



MINISTERO DELLE
INFRASTRUTTURE E DELLA
MOBILITÀ SOSTENIBILI



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

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035

Titolo Documento

Pista di volo 11-29, Taxyways e Aprons
Relazione geologica RWY 11-29

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	CODICE FILE
PFTE	00	Settembre 2022	FLR-MPL-PFTE-RWY3-001-GL-RT_Rel Geo RWY 11-29
			TITOLO RIDOTTO
			Rel Geo RWY 11-29

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

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

GRUPPO DI LAVORO

responsabile di commessa e coordinamento
dr. geol. Michele Sani

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

INDICE

1. Premessa.....	7
1.1. Generalità.....	7
1.2. Descrizione schematica delle opere e degli interventi.....	8
1.3. Individuazione dei vincoli presenti.....	8
2. Fasi di lavoro.....	10
3. Geologia.....	11
3.1. Evoluzione tettonica del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia.....	11
3.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze.....	13
3.2.1. <i>Substrato pre-lacustre</i>	13
3.2.2. <i>Depositi pre-lacustri</i>	14
3.2.3. <i>Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano</i>	14
3.2.4. <i>Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia</i>	14
3.2.4.1. Argille turchine AUCTT.....	14
3.2.4.2. Depositi clastici di delta e fan-delta dei paleo-torrenti.....	15
3.2.5. <i>Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi)</i>	15
3.2.6. <i>Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti)</i>	15
3.3. Orizzonti "Firenze".....	16
3.3.1. <i>Orizzonte "Firenze 1"</i>	16
3.3.2. <i>Orizzonte "Firenze 2"</i>	17
3.3.3. <i>Orizzonte "Firenze 3"</i>	18
3.3.4. <i>Orizzonte "Firenze 4"</i>	19
3.3.5. <i>Considerazioni sull'andamento degli orizzonti "Firenze"</i>	19
3.4. Geologia dell'area di intervento.....	21
3.4.1. <i>Unità Tettoniche Liguri – Unità di Monte Morello</i>	22
3.4.1.1. Formazione di Monte Morello (MLL).....	22
3.4.2. <i>Depositi olocenici</i>	22
3.4.2.1. Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna1 e bna2).....	22
3.4.2.2. <i>Alluvioni recenti (Ac)</i>	23
3.4.2.3. Depositi alluvionali attuali (b).....	23
3.4.2.4. Depositi colluviali (b7).....	23
3.4.3. <i>Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5)</i>	23
3.4.4. <i>I Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi [h1]</i>	23
4. Idrogeologia.....	24
4.1. Aspetti idrogeologici generali.....	24
4.2. Permeabilità delle unità litostatigrafiche affioranti nell'area in esame.....	25
4.3. Superficie piezometrica.....	26
5. Geomorfologia e stabilità.....	28
5.1. Introduzione.....	28
5.1.1. <i>Forme di origine antropica</i>	29
5.1.2. <i>Depositi quaternari di versante</i>	29
5.1.3. <i>Forme dovute e processi fluviali</i>	29
6. Classi di pericolosità.....	29
6.1. Pericolosità geologica.....	30
6.2. Pericolosità idraulica.....	30
6.3. Pericolosità sismica.....	31
7. Classi di fattibilità.....	31
7.1. Comune di Sesto Fiorentino.....	31
7.1.1. <i>Fattibilità geologica</i>	31

7.1.2. Fattibilità idraulica.....	32
7.1.3. Fattibilità sismica.....	33
7.2. Comune di Firenze.....	33
7.2.1. Fattibilità geologica.....	33
7.2.2. Fattibilità idraulica.....	34
7.2.3. Fattibilità sismica.....	34
8. Risultati delle indagini eseguite.....	34
8.1. Generalità.....	34
8.2. Pozzetti geognostici.....	40
8.3. Prove penetrometriche.....	41
8.3.1. Prove penetrometriche statiche (CPT).....	41
8.3.2. Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU).....	58
8.4. Prove dilatometriche.....	73
8.5. Sondaggi a carotaggio continuo.....	80
8.5.1. Standard Penetration Test.....	81
8.6. Prove geotecniche di laboratorio.....	83
8.6.1. Principali caratteristiche fisico-meccaniche.....	86
8.7. Indagini geofisiche.....	93
8.7.1. Sismica a rifrazione.....	93
8.7.2. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW).....	93
8.7.3. Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).....	94
8.7.4. Indagine sismica in foro downhole.....	95
9. Sismicità e definizione dei parametri sismici.....	95
9.1. Zona sismica.....	95
9.2. Parametri sismici.....	96
9.2.1. Aspetti generali.....	96
9.2.2. Categoria di di sottosuolo (approccio semplificato).....	96
9.2.3. Categoria topografica.....	97
9.2.4. Parametri dell'azione sismica locale.....	97
10. Modellazione geologica e geotecnica.....	98
10.1. Sezioni litologiche.....	98
10.2. Modello geologico del sottosuolo.....	98
10.2.1. Nuova pista.....	98
10.2.2. Vasca di auto contenimento idraulico C.....	99
10.3. Modello geotecnico.....	100
10.3.1. Valori caratteristici dei parametri geotecnici.....	101
10.3.1.1. Aspetti generali.....	101
10.3.1.2. Nuova pista.....	102
10.3.1.3. Vasca di auto contenimento C.....	102
10.3.1.4. Considerazioni sui terreni coesivi superficiali.....	103
11. Liquefazione.....	106
12. Terre e rocce da scavo.....	107
13. Indicazioni relative alla realizzazione dei lavori.....	107
13.1. Indicazioni inerenti la gestione delle acque di aggettamento.....	107
13.2. Indicazioni sulla necessità di opere provvisorie e loro tipologia.....	107
13.3. Indicazione sulla tutela dei suoli interessati dalle aree di cantiere.....	107
13.4. Indicazione degli interventi di ripristino delle aree a fine cantiere.....	108
14. Conclusioni.....	108
15. BIBLIOGRAFIA.....	109

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Ubicazione dell'area di progetto in scala 1:25.000.	9
Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecechi et al., 1976b).	17
Figura 3 - Carta di plasticità di Casagrande con i campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	88
Figura 4 - Frequenza dei valori dell'indice dei vuoti iniziale (e_0) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	89
Figura 5 - Frequenza dei valori del contenuto d'acqua (W_N) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	90
Figura 6 - Frequenza dei valori del limite di liquidità (W_L) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	90
Figura 7 - Frequenza dei valori del limite di plasticità (W_p) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	91
Figura 8 - Frequenza dei valori dell'indice di plasticità (I_p) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	91
Figura 9 - Frequenza dei valori dell'indice di compressione (C_c) ottenuto dalle prove edometriche eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	92
Figura 10 - Frequenza dei valori dell'indice di rigonfiamento (C_s) ottenuto dalle prove edometriche eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	92
Figura 11 - Valori della pressione di preconsolidazione in funzione della profondità ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati tra 0 e 1,50 m dal p.c. nei sondaggi lungo la nuova pista, da nord-ovest (sinistra) a sud-est (destra).	104
Figura 12 - Valori OCR in funzione della profondità ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati tra 0 e 1,50 m dal p.c. nei sondaggi lungo la nuova pista, da nord-ovest (sinistra) a sud-est (destra).	105
Figura 13 - Valori OCR in funzione della profondità (m dal p.c.) ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.	105

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Classi di permeabilità.	26
Tabella 2 - Misure piezometriche nei piezometri della campagna del 2015.	28
Tabella 3 - Misure piezometriche nei piezometri della campagna del 2017.	28
Tabella 4 - Classi di fattibilità.	32
Tabella 5 - Classi di fattibilità.	32
Tabella 6 - Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite durante la perforazione dei sondaggi.	37
Tabella 7 - Campioni indisturbati della campagna del 2015.	38
Tabella 8 - Campioni indisturbati della campagna del 2017.	40
Tabella 9 - Elaborazione statistica prove penetrometriche. (sezione centrale pista)	56
Tabella 10 - Elaborazione statistica prove penetrometriche (raccordi e piazzali).	57
Tabella 11- Parametri geotecnici ricavabili dai valori di N_{SPT}	82
Tabella 12 - Prove geotecniche di laboratorio "specifiche" eseguite sui campioni indisturbati del 2015.	84
Tabella 13 - Prove geotecniche di laboratorio "specifiche" eseguite sui campioni indisturbati del 2017.	86
Tabella 14 - Risultati dalla prova AASHTO modificata riportanti il contenuto in acqua (w) e il peso di volume secco (g_d).	88
Tabella 15 - Parametri statistici di alcune proprietà geotecniche.	89
Tabella 16 - Valori V_s ₃₀	94
Tabella 17 - Valori caratteristici per l'area di intervento relativamente alla pista.	102

Tabella 18 - Valori caratteristici per l'area di intervento.	103
Tabella 19 - Parametri statistici dei parametri dalle prove edometriche.	106
Tabella 20 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.	107

TAVOLE FUORI TESTO

Carta geologica
Carta idrogeologica
Carta geomorfologica
Ubicazione delle indagini geognostiche

* * *

1. Premessa

1.1. Generalità

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica dell'intervento relativo alla realizzazione della nuova pista di volo (RWY 11-29) e della vasca di autocontenimento denominata C (situate nel territorio del Comune di Sesto Fiorentino e, in porzione minore, nel territorio del Comune di Firenze, come mostrato in 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 della nuova pista di volo (RWY 11-29) e della vasca di autocontenimento denominata C mira ad una più efficace contestualizzazione delle opere rispetto ai rinnovati indirizzi di Piano, muovendo tuttavia a partire dalle risultanze delle numerose e approfondite indagini, analisi, misurazioni,

studi e verifiche e, più in generale, dall'ampio quadro conoscitivo del contesto interessato, che il gestore aeroportuale ha avuto modo di definire nel corso di più anni a partire proprio dalla definizione del precedente Masterplan.

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

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

1.2. Descrizione schematica delle opere e degli interventi

La presente relazione geologica ha come oggetto i seguenti interventi principali:

- realizzazione della nuova pista avente una lunghezza di 2.200 m, posta in posizione quasi ortogonale a quella attuale;
- vasca di auto contenimento idraulico denominata C, ubicata a sud della pista in progetto; Vista la tipologia di opera prevista, il progetto è considerato di interesse strategico ai sensi del Decreto del Presidente della Giunta Regionale 19 gennaio 2022 n. 1/R¹.

1.3. Individuazione dei vincoli presenti

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

¹ *Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014 n. 65 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.*

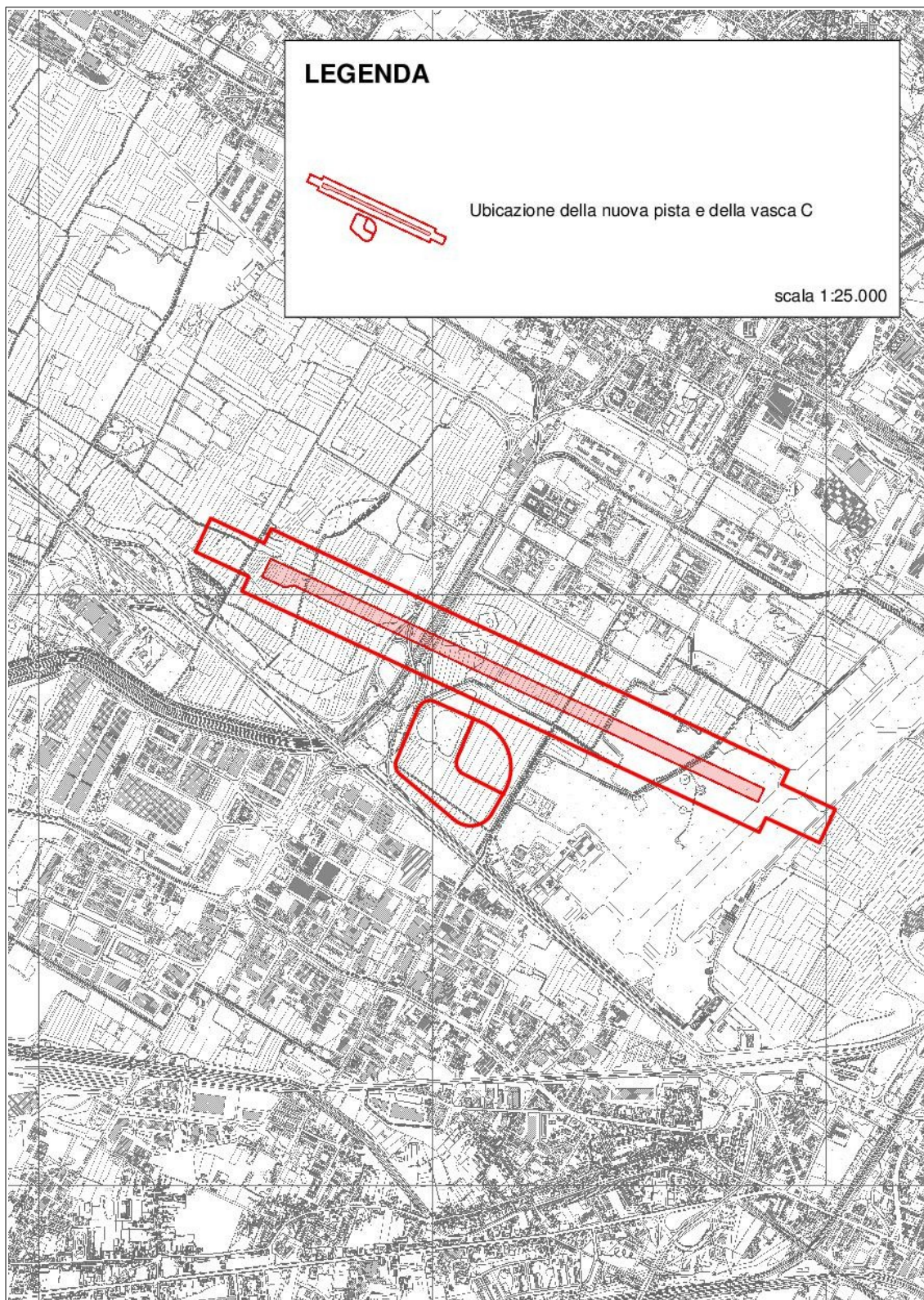


Figura 1 - Ubicazione dell'area di progetto in scala 1:25.000.

- l'intera area di intervento non è interessata dal Vincolo Idrogeologico ai sensi del Regio Decreto Legge n. 3267 del 30 dicembre 1923²;
- parte della porzione occidentale della nuova pista di volo ricade all'interno del Sito di Interesse Regionale (SIR) *Stagni della Piana Fiorentina e Pratese* (codice IT5140011);
- il lago di Peretola rientra tra le zone di protezione speciale (ZPS), i siti di importanza comunitaria (SIC) e siti di interesse regionale (SIR);
- una piccola porzione occidentale e la zona meridionale della vasca di auto contenimento idraulico C sono ubicate all'interno di un'area di notevole interesse pubblico ex art. 136, lettera a, Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42³;
- la suddetta area di progetto della pista di volo e della futura vasca C sono interne al Vincolo aeroportuale (Fascia di rispetto perimetrale m. 300 pendenza 1/7);
- zone gravate da usi civici (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 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;
- 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.);

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.

- 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 l'allegato C);
- elaborazione del modello geologico del sito e del modello geotecnico di sottosuolo (§ 10.);
- indicazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici ricavati (§ 10.3.1.);
- valutazioni in merito alla suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione (§ 11.).

3. Geologia

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

Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia, posto ad una quota media di 45 m s.l.m., si sviluppa in direzione NW-SE per una lunghezza di 45 km ed una larghezza massima di circa 10 km. Esso è delimitato a nord-nord-est dai Monti della Calvana e dal Monte Morello, con altitudine di circa 900 m s.l.m. e a sud-sudovest dal Montalbano con altitudine di oltre 600 m s.l.m.. In questo contesto geografico è prevista la realizzazione della nuova pista, delle opere accessorie e di quelle di compensazione dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze. Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia presenta una geometria a semi-graben fortemente asimmetrica, con un margine nord-orientale molto acclive, in corrispondenza della faglia principale di Fiesole e da una rampa di raccordo poco inclinata localmente interessata da faglie minori sul versante sud-occidentale. I depositi di riempimento del bacino si sono sviluppati con ampi delta e fan-delta clastici sviluppati alla base del sistema di faglie maggiori. In questo tipo di bacini il sollevamento tettonico dei margini, e il corrispondente allargamento del drenaggio fluviale, portano alla formazione di potenti sequenze sedimentarie clastiche grossolane in corrispondenza delle aree centrali. Nel dettaglio, dal punto di vista tettonico-geometrico, l'area di Firenze è caratterizzata dalla presenza di una fascia interessata da più faglie disposte a gradinata e in parte sepolte al di sotto dei depositi fluvio-lacustri villafranchiani, localizzata

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

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

3.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze

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

3.2.1. Substrato pre-lacustre

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

3.2.2. Depositi pre-lacustri

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

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

3.2.3. Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano

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

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

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

3.2.4. Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia

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

3.2.4.1. Argille turchine AUCTT.

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

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

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

3.2.5. Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi)

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

3.2.6. Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti)

Il Sintema del Fiume Arno è costituito dai depositi d'alveo e di esondazione recenti e attuali della coltre alluvionale deposta dal Fiume Arno e dei suoi affluenti nell'area fiorentina, in complessi rapporti di eteropie laterali erosive e sedimentarie. I primi metri superficiali (3÷5 m) sono composti da limi di esondazione sabbiosi. A questo intervallo è da far corrispondere l'Orizzonte Firenze 1 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 3.3.). I depositi d'alveo sono costituiti prevalentemente da ciottolami e ghiaie, con percentuale molto variabile della matrice fine, con intercalati livelli e lenti di sabbie. Le ghiaie compongono il corpo clastico principale,

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

3.3. Orizzonti "Firenze"

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

3.3.1. Orizzonte "Firenze 1"

Si tratta dello strato superficiale indicato dai vecchi Autori col nome di "*pancone*" o "*gentilone*". E' costituito da sabbia fine con argilla con le ghiaie e i ciottoli frequentemente dispersi nel banco e più rare piccole lenti di argilla. In varie località l'orizzonte Firenze 1 è composto da sabbie anche grossolane e relativamente pulite come, a esempio, all'Anconella e in altri luoghi in prossimità del Fiume Arno. Da notare che nel centro della città alla composizione di questo strato contribuiscono in buona parte materiali di scarico derivanti dalle rovine di costruzione di varie epoche. Questo strato superficiale, costituito in massima parte da materiale depositato dal Fiume Arno durante le piene, è presente in tutta l'area studiata a eccezione dell'area dell'Osmannoro a nord della Via Pistoiese. Il suo spessore varia da 3 a 9 metri ma nel centro della città ha una media di 4÷5 m.

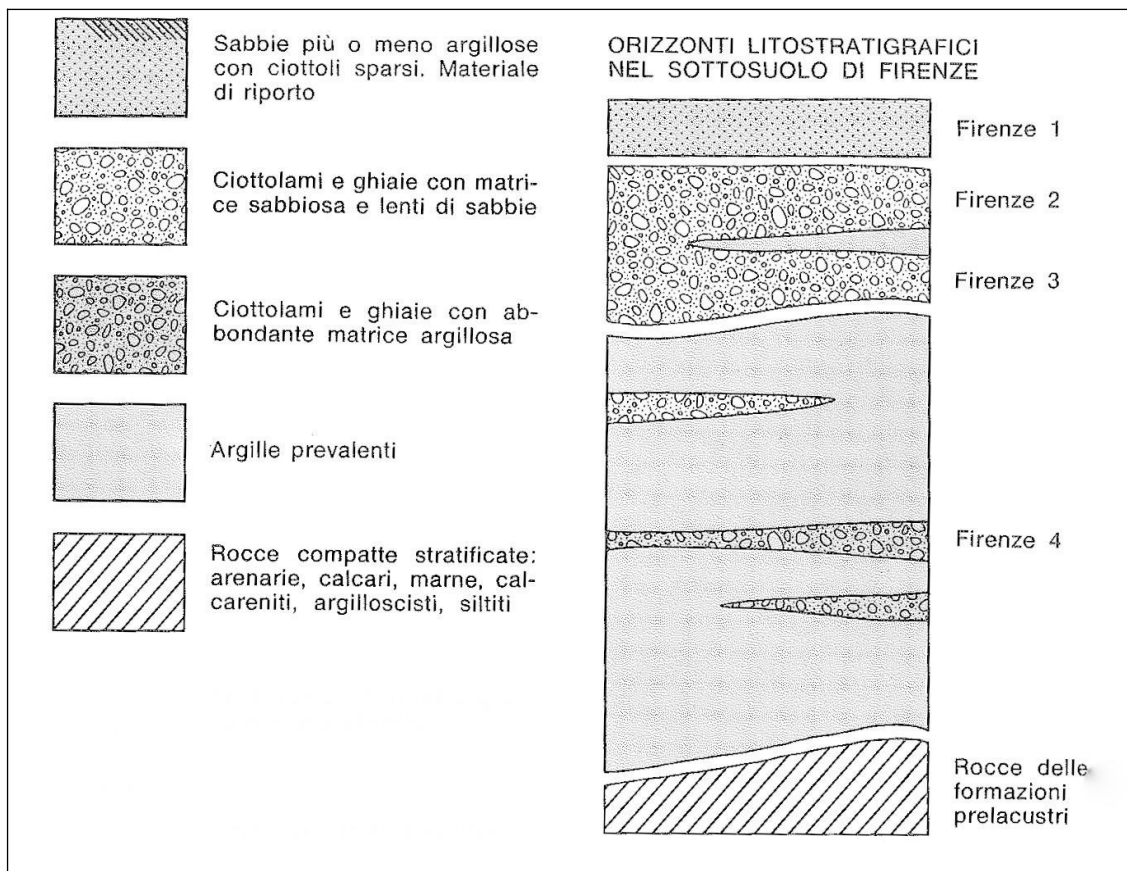


Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecci et al., 1976b).

3.3.2. Orizzonte "Firenze 2"

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

notevole capacità di trasporto. La natura litologica dei ciottoli di questo orizzonte non è uniforme su tutta l'area in cui affiorano. Nella zona orientale, dall'Anconella al centro città, i ciottoli sono quasi esclusivamente formati da arenarie quarzoso-micacee, probabilmente provenienti dalla formazione Macigno. Lo studio dei campioni prelevati in pozzi situati nelle zone delle Cascine, di Mantignano e delle Piagge, ha messo in luce una maggiore eterogeneità litologica: insieme a quelli di arenaria Macigno, sono presenti ciottoli di calcareniti, spesso fossilifere, calcari di vario tipo e arenarie calcaree provenienti soprattutto dalle formazioni di Monte Morello, di Sillano e della Pietraforte. Lo spessore di questo orizzonte è molto variabile; diminuisce gradualmente verso i margini della pianura e verso ovest. In 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 Capecci *et al.* (1976b) che mostrano come la terminazione occidentale di questo intervallo coincida in tutti questi profili con la terminazione dell'Orizzonte Firenze 1. Si può ritenere quindi che oltre Peretola, a nord della Via Pistoiese, il Fiume Arno non si sia mai spinto a depositare né le sue alluvioni grossolane (Orizzonte Firenze 2), né quelle più fini recenti

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

fluvio-lacustre, dotati della migliore permeabilità e rappresentano quindi gli acquiferi più importanti. Per quanto riguarda l'Orizzonte Firenze 2 si osserva in particolare che:

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

Per l'Orizzonte Firenze 3 si osserva invece che:

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

3.4. Geologia dell'area di intervento

Nell'area in cui verranno realizzati la nuova vista, i piazzali e i raccordi e la vasca di auto contenimento C, affiorano i Depositi Olocenici (rappresentati dai Depositi alluvionali recenti terrazzati - bna1 e bna2, dalle Alluvioni recenti - Ac, dai Depositi alluvionali attuali - b, dai Depositi colluviali - b7, dai Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata - h5 e dai Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi - h1) e le Unità Tettoniche Liguri, in particolare la Formazione di Monte Morello (MLL) appartenente all'Unità omonima, come mostrato nella carta geologica riportata in allegato, 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 Sistema 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.).

Nei paragrafi seguenti si descrivono le formazioni geologiche presenti (dalla più antica alla più recente).

3.4.1. Unità Tettoniche Liguri – Unità di Monte Morello

Il Dominio Ligure fa parte di quelle successioni caratterizzate da un substrato costituito da crosta oceanica (Oceano Ligure – Piemontese). In particolare l'Unità di Monte Morello, di età cenozoica, è la più esterna (nord - orientale) tra quelle oceaniche ed è inclusa nei Domini Liguri Esterni.

3.4.1.1. Formazione di Monte Morello (MLL)

La Formazione di M. Morello costituisce i rilievi collinari che delimitano la piana di Firenze-Sesto Fiorentino, in località Quinto Alto (angolo nord-orientale della carta geologica riportata in allegato). Dal punto di vista litologico la formazione è composta prevalentemente da argilliti varicolori con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree, marne e blocchi litoidi calcareo-silicei. Si presenta profondamente disturbata, a volte caoticizzata, talora con strutture plastiche con assetto difficilmente riconoscibile anche a causa della notevole alterazione. Lo spessore degli strati varia da 0,30 m ad oltre 1 m per i calcari marnosi. L'età è compresa tra il Paleocene superiore e l'Eocene medio.

3.4.2. Depositi olocenici

3.4.2.1. Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna1 e bna2)

Si tratta di depositi di origine alluvionale costituiti da ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali di 1° e 2° ordine (bna1 e bna2, rispettivamente) i quali compongono la quasi totalità dei terreni affioranti nell'area della carta geologica. Gli interventi oggetto della presente relazione saranno realizzati prevalentemente su questi depositi.

Dall'esame della documentazione inerente le campagne di indagine si evince che, dal punto di vista meramente litologico, nell'area interessata dai lavori in progetto affiorano, al di sotto di alcuni decimetri di terreno vegetale o in alcuni casi, di terreno di riporto, limi, limi argillosi, argille limose e argille, a tratti debolmente sabbiosi. Il colore del terreno in posto nelle porzioni più superficiali è ocra, beige o bruno.

3.4.2.2. Alluvioni recenti (Ac)

Questi depositi affiorano limitatamente nella porzione sud-orientale della zona indagata, nel territorio comunale di Firenze, tra Via Francesco Geminiani e Via di Carraia. Sono formati in genere da sedimenti grossolani: si tratta soprattutto di ghiaie e ciottolami puliti dell'alveo del Fiume Arno (unità Ac) che, localmente, possono formare corpi canalizzati (unità Ab, non affiorante nell'area di interesse).

3.4.2.3. Depositi alluvionali attuali (b)

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

3.4.2.4. Depositi colluviali (b7)

I Depositi colluviali sono rinvenibili nella zona pedecollinare della località di Quinto Alto, fra Firenze e Sesto Fiorentino, ai piedi dei rilievi collinari costituiti dai terreni della Formazione di M. Morello. Questi depositi sono costituiti da detrito e frammenti di forma prevalentemente angolare, deposti alla base dei versanti dalla sola azione della forza di gravità.

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

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

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

Questa unità identifica i terreni presenti in corrispondenza della discarica di Case

Passerini, ubicata a ovest della zona in esame, in prossimità della località Osmannoro. La discarica e gli impianti si trovano in un'area delimitata dal Fosso Reale (a sud), dall'autostrada A11 (a nordest) e dagli stagni di Focognano (a nordovest).

4. Idrogeologia

4.1. Aspetti idrogeologici generali

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

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

composti dai limi di esondazione, la falda è di tipo semi-confinato (o addirittura confinato) e la superficie freatica si attesta a quote prossime alla superficie topografica. A Nord della via Pistoiese la prima falda può essere considerata confinata, dato che le ghiaie dell'Orizzonte Firenze 3 sono coperte da almeno 16 m di terreno a bassa permeabilità (riconducibile all'Orizzonte Firenze 1 passante verso nord ai sedimenti limno-palustri dei Depositi alluvionali recenti della piana di Sesto Fiorentino). Ugualmente confinate sono le falde ubicate nei livelli permeabili della successione fluvio-lacustre presente al di sotto dell'Orizzonte Firenze 2 (Orizzonte Firenze 4 corrispondente al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia), costituiti da ghiaie e sabbie, spesso con matrice limosa abbondante. Come detto precedentemente, nelle lenti di ghiaie e sabbie che si rinvergono all'interno dei depositi lacustri delle argille azzurre, appartenenti al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia, sono ubicate falde confinate, peraltro alimentate con difficoltà dal fatto di essere disperse in potenti serie argillitiche.

Nella piana di Firenze le isofreatiche indicano, come andamento generale, un flusso di falda che dai rilievi collinari si dirige verso il Fiume Arno, con una componente verso ovest in modo concorde con la direzione di flusso dell'Arno. Il gradiente idraulico diminuisce dalle zone pedecollinari verso il centro della valle (da 1,0÷1,5 % a 0,2 %), dovuta all'aumento dei valori di trasmissività dei sedimenti.

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

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche della principale unità geologica presente (bna), è possibile stimare la permeabilità su base qualitativa, in funzione degli elementi da cui essa dipende (caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, presenza di pozzi, densità del reticolo idrografico) (carta idrogeologica). Nel dettaglio, i terreni di origine alluvionale presenti nelle aree di pianura sono dotati di permeabilità per porosità primaria legata alla presenza di pori tra le particelle del terreno, acquisita al momento della loro formazione. Tale permeabilità per i Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna) è in genere bassa e diminuisce o aumenta in corrispondenza rispettivamente dei livelli fini o grossolani. Considerando tutte le perforazioni dei sondaggi delle campagne geognostiche realizzate nel 2015 e nel 2017, in alcuni casi è stata rinvenuta acqua. La spiegazione dell'acqua rinvenuta sta nel fatto che il sottosuolo dell'area esaminata, costituito da terreni fine in massima parte rappresentati da argille e limi, è un acquicludo in cui si può avere, nelle stagioni delle piogge,

presenza di acqua di ritenzione a causa dell'alta porosità, ma questa acqua non circola in quanto la porosità efficace è molto bassa, dell'ordine di pochi punti percentuali.

Per quanto concerne la permeabilità delle altre formazioni affioranti, è generalmente molto bassa per i Depositi antropici (h5 e h1) e colluviali (b7), mentre può essere considerata media per i Depositi alluvionali sia attuali (b) che recenti (Ac).

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

Classe	Terreni permeabili per porosità primaria	Permeabilità
1	Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5) Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi (h1) Depositi colluviali (b7)	molto bassa
2	Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1 e bna2)	bassa
3	Depositi alluvionali attuali (b) Depositi alluvionali recenti (Ac)	media
4	-	alta
5	-	molto alta

Tabella 1 - Classi di permeabilità.

Volendo invece fornire un valore indicativo del coefficiente di permeabilità K, si può far riferimento a quello ottenuto dalle prove edometriche dei sondaggi (si veda il § 8.6.) che risulta compreso tra 2,00E-12 m/sec (campione S22-CI1, argilla con limo debolmente sabbiosa) e 1,84E-09 m/sec (campione S99-CI1, limo con argilla sabbioso) e a quello derivante dalle prove di permeabilità in situ di tipo Lefranc eseguite durante la prima fase di indagine (n. 23), le quali non hanno fornito nella maggior parte dei casi valori di permeabilità indicativi per l'assenza di abbassamenti significativi; solo nel caso dei sondaggi S19 e S35 è stato ricavato un valore medio del coefficiente k pari rispettivamente a 3,62E-09 m/s (profondità prova 5,00÷7,00 m) e 4,47E-08 m/s (tra 25,00 e 30,00 m).

4.3. Superficie piezometrica

Durante l'esecuzione della quasi totalità dei sondaggi delle campagne di indagine del 2015 e 2017 non è stata riscontrata presenza di acqua; è comunque opportuno fare alcune precisazioni in merito alle interferenze eventualmente presenti e prevedibili tra gli interventi in progetto e le acque di sottosuolo.

Come detto nei capitoli precedenti, la zona in studio presenta schematicamente le seguenti caratteristiche idrogeologiche:

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

Per la realizzazione dell'opera in progetto è previsto, in alcune aree, uno scavo di modesta entità che coinvolge solo lo strato superficiale dell'Orizzonte Firenze 1 (porzione superiore del Sintema 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 (§ 4.1.).

Nelle campagne di indagini geognostiche del 2015 e del 2017, sono stati realizzati numerosi piezometri (si veda il § 8.1. e l'ubicazione delle indagini in allegato); le misure piezometriche effettuate in vari periodi dell'anno indicano le quote riportate nelle tabelle 2 e 3 seguenti. E' fondamentale sottolineare che, come già scritto, le misure eseguite rappresentino dei livelli piezometrici pertanto, nel caso di un acquifero libero, la superficie piezometrica corrisponda alla reale quota della falda freatica, mentre nel caso di un acquifero confinato, o semi confinato, come quello dell'area di progetto, la superficie piezometrica misurata nei pozzi corrisponda a una quota fittizia, non reale, della falda nel terreno: la quota dell'acqua raggiunta nel pozzo, in questo caso, è determinata infatti dalla pressione dovuta alla differenza di carico tra la zona di alimentazione e l'opera di captazione considerata. In altre situazioni, invece, si tratta di semplice acqua di ritenzione, come illustrato al paragrafo precedente.

	sigla piezometro	27 ottobre 2016		27 gennaio 2017	
		quota [m s.l.m.]	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]	profondità [m da p.c.]
<i>Porzione NO dell'area di progetto</i>	S13	33,17	1,63	33,47	1,33
	S19	33,71	1,59	34,84	0,46
	S22	33,91	3,29	34,51	2,69
<i>Porzione centrale dell'area di progetto</i>	S28	35,71	2,29	36,71	1,29
	S31	36,75	1,75	37,71	0,79
<i>Porzione SE dell'area di progetto</i>	S35	34,24	1,76	34,57	1,43
	S40	36,98	0,92	36,61	1,29
	S44	37,85	1,35	38,4	0,8

Tabella 2 - Misure piezometriche nei piezometri della campagna del 2015.

sigla piezometro	quota [m s.l.m.]	profondità [m da p.c.]	data
S108 <i>(a NO dell'area di progetto)</i>	33,32	2	23/08/17

Tabella 3 - Misure piezometriche nei piezometri della campagna del 2017.

5. Geomorfologia e stabilità

5.1. Introduzione

La nuova pista e il sedime a essa circostante si svilupperanno a partire dal lago di Peretola, al confine con il Comune di Firenze, in direzione nord-ovest fino alla stazione di servizio di Peretola Nord, nei pressi del confine con il Comune di Campi Bisenzio. I piazzali e i raccordi in progetto saranno realizzati per la maggior parte all'interno dell'attuale perimetro aeroportuale. La Vasca C, infine, sarà ubicata in località P. Dogaia, tra l'attuale tracciato del

Fosso Reale e l'aeroporto. L'intera zona è pianeggiante ed è posta a quote variabili tra circa 35 e 39 m s.l.m..

La carta geomorfologica in allegato è stata elaborata a partire dal medesimo elaborato degli strumenti urbanistici dei comuni interessati dai lavori e integrata con il lavoro di campagna. Le forme principali sono legate all'attività antropica che ha fortemente modificato il paesaggio; in particolare l'uomo ha creato una regimazione delle acque meteoriche e di ruscellamento superficiale di tipo artificiale, tale da ritenere assenti fenomeni erosivi di interesse. Le forme individuate sono state classificate in base all'origine e distinte in due gruppi che vengono di seguito descritti.

5.1.1. Forme di origine antropica

Tra le forme legate all'attività antropica si osservano numerosi riporti come i rilevati arginali (tra i quali si segnala il Fosso Reale) e stradali (autostrade e stazione di servizio di Peretola) cartografati come Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata; la discarica di Case Passerini a ovest (Discariche per inerti e rifiuti solidi) e alcune cave inattive (il lago di Peretola a est e quello di Mollaia a nord-ovest).

5.1.2. Depositi quaternari di versante

In questo gruppo sono inseriti i depositi colluviali rilevati ai piedi del versante, posti nella porzione nord-orientale della zona in studio, e che rappresentano uno dei rilievi collinari che delimitano la piana di Firenze-Sesto Fiorentino.

5.1.3. Forme dovute e processi fluviali

Il contatto tra le due unità geologiche affioranti (bna1 e bna2 - carta geologica), coincide con il limite deposizionale della conoide alluvionale che è stata cartografata.

6. Classi di pericolosità

Gli interventi in oggetto ricadono principalmente nel territorio del Comune di Sesto Fiorentino e, per una porzione più limitata, nel Comune di Firenze; entrambi i comuni sono dotati del Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico e dunque delle Carte di pericolosità previste dalla normativa vigente in materia.

6.1. Pericolosità geologica

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

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

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

6.2. Pericolosità idraulica

La *Carta della pericolosità idraulica ai sensi del 53/R* (Secondo Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Calenzano e Sesto Fiorentino - Tavola IGT-PSI-9H) classifica l'area in cui sorgeranno le opere in progetto in parte in classe di pericolosità idraulica I.4 (alveo del Fosso Reale attuale), in parte in classe di pericolosità idraulica I.3 e in parte in classe di pericolosità idraulica I.3* (Aree di potenziale ristagno e/o insufficienza di drenaggio della rete di acque basse).

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

La porzione che ricade nel territorio del Comune di Firenze è anch'essa compresa in classe di pericolosità idraulica media I.3 nella *Carta della pericolosità idraulica* (Tavola 5 della *Variante al Piano Strutturale del 2010*).

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 alle porzioni sul tracciato attuale del Fosso Reale, P3.

6.3. Pericolosità sismica

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

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

7. Classi di fattibilità

Per quanto riguarda le prescrizioni relative alle classi di fattibilità geologica e sismica di seguito assegnate, si evidenzia che il presente studio geologico è basato su dati ottenuti da indagini geognostiche eseguite nell'area di intervento o nelle immediate vicinanze. In merito agli aspetti idraulici (art. 46 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 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), che permettono di attribuire le classi di fattibilità in funzione della tipologia di intervento ma tra le opere contemplate non vi è nulla cui possa essere assimilata quella cui si riferisce la il progetto della nuova pista, mentre per la vasca di autocontenimento C sono presenti gli interventi riguardanti gli *sbanamenti e/o scavi per interrati e altre sistemazioni*.

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

7.1.1. Fattibilità geologica

Vista la classe di pericolosità geologica media - G2 (§ 6.1), le fattibilità, assegnate

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, sono riportate nella tabella 4 seguente:

Opera in progetto	Categoria o tipologia di intervento	Fattibilità
Pista	Realizzazione della pista	FG3 condizionata
Vasca C	Sbancamenti e/o scavi per interrati e altre sistemazioni fino a ml 2,50	FG3 condizionata

Tabella 4 - Classi di fattibilità.

N.B.. Tutti gli interventi ricadono in classe G2 - pericolosità geologica media.

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. Si sottolinea che il presente studio geologico è basato su dati ottenuti da indagini geognostiche eseguite nell'area di intervento o nelle immediate vicinanze.

7.1.2. Fattibilità idraulica

In base all'abaco B della relazione di fattibilità precedentemente citata, vista la classe di pericolosità idraulica I.3/I.3* e I4 (§ 6.2.), si attribuiscono le classi di pericolosità idraulica indicate nella tabella 5.

In merito alle prescrizioni di cui all'art. 46, comma 4 e 5 delle Norme Generali del Secondo Regolamento Urbanistico, si vedano gli altri elaborati progettuali.

Opera in progetto	Categoria o tipologia di intervento	Fattibilità
Pista	Realizzazione della pista	F13 condizionata
Vasca C	Si fa riferimento ai concetti generali del DPGR 53/R/2011 poiché tra le opere contemplate nell'abaco B non vi è nulla cui possa essere assimilato a questo intervento	F13 condizionata

Tabella 5 - Classi di fattibilità.

N.B.. Tutti gli interventi ricadono in classe I.3/I3* – pericolosità idraulica medio.

7.1.3. Fattibilità sismica

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

7.2. Comune di Firenze

Le Norme Tecniche di Attuazione del Piano Strutturale del Comune di Firenze forniscono le regole per procedere all'assegnazione della classe di fattibilità in funzione del tipo di intervento edilizio o urbanistico e del grado di pericolosità in relazione agli aspetti legati al rischio geologico, idraulico e sismico. Tali disposizioni sono contenute nel Volume I, Titolo II, *Disciplina ecologico ambientale*, Capo II, *Misure di protezione* delle NTA. Per quanto riguarda le opere da realizzarsi all'interno dell'attuale sedime aeroportuale, l'art. 44 disciplina gli interventi di nuova costruzione, ampliamento e recupero nell'area aeroportuale che, ai sensi del comma 5, *sono sempre ammessi purché funzionali alla gestione e sviluppo del servizio.* Nei paragrafi seguenti si assegnerà la fattibilità agli interventi esterni a tale perimetro.

7.2.1. Fattibilità geologica

In merito agli aspetti geologici, ai sensi della *Matrice della fattibilità geologica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area*, viene attribuita ai piazzali e raccordi in progetto (gruppo: *infrastrutture e reti tecnologiche*; tipo di intervento: *realizzazione di infrastrutture per la mobilità (strade, ferrovie, piste ciclabili, ecc.) o modifiche alle esistenti*) una fattibilità geologica con normali vincoli FG2, poiché l'area ricade in classe di pericolosità geologica media G.2 (§ 6.1.). Come riporta l'art. 74 delle N.T.A., tale classe di fattibilità prevede le seguenti prescrizioni: *Sono consentiti gli interventi di nuova edificazione e di realizzazione di nuove infrastrutture, nonché la ristrutturazione urbanistica e quella edilizia con demolizione e ricostruzione la cui progettazione deve contenere apposite considerazioni basate su studi ed indagini di dettaglio che diano conto che l'intervento garantisce la sicurezza della popolazione, non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente le condizioni e i processi geomorfologici dell'area interessata.*

7.2.2. Fattibilità idraulica

Per quanto riguarda la fattibilità idraulica, in base alla *Matrice della fattibilità idraulica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area*, vista la tipologia di intervento precedentemente descritta e le classe di pericolosità presenti, viene attribuita ai lavori in oggetto una fattibilità idraulica condizionata – FI3 e limitata - FI4.

7.2.3. Fattibilità sismica

Relativamente alla fattibilità sismica, secondo l'abaco *Matrice della fattibilità sismica delle opere in funzione della tipologia di intervento e della pericolosità dell'area*, analogamente a quanto fatto in precedenza (stessa tipologia intervento, area in classe di pericolosità sismica elevata S.3), si assegna una fattibilità sismica condizionata – FS3 alle opere da realizzare. Questa classe di fattibilità sismica, come contenuto nell'art. 76 delle N.T.A., richiede le seguenti norme: *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 le prescrizioni relative alle condizioni di amplificazione sismica locale contenute al comma 1 del suddetto articolo si veda il § 9.2.4..

8. Risultati delle indagini eseguite

8.1. Generalità

Come detto in premessa, le indagini di riferimento per il presente studio sono quelle eseguite dalla società Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l., nella Campagna di indagini geognostiche realizzate nel 2015 e nel 2017. In particolare, per lo studio delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e meccaniche dei terreni presenti nell'area interessata dalla realizzazione della pista e delle opere ad essa connesse, sono state realizzate le seguenti indagini geognostiche ubicate come mostrato in allegato A:

- n. 40 (quaranta) pozzetti geognostici con escavatore meccanico denominati PG094÷PG107, PG109÷PG114, PG120 ,PG123, PG124, PG126, PG129, PG131÷PG145, aventi una profondità di 2,0 m dal p.c.;
- n. 33 (trentatrè) prove penetrometriche statiche denominate CPT15÷47, che hanno raggiunto le profondità comprese tra 5,20 e 12,00 m dal p.c., eseguite dalla società Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);

- n. 16 (sedici) prove penetrometriche statiche con piezocono denominate CPTU7÷22, che hanno raggiunto le profondità comprese tra 7,17 e 12,13 m dal p.c., eseguite dalla società Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);
- n. 15 (quindici) prove dilatometriche denominate DM1÷15, che hanno raggiunto la profondità comprese tra 8,6 e 14,0 m dal p.c., eseguite dalla società Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);
- n. 21 (ventuno) sondaggi a carotaggio continuo denominati S14÷S18, S20, S21, S23÷S27, S29, S32÷S34, S37, S42, S43, S45, S47 aventi una profondità di 4,0 m dal p.c.;
- n. 3 (tre) sondaggi a carotaggio continuo denominati S30, S41, S46, aventi una profondità di 7,0 m dal p.c.;
- n. 2 (due) sondaggi a carotaggio continuo denominati S51 e S96, della profondità di 10,0 m dal p.c.;
- n. 22 (ventidue) sondaggi a carotaggio continuo denominati S97÷S101, S103, S104, S106 e S107 aventi una profondità di 15,0 m dal p.c.;
- n. 6 (sei) sondaggio a carotaggio continuo denominati S13, S19, S22, S28, S31 e S44, della profondità di 10,0 m dal p.c., attrezzati a piezometro;
- 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. 1 (uno) sondaggio a carotaggio continuo denominato S108, della profondità di 40,0 m dal p.c. attrezzato a piezometro;
- n. 2 (due) sondaggi a carotaggio continuo denominati S118 e S119, della profondità di 32,0 m dal p.c. attrezzati per l'indagine sismica in foro;
- n. 1 (uno) sondaggio a carotaggio continuo denominato S119, della profondità di 32,0 m dal p.c. attrezzato per l'indagine sismica in foro;
- esecuzione di Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite in alcuni sondaggi, come riassunto nella tabella 6;
- prelievo di campioni indisturbati con fustella di tipo Shelby dai sondaggi realizzati, alle profondità indicate nelle tabelle 7 e 8;

- sui campioni indisturbati sono state eseguite alcune prove geotecniche da parte del laboratorio Igetecma s.n.c. di Montelupo Fiorentino (Provincia di Firenze) che sono descritte nel § 8.6.;
- esecuzione di n. 10 (dieci) indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P e onde Sh denominate RIFR2÷11, realizzate dalla società Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);
- esecuzione di n. 3 (tre) indagini geofisiche di superficie mediante metodologia di tipo Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW) denominate MASW6, MASW9 e MASW10 e di n. 3 (tre) misure di sismica passiva Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr), realizzate dalla società Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);
- esecuzione di n. 2 (due) indagini sismica in foro di tipo down hole al fine di determinare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m dal piano di imposta delle fondazioni (V_{s30}), eseguite dalla società Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena) nel foro dei sondaggi S118 e S119.

Sigla sondaggio	S.P.T.	Profondità [m da p.c.]	Profondità [m s.l.m.]	N1	N2	N3	N _{SPT}
S96	1	2,10 ÷ 2,55	37,662 ÷ 37,212	3	5	9	14
	2	4,00 ÷ 4,45	35,762 ÷ 35,312	7	11	12	23
	3	7,00 ÷ 7,45	32,762 ÷ 32,312	9	13	14	27
S97	1	3,50 ÷ 3,95	35,711 ÷ 35,261	7	9	11	20
	2	6,00 ÷ 6,45	33,211 ÷ 32,761	9	12	14	26
S98	1	4,00 ÷ 4,45	33,583 ÷ 33,133	11	14	16	30
	2	7,00 ÷ 7,45	30,583 ÷ 30,133	8	9	12	21
S99	1	3,50 ÷ 3,95	34,353 ÷ 33,903	7	7	9	16
	2	5,10 ÷ 5,55	32,753 ÷ 32,303	6	9	11	20
S100	1	4,00 ÷ 4,45	33,755 ÷ 33,305	6	11	14	25
	2	8,00 ÷ 8,45	29,755 ÷ 29,305	13	15	15	30
S101	1	3,50 ÷ 3,95	34,118 ÷ 33,668	4	6	7	13
	2	9,00 ÷ 9,45	28,618 ÷ 28,168	8	11	13	24
S103	1	3,50 ÷ 3,95	32,328 ÷ 31,878	7	9	9	18
S104	2	8,00 ÷ 8,45	27,828 ÷ 27,378	11	15	15	30
	1	4,00 ÷ 4,45	32,494 ÷ 32,044	6	9	11	20
	2	6,00 ÷ 6,45	30,494 ÷ 30,044	8	12	13	25
S106	1	4,00 ÷ 4,45	34,312 ÷ 33,862	5	6	6	12

Sigla sondaggio	S.P.T.	Profondità [m da p.c.]	Profondità [m s.l.m.]	N1	N2	N3	N _{SPT}
	2	6,00 ÷ 6,45	32,312 ÷ 31,862	8	10	12	22
S107	1	3,00 ÷ 3,45	32,016 ÷ 31,566	6	8	7	15
	2	6,00 ÷ 6,45	29,016 ÷ 28,566	9	9	11	20
S118	1	2,10 ÷ 2,55	33,97 ÷ 33,515	6	5	7	12
	2	5,00 ÷ 5,45	31,065 ÷ 30,615	8	8	13	21
	3	7,00 ÷ 7,45	28,965 ÷ 28,515	10	11	14	25
S119	1	2,10 ÷ 2,55	34,252 ÷ 33,802	6	9	11	20

Tabella 6 - Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite durante la perforazione dei sondaggi.

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
S14	CI1	1,00 ÷ 1,45	34,825 ÷ 34,375
S15	CI1	1,00 ÷ 1,50	34,275 ÷ 33,775
S16	CI1	1,00 ÷ 1,40	34,375 ÷ 33,975
S17	CI1	0,50 ÷ 1,00	35,125 ÷ 34,625
	CI2	1,00 ÷ 1,50	34,625 ÷ 34,125
S18	CI1	1,00 ÷ 1,50	34,70 ÷ 34,20
S20	CI1	0,50 ÷ 1,00	35,425 ÷ 34,925
	CI2	1,00 ÷ 1,50	34,925 ÷ 34,425
S21	CI1	0,50 ÷ 1,00	36,05 ÷ 35,55
	CI2	1,00 ÷ 1,50	35,55 ÷ 35,05
S23	CI1	1,00 ÷ 1,50	34,975 ÷ 34,475
S24	CI1	0,50 ÷ 1,00	35,50 ÷ 35,00
	CI2	1,10 ÷ 1,60	34,90 ÷ 34,40
S25	CI1	0,50 ÷ 1,00	36,05 ÷ 35,55

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
	CI2	1,50 ÷ 1,90	35,05 ÷ 34,65
S26	CI1	1,00 ÷ 1,50	35,875 ÷ 35,375
S27	CI1	1,00 ÷ 1,50	34,80 ÷ 34,30
S29	CI1	0,50 ÷ 1,00	36,425 ÷ 35,925
	CI2	1,00 ÷ 1,50	35,925 ÷ 35,425
S30	CI1	1,00 ÷ 1,50	37,26 ÷ 36,76
S32	CI1	0,50 ÷ 1,00	37,325 ÷ 36,825
	CI2	1,00 ÷ 1,50	36,825 ÷ 36,325
S33	CI1	0,50 ÷ 1,00	37,475 ÷ 36,975
	CI2	1,00 ÷ 1,50	36,975 ÷ 36,475
S34	CI1	1,00 ÷ 1,50	37,65 ÷ 37,15
S37	CI1	1,00 ÷ 1,50	36,85 ÷ 36,35
S41	CI1	0,50 ÷ 1,00	38,00 ÷ 37,50
	CI2	1,00 ÷ 1,50	37,50 ÷ 37,00
S42	CI1	1,00 ÷ 1,50	37,975 ÷ 37,475
S43	CI1	1,00 ÷ 1,50	38,525 ÷ 38,025
S44	CI1	1,00 ÷ 1,50	38,230 ÷ 37,73
S45	CI1	1,00 ÷ 1,80	36,65 ÷ 35,85
S47	CI1	1,00 ÷ 1,50	37,375 ÷ 36,875
S51	CI1	1,00 ÷ 1,50	36,625 ÷ 36,125

Tabella 7 - Campioni indisturbati della campagna del 2015.

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
S96	CI1	1,50 ÷ 2,00	38,262 ÷ 37,762
	CI2	5,50 ÷ 6,00	34,262 ÷ 33,762
	CI3	9,00 ÷ 9,50	30,762 ÷ 30,262
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
	CI3	5,00 ÷ 5,50	32,755 ÷ 32,255
S101	CI1	0,50 ÷ 1,00	37,118 ÷ 36,618
	CI2	2,50 ÷ 3,00	35,118 ÷ 34,618
	CI3	4,00 ÷ 4,60	33,618 ÷ 33,018
S103	CI1	0,50 ÷ 1,00	35,328 ÷ 34,828
	CI2	2,00 ÷ 2,50	33,828 ÷ 33,328
	CI3	4,00 ÷ 4,50	31,828 ÷ 31,328
S104	CI1	1,50 ÷ 2,00	34,994 ÷ 34,494
	CI2	3,00 ÷ 3,50	33,494 ÷ 32,994
S106	CI1	1,50 ÷ 2,00	36,812 ÷ 36,312

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
	CI2	3,00 ÷ 3,50	35,312 ÷ 34,812
S107	CI1	0,50 ÷ 1,00	34,516 ÷ 34,016
	CI2	2,00 ÷ 2,50	33,016 ÷ 32,516
	CI3	4,00 ÷ 4,50	30,016 ÷ 29,516
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

Tabella 8 - Campioni indisturbati della campagna del 2017.

L'allegato A raccoglie le stratigrafie dei sondaggi con le foto delle cassette catalogatrici, i certificati delle prove penetrometriche e i certificati delle analisi geotecniche di laboratorio. Nell'allegato B è invece riportato il rapporto finale delle indagini sismiche.

8.2. Pozzetti geognostici

I pozzetti geognostici (tavola *Ubicazione delle indagini - RWY 11-29*) sono stati eseguiti con escavatore meccanico cingolato a benna rovescia allo scopo di prelevare campioni da sottoporre ad analisi chimiche di supporto alla redazione del Piano di Utilizzo delle Terre (PUT). I saggi hanno indagato uno spessore di 2,0 m dal p.c. incontrando, al di sotto di 0,1÷0,5 m di terreno vegetale (argille e argille da debolmente limose a debolmente sabbiose rimaneggiate con resti di apparati radicali), argille talvolta limose o sabbiose, in alcuni casi con qualche ghiaia, di colore marrone o nocciola.

8.3. Prove penetrometriche

8.3.1. Prove penetrometriche statiche (CPT)

Le prove penetrometriche statiche sono state realizzate con un penetrometro cingolato gommato, modello TG 63-200 KN, capace di una spinta di 200 kN (20 ton), progettato e prodotto dalla Pagani Geotechnical Equipment di Piacenza; le verticali hanno raggiunto il rifiuto strumentale a una profondità inferiore ai 15 m dal p.c. previsti. Le prove hanno fornito le seguenti informazioni (si vedano i certificati nell'allegato A e le sezioni litostratigrafiche allegate):

- Prova penetrometrica statica CPT 15:
 - profondità indagata: 6,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,6÷1,2 m, 1,8÷2,0 m, 2,6÷2,8 m, 3,2÷3,4 m e 5,6÷6,0 m dal p.c.), livelli francamente sabbiosi (0,0÷0,4 m, 2,4÷2,6 m, 3,0÷3,2 m e 4,0÷4,2 m dal p.c.) e torbe/argille organiche tra 3,8 e 4,0 m dal p.c.;
 - la resistenza alla punta ha valori alti fino a 1,0 m dal p.c., successivamente aumenta gradualmente con la profondità; la resistenza laterale ha una leggera tendenza all'aumento con la profondità fino alla profondità di rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 16:
 - profondità indagata: 6,4 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli francamente sabbiosi (1,0÷1,4 m e 3,6÷3,8 m dal p.c.), torbe/argille organiche (0,2÷0,4 m, 2,6÷2,8 m, 2,0÷2,6 m, 3,0÷3,2, 4,4÷4,6 m e 5,0÷5,2 m dal p.c.) e di limi e/o sabbie tra 0,6÷1,0 m e 1,4÷1,6 m dal p.c.;
 - la resistenza alla punta ha valori alti fino a 1,0 m dal p.c., successivamente scende fino alla profondità di 3,2 m dal p.c. per poi aumentare fino a raggiungere il rifiuto strumentale; la resistenza laterale sale fino alla profondità di 0,6 m dal p.c., successivamente i valori diminuiscono fino a 1,4 m dal p.c., si osserva poi un aumento

di fs fino al rifiuto strumentale.

- Prova penetrometrica statica CPT 17:
 - profondità indagata: 6,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,2÷0,4 m, 0,6÷0,8 m, 1,6÷1,8 m, 2,2÷2,4 m, 3,6÷3,8 m, 4,6÷4,8 m e 5,2÷5,6 m dal p.c.), livelli francamente sabbiosi (0,4÷0,6 m e 3,4÷3,6 m dal p.c.) e torbe/argille organiche tra 0,8 e 1,0 m e 2,8 e 3,2 m dal p.c.;
 - la resistenza alla punta ha valori alti fino a 1,0 m dal p.c., successivamente aumenta gradualmente fino alla profondità di fine infissione; la resistenza laterale ha piccole oscillazioni rimanendo su valori bassi fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 18:
 - profondità indagata: 5,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (2,4÷2,6 m, 4,2÷4,4 m e 5,0÷5,2 m dal p.c.), torbe/argille organiche (0,0÷0,4 m, 1,0÷1,2 m, 1,6÷1,8 m, 2,8÷3,6 m e 4,6÷4,8 m dal p.c.) e un intervallo francamente sabbioso tra 1,6 e 1,8 m dal p.c.;
 - la resistenza alla punta ha valori alti fino a 0,8 m dal p.c., successivamente scende fino alla profondità di 1,2 m dal p.c., per poi aumentare fino a raggiungere il rifiuto strumentale; la resistenza laterale ha piccole oscillazioni rimanendo su valori bassi fino al rifiuto.
- Prova penetrometrica statica CPT 19:
 - profondità indagata: 6,4 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di orizzonti di limi e/o sabbie (0,2÷0,6 m, 2,4÷2,6 m e 5,2÷6,2 m dal p.c.) e due intervalli di torbe/argille organiche tra la profondità compresa tra 0,8÷1,0 m e 1,6÷2,0 m dal p.c.;

- i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale ha invece piccole oscillazioni rimanendo su valori bassi fino alla profondità di rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 20:
 - profondità indagata: 6,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (0,0÷0,6 m, 1,2÷1,4 m, 1,8÷2,0 m, 4,8÷5,0 m e 5,8÷6,0 dal p.c.) di limi e/o sabbie (1,6÷1,8 m, 2,2÷3,0 m, 3,6÷4,0 m e 4,6÷4,8 m dal p.c.), due orizzonti francamente sabbiosi tra la profondità tra 0,8÷1,0 m e 4,2÷4,4 m dal p.c. e un intervallo di sabbie e/o ghiaie alla profondità compresa tra 4,0÷4,2 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano repentinamente nei primi 0,8 m dal p.c. per poi crescere, dal 1,0 m dal p.c., più gradualmente con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale mostra invece piccole variazioni rimanendo su valori bassi fino alla profondità di 4,6 m dal p.c., successivamente si osserva un aumento della resistenza laterale fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 21:
 - profondità indagata: 6,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di un livello di torbe/argille organiche alla profondità compresa tra 0,2 e 0,4 m dal p.c., limi e/o sabbie (0,4÷0,8 m, 1,4÷1,6 m, 2,4÷2,8 m, 3,4÷3,6 m e 4,2÷4,6 m dal p.c.) e due orizzonti francamente sabbiosi alle profondità comprese tra 1,6÷2,4 m e 3,8÷4,2 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale presenta invece piccole oscillazioni rimanendo su valori bassi fino alla profondità di 4,0 m dal p.c., successivamente aumenta fino a raggiungere il rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 22:
 - profondità indagata: 6,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);

- seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di un livello di limi e/o sabbie alla profondità compresa tra 2,4 e 2,6 m dal p.c. e livelli francamente sabbiosi (0,2÷0,4 m, 2,2÷2,6 m e 2,8÷3,0 m dal p.c.);
- i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale presenta piccole variazioni rimanendo su valori bassi fino alla profondità di 4,2 m dal p.c., successivamente si osserva un aumento di fs fino al rifiuto.
- Prova penetrometrica statica CPT 23:
 - profondità indagata: 5,6 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di un intervallo francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,0 e 0,4 m dal p.c., limi e/o sabbie (3,8÷4,6 m e 5,2÷5,4 m dal p.c.) e un orizzonte di torba/argille organiche alla profondità compresa tra 0,6÷0,8 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale ha una leggera tendenza a crescere con la profondità fino al rifiuto.
- Prova penetrometrica statica CPT 24:
 - profondità indagata: 6,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli francamente sabbiosi (0,2 e 0,4 m, 0,6 e 0,8 m e 3,6 e 4,0 m dal p.c.), limi e/o sabbie (0,4÷0,6 m e 3,8÷4,4 m dal p.c.) e un orizzonte di torba/argille organiche alla profondità compresa tra 1,6÷1,8 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale ha piccole oscillazioni rimanendo su valori bassi fino alla profondità di 4,0 m dal p.c., successivamente si osserva un aumento fino al rifiuto strumentale.

- Prova penetrometrica statica CPT 25:
 - profondità indagata: 5,8 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di intervalli di limi e/o sabbie (0,0 e 0,4 m, 0,8 e 1,2 m, 1,6 e 1,8 m, 3,2 e 3,4 e 4,0 e 4,2 m dal p.c.), sabbie (0,6÷0,8 m e 1,8÷2,2 m dal p.c.) e un livello di torba/argille organiche alla profondità compresa tra 1,2÷1,6 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale ha una leggera tendenza a crescere con la profondità per poi arrivare a rifiuto.
- Prova penetrometrica statica CPT 26:
 - profondità indagata: 5,8 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di un livello di torbe/argille organiche alla profondità compresa tra 0,2 e 0,4 m dal p.c., limi e/o sabbie alla profondità compresa tra 2,8 e 3,0 m dal p.c., livelli francamente sabbiosi (1,4 e 1,6 m, 1,6 e 2,0 m e 2,8 e 3,0 m dal p.c.) e due orizzonti di sabbie e/o ghiaie alle profondità comprese tra 0,4 e 0,6 m e tra 2,0 e 2,2 dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale ha una leggera tendenza a crescere con la profondità fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 27:
 - profondità indagata: 6,4 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di orizzonti francamente sabbiosi (0,0 e 0,2 m, 1,0 e 1,2 m, 2,8 e 3,0 e 3,2 e 3,4 m dal p.c.), limi e/o sabbie (1,2 e 1,4 m, 1,8 e 2,0 m, 3,0 e 3,2 m, 3,4 e 3,6 e 5,2 e 5,4 m dal p.c.) e un livello di torbe/argille organiche alla profondità compresa tra 0,6 e 0,8 m dal p.c.;

- i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale oscilla su valori bassi fino a fondo infissione (rifiuto strumentale).
- Prova penetrometrica statica CPT 28:
 - profondità indagata: 7,4 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,2÷0,4 m, 1,5÷1,7 m, 2,0÷2,6 m, 3,0÷3,2 m, 3,8÷4,0 m dal p.c.), torbe/argille organiche (0,6÷1,0 m, 1,2÷1,4 m, 2,7÷2,9 m, 3,4÷3,6 m, 5,4÷5,6 m, 5,8÷6,0 m dal p.c.) e un livello francamente sabbioso tra 2,4 e 2,6 m dal p.c.;
 - a partire dal 1,2 m dal p.c. si osserva un generale aumento della resistenza alla punta e laterale con la profondità, fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 29:
 - profondità indagata: 7,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,5÷0,7 m, 1,5÷1,7 m, 1,7÷1,9 m, 2,3÷2,8 m, 3,2÷3,6 m, 7,7÷7,9 m e 7,1÷7,2 m dal p.c.), torbe/argille organiche (0,7÷0,9 m, 2,1÷2,3 m, 4,3÷4,5 m, 5,3÷5,5 m e 6,1÷6,3 dal p.c.) e un livello francamente sabbioso tra 3,9 e 4,1 m dal p.c.;
 - a partire dal 1,8 m dal p.c. si osserva un generale aumento della resistenza alla punta e laterale con la profondità, fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 30:
 - profondità indagata: 7,6 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,9÷1,1 m, 1,7÷2,1 m, 2,9÷3,1 m, 3,3÷3,5 m e 4,9÷5,1, 5,9÷5,5 m, 6,5÷6,7 m e 5,1÷5,3 m dal p.c.), torbe/argille organiche (1,1÷1,7 m, 2,5÷2,7 m, 4,3÷4,5 m, 4,7÷4,9 m dal p.c.) e due

livelli francamente sabbiosi tra 3,1 e 3,3 m ed tra 4,5÷4,7 m dal p.c.;

- a partire dal 1,2 m dal p.c. si osserva un generale aumento della resistenza alla punta con la profondità, fino al rifiuto strumentale, la resistenza laterale invece oscilla su valori simili per tutta la lunghezza della prova.
- Prova penetrometrica statica CPT 31:
 - profondità indagata: 6,6 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,5÷0,7 m, 0,9÷1,1 m, 1,7÷1,9 m, 3,5÷3,7 m, 4,9÷5,1 m, 4,3÷4,9 m e 5,1÷5,9 m dal p.c.), livelli francamente sabbiosi (1,3÷1,7 m, 1,9÷2,1 m, 3,7÷3,9 m dal p.c.) e due orizzonti di torbe/argille organiche tra 0,3 e 0,5 m ed tra 3,1÷3,3 m dal p.c.;
 - a partire dal piano di campagna si riscontrano valori alti di resistenza alla punta che diminuiscono fino alla profondità di 3,0 m, successivamente, dalla profondità di 3,2 m dal p.c. si osserva un generale aumento della resistenza alla punta con la profondità, fino al rifiuto strumentale, la resistenza laterale invece oscilla su valori simili per tutta la lunghezza dell'infissione.
- Prova penetrometrica statica CPT 32:
 - profondità indagata: 6,8 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli francamente sabbiosi (0,2 e 0,4 m, 0,6 e 1,0 m e 5,0 e 5,2 m dal p.c.), limi e/o sabbie (4,0 e 4,4 m, 5,0 e 5,2 m e 5,6 e 6,0 m dal p.c.) e un orizzonte di torbe/argille organiche alla profondità compresa tra 1,0 e 1,2 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano repentinamente nel primo metro, successivamente i valori scendono fino alla profondità di 1,8 m dal p.c. per poi aumentare di nuovo con la profondità fino al rifiuto; la resistenza laterale oscilla su valori bassi fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 33:
 - profondità indagata: 6,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);

- seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,2 e 0,4 m, 2,2 e 2,4 m e 2,8 e 3,0 m dal p.c.), livelli francamente sabbiosi (0,6 e 0,8 m e 1,8 e 2,0 m dal p.c.) e un intervallo di torbe/argille organiche alla profondità compresa tra 2,4 e 2,8 m dal p.c.;
- i valori della resistenza alla punta aumentano repentinamente fino alla profondità di 0,8 m dal p.c., successivamente i valori scendono fino alla profondità di 2,2 m dal p.c., per poi aumentare di nuovo progressivamente fino al rifiuto; la resistenza laterale oscilla su valori bassi fino a fondo infissione (rifiuto strumentale).
- Prova penetrometrica statica CPT 34:
 - profondità indagata: 6,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,0 e 0,4 m, 0,8 e 1,8 m, 3,0 e 3,4 m e 5,4 e 5,8 m dal p.c.), orizzonti di torbe/argille organiche (2,0 e 2,2 m, 2,4 e 2,6 m e 3,6 e 3,8 m dal p.c.) e un livello francamente sabbioso tra la profondità di 0,6 e 0,8 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale oscilla su valori bassi per poi raggiungere il rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 35:
 - profondità indagata: 10,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,2 e 0,4 m, 0,8 e 1,2 m e 8,4 e 8,6 m dal p.c.), intervalli di torbe/argille organiche (1,6 e 2,2 m, 3,2 e 3,4 m e 7,0 e 7,2 m dal p.c.), un livello francamente sabbioso tra la profondità di 0,4 e 0,6 m dal p.c. e un livello di sabbie e/o ghiaie tra la profondità di 0,6 e 0,8 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta aumentano repentinamente fino alla profondità di 1,2 m dal p.c., successivamente i valori scendono fino alla profondità di 2,2 m dal p.c.,

per poi aumentare di nuovo con la profondità fino al rifiuto strumentale; la resistenza laterale tende a salire fino alla profondità di 1,6 m dal p.c. per poi diminuire fino alla profondità di 2,0 m dal p.c., successivamente oscilla su valori costanti fino alla profondità di 8,4 m dal p.c. e, prima di arrivare a rifiuto, cresce costantemente raggiungendo alti valori di resistenza laterale.

- Prova penetrometrica statica CPT 36:

- profondità indagata: 6,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
- seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale q_c e laterale f_s), integrata con quella di Schmertmann (q_c-f_s/q_c), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli di limi e/o sabbie (0,0 e 0,4 m, 1,6 e 2,0 m, 2,8 e 3,0 m, 5,2 e 5,4 m, 5,6 e 5,8 m e 6,0 e 6,2 m dal p.c.) e due orizzonti di torbe/argille organiche alle profondità comprese tra 1,4 e 1,8 m e tra 3,6 e 3,8 m dal p.c.;
- i valori della resistenza alla punta oscillano su valori costanti fino alla profondità di 5,2 m dal p.c. (tranne alla profondità compresa tra 2,0 m e 2,4 m dal p.c. dove è presente un livello con alti valori di resistenza alla punta), successivamente i valori tendono ad aumentare fino al rifiuto strumentale; i valori della resistenza laterale oscillano su valori bassi per poi raggiungere il rifiuto strumentale.

- Prova penetrometrica statica CPT 37:

- profondità indagata: 6,2 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
- seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale q_c e laterale f_s), integrata con quella di Schmertmann (q_c-f_s/q_c), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di intervalli di limi e/o sabbie (1,0 e 1,4 m, 2,0 e 2,2 m, 2,6 e 3,2 m, 3,8 e 4,0 m, 4,8 e 5,0 m e 6,0 e 6,2 m dal p.c.), un orizzonte di torbe/argille organiche tra 3,4 e 3,6 m ed un livello francamente sabbioso alla profondità compresa tra 5,8 e 6,0 m dal p.c.;
- i valori della resistenza alla punta tendono ad aumentare fino al rifiuto strumentale; i valori della resistenza laterale risultano piuttosto costanti fino alla profondità di rifiuto strumentale.

- Prova penetrometrica statica CPT 38:

- profondità indagata: 6,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);

- seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di un livello francamente sabbioso dal piano di campagna fino alla profondità 0,6 m dal p.c., intervalli di limi e/o sabbie (0,8 e 1,0 m, 2,8 e 3,4 m e 4,2 e 4,4 m dal p.c.) e due orizzonti di torbe/argille organiche alle profondità comprese tra 1,2 e 1,4 m e tra 2,2 e 2,6 m dal p.c.;
- i valori della resistenza alla punta e della resistenza laterale tendono ad aumentare con la profondità fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 39:
 - profondità indagata: 10,6 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (0,2 e 0,4 m, 1,8 e 2,0 m e 3,6 e 3,8 m dal p.c.), di limi e/o sabbie (0,4 e 0,6 m, 0,8 e 1,4 m, 1,6 e 1,8 m, 2,0 e 3,0 m, 5,6 e 6,0 m, 6,4 e 6,6 m, 8,4 m e 9,4 e 9,6 e 10,2 m dal p.c.), livelli francamente sabbiosi (4,0 e 4,2 m, 4,4 e 4,6 m e 9,4 e 9,6 m dal p.c.) e due livelli di sabbie e/o ghiaie tra 8,2 e 8,4 m e 10,2 e 10,4 m dal p.c.);
 - i valori della resistenza alla punta tendono a salire fino alla profondità di un metro dal p.c. per poi scendere fino alla profondità 2,4 m dal p.c., successivamente i valori di qc tendono a salire fino al rifiuto strumentale; i valori della resistenza laterale oscillano su valori bassi per poi raggiungere il rifiuto.
- Prova penetrometrica statica CPT 40:
 - profondità indagata: 12,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di intervalli torbe/argille organiche (2,2 e 2,8 m, 3,2 e 3,4 m, 4,8 e 5,0 m, 5,2 e 5,8 m e 7,0 e 7,4 m dal p.c.), di limi e/o sabbie (6,0 e 6,2 m, 11,2 e 11,4 m e 11,6 e 11,8 m dal p.c.) ed un livello francamente sabbioso alla profondità compresa tra 1,6 e 1,8 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta tendono a salire dal piano di campagna fino alla profondità di rifiuto strumentale; i valori della resistenza laterale oscillano su valori

bassi fino alla profondità di rifiuto strumentale.

- Prova penetrometrica statica CPT 41:
 - profondità indagata: 9,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di orizzonti torbe/argille organiche (1,4 e 3,4 m, 3,8 e 4,0 m, 5,6 e 6,4 m e 8,2 e 9,0 m dal p.c.), un livello francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,2 e 0,6 m dal p.c. ed un livello di sabbie e/o ghiaie alla profondità compresa tra 0,6 e 0,8 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta tendono a salire dal piano di campagna fino alla profondità di 0,8 m dal p.c. per poi diminuire fino alla profondità di 2 m dal p.c., successivamente i valori di resistenza alla punta aumentano fino al rifiuto; la resistenza laterale invece cresce piuttosto progressivamente dal piano di campagna fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 42:
 - profondità indagata: 8,4 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di intervalli di torbe/argille organiche (0,6 e 0,8 m, 1,0 e 3,6 m, 4,4 e 4,8 m, 6,0 e 6,4 m e 8,0 e 8,4 m dal p.c.) ed un livello di sabbie e/o ghiaie alla profondità compresa tra 8,6 e 8,8 m dal p.c.;
 - la resistenza alla punta, a partire dal piano di campagna, cresce fino alla profondità di 1,2 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 2,0 m dal p.c., successivamente i valori di qc aumentano fino a raggiungere il rifiuto strumentale; i valori della resistenza laterale aumentano fino alla profondità di 2,0 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 2,6 m dal p.c., successivamente oscillano su valori bassi per poi arrivare a rifiuto.
- Prova penetrometrica statica CPT 43:
 - profondità indagata: 9,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha

attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (1,2 e 3,4 m, 3,6 e 4,0 m, 4,4 e 5,0 m e 7,8 e 9,0 m dal p.c.), un livello di limi e/o sabbie alla profondità compresa tra 0,6 e 1,0 m dal p.c. ed uno francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,4 e 0,6 m dal p.c.;

- i valori della qc tendono a salire dal piano di campagna fino alla profondità di 0,8 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 1,8 m dal p.c., successivamente la resistenza alla punta aumenta fino alla profondità di rifiuto strumentale; la resistenza laterale cresce progressivamente con la profondità fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 44:
 - profondità indagata: 9,6 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di orizzonti di torbe/argille organiche (1,8 e 4,0 m, 4,2 e 6,0 m, 6,2 e 6,6 m, 6,0 e 6,8 m, 7,4 e 7,8 m, 8,0 e 8,2 m e 8,4 e 8,8 m dal p.c.), limi e/o sabbie (0,4 e 0,6 m, 1,4 e 1,6 m e 7,2 e 7,4 m dal p.c.), un livello francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,6 e 0,8 m dal p.c. e uno di sabbie e/o ghiaie alla profondità compresa tra 1,0 e 1,2 m dal p.c.;
 - i valori della resistenza alla punta tendono a salire fino alla profondità di 1,2 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 3,0 m dal p.c., successivamente la resistenza alla punta aumenta fino a raggiungere il rifiuto; i valori della resistenza laterale crescono fino alla profondità di 2,4 m dal p.c. per poi scendere fino alla profondità di 3,2 m dal p.c., successivamente oscillano su valori bassi fino al rifiuto strumentale.
- Prova penetrometrica statica CPT 45:
 - profondità indagata: 7,0 m dal p.c. (rifiuto strumentale);
 - seguendo l'interpretazione litologica di Begemann (rapporto tra resistenza laterale qc e laterale fs), integrata con quella di Schmertmann (qc-fs/qc), la verticale di indagine ha attraversato argille e/o limi con presenza di livelli torbe/argille organiche (1,4 e 1,6 m, 1,8 e 2,0 m, 2,2 e 2,8 m, 3,0 e 3,4 m, 3,8 e 4,0 m, 4,4 e 4,6 m, 5,0 e 5,4 m, 5,6 e 5,8 m e 6,0 e 6,6 m dal p.c.), due orizzonti di limi e/o sabbie alle profondità comprese tra 1,6 e 1,8 m e tra 2,2 e 2,4 m dal p.c., un livello francamente sabbioso alla profondità compresa tra 0,8 e 1,0 m dal p.c. e due livelli di sabbie e/o ghiaie alle profondità

comprese tra 5,8 e 6,0 m e tra 6,6 e 7,0 m dal p.c.;

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

alla profondità di 3,2 m dal p.c., successivamente oscillano su valori bassi fino a raggiungere il rifiuto.

Tenendo conto delle principali suddivisioni individuabili sulle verticali delle prove penetrometriche secondo le interpretazioni litologiche di riferimento, i parametri geotecnici forniti dalla ditta esecutrice (allegato A), sono stati elaborati statisticamente sulla base del 5° percentile della distribuzione dei dati per il calcolo del valore caratteristico (si veda il § 10.3.1.) ottenendo i risultati riportati nelle tabelle seguenti:

sigla	Intervallo	natura coesiva		natura granulare	
		resistenza non drenata	modulo edometrico	angolo di attrito	modulo edometrico
		c_u [kPa]	M_o [kPa]	f^* [°]	M_o [kPa]
CPT15	Da 0,40 a 1,00 m dal p.c.	68,97	7.943,39	26,77	11.620,88
	Da 1,20 a 3,20 m dal p.c..	70,04	5.883,99	26,68	6.472,39
	Da 3,40 a 4,80 m dal p.c.	89,15	12.062,18	28,46	13.091,88
	Da 5,00 a 6,20 m dal p.c.	133,19	16.180,97	30,61	16.475,17
CPT17	Da 0,40 a 0,80 m dal p.c.	n.d.	15.886,77	31,00	15.592,57
	Da 1,00 a 3,40 m dal p.c.	77,39	7.060,79	26,73	7.060,79
	Da 3,60 a 5,20 m dal p.c.	132,96	12.650,58	29,63	12.650,58
	Da 5,40 a 6,00 m dal p.c.	173,68	18.387,47	31,04	18.240,37
CPT19	Da 0,40 a 0,60 m dal p.c.	n.d.	n.d.	28,36	12.944,78
	Da 0,80 a 3,40 m dal p.c.	50,31	6.776,59	26,28	8.825,99
	Da 3,60 a 3,80 m dal p.c.	95,22	11.620,88	28,36	11.620,88
	Da 4,00 a 6,40 m dal p.c.	117,55	14.415,78	30,49	14.709,98
CPT21	Da 0,40 a 0,60 m dal p.c.	n.d.	6.766,59	27,03	10.885,38
	Da 0,80 a 3,40 m dal p.c.	70,45	8.237,59	27,43	9.120,18
	Da 3,60 a 4,00 m dal p.c.	n.d.	12.650,58	29,89	13.238,98
	Da 4,20 a 6,00 m dal p.c.	169,32	16.180,97	30,54	15.739,67
CPT23	Da 0,60 a 1,00 m dal p.c	74,12	5.511,34	26,68	6.619,49
	Da 1,20 a 3,20 m dal p.c.	76,37	7.943,39	27,06	7.943,39
	Da 3,40 a 3,80 m dal p.c.	133,93	12.944,78	29,89	12.944,78

sigla	Intervallo	natura coesiva		natura granulare	
		resistenza non drenata	modulo edometrico	angolo di attrito	modulo edometrico
		c_u [kPa]	M_o [kPa]	f^* [°]	M_o [kPa]
	Da 4,00 a 5,60 m dal p.c.	154,06	15.886,77	30,56	15.886,77
CPT25	Da 0,60 a 0,80 m dal p.c.	n.d.	7.943,39	27,68	8.237,59
	Da 1,00 a 3,20 m dal p.c.	69,97	8.090,49	27,22	8.973,08
	Da 3,40 a 4,40 m dal p.c.	108,94	13.386,08	29,24	13.386,08
	Da 4,60 a 5,80 m dal p.c.	153,71	16.769,37	30,54	16.769,37
CPT27	Da 0,40 a 1,20 m dal p.c.	85,10	8.237,59	27,79	8.531,79
	Da 1,40 a 2,60 m dal p.c.	77,69	8.531,79	27,13	7.943,39
	Da 2,80 a 5,00 m dal p.c.	119,38	12.797,68	29,61	12.356,38
	Da 5,20 a 6,40 m dal p.c.	181,79	19.711,37	30,61	17.063,57
CPT29	Da 2,20 a 2,60 m dal p.c.	n.d.	7.354,99	27,89	9.120,18
	Da 2,80 a 4,80 m dal p.c.	96,29	12.650,58	28,64	12.650,58
	Da 5,00 a 7,20 m dal p.c.	129,81	15.298,37	29,83	15.886,77
CPT31	Da 0,40 a 0,60 m dal p.c.	n.d.	12.062,18	29,68	12.503,48
	Da 0,80 a 3,60 m dal p.c.	52,72	5.305,40	27,49	9.561,48
	Da 3,80 a 4,80 m dal p.c.	118,79	12.209,28	29,11	12.209,28
	Da 5,00 a 6,60 m dal p.c.	170,40	19.122,97	30,89	19.122,97
CPT33	Da 0,40 a 1,60 m dal p.c.	108,70	10.885,38	28,24	10.885,38
	Da 1,80 a 3,00 m dal p.c.	73,13	7.502,09	27,57	7.943,39
	Da 3,20 a 4,80 m dal p.c.	107,78	10.885,38	29,09	10.885,38
	Da 5,00 a 6,00 m dal p.c.	157,97	17.210,67	30,68	17.210,67
CPT35	Da 0,40 a 1,80 m da p.c.	126,23	21.770,76	28,96	18.093,27
	Da 2,00 a 5,00 m da p.c.	71,21	6.472,39	26,82	6.766,59
	Da 5,20 a 8,80 m da p.c.	85,55	9.708,58	27,93	9.708,58
	Da 9,00 a 10,20 m da p.c.	148,53	24.418,56	30,81	25.889,56
CPT37	Da 0,40 a 2,20 m da p.c.	79,35	7.943,39	26,92	8.237,59
	Da 2,40 a 3,60 m da p.c.	79,19	6.766,59	27,56	9.120,18

sigla	Intervallo	natura coesiva		natura granulare	
		resistenza non drenata	modulo edometrico	angolo di attrito	modulo edometrico
		c_u [kPa]	M_o [kPa]	f^* [°]	M_o [kPa]
	Da 3,80 a 5,60 m da p.c.	119,71	12.356,38	29,68	12.797,68
	Da 5,80 a 6,20 m da p.c.	n.d.	20.005,57	31,89	25.889,56
CPT39	Da 0,40 a 1,40 m da p.c.	68,97	7.943,39	27,41	10.885,38
	Da 1,60 a 4,40 m da p.c.	63,73	5.697,66	26,37	6.178,19
	Da 4,60 a 6,40 m da p.c.	79,93	9.708,58	27,97	9.708,58
	Da 6,60 a 10,60 m da p.c.	121,12	14.709,98	30,27	18.828,77

Tabella 9 - Elaborazione statistica prove penetrometriche. (sezione centrale pista)

* Secondo la correlazione di Meyerhof.

sigla	Intervallo	natura coesiva		natura granulare	
		resistenza non drenata	modulo edometrico	angolo di attrito	modulo edometrico
		c_u [kPa]	M_o [kPa]	f^* [°]	M_o [kPa]
CPT38	Da 2,00 a 3,60 m dal p.c.	81,95	8.237,59	27,74	8.825,99
	Da 3,80 a 5,00 m dal p.c.	124,16	12.503,48	29,61	12.650,58
	Da 5,20 a 6,00 m dal p.c.	152,48	15.592,57	30,54	15.592,57
CPT40	Da 0,60 a 1,60 m dal p.c.	64,53	8.825,99	29,00	8.973,08
	Da 1,80 a 3,80 m dal p.c.	78,36	7.649,19	27,24	7.943,39
	Da 4,00 a 8,00 m dal p.c.	95,84	11.473,78	28,88	11.473,78
	Da 8,20 a 12,00 m dal p.c.	151,16	15.298,37	30,27	15.592,57
CPT42	Da 0,20 a 1,60 m dal p.c.	71,30	12.944,78	27,96	12.944,78
	Da 1,80 a 3,40 m dal p.c.	68,55	6.178,19	26,37	6.178,19
	Da 3,60 a 7,00 m dal p.c.	101,03	10.591,18	28,80	10.591,18
	Da 7,20 a 8,40 m dal p.c.	153,87	16.328,07	30,02	17.63,57
CPT43	Da 0,20 a 1,60 m dal p.c.	123,83	15.592,57	30,24	18.828,77
	Da 1,80 a 3,60 m dal p.c.	72,06	7.060,79	27,01	7.060,79
	Da 3,80 a 6,40 m dal p.c.	104,95	10.885,38	28,15	10.885,38

sigla	Intervallo	natura coesiva		natura granulare	
		resistenza non drenata	modulo edometrico	angolo di attrito	modulo edometrico
		c_u [kPa]	M_o [kPa]	f^* [°]	M_o [kPa]
	Da 6,60 a 9,00 m dal p.c.	145,24	16.180,97	30,28	16.180,97
CPT44	Da 0,20 a 2,60 m dal p.c.	104,20	15.298,37	29,50	15.886,77
	Da 2,80 a 4,20 m dal p.c.	66,47	7.649,19	27,56	8.090,49
	Da 4,40 a 8,80 m dal p.c.	81,72	9.414,38	27,72	9.414,38
	Da 9,00 a 9,60 m dal p.c.	164,07	18.387,47	31,04	18.387,47
CPT45	Da 0,20 a 2,20 m dal p.c.	78,50	16.328,07	29,89	16.328,07
	Da 2,40 a 4,20 m dal p.c.	38,45	6.472,39	25,54	8.237,59
	Da 4,40 a 6,60 m dal p.c.	104,60	6.472,39	29,61	12.356,38
	Da 6,80 a 7,00 m dal p.c.	n.d.	n.d.	32,68	27.948,95
CPT46	Da 0,20 a 1,60 m dal p.c.	96,78	14.415,78	29,22	17.651,97
	Da 1,80 a 4,60 m dal p.c.	85,76	9.414,38	28,18	9.414,38
	Da 4,80 a 6,40 m dal p.c.	114,46	11.767,98	30,00	11.767,98
	Da 6,60 a 8,20 m dal p.c.	125,78	14.709,98	29,96	14.709,98
CPT47	Da 0,20 a 2,60 m dal p.c.	104,20	15.298,37	29,50	15.886,77
	Da 2,80 a 4,20 m dal p.c.	66,47	7.649,19	27,56	8.090,49
	Da 4,40 a 8,80 m dal p.c.	81,72	9.414,38	27,72	9.414,38
	Da 9,00 a 9,60 m dal p.c.	174,07	18.387,47	31,04	18.387,47
CPT48	Da 0,20 a 2,40 m dal p.c.	98,48	15.886,77	29,18	16.180,97
	Da 2,60 a 4,20 m dal p.c.	67,80	6.766,59	27,14	6.766,59
	Da 4,40 a 7,80 m dal p.c.	105,24	10.885,38	28,8	10.885,38
	Da 8,00 a 8,60 m dal p.c.	202,74	19.711,37	31,68	21.035,26

Tabella 10 - Elaborazione statistica prove penetrometriche (racordi e piazzali).

* Secondo la correlazione di Meyerhof.

8.3.2. Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)

Le prove penetrometriche statiche CPTU sono state eseguite con un penetrometro cingolato gommato, modello TG 63-200 KN, capace di una spinta di 200 kN (20 ton), progettato e prodotto dalla Pagani Geotechnical Equipment di Piacenza, attrezzato con punta elettrica/piezocono Geotech. Le prove sono state realizzate secondo le specifiche ASTM D 5578 - 95 (*Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils*) e ISSMFE (*Technical Committee on Penetration Testing (1988) - Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure*). Le verticali hanno raggiunto il rifiuto strumentale a una profondità inferiore ai 15 m dal p.c. previsti. Di seguito si descrivono le prove eseguite (si vedano i certificati nell'allegato A e le sezioni litostratigrafiche 2 e 3):

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 07:
 - Profondità indagata: 8,30 dal m p.c.;
 - dal piano di campagna fino alla profondità di 1,5 m dal p.c. si rilevano elevati valori di resistenza alla punta (q_c), che oscillano tra 3,5 e 7,5 MPa, corrispondenti ad un intervallo costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010), da tale profondità fino a circa 3,4 m dal p.c. i valori di resistenza alla punta (q_c) oscillano su valori compresi tra 1 e 2 MPa per la presenza di argille; dalla profondità di circa 3,4 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (8,30 m dal p.c.) si ha un incremento della resistenza alla punta che oscilla su valori compresi tra 1,5 e 3,1 MPa, valori corrispondenti ad argille.
 - Dal piano di campagna fino alla profondità di 1,5 m dal p.c. i valori di resistenza laterale (f_s) crescono raggiungendo valori di 375 kPa, successivamente i valori scendono fino alla profondità di circa 2,2 m dal p.c. raggiungendo i 100 kPa; dalla profondità di 2,2 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (8,30 m dal p.c.) i valori di resistenza laterale oscillano tra 120 kPa e 295 kPa.
 - I valori della pressione interstiziale (u) rimangono nulli fino alla profondità 3,4 m dal p.c., profondità oltre la quale la pressione interstiziale (u) inizia a crescere fino alla profondità di 8,2 m dal p.c. raggiungendo valori di 1100 kPa, successivamente i valori di pressione interstiziale diminuiscono ed oscillano su valori compresi tra 510 e 630 kPa fino alla profondità di fine infissione (8,30 m dal p.c.).
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 08:

- Profondità indagata: 7,22 m dal p.c.;
- I valori di resistenza alla punta (qc) aumentano dal piano di campagna fino alla profondità di 1,1 m dal p.c. raggiungendo valori di 7,1 MPa, corrispondenti ad un intervallo costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010), da tale profondità fino a circa 2,7 m dal p.c. i valori di resistenza alla punta (qc) scendono raggiungendo valori di 1,1 MPa per la presenza di argille; dalla profondità di circa 2,7 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (7,22 m dal p.c.) la resistenza alla punta (qc) oscilla su valori compresi tra 1,2 e 3,1 MPa, valori corrispondenti ad argille.
- Dal piano di campagna fino alla profondità di 1,8 m dal p.c. i valori di resistenza laterale (fs) crescono raggiungendo valori di 500 kPa, successivamente i valori scendono fino alla profondità di circa 3,0 m dal p.c. raggiungendo i 130 kPa; dalla profondità di 3,0 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (7,22 m dal p.c.) i valori di resistenza laterale oscillano tra 120 kPa e 230 kPa.
- I valori della pressione interstiziale (u) rimangono bassi fino alla profondità di 1,8 m dal p.c., profondità oltre la quale la pressione interstiziale (u) inizia a crescere per poi stabilizzarsi su valori che oscillano tra 100 e 300 kPa fino alla profondità di 3,3 m dal p.c.; dalla profondità di 3,3 m dal p.c. i valori di pressione interstiziale (u) crescono fino alla profondità di 4,1 m dal p.c., profondità oltre la quale, i valori di resistenza alla punta (u) si stabilizzano e oscillando tra 750 e 1200 kPa fino alla profondità di fine infissione (7,22 m dal p.c.).
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 09:
 - Profondità indagata: 7,17 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) aumentano dal piano di campagna fino alla profondità di 0,6 m dal p.c. raggiungendo valori di 6,0 MPa, corrispondenti ad un intervallo costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010), da tale profondità fino a circa 2,1 m dal p.c. i valori di resistenza alla punta (qc) scendono raggiungendo valori di 1,5 MPa per la presenza di argille; dalla profondità di circa 2,1 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (7,17 m dal p.c.) la resistenza alla punta (qc) oscilla su valori compresi tra 1,5 e 3,1 MPa, valori corrispondenti ad argille.

- Dal piano di campagna fino alla profondità di 1,1 m dal p.c. i valori di resistenza laterale (fs) crescono per poi oscillare su valori compresi tra 240 e 350 kPa, successivamente i valori scendono fino alla profondità di circa 2,3 m dal p.c. raggiungendo i 160 kPa; dalla profondità di 2,3 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (7,17 m dal p.c.) i valori di resistenza laterale oscillano tra 140 kPa e 270 kPa.
- I valori della pressione interstiziale (u) rimangono bassi fino alla profondità di 2,8 m dal p.c., profondità oltre la quale la pressione interstiziale (u) inizia a crescere per fino alla profondità di 4,7 m dal p.c. raggiungendo valori di circa 1375 kPa; dalla profondità di 4,7 m dal p.c. i valori di pressione interstiziale (u) calano bruscamente arrivando a valori di 750 kPa e successivamente risalgono fino alla profondità di 5,2 m dal p.c. dove i valori della pressione interstiziale (u) arrivano a circa 1100 kPa; dalla profondità di 5,2 m dal p.c. la pressione interstiziale (u) diminuisce fino a valori di 650 kPa, successivamente i valori di pressione interstiziale (u) crescono fino alla profondità di 6,6 m dal p.c. raggiungendo i 1375 kPa; dalla profondità di 6,6 m dal p.c. i valori della pressione interstiziale (u) scendono fino 70 kPa alla profondità di 6,7 m dal p.c. , successivamente i valori di pressione interstiziale (u) risalgono fino a circa 800 kPa alla profondità di circa 7,0 m dal p.c.; alla profondità di 7,0 m dal p.c. i valori di pressione interstiziale (u) scendono fino a raggiungere valori negativi, per poi risalire fino alla profondità di fine infissione (7,17 m dal p.c.) raggiungendo i 500 kPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 10:
 - Profondità indagata: 10,09 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) aumentano dal piano di campagna fino alla profondità di 0,6 m dal p.c. raggiungendo valori di 6,0 MPa, corrispondenti ad un intervallo costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010), da tale profondità fino a circa 2,1 m dal p.c. i valori di resistenza alla punta (qc) scendono raggiungendo valori di 1,5 MPa per la presenza di argille; dalla profondità di circa 2,1 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (10,09 m dal p.c.) la resistenza alla punta (qc) oscilla su valori compresi tra 1,5 e 3,1 MPa, valori corrispondenti ad argille.
 - Dal piano di campagna fino alla profondità di 1,1 m dal p.c. i valori di resistenza laterale (fs) crescono per poi oscillare su valori compresi tra 240 e 350 kPa, successivamente i

valori scendono fino alla profondità di circa 2,3 m dal p.c. raggiungendo i 160 kPa; dalla profondità di 2,3 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (10,09 m dal p.c.) i valori di resistenza laterale oscillano tra 140 kPa e 270 kPa.

- I valori della pressione interstiziale (u) rimangono bassi fino alla profondità di 2,8 m dal p.c., profondità oltre la quale la pressione interstiziale (u) inizia a crescere per fino alla profondità di 4,7 m dal p.c. raggiungendo valori di circa 1375 kPa; dalla profondità di 4,7 m dal p.c. i valori di pressione interstiziale (u) calano bruscamente arrivando a valori di 750 kPa e successivamente risalgono fino alla profondità di 5,2 m dal p.c. dove i valori della pressione interstiziale (u) arrivano a circa 1100 kPa; dalla profondità di 5,2 m dal p.c. la pressione interstiziale (u) diminuisce fino a valori di 650 kPa, successivamente i valori di pressione interstiziale (u) crescono fino alla profondità di 6,6 m dal p.c. raggiungendo i 1375 kPa; dalla profondità di 6,6 m dal p.c. i valori della pressione interstiziale (u) scendono fino 70 kPa alla profondità di 6,7 m dal p.c. , successivamente i valori di pressione interstiziale (u) risalgono fino a circa 800 kPa alla profondità di circa 7,0 m dal p.c.; alla profondità di 7,0 m dal p.c. i valori di pressione interstiziale (u) scendono fino a raggiungere valori negativi, per poi risalire fino alla profondità di fine infissione (10,09 m dal p.c.) raggiungendo i 500 kPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 11:
 - Profondità indagata: 9,41 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) aumentano dal piano di campagna fino alla profondità di 2,0 m dal p.c. raggiungendo valori di 4,2 MPa, corrispondenti ad un intervallo costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010); dalla profondità di 2,0 m fino a 3,8 m dal p.c. si registra una diminuzione con valori minimi pari a circa 1,5 MPa per la presenza di argille; in corrispondenza della profondità da 4,0 a 4,5 m dal p.c. i valori di resistenza alla punta (qc) tendono a risalire con valori massimi pari a circa 3,8 MPa, indicando la presenza di un livello argilloso più compatto, mentre dalla profondità di circa 4,5 m dal p.c. fino alla profondità di fine infissione (9,41 m dal p.c.) la resistenza alla punta (qc) oscilla su valori inferiori, compresi tra 1,6 e 3,0 MPa.
 - Dal piano di campagna fino alla profondità di 1,3 m dal p.c. i valori di resistenza laterale (fs) crescono fino a un massimo di 370 KPa per poi oscillare su valori compresi tra 120 e

200 kPa fino a fine infissione, con picchi massimi di resistenza laterale pari a 300 KPa alla profondità di 4,3 m dal p.c. Coerentemente con quanto registrato nel diagramma della resistenza alla punta, indicando la presenza di un livello argilloso più compatto.

- I valori della pressione interstiziale (u) rimangono bassi fino alla profondità di circa 3,5 m dal p.c., profondità oltre la quale la pressione interstiziale (u) inizia a crescere fino alla profondità di 4,2 m dal p.c. raggiungendo valori di circa 580 kPa; dalla profondità di 4,3 m dal p.c. i valori di pressione interstiziale (u) calano bruscamente arrivando a valori di 200 kPa. Si registra un ulteriore aumento della pressione interstiziale dei pori a partire da 6,5 m dal p.c. Pari a circa 550 KPa che decrescono nuovamente a circa 350 KPa in corrispondenza dello strato che va dalla profondità di 7,5 m a 8,0 m dal p.c. Si ha infine un ulteriore aumento da 8,2 m dal p.c. fino a fondo infissione con valori che raggiungono i 600 KPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 12:
 - Profondità indagata: 8,19 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) diminuiscono dal p.c. e in particolare a partire da circa il primo metro in cui si registrano valori di 2,5 MPa fino a circa 3,5 m dal p.c.; in questo intervallo i valori minimi di resistenza alla punta (qc) osservati sono corrispondenti alle argille e sono pari a circa 1,2 MPa. A partire da 3,5 m dal p.c. si osserva un leggero aumento del valore pari a circa 3,8 MPa seguito da un nuovo trend decrescente fino alla profondità di 6,5 m dal p.c. A questa profondità si registra un picco di valore massimo pari a circa 5,2 MPa, in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta, e una successiva diminuzione del valore fino alla profondità di fine infissione, con valori massimi pari a 3 MPa.
 - I valori di resistenza laterale (fs) aumentano dal p.c. mantenendo un andamento costante con valori medi intorno a 100 KPa fino alla profondità di 2,5 m dal p.c., in cui si assiste a un trend crescente che mostra un picco di 300 KPa alla profondità di circa 3,7 m dal p.c., in corrispondenza di un importante strato di argille più compatto. A partire da circa 4,2 m dal p.c. si assiste a un andamento oscillatorio dei valori di resistenza laterale (fs) con valori minimi pari a circa 120 KPa e valori massimi pari a circa 230 KPa alla profondità di 6,6 m dal p.c., in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta all'interno dello strato argilloso.

- I valori della pressione interstiziale (u) rimangono bassi fino a circa 1,5 m dal p.c. e tendono ad aumentare fino a un massimo di circa 480 KPa alla profondità di 2,7 m dal p.c. Da tale profondità si ha una diminuzione del valore di pressione interstiziale (u) fino a valori prossimi allo zero. A partire dalla profondità di 3,5 m dal p.c. si osservano forti oscillazioni: il valore di pressione interstiziale (u) aumenta fino a circa 1000 KPa e decresce fino a circa 70 KPa alla profondità di 3,8 m dal p.c.; da tale profondità si registra un ulteriore aumento pari a circa 1200 KPa, che decresce nuovamente a circa 700 KPa a 5,0 m dal p.c. Si osserva un ulteriore aumento che mostra valori di oltre 1200 KPa alla profondità di 6,0 m dal p.c.; a tale profondità si osserva un brusco calo con valori registrati prossimi allo zero che crescono nuovamente fino a circa 1000 KPa alla profondità di 6,5 m dal p.c. A partire da questa profondità si assiste a un ulteriore brusco calo dei valori di pressione interstiziale (u) fino a valori negativi, che mostrano poi un trend crescente fino a fondo infissione con valori massimi pari a circa 1100 KPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 13:
 - Profondità indagata: 10,39 m dal p.c.;
 - Nei primi 2,70 m circa dal p.c., si rilevano elevati valori della resistenza alla punta (q_c), che oscillano tra 2,8 e 6,7 MPa, corrispondenti ad un intervallo costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010), da tale profondità fino alla profondità di 8,4 m p.c. la resistenza alla punta oscilla da 1,6 a 4,1 Mpa per la presenza di argille; dalla profondità di 8,4 a 10,3 m dal p.c. la q_c subisce un lieve aumento oscillando da 3,1 a 5,7 Mpa per la presenza di un livello più compatto di argilla; dalla profondità di 10,3 m dal p.c. la resistenza alla punta subisce un forte abbassamento fino alla profondità di fine infissione (10,39 m dal p.c.) dove raggiunge il valore di 1,5 Mpa.
 - La resistenza laterale (f_s) fino alla profondità di 1,4 m dal p.c. tende a crescere, per poi stabilizzarsi e oscillare tra 390 e 590 kPa fino alla profondità 3,3 m dal p.c.; dalla profondità di 3,3 a 8,5 m dal p.c. la resistenza alla punta rimane abbastanza costante oscillando da 150 a 250 kPa; dalla profondità di 8,4 m dal p.c. si ha un aumento della resistenza alla punta, con valori di f_s che oscillano tra 280 e 520 kPa fino a fondo infissione (10,39 m dal p.c.).

- I valori della pressione interstiziale (u) aumentano dal piano di campagna fino ad una profondità di 4,1 m dal p.c., dove arrivano ad una pressione di circa 1200 kPa, per poi subire una fortissima diminuzione fino ad assumere valori negativi da 4,1 a 4,2 m dal p.c.; dalla profondità di 4,2 a 6,7 m dal p.c. si ha un continuo aumento della pressione interstiziale fino a valori di 1750 kPa per poi subire un forte calo alla profondità di 6,8 m dal p.c. dove raggiunge i 500 kPa; dalla profondità di 6,8 a 8,2 m la pressione interstiziale aumenta costantemente fino ad arrivare a valori di 1800 kPa per poi diminuire bruscamente alla profondità 8,2 m dal p.c. dove raggiunge i 300; da 8,2 m p.c. la pressione interstiziale aumenta molto repentinamente fino alla profondità di 8,7 m p.c. dove arriva a valori prossimi a 0 kPa; dalla profondità di 8,7 m dal p.c. la pressione aumenta costantemente fino a fondo infissione (10,39 m dal p.c.) raggiungendo pressioni interstiziali di 2250 kPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 14:
 - Profondità indagata: 9,21 m dal p.c..
 - Nei primi 0,6 m dal p.c. si rilevano valori della resistenza alla punta (q_c) che oscillano da 2,5 fino a 3,5 Mpa, presumibilmente per la presenza di suolo caratterizzato da limi sabbiosi e sabbie limose (SBT, Robertson, 2010); da questa profondità fino a 1,7 m dal p.c. si ha un incremento della resistenza alla punta che arriva fino a 5,5 Mpa (ciò è dovuto alla presenza di suolo molto denso e compatto - SBT, Robertson, 2010). Dalla profondità di 1,7 m dal p.c. fino a fondo infissione i valori di resistenza alla punta si mantengono abbastanza costanti oscillando tra 2,5 e 4 Mpa (argille - SBT, Robertson, 2010).
 - La resistenza laterale (f_s) fino a 1,5 m dal p.c. raggiunge circa 460 kPa per poi diminuire a circa 150 kPa (-2,0 m dal p.c.). Al di sotto, fino a 8,5 m dal p.c., la resistenza laterale resta abbastanza stabile (tra 100 kPa e 250 kPa). Successivamente f_s subisce una sensibile diminuzione fino a circa 150 kPa per poi aumentare, alla profondità di 9,0 m dal p.c., a un valore prossimo a 300 kPa fino a fondo infissione.
 - La pressione interstiziale (u) fino a 3,0 m dal p.c. mostra un valore costante (circa 50 kPa). Da questa fino a circa 7,5 m dal p.c. i valori della pressione interstiziale subiscono un lieve ma costante aumento arrivando ad assumere un valore di circa 250 kPa. Al di sotto si ha un repentino aumento della pressione interstiziale che raggiunge circa 400

kPa alla profondità di 8 m dal p.c. e resta costante fino a circa 8,5 m dal p.c.. Successivamente si è registrato un aumento costante dei valori fino a fondo infissione, dove assume un valore pari a circa 600 kPa.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 15:
 - Profondità indagata: 8,23 m dal p.c..
 - Nei primi 0,6 m dal p.c. si rileva un aumento costante dei valori di resistenza alla punta (q_c) che da 1 MPa arrivano fino a circa 5,2 MPa; ciò indica la presenza di suolo caratterizzato da sabbie e sabbie limose (SBT, Robertson, 2010). In seguito i valori di resistenza alla punta subiscono un calo costante fino alla profondità di 1,7 m dal p.c. passando dal valore precedente (5,2 MPa) fino a circa 1,3 MPa, indicando la presenza di suolo compatto. Successivamente, dalla profondità di 1,7 m dal p.c. fino a fondo infissione, si nota che i valori di resistenza alla punta assumono valori abbastanza costanti intorno ai 2÷2,5 MPa, con alcuni picchi fino a 3,5 MPa alla profondità di 4,5 m e 7,0 m dal p.c. (tale variazione è riconducibile alla presenza di argille).
 - La resistenza laterale (f_s) presenta un andamento simile a quello della resistenza alla punta, ma con oscillazioni più significative: si nota infatti che dal p.c. fino alla profondità di circa 0,5 m dal p.c. f_s assume valori pari a circa 50 kPa per poi aumentare fino a 250 kPa alla profondità di 1 m dal p.c.. Successivamente si registra una diminuzione abbastanza netta della resistenza laterale che raggiunge i 100 kPa alla profondità di circa 2 m dal p.c. per poi crescere costantemente fino a registrare valori di circa 300 kPa (a - 4,5 m). Da questo punto in poi il valore della resistenza laterale cala per attestarsi tra 200 kPa e 250 kPa fino a fondo infissione.
 - La pressione interstiziale (u) ha inizialmente un trend crescente: intorno al p.c. assume valori pari a circa 50 kPa e tende poi ad aumentare superando anche 1.000 kPa alla profondità di circa 3,5 m dal p.c.. Successivamente si registrano valori che mostrano dei repentini crolli e altrettanto veloci risalite (valori negativi alla profondità di 4 m dal p.c.). Fino alla profondità di 4,5 m dal p.c., si ha una risalita e la pressione interstiziale si stabilisce tra circa 750 kPa e 1.100 kPa fino alla profondità di circa 7 m dal p.c.. A questa profondità si registra un nuovo abbassamento che riporta, dopo pochi centimetri, i valori della pressione interstiziale prossimi allo 0. Al di sotto, fino a fondo infissione, la grandezza assume un valore di circa 900 kPa.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 16:
 - Profondità indagata: 8,23 m dal p.c..
 - Nei primi centimetri di suolo si nota un aumento repentino dei valori per quanto riguarda la resistenza alla punta (q_c) che si attestano a circa 4,5 Mpa fino alla profondità di circa 0,5 m dal p.c., presumibilmente per la presenza di suolo caratterizzato da sabbie e limi (SBT, Robertson, 2010). Da questo punto in poi si ha un aumento del valore della resistenza alla punta fino alla profondità di 1,0 m dal p.c. (dove assume un valore pari a circa 7,5 Mpa) per poi avere un nuovo abbassamento a circa 1,4 m dal p.c. (circa 2,5 Mpa) probabilmente legato a suolo compatto (SBT, Robertson, 2010); il valore resta invariato per i successivi 20 cm per la presenza di argilla e argilla sabbiosa (SBT, Robertson, 2010). Successivamente, il valore di resistenza alla punta subisce un aumento arrivando a circa 3 Mpa alla profondità di circa 2 m dal p.c., indicando la presenza di suolo compatto. Da qui fino a fondo infissione q_c oscilla tra 2 Mpa e 3 Mpa, con alcuni picchi che sfiorano i 4 Mpa. (presenza di argille).
 - La resistenza laterale (f_s) registra un iniziale aumento dei valori che arrivano fino a circa 500 kPa alla profondità di 1,0 m dal p.c., per poi calare a 100 kPa alla profondità di 1,5 m. Successivamente i valori oscillano intorno a 200 kPa fino alla profondità di 4,0 m dal p.c. per poi aumentare lievemente e attestarsi tra 200 kPa e 300 kPa fino a fondo infissione.
 - La pressione interstiziale (u) presenta un aumento costante nel primo metro di suolo indagato (raggiunge circa 600 kPa). Al di sotto si registra un calo fino a 150 kPa a circa 2,5 m dal p.c. e un successivo aumento fino alla profondità di circa 4,3 m da p.c. dove " u " raggiunge 600 kPa. Nei successivi 60 centimetri la pressione interstiziale scende repentinamente fino ad un valore di circa 100 kPa per poi aumentare (850 kPa) e diminuire nuovamente (valore prossimo a 0 kPa). In seguito si osserva un lento e costante incremento della pressione interstiziale con la profondità: si arriva infatti a valori prossimi a 900 kPa alla profondità di 7,3 m dal p.c.. La pressione interstiziale diminuisce poi ancora una volta arrivando a 300 kPa e si riporta poi a circa 850 kPa alla profondità di circa 7,8 m dal p.c. e crolla a circa 400 kPa immediatamente dopo. Da questo punto fino a fondo infissione si ha un aumento costante fino a circa 700 kPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 17:

- Profondità indagata: 9,32 m dal p.c.;
- I valori di resistenza alla punta (qc) mostrano un trend crescente a partire dal p.c. Fino alla profondità di circa 0,8 m dal p.c., registrando valori massimi pari a 9,0 MPa, in corrispondenza di uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010); a partire da tale profondità si assiste ad una progressiva diminuzione dei valori di resistenza alla punta (qc), tipici delle argille, che si mantengono costanti a circa 2 MPa fino a 7,3 m dal p.c., profondità a partire dalla quale si osserva un ulteriore aumento dei valori con andamento oscillatorio che mostrano valori massimi pari a circa 6 MPa in corrispondenza di uno strato argilloso più compatto alla profondità di circa 9,0 m dal p.c.
- I valori di resistenza laterale (fs) mostrano un andamento crescente fino alla profondità di 1,5 m dal p.c., con valori massimi pari a circa 450 KPa corrispondenti a uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010); a partire da tale profondità si registra una diminuzione dei valori di resistenza laterale (fs) che si mantengono costanti mediamente a circa 150 KPa fino alla profondità di circa 7,5 m dal p.c., in corrispondenza di un importante strato argilloso; a partire da 7,5 m dal p.c. si osserva un andamento oscillatorio con valori massimi pari a circa 450 KPa in corrispondenza di uno strato argilloso più compatto alla profondità di circa 9,0 m dal p.c.
- I valori della pressione interstiziale (u) mostrano un trend crescente a partire dal p.c. fino alla profondità di 7,3 m dal p.c., in cui si registra un valore superiore a 800 KPa; a partire da tale profondità si osserva un brusco calo del valore di pressione interstiziale (u) fino a circa 100 KPa, che tende ad aumentare nuovamente fino a fondo infissione raggiungendo valori massimi pari a circa 700 KPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 18:
 - Profondità indagata: 10,19 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (qc) mostrano un andamento crescente a partire dal p.c. fino a circa 1,0 m con valori massimi pari a circa 7 MPa in corrispondenza di uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010); a partire da tale profondità si assiste a un trend decrescente fino a circa 1,8 m dal p.c., in cui i valori di resistenza alla punta (qc) mantengono un andamento costante fino a circa

8,5 m dal p.c., mostrando valori medi pari a circa 2,5 MPa, caratteristici di substrati argillosi. Da sottolineare la presenza di un picco di valore prossimo a 3,5 MPa da 4,0 m a 4,5 m dal p.c., in corrispondenza di un livello argilloso più compatto. A partire da 8,5 m dal p.c. si osserva un ulteriore picco con valori massimi registrati pari a circa 4,5 MPa, che decrescono e tendono nuovamente a risalire fino a fondo infissione dove si registra un valore pari a circa 5,5 MPa.

- I valori di resistenza laterale (f_s) mostrano un andamento crescente fino alla profondità di circa 1,5 m dal p.c., in corrispondenza di uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010), mostrando valori massimi pari a circa 400 KPa; a partire da tale profondità si osserva un trend decrescente del valore di resistenza laterale (f_s) che mostra valori prossimi ai 200 KPa e un picco alla profondità di circa 4,2 m dal p.c. con valori pari a circa 300 KPa, in corrispondenza di uno strato argilloso più compatto; da 4,5 m dal p.c. fino a 8,5 m dal p.c. l'andamento dei valori di resistenza laterale (f_s) mostrano nuovamente un andamento costante con valori medi pari a circa 200 KPa tipici dei substrati argillosi; a partire da tale profondità si osserva inizialmente un calo con valori prossimi a circa 100 KPa e un successivo aumento fino a fondo infissione pari a circa 450 KPa.
 - I valori della pressione interstiziale (u) mostrano un andamento crescente a partire dal p.c. fino a circa 5,5 m dal p.c., con valori massimi pari a circa 1250 KPa mostrando un brusco calo del valore a circa 4,2 m dal p.c. pari a 250 KPa. A partire da 5,5 m dal p.c. si osserva inizialmente un brusco calo del valore di pressione interstiziale (u) a circa 500 MPa che tende poi a risalire fino a circa 1100 KPa alla profondità di 6,5 m dal p.c.; a circa 6,7 m dal p.c. si osserva un intervallo oscillatorio in cui i valori della pressione interstiziale (u) tendono inizialmente a decrescere fino a circa 200 KPa e risalire a circa 1200 KPa alla profondità di 7,5 m dal p.c.; a partire da tale profondità si assiste a un ulteriore brusco calo a circa 200 KPa che risale fino a circa 1400 KPa alla profondità di 8,6 m dal p.c.; da 8,7 m dal p.c. si registra un ulteriore calo pari a circa 200 KPa fino a circa 600 KPa alla profondità di 9,5 m dal p.c.; a partire da tale profondità si osserva un ulteriore aumento fino a 10 m dal p.c. in cui si registra un valore massimo pari a 1700 KPa, valore che diminuisce a fondo infissione fino a 1000 KPa.
- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 19:

- Profondità indagata: 12,13 m dal p.c.;
- I valori di resistenza alla punta (qc) mostrano un andamento crescente raggiungendo valori massimi pari a circa 9 MPa, fino alla profondità di circa 1,0 m dal p.c.; a partire da tale profondità si osserva un costante decremento dei valori di resistenza alla punta (qc) con valori prossimi allo zero fino alla profondità di circa 7,0 m dal p.c., in corrispondenza di un suolo costituito da materiale organico. Da sottolineare nel tratto da 4,0 a 4,5 m dal p.c. un'interruzione della sequenza a causa della perdita di dati durante l'acquisizione. A partire dalla profondità di 7,0 m dal p.c. si osserva un trend in crescita dei valori di resistenza alla punta (qc) che si stabilizzano a circa 9,5 m dal p.c. con valori massimi di circa 5 MPa, in corrispondenza di un substrato argilloso compatto; tali valori tendono a diminuire a partire da 11,0 m dal p.c. fino a valori pari a circa 1,5 MPa che risalgono a 3,5 MPa in corrispondenza del fondo infissione.
- I valori di resistenza laterale (fs) mostrano un trend crescente fino alla profondità di circa 1,8 m dal p.c. con valori massimi pari a circa 250 KPa; a partire da tale profondità fino a circa 9,0 m dal p.c. tendono a diminuire con un andamento costante che mostra valori medi di circa 50 KPa. Si sottolinea anche la perdita di dati durante l'acquisizione nel tratto corrispondente a 4,0 e 4,5 m dal p.c. A partire da 9,0 m dal p.c. i valori di resistenza laterale (fs) mostrano un trend crescente raggiungendo valori massimi pari a circa 450 KPa alla profondità di circa 9,5 m dal p.c., in corrispondenza di un substrato argilloso compatto; dai 10,0 m dal p.c. tali valori tendono a diminuire inizialmente mostrando valori pari a circa 350 KPa e successivamente, a partire da 11,2 m dal p.c. e fino a fondo infissione presentando valori pari a 200 KPa.
- I valori della pressione interstiziale (u) mostrano valori pari a circa 500 KPa a partire dal piano campagna fino a circa 0,8 m da esso; a partire da tale profondità fino a circa 4,0 m dal p.c. si osservano valori negativi che tendono a risalire costantemente a partire da 4,5 m dal p.c., con valori comunque bassi, di circa 20 KPa fino a circa 7,3 m dal p.c. A partire da tale profondità si osserva la presenza di due lievi picchi alle profondità di 7,3 m dal p.c. e 7,6 m dal p.c. in cui si registrano valori pari a circa 500 KPa, valori che tendono a diminuire e nuovamente a risalire a partire da 8,5 m dal p.c., mostrando valori massimi pari a circa 2000 KPa alla profondità di 9,5 m dal p.c.; a tale profondità si osserva un brusco calo dei valori della pressione interstiziale (u) fino a valori prossimi

allo zero, che tendono a risalire fino ad arrivare a un massimo di circa 2500 KPa alla profondità di 11,0 m dal p.c.; a partire da tale profondità si assiste a un nuovo decremento dei valori della pressione interstiziale (u) e una successiva risalita in corrispondenza del fondo infissione pari a circa 2000 KPa.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 20:
 - Profondità indagata: 8,29 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (q_c) mostrano un andamento crescente a partire dal piano campagna fino al primo metro da questo, registrando valori massimi pari a circa 6 MPa, in corrispondenza di uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010). A partire da 1,0 m dal p.c. si osserva un decremento dei valori di resistenza alla punta (q_c) che si stabilizzano mediamente a circa 2,0 MPa, valori caratteristici di substrati argillosi, fino a circa 6,0 m dal p.c.; a partire da tale profondità si registra un andamento oscillatorio dei valori di resistenza alla punta (q_c) che mostrano picchi massimi pari a circa 5 MPa, in corrispondenza di strati argillosi più compatti.
 - I valori di resistenza laterale (f_s) mostrano un andamento crescente a partire dal piano campagna fino a 1,5 m dal p.c., in cui si registrano valori pari a circa 300 KPa; a partire da tale profondità si assiste ad un decremento dei valori di resistenza laterale (f_s) che si stabilizzano presentando valori medi pari a circa 150 KPa fino a circa 6,0 m dal p.c. A partire da tale profondità si registra un andamento crescente e oscillatorio con valori massimi registrati pari a circa 350 KPa alla profondità di circa 8,0 m dal p.c., in corrispondenza di uno strato di materiale argilloso più compatto; da tale profondità e fino a fondo infissione (8,29 m dal p.c.) i valori di resistenza laterale (f_s) diminuiscono nuovamente fino a circa 150 KPa.
 - I valori della pressione interstiziale (u) mostrano un trend crescente a partire dal piano campagna fino a 4,0 m dal p.c., in cui si registrano valori pari a circa 700 KPa; a partire da tale profondità si osserva un brusco calo del valore a circa 450 KPa, che tende a risalire a partire da circa 4,5 m dal p.c. e ad assumere un andamento costante di 700 KPa fino a circa 6,0 m dal p.c. A partire da 6,0 m dal p.c. si osserva un ulteriore decremento del valore di pressione interstiziale (u) con valori di circa 200 KPa che tendono a risalire a 500 KPa a circa 6,5 m dal p.c. Da tale profondità e fino a fondo

infissione si assiste a un andamento oscillatorio dei valori della pressione interstiziale (u) che mostra picchi minimi pari a circa 500 KPa e picchi massimi pari a circa 1500 KPa.

- Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU 21:
 - Profondità indagata: 8,90 m dal p.c.;
 - I valori di resistenza alla punta (q_c) mostrano un andamento crescente dal piano campagna, raggiungendo valori massimi pari a circa 8 MPa che diminuiscono fino a circa 5 MPa alla profondità di 1,5 m dal p.c., in corrispondenza di uno strato costituito prevalentemente da suolo denso e molto compatto (SBT, Robertson, 2010). A partire da tale profondità si assiste a un decremento dei valori di resistenza alla punta (q_c) fino a 2,0 MPa a circa 3,0 m dal p.c., mentre a partire da tale profondità fino a circa 7,5 m dal p.c. tali valori tendono a stabilizzarsi raggiungendo mediamente valori pari a circa 3 MPa, tipici di substrati argillosi. A partire da 7,5 m dal p.c. e in particolare alla profondità di 8,0 m da esso si osserva un picco con valori di resistenza alla punta (q_c) pari a circa 8,0 MPa, in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta. Da 8,0 m dal p.c. e fino a fine infissione si osserva un ulteriore decremento dei valori che arrivano fino a circa 3,5 MPa.
 - I valori di resistenza laterale (f_s) mostrano un andamento crescente a partire dal piano campagna e fino a circa 1,7 m dal p.c. con valori massimi pari a circa 300 KPa; a partire da tale profondità si assiste a una diminuzione di tali valori fino a circa 7,0 m dal p.c., con valori medi di circa 100 KPa, coerentemente con le caratteristiche dei substrati argillosi. A partire da circa 7,5 m dal p.c. si osserva un ulteriore aumento dei valori di resistenza laterale (f_s) fino a un massimo di circa 450 KPa in corrispondenza di una lente di argilla limosa più compatta. Da 8,0 m dal p.c. e fino a fine infissione si osserva un ulteriore decremento dei valori che arrivano fino a circa 250 KPa.
 - I valori della pressione interstiziale (u) mostrano un andamento costante a partire dal piano campagna fino a 3,5 m dal p.c., con valori prossimi allo zero. A partire da tale profondità si osserva un trend crescente con valori pari a circa 700 KPa fino a 6,0 m dal p.c. a partire da 6,5 m dal p.c. si osserva una crescita dei valori della pressione interstiziale (u) con valori di circa 1000 KPa, seguita da un repentino calo a 250 KPa. Tale valore subisce un forte aumento fino a circa 1000 KPa alla profondità di 7,3 m dal p.c. per poi diminuire ulteriormente a circa 700 KPa. Alla profondità di circa 8,0 m dal

p.c. si osserva un valore di pressione interstiziale (u) superiore ai 2000 KPa che subisce un nuovo calo a 1250 KPa per poi risalire nuovamente a valori di circa 2000 KPa fino a fondo infissione.

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

I risultati delle CPTU sono stati confrontati con quelli delle CPT e delle DM ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico.

8.4. Prove dilatometriche

Le prove sono state eseguite con un penetrometro cingolato gommato, modello TG 63-200 KN, capace di una spinta di 200 kN (20 ton), progettato e prodotto da Pagani Geotechnical Equipment di Piacenza, attrezzato con dilatometro piatto Marchetti. Il dispositivo impiegato e le metodologie sono conformi alle seguenti raccomandazioni: ASTM D 6635 - 01 (*Standard Test Method for Performing the Flate Plate Dilatometer. Book of Standards Vol. 04.09, 14 pp*); Eurocode 7, 1997 (*Geotechnical Design. Part 3. Design assisted by field tests, Flat Dilatometer Test (DMT), 8 pp.*); TC16, 2001 (*The DMT in Soil Investigations, A Report by the ISSMGE Commitee TC 16, 41 pp*). Le verticali hanno raggiunto il rifiuto strumentale a una profondità inferiore ai 10,00 m previsti ed hanno fornito le seguenti informazioni (si vedano i certificati nell'allegato A e le sezioni litologiche nelle tavole allegate):

- Prova dilatometrica DM01:
 - Profondità 10 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra la presenza di un intervallo superficiale dello spessore di circa 1,6 m dal p.c. costituito plausibilmente da un'alternanza di sabbia limosa e limo sabbioso; a maggiore profondità e fino a fondo indagine si registra una litologia (materiale) compatibile con le caratteristiche meccaniche di un'argilla limosa con l'esclusione di un livello di limo argilloso (da 3,80 m a 4,80 m dal p.c.).
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra per l'intervallo definito precedentemente con l'ID (sabbia limosa e limo sabbioso) valori da circa 70 MPa a circa 260 MPa; la colonna litologica sottostante (argilla limosa) mostra valori da 9,4 MPa a 34,1 MPa, mentre nell'intervallo costituito da limo argilloso (da 3,80 m a 4,80 m dal p.c.) si registrano valori da 43,0 a 59,1 MPa.
 - Il diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) evidenzia, a partire dalla base dell'intervallo superficiale sopra citato, valori da 63 KPa a un massimo di 133 KPa registrato alla profondità di circa 5,0 m dal p.c., mentre il valore massimo, pari a 165 KPa è stato registrato a una profondità di 3,8 m, in corrispondenza del livello limo

argilloso.

- Prova dilatometrica DM02:
 - Profondità 10,4 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra la presenza, pur sempre ricordando che questo è un parametro che riflette il comportamento meccanico dei terreni attraversati più che la granulometria in senso stretto, di un intervallo superficiale dello spessore di un paio di metri dal p.c. costituito plausibilmente da sabbia e sabbia limosa; a maggiore profondità e fino a fondo indagine si registra una litologia (materiale) caratterizzata da un'alternanza di livelli argillo/limosi e limo/argillosi.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra per l'intervallo definito precedentemente con l'ID (sabbia e sabbia limosa) valori crescenti da circa 60 MPa a 216 MPa, mentre per la colonna litologica sottostante si registrano valori da 6 MPa a un valore massimo di circa 60 MPa.
 - Il diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) evidenzia, a partire dalla base dell'intervallo superficiale sopra citato (sabbia e sabbia limosa nei primi 2,0 metri dal p.c.), valori crescenti fino a un massimo di 188 KPa alla profondità di 3,6 m dal p.c che decrescono fino alla profondità di circa 9,0 m dal p.c a un valore di 60 KPa, per poi risalire a 139 KPa in corrispondenza del fondo foro.
- Prova dilatometrica DM03:
 - Profondità 10 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra la presenza di un intervallo superficiale dello spessore di circa un paio di metri dal p.c. costituito da sabbia e sabbia limosa, mentre a maggiore profondità e fino a fondo indagine si registra una litologia (materiale) compatibile con le caratteristiche meccaniche di un limo alternato a limo argilloso.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra, per l'intervallo definito precedentemente con l'ID (sabbia e sabbia limosa), valori elevati fino a 346 MPa, che decrescono in funzione della litologia (limo/limo argilloso), fino a un valore minimo di circa 28 MPa.
 - Il diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) evidenzia valori elevati (fino a un massimo di circa 140-150 KPa) in corrispondenza della litologia del limo argilloso,

mentre tali valori tendono a diminuire in funzione delle caratteristiche meccaniche del limo.

- Prova dilatometrica DM04:
 - Profondità 9,2 m dal p.c.
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra la presenza di un intervallo costituito da sabbia per i primi metri e da sabbia limosa con sottili livelli di limo sabbioso per i successivi due metri; a maggiore profondità (circa 4,5 m) e fino a fondo indagine si registra una litologia (materiale) compatibile con le caratteristiche meccaniche di un limo, alternato a livelli di limo argilloso.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra valori elevati in funzione della litologia sabbiosa dei primi metri dal p.c, pari a un massimo di 296 MPa, valori che mostrano un trend in diminuzione presentando un minimo di circa 21 MPa.
 - Il diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) evidenzia valori maggiori in corrispondenza della litologia limosa pari a circa 130 KPa; tali valori mostrano un trend in diminuzione con un valore minimo di circa 70 KPa in corrispondenza dell'argilla limosa.
- Prova dilatometrica DM05
 - Profondità 10 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra la presenza di sabbia limosa in corrispondenza dei primi 1,5 m dal p.c., al di sotto dei quali si evidenzia la presenza di una litologia con caratteristiche meccaniche compatibili a quelle di un limo, che fino a fine indagine si presenta in alternanza con livelli di limo argilloso.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra, per l'intervallo definito precedentemente con l'ID (sabbia limosa), valori superiori a circa 80 MPa, con un valore massimo registrato pari a circa 180 MPa. In corrispondenza della litologia limosa e limo argillosa si registra un trend decrescente con un valore minimo registrato pari a circa 25 MPa.
 - Il diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) evidenzia, a partire dalla base dell'intervallo superficiale sopra citato (sabbia limosa nei primi 1,5 metri dal p.c.) valori superiori a circa 60 KPa, mostrando un trend crescente in corrispondenza della litologia limosa e limo argillosa registrando valori massimi pari a circa 145 Kpa.

- Prova dilatometrica DM06:
 - Profondità 10,2 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra la presenza di sottili livelli alternati di sabbia limosa e limo sabbioso per circa il primo metro da p.c, mentre a partire da circa 2,0 m dal p.c. fino a fine indagine si registra la presenza di una litologia con caratteristiche meccaniche proprie del limo, a cui si alternano livelli più o meno spessi di limo argilloso e di argilla limosa.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra valori superiori a circa 80 MPa in corrispondenza delle porzioni più sabbiose del materiale, mentre si registra un trend in diminuzione in funzione della litologia limosa e argilloso limosa, in cui si registrano valori minimi pari a 24,8 MPa.
 - Il diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) mostra coerentemente valori più elevati in concomitanza di litologie caratterizzate dalla presenza di argilla con valori massimi pari a circa 150 KPa rispetto a quelli rilevati in corrispondenza di litologie più limose che presentano valori massimi di circa 139 Kpa.
- Prova dilatometrica DM07:
 - Profondità da 10 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra la presenza, pur sempre ricordando che questo è un parametro che riflette il comportamento meccanico dei terreni attraversati più che la granulometria in senso stretto, di un intervallo superficiale dello spessore di un paio di metri dal p.c. costituito plausibilmente da sabbia e sabbia limosa; a maggiore profondità e fino a fondo indagine l'indagine registra una litologia (materiale) compatibile con le caratteristiche meccaniche di un limo.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra, per l'intervallo definito precedentemente con l'ID (sabbia e sabbia limosa), valori superiori a circa 70 MPa; la colonna litologica sottostante (limo) presenta valori decrescenti da circa 40 MPa a circa 7 m dal p.c., per poi risalire e definire alcuni picchi di valori prossimi a 70÷85 MPa (sempre limo, dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche).
 - Il diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) evidenzia, a partire dalla base dell'intervallo superficiale sopra citato (sabbia e sabbia limosa nei primi 2,0 metri dal p.c.), valori che decrescono da circa 150 kPa a circa 80 kPa alla profondità già indicata

di circa 7 m dal p.c., risalendo poi a valori superiori a circa 250 kPa nello spessore inferiore dell'indagine.

- Prova dilatometrica DM08:

- Profondità 10 m dal p.c.
- Il diagramma dell'indice di materiale (ID) evidenzia la presenza di un'alternanza di livelli sabbiosi e limo sabbiosi per circa 1,5 m dal p.c., mentre a maggiore profondità si registra una litologia compatibile con le caratteristiche meccaniche di un limo a cui si alternano livelli limo argillosi.
- Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra valori che superano i 100 MPa in concomitanza dell'intervallo più superficiale dell'indagine, corrispondente alla litologia sabbiosa, registrando un valore massimo pari a circa 148 MPa. La colonna litologica sottostante mostra un trend in diminuzione, con valori ricompresi tra 97,5 e 26,6 MPa.
- Nel diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) si osservano valori che tendenzialmente non superano i 100 kPa in concomitanza della litologia limosa, mentre si registrano valori superiori nei livelli limo argillosi con un massimo di 150 kPa.

- Prova dilatometrica DM09:

- Profondità da 8,60 m dal p.c.
- Il diagramma dell'indice di materiale (ID) evidenzia la presenza, ricordando che questo è un parametro che riflette il comportamento meccanico dei terreni attraversati più che la granulometria in senso stretto, di un intervallo superficiale dello spessore di un paio di metri da p.c. costituito da sabbia e sabbia limosa; a maggiore profondità e fino a fondo indagine, si registra una litologia ("materiale") compatibile con le caratteristiche meccaniche di un limo/limo argilloso, con l'esclusione di un sottile intervallo posto poco sopra i 6,0 m dal p.c.
- Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra, per i primi 50 cm, valori da 30 MPa a oltre 150 MPa; per la parte rimanente dell'intervallo definito punto precedente relativo all'ID (sabbia e sabbia limosa, fino a circa 2,0 m) si hanno valori di 60÷70 Mpa; la colonna litologica sottostante (limo) presenta valori compresi fra 30 MPa e 60 MPa.
- Nel diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) si osserva, a partire dalla base dell'intervallo superficiale sopra citato (sabbia e sabbia limosa), valori che crescono abbastanza progressivamente da circa 70 kPa a poco più di 150 kPa fino alla

profondità di circa 6,2 m per poi decrescere progressivamente a circa 100 kPa.

- Prova dilatometrica DM10:

- Profondità da 9,60 m dal p.c.
- Il diagramma dell'indice di materiale (ID) mostra un intervallo superficiale di circa 1,0 m di spessore, costituito prevalentemente da limo sabbioso e sabbia limosa; a maggiore profondità e fino a fondo indagine l'indagine registra una litologia ("materiale") compatibile con le caratteristiche meccaniche di un limo/limo argilloso, con l'esclusione di alcuni sottili livelli di limo sabbioso (a 5,80 m dal p.c.) e di sabbia con ghiaia (a 2,20 m dal p.c.).
- Il diagramma del modulo edometrico (M) presenta, nello spessore del primo metro, valori da 30 MPa a 60 MPa; fra circa 1,0 e 4,0 m dal p.c. i valori crescono progressivamente da 50 a 80 MPa, con l'esclusione del picco che raggiunge 800 Mpa (sabbia e ghiaia); la colonna litologica sottostante (limo/limo argilloso) è caratterizzata da valori, decrescenti, compresi fra 60 MPa e 35 MPa, fino alla profondità di circa 7,5 m dal p.c.. Inferiormente, fino a fondo foro, M cresce nuovamente fino a circa 90 MPa per poi stabilizzarsi a 70 MPa.

- Prova dilatometrica DM11:

- Profondità 10 m dal p.c.
- Il diagramma dell'indice di materiale (ID) evidenzia la presenza di una litologia sabbiosa e limo sabbiosa in corrispondenza dei primi 1,5 m dal p.c, mentre a maggiore profondità si riscontrano livelli limosi e limo argillosi con maggiore presenza di argilla a fondo indagine.
- Il diagramma del modulo edometrico (M) mostra valori elevati con un massimo di circa 350 MPa in corrispondenza della litologia sabbiosa mentre dalla base di questa e fino a fondo indagine si registra un trend in diminuzione con valori minimi pari a circa 5 MPa coerentemente alla litologia argillosa riscontrata a fondo indagine.
- Nel diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) si osservano valori molto eterogenei anche all'interno della stessa categoria litologica con valori minimi di 30 KPa e valori massimi di circa 230 KPa.

- Prova dilatometrica DM12:

- Profondità 10 m dal p.c..

- Il diagramma dell'indice di materiale (ID) evidenzia la presenza di un'alternanza di livelli sabbiosi e sabbioso limosi fino a una profondità di circa 1,5 m dal p.c., mentre a una maggiore profondità e fino a fondo indagine si registra la presenza di una litologia che presenta caratteristiche meccaniche compatibili con quelle del limo, alternata a livelli limo argillosi.
- Il diagramma del modulo edometrico (M) presenta valori superiori ai 60 MPa in corrispondenza dei primi 1,5 m dal p.c, mentre in concomitanza della litologia limosa e limo argillosa si registrano valori in diminuzione con valori minimi pari a circa 30 MPa.
- Nel diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) si osserva, a partire dalla base del livello sabbioso e sabbioso limoso, valori tendenzialmente crescenti con valori massimi pari a circa 200 KPa in concomitanza della porzione più limo argillosa della colonna stratigrafica, coerentemente con le caratteristiche meccaniche del materiale.
- Prova dilatometrica DM13:
 - Profondità 11,2 m dal p.c.
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) evidenzia la presenza di livelli sabbiosi e sabbioso limosi per circa i primi 2,0 m dal p.c., mentre a maggiore profondità e fino a fondo indagine si registra la presenza di una litologia limosa e limo argillosa con un'alternanza di livelli più argillo limosi; da sottolineare, a circa 8 m dal p.c., la presenza di una lente di sabbia.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) presenta valori superiori ai 60 MPa con valori massimi pari a circa 200 MPa in corrispondenza dei livelli sabbiosi precedentemente indicati con l'ID, mentre in corrispondenza dei livelli limosi e limo argillosi si registrano valori inferiori, pari a un minimo di circa 30 MPa, coerentemente con le caratteristiche meccaniche del materiale.
 - Nel diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) si registrano valori inferiori a 100 KPa in corrispondenza della litologia limosa della colonna stratigrafica, mentre in concomitanza delle porzioni più argillose del materiale si registrano valori superiori con massimi fino a circa 200 KPa.
- Prova dilatometrica DM14:
 - Profondità 14 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) evidenzia la presenza di livelli sabbioso limosi

per i primi 2,0 m dal p.c., mentre a maggiore profondità si registra la presenza di un'alternanza di livelli limosi e limo argillosi. Da sottolineare la presenza di un livello di sabbia limosa a fondo foro.

- Il diagramma del modulo edometrico (M) presenta valori superiori ai 70 MPa in corrispondenza dei primi 2,0 m dal p.c., con valori massimi pari a circa 275 MPa. In corrispondenza della litologia limosa della colonna si registrano valori inferiori con valori minimi pari a circa 25 MPa.
- Nel diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) si registra tendenzialmente un trend crescente dalla litologia limosa a quella più argillosa, con valori minimi di 58 KPa e valori massimi pari a circa 190 KPa.
- Prova dilatometrica DM15:
 - Profondità 9,6 m dal p.c..
 - Il diagramma dell'indice di materiale (ID) evidenzia la presenza di livelli di sabbia e sabbia limosa alternata a livelli di limo sabbioso per circa i primi 2,0 m dal p.c., mentre a maggiore profondità e fino a fondo foro si registra la presenza di litologie con caratteristiche meccaniche tipiche di un limo e di un limo argilloso.
 - Il diagramma del modulo edometrico (M) presenta valori superiori a circa 100 MPa in corrispondenza dei livelli sabbioso limosi e valori tendenzialmente inferiori in corrispondenza delle litologie limose e limo argillose con valori massimi pari a circa 80 MPa.
 - Nel diagramma della resistenza al taglio non drenata (cu) si registrano valori a partire dalla base dell'intervallo sabbioso precedentemente identificato con l'ID, pari a circa 70 KPa, con valori massimi pari a circa 200 KPa e valori minimi pari a circa 60 KPa, coerentemente con le caratteristiche meccaniche del materiale.

I risultati delle DM sono stati confrontati con quelli delle CPT e delle CPTU ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico.

8.5. 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.

Le perforazioni lungo l'asse della pista, hanno incontrato, al di sotto di 0,2÷0,3 m di suolo vegetale (o terreno di riporto nei sondaggi S101 e S103, con spessore rispettivamente di 1,1 m e 0,3 m), terreni coesivi quali principalmente argille e limi, spesso da compatti a molto compatti e talvolta limi argillosi e argille consistenti.

I terreni interessati dalla realizzazione della CGA-nord sono prevalentemente argille e limi, consistenti nella parte nord-occidentale e compatti al centro della pista; talvolta si incontrano argille debolmente limose (nel sondaggio S106 e, tra 2,0 e 3,5 m dal p.c. in S100) e limi debolmente sabbiosi (nella verticale S22 e, fino a 2,0 m dal p.c. in S100). Il terreno vegetale (assente in S106) ha uno spessore di 0,15÷0,3 m; la perforazione S109 si differenzia per la presenza di riporto costituito da limi, sabbie e ghiaie (spessore 0,5 m). nei primi 5,0 m dal p.c. di limo sabbioso.

Lungo la CGA-sud in progetto si trovano, al di sotto di 0,2 m di suolo vegetale (assente in S15), argille e limi molto compatte nei primi metri (2,0÷4,0 dal p.c.) e compatte più in profondità.

L'area nella quale verranno realizzati i raccordi e i piazzali è caratterizzata, al di sotto del terreno vegetale (spessore variabile da 0,2 a 0,6 m) che nella porzione sud-orientale (S47 e S51) presenta anche ghiaia e ciottoli, argille e limi, a tratti compatti; nei sondaggi S43, S45 e S46 è stato incontrato un orizzonte di materiale grigio sciolto (tra 1,3 e 2,4 m dal p.c.) mentre in S45 del materiale di riporto (tra 0,2 e 2,0 m dal p.c.).

In corrispondenza della vasca C, infine, sono presenti argille e limi (compatti solo nella fascia centrale da S58 a S62), al di sotto di 0,1÷0,3 m di terreno vegetale.

8.5.1. Standard Penetration Test

Come detto, durante la perforazione di alcuni sondaggi sono state realizzate prove Standard Penetration Test (S.P.T.) seguendo le norme di riferimento AGI e ASTM; i risultati delle prove S.P.T., riportati nella tabella 11, permettono di ricavare indicazioni sulle caratteristiche geotecniche del terreno incontrato attraverso correlazioni di natura empirica. Nel caso in esame, considerando la natura dei terreni e le altre indagini a disposizione (campioni indisturbati, prove penetrometriche), si è scelto di determinare l'angolo di attrito interno (utilizzando le formule del Japanese National Railway, di Owasaki & Iwasaki, Meyerhof, Peck-Hanson & Thornburn, Sowers e del Road Bridge Specification) e il modulo edometrico (con le

correlazioni di Stroud & Butler⁴).

Sigla sondaggio	SPT	Litologia	f [°]	Eed [kPa]
S96	1	Argille molto consistenti	29,5÷35,1	6.864,66÷8.237,59
	2	Argille molto consistenti	33,6÷37,9	11.277,65÷13.533,18
	3	Argille molto consistenti	34,7÷39,0	13.238,98÷15.886,77
S97	1	Argille consistenti	32,3÷37,1	9.806,65÷11.767,98
	2	Argille consistenti	34,5÷37,8	12.748,65÷15.298,37
S98	1	Argille limose	35,4÷39,7	14.709,98÷17.651,97
	2	Argille limose	32,7÷37,4	10.296,98÷12.356,38
S99	1	Argille deb. consistenti	30,5÷35,8	7.845,32÷9.414,38
	2	Argille deb. consistenti	32,3÷37,1	9.806,65÷11.767,98
S100	1	Argille consistenti	34,2÷38,5	12.258,31÷14.709,98
	2	Argille consistenti	35,4÷39,7	14.709,98÷17.651,97
S101	1	Argilla consistente	29,0÷34,8	6.374,32÷7.649,19
	2	Argille consistenti	33,9÷38,2	11.767,98÷14.121,58
S103	1	Limi deb. argillosi consistenti	31,4÷36,5	8.825,99÷10.591,18
	2	Argilla consistente	35,4÷39,7	14.709,98÷17.651,97
S104	1	Limi argillosi consistenti	32,3÷37,1	9.806,65÷11.767,98
	2	Argilla e limi consistenti	34,2÷38,5	12.258,31÷14.709,98
S106	1	argilla e limo	28,4÷34,4	5.883,99÷7.060,79
	2	argilla e limo	33,2÷37,7	10.787,32÷12.944,78
S107	1	Argille asciutte molto consistenti	30,0÷35,5	7.354,99÷8.825,99
	2	Argille molto consistenti	32,3÷37,1	9.806,65÷11.767,98
S109	1	Limo sabbioso deb. consistente	36,3÷41,5	17.161,64÷20.593,97
	2	Limi argillosi consistenti	31,0÷36,1	8.335,65÷10.002,78
S116	1	limo argilloso deb. sabbioso	24,5÷32,1	2.942,00÷3.530,39
	2	limo e argilla	36,9÷40,3	15.690,64÷18.828,77
S117	1	limo argilloso deb. sabbioso	25,2÷32,5	3.432,33÷4.118,79
	2	limo argilloso	36,4÷41,8	17.651,97÷21.182,36
S118	1	Argille molto compatte	28,4÷34,4	5.883,99÷7.060,79
	2	Sondaggio a distruzione	32,7÷37,4	10.296,98÷12.356,38
	3	Sondaggio a distruzione	34,2÷38,5	12.258,31÷14.709,98
S119	1	Limi e argille	32,3÷37,1	9.806,65÷11.767,98

Tabella 11- Parametri geotecnici ricavabili dai valori di N_{SPT}.

⁴ Valida per litotipi argillosi a media e bassa plasticità.

8.6. 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 a pareti sottili tipo Shelby 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 (tabelle 7 e 8) 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 nelle tabelle 12 e 13 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 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 CD	Edometrica*
S14-CI1				X
S15-CI1				X
S16-CI1				X
S17-CI1		X	X	X
S17-CI2		X	X	X
S18-C1				X
S19-CI1				X

Sigla	Compressione semplice ELL	Triassiale UU	Triassiale CD	Edometrica*
S20-CI1	X			X
S20-CI2	X			X
S21-CI1		X	X	X
S21-CI2		X	X	X
S22-CI1		X	X	X
S23-CI1				X
S24-CI1	X			X
S24-CI2	X			X
S25-CI1				X
S25-CI2				X
S26-CI1		X	X	X
S27-CI1				X
S28-CI1	X			X
S28-CI2	X			X
S29-CI1		X	X	X
S30-CI1				X
S31-CI1				X
S32-CI1	X			
S32-CI2	X			X
S33-CI1		X	X	X
S34-CI1				X
S35-CI1				X
S37-CI1	X			X
S39-CI1				X
S40-CI1				X
S42-CI1				X
S43-CI1				X
S44-CI1				X
S45-CI1				X
S46-CI1				X
S51-CI1				X

Tabella 12 - Prove geotecniche di laboratorio "specifiche" eseguite sui campioni indisturbati del 2015.
 * compresa la determinazione del peso specifico dei granuli.

Sigla	Compressione semplice ELL	Triassiale UU	Triassiale CU	Edometrica*	Taglio CD
S96-CI1			X		X
S96-CI2	X				X
S96-CI3	X				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
S101-CI1			X		X
S101-CI2			X		X
S103-CI1			X		X
S103-CI2		X			X
S104-CI1	X			X	X
S104-CI2			X		X
S106-CI1			X	X	
S106-CI2		X			X
S107-CI1	X			X	X
S107-CI2		X			X
S107-CI3			X		X
S109-CI1		X		X	X
S109-CI2			X	X	
S109-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

Sigla	Compressione semplice ELL	Triassiale UU	Triassiale CU	Edometrica*	Taglio CD
S118-CI3	X				X
S119-CI1			X	X	
S119-CI2	X			X	X
S119-CI3	X			X	X

Tabella 13 - Prove geotecniche di laboratorio "specifiche" eseguite sui campioni indisturbati del 2017.

* compresa la determinazione del peso specifico dei granuli.

I parametri geotecnici ottenuti dalle prove di laboratorio e riassunti nella tabella riportata nell'allegato A (ultima pagina di ciascun certificato) sono stati elaborati statisticamente sulla base del 5° percentile della distribuzione dei dati per il calcolo del valore caratteristico (si veda il § 10.3.1.).

8.6.1. Principali caratteristiche fisico-meccaniche

Ai fini del trattamento e costipamento dei terreni lungo la pista per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche, si evidenziano i seguenti risultati derivati dalle prove di laboratorio effettuate sui campioni indisturbati prelevati dai sondaggi a carotaggio continuo:

- analizzando i parametri fisici del terreno, risultanti dalle prove di laboratorio, il valore della distribuzione della mediana del peso di volume naturale (γ) è $19,5 \text{ kN/m}^3$, con valori che variano tra $16,6$ e $20,6 \text{ kN/m}^3$, il valore della distribuzione della mediana del peso di volume secco (γ_d) corrisponde a $16,0 \text{ kN/m}^3$, valori che variano tra $14,3$ e $18,4 \text{ kN/m}^3$, e il valore della distribuzione della mediana del peso specifico (G_s) corrisponde a $26,6 \text{ kN/m}^3$, con valori che variano tra $25,68$ e $27,21 \text{ kN/m}^3$;
- dai risultati delle prove granulometriche dei campioni indisturbati si evince che nella totalità dei terreni indagati sono presenti classi granulometriche fini (grandezza dei clasti inferiore a 60 micron) corrispondenti a limi e argille in percentuali che oscillano dal $67,8 \%$ al 100% . Solo in alcuni campioni sono stati riscontrati terreni con granulometria più grossolana (sabbie e ghiaie) con percentuali che non superano il $32,2\%$;
- analizzando i limiti di Atterberg (limiti di consistenza), risultanti dalle prove di laboratorio, il valore della distribuzione della mediana del limite liquido ($WL\%$), determinazione del passaggio del terreno dallo stato plastico a quello liquido, è pari al $54,35\%$, con valori che variano da $35,9\%$ a $73,1\%$; il valore della distribuzione della mediana del limite plastico

(WP%), quando il terreno inizia a perdere il comportamento plastico, è pari al 23%, con valori che variano da 16,9% a 30,3%; il valore della distribuzione della mediana dell'indice di plasticità (I_p), intervallo nel quale il terreno ha un comportamento plastico, è pari al 30,75%, con valori che variano da 14,6% a 49,7%;

- quasi tutti i terreni indagati presentano un valore dell'indice di attività (I_a), corrispondente alla pendenza della retta dell'indice di plasticità, inferiore a 0.75, valore che classifica tali terreni come "inattivi". Dal punto di vista dell'indice di consistenza (I_c), la quasi totalità dei terreni presenta valori superiori a 0,75 (consistenza solido-plastica) o superiori a 1 (consistenza semi-solido o solido);
- secondo la Carta di plasticità di Casagrande (1948), nella quale viene evidenziata la natura e la classificazione dei terreni coesivi dell'area in oggetto, i campioni (figura 3) ricadono soprattutto fra le *argille inorganiche di alta plasticità* (CH) e, in minor misura, fra le *argille di media plasticità* (CL), comunque tutti aventi un indice di plasticità maggiore di 15 (*argille plastiche* con $15 < I_p < 40$ e *argille molto plastiche* con $I_p > 40$);
- secondo la classificazione UNI10006, quasi tutti i terreni sono classificati nel gruppo A7-6 (argille fortemente compressibili mediamente plastiche), a eccezione di un A7-5 (argille fortemente compressibili mediamente plastiche) e pochi A6 (argille poco compressibili);
- il contenuto delle sostanze organiche è pari a 4,6% (valore della mediana della popolazione dei campioni di prova), con valori che sono compresi tra 3,4% e 6,9%;
- l'indice CBR, ottenuto dai campioni di terreno prelevati nello strato superficiale entro i primi 1,5 m di spessore, è pari a 2,1% (valore della mediana della popolazione dei campioni di prova), con valori che sono compresi tra 1,0% e 5,8%;
- dai valori ottenuti dalla prova AASHTO modificata si può suddividere la pista in due porzioni, una orientale (S26, S28, S29, S31, S32, S34 e S41), nella quale i valori del peso secco (g_d) sono più omogenei e variano da 17,4 a 17,8 kN/m³ e i valori dei contenuti in acqua (w) variano da 14,4% a 16,7% e una occidentale (S15, S18, S19, S20, S21, S23, S24 e S25) nella quale si hanno valori meno omogenei del peso secco (g_d) che variano da 16,3 a 17,6 kN/m³ ed i valori dei contenuti in acqua (w) variano da 16,0% a 18,1%. Di seguito sono riportati in tabella i valori del contenuto in acqua (w) e del peso secco del terreno (g_d):

Sondaggio	w %	g_d kN/m ³
S15	17,1	17,30
S18	16,4	17,60
S19	18,1	16,30
S20	17,2	17,20
S21	16,4	17,10
S23	16,0	17,60
S24	17,2	16,67
S25	16,6	16,50
S26	16,7	17,40
S28	16,1	17,80
S29	15,7	17,65
S31	15,1	17,49
S32	15,4	17,62
S34	14,4	17,80
S41	14,9	17,66

Tabella 14 - Risultati dalla prova AASHTO modificata riportanti il contenuto in acqua (w) e il peso di volume secco (g_d).

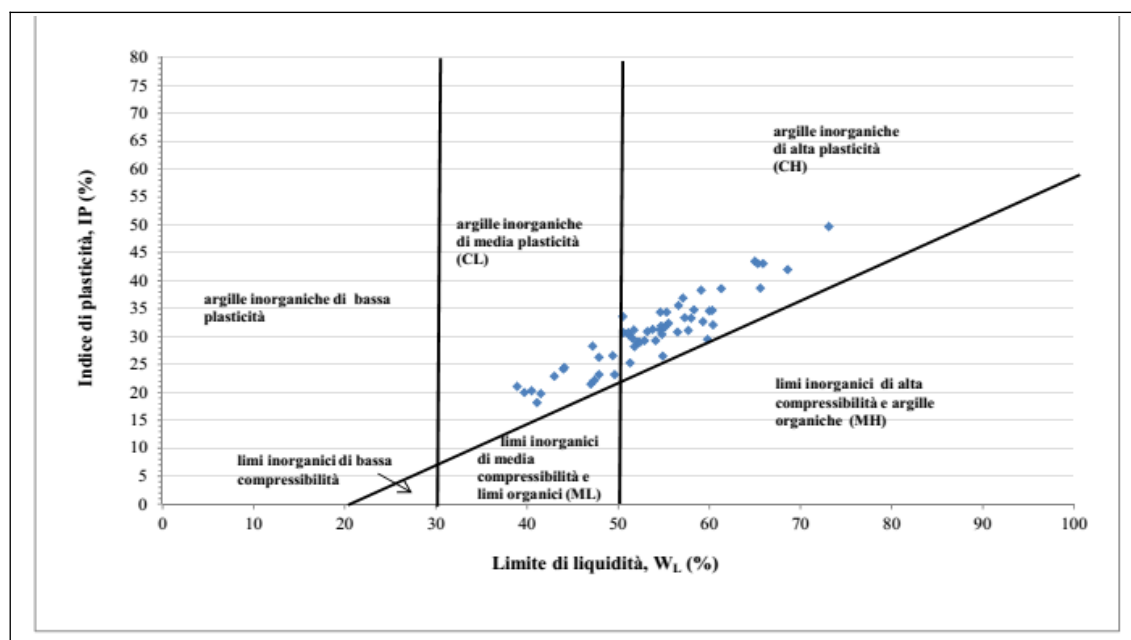


Figura 3 - Carta di plasticità di Casagrande con i campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

Nella tabella 15 sono riportati i valori statistici di alcune delle proprietà geotecniche sopra esposte, relativamente ai campioni prelevati nell'area oggetto della presente relazione.

Tabella relativa ai parametri statistici di alcune proprietà geotecniche								
	Indice vuoti e_0 (-)	Grado saturaz %	Umid nat W_N %	Limite liq W_L %	Limite plast W_P %	Indice plast I_P %	Indice consist IC (-)	Indice attiv (-)
media aritm	0,676	90,56	21,84	53,72	23,02	30,70	1,05	0,65
mediana	0,671	94,14	22,24	54,10	22,90	30,80	1,02	0,65
dev std	0,07	10,39	3,67	7,35	2,75	6,58	0,13	0,08

Tabella 15 - Parametri statistici di alcune proprietà geotecniche.

Nelle figure 4÷10 seguenti sono riportati gli istogrammi relativi alle frequenze dei valori degli indici dei vuoti iniziale (e_0), del contenuto d'acqua (W_N), del limite di liquidità (W_L), del limite e dell'indice di plasticità (W_P , I_P), degli indici di compressione (C_c) e di rigonfiamento (C_s), ottenuti dalle prove edometriche eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi realizzati in corrispondenza dell'area nella quale verrà realizzata la pista.

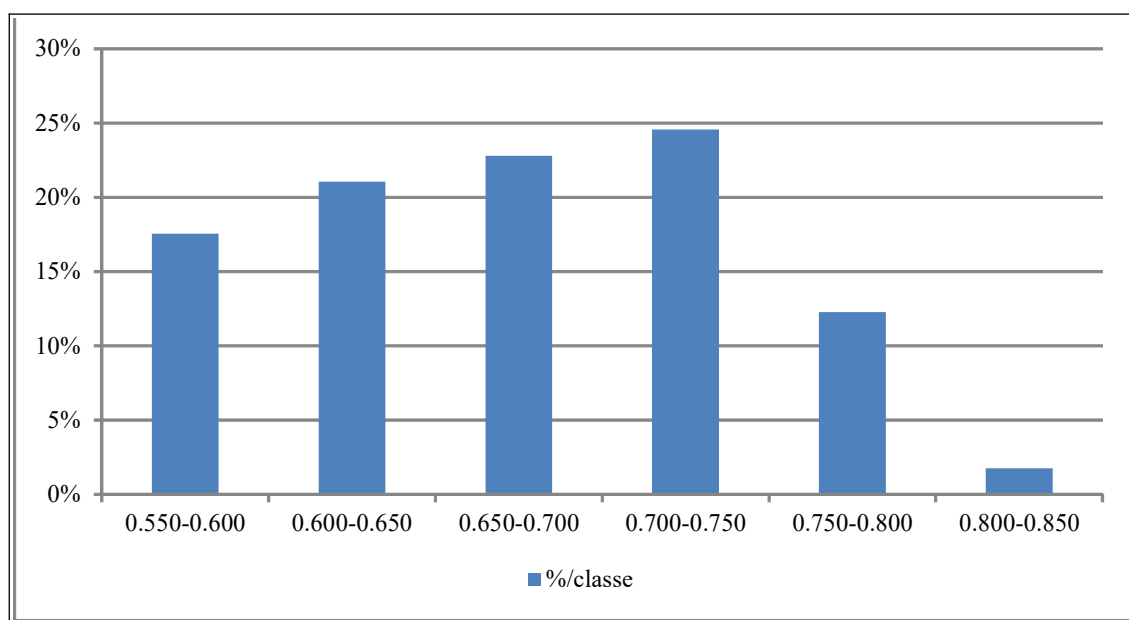


Figura 4 - Frequenza dei valori dell'indice dei vuoti iniziale (e_0) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

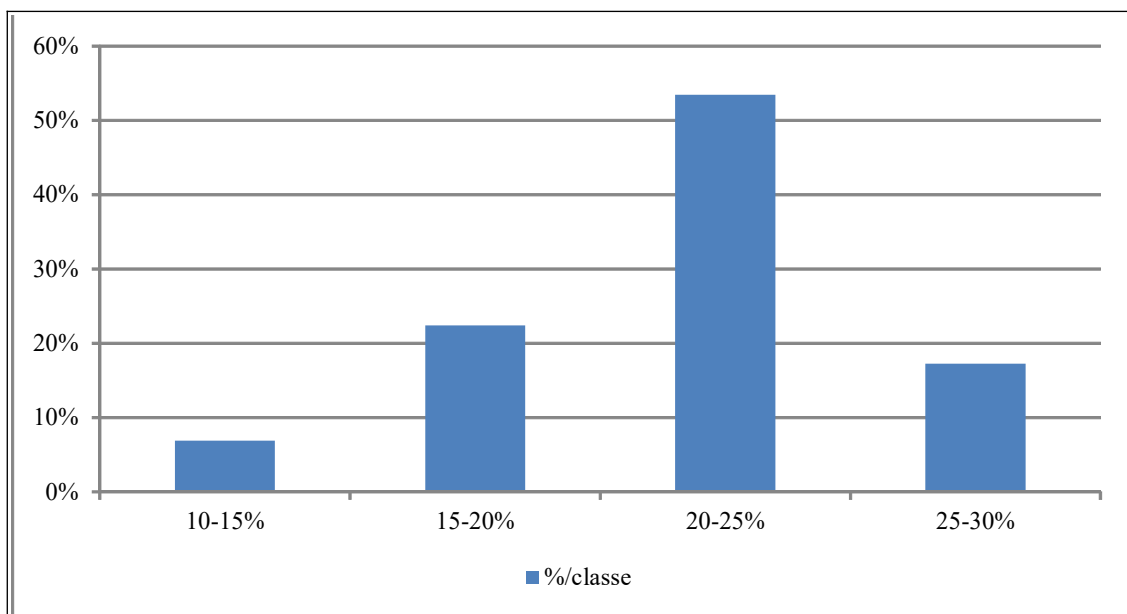


Figura 5 - Frequenza dei valori del contenuto d'acqua (W_n) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

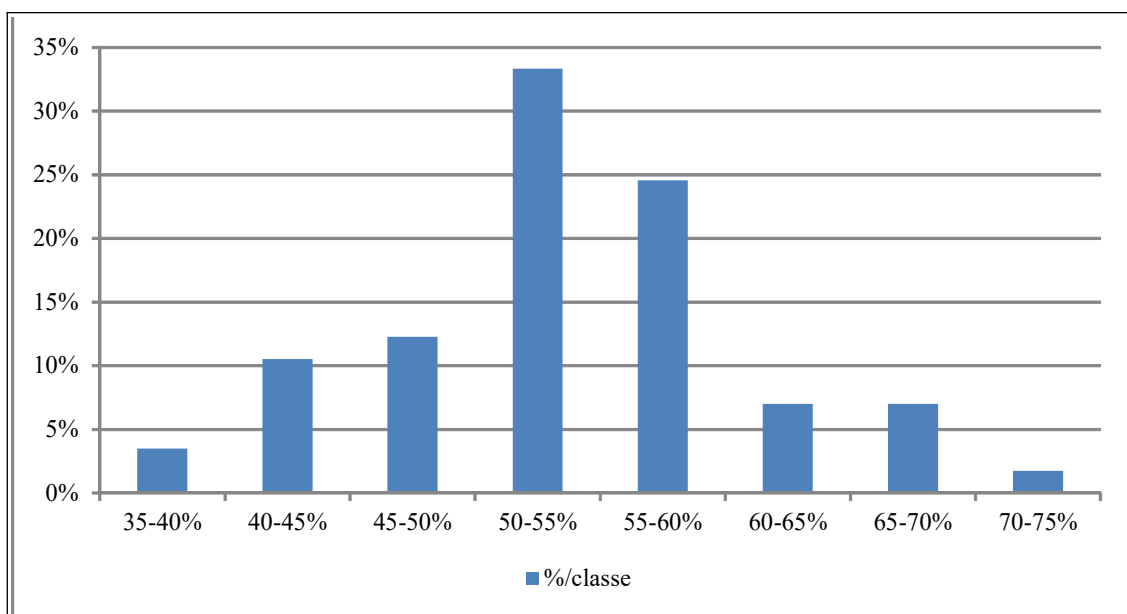


Figura 6 - Frequenza dei valori del limite di liquidità (W_l) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

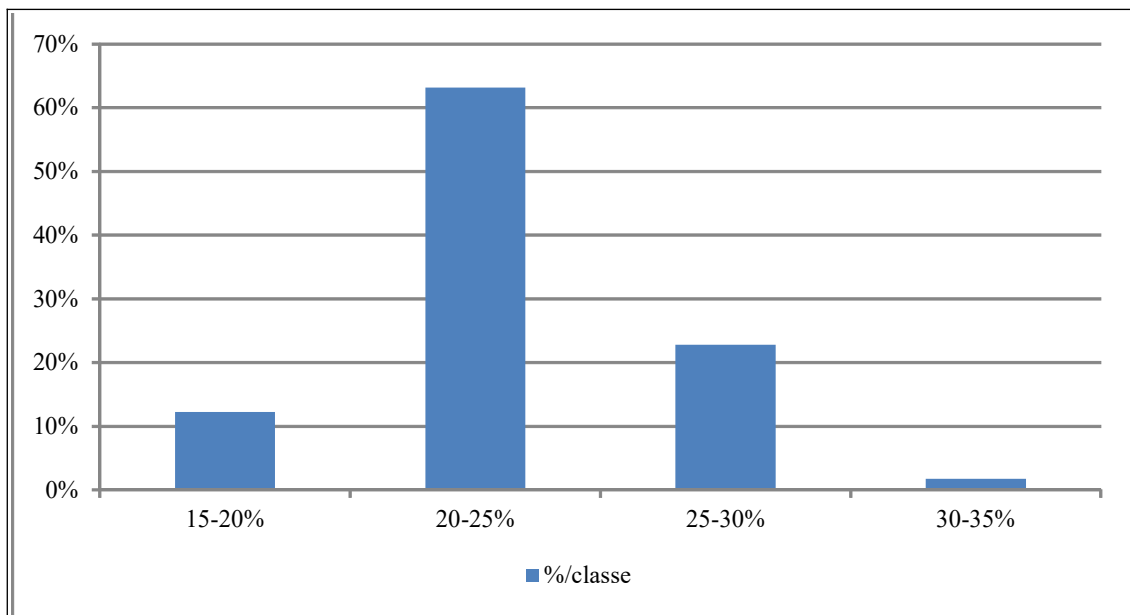


Figura 7 - Frequenza dei valori del limite di plasticità (W_p) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

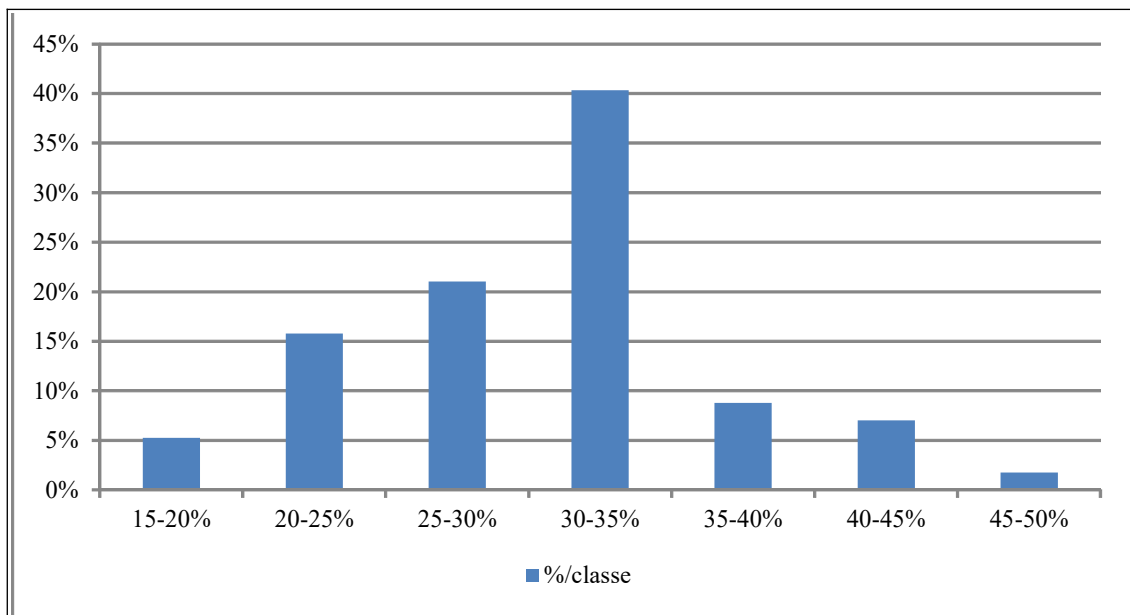


Figura 8 - Frequenza dei valori dell'indice di plasticità (I_p) ottenuto dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

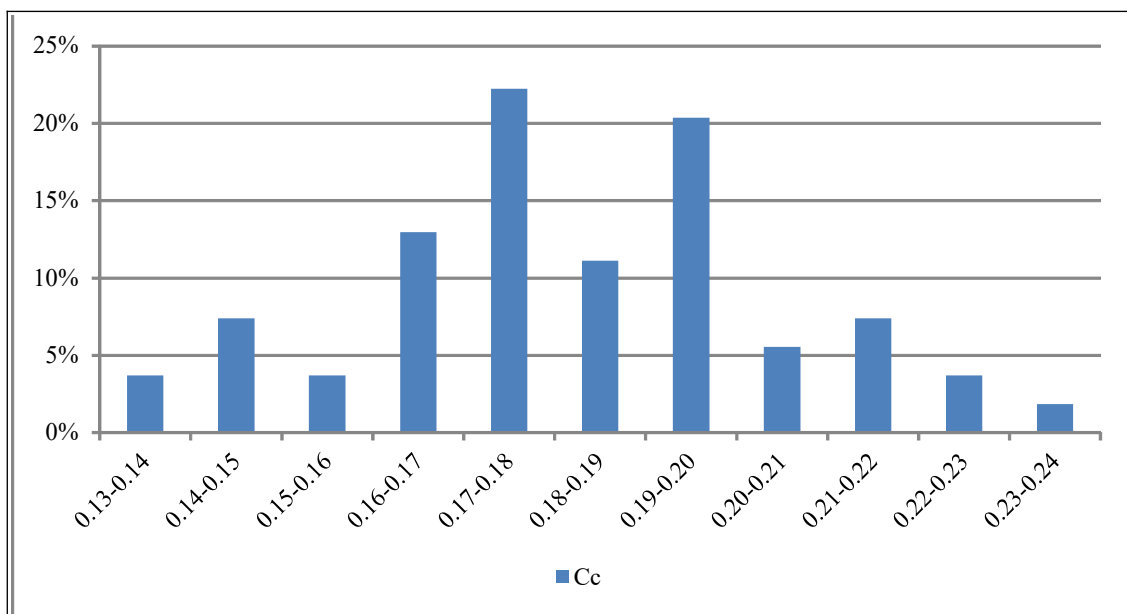


Figura 9 - Frequenza dei valori dell'indice di compressione (C_c) ottenuto dalle prove edometriche eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

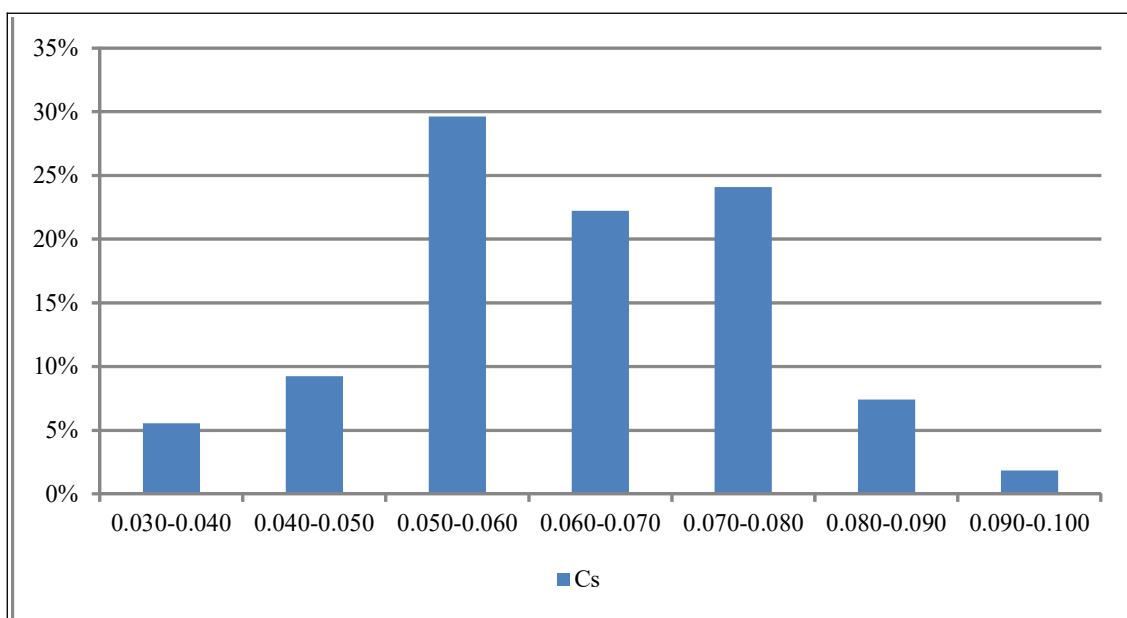


Figura 10 - Frequenza dei valori dell'indice di rigonfiamento (C_s) ottenuto dalle prove edometriche eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

8.7. Indagini geofisiche

8.7.1. Sismica a rifrazione

Durante la seconda fase di indagine sono stati eseguiti n. 10 (dieci) rilievi nella zona di intervento aventi una lunghezza di 230 m, ottenuta unendo due stendimenti consecutivi tramite la sovrapposizione di due geofoni. Per ogni linea la distanza intergeofonica è stata di 5 m e sono state effettuate cinque energizzazioni. Nella RIFR2 si rilevano due sismostrati principali, con contatto a circa 8,0 m dal p.c.; quello più profondo presenta una serie di anomalie con una zona a maggior velocità al centro, una possibile zona argillosa nella parte finale e un livello con incremento delle velocità delle onde Sh nella parte bassa della sezione. L'elaborazione dello stendimento RIFR3 mostra una prima unità caratterizzata da un aumento progressivo della velocità delle onde P con la profondità e una seconda unità, a circa 5,0 m dal p.c., con possibile presenza di livelli a minor compattazione nella parte alta e a maggior compattazione nella parte bassa. Il rilievo della RIFR4' evidenzia un livello superficiale (5,0÷10,0 m dal p.c.) con velocità molto basse e un livello sottostante dominato da una inversione di velocità. Nella sezione RIFR5 è visibile un passaggio, seppur non molto marcato, alla profondità di circa 9,0 m dal p.c., con un incremento progressivo della velocità delle onde P e Sh all'interno del primo orizzonte. La RIFR6 è in parte alterata dal rumore di fondo della limitrofa viabilità; è comunque visibile una interfaccia piuttosto netta a circa 8,0 m dal p.c. Alla medesima profondità si osserva un contatto nel rilievo RIFR7; all'interno dell'orizzonte più profondo è stata misurata un'inversione di velocità, posta a circa 20 m dal p.c.. Una serie di inversioni di velocità e zone con velocità minore, presumibilmente a una forte eterogeneità granulometrica dei sedimenti, sono state riscontrate anche nello stendimento RIFR8 a partire da 5,0 m dal p.c., profondità che contraddistingue il contatto tra i due sismostrati principali. L'elaborazione della RIFR9 ha individuato un primo livello con velocità delle onde Sh inferiori a 200 m/s con uno spessore di circa e un secondo livello che, da 7,0÷8,0 m fino a 20 m dal p.c. è caratterizzato da una serie di inversioni di velocità. Infine, la geometria della RIFR10 presenta un orizzonte superficiale a bassa compattazione (spessore circa 3,0 m) e un netto passaggio compreso tra 6 e 10 m dal p.c..

8.7.2. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

Per definire la categoria di sottosuolo, ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018, e

quindi per la definizione dell'azione sismica locale e di progetto risulta necessario determinare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio tra il bedrock sismico ed il piano di imposta delle fondazioni ($V_{s,eq}$). Nel caso in esame per determinare tale parametro sono state eseguite n. 3 (tre) indagini sismiche con metodologia MASW, denominate MASW6, MASW9 e MASW10 (tavola *Ubicazione delle indagini - RWY 11-29*), alcune di queste, come indicato nella tabella 10, sono state elaborate congiuntamente con un'indagine HVSr.

L'analisi della dispersione delle onde superficiali, abbinata all'indagine HVSr, ha permesso di calcolare il parametro $V_{s,eq}$, applicando la formula seguente:

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

Nella tabella 16 si riportano i valori del parametro V_{s30} , ottenuti.

sigla	Intervento	V_{s30} [m/s]
MASW06	Centro pista	323
MASW09	estremità SE pista	318
MASW10	estremità NO pista	296

Tabella 16 - Valori V_{s30} .

8.7.3. Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso: entrambi possono risultare passaggi litologici che generano fenomeni di possibile amplificazione della sollecitazione sismica.

Nella prova HVSr6 analizzata per circa quindici minuti, il picco rilevato alla frequenza di 0,47 Hz appare poco attendibile anche per i criteri SESAME che non risultano accettabili per l'affidabilità della curva. Nella prova HVSr9 non è stato rilevato un picco nell'intervallo di

frequenza che abbia interesse ingegneristico. Infine nella prova HVSR10 analizzata per appena dodici minuti, il picco rilevato alla frequenza di 0,38 Hz appare poco attendibile anche per i criteri SESAME che non risultano accettabili per l'affidabilità della curva.

8.7.4. Indagine sismica in foro downhole

Nei sondaggi 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 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 fuori testo).

L'elaborazione delle onde S e delle onde P mostra un progressivo aumento delle velocità con la profondità: si osservano in particolare due gradini a 8,50 e 19,0 m dal p.c. nella DH-S118, e a 8,5 e 18,5 m dal p.c. nella DH-S119.

Il valore della V_{s30} calcolato, a partire dal p.c., utilizzando la formula indicata al § 8.7.2., è risultato pari a 310 m/s (DH-S118) e 302 m/s (DH-S119).

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 2012⁵, 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 interesse per il presente studio 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 studio si è utilizzato il software fornito dalla ditta GeoStru che permette di calcolare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per un generico sito del territorio nazionale. Mediante questo programma è possibile, inserendo le coordinate e le caratteristiche progettuali del sito, ottenere direttamente i parametri relativi al computo dell'azione sismica di progetto.

9.2.2. Categoria di di sottosuolo (approccio semplificato)

Visto il valore della velocità equivalente delle onde di taglio calcolato dall'indagine sismica (§ 8.7.2.) al sito interessato da tutte le opere oggetto della presente relazione si assegna la **categoria di sottosuolo C** (*"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."* - da Tab. 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018 e § C3.2.2 della Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019).

⁵ Regolamento di attuazione dell'art. 117, comma 2, lettera g) della L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Verifiche nelle zone a bassa sismicità. Determinazione del campione da assoggettare a verifica.

9.2.3. Categoria topografica

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

9.2.4. Parametri dell'azione sismica locale

Come detto, per ricavare i valori dei parametri dell'azione sismica locale per l'area di progetto, si è utilizzato il programma fornito dalla ditta GeoStru assegnando le seguenti coordinate geografiche (WGS84):

- 43.815523 lat. e 11.192214 long. (punto intermedio asse pista);
- 43,811752 lat. e 11,188942 long. (centro vasca C).

Per determinare gli spettri di risposta elastici del sito, tenuto conto degli effetti locali dovuti all'amplificazione sia stratigrafica che topografica, devono essere assegnati i seguenti parametri:

- vita nominale della struttura: V_N 100 anni (Grandi Opere);
- classe d'uso pari a classe IV *"Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica."*;
- coefficiente d'uso (C_U) pari a 2,0 (classe IV);
- vita o periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_R = V_N * C_U$) pari a 200 anni.

Il report riassuntivo dei parametri sismici determinati con il software GeoStru costituisce l'allegato C.

10. Modellazione geologica e geotecnica

10.1. Sezioni litologiche

In allegato sono mostrate le sezioni⁶ nelle quali sono riportate le colonne litologiche delle verticali di indagine di interesse per gli interventi oggetto della presente relazione; la traccia della sezioni è indicata nell'ubicazione delle indagini in allegato. Le colonne litologiche sono state disegnate come di seguito esposto:

- per i sondaggi derivano dalla descrizione di campagna riportata sulle schede della ditta esecutrice;
- per le prove penetrometriche CPT sono state ottenute integrando l'interpretazione litologica di Begemann con quella di Schmertmann;
- per le prove penetrometriche con piezocono CPTU sono state ottenute dall'interpretazione litologica di Robertson.

Si specifica che la quota dei sondaggi del 2017 è quella del rilievo effettuato dalla società Ambiente sc e riportata nelle schede stratigrafiche mentre per le altre indagini è ricavata dai punti quotati della base topografica.

10.2. Modello geologico del sottosuolo

Considerando la differente tipologia degli interventi, si ritiene opportuno definire un modello geologico distinto per ognuno dei progetti.

10.2.1. Nuova pista

Premesso che l'intervallo superficiale costituito dai primi 2÷3 di terreno presenta frequenti eteropie/variazioni litologiche sia in senso verticale che orizzontale, il terreno in posto al di sotto della nuova pista in progetto può essere suddiviso, ai fini della modellazione geologica, in 4 strati individuati mediante l'analisi litologica e stratigrafica, integrando i dati dei sondaggi con le analisi granulometriche e le prove penetrometriche (in particolare sulla base delle caratteristiche geomeccaniche evidenziate dalle CPT).

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

- 0,00÷1,00 m dal p.c. (valori mediani): intervallo superficiale eterogeneo, con frequenti eteropie verticali e laterali, costituito da limo con argilla, spesso debolmente sabbioso o

⁶ La numerazione delle sezioni deriva dalla relazione geologica generale, redatta dalla società scrivente contestualmente al presente documento, per opere previste dal Master Plan Project Review 2025-2035.

sabbioso, e argilla con limo, frequentemente associata a una componente sabbiosa più o meno cospicua; talvolta è presente una componente debolmente ghiaiosa nei litotipi citati; abbastanza frequente anche la presenza di sottili livelli di sabbia limosa. La frazione prevalentemente coesiva ha un grado di consistenza medio-alto, la frazione prevalentemente granulare si presenta molto addensata;

- 1,00÷3,40 m dal p.c. (valori mediani): intervallo costituito dagli stessi litotipi di quello soprastante, ma da cui in genere si differenzia per avere caratteristiche geomeccaniche più scadenti (es. resistenza di punta penetrometrica, modulo edometrico). La frazione prevalentemente coesiva ha un grado di consistenza medio-basso, la frazione prevalentemente granulare ha, in modo simile, un grado di addensamento medio-basso;
- 3,40÷4,90 m dal p.c. (valori mediani): intervallo composto prevalentemente da argilla con limo e limo con argilla, subordinatamente da argilla con limo (e limo con argilla) debolmente sabbiosa e talvolta debolmente ghiaiosa. La frazione prevalentemente coesiva mostra una consistenza media e, con la profondità, medio-elevata; la frazione prevalentemente granulare presenta un addensamento medio-basso;
- 4,90÷6,20 m dal p.c. (almeno fino a 15,0÷20 m dal p.c.) (valori mediani): argilla con limo e argilla limosa, limo con argilla e limo argilloso, meno frequentemente argilla con limo (e limo con argilla) debolmente sabbiosa. La frazione prevalentemente coesiva mostra una consistenza medio-elevata, talvolta elevata; la frazione prevalentemente granulare presenta un addensamento medio-basso. Questa successione si spinge ininterrotta almeno fino alla profondità di circa 20 m dal p.c., con i primi rinvenimenti nell'area di interesse di intervalli di ghiaia e sabbia in matrice limoso-argillosa (ad esempio, nel sondaggio S108-PZ ubicato in corrispondenza della terminazione nord-ovest della pista, in cui i livelli grossolani compaiono a 21÷26 e 30÷40 m dal p.c.; nel sondaggio S91-DH, presso il costruendo viadotto dell'Osmannoro presso il Polo Scientifico Universitario di Sesto Fiorentino, con intervalli grossolani a profondità di 20÷22 e 27÷32 m dal p.c..

10.2.2. Vasca di auto contenimento idraulico C

I terreni costituenti il sottosuolo dell'area di auto contenimento idraulico in progettazione possono essere suddivisi, ai fini della modellazione geologica, in 4 strati individuati mediante l'analisi litologica e stratigrafica, integrando i dati dei sondaggi con le

analisi granulometriche e le prove penetrometriche (in particolare sulla base delle caratteristiche geomeccaniche evidenziate dalle CPT).

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

- 0,00÷0,90 m dal p.c. (valori mediani): intervallo superficiale eterogeneo, con frequenti eteropie verticali e laterali, costituito da limo con argilla, spesso debolmente sabbioso o sabbioso, e argilla con limo, frequentemente associata a una componente sabbiosa più o meno cospicua; talvolta presente anche una componente ghiaiosa o debolmente ghiaiosa; abbastanza frequente anche la presenza di sottili livelli di sabbia limosa. La frazione prevalentemente coesiva ha un grado di consistenza medio, la frazione prevalentemente granulare si presenta discretamente addensata;
- 0,90÷3,90 m dal p.c. (valori mediani): come rilevato nelle altre aree in progetto circostanti, tale intervallo risulta costituito dagli stessi litotipi di quello soprastante, ma da cui in genere si differenzia per avere caratteristiche geomeccaniche più scadenti (es. resistenza di punta penetrometrica, modulo edometrico). Sia la frazione prevalentemente coesiva che quella prevalentemente granulare presentano un basso grado, rispettivamente, di consistenza e di addensamento;
- 3,90÷6,00 m dal p.c. (valori mediani): intervallo composto prevalentemente da argilla con limo e limo con argilla, subordinatamente da argilla con limo (e limo con argilla) debolmente sabbiosa e talvolta debolmente ghiaiosa. La frazione prevalentemente coesiva mostra una consistenza bassa; la frazione prevalentemente granulare presenta uno scarso addensamento;
- 6,00÷7,30 m dal p.c. (almeno fino a 15÷20 m dal p.c.) (valori mediani): argilla con limo e argilla limosa, limo con argilla e limo argilloso, meno frequentemente argilla con limo (e limo con argilla) debolmente sabbiosa. La frazione prevalentemente coesiva mostra una consistenza un po' più elevata rispetto ai livelli posti superiormente; la frazione prevalentemente granulare continua a presentare un addensamento medio-basso.

La sequenza argillo-limosa risulta continua almeno fino alla profondità di 30 m dal p.c., prima di incontrare un livello di ghiaia in matrice fine con spessore di almeno un paio di metri (rilevato in S119-DH).

10.3. Modello geotecnico

Considerando tipologia ed estensione delle opere e viste le indagini a disposizione, si

ritiene opportuno definire un modello geotecnico distinto per ogni intervento; nei paragrafi seguenti si riportano i valori caratteristici dei parametri geotecnici per le opere oggetto della presente relazione⁷.

10.3.1. Valori caratteristici dei parametri geotecnici

10.3.1.1. Aspetti generali

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

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

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

⁷ Per quanto riguarda il modulo edometrico il valore caratteristico riportato nelle tabelle del § 10.3.1. è rappresentativo del singolo strato individuato per il modello geologico e geotecnico. Sarà cura del progettista geotecnico attribuire eventuali ulteriori valori del modulo edometrico a strati di spessore inferiore per il calcolo dei cedimenti.

10.3.1.2. Nuova pista

Con riferimento agli strati descritti al paragrafo § 10.2.1, in funzione dell'opera in progetto e del volume significativo, si riportano nella tabella 17 i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

da (valore mediano) [m p.c.]	a (valore mediano) [m p.c.]	strato geotecnico	c' [kPa]	f [°]	c _u [kPa]	g [kN/m ³]	Ed [kPa]
0,00	1	1	4,48	22,39	70,90	19,40	4.097,31
1	3,4	2	10,02	19,20	82	19,60	5.432,03
3,4	4,9	3	7,55	22,06	105,6	19,30	9.753,10
4,9	6,20 (15,0)	4	17,82	18,50	148,5	19,70	13.206,83

Tabella 17 - Valori caratteristici per l'area di intervento relativamente alla pista.

Nel dettaglio i valori caratteristici sono stati ottenuti nel seguente modo:

- peso di volume g, quale valore della mediana dei risultati della relativa prova di laboratorio eseguita sui provini dei campioni indisturbati;
- angolo di attrito interno f e coesione drenata c', tramite l'elaborazione statistica dei risultati delle prove di laboratorio;
- resistenza non drenata c_u, tramite l'elaborazione statistica delle prove penetrometriche statiche, con i risultati oggetto di confronto con quelli ottenuti tramite l'elaborazione statistica dei risultati delle prove di laboratorio;
- modulo edometrico Ed tramite l'elaborazione statistica delle prove penetrometriche statiche, con approccio cautelativo, e controllo dei risultati delle prove edometriche.

10.3.1.3. Vasca di auto contenimento C

Con riferimento agli strati descritti al paragrafo § 10.2.2, in funzione dell'opera in progetto e del volume significativo, si riportano nella tabella 18 i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

da (valore mediano) [m p.c.]	a (valore mediano) [m p.c.]	Strato geotecnico	c' [kPa]	f [°]	c _u [kPa]	g [kN/m ³]	Ed [kPa]
0,0	0,9	1	16,70	26,20	78,50	19,10	6.354,42
0,9	3,9	2	6,38	19,19	72,60	19,10	5.604,06
3,9	6,0	3	16,06	20,21	102,70	19,60	8.135,84
6,0	7,3 (15,0)	4	15,36	18,29	153,70	19,90	12.997,56

Tabella 18 - Valori caratteristici per l'area di intervento.

Nel dettaglio i valori caratteristici sono stati ottenuti nel seguente modo:

- peso di volume g , quale valore della mediana dei risultati della relativa prova di laboratorio eseguita sui provini dei campioni indisturbati;
- angolo di attrito interno f e coesione drenata c' , tramite l'elaborazione statistica dei risultati delle prove di laboratorio;
- resistenza non drenata c_u , tramite l'elaborazione statistica delle prove penetrometriche statiche, con i risultati oggetto di confronto con quelli ottenuti tramite l'elaborazione statistica dei risultati delle prove di laboratorio;
- modulo edometrico Ed tramite l'elaborazione statistica delle prove penetrometriche statiche, con approccio cautelativo, e controllo dei risultati delle prove edometriche.

10.3.1.4. *Considerazioni sui terreni coesivi superficiali*

L'analisi delle prove di laboratorio (prove edometriche) e delle prove in sito (CPT, CPTU, DT) ha mostrato la presenza di terreni superficiali con un elevato grado di sovraconsolidazione (OCR), concentrata soprattutto nei primi due 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 la sovraconsolidazione assume valori molto variabili sia in senso orizzontale che verticale. Le figure 11 e 12 seguenti mostrano la pressione di preconsolidazione (da prova edometrica) e l'OCR conseguente (rapporto fra la pressione di preconsolidazione e la pressione verticale efficace attuale alla profondità di campionamento del terreno) ricavate dai campioni di terreno prelevati nel primo metro e mezzo di spessore dal piano campagna nell'area interessata dalla realizzazione della nuova pista spostandosi da nord-ovest (sinistra) a sud-est (destra).

Nella figura 13, invece, i valori di OCR dei campioni dell'area di intervento vengono posizionati alla profondità di prelievo, evidenziando quanto detto riguardo alla maggiore concentrazione della sovraconsolidazione nei primi 1,50÷2,00 m di spessore.

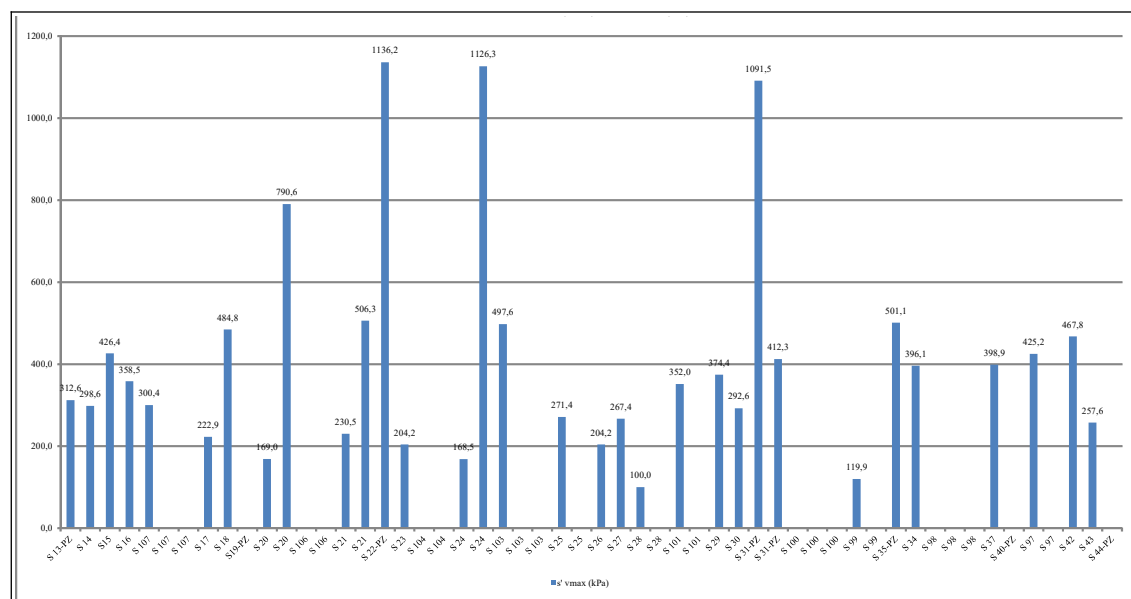


Figura 11 - Valori della pressione di preconsolidazione in funzione della profondità ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati tra 0 e 1,50 m dal p.c. nei sondaggi lungo la nuova pista, da nord-ovest (sinistra) a sud-est (destra).

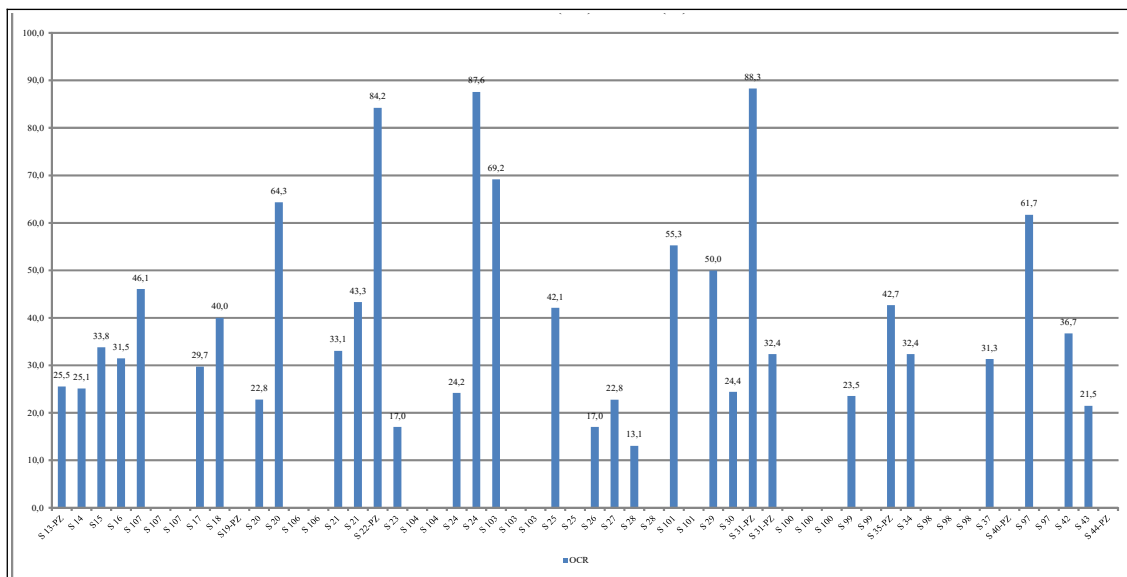


Figura 12 - Valori OCR in funzione della profondità ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati tra 0 e 1,50 m dal p.c. nei sondaggi lungo la nuova pista, da nord-ovest (sinistra) a sud-est (destra).

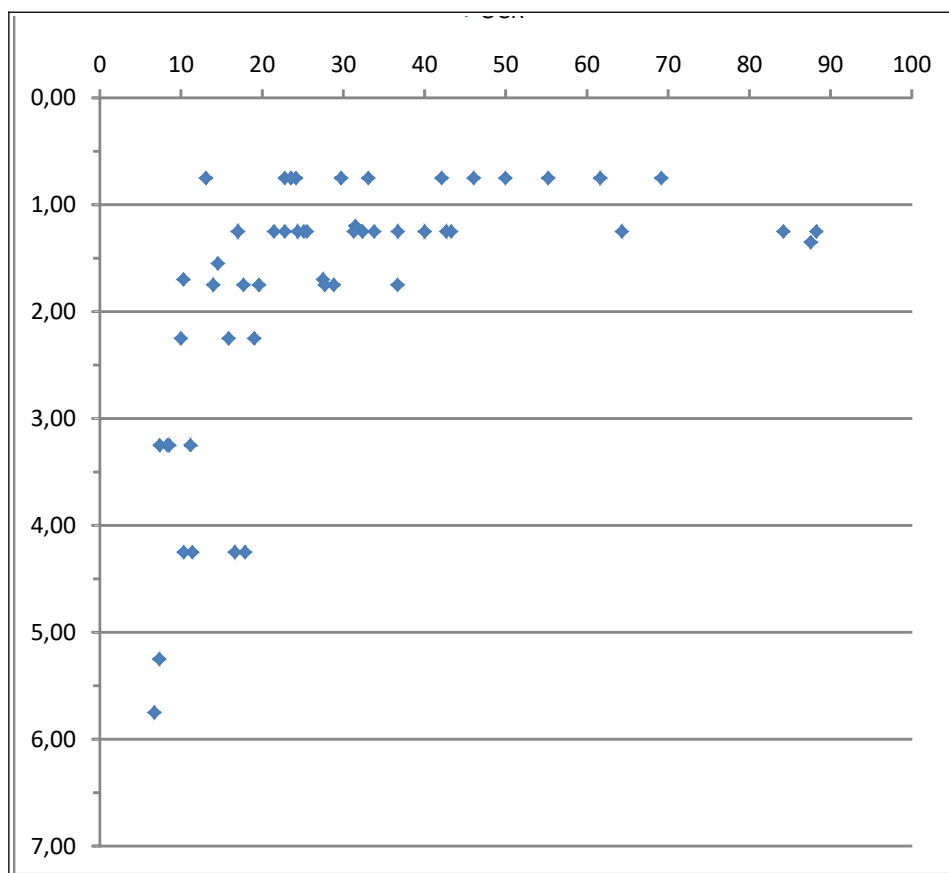


Figura 13 - Valori OCR in funzione della profondità (m dal p.c.) ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi lungo la nuova pista.

Nella tabella 19 sono riportati i valori statistici di alcuni parametri derivati dalle prove edometriche.

Tabella relativa ai parametri statistici di dati edometrici e OCR					
	Ind. ricomp. Cr	Ind. compress. Cc	Ind. rigonf. Cs	Press. precon. σ'_{vmax} (kPa)	OCR [-]
media aritm	0,04267	0,18158	0,06276	401,3	30,0
mediana	0,04075	0,18171	0,06230	358,8	24,8
dev. std	0,017	0,023	0,014	226,18	20,42

Tabella 19 - Parametri statistici dei parametri dalle prove edometriche.

11. Liquefazione

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

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1a e b delle NTC 2018.

Nel caso in esame, come riassunto nella tabella 20 seguente, è possibile non effettuare la verifica a liquefazione.

§ 7.11.3.4.2 DM 17-01-18	Criteri di esclusione	Valore	Verifica Liquefazione	Note
1	Accelerazione max attesa al p.c. < 0.1 g	0,207 (SLV - pista) 0,203 (SLV - vasca C)	SI	Vedi allegato C
2	Prof. falda > 15 m	>40,0 m	NO	Informazioni da sondaggi
3	$(N_1)_{60} > 30$ $q_{c1N} > 180$	-	-	-
4	Distribuzione granulometrica	Allegato A	NO	Distribuzioni prevalentemente al di fuori dei limiti

Tabella 20 - Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.

12. Terre e rocce da scavo

Per la gestione delle terre e rocce da scavo si rimanda allo specifico Piano di Utilizzo delle Terre (PUT).

13. Indicazioni relative alla realizzazione dei lavori

13.1. Indicazioni inerenti la gestione delle acque di aggettamento

In base a quanto detto nelle pagine che precedono, i primi metri di terreno interessati dagli scavi 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

Vista l'assenza di scavi significativi non si ravvede 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 del 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

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

14. Conclusioni

Lo studio geologico effettuato nell'area in cui è prevista la realizzazione della nuova pista e della vasca di auto contenimento idraulico C dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze (project review del Piano di Sviluppo Aeroportuale 2035), non ha evidenziato la presenza di aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici contrastanti o limitanti la fattibilità dell'intervento. Per quanto riguarda l'esame delle problematiche idrauliche si rimanda agli altri elaborati progettuali.

Viste le caratteristiche di progetto, quelle geologiche e geotecniche e i risultati delle indagini eseguite nel sito di intervento (Campagne di indagini geognostiche realizzate nel 2015 e nel 2017) è stato elaborato il modello geologico e geotecnico (§ 10.) del sottosuolo indicando i valori caratteristici dei parametri geotecnici (§ 10.3.1.) da adottare per ciascuna delle opere previste. A partire dalla categoria di sottosuolo identificata attraverso indagini geofisiche di tipo MASW e HVSr (Categoria di sottosuolo C) e in base a vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento, sono stati forniti i parametri dell'azione sismica locale (riportati nell'allegato C).

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.

* * *