



MINISTERO DELLE
INFRASTRUTTURE E DELLA
MOBILITÀ SOSTENIBILI



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

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035

Titolo Documento

Pista di volo 11-29, Taxiways e Aprons
Relazione geologica Aprons

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	CODICE FILE
PFTE	00	Settembre 2022	FLR-MPL-PFTE-RWY3-009-GL-RT_Rel Geo APR
			TITOLO RIDOTTO
			Rel Geo APR

LIV	REV	DATA EMISSIONE	CODICE FILE
00	09/2022	Prima Emissione	TERRA E OPERE
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO
			VERIFICATO
			APPROVATO

COMMITTENTE PRINCIPALE	PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
 ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti	 DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	 PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Dott. Geol. Michele Sani Ordine dei Geologi della Toscana n°383
POST HOLDER PROGETTAZIONE AD INTERIM Dott. Vittorio Fanti	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Raffaello Sorrentino Ordine degli Ingegneri di Perugia n. A-2813	
POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito		
POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini		

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.....	6
1.1. Generalità.....	6
1.2. Descrizione schematica delle opere e degli interventi.....	7
1.3. Individuazione dei vincoli presenti.....	9
2. Fasi di lavoro e indagini.....	9
3. Geologia.....	11
3.1. Evoluzione tettonica del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia.....	11
3.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze.....	12
3.2.1. Substrato pre-lacustre.....	13
3.2.2. Depositi pre-lacustri.....	13
3.2.3. Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano.....	13
3.2.4. Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia.....	14
3.2.4.1. Argille turchine AUCTT.....	14
3.2.4.2. Depositi clastici di delta e fan-delta dei paleo-torrenti.....	14
3.2.5. Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi).....	15
3.2.6. Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti).....	15
3.3. Orizzonti "Firenze".....	16
3.3.1. Orizzonte "Firenze 1".....	16
3.3.2. Orizzonte "Firenze 2".....	16
3.3.3. Orizzonte "Firenze 3".....	17
3.3.4. Orizzonte "Firenze 4".....	18
3.3.5. Considerazioni sull'andamento degli orizzonti "Firenze".....	19
3.4. Geologia dell'area di intervento.....	21
3.4.1. Depositi olocenici.....	21
3.4.1.1. Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna1).....	21
4. Idrogeologia.....	22
4.1. Aspetti idrogeologici generali.....	22
4.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame.....	23
4.3. Superficie piezometrica.....	24
5. Geomorfologia e stabilità.....	27
5.1. Introduzione.....	27
6. Classi di pericolosità.....	27
6.1. Pericolosità geologica.....	27
6.2. Pericolosità idraulica.....	28
6.2.1. Piano strutturale e PGRA.....	28
6.2.2. L.R. 41/2018.....	29
6.3. Pericolosità sismica.....	29
7. Classi di fattibilità.....	29
7.1.1. Fattibilità geologica.....	30
7.1.2. Fattibilità idraulica.....	32
7.1.3. Fattibilità sismica.....	32
8. Risultati delle indagini eseguite.....	33
8.1. Generalità.....	33
8.2. Prove penetrometriche.....	34
8.2.1. Prove penetrometriche statiche (CPT).....	34
8.2.2. Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU).....	39
8.3. Sondaggi a carotaggio continuo.....	42
8.3.1. Standard Penetration Test.....	42

8.4. Prove geotecniche di laboratorio.....	42
8.5. Indagini geofisiche.....	44
8.5.1. <i>Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)</i>	44
8.5.2. <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)</i>	44
9. Sismicità e definizione dei parametri sismici.....	45
9.1. Zona sismica.....	45
9.2. Parametri sismici.....	45
9.2.1. <i>Aspetti generali</i>	45
9.2.2. <i>Categoria di di sottosuolo (approccio semplificato)</i>	46
9.2.3. <i>Categoria topografica</i>	46
9.2.4. <i>Parametri dell'azione sismica locale</i>	46
10. Modellazione geologica e geotecnica.....	47
10.1. Modello geologico del sottosuolo.....	47
10.2. Modello geotecnico.....	48
10.2.1.1. <i>Aspetti generali</i>	48
10.2.2. <i>Valori caratteristici dei parametri geotecnici</i>	49
10.2.3. <i>Considerazioni sui terreni coesivi superficiali</i>	49
11. Liquefazione.....	50
12. Terre e rocce da scavo.....	50
13. Indicazioni relative alla realizzazione dei lavori.....	51
13.1. Indicazioni inerenti la gestione delle acque di aggettamento.....	51
13.2. Indicazioni sulla necessità di opere provvisorie e loro tipologia.....	51
13.3. Indicazioni sulla tutela dei suoli interessati dalle aree di cantiere.....	51
13.4. Indicazioni degli interventi di ripristino delle aree a fine cantiere.....	51
14. Conclusioni.....	51
15. Bibliografia.....	53

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Ubicazione dell'area di intervento nella quale sorgeranno le nuove opere Air Side dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze (scala 1:10.000 – estratto dai fogli 19K26, 19K27, 19K34, 19K35).	8
Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecci et al., 1976b).	18
Figura 3 - Carta geologica dell'area in esame.	25
Figura 4 - Carta idrogeologica dell'area in esame.	26
Figura 5 - Ubicazione delle indagini geognostiche realizzate (in scala 1:5.000).	35

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Classi di permeabilità.	24
Tabella 2 - Campioni indisturbati.	34
Tabella 3 - Elaborazione statistica prove penetrometriche.	39
Tabella 4 - Parametri geotecnici ricavabili dai valori di N_{SPT}	42
Tabella 5 - Prove geotecniche "specifiche" eseguite sui campioni indisturbati.	43
Tabella 6 - Valori caratteristici.	49
Tabella 7 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.	50

ALLEGATI FUORI TESTO

Allegato A – a) Indagini geognostiche e prove di laboratorio; b) Indagini sismiche; 3) Azione sismica

* * *

1. Premessa

1.1. Generalità

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica dell'intervento relativo alla realizzazione dei nuovi piazzali (aprons), situati tra il Comune di Firenze e di Sesto Fiorentino (Provincia di Firenze – figura 1), parte integrante della proposta di project review del Piano di Sviluppo Aeroportuale al 2035 dell'aeroporto di Firenze, qui sviluppata e dettagliata a livelli di fattibilità tecnica ed economica (rif. art. 23 del D.Lgs. 50/2016 e s.m.i.).

Il citato approfondimento si inserisce a supporto della sezione generale e complessiva della proposta di Piano di Sviluppo Aeroportuale, rispetto alla quale si pone l'obiettivo di fornire ulteriori elementi tecnici di studio, dettaglio, analisi e progettazione, con l'intento di costituire un ulteriore strumento di supporto informativo, conoscitivo e valutativo, ad integrazione di quanto già unitariamente descritto negli elaborati generali di Masterplan.

Le informazioni di seguito riportate vanno, pertanto, analizzate in stretta correlazione rispetto ai più ampi ed estesi aspetti tecnico-economici trattati all'interno dei citati documenti generali di 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 interpretazione della proposta di Piano, in esito alla quale poter esprimere considerazioni e osservazioni di competenza.

Come noto, l'intera proposta di project review del Piano di Sviluppo Aeroportuale 2035 dell'aeroporto di Firenze dialoga con le previsioni di cui al precedente Masterplan 2014-2029, integrandone però gli indirizzi e le finalità, ottimizzandone i livelli di sostenibilità ambientale, territoriale e sociale, e pervenendo a soluzioni tecniche ancor più performanti e allineate alle esigenze degli utenti, degli operatori e dell'intero territorio.

Conseguentemente, anche il presente intervento relativo alla realizzazione dei nuovi piazzali (aprons) mira ad una più efficace contestualizzazione delle opere rispetto ai rinnovati indirizzi di Piano, muovendo tuttavia a partire dalle risultanze delle numerose e approfondite indagini, analisi, misurazioni, studi e verifiche e, più in generale, dall'ampio quadro conoscitivo del contesto interessato, che il gestore aeroportuale ha avuto modo di definire nel corso di più anni a partire proprio dalla definizione del precedente Masterplan.

Si auspica, infine, di aver esaurientemente e correttamente recepito all'interno della presente fase di project review le molteplici istanze, osservazioni, argomentazioni, indicazioni e valutazioni raccolte nel corso dei numerosi momenti di confronto dialettico susseguiti con i vari stakeholders interessati, e di essere così pervenuti ad una definizione tecnica che, seppur passibile di ulteriori migliorie e modifiche, possa rappresentare comunque un solido e condiviso punto di partenza per il successivo percorso di valutazione ed autorizzazione.

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 schematica delle opere e degli interventi

Gli interventi progettuali oggetto del presente studio sono compresi tra il nuovo terminal passeggeri e la nuova pista di decollo/atterraggio e inglobano parte dei piazzali ad oggi esistenti e una porzione significativa (circa 850 m di lunghezza) dell'attuale pista di decollo/atterraggio.

Gli interventi risultano, più nel dettaglio, i seguenti:

- realizzazione del piazzale per gli aeromobili antistante il nuovo terminal passeggeri;
- realizzazione dei raccordi tra la nuova pista e i nuovi piazzali;
- utilizzazione di una porzione significativa dell'attuale pista di decollo/atterraggio e dei piazzali esistenti.

Vista la tipologia delle opere previste, il progetto non è identificabile dalle classi d'indagine di cui al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 19 gennaio 2022 n. 1/R¹ che non risulta quindi applicabile.

¹ *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.*

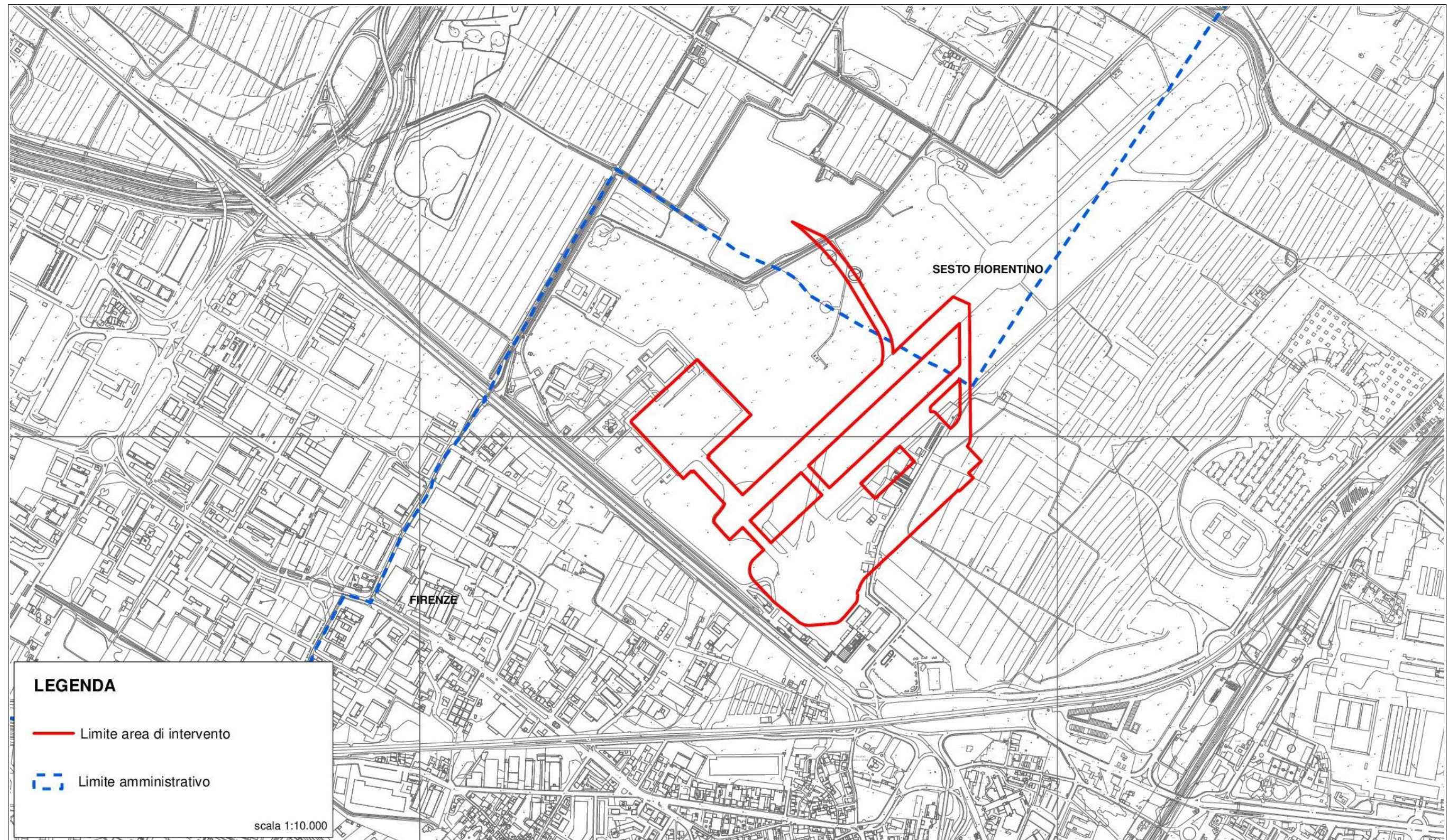


Figura 1 - Ubicazione dell'area di intervento nella quale sorgeranno le nuove opere Air Side dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze (scala 1:10.000 – estratto dai fogli 19K26, 19K27, 19K34, 19K35).

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);
- l'intervento è sottoposta ai vincoli paesaggistici indicati di seguito:
 - territori contermini ai laghi (lettera b, comma 1, art. 142 del D.Lgs. 42/2004) in particolare al Lago di Peretola;
 - 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 e indagini

La presente relazione è stata articolata nelle seguenti fasi di lavoro ed è basata sulle seguenti indagini:

- consultazione delle Indagini geologico-tecniche di supporto al Piano Strutturale del Comune di Firenze (Variante al P.S. 2010) adottato con Deliberazione C.C. n. 2015/C/00025 del 2 aprile 2015 e al Piano Strutturale di Sesto Fiorentino;
- 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;
- valutazione della fattibilità all'intervento in progetto dal punto di vista geologico, idraulico e sismico (si veda il § 7.);
- consultazione delle relazioni geologiche redatte dal sottoscritto per la nuova pista e per le

opere accessorie dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze, (vecchio Master Plan 2014-2029);

- consultazione della relazione geologica dal titolo *"Progetto esecutivo per la realizzazione del nuovo sistema di accesso all'aerostazione passeggeri"* redatta dal sottoscritto in data 12 febbraio 2018;
- consultazione della relazione geologica dal titolo *"Pensilina temporanea di protezione percorso pedonale Terminal Aeroportuale – Stazione Tramvia"* redatta dal sottoscritto in data 15 novembre 2018;
- utilizzo delle indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo, prove geotecniche di laboratorio, indagini geofisiche) eseguite in corrispondenza della Hall Arrivi per conto di Toscana Aeroporti S.p.A.;
- consultazione delle indagini geognostiche che costituiscono la *Campagna di indagini geognostiche per la realizzazione della nuova pista e delle opere accessorie* dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze eseguite dalla società Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l., nel 2015 e nel 2017;
- consultazione della relazione geologica-idrogeologica a supporto del progetto di *Completamento dei collettori di scarico acque meteoriche ed interventi provvisori di messa in sicurezza idraulica* di cui risulta progettista Politecnica Soc. Coop., eseguita nel 2016;
- consultazione del progetto esecutivo per gli *Interventi di riqualifica infrastruttura di volo e aree strip* redatto da Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. nel gennaio 2021;
- analisi dei risultati delle indagini geognostiche pregresse a disposizione per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni di fondazione del manufatto in progetto;
- definizione della categoria di sottosuolo secondo l'approccio semplificato ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018;
- determinazione dei parametri sismici;
- elaborazione del modello geologico del sito e del modello geotecnico del sottosuolo;
- indicazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini pregresse;
- valutazioni in merito alla suscettibilità dei terreni nei confronti del fenomeno della liquefazione.

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 e una larghezza massima di circa 10 km. Esso è delimitato a nord-nord-est dai Monti della Calvana e dal Monte Morello, con un'altitudine di circa 900 m s.l.m. e a sud-sudovest dal Montalbano con un'altitudine di oltre 600 m s.l.m.. In questo contesto geografico è prevista la realizzazione del nuovo Terminal Passeggeri dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze. Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia presenta una geometria a semi-graben fortemente asimmetrica, con il 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 sud orientali 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-alluvionali e limno-palustri.

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 descritte di seguito andando dalla più antica alla più recente.

3.2.4.1. Argille turchine AUCTT.

Questa unità è costituita prevalentemente 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 frammenti 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 chiara evidenza alle Cascine dove si può osservare il contatto diretto tra il corpo sedimentario in questione e le ghiaie alluvionali recenti depositate dal Fiume Arno.

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 fare 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-pliocenico. L'ambiente di deposizione era tipicamente fluviale a caratterizzato da alta energia. Come già detto, i Depositi alluvionali recenti sono da ricondurre all'azione sedimentaria sia dell'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 grande 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. Lo spessore dell'Orizzonte Firenze 1 varia da 3 a 9 m ma nel centro città ha una media di 4÷5 m.

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 essi 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 e diminuisce gradualmente verso i margini della pianura e verso ovest. In Capecci *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, caratterizzata da uno spessore di circa 3÷4 m, divide l'orizzonte Firenze 3 in due distinti livelli porosi. Dal punto di vista meramente litologico i ciottoli sono molto eterogenei: prevalgono infatti calcari e calcareniti provenienti dalle formazioni di Monte Morello e di Sillano, ma sono presenti anche ciottoli, in genere molto alterati, delle arenarie Pietraforte e Macigno. L'impossibilità di osservare in affioramento i sedimenti di questo orizzonte non permette però di definire con sicurezza quello che è stato l'ambiente di deposizione. La maggiore percentuale della matrice argillosa nei sedimenti più grossolani fa pensare a un deposito lacustre prossimale, in corrispondenza dello sbocco di un fiume, con fasi di avanzamento e retrocessione della linea di riva del lago.

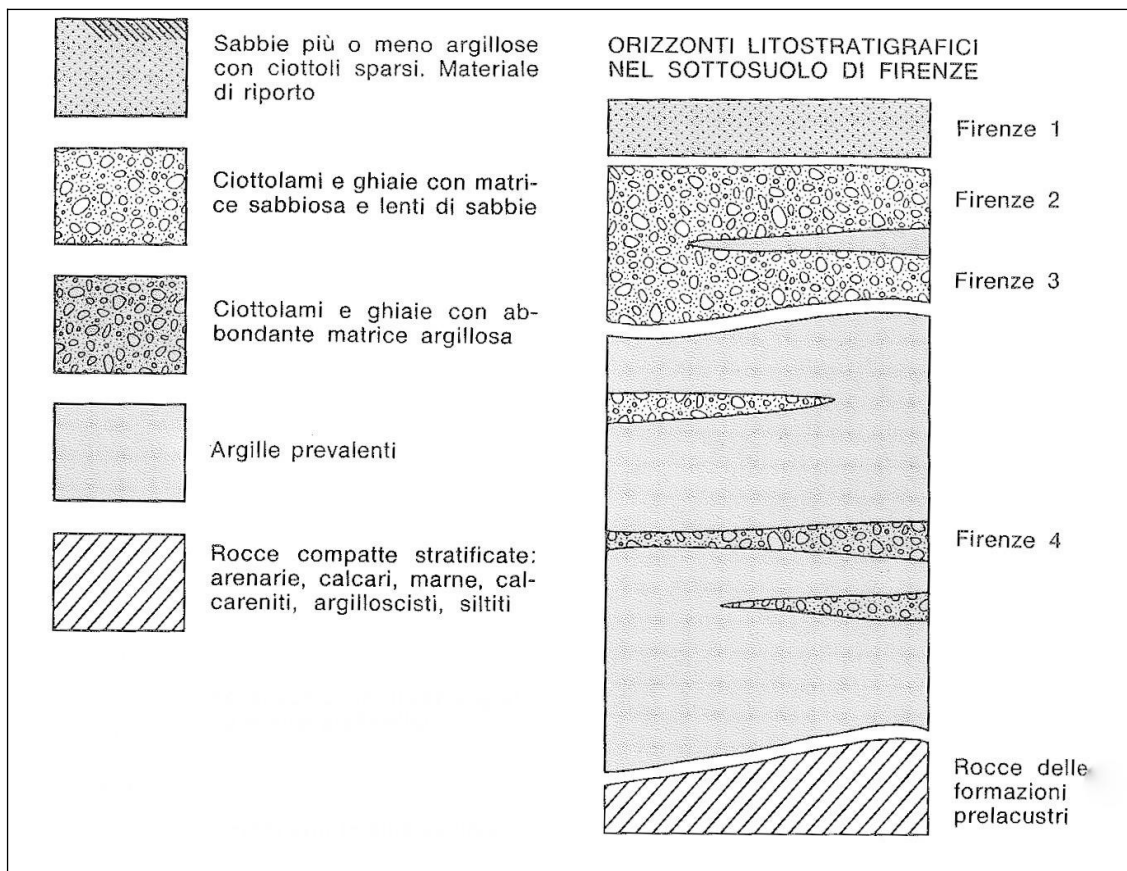


Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecchi et al., 1976b).

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 minore 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 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 quanto segue:

- 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 a ovest dell'area studiata, con spessori minori e, per quanto si può osservare nelle cave, con diminuzione delle dimensioni medie dei clasti.

Per quanto concerne l'Orizzonte Firenze 3 si osserva invece che:

- esso è limitato alla parte occidentale, a ovest dell'area delle Cascine;
- gli spessori sono minori rispetto a quelli dell'Orizzonte Firenze 2;
- l'area di massimo spessore corrisponde a 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 occidente dell'area studiata, interessando una zona non occupata dai sedimenti dell'Orizzonte Firenze 2.

3.4. Geologia dell'area di intervento

Nell'area oggetto della presente relazione affiorano i Depositi Olocenici, rappresentati dai Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1), come mostrato nella carta geologica riportata nella figura 3 disegnata utilizzando i Fogli n. 263150 e 275030 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-quadernari di riempimento del bacino fluvio-lacustre formatosi a seguito della fase tettonica distensiva appenninica, depositi sulle rocce del paleoinvaso. I Depositi alluvionali recenti terrazzati corrispondono generalmente ai depositi del Sistema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti, § 3.2.6.), secondo la classificazione UBSU (Unconformity-bounded Stratigraphic Units) e possono essere correlati all'Orizzonte Firenze 1 e all'Orizzonte Firenze 2 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 3.3.). Nei paragrafi seguenti si descrivono le formazioni geologiche presenti (dalla più antica alla più recente).

3.4.1. Depositi olocenici

3.4.1.1. Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna1)

Si tratta di depositi di ambiente continentale, di origine alluvionale costituiti da ghiaie,

sabbie e limi dei terrazzi fluviali di 1° ordine (bna1) che compongono la quasi totalità dei terreni affioranti nell'area della carta geologica.

L'intervento oggetto della presente relazione sarà realizzato su questi depositi. Dall'esame della documentazione inerente le indagini si evince che, dal punto di vista litologico, nell'area interessata dai lavori in progetto affiorano, al di sotto di alcuni decimetri di terreno vegetale o in alcuni casi, di terreno di riporto, limi argillosi e argille limose, a tratti debolmente sabbiosi. Il colore del terreno in posto nelle porzioni più superficiali è ocra, beige o bruno.

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 peculiari caratteristiche granulometriche e tessiturali, costituisce il corpo dell'acquifero principale dell'area fiorentina, con delle permeabilità che possono anche essere 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} ÷ 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 rinvergono 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 delle unità geologiche presenti (bna1 e bna2), è possibile stimare la permeabilità su base qualitativa, in funzione degli elementi da cui essa dipende (caratteristiche litologiche dei terreni, presenza di pozzi, densità del reticolo idrografico - figura 4).

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, acquisita al momento della loro formazione. Tale permeabilità per i Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna) è in genere bassa e varia in corrispondenza sia dei livelli fini che grossolani.

Considerando tutte le perforazioni dei sondaggi della campagna geognostica realizzata nel 2015 e 2017, alle quali abbiamo assistito, solo in alcuni sporadici 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.

Nella Carta idrogeologica elaborata e riportata nella figura 4, le formazioni geologiche affioranti nell'area di indagine sono state suddivise in base alla permeabilità precedentemente indicata che è riassunta nella successiva tabella 1.

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

Tabella 1 - Classi di permeabilità.

4.3. Superficie piezometrica

Durante l'esecuzione della quasi totalità dei sondaggi realizzati per lo studio geologico della nuova pista e delle opere accessorie non è stata riscontrata 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 massimo 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;

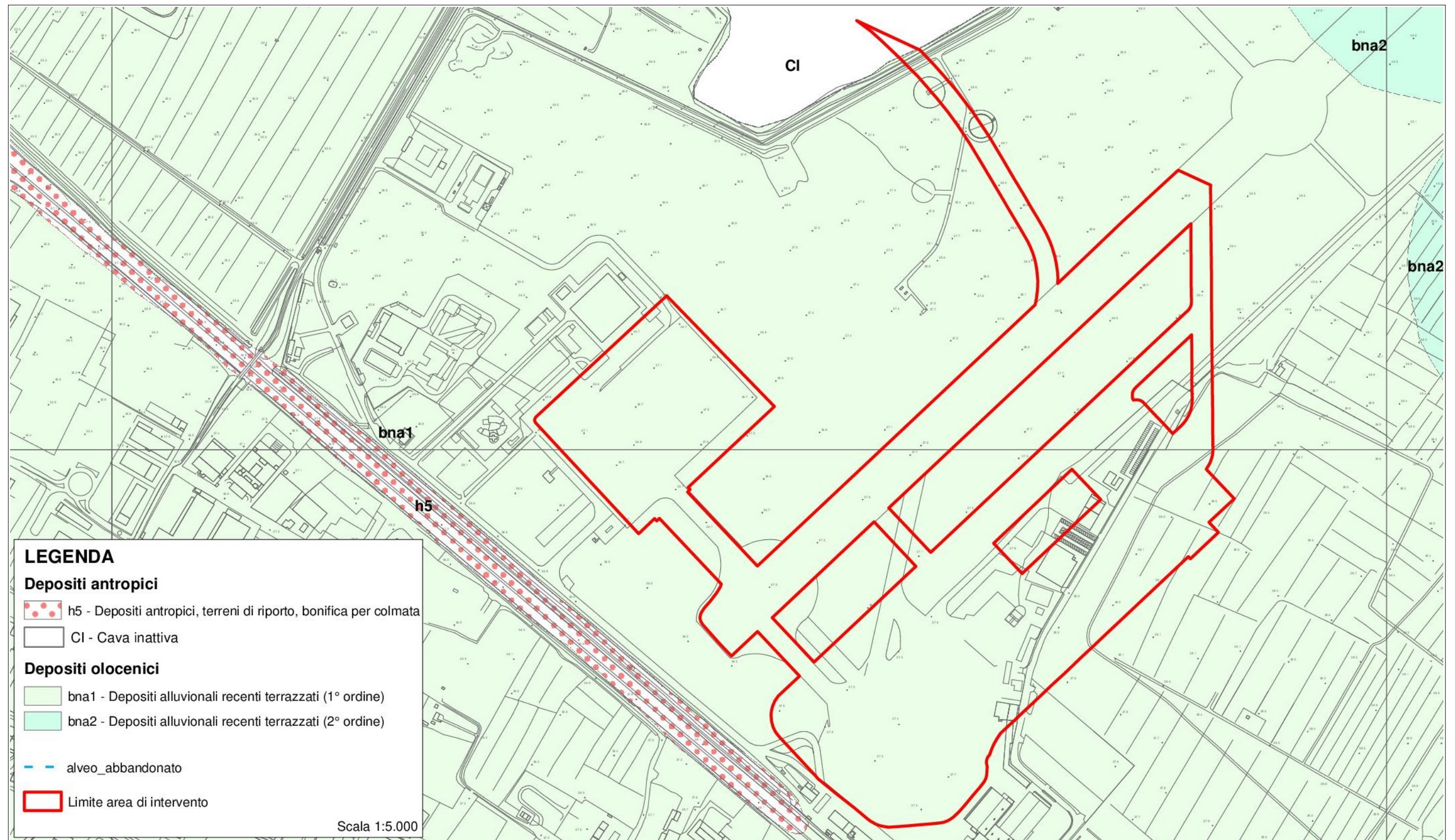


Figura 3 - Carta geologica dell'area in esame.

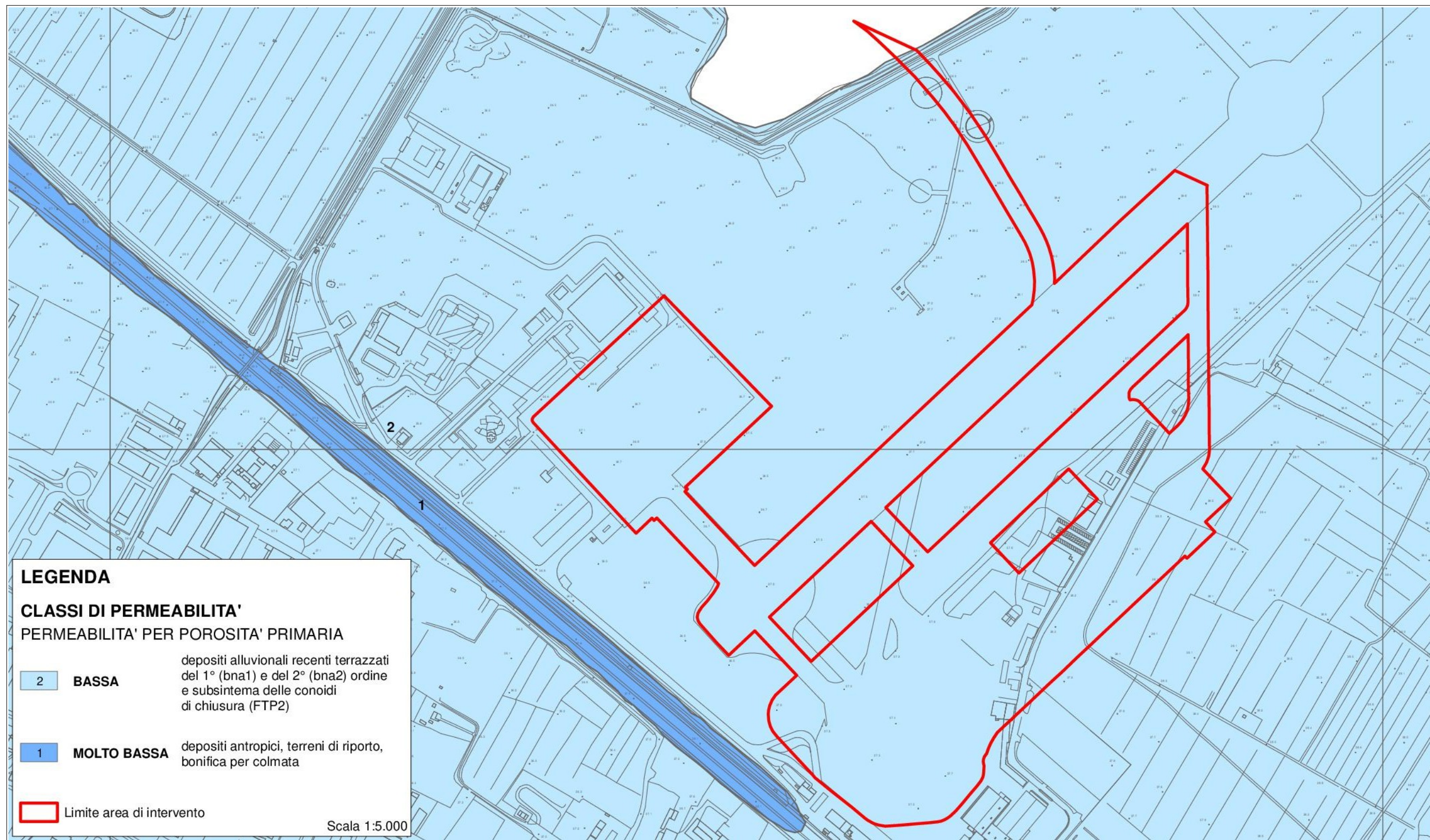


Figura 4 - Carta idrogeologica dell'area in esame.

- al di sotto di 2,0 m di profondità dal piano di campagna, nelle indagini a disposizione, fino alla profondità di almeno 25 m non è mai stata registrata presenza di una falda;
- il livello in cui ha sede la falda principale della pianura fiorentina è identificato 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 lo studio in oggetto non risultano essere presenti.

5. Geomorfologia e stabilità

5.1. Introduzione

L'intervento in oggetto consistente nella realizzazione di piazzali per aeromobili e collegamenti con la nuova pista di decollo/atterraggio, oggetto della presente relazione geologica preliminare saranno ubicati a nord est dell'attuale Terminal. L'intera zona è pianeggiante ed è posta a una quota di circa 38 m s.l.m..

La carta geomorfologica non è stata elaborata poiché l'area in esame, in relazione all'andamento della superficie topografica e all'intensa urbanizzazione, non presenta forme naturali o antropiche significative.

6. Classi di pericolosità

Il progetto delle opere air-side dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze ricadono in gran parte nel territorio del Comune di Firenze e in minima parte nel territorio del Comune di Sesto Fiorentino. Entrambi i comuni sono dotati di Piano Strutturale nel quale sono state redatte le carte di pericolosità.

6.1. Pericolosità geologica

Comune di Firenze

La porzione del territorio comunale interessata dalla realizzazione delle opere air-side è classificata in classe di pericolosità geologica media (G2) nella *Carta della pericolosità geologica* (Tavola 4 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*).

Per quanto riguarda il Progetto di Piano – PAI Dissesti geomorfologici, redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, la zona in oggetto non è classificata nella cartografia adottata con Delibera CIP n. 20 del 20 dicembre 2019.

Comune di Sesto Fiorentino

La porzione del territorio comunale interessata dalla realizzazione delle opere air-side è classificata in classe di pericolosità geologica media (G2) nella *Carta della pericolosità geologica* (Tavola IGT-PSI-3-Carta della pericolosità geologica - Sud del Piano Strutturale Intercomunale del Comune di Calenzano e del Comune di Sesto Fiorentino).

Per quanto riguarda il Progetto di Piano – PAI Dissesti geomorfologici, redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, la zona in oggetto non è classificata nella cartografia adottata con Delibera CIP n. 20 del 20 dicembre 2019.

6.2. Pericolosità idraulica

6.2.1. Piano strutturale e PGRA

Comune di Firenze

L'area di progetto ricade in massima parte in classe di pericolosità idraulica elevata I.3 e in minima parte, nella zona meridionale dell'area di intervento, in classe di pericolosità idraulica molto elevata I.4 nella *Carta della pericolosità idraulica* (Tavola 5 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*).

Comune di Sesto Fiorentino

L'area di progetto ricade in parte in classe di pericolosità idraulica elevata I.3 e in parte in classe di pericolosità idraulica molto elevata I.4 nella *Carta della pericolosità idraulica* (Tavola IGT-PSI-9H – Carta della pericolosità idraulica ai sensi del 53R del Piano Strutturale Intercomunale del Comune di Calenzano e del Comune di Sesto Fiorentino).

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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 dalla classe di pericolosità idraulica P2 per la maggior parte e dalla classe di pericolosità P3 per una minima parte posta nella porzione meridionale della zona di intervento. Per quanto riguarda il rischio di alluvione la zona di intervento è classificata in gran parte in classe R2 e in una piccola porzione in classe di rischio R3.

6.2.2. L.R. 41/2018

In data 30 settembre 2018 è entrata in vigore la Legge Regionale 24 luglio 2018 n. 41 avente come oggetto *Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014* (pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 33 del 1 agosto scorso) che costituisce la nuova norma di riferimento per le aree a rischio alluvioni. Con tale legge *"la Regione, al fine di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche, nonché al fine di mitigare i fenomeni di esondazione e dissesto idrogeologico, disciplina la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua"* (art. 1, comma 1 della legge suddetta).

L'art. 18 della L.R. 41/2018 fornisce le disposizioni transitorie per la classificazione delle nuove classi di pericolosità: le aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti corrispondono alle aree classificate dai piani strutturali, dai piani regolatori, dai piani di assetto idrogeologico come aree a pericolosità molto elevata mentre le aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti corrispondono alle aree a pericolosità idraulica elevata.

6.3. Pericolosità sismica

Comune di Firenze

La Carta della pericolosità sismica (Tavola 6 della Variante al Piano Strutturale del 2010) classifica l'area di progetto in classe di pericolosità sismica elevata (S3).

Comune di Sesto Fiorentino

La Carta della pericolosità sismica classifica l'area di progetto in classe di pericolosità sismica media (S2) (Tavola IGT-PSI-4 – Carta della pericolosità sismica – Sud).

7. Classi di fattibilità

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, Titolo II,

Disciplina ecologico ambientale, Capo II, Misure di protezione delle NTA. In particolare l'art. 44 disciplina gli interventi di nuova costruzione, ampliamento e recupero nell'area aeroportuale che, ai sensi del comma 5, sono sempre ammessi purché funzionali alla gestione e sviluppo del servizio. L'intervento attualmente è posto in parte al di fuori dell'area aeroportuale e nei paragrafi seguenti si assegnerà la fattibilità, evidenziando che per quanto riguarda le prescrizioni relative alle classi di fattibilità geologica e sismica, il presente studio geologico è basato su dati ottenuti da indagini geognostiche eseguite in passato nell'area di intervento o nelle immediate vicinanze. In merito agli aspetti idraulici (art. 75, comma 3 delle N.T.A. del Comune di Firenze) si rimanda agli altri elaborati progettuali.

Comune di Sesto Fiorentino

La relazione geologica di fattibilità riporta le condizioni di fattibilità degli interventi e, per quanto riguarda gli interventi non pianificati è stato predisposto un abaco sia per la determinazione della fattibilità geologica che per la fattibilità sismica che però non prevede interventi che siano anche lontanamente paragonabili a quelli in progetto.

7.1.1. Fattibilità geologica

Comune di Firenze

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 alla previsione delle opere air-side (aprons) dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci (gruppo: *Servizi pubblici e privati di uso pubblico (parcheggi, impianti sportivi, scuole e università, servizi collettivi, complessi ospedalieri, housing sociali, cimiteri, aree per impianti sportivi privati, servizi privati)*) una fattibilità geologica condizionata FG3, poiché l'area ricade in classe G.2. Come riporta l'art. 74 delle N.T.A., tale classe di fattibilità prevede le seguenti prescrizioni: *Sono consentiti gli interventi di ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione, di ristrutturazione urbanistica, nuova edificazione o realizzazione di nuove infrastrutture, condizionati alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione funzionali alla loro messa in sicurezza a livello di ambito di influenza inteso come area sede di fenomeni che sia direttamente che indirettamente potrebbero interessare l'intervento. Tali interventi di messa in sicurezza sono definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici di dettaglio e devono essere*

comunque tali da:

- *non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;*
- *non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;*
- *consentire sempre il controllo della funzionalità e la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.*

Sono consentiti, a condizione che siano realizzati senza aggravare le condizioni di instabilità e non compromettano la possibilità di realizzare il consolidamento del movimento franoso e la manutenzione delle opere di consolidamento, gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e risanamento conservativo e ristrutturazione edilizia senza demolizione e ricostruzione, nonché tutti gli interventi manutentivi necessari a garantire il corretto funzionamento delle reti dei servizi pubblici e privati. Per gli interventi che prevedono strutture sotterranee interferenti con la falda, devono essere condotti studi specifici per la valutazione dell'impatto sia qualitativo che quantitativo sulla falda stessa in fase di realizzazione ed a regime.

Per gli interventi che prevedono scavi o riporti di profondità o altezza maggiori di tre metri, devono essere condotti studi specifici per la valutazione della stabilità locale con estensione anche ad un intorno significativo.

Per gli interventi che prevedono scavi o riporti di profondità o altezza minori di tre metri, sarà cura del progettista verificare le condizioni di fattibilità degli interventi, in relazione alle fenomenologie presenti nell'area.

Comune di Sesto Fiorentino

Per analogia con quanto detto per la porzione di opere ricadenti nel territorio del Comune di Firenze in merito agli aspetti geologici, in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area, viene attribuita alla previsione delle opere air-side dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci una fattibilità geologica condizionata FG3, poiché l'area ricade in classe G.2.

7.1.2. Fattibilità idraulica

Comune di Firenze

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 presente, viene attribuita ai lavori in oggetto una fattibilità idraulica condizionata – FI3 tranne in una piccola porzione posta a meridione cui viene attribuita una fattibilità limitata FI4.

Comune di Sesto Fiorentino

Per quanto riguarda la fattibilità idraulica, vista le tipologia di intervento precedentemente descritta e la classe di pericolosità presente, viene attribuita ai lavori in oggetto in parte una fattibilità idraulica condizionata FI3 e in parte una fattibilità idraulica limitata FI4.

7.1.3. Fattibilità sismica

Comune di Firenze

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 media S.3), si assegna una fattibilità sismica condizionata FS3 all'opera 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. Per la realizzazione di nuove strutture ad elevata vulnerabilità o classe di esposizione (per es. depositi o esposizioni di beni artistici e culturali, depositi di sostanze pericolose o inquinanti, edifici, strutture ed impianti strategici per la protezione civile, opere ricadenti in classe di indagine 4 di cui al DPGR 36/R/2009 e s.m.i.) deve essere considerato anche il periodo di oscillazione del terreno in relazione a quello delle opere da realizzare. Sono consentiti senza specifici condizionamenti gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e risanamento conservativo, nonché tutti gli interventi manutentivi necessari a garantire il*

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

Comune di Sesto Fiorentino

Relativamente alla fattibilità sismica, secondo *la tipologia di intervento e la pericolosità dell'area*, analogamente a quanto fatto in precedenza, si assegna una fattibilità sismica media FS2 all'opera da realizzare.

8. Risultati delle indagini eseguite

8.1. Generalità

Come detto in premessa, le indagini di riferimento per il presente studio sono quelle eseguite dalla società Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporto Engineering S.r.l., nella *Campagna di indagini geognostiche per la realizzazione della nuova pista e delle opere accessorie* dell'Aeroporto Internazionale di Firenze Amerigo Vespucci nel 2015 e nel 2017. In particolare, per lo studio delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e meccaniche dei terreni presenti nell'area interessata dalle opere air side in progetto, sono state realizzate le seguenti indagini geognostiche ubicate come mostrato nella figura 5:

- n. 6 (sei) prove penetrometriche statiche denominate CPT42, CPT43, CPT44, CPT45, CPT46 e CPT47, che hanno raggiunto profondità comprese tra 7,00 e 9,60 m dal p.c., eseguite dalla società Geosol S.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);
- n. 6 (sei) sondaggi a carotaggio continuo denominati S45, S46, S47, S51, S97 e S119, aventi profondità rispettivamente di 4,0 m, 7,0 m, 4,0 m, 10 m, 15 m e 32 m dal p.c.;
- prelievo di campioni indisturbati con fustella di tipo Shelby dai sondaggi realizzati, alle profondità indicate nella tabella 2;

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
S45	CI1	1,00-1,80	36,65-35,85
S46	CI1	1,50-2,00	35,825-35,325
S47	CI1	1,00-1,50	37,375-36,875
S51	CI1	1,00-1,50	36,625-36,125
S97	CI1	0,50 ÷ 1,00	38,711 ÷ 38,211
	CI2	4,00 ÷ 4,50	35,211 ÷ 34,711
S119	CI1	1,50 ÷ 2,00	34,852 ÷ 34,352
	CI2	5,50 ÷ 6,00	30,852 ÷ 30,352
	CI3	9,00 ÷ 9,50	27,352 ÷ 26,852

Tabella 2 - Campioni indisturbati.

8.2. Prove penetrometriche

8.2.1. Prove penetrometriche statiche (CPT)

Le prove penetrometriche statiche sono state realizzate 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; le verticali hanno raggiunto il rifiuto strumentale a una profondità inferiore ai 15 m dal p.c. previsti. Le prove hanno fornito le seguenti informazioni:

- Prova penetrometrica statica CPT 42:
 - profondità indagata: 8,4 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale q_c e laterale f_s), integrata con quella di Schmertmann ($q_c - f_s / q_c$), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di intervalli di torbe/argille organiche (0,6 e 0,8 m, 1,0 e 3,6 m, 4,4 e 4,8 m, 6,0 e 6,4 m e 8,0 e 8,4 m dal p.c.) ed un livello di sabbie e/o ghiaie alla profondità compresa tra 8,6 e 8,8 m dal p.c.;

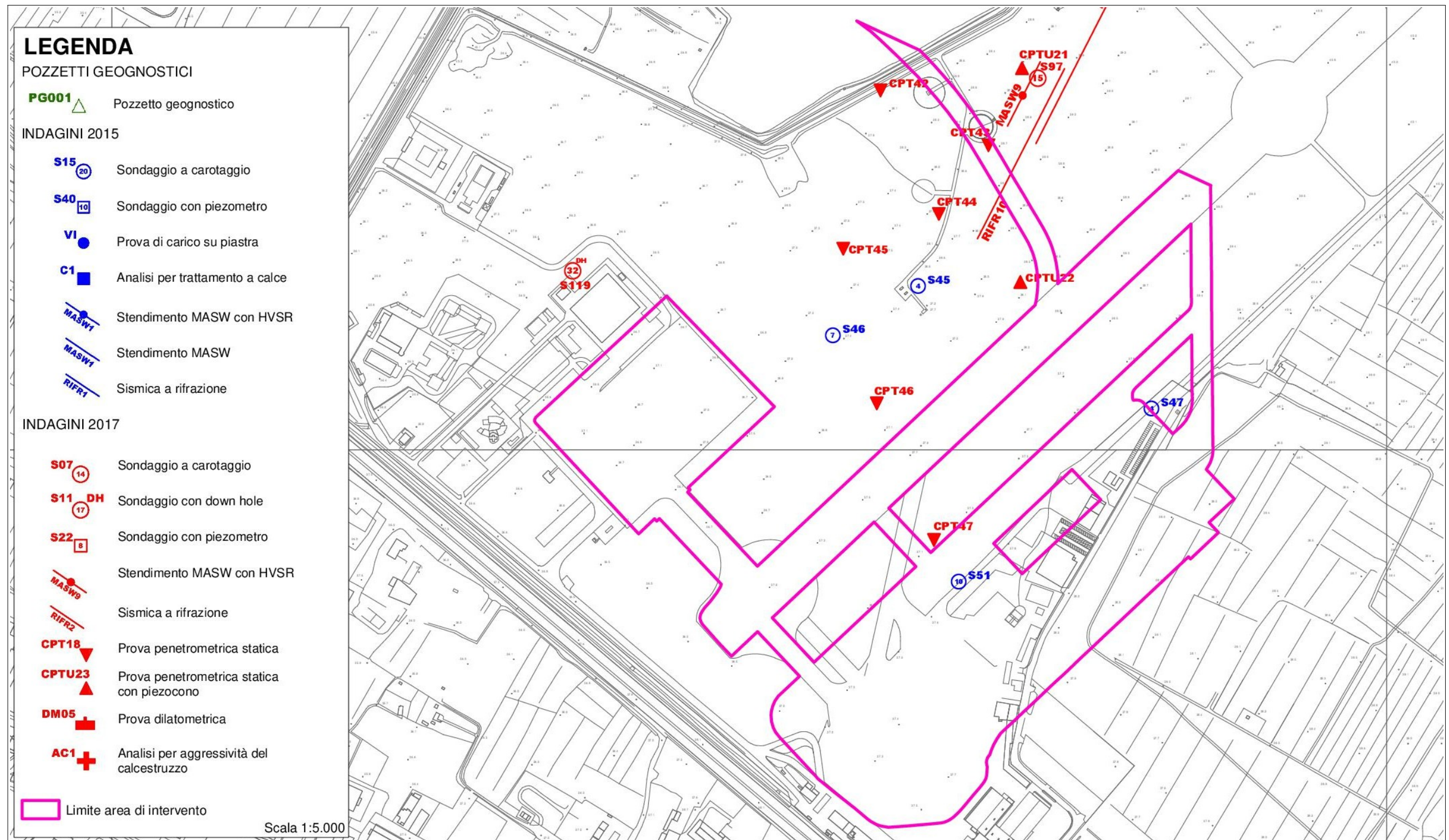


Figura 5 - Ubicazione delle indagini geognostiche realizzate (in scala 1:5.000).

- la resistenza alla punta, a partire dal piano di campagna, cresce fino alla profondità di 1,2 m da p.c. per poi scendere fino alla profondità di 2,0 m da p.c., successivamente i valori di qc aumentano fino raggiungere il rifiuto strumentale; i valori della resistenza laterale aumentano fino alla profondità di 2,0 m da p.c. per poi scendere fino alla profondità di 2,6 m da p.c., successivamente oscillano su valori bassi per poi arrivare a rifiuto.
- Prova penetrometrica statica CPT 43:
 - profondità indagata: 9,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (1,2 e 3,4 m, 3,6 e 4,0 m, 4,4 e 5,0 m e 7,8 e 9,0 m dal p.c.), un livello di limi e/o sabbie alla profondità compresa tra 0,6 e 1,0 m da p.c. e uno francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,4 e 0,6 m dal p.c.;
 - i valori della qc tendono a salire dal piano di campagna fino alla profondità di 0,8 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 1,8 m da p.c., successivamente la resistenza alla punta aumenta fino alla profondità di rifiuto strumentale; la resistenza laterale cresce progressivamente con la profondità fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 44:
 - profondità indagata: 9,6 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di orizzonti di torbe/argille organiche (1,8 e 4,0 m, 4,2 e 6,0 m, 6,2 e 6,6 m, 6,0 e 6,8 m, 7,4 e 7,8 m, 8,0 e 8,2 m e 8,4 e 8,8 m dal p.c.), limi e/o sabbie (0,4 e 0,6 m, 1,4 e 1,6 m e 7,2 e 7,4 m dal p.c.), un livello francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,6 e 0,8 m dal p.c. e uno di sabbie e/o ghiaie alla profondità compresa tra 1,0 e 1,2 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta tendono a salire fino alla profondità di 1,2 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 3,0 m da p.c., successivamente la resistenza alla punta aumenta fino a raggiungere il rifiuto; i valori della resistenza laterale crescono fino alla profondità di 2,4 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 3,2 m dal

p.c., successivamente oscillano su valori bassi fino al rifiuto strumentale.

- Prova penetrometrica statica CPT 45:
 - profondità indagata: 7,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (1,4 e 1,6 m, 1,8 e 2,0 m, 2,2 e 2,8 m, 3,0 e 3,4 m, 3,8 e 4,0 m, 4,4 e 4,6 m, 5,0 e 5,4 m, 5,6 e 5,8 m e 6,0 e 6,6 m da p.c.), due orizzonti di limi e/o sabbie alle profondità comprese tra 1,6 e 1,8 m e tra 2,2 e 2,4 m dal p.c., un livello francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,8 e 1,0 m da p.c. e due livelli di sabbie e/o ghiaie alle profondità comprese tra 5,8 e 6,0 m e tra 6,6 e 7,0 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta tendono a salire dal piano di campagna fino alla profondità di 1,2 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 2,4 m dal p.c., successivamente i valori di resistenza alla punta aumentano fino a raggiungere il rifiuto; i valori della resistenza laterale oscillano su valori medio-bassi fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 46:
 - profondità indagata: 9,6 m da p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (1,2 e 3,0 m, 5,0 e 5,2 m e 6,8 e 7,0 m dal p.c.) ed un orizzonte di limi e/o sabbie alla profondità compresa tra 0,6 e 1,0 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta tendono a salire dal piano di campagna fino alla profondità di 1,0 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 2,6 m dal p.c., successivamente aumentano fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale cresce fino alla profondità di 1,8 m da p.c. per poi scendere fino alla profondità di 3,2 m dal p.c., successivamente fs appare costante per poi raggiungere il rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 47:
 - profondità indagata: 9,6 m dal p.c. (rifiuto strumentale);

- seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale q_c e laterale f_s), integrata con quella di Schmertmann (q_c-f_s/q_c), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (1,8 e 3,4 m, 6,2 e 6,6 m, 8,0 e 8,2 m e 8,4 e 8,8 m dal p.c.), limi e/o sabbie (0,4 e 0,6 m, 1,4 e 1,6 m, 7,2 e 7,4 m dal p.c.), un orizzonte francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,6 e 0,8 m dal p.c. ed un intervallo di sabbie e/o ghiaie alla profondità compresa tra 1,0 e 1,2 m dal p.c.;
- i valori della resistenza alla punta tendono a salire dal piano di campagna fino alla profondità di 1,2 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 3,2 m dal p.c., successivamente i valori di q_c aumentano fino al rifiuto strumentale; i valori della resistenza laterale crescono fino alla profondità di 2,4 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 3,2 m dal p.c., successivamente oscillano su valori bassi fino a raggiungere il rifiuto.

Tenendo conto delle principali suddivisioni individuabili sulle verticali delle prove penetrometriche secondo le interpretazioni litologiche di riferimento, i parametri geotecnici forniti dalla ditta esecutrice (allegato A), sono stati elaborati statisticamente sulla base del 5° percentile della distribuzione dei dati per il calcolo del valore caratteristico (si veda il § 10.2.2.) ottenendo i risultati riportati nella tabella 3.

Sigla	Valore caratteristico k	Natura coesiva		Natura granulare	
		c_u [kPa]	M_o [kPa]	f^* [°]	M_o [kPa]
CPT42	Da 0,20 a 1,60 m dal p.c.	71,30	12.944,78	27,96	12.944,78
	Da 1,80 a 3,40 m dal p.c.	68,55	6.178,19	26,37	6.178,19
	Da 3,60 a 7,00 m dal p.c.	101,03	10.591,18	28,80	10.591,18
	Da 7,20 a 8,40 m dal p.c.	153,87	16.328,07	30,02	17.63,57
CPT43	Da 0,20 a 1,60 m dal p.c.	123,83	15.592,57	30,24	18.828,77
	Da 1,80 a 3,60 m dal p.c.	72,06	7.060,79	27,01	7.060,79
	Da 3,80 a 6,40 m dal p.c.	104,95	10.885,38	28,15	10.885,38
	Da 6,60 a 9,00 m dal p.c.	145,24	16.180,97	30,28	16.180,97
CPT44	Da 0,20 a 2,60 m dal p.c.	104,20	15.298,37	29,50	15.886,77

Sigla	Valore caratteristico k	Natura coesiva		Natura granulare	
		c _u [kPa]	Mo [kPa]	f* [°]	Mo [kPa]
	Da 2,80 a 4,20 m dal p.c.	66,47	7.649,19	27,56	8.090,49
	Da 4,40 a 8,80 m dal p.c.	81,72	9.414,38	27,72	9.414,38
	Da 9,00 a 9,60 m dal p.c.	164,07	18.387,47	31,04	18.387,47
CPT45	Da 0,20 a 2,20 m dal p.c.	78,50	16.328,07	29,89	16.328,07
	Da 2,40 a 4,20 m dal p.c.	38,45	6.472,39	25,54	8.237,59
	Da 4,40 a 6,60 m dal p.c.	104,60	6.472,39	29,61	12.356,38
	Da 6,80 a 7,00 m dal p.c.	n.d.	n.d.	32,68	27.948,95
CPT46	Da 0,20 a 1,60 m dal p.c.	96,78	14.415,78	29,22	17.651,97
	Da 1,80 a 4,60 m dal p.c.	85,76	9.414,38	28,18	9.414,38
	Da 4,80 a 6,40 m dal p.c.	114,46	11.767,98	30,00	11.767,98
	Da 6,60 a 8,20 m dal p.c.	125,78	14.709,98	29,96	14.709,98
CPT47	Da 0,20 a 2,60 m dal p.c.	104,20	15.298,37	29,50	15.886,77
	Da 2,80 a 4,20 m dal p.c.	66,47	7.649,19	27,56	8.090,49
	Da 4,40 a 8,80 m dal p.c.	81,72	9.414,38	27,72	9.414,38
	Da 9,00 a 9,60 m dal p.c.	174,07	18.387,47	31,04	18.387,47

Tabella 3 - Elaborazione statistica prove penetrometriche.

* Secondo la correlazione di Meyerhof.

8.2.2. 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 dalla 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 a 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 21:
 - Profondità indagata: 8,90 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) mostrano un andamento crescente dal piano campagna, raggiungendo valori massimi pari a circa 8 MPa che diminuiscono fino a circa 5 MPa alla profondità di 1,5 m dal p.c., 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 decremento dei valori di resistenza alla punta (qc) fino a 2,0 MPa a circa 3,0 m dal p.c., mentre a partire da tale profondità fino a circa 7,5 m dal p.c. tali valori tendono a stabilizzarsi raggiungendo mediamente valori pari a circa 3 MPa, tipici di substrati argillosi. A partire da 7,5 m dal p.c. e in particolare alla profondità di 8,0 m da esso si osserva un picco con valori di resistenza alla punta (qc) pari a circa 8,0 MPa, in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta. Da 8,0 m dal p.c. e fino a fine infissione si osserva un ulteriore decremento dei valori che arrivano fino a circa 3,5 MPa.
 - I valori di resistenza laterale (fs) mostrano un andamento crescente a partire dal piano campagna e fino a circa 1,7 m dal p.c. con valori massimi pari a circa 300 KPa; a partire da tale profondità si assiste a una diminuzione di tali valori fino a circa 7,0 m dal p.c., con valori medi di circa 100 KPa, coerentemente con le caratteristiche dei substrati argillosi. A partire da circa 7,5 m dal p.c. si osserva un ulteriore aumento dei valori di resistenza laterale (fs) fino a un massimo di circa 450 KPa in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta. Da 8,0 m dal p.c. e fino a fine infissione si osserva un ulteriore decremento dei valori che arrivano fino a circa 250 KPa.
 - I valori della pressione interstiziale (u) mostrano un andamento costante a partire dal piano campagna fino a 3,5 m dal p.c., con valori prossimi allo zero. A partire da tale profondità si osserva un trend crescente con valori pari a circa 700 KPa fino a 6,0 m dal p.c. a partire da 6,5 m dal p.c. si osserva una crescita dei valori della pressione interstiziale (u) con valori di circa 1000 KPa, seguita da un repentino calo a 250 KPa. Tale valore subisce un forte aumento fino a circa 1000 KPa alla profondità di 7,3 m dal p.c. per poi diminuire ulteriormente a circa 700 KPa. Alla profondità di circa 8,0 m dal p.c. si osserva un valore di pressione interstiziale (u) superiore ai 2000 KPa che subisce

un nuovo calo a 1250 KPa per poi risalire nuovamente a valori di circa 2000 KPa fino a fondo infissione.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 22:
 - Profondità indagata: 8,26 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) mostrano un andamento crescente fino ai primi 0,5 m dal p.c., in cui si registrano valori di 8,0 MPa che subiscono un repentino calo a circa 2,5 MPa per poi risalire a circa 5,0 MPa e rimanere costanti fino a circa 1,5 m dal p.c., in corrispondenza di un intervallo costituito da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010). A partire da tale profondità si osserva un decremento dei valori fino a 2,0 Mpa alla profondità di circa 3,5 m da p.c., tipico dei substrati argillosi; tale valore subisce un leggero aumento a partire dai 4,0 m dal p.c. fino a fondo infissione, rimanendo costante a circa 3,5 e 4,0 MPa.
 - I valori di resistenza laterale (fs) mostrano un aumento fino a circa 400 KPa a partire dal piano campagna fino a circa 1,5 m, in corrispondenza di un intervallo costituito da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010). A partire da tale profondità si osserva un rapido decremento di tali valori fino a 100 KPa a partire da 2,0 m dal p.c., che oscillano ma rimangono costanti fino a circa 5,5 m dal p.c. con valori medi di circa 150 KPa. A partire da 5,5 m dal p.c. si osserva un progressivo aumento dei valori di resistenza laterale (fs) con un picco massimo di circa 300 KPa che diminuisce a 200 KPa alla profondità di 7,5 m dal p.c. e poi risale nuovamente a circa 300 KPa mantenendosi costante fino a fine infissione.
 - I valori della pressione interstiziale (u) mostrano un leggero aumento a partire dal piano campagna fino ai primi 0,5 m, profondità alla quale si osserva un brusco calo della pressione interstiziale (u) con valori prossimi allo zero fino a circa 3,5 m dal p.c. A partire da tale profondità si registra un aumento progressivo della pressione interstiziale (u) fino a circa 400 KPa alla profondità di 6,3 m dal p.c.; a tale profondità si osserva un brusco calo della pressione interstiziale (u) fino a circa 200 KPa, che risale a circa 500 KPa alla profondità di circa 6,7 m dal p.c. Si registra un ulteriore calo della pressione interstiziale (u) con valori prossimi a 300 KPa che risalgono progressivamente a 600 KPa fino a fondo infissione.

I risultati delle CPTU sono stati confrontati con quelli delle CPT ai fini della definizione

del modello geologico e geotecnico.

8.3. Sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti con una sonda perforatrice cingolata; la stratigrafia e le fotografie delle cassette contenenti le carote sono riportate nell'allegato A.

Come si osserva, al di sotto di materiale di riporto o terreno vegetale, si incontrano per la maggior parte terreni coesivi quali limo, limo argilloso, argilla e limo, argilla. All'interno di tali materiali possono essere presenti livelli di limo sabbioso e ghiaia.

8.3.1. Standard Penetration Test

Durante la perforazione di alcuni sondaggi sono state realizzate prove Standard Penetration Test (S.P.T.) seguendo le norme di riferimento AGI e ASTM; i risultati delle prove S.P.T., riportati nella tabella 4, permettono di ricavare indicazioni sulle caratteristiche geotecniche del terreno incontrato attraverso correlazioni di natura empirica. Nel caso in esame, considerando la natura dei terreni e le altre indagini a disposizione (campioni indisturbati, prove penetrometriche), si è scelto di determinare l'angolo di attrito interno (utilizzando le formule del Japanese National Railway, di Owasaki & Iwasaki, Meyerhof, Peck-Hanson & Thornburn, Sowers e del Road Bridge Specification) e il modulo edometrico (con le correlazioni di Stroud & Butler²).

Sigla sondaggio	SPT	Litologia	f [°]	Eed [kPa]
S97	1	Argille consistenti	32,3÷37,1	9.806,65÷11.767,98
	2	Argille consistenti	34,5÷37,8	12.748,65÷15.298,37
S119	1	Limi e argille	32,3÷37,1	9.806,65÷11.767,98

Tabella 4 - Parametri geotecnici ricavabili dai valori di N_{SPT} .

8.4. Prove geotecniche di laboratorio

Come detto al § 8.1. durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati prelevati dei campioni indisturbati con fustella tipo Shelby in per essere successivamente inviati al laboratorio Igetecma S.n.c. di Montelupo Fiorentino (Provincia di Firenze) per l'esecuzione

² Valida per litotipi argillosi a media e bassa plasticità.

delle prove geotecniche. Su tutti i campioni prelevati (tabella 2) sono state eseguite le seguenti prove:

- 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);

Inoltre, come mostrato nel dettaglio nella tabella 5 su alcuni di essi sono state effettuate le seguenti prove:

- determinazione del peso specifico dei granuli (CNR-UNI 10013, ASTM D 854);
- 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 non drenata C.U.;
- prova triassiale consolidata drenata C.I.D. (Raccomandazione AGI 1994, ASTM D 5311);
- prova edometrica (ASTM D 2435);
- prova di taglio diretto (ASTM D 3080).

Sigla	Compressione semplice ELL	Triassiale UU	Triassiale CU	Edometrica*	Taglio CD
S45-CI1				X	
S46-CI1				X	
S51-CI1				X	
S97-CI1			X		X
S97-CI2			X		X
S119-CI1			X	X	
S119-CI2	X			X	X
S119-CI3	X			X	X

Tabella 5 - Prove geotecniche "specifiche" eseguite sui campioni indisturbati.

* compresa la determinazione del peso specifico dei granuli.

I parametri geotecnici ottenuti dalle prove di laboratorio sono riassunti nella tabella

riportata nell'allegato A (ultima pagina di ciascun certificato).

8.5. Indagini geofisiche

8.5.1. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

Per definire la categoria di sottosuolo, ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018, e quindi per la definizione dell'azione sismica locale e di progetto risulta necessario determinare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio tra il bedrock sismico ed il piano di imposta delle fondazioni ($V_{s,eq}$).

Nel caso in esame per determinare tale parametro è stata utilizzata un'indagine sismiche con metodologia MASW, denominate MASW9 (figura 5) elaborate congiuntamente con l'indagine HVSR.

Per i dettagli operativi delle metodologie di acquisizione dei dati, si rimanda al rapporto finale nell'allegato A. L'analisi della dispersione delle onde superficiali, abbinata all'indagine HVSR, ha permesso di calcolare il parametro $V_{s,eq}$, che applicando la formula seguente:

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

è risultato pari a 318 m/s.

8.5.2. Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. I contrasti di impedenza eventuali possono essere correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. In entrambi i casi si possono avere passaggi litologici che generano fenomeni di possibile amplificazione della sollecitazione sismica.

Nella prova HVSR9 non è stato rilevato un picco nell'intervallo di frequenza che abbia interesse ingegneristico.

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 2012³, 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 Sesto Fiorentino e Firenze 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).

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 NTC2008 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 fornito dalla ditta GeoStru che permette

³ *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.*

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 le coordinate e le caratteristiche progettuali del sito, ottenere direttamente i parametri relativi al computo dell'azione sismica di progetto.

9.2.2. Categoria di di sottosuolo (approccio semplificato)

Visto il valore della velocità equivalente delle onde di taglio calcolato dall'indagine sismica (§ 8.5.1.) al sito in oggetto si assegna la **categoria di sottosuolo C** (*"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."* - da Tab. 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018 e § C3.2.2 della Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019).

9.2.3. Categoria topografica

In considerazione dell'ubicazione dell'area di progetto, 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

Come detto, per ricavare i valori dei parametri dell'azione sismica locale per l'area di progetto, si è utilizzato il programma fornito dalla ditta GeoStru assegnando al sito le coordinate geografiche (WGS84) pari a 43,808173 e 11,201772 long. Per determinare gli spettri di risposta elastici del sito, tenuto conto degli effetti locali dovuti all'amplificazione sia stratigrafica che topografica, devono essere assegnati i seguenti parametri (ipotizzati):

- vita nominale della struttura (V_N) 100 anni;
- classe d'uso pari a classe IV *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti*;
- coefficiente d'uso (C_U) pari a 2,0;
- vita o periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_R = V_N * C_U$) pari a 200 anni.

Il report riassuntivo dei parametri sismici determinati con il software GeoStru si ritrova

nell'allegato A.

10. Modellazione geologica e geotecnica

10.1. Modello geologico del sottosuolo

Nell'area in cui saranno sistemate le opere air side, l'intervallo superficiale, per uno spessore di 1.5÷2.5 m di terreno, presenta frequenti eteropie/variazioni litologiche sia in senso verticale che orizzontale. Il terreno in posto può essere suddiviso, ai fini della modellazione geologica, in 4 strati individuati mediante l'analisi litologica e stratigrafica, integrando i dati dei sondaggi con le analisi granulometriche e le prove penetrometriche (in particolare sulla base delle caratteristiche geomeccaniche evidenziate dalle CPT).

Dall'alto verso il basso, è possibile schematizzare la seguente successione:

- 0,00÷1,60 m dal p.c. (valori mediani): intervallo superficiale eterogeneo, con frequenti eteropie verticali e laterali, costituito da limo con argilla, spesso debolmente sabbioso o sabbioso, e argilla con limo, frequentemente associata a una componente sabbiosa più o meno cospicua; talvolta è presente una componente debolmente ghiaiosa nei litotipi citati; abbastanza frequente anche la presenza di sottili livelli di sabbia limosa. La frazione prevalentemente coesiva ha un grado di consistenza medio-alto, la frazione prevalentemente granulare si presenta molto addensata;
- 1,60÷4,20 m dal p.c. (valori mediani): intervallo costituito dagli stessi litotipi di quello soprastante, ma da cui in genere si differenzia per avere caratteristiche geomeccaniche più scadenti (es. resistenza di punta penetrometrica, modulo edometrico). La frazione prevalentemente coesiva ha un grado di consistenza medio-basso, la frazione prevalentemente granulare ha, in modo simile, un grado di addensamento medio-basso;
- 4,20÷7,00 m dal p.c. (valori mediani): intervallo composto prevalentemente da argilla con limo e limo con argilla, subordinatamente da argilla con limo (e limo con argilla) debolmente sabbiosa e talvolta debolmente ghiaiosa. La frazione prevalentemente coesiva mostra una consistenza media e, con la profondità, medio-elevata; la frazione prevalentemente granulare presenta un addensamento medio-basso;
- 7,00÷8,60 m dal p.c. (almeno fino a 15,0÷20 m p.c.) (valori mediani): argilla con limo e argilla limosa, limo con argilla e limo argilloso, talvolta argilla con limo (e limo con argilla) debolmente sabbiosa. La frazione prevalentemente coesiva mostra una consistenza medio-

elevata, talvolta elevata; la frazione prevalentemente granulare presenta un addensamento medio-basso. Alla profondità di circa 7 m dal p.c. il sondaggio S119-DH ha attraversato un livello di sabbia limosa alternata a livelli di argilla limosa, in un intervallo con uno spessore di 1.70 m, livello che è coerente con le indicazioni fornite dalle CPT in corrispondenza di tale profondità. I litotipi di questo strato sono interrotti soltanto a circa 30 m dal p.c., profondità a cui il sondaggio S119-DH ha incontrato un livello di ghiaia in matrice argillo-limosa. Lo spessore totale di tale livello ghiaioso non è stato determinato, il sondaggio attrezzato per un'indagine sismica down-hole ha infatti terminato la perforazione a 32 m dal p.c. in tale livello, confermando comunque le informazioni geologiche disponibili sulla presenza di un intervallo a ghiaia potente almeno un paio di metri in corrispondenza di tale profondità.

10.2. Modello geotecnico

10.2.1.1. 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).

10.2.2. Valori caratteristici dei parametri geotecnici

Con riferimento agli strati descritti al paragrafo § 10.1., in funzione dell'opera in progetto e del volume significativo, si riportano nella tabella i valori caratteristici dei parametri geotecnici per l'area in cui verranno realizzate le opere in progetto:

da (valore mediano) [m p.c.]	a (valore mediano) [m p.c.]	strato geotecnico	c' [kPa]	f [°]	c _u [kPa]	g [kN/m ³]	Ed [kPa]
0,00	1,6	1	16,7	26,2	96,80	19,50	6.402,90
1,6	4,2	2	16,6	19,85	68,6	19,10	5.922,64
4,2	7,0	3	16,06	20,21	104,6	19,25	7.619,08
7	8,6 (15,0)	4	15,36	18,29	153,2	19,80	14.084,50

Tabella 6 - Valori caratteristici.

10.2.3. Considerazioni sui terreni coesivi superficiali

L'analisi delle prove di laboratorio (prove edometriche) e delle prove in sito (prove penetrometriche statiche CPT) ha mostrato la presenza di terreni superficiali con un elevato grado di sovraconsolidazione (OCR), concentrata soprattutto 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.

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*) 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.

Nel caso in esame, come riassunto nella tabella 7 seguente, è possibile non effettuare la verifica a liquefazione.

§ 7.11.3.4.2 DM 17-01-18	Criteri di esclusione	Valore	Verifica Liquefazione	Note
1	Accelerazione max attesa al p.c. < 0.1 g	0,205 (SLV)	SI	Vedi allegato A
2	Prof. falda > 15 m	>40,0 m	NO	Informazioni da sondaggi
3	$(N_1)_{60} > 30$ $q_{c1N} > 180$	-	-	-
4	Distribuzione granulometrica	Le distribuzioni ricadono al di fuori dei limiti		Allegato A

Tabella 7 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.

12. Terre e rocce da scavo

Per la gestione delle terre e rocce da scavo 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 riportato nel § 4.3. 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, legati alla ritenzione idrica delle argille, non produttivi a carattere del tutto saltuario. Lo scavo in progetto sarà estremamente limitato relativo solamente allo scotico quindi si può prevedere la necessità di aggettare acque soltanto con 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 bassa o molto bassa che limita molto o addirittura impedisce l'infiltrazione nel sottosuolo, 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

Lo scavo sarà limitato allo scotico del terreno vegetale pertanto non sussiste la necessità di ricorrere a opere provvisorie di sostegno.

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

La sostanziale bassa permeabilità dei suoli che si troveranno sul fondo degli scavi è una naturale garanzia di tutela per i suoli e per le acque sotterranee del più profondo dei fondi 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

Non si ravvisano interventi di ripristino particolari a eccezione delle normali attività di pulizia e smaltimento dei rifiuti prodotti dal cantiere.

14. Conclusioni

Lo studio geologico effettuato nell'area in cui è prevista la realizzazione delle opere air side, 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 ed i risultati delle indagini eseguite nel sito di intervento o nelle immediate vicinanze (*Campagna di indagini geognostiche per la realizzazione della nuova pista e delle opere accessorie dell'Aeroporto Internazionale di Firenze Amerigo Vespucci, 2015, 2017*) è stato elaborato il modello geologico e geotecnico (§ 10.) del sottosuolo indicando i valori caratteristici dei parametri geotecnici (§ 10.2.2.) da adottare cautelativamente. A partire dalla categoria di sottosuolo identificata attraverso indagini geofisiche di tipo MASW e HVSr (Categoria di sottosuolo C) e in base a vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento ipotizzati, sono stati forniti i parametri dell'azione sismica locale (riportati nell'allegato A).

Firenze, 12 ottobre 2022

dr. geol. Fabio Picchi

dr. geol. Michele Sani

15. Bibliografia

Per redigere la parte iniziale della presente relazione 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., Suppl. 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 Dipartimento 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.

* * *