillatorio dei valori di resistenza laterale (f_s) con valori minimi pari a circa 120 KPa e valori massimi pari a circa 230 KPa alla profondità di 6,6 m dal p.c., in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta all'interno dello strato argilloso.
- I valori di resistenza laterale (f_s) aumentano dal p.c. mantenendo un andamento costante con valori medi intorno a 100 KPa fino alla profondità di 2,5 m dal p.c., in cui si assiste a un trend crescente che mostra un picco di 300 KPa alla profondità di circa 3,7 m dal p.c., in corrispondenza di un importante strato di argille più compatto. A partire da circa 4,2 m dal p.c. si assiste a un andamento oscillatorio dei valori di resistenza laterale (f_s) con valori minimi pari a circa 120 KPa e valori massimi pari a circa 230 KPa alla profondità di 6,6 m dal p.c., in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta all'interno dello strato argilloso.
- I valori della pressione interstiziale (u) rimangono bassi fino a circa 1,5 m dal p.c. e tendono ad aumentare fino a un massimo di circa 480 KPa alla profondità di 2,7 m dal p.c.. Da tale profondità si ha una diminuzione del valore di pressione interstiziale (u) fino a valori prossimi allo zero. A partire dalla profondità di 3,5 m dal p.c. si osservano forti oscillazioni: il valore di pressione interstiziale (u) aumenta fino a circa 1000 KPa e decresce fino a circa 70 KPa alla profondità di 3,8 m dal p.c.; da tale profondità si registra un ulteriore aumento pari a circa 1200 KPa, che decresce nuovamente a circa 700 KPa a 5,0 m dal p.c. Si osserva un ulteriore aumento che mostra valori di oltre 1200 KPa alla profondità di 6,0 m dal p.c.; a tale profondità si osserva un brusco calo con valori registrati prossimi allo zero che crescono nuovamente fino a circa 1000 KPa alla profondità di 6,5 m dal p.c. A partire da questa profondità si assiste a un ulteriore

brusco calo dei valori di pressione interstiziale (u) fino a valori negativi, che mostrano poi un trend crescente fino a fondo infissione con valori massimi pari a circa 1100 Kpa.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 18:
 - Profondità indagata: 10,19 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (q_c) mostrano un andamento crescente a partire dal p.c. fino a circa 1,0 m con valori massimi pari a circa 7 MPa in corrispondenza di uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010); a partire da tale profondità si assiste a un trend decrescente fino a circa 1,8 m dal p.c., in cui i valori di resistenza alla punta (q_c) mantengono un andamento costante fino a circa 8,5 m dal p.c., mostrando valori medi pari a circa 2,5 MPa, caratteristici di substrati argillosi. Da sottolineare la presenza di un picco di valore prossimo a 3,5 MPa da 4,0 m a 4,5 m dal p.c., in corrispondenza di un livello argilloso più compatto. A partire da 8,5 m dal p.c. si osserva un ulteriore picco con valori massimi registrati pari a circa 4,5 MPa, che decrescono e tendono nuovamente a risalire fino a fondo infissione dove si registra un valore pari a circa 5,5 MPa.
 - I valori di resistenza laterale (f_s) mostrano un andamento crescente fino alla profondità di circa 1,5 m dal p.c., in corrispondenza di uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010), mostrando valori massimi pari a circa 400 KPa; a partire da tale profondità si osserva un trend decrescente del valore di resistenza laterale (f_s) che mostra valori prossimi ai 200 Kpa e un picco alla profondità di circa 4,2 m dal p.c. con valori pari a circa 300 KPa, in corrispondenza di uno strato argilloso più compatto; da 4,5 m dal p.c. fino a 8,5 m dal p.c. l'andamento dei valori di resistenza laterale (f_s) mostrano nuovamente un andamento costante con valori medi pari a circa 200 KPa tipici dei substrati argillosi; a partire da tale profondità si osserva inizialmente un calo con valori prossimi a circa 100 Kpa e un successivo aumento fino a fondo infissione pari a circa 450 KPa.
 - I valori della pressione interstiziale (u) mostrano un andamento crescente a partire dal p.c. fino a circa 5,5 m dal p.c., con valori massimi pari a circa 1250 KPa mostrando un brusco calo del valore a circa 4,2 m dal p.c. pari a 250 KPa. A partire da 5,5 m dal p.c. si osserva inizialmente un brusco calo del valore di pressione interstiziale (u) a circa 500

MPa che tende poi a risalire fino a circa 1100 KPa alla profondità di 6,5 m dal p.c.; a circa 6,7 m dal p.c. si osserva un intervallo oscillatorio in cui i valori della pressione interstiziale (u) tendono inizialmente a decrescere fino a circa 200 KPa e risalire a circa 1200 KPa alla profondità di 7,5 m dal p.c.; a partire da tale profondità si assiste a un ulteriore brusco calo a circa 200 KPa che risale fino a circa 1400 KPa alla profondità di 8,6 m dal p.c.; da 8,7 m dal p.c. si registra un ulteriore calo pari a circa 200 KPa fino a circa 600 KPa alla profondità di 9,5 m dal p.c.; a partire da tale profondità si osserva un ulteriore aumento fino a 10 m dal p.c. in cui si registra un valore massimo pari a 1700 KPa, valore che diminuisce a fondo infissione fino a 1000 Kpa.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 23:
 - Profondità indagata: 8,25 m dal p.c..
 - Nei primi 1,6 m dal p.c. si rilevano elevati valori della resistenza alla punta (qc), soprattutto nei primi metri dal piano di campagna (fino a 4,4 Mpa), per la presenza di suolo compatto (SBT, Robertson, 2010); dalla profondità di 1,6 m dal p.c. fino a fondo infissione (8,25 m dal p.c.), i valori della resistenza alla punta rimangono abbastanza costanti e con valori più bassi rispetto al livello soprastante, oscillando da 1,3 a 3,2 MPa, per la presenza di argille più meno compatte (SBT, Robertson, 2010); le oscillazioni più marcate corrispondono ai livelli argillosi più compatti.
 - La resistenza laterale (fs) presenta andamento simile alla resistenza alla punta (qc), dal piano di campagna inizia a crescere fino a raggiungere il valore massimo a 0,6 m dal p.c. arrivando a 390 kPa; da 0,6 m dal p.c. la resistenza laterale (fs) oscilla da 110 a 300 kPa, le oscillazioni maggiori sono in corrispondenza dei livelli più coesivi.
 - I valori della pressione interstiziale (u) dal piano di campagna fino alla profondità di 3,7 m non variano molto e si attestano poco sopra i 100 kPa; successivamente la u inizia a salire fino alla profondità di 5,2 m dal p.c. dove raggiunge 950 kPa; alla profondità di 5,2 m dal p.c. si ha un repentino abbassamento della pressione interstiziale fino a 500 kPa; al di sotto la pressione riprende a salire fino a 6,1 m dal p.c. (1.100 kPa); a questa profondità la pressione interstiziale diminuisce bruscamente fino a 350 kPa, per poi risalire in modo altrettanto repentino fino alla profondità di 6,7 m dal p.c. dove raggiunge 1.300 kPa; da 6,7 m dal p.c. i valori scendono di nuovo fino a raggiungere 50

kPa per poi risalire fino ad una profondità di 7,7 m dal p.c. (1.100 kPa); si ha poi ancora un abbassamento fino a 500 kPa alla profondità di 7,8 m dal p.c.; infine la pressione raggiunge a fondo infissione 900 kPa.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 24:
 - Profondità indagata: 10,27 m dal p.c..
 - La resistenza alla punta (q_c) inizialmente ha valori elevati (circa 4 Mpa), per poi scendere a 1 MPa ad una profondità di 0,7 m dal p.c. e risalire fino alla profondità di 1,7 m dal p.c. raggiungendo 4,5 Mpa (gli alti valori registrati corrispondono a suolo compatto - SBT, Robertson, 2010); dalla profondità di 1,7 m i valori di q_c iniziano a risalire fino a 2,4 m dal p.c. per poi oscillare tra 1,5 MPa e 4,9 MPa, per la presenza di argille (SBT, Robertson, 2010); le variazioni più accentuate corrispondono a livelli di argilla molto compatta.
 - La resistenza laterale (f_s) da 90 kPa raggiunge a 1,5 m dal p.c. raggiunge valori di 310 kPa (in questo intervallo presente suolo compatto - SBT, Robertson, 2010); da questa profondità la f_s scende a valori di 100 kPa fino a 1,8 m dal p.c. per poi variare tra 100 e 190 MPa fino alla profondità di 4,3 m dal p.c.; a tale profondità i valori sono leggermente più alti (150÷360 kPa) fino a 9,3 m dal p.c. (presenza di un livello più coesivo tra 5,5 e 5,8 m dal p.c.); dalla profondità di 9,3 m dal p.c. si ha un aumento della resistenza laterale (f_s) fino alla profondità di fine infissione, con valori che compresi tra 200 e 360 kPa.
 - La pressione interstiziale (u) in prossimità del piano di campagna fino a 3,3 m è molto bassa, successivamente inizia a salire fino ad una profondità di 4,6 m dal p.c. dove raggiunge 950 kPa; la pressione subisce poi una forte diminuzione arrivando a valori negativi; alla profondità compresa tra 4,6 e 5,7 m dal p.c. i valori di u variano molto passando da 900÷1.500 kPa a valori inferiori a 0 kPa; dalla profondità di 5,7 m dal p.c. la pressione cresce fino alla profondità di fine infissione dove raggiunge 1.850 kPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 25:
 - Profondità indagata: 9,69 m dal p.c..

- Nei primi 1,6 m circa dal p.c., si rilevano elevati valori della resistenza alla punta (q_c), che oscilla tra 1,5 e 4,3 MPa, corrispondenti ad un intervallo costituito prevalentemente da suolo compatto (SBT, Robertson, 2010); dalla profondità di 1,6 a 3,7 m dal p.c. la resistenza alla punta rimane pressoché costante oscillando tra 1,2 a 1,9 Mpa per la presenza di argille; dalla profondità di 3,7 fino a fine infissione (9,69 m dal p.c.) la q_c varia da 1,4 a 3,9 Mpa, i valori più alti corrispondono a piccoli livelli di argille più compatte.
- Nel primo metro dal piano di campagna i valori della resistenza laterale (f_s), aumentano costantemente fino a raggiungere 340 kPa, successivamente decrescono fin alla profondità di 1,9 m p.c.; da qui fino a fondo foro (9,69 m dal p.c.) la resistenza alla punta subisce oscillazioni comprese tra 80kPa e 260 kPa per la presenza di piccoli livelli più o meno coesivi.
- I valori della pressione interstiziale (u) sono prossimi allo zero kPa fino alla profondità di 2,5 m dal p.c., successivamente la pressione incrementa fino alla profondità 4,2 m p.c. dove raggiunge 1.100 kPa; alla profondità di 4,3 m dal p.c. la pressione interstiziale subisce una forte diminuzione arrivando a 30 kPa; dalla profondità di 4,3 m dal p.c. c'è un aumento fino a raggiungere 1.100 kPa per poi subire un forte abbassamento alla profondità di 5,1 m p.c., dove raggiunge 190 kPa; da questa profondità si registra un aumento fino a 1.200 kPa per poi subire un forte calo alla profondità di 7,6 m dal p.c. (30 kPa); successivamente. la u aumenta fino a fine infissione (9,69 m dal p.c.) raggiungendo i 1.000 kPa.

8.3. Prove SPT e campioni prelevati nei sondaggi a carotaggio continuo (Campagne indagini TAE 2015 e 2017)

8.3.1. Standard Penetration Test

Durante la perforazione di alcuni sondaggi sono state eseguite prove Standard Penetration Test (S.P.T.) seguendo le norme di riferimento AGI e ASTM. I risultati delle prove S.P.T., permettono di ricavare indicazioni sulle caratteristiche geotecniche del terreno incontrato attraverso correlazioni di natura empirica. I sondaggi dove sono state eseguite e le profondità a cui sono state realizzate sono riportate in tabella 3.

Sigla sondaggio	S.P.T.	Profondità [m da p.c.]	Profondità [m s.l.m.]	N1	N2	N3	N _{SPT}
S21	1	3,00 ÷ 3,45	33,550 ÷ 33,100	8	12	11	24
S24	1	1,50 ÷ 1,95	34,500 ÷ 34,050	6	7	10	17
S25	1	3,00 ÷ 3,45	33,550 ÷ 33,100	8	10	13	23
S91	1	2,60 ÷ 3,05	37,951 ÷ 37,501	3	5	8	13
	2	7,00 ÷ 7,45	33,551 ÷ 33,101	6	10	11	21
S92	1	2,10 ÷ 2,55	38,473 ÷ 38,023	3	4	7	11
	2	5,00 ÷ 5,45	35,573 ÷ 35,123	4	6	8	14
S101	1	3,50 ÷ 3,95	34,118 ÷ 33,668	4	6	7	13
	2	9,00 ÷ 9,45	28,618 ÷ 28,168	8	11	13	24
S103	1	3,50 ÷ 3,95	32,328 ÷ 31,878	7	9	9	18
	2	8,00 ÷ 8,45	27,828 ÷ 27,378	11	15	15	30
S104	1	4,00 ÷ 4,45	32,494 ÷ 32,044	6	9	11	20
	2	6,00 ÷ 6,45	30,494 ÷ 30,044	8	12	13	25
S106	1	4,00 ÷ 4,45	34,312 ÷ 33,862	5	6	6	12
	2	6,00 ÷ 6,45	32,312 ÷ 31,862	8	10	12	22
S107	1	3,00 ÷ 3,45	32,016 ÷ 31,566	6	8	7	15
	2	6,00 ÷ 6,45	29,016 ÷ 28,566	9	9	11	20
S116	1	2,10 ÷ 2,55	34,732 ÷ 34,282	2	3	3	6
	2	5,00 ÷ 5,45	32,232 ÷ 31,782	8	14	18	32
S117	1	2,60 ÷ 3,05	34,024 ÷ 33,574	3	4	3	7
	2	7,00 ÷ 7,45	29,624 ÷ 29,174	9	16	0	36
S118	1	2,10 ÷ 2,55	33,965 ÷ 33,615	6	5	7	12
	2	5,00 ÷ 5,45	31,065 ÷ 30,615	8	8	13	21
	3	7,00 ÷ 7,45	29,065 ÷ 29,615	10	11	14	25
S119	1	2,10 ÷ 2,55	34,252 ÷ 33,902	6	9	11	20
	2	4,00 ÷ 4,45	32,352 ÷ 31,902	8	8	10	18
	3	7,00 ÷ 7,45	29,352 ÷ 28,902	5	9	13	22

Tabella 3 - Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite durante la perforazione di alcuni sondaggi.

Nella tabella 4 sono riportate le prove in foro S.P.T. realizzate nei sondaggi ubicati nell'area di studio e la loro elaborazione. Nella figura 3 è mostrato il diagramma delle prove con i dati misurati (diagramma di sinistra) e quelli normalizzati (diagramma di destra). Tali diagrammi indicano i risultati delle prove fino alla profondità di circa 10,0 m da p.c..

8.3.2. Prove geotecniche di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, realizzati nelle campagne TAE 2015 e 2017, sono stati prelevati dei campioni indisturbati, tramite fustella a pareti sottili tipo Shelby, per essere successivamente inviati al laboratorio Igetecma s.n.c. di Montelupo Fiorentino (Firenze) per l'esecuzione di prove geotecniche. Sui campioni prelevati (per i dettagli si rimanda anche alle tabelle 5, 6 e 7) sono state eseguite le seguenti prove, fra le principali:

- prove speditive di consistenza (ASTM 2488), comprensive della fotografia;
- determinazione del contenuto d'acqua (ASTM D 2216);
- analisi granulometrica per sedimentazione (Raccomandazione AGI 1994, ASTM D 422);
- analisi granulometrica per vagliatura per via umida (Raccomandazione AGI 1994, ASTM D 422);
- determinazione limiti di Atterberg (ASTM D 4318);
- determinazione del peso dell'unità di volume (ASTM D 2937, BS 1377 T15/D);
- determinazione del peso specifico dei granuli (CNR-UNI 10013, ASTM D 854).

Inoltre, in molti campioni sono state effettuate le seguenti prove di resistenza al taglio e di compressione edometrica:

- prova di compressione semplice E.L.L.;
- prova di taglio diretto C.D.;
- prova triassiale non consolidata non drenata U.U. (ASTM D 2850);
- prova triassiale consolidata drenata C.D. (ASTM D 5311);
- prova triassiale consolidata non drenata C.U. o C.I.U.;
- prova di taglio diretto (ASTM D 3080);
- prova edometrica (ASTM D 2435).

Prove SPT eseguite nei sondaggi area tracciato viabilità/sottopasso - elaborazione NSPT

sigla sondaggio	progetto di riferimento	S.P.T.	prof. intervallo rif. (m p.c.)	descrizione litologica stimata (dai campioni prossimi)	n. colpi	NSPT (N2+N3)	NSPT correzione sotto falda	press litost efficace	correzione rapp. energ.	correzione diam foro	correzione met camp	correzione lung. aste	NSPT correz per efficienza 60%	C _u	NSPT correz press litost
								σ _v kPa	C ₁ =E _p /60	C ₂	C ₃	C ₄	N(60) N*CE*CB*CS*CR		
S 91		SPT1	2.60-3.05	limo (54.0) con argilla (40.9) sabbia (4.9) ghiaia (0.3)	3-5-8	13		57	0.9	1.0	1.0	0.75	9	1.32	11.8
S 92		SPT1	2.10-2.55	limo (50.8) con argilla (39.1) debolm sabbioso (6.3) ghiaia (3.8)	3-4-7	11		47	0.9	1.0	1.0	0.75	7	1.46	10.8
S 92		SPT2	5.00-5.45	argilla (52.5) con limo (35.0) debolm ghiaiosa (9.5) sabbia (3.0)	4-6-8	14		103	0.9	1.0	1.0	0.75	9	0.98	9.3
S 109		SPT1	2.60-3.05	argilla (58.1) con limo (38.8) sabbia (3.0) ghiaia (0.3)	10-15-20	35		57	0.9	1.0	1.0	0.75	24	1.33	31.3
S 103		SPT1	3.50-3.95	limo (40.3) con argilla (34.3) ghiaioso (15.5) e debolm sabbioso (9.9)	7-9-9	18		74	0.9	1.0	1.0	0.75	12	1.16	14.1
S 101		SPT1	3.50-3.95	argilla (50.9) con limo (40.5) debolm sabbiosa (7.3)	4-6-7	13		73	0.9	1.0	1.0	0.75	9	1.17	10.3
S 116		SPT1	2.10-2.55	limo (54.0) con argilla (33.6) debolm sabbioso (1.9) ghiaia (0.5)	2-3-3	6		46	0.9	1.0	1.0	0.75	4	1.47	8.0
S 117		SPT1	2.60-3.05	limo (51.9) con argilla (32.8) debolm sabbioso (13.8) ghiaia (1.5)	3-4-3	7		55	0.9	1.0	1.0	0.75	5	1.35	6.4
S 24		SPT1	1.00-1.45	limo (51.9) con argilla (42.0) debolm sabbioso (5.0) ghiaia (1.1)	6-7-10	17		25	0.9	1.0	1.0	0.75	11	2.01	23.0
S 118		SPT1	2.10-2.55	argilla (67.0) con limo (30.2) sabbia (2.4) ghiaia (0.4)	6-5-7	12		45	0.9	1.0	1.0	0.75	8	1.50	12.1
S 119		SPT1	2.10-2.55	limo (49.4) con argilla (41.5) debolm sabbioso (6.3) ghiaia (0.9)	6-9-11	20		46	0.9	1.0	1.0	0.75	14	1.48	19.9
S 119		SPT2	4.00-4.45	argilla (50.9) con limo (32.9) debolm ghiaiosa (13.3) sabbia (2.9)	8-8-10	18		82	0.9	1.0	1.0	0.75	12	1.10	13.4
S 91		SPT2	7.00-7.45	limo (48.7) con argilla (42.5) debolm sabbioso (7.2) ghiaia (1.6)	6-10-11	21		144	0.9	1.0	1.0	0.75	14	0.83	11.8
S 109		SPT2	5.50-5.95	limo argilloso consistente	5-7-10	17		114	0.9	1.0	1.0	0.75	11	0.94	10.8
S 104		SPT1	4.00-4.45	limo (44.8) con argilla (38.7) debolm ghiaioso (9.4) e sabbioso (7.2)	6-9-11	20		84	0.9	1.0	1.0	0.75	14	1.09	14.7
S 104		SPT2	6.00-6.45	argilla e limo grigio-azzurri, consistenti	8-12-13	25		123	0.9	1.0	1.0	0.75	17	0.90	15.2
S 103		SPT2	8.00-8.45	argilla consistente nocciola-marrone con screziature azzurre	11-15-15	30		162	0.9	1.0	1.0	0.75	20	0.79	15.9
S 101		SPT2	9.00-9.45	argilla (50.9) con limo (40.5) debolm sabbiosa (7.3)	8-11-13	24		179	0.9	1.0	1.0	0.75	16	0.75	12.1
S 116		SPT2	5.00-5.45	argilla (50.7) con limo (43.2) sabbia (4.7) ghiaia (1.5)	8-14-18	32		103	0.9	1.0	1.0	0.75	22	0.99	21.3
S 117		SPT2	7.00-7.45	argilla (49.0) con limo (41.8) sabbia (4.9) ghiaia (4.3)	9-16-20	36		142	0.9	1.0	1.0	0.75	24	0.84	20.4
S 118		SPT2	5.00-5.45	argilla (56.6) con limo (36.0) ghiaia (4.2) sabbia (3.2)	8-8-13	21		100	0.9	1.0	1.0	0.75	14	1.00	14.2
S 118		SPT3	7.00-7.45	limo (49.2) con argilla (42.7) debolm sabbioso (5.9) ghiaia (2.3)	10-11-14	25		140	0.9	1.0	1.0	0.75	17	0.85	14.3
S 119		SPT3	7.00-7.45	sabbia limosa nocciola alternata a livelli limo-argillosi	5-9-13	22		142	0.9	1.0	1.0	0.75	15	0.84	12.5

Tabella 4 - Elaborazioni delle prove penetrometriche in foro S.P.T. realizzate nei sondaggi nell'area di studio.

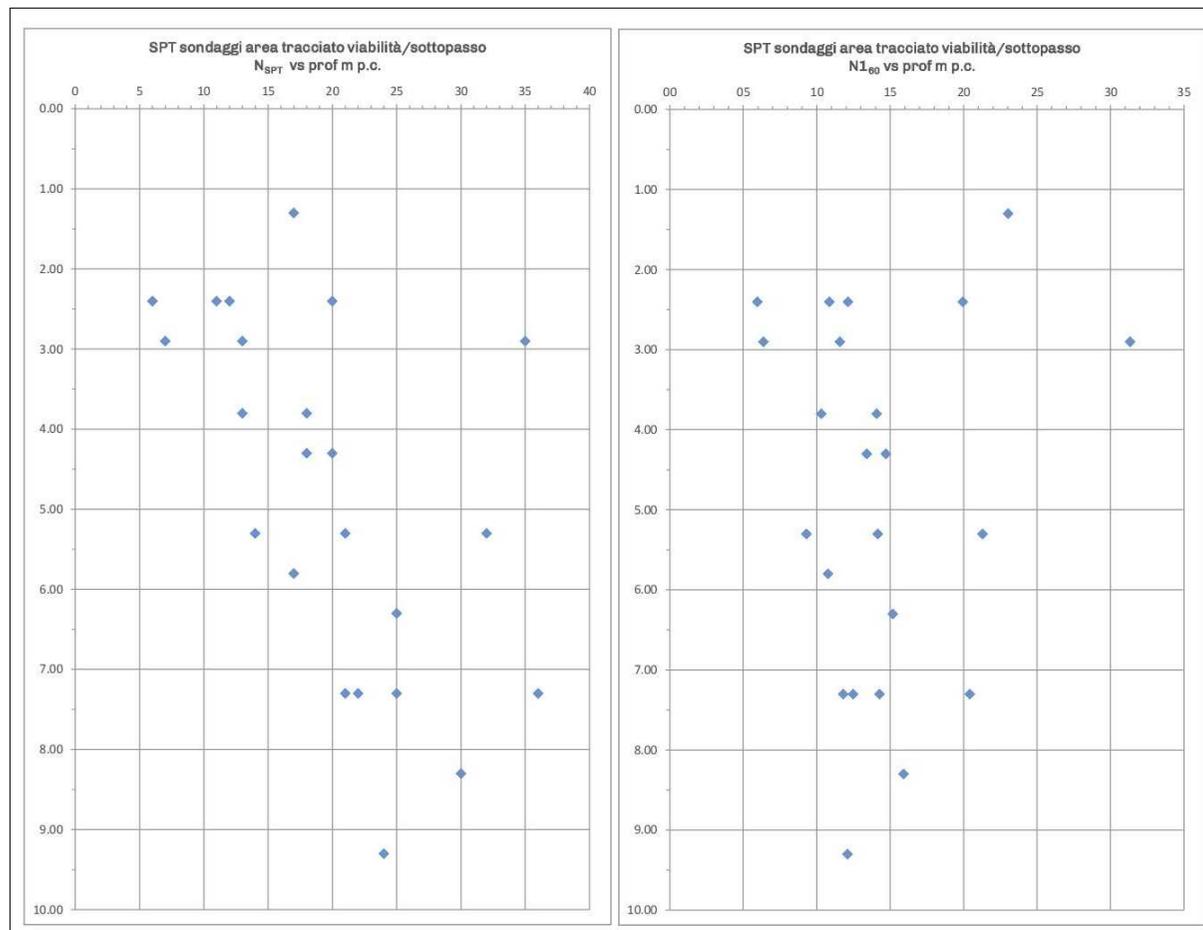


Figura 3 - I diagrammi mostrano i valori dei dati misurati (grafico di sinistra) e i valori normalizzati (diagramma di destra).

8.4. Indagini da DB Geologico - Regione Toscana

8.4.1. Sondaggi presso il centro commerciale IKEA e l'impianto di trattamento di Case Passerini

In aggiunta ai sondaggi eseguiti nelle campagne geognostiche TAE del 2015 e del 2017 sono stati considerati anche i sondaggi eseguiti per la realizzazione del centro commerciale IKEA e per l'impianto di recupero di Case Passerini, entrambi ubicati presso la corsia sud dell'Autostrada A11, con lo scopo di caratterizzare i terreni più profondi (fascia 8,0-25,0 m da p.c.) rispetto a quanto disponibile dai sondaggi TAE 2015-2017.

Per il centro commerciale IKEA sono stati presi in considerazione i seguenti sondaggi (fra parentesi la profondità totale del sondaggio): S150 (50m), S151 (30m), S157 (20m), S160 (10m), S162 (20m), S163 (30m), S166 (20m), S167 (20m).

Per l'impianto di recupero di Case Passerini sono stati presi in considerazione i seguenti sondaggi (fra parentesi la profondità totale del sondaggio): S3 (70m), S4 (35m), S5 (35m), S6 (70m), S7 (40m), S10 (n.d.).

Tali sondaggi sono accessibili e riportati sul portale del Sistema Informativo Geologico del Sottosuolo (S.I.G.S.) del Comune di Firenze (§10.3).

Stratigrafie e certificati di queste indagini non eseguite per TAE sono contenuti nell'Allegato A.

8.5. Quadro riepilogativo delle indagini geognostiche

Nelle seguenti Tabelle 5, 6 e 7 sono riportati i dati geotecnici ottenuti da una selezione dei campioni dei sondaggi realizzati durante le campagne TAE 2015 e 2017, dei campioni dei sondaggi realizzati per il progetto dell'impianto di Case Passerini e dei campioni dei sondaggi eseguiti per il progetto del centro commerciale Ikea. Nelle tabelle i dati sono già suddivisi nei tre strati geotecnici individuati ai fini della definizione del modello geotecnico, fino alla profondità di circa 30 m p.c. (10.3.3).

Tabella dati geotecnici da selezione campioni sondaggi realizzati campagne TAE 2015 e 2017, campioni sondaggi Case Passerini e sondaggi Ikea

sondaggio	campione	prof. camp. m/pe	quota pe nmlm	quota campione nmlm	descrizione litologica da stratigrafia (rif. classificazione AGI)	granulometria	Parametri fisici					Limiti di Atterberg				Coeff. ratio	Classificaz. UNI 10006				
							peso vol. sat. kN/m ³	peso vol. sec. kN/m ³	peso spec. kN/m ³	nd. var. (%)	grado satur. (%)	Um. nat. W%	Lum. liq. LL%	Lum. plast. LP%	Indice plast. IP%		Indice consist. IC (-)	Indice att. (-)	Limite stato %	Gruppo	Indice gap
strato geotecnico 1:																					
S 20 pista	CI1	0.50-1.00	35.9	35.425 + 34.925	limo (61.3) con argilla (30.4) debolm. sabbioso (7.4)	19.7	16.2	26.92	0.658	89.53	22.59	40.5	20.2	20.3	0.88	0.66	CL	A6	12		
S 21 pista	CI1	0.50-1.00	36.6	36.05 + 35.55	argilla (46.7) con limo (43.6) debolm. sabbioso (6.9)	19.1	15.1	26.91	0.751	91.19	26.63	59.3	26.6	32.7	1.00	0.66	CH	A7-6	20		
S 24 pista	CI1	0.50-1.00	36.0	35.50 + 35.00	limo (51.9) con argilla (42.0) debolm. sabbioso (5.0)	19.1	15.4	26.57	0.767	83.74	22.20	54.9	28.4	26.5	1.23	0.62	CH	A7-6	18		
S 25 pista	CI1	0.50-1.00	36.6	36.05 + 35.55	argilla (47.8) con limo (46.5) debolm. sabbioso (5.1)	18.4	15.0	26.26	0.750	80.67	18.84	56.6	21.9	35.6	1.06	0.73	CH	A7-6	16		
S 28 pista	CI1	0.50-1.00	38.0	37.45 + 36.95	limo (62.7) con argilla (29.6) sabbioso (16.2)	20.0	16.5	26.70	0.617	97.55	22.38	38.9	17.8	21.1	0.78	0.69	CL	A6	12		
S 103 pista	CI1	0.50-1.00	35.8	35.328 + 34.828	argilla (49.0) con limo (41.3) debolm. sabbioso (5.2)	19.4	16.2	26.34	0.626	85.42	19.82	51.7	30.5	31.2	1.02	0.60	CH	13.3	2.01	A7-6	18
S 19-pr.pista	CI1	1.00-1.50	35.3	33.80 + 33.30	limo (49.1) con argilla (42.8) debolm. sabbioso (6.8)	18.7	14.3	27.02	0.884	95.20	28.58	60.0	25.4	34.6	0.91	0.78	CH	A7-6	20		
S 20 pista	CI2	1.00-1.50	35.9	34.925 + 34.425	limo (57.5) con argilla (35.2) debolm. sabbioso (6.7)	19.4	16.4	26.91	0.703	73.25	18.74	51.3	26.0	25.3	1.29	0.70	CH	A7-6	16		
S 21 pista	CI2	1.00-1.50	36.6	35.55 + 35.05	limo (51.1) con argilla (44.1)	19.4	15.6	26.92	0.702	97.00	24.69	58.0	24.7	33.3	1.00	0.75	CH	A7-6	20		
S 22-pr.pista	CI1	1.00-1.50	37.2	36.175 + 35.675	argilla (47.1) con limo (44.2) debolm. sabbioso (6.9)	20.6	17.3	26.93	0.560	95.15	19.29	54.8	24.4	30.4	1.17	0.62	CH	A7-6	19		
S 23 pista	CI1	1.00-1.50	36.0	34.975 + 34.475	limo (56.4) con argilla (36.7) debolm. sabbioso (6.6)	19.4	15.4	26.53	0.727	98.94	24.81	47.9	24.7	23.2	1.00	0.62	CL	A7-6	15		
S 26 pista	CI1	1.00-1.50	36.9	35.875 + 35.375	limo (58.3) con argilla (30.8) debolm. sabbioso (10.5)	19.4	16.5	26.52	0.749	82.63	15.98	41.1	22.9	18.2	1.38	0.58	CL	A7-6	11		
S 27 pista	CI1	1.00-1.50	35.8	34.80 + 34.30	argilla (53.2) con limo (40.0) debolm. sabbioso (5.4)	19.2	15.0	26.60	0.770	97.32	27.80	59.8	30.3	29.5	1.08	0.54	CH	A7-5	20		
S 24 pista	CI2	1.10-1.60	36.0	34.90 + 34.40	limo (52.0) con argilla (40.5) debolm. sabbioso (5.2)	20.0	16.6	26.51	0.563	98.51	20.46	54.6	20.2	34.4	0.99	0.82	CH	A7-6	19		
S 28 pista	CI2	1.30-1.80	38.0	36.65 + 36.15	limo (46.7) con argilla (44.1) debolm. sabbioso (6.8)	19.4	15.6	26.82	0.733	97.62	23.75	56.5	25.7	30.8	1.06	0.68	CH	A7-6	19		
S 25 pista	CI2	1.50-1.90	36.6	35.05 + 34.65	limo (49.3) con argilla (43.9) debolm. sabbioso (6.5)	19.3	16.2	26.59	0.645	82.53	19.80	49.4	22.8	26.6	1.11	0.60	CL	A7-6	16		
S 79 a nord della pista	CI1	1.50-2.00			limo (59.6) con argilla (33.0) debolm. sabbioso (6.9)	19.7	15.9	26.70	0.678	96.10	22.36	49.1	24.5	24.6	1.09	0.73	CL	A7-6	15		
S 80 a nord della pista	CI1	1.50-2.00			limo (46.2) con argilla (39.3) debolm. sabbioso (9.0) e ghiaioso (5.9)	18.9	15.5	26.50	0.618	91.23	24.23	50.1	24.0	26.1	1.07	0.61	CH	A7-6	16		
S 81 a nord della pista	CI1	1.50-2.00			limo (45.5) con argilla (43.6) debolm. sabbioso (6.4)	18.9	15.5	26.57	0.714	84.43	22.23	54.3	24.1	30.2	1.06	0.65	CH	A7-6	19		
S 92 Base	CI1	1.50-2.00		30.073 + 30.573	limo (50.8) con argilla (39.1) debolm. sabbioso (6.3)	19.5	15.8	26.40	0.654	96.16	24.77	48.0	20.6	27.4	0.85	0.66	CH	12.7	1.98	A7-6	16
S 93 Ovest Pab.Sc.	CI1	1.50-2.00		37.395 + 36.895	limo (47.7) con argilla (41.6) debolm. sabbioso (8.1)	19.2	16.4	26.50	0.681	69.39	17.44	45.1	20.9	24.2	1.14	0.56	CL	14.3	1.94	A7-6	15
S 104 pista	CI1	1.50-2.00		34.994 + 34.494	argilla (57.2) con limo (34.0)	19.7	16.0	26.22	0.648	94.66	22.27	58.3	23.5	34.8	1.04	0.57	CH	13.7	1.98	A7-6	20
S 119 vv.f.	CI1	1.50-2.00			limo (49.4) con argilla (41.5) debolm. sabbioso (8.3)	19.1	15.6	26.5	0.704	86.7	22.44	47.6	30.0	27.6	0.91	0.65	CL	12.5	1.98	A7-6	17
S 117 ex Ovest	CI1	2.00-2.50		34.624 + 34.124	limo (51.9) con argilla (32.8) debolm. sabbioso (13.8)	19.0	15.3	26.49	0.726	90.39	24.33	34.2	17.9	16.3	0.61	0.48	CL	15.2	1.89	A6	10
MEDIA						19.4	15.8	26.63	0.696	89.57	22.27	50.9	23.2	27.7	1.03	0.65		13.62	1.96		
MEDIANA						19.4	15.7	26.57	0.703	91.19	22.32	51.5	23.8	27.8	1.05	0.65		13.50	1.98		
DEV. STD.																					
VAL. 5° PCT (ECT)																					
strato geotecnico 2:																					
S 4 Case Pass.	CI1	1.00-1.50			argilla (49.5) con limo (42.5) debolm. sabbioso (5.1)	19.9	16.2	26.83	0.654	95.56	23.10	62.6	24.9	37.7	1.05	0.73	CH	A7-6	20		
S 5 case/NO pista	CI1	1.50-2.00			argilla (46.7) con limo (46.0) debolm. sabbioso (5.2)	19.2	15.2	26.68	0.766	95.16	26.82	57.4	27.0	30.4	1.01	0.63	CH	A7-6	19		
S 85 SE Case Pass.	CI1	1.50-2.00		38.356 + 37.856	argilla (49.7) con limo (46.2)	19.3	16.0	26.38	0.652	85.93	20.74	53.4	23.2	30.2	1.08	0.60	CH	13.3	1.95	A7-6	19
S 106 pista	CI1	1.50-2.00		36.812 + 36.312	argilla (49.6) con limo (44.1)	19.8	16.2	26.54	0.631	96.28	22.29	54.6	23.4	31.2	1.03	0.61	CH	13.5	1.96	A7-6	19
S 118 case/NO pista	CI1	1.50-2.00			argilla (67.0) con limo (30.2)	18.6	14.6	25.5	0.682	100.5	26.62	67.8	25.8	42.0	0.98	0.62	CH	11.1	2.02	A7-6	20
S 103 pista	CI2	2.00-2.50			limo (40.3) con argilla (34.3) ghiaioso (15.5) e debolm. sabbioso (9.9)	19.6	15.8	26.24	0.775	90.32	18.18	50.5	16.9	33.6	0.96	0.78	CH	12.9	2.00	A7-6	18
S 91 case Buter	CI1	2.00-2.50		38.551 + 38.051	limo (54.0) con argilla (40.9)	19.8	16.1	26.27	0.626	97.93	23.17	48.7	22.4	26.3	0.97	0.63	CL	14.4	1.95	A7-6	17
S 4 (35 m) Case Pass.	I	2.00-2.50			argilla (50) con limo (47) (sabbia 3)	19.0	15.9	26.27	0.626	97.93	23.17	48.7	22.4	26.3	0.97	0.63					
S 83 SE Case Pass.	CI1	2.50-3.00		33.08 + 32.58	argilla (51.7) con limo (39.1) debolm. sabbioso (7.2)	18.6	14.1	26.38	0.836	101.34	20.74	59.6	26.9	32.7	0.88	0.61	CH	15.2	2.00	A7-6	20
S 116 ex Ovest	CI1	2.50-3.00		34.332 + 33.832	limo (54.0) con argilla (33.6) debolm. sabbioso (11.9)	19.3	15.4	26.58	0.721	96.08	24.20	46.7	19.2	27.5	0.78	0.79	CL	14.1	1.92	A7-6	17
S 121 anst. Pab.Sc.	CI1	2.50-3.00			argilla (56.9) con limo (35.9)	19.6	17.2	26.69	0.625	99.62	25.02	55.5	20.6	34.9	0.87	0.59	CH	12.9	2.00	A7-6	19
S 5 (35 m) Case Pass.	I	3.00-3.50			argilla (53) con limo (37) deb. ghiaioso (8) (sabbia 2)	19.6	16.0	26.67	0.700	97	24.90	62.7	27.3	35.4			CH				
S 85 SE Case Pass.	CI2	3.00-3.50		36.856 + 36.356	argilla (56.6) con limo (39.7)	19.0	15.0	26.02	0.656	91.13	20.42	47.2	18.9	28.3	0.95	0.64	CH	12.2	2.06	A7-6	20
S 104 pista	CI2	3.00-3.50		35.312 + 34.812	limo (44.8) con argilla (38.7) debolm. ghiaioso (9.4) e sabbioso (7.2)	19.6	16.0	27.02	0.656	91.13	20.42	47.2	18.9	28.3	0.95	0.64	CL	14.1	2.01	A7-6	17
S 106 pista	CI2	3.00-3.50		35.312 + 34.812	argilla (53.4) con limo (40.9) debolm. sabbioso (5.0)	19.3	15.6	26.31	0.688	95.63	24.49	54.7	22.8	31.9	0.95	0.58	CH	14.7	2.00	A7-6	19
S 150 (30 m) IKEA	I	3.00-3.50			argilla limosa...? (cartaceo non leggibile) (P.P. 2-5 kg/cm ²) (da edometria: tendenza al rigonfiamento)	18.0	15.0	27.07	0.881												
S 92 Base	CI2	3.50-4.00		37.073 + 36.573	argilla (62.2) con limo (35.0) debolm. ghiaioso (9.5)	19.4	15.5	26.57	0.618	91.23	24.23	50.1	24.0	26.1	1.07	0.61	CH	12.3	2.00	A7-6	20
S 116 ex Ovest	CI2	3.50-4.00		33.332 + 32.832	argilla (55.1) con limo (30.9) debolm. sabbioso (13.0)	19.1	15.2	26.28	0.688	98.91	25.31	60.1	23.0	37.1	0.94	0.71	CH	15.3	1.92	A7-6	20
S 118 case/NO pista	CI2	3.50-4.00			argilla (56.6) con limo (36.0)	19.2	15.4	26.1	0.660	99.1	24.00	66.8	23.1	43.7	0.98	0.73	CH	11.5	2.00	A7-6	20
S 5 case/NO pista	CI2	4.00-4.50			limo (54.5) con argilla (32.6) debolm. sabbioso (8.8)	19.7	16.2	26.77	0.570	85.82	21.55	47.1	17.7	29.4	0.87	0.85	CL	12.8	1.99	A7-6	17
S 93 Ovest Pab.Sc.	CI2	4.00-4.50		34.695 + 34.195	argilla (49.9) con limo (45.6)	18.7	15.3	26.34	0.706	77.45	20.55	54.6	20.4	34.2	1.00	0.67	CH	12.8	1.99	A7-6	19
S 101 pista	CI1	4.00-4.50		35.1183 + 34.618	argilla (50.9) con limo (40.5) debolm. sabbioso (7.3)	19.4	15.9	26.51	0.650	89.54	22.22	57.1	30.2	36.9	0.92	0.7					

Tabella dati geotecnici da selezione campioni sondaggi realizzati campagne TAE 2015 e 2017, campioni sondaggi Case Passerini e sondaggi Ikea

sondaggio	campione	prof camp m pe	quota pe m lm	quota campione m lm	descrizione litologica da stratigrafia granometria (rif. classificazione AGL)	Tx CRU	Tx CIU	ELL	Tx CUU	tg dir	tg dir	Tx CD	Tx CD	Tx CIU-CD	Tx CIU-CD	AASHTO modif	Priva CBR	Contenuto	
						q' kPa	c' kPa	Cu kPa	q' kPa	q' kPa	c' kPa	q' kPa	c' kPa	q' kPa	c' kPa	W (%)	Dens max sec pd (kN/m ³)	Indice CBR %	organi %
strato geotecnico 1:																			
S 20 pista	CI 1	0.50-1.00	35.9	35.425 ± 34.925	limo (61.3) con argilla (30.4) debolm sabbioso (7.4)			125.6											
S 21 pista	CI 1	0.50-1.00	36.6	36.05 ± 35.55	argilla (46.7) con limo (43.6) debolm sabbiosa (6.9)			104.1				24.1	12.5	24.1	12.5	17.2	17.22	1.4	
S 24 pista	CI 1	0.50-1.00	36.0	35.50 ± 35.00	limo (51.9) con argilla (42.0) debolm sabbioso (5.0)			184.9											
S 25 pista	CI 1	0.50-1.00	36.6	36.05 ± 35.55	argilla (47.8) con limo (46.5) debolm sabbiosa (5.1)														
S 28 pista	CI 1	0.50-1.00	38.0	37.45 ± 36.95	limo (52.7) con argilla (29.6) sabbioso (16.2)			79.4											
S 103 pista	CI 1	0.50-1.00	35.8	35.328 ± 34.828	argilla (49.0) con limo (41.3) debolm sabbiosa (5.2)			25.9	18.0						25.9	18.0			
S 19-pr pista	CI 1	1.00-1.50	35.3	33.80 ± 33.30	limo (49.1) con argilla (42.8) debolm sabbioso (6.8)											18.1	16.29	1.6	
S 20 pista	CI 2	1.00-1.50	35.9	34.925 ± 34.425	limo (57.5) con argilla (35.2) debolm sabbioso (6.7)			377.0											
S 21 pista	CI 2	1.00-1.50	36.6	35.55 ± 35.05	limo (51.1) con argilla (44.1)														
S 22-pr pista	CI 1	1.00-1.50	37.2	36.175 ± 35.675	argilla (47.1) con limo (44.2) debolm sabbiosa (6.9)			233.6				23.5	24.2	23.5	24.2			2.9	
S 23 pista	CI 1	1.00-1.50	36.0	34.975 ± 34.475	limo (56.4) con argilla (36.7) debolm sabbioso (6.6)														
S 26 pista	CI 1	1.00-1.50	36.9	35.875 ± 35.375	limo (58.3) con argilla (30.8) debolm sabbioso (10.5)			358.8				22.4	25.0	22.4	25.0	16.7	17.40	1.6	
S 27 pista	CI 1	1.00-1.50	35.8	34.80 ± 34.30	argilla (53.2) con limo (40.0) debolm sabbiosa (5.4)														
S 24 pista	CI 2	1.10-1.60	36.0	34.90 ± 34.40	limo (52.0) con argilla (40.5) debolm sabbioso (5.2)			370.1											
S 28 pista	CI 2	1.30-1.80	38.0	36.65 ± 36.15	limo (46.7) con argilla (44.1) debolm sabbioso (6.8)			157.4											
S 25 pista	CI 2	1.50-2.00	36.6	35.05 ± 34.65	limo (49.3) con argilla (43.9) debolm sabbioso (6.5)														
S 79 a nord della pista	CI 1	1.50-2.00			limo (59.6) con argilla (33.0) debolm sabbioso (6.9)														
S 80 a nord della pista	CI 1	1.50-2.00			limo (46.2) con argilla (39.3) debolm sabbioso (9.0) e ghiaioso (5.5)														
S 81 a nord della pista	CI 1	1.50-2.00			limo (45.5) con argilla (43.6) debolm sabbioso (6.4)														
S 92 Baster	CI 1	1.50-2.00		39.073 ± 38.573	limo (50.8) con argilla (39.1) debolm sabbioso (6.3)	27.6	10.6								27.6	10.6		3.7	
S 93 Ovest Polo Sc.	CI 1	1.50-2.00		37.395 ± 36.895	limo (47.7) con argilla (41.6) debolm sabbioso (6.3)			130.2	30.2	7.4		24.1	26.4	24.1	26.4			3.8	
S 104 pista	CI 1	1.50-2.00	36.5	34.994 ± 34.494	argilla (57.2) con limo (34.0)			296.6											
S 119 VVFF	CI 1	1.50-2.00			limo (49.4) con argilla (41.5) debolm sabbioso (8.3)	26.2	16.7												
S 117 rot Oman	CI 1	2.00-2.50		34.624 ± 34.124	limo (51.9) con argilla (32.8) debolm sabbioso (13.8)	33.3	4.7												
MEDIA						28.25	12.50	227.29	206.68			23.53	22.03	25.89	17.26	16.79	17.08	2.6	3.7
MEDIANA						26.90	13.65	184.90	181.90			23.80	24.60	25.00	17.35	16.65	17.17	2.4	3.8
DEV.STD.						2.99	5.30	111.17	100.30			0.69	5.56	3.27	7.22				
VAL. 5° PCT (EC7)						23.34	3.78	44.42	41.69			22.38	12.89	20.61	5.38				
strato geotecnico 2:																			
S 4 Case Pass	CI 1	1.00-1.50			argilla (49.5) con limo (42.5) debolm sabbiosa (5.1)			227.6											
S 5 via NO pista	CI 1	1.50-2.00			argilla (46.7) con limo (46.0) debolm sabbiosa (5.2)			184.7											
S 85 SE Case Pass	CI 1	1.50-2.00		38.356 ± 37.856	argilla (49.7) con limo (46.2)			98.8											
S 106 pista	CI 1	1.50-2.00	38.3	36.812 ± 36.312	argilla (49.6) con limo (44.1)	25.1	15.8							25.1	15.8			4.4	
S 118 Ovest polo O	CI 1	1.50-2.00			argilla (67.0) con limo (30.2)	21.4	17.0							21.4	17.0			5.2	
S 103 pista	CI 2	2.00-2.50	35.8	33.828 ± 33.328	limo (40.3) con argilla (34.3) ghiaioso (15.5) e debolm sabbioso (9.9)			70.9	19.0	17.5								3.4	
S 91 rot Baster	CI 1	2.00-2.50		38.551 ± 38.051	limo (54.0) con argilla (40.9)	26.6	15.8									26.6	15.8	3.3	
S 4 (35 m) Case Pass	1	2.00-2.50			argilla (50) con limo (47) sabbiosa (3)														
S 83 SE Case Pass	CI 1	2.50-3.00		33.08 ± 32.58	argilla (51.7) con limo (39.1) debolm sabbiosa (7.2)			67.5		17.2	12.0								
S 116 rot Oman	CI 1	2.50-3.00		34.332 ± 33.832	limo (54.0) con argilla (33.6) debolm sabbioso (11.9)			64.0											
S 121 meta Polo Sc.	CI 1	2.50-3.00			argilla (55.9) con limo (35.9)			69.8	24.5	16.8									
S 35 (35 m) Case Pass	1	3.00-3.50			argilla (53) con limo (37) deb ghiaioso (8) sabbiosa (2)														
S 85 SE Case Pass	CI 2	3.00-3.50		36.856 ± 36.356	argilla (56.6) con limo (39.7)	20.0	16.4							20.0	16.4			5.8	
S 104 pista	CI 2	3.00-3.50	36.5	33.494 ± 32.994	limo (44.8) con argilla (38.7) debolm ghiaioso (9.4) e sabbioso (7.2)	25.0	13.8							25.0	13.8				
S 106 pista	CI 2	3.00-3.50	38.3	35.312 ± 34.812	argilla (53.4) con limo (40.9) debolm sabbiosa (5.0)			88.6	21.0	25.5								3.5	
SI 50 (30 m) IKEA	1	3.00-3.50		37	argilla limosa, ? (cartaceo non leggibile) (P.P. 2.5 kg/cm ²) (da edometria)	22	1.0	65.2						22	1.0				
S 92 Baster	CI 2	3.50-4.00		37.073 ± 36.573	argilla (52.5) con limo (35.0) debolm ghiaioso (9.5)			82.7	19.9	9.8									
S 116 rot Oman	CI 2	3.50-4.00		33.332 ± 32.832	argilla (55.1) con limo (30.9) debolm sabbiosa (13.0)	23.4	17.7							23.4	17.7			5.8	
S 118 Ovest polo O	CI 2	3.50-4.00			argilla (56.6) con limo (36.0)			73.7	21.2	19.4								5.1	
S 5 via NO pista	CI 2	4.00-4.50			limo (54.5) con argilla (32.6) debolm sabbioso (8.8)			135.6											
S 93 Ovest Polo Sc.	CI 2	4.00-4.50		34.695 ± 34.195	argilla (49.9) con limo (45.6)			167.3											
S 101 pista	CI 1	4.00-4.50	37.6	35.183 ± 34.683	argilla (50.9) con limo (40.5) debolm sabbiosa (7.3)			24.2	18.2							24.2	18.2	5.5	
S 103 pista	CI 3	4.00-4.50	35.8	31.828 ± 31.328	n.d.			22.2	18.3							22.2	18.3		
SI 62 (20 m) IKEA	1	4.00-4.50		37	argilla bruna con noduli calcarei (P.P. 2.0-2.5 kg/cm ²)			65.2		31.0	22.6								
SI 63 (30 m) IKEA	1	4.00-4.50		37	argilla limosa grigio scuro (P.P. 3.5 kg/cm ²)														
S 83 SE Case Pass	CI 2	4.50-5.00		31.08 ± 30.58	argilla (52.6) con limo (39.9) debolm sabbiosa (5.2)			103.9	23.5	36.6									
S 91 rot Baster	CI 2	4.50-5.00		36.051 ± 35.551	limo (48.0) con argilla (41.5) debolm sabbioso (5.4) e ghiaioso (5.2)	28.0	18.3							28.0	18.3			4.8	
S 117 rot Oman	CI 2	4.50-5.00		32.124 ± 31.624	argilla (58.4) con limo (38.4)			104.6	25.0	16.1									
S 4 Case Pass	CI 2	5.00-5.50			argilla (68.2) con limo (29.1)			129.5	19.4	20.7		18.7	26.6	18.7	26.6			4.7	
S 121 meta Polo Sc.	CI 2	5.00-5.50			argilla (49.7) con limo (40.2) debolm sabbiosa (6.3)														
SI 57 (20 m) IKEA	1	5.00-5.50		37	argilla limosa verdastria (P.P. 2.0 kg/cm ²)			80.4	33.0	3.9									
SI 67 (20 m) IKEA	1	5.00-5.50		37	argilla limosa verdastria (P.P. 2.5-2.8 kg/cm ²) (da edometria: tendenza al rigonfiamento)			83.8	35.0	9.8									
S 4 (35 m) Case Pass	A	5.50-6.00			argilla limosa consistente														
S 119 VVFF	CI 2	5.50-6.00			argilla (50.9) con limo (32.9) ghiaioso (13.3)			155.0	20.5	19.9									
SI 40 (40 m) Case Pass	1	6.00-7.00			argilla (48) con limo (35) deb ghiaioso (9) deb sabbiosa (8)			65.7										5.8	
MEDIA						23.8	15.2	112.2	87.7	23.9	17.7	18.7	26.6	23.3	16.3	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	4.7
MEDIANA						23.8	16.7	93.9	82.7	21.2	17.5	18.7	26.6	23.4	17.0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	4.9
DEV.STD.						2.34	4.94	51.29	19.62	5.48	7.89	0.00	0.00	2.67	5.73				
VAL. 5° PCT (EC7)						19.9	7.1	27.8	55.4	14.8	4.8	18.7	26.6	18.9	6.8				
strato geotecnico 3:																			
S 85 SE Case Pass	CI 3	6.45-6.95		33.406 ± 32.906	argilla (48.1) con limo														

Tabella dati geotecnici da selezione campioni sondaggi realizzati campagne TAE 2015 e 2017, campioni sondaggi Case Passerini e sondaggi Ikea

sondaggio	campione	prof camp m pc	quota pe mslm	quota campione mslm	descrizione litologica da stratigrafia (rif. classificazione AGI)	granulometria	Prova edometrica						Med 0,25-0,50 kg/cm2	Med 0,50-1,00 kg/cm2	Med 1,00-2,00 kg/cm2	Med 2,00-4,00 kg/cm2	Med 4,00-8,00 kg/cm2	Med 8,00-16,00 kg/cm2	Med 16,00-32,00 kg/cm2	Med 32,00-64,00 kg/cm2		
							Ind.azzone Cr	Ind.compres Cr	Ind.riente Cr	Press.precip. Cr (mslm)	Coef.con.vant. Cr (mslm)	Press.amb. Cr (mslm)									Coef.con.vant. Cr (mslm)	Press.amb. Cr (mslm)
strato geotecnico 1:																						
S 20 pista	C11	0,50-1,00	25,9	25,425 + 34,925	limo (61.3) con argilla (30.4) debole sabbioso (7.4)	0,02291	0,16540	0,03209	169,0	5,55E-04	3,32E-09	1,60E-03	1,32E-08	284	75	84	96	139	257			
S 21 pista	C11	0,50-1,00	25,9	25,425 + 34,925	argilla (46.7) con limo (43.6) debole sabbioso (6.9)	0,04548	0,17762	0,05817	230,5	4,63E-04	3,40E-09	2,33E-04	2,05E-09		221	106	112	151	232			
S 24 pista	C11	0,50-1,00	25,9	25,425 + 34,925	limo (51.9) con argilla (42.0) debole sabbioso (5.0)	0,05891	0,19021	0,05783	168,5	1,49E-03	1,76E-08	5,70E-04	4,72E-09		193	57	78	132	232			
S 25 pista	C11	0,50-1,00	25,9	25,425 + 34,925	argilla (47.8) con limo (46.5) debole sabbioso (5.1)	0,06204	0,19067	0,05463	271,4	1,69E-03	1,13E-08	4,79E-04	2,02E-09		347	93	124	240				
S 28 pista	C11	0,50-1,00	25,9	25,425 + 34,925	limo (52.7) con argilla (29.6) sabbioso (16.2)	0,03965	0,14025	0,03132	100,0	2,79E-04	4,35E-09	2,66E-04	4,51E-09	53	49	62	96	138	337			
S 103 pista	C11	0,50-1,00	25,8	25,328 + 34,828	argilla (49.0) con limo (41.3) debole sabbioso (5.2)	0,03761	0,16305	0,06612	497,6	4,92E-04	1,58E-09	3,87E-04	1,24E-09		288	214	314	461				
S 19 pz pista	C11	1,00-1,50	25,3	25,300 + 33,300	limo (49.1) con argilla (42.8) debole sabbioso (6.8)	0,03405	0,19974	0,07386	275,4	7,50E-03	7,62E-08	2,19E-03	4,71E-09	68	195	120	127	178	264			
S 20 pista	C12	1,00-1,50	25,9	25,425 + 34,925	limo (57.5) con argilla (35.2) debole sabbioso (6.7)	0,08165	0,22215	0,06686	790,5	1,39E-02	1,40E-08	3,28E-02	3,93E-08		316	257	385	481	698			
S 21 pista	C12	1,00-1,50	25,9	25,425 + 34,925	limo (51.1) con argilla (44.1)	0,03657	0,18327	0,07463	506,3	4,07E-04	1,11E-09	2,52E-04	8,20E-10		2833	309	237	273	440			
S 22 pz pista	C11	1,00-1,50	25,2	25,175 + 35,675	argilla (47.1) con limo (44.2) debole sabbioso (6.9)	0,03929	0,13609	0,06676	1136,2	9,14E-04	9,20E-10	1,77E-04	2,00E-10			879	744	713	1051			
S 23 pista	C11	1,00-1,50	25,9	25,425 + 34,925	limo (56.4) con argilla (36.7) debole sabbioso (6.6)	0,03245	0,17876	0,04935	204,2	1,07E-03	7,26E-09	1,01E-03	8,81E-09	150	159	77	99	142	236			
S 26 pista	C11	1,00-1,50	25,9	25,425 + 34,925	limo (58.3) con argilla (30.8) debole sabbioso (10.5)	0,03400	0,18784	0,04015	204,2	1,30E-03	8,73E-09	1,45E-03	8,49E-09		438	94	91	124	246			
S 27 pista	C11	1,00-1,50	25,8	25,300 + 34,300	argilla (53.2) con limo (40.0) debole sabbioso (5.4)	0,01732	0,19455	0,06563	267,4	5,40E-04	3,09E-09	2,84E-04	2,12E-09		4635	174	113	141	213			
S 24 pista	C12	1,10-1,60	25,0	25,000 + 34,000	limo (52.0) con argilla (40.5) debole sabbioso (5.2)	0,07468	0,16670	0,07753	1126,3	3,93E-04	5,60E-10	1,82E-04	3,20E-10				767	474	586	872		
S 28 pista	C12	1,30-1,80	25,0	25,000 + 36,150	limo (46.7) con argilla (44.1) debole sabbioso (6.8)	0,03588	0,19276	0,07622	364,9	2,62E-04	1,21E-09	1,63E-04	7,60E-10		158	168	181	256	438			
S 25 pista	C12	1,50-1,90	25,6	25,600 + 34,600	limo (49.3) con argilla (43.9) debole sabbioso (6.5)	0,04184	0,16566	0,06188	419,0	1,93E-03	4,78E-09	9,25E-04	2,98E-09			260	186	278	487			
S 79 a nord della pista	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 34,600	limo (59.6) con argilla (33.0) debole sabbioso (6.9)	0,06692	0,19816	0,06187	333,8	4,24E-04	1,71E-09	4,33E-04	2,49E-09		708	225	124	142	234	436		
S 80 a nord della pista	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 34,600	limo (46.2) con argilla (39.3) debole sabbioso (9.0) e ghiaioso (5.5)																	
S 81 a nord della pista	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 34,600	limo (45.5) con argilla (43.6) debole sabbioso (6.4)	0,04410	0,20665	0,09219	466,6	2,01E-04	8,20E-10	1,52E-04	8,00E-10			255	186	229	415			
S 92 Baier	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 38,573	limo (50.8) con argilla (39.1) debole sabbioso (6.3)	0,03299	0,18234	0,04897	304,7	7,57E-04	4,96E-09	3,63E-04	2,44E-09	319	308	127	128	152	240	449		
S 93 Case Pass.	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 36,895	limo (47.7) con argilla (41.6) debole sabbioso (8.1)	0,03423	0,17221	0,03218	126,5	1,03E-02	5,10E-08	9,86E-03	4,16E-08	56	59	58	84	129	234			
S 104 pista	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 34,994	limo (49.3) con argilla (43.9) debole sabbioso (6.5)	0,03555	0,19229	0,07448	653,3	2,53E-04	9,50E-10	1,80E-04	5,90E-10			548	234	264	451	894		
S 119 vz JE	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 34,600	limo (49.4) con argilla (41.5) debole sabbioso (8.3)	0,05065	0,15917	0,06006	294,5	8,96E-04	4,30E-09	5,64E-04	3,77E-09		271	191	127	171	306	537		
S 117 vz Osmun	C11	2,00-2,50	25,0	25,000 + 34,124	limo (51.9) con argilla (32.8) debole sabbioso (13.8)	0,02625	0,16484	0,04103	165,6	8,96E-04	8,60E-09	5,64E-04	7,54E-09	119	71	86	96	150	261			
MEDIA						0,04187	0,17967	0,05904	393,8	2,04E-03	1,01E-08	2,39E-03	6,76E-09		119	195	113	124	152	257	456	883
MEDIANA						0,03761	0,18234	0,06076	294,5	7,57E-04	4,30E-09	4,33E-04	2,49E-09									
DEV. STD.																						
VAL. 5° PCT (EC7)																						
strato geotecnico 2:																						
S 4 Case Pass.	C11	1,00-1,50			argilla (49.5) con limo (42.5) debole sabbioso (5.1)																	
S 5 Case Pass.	C11	1,50-2,00			argilla (46.7) con limo (46.0) debole sabbioso (5.2)	0,04801	0,21102	0,08004	413,3	6,48E-04	2,33E-09	1,65E-04	9,40E-10			242	150	233	418			
S 85 SE Case Pass.	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 37,856	argilla (49.7) con limo (46.2)	0,04532	0,19345	0,06827	339,7	1,11E-03	4,92E-09	3,81E-04	1,91E-09		379	143	134	227	449			
S 106 pista	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 36,312	argilla (49.6) con limo (44.1)	0,02241	0,13497	0,05982	244,7	5,58E-04	9,74E-09	4,33E-04	6,71E-09		239	136	157	319	629			
S 118 Ovest p.le O	C11	1,50-2,00	25,0	25,000 + 36,312	argilla (49.6) con limo (44.1)	0,04133	0,18457	0,06072	511,2	5,86E-04	1,43E-09	1,93E-04	8,50E-10			441	196	264	445			
S 103 pista	C12	2,00-2,50	25,8	25,328 + 33,328	limo (40.3) con argilla (34.3) ghiaioso (15.5) debole sabbioso (9.9)	0,04036	0,19871	0,05260	218,1	6,69E-04	5,85E-09	2,49E-04	2,33E-09			146	80	121	232			
S 91 Case Baier	C11	2,00-2,50	25,0	25,000 + 38,051	limo (54.0) con limo (47.1) sabbia (3)	0,04227	0,17826	0,05174	348,6	7,31E-04	4,50E-09	4,16E-04	2,40E-09		163	132	151	182	258	447		
S 41 (35 m) Case Pass.	C1	2,00-2,50	25,0	25,000 + 38,051	argilla (50) con limo (47) sabbia (3)																	
S 83 SE Case Pass.	C11	2,50-3,00	25,0	25,000 + 33,58	argilla (51.7) con limo (39.1) debole sabbioso (7.2)	0,06634	0,21867	0,07513	287,6	1,73E-03	1,54E-08	1,25E-04	3,93E-09			309	108	124	202			
S 116 vz Osmun	C11	2,50-3,00	25,0	25,000 + 33,58	limo (54.0) con argilla (33.6) debole sabbioso (11.9)	0,02863	0,15551	0,04917	158,4	1,45E-03	2,86E-08	1,84E-03	2,47E-08	42	58	72	85	159	271			
S 121 vz Osmun	C11	2,50-3,00	25,0	25,000 + 33,58	argilla (55.9) con limo (35.9)	0,03068	0,15777	0,05163	399,8	1,51E-03	5,35E-09	6,59E-04	3,19E-09			633	215	168	192	292	518	
S 5 (35 m) Case Pass.	C1	3,00-3,50	25,0	25,000 + 36,356	argilla (53) con limo (37) debole sabbioso (8)																	
S 85 SE Case Pass.	C12	3,00-3,50	25,0	25,000 + 36,356	argilla (56.6) con limo (39.7)																	
S 104 pista	C12	3,00-3,50	25,0	25,000 + 32,994	limo (44.8) con argilla (38.7) debole ghiaioso (9.4) e sabbioso (7.2)	0,04233	0,17243	0,05126	274,5	1,24E-03	6,05E-09	4,71E-04	3,15E-09		1924	143	124	150	259	500		
S 106 pista	C12	3,00-3,50	25,0	25,000 + 32,994	argilla (49.7) con limo (46.2)	0,04638	0,17806	0,05994	235,2	1,01E-03	6,70E-09	4,27E-04	3,20E-09		343	121	96	145	256	495		
S150 (30 m) IKEA	C1	3,00-3,50	25,0	25,000 + 32,994	argilla limosa, (caricatura non leggibile) (P.P. 2.5-3.0 kg/cm2) (da edometria: tendenza al rigonfiamento)	0,226									146	99	96	137	227			
S 92 Baier	C12	3,50-4,00	25,0	25,000 + 37,073 + 36,573	argilla (52.5) con limo (35.0) debole ghiaioso (9.5)																	
S 116 vz Osmun	C12	3,50-4,00	25,0	25,000 + 32,322	argilla (55.1) con limo (30.9) debole sabbioso (13.0)																	
S 118 Ovest p.le O	C12	3,50-4,00	25,0	25,000 + 32,322	argilla (56.6) con limo (36.0)	0,04709	0,17181	0,07945	304,7	5,77E-04	3,64E-09	4,96E-04	2,45E-09			698	128	141	254	520		
S 5 Case Pass.	C12	4,00-4,50	25,0	25,000 + 34,195	limo (54.5) con argilla (32.6) debole sabbioso (8.8)	0,01607	0,12436	0,03745	344,2	2,07E-03	8,51E-09	2,04E										

8.6. Indagini geofisiche

8.6.1. Sismica a rifrazione

Nella campagna di indagine del 2017 sono state realizzate le indagini sismiche a rifrazione in onde P e onde Sh denominate RIFR 1÷11. Per l'intervento del sottopasso sono state utilizzate le tomografie 2D RIFR 4 e, in particolare, RIFR 5.

Il rilievo della RIFR 4 evidenzia un livello superficiale (5,0÷10,0 m dal p.c.) con velocità molto basse ed un livello sottostante dominato da una inversione di velocità. Nella sezione RIFR 5 è visibile un passaggio, seppur non molto marcato, alla profondità di circa 9,0 m dal p.c., con un incremento progressivo della velocità delle onde P e Sh all'interno del primo orizzonte.

8.6.2. Indagine sismica in foro downhole

In ciascuno dei sondaggi S91, S117, S118 e S119 è stata svolta un'indagine sismica in foro di tipo *down-hole*; tale indagine prevede l'investigazione del terreno attraverso il posizionamento di un geofono tridimensionale all'interno di un foro di perforazione appositamente attrezzato. Questo tipo di indagine viene utilizzata per determinare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m dal piano di imposta delle fondazioni (V_{s30}). Tale parametro risulta necessario, come detto, per individuare la categoria di sottosuolo ai sensi del § 3.2.2. delle NTC2018, e quindi per la definizione dell'azione sismica locale e di progetto. Per i dettagli operativi della metodologia di acquisizione dei dati, si rimanda al rapporto finale dell'indagine eseguita (Allegato C).

L'elaborazione delle onde Sh e delle onde P mostra un progressivo aumento delle velocità con la profondità: nella DH-S91 si osserva un netto accrescimento alla profondità di circa 8,50 m dal p.c.; nella DH-S117 sono presenti invece due gradini, rispettivamente a 4,50 e 12,5 m; nella DH-118 sono presenti invece due gradini rispettivamente a 8,50 e 19,0 m dal p.c.; nella DH-119 sono presenti invece due gradini rispettivamente a 8,50 e 18,5 m dal p.c.. Il valore della $V_{s_{eq}}$ calcolato utilizzando la formula seguente:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (3.2.1 \text{ NTC 2018})$$

Nella tabella 8 sono riportati i valori della $V_{s_{eq}}$, espressa in m/s, per ciascuna Down-Hole:

sigla	Intervento	$V_{s_{eq}}$ [m/s]	
		da p.c.	da 3,00 m p.c.
S91-DH	Ponte area Polo Scientifico (pressi Baxter Manufacturing S.p.A.)	306	321
S117-DH	Ponte sul Fosso Reale nei pressi della Vasca di laminazione C	307	<i>non di interesse</i>
S118-DH	Edificio Bilanciamento Vigili del Fuoco (riferimento per Viabilità di accesso)	310	<i>non di interesse</i>
S119-DH	Edifici delle centrali tecnologiche (riferimento per Viabilità di accesso)	302	<i>non di interesse</i>

Tabella 8 - Valori $V_{s_{eq}}$.

Relazioni e certificati delle indagini sismiche sono contenuti nell'Allegato C.

9. Sismicità e definizione dei parametri sismici

9.1. Zona sismica

La nuova classificazione sismica è stata approvata con Deliberazione della Giunta Regionale della Toscana n. 421 del 26 maggio 2014, che ha apportato modifiche (per accorpamento di alcuni Comuni) alla classificazione sismica regionale definita con la Delibera della Giunta Regionale della Toscana n. 878 dell'8 ottobre 2012. L'aggiornamento introdotto con quest'ultima delibera, redatto ai sensi dell'O.P.C.M. del 28 aprile 2006 n. 3519 si era reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle NTC e di rendere la classificazione sismica maggiormente aderente all'approccio "sito-dipendente" introdotto da tali norme. Inoltre, contestualmente all'entrata in vigore della nuova classificazione sismica, è stato approvato il regolamento 58/R del 22 ottobre 2012⁴, di attuazione dell'art. 117, comma 2, lettera g) della L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). I Comuni di Firenze e di Sesto Fiorentino sono inseriti nella "zona sismica 3" (in fascia di pericolosità B, contraddistinta da $0,125 < a_g \leq 0,15 g$, secondo il D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n. 1/R, in vigore dal 20 febbraio 2022).

⁴ Regolamento di attuazione dell'art. 117, comma 2, lettera g) della L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Verifiche nelle zone a bassa sismicità. Determinazione del campione da assoggettare a verifica.

9.2. Parametri sismici

9.2.1. Aspetti generali

La stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita tramite un approccio sito-dipendente. Come riportato al § 3.2 del D.M. 18 gennaio 2018 e al § C3.2 della Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019, è possibile fare riferimento all'*Allegato A* del D.M. 14 gennaio 2008 nel quale i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto vengono calcolati attraverso le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (nella *Tabella 1 - Allegato B* del medesimo decreto NTC 2008 vengono forniti, per ciascuno dei 10.751 nodi della griglia che costituisce il reticolo, i valori di a_g , F_0 e T^*c , per nove valori del periodo di ritorno: 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2.475 anni).

Nel presente studio si è utilizzato il software di GeoStru s.r.l. che permette di calcolare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per un generico sito del territorio nazionale. Mediante questo programma è possibile, inserendo coordinate e caratteristiche progettuali del sito, ottenere direttamente i parametri relativi al computo dell'azione sismica di progetto.

9.2.2. Categoria di sottosuolo (approccio semplificato)

In base ai risultati delle indagini sismiche eseguite lungo il tracciato della viabilità (§ 8.6), vale a dire le prove *down-hole* eseguite nei seguenti sondaggi:

- S91-DH, ubicato nei pressi della rotatoria B Via dell'Osmannoro-Baxter ($V_{s,eq}=309$ m/s, rif. p.c.);
- S117-DH, posto nei pressi della rotatoria A di Via del Cantone-Via dell'Osmannoro ($V_{s,eq}=314$ m/s, rif. p.c.);
- S118-DH, posizionato nei pressi dell'ex edificio VV.FF., inizialmente previsto ($V_{s,eq}=302$ m/s, rif. p.c.);
- S119-DH, realizzato nei pressi delle ex Centrali tecnologiche, vicine alla torre di controllo posta a lato della A11 ($V_{s,eq}=300$ m/s, rif. p.c.);

poiché il substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s) non è stato rilevato ad una profondità minore di 30 m da p.c., ai sensi del par. 3.2.2 delle NTC 2018 si assegna all'area di intervento la **categoria di**

sottosuolo C (*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”* (Tab. 3.2.II D.M. 17 gennaio 2018 e § C3.2.2 Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019), prendendo a riferimento la quota del piano campagna.

In corrispondenza del tracciato dell'**attraversamento della pista tramite sottopasso**, sono state realizzate un paio di indagini sismiche a rifrazione con restituzione tomografica 2D in onde P e Sh, lungo gli stendimenti RIFR4 e RIFR5.

In RIFR5, in assenza di substrato sismico entro i primi 30 m dal piano di riferimento, la $V_{s,eq}$ è risultata pari a 310 m/s (rif. p.c.) e 412 m/s (rif. -9 m p.c., base stimata di imposta fondazione sottopasso) indicando, rispettivamente, la **categoria di sottosuolo C** (*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”* (Tab. 3.2.II D.M. 17 gennaio 2018 e § C3.2.2 Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019) e la **categoria di sottosuolo B** (*“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 calcolo (approssimato) della $V_{s,eq}$, stimato in base alle classi cromatiche a lato della sezione tomografica perché non disponibili le curve di isovelocità (quelle indicate nella sezione sono relative alle onde P), è stata eseguita in corrispondenza della verticale mostrata in figura 4, sia per la maggior vicinanza al tracciato sia per la configurazione dei sismostrati più regolare rispetto ad altre possibili verticali mostranti maggiori convoluzioni di velocità.

Quest'ultima considerazione è presente anche nella sezione tomografica RIFR4 (figura 5), in cui inoltre appare un'ampia zona con inversione di velocità che rende inapplicabile l'approccio semplificato di assegnazione della categoria di sottosuolo secondo le NTC 2018 par. 3.2.2. Nelle fasi progettuali successive tale questione dovrà essere oggetto di approfondimento.

Le varie prove sismiche DH eseguite lungo il tracciato (S91-DH, S117-DH, S118-DH, S119-DH) mostrano - come dettagliato più avanti nei paragrafi relativi ai parametri e coefficienti sismici - il passaggio fra le categorie di sottosuolo C e B, definito dalla $V_{s,eq}$ 360

m/s, in una fascia di profondità compresa fra 4.5 e 6.0 m p.c., poco più profonda nell'area di S119-DH (7.5 m p.c.).

In corrispondenza del sottopasso, tale passaggio di categoria di sottosuolo (360 m/s) è risultato alla profondità di circa 3.5 m p.c., tramite elaborazione della $V_{s,eq}$ calcolata lungo il profilo RIFR5 in corrispondenza della verticale come evidenziato nella figura 4, tenendo presente la minor accuratezza dell'indagine tomografica rispetto alla prova DH.

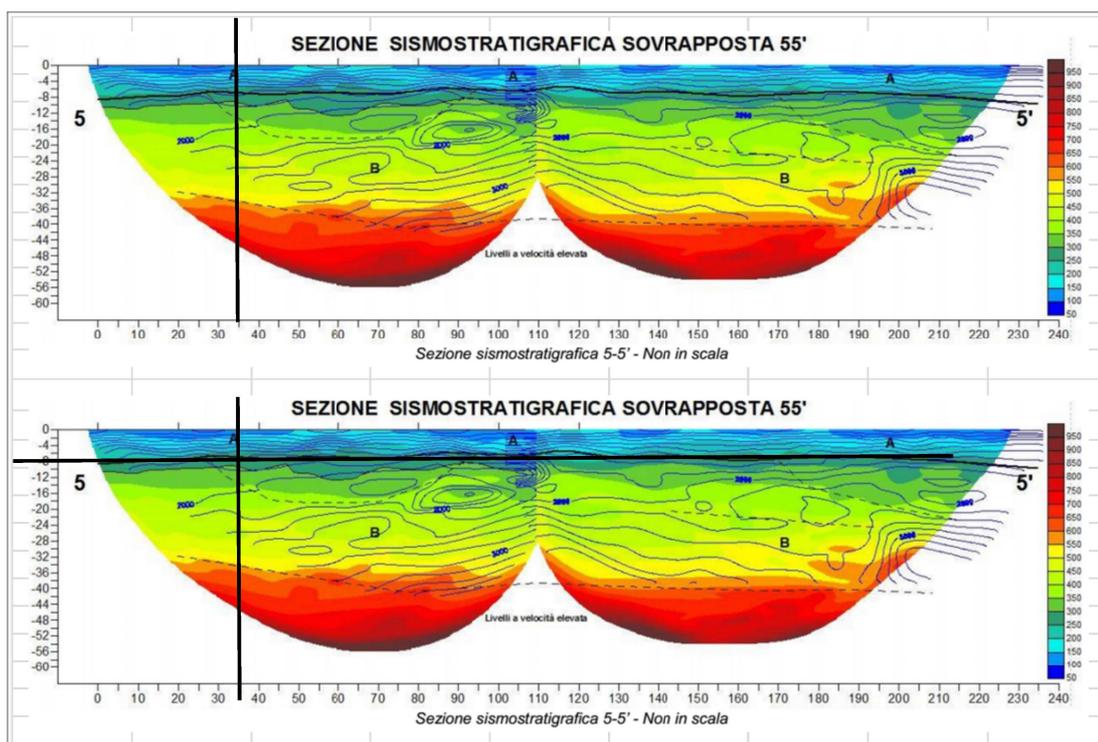


Figura 4 - Sezione sismica tomografica 2D RIFR5 (ubicata presso il tracciato del sottopasso), in alto piano di rif. 0 m p.c., in basso piano di rif. -9 m p.c.

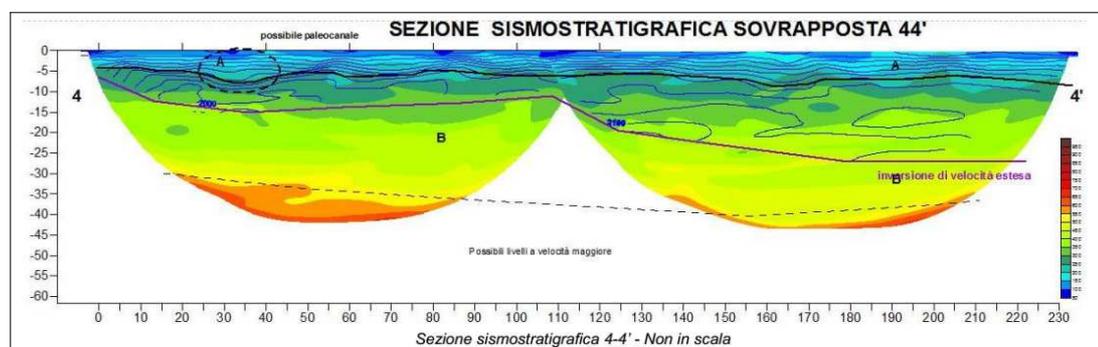


Figura 5 - Sezione sismica tomografica 2D RIFR4 (ubicata presso il tracciato del sottopasso)

9.2.3. Categoria topografica

Ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C.3.2.2 della Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019, al sito di intervento viene assegnata la **categoria topografica T1** (*superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* , Tab. 3.2.III del D.M. 17 gennaio 2018), alla quale corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.0 (Tab. 3.2.V del decreto suddetto).

9.2.4. Parametri dell'azione sismica locale

Per ricavare i valori dei parametri dell'azione sismica locale per l'area di progetto, si è utilizzato il programma fornito da *GeoStru S.r.l.* assegnando le coordinate geografiche WGS84. Per determinare gli spettri di risposta elastici del sito, tenuto conto degli effetti locali dovuti all'amplificazione sia stratigrafica che topografica, vengono assegnati determinati parametri progettuali. Questi ultimi, per la definizione dell'azione sismica, sono adottati come segue, ai sensi del § 2.4 del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C2.4 della Circolare n. 7/2019:

- **vita nominale di progetto** (V_N) 50 anni (*Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*) per tutte le opere collegate alla viabilità, ad esclusione dell'attraversamento della pista tramite sottopasso con V_N 100 anni (*Costruzioni con livelli di prestazioni elevati*);
- **classe d'uso IV** [*Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)*] per tutte le opere;
- **coefficiente d'uso** (C_U) pari a 2 (per classe d'uso IV);
- **vita o periodo di riferimento per l'azione sismica** ($V_R = V_N * C_U$) pari a 100 anni (per V_N 50 anni), e a 200 anni (per V_N 100 anni).

Di seguito si riportano parametri e coefficienti sismici relativi a distinti settori del tracciato della viabilità.

*9.2.4.1. Parametri dell'azione sismica locale (area rotatoria B
Osmannoro Baxter Polo Scientifico)*

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S91-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 6 m p.c. ($V_{s,eq}$ da 309 m/s a piano campagna a 357 a -6 m p.c.), profondità sotto la quale risulta come **categoria di sottosuolo B**.

Ponte su Fosso Reale



All'opera del ponte sul Fosso Reale si assegna Vita Nominale VN 100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

Di seguito parametri e coefficienti sismici per interventi relativi a fondazioni, opere di sostegno, fronti di scavo e rilevati.

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,822096
longitudine: 11,191631
Classe: IV
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4729,251
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1441,130
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 4578,293
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6421,147

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,061 g
Fo: 2,578
Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,074 g
Fo: 2,579
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,169 g
Fo: 2,390
Tc*: 0,311 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]

ag: 0,210 g
Fo: 2,409
Tc*: 0,317 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,018
Kv: 0,009
Amax: 0,903
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,089
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,059
Kv: 0,030
Amax: 2,422
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,400
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,082
Kv: 0,041
Amax: 2,883
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.821139

longitudine: 11.190646

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

Parametri sismici

Muro rigido: Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Sito in esame.

latitudine: 43,822096
longitudine: 11,191631
Classe: IV
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4729,251
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1441,130
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 4578,293
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6421,147

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,061 g
Fo: 2,578
Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,074 g
Fo: 2,579
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,169 g
Fo: 2,390
Tc*: 0,311 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,409	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,092
Kv:	0,046
Amax:	0,903
Beta:	1,000

SLD:

Ss:	1,500
Cc:	1,600
St:	1,000
Kh:	0,111 (0,052 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Kv:	0,056 (0,026 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Amax:	1,089
Beta:	1,000 (0,470 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLV:

Ss:	1,460
Cc:	1,540
St:	1,000
Kh:	0,247 (0,094 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Kv:	0,124 (0,047 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Amax:	2,422
Beta:	1,000 (0,380 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLC:

Ss:	1,400
Cc:	1,530
St:	1,000
Kh:	0,294
Kv:	0,147
Amax:	2,883
Beta:	1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine:	43.821139
longitudine:	11.190646

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,822096
longitudine: 11,191631
Classe: IV
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4729,251
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1441,130
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 4578,293
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6421,147

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,061 g
Fo: 2,578
Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,074 g
Fo: 2,579
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,169 g
Fo: 2,390
Tc*: 0,311 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]

ag: 0,210 g
Fo: 2,409
Tc*: 0,317 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 0,903
Beta: 0,000

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,052
Kv: 0,026
Amax: 1,089
Beta: 0,470

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,094
Kv: 0,047
Amax: 2,422
Beta: 0,380

SLC:

Ss: 1,400
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 2,883
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.821139

longitudine: 11.190646

9.2.4.2. Parametri dell'azione sismica locale (tratto fra rotatorie A e B, incluso tratto attraversamento pista tramite sottopasso)

In base alle considerazioni riportate precedentemente riguardo all'assegnazione della categoria di sottosuolo (categoria B) in corrispondenza dell'attraversamento della pista tramite sottopasso ed adottando Vita Nominale VN 100 anni e Classe d'uso IV, si ricavano i seguenti parametri e coefficienti sismici per le varie tipologie di opere/interventi.

Attraversamento pista tramite sottopasso



All'opera si assegna Vita Nominale VN 100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. (omissis)

Di seguito parametri e coefficienti sismici per interventi relativi a fondazioni, opere di sostegno, fronti di scavo e rilevati.

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,819402
longitudine: 11,183863
Classe: **IV**
Vita nominale: **100**

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4052,370
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1774,040
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5016,823
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6199,161

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **B**
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: **200anni**
Coefficiente cu: **2**

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,078 g
Fo: 2,582
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,096 g
Fo: 2,515
Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,208 g
Fo: 2,408
Tc*: 0,317 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 2475 [anni]
ag: 0,225 g
Fo: 2,416
Tc*: 0,319 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,000
Kh: 0,019
Kv: 0,009
Amax: 0,923
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,023
Kv: 0,012
Amax: 1,130
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,380
St: 1,000
Kh: 0,070
Kv: 0,035
Amax: 2,451
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,180
Cc: 1,380
St: 1,000
Kh: 0,075
Kv: 0,037
Amax: 2,609
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.818445

longitudine: 11.182878

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

Parametri sismici

Muro rigido: Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Sito in esame.

latitudine: 43,819402
longitudine: 11,183863
Classe: **IV**
Vita nominale: **100**

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4052,370
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1774,040
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5016,823
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6199,161

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **B**
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: **200anni**
Coefficiente cu: **2**

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,078 g
Fo: 2,582
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,096 g
Fo: 2,515
Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,208 g
Fo: 2,408

Tc*:	0,317	[s]
Prevenzione dal collasso (SLC):		
Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	2475	[anni]
ag:	0,225	g
Fo:	2,416	
Tc*:	0,319	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,420
St:	1,000
Kh:	0,094
Kv:	0,047
Amax:	0,923
Beta:	1,000

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,000
Kh:	0,115
Kv:	0,058
Amax:	1,130
Beta:	1,000

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,380
St:	1,000
Kh:	0,250
Kv:	0,125
Amax:	2,451
Beta:	1,000

SLC:

Ss:	1,180
Cc:	1,380
St:	1,000
Kh:	0,266
Kv:	0,133
Amax:	2,609
Beta:	1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.818445
longitudine: 11.182878

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,819402
longitudine: 11,183863
Classe: **IV**
Vita nominale: **100**

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4052,370
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1774,040
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5016,823
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6199,161

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **B**
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: **200anni**
Coefficiente cu: **2**

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,078 g
Fo: 2,582
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,096 g
Fo: 2,515
Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,208 g
Fo: 2,408
Tc*: 0,317 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):		
Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	2475	[anni]
ag:	0,225	g
Fo:	2,416	
Tc*:	0,319	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,420
St:	1,000
Kh:	0,000
Kv:	0,000
Amax:	0,923
Beta:	0,000

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,000
Kh:	0,054
Kv:	0,027
Amax:	1,130
Beta:	0,470

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,380
St:	1,000
Kh:	0,095
Kv:	0,047
Amax:	2,451
Beta:	0,380

SLC:

Ss:	1,180
Cc:	1,380
St:	1,000
Kh:	0,000
Kv:	0,000
Amax:	2,609
Beta:	0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.818445

longitudine: 11.182878

Opere d'arte minori (e sedi stradali tratto viabilità fra rotatoria B Baxter e sottopasso)



A tali opere, poste lungo il tracciato in oggetto, si assegna Vita Nominale VN 50 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

Di seguito parametri e coefficienti sismici per interventi relativi a fondazioni, opere di sostegno, fronti di scavo e rilevati.

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,822109
longitudine: 11,186449
Classe: IV
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4328,957
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1751,944
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 4670,010
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6120,852

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	100anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	60	[anni]
ag:	0,061	g
Fo:	2,577	
Tc*:	0,271	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	101	[anni]
ag:	0,074	g
Fo:	2,579	
Tc*:	0,281	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0,169	g
Fo:	2,390	
Tc*:	0,311	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,409	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,018
Kv:	0,009

Amax: 0,904

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,600

St: 1,000

Kh: 0,022

Kv: 0,011

Amax: 1,090

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,460

Cc: 1,540

St: 1,000

Kh: 0,059

Kv: 0,030

Amax: 2,424

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,400

Cc: 1,530

St: 1,000

Kh: 0,082

Kv: 0,041

Amax: 2,886

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.821152

longitudine: 11.185464

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

Parametri sismici

Muro rigido: Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Sito in esame.

latitudine: 43,822109

longitudine: 11,186449

Classe: IV

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4328,957
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1751,944
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 4670,010
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6120,852

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	100anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	60	[anni]
ag:	0,061	g
Fo:	2,577	
Tc*:	0,271	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	101	[anni]
ag:	0,074	g
Fo:	2,579	
Tc*:	0,281	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0,169	g
Fo:	2,390	
Tc*:	0,311	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,409	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,092
Kv:	0,046

Amax: 0,904

Beta: 1,000

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,600

St: 1,000

Kh: 0,111 (0,052 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Kv: 0,056 (0,026 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Amax: 1,090

Beta: 1,000 (0,470 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLV:

Ss: 1,460

Cc: 1,540

St: 1,000

Kh: 0,247 (0,094 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Kv: 0,124 (0,047 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Amax: 2,424

Beta: 1,000 (0,380 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLC:

Ss: 1,400

Cc: 1,530

St: 1,000

Kh: 0,294

Kv: 0,147

Amax: 2,886

Beta: 1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.821152

longitudine: 11.185464

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,822109

longitudine: 11,186449

Classe: IV

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19835 Lat: 43,8112 Lon: 11,1346 Distanza: 4328,957

Sito 2 ID: 19836 Lat: 43,8126 Lon: 11,2039 Distanza: 1751,944

Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 4670,010
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6120,852

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	100anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	60	[anni]
ag:	0,061	g
Fo:	2,577	
Tc*:	0,271	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	101	[anni]
ag:	0,074	g
Fo:	2,579	
Tc*:	0,281	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0,169	g
Fo:	2,390	
Tc*:	0,311	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,409	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici Fronti di scavo e rilevati

SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,000
Kv:	0,000
Amax:	0,904
Beta:	0,000

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,052
Kv: 0,026
Amax: 1,090
Beta: 0,470

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,094
Kv: 0,047
Amax: 2,424
Beta: 0,380

SLC:

Ss: 1,400
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 2,886
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

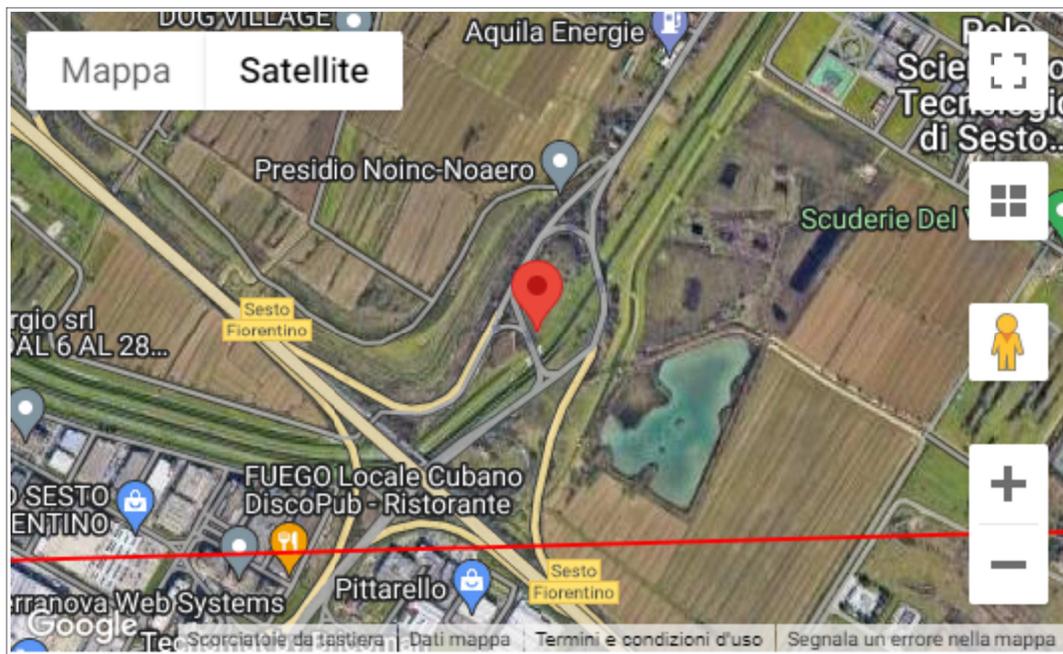
Coordinate WGS84

latitudine: 43.821152

longitudine: 11.185464

9.2.4.3. Parametri dell'azione sismica locale (area rotatoria A Cantone Osmannoro)

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S117-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 4.5 m p.c. (Vs,eq da 314 m/s a piano campagna a 358/364 a -4/5 m p.c.), profondità sotto la quale risulta come **categoria di sottosuolo B**.

Ponte su rampa di accesso A11

All'opera del ponte sulla rampa di accesso A11 si assegna Vita Nominale VN 50 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

Di seguito parametri e coefficienti sismici per interventi relativi a fondazioni, opere di sostegno, fronti di scavo e rilevati.

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine:	43,815623
longitudine:	11,186694
Classe:	IV
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4205,049
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1418,291
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5364,098
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6665,441

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	100anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	60	[anni]
ag:	0,061	g
Fo:	2,579	
Tc*:	0,271	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	101	[anni]
ag:	0,074	g
Fo:	2,580	
Tc*:	0,281	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0,169	g
Fo:	2,389	
Tc*:	0,311	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,409	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,018

Kv: 0,009

Amax: 0,901

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,600

St: 1,000

Kh: 0,022

Kv: 0,011

Amax: 1,086

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,460

Cc: 1,540

St: 1,000

Kh: 0,059

Kv: 0,030

Amax: 2,417

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,400

Cc: 1,530

St: 1,000

Kh: 0,082

Kv: 0,041

Amax: 2,877

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.814666

longitudine: 11.185709

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

Parametri sismici

Muro rigido: Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Sito in esame.

latitudine: 43,815623

longitudine: 11,186694

Classe: IV

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4205,049
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1418,291
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5364,098
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6665,441

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	100anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	60	[anni]
ag:	0,061	g
Fo:	2,579	
Tc*:	0,271	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	101	[anni]
ag:	0,074	g
Fo:	2,580	
Tc*:	0,281	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0,169	g
Fo:	2,389	
Tc*:	0,311	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,409	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,092

Kv: 0,046

Amax: 0,901

Beta: 1,000

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,600

St: 1,000

Kh: 0,111 (0,052 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Kv: 0,055 (0,026 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Amax: 1,086

Beta: 1,000 (0,470 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLV:

Ss: 1,460

Cc: 1,540

St: 1,000

Kh: 0,247 (0,094 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Kv: 0,123 (0,047 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

Amax: 2,417

Beta: 1,000 (0,380 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLC:

Ss: 1,400

Cc: 1,530

St: 1,000

Kh: 0,293

Kv: 0,147

Amax: 2,877

Beta: 1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.814666

longitudine: 11.185709

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,815623

longitudine: 11,186694

Classe: IV

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4205,049
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1418,291
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5364,098
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 6665,441

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	100anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	60	[anni]
ag:	0,061	g
Fo:	2,579	
Tc*:	0,271	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	101	[anni]
ag:	0,074	g
Fo:	2,580	
Tc*:	0,281	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0,169	g
Fo:	2,389	
Tc*:	0,311	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,409	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,000
Kv:	0,000

Amax: 0,901

Beta: 0,000

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,600

St: 1,000

Kh: 0,052

Kv: 0,026

Amax: 1,086

Beta: 0,470

SLV:

Ss: 1,460

Cc: 1,540

St: 1,000

Kh: 0,094

Kv: 0,047

Amax: 2,417

Beta: 0,380

SLC:

Ss: 1,400

Cc: 1,530

St: 1,000

Kh: 0,000

Kv: 0,000

Amax: 2,877

Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.814666

longitudine: 11.185709

9.2.4.4. Parametri dell'azione sismica locale (area presso Vasca C)

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S118-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 5.5 m p.c. (Vs,eq da 302 m/s a piano campagna a 354/367 a -5/6 m p.c.), profondità sotto la quale risulta come **categoria di sottosuolo B**.

Opere d'arte minori (e sedi stradali)



A tali opere, poste lungo il tracciato in oggetto, si assegna Vita Nominale VN 50 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

Di seguito parametri e coefficienti sismici per interventi relativi a fondazioni, opere di sostegno, fronti di scavo e rilevati.

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine:	43,812866
longitudine:	11,193452
Classe:	IV
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4722,530
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 836,414
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5571,007
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 7253,747

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	100anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	60	[anni]
ag:	0,061	g
Fo:	2,581	
Tc*:	0,271	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	101	[anni]
ag:	0,074	g
Fo:	2,582	
Tc*:	0,281	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0,168	g
Fo:	2,388	
Tc*:	0,311	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1950	[anni]
ag:	0,209	g
Fo:	2,410	
Tc*:	0,317	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,018
Kv:	0,009
Amax:	0,898
Beta:	0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,082
Beta: 0,200
SLV:
Ss: 1,460
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,059
Kv: 0,029
Amax: 2,410
Beta: 0,240
SLC:
Ss: 1,400
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,082
Kv: 0,041
Amax: 2,867
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.811909

longitudine: 11.192467

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

Parametri sismici

Muro rigido: Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Sito in esame.

latitudine: 43,812866

longitudine: 11,193452

Classe: IV

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19835 Lat: 43,8112 Lon: 11,1346 Distanza: 4722,530

Sito 2 ID: 19836 Lat: 43,8126 Lon: 11,2039 Distanza: 836,414

Sito 3 ID: 19614 Lat: 43,8626 Lon: 11,2020 Distanza: 5571,007

Sito 4 ID: 19613 Lat: 43,8612 Lon: 11,1327 Distanza: 7253,747

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,061 g
Fo: 2,581
Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,074 g
Fo: 2,582
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,168 g
Fo: 2,388
Tc*: 0,311 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]
ag: 0,209 g
Fo: 2,410
Tc*: 0,317 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,092
Kv: 0,046
Amax: 0,898
Beta: 1,000

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,110 (0,052 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Kv: 0,055 (0,026 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Amax: 1,082
Beta: 1,000 (0,470 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,246 (0,093 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Kv: 0,123 (0,047 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Amax: 2,410
Beta: 1,000 (0,380 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
SLC:
Ss: 1,400
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,292
Kv: 0,146
Amax: 2,867
Beta: 1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.811909

longitudine: 11.192467

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,812866

longitudine: 11,193452

Classe: IV

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4722,530
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 836,414
Sito 3	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5571,007
Sito 4	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 7253,747

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100anni

Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 60 [anni]

ag: 0,061 g

Fo: 2,581

Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):
Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,074 g
Fo: 2,582
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,168 g
Fo: 2,388
Tc*: 0,311 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]
ag: 0,209 g
Fo: 2,410
Tc*: 0,317 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:
Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 0,898
Beta: 0,000

SLD:
Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,052
Kv: 0,026
Amax: 1,082
Beta: 0,470

SLV:
Ss: 1,460
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,093
Kv: 0,047
Amax: 2,410
Beta: 0,380

SLC:
Ss: 1,400
Cc: 1,530

St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 2,867
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.811909

longitudine: 11.192467

9.2.4.5. Parametri dell'azione sismica locale (area presso Torre controllo A11)

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S119-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 7.5 m p.c. (Vs,eq da 300 m/s a piano campagna a 355/365 a -7/8 m p.c.), profondità sotto la quale risulta come **categoria di sottosuolo B**.

Opere d'arte minori e sedi stradali



A tali opere, poste lungo il tracciato in oggetto, si assegna Vita Nominale VN 50 anni:
Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni

pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

Di seguito parametri e coefficienti sismici per interventi relativi a fondazioni, opere di sostegno, fronti di scavo e rilevati.

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,80949
longitudine: 11,191047
Classe: IV
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4530,400
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1085,847
Sito 3	ID: 20058	Lat: 43,7626	Lon: 11,2057	Distanza: 5342,067
Sito 4	ID: 20057	Lat: 43,7613	Lon: 11,1366	Distanza: 6920,814

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,060 g
Fo: 2,592
Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,072 g
Fo: 2,592
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 949 [anni]
ag: 0,165 g
Fo: 2,385
Tc*: 0,309 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]
ag: 0,205 g
Fo: 2,409
Tc*: 0,315 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,018
Kv: 0,009
Amax: 0,877
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,055
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,550
St: 1,000
Kh: 0,058
Kv: 0,029
Amax: 2,363
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,400
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,080
Kv: 0,040
Amax: 2,811
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.808533

longitudine: 11.190062

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

Parametri sismici

Muro rigido: Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Sito in esame.

latitudine: 43,80949
longitudine: 11,191047
Classe: IV
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4530,400
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1085,847
Sito 3	ID: 20058	Lat: 43,7626	Lon: 11,2057	Distanza: 5342,067
Sito 4	ID: 20057	Lat: 43,7613	Lon: 11,1366	Distanza: 6920,814

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,060 g
Fo: 2,592
Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,072 g
Fo: 2,592
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,165 g
Fo: 2,385
Tc*: 0,309 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]

ag: 0,205 g
Fo: 2,409
Tc*: 0,315 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,089
Kv: 0,045
Amax: 0,877
Beta: 1,000

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,108 (0,051 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Kv: 0,054 (0,025 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Amax: 1,055
Beta: 1,000 (0,470 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,550
St: 1,000
Kh: 0,241 (0,092 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Kv: 0,121 (0,046 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Amax: 2,363
Beta: 1,000 (0,380 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)

SLC:

Ss: 1,400
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,287
Kv: 0,143
Amax: 2,811
Beta: 1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.808533
longitudine: 11.190062

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 43,80949

longitudine: 11,191047
Classe: IV
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4530,400
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 1085,847
Sito 3	ID: 20058	Lat: 43,7626	Lon: 11,2057	Distanza: 5342,067
Sito 4	ID: 20057	Lat: 43,7613	Lon: 11,1366	Distanza: 6920,814

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,060 g
Fo: 2,592
Tc*: 0,271 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,072 g
Fo: 2,592
Tc*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,165 g
Fo: 2,385
Tc*: 0,309 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]
ag: 0,205 g
Fo: 2,409
Tc*: 0,315 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:
Ss: 1,500
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,000

Kv: 0,000
Amax: 0,877
Beta: 0,000
SLD:
Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,051
Kv: 0,025
Amax: 1,055
Beta: 0,470
SLV:
Ss: 1,460
Cc: 1,550
St: 1,000
Kh: 0,092
Kv: 0,046
Amax: 2,363
Beta: 0,380
SLC:
Ss: 1,400
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 2,811
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.808533

longitudine: 11.190062

10. Modellazione geologica e geotecnica

10.1. Sezione geologica

La sezione A-A', riportata nella tavola fuori testo, è tracciata con direzione NNE-SSO, indicativamente dalla rotonda di Sesto Fiorentino/Val di Rose, a NNE, fino allo svincolo A11 di Sesto Fiorentino/Osmannoro, a SSE, come anche evidenziato in figura 6.

La sezione evidenzia la potente successione di terreni coesivi costituiti da *limo con argilla ed argilla con limo, debolmente sabbiosi*, con la presenza di lenti di ghiaie e sabbie a partire dalla profondità di circa 27 m p.c./11 m s.l.m. (in S91), intervallo che è presente verso il centro della piana (pozzo P56) ma che risulta essere assente in prossimità della

profondità/quota indicate presso l'estremo SSO della sezione (in S117). La suddivisione dei terreni è stata condotta sulla base delle informazioni ottenute da sondaggi a carotaggio continuo e da prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), da queste ultime prendendo a riferimento la resistenza penetrometrica statica, la resistenza non drenata, il grado di sovraconsolidazione (OCR) mostrato dai terreni coesivi.

In particolare, il tratto di viabilità relativo al sottopasso è stato oggetto di analisi dei risultati dei parametri geotecnici forniti dalle prove CPTU. Nella figura 7 viene riportata la correlazione delle prove CPTU eseguite presso l'area di interesse (CPTU 1, 2, 12, 11, 25, 24), partendo da nord (rotonda Sesto Fiorentino) verso sud (rotonda Osmannoro presso svincolo A11 Sesto Fiorentino). La correlazione ha permesso di individuare, nei terreni investigati dalle prove aventi infissioni di 8÷10 m dal piano campagna, cinque intervalli (A÷E), differenziati in base a diversi parametri ma con particolare riguardo in base alla resistenza non drenata (Cu/Su). Al paragrafo 10.3.2 verrà analizzata in dettaglio la suddivisione di tali intervalli.



Figura 6 - Tratto viabilità compresa fra le due rotonde A e B con il sottoattraversamento della pista

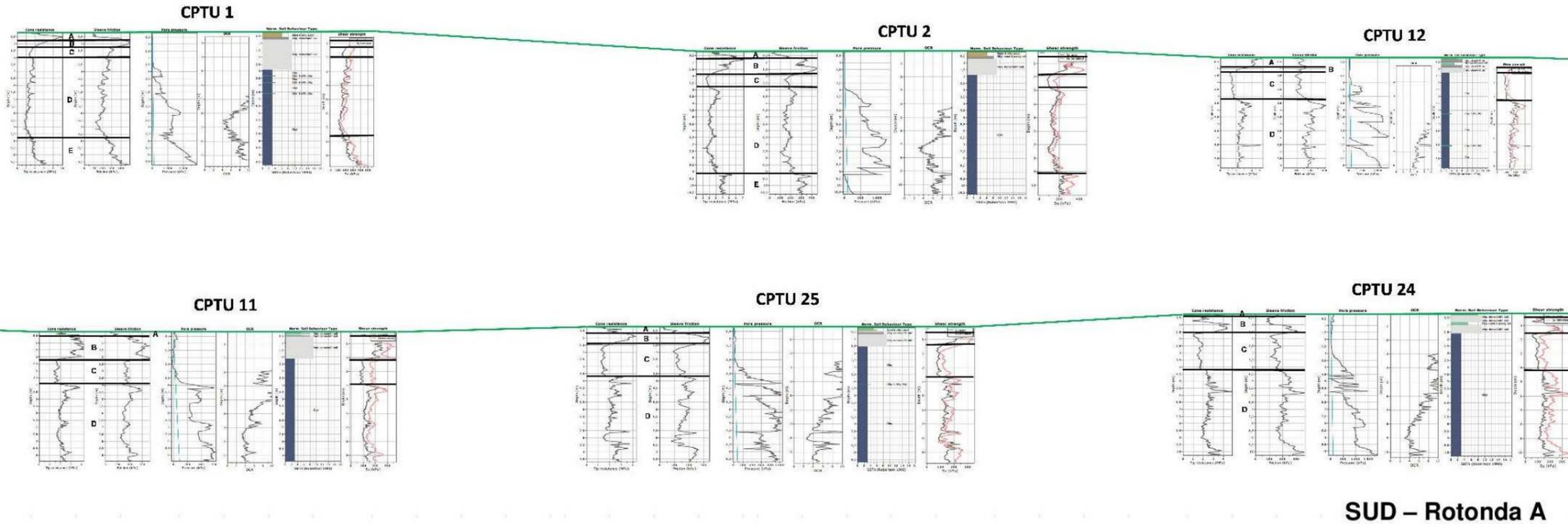
10.2. Modello geologico del sottosuolo

Il modello geologico del sottosuolo dell'area di progetto è stato definito in base ai risultati dei sondaggi a carotaggio continuo e delle indagini geognostiche realizzati durante le campagne 2015 e 2017.

Correlazione prove CPTU lungo il tracciato del sottopasso della nuova pista dell'aeroporto

NORD – Rotonda B

(non in scala orizzontale)



SUD – Rotonda A

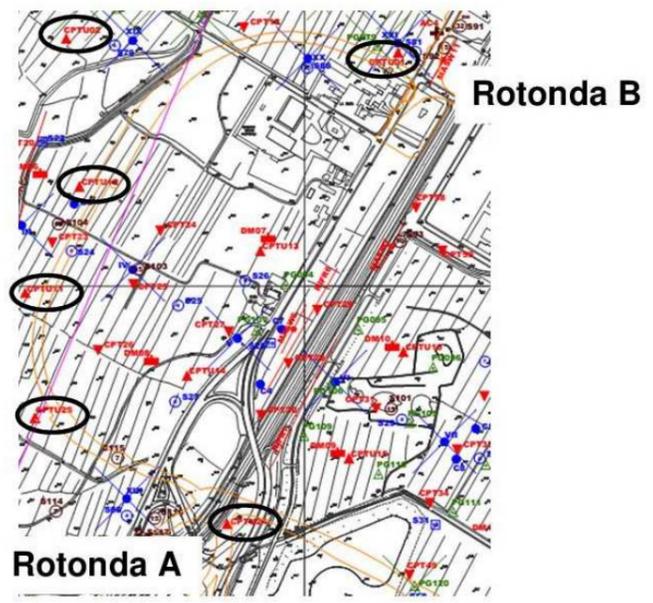


Figura 7 -Correlazione delle prove CPTU lungo il tracciato del sottopasso (dalla rotonda B su via dell’Osmannoro a Sesto Fiorentino, a nord, alla rotonda A presso lo svincolo A11 Sesto Fiorentino, a sud).

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza, a partire dai terreni più recenti, di:

1. *sedimenti attuali e recenti di origine alluvionale* [Dr_{a-b} – età: Olocene], in facies soprattutto coesiva [Dr_a] e, in misura ben minore, in facies prevalentemente incoerente o mista [Dr_b], fino alla profondità di 10÷15 m p.c.;
2. *sedimenti antichi di origine alluvionale* [Da_{a-b} – età: Pleistocene sup.], in facies prevalentemente coesiva [Da_a] e subordinatamente in facies granulare [Da_b], fino alla profondità di 25÷30 m p.c.;
3. *depositi di origine lacustre e palustre* [FPT – età: Pliocene sup. - Pleistocene inf., "Villafranchiano" Auctt.] come attività di riempimento del bacino di Firenze-Pistoia, costituiti da terreni in facies prevalentemente coesiva [FPT_a, FPT_c] e secondariamente in facies incoerente [FPT_b], rinvenuti nei sondaggi dell'area fino a profondità superiori a 100 m p.c..

I terreni elencati al primo e al secondo punto sono dovuti, rispettivamente, (1) all'evoluzione recente del sistema fluviale dell'Arno e dei suoi affluenti (Dr_a, Dr_b – Sintema dell'Arno), e (2) all'evoluzione del sistema fluviale del paleo-Arno (Da_a, Da_b – Sintema di Firenze). Per i terreni di cui al terzo punto (3), i più antichi (FPT_{a-b-c} – Sintema del Bacino di Firenze-Pistoia), sono da ricondurre all'attività di colmamento del bacino lacustre-palustre, con apporti sedimentari da parte dei paleo-corsi d'acqua che si immettevano nel lago, fluendo dai rilievi a monte, costruendo sistemi deposizionali tipo *fan-delta*, a prevalente componente incoerente grossolana (ghiaie, sabbie - FPT_b) nelle zone prossimali e a prevalente componente granulometrica coesiva (limi, argille - FPT_a) nelle zone distali. A distanze non interferenti con tali attività deposizionali, si andavano a sedimentare granulometrie più fini ("*Argille azzurre/turchine*" Auctt.) di ambiente tipicamente lacustre (FPT_c).

Il substrato litoide viene stimato alla profondità di circa 375 m p.c., circa -335 m s.l.m. (*Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica*, Variante 2015 al Piano Strutturale 2010 del Comune di Firenze; *Carta litotecnica di Firenze*, Tav.3, Comune di Firenze ed Università di Firenze, Coli M. Pini G. Rubellini P. Agostini A., 2006).

Considerando l'assenza di un acquifero nei terreni argilloso limosi che costituiscono il sottosuolo del sedime aeroportuale, essendo tali terreni corrispondenti ad un "*aquiclude*", con presenza di falde confinate di entità limitata "sospese" nei corpi lenticolari di ghiaie e sabbie poste a diverse profondità (fra 8 e 12 m p.c. per l'area prossima al terminal, poi in profondità

fra 20 e 30 m p.c.), il livello piezometrico è stato misurato mediamente nell'intervallo 1,5÷-3,0 m p.c., salvo poche eccezioni. Oltre al periodo stagionale di misurazione, il livello piezometrico è anche funzione dei lunghi tempi di ricarica da parte dei terreni costituenti l'*aquiclude* ($k = 10^{8 \div 10^{-10}}$ cm/s).

10.3. Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni presenti nel volume significativo e definizione del modello geotecnico di sottosuolo

10.3.1. Aspetti generali

Secondo l'EuroCodice 7 (EC7), il valore caratteristico è il *valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento*, per una serie teoricamente illimitata di valori. Significa, quindi, che solo una percentuale di valori, pari alla probabilità prefissata, risulterà inferiore al valore caratteristico. Con riferimento all'EC7, il valore *soglia* di probabilità di non superamento è il 5% (5° percentile o frattile).

Nelle NTC 2018 per valore caratteristico di un parametro s'intende *una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato* (§ 6.2.2. del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C6.2.2 della Circolare n. 7/2019). Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire a una scelta corretta dei valori caratteristici appare giustificato, secondo la Circolare, il riferimento a valori prossimi ai *valori medi* quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (come nel caso di fondazioni superficiali, fondazioni su pali relativamente alla resistenza laterale, verifiche di stabilità, opere di contenimento, di scatolari, di paramenti in terre rinforzate associati a rilevati stradali), mentre valori prossimi ai *valori minimi* dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (come nel caso di fondazioni su pali relativamente alla resistenza di punta).

Per il progetto in questione, per il quale si possono prevedere compensazioni sia stratigrafiche che strutturali, le NTC indicano l'assunzione, come già accennato, di valori caratteristici prossimi al *valore medio* dei parametri geotecnici (unica deroga a questa assunzione è data dall'adozione di valori caratteristici prossimi ai *minimi* (riferimento al valore del 5° percentile) dei parametri geotecnici per quelle condizioni di rottura localizzata).

10.3.2. Analisi e caratterizzazione geotecnica delle prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) lungo il percorso del sottopasso della pista, dalla rotonda di Sesto Fiorentino allo svincolo A11 Sesto Fiorentino

Nel presente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica dei terreni posti fino alla profondità indagata dalle prove CPTU lungo il percorso del sottopasso della nuova pista. Lo spessore investigato è relativo ai primi 8÷10 m dal piano campagna.

Le prove penetrometriche analizzate sono CPTU 1, CPTU 2, CPTU 12, CPTU 11, CPTU 25 e CPTU 24, come evidenziato nella figura 7, in cui viene mostrata la loro correlazione (sezione non in scala orizzontale).

Nella tabella 9, sono mostrati spessore e tagli dei livelli del sottosuolo identificati tramite le prove CPTU.

Spessore livelli CPTU							
spessore (m)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	0.71	0.70	0.88	0.52	0.64	0.30	0.59
livello B	0.48	1.20	0.31	1.60	0.77	1.26	0.99
livello C	0.81	0.83	2.03	1.83	2.28	2.60	2.19
livello D	5.81	6.32	4.97	5.46	6.00	6.11	5.64
livello E	1.91	1.59					

Tetto livelli CPTU							
tetto (m)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
livello B	0.71	0.70	0.88	0.52	0.64	0.30	0.59
livello C	1.19	1.90	1.19	2.12	1.41	1.56	1.57
livello D	2.00	2.73	3.22	3.95	3.69	4.16	3.76
livello E	7.81	9.05					

Base livelli CPTU (per ultimo strato: prof mpc fine infissione)							
base (m)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	0.71	0.70	0.88	0.52	0.64	0.30	0.59
livello B	1.19	1.90	1.19	2.12	1.41	1.56	1.57
livello C	2.00	2.73	3.22	3.95	3.69	4.16	3.76
livello D	7.81	9.05	8.19	9.41	9.69	10.27	9.39
livello E	9.72	10.64					

Tabella 9 - Spessore e tagli degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

Nella tabella 10, viene riportata la suddivisione dei livelli identificati secondo la classificazione di F.K. Robertson (1990) in base al parametro Soil Behaviour Type normalizzato (SBTn).

"Soil Behaviour Type normalized" SBTn - livelli CPTU (da: P.K. Robertson, 1990)							
SBTn (gravimetria)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	
livello A	6 - clean sand to silty sand - very stiff sand to clayey sand	8 - clean sand to silty sand - very stiff sand to clayey sand	8 - very stiff sand to clayey sand	5 - silty sand to sandy silt very stiff sand to clayey sand	8 - 5 - silty sand to sandy silt very stiff sand to clayey sand	8 - 8 - very stiff sand to clayey sand	
livello B	9 - very stiff fine grained	9 - very stiff fine grained	9 - very stiff fine grained	9 - very stiff fine grained	9 - very stiff fine grained	9 - very stiff fine grained	
livello C	9 - very stiff fine grained	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	
livello D	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay	
livello E	3- clay to silty clay	3- clay to silty clay					

SBTn legend					
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty clay	7. Gravely sand to sand			
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to clayey sand			
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained			

Tabella 10 - Caratterizzazione SBTn degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

Il livello più superficiale (A), di spessore medio molto limitato (ca. 60 cm) è costituito da terreni granulometricamente misti con frazione granulare abbastanza significativa (5. *Silty sand to sandy silt* e 8. *Very stiff sand to clayey sand*) nella parte di sezione da CPTU 12 a CPTU 24, con passaggio a terreni con frazione incoerente più definita nella porzione settentrionale del percorso del sottopasso da CPTU 1 a CPTU 2 (6. *Clean sand to silty sand* e 8. *Very stiff sand to clayey sand*).

Il livello sottostante (B), con spessore medio di un metro nella parte di sezione da CPTU 12 a CPTU 24 mentre a nord (CPTU 1 e 2) risulta più variabile, è costituito da terreni coesivi abbastanza duri, resistenti (9. *Very stiff fine grained*).

Il terzo livello (C), con spessore medio di un paio di metri nella parte di sezione da CPTU 12 a CPTU 24, è composto da terreni francamente coesivi (3. *Clay to silty clay*); mentre a nord (CPTU 1), ridotto a circa 80 cm, risulta rappresentato da terreni coesivi abbastanza duri, resistenti (9. *Very stiff fine grained*).

Il quarto livello (D), con spessore parziale superiore a 5÷6 m, è analogo al terzo livello lungo tutto il tracciato, costituito da terreni coesivi (3. *Clay to silty clay*).

Il livello più profondo (E), raggiunto solo nelle due prove a nord (CPTU 1 e 2) e con spessore parziale di circa 1.5÷2.0 m, è rappresentato da terreni simili a quelli del livello sovrastante (3. *Clay to silty clay*).

La tabella 11 mostra i valori di resistenza statica alla punta (q_c , espressa in MPa) registrata durante l'infissione, livello per livello, lungo le diverse verticali di indagine CPTU, sia come valori corrispondenti alla mediana che al 5° percentile della popolazione delle registrazioni.

Resistenza statica alla punta (q_c) [valore mediana, in MPa]							
resistenza statica alla punta (q_c)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	8.23	4.57	4.21	2.19	2.25	3.81	3.12
livello B	5.55	4.53	2.40	3.60	3.58	3.23	3.20
livello C	2.95	1.67	1.50	1.64	1.44	1.65	1.56
livello D	2.58	2.28	2.44	2.17	2.24	2.46	2.33
livello E	3.70	3.90					

Resistenza statica alla punta (q_c) [valore 5° percentile, in MPa]							
resistenza statica alla punta (q_c)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	3.52	1.81	3.67	1.36	1.34	3.50	2.47
livello B	3.76	2.29	1.64	2.82	2.32	1.46	2.06
livello C	2.49	1.49	1.25	1.41	1.20	1.25	1.28
livello D	1.70	1.60	1.85	1.56	1.56	1.76	1.68
livello E	2.56	3.30					

Tabella 11 - Resistenza statica alla punta (q_c) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

La tabella 12 presenta i valori di resistenza non drenata (C_u , espressa in kPa) registrata durante l'infissione, livello per livello, lungo le diverse verticali di indagine CPTU, sia come valori corrispondenti alla mediana che al 5° percentile della popolazione delle registrazioni.

Resistenza non drenata (Cu) [valore mediana, in kPa]							
resistenza non drenata (Cu)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A							
livello B	323	269	150	216	210	190	192
livello C	170	93	89	90	81	94	89
livello D	159	142	151	125	134	145	139
livello E	232	226					

Resistenza non drenata (Cu) [valore 5° percentile, in kPa]							
resistenza non drenata (Cu)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A							
livello B	202	114	98	162	127	83	118
livello C	140	82	73	74	67	69	71
livello D	109	98	107	86	91	102	97
livello E	154	182					

Tabella 12 - Resistenza non drenata (Cu) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

La tabella 13 evidenzia i valori del modulo edometrico (Med, espresso in MPa) registrati durante l'infissione, livello per livello, lungo le diverse verticali di indagine CPTU, come valori corrispondenti alla mediana della popolazione delle registrazioni.

Modulo edometrico (Med) [valore mediana, in MPa]							
modulo edometrico (Med)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	63.90	49.29	52.35	30.51	27.98	49.66	40.13
livello B	77.58	62.97	33.26	49.89	50.33	45.28	44.69
livello C	40.94	22.92	20.93	22.37	19.51	22.88	21.42
livello D	37.19	32.79	34.78	28.82	31.23	34.71	32.39
livello E	54.75	53.05					

Tabella 13 - Modulo edometrico (Med) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

La tabella 14 evidenzia i valori del parametro della densità relativa (Dr, espresso in percentuale) registrati durante l'infissione, per il solo livello più superficiale, lungo le diverse

verticali di indagine CPTU, come valori corrispondenti alla mediana della popolazione delle registrazioni.

Densità relativa (Dr) [valore mediana, in %]							
densità relativa (Dr%)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	90.00	77.00	72.00	68.00	60.00	87.50	71.88
livello B							
livello C							
livello D							
livello E							

Tabella 14 - Densità relativa (Dr) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

La tabella 15 presenta i valori del coefficiente di permeabilità (k, in m/s) registrati durante l'infissione, livello per livello, lungo le diverse verticali di indagine CPTU, come valori corrispondenti alla mediana della popolazione delle registrazioni.

Coefficiente di permeabilità (k) [valore mediana, m/s]							
coeff. di permeabilità (k)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24
livello A	1.51E-05	8.15E-06	4.17E-06	3.17E-06	1.59E-06		2.98E-06
livello B	3.09E-07	1.78E-07	2.36E-07	1.73E-07	1.76E-07		1.95E-07
livello C	5.69E-08	9.79E-09	1.90E-08	4.86E-09	8.96E-09		1.09E-08
livello D	1.05E-08	6.59E-09	9.36E-09	3.00E-09	4.78E-09		5.71E-09
livello E	7.62E-09	5.23E-09					

Tabella 15 - Coefficiente di permeabilità (k) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

La tabella 16 riporta i valori della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s , in m/s) registrati durante l'infissione, livello per livello, lungo le diverse verticali di indagine CPTU, come valori corrispondenti alla media della popolazione delle registrazioni.

Velocità onde sismiche di taglio (Vs) [valore media strato, m/s]								
coeff. di permeabilità (k)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24	
livello A	187	152	164	130	122	149	141	
livello B	225	212	163	197	189	170	180	
livello C	200	178	163	185	169	179	174	
livello D	219	218	222	223	223	238	226	
livello E	278	278						

Tabella 16 - Velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

Infine, nella tabella 17 vengono evidenziati i valori del grado di sovraconsolidazione (OCR, adimensionale) registrati durante l'infissione, livello per livello, lungo le diverse verticali di indagine CPTU, come valori corrispondenti alla mediana della popolazione delle registrazioni.

Grado di sovraconsolidazione (OCR) [valore mediana]								
grado di sovraconsolidazione (OCR)	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 12	CPTU 11	CPTU 25	CPTU 24	media CPTU 12-11-25-24	
livello A								
livello B	131.1	79.7	49.9	71.8	84.2	71.5	69.4	
livello C	37.9	13.2	14.1	9.0	10.7	10.8	11.2	
livello D	10.6	7.2	8.6	5.2	6.4	6.3	6.6	
livello E	8.4	6.8						

Tabella 17 - Grado di sovraconsolidazione (OCR) degli intervalli individuati dalle prove CPTU eseguite lungo il tracciato del sottopasso

10.3.3. Modello geotecnico

In questo paragrafo viene riportato il modello geotecnico di riferimento per le opere connesse al sistema della viabilità principale, con particolare riguardo all'attraversamento della pista tramite sottopasso. Quest'ultimo intervento prevede una profondità massima di scavo di circa 9÷10 m, mentre i campioni indisturbati più profondi prelevati dai sondaggi finora realizzati all'interno del sedime aeroportuale si attestano a quella stessa profondità, pertanto nelle successive fasi progettuali dovranno essere prelevati campioni ritenuti atti a caratterizzare il volume significativo del sottosuolo interessato da tale opera.

Per il momento, allo scopo di definire un modello geotecnico anche per i terreni profondi, i dati ottenuti con le campagne TAE 2015 e 2017 sono stati integrati con dati geologici e geotecnici ottenuti da sondaggi realizzati per i seguenti progetti:

- per il centro commerciale IKEA, ubicato sul lato corsia sud della A11, a poche centinaia di metri di distanza, a sudest rispetto all'area di progetto;
- per l'impianto di recupero energia di Case Passerini, anch'esso ubicato sul lato corsia sud della A11 a breve distanza, ad ovest dell'area di interesse.

I dati appena citati sono disponibili, sebbene in modo parziale, nell'archivio del Sistema Informativo Geologico del Sottosuolo (S.I.G.S.) del Comune di Firenze e a libera consultazione.

Prendendo a riferimento il modello geologico descritto al paragrafo 10.2, tenuto conto del *volume significativo* correlato alle varie opere in progetto, è stato definito il modello geotecnico del sottosuolo dell'intera area di intervento. Sulla base delle prove geognostiche e sismiche eseguite sono stati identificati i seguenti strati geotecnici:

- **strato geotecnico 1 (da 0.00 a 1.50÷2.50 m p.c.):** limo con argilla e argilla con limo, debolmente sabbioso; localmente presente materiale di riporto. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione (circa 300 kPa). In prevalenza argille inorganiche ad alta plasticità (CH) ma spesso presenti anche argille inorganiche a media plasticità (CL), secondo la classificazione di Casagrande, valore della mediana dell'indice di plasticità (IP) circa 28, valore della mediana della resistenza non drenata (Cu) poco più di 180 kPa;
- **strato geotecnico 2 (da 1.50÷2.50 a 6.00÷7.00 m p.c.):** argilla con limo e limo con argilla, debolmente sabbioso e talora debolmente ghiaioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione (circa 340 kPa). Argille inorganiche ad alta plasticità (CH), in misura minore argille inorganiche a media plasticità (CL), secondo la classificazione di Casagrande, valore della mediana dell'indice di plasticità (IP) circa 36, valore della mediana della resistenza non drenata (Cu) 80÷90 kPa;
- **strato geotecnico 3 (da 6.00÷7.00 a circa 30.00 m p.c. corrispondente al tetto dello strato con significativa frazione incoerente sabbioso-ghiaiosa in matrice limo-argillosa, qui non caratterizzato):** argilla con limo in prevalenza e limo con argilla, talora debolmente sabbioso. Valori elevati di OCR/pressione di preconsolidazione (circa 300 kPa), comunque valori disponibili solo fino a profondità di circa 10÷12 m dal piano campagna. Argille inorganiche

ad alta plasticità (CH), talvolta limi inorganici ad alta plasticità (MH) e argille organiche da media ad alta plasticità (OH), secondo la classificazione di Casagrande, valore della mediana dell'indice di plasticità (IP) circa 37, valore della mediana della resistenza non drenata (Cu) circa 100 kPa (da TxUU) o superiore (120 kPa, da ELL).

Nella tabella 18 sono riportate le misurazioni del livello piezometrico eseguite nell'area del sedime aeroportuale nei sondaggi attrezzati a piezometro (a tubo aperto), realizzati durante le campagne 2015 e 2017. Il livello piezometrico (nel caso in oggetto non coincidente con il livello freatico, trattandosi di terreni costituenti un "aquicludo") è attestato mediamente (salvo un paio di eccezioni) a profondità comprese fra 1.50 e 3.00 m p.c., in funzione del carico idraulico esistente in corrispondenza delle aree di "ricarica/alimentazione" e di "scarico/deflusso". Oltre al periodo stagionale di misurazione, il livello piezometrico è anche funzione dei lunghi tempi di ricarica da parte dei terreni costituenti l'*aquicludo* ($k=10^8 \div 10^{10}$ cm/s). Per le fasi progettuali successive è ovviamente necessaria una ripresa dell'attività di monitoraggio del livello piezometrico.

sondaggio con piezometro	ubicazione sondaggio	prof. sondaggio (m)	data realizzazione sondaggio con piezometro	quota bocca pozzo mslm	livello piezom. mslm	livello piezom. m pc	tratto fessurato (da m pc)	tratto fessurato (a m pc)	data misuraz liv piezom	stratigrafia (m pc) in corrispondenza dei tratti fessurati
S 05-pz	sottopasso A11 a nord area Agip (campagna 2015)	15.00	6-nov-2015			0.80	9.00	12.00	n.d.	0.20-10.00: argille e limi molto compatti, concrez mm; 10.00-14.00: argille e limi compatti, talora molli, concrez
S 13-pz	presso strip terminazione pista (campagna 2015)	10.00	30-nov-2015			1.55	7.00	9.00	n.d.	3.10-10.00: argille e limi, compatti, nocci/grg-verdi, concrez mm abbond parte inf
S 19-pz	presso terminazione pista su strip sud (campagna 2015)	10.00	2-nov-2015			0.50	7.00	9.00	n.d.	3.80-10.00: argille e limi, compatti
S 22-pz	su strip nord presso sottopista (campagna 2015)	10.00	9-nov-2015			2.85	6.00	9.00	n.d.	3.00-10.00: argille, a tratti limose, da consistente a molto consistente
S 28-pz	centro pista compo via Osmannoro (camp 2015)	10.00	5-nov-2015			1.85	6.00	9.00	n.d.	4.90-10.00: argille, da consistenti a molto consistenti
S 31-pz	pista parte centrale strip sud (campagna 2015)	10.00	16-nov-2015			n.d.	7.00	9.00	n.d.	5.00-7.00: argille e limi, compatti, marr; 7.00-10.00: argille e limi, compatti, nocci
S 35-pz	pista strip sud pressi CT (campagna 2015)	35.00	17-nov-2015			5.00	26.00	35.00	n.d.	21.00-26.00: argille e limi, livelli cm sabb; 26.00-35.00: argille e limi, concrez
S 39-pz	estremità sud est diuna Polo sc. (campagna 2015)	10.00	19-nov-2015			1.50	5.00	10.00	n.d.	3.00-6.60: argille e limi, compatti, concrez; 6.60-10.00: argille e limi, compatti, nocci
S 40-pz	apron pressi VV.FF (campagna 2015)	20.00	26-nov-2015			1.80	14.00	20.00	n.d.	8.30-20.00: argille e limi, marr/grigio/verdi, concrez mm
S 44-pz	estremità SE pista, pressi NE nuovo Term (camp 2015)	10.00	24-nov-2015			1.80	5.00	10.00	n.d.	3.00-7.00: argille e limi, compatti, concrez; 7.00-10.00: argille e limi, compatti, abb concrez mm
S 90-pz	parte cent spostam Fosso Reale N pista (camp 2017)	15.00	28-lug-2017	37.24	33.62	3.40	3.00	15.00	n.d.	1.70-15.00: argille consistenti marroni/occi/azz, concrez mm
S 108-pz	presso strip terminazione pista (campagna 2017)	40.00	23-ago-2017	36.12	33.32	2.00	3.00	40.00	n.d.	30.50-32.60 argille con sabbie ghiaie; 32.60-39.50 argille e sabbie con ghiaie
S 107-pz	nuova pista (campagna 2017)	15.00	19-lug-2017			9.00	3.00	15.00	n.d.	0-6.00: argille molto consistenti; 6.00-15.00: argille consistenti o molto consistenti, marr/azz, concrez mm
S 112-pz	duna Fosso Reale (campagna 2017)	15.00	28-lug-2017	35.57	32.42	3.15	3.00	15.00	n.d.	0.60-15.00: argille molto consistenti, marr/azz/grig/azz/nocci
S 88-pz	area laminazione idraulica "A" (campagna 2017)	10.00	1-ago-2017	37.44	34.42	2.75	3.00	10.00	n.d.	2.00-10.00: limi e argille marr/grig, concrez carb mm locali +abbondanti

Tabella 18 - Livello piezometrico misurato nei piezometri (a tubo aperto) realizzati nell'area aeroportuale

Nella tabella 19 viene riportato il *modello geotecnico* del sottosuolo dell'intera area di progetto ed i *valori caratteristici*, espressi sia come valori medi (mediana) sia come valori prossimi ai minimi (5° percentile).

Modello geotecnico e valori caratteristici

[valori "medi" (mediana) e, in parentesi, del 5° percentile per i valori prossimi al valore minimo]

n. id.	livello geotecnico		peso vol nat kN/m3	conten acqua Wn (%)	indice vuoti e	grado saturaz Sr (%)	Limite liq LL %	Limite plast LP %	Indice plast IP %	Classificaz. Casagrande (preval.)	Indice consist Ic	φ'	c'	φ'	c'	Cu	Cu	Med (0.5-1 kg/cm ²)	Med (1-2 kg/cm ²)	Med (2-4 kg/cm ²)	Med (4-8 kg/cm ²)	Med (8-16 kg/cm ²)	Med (16-32 kg/cm ²)	Cr ind ricompr	Cc ind compress	Cs ind rigonf	press. preconsolidaz. σ' v _{max} (kPa)
	profondità m p.c.	descrizione (Raccomandazioni AGI 1977)										(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	-	-
(in parentesi, valore del 5° percentile, per valori caratteristici prossimi ai valori MINIMI)																											
1	0.00+ 1.50/2.50	limo con argilla e argilla con limo, debolm. sabbioso; localm. presente riporto. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	19.4	22.3	0.703	91.2	51.5	23.8	27.7	CH (argille inorg ad alta plasticità); CL (a media plasticità)	1.05	25.0 (20.6)	17.3 (5.4)			185 (44)	182 (42)	19.9	11.5	12.6	15.5	26.2	46.5	0.038	0.182	0.061	295
2	1.50/2.50 + 6.00/7.00	argilla con limo e limo con argilla, debolm. sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	19.3	24.5	0.688	96.3	59.6	23.1	36.5	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	0.95	23.4 (18.9)	17.0 (6.8)	21.2 (14.8)	17.5 (4.8)	94 (28)	83 (55)	21.7	14.9	13.3	15.3	26.1	47.9	0.043	0.178	0.060	343
3	6.00/7.00 + 29.00/30.00	argilla con limo e limo con argilla, debolm. sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	19.7	24.0	0.695	98.0	62.9	25.9	37.0	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	0.93	16.1 (7.2) (popolaz poco signif.va)	22.6 (popolaz. poco signif.va)	30.5 (20.6)	12.6 (2.6)	121 (61)	94 (23)	14.9	13.1	12.4	15.9	25.4	43.1	0.043	0.170	0.066	304

Note:

volume significativo: l'attraversamento della pista tramite sottopasso prevede una profondità di scavo di circa 9-10 m, i campioni indisturbati più profondi prelevati dai sondaggi TAE finora realizzati si attestano a quella stessa profondità, si è cercato di integrare con dati da progetti esterni (impianto di Case Passerini; centro commerciale IKEA. Nelle successive fasi progettuali dovranno essere prelevati campioni ritenuti atti a caratterizzare il "volume significativo" del sottosuolo interessato dall'opera di sottoattraversamento

indagini di riferimento: prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU 1, 2, 3, 4, 11, 12, 18, 23, 24, 25. Sondaggi TAE: S 4-5, 20-28, 79-81, 83, 85, 91-93, 101, 103-104, 106, 116-119, 121. Sondaggi IKEA: S 150-151, 157, 160, 162-163, 166-167. Sondaggi Case Passerini: S3, S4, S5, S6, S7, S10.

livello piezometrico: condizioni di assenza di acquifero nei terreni argilloso limosi che costituiscono il sottosuolo del sedime aeroportuale, sono terreni che infatti corrispondono ad un "aquiclude". Sono presenti "falde confinate" di entità limitata sospese nei corpi lenticolari di ghiaie e sabbie poste a diverse profondità (fra 8-12 m p.c. nella parte SE dell'area presso il terminal, e poi fra 20 e 30 m p.c., per citare quelle più superficiali). Il livello piezometrico è stato registrato nella fascia dei primi 3 metri p.c.. In fasi progettuali successive è ovviamente necessaria la ripresa del monitoraggio.

azione sismica: le indagini sismiche di tipo down-hole (DH) eseguite nell'area del sedime aeroportuale hanno tutte indicato la presenza di terreni ricadenti in categoria di sottosuolo C, ai sensi dell'approccio semplificato di cui al par. 3.2.2 delle NTC 2018 (S91-DH presso rotatoria Baxter Via dell'Osmanoro; S117-DH presso rotatoria Via del Cantone; S118-DH presso VV.FF; S119-DH presso Centrali tecnologiche). Le indagini sismiche più vicine al tracciato del sottopasso sono gli stendimenti a rifrazione in onde P e Sh nn. 4-4' e 5-5', il primo indicante però la presenza di una notevole inversione di velocità nel sismostrato >10 m p.c., richiedendo un approfondimento di indagine nelle successive fasi progettuali. Categoria di sottosuolo B in corrispondenza della porzione di tracciato del sottopasso realizzato alla profondità di circa 9 m p.c. **Categoria topografica T1.**

Tabella 19 - Modello geotecnico e valori caratteristici per i terreni del sottosuolo relativi alle opere della viabilità principale

Da sottolineare una considerazione riguardante un importante parametro geotecnico per i terreni coesivi. Confrontando l'analisi e l'elaborazione eseguite sulle prove CPTU (10.3.2) con il modello geotecnico, si può evidenziare una buona correlazione per il parametro della resistenza non drenata (Cu) fra il livello C (media CPTU) e lo strato geotecnico 2 (analizzando anche i singoli valori di Cu di cui alla Tabella 6).

10.3.4. Considerazioni sui terreni coesivi superficiali

L'analisi delle prove di laboratorio (prove edometriche) e delle prove in sito (prove penetrometriche statiche CPT e prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU) ha mostrato la presenza di terreni superficiali con un elevato grado di sovraconsolidazione (OCR), concentrata particolarmente nei primi 1,50-2,00 metri di profondità dal piano campagna e dovuta a processi di essiccamento per temporanea emersione di sedimenti in ambiente di deposizione lacustre-palustre, processi che sono annoverati in letteratura fra le cause di preconsolidazione di terreni, fenomeno diverso da quello meccanico dovuto a precarico (con successiva erosione). Tali evidenze di sovraconsolidazione sono state registrate anche in corrispondenza di aree limitrofe a quella in oggetto in terreni coesivi del tutto analoghi quali argille limose e limi argillosi e sono documentate, ad esempio, presso l'area di Case Passerini per la progettazione del nuovo impianto di recupero energia da incenerimento rifiuti non pericolosi, presso l'area di Peretola-Castello (in G. Vannucchi *"Analisi statistica e sperimentale della compressibilità dei terreni di fondazione nell'area di Peretola-Castello"*, Rivista Italiana di geotecnica, A.G.I., 1987), presso l'area del Polo Scientifico Universitario di Sesto Fiorentino.

Per quanto riguarda l'area di progetto, ma ciò è valido anche per le altre aree circostanti oggetto delle opere previste dal Master Plan Review 2025-2035, la sovraconsolidazione assume valori molto variabili sia in senso orizzontale che verticale. Le figure 8 e 9 seguenti mostrano, rispettivamente, la pressione di preconsolidazione (da prova edometrica) e l'OCR conseguente (rapporto fra la pressione di preconsolidazione e la pressione verticale efficace alla profondità di campionamento del terreno) ricavate da alcuni campioni di terreno prelevati da sondaggi eseguiti nelle diverse aree interessate dalla realizzazione della viabilità e da altre aree circostanti del sedime aeroportuale. Da sinistra a destra del grafico, sono rappresentati i campioni prelevati dai sondaggi con ubicazione progressivamente da nord-ovest a sud-est dell'area del sedime aeroportuale.

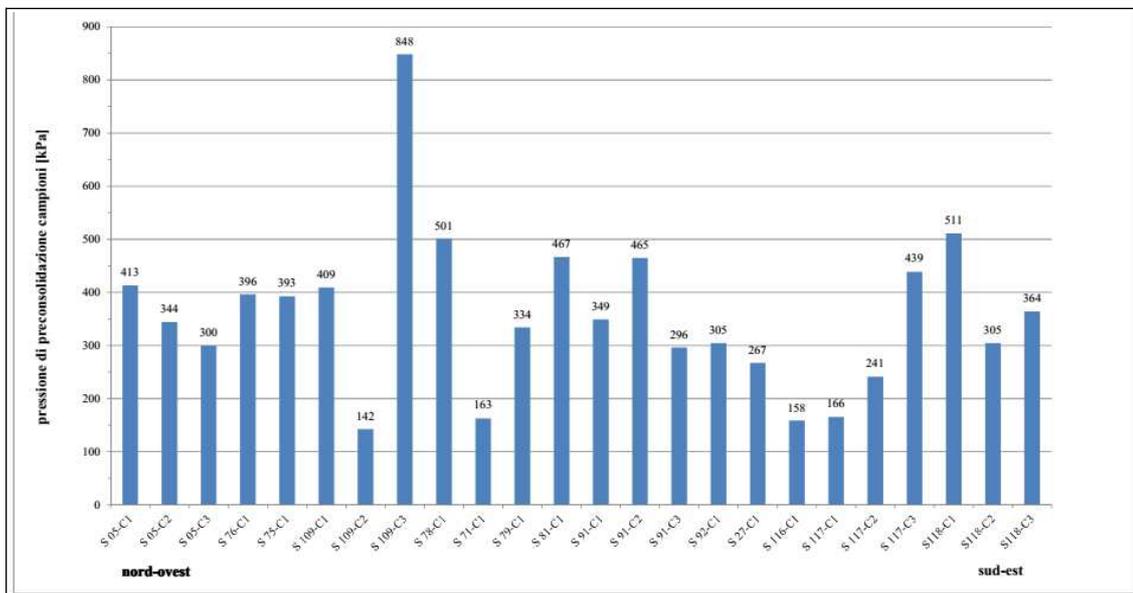


Figura 8 - Valori della pressione di preconsolidazione ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni prelevati da sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree del sistema della viabilità e di aree circostanti del sedime aeroportuale, con sondaggi e campioni ubicati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).

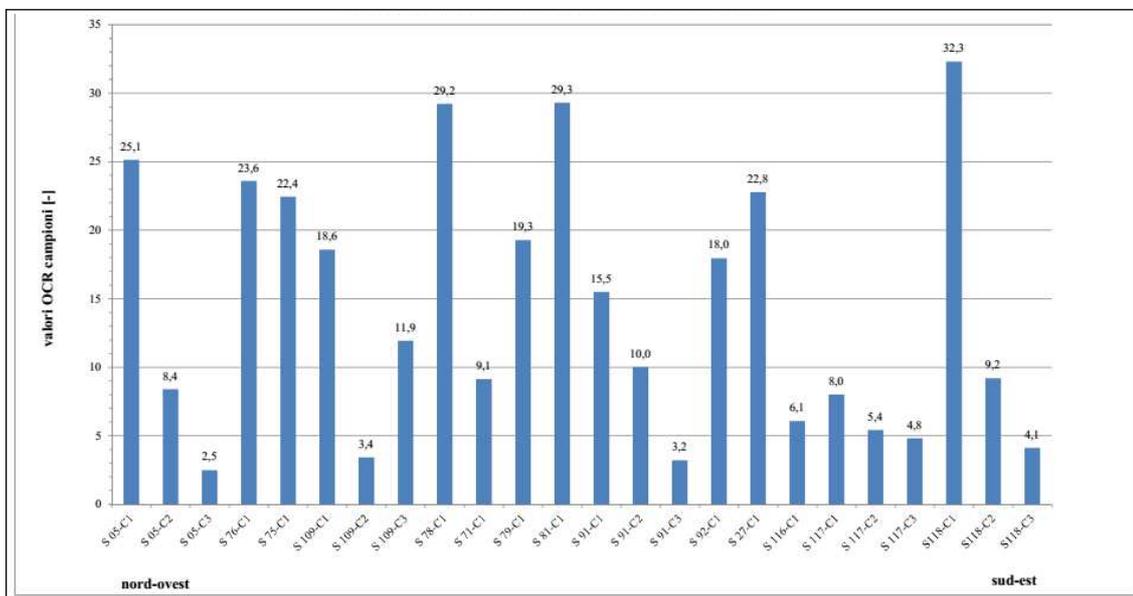


Figura 9 - Valori di OCR ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni prelevati da sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree oggetto della presente relazione e di altre circostanti del sedime aeroportuale, con i campioni prelevati da sondaggi ubicati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).

Nella figura 10, invece, i valori di OCR dei campioni prelevati da alcuni sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree di intervento e di altre limitrofe al sedime aeroportuale, vengono posizionati alla profondità di prelievo, evidenziando quanto detto riguardo alla maggiore concentrazione della sovraconsolidazione nei primi 1,50÷2,00 m di spessore dal p.c..

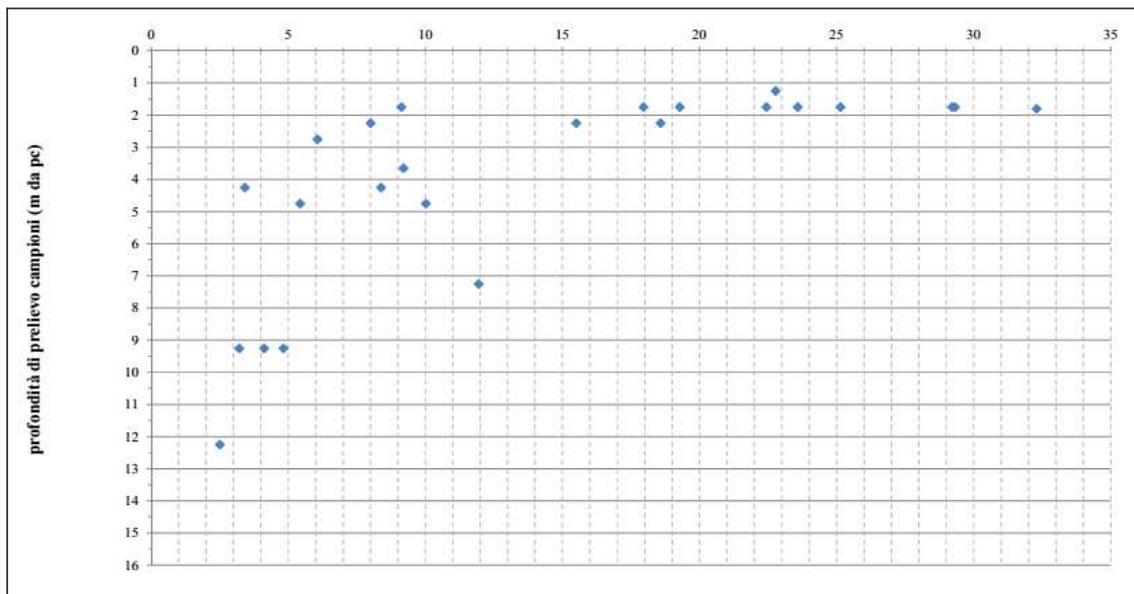


Figura 10 - Valori di OCR in funzione della profondità di prelievo (m dal p.c.), ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni di sondaggi realizzati per le campagne TAE 2015 e 2017 e per altri progetti limitrofi al sedime aeroportuale.

11. Liquefazione

Ai sensi del § 7.11.3.4 del D.M. 17 gennaio 2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 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 $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove

penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test – C.P.T.*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1a e b delle NTC 2018.

§ 7.11.3.4 DM 17-01-18	Criteri per omissione verifica	Valore	Verifica liquefazione	Note
1	Accelerazione max attesa al p.c. < 0.1 g	0.168-0.208 g (SLV)	SI	§ 9.2.4
2	Profondità falda > 15 m	Terreni sottosuolo impermeabili (aquiclude), livello piezometrico in genere alla profondità compresa fra 1 e 3 m p.c.	-	§ 10.2
3	$q_{c1N} > 180$ $(N_1)_{60} > 30$	$q_{c1N} < 180$ (a titolo di esempio in CPT23, posta in corrispondenza del sottopasso)	SI	§ vedi Allegato indagini penetrometriche
4	Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle fig. 7.11.1 a) e b) delle NTC 2018	I fusi granulometrici dei campioni prelevati nelle campagna 2015-2017 mostrano sempre un passante >80-90% (escluso pochi campioni come S28C1, S103C2, S117C1 con passanti 60-70%)	NO	§ vedi Allegato analisi geotecniche di laboratorio

Tabella 20 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.

Per quanto riguarda il secondo e il quarto punto, va ricordato che i terreni suscettibili di liquefazione sono quelli in cui la resistenza alla deformazione è mobilizzata per solo attrito tra le particelle, vale a dire i terreni incoerenti (sabbie e limi). Nei materiali coesivi (argille) le forze interlamellari riducono la mobilità delle particelle e, benché sotto l'azione di carichi la pressione interstiziale aumenti, il decadimento della resistenza è graduale e non consente il verificarsi del fenomeno.

Pertanto, la verifica a liquefazione si ritiene non necessaria.

12. Terre e rocce da scavo

Per la gestione delle terre e rocce da scavo derivanti dai lavori oggetto del presente documento si rimanda allo specifico Piano di Utilizzo delle Terre (PUT).

13. Indicazioni relative alla realizzazione dei lavori

13.1. Indicazioni inerenti la gestione delle acque di aggettamento

In base a quanto detto nelle pagine che precedono, i primi metri di terreno interessati dagli scavi delle opere di progetto sono caratterizzati da totale assenza di falda o dalla presenza di sporadici orizzonti idrici non produttivi a carattere del tutto saltuario. Si può prevedere quindi la necessità di aggettare acque soltanto se si avrà il caso di lavori di scavo aperti nelle stagioni piovose e comunque per portate estremamente limitate.

A causa delle specifiche caratteristiche litologiche dei terreni affioranti nell'area, i quali risultano dotati di una permeabilità molto bassa che limita molto o addirittura impedisce l'infiltrazione nel sottosuolo (salvo la formazione di fenomeni di *cracking* durante la stagione secca), in occasione dei periodi di pioggia possono formarsi dei ristagni di acqua in superficie che possono perdurare anche per molti giorni.

13.2. Indicazioni sulla necessità di opere provvisorie e loro tipologia

Con la definizione in dettaglio delle opere da realizzare, nelle fasi progettuali successive verrà valutata la necessità di ricorrere a opere provvisorie di sostegno.

13.3. Indicazione sulla tutela dei suoli interessati dalle aree di cantiere

La permeabilità molto bassa dei suoli che si troveranno sul fondo degli scavi è una naturale garanzia di tutela per i suoli e per le acque sotterranee ben più profonde dei fondo scavi. Resta naturalmente doveroso assumere da parte della Direzione dei Lavori tutti gli accorgimenti tecnici necessari alla protezione del terreno di fondo scavo da possibili fenomeni di inquinamento causati dal passaggio dei mezzi d'opera.

13.4. Indicazione degli interventi di ripristino delle aree a fine cantiere

Gli interventi che riteniamo utili segnalare sono quelli inerenti di modellamento finale e sistemazione a verde dei paramenti per scongiurare fenomeni erosivi. Non si ravvisano altri interventi di ripristino particolari ad eccezione delle normali attività di pulizia e smaltimento dei rifiuti prodotti dal cantiere.

14. Conclusioni

Lo studio geologico effettuato nell'area interessata dalla progettazione della nuova

viabilità dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze, prevista nel Master Plan Review 2025-2035, non ha evidenziato la presenza di aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici contrastanti o limitanti la fattibilità dell'intervento. Per quanto riguarda l'esame delle problematiche idrauliche si rimanda agli altri elaborati progettuali.

Viste le caratteristiche di progetto, quelle geologiche e geotecniche e i risultati delle indagini eseguite nel sito di intervento (Campagne di indagini TAE del 2015 e del 2017, integrate con dati provenienti dai progetti limitrofi "centro commerciale IKEA" e "impianto di recupero Case Passerini") sono stati elaborati i modelli geologico e geotecnico (§ 10) del sottosuolo indicando i valori caratteristici dei parametri geotecnici (§ 10.3) da adottare, valori caratteristici sia medi che prossimi ai minimi. A partire dalla categoria di sottosuolo identificata attraverso indagini geofisiche di tipo MASW, HVSR e downhole (Categoria di sottosuolo) e in base a vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento forniti dai progettisti, sono stati elaborati i parametri dell'azione sismica locale (si veda il § 9.2).

Firenze, marzo 2024

dr. geol. Fabio Picchi

dr. geol. Michele Sani

15. Bibliografia

Per redigere i capitoli 3 e 4 sono state consultate e utilizzate le seguenti pubblicazioni:

- AA.VV. (1982) – *Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale in scala 1:250.000*. Note illustrative C.N.R., Prog. Fin. Geod., 429, 203 pp.
- Abbate E., Bortolotti V., Passerini P. & Sagri M. (1970) – *Introduction to the geology of the Northern Apennines*. *Sedimentary Geology* 4, 3-4, 207- 249.
- Autorità di Bacino del Fiume Arno (2010) - *Piano di Bacino – Stralcio bilancio idrico*.
- Bartolini C. & Pranzini G. (1981) – *Plio-Quaternary evolution of the Arno Basin drainage*. *Zeit. Geomorph. N.F., Suupl. Bdo* 40, 77-91.
- Boccaletti M., Corti G., Gargini A., Gasperini P., Piccardi L., Pranzini G., Vannucci G., Moratti G. (1998) – *Geologia urbana di Firenze*. *Geologia dell'ambiente*, anno VI, n.4/98, 9-20.
- Boccaletti M., Moratti G. & Pranzini G. (1997) – *Geologia del bacino di Firenze*, in *Geologia Urbana di Firenze*, Atti del convegno "Geologia delle grandi aree urbane", Bologna, 4/5 novembre 1997, vol. A, 2-9.
- Briganti R., Ciufegni S., Coli M., Polimeni S. & Pranzini G. (2003) – *Underground Florence: Plio-Quaternary evolution of the Florence area*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 122, 1-11.
- Canuti P., Pranzini G. & Sestini G. (1966) – *Provenienza ed ambiente di sedimentazione dei ciottoli del Pliocene di San Casciano (Firenze)*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 5, 340-364.
- Capecchi F., Guazzone G. & Pranzini G. (1976a) – *Il bacino lacustre di Firenze - Prato - Pistoia. Geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva*. *Boll. Soc. Geol. It.*, XCVI (4), 1975, 637-660.
- Capecchi F., Guazzone G. & Pranzini G. (1976b) – *Ricerche geologiche e idrogeologiche nel sottosuolo della pianura di Firenze*. *Boll. Soc. Geol. It.*, XCVI (4), 1975, 661-692.
- Capecchi F., Guazzone G. & Pranzini G. (1976c) – *Gli acquiferi profondi fra Firenze e Pistoia*. *Boll. Ingegn. Prov. Firenze*, 1975, (12), 1-3.
- Coli M., Pini G., Rubellini P. & Agostini A. (2006) – *Firenze - Carta litotecnica*. Ricerca cofinanziata dal Comune di Firenze e Università di Firenze Dip.to Scienze della Terra. SELCA Firenze.
- Coli M., Pranzini G. & Rubellini P. (2012) – *Idrogeologia dell'area fiorentina*. Comune di Firenze e Università di Firenze Dip.to Scienze della Terra.
- Coli M. & Rubellini P. (2007) – *Note di geologia fiorentina*. SELCA 2007.
- Gargini A. & Pranzini G. (1994) – *Map of protection against pollution of aquifers in the Middle Valdarno (Florence-Prato-Pistoia plain)*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 48, 923-928.
- Gori P. (1970) – *Osservazioni idrogeologiche e sedimentologiche nell'area compresa fra Campi Bisenzio, Scandicci e Lastra a Signa*. Tesi di laurea inedita, Istituto di Geologia di Firenze.
- Grigioni A. (2012) – *Relazione geologica e idrogeologica. Impianto di recupero energia da incenerimento di rifiuti non pericolosi loc. Case Passerini, Sesto Fiorentino (Firenze)*, 1-158.
- Guazzone G. (1971) – *Ricerca sulle falde acquifere profonde fra Firenze e Pistoia. Parte I. Indagine geologica*. Quaderni dell'Istituto di ricerca sulle acque, 6, 42-53.
- Pandeli E. (2008) – *La pianura di Firenze-Prato-Pistoia nel quadro dell'evoluzione geologica dell'Appennino Settentrionale*. In: *Un piano per la Piana: idee e progetti per un parco*.

Atti del convegno 9-10 maggio 2008 – Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino, Università di Firenze, 1-16.

Pranzini G. (1994) – *Water resources of the Arno Basin*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 785-794.

PRANZINI G. (2008) – *Idrogeologia della piana fiorentina*. In: *Un piano per la Piana: idee e progetti per un parco*. Atti del convegno 9-10 maggio 2008 – Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino, Università di Firenze, 1-15.

* * *