



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

Opere Minori - Relazione Geologica

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV PFTE	REV 00	DATA EMISSIONE Settembre 2022	CODICE FILE FLR-MPL-PFTE-GEN3-011-GL-RT_Op Min Rel Geo
			TITOLO RIDOTTO Op Min Rel Geo

00	09/2022	Prima Emissione	TERRA E OPERE	D.PERRI	L. TENERANI
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

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

GRUPPO DI LAVORO

responsabile di commessa e coordinamento
dr. geol. Michele Sani

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

INDICE

1. Premessa.....	7
1.1. Generalità.....	7
1.2. Descrizione delle opere e degli interventi.....	8
1.3. Classi di indagini ai sensi del D.P.G.R. 1/R (19 gennaio 2022).....	9
1.4. Individuazione dei vincoli presenti.....	11
2. Fasi di lavoro.....	11
3. Geologia.....	12
3.1. Evoluzione tettonica del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia.....	12
3.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze.....	14
3.2.1. <i>Substrato pre-lacustre</i>	14
3.2.2. <i>Depositi pre-lacustri</i>	15
3.2.3. <i>Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano</i>	15
3.2.4. <i>Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia</i>	16
3.2.4.1. <i>Argille turchine AUCTT</i>	16
3.2.4.2. <i>Depositi clastici di delta e fan-delta dei paleo-torrenti</i>	16
3.2.5. <i>Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi)</i>	16
3.2.6. <i>Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti)</i>	18
3.3. Orizzonti "Firenze".....	19
3.3.1. <i>Orizzonte "Firenze 1"</i>	19
3.3.2. <i>Orizzonte "Firenze 2"</i>	20
3.3.3. <i>Orizzonte "Firenze 3"</i>	21
3.3.4. <i>Orizzonte "Firenze 4"</i>	21
3.3.5. <i>Considerazioni sull'andamento degli orizzonti "Firenze"</i>	22
3.4. Geologia dell'area di intervento.....	24
3.4.1. <i>Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)</i>	24
3.4.1.1. <i>bna1</i>	25
3.4.2. <i>Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5)</i>	25
4. Idrogeologia.....	25
4.1. Aspetti idrogeologici generali.....	25
4.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame.....	27
4.3. Superficie piezometrica.....	31
5. Geomorfologia e stabilità.....	31
5.1. Introduzione.....	31
6. Classi di pericolosità.....	32
6.1. Pericolosità geologica.....	32
6.2. Pericolosità idraulica.....	32
6.3. Pericolosità sismica.....	33
7. Classi di fattibilità.....	33
7.1. Comune di Firenze.....	34
7.1.1. <i>Fattibilità geologica</i>	34
7.1.2. <i>Fattibilità idraulica</i>	36
7.1.3. <i>Fattibilità sismica</i>	37
7.2. Comune di Sesto Fiorentino.....	38
7.2.1. <i>Fattibilità geologica</i>	39
7.2.2. <i>Fattibilità idraulica</i>	39
7.2.3. <i>Fattibilità sismica</i>	39
8. Risultati delle indagini eseguite.....	40

8.1. Generalità.....	40
8.2. Sondaggi a carotaggio continuo.....	42
8.3. Prove geotecniche di laboratorio.....	44
8.4. Indagini geofisiche.....	46
8.4.1. <i>Indagine sismica in foro downhole</i>	46
9. Sismicità e definizione dei parametri sismici.....	47
9.1. Zona sismica.....	47
9.2. Parametri sismici.....	47
9.2.1. <i>Aspetti generali</i>	47
9.2.2. <i>Categoria di di sottosuolo (approccio semplificato)</i>	48
9.2.2.1. <i>Categoria di sottosuolo (approccio semplificato) – Progetti vari area pressi Torre di controllo</i>	48
9.2.2.2. <i>Categoria di sottosuolo (approccio semplificato) – Progetto area parcheggio multipiano</i>	48
9.2.2.3. <i>Categoria di sottosuolo (approccio semplificato) – Progetto area capannoni (a nord dell'impianto fotovoltaico)</i>	49
9.2.3. <i>Categoria topografica</i>	49
9.2.4. <i>Parametri dell'azione sismica locale</i>	49
9.2.4.1. <i>Parametri dell'azione sismica locale - Progetti vari area pressi Torre di controllo e area parcheggio multipiano</i>	50
9.2.4.2. <i>Parametri dell'azione sismica locale - Progetto area capannoni a nord impianto fotovoltaico</i>	57
10. Modellazione geologica e geotecnica.....	64
10.1. Sezioni litologiche.....	64
10.2. Modello geologico del sottosuolo.....	64
10.3. <i>Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni presenti nel volume significativo e definizione del modello geotecnico di sottosuolo</i>	67
10.3.1. <i>Aspetti generali</i>	67
10.3.2. <i>Modello geotecnico – area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale)</i>	68
10.3.3. <i>Modello geotecnico – area Parcheggio multipiano</i>	71
10.3.4. <i>Modello geotecnico – area Capannoni lato nord impianto fotovoltaico</i>	75
10.3.5. <i>Considerazioni sui terreni coesivi superficiali</i>	80
11. Liquefazione.....	92
12. Terre e rocce da scavo.....	93
13. Indicazioni relative alla realizzazione dei lavori.....	94
13.1. Indicazioni inerenti la gestione delle acque di aggettamento.....	94
13.2. Indicazioni sulla necessità di opere provvisorie e loro tipologia.....	94
13.3. Indicazione sulla tutela dei suoli interessati dalle aree di cantiere.....	94
13.4. Indicazione degli interventi di ripristino delle aree a fine cantiere.....	94
14. Conclusioni.....	94
15. Bibliografia.....	96

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Ubicazione dell'area di progetto in scala 1:10.000.	17
Figura 2 - <i>Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecchi et al., 1976b)</i>	19

Figura 3 - Carta geologica in scala 1:10.000	29
Figura 4 - Carta idrogeologica in scala 1:10.000	30
Figura 5 - Carta geomorfologica in scala 1:10.000	35
Figura 6 - Ubicazione delle indagini geognostiche realizzate (in scala 1:10.000).	43
Figura 7 - Area presso la torre di controllo e area presso il parcheggio multipiano, tutti i progetti ricadono all'interno della maglia delimitata in rosso, con a_{gSLV} costante pari a 0.204g (per VN 100 anni e Classe d'uso IV)	51
Figura 8 - Area presso l'estremità nord della pista attuale prevista per il progetto di tre capannoni ad uso logistica	57
Figura 9 - Ubicazione traccia sezione A-A' nell'area dove verrà realizzato il nuovo parcheggio multipiano. .	65
Figura 10 - Distribuzione dei valori dell'indice di plasticità (IP%) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano	72
Figura 11 - Distribuzione dei valori della resistenza non drenata (C_u , in kPa, da prova ELL) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano.	73
Figura 12 - Distribuzione dei valori dell'angolo di resistenza al taglio efficace (φ' , da prova TG DIR CD) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano.	74
Figura 13 - Distribuzione dei valori della coesione efficace (c' , in kPa, da prova TG DIR CD) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano	76
Figura 14 - Traccia della sezione SO-NE parallela alla pista attuale, in corrispondenza dell'area di progetto dei capannoni (ellisse in rosso), con ubicazione sondaggi campagna TAE 2015-2017 (S39, S95, S96, S97, S122) e sondaggi in archivio SIGS Comune di Firenze (S831, S833, S834, S839, S843, S275)	77
Figura 15 - Dettaglio della sezione SO-NE parallela alla pista attuale, in corrispondenza dell'area di progetto dei capannoni	78
Figura 16 - Valori della pressione di preconsolidazione ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi realizzati all'interno di diverse aree del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).	81
Figura 17 - Valori di OCR ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi realizzati all'interno di diverse aree del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).	82
Figura 18 - Valori di OCR in funzione della profondità di prelievo (m dal p.c.), ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su campioni di sondaggi realizzati in varie aree del sedime aeroportuale.	82

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Classi di permeabilità.	28
Tabella 2 - Campioni indisturbati.	42
Tabella 3 - Prove geotecniche "specifiche" eseguite sui campioni indisturbati.	45
Tabella 4 - Valori $V_{s_{eq}}$ calcolati a partire dal p.c..	46
Tabella 5 - Modello geotecnico area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale) 1/2.	83
Tabella 6 - Modello geotecnico area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale) 2/2.	84
Tabella 7 - Modello geotecnico profondo area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale).	85
Tabella 8 - Modello geotecnico parcheggio multipiano – Depositi Antichi (Da), 1/2.	86
Tabella 9 - Modello geotecnico parcheggio multipiano – Depositi Antichi (Da), 2/2.	87
Tabella 10 - Modello geotecnico parcheggio multipiano – Depositi Recenti (Dr), 1/2.	88

Tabella 11 - Modello geotecnico parcheggio multipiano – Depositi Recenti (Dr), 2/2.	89
Tabella 12 - Modello geotecnico tre capannoni – logistica (1/2)	90
Tabella 13 - Modello geotecnico tre capannoni – logistica (2/2)	91
Tabella 14 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.	92

ALLEGATI FUORI TESTO

Allegato A – Indagini geognostiche e prove di laboratorio, indagini sismiche, sezione litostratigrafica B - B’

* * *

1. Premessa

1.1. Generalità

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica dell'intervento relativo alla realizzazione di una serie di opere minori a supporto delle attività aeroportuali (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 di una serie di opere minori a supporto delle attività aeroportuali 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 susseguitisi 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 delle opere e degli interventi

Le opere in progetto come nuove edificazioni sono le seguenti (figura 1):

- Bilanciamento VV.FF., struttura in c.a. con SUL 600 mq, altezza m 6, volume 3600 mc;
- Catering, struttura con SUL 600 mq, altezza m 6, volume 3600 mc;
- Deposito carburanti, deposito antincendio, uffici, con volumetrie comprese tra 350 mc e 1000 mc;
- Officina mezzi, struttura in c.a., con SUL 1800 mq, altezza m 5.5, volume 9900 mc;
- Hangar, struttura in elevazione in cemento armato precompresso, con SUL 2400 mq, altezza m 6, volume 14400 mc;
- Mezzi di rampa, struttura in acciaio con SUL 2400 mq, altezza m 5.5, volume 13200 mc;
- Aeroclub, con SUL 640 mq, altezza m 5,50, volume 3520 mc;
- Aviazione Generale, terminal con struttura in acciaio, con SUL 3000 mq, altezza m 9, volume 16200 mc;

- Edifici logistica (tre edifici) a nord dell'impianto fotovoltaico, con SUL di 1625 mq, altezza m 6 e volume di 9750 mc per ogni edificio;
- parcheggio multipiano, ubicato nell'attuale piazzale del posteggio di fronte al terminal passeggeri attuale (ad sudovest rispetto al terminal passeggeri in progetto), con SUL di 5545 mq.

Per l'attribuzione delle classi d'indagine di cui al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 19 gennaio 2022 n. 1/R¹, si rimanda al § 1.3.

1.3. Classi di indagini ai sensi del D.P.G.R. 1/R (19 gennaio 2022)

Ai sensi del D.P.G.R. n.1/R del 19 gennaio 2022 e del relativo *Allegato 1 – Linee guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'art. 3 del Reg. 1R/2022*, per gli interventi in progetto si fa riferimento alle seguenti classi di indagine:

- per il "Deposito carburanti, deposito antincendio, uffici" (volumi compresi tra 150 e 1500 mc) si fa riferimento alla "classe d'indagine n. 2, riferita alle opere di volume totale inferiore a 1500 metri cubi e altezza in gronda inferiore a dieci metri. *Nell'ambito di tale classe, sono condotte le seguenti indagini:*
 - a) *Per la determinazione dell'azione sismica una campagna d'indagine sismica di superficie, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettera b);*
 - b) *Per la parametrizzazione del volume geotecnico significativo, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettere a) e c), almeno 1 verticali di indagine per superfici in pianta inferiori a 300mq, mentre per superfici in pianta superiori a 300mq le verticali sono almeno 2.**In presenza di problematiche di versante è prodotta, altresì, la verifica di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio.*
- per il "bilanciamento VV.FF.", il "Catering" e l'Aeroclub (volumi rispettivamente di circa 3600, 3300 e 3520 mc) si fa riferimento alla "classe d'indagine n. 3, riferita alle opere di

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.*

volume totale inferiore a 6000 metri cubi e altezza in gronda inferiore a 20 metri.

Nell'ambito di tale classe, sono effettuate le seguenti indagini:

- a) Per la determinazione dell'azione sismica una campagna d'indagine sismica di superficie, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettera b);*
- b) Per la parametrizzazione del volume geotecnico significativo, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettere a) e c), almeno 2 verticali di indagine di cui una è rappresentata da un sondaggio geognostico a carotaggio continuo dotata di piezometro per la misura della falda e con prelievo di campione/i indisturbato/i su cui realizzare idonee prove sulle terre e sulle rocce presso laboratori compresi nell'elenco di cui al servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici. Nel caso in cui la litologia non permetta di prelevare campioni indisturbati, sono eseguite almeno prove penetrometriche in foro di tipo SPT. In presenza di problematiche di versante sono altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio";*
- *per l'"Officina mezzi", l'"Hangar", i "Mezzi di Rampa", l'"Aviazione Generale", il "Parcheggio Multipiano" e gli "Edifici Logistica" (volumi > 6000 mc) si fa riferimento alla "classe d'indagine n. 4, riferita alle opere di volume totale superiore a 6000 mc o, in ogni caso, sempre per opere di volume, se l'altezza in gronda è superiore a venti metri. Nell'ambito di tale classe, sono effettuate le seguenti indagini:*
 - a) per la determinazione dell'azione sismica, una campagna d'indagine sismica di superficie, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettera b) e la realizzazione di una prova geofisica in foro di sondaggio o, alternativamente, una prova penetrometrica statica con cono sismico (ad esempio SCPTU), per terreni scarsamente consistenti;*
 - b) per la parametrizzazione del volume geotecnico significativo, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettere a) e c), almeno 3 verticali di indagine di cui una è rappresentata da un sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati su cui realizzare idonee prove sulle terre e sulle rocce presso laboratori compresi nell'elenco di cui al servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici. Nel caso in cui la litologia non permetta di prelevare campioni indisturbati, sono eseguite almeno prove penetrometriche in foro di tipo SPT. In*

presenza di problematiche di versante sono altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio. Sono da prevedere anche misure piezometriche della falda. All'interno del foro di sondaggio, è eseguita una prova geofisica in foro per la caratterizzazione di almeno 30 metri di profondità o comunque di una profondità di indagine idonea a caratterizzare i terreni posti al di sopra del bedrock sismico se posto ad una profondità inferiore a m 30, o alternativamente, prova penetrometrica statica con cono sismico (ad esempio SCPTU), per terreni scarsamente consistenti, per la caratterizzazione di almeno 30 metri di profondità;

1.4. Individuazione dei vincoli presenti

L'area in cui saranno realizzati i nuovi fabbricati, dal punto di vista dei principali vincoli territoriali, presenta la seguente situazione:

- l'area di intervento non è interessata dal Vincolo Idrogeologico ai sensi del Regio Decreto Legge n. 3267 del 30 dicembre 1923²;
- buona parte dell'area in oggetto è ubicata all'interno di un'area di notevole interesse pubblico ex art. 136, lettera a, Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42³;
- territori contermini ai laghi (lettera e, comma 1, art. 142 del D.Lgs. 42/2004) per quanto riguarda il *Bilanciamento VV. FF., il Catering e l'Hangar A Officina mezzi*;
- zone gravate da usi civici per quanto riguarda i tre capannoni a nord dell'impianto fotovoltaico (lettera h, comma 1, art. 142 del D.Lgs. 42/2004).

2. Fasi di lavoro

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

- consultazione delle *Indagini geologico-tecniche* di supporto al Piano Strutturale intercomunale Calenzano e Sesto Fiorentino e al Secondo Regolamento Urbanistico del Comune di Sesto Fiorentino;
- consultazione delle *Indagini geologico-tecniche* di supporto al Piano Strutturale del Comune di Firenze (Variante al P.S. 2010) adottato con Deliberazione C.C. n. 2015/C/00025 del 2 aprile 2015;

² Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani.

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

- presa visione del Piano di Bacino del Fiume Arno – Stralcio Assetto idrogeologico (PAI - Norme di attuazione ed allegati) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- presa visione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- esecuzione di alcuni sopralluoghi sul posto e nelle aree immediatamente limitrofe, per prendere visione della situazione attuale, per la comprensione della situazione geomorfologica e della stabilità generale del sito;
- attribuzione della fattibilità agli interventi in progetto dal punto di vista geologico, idraulico e sismico (si veda il § 7.);
- utilizzo delle indagini geognostiche dell'Aeroporto Internazionale di Firenze Amerigo Vespucci eseguite da Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporto Engineering S.r.l., nel 2015 e nel 2017;
- analisi dei risultati delle indagini geognostiche a disposizione per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni di fondazione (si veda il § 8.);
- definizione della categoria di sottosuolo secondo l'approccio semplificato ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018 (si veda il § 9.1.)
- determinazione dei parametri sismici (si veda il § 9.2.);
- elaborazione del modello geologico del sito e del modello geotecnico di sottosuolo (§ 10.);
- indicazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici ricavati (§ 10.3.);
- valutazioni in merito alla suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione (§ 11.).

3. Geologia

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

Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia, posto ad una quota media di 45 m s.l.m., si sviluppa in direzione NW-SE per una lunghezza di 45 km ed una larghezza massima di circa 10 km. Esso è delimitato a nord-nord-est dai Monti della Calvana e dal Monte Morello, con altitudine di circa 900 m s.l.m. e a sud-sudovest dal Montalbano con altitudine di oltre 600 m s.l.m.. In questo contesto geografico è prevista la realizzazione della nuova pista, delle opere accessorie e di quelle di compensazione dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze. Il bacino di

Firenze-Prato-Pistoia presenta una geometria a semi-graben fortemente asimmetrica, con un margine nord-orientale molto acclive, in corrispondenza della faglia principale di Fiesole e da una rampa di raccordo poco inclinata localmente interessata da faglie minori sul versante sud-occidentale. I depositi di riempimento del bacino si sono sviluppati con ampi delta e fan-delta clastici sviluppati alla base del sistema di faglie maggiori. In questo tipo di bacini il sollevamento tettonico dei margini, e il corrispondente allargamento del drenaggio fluviale, portano alla formazione di potenti sequenze sedimentarie clastiche grossolane in corrispondenza delle aree centrali. Nel dettaglio, dal punto di vista tettonico-geometrico, l'area di Firenze è caratterizzata dalla presenza di una fascia interessata da più faglie disposte a gradinata e in parte sepolte al di sotto dei depositi fluvio-lacustri villafranchiani, localizzata nell'area pedemontana a nord della pianura di Firenze, e dalla presenza delle faglie sepolte Castello-Scandicci e Maiano-Bagno a Ripoli che interessano il substrato pre-lacustre, trasversalmente al bacino. Le faglie controllano la morfologia dell'area 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 faglie disposte a gradinata, di cui solo la più orientale affiora con la scarpata degradata dei versanti di Fiesole, mentre le altre sono sepolte sotto i depositi villafranchiani di San Domenico, o addirittura sotto l'area delle Cure-Campo di Marte. Tali faglie sono dislocate da lineamenti tettonici trasversali che

interessano il substrato con generali direzioni NNE-SSO, e il cui movimento risulta prevalentemente verticale distensivo. Le faglie a carattere prevalentemente distensivo, di Castello-Scandicci a ovest e di Maiano-Bagno a Ripoli a est, sono risultate attive a più riprese a partire dal Pliocene inferiore, giocando successivamente, verso la fine del Villafranchiano, un ruolo determinante per il sollevamento dell'area fiorentina rispetto al restante bacino lacustre. Questi elementi strutturali hanno sollevato la pianura di Firenze, ribassando il blocco a NO nel caso della faglia occidentale, e il blocco a SE per la faglia orientale con un rigetto globale stimabile in alcune centinaia di metri. Nel Villafranchiano sono state documentate due fasi tettoniche lungo tali lineamenti, probabilmente in regime compressivo, in accordo con evidenze regionali. Nella zona nord-orientale dell'area fiorentina lungo le colline di Fiesole-Monte Rinaldi, il motivo strutturale è dato da una piega anticlinale con asse orientato NO-SE, delimitato a SO dalla omonima zona di faglia che mette in contatto le arenarie torbiditiche del Macigno con i depositi recenti fluvio-lacustri; la struttura è interessata da faglie minori ad andamento NE-SO e prevalente movimento verticale. L'assetto tettonico delle Unità Liguri affioranti a NO di Firenze e nell'area meridionale è dato da una blanda monoclinale immergente in genere verso N-NE di valori medi ($<40^\circ$). I depositi lacustri Villafranchiani risultano dislocati dalle faglie sinsedimentarie trasversali al bacino, ma mantengono una giacitura sub-orizzontale su entrambi i blocchi dislocati; i depositi alluvionali recenti e attuali sono ancora in giacitura primaria. Per nessuna delle faglie presenti nella zona ci sono indizi geologici di attività tettonica più recente di circa 500.000 anni.

3.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze

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

3.2.1. Substrato pre-lacustre

Il substrato pre-lacustre è costituito da rocce appartenenti alle Unità Liguri, ed è composto, in particolare, dai calcari marnosi, dalle calcareniti e dalle argilliti della Formazione di Sillano e dalle arenarie calcaree e dalle argilliti rosse della Formazione della Pietraforte. Il

tetto del substrato pre-pliocenico risulta a profondità contenute in corrispondenza del centro storico di Firenze (profondità inferiori a 20 m dal piano di campagna). Il corso del Fiume Arno spostato verso il bordo meridionale del bacino ha portato il fiume a erodere le rocce liguri, creando un terrazzo di erosione lungo tutto il margine meridionale cittadino da est ad ovest. L'attività tettonica collegata alla faglia trasversale Castello-Scandicci ha ribassato di un centinaio di metri il tetto del substrato subito a ovest della linea di faglia, ma l'abbassamento si spinge fino alla profondità di 600 m in corrispondenza della piana di Campi Bisenzio-Sesto Fiorentino.

Nelle zone nord-orientali della città il substrato è stato dislocato in modo differenziale dalle faglie trasversali e longitudinali, ed è possibile trovarlo a profondità superiori a 110 m, mentre nelle aree sudorientali l'abbassamento ha avuto minore intensità.

3.2.2. Depositi pre-lacustri

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

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

3.2.3. Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano

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

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

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

3.2.4. Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia

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

3.2.4.1. Argille turchine AUCTT.

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

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

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

3.2.5. Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi)

E' costituito da ciottolami e ghiaie d'alveo del paleo-Arno e dei paleo-torrenti, con percentuale di matrice in modo variabile. Nella zona settentrionale urbana della città risultano frammisti a intervalli sabbioso-limosi di colore marrone scuro, mentre nella zona Cascine-Osmannoro-Legnaia risultano essere costituiti prevalentemente da ciottoli e ghiaie.

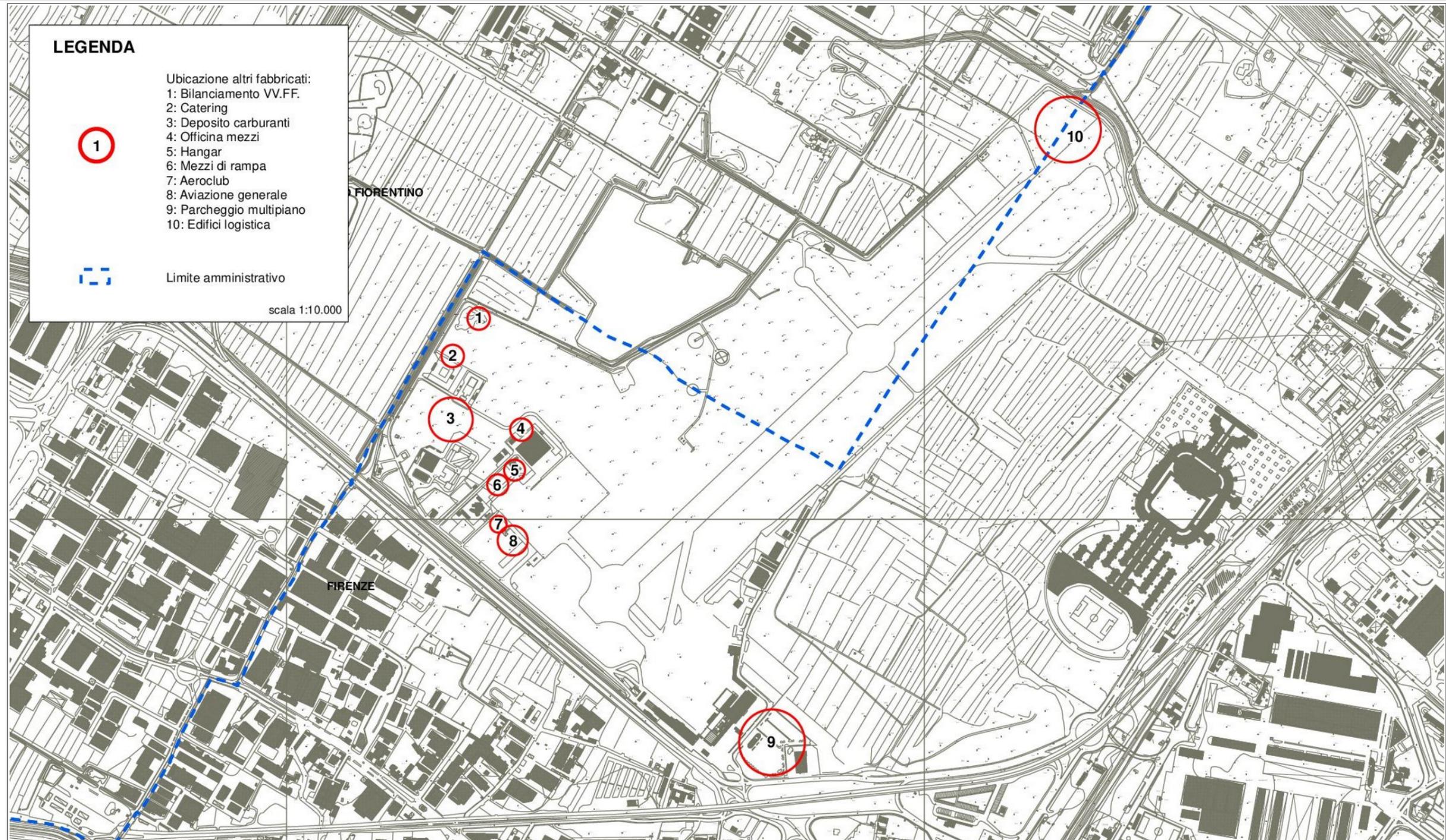


Figura 1 - Ubicazione dell'area di progetto in scala 1:10.000.

In particolare, i depositi del paleo-Arno hanno costruito il conoide del fiume nel lago di Prato-Pistoia, ben sviluppato nella zona Cascine-Osmannoro con apice nella zona della Fortezza. A questi depositi, Capecchi *et al.* (1976b), hanno fatto corrispondere l'Orizzonte Firenze 3 (si veda il § 3.3.3). Il corpo sedimentario, che è stimato avere una potenza di una ventina di metri, è stato eroso dallo stesso Fiume Arno: di ciò si ha evidenza alle Cascine dove si trova a contatto direttamente tra il corpo sedimentario in questione e le ghiaie alluvionali recenti depositate dal fiume.

3.2.6. Sintema del Fiume Arno (Depositati alluvionali recenti)

Il Sintema del Fiume Arno è costituito dai depositi d'alveo e di esondazione recenti e attuali della coltre alluvionale deposta dal Fiume Arno e dei suoi affluenti nell'area fiorentina, in complessi rapporti di eteropie laterali erosive e sedimentarie. I primi metri superficiali (3÷5 m) sono composti da limi di esondazione sabbiosi. A questo intervallo è da far corrispondere l'Orizzonte Firenze 1 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 3.3.1). I depositi d'alveo sono costituiti prevalentemente da ciottolami e ghiaie, con percentuale molto variabile della matrice fine, con intercalati livelli e lenti di sabbie. Le ghiaie compongono il corpo clastico principale, rilevato sull'intera superficie fiorentina, ed è l'intervallo corrispondente all'Orizzonte Firenze 2 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 3.3.2), il cui spessore varia da pochi metri fino a 20÷30 m. La deposizione delle ghiaie è avvenuta su una superficie di erosione sui corpi sedimentari che possono essere sia i depositi alluvionali antichi che il substrato pre-pleiocenico. L'ambiente di deposizione era tipicamente fluviale a caratterizzato da alta energia. Come detto, i Depositati alluvionali recenti sono da ricondurre all'azione sedimentaria sia del Fiume Arno che degli affluenti principali (Torrente Mugnone, Torrente Terzolle, Torrente Affrico, Torrente Mensola). Nella piana fra Campi Bisenzio e Sesto Fiorentino-Castello i Depositati 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 Depositati 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 Capecci, 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.

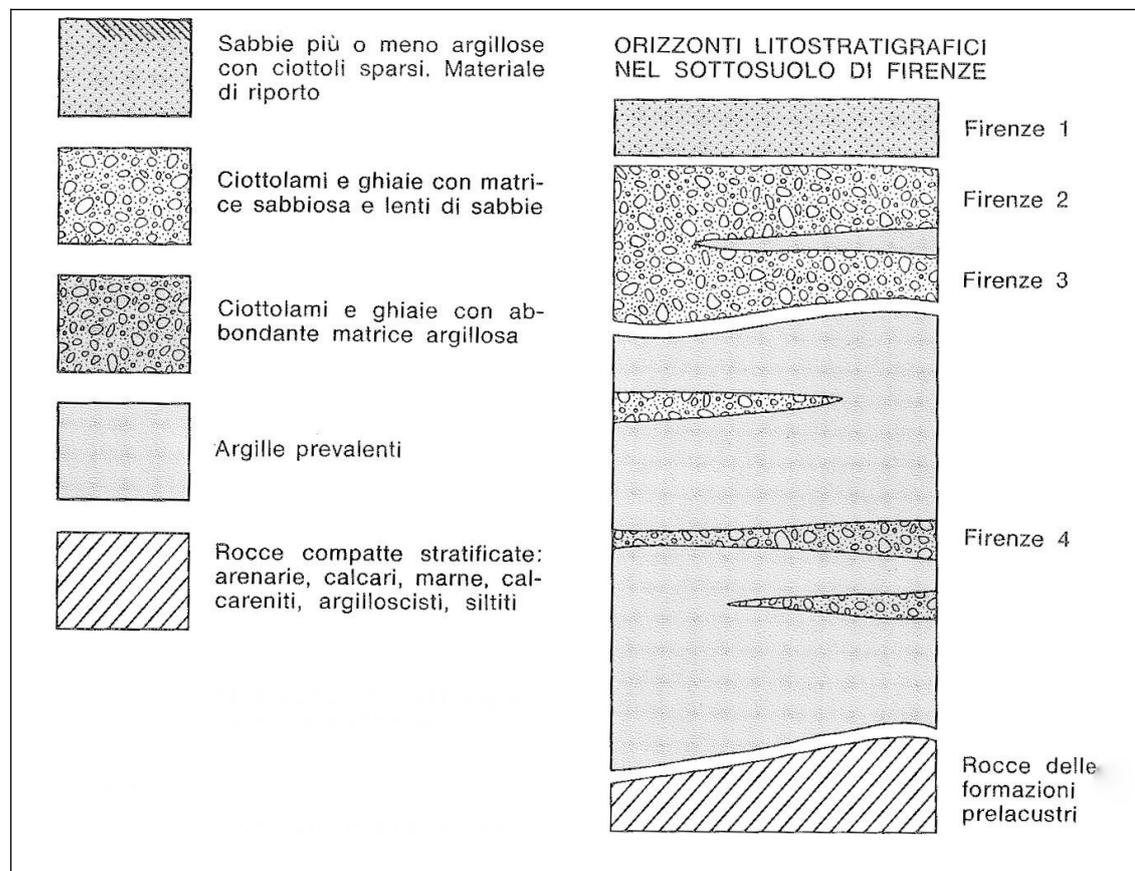


Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecci et al., 1976b).

Da notare che nel centro della città alla composizione di questo strato contribuiscono in buona parte materiali di scarico derivanti dalle rovine di costruzione di varie epoche. Questo strato superficiale, costituito in massima parte da materiale depositato dal Fiume Arno durante le piene, è presente in tutta l'area studiata a eccezione dell'area dell'Osmannoro a nord della Via Pistoiese. Il suo spessore varia da 3 a 9 metri ma nel centro della città ha una media di 4÷5 m.

3.3.2. Orizzonte "Firenze 2"

Si tratta di depositi fluviali incoerenti che presentano notevoli e rapide variazioni granulometriche sia in senso verticale che orizzontale composti da ciottolami, ghiaie e sabbie. La frazione argillosa è di solito assai scarsa tanto da permettere una buona permeabilità. E' in questo livello, infatti, che trovano alimentazione quasi tutti i pozzi per acqua scavati fin da epoche remote nell'area urbana. Sono presenti in questo intervallo sottili lenti di argilla plastica giallo-rossastra. Le caratteristiche sedimentologiche di questi depositi sono osservabili nelle cave per ghiaia scavate nelle zone delle Piagge, di Mantignano e di Varlungo-Coverciano. Nel corpo sedimentario si possono osservare canali di erosione e stratificazione incrociata. Uno studio granulometrico (Gori, 1970) ha messo in luce una distribuzione bimodale per la maggior parte dei campioni prelevati, un sorting basso e, in generale, indici sedimentologici che confermano la deposizione fluviale. In particolare, il regime doveva essere torrentizio e con notevole capacità di trasporto. La natura litologica dei ciottoli di questo orizzonte non è uniforme su tutta l'area in cui affiorano. Nella zona orientale, dall'Anconella al centro città, i ciottoli sono quasi esclusivamente formati da arenarie quarzoso-micacee, probabilmente provenienti dalla formazione Macigno. Lo studio dei campioni prelevati in pozzi situati nelle zone delle Cascine, di Mantignano e delle Piagge, ha messo in luce una maggiore eterogeneità litologica: insieme a quelli di arenaria Macigno, sono presenti ciottoli di calcareniti, spesso fossilifere, calcari di vario tipo e arenarie calcaree provenienti soprattutto dalle formazioni di Monte Morello, di Sillano e della Pietraforte. Lo spessore di questo orizzonte è molto variabile; diminuisce gradualmente verso i margini della pianura e verso ovest. In 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, dello spessore di 3÷4 m, divide l'orizzonte in due distinti livelli porosi. Dal punto di vista litologico i ciottoli sono molto eterogenei: prevalgono calcari e calcareniti provenienti dalle formazioni di Monte Morello e di Sillano, ma sono presenti anche ciottoli, in genere molto alterati, di arenaria Pietraforte e Macigno. L'impossibilità di osservare in affioramento i sedimenti di questo orizzonte non permette di definire con sicurezza l'ambiente di deposizione. La maggior percentuale della matrice argillosa nei sedimenti più grossolani fa pensare ad un deposito lacustre prossimale, in corrispondenza dello sbocco di un fiume, con fasi di avanzamento e retrocessione della linea di riva del lago. L'Orizzonte Firenze 3 è in genere separato dall'Orizzonte Firenze 2 da uno strato di argilla turchina di probabile origine lacustre; nelle zone dove tale strato argilloso manca i due orizzonti ciottolosi non possono essere distinti con certezza.

3.3.4. Orizzonte "Firenze 4"

L'Orizzonte Firenze 4 è costituito da argille di origine lacustre, compatte, di colore turchino, più raramente giallastro, talora con lignite e torba. A vari livelli sono presenti lenti di ghiaie e ciottoli, più raramente di sabbie; in questi strati la matrice argillosa è quasi sempre abbondante, tanto da limitarne la permeabilità. La distribuzione areale di queste lenti a granulometria più grossolana è difficile da ricostruire con precisione, soprattutto perché sono pochi i sondaggi che hanno raggiunto e attraversato questa unità. Si osserva comunque che esse divengono meno frequenti e di minor spessore a valle di Firenze oltre la zona delle Cascine, procedendo verso ovest e nord-ovest. A monte di Firenze, nella zona dell'Anconella-Bandino, queste lenti sono invece più numerose e potenti che altrove e molte contengono solo una bassa percentuale della frazione argillosa. Questo fatto è probabilmente da mettere in relazione con lo sbocco, al margine sud-est della conca lacustre, di uno o più torrenti immissari

con notevole trasporto solido. Nella parte basale dell'Orizzonte Firenze 4, al contatto con le rocce del paleoinvaso, è talora presente un piccolo livello (1÷3 m) di ciottoli anche molto grossi, ossidati e poco arrotondati, che può essere considerato un deposito di pseudo-trasgressione. La maggioranza dei ciottoli è costituita da calcari marnosi bianchi tipo alberese e subordinatamente da arenarie calcaree tipo Pietraforte e calcareniti. Lo spessore dell'Orizzonte Firenze 4 è determinato dalla quota del fondo lago: all'Anconella è intorno a 70 m mentre nel centro città, nella zona della stazione di Santa Maria Novella, è circa 25 m; esso aumenta rapidamente spostandosi a ovest delle Cascine fino a superare i 300 m nella zona di San Donnino.

3.3.5. Considerazioni sull'andamento degli orizzonti "Firenze"

Lo strato argilloso-sabbioso superficiale (Orizzonte Firenze 1), che raggiunge una potenza massima nel centro città, diminuisce di spessore verso la zona di Peretola; più a nord-ovest e nella zona dell'Osmannoro, il tipo litologico presente nel sottosuolo fin dai primi metri è costituito da argilla compatta. L'Orizzonte Firenze 2 è presente in tutte le sezioni idrogeologiche elaborate da Capecchi *et al.* (1976b) che mostrano come la terminazione occidentale di questo intervallo coincida in tutti questi profili con la terminazione dell'Orizzonte Firenze 1. Si può ritenere quindi che oltre Peretola, a nord della Via Pistoiese, il Fiume Arno non si sia mai spinto a depositare né le sue alluvioni grossolane (Orizzonte Firenze 2), né quelle più fini recenti (Orizzonte Firenze 1). In alcune sezioni verso le colline si osserva la terminazione laterale dell'Orizzonte Firenze 2. Questi sedimenti fluviali si appoggiano su superfici di erosione dei sedimenti lacustri. L'Orizzonte Firenze 2 presenta il massimo spessore in una zona corrispondente più o meno col centro della città (Piazza D'Azeglio - Piazza San Marco). La diminuzione di spessore a partire da questa zona è evidente sia in senso longitudinale sia in senso trasversale. Come detto, solo in una sezione l'Orizzonte Firenze 2 risulta separato dall'Orizzonte Firenze 3 da una lente di argilla. In tutte le altre sezioni vi sono zone di contatto fra i due orizzonti, costituendo un unico intervallo poroso, interrotto solo localmente da lenti poco estese di argilla. In queste zone o c'è stata continuità nella sedimentazione grossolana, oppure episodi erosivi hanno distrutto la continuità dell'intervallo argilloso di separazione. Le sezioni documentano la maggior frequenza ed estensione dei ciottolami entro le argille lacustri (Orizzonte Firenze 4) nella zona orientale della conca di Firenze. Nella zona dell'Anconella

questi ciottolami sono particolarmente abbondanti e relativamente puliti. La distinzione dai ciottolami fluviali sovrastanti si è basata non tanto sulla presenza del piccolo strato argilloso intorno ai 10 m di profondità, quanto sulle correlazioni granulometriche e litologiche di dettaglio. In particolare, in un pozzo il diagramma litologico presenta a 10 m un brusco aumento dei calcari e una corrispondente diminuzione delle arenarie; la stessa rapida variazione litologica è stata osservata in altri pozzi al passaggio fra i sedimenti fluviali e quelli sicuramente lacustri. Dalla zona delle Cascine procedendo verso ovest il substrato roccioso scende infatti molto rapidamente, fino a raggiungere la profondità di circa 300 m nella zona di Brozzi. Questa rapida discesa è determinata da una o più faglie trasversali al profilo che, in tempi relativamente recenti, hanno determinato il sollevamento della conca fiorentina rispetto al resto del bacino lacustre. Una sezione in particolare (Capecchi *et al.*, 1976b) mette bene in evidenza fra le Cascine e il Ponte San Niccolò l'alto relativo del substrato nel tratto urbano. In particolare, il tratto orizzontale del substrato rappresenta una superficie di erosione e testimonia quindi una fase erosiva esercitata dall'Arno. In altre sezioni si può osservare come nel centro città il fondo sia relativamente alto. Tale alto trova una corrispondenza in superficie negli affioramenti del Macigno di Fiesole a nord e della Pietraforte del Piazzale Michelangiolo e di Bellosguardo a sud. In base alle stratigrafie e alle correlazioni nella pubblicazione più volte citata sono state ricostruite le curve di ugual spessore degli Orizzonti Firenze 2 e Firenze 3. Questi orizzonti, costituiti in prevalenza da sedimenti grossolani, sono quelli, in tutta la serie fluvio-lacustre, dotati della migliore permeabilità e rappresentano quindi gli acquiferi più importanti. Per quanto riguarda l'Orizzonte Firenze 2 si osserva in particolare che:

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

osservare nelle cave, con diminuzione delle dimensioni medie dei clasti.

Per l'Orizzonte Firenze 3 si osserva invece che:

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

3.4. Geologia dell'area di intervento

Nell'area in cui verrà realizzata la duna anti rumore a protezione del Polo Scientifico affiorano i Depositi Olocenici, in particolare ai Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1) e i Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5) come mostrato nella carta geologica riportata nella figura 3, disegnata utilizzando i Fogli n. 275040 e 275080 della Carta Geologica Regionale della Regione Toscana – Servizio Geologico Regionale (*Progetto Carg*). Nel capitolo 3.2., è stato descritto il sottosuolo della piana di Firenze, costituito da sedimenti plio-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 ai depositi del Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti, § 3.2.6.), secondo la classificazione UBSU (Unconformity-bounded Stratigraphic Units) e possono essere inoltre correlati all'Orizzonte Firenze 1 e all'Orizzonte Firenze 2 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 3.3.).

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

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

3.4.1.1. bna1

Dall'esame della documentazione inerente le campagne di indagine effettuate si evince che, dal punto di vista meramente litologico, nell'area interessata dalla costruzione della duna anti rumore a protezione del Polo Scientifico affiorano, al di sotto di alcuni decimetri (0 – 0,60 m dal piano di campagna) del terreno vegetale oppure di terreni di riporto, argille e limi a tratti debolmente sabbiosi. Il colore del terreno in posto nelle porzioni più superficiali è giallastro per passare a grigio ad alcuni metri di profondità. Durante la perforazione dei sondaggi nella campagna 2017 non è stata rinvenuta presenza di acqua.

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

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

4. Idrogeologia

4.1. Aspetti idrogeologici generali

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

2) può essere rinvenuto nella maggior parte della pianura. Solo a ovest della città, lungo una linea pressappoco coincidente con la Via Pistoiese, i ciottolami e le ghiaie alluvionali recenti lasciano spazio, verso nord, ai limi e alle argille di natura lacustre o palustre. Il Fiume Arno non ha infatti scavato ed eroso i sedimenti fluvio-lacustri precedenti (Capecchi *et al.* 1976b). Il primo acquifero riscontrabile nell'area dell'Osmannoro è ubicato nei Depositi Alluvionali Antichi. Gli acquiferi sopra elencati sono caratterizzati da porosità primaria e dal punto di vista granulometrico sono composti da ciottoli, ghiaia e sabbia, con una percentuale variabile di matrice limoso-argillosa. Quest'ultima componente influenza indubbiamente il valore della conducibilità idraulica (permeabilità). Tramite diverse tipologie di indagini, 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 Sistema 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 Sistema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia, sono ubicate falde confinate, peraltro alimentate con difficoltà dal fatto di essere disperse in potenti serie argillitiche. Nella piana di Firenze le isofreatiche indicano, come andamento generale, un flusso di falda che dai rilievi collinari si dirige verso il Fiume Arno, con una componente verso ovest in modo concorde con la direzione di flusso dell'Arno. Il gradiente idraulico diminuisce dalle zone pedecollinari verso il centro della valle (da 1,0÷1,5 % a 0,2 %), dovuta all'aumento dei valori di trasmissività dei sedimenti.

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

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche della principale unità geologica presente (bna), è possibile stimare la permeabilità su base qualitativa, in funzione degli elementi da cui dipende (caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, presenza di pozzi, densità del reticolo idrografico) (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 del terreno, acquisita al momento della loro formazione. Tale permeabilità per i Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1) è in genere bassa e diminuisce o aumenta in corrispondenza rispettivamente dei livelli fini o grossolani. Durante le perforazioni dei sondaggi (S39, S94, S95, S121, S122) non è stata rinvenuta acqua ad eccezione del sondaggio S39. La spiegazione dell'acqua rinvenuta nel sondaggio S39 sta nel fatto che per terreni a granulometria fine si assiste a una elevata porosità, a una elevata ritenzione idrica ma a una bassa porosità efficace. Nelle argille e nei limi vi può quindi essere acqua (il sondaggio S39 è stato perforato a novembre), ma poiché vi è alta ritenzione idrica, la stessa non circola: in questi casi si parla di acquicludo.

Poiché il sottosuolo dell'area esaminata appare costituito da terreni fini in massima parte rappresentati da argille e limi si tratta di acquicludi in cui si può avere, nelle stagioni delle piogge, presenza di acqua di ritenzione a causa dell'alta porosità, ma questa acqua non circola in quanto la porosità efficace è molto bassa, dell'ordine di pochi punti percentuali.

Per quanto concerne la permeabilità dei Depositi antropici (h5), anch'essa primaria, è generalmente molto bassa.

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 rinvenivano 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.

Nella carta idrogeologica riportata nella figura 4, le formazioni geologiche presenti nell'area in studio sono state suddivise in base alla permeabilità precedentemente indicata e riassunta nella tabella 1.

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

Tabella 1 - Classi di permeabilità.

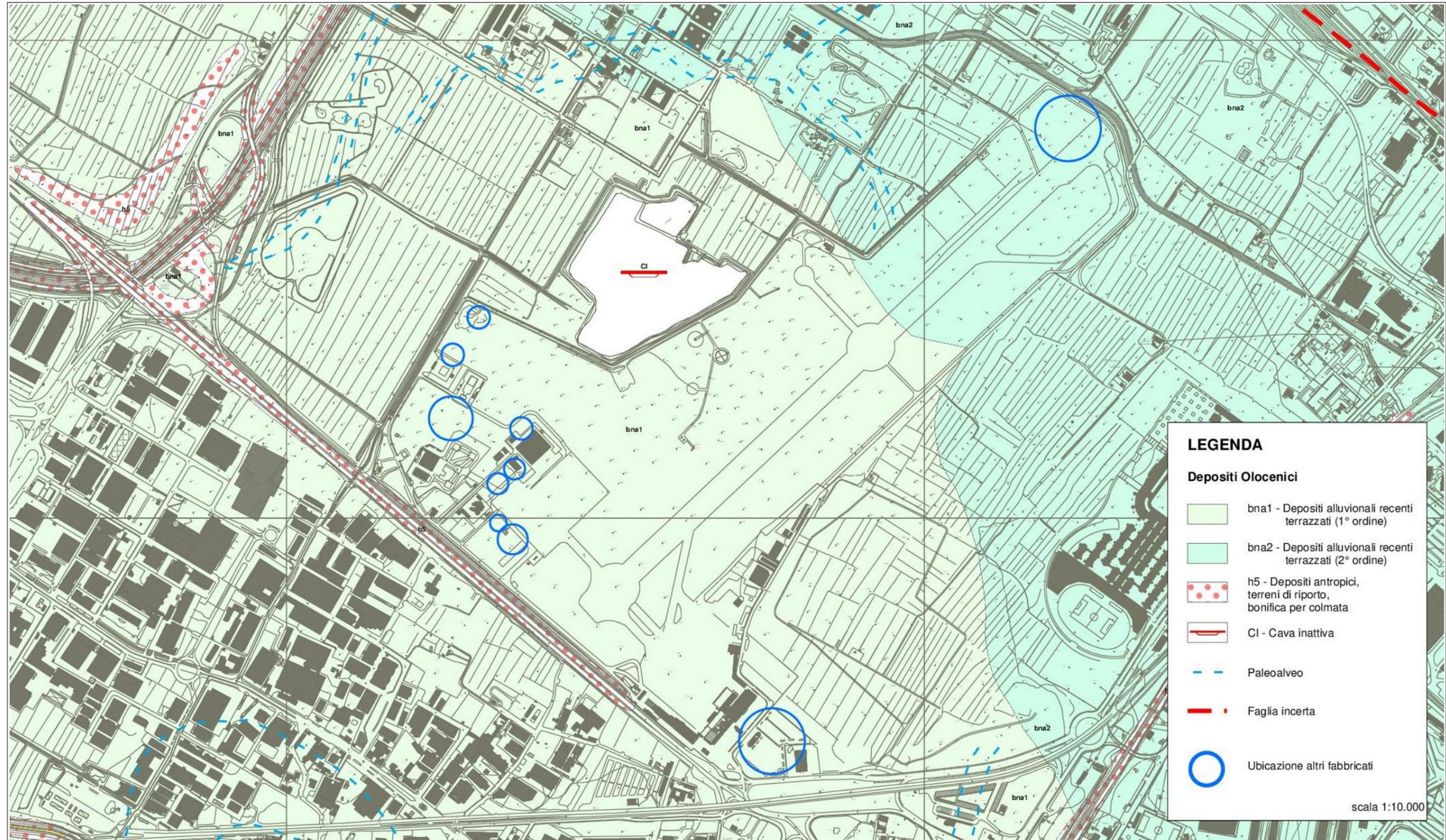


Figura 3 - Carta geologica in scala 1:10.000

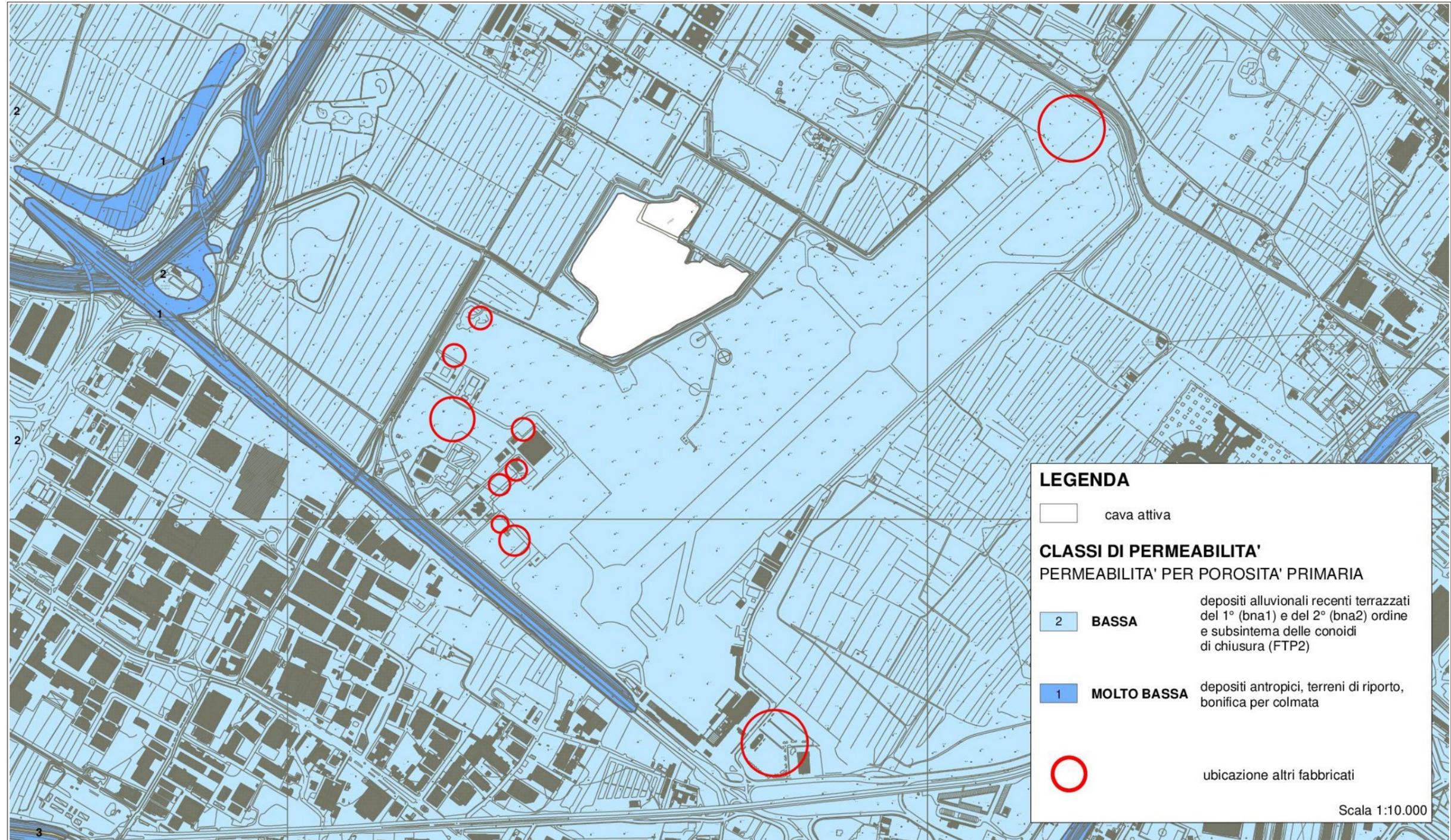


Figura 4 - Carta idrogeologica in scala 1:10.000

4.3. Superficie piezometrica

Come detto, durante l'esecuzione della quasi totalità dei sondaggi realizzati non è stata riscontrata la presenza di acqua; è comunque opportuno fare alcune precisazioni in merito alle interferenze eventualmente presenti e prevedibili tra gli interventi in progetto e le acque di sottosuolo. Come detto nei capitoli precedenti, la zona in studio presenta schematicamente le seguenti caratteristiche idrogeologiche:

- superficialmente è presente un livello dello spessore di un paio di metri al di sotto del piano di campagna, che a seconda della stagione, può essere interessato da saturazione alla profondità compresa tra 0 e 1,5 m; questo livello non ha alcun valore e interesse dal punto di vista della risorsa idrica;
- al di sotto di due metri di profondità dal piano di campagna fino alla profondità di almeno 25 m non è 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 Sistema del Fiume Arno) e con l'Orizzonte Firenze 3 (Sistema di Firenze) che al di sotto dell'area di interesse per il presente studio non risultano essere presenti.

Per la realizzazione dell'opera in progetto son previsti movimenti terra (scavi e riporti) che coinvolgono comunque solo lo strato superficiale dell'Orizzonte Firenze 1 (porzione superiore del Sistema del Fiume Arno). Pertanto le uniche interferenze che si potranno avere tra le opere oggetto della presente relazione e le acque di sottosuolo saranno con quelle che stagionalmente vanno ad occupare i primi metri superficiali al di sotto del piano di campagna (e che quindi nel periodo estivo in cui si sono svolte le indagini del piano di caratterizzazione ambientale non sono state incontrate) e non interesseranno mai l'acquifero saturo principale in quanto assente nell'area di interesse e rilevato a sud nella zona dell'Osmannoro.

5. Geomorfologia e stabilità

5.1. Introduzione

Il nuovi fabbricati in progetto sono situati per la maggior parte (eccetto il parcheggio multipiano e i tre capannoni) nell'area intorno alla Torre di Controllo dell'aeroporto, nella parte

sud-occidentale dell'attuale sedime aeroportuale, a sud del Lago di Peretola, ad una quota media di circa 36 m s.l.m. Il parcheggio multipiano si trova invece nella parte meridionale dell'aeroporto, al di fuori dell'attuale sedime, ad una quota media di circa 38 m s.l.m. I tre capannoni si trovano invece a nord-est dell'aeroporto, ad una quota media di circa 45 m s.l.m..

Come si può notare anche dalla carta geomorfologica di figura 5, 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

L'opera di cui si tratta ricade quasi interamente nel Comune di Firenze e, per una piccola porzione (capannoni impianto fotovoltaico) nel Comune di Sesto Fiorentino; entrambi i comuni sono dotati del Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico e dunque delle Carte di pericolosità previste dalla legislazione vigente.

6.1. Pericolosità geologica

La *Carta della pericolosità geologica* (Tavola 4 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*) classifica l'area in cui sorgerà l'opera in progetto in classe di pericolosità geologica media (G2).

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

La porzione che ricade nel territorio comunale di Sesto Fiorentino è classificata in classe di pericolosità geologica medio-bassa (G2) nella *Carta della pericolosità geologica - sud* (Secondo il Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-3).

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

6.2. Pericolosità idraulica

La *Carta della pericolosità idraulica* (Tavola 5 della *Variante al Piano Strutturale del*

2010) del Comune di Firenze classifica l'area in cui sorgeranno le opere in progetto per la maggior parte in classe di pericolosità idraulica elevata I.3 e una piccola parte, relativa all'area dove sorgeranno i capannoni dell'impianto fotovoltaico, in classe di pericolosità idraulica media I.2.

La porzione che ricade nel territorio del Comune di Sesto Fiorentino è compresa in classe di pericolosità idraulica I.3* (*Aree di potenziale ristagno e/o insufficienza di drenaggio della rete di acque basse*) nella *Carta della pericolosità idraulica ai sensi del 53/R* (Secondo Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-9H).

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 dalle classi di pericolosità idraulica P2 e, limitatamente all'area dove sorgeranno i capannoni dell'impianto fotovoltaico, P1.

6.3. Pericolosità sismica

La *Carta della pericolosità sismica* (Tavola 6 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*) del Comune di Firenze classifica l'area in pericolosità sismica elevata S.3.

La parte compresa nel Comune di Sesto Fiorentino è invece classificata con pericolosità sismica media S.2 nella *Carta della pericolosità sismica - sud* (Secondo Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-4).

7. Classi di fattibilità

Per quanto riguarda le prescrizioni relative alle classi di fattibilità geologica e sismica di seguito assegnate, si evidenzia che il presente studio geologico è basato su dati ottenuti da indagini geognostiche eseguite negli anni 2015 - 2017 nell'area di intervento o nelle immediate vicinanze. In merito agli aspetti idraulici (art. 46 delle Norme Generali del Secondo Regolamento Urbanistico del Comune di Sesto Fiorentino e art. 75 delle N.T.A. del Comune di Firenze).

7.1. Comune di Firenze

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

7.1.1. Fattibilità geologica

In merito agli aspetti geologici, ai sensi della *Matrice della fattibilità geologica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area*, vengono attribuite le seguenti fattibilità:

- per il "Deposito carburanti, deposito antincendio, uffici", fattibilità geologica con normali vincoli F.G.2 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 2 DPGR 36/R/2009*), che prevede le seguenti prescrizioni: *Sono consentiti gli interventi di nuova edificazione e di realizzazione di nuove infrastrutture, nonché la ristrutturazione urbanistica e quella edilizia con demolizione e ricostruzione la cui progettazione deve contenere apposite considerazioni basate su studi ed indagini di dettaglio che diano conto che l'intervento garantisce la sicurezza della popolazione, non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente le condizioni e i processi geomorfologici dell'area interessata;*
- per il "bilanciamento VV.FF.", "Catering" e l'"Aeroclub", fattibilità geologica condizionata F.G.3 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 3 DPGR 36/R/2009*), che 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;*

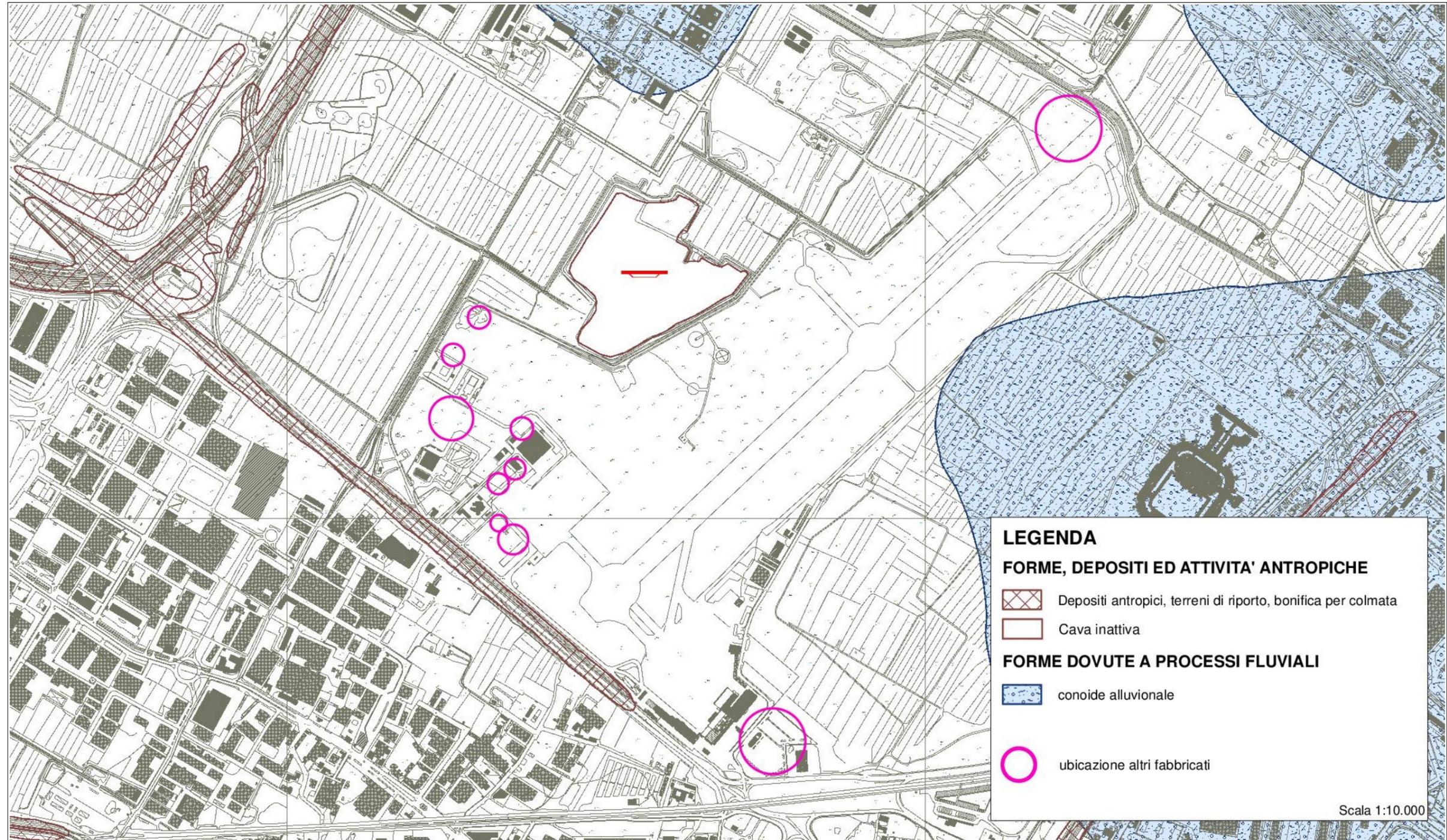


Figura 5 - Carta geomorfologica in scala 1:10.000

- per l'"Officina mezzi", l'"Hangar", i "Mezzi di Rampa", l'"Aviazione Generale", il "Parcheggio Multipiano" e gli "Edifici Logistica", fattibilità geologica condizionata F.G.3 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 4 DPGR 36/R/2009*), che 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.*

7.1.2. Fattibilità idraulica

Per quanto riguarda la fattibilità idraulica, in base alla "Matrice della fattibilità idraulica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area", vengono attribuite le seguenti fattibilità:

- per il "Deposito carburanti, deposito antincendio, uffici", fattibilità idraulica condizionata FI.3 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 2 DPGR 36/R/2009*), che prevede le seguenti prescrizioni: *sono consentiti gli interventi di nuova edificazione o la realizzazione di nuove infrastrutture, la ristrutturazione urbanistica e la ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione a condizione che sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, anche attraverso interventi diretti sulle strutture e sulle dotazioni tecnologiche dei manufatti (infissi a tenuta stagna, impianti di pompaggio, rialzamento prese d'aria, realizzazioni perimetri a tenuta stagna, ecc.), comunque senza aggravio del livello di rischio della zona di intervento e delle zone limitrofe;*
- per il "bilanciamento VV.FF.", "Catering" e l'"Aeroclub", fattibilità idraulica condizionata FI.3 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 3 DPGR 36/R/2009*), che prevede le seguenti prescrizioni: *sono consentiti gli interventi di nuova edificazione o la realizzazione di*

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

- per l'"Officina mezzi", l'"Hangar", i "Mezzi di Rampa", l'"Aviazione Generale", il "Parcheggio Multipiano" e gli "Edifici Logistica" fattibilità idraulica condizionata FI.3 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 4 DPGR 36/R/2009*), che prevede le seguenti prescrizioni: *sono consentiti gli interventi di nuova edificazione o la realizzazione di nuove infrastrutture, la ristrutturazione urbanistica e la ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione a condizione che sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, anche attraverso interventi diretti sulle strutture e sulle dotazioni tecnologiche dei manufatti (infissi a tenuta stagna, impianti di pompaggio, rialzamento prese d'aria, realizzazioni perimetri a tenuta stagna, ecc.), comunque senza aggravio del livello di rischio della zona di intervento e delle zone limitrofe.*

7.1.3. Fattibilità sismica

Relativamente alla fattibilità sismica, secondo l'abaco *Matrice della fattibilità sismica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area*, vengono attribuite le seguenti fattibilità:

- per il "Deposito carburanti, deposito antincendio, uffici", fattibilità sismica con normali vincoli FS.2 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 2 DPGR 36/R/2009*), dove sono consentite tutte le tipologie di intervento senza specifici condizionamenti, fatto salvo quanto contenuto nelle relative normative di carattere nazionale e regionale ed a quanto contenuto nelle norme comuni;

- per il "bilanciamento VV.FF.", "Catering" e l'"Aeroclub" fattibilità sismica condizionata FS.3 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 3 DPGR 36/R/2009*), che prevede le seguenti prescrizioni: *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;*
- per l'"Officina mezzi", l'"Hangar", i "Mezzi di Rampa", l'"Aviazione Generale", il "Parcheggio Multipiano" e gli "Edifici Logistica" fattibilità sismica limitata FS.4 (gruppo: *Costruzione manufatti edilizi, sopraelevazioni e ampliamenti di edifici esistenti – riferibili alla classe di indagine 4 DPGR 36/R/2009*), che prevede le seguenti prescrizioni: *sono consentiti interventi di realizzazione di nuove opere pubbliche o di interesse pubblico nonché di implementazione e potenziamento delle reti di servizi privati non delocalizzabili, subordinandoli alla preventiva esecuzione di studi geofisici e geognostici di dettaglio per la determinazione dell'azione sismica attesa necessaria alla progettazione delle opere e degli interventi necessari ad eliminare i fattori determinanti il livello di pericolosità, tenendo comunque conto di quanto previsto dalle norme comuni. 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.*

7.2. Comune di Sesto Fiorentino

Nella *Relazione geologica di fattibilità (ai sensi del DPGR 53/R/2011)* a supporto del

Secondo Regolamento Urbanistico Indagini Geologico-Tecniche e Idrauliche), sono presenti due tabelle, una per la pericolosità geologica (tabella A) e una per la pericolosità idraulica (tabella B) e sono presenti gli interventi riguardanti le *trasformazioni urbanistico-edilizie soggette a permesso a costruire: Nuovi edifici, anche non destinati alla permanenza continuativa delle persone, da realizzarsi anche nel quadro di interventi di sostituzione edilizia o di ristrutturazione urbanistica.*

L'unico intervento ricadente nel Comune di Sesto Fiorentino è quello relativo alla realizzazione degli edifici di logistica nell'estremità nord dell'attuale pista.

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

7.2.1. Fattibilità geologica

Vista la tipologia di intervento (*Nuovi edifici, anche non destinati alla permanenza continuativa delle persone, da realizzarsi anche nel quadro di interventi di sostituzione edilizia o di ristrutturazione urbanistica*) e la classe di pericolosità geologica media G2 (§ 6.1.), si assegna, secondo i criteri della tabella A contenuta nella *Relazione geologica di fattibilità (ai sensi del DPGR 53/R/2011)* a supporto del Secondo Regolamento Urbanistico Indagini Geologico-Tecniche e Idrauliche, una fattibilità condizionata F.G.3. Le prescrizioni specifiche contenute nell'art. 45, comma 3 delle Norme Generali del Secondo Regolamento Urbanistico sono relative a interventi eseguiti su versanti o che interferiscano con edifici esistenti o in progetto.

7.2.2. Fattibilità idraulica

L'intervento in progetto ricadeo in pericolosità idraulica I.3* (§ 6.2.), in base all'abaco B della relazione di fattibilità precedentemente citata viene attribuita una fattibilità idraulica condizionata F.I.3 (si considera la medesima tipologia di opera precedentemente indicata).

7.2.3. Fattibilità sismica

Viste le tipologie di intervento previste e vista la classe di pericolosità sismica media

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

8. Risultati delle indagini eseguite

8.1. Generalità

Come detto in premessa, le indagini di riferimento per il presente studio sono quelle eseguite da Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporto Engineering S.r.l., nella Campagna di indagini geognostiche realizzate nel 2015 e nel 2017. Di seguito si elencano nel dettaglio le indagini geognostiche realizzate per lo studio delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e meccaniche dei terreni presenti nell'area interessata dalle opere in progetto, ubicate come mostrato in figura 6.

Sondaggi a carotaggio continuo (Campagna TAE 2015 e 2017)

- n. 5 (cinque) sondaggi a carotaggio continuo denominati S97÷S100 e S116, aventi una profondità di 15,0 m dal p.c.;
- n. 2 (due) sondaggi a carotaggio continuo denominati S51 e S122, della profondità di 10,0 m;
- n. 1 (uno) sondaggio a carotaggio continuo denominato S35, della profondità di 35,0 m dal p.c., attrezzato a piezometro;
- n. 1 (uno) sondaggio a carotaggio continuo denominato S40, della profondità di 20,0 m dal p.c., attrezzato a piezometro;
- n.2 (due) sondaggi a carotaggio continuo denominati S37 e S45, della profondità di 4,0 m da p.c.;
- n.1 (uno) sondaggio a carotaggio continuo denominato S46, della profondità di 7,0 m da p.c.;
- n.3 (tre) sondaggi a carotaggio continuo denominati S117÷S119, della profondità di 32 m da p.c.;

- prelievo di campioni indisturbati con fustella di tipo Shelby dai sondaggi realizzati, alle profondità indicate nella tabella 2;

Altri sondaggi

Per il progetto in oggetto sono state anche utilizzate indagini relative a:

- linea della Tramvia (SA TV, S02 TV, S03 TV e S04 TV),
- altri lavori di TAE precedenti (S1A, S6Pz, S3DH, S4, S1B);
- Database Geologico (SIGS).

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
S35	CI1	1,00-1,50	36,025-35,525
S37	CI1	1,00-1,50	36,85-36,35
S40	CI1	1,50-1,90	36,35-35,95
S45	CI1	1,00-1,80	36,65-35,85
S46	CI1	1,50-2,00	35,825-35,325
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
S98	CI1	1,50 ÷ 2,00	36,083 ÷ 35,583
	CI2	3,00 ÷ 3,50	34,583 ÷ 34,083
	CI3	5,00 ÷ 5,50	32,583 ÷ 32,083
S99	CI1	0,50 ÷ 1,00	37,353 ÷ 36,853
	CI2	2,00 ÷ 2,50	35,853 ÷ 35,353
S100	CI1	1,50 ÷ 2,00	36,255 ÷ 35,755
	CI2	3,00 ÷ 3,50	34,755 ÷ 34,255

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
	CI3	5,00 ÷ 5,50	32,755 ÷ 32,255
S116	CI1	2,50 ÷ 3,00	34,332 ÷ 33,832
	CI2	3,50 ÷ 4,00	33,332 ÷ 32,832
	CI3	6,00 ÷ 6,50	30,832 ÷ 30,332
S117	CI1	2,00 ÷ 2,50	34,624 ÷ 34,124
	CI2	4,50 ÷ 5,00	32,124 ÷ 31,624
	CI3	9,00 ÷ 9,50	27,624 ÷ 27,124
S118	CI1	1,60 ÷ 2,00	34,465 ÷ 34,065
	CI2	3,30 ÷ 4,00	32,765 ÷ 32,065
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
S122	CI1	1,50 ÷ 2,00	37,722 ÷ 37,222
	CI2	3,00 ÷ 3,50	36,222 ÷ 35,722

Tabella 2 - Campioni indisturbati.

8.2. 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.

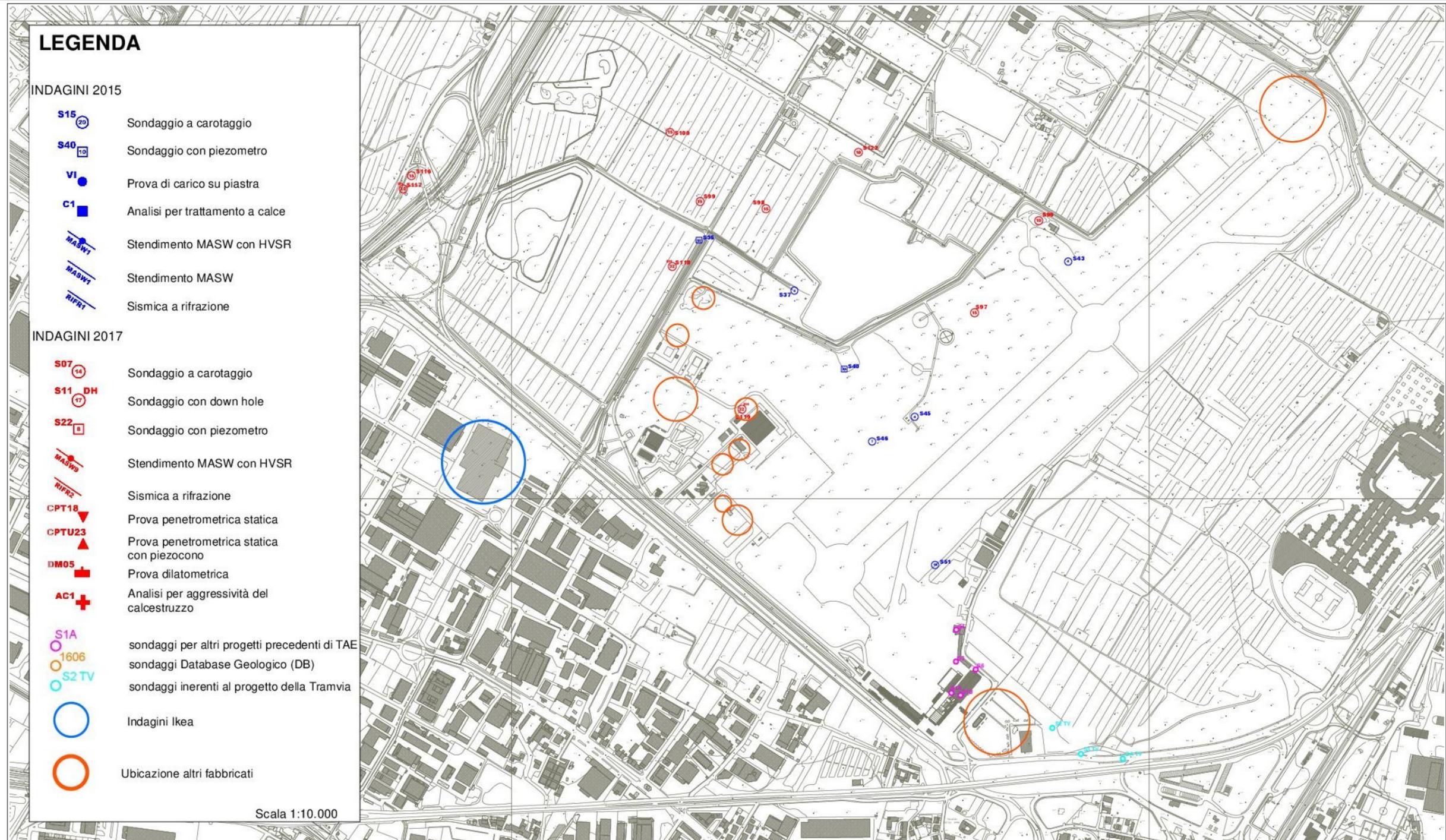


Figura 6 - Ubicazione delle indagini geognostiche realizzate (in scala 1:10.000).

8.3. 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 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 3 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
S35-CI1				X	
S37-CI1	X			X	
S40-CI1				X	
S45-CI1				X	

Sigla	Compressione semplice ELL	Triassiale UU	Triassiale CU	Edometrica*	Taglio CD
S46-CI1				X	
S51-CI1				X	
S97-CI1			X		X
S97-CI2			X		X
S98-CI1			X		X
S98-CI2		X		X	X
S98-CI3	X				X
S99-CI1			X		X
S99-CI2	X				X
S100-CI1			X		X
S100-CI2		X			X
S100-CI3			X		X
S116-CI1	X			X	
S116-CI2			X		
S116-CI3	X				
S117-CI1			X	X	
S117-CI2	X			X	X
S117-CI3		X		X	
S118-CI1			X		X
S118-CI2		X			X
S118-CI3	X				X
S119-CI1			X	X	
S119-CI2	X			X	X
S119-CI3	X			X	X
S122-CI1		X			X
S122-CI2					X

Tabella 3 - 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).

8.4. Indagini geofisiche

8.4.1. Indagine sismica in foro downhole

Nei sondaggi S117, S118 e S119 è stata svolta un'indagine sismica in foro di tipo down-hole; tale indagine prevede l'investigazione del terreno attraverso il posizionamento di un geofono tridimensionale all'interno di un foro di perforazione appositamente attrezzato. Questo tipo di indagine viene utilizzata per determinare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio tra il bedrock sismico ed il piano di imposta delle fondazioni ($V_{s,eq}$). Tale parametro risulta necessario, come già detto, per individuare 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. Per i dettagli operativi della metodologia di acquisizione dei dati, si rimanda al rapporto finale dell'indagine eseguita (allegato A).

L'elaborazione delle onde Sh e delle onde P mostra un progressivo aumento delle velocità con la profondità: nella DH-S117, nella DH-S118 e nella DH-119 sono presenti due gradini, rispettivamente a 4,50 e 12,5 m, a 8,50 e 19,0 m e a 8,5 e 18,5 m dal p.c..

Il valore della $V_{s,eq}$ calcolato, a partire dal p.c., utilizzando la formula seguente, è riportato nella tabella 4:

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

sigla	Intervento	$V_{s,eq}$ [m/s] da p.c.
S117-DH	Viadotto sul Fosso Reale nei pressi della Vasca di laminazione D	307
S118-DH	Edificio Bilanciamento Vigili del Fuoco	310
S119-DH	Centrale tecnologica SO	302

Tabella 4 - Valori $V_{s,eq}$ calcolati a partire dal p.c..

9. Sismicità e definizione dei parametri sismici

9.1. Zona sismica

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

9.2. Parametri sismici

9.2.1. Aspetti generali

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

Nel presente documento si è utilizzato il software fornito da *GeoStru S.r.l.* che permette di calcolare parametri e coefficienti sismici per un generico sito del territorio

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

nazionale. Mediante questo programma, inserendo le coordinate del sito e le caratteristiche progettuali, è possibile ottenere direttamente i parametri relativi al computo dell'azione sismica.

9.2.2. Categoria di di sottosuolo (approccio semplificato)

9.2.2.1. Categoria di sottosuolo (approccio semplificato) – Progetti vari area pressi Torre di controllo

In base ai risultati delle indagini sismiche eseguite nei pressi dell'area in oggetto (§ 8.4.), vale a dire le prove *down-hole* eseguite nei seguenti sondaggi:

- S118-DH, posizionato nei pressi dell'area di progetto del "Bilanciamento VV.FF." ($V_{s,eq}=302$ m/s, rif. p.c.);
- S119-DH, realizzato nei pressi dell'area di progetto dell'"Officina mezzi" ($V_{s,eq}=300$ m/s, rif. p.c.);

poiché il substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s) non è stato rilevato ad una profondità minore di 30 m da p.c., ai sensi del par. 3.2.2 delle NTC 2018 si assegna all'area di intervento la **categoria di sottosuolo C** ("Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s." (Tab. 3.2.II D.M. 17 gennaio 2018 e § C3.2.2 Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019), prendendo a riferimento la quota del piano campagna.

Le due prove sismiche DH eseguite (S118-DH e S119-DH) mostrano il passaggio fra le categorie di sottosuolo C e B, definito dalla $V_{s,eq}$ 360 m/s, in una fascia di profondità compresa fra circa 5.5 m p.c. (S118-DH) e 7.5 m p.c. (S119-DH).

9.2.2.2. Categoria di sottosuolo (approccio semplificato) – Progetto area parcheggio multipiano

A dicembre 2016 è stata eseguita una indagine sismica down-hole nel foro di sondaggio S3-DH, come riportato nella *Relazione geologica e sismica* per il Progetto definitivo relativo alla *Riconfigurazione e ampliamento terminal aeroportuale* redatta dal dr. geol. Andrea Garuglieri (apr 2017). La prova DH ha fornito una $V_{s,eq}$ pari a circa 290 m/s con riferimento al

piano campagna ($V_{s,eq}$ 298 con rif. a -0.5 m p.c.). il passaggio fra le categorie di sottosuolo C e B, definito dalla $V_{s,eq}$ 360 m/s, è rilevato alla profondità di circa 4 m p.c..

Poiché il substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s) non è stato rilevato ad una profondità minore di 30 m da p.c., ai sensi del par. 3.2.2 delle NTC 2018 si assegna all'area di intervento la **categoria di sottosuolo C** (*"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."* (Tab. 3.2.II D.M. 17 gennaio 2018 e § C3.2.2 Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019), prendendo a riferimento la quota del piano campagna (N.B.: in presenza di un eventuale piano interrato, probabilmente verrebbe assegnata la categoria di sottosuolo B).

9.2.2.3. Categoria di sottosuolo (approccio semplificato) – Progetto area capannoni (a nord dell'impianto fotovoltaico)

Per l'area di progetto dei tre capannoni da realizzare a nord dell'impianto fotovoltaico in prossimità del lato meridionale del Canale di cinta orientale, non essendo disponibili indagini sismiche realizzate nei pressi del sito d'intervento, in tale fase progettuale si assegna la categoria di sottosuolo C in considerazione dei valori della $V_{s,eq}$ calcolati in corrispondenza di tutti i rilievi DH eseguiti nell'areale del sedime aeroportuale (con piano di riferimento fino ad alcuni metri da p.c., come specificato nei paragrafi precedenti).

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

Per ricavare i valori dei parametri dell'azione sismica locale per l'area di progetto, si è utilizzato il programma fornito da *GeoStru S.r.l.* assegnando le coordinate geografiche WGS84.

Per determinare gli spettri di risposta elastici del sito, tenuto conto degli effetti locali dovuti all'amplificazione sia stratigrafica che topografica, vengono assegnati determinati parametri progettuali. Questi ultimi, per la definizione dell'azione sismica, sono adottati come segue, ai sensi del § 2.4 del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C2.4 della Circolare n. 7/2019:

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

Di seguito si riportano parametri e coefficienti sismici relativi alle distinte aree di intervento.

9.2.4.1. Parametri dell'azione sismica locale - Progetti vari area pressi Torre di controllo e area parcheggio multipiano

Nella figura 7 sono evidenziate l'area presso la torre di controllo (progetti previsti: Bilanciamento VV.FF., Catering, Hangar A Officina mezzi, Aeroclub, Magazzino mezzi di rampa, Aviazione Generale) e l'area presso il piazzale del parcheggio antistante il terminal passeggeri attuale in cui realizzare il parcheggio multipiano.

Tutti i progetti ricadono all'interno della maglia delimitata in rosso, con ag_{SLV} costante pari a 0.204g (per V_N 100 anni e Classe d'uso IV), nelle fasi progettuali successive andrà ubicato con esattezza l'edificio del Bilanciamento VV.FF. perché forse posto a cavallo di due maglie (quella a nord con ag_{SLV} pari a 0.207g).



Figura 7 - Area presso la torre di controllo e area presso il parcheggio multipiano, tutti i progetti ricadono all'interno della maglia delimitata in rosso, con ag_{SLV} costante pari a 0.204g (per VN 100 anni e Classe d'uso IV)

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

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 43,809421
longitudine: 11,19459
Classe: 4
Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4814,770
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 824,760
Sito 3	ID: 20058	Lat: 43,7626	Lon: 11,2057	Distanza: 5279,078
Sito 4	ID: 20057	Lat: 43,7613	Lon: 11,1366	Distanza: 7098,165

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,076 g
Fo: 2,598
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,093 g
Fo: 2,516
Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,204 g
Fo: 2,408
Tc*: 0,315 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 2475 [anni]
ag: 0,220 g
Fo: 2,418
Tc*: 0,317 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,023
Kv: 0,011
Amax: 1,119
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,028
Kv: 0,014
Amax: 1,375
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,410
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,080
Kv: 0,040
Amax: 2,814
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,380
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,085
Kv: 0,043
Amax: 2,981
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 43.808464
longitudine: 11.193605

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

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

Sito in esame.

latitudine: 43,809421
longitudine: 11,19459
Classe: 4
Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4814,770
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 824,760
Sito 3	ID: 20058	Lat: 43,7626	Lon: 11,2057	Distanza: 5279,078
Sito 4	ID: 20057	Lat: 43,7613	Lon: 11,1366	Distanza: 7098,165

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,076 g

Fo: 2,598
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,093 g
Fo: 2,516
Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,204 g
Fo: 2,408
Tc*: 0,315 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 2475 [anni]
ag: 0,220 g
Fo: 2,418
Tc*: 0,317 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,114
Kv: 0,057
Amax: 1,119
Beta: 1,000

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,140 (0,066 per Muri di sostegno che sono in grado di subire

spostamenti)

Kv: 0,070 (0,033 per Muri di sostegno che sono in grado di subire

spostamenti)

Amax: 1,375

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

spostamenti)

SLV:

Ss: 1,410
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,287 (0,109 per Muri di sostegno che sono in grado di subire

spostamenti) Kv: 0,143 (0,055 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
Amax: 2,814
Beta: 1,000 (0,380 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
SLC:
Ss: 1,380
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,304
Kv: 0,152
Amax: 2,981
Beta: 1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 43.808464
longitudine: 11.193605

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Sito in esame.

latitudine: 43,809421
longitudine: 11,19459
Classe: 4
Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19835	Lat: 43,8112	Lon: 11,1346	Distanza: 4814,770
Sito 2	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 824,760
Sito 3	ID: 20058	Lat: 43,7626	Lon: 11,2057	Distanza: 5279,078
Sito 4	ID: 20057	Lat: 43,7613	Lon: 11,1366	Distanza: 7098,165

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,076 g
Fo: 2,598
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 201 [anni]
 ag: 0,093 g
 Fo: 2,516
 Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
 Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 1898 [anni]
 ag: 0,204 g
 Fo: 2,408
 Tc*: 0,315 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
 Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 2475 [anni]
 ag: 0,220 g
 Fo: 2,418
 Tc*: 0,317 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
 Cc: 1,590
 St: 1,000
 Kh: 0,000
 Kv: 0,000
 Amax: 1,119
 Beta: 0,000

SLD:

Ss: 1,500
 Cc: 1,570
 St: 1,000
 Kh: 0,066
 Kv: 0,033
 Amax: 1,375
 Beta: 0,470

SLV:

Ss: 1,410
 Cc: 1,540
 St: 1,000
 Kh: 0,109
 Kv: 0,055
 Amax: 2,814
 Beta: 0,380

SLC:

Ss: 1,380
 Cc: 1,530
 St: 1,000

Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 2,981
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 43.808464
longitudine: 11.193605

9.2.4.2. Parametri dell'azione sismica locale - Progetto area capannoni a nord impianto fotovoltaico

Nella figura 8 è evidenziata l'area presso l'estremità nord della pista attuale, prevista per la realizzazione del progetto di tre capannoni ad uso logistica.



Figura 8 - Area presso l'estremità nord della pista attuale prevista per il progetto di tre capannoni ad uso logistica

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

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 43,8168057746046
longitudine: 11,2134065716941
Classe: 4
Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 896,196
Sito 2	ID: 19837	Lat: 43,8139	Lon: 11,2731	Distanza: 4800,191
Sito 3	ID: 19615	Lat: 43,8639	Lon: 11,2713	Distanza: 7000,861
Sito 4	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5173,086

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,079 g
Fo: 2,580
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,097 g
Fo: 2,516
Tc*: 0,294 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,210 g
Fo: 2,411
Tc*: 0,318 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 2475 [anni]
ag: 0,227 g
Fo: 2,419
Tc*: 0,320 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,024
Kv: 0,012
Amax: 1,164
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,029
Kv: 0,015
Amax: 1,423
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,400
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,082
Kv: 0,041
Amax: 2,878
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,370
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,087
Kv: 0,044
Amax: 3,048
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.815849

longitudine: 11.212422

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno

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

Sito in esame.

latitudine: 43,816806

longitudine: 11,213407

Classe: 4

Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 896,238
Sito 2	ID: 19837	Lat: 43,8139	Lon: 11,2731	Distanza: 4800,158
Sito 3	ID: 19615	Lat: 43,8639	Lon: 11,2713	Distanza: 7000,820
Sito 4	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5173,068

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	120	[anni]
ag:	0,079	g
Fo:	2,580	
Tc*:	0,284	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	201	[anni]
ag:	0,097	g
Fo:	2,516	
Tc*:	0,294	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	1898	[anni]
ag:	0,210	g
Fo:	2,411	
Tc*:	0,318	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	2475	[anni]
ag:	0,227	g
Fo:	2,419	
Tc*:	0,320	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,500
Cc:	1,590
St:	1,000
Kh:	0,119
Kv:	0,059
Amax:	1,164

	Beta:	1,000
SLD:	Ss:	1,500
	Cc:	1,570
	St:	1,000
	Kh:	0,145 (0,068 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
	Kv:	0,073 (0,034 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
	Amax:	1,423
	Beta:	1,000 (0,470 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
SLV:	Ss:	1,400
	Cc:	1,530
	St:	1,000
	Kh:	0,293 (0,112 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
	Kv:	0,147 (0,056 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
	Amax:	2,878
	Beta:	1,000 (0,380 per Muri di sostegno che sono in grado di subire spostamenti)
SLC:	Ss:	1,370
	Cc:	1,530
	St:	1,000
	Kh:	0,311
	Kv:	0,155
	Amax:	3,048
	Beta:	1,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.815849

longitudine: 11.212422

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati

Sito in esame.

latitudine: 43,816806

longitudine: 11,213407

Classe: 4

Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19836	Lat: 43,8126	Lon: 11,2039	Distanza: 896,238
--------	-----------	--------------	--------------	-------------------

Sito 2	ID: 19837	Lat: 43,8139	Lon: 11,2731	Distanza: 4800,158
--------	-----------	--------------	--------------	--------------------

Sito 3	ID: 19615	Lat: 43,8639	Lon: 11,2713	Distanza: 7000,820
Sito 4	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 5173,068

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 120 [anni]
ag: 0,079 g
Fo: 2,580
Tc*: 0,284 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,097 g
Fo: 2,516
Tc*: 0,294 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,210 g
Fo: 2,411
Tc*: 0,318 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 2475 [anni]
ag: 0,227 g
Fo: 2,419
Tc*: 0,320 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 1,164
Beta: 0,000

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,570

	St:	1,000
	Kh:	0,068
	Kv:	0,034
	Amax:	1,423
	Beta:	0,470
SLV:		
	Ss:	1,400
	Cc:	1,530
	St:	1,000
	Kh:	0,112
	Kv:	0,056
	Amax:	2,878
	Beta:	0,380
SLC:		
	Ss:	1,370
	Cc:	1,530
	St:	1,000
	Kh:	0,000
	Kv:	0,000
	Amax:	3,048
	Beta:	0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 43.815849
longitudine: 11.212422

* * *

Ai sensi del R.U. 2015, N.T.A § 7.1.3. art. 76 comma 1, il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica (Ss) è quello derivante dall'indagine sismica specifica condotta sull'area di intervento (e quindi relativo alla categoria di sottosuolo C) in quanto più cautelativo rispetto al fattore di amplificazione sismica riportato sulla *Carta del fattore di amplificazione sismica locale* della Variante al Piano Strutturale 2010 per il sito in oggetto (l'area è caratterizzata da un fattore di amplificazione FA minore di 1.2). Nei casi in cui invece il riferimento sia la categoria di sottosuolo B, il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica (Ss) è pari a $1.18 \div 1.20$, uguagliando di fatto il fattore di amplificazione FA (< 1.2).

10. Modellazione geologica e geotecnica

10.1. Sezioni litologiche

Nell'allegato A è mostrata la sezione B-B' nella quale sono riportate le colonne litologiche delle verticali di indagine di interesse per gli interventi oggetto della presente relazione, in particolare per quello relativo alla realizzazione del nuovo parcheggio multipiano. La traccia della sezione è indicata nella figura 9.

10.2. Modello geologico del sottosuolo

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

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

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

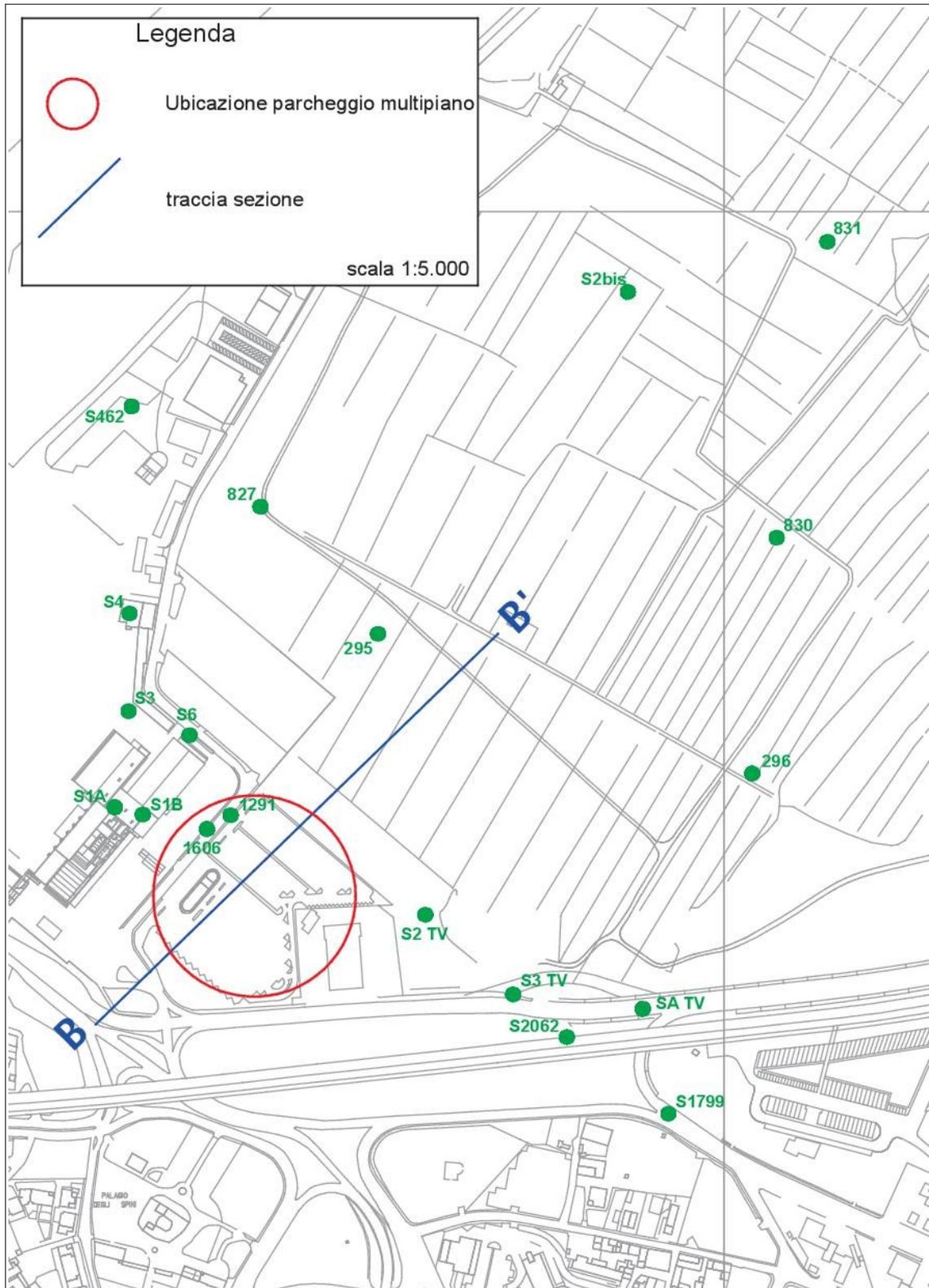


Figura 9 - Ubicazione traccia sezione A-A' nell'area dove verrà realizzato il nuovo parcheggio multipiano.

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

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

Dal punto di vista idrogeologico, si deve tenere in considerazione l'assenza di un acquifero nei terreni argilloso limosi che costituiscono il sottosuolo del sedime aeroportuale, terreni corrispondenti ad un "*aquiclude*" o - nella migliore delle ipotesi - ad un "*acquitarzo*", con presenza di falde di entità limitate o sospese nei corpi lenticolari di ghiaie e sabbie poste a diverse profondità, fra le quali le più continue e produttive sono l' "*Orizzonte Firenze 2*" posto a circa -10÷-13 m p.c., e l' "*Orizzonte Firenze 3*" posto a circa -25÷-32 m p.c. rinvenuto nei sondaggi aventi maggiore profondità.

Nell'area circostante la torre di controllo, il livello piezometrico è stato registrato a circa -2 m p.c. (nov. 2015) nel sondaggio S40-PZ attrezzato a piezometro e profondo 20 m (tubo fessurato da 14 a 20 m p.c. in argille e limi) e a circa -5 m p.c. (nov. 2015) nel sondaggio S35-PZ attrezzato a piezometro e profondo 35 m (tubo fessurato da 26 a 35 m p.c. in argille e limi). Un ulteriore punto di controllo è fornito dal più distante piezometro S44-PZ profondo 10 m (ubicato lungo Via del Termine, dopo gli attuali uffici TAE), anch'esso con livello piezometrico a circa -2 m p.c. (nov. 2015) con tubo fessurato da 5 a 10 m p.c. in argille e limi.

Per l'area di progetto del parcheggio multipiano, si fa riferimento alla *Relazione*

geologica e sismica per il Progetto definitivo relativo alla *Riconfigurazione e ampliamento terminal aeroportuale* redatta dal dr. geol. Andrea Garuglieri (apr 2017). In tale documento, le misurazioni del livello piezometrico eseguite in alcuni piezometri ubicati nei pressi del terminal esistente hanno fornito soggiacenze pari a 6.13 m p.c. (dic 2016) in Pz1 per l'Orizzonte Firenze 2 (falda semiconfinata); a 11÷12 m p.c. (dic 2016-mar 2017) in S6-PZ e in S1291 (archivio SIGS) per l'Orizzonte Firenze 3 (falda confinata). Inoltre, come evidenziato dal piezometro S2-PZ, nei periodi invernali i primi metri superficiali possono presentare soggiacenze di pochi decimetri nelle "falde" di limitata estensione alloggiate nei terreni a granulometria mista (anche per ristagno delle acque meteoriche).

Oltre al periodo stagionale di misurazione, il livello piezometrico è anche funzione dei lunghi tempi di ricarica da parte dei terreni costituenti l'*aquiclude* o l'*acquitardo* (da prove edometriche, ordine di grandezza per $k = 10^{-9} \div 10^{-10}$ cm/s).

In fasi progettuali successive è ovviamente necessario un monitoraggio più accurato.

Per l'area di progetto relativa ai tre capannoni previsti a nord dell'impianto fotovoltaico (presso l'estremità settentrionale della pista attuale), il modello geologico locale prevede nei primi 15 m superficiali la presenza di terreni coesivi (limi argillosi, compatti, con percentuale variabile di clasti, ghiaia e ghiaietto di natura arenacea e calcarea marnosa), interrotti da spessori di 1÷2 m costituiti da terreni incoerenti (sabbie e ghiaie in matrice limo-argillosa) corrispondenti a corpi lenticolari di *fan-delta* costruiti dai paleocorsi che dal versante settentrionale si immettevano nel bacino dell'attuale piana di Quinto e di Castello.

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

10.3.1. Aspetti generali

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

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

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

10.3.2. Modello geotecnico - area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale)

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

- **livello geotecnico 1 (da 0.00 a 2.00÷2.50 m p.c.):** limo con argilla e argilla con limo, debolmente sabbioso; localmente presente materiale di riporto. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione. In prevalenza argille inorganiche ad alta plasticità (CH), localmente a bassa plasticità (CL), secondo la classificazione di Casagrande;
- **livello geotecnico 2 (da 2.00÷2.50 a 4.50÷6.00 m p.c.):** argilla con limo e limo con argilla, debolmente sabbioso e/o ghiaioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione. In prevalenza argille inorganiche ad alta plasticità (CH), in minor misura a bassa plasticità (CL), secondo la classificazione di Casagrande;

- **livello geotecnico 3 (da 4.50÷6.00 a 9.00÷9.50 m p.c.):** argilla con limo, talvolta debolmente sabbiosa o ghiaiosa. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione. Argille inorganiche ad alta plasticità (CH) secondo la classificazione di Casagrande.

Nelle tabelle 5 e 6 viene riportato il *modello geotecnico* del sottosuolo dell'intera area di progetto ed i *valori caratteristici*, definiti in base alle seguenti considerazioni:

livello geotecnico 1:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati nell'area presa a riferimento per i progetti previsti e in un areale limitrofo posto all'interno del sedime aeroportuale: S100, S40-pz, S37, S35-pz, S45, S46, S51, S99, S98, S97, M14 (ex bonifica piazz. Ovest), S118, S119;
- calcolato ϕ' e c' (da TxCU) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 22.3^\circ$; $c' = 7.5$ kPa); ϕ' e c' (da TxCU e TG DIR CD, in un unico insieme, sebbene non ottenuti nelle stesse condizioni) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 21.1^\circ$; $c' = 7.8$ kPa).

livello geotecnico 2:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati nell'area presa a riferimento per i progetti previsti e in un areale limitrofo posto all'interno del sedime aeroportuale (o al suo esterno, come il centro commerciale Ikea): S150-S157-S167 (Ikea), S100, S116, S117, S99, S98, S97, M14 (ex bonifica piazz. Ovest), S118, S119;
- calcolato ϕ' e c' (da TxCU) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 18.9^\circ$; $c' =$ non significativo); ϕ' e c' (da TG DIR CD) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 14.7^\circ$; $c' = 4.0$ kPa); ϕ' e c' (da TxCU, TxCD e TG DIR CD, in un unico insieme, sebbene non ottenuti nelle stesse condizioni) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 16.5^\circ$; $c' =$ non significativo);
- calcolato C_u (da ELL) e C_u (da TxUU) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $C_u = 41$ kPa; $C_u = 53$ kPa, anche se da interpretare statisticamente).

livello geotecnico 3:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati nell'area presa a riferimento per i progetti previsti e in un areale limitrofo posto all'interno del sedime aeroportuale: S100, S116, S117, S118, S119;
- calcolato ϕ' e c' (da TG DIR CD) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 20.5^\circ$; $c' =$ non significativo statisticamente); ϕ' e c' (da TxCU e TG DIR CD, in un unico insieme, sebbene non ottenuti nelle stesse condizioni) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 20.9^\circ$; $c' = 0.6$ kPa);
- calcolato C_u (da ELL) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile, $C_u = 95$ kPa.

Per quanto riguarda il valore del volume significativo correlato a ciascuna opera in progetto, i campioni indisturbati più profondi prelevati dai sondaggi finora realizzati si attestano a profondità (ca. 9 m p.c.) che in alcuni casi possono non essere sufficienti a caratterizzarlo pienamente, pertanto nelle successive fasi progettuali dovranno essere prelevati campioni ritenuti atti a definire il volume significativo del sottosuolo interessato da ciascuna opera da realizzare.

A tal riguardo, facendo riferimento a dati geologici e geotecnici ottenuti da sondaggi realizzati per il centro commerciale IKEA, ubicato sul lato corsia sud della A11 di fronte all'area di interesse, disponibili sull'archivio del Sistema Informativo Geologico del Sottosuolo (S.I.G.S.) del Comune di Firenze a libera consultazione, si è definito un modello geotecnico per i terreni profondi, da collegare al modello sopra esposto (da intendersi come continuazione del livello geotecnico 3). In tabella 7 è inserito tale modello geotecnico "profondo" con dati relativi ai terreni posti nella fascia di profondità 8÷25 m p.c.. Sono riportati anche i dati dei campioni più profondi (prelevati a 9 m p.c.) contenuti nel livello geotecnico 3, per collegarli e confrontarli con quelli dei campioni della fascia profonda suddetta 8÷25 m p.c..

I campioni disponibili per il modello geotecnico "profondo" mostrano caratteristiche geotecniche tutto sommato analoghe a quelle presentate dai campioni soprastanti del livello geotecnico 3, le principali variazioni sono le seguenti:

- limite di liquidità (LL%) sempre maggiore di 60 (59÷75) con l'eccezione di un campione, sempre nel campo quindi delle argille ad alta plasticità (CH), con indice di plasticità (IP %) quasi sempre superiore a 40;
- indice dei vuoti (e) sempre ben superiore a quello dei campioni del livello 3;
- angolo di resistenza al taglio (ϕ'), da prova TG DIR CD, con valori superiori a quelli del livello 3.

Come descritto nel modello geologico (§ 10.2.), considerando l'assenza di un acquifero nei terreni argilloso limosi che costituiscono il sottosuolo del sedime aeroportuale, terreni corrispondenti ad un "aquiclude", con presenza di falde di entità limitate o sospese nei corpi lenticolari di ghiaie e sabbie poste a diverse profondità (in genere fra 20 e 30 m p.c., per quelle più superficiali), il **livello piezometrico** è stato registrato a circa -2 m p.c. nel piezometro S40-PZ profondo 20 m (tubo fessurato prof. 14÷20 m p.c. in argille e limi) e a circa -5 m p.c. nel piezometro S35-PZ profondo 35 m (tubo fessurato prof. 26÷35 m p.c. in argille e limi). Oltre al periodo stagionale di misurazione, il livello piezometrico è anche funzione dei lunghi tempi di ricarica da parte dei terreni costituenti l'*aquiclude* ($k=10^{-9}\div 10^{-10}$ cm/s, da prove edometriche). In fasi progettuali successive è ovviamente necessario un monitoraggio più accurato.

10.3.3. *Modello geotecnico - area Parcheggio multipiano*

Per la definizione del modello geotecnico sono stati considerati i sondaggi realizzati nell'ambito dei seguenti progetti:

- sondaggi S1A (apr 2007) e S1B (nov 2009), S3-DH (dic 2016), S4 (feb 2017), S6-pz (feb 2017), indagini pregresse svolte per conto di Toscana Aeroporti;
- sondaggi S02 tramvia (2007), S03 tramvia (2007), S04 tramvia (2007), SA tramvia (2014), indagini svolte per il progetto della Linea 2 Viale Guidoni;
- sondaggi 1423 (SIGS), 1424 (SIGS), 1425 (SIGS), indagini liberamente accessibili nell'archivio S.I.G.S. del Comune di Firenze.

Le figure 10, 11, 12 e 13 mostrano la distribuzione, con la profondità, dell'indice di plasticità (IP%) e dei parametri di resistenza (C_u , ϕ' , c') dei terreni coesivi costituenti il sottosuolo dell'area di progetto.

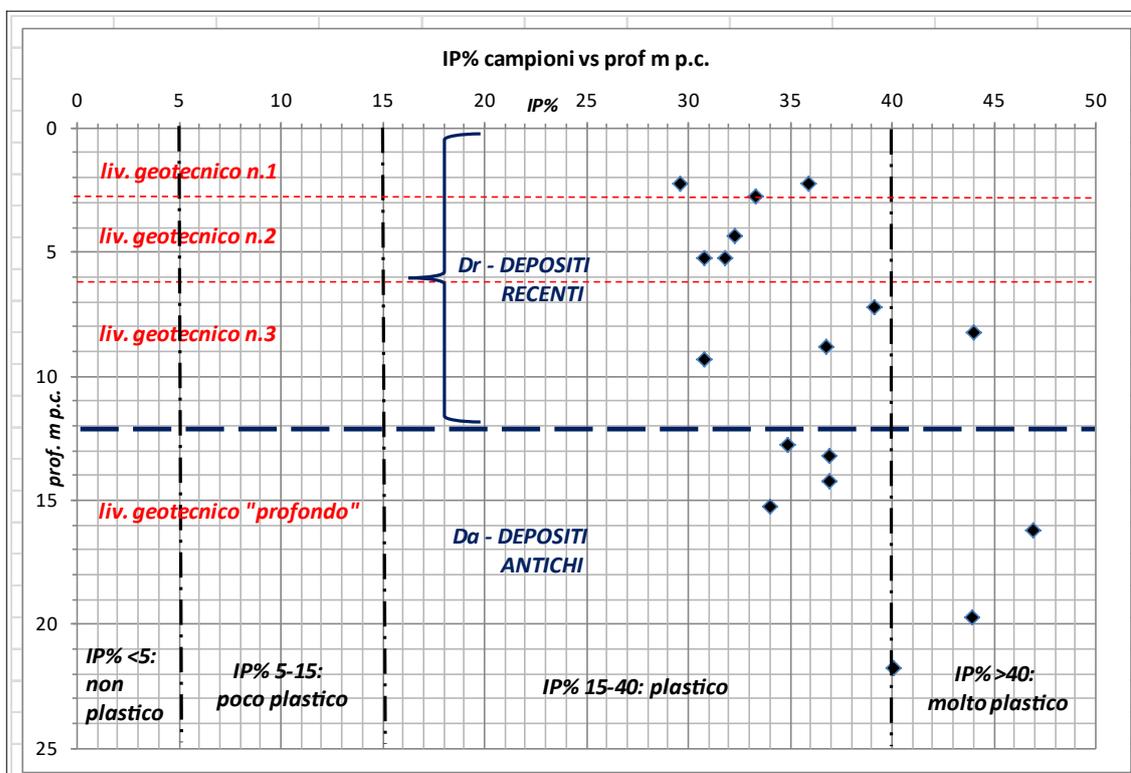


Figura 10 - Distribuzione dei valori dell'indice di plasticità (IP%) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano

Sui grafici è riportato il limite fra *Depositi alluvionali recenti ed attuali (Dr)* e *Depositi alluvionali antichi (Da)*, con riferimento alla descrizione al § 10.2.. Sebbene non molto chiare ed evidenti, sembrano esistere alcune minime variazioni fra le due tipologie di depositi. Sui grafici sono marcate anche le profondità medie (m p.c.) fra i vari livelli geotecnici evidenziati in modelli geotecnici adottati per altri progetti del sedime aeroportuale di cui al MP2035. Le variazioni in questo caso non sono più distinguibili, perché tali livelli erano stati identificati primariamente in base ai valori del parametro OCR da prove CPTU, queste ultime indagini non disponibili per l'area del parcheggio multipiano. Viene pertanto adottato un modello geotecnico basato sulla modellazione geologica di cui al § 10.2., separando i depositi recenti ed attuali (Dr) dagli antichi (Da).

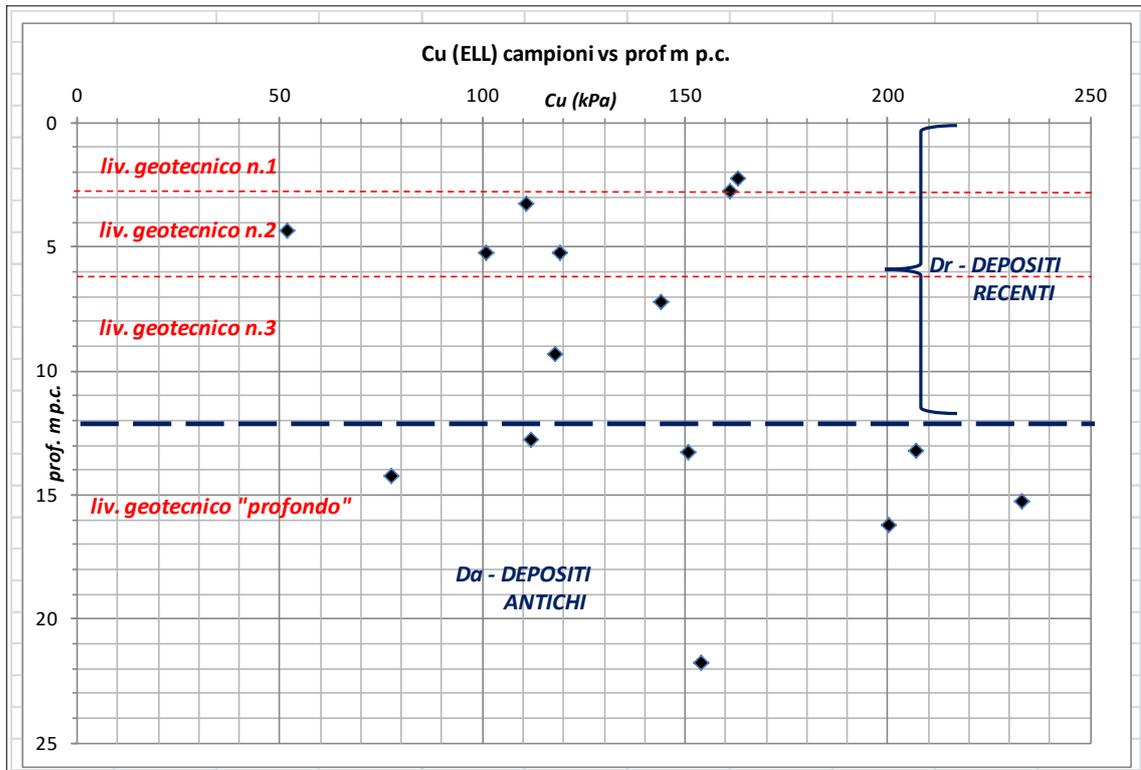


Figura 11 - Distribuzione dei valori della resistenza non drenata (C_u , in kPa, da prova ELL) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano.

Tenuto conto del *volume significativo* correlato alle varie opere in progetto, è stato definito il modello geotecnico del sottosuolo dell'intera area di intervento, come specificato. Sulla base delle prove geognostiche e sismiche eseguite sono stati identificati i seguenti livelli:

- **livello geotecnico "Dr" (da 0 a circa 12 m p.c.):** argilla con limo, debolmente sabbiosa, talora debolmente ghiaiosa; presente materiale di riporto. Argille inorganiche ad alta plasticità (CH) secondo la classificazione di Casagrande;
- **livello geotecnico "Da" (da circa 12 m p.c. a (almeno) 20÷22 m p.c.):** argilla con limo, talvolta debolmente sabbiosa e/o ghiaiosa. Argille inorganiche ad alta plasticità (CH) secondo la classificazione di Casagrande.

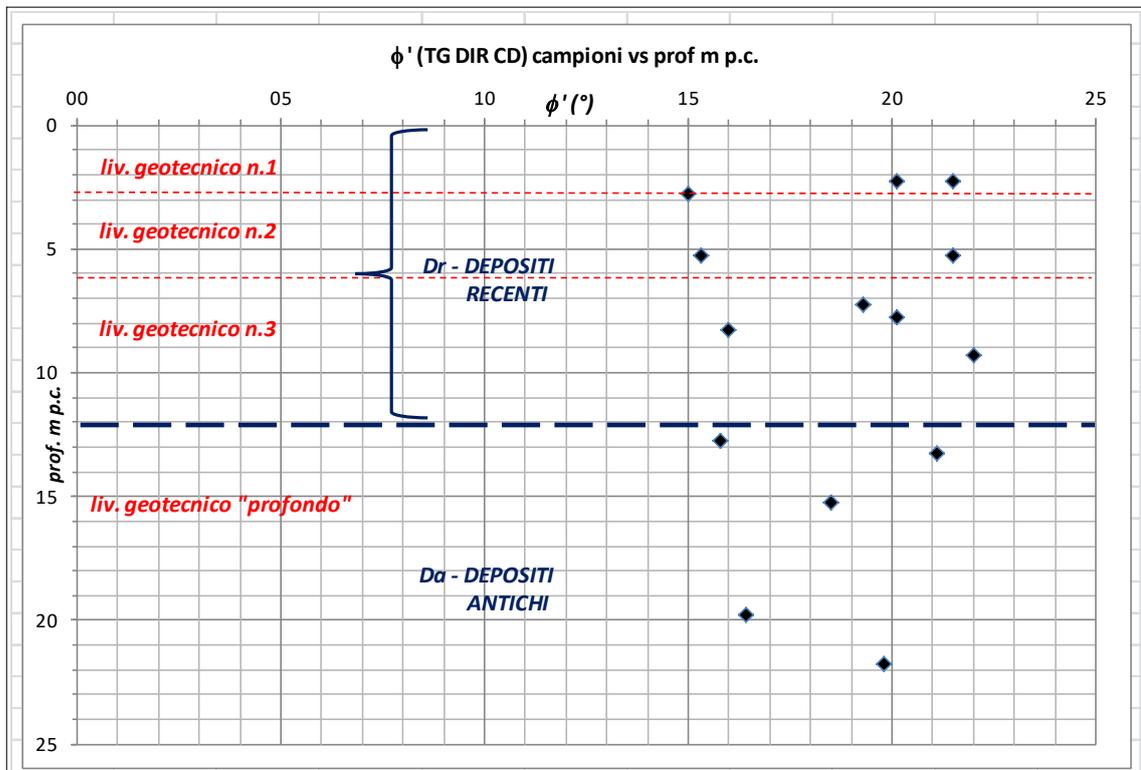


Figura 12 - Distribuzione dei valori dell'angolo di resistenza al taglio efficace (ϕ' , da prova TG DIR CD) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano.

Nelle tabelle 8, 9, 10 e 11 viene riportato il *modello geotecnico* del sottosuolo dell'area di progetto ed i *valori caratteristici*, definiti in base alle seguenti considerazioni:

livello geotecnico "Dr":

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati in una superficie limitrofa all'area di progetto, anche esterna al sedime aeroportuale: S1A (apr 2007), S1B (nov 2009), S3-DH (dic 2016), S4 (feb 2017), S6-pz (feb 2017), S02 tramvia (2007), S03 tramvia (2007), SA tramvia (2014), 1423 (SIGS), 1425 (SIGS);
- calcolato ϕ' , c' (da TG DIR CD) e C_u (da ELL) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 14.6^\circ$; $c' = 9.9$ kPa; $C_u = 65$ kPa).

livello geotecnico "Da":

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati in una

superficie limitrofa all'area di progetto, anche esterna al sedime aeroportuale: S1A (apr 2007), S1B (nov 2009), S3-DH (dic 2016), S4 (feb 2017), S6-pz (feb 2017), S02 tramvia (2007), S03 tramvia (2007), S04 tramvia (2007), SA tramvia (2014), 1423 (SIGS), 1424 (SIGS), 1425 (SIGS);

- calcolato ϕ' , c' (da TG DIR CD) e C_u (da ELL) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi' = 14.7^\circ$; $c' = 11.7$ kPa; $C_u = 73.5$ kPa).

Come descritto nel modello geologico (§ 10.2.), considerando l'assenza di un acquifero nei terreni argilloso limosi che costituiscono il sottosuolo del sedime aeroportuale - terreni corrispondenti ad un "aquiclude" o, nel migliore dei casi, ad un "acquitarzo" soprattutto nella porzione superficiale - falde di entità limitate o sospese nei corpi lenticolari di ghiaie e sabbie poste a diverse profondità sono l'"Orizzonte Firenze 2" (posto a circa -10÷-13 m p.c. rinvenuto nei sondaggi S1B, S3-DH, in minor misura in S6-PZ), e l'"Orizzonte Firenze 3" (posto a circa -25÷-32 m p.c. rinvenuto nei sondaggi aventi maggiore profondità come S1B, S1291 (SIGS), S3-DH, S6-PZ (v. Sezione geologica B-B', nell'allegato A).

10.3.4. Modello geotecnico - area Capannoni lato nord impianto fotovoltaico

Prendendo a riferimento il modello geologico descritto al paragrafo 10.2., tenuto conto del *volume significativo* correlato ai capannoni in progetto, è stato definito il modello geotecnico del sottosuolo dell'area di intervento. Sulla base delle prove geognostiche e sismiche eseguite in un areale esterno alla zona interessata, priva di indagini, sono stati identificati i seguenti livelli (v. anche ubicazione della sezione SO-NE parallela alla pista in figura 14 e dettaglio dell'area di progetto in figura 15).

- **livello geotecnico 1 (da 0.00 a 2.00÷2.50 m p.c.):** limo argilloso compatto, argilla con limo e limo con argilla, debolmente sabbioso, presenza diffusa di clasti; localmente presente materiale di riporto. Valori molto elevati della pressione di preconsolidazione (così come per il modulo edometrico Med, nei gradini a bassi valori di pressione durante la prova edometrica). In prevalenza argille inorganiche ad alta plasticità (CH), nella porzione superficiale a bassa plasticità (CL), secondo la classificazione di Casagrande;

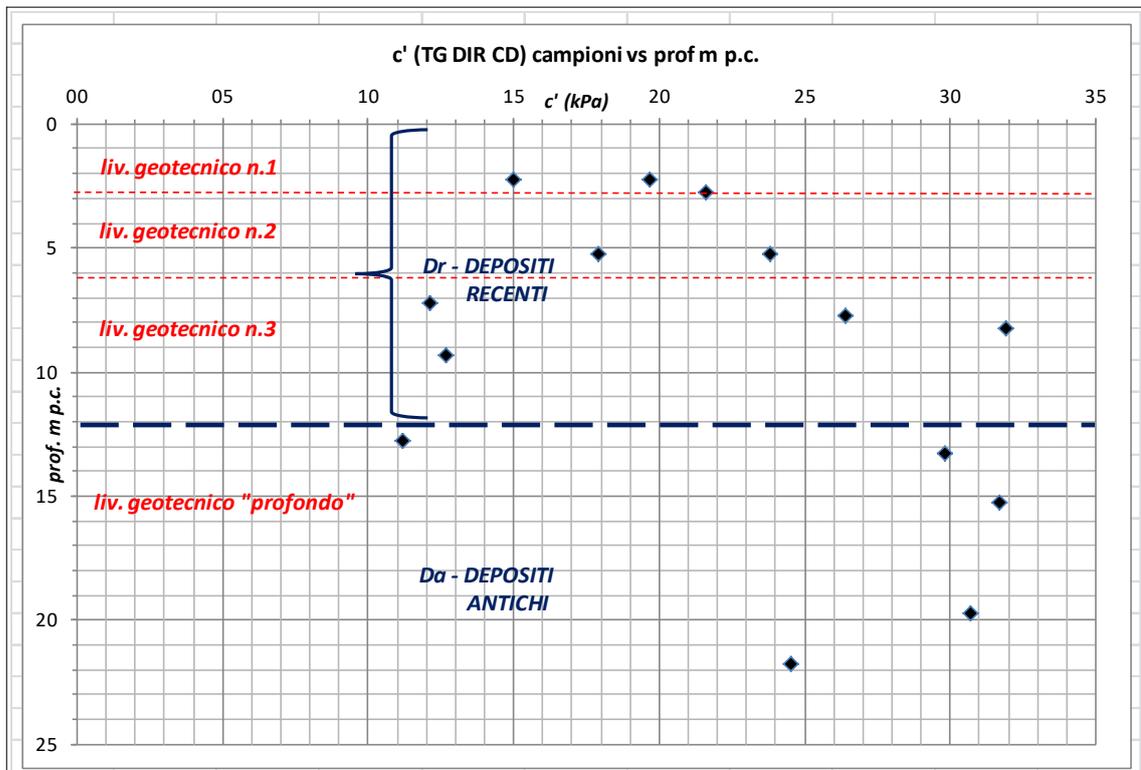


Figura 13 - Distribuzione dei valori della coesione efficace (c' , in kPa, da prova TG DIR CD) con la profondità, per i sondaggi presi a riferimento per l'area del parcheggio multipiano

- **livello geotecnico 2 (da 2.00÷2.50 a 4.50÷5.00 m p.c.):** limo argilloso da compatto a mediamente compatto, argilla con limo, debolmente sabbioso e/o ghiaioso. Valori molto elevati della pressione di preconsolidazione (così come per il modulo edometrico Med, nei gradini a bassi valori di pressione durante la prova edometrica). In prevalenza argille inorganiche ad alta plasticità (CH), in minor misura a bassa plasticità (CL), secondo la classificazione di Casagrande;
- possibile presenza di un **livello geotecnico "a sabbia e ghiaia"** nella fascia di profondità da **4.00÷5.00 a 5.00÷7.00 m p.c.**, con spessore stimato di **1.00÷1.50 m** (sezione geologica nelle figure 14 e 15), in terreni incoerenti con buon grado di addensamento;

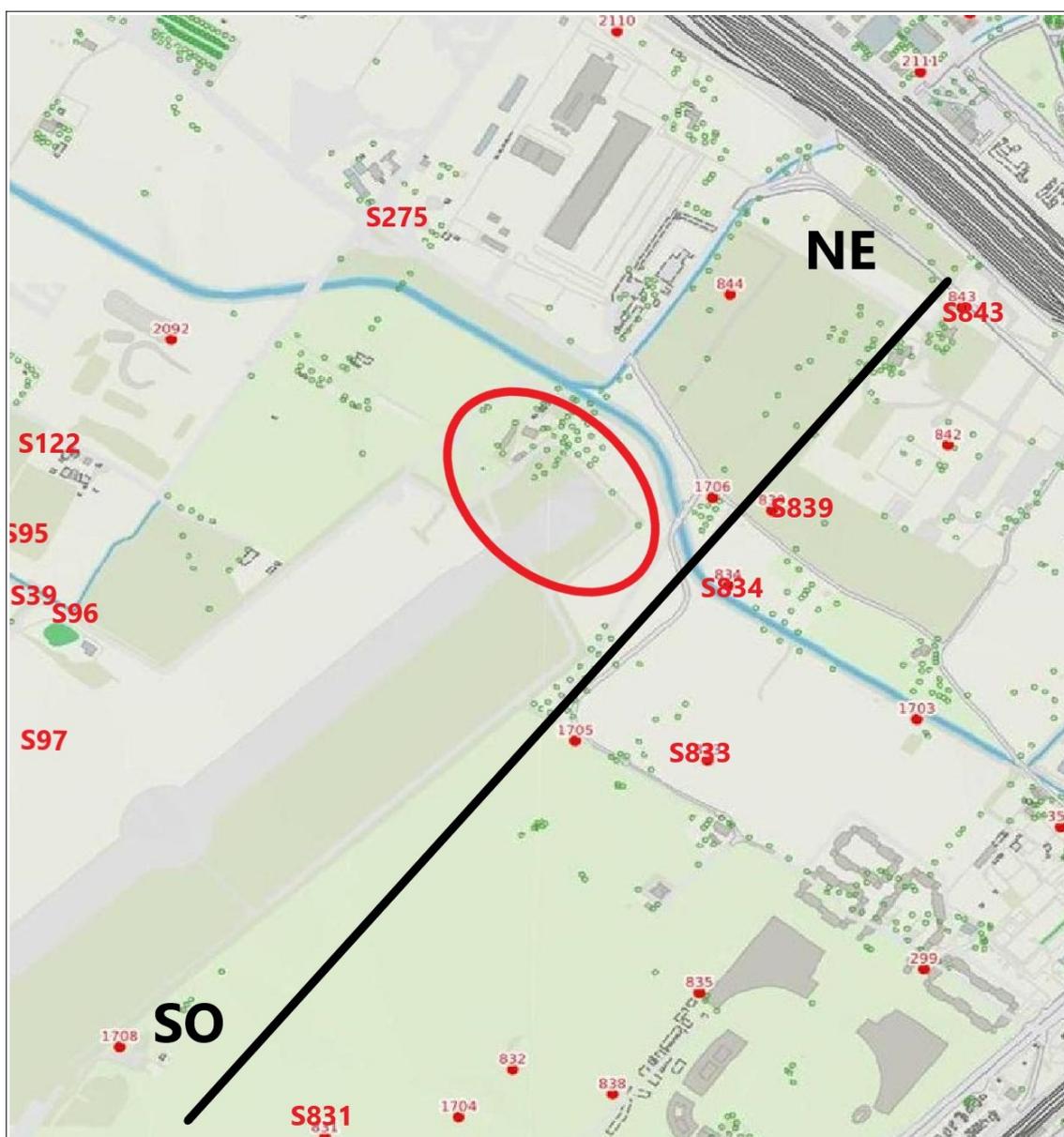


Figura 14 - Traccia della sezione SO-NE parallela alla pista attuale, in corrispondenza dell'area di progetto dei capannoni (ellisse in rosso), con ubicazione sondaggi campagna TAE 2015-2017 (S39, S95, S96, S97, S122) e sondaggi in archivio SIGS Comune di Firenze (S831, S833, S834, S839, S843, S275)

- **livello geotecnico 3 (da 4.50÷5.00 a 9.00÷10.00 m p.c.):** limo argilloso da compatto a mediamente compatto, argilla con limo e limo con argilla, ghiaioso, talvolta debolmente

sabbioso. Valori abbastanza elevati della pressione di preconsolidazione. Argille inorganiche sia ad alta plasticità (CH) che a bassa plasticità (CL), secondo la classificazione di Casagrande.

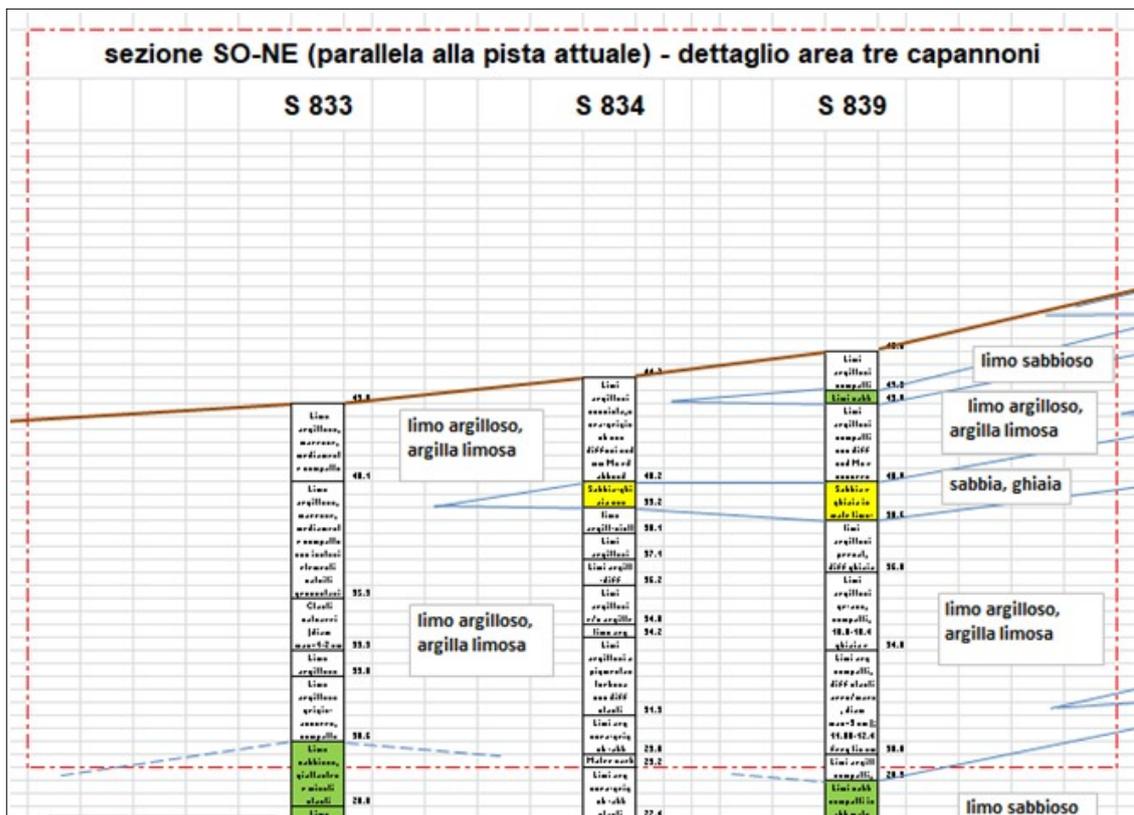


Figura 15 - Dettaglio della sezione SO-NE parallela alla pista attuale, in corrispondenza dell'area di progetto dei capannoni

Nella tabelle 12 e 13 viene riportato il *modello geotecnico* del sottosuolo dell'area di progetto ed i *valori caratteristici* (ricordando che l'area è priva di indagini e che per il modello si è fatto riferimento ad indagini ubicate ad una distanza tale che indica un quadro geologico con variazioni anche significative soprattutto nella presenza e distribuzione degli strati incoerenti), definiti in base alle seguenti considerazioni:

livello geotecnico 1:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai sondaggi S39-S96-S97-S122, ubicati presso le estremità SE dei progetti della duna del Polo Scientifico e della

pista;

- calcolato ϕ' e c' (da TxCU e da TG DIR CD, in un unico insieme, sebbene non ottenuti nelle stesse condizioni) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile ($\phi' = 15.7^\circ$ e $c' = 12.0$ kPa), ricordando la scarsa significatività dell'esiguo insieme della popolazione dei dati. Per la resistenza non drenata (C_u), si può indicativamente segnalare l'elaborazione statistica del dato ottenuto dalla prova TxUU secondo Schneider e Cherubini & Orr, che propongono una covarianza per la C_u , rispettivamente del 40% e 55%, ottenendo valori pari a 87 kPa e 79 kPa.

livello geotecnico 2:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai sondaggi S95-S97-S122, ubicati presso le estremità SE dei progetti della duna del Polo Scientifico e della pista, e dal sondaggio S275 (Cavet Treesse TAV BO-FI mar 1998, disponibile sull'archivio "Geoscopio" della Regione Toscana) perché prossimo all'area di progetto;
- calcolato ϕ' e c' (da TxCU e da TG DIR CD, in un unico insieme, sebbene non ottenuti nelle stesse condizioni) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile ($\phi' = 14.5^\circ$ e $c' = 6.1$ kPa), ricordando la scarsa significatività dell'esiguo insieme della popolazione dei dati. Per la resistenza non drenata (C_u), si può indicativamente segnalare l'elaborazione statistica del dato ottenuto dalla prova ELL secondo Schneider e Cherubini & Orr, che propongono una covarianza per la C_u , rispettivamente del 40% e 55%, ottenendo valori pari a 140 kPa e 127 kPa (ma il campione aveva grado di saturazione $S_r = 96.4\%$).

livello geotecnico 3:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dal sondaggio S96, ubicato presso l'estremità SE del progetto della duna del Polo Scientifico, e dal sondaggio S275 (Cavet Treesse TAV BO-FI mar 1998, disponibile sull'archivio "Geoscopio" della Regione Toscana) perché prossimo all'area di progetto;
- calcolato ϕ' e c' (da TxCU e da TG DIR CD, in un unico insieme, sebbene non ottenuti nelle stesse condizioni) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile ($\phi' = 18.3^\circ$ e $c' = 4.4$ kPa), ricordando la scarsa significatività dell'esiguo insieme

della popolazione dei dati. Per la resistenza non drenata (Cu), si può indicativamente segnalare l'elaborazione statistica della media dei due dati ottenuti dalla prova ELL secondo Schneider e Cherubini & Orr, che propongono una covarianza per la Cu, rispettivamente del 40% e 55%, ottenendo valori pari a 105 kPa e 95 kPa (ma i campioni avevano grado di saturazione $S_r = 97.8\%$ e $S_r = 95.8\%$).

Come descritto nel modello geologico (§ 10.2.), considerando l'assenza di un acquifero nei terreni argilloso limosi che costituiscono il sottosuolo del sedime aeroportuale - terreni corrispondenti ad un "aquiclude" o, nel migliore dei casi, ad un "acquitardo" soprattutto nella porzione superficiale - si possono incontrare falde di entità limitate o sospese nei corpi lenticolari di ghiaie e sabbie poste a diverse profondità, come quella probabilmente posizionata nella fascia di profondità da -4÷5 m p.c. a -5÷7 m p.c. con spessore di circa 1.0÷-1.5 m. A maggiore profondità (v. sezione SO-NE in figura 15), potrebbero essere incontrati l'"Orizzonte Firenze 2" (posto a circa -10÷-13 m p.c.), e l'"Orizzonte Firenze 3" (posto a circa -25÷-32 m p.c.).

10.3.5. *Considerazioni sui terreni coesivi superficiali*

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

Per quanto riguarda l'area di progetto, ma ciò è valido anche per le altre aree circostanti oggetto delle opere previste dal Master Plan Review 2025-2035, la sovraconsolidazione assume valori molto variabili sia in senso orizzontale che verticale. Le figure 16 e 17 seguenti mostrano, rispettivamente, la pressione di preconsolidazione (da prova edometrica) e l'OCR conseguente (rapporto fra la pressione di preconsolidazione e la pressione verticale efficace alla profondità di campionamento del terreno) ricavate da campioni di terreno prelevati da sondaggi eseguiti in diverse aree del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).

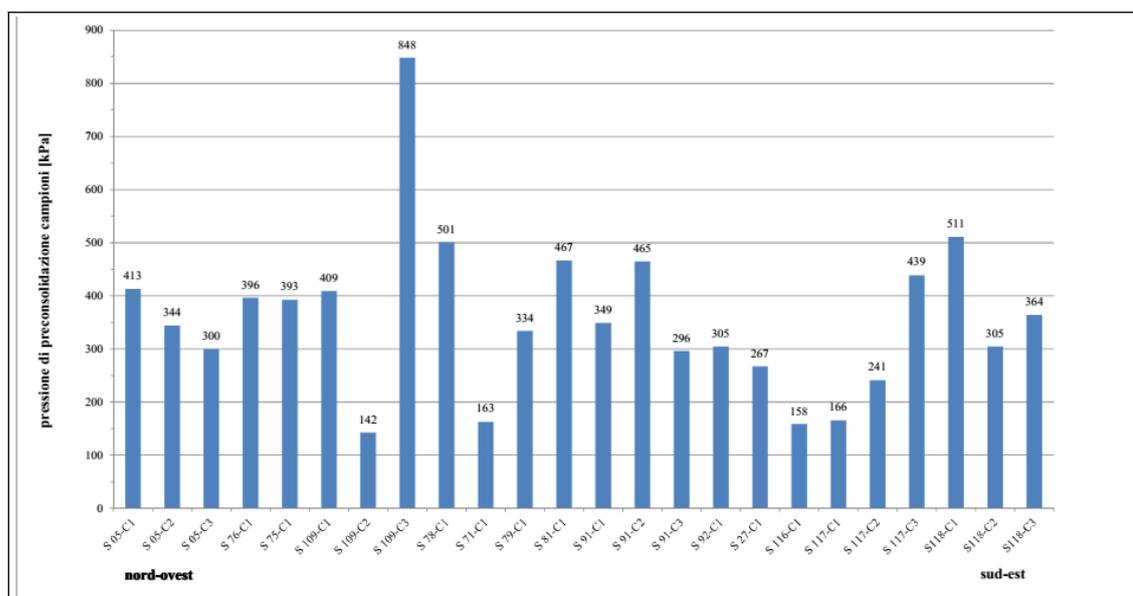


Figura 16 - Valori della pressione di preconsolidazione ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi realizzati all'interno di diverse aree del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).

Nella figura 18, invece, i valori di OCR dei campioni prelevati da sondaggi realizzati all'interno di diverse aree del sedime aeroportuale, vengono posizionati alla profondità di prelievo, evidenziando quanto detto riguardo alla maggiore concentrazione della sovraconsolidazione nei primi 1.50÷2.00 m di spessore dal p.c..

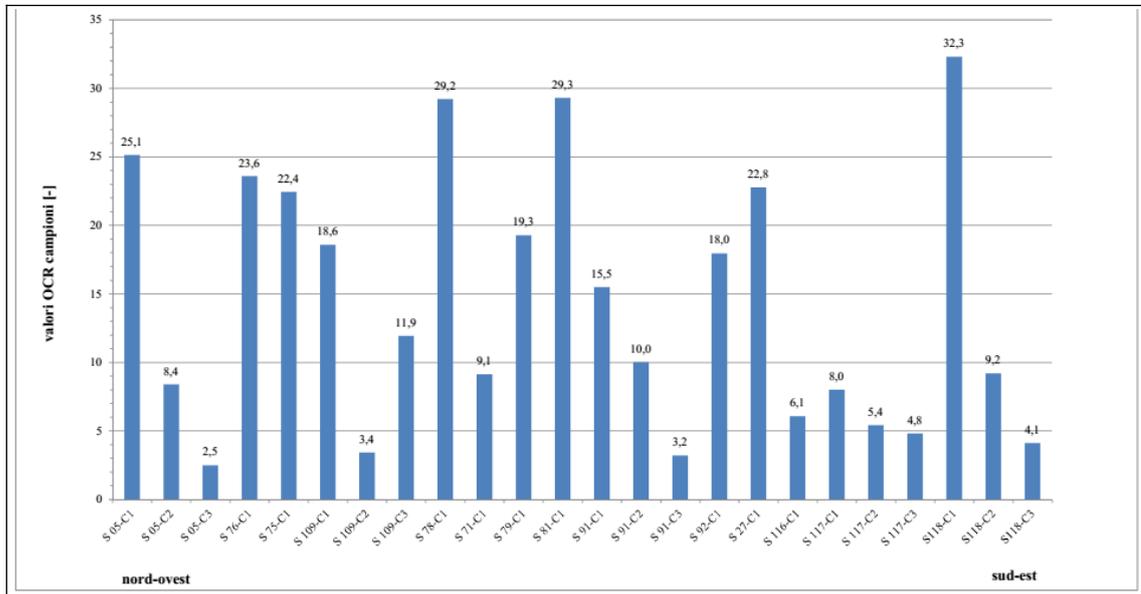


Figura 17 - Valori di OCR ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi realizzati all'interno di diverse aree del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).

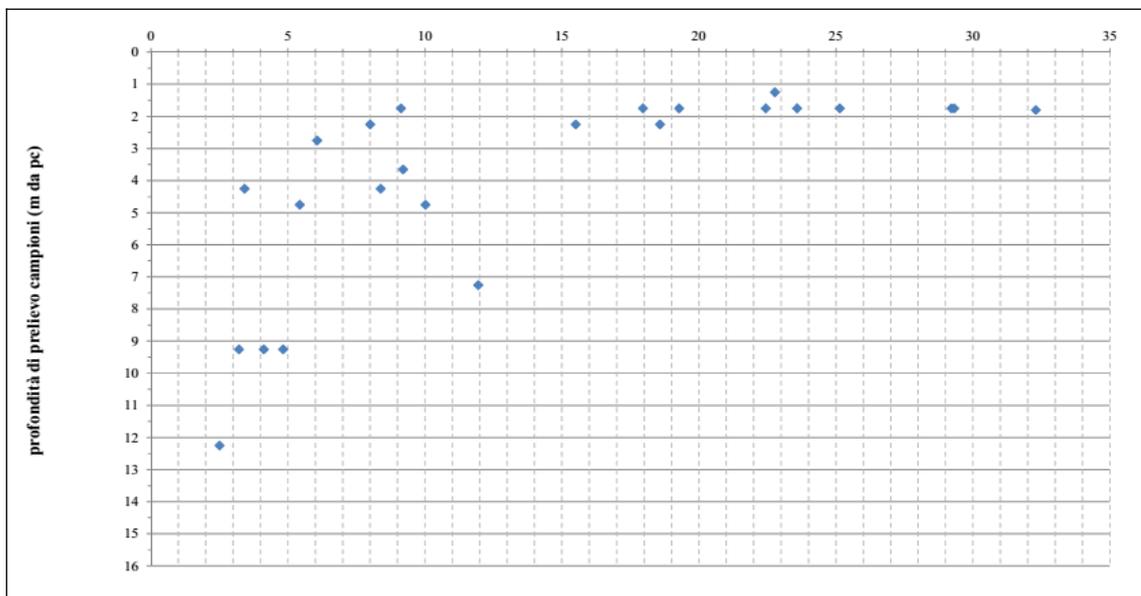


Figura 18 - Valori di OCR in funzione della profondità di prelievo (m dal p.c.), ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite su campioni di sondaggi realizzati in varie aree del sedime aeroportuale.

sondaggio	campione o SPT	prof camp m pc	quota pc mslm	granulometria (in grassetto la descrizione secondo Raccomandazioni AGI 1977)	Parametri fisici					Limiti di Atterberg							Classificaz. UNI 10006			
					peso vol nat kN/m ³	peso vol sec kN/m ³	peso specif kN/m ³	ind vuoti (-)	grado satur %	Umid nat W %	Limite liq LL %	Limite plast LP %	Indice plast IP %	Indice consist IC (-)	Indice attiv (-)	Classificaz Casagrande	Limite ritiro %	Coeff ritiro	Gruppo	Indice grupp
LIVELLO GEOTECNICO 1																				
S 100	CI 1	1.50-2.00	37.76	argilla (55.8) con limo (36.0) debolm sabbiosa (6.0) ghiaia (2.1)	19.6	16.0	26.0	0.552	102.0	21.6	50.6	19.9	30.7	0.94	0.53	CH	14.5	2.02	A7-6	18
S40-PZ	CI 1	1.50-1.90	37.85	argilla (41.5) con limo (40.3) debolm ghiaiosa (10.4) e sabbiosa (7.8)	19.6	15.8	26.7	0.689	95.2	24.5	52.4	23.4	29.0	0.96	0.62	CH			A7-6	18
S 37	CI 1	1.00-1.50	37.85	argilla (39.8) con limo (28.0) ghiaiosa (24.5) debolm sabbiosa (7.7)	20.0	16.5	26.7	0.717	81.9	19.2	65.6	26.9	38.7	1.20	0.69	CH			A7-6	19
S 35-PZ	CI 1	1.00-1.50	37.03	argilla (42.9) con limo (41.1) debolm sabbiosa (9.3) ghiaiosa (6.7)	19.2	15.8	26.9	0.705	85.3	21.7	61.3	22.7	38.6	1.02	0.82	CH			A7-6	20
S 45	CI 1	1.00-1.50	37.65	argilla (48.6) con limo (47.2) sabbia (3.9)	19.5	16.1	26.5	0.648	88.5	21.3	56.2	25.4	30.8	1.13	0.63	CH			A7-6	19
S 46	CI 1	1.00-1.50	36.83	limo (49.3) con argilla (42.8) debolm sabbioso (7.3)	19.1	15.0	26.6	0.771	96.1	27.4	51.9	24.1	27.8	0.88	0.64	CH			A7-6	18
S 51	CI 1	1.00-1.50	37.63	limo (51.4) con argilla (42.2) debolm sabbioso (6.3)	20.1	16.2	26.5	0.642	101.5	23.4	55.3	24.0	31.3	1.02	0.74	CH			A7-6	19
S 99	CI 1	0.50-1.00	37.85	limo (54.2) con argilla (34.7) debolm sabbioso (11.1)	16.6	14.6	26.6	0.728	54.7	13.6	39.7	19.7	20.0	1.31	0.57	CL	14.5	1.96	A6	12
S 98	CI 1	1.50-2.00	37.58	argilla (52.9) con limo (39.1) debolm sabbiosa (6.6)	20.1	16.9	25.7	0.552	94.4	17.9	51.6	22.0	29.6	1.14	0.54	CH	13.8	1.97	A7-6	18
S 97	CI 1	0.80-1.40	39.51	limo (48.4) con argilla (41.3) debolm sabbioso (9.7)	19.0	16.1	26.4	0.640	76.2	18.2	47.9	21.6	26.3	1.13	0.62	CL	13.9	1.98	A7-6	16
M 14	CI 2	1.50-2.50		argilla (46.9) limosa (22.2) sabbiosa (19.3) ghiaiosa (11.6)	19.2	14.8	27.2	0.843	100.0	30.4	47.0	20.0	27.0	0.61		CI			A7-6	15
S 118	CI 1	1.50-2.00	36.07	argilla (67.0) con limo (30.2) sabbia (2.4) ghiaia (0.4)	18.6	14.6	25.5	0.682	100.0	26.6	67.8	25.8	42.0	0.98	0.62	CH	11.1	2.02	A7-6	20
S 119	CI 1	1.50-2.00	36.35	limo (49.4) con argilla (41.5) debolm sabbioso (8.3) ghiaia (0.9)	19.1	15.6	26.5	0.704	86.7	22.4	47.6	20.0	27.6	0.91	0.65	CL	12.5	1.98	A7-6	17
MEDIA					19.2	15.7	26.4	0.683	89.4	22.2	53.5	22.7	30.7	1.02	0.64		13.4	1.99		
MEDIANA					19.2	15.8	26.5	0.689	94.4	21.7	51.9	22.7	29.6	1.02	0.63		13.9	1.98		
DEV.STD.																				
VAL. CARATT. K (5° pct)																				
LIVELLO GEOTECNICO 2																				
S 150 (Ikea)	CI 1	3.00-3.50	38.0/38.5	n.d.	18.0		27.1	0.881												
S 157 (Ikea)	CI 1	5.00-5.50	38.0/38.5	n.d.	17.8		27.1	0.965		29.1	73.0	29.0	44.0			CH				
S 167 (Ikea)	CI 1	5.00-5.50	38.0/38.5	n.d.	17.9		26.8	0.944		30.4	69.0	27.0	42.0			CH				
S 100	CI 2	3.00-3.50	37.76	argilla (56.5) con limo (38.1) sabbia (2.9) ghiaia (2.4)	19.0	14.7	25.7	0.718	104.6	26.7	55.3	20.9	34.4	0.83		CH	14.6	2.06	A7-6	19
S 116	CI 1	2.55-3.05	36.83	limo (54.0) con argilla (33.6) debolm sabbioso (11.9) ghiaia (0.5)	19.3	15.4	26.6	0.721	96.1	25.2	46.7	19.2	27.5	0.78	0.79	CL	14.1	1.92	A7-6	17
S 116	CI 2	3.50-4.00		argilla (55.1) con limo (30.9) debolm sabbioso (13.0) ghiaia (1.0)	19.1	15.2				28.2	61.2	24.7	36.5	0.90	0.61	CH	15.3	1.92	A7-6	20
S 117	CI 1	2.00-2.50	36.62	limo (51.9) con argilla (32.8) debolm sabbioso (13.8) ghiaia (1.5)	19.0	15.3	26.5	0.726	90.4	24.3	34.2	17.9	16.3	0.61	0.48	CL	15.2	1.89	A6	10
S 99	CI 2	2.00-2.50	37.85	limo (49.1) con argilla (41.5) debolm sabbioso (6.7)	19.6	18.4	26.0	0.570	98.3	15.0	43	20.1	22.9	1.23	0.53	CL	13.5	1.94	A7-6	14
S 98	CI 2	3.00-3.50	37.58	argilla (51.9) con limo (28.3) debolm ghiaiosa (12.4) sabbiosa (7.3)	19.7	16.0	26.2	0.588	96.9	20.8	59.1	20.8	38.3	1.00	0.61	CH	11.9	2.03	A7-6	20
S 97	CI 2	4.00-4.50	39.51	argilla (43.5) con limo (43.9) debolm ghiaiosa (7.4) sabbiosa (7.2)	19.0	15.6	26.4	0.590	97.0	18.2	53.8	22.5	31.3	1.14	0.66	CH	13.3	2.01	A7-6	19
M 14	CI 3	4.50-5.50		argilla (60.5) con limo (30.9) debolm sabbioso (7.2)	18.6	14.1	26.3	0.865	99.1	31.9	47.3	20.9	26.4	0.58		CI			A7-6	16
S 118	CI 2	3.50-4.00	36.07	argilla (56.6) con limo (36.0) ghiaia (4.2) sabbia (3.2)	19.2	15.4	26.1	0.660	99.1	24.0	66.8	23.1	43.7	0.98	0.73	CH	11.5	2.00	A7-6	20
S 119	CI 2	5.50-6.00	36.35	argilla (50.9) con limo (32.9) debolm ghiaiosa (13.3) sabbia (2.9)	19.9	16.5	25.9	0.475	97.5	22.2	68.1	20.6	47.5	0.97	0.80	CH	12.0	2.04	A7-6	20
MEDIA					19.0	15.7	26.4	0.719	96.8	24.6	56.5	22.1	34.4	0.90	0.66		13.5	1.98		
MEDIANA					19.1	15.4	26.3	0.718	97.2	24.3	57.1	20.9	36.5	0.92	0.66		13.6	1.98		
DEV.STD.																				
VAL. CARATT. K (5° pct)																				
LIVELLO GEOTECNICO 3																				
S 100	CI 3	5.00-5.50	37.76	argilla (55.0) con limo (29.1) debolm ghiaiosa (13.0) sabbia (2.9)	18.7	14.6	26.6	0.796	101.1	27.0	65.3	22.2	43.1	0.89	0.67	CH	11.6	2.02	A7-6	20
S 116	CI 3	6.50-7.00	36.83	argilla (50.7) con limo (43.2) sabbia (4.7) ghiaia (1.5)	19.6	15.7				24.5	56.6	22.1	34.5	0.93	0.66	CH	12.6	1.99	A7-6	19
S 117	CI 2	4.50-5.00	36.62	argilla (56.9) con limo (38.4) sabbia (3.4) ghiaia (1.3)	19.3	15.4	26.6	0.699	98.0	17.9	54.8	21.4	33.4	1.10	0.57	CH	12.7	2.01	A7-6	19
S 117	CI 3	9.00-9.50		argilla (49.0) con limo (41.8) sabbia (4.9) ghiaia (4.3)	20.2	16.8	26.2	0.561	95.9	20.3	54.5	22.5	32.0	1.07	0.62	CH	13.1	2.00	A7-6	19
S 118	CI 3	9.00-9.50	36.07	limo (49.2) con argilla (42.7) debolm sabbioso (5.9) ghiaia (2.3)	19.7	16.2	26.1	0.596	97.4	21.8	48.8	22.3	26.5	1.02	0.60	CL	14.1	1.91	A7-6	17
S 119	CI 3	9.00-9.50	36.35	argilla (54.5) con limo (40.2) sabbia (2.9) ghiaia (2.4)	19.9	16.3	26.3	0.618	97.4	22.4	59.3	17.8	41.5	0.89	0.74	CH	12.7	2.01	A7-6	20
MEDIA					19.6	15.8	26.4	0.654	97.9	22.3	56.6	21.4	35.2	0.98	0.64		12.8	1.99		
MEDIANA					19.7	16.0	26.3	0.618	97.4	22.1	55.7	22.2	34.0	0.98	0.64		12.7	2.01		
DEV.STD.																				
VAL. CARATT. K (5° pct)																				

Tabella 5 - Modello geotecnico area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale) 1/2.

sondaggio	campione o SPT	prof camp m pc	Tx CIU φ' °	Tx CIU c' (kPa)	ELL Cu (kPa)	Tx CUU Cu (kPa)	TG DIR CD φ' °	TG DIR CD c' (kPa)	Tx CD φ' °	Tx CD c' (kPa)	TxCIU/CD-TG DIR CD φ' °	TxCIU/CD-TG DIR CD c' kPa	Prova AASHTO Modif W% ottim %	Prova AASHTO Modif γd max kN/m3	Prova CBR Indice CBR %	Contenuto sost organ %	Prova edometrica										
																	Ind ricomp Cr	Ind compress Cc	Ind rigonif Cs	Press precons σ'vmax (kPa)	1-2 kg/cm2 Mv (1/kPa)	1-2 kg/cm2 Med (kPa)	2-4 kg/cm2 Mv (1/kPa)	2-4 kg/cm2 Med (kPa)	4-8 kg/cm2 Mv (1/kPa)	4-8 kg/cm2 Med (kPa)	4-8 kg/cm2 Mv (1/kPa)
LIVELLO GEOTECNICO 1																											
S 100	CI 1	1.50-2.00	26.7	11.6							26.7	11.6				3.6	0.03462	0.16670	0.05027	475	2.70E-06	370370	3.41E-04	2933	5.36E-05	18657	
S40-PZ	CI 1	1.50-1.90															0.04090	0.18564	0.07221	171	1.47E-04	6826	1.10E-04	9107	7.79E-05	12837	
S 37	CI 1	1.00-1.50			356.1												0.01625	0.20062	0.07907	399	1.17E-05	85470	4.55E-05	21978	7.90E-05	12658	
S 35-PZ	CI 1	1.00-1.50															0.01822	0.18882	0.08265	501	1.17E-05	85470	2.68E-05	37313	5.15E-05	19417	
S 45	CI 1	1.00-1.50											15.6	17.6	2.4		0.03720	0.17167	0.05886	463			3.47E-05	28818	4.93E-05	20284	
S 46	CI 1	1.00-1.50															0.04500	0.20302	0.05552	215	1.17E-04	8532	1.08E-04	9302	8.38E-05	11933	
S 51	CI 1	1.00-1.50											13.7	17.82	3.4		0.04944	0.17673	0.06352	466	1.69E-05	59172	4.62E-05	21645	4.75E-05	21053	
S 99	CI 1	0.50-1.00	29.3	8.0							29.3	8.0				3.8	0.05734	0.21898	0.03595	120	2.06E-04	4859	2.31E-04	4337	1.00E-04	9960	
S 98	CI 1	1.50-2.00	27.0	10.2							27.0	10.2				4.8	0.04766	0.17219	0.05334	520	2.59E-05	38610	3.89E-05	25707	4.61E-05	21692	
S 97	CI 1	0.80-1.40	26.3	16.7							26.3	16.7				3.6	0.05912	0.17335	0.05009	425			5.54E-05	18051	5.04E-05	19841	
M 14	CI 2	1.50-2.50			148.0		21.8	18.9			21.8	18.9															
S 118	CI 1	1.50-2.00	21.4	17.0							21.4	17.0					0.04133	0.18457	0.06072	511							
S 119	CI 1	1.50-2.00	26.2	16.7							26.2	16.7					0.05065	0.15917	0.06006	295							
MEDIA			26.2	13.4							25.5	14.2	14.7	17.7	2.9	3.9	0.04148	0.18346	0.06019	380	6.73E-05	82414	1.04E-04	17919	6.40E-05	16833	
MEDIANA			26.5	14.2							26.3	16.7	14.7	17.7	2.9	3.7	0.04317	0.18065	0.05946	444	2.14E-05	48891	5.08E-05	19848	5.26E-05	19037	
DEV. STD.			2.4	3.6							2.7	3.8															
VAL. CARATT. K (5° pct)			22.3	7.5							21.1	7.8															
LIVELLO GEOTECNICO 2																											
S 150 (Ikea)	CI 1	3.00-3.50	22.0	1.0	65.2						22.0	1.0															
S 157 (Ikea)	CI 1	5.00-5.50			80.4		33.0	3.9			33.0	3.9															
S 167 (Ikea)	CI 1	5.00-5.50			83.9		35.0	9.8			35.0	9.8															
S 100	CI 2	3.00-3.50				58.4	18.8	20.1			18.8	20.1				5.6	0.06453	0.21160	0.07276	348	2.45E-05	40816	8.38E-05	11933	7.41E-05	13495	
S 116	CI 1	2.55-3.05			64.0											3.6	0.02863	0.15551	0.01917	158	1.41E-04	7087	1.19E-04	8382	6.42E-05	15576	
S 116	CI 2	3.50-4.00	23.4	17.7							23.4	17.7				5.1											
S 117	CI 1	2.00-2.50	33.3	4.7							33.3	4.7				3.5	0.02625	0.16484	0.04103	166	1.19E-04	8439	1.06E-04	9434	6.79E-05	14728	
S 99	CI 2	2.00-2.50			105.5		24.6	18.3			24.6	18.3				3.7	0.04073	0.14055	0.04159	362	4.82E-05	20747	5.59E-05	17889	5.07E-05	19724	
S 98	CI 2	3.00-3.50				95.2			23.8	16.8	23.8	16.8				4.6	0.02118	0.15405	0.05829	274	4.08E-05	24510	8.18E-05	12225	6.32E-05	15823	
S 97	CI 2	4.00-4.50	24.6	9.7							24.6	9.7				4.2	0.02857	0.17447	0.06770	650			7.10E-06	140845	2.39E-05	41841	
M14	CI 3	4.50-5.50			157.0		20.1	32.7			20.1	32.7															
S 118	CI 2	3.50-4.00				73.7	21.2	19.4			21.2	19.4				5.5	0.04709	0.17181	0.07945	305							
S 119	CI 2	5.50-6.00			155.0		20.5	19.9			20.5	19.9				5.8	0.02591	0.15534	0.06045	545							
MEDIA			25.5	10.3	101.6	78.1	24.7	17.7			25.0	14.8	4.7	0.03557	0.17822	0.05778	362	6.78E-05	21893	7.25E-05	31353	5.61E-05	20258				
MEDIANA			24.2	9.7	83.9	76.9	21.2	19.4			23.8	17.7	4.8	0.02863	0.17127	0.05912	348	4.45E-05	22628	8.18E-05	12225	6.32E-05	15823				
DEV. STD.			4.0	6.9	36.7	15.1	6.1	8.4			5.1	8.3															
VAL. CARATT. K (5° pct)			18.9	-1.0	41.2	53.2	14.7	4.0			16.5	1.1															
LIVELLO GEOTECNICO 3																											
S 100	CI 3	5.00-5.50	24.0	11.3							24.0	11.3				4.4	0.06312	0.22518	0.08420	359	5.77E-05	17331	7.88E-05	12690	6.89E-05	14514	
S 116	CI 3	6.50-7.00			186.6											4.6											
S 117	CI 2	4.50-5.00			104.6		25.0	16.1			25.0	16.1				4.7	0.04404	0.16213	0.05469	241	7.93E-05	12610	9.61E-05	10406	6.63E-05	15083	
S 117	CI 3	9.00-9.50				78.4										5.2	0.03970	0.15947	0.05983	439			3.92E-05	25510	5.15E-05	19417	
S 118	CI 3	9.00-9.50			136.6		26.7	0.6			26.7	0.6				3.8	0.04189	0.17748	0.06916	364							
S 119	CI 3	9.00-9.50			145.3		21.2	15.8			21.2	15.8				5.7	0.05273	0.12864	0.06187	220							
MEDIA					143.3		24.3	10.8			24.2	11.0	4.7	0.04830	0.17058	0.06595	325	6.85E-05	14971	7.14E-05	16202	6.22E-05	16338				
MEDIANA					141.0		25.0	15.8			24.5	13.6	4.7	0.04404	0.16213	0.06187	359	6.85E-05	14971	7.88E-05	12690	6.63E-05	15083				
DEV. STD.					29.2		2.3	7.2			2.0	6.3															
VAL. CARATT. K (5° pct)					95.2		20.5	-1.1			20.9	0.6															

Tabella 6 - Modello geotecnico area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale) 2/2.

sondaggio	campione o SPT	prof camp m pc	granulometria (in grassetto la descrizione secondo Raccomandazioni AGI 1977)	Parametri fisici		Limiti di Atterberg				Classificaz Casagrande	Tx CIU φ°	Tx CIU c' (kPa)	ELL Cu (kPa)	Tx CUU Cu (kPa)	TG DIR φ°	TG DIR c' (kPa)	Tx CD φ°	Tx CD c' (kPa)	EDOM Ind compress	1-15 kg/cm ² Mod edom	2-25 kg/cm ² Mod edom	4-5 kg/cm ² Mod edom	8-9 kg/cm ² Mod edom	Tx CIU/CD-TG DIR CD	
				peso vol nat kNm ³	ind vuoti (-)	Umid nat W %	Limite liq LL %	Limite plast LP %	Indice plast IP %															φ°	c' (kPa)
S160 (Ikea)	CI 1	8.00-8.50	n.d.	17.6	1.024	31.5	73.0	29.0	44.0	CH			79.9		31.0	9.81			0.247	10648	9758	12573	17296	31.0	9.81
S150 (Ikea)	CI 3	9.00-9.50	n.d.	19.0	0.701							169.7							0.166	11716	11443	15181	21648		
S151 (Ikea)	CI 3	9.00-9.50	n.d.	18.7	0.804	25.2	72.0	28.0	44.0	CH	21.0	1.0							0.231	16821	11959	12228	16996	21.0	1.0
S 118	CI 3	9.00-9.50	limo (49.2) con argilla (42.7) debolm sabbioso (5.9) ghiaia (2.3)	19.7	0.596	21.8	48.8	22.3	26.5	CL			136.6		26.7	0.6			0.177					26.7	0.6
S 119	CI 3	9.00-9.50	argilla (54.5) con limo (40.2) sabbia (2.9) ghiaia (2.4)	19.9	0.618	22.4	59.3	17.8	41.5	CH			145.3		21.2	15.8			0.129					21.2	15.8
S157 (Ikea)	CI 2	10.00-10.50	n.d.	19.8	0.633	20.4	63.0	29.0	34.0	CH			204.0		34.0	14.7			0.130	22288	21988	22753	28508	34.0	14.7
S166 (Ikea)	CI 2	10.00-10.50	n.d.	18.5	0.808	24.5	65.0	25.0	40.0	CH			78.5		32.0	19.6			0.227	15792	12122	12621	17326	32.0	19.6
S167 (Ikea)	CI 3	11.00-11.50	n.d.	19.0	0.738	23.0	66.0	26.0	40.0	CH			103.5		34.0	16.7			0.170	16792	15018	17085	22544	34.0	16.7
S157 (Ikea)	CI 3	15.00-15.40	n.d.	19.0	0.751	23.6	69.0	26.0	43.0	CH			120.6		27.0	4.9			0.188	19458	14904	15468	20646	27.0	4.9
S164 (Ikea)	CI 5	15.00-15.50	n.d.	18.6		26.3	75.0	27.0	48.0	CH															
S166 (Ikea)	CI 3	15.00-15.40	n.d.	18.6	0.837	26.9													0.230	28180	16593	14995	18330		
S167 (Ikea)	CI 4	16.00-16.40	n.d.	19.4	0.674	21.9	59.0	25.0	34.0	CH			128.5		30.0	5.9			0.162	27165	21696	19973	24095	30.0	5.9
S163 (Ikea)	CI 4	16.00-16.50	n.d.	19.1	0.754	23.7	71.0	27.0	44.0	CH			118.7		31.0	12.7			0.184	31132	24827	19343	22596	31.0	12.7
S164 (Ikea)	CI 6	18.00-18.50	n.d.	19.4		21.3	67.0	29.0	38.0	CH															
S164 (Ikea)	CI 7	21.00-21.50	n.d.	19.3		21.0	65.0	25.0	40.0	CH															
S164 (Ikea)	CI 8	24.00-24.50	n.d.	19.1		22.9	70.0	26.0	44.0	CH															
S150 (Ikea)	CI 7	25.00-25.40	n.d.	18.7	0.742		69.0	25.0	44.0	CH			106.9				23.0	1.0	0.161	22753	18127	19771	24578	23.0	1.0
MEDIA				19.0	0.745	23.8	66.1	25.8	40.3			126.5		29.7	11.2			0.185	20250	16221	16545	21324	28.3	9.3	
MEDIANA				19.0	0.742	23.0	67.0	26.0	41.5			128.5		31.0	12.7			0.177	19458	15018	15468	21648	30.0	9.8	
DEV. STD.												35.44		3.86	5.95								4.59	6.67	
VAL. CARATT. K (5° pct)												68.3		23.3	1.4								20.7	-1.6	

Tabella 7 - Modello geotecnico profondo area Torre controllo ENAV (dal Bilanciamento VV.FF. al terminal Aviazione Generale).

sondaggio id	p.c. m.s.l.m.	camp'indag id	camp'indag m.p.c.	camp'indag m.s.l.m.	sistema/subsistema (U.S.C.S.)	granulometria (%) e classificazione Raccomandazioni A.G.I., 1977 (descrizione campione)	Caratteristiche fisiche					Limiti di Atterberg				Classificaz. UNI 10006				
							peso vol nat kN/m3	peso vol sat kN/m3	ind vuoti (-)	grado satur %	Contenuto acq W %	Limite liq LL %	Limite plast LP %	Indice plast IP %	Indice consist IC (-)	Classificaz. Casagrande	Gruppo	Indice grup		
Depositi alluvionali antichi (Sistema di Firenze): Da																				
SA tramvia (2014)	38.5	SPT4	12.00-12.45	26.50-26.05	Da-a (1p)	(argilla limosa, localm debolm sabbiosa, 7.1-7.3 ghiaiosa, marrone nocciola, molto consistente)														
SA tramvia (2014)	38.5	C3	12.45-13.00	26.05-25.50	Da-a (1p)	(limo argilloso, molto consistente, marrone giallastro)	20.01	20.19	0.590	95.0	20.90									
S6-pz (feb 2017)	38.1	C3	12.50-13.00	25.60-25.10	Da-a (1p)	Argilla (69.1) limosa (22.7) debolm ghiaiosa (5.8) [sabbia (2.4)] (argilla limosa, tracce torbose, molto consist.)	19.70	19.80	0.669	97.7	24.20	61.6	26.7	34.9	1.07	CH	A7-6	20		
S1B (nov 2009)	38.2	C3	13.00-13.50	25.20-24.70	Da-a (1p)	(argilla limosa, marrone oliva, chiazze Fe-Mn)	20.30				19.86									
S6-pz (feb 2017)	38.1	SPT4	13.00-13.45	25.10-24.65	Da-a (1p)	(argilla limosa consistente)														
1424 (SIGS)	37.61	C1	13.00-13.40	24.61-24.21	Da-a (1p)	(argilla limosa ocra, nod Fe-Mn, concrez calcaree)	20.59				20.96	56.8	19.9	36.9		CH				
1423 (SIGS)	36.62	C2	14.00-14.50	22.62-22.12	Da-a (1p)	(argilla limosa ocra, nod Fe-Mn, concrez calcaree)	19.81				20.96	56.8	19.9	36.9		CH				
S04 tramvia (2007)	38.5	C1	14.00-14.50	24.50-24.00	Da-a (1p)															
1425 (SIGS)	37.86	C2	14.50-15.00	23.36-22.86	Da-a (1p)	(argilla limosa ocra-grigio-verde e concrezioni calcaree)	20.10				21.34									
S1B (nov 2009)	38.2	SPT3	15.00-15.45	23.20-22.75	Da-a (1p)	(limo argilloso, da molto consistente a duro)														
S3-DH (dic 2016)	37.7	C3	15.00-15.50	22.70-22.20	Da-a (1p)	Argilla (50.6) con limo (43.8) [sabbia (4.6), ghiaia (1.0)] (argilla limosa, molto consistente)	20.10	20.50	0.560	89.9	19.60	57.5	23.5	34.0	1.14	CH	A7-6	20		
SA tramvia (2014)	38.5	SPT5	15.00-15.45	23.50-23.05	Da-a (1p)	(argilla limosa, localm debolm sabbiosa, 7.1-7.3 ghiaiosa, marrone nocciola, molto consistente)														
S6-pz (feb 2017)	38.1	SPT5	16.00-16.45	22.10-21.65	Da-a (1p)	(argilla limosa consistente)														
1425 (SIGS)	37.86	C3	16.00-16.40	21.86-21.46	Da-a (1p)	(argilla limosa marrone turchino, nod Fe-Mn, concrez calcaree, molto consistente)	20.50				23.77	70.2	23.3	46.9		CH				
S03 tramvia (2007)	38.5	C2	16.50-17.00	22.00-21.50	Da-a (1p)															
SA tramvia (2014)	38.5	C4	17.00-17.60	21.50-20.90	Da-a (1p)	(limo argilloso, molto consistente, marrone giallastro)	19.76	19.91	0.630	96.0	22.70									
S3-DH (dic 2016)	37.7	SPT5	17.50-17.95	20.20-19.75	Da-a (1p)	(argilla limosa compatta)														
S04 tramvia (2007)	38.5	C2	17.50-18.00	21.00-20.50	Da-a (1p)															
SA tramvia (2014)	38.5	SPT6	17.60-18.05	20.90-20.45	Da-a (1p)	(argilla limosa, localm debolm sabbiosa, 7.1-7.3 ghiaiosa, marrone nocciola, molto consistente)														
S1A (apr 2007)	38.2	C3	19.50-20.00	18.70-18.20	Da-a (1p)	Argilla (52.4) con limo (42.5) debolm sabbiosa (5.0) (argilla limosa, molto consistente)	20.30				23.55	69.4	25.5	43.9	1.04	CH				
S03 tramvia (2007)	38.5	C3	19.50-20.00	19.00-18.50	Da-a (1p)															
S6-pz (feb 2017)	38.1	SPT6	20.00-20.45	18.10-17.65	Da-a (1p)	(argilla limosa consistente)														
S3-DH (dic 2016)	37.7	SPT6	21.00-21.45	16.70-16.25	Da-a (1p)	(argilla limosa compatta)														
1424 (SIGS)	37.61	C2	21.50-22.00	16.61-16.11	Da-a (1p)	Argilla (46.42) con limo (35.79) sabbiosa (17.73) [ghiaia (0.06)] (argilla lim ocra-grigio-verde, molto consist.)					22.93	59.8	19.7	40.1		CH				
1425 (SIGS)	37.86	C4	22.00-22.50	15.86-15.36	Da-a (1p)	(argilla limosa ocra-grigio-verde)	20.79				20.12									
media							20.18	20.10	0.612	94.7	21.74	61.7	22.6	39.1	1.08					
mediana							20.10	20.05	0.610	95.5	21.15	59.8	23.3	36.9	1.07					
DEV. STD.																				
5° percentile																				
formula statistica semplificata con COV secondo Schneider: $X_k = X_{med} \cdot (1 - COV/2)$ (per numero limitato di campioni) (COV 10% per ϕ e c', 40% per Cu)																				
formula statistica semplificata con COV secondo Cherubini & Orr: $X_k = X_{med} \cdot (1 - COV/2)$ (per numero limitato di campioni) (COV 10%-15%-30% per ϕ sabbia-limo-argilla; 45% per c', 55% per Cu)																				

Tabella 8 - Modello geotecnico parcheggio multipiano – Depositi Antichi (Da), 1/2.

sondaggio id	p.c. m.s.l.m.	camp/indag id	camp/indag m.p.c.	camp/indag m.s.l.m.	sistema/subsistema (U.S.C.S.)	granulometria (%) e classificazione Raccomandazioni A.G.I., 1977 (descrizione campione)	Caratteristiche fisiche					Limiti di Atterberg				Classificaz. UNI 10006		
							peso vol nat kN/m3	peso vol sat kN/m3	ind vuoti (-)	grado satur %	Contenuto acq W %	Limite liq LL %	Limite plast LP %	Indice plast IP %	Indice consist IC (-)	Classificaz. Casagrande	Gruppo	Indice grup
Depositi alluvionali attuali e recenti (Sintema dell'Arno): Dr																		
S1A (apr 2007)	38.2	C1	2.00-2.50	36.20-35.70	Dr-a (lp)	Argilla (38) con limo (37.5) ghiaiosa (15.9) deb sabbiosa (8.6) (argilla limosa, molto consistente)	19.50				21.00	61.4	25.5	35.9	1.13	CH		
S6-pz (feb 2017)	38.1	C1	2.00-2.50	36.10-35.60	Dr-a (lp)	Argilla (55.4) con limo (39.1) [sabbia (3.7), ghiaia (1.8)] (argilla con limo, tracce torbose, molto consistente)	20.10	20.20	0.609	97.8	22.10	56.3	26.7	29.6	1.16	CH	A7-6	19
S3-DH (dic 2016)	37.7	SPT1	2.00-2.45	35.70-35.25	Dr-a (lp)	(argilla limosa poco consistente)												
S4 (feb 2017)	37.8	C1	2.50-3.00	35.30-34.80	Dr-a (lp)	Argilla (70.1) con limo (28.9) [sabbia (1.0)] (argilla con limo, molto consistente)	19.40	19.80	0.674	90.5	22.60	56.0	22.7	33.3	1.00	CH	A7-6	19
S1B (nov 2009)	38.2	C1	3.00-3.50	35.20-34.70	Dr-a (lp)	(argilla limosa, marrone oliva, chiazze Fe-Mn)	20.00				23.52							
S02 tramvia (2007)	38.5	C1	3.00-3.50	35.50-35.00	Dr-a (lp)													
SA tramvia (2014)	38.5	SPT1	3.00-3.45	35.50-35.05	Dr-b (ss)	(sabbia limosa, marrone chiara, poco addensata-sciolta)												
S6-pz (feb 2017)	38.1	SPT1	4.00-4.45	34.10-33.65	Dr-a (lp)	(argilla limosa poco consistente)												
1423 (SIGS)	36.62	C1	4.15-4.60	32.47-32.02	Dr-a (ls)	Limo (51.20) con argilla (47.31) [sabbia (1.31), ghiaia (0.19)] (limo argilloso nocciola-grigio-turchino)	19.12				28.72	56.3	24.0	32.3		CH		
S1B (nov 2009)	38.2	SPT1	5.00-5.45	33.20-32.75	Dr-a (lp)	(limo argilloso, da molto consistente a duro)												
S6-pz (feb 2017)	38.1	C2	5.00-5.50	33.10-32.60	Dr-a (lp)	Argilla (75.5) limosa (20.6) [sabbia (3.9)] (argilla limosa, molto consistente)	19.80	20.00	0.639	96.0	22.70	56.3	24.5	31.8	1.06	CH	A7-6	19
S3-DH (dic 2016)	37.7	C1	5.00-5.50	32.70-32.50	Dr-a (lp)	Argilla (62.2) con limo (33.7) [sabbia (4.1)] (argilla con limo, tracce torbose, molto consistente)	19.80	20.10	0.626	93.9	21.80	52.7	21.9	30.8	1.00	CH	A7-6	19
S3-DH (dic 2016)	37.7	SPT2	6.00-6.45	31.70-31.25	Dr-a (lp)	(argilla limosa compatta)												
SA tramvia (2014)	38.5	SPT2	6.00-6.45	32.50-32.05	Dr-a (lp)	(argilla limosa, localm debolm sabbiosa, 7.1-7.3 ghiaiosa, marrone nocciola, molto consistente)												
S4 (feb 2017)	37.8	C2	7.00-7.50	30.80-30.30	Dr-a (lp)	Argilla (60.5) con limo (35.3) [sabbia (4.2)] (argilla con limo, dura)	20.30	20.50	0.560	95.7	19.80	63.1	24.0	39.1	1.11	CH	A7-6	20
S1B (nov 2009)	38.2	C2	7.50-8.00	30.70-30.20	Dr-a (lp)	(argilla limosa, marrone oliva, chiazze Fe-Mn)	19.90				23.60							
S6-pz (feb 2017)	38.1	SPT2	7.50-7.95	30.60-30.15	Dr-a (lp)	(argilla limosa consistente)												
S3-DH (dic 2016)	37.7	SPT3	7.50-7.95	30.70-30.25	Dr-a (lp)	(argilla limosa compatta)												
S1A (apr 2007)	38.2	C2	8.00-8.50	30.20-29.70	Dr-a (lp)	Argilla (45.9) con limo (38.3) ghiaiosa (10.8) deb sabbiosa (5) (argilla limosa, molto consistente)	20.10				23.05	69.5	25.5	44.0	1.05	CH		
1425 (SIGS)	37.86	C1	8.60-9.00	35.30-34.80	Dr-a (lp)	Argilla (45.52) con limo (33.94) debolm sabbiosa (14.49) deb ghiaiosa (6.05) (argilla lim nocciola, nod Fe-Mn)	20.10				20.11	57.0	20.2	36.8		CH		
S1B (nov 2009)	38.2	SPT2	9.00-9.45	29.20-28.75	Dr-a (lp)	(limo argilloso, duro)												
S3-DH (dic 2016)	37.7	C2	9.00-9.60	28.70-28.10	Dr-a (lp)	Argilla (61.9) con limo (28.4) deb sabbiosa (5.4) [ghiaia (4.3)] (argilla con limo deb sabbiosa, molto consist.)	19.90	20.10	0.623	95.0	21.90	56.6	25.8	30.8	1.13	CH	A7-6	19
S02 tramvia (2007)	38.5	C2	9.00-9.50	29.50-29.00	Dr-a (lp)													
SA tramvia (2014)	38.5	SPT3	9.00-9.45	29.50-29.05	Dr-a (lp)	(argilla limosa, localm debolm sabbiosa, 7.1-7.3 ghiaiosa, marrone nocciola, molto consistente)												
SA tramvia (2014)	38.5	C1	9.45-10.00	29.05-28.50	Dr-a (lp)	(limo argilloso, molto consistente, marrone verdastro)	19.79	20.24	0.590	88.0	19.20							
S6-pz (feb 2017)	38.1	SPT3	10.00-10.45	28.10-27.65	Dr-a (lp)	(argilla limosa consistente)												
S03 tramvia (2007)	38.5	C1	11.00-11.50	27.50-27.00	Dr-a (lp)													
SA tramvia (2014)	38.5	C2	11.40-12.00	27.10-26.50	Dr-a (lp)	(limo argilloso, molto consistente, marrone verdastro)	19.50	19.75	0.670	93.0	23.30							
S3-DH (dic 2016)	37.7	SPT4	12.00-12.45	25.70-25.25	Dr-b (ss)	(limo sabbioso-argilloso compatto)												
media							19.81	20.09	0.624	93.7	22.39	58.5	24.1	34.4	1.08			
mediana							19.85	20.10	0.625	94.5	22.35	56.5	24.3	32.8	1.09			
DEV. STD.																		
5° percentile																		
formula statistica semplificata con COV secondo Schneider: $X_k = X_{med} \cdot (1 - COV/2)$ (per numero limitato di campioni) (COV 10% per ϕ' e c' , 40% per C_u)																		
formula statistica semplificata con COV secondo Cherubini & Orr: $X_k = X_{med} \cdot (1 - COV/2)$ (per numero limitato di campioni) (COV 10%-15%-30% per ϕ' sabbia-limo-argilla; 45% per c' , 55% per C_u)																		

Tabella 10 - Modello geotecnico parcheggio multipiano – Depositi Recenti (Dr), 1/2.

sondaggio id	Tx UU Cu (kPa)	Tx CU ϕ °	Tx CU c (kPa)	Tx CU ϕ' °	Tx CU c' (kPa)	ELL Cu (kPa)	TG DIR ϕ' °	CD TG DIR c' (kPa)	SPT id	SPT colpi	NSPT N2+N3	Prova edometrica													
												Rapp ricompr RR'	Rapp compres CR	Rapp rigonf SR	Press precon σ'_{vmax} (kPa)	Coeff cons vert Cv (cm2/sec) (grad 1-2)	Coeff cons vert Cv (cm2/sec) (grad 2-4)	Coeff cons vert Cv (cm2/sec) (grad 4-8)	Eed kPa (grad 1-2)	Eed kPa (grad 2-4)	Eed kPa (grad 4-8)	Coeff compr Mv (cm2/kg)			
Depositi alluvionali attuali e recenti (Sintema dell'Arno): Dr																									
S1A (apr 2007)							21.5	15.0				0.02129	0.11022	0.04154	222.2	1.77E-04									
S6-pz (feb 2017)						163	20.1	19.7								2.18E-04	1.83E-04	1.46E-04	9711	10808	16279				
S3-DH (dic 2016)									SPT1	2-4-4	8														
S4 (feb 2017)						161	15.0	21.6								1.19E-04	1.27E-04	1.27E-04	7574	8896	13390				
S1B (nov 2009)		18.4	36.4	22.3	20.6	111																			
S02 tramvia (2007)																									
SA tramvia (2014)									SPT1	1-4-1	5														
S6-pz (feb 2017)									SPT1	7-10-14	24														
1423 (SIGS)						52																			0.01126
S1B (nov 2009)									SPT1	5-7-8	15														
S6-pz (feb 2017)						119	21.5	17.9								0.000131	0.000137	0.000086	17833	20223	23777				
S3-DH (dic 2016)						101	15.3	23.8								0.000335	0.000246	0.00015	10661	12534	18038				
S3-DH (dic 2016)									SPT2	12-16-19	35														
SA tramvia (2014)									SPT2	7-11-17	28														
S4 (feb 2017)						144	19.3	12.1																	
S1B (nov 2009)	160.6						20.1	26.4																	
S6-pz (feb 2017)									SPT2	14-16-19	35														
S3-DH (dic 2016)									SPT3	23-27-30	57														
S1A (apr 2007)							16.0	31.9				0.03146	0.1341	0.06031	663.5	2.30E-04	0.000115								
1425 (SIGS)																									
S1B (nov 2009)									SPT2	11-13-16	29														
S3-DH (dic 2016)						118	22.0	12.7								0.00051	0.000302	0.000267	12705	13077	17931				
S02 tramvia (2007)																									
SA tramvia (2014)									SPT3	11-15-18	33														
SA tramvia (2014)																									
S6-pz (feb 2017)									SPT3	17-20-23	43														
S03 tramvia (2007)																									
SA tramvia (2014)																			9906	10032	16516				
S3-DH (dic 2016)									SPT4	21-26-31	57														
media						121	19.0	20.1				30.8	0.02638	0.12216	0.05093	442.9	2.46E-04	1.85E-04	1.55E-04	11398	12595	17655	0.01126		
mediana						119	20.1	19.7				31.0	0.02638	0.12216	0.05093	442.9	2.18E-04	1.60E-04	1.46E-04	10284	11671	17224	0.01126		
DEV.STD.						34	2.6	6.2																	
5° percentile						65.4	14.6	9.9																	
formula statistica semplificata con COV secondo Schneider: $X_k = X_{med} \cdot (1 - COV\%)$						97	18.0	19.1																	
formula statistica semplificata con COV secondo Cherubini & Orr: $X_k = X_{med} \cdot (1$						88	16.8	15.6																	

Tabella 11 - Modello geotecnico parcheggio multipiano – Depositi Recenti (Dr), 2/2.

sondaggio o SPT	campione m pc	granulometria (in grassetto la descrizione secondo Raccomandazioni AGI 1977)	Parametri fisici			Limiti di Atterberg							Classificaz. UNI 10006				
			peso vol nat kN/m ³	ind vuoti (-)	grado satur %	Umid nat W %	Limite liq LL %	Limite plast LP %	Indice plast IP %	Indice consist IC (-)	Indice attiv (-)	Classificaz Casagrande	Limite ritiro %	Coeff ritiro	Gruppo	Indice grupp	
LIVELLO GEOTECNICO 1																	
S 97	CI 1	0.80-1.40	limo (48.4) con argilla (41.3) debolm sabbioso (9.7)	19.0	0.64	76.2	18.18	47.9	21.6	26.3	1.13	0.62	CL	13.9	1.98	A7-6	16
S 39	CI 1	1.50-2.00	argilla (48.1) con limo (44.2) deb sabbiosa (6.3)	18.6	0.832	86.4	26.05	59.6	27.1	32.5	1.03	0.66	CH			A7-6	20
S 96	CI 1	1.50-2.00	argilla (54.5) con limo (38.7) sabbia (4.6)	18.8	0.754	93.3	26.35	62.0	21.8	40.2	0.89	0.71	CH	12.3	1.95	A7-6	20
S 122 duna	CI 1	1.50-2.00	argilla (50.7) con limo (45.5) sabbia (3.7)	19.5	0.515	86.5	16.51	59.8	22.9	36.9	1.17	0.72	CH	12.4	2.02	A7-6	20
MEDIA				19.0	0.685	85.6	21.8	57.3	23.4	34.0	1.06	0.68		12.9	1.98		
MEDIANA				18.9	0.697	86.5	22.1	59.7	22.4	37.4	1.08	0.69		12.4	1.98		
DEV.STD.																	
valore 5° pct																	
LIVELLO GEOTECNICO 2																	
S 95	CI 1	2.50-3.00	argilla (51.1) con limo (40.4) deb ghiaiosa (5.3)	20.1	0.587	96.4	21.26	58.1	23.4	34.7	1.06	0.64	CH	11.8	1.98	A7-6	20
S 122 duna	CI 2	3.00-3.50	argilla (49.3) con limo (43.9) sabbia (4.5)	18.8	0.728	97.6	25.57	56.1	24.1	32.0	0.95	0.63	CH	12.8	2.02	A7-6	19
S 275 Cavet	CI 1	3.70-4.20		20.2			21.65	45.0	22.0	23.0	1.01		CL			A7-6	14
S 97	CI 2	4.00-4.50	argilla (43.5) con limo (43.9) debolm ghiaiosa (7.4) sabbiosa (7.2)	19.0	0.590	97.0	18.18	53.8	22.5	31.3	1.14	0.66	CH	13.3	2.01	A7-6	19
S 95	CI 2	4.50-5.00	argilla (50.0) con limo (44.3) sabbia (4.4)	19.9	0.728	100.3	26.80	60.6	25.7	34.9	0.97	0.68	CH	12.7	2.04	A7-6	20
MEDIA				19.6	0.658	97.8	22.7	54.7	23.5	31.2	1.03	0.65		12.7	2.01		
MEDIANA				19.9	0.659	97.3	21.7	56.1	23.4	32.7	1.01	0.65		12.8	2.02		
DEV.STD.																	
valore 5° pct																	
LIVELLO GEOTECNICO 3																	
S 96	CI 2	5.50-6.00	argilla (49.5) con limo (43.6) sabbia (4.5)	19.2	0.703	97.8	23.46	56.0	23.9	32.1	1.01	0.62	CH	12.1	1.98	A7-6	19
S 96	CI 3	9.00-9.50	limo (47.2) con argilla (42.4) debolm sabbioso (5.3) ghiaioso (5.1)	20.4	0.520	95.8	20.67	42.5	15.9	26.6	0.82	0.58	CL	11.8	2.01	A7-6	15
S 275 Cavet	CI 2	9.40-10.10		18.6			28.78	56.0	23.0	33.0	0.82		CH			A7-6	19
MEDIA				19.4	0.612	96.8	24.3	51.5	20.9	30.6	0.88	0.60		12.0	2.00		
MEDIANA				19.2	0.612	96.8	23.5	56.0	23.0	33.0	0.82	0.60		12.0	2.00		
DEV.STD.																	
valore 5° pct																	

Tabella 12 - Modello geotecnico tre capannoni – logistica (1/2)

sondaggio	campione o SPT	prof camp m pc	TxCU ϕ' °	TxCU c' (kPa)	ELL Cu (kPa)	TxUU Cu (kPa)	TG DIR CD		TxCD ϕ' °	TxCD c' (kPa)	TxCU-TG DIR CD		Prova edometrica				1-2 kg/cm2 Mod edom Med (kPa)	2-4 kg/cm2 Mod edom Med (kPa)	4-8 kg/cm2 Mod edom Med (kPa)
							ϕ' °	c' (kPa)			ϕ' °	c' kPa	Ind ricomp Cr	Ind compress Cc	Ind rigonf Cs	Press precon σ'_{vmax} (kPa)			
LIVELLO GEOTECNICO 1																			
S 97	CI 1	0.80-1.40	26.3	16.7							26.3	16.7	0.05912	0.17335	0.05009	425		18051	19841
S 39	CI 1	1.50-2.00											0.05840	0.23038	0.07567	390	21142	13550	14556
S 96	CI 1	1.50-2.00	20.3	14.3							20.3	14.3	0.05914	0.16393	0.06073	291	23095	12048	15060
S 122 duna	CI 1	1.50-2.00				108.6	17.9	22.8			17.9	22.8	0.06090	0.16633	0.06999	685	75758	58824	24938
MEDIA			23.3	15.5			17.9	22.8			21.5	17.9	0.05939	0.18350	0.06412	448	39998	25618	18599
MEDIANA			23.3	15.5			17.9	22.8			20.3	16.7	0.05913	0.16984	0.06536	408	23095	15800	17451
DEV.STD.											3.53	3.58							
valore 5° pct											15.7	12.0							
LIVELLO GEOTECNICO 2																			
S 95	CI 1	2.50-3.00			174.5								0.02792	0.16688	0.06288	422		18315	19194
S 122 duna	CI 2	3.00-3.50					17.8	31.0			17.8	31.0	0.06619	0.20106	0.07195	369	49751	13643	14663
S 275 Cavet	CI 1	3.70-4.20																	
S 97	CI 2	4.00-4.50	24.6	9.7							24.6	9.7	0.02857	0.17447	0.06770	650		140845	41841
S 95	CI 2	4.50-5.00					17.4	20.5			17.4	20.5	0.04902	0.21789	0.08376	493	91743	22989	19011
MEDIA							17.6	25.8			19.9	20.4	0.04293	0.19008	0.07157	484	70747	48948	23677
MEDIANA							17.6	25.8			17.8	20.5	0.03880	0.18777	0.06983	458	70747	20652	19103
DEV.STD.											3.30	8.70							
valore 5° pct											14.5	6.1							
LIVELLO GEOTECNICO 3																			
S 96	CI 2	5.50-6.00			148.9		23.0	6.7			23.0	6.7	0.05964	0.20692	0.07558	401	27548	15699	15601
S 96	CI 3	9.00-9.50			112.3		26.1	24.8			26.1	24.8	0.04271	0.12674	0.04230	251	11561	12920	19685
S 275 Cavet	CI 2	9.40-10.10	19.4	18.96							19.4	18.96							
MEDIA					130.6		24.6	15.8			22.8	16.8	0.05118	0.16683	0.05894	326	19554	14309	17643
MEDIANA					130.6		24.6	15.8			23.0	19.0	0.05118	0.16683	0.05894	326	19554	14309	17643
DEV.STD.											2.74	7.54							
valore 5° pct											18.3	4.4							

Tabella 13 - Modello geotecnico tre capannoni – logistica (2/2)

11. Liquefazione

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

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test – C.P.T.*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1a e b delle NTC 2018.

§ 7.11.3.4 DM 17-01-18	Criteri per omissione verifica	Valore	Verifica liquefazione	Note
1	Accelerazione max attesa al p.c. < 0.1 g	>0.1 g	SI	§ 9.2.
2	Profondità falda > 15 m	Terreni sottosuolo impermeabili ("aquiclude" o "acquitardo"), falda s.s. solo nei livelli sabbioso-ghiaiosi come l'Orizzonte Firenze 2 posto a circa 10-13 m p.c.	SI/NO	§ 10.2.
3	$q_{c1N} > 180$ $(N_1)_{60} > 30$	Non sono presenti depositi costituiti da sabbie pulite, salvo eventuali intervalli in corrispondenza degli orizzonti acquiferi come Firenze 2 e Firenze 3, comunque non raggiunti dalle prove CPT/CPTU	(NO)	§ vedi Allegato indagini penetrometriche
4	Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle fig. 7.11.1 a) e b) delle NTC 2018	I fusi granulometrici dei campioni prelevati nelle campagna 2015-2017 mostrano sempre un passante >80-90% (escluso pochi campioni, v. testo)	NO	§ vedi Allegato analisi gotecniche di laboratorio

Tabella 14 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.

La prima condizione (*accelerazione max attesa al p.c. < 0.1 g*) per l'omissione della verifica risulta non soddisfatta (sempre maggiore di 0.1 g).

Relativamente alla seconda condizione (*profondità falda > 15 m*), i terreni costituenti in linea generale il sottosuolo del sedime aeroportuale sono di fatto impermeabili ("aquiclude" o "acquitardo"), la prima falda s.s. è ubicata nei livelli sabbioso-ghiaiosi come l'Orizzonte Firenze 2 posto nella fascia di profondità media di 10-13 m p.c..

La terza condizione (*depositi costituiti da sabbie pulite*), non trova riscontro nella generale successione litologica costituente il sottosuolo del sedime aeroportuale, salvo eventuali intervalli in corrispondenza degli orizzonti acquiferi come Firenze 2 (fascia prof. media 10-13 m p.c.) e Firenze 3 (fascia prof. media 25-32 m p.c.), comunque non raggiunti dalle prove CPT/CPTU.

Con riferimento alla quarta condizione, i fusi presentano una distribuzione granulometrica esterna alle zone di cui alla Fig. 7.11.1 delle NTC 2018, con valori del passante superiori a 80÷90%, salvo poche eccezioni (S37-C1 1.00-1.50 m p.c. con passante del 57%; S117-C1 2.00-2.50 m p.c. con passante del 59%).

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

Pertanto, si ritiene di omettere la verifica a liquefazione.

12. Terre e rocce da scavo

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

13. Indicazioni relative alla realizzazione dei lavori

13.1. Indicazioni inerenti la gestione delle acque di aggettamento

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

A causa delle specifiche caratteristiche litologiche dei terreni affioranti nell'area, i quali risultano dotati di una permeabilità 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

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

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

La 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 ben più profonde dei fondo scavi. Resta naturalmente doveroso assumere da parte della Direzione dei Lavori tutti gli accorgimenti tecnici necessari alla protezione del terreno di fondo scavo da possibili fenomeni di inquinamento causati dal passaggio dei mezzi d'opera.

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

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

14. Conclusioni

Lo studio geologico effettuato nelle aree interessate dalla progettazione di una serie di

fabbricati a supporto delle attività dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze, prevista nel project review del Piano di Sviluppo Aeroportuale 2035, non ha evidenziato la presenza di aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici, geotecnici e sismici contrastanti o limitanti la fattibilità dell'intervento. Per quanto riguarda l'esame delle problematiche idrauliche si rimanda agli altri elaborati progettuali.

Viste le caratteristiche di progetto, quelle geologiche e geotecniche e i risultati delle indagini eseguite nel sito di intervento (Campagne di indagine del 2015 e del 2017) è stato elaborato il modello geologico e geotecnico (§ 10.) del sottosuolo indicando i valori caratteristici dei parametri geotecnici (§ 10.3.) da adottare cautelativamente. A partire dalla categoria di sottosuolo identificata attraverso indagini geofisiche di tipo MASW, HVSR e downhole e in base a vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento forniti dai progettisti, sono stati forniti i parametri dell'azione sismica locale (si veda il § 9.2.4.).

Firenze, 12 ottobre 2022

dr. geol. Fabio Picchi

dr. geol. Michele Sani

15. Bibliografia

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

- AA.VV. (1982) – *Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale in scala 1:250.000*. Note illustrative C.N.R., Prog. Fin. Geod., 429, 203 pp.
- Abbate E., Bortolotti V., Passerini P. & Sagri M. (1970) – *Introduction to the geology of the Northern Apennines*. *Sedimentary Geology* 4, 3-4, 207- 249.
- Autorità di Bacino del Fiume Arno (2010) - *Piano di Bacino – Stralcio bilancio idrico*.
- Bartolini C. & Pranzini G. (1981) – *Plio-Quaternary evolution of the Arno Basin drainage*. *Zeit. Geomorph. N.F., 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 Dip.to Scienze della Terra.
- Coli M. & Rubellini P. (2007) – *Note di geologia fiorentina*. SELCA 2007.
- Gargini A. & Pranzini G. (1994) – *Map of protection against pollution of aquifers in the Middle Valdarno (Florence-Prato-Pistoia plain)*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 48, 923-928.
- Gori P. (1970) – *Osservazioni idrogeologiche e sedimentologiche nell'area compresa fra Campi Bisenzio, Scandicci e Lastra a Signa*. Tesi di laurea inedita, Istituto di Geologia di Firenze.
- Grigioni A. (2012) – *Relazione geologica e idrogeologica. Impianto di recupero energia da incenerimento di rifiuti non pericolosi loc. Case Passerini, Sesto Fiorentino (Firenze)*, 1-158.
- Guazzone G. (1971) – *Ricerca sulle falde acquifere profonde fra Firenze e Pistoia. Parte I. Indagine geologica*. *Quaderni dell'Istituto di ricerca sulle acque*, 6, 42-53.
- Pandeli E. (2008) – *La pianura di Firenze-Prato-Pistoia nel quadro dell'evoluzione geologica dell'Appennino Settentrionale*. In: *Un piano per la Piana: idee e progetti per un parco*.

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

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

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

* * *