



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E
DEI TRASPORTI



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

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

PROJECT REVIEW - PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento Completo

RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA E
IDROGEOLOGICA SITO-SPECIFICA - GEO

Relazione esplicativa

Livello di Progetto

STUDIO AMBIENTALE INTEGRATO

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE COMPLETO
SAI	00	MARZO 2024	-	FLR-MPL-SAI-GEO2-001-GL-RT_Rel Esplic
				TITOLO RIDOTTO
				Rel Esplic

00	03/2024	EMISSIONE PER PROCEDURA VIA-VAS	M. SANI	C.NALDI	L. TENERANI
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

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

GRUPPO DI LAVORO

responsabile di commessa e coordinamento
dr. geol. Michele Sani

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

INDICE

1. Premessa	5
1.1. Generalità	5
1.2. Fasi di lavoro	6
1.3. Metodologia	6
2. Geologia	7
2.1. Evoluzione tettonica del Bacino di Firenze - Prato - Pistoia	7
2.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze - Sesto Fiorentino	8
2.2.1. Orizzonte "Firenze 1"	9
2.2.2. Orizzonte "Firenze 2"	10
2.2.3. Orizzonte "Firenze 3"	10
2.2.4. Orizzonte "Firenze 4"	11
2.2.5. Rocce del paleoinvaso	11
2.3. Nuova denominazione dei terreni	11
2.4. Geologia dell'area di intervento	12
2.4.1. Unità Tettoniche Liguri - Unità di Monte Morello	13
2.4.1.1. Formazione di Monte Morello (MLL)	13
2.4.2. Depositi olocenici	13
2.4.2.1. Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna1 e bna2)	13
2.4.2.2. Alluvioni recenti (Ac)	14
2.4.2.3. Depositi alluvionali attuali (b)	14
2.4.2.4. Depositi colluviali (b7)	14
2.4.2.5. Depositi antropici, terreni di riporto e bonifica per colmata (h5)	14
2.4.2.6. I Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi (h1)	14
3. Descrizione litostratigrafica	15
3.1. Premessa	15
3.2. Interpretazione litostratigrafica	18
4. Idrogeologia	18
4.1. Aspetti idrogeologici generali	18
4.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame	20
4.3. Relazioni tra porosità, porosità efficace e ritenzione specifica	21
4.4. Superficie piezometrica	22
4.5. Misure freaticometriche	28
4.6. Acqua sotterranea filtrante attraverso le superfici di scavo	29
5. Indicazioni sulla gestione delle acque di aggettamento	36
6. Conclusioni	37
7. Bibliografia	39

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Sezione geologica Nord-Sud della Piana di Sesto. 1: suolo agrario e terreno rimaneggiato. 2: ciottoli e ghiaia. 3: argilla e limo. 4: detrito di versante. 5: rocce del substrato (estratto da Pranzini G. - <i>Idrogeologia della piana fiorentina</i>).	8
Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecchi et al., 1976b).	9

Figura 3 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze e nuova nomenclatura stratigrafica.	12
Figura 4 - Ubicazione delle sezioni, scala 1:15.000.	16
Figura 5 - Stratigrafia del pozzo di 189 m presente nel Database Geologico e individuazione dei probabili orizzonti di Firenze riscontrati.	17
Figura 6 - Relazioni tra porosità, porosità efficace e ritenzione specifica (1 curva della porosità; 2 curva della ritenzione specifica; 3 curva della porosità efficace - da Davis & de Wiest, 1966).	22
Figura 7 - Sezione schematica NNE-SSO parallela al tracciato del sottopasso pista, da Sesto F.no (S 91) all'Osmannoro (S 117).	24
Figura 8 - Dettaglio della sezione 8-8' con riportata sezione e quota del volume interrato.	25
Figura 9 - Impronta del nuovo Terminal (linea rossa fine) e area del volume interrato (linea arancione) con spessore e distribuzione areale dell'Orizzonte Firenze 2 (linea di colore blu) in metri sul livello del mare.	26
Figura 10 - Impronta del nuovo Terminal (linea rossa fine) e area del volume interrato (linea arancione) con spessore e distribuzione areale dell'Orizzonte Firenze 2 (linea di colore blu) in metri dal piano di campagna.	27
Figura 11 - Ubicazione dei piezometri citati nel testo le cui misurazioni sono riportate in tabella 1.	30
Figura 12 - Tracciato del sottopasso pista e prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu lungo il percorso e nelle vicinanze (figura non in scala).	33
Figura 13 - Grafici delle colonne litologiche e della pressione dei pori (u) registrati nelle prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu) ubicate lungo il percorso del sottopasso pista e nelle immediate vicinanze	34
Figura 14 - Grafico di Parez & Fauriel (1988) per la determinazione del tempo di dissipazione del 50% (t_{50}) delle pressioni neutre (u) in funzione del coefficiente di permeabilità (k).	35
Figura 15 - Stima del valore del parametro t_{50} (corrispondente ad un grado del 50% della dissipazione delle pressioni neutre) tramite la relazione fra il tempo di dimezzamento ed il coefficiente di permeabilità (k)	36

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Risultati delle misure eseguite nei piezometri.	31
--	----

TAVOLE FUORI TESTO

Carta geologica
Carta idrogeologica
Ubicazione delle indagini geognostiche
Sezione litostratigrafica 1-1'
Sezione litostratigrafica 2-2'
Sezione litostratigrafica 3-3'
Sezione litostratigrafica 4-4'
Sezione litostratigrafica 5-5'
Sezione litostratigrafica 6-6'
Sezione litostratigrafica 7-7'
Sezione litostratigrafica 8-8'

1. Premessa

1.1. Generalità

Il presente documento è stato redatto a seguito del parere n. 56 del 29 dicembre 2023, assunto al protocollo n. 492/MASE del 2 gennaio 2024, espresso dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS Sottocommissione VAS del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, riguardante il Project review del Piano di Sviluppo Aeroportuale al 2035 dell'Aeroporto di Firenze. In particolare il presente documento tratta quanto riportato a pagina 102 del parere citato e in particolare al punto 7, in merito a Geologia e Suolo e Sottosuolo, laddove è scritto:

in accordo con quanto evidenziato da ARPAT, si ritiene necessario procedere ad una ricostruzione reale e sito specifica, della litostratigrafia e del flusso della falda acquifera anche avvalendosi dei risultati ottenuti dalle campagne eseguite per il precedente Masterplan 2014-2029, in particolare nelle aree interessate dagli scavi di maggiore profondità (come ad esempio quelle interessate dalla realizzazione del piano interrato del Nuovo Terminal con pali di fondazione profondi, dalle fondazioni per la nuova pista, dal bacino interrato di autocontenimento idraulico presso il Nuovo Terminal, dalle fondazioni su pali previste per l'adeguamento dell'altezza degli argini del Fosso Reale), al fine di ricostruire la reale stratigrafia del sottosuolo e i possibili impatti con la falda, con indicazione delle misure di mitigazione, anche con riguardo alla realizzazione del sottopasso nel Comune di Sesto Fiorentino, dei due ponti sulla nuova inalveazione del Fosso Reale, del "nuovo bacino", delle aree di laminazione, prevedendo un monitoraggio della falda. Quanto sopra anche ai fini del corretto inquadramento sismico dell'area e delle conseguenti misure tecniche da adottare in fase di realizzazione delle opere previste.

Il presente documento descrive le caratteristiche geologiche (litologiche e giaciture) e idrogeologiche con particolare riguardo all'area in cui sono previsti gli interventi. Alla base del documento sono stati presi in esame 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.

1.2. Fasi di lavoro

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

- consultazione delle Indagini geologico-tecniche di supporto allo strumento urbanistico del Comune di Campi Bisenzio;
- consultazione delle Indagini geologico-tecniche di supporto allo strumento urbanistico del Comune di Firenze;
- consultazione delle *Indagini geologico-tecniche* di supporto allo strumento urbanistico del Comune di Sesto Fiorentino;
- presa visione del Piano di Bacino del Fiume Arno - Stralcio Assetto idrogeologico (PAI - Norme di attuazione ed allegati) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- 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;
- presa visione e utilizzo delle indagini geognostiche relative alla *Campagna di indagini geognostiche per la realizzazione della nuova pista e delle opere accessorie* dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze eseguite dalla società Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l., nel 2015 e nel 2017;
- elaborazione grafica e stesura della documentazione.

1.3. Metodologia

Come già accennato quindi, per la stesura del presente documento, si è proceduto utilizzando i seguenti dati:

- da bibliografia (indagini presenti in archivi regionali quali SIGS o DB Geologico);
- da indagini realizzate per progetti precedenti in aree limitrofe (sondaggi per la realizzazione della Tramvia);
- dalle 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.

Ai fini di una più accurata ricostruzione litostratigrafica sito-specifica sono stati sviluppati anche i seguenti elaborati (allegati fuori testo):

- Carta geologica dell'area in esame con ubicate le tracce delle sezioni (scala 1:5.000)
- Carta idrogeologica dell'area in esame con ubicate le tracce delle sezioni (scala 1:5.000)
- Ubicazione delle indagini geognostiche (scala 1:5.000): sia di quelle 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, che di quelle provenienti da Database Geologico Regionale o da progetti realizzati in aree limitrofe.
- n. 8 sezioni litostratigrafiche, realizzate correlando i sondaggi e le prove penetrometriche CPTU, passanti nelle aree nelle quali verranno realizzati gli interventi di maggiore rilevanza (nuovo Terminal, nuova pista, sottopasso), nelle quali è stato anche indicato, dove presente (soltanto nei sondaggi attrezzati a piezometro), il livello piezometrico.

2. Geologia

2.1. 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 è caratterizzato in prevalenza dalla pianura alluvionale generata dal Fiume Arno e dai suoi affluenti e in parte dalla presenza di rilievi collinari. Il bacino si è formato a partire dal Pliocene Superiore in seguito all'attività tettonica, che ha permesso l'instaurarsi di un esteso ambiente deposizionale di tipo fluvio-lacustre e l'accumulo di ingenti coltri di sedimenti. Nella zona affiorano, al di sotto di alcuni decimetri di suolo vegetale e/o di materiale di riporto, depositi

recenti di origine alluvionale. Si tratta di materiale sabbioso, limoso e argilloso messo in posto durante il secondo ciclo di terrazzamenti del Fiume Arno (bna1 e bna2 - nella carta geologica allegata fuori testo).

2.2. Geologia e stratigrafia della Piana di Firenze - Sesto Fiorentino

La geologia del sottosuolo dell'area fiorentina e delle aree limitrofe (piana di Sesto Fiorentino) è stata ricostruita da vari Autori (figura 1, rappresentante una sezione orientata Nord-Sud della pianura di Sesto Fiorentino, da *Pranzini G. - Idrogeologia della piana fiorentina*) attraverso l'esame di migliaia di stratigrafie di pozzi perforati principalmente per il reperimento di acqua di sottosuolo, di sondaggi geognostici, di prove penetrometriche sia statiche che dinamiche, di saggi, scavi e pozzetti esplorativi effettuati con escavatore meccanico.

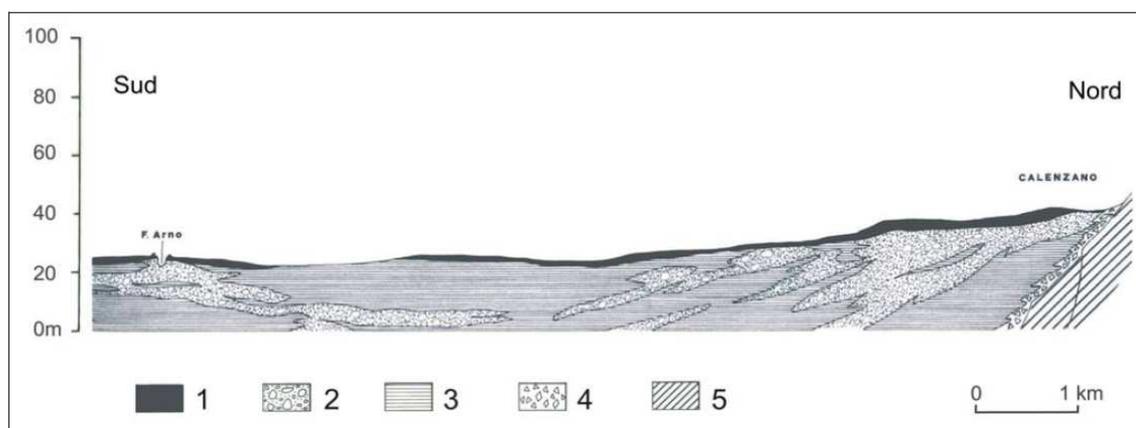


Figura 1 - Sezione geologica Nord-Sud della Piana di Sesto. 1: suolo agrario e terreno rimaneggiato. 2: ciottoli e ghiaia. 3: argilla e limo. 4: detrito di versante. 5: rocce del substrato (estratto da Pranzini G. - *Idrogeologia della piana fiorentina*).

All'interno dei depositi di riempimento del bacino è stato quindi possibile riconoscere quattro successive fasi di deposizione numerate progressivamente dalla più recente alla più antica e denominate "orizzonti Firenze" (figura 2).

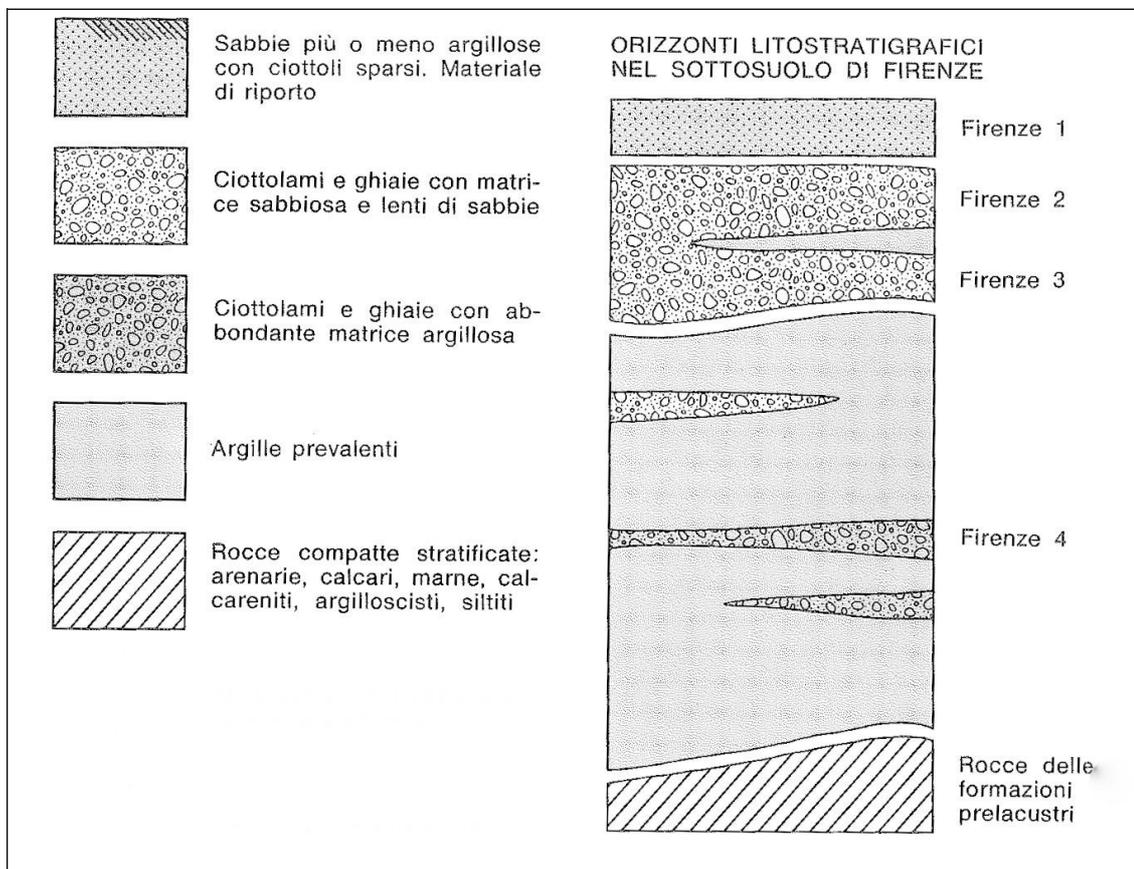


Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecci et al., 1976b).

2.2.1. 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. 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.

2.2.2. 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.

Lo spessore di questo orizzonte è molto variabile; diminuisce gradualmente verso i margini della pianura e verso ovest. In Capecchi *et al.* (1976 b) 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.

2.2.3. 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. 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. 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.

2.2.4. 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. 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.

2.2.5. Rocce del paleoinvaso

Al di sotto dei quattro orizzonti Firenze sono presenti le rocce che costituiscono il fondo e i fianchi dell'antico bacino lacustre. Esse appartengono alle stesse formazioni geologiche che affiorano nelle colline circostanti e in particolare si ritiene che nella zona urbana di Firenze i sedimenti lacustri si appoggino in prevalenza su rocce appartenenti al Supergruppo della Calvana, soprattutto alla Formazione di Sillano e alla Pietraforte. Al bordo settentrionale del paleo-lago, nella zona di Castello e di Firenze nord, i sedimenti fluvio-lacustri si appoggiano anche su rocce appartenenti alla Formazione di Monte Morello e al Macigno dei Monti del Chianti più o meno fratturate e fagliate.

2.3. Nuova denominazione dei terreni

Con il rilevamento della Carta Geologica d'Italia, disegnata sulla base topografica in scala 1:50.000, sono stati nuovamente denominati, in chiave moderna i terreni presenti nelle varie aree e quindi hanno subito la stessa sorte anche gli orizzonti Firenze (1, 2, 3 e 4) e le rocce originatesi precedentemente. La nuova nomenclatura introdotta ha comportato, come

conseguenza, una serie di cambiamenti che possono essere schematizzati come riportato nella figura 3.

orizzonte Firenze 1	Sintema del Fiume Arno
orizzonte Firenze 2	
orizzonte Firenze 3	Sintema di Firenze
orizzonte Firenze 4	Sintema del bacino Firenze-Prato-Pistoia
substrato prelacustre	Formazione di Sillano, Pietraforte

Figura 3 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze e nuova nomenclatura stratigrafica.

2.4. Geologia dell'area di intervento

Come mostrato nella carta geologica allegata fuori testo, nell'area in studio 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. La carta geologica è stata disegnata utilizzando i Fogli n. 275040 e 275080 della Carta Geologica Regionale della Regione Toscana - Servizio Geologico Regionale (*Progetto Carg*). La zona in esame, nella quale verranno realizzare le opere principali relative al nuovo Masterplan Aeroportuale 2035, è caratterizzata principalmente dalla presenza dei Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1 e bna2), corrispondenti ai depositi del Sintema del Fiume Arno, secondo la classificazione UBSU (Unconformity-bounded Stratigraphic Units), e che possono essere inoltre correlati all'Orizzonte Firenze 1 e all'Orizzonte Firenze 2 di Capecchi *et al.* (1976 b) (figura 3).

Nei paragrafi seguenti si descrivono le formazioni geologiche presenti (dalla più antica

alla più recente).

2.4.1. 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.

2.4.1.1. 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.

2.4.2. Depositi olocenici

2.4.2.1. 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 del Masterplan Aeroportuale 2035 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 (0,20÷0,40 m), o in alcuni casi, 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 marrone (prevalente).

2.4.2.2. Alluvioni recenti (Ac)

Questi depositi affiorano limitatamente nella porzione sud-orientale della zona indagata, posta nel territorio comunale di Firenze, tra Via Francesco Geminiani e Via di Carraia e 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).

2.4.2.3. 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.

2.4.2.4. 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.

2.4.2.5. Depositi antropici, terreni di riporto e 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).

2.4.2.6. I Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi (h1)

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

Passerini, ubicata nella porzione occidentale 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 nord est) e dagli stagni di Focognano (a nord ovest).

3. Descrizione litostratigrafica

3.1. Premessa

Come già detto nel paragrafo 1.3, ai fini di una corretta ricostruzione litostratigrafica sito-specifica delle varie aree nelle quali dovranno essere realizzati i principali interventi previsti nel Masterplan Aeroportuale 2035 dell'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze, sono state realizzate n. 8 (otto) sezioni litostratigrafiche, ubicate come riportato in figura 4 e le cui tracce sono disegnate nelle tavole allegate fuori testo (Carta Geologica, Carta Idrogeologica e Ubicazione delle indagini geognostiche).

Di queste sezioni:

- n. 3 (sezione 1-1', sezione 2-2' e sezione 3-3') sono state tracciate in senso longitudinale al tracciato della nuova pista, con andamento nord ovest - sud est;
- n. 3 (sezione 4-4', sezione 5-5' e sezione 6-6') sono state ubicate in senso trasversale al tracciato della nuova pista, con andamento nord est - sud ovest, con la sezione 5-5' passante nell'area in cui dovrà essere realizzato il sottopasso;
- n. 2 (sezione 7-7' e sezione 8-8') sono state tracciate trasversalmente nella zona in cui verrà realizzato il nuovo terminal passeggeri.

La ricostruzione litostratigrafica è stata possibile correlando le varie indagini realizzate nell'area di intervento, utilizzando sia i sondaggi e le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) 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 Amerigo Vespucci di Firenze, che le indagini provenienti sia da Database Geologico Regionale che da progetti realizzati in aree limitrofe. Tra le indagini provenienti dal Database Geologico è stato particolarmente utile, ai fini litostratigrafici, il pozzo di 189 m realizzato nella piana di Sesto Fiorentino (figura 5), poiché ha permesso di individuare e collocare in profondità il probabile orizzonte Firenze 3 e il sottostante orizzonte Firenze 4.



Figura 4 - Ubicazione delle sezioni, scala 1:15.000.

3.2. Interpretazione litostratigrafica

Dall'analisi delle sezioni realizzate, da un punto di vista litostratigrafico, si può notare, a livello generale, la prevalenza al di sotto di pochi decimetri di terreno vegetale o di terreno di riporto, di terreni argilloso-limosi o limoso-argillosi di colore generalmente marrone per uno spessore di almeno 20 - 25 metri di profondità da piano campagna, correlabili all'orizzonte "Firenze 1" (§ 2.2.1) e caratterizzanti l'intera Piana di Sesto Fiorentino su cui verrà realizzata la nuova pista di volo.

Soltanto nelle sezioni 7-7' e 8-8', situate nell'area a sud dell'attuale pista e nella quale dovrà essere realizzato il nuovo terminal, si riscontra la presenza di alcuni livelli sabbiosi e ghiaiosi piuttosto superficiali, con spessore di pochi metri, associabili molto probabilmente all'orizzonte "Firenze 2" (§ 2.2.2).

L'orizzonte "Firenze 3", costituito da sabbie e ghiaie in matrice argillosa (§ 2.2.3), è possibile riscontrarlo solamente in alcune sezioni (sezione 1-1', sezione 4-4', sezione 5-5', sezione 7-7' e sezione 8-8'), nelle quali sono presenti indagini che sono arrivate ad investigare uno spessore di oltre 30 m di terreno.

L'orizzonte "Firenze 4" infine (§ 2.2.4) si riscontra soltanto nel pozzo di 189 m descritto precedentemente (figura 5) e in alcuni sondaggi realizzati per progetti precedenti o presenti negli archivi regionali (SIGS o Database Geologico) che si ritrovano ubicati nell'area in cui verrà realizzato il nuovo terminal (sezioni 7-7' e 8-8').

Per ulteriori dettagli si rimanda comunque agli elaborati allegati fuori testo, descritti al paragrafo 1.3.

4. Idrogeologia

4.1. Aspetti idrogeologici generali

Con riferimento agli orizzonti descritti al § 2.2, 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 una 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.* 1976 b). Il primo acquifero riscontrabile nell'area dell'Osmannoro è ubicato nei Depositi Alluvionali Antichi. Gli acquiferi sopra elencati sono caratterizzati da porosità primaria e dal punto di vista granulometrico sono composti da ciottoli, ghiaia e sabbia, con una percentuale variabile di matrice limoso-argillosa. Quest'ultima componente influenza indubbiamente il valore della conducibilità idraulica (permeabilità). Tramite diverse tipologie di indagine, sono stati calcolati valori di permeabilità risultati variabili tra $10^{-3}\div 10^{-7}$ m/s. La falda è di tipo libero nella maggior parte della piana di Firenze, quindi il livello freatico e quello piezometrico corrispondono. Invece, ai margini della piana, dove sono presenti maggiori spessori degli intervalli superficiali composti dai limi di esondazione, la falda è di tipo semi-confinato (o addirittura confinato) e la superficie freatica si attesta a quote prossime alla superficie topografica. A Nord della via Pistoiese la prima falda può essere considerata confinata, dato che le ghiaie dell'Orizzonte Firenze 3 sono coperte da almeno 16 m di terreno a bassa permeabilità (riconducibile all'Orizzonte Firenze 1 passante verso nord ai sedimenti limno-palustri dei Depositi alluvionali recenti della piana di Sesto Fiorentino). Ugualmente confinate sono le falde ubicate nei livelli permeabili della successione fluvio-lacustre presente al di sotto dell'Orizzonte Firenze 2 (Orizzonte Firenze 4 corrispondente al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia), costituiti da ghiaie e sabbie, spesso con matrice limosa abbondante. Come detto precedentemente, nelle

lenti di ghiaie e sabbie che si rinvencono all'interno dei depositi lacustri delle argille azzurre, appartenenti al Sistema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia, sono ubicate falde confinate, peraltro alimentate con difficoltà dal fatto di essere disperse in potenti serie argillitiche.

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

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

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche della principale unità geologica presente (bna), è possibile stimare la permeabilità su base qualitativa, in funzione degli elementi da cui dipende (caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, presenza di pozzi, densità del reticolo idrografico - Carta idrogeologica allegata fuori testo). 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 oppure aumenta in corrispondenza rispettivamente dei livelli fini o grossolani.

Durante le perforazioni dei pozzetti geognostici e durante la perforazione dei sondaggi relativi alle indagini geognostiche di supporto al Masterplan (campagna 2015 e campagna 2017) generalmente non è stata rinvenuta acqua. Spesso però si assiste a un fenomeno di riempimento del foro di sondaggio con acqua successivamente alla perforazione e ciò è spiegabile con il fenomeno della ritenzione idrica. Il sottosuolo dell'area esaminata, costituito da terreni fini in massima parte rappresentati da argille e limi, rappresenta infatti 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 può circolare in quanto la porosità efficace è molto bassa. Volendo invece fornire un valore indicativo del coefficiente di permeabilità K, si può far

riferimento a quello ottenuto dalle prove edometriche eseguite sui campioni prelevati durante la perforazione dei sondaggi a carotaggio continuo che risulta dell'ordine di 1^{-12} m/sec - 1^{-10} m/sec 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 $3,62^{-9}$ m/s (profondità prova 5,00÷7,00 m) e $4,47^{-8}$ m/s (tra 25,00 e 30,00 m).

4.3. Relazioni tra porosità, porosità efficace e ritenzione specifica

La porosità è definita come il rapporto tra il volume totale dei vuoti e il volume di un mezzo poroso, è espressa come una percentuale e rappresenta i vuoti presenti rispetto al totale del volume: i vuoti possono essere riempiti di aria oppure di acqua. La porosità efficace è definita come quella che può essere utilizzata dal fluido in movimento ed è sempre inferiore alla porosità in quanto non tutti i vuoti sono collegati tra loro: la porosità efficace dunque è il rapporto tra il volume dei vuoti comunicanti e il volume totale del mezzo poroso. La differenza tra la porosità totale e la porosità efficace rappresenta l'acqua di ritenzione che può essere espressa come capacità di ritenzione specifica, cioè come la porzione liquida che aderisce alla superficie dei granuli e che non è utilizzabile. Le relazioni che intercorrono tra queste tre grandezze appena definite sono riportate nel grafico di figura 6 in cui le grandezze sono messe in relazione anche con il diametro dei granuli e di conseguenza con la granulometria dei terreni sciolti.

Quello che preme evidenziare è che per i terreni caratterizzati da una granulometria fine come quelli presenti nell'area in cui verranno eseguiti gli interventi previsti dal Masterplan Aeroportuale 2035, si assiste ad una elevata porosità, ad una elevata ritenzione idrica ma anche ad una bassa porosità efficace. Nelle argille e nei limi vi può essere molta acqua (porosità alta), ma poiché vi è alta ritenzione idrica, la stessa non può circolare: in questi casi si parla di acquicludo.

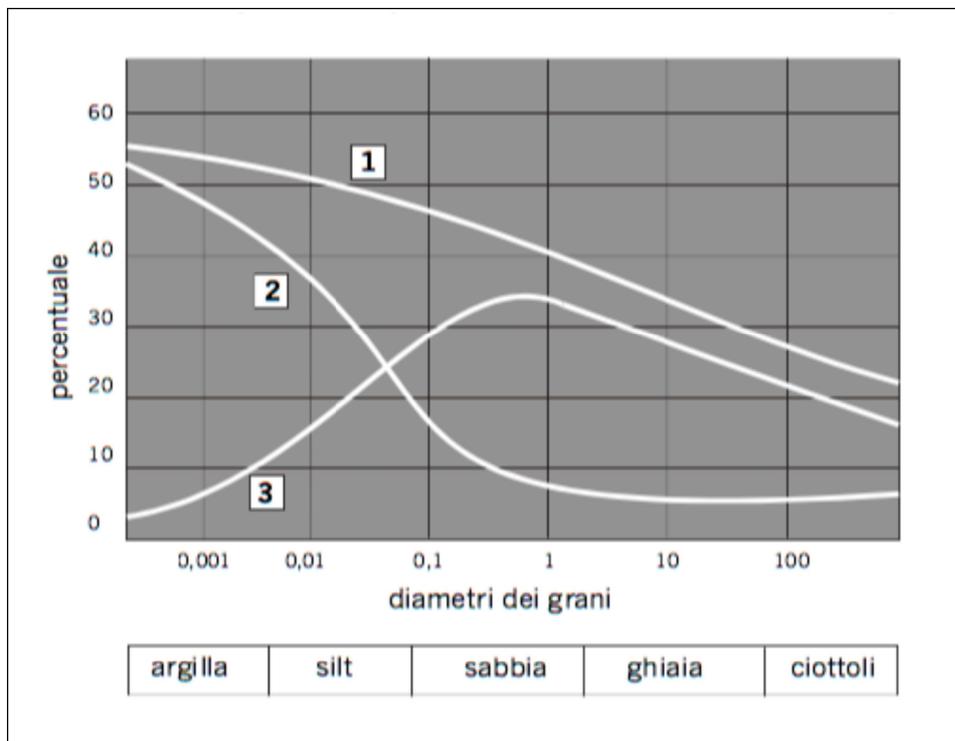


Figura 6 - Relazioni tra porosità, porosità efficace e ritenzione specifica (1 curva della porosità; 2 curva della ritenzione specifica; 3 curva della porosità efficace - da Davis & de Wiest, 1966).

4.4. Superficie piezometrica

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

- superficialmente è presente un livello dello spessore di un paio di metri al di sotto del piano di campagna, che a seconda della stagione, può essere interessato da saturazione alla profondità compresa tra il piano di campagna e 1,5 m; questo livello non ha alcun valore e interesse dal punto di vista della risorsa idrica in quanto non vi è circolazione;

- al di sotto di 1,5 - 2,0 m di profondità dal piano di campagna fino alla profondità di almeno 25 m non è mai stata registrata la 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).

Per la realizzazione della maggior parte delle opere previste dal Masterplan Aeroportuale 2035, è previsto uno scavo di modesta entità che coinvolge solo lo strato superficiale dell'Orizzonte Firenze 1 (porzione superiore del Sintema del Fiume Arno). Le uniche opere che prevedono uno scavo di una certa importanza sono il sottopasso (circa 9 m di profondità dal piano di campagna) e il nuovo terminal passeggeri (con plinti di fondazione di altezza massima di 2,2 m, circa 2,5÷3,0 m di profondità di scavo dal piano di campagna e la presenza di un volume interrato di 5 m di altezza).

Per quanto riguarda la realizzazione del sottopasso, tuttavia in quella zona, come mostrato anche dalla sezione 5-5', non viene riscontrato l'orizzonte "Firenze 2", mentre l'orizzonte "Firenze 3" è individuabile probabilmente a profondità maggiori di 25 m da piano campagna (sondaggio S91 e pozzo di 189 m). Il terreno al di sopra è costituito pertanto da litologie riconducibili all'orizzonte "Firenze 1", quali argille limose o limi argillosi con scarsa frazione sabbiosa. Per maggiori dettagli in merito a tale intervento si rimanda comunque alla relazione geologica riguardante la viabilità. Nella figura 7 è mostrata schematicamente la sezione NNE-SSO dalla rotonda di Sesto Fiorentino alla rotonda dell'Osmannoro con l'indicazione della quota minima dello scavo del sottopasso della pista. I rinvenimenti di orizzonti incoerenti come quello intercettato a circa 13 m.s.l.m. in S91 e a circa 10 m.s.l.m. in P56 (ma assente in S117, nella parte sud della sezione), sono probabilmente da ricondurre a intersezioni di "fan-delta" depositati dai corsi d'acqua che immettevano nel bacino lacustre. L'afflusso di acqua contenuto in tali depositi è diretto da NNE verso il centro della piana.

Per quanto riguarda l'area in cui è prevista la realizzazione del terminal passeggeri, come mostrato anche dalle sezioni 7-7' e 8-8', nel sottosuolo si riscontrano alcuni livelli sabbiosi-ghiaiosi presenti in alcuni sondaggi (da Database Geologico, SIGS o progetti precedenti in aree limitrofe), tali da far presupporre la presenza dell'Orizzonte "Firenze 2" anche se in

livelli piuttosto sottili.

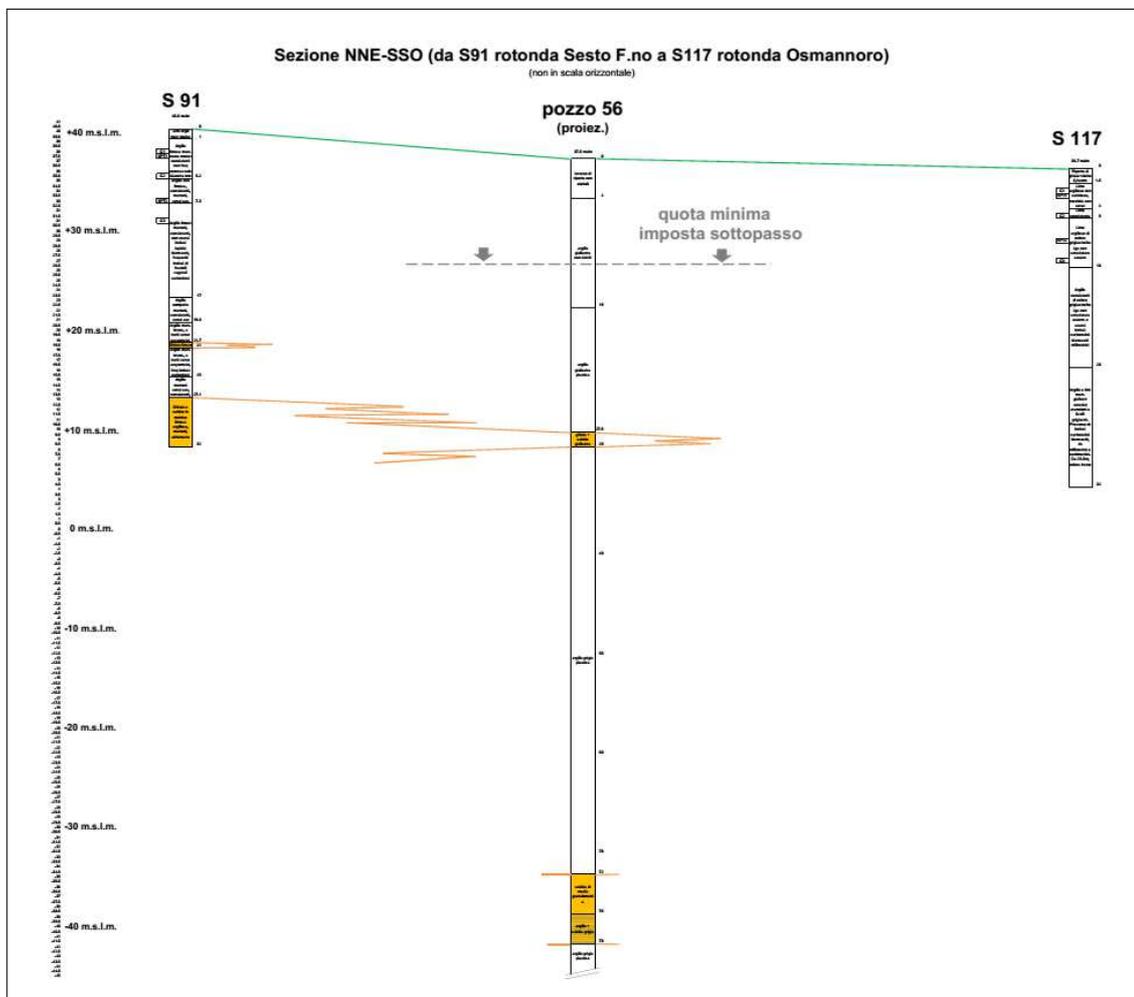


Figura 7 - Sezione schematica NNE-SSO parallela al tracciato del sottopasso pista, da Sesto F.no (S 91) all'Osmannoro (S 117).

Nella figura 9 è riportato lo spessore (in metri) e i limiti di rinvenimento (esprese sia in quota m.s.l.m sia in profondità m p.c.) dell'intervallo costituito da sedimenti prevalentemente incoerenti come ghiaie e sabbie in matrice sabbioso-limosa, intervallo probabilmente da identificare con l'Orizzonte Firenze 2. Tale intervallo risulta assente su (gran) parte

dell'impronta del terminal in progetto. Dove presente, l'intervallo mostra uno spessore variabile, con un valore medio di circa un paio di metri.

Nelle due mappe in figura 9 è indicato anche il rettangolo d'impronta del volume interrato (linea arancione), con altezza di circa 5 m (figura 8), con piano campagna stimato 38.5 m.s.l.m.. Tale volume si inserisce in un'area di progetto in cui il livello Orizzonte Firenze 2 risulta assente, in base ai dati finora in possesso.

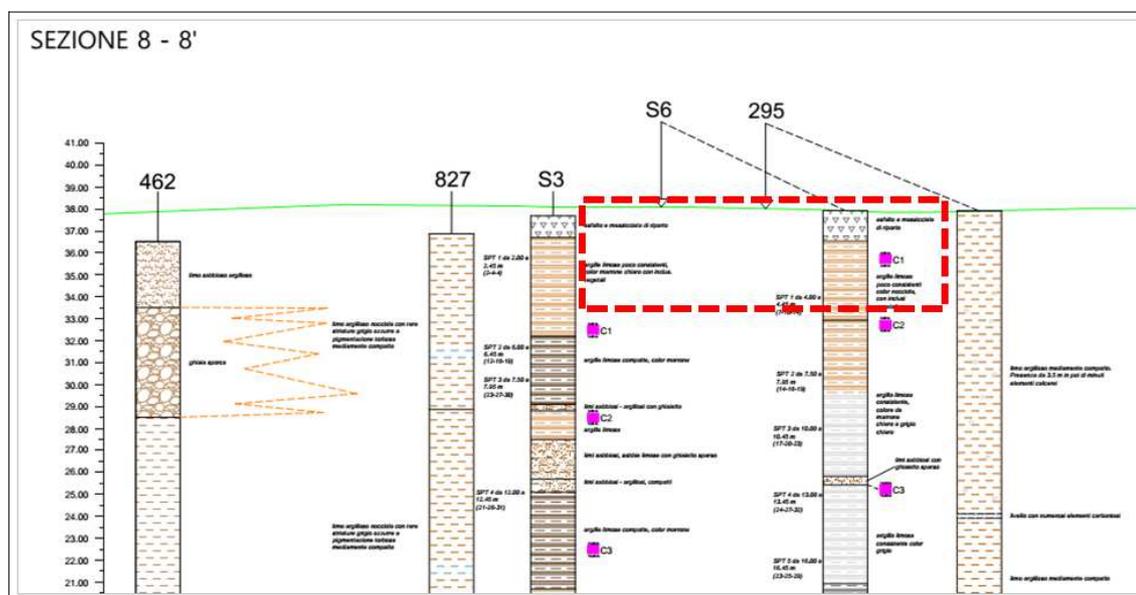


Figura 8 - Dettaglio della sezione 8-8' con riportata sezione e quota del volume interrato.

Inoltre, è probabile che alcuni rinvenimenti di tali sedimenti (come nei sondaggi ubicati sia sul lato sud che sul lato nordovest, in genere esterni all'impronta del progetto) appartengano ad un diverso intervallo posto a profondità di rinvenimento più superficiale a partire da circa 3÷5 m p.c.. Il progetto preliminare delle fondazioni prevede la realizzazione di pali di diversa lunghezza intestati in plinti con altezze/spessori da 1,50 a 2,20 m, a profondità più superficiali dell'intervallo in oggetto probabilmente identificabile con l'Orizzonte Firenze 2.

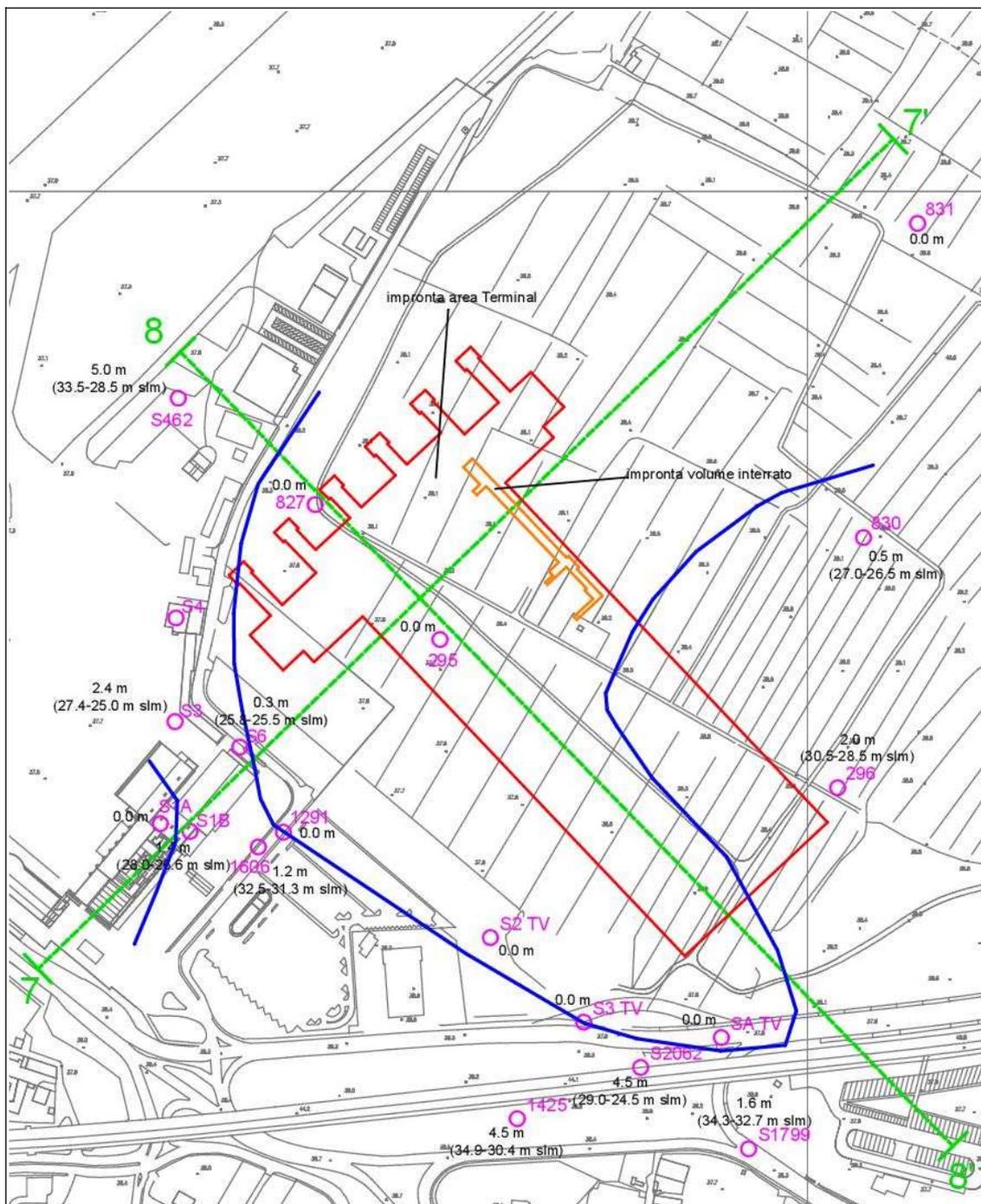


Figura 9 - Impronta del nuovo Terminal (linea rossa fine) e area del volume interrato (linea arancione) con spessore e distribuzione areale dell'Orizzonte Firenze 2 (linea di colore blu) in metri sul livello del mare.

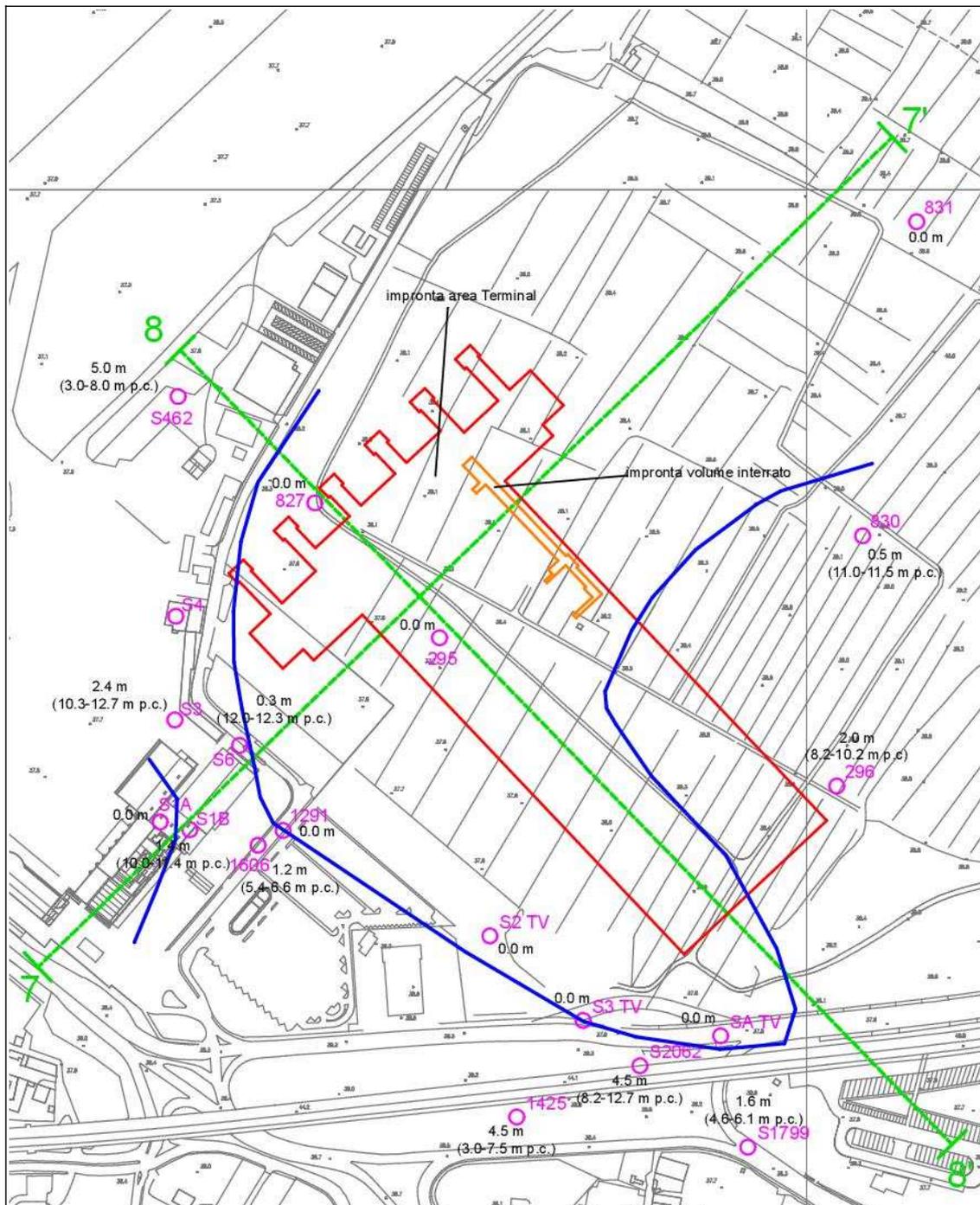


Figura 10 - Impronta del nuovo Terminal (linea rossa fine) e area del volume interrato (linea arancione) con spessore e distribuzione areale dell'Orizzonte Firenze 2 (linea di colore blu) in metri dal piano di campagna.

Come evidenziato nella sezione di figura 8, la base di scavo del volume interrato è posta ad una quota più superficiale o prossima al tetto del rinvenimento dell'intervallo incoerente attraversato in corrispondenza del sondaggio S462 (spessore 5 m, da 3 a 8 m p.c., 33,5-28,5 m.s.l.m.) la cui estensione è al momento non definibile, intervallo che risulta più superficiale rispetto alla quota media dell'Orizzonte Firenze 2 nell'area in oggetto.

Riassumendo, le uniche interferenze che si potranno avere tra le opere oggetto del Masterplan Aeroportuale 2035 e le acque di sottosuolo, saranno con quelle che stagionalmente vanno a occupare i primi metri superficiali al di sotto del piano di campagna e non interesseranno mai l'acquifero saturo principale (Orizzonte Firenze 3) in quanto assente nell'area di interesse e rilevato solamente a sud nella zona dell'Osmannoro (§ 4.1).

4.5. Misure freaticometriche

A partire dal 2016 sono state eseguite delle misure freaticometriche in alcuni piezometri perforati nella campagna 2015 cui se ne sono aggiunti successivamente altri perforati nella successiva campagna di indagini 2017. In particolare nell'anno 2016 sono state effettuate quattro misure in dieci piezometri (S05, S13, S19, S22, S28, S31, S35, S39, S40, S44), nell'anno 2017 sono state effettuate cinque misure in dieci piezometri (S05, S13, S19, S22, S28, S31, S35, S39, S40, S44) e nel 2018 (al 25 maggio) sono state effettuate quattro misure in quattordici piezometri (S05, S13, S19, S22, S28, S31, S35, S39, S40, S44, S88, S106, S108, S117); l'ubicazione dei sedici piezometri è mostrata nella planimetria di figura 11. Le misure freaticometriche riportate in tabella 1, devono necessariamente essere lette e interpretate in modo molto attento e quindi è fondamentale puntualizzare quanto segue:

- al momento della perforazione la maggiore parte dei sondaggi è risultato asciutto e l'acqua è comparsa successivamente a causa del fenomeno della ritenzione specifica;
- oggi i piezometri presenti mostrano la presenza di acqua in quanto si comportano come un contenitore nel quale è presente acqua;
- se non avessimo la consapevolezza di quanto detto nei due punti che precedono e se andassimo a eseguire misure freaticometriche nei piezometri, saremmo portati a ritenere che

sia presente una falda con la superficie piezometrica prossima al piano di campagna, cosa che possiamo leggere in numerose pubblicazioni.

Occorre chiarire che in caso di un acquifero libero la superficie piezometrica corrisponde alla reale quota della falda freatica, mentre nel caso di un acquifero confinato, o semiconfinato la superficie piezometrica misurata nei pozzi corrisponde a una quota fittizia, non reale, della falda nel terreno: la quota dell'acqua raggiunta nel pozzo, in questo caso, è determinata infatti dalla pressione dovuta alla differenza di carico tra la zona di alimentazione e l'opera di captazione. Nel caso di acqua di ritenzione la misura che viene fatta legge il livello di riempimento del foro ad opera di acqua presente nel terreno ma che non scorre e che non può scorrere.

4.6. Acqua sotterranea filtrante attraverso le superfici di scavo

Per una stima di massima del volume d'acqua filtrante attraverso un'area di scavo (considerando il terreno coesivo saturo oppure con alte percentuali del grado di saturazione), viene applicata la legge di Darcy per la filtrazione attraverso un mezzo poroso:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

in cui:

- Q volume d'acqua filtrante, per unità di tempo [m³/s]
- k coefficiente di permeabilità del mezzo poroso [m/s]
- i gradiente idraulico, pari alla perdita di carico Δh per unità di lunghezza L del percorso attraverso il mezzo poroso ($i = \Delta h / L$)
- A area di filtrazione, ortogonale alla linea/tubo di flusso [m²]
- Q/A velocità (apparente) di filtrazione [m/s]

A titolo di esempio, di seguito viene riportato il calcolo della quantità di acqua filtrante dalla parete di uno scavo, utilizzando i valori del coefficiente di permeabilità tipici dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area aeroportuale. Ipotesi di scavo aperto di altezza 4 m, terreno coesivo con $k = 1E-11$ m/s ($1E-09$ cm/s), sovrappressioni interstiziali dell'acqua pari a circa 400 kPa ($= 400$ kN/m²) alla base dello scavo (a 4 m p.c. la pressione idrostatica è invece pari a circa 40 kPa).

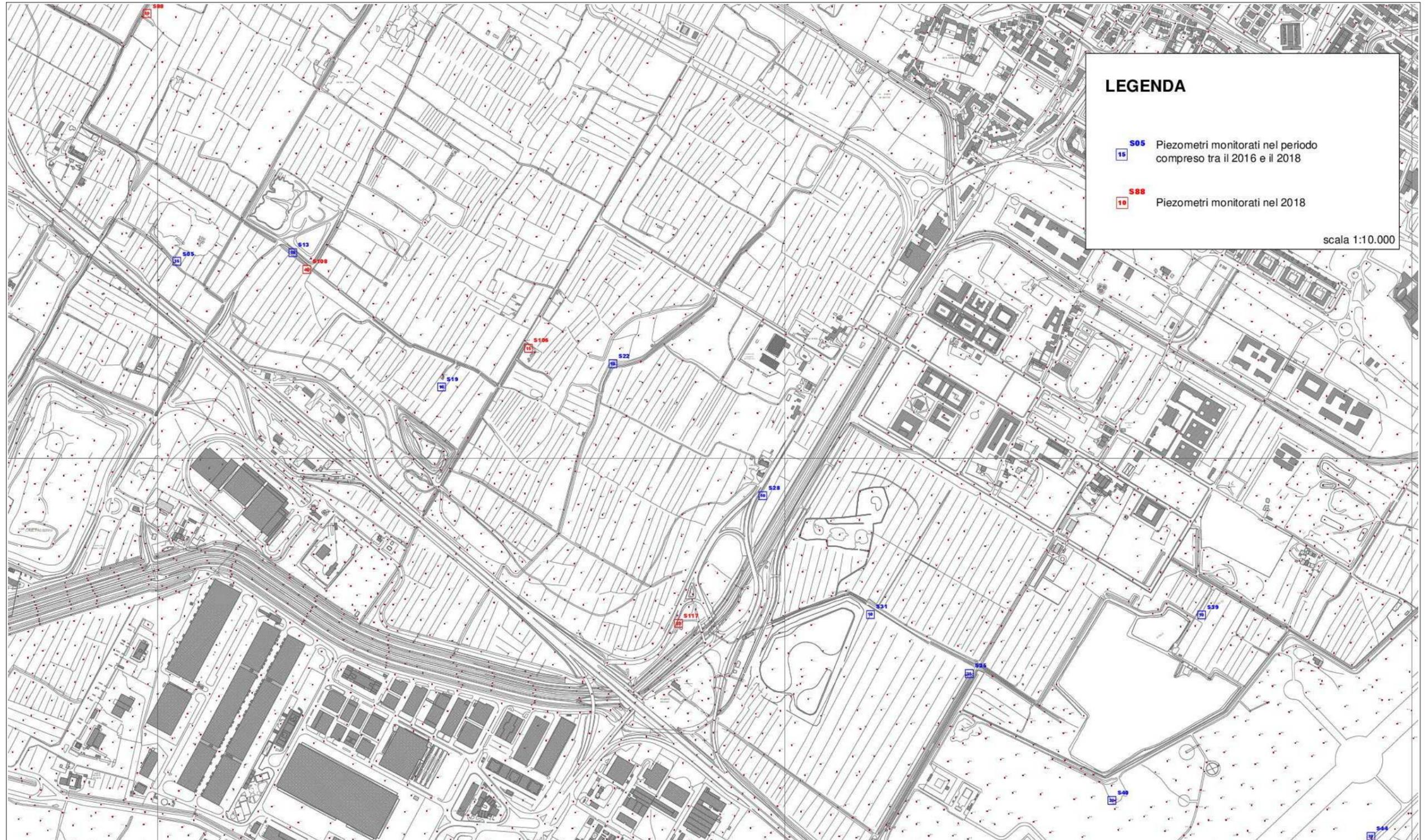


Figura 11 - Ubicazione dei piezometri citati nel testo le cui misurazioni sono riportate in tabella 1.

AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE "AMERIGO VESPUCCI"
PROJECT REVIEW - PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035
RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA E IDROGEOLOGICA SITO-SPECIFICA
RELAZIONE ESPLICATIVA

n. piezometro	Misure del 11/05/2016			Misure del 07/09/2016			Misure del 27/10/2016			Misure del 14/12/2016		
	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)
S05	1,13	0,25	14,5	2,00	0,25	14,5	1,75	0,25	14,5	0,85	0,25	14,5
S13	1,70	0,15	9,1	1,90	0,15	9,1	1,81	0,15	9,1	1,45	0,15	9,1
S19	1,22	0,26	10,0	2,05	0,26	10,0	1,83	0,26	10,0	0,71	0,26	10,0
S22	2,63	0,56	10,1	3,90	0,56	10,1	3,40	0,56	10,1	3,10	0,56	10,1
S28	1,83	0,65	11,0	3,10	0,65	11,0	2,90	0,65	11,0	1,88	0,65	11,0
S31	0,98	0,13	10,0	2,10	0,13	10,0	1,88	0,13	10,0	0,90	0,13	10,0
S35	2,17	0,52	22,0	2,50	0,52	22,0	2,05	0,52	22,0	1,85	0,52	22,0
S39	1,20	0,05	7,5	2,00	0,05	7,5	1,80	0,05	7,5	1,20	0,05	7,5
S40	1,55	0,34	20,7	1,65	0,34	20,7	1,28	0,34	20,7	1,52	0,34	20,7
S44	1,21	0,30	9,6	1,80	0,30	9,6	1,55	0,30	9,6	1,10	0,30	9,6
S88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

n. piezometro	Misure del 26-27/01/2017			Misure del 14/03/2017			Misure del 21/09/2017			Misure del 27/11/2017			Misure del 07/12/2017		
	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)
S05	0,82	0,25	14,5	0,63	0,25	14,5	1,98	0,25	14,5	1,60	0,25	14,5	1,51	0,25	14,5
S13	1,51	0,15	9,1	1,25	0,15	9,1	1,90	0,15	9,1	1,59	0,15	9,1	1,65	0,15	9,1
S19	0,70	0,26	10,0	0,67	0,26	10,0	2,00	0,26	10,0	1,80	0,26	10,0	1,41	0,26	10,0
S22	2,80	0,56	10,1	1,52	0,56	10,1	4,00	0,56	10,1	3,60	0,56	10,1	3,51	0,56	10,1
S28	1,90	0,65	11,0	1,38	0,65	11,0	3,05	0,65	11,0	2,72	0,65	11,0	2,49	0,65	11,0
S31	0,92	0,13	10,0	0,42	0,13	10,0	2,10	0,13	10,0	1,71	0,13	10,0	1,50	0,13	10,0
S35	1,72	0,52	22,0	1,31	0,52	22,0	2,60	0,52	22,0	2,30	0,52	22,0	1,66	0,52	22,0
S39	1,21	0,05	7,5	1,05	0,05	7,5	1,80	0,05	7,5	1,60	0,05	7,5	1,52	0,05	7,5
S40	1,65	0,34	20,7	1,22	0,34	20,7	2,75	0,34	20,7	2,14	0,34	20,7	2,14	0,34	20,7
S44	1,00	0,30	9,6	0,65	0,30	9,6	2,10	0,30	9,6	2,12	0,30	9,6	2,12	0,30	9,6
S88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

n. piezometro	Misure del 30/01/2018			Misure del 28/02/2018			Misure del 10/03/2018			Misure del 30/04/2018		
	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	profondità da bocca pozzo (m)	profondità b.p. (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)	misura da bocca pozzo	altezza bocca pozzo (m)	profondità da bocca pozzo (m)
S05	0,65	0,25	14,50	0,57	0,25	14,50	0,50	0,25	14,50	0,72	0,25	14,50
S13	1,30	0,15	9,10	0,59	0,15	9,10	0,48	0,15	9,10	1,35	0,15	9,10
S19	0,62	0,26	10,00	0,39	0,26	10,00	1,25	0,26	10,00	0,85	0,26	10,00
S22	1,90	0,56	10,10	1,30	0,56	10,10	1,20	0,56	10,10	1,30	0,56	10,10
S28	1,55	0,65	11,00	1,42	0,65	11,00	1,20	0,65	11,00	1,45	0,65	11,00
S31	0,60	0,13	10,00	0,52	0,13	10,00	0,55	0,13	10,00	0,35	0,13	10,00
S35	1,40	0,52	22,00	1,29	0,52	22,00	0,70	0,52	22,00	1,30	0,52	22,00
S39	0,90	0,05	7,50	0,92	0,05	7,50	0,48	0,05	7,50	1,05	0,05	7,50
S40	1,25	0,34	20,70	1,35	0,34	20,70	1,08	0,34	20,70	1,62	0,34	20,70
S44	0,78	0,30	9,60	0,80	0,30	9,60	0,75	0,30	9,60	1,10	0,30	9,60
S88	0,98	0,20	10,10	0,28	0,20	10,10	0,30	0,20	10,10	1,00	0,20	10,10
S106	1,80	0,26	14,50	1,40	0,26	14,50	1,35	0,26	14,50	1,10	0,26	14,50
S108	0,88	0,08	27,50	0,10	0,08	27,50	0,20	0,08	27,50	0,98	0,08	27,50
S117	1,60	0,06	32,00	1,45	0,06	32,00	1,25	0,06	32,00	1,35	0,06	32,00

Tabella 1 - Risultati delle misure eseguite nei piezometri.

Con la doverosa premessa che il mezzo poroso in oggetto (argille con limi, limi con argille, spesso in percentuali simili) corrisponde a terreni costituenti un "aquiclude" e che tali terreni dovrebbero correttamente essere considerati un limite al contorno e una superficie equipotenziale che separa volumi in cui si ha flusso da altri in cui esso non c'è, si procede comunque a costruire un reticolo di flusso costituito da 5 dislivelli piezometrici (n=5) dal piano campagna (orizzontale e supposto saturo) fino alla base dello scavo. La differenza di carico idraulico " Δh " fra due linee equipotenziali successive risulta pari al carico idraulico totale "h" (pari a circa 40 m = 400 kN/m² / 9,81 kN/m³) diviso per il numero di dislivelli piezometrici "n", quindi una differenza di carico idraulico pari a circa 8 m. La portata attraverso un'area di campo compresa fra due linee di flusso e due linee equipotenziali lungo un singolo tubo di flusso, per lunghezza unitaria della parete di scavo, è pari a:

$$dQ = k \cdot \Delta h$$

$$dQ = (1E-11 \text{ m/s} \cdot 8 \text{ m}) \text{ per } 1\text{m di lunghezza di parete di scavo} = 8E-11 \text{ m}^3/\text{s} \approx 7E-06 \text{ m}^3/\text{giorno}$$

Per quanto riguarda i canali/tubi di flusso posti a minore profondità, più superficiali rispetto alla base dello scavo preso a titolo di esempio, la portata Q attraverso ciascuno di essi dipenderà dal gradiente idraulico corrispondente che può essere dato dalla sovrappressione neutra o, in assenza, dalla pressione idrostatica (circa 10 kPa=kN/m² ogni metro di profondità). L'ordine di grandezza del coefficiente di permeabilità dei terreni determinerà, di fatto, l'entità della portata del flusso di filtrazione.

Nelle figure 12 e 13 vengono riportati, rispettivamente, il tracciato del sottopasso della pista ed una sezione schematica ad esso parallela formata da alcune prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu) realizzate lungo il percorso, con indicazioni riguardanti sia la litologia dei terreni penetrati sia l'andamento della pressione dei pori (u) e della pressione idrostatica (retta azzurra). La profondità di infissione delle prove è compresa fra 8 e 10 m circa dal piano campagna, quindi indicativamente fino alla profondità di scavo del sottopasso. Spesso a profondità superiori a 4 m circa, la pressione dei pori/sovrappressione interstiziale assume valori notevoli, da 400÷500 a 1000÷1500 kPa, questi ultimi corrispondenti a 10÷15 atm (carichi idraulici totali di 100÷150 m).

E' importante (fondamentale per la determinazione dei tempi di consolidazione) stimare il tempo necessario affinché le sovrappressioni neutre vengano dissipate. Il *test di dissipazione*, eseguito durante una prova CPTu in corrispondenza di uno strato coesivo di cui si vuole determinare il coefficiente di permeabilità, permette di registrare il tempo necessario affinché le sovrappressioni neutre si dimezzino, tramite la determinazione del parametro "t₅₀".

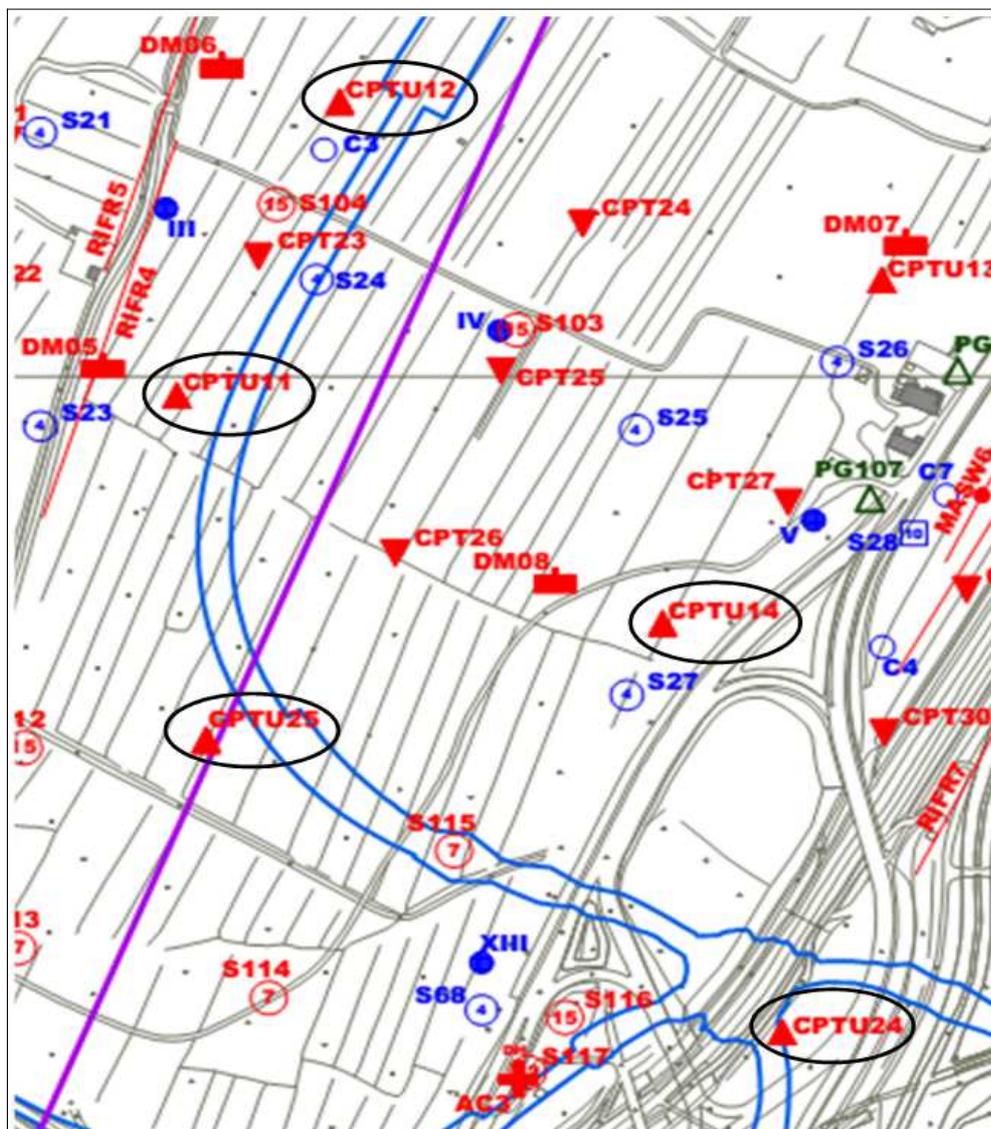


Figura 12 - Tracciato del sottopasso pista e prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu lungo il percorso e nelle vicinanze (figura non in scala).

Prove CPTu lungo il percorso del sottopasso pista

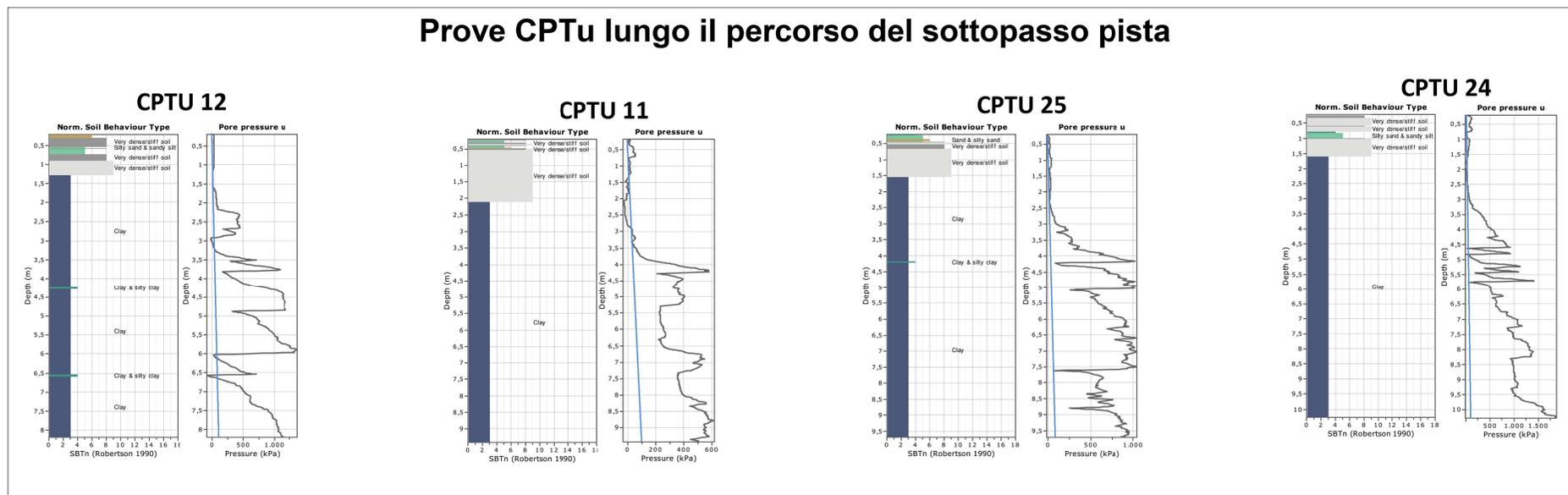


Figura 13 - Grafici delle colonne litologiche e della pressione dei pori (u) registrati nelle prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu) ubicate lungo il percorso del sottopasso pista e nelle immediate vicinanze

Nelle prove CPTu precedentemente citate, di cui alla sezione del sottopasso della pista in figura 13, non è stata eseguita alcuna prova di dissipazione, ciò nonostante si può fare riferimento al grafico di Parez & Fauriel (1988) per la stima del parametro "t₅₀". Il grafico mette in relazione il coefficiente di permeabilità (k, nel grafico espressa in cm/s) con il tempo di dissipazione del 50% delle pressioni neutre (t₅₀, nel grafico espresso in secondi) come mostrato in figura 14.

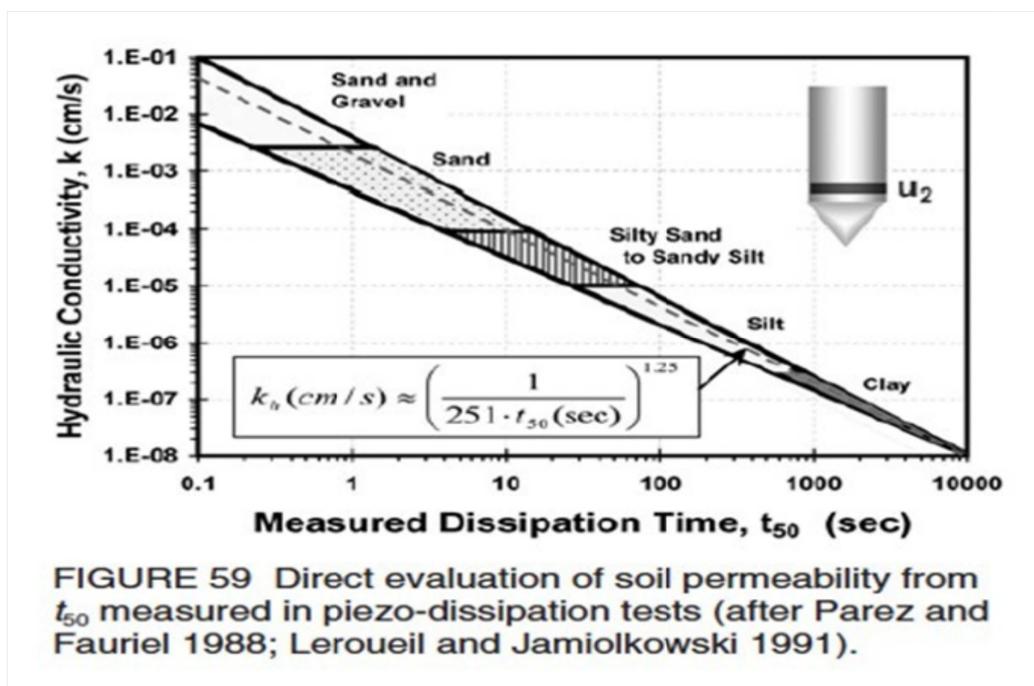


Figura 14 - Grafico di Parez & Fauriel (1988) per la determinazione del tempo di dissipazione del 50% (t₅₀) delle pressioni neutre (u) in funzione del coefficiente di permeabilità (k).

Noto il valore del coefficiente di permeabilità (k) tramite le prove edometriche, si può ottenere una stima del valore del tempo di dissipazione del 50% delle pressioni neutre (t₅₀) secondo la seguente relazione:

$$k_h (cm / s) \approx \left(\frac{1}{251 \cdot t_{50} (sec)} \right)^{1.25}$$

La figura 15 riporta i valori di t_{50} in funzione dei valori del coefficiente di permeabilità tipici della maggior parte dei terreni presenti nel sottosuolo del sedime aeroportuale, in particolare quelli evidenziati nel riquadro a trattini rossi.

Stima del parametro t_{50} (grado di dissipazione del 50% delle sovrappressioni)					
per $t_{50} =$	1,550 sec	0.4 ore	0.02 giorni	si ha $K =$	1.0E-07 cm/sec
per $t_{50} =$	2,750 sec	0.8 ore	0.03 giorni	si ha $K =$	5.0E-08 cm/sec
per $t_{50} =$	10,000 sec	2.8 ore	0.12 giorni	si ha $K =$	1.0E-08 cm/sec
per $t_{50} =$	17,500 sec	4.9 ore	0.20 giorni	si ha $K =$	5.0E-09 cm/sec
per $t_{50} =$	61,000 sec	16.9 ore	0.71 giorni	si ha $K =$	1.0E-09 cm/sec
per $t_{50} =$	110,000 sec	30.6 ore	1.27 giorni	si ha $K =$	5.0E-10 cm/sec
per $t_{50} =$	400,000 sec	111.1 ore	4.63 giorni	si ha $K =$	1.0E-10 cm/sec
per $t_{50} =$	690,000 sec	191.7 ore	7.99 giorni	si ha $K =$	5.0E-11 cm/sec
per $t_{50} =$	2,500,000 sec	694.4 ore	28.94 giorni	si ha $K =$	1.0E-11 cm/sec

Figura 15 - Stima del valore del parametro t_{50} (corrispondente ad un grado del 50% della dissipazione delle pressioni neutre) tramite la relazione fra il tempo di dimezzamento ed il coefficiente di permeabilità (k)

5. Indicazioni sulla gestione delle acque di aggotamento

Nell'area in cui saranno realizzate le opere previste dal Masterplan Aeroportuale 2035 non vi è la presenza di una falda almeno nei primi 25 m al di sotto del piano di campagna. In

base a quanto detto nelle pagine che precedono, i primi metri di terreno, interessati dagli scavi delle opere di progetto, sono quindi caratterizzati da totale assenza di falda ma possono presentare sporadici orizzonti idrici, legati al fenomeno della ritenzione idrica delle argille. Si tratta di orizzonti non produttivi, in cui l'acqua non circola, a carattere del tutto saltuario e stagionale. Per gli scavi delle opere in progetto si può quindi prevedere la necessità di aggottare acque soltanto con lavori di scavo aperti nelle stagioni piovose e comunque per portate estremamente limitate. Va inoltre ricordato che a causa delle specifiche caratteristiche litologiche dei terreni affioranti nell'area di intervento, i quali risultano dotati di una permeabilità k molto bassa, che limita molto o che addirittura impedisce l'infiltrazione nel sottosuolo (ad eccezione della formazione di crepe nel terreno in occasione della stagione secca), in occasione dei periodi di pioggia possono formarsi dei ristagni di acqua in superficie che possono perdurare anche per molti giorni.

6. Conclusioni

Da quanto scritto nelle pagine del presente documento si possono estrarre schematicamente alcune considerazioni:

- dall'analisi litostratigrafica si può notare, a livello generale, che al di sotto di pochi metri di terreno vegetale o terreno di riporto, prevalgono terreni argilloso-limosi o limoso-argillosi di colore generalmente marrone per almeno 20-25 metri di profondità da piano campagna, correlabili all'orizzonte "Firenze 1" e caratterizzanti l'intera Piana di Sesto Fiorentino su cui verrà realizzata la nuova pista di volo; nelle sezioni 7-7' e 8-8', situate nell'area a sud dell'attuale pista e nella quale dovrà essere realizzato il nuovo terminal, si riscontra la presenza di alcuni livelli sabbiosi e ghiaiosi piuttosto superficiali, con spessore di pochi metri, associabili all'orizzonte "Firenze 2"; l'orizzonte "Firenze 3" è possibile riscontrarlo solamente in alcune sezioni (sezione 1-1', sezione 4-4', sezione 5-5', sezione 7-7' e sezione 8-8'), nelle quali sono presenti indagini che sono arrivate ad investigare oltre 30 m di terreno;
- nella zona dell'aeroporto è presente un livello dello spessore di 1,5 m immediatamente al di sotto del piano di campagna, che, a seconda della stagione, può essere interessato dalla

presenza di acqua di ritenzione. Il valore e l'interesse di questo livello dal punto di vista della risorsa idrica è assolutamente nullo;

- al di sotto di 1,5 m di profondità dal piano di campagna non è stata registrata presenza di una falda fino almeno alla profondità di 25 m al di sotto del piano di campagna. Il terreno presente ha una granulometria solitamente fine e molto fine, si presenta come un acquicludo dotato dunque di alta porosità, di alta ritenzione specifica e di bassa porosità efficace con la conseguenza che l'acqua non può circolare;
- qualora i lavori per la costruzione delle opere previste fossero eseguiti nella stagione secca è ragionevole pensare che nel livello superficiale non vi sia acqua;
- il livello in cui ha sede la falda principale nell'area del bacino Firenze-Prato-Pistoia è identificato con l'orizzonte Firenze 2 (parte inferiore del Sintema dell'Arno) e con l'orizzonte Firenze 3 (Sintema di Firenze) e si trova solitamente alla profondità superiore ai 25 m (qualora presente). Questi orizzonti non sono presenti al di sotto delle aree in cui saranno realizzati gli interventi previsti dal Master Plan. Nell'area in cui dovrà essere realizzato il nuovo terminal si riscontrano alcuni livelli sabbiosi-ghiaiosi presenti in alcuni sondaggi (da DB Geologico, SIGS o progetti precedenti in aree limitrofe), tali da far presupporre alla presenza discontinua dell'orizzonte "Firenze 2". Questo comunque non dovrebbe influire sullo scavo per la realizzazione dell'opera in quanto questo, dai dati progettuali in nostro possesso, dovrebbe essere abbastanza superficiale (figure 8, 9 e 10);
- l'unico livello litologico di interesse per il presente studio è rappresentato dallo strato superficiale dell'orizzonte Firenze 1 (porzione superiore del Sintema dell'Arno);
- le interferenze tra l'esecuzione delle opere e le acque di sottosuolo sono limitate all'acqua di ritenzione delle argille la cui quantità può essere considerata trascurabile. Peraltro, qualora i lavori fossero svolti nella stagione secca, è ragionevole pensare che non vi sia acqua di ritenzione.

Firenze, marzo 2024

dr. geol. Fabio Picchi

dr. geol. Michele Sani

7. Bibliografia

Per redigere i capitoli 2 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., Suuppl. 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. (1976 a) - *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. (1976 b) - *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. (1976 c) - *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.
- Davis, S.N. and De Weist, R.J.M. (1966) - *Hydrogeology*, John Wile and Sons, New York, pp. 463.
- 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.

* * *