



MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI



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

Società di Gestione



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2014-2029

Titolo elaborato

SINTESI DELLA SITUAZIONE IDROGEOLOGICA:
RISPOSTA ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI A28 E A33

CODICE ELABORATO	ULTIMA EMISSIONE	SCALA	N° TAVOLA
-	Giugno 2018	-	-
			NOME FILE:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
	06-2018	Prima emissione	M. SANI	L. TENERANI	L.TENERANI

POST HOLDER DI AREA	<div>COMMITTENTE PRINCIPALE:</div> <div></div> <div>ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti</div>	<div>PROGETTAZIONE:</div> <div></div> <div>DIRETTORE TECNICO Ing. Roberto Naldi</div>	<div>PROGETTAZIONE SPECIALISTICA:</div> <div><div>TERRA & OPERE S.R.L. SOCIETÀ D'INGEGNERIA CONSULENZE GEOLOGICHE</div></div> <div>PROGETTISTA SPECIALISTICO Dott. Geol. MICHELE SANI</div>
	<div>POST HOLDER PROGETTAZIONE Ing. Veronica Ingrid D'Arienzo</div>		
	<div>POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'Ippolito</div>		
	<div>POST HOLDER AREA MOVIMENTO Geom. Luca Ermini</div>	<div>RESPONSABILE INTEGRAZIONI DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n° 613</div>	

INDICE

1. PREMESSA	1
1.1. Generalità	1
1.2. Condizioni ambientali A28 e A33	1
2. GEOLOGIA	3
2.1. Cenni di evoluzione tettonica del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia	3
2.2. Cenni di geologia e di stratigrafia della Piana di Firenze	3
2.2.1. Substrato pre-lacustre	3
2.2.2. Depositi pre-lacustri	3
2.2.3. Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano	4
2.2.4. Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia	4
2.2.5. Sintema di Firenze (Depositi alluvionali antichi)	4
2.2.6. Sintema del Fiume Arno (Depositi alluvionali recenti)	4
2.3. Orizzonti "Firenze"	5
2.3.1. Orizzonte "Firenze 1"	6
2.3.2. Orizzonte "Firenze 2"	7
2.3.3. Orizzonte "Firenze 3"	7
2.3.4. Orizzonte "Firenze 4"	7
2.3.5. Considerazioni sull'andamento degli orizzonti "Firenze"	8
3. IDROGEOLOGIA	9
3.1. Aspetti idrogeologici generali	9
3.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame (bna1 e bna2)	10
3.3. Risultati delle indagini geognostiche	11
3.4. Relazioni tra porosità, porosità efficace e ritenzione specifica	11
3.5. Superficie piezometrica	12
3.6. Misure freaticometriche	13
3.7. Acqua sotterranea filtrante attraverso le superfici di scavo	15
3.7.1. Tratto di pista a nord-est del Lago di Peretola (o dei Cacciatori)	15
3.7.2. Tratto di pista a sud-est del Lago di Peretola (o dei Cacciatori)	17
3.7.3. Area a sud della pista e del Lago di Peretola (parte dei piazzali, taxiways)	17
3.7.4. Area di compensazione ambientale S. Croce	18
3.7.5. Area di compensazione ambientale Il Piano (Signa)	18
3.7.6. Area della vasca "D"	18
4. INDICAZIONI SULLA GESTIONE DELLE ACQUE DI AGGOTTAMENTO	20
5. CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI AMBIENTALI N. 28 E N. 33	21
5.1. Condizione ambientale n. 28	21
5.2. Condizione ambientale n. 33	21
6. CONCLUSIONI	22
7. BIBLIOGRAFIA	25
8. ALLEGATI	29

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze. Rapporto tra la vecchia e la nuova nomenclatura stratigrafica.	5
Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capeccchi <i>et al.</i> , 1976b).	6

Figura 3 - 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).	12
Figura 4 - Aree di escavazione nel tratto di pista a nord-est del Lago di Peretola.	16
Figura 5 - Aree di escavazione nel tratto di pista a sud-est del Lago di Peretola.	16
Figura 6 - Aree di escavazione a sud della pista e del Lago di Peretola	17
Figura 7 - Aree di escavazione presso l'area umida di Santa Croce	18
Figura 8 - Aree di escavazione presso l'area di compensazione de Il Piano (Signa)	19
Figura 9 - Aree di escavazione presso l'area della vasca "D".	19
Figura 10 - Ubicazione dei piezometri citati nel testo le cui misurazioni sono riportate in tabella 2.	32

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Risultati del calcolo delle acque di filtrazione per le aree indagate.	20
Tabella 2 - Risultati delle misure eseguite nei piezometri.	31

* * *

1. PREMESSA

1.1. Generalità

La presente relazione è stata redatta su incarico conferito da parte di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. e ha lo scopo di esporre alcune considerazioni di tipo idrogeologico, inerenti le *Condizioni ambientali del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare* 28 e 33, presenti nella sezione A dell'art. 1 del Decreto del Ministro n. 0000377 del 28 dicembre 2017.

Il Decreto Ministeriale citato esprime la compatibilità ambientale del Master Plan 2014-2029 dell'aeroporto internazionale Amerigo Vespucci di Firenze presentato da ENAC, vincolandolo al recepimento di alcune condizioni che sono esposte proprio nell'art. 1 sezione A (*Condizioni ambientali del Ministero dell'ambiente del territorio e del mare*), sezione B (*Condizioni ambientali del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo*) e sezione C (*Condizioni ambientali della Regione Toscana*).

1.2. Condizioni ambientali A28 e A33

Come già detto nel paragrafo precedente, la presente relazione illustra le considerazioni di carattere strettamente idrogeologico che derivano dall'attenta lettura delle condizioni ambientali A28 e A33 predisposte da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e riportate di seguito per esteso:

- condizione ambientale A28

Aree di laminazione

Il Proponente, in sede di progettazione esecutiva ed in funzione delle possibilità operative, dovrà riverificare l'adeguatezza delle nuove aree di laminazione previste nel SIA ai fini di garantire l'invarianza idraulica, anche in relazione alle aree di laminazione già esistenti nella Piana Fiorentina, alle altre aree di laminazione previste nei piani di settore vigenti e al progetto presentato dal Comune di Firenze per il PUE di Castello.

La progettazione dovrà essere sviluppata anche tenendo conto delle criticità idrogeologiche dell'area, legate alla falda molto prossima al piano di campagna nel periodo di morbida, con potenziale interferenza nel caso di scavi anche poco profondi. Tale progettazione dovrà essere preventivamente verificata dagli Enti competenti sul territorio, poi inviata all'Autorità Idraulica per l'approvazione e infine – ad approvazione avvenuta – inviata al MATTM prima dell'avvio dei lavori di fase 1.

La progettazione delle opere dovrà affrontare lo sviluppo temporale delle stesse in relazione alle fasi realizzative dei lavori ed in particolare alle impermeabilizzazioni delle aree al fine di assicurare anche nel transitorio il rispetto dei vincoli imposti sulle portate che è possibile avviare allo scarico nel reticolo Consortile.

- condizione ambientale A33

Interferenze idrauliche

Il Proponente dovrà presentare i progetti esecutivi di tutte le opere che interferiscono con l'assetto idraulico di tutta l'area interessata dal Masterplan, con soluzione di dettaglio delle interferenze rispetto ad infrastrutture stradali esistenti e di previsione ed agli altri interventi attuativi dei piani urbanistici esecutivi con edifici già realizzati. Per le opere che possono avere effetti sulla falda freatica dovrà essere fornita una caratterizzazione aggiornata dell'acquifero con modellazione idrogeologica di dettaglio dell'area di progetto.

I progetti esecutivi dovranno prevedere idonee modalità di manutenzione e gestione delle opere finalizzate alla risoluzione delle interferenze con il reticolo idrico superficiale.

In fase di redazione dei progetti esecutivi il Proponente dovrà sviluppare adeguatamente gli aspetti connessi alle deviazioni temporanee dei canali afferenti il Reticolo delle acque basse con opportune verifiche relative alle fasi di transitorio. Tutta la progettazione esecutiva inerente le interferenze con l'assetto idraulico dovrà essere preventivamente approvata dagli Enti competenti sul territorio e trasmessa al MATTM per presa d'atto delle intervenute autorizzazioni.

2. GEOLOGIA

2.1. Cenni di evoluzione tettonica del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia

Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia, posto ad una quota media di 45 m sul livello del mare, si sviluppa in direzione NW-SE per una lunghezza di 45 km e una larghezza massima di circa 10 km. Esso è delimitato a nord-nord-est dai Monti della Calvana e dal Monte Morello, con altitudine di circa 900 m sul livello del mare e a sud-sudovest dal Montalbano con altitudine di oltre 600 m sul livello del mare. Il bacino di Firenze-Prato-Pistoia presenta una geometria a semi-graben fortemente asimmetrica, con il margine nord-orientale molto acclive, in corrispondenza della faglia principale di Fiesole e da una rampa di raccordo poco inclinata, localmente interessata da faglie minori, sul versante sud-occidentale. I depositi di riempimento del bacino si sono sviluppati con ampi delta e fan-delta clastici, sviluppati alla base del sistema di faglie maggiori. In questo tipo di bacini il sollevamento tettonico dei margini, e il corrispondente allargamento del drenaggio fluviale, portano di solito alla formazione di potenti sequenze sedimentarie clastiche grossolane in corrispondenza delle aree centrali.

2.2. Cenni di geologia e di 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. I depositi di origine fluvio-lacustre sono stati depositi sulle rocce del paleoinvaso.

2.2.1. *Substrato pre-lacustre*

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

2.2.2. *Depositi pre-lacustri*

Nel periodo compreso tra il Miocene superiore e il Pliocene inferiore si sono depositi sia i sedimenti pre-lacustri di ambiente fluviale quando la linea di

costa era prossima all'attuale zona di San Casciano Val di Pesa, che sedimenti residuali delle deposizioni limno-palustri in aree di limitata estensione.

2.2.3. Depositi lacustri e fluviali del bacino villafranchiano

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

- Sintema¹ del bacino di Firenze-Prato-Pistoia;
- Sintema di Firenze (depositi antichi);
- Sintema dell'Arno (depositi alluvionali recenti).

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.

2.2.4. Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia

E' costituito dai depositi lacustri villafranchiani, a sua volta composto dalle Argille turchine e dai Depositi clastici di delta e fan delta dei paleo-torrenti.

2.2.5. 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. A questi depositi, Capecchi *et al.* (1976b), hanno fatto corrispondere l'Orizzonte Firenze 3 (si veda il successivo § 2.3.3).

2.2.6. 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

¹ 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.

Firenze 1 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 2.3.1). I depositi d'alveo sono costituiti prevalentemente da ciottolami e ghiaie, con percentuale molto variabile della matrice fine, con intercalati livelli e lenti di sabbie. Le ghiaie compongono il corpo clastico principale, rilevato sull'intera superficie fiorentina, ed è l'intervallo corrispondente all'Orizzonte Firenze 2 di Capecchi *et al.* (1976b) (si veda il § 2.3.2), il cui spessore varia da pochi metri fino a 20÷30 m. 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.

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 1 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze. Rapporto tra la vecchia e la nuova nomenclatura stratigrafica.

Al sintema del Fiume Arno appartengono i Depositi alluvionali recenti terrazzati (1° ordine) con sigla bna1 e i Depositi alluvionali recenti terrazzati (2° ordine) con sigla bna2 (figura 1) che rappresentano i terreni affioranti nell'area in cui saranno realizzate le opere del Master Plan.

2.3. 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.

2.3.1. Orizzonte "Firenze 1"

Si tratta dello strato superficiale indicato dai vecchi Autori col nome di "pancone" o "gentilone". Dal punto di vista litologico è 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.

Nel centro della città alla composizione di questo strato contribuiscono in buona parte materiali di scarico derivanti dalle rovine di costruzione di varie epoche. Lo spessore di questo orizzonte varia da 3 a 9 metri ma nel centro della città ha una media di 4÷5 m.

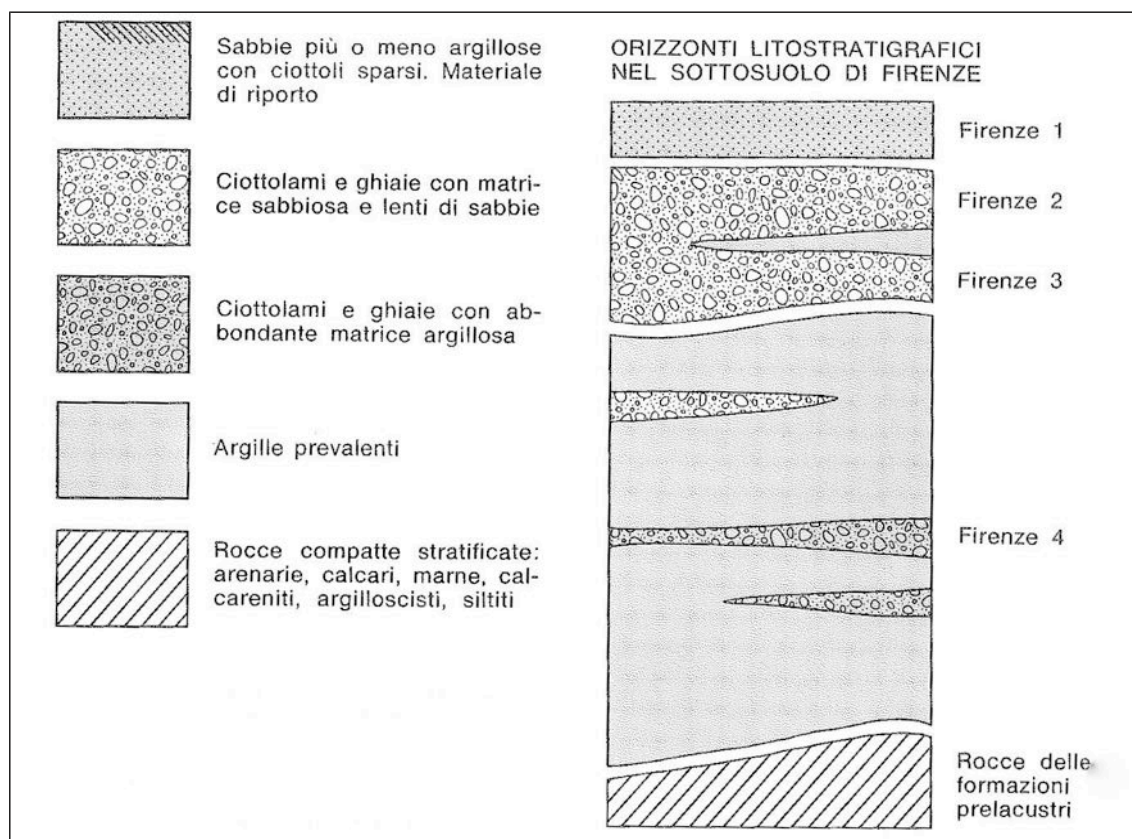


Figura 2 - Orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area di Firenze (estratto da Capecchi et al., 1976b).

2.3.2. *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 approvvigionamento idrico scavati fin da epoche remote nell'area urbana. Sono presenti in questo intervallo sottili lenti di argilla plastica giallo-rossastra. Nel corpo sedimentario si possono osservare canali di erosione e stratificazione incrociata. L'origine di questo orizzonte è tipicamente fluviale con un regime torrentizio e con notevole capacità di trasporto. Lo spessore di questo orizzonte è molto variabile; diminuisce gradualmente verso i margini della pianura e verso ovest.

2.3.3. *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. 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 risulta mancare, i due orizzonti ciottolosi non possono essere distinti con certezza.

2.3.4. *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. Nella parte

basale dell'Orizzonte Firenze 4, al contatto con le rocce del paleoinvaso, è talora presente un piccolo livello (1÷3 m di potenza) di ciottoli anche molto grossi, ossidati e poco arrotondati, che può essere considerato un deposito di pseudo-trasgressione. 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.

2.3.5. 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 facenti parte dell'Orizzonte Firenze 2, né quelle più fini recenti facenti parte dell'Orizzonte Firenze 1. In alcune sezioni verso le colline si osserva la terminazione laterale dell'Orizzonte Firenze 2. Le sezioni documentano la maggior frequenza ed estensione dei ciottolami entro le argille lacustri (Orizzonte Firenze 4) nella zona orientale della conca di Firenze. Dalla zona delle Cascine procedendo verso ovest il substrato roccioso scende 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. In base alle stratigrafie e alle correlazioni nella pubblicazione più volte citata sono state ricostruite le curve di uguale 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 della zona.

3. IDROGEOLOGIA

3.1. Aspetti idrogeologici generali

Con riferimento agli orizzonti descritti al § 2.3, dal punto di vista idrogeologico, l'Orizzonte Firenze 1 può essere considerato un acquitardo² con permeabilità nell'ordine di 10^{-7} m/s e talvolta addirittura un'acquicludo. L'Orizzonte Firenze 2, invece, per le sue caratteristiche granulometriche e tessiturali, costituisce il corpo acquifero³ principale dell'area fiorentina, con permeabilità fortemente variabili, nell'ordine dei 10^{-3} ÷ 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 circa 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

² Con il termine *Acquitardo* si intende una roccia o un terreno semipermeabile che può contenere acqua che scorre lentamente e in condizioni particolari con velocità inferiore a quella dell'acquifero e superiore a quella dell'acquicludo (con il termine *Acquicludo* si intende una roccia o un terreno impermeabile che può contenere acqua che non è libera di scorrere oppure scorre così lentamente che non può essere utilizzata).

³ Con il termine *Acquifero* si intende una roccia o un terreno permeabile che può contenere acqua e ne garantisce lo scorrimento con velocità compatibile con un normale utilizzo.

ciottoli, ghiaia e sabbia, con una percentuale variabile di matrice limoso-argillosa. Quest'ultima componente influenza indubbiamente il valore della conducibilità idraulica (permeabilità). Tramite diverse tipologie di indagine, sono stati calcolati valori di permeabilità risultati variabili tra 10^{-3} ÷ 10^{-7} m/s. La falda è di tipo libero nella maggior parte della piana di Firenze, quindi il livello freatico e quello piezometrico corrispondono. Invece, ai margini della piana, dove sono presenti maggiori spessori degli intervalli superficiali composti dai limi di esondazione, la falda è di tipo semi-confinato (o addirittura confinato) e la superficie freatica si attesta a quote prossime alla superficie topografica. A Nord della via Pistoiese la prima falda può essere considerata confinata, dato che le ghiaie dell'Orizzonte Firenze 3 sono coperte da almeno 16 m di terreno a bassa permeabilità (riconducibile all'Orizzonte Firenze 1 passante verso nord ai sedimenti limno-palustri dei Depositi alluvionali recenti della piana di Sesto Fiorentino). Ugualmente confinate sono le falde ubicate nei livelli permeabili della successione fluvio-lacustre presente al di sotto dell'Orizzonte Firenze 2 (Orizzonte Firenze 4 corrispondente al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia), costituiti da ghiaie e sabbie, spesso con matrice limosa abbondante. Come detto precedentemente, nelle lenti di ghiaie e sabbie che si rinvencono all'interno dei depositi lacustri delle argille azzurre, appartenenti al Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia, sono ubicate falde confinate, peraltro alimentate con difficoltà dal fatto di essere disperse in potenti serie argillitiche.

Nella piana di Firenze le isofreatiche indicano, come andamento generale, un flusso di falda che dai rilievi collinari si dirige verso il Fiume Arno, con una componente verso ovest in modo concorde con la direzione di flusso dell'Arno.

3.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame (bna1 e bna2)

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche della principale unità geologica presente nell'area di indagine (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). 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 da molto bassa a bassa e diminuisce o aumenta in corrispondenza rispettivamente dei livelli più fini o più grossolani.

3.3. Risultati delle indagini geognostiche

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, caratteristica che nelle aree esaminate è tipica solitamente dei primi 1,5 m al di sotto del piano di campagna.

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 circola in quanto la porosità efficace è molto bassa.

3.4. 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 il volume dei vuoti rispetto al volume totale: 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 il volume dell'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 illustrate nel grafico riportato nella figura 3 in

cui le tre grandezze sono state messe in relazione anche con il diametro dei granuli che compongono il terreno e di conseguenza con le varie tipologie di materiali sciolti.

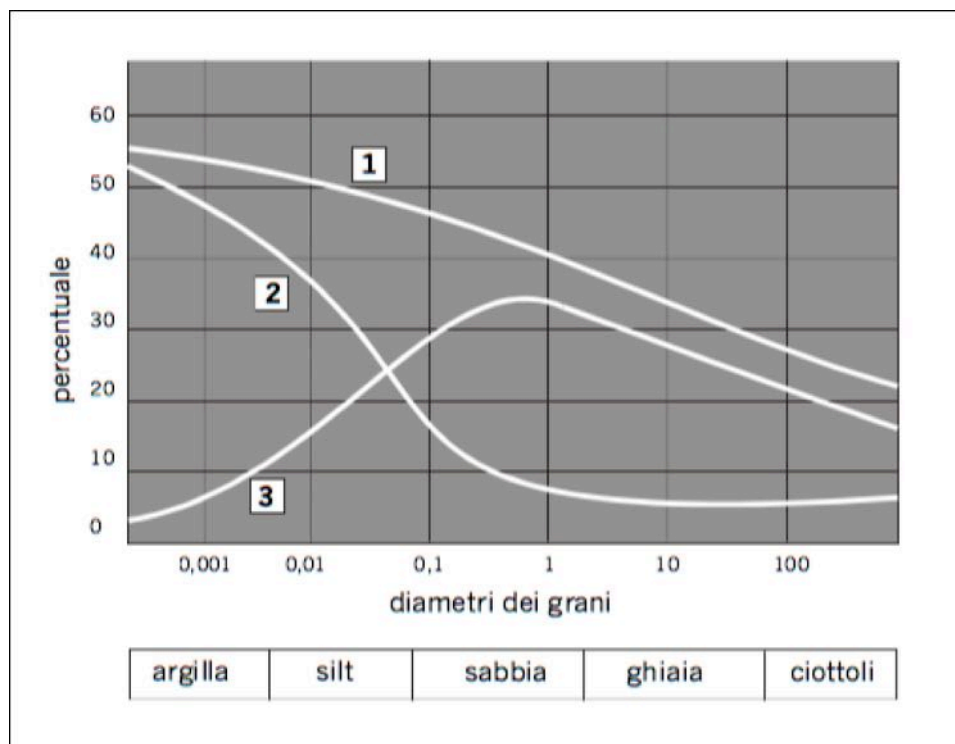


Figura 3 - Relazioni tra porosità, porosità efficace e ritenzione specifica (1 curva della porosità; 2 curva della ritenzione specifica; 3 curva della porosità efficace – da Davis & de Wiest, 1966).

Quello che preme evidenziare è che per terreni a granulometria fine, come quelli affioranti nell'area in cui saranno realizzate le opere previste dal Master Plan 2014-2029, si assiste alla presenza di un'elevata porosità, di un'elevata ritenzione idrica ma al contempo di una bassa porosità efficace. Nelle argille e nei limi quindi vi può essere molta acqua (porosità alta), ma poiché vi è alta ritenzione idrica, l'acqua non circola: in questi casi si parla di acquicludo.

3.5. Superficie piezometrica

Come detto in precedenza, durante l'esecuzione dei pozzetti geognostici e dei sondaggi realizzati, generalmente non è stata riscontrata la

presenza di acqua, ma è opportuno fare alcune precisazioni in merito alle interferenze eventualmente presenti e prevedibili tra gli interventi in progetto e le acque di sottosuolo.

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

- superficialmente è presente un livello di terreno dello spessore di un paio di metri al di sotto del piano di campagna, che a seguito di significativi eventi piovosi 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, non presentando lo strato superficiale caratteristiche granulometriche e tessiturali che possano generare accumulo idrico sotterraneo e scorrimento delle acque;
- al di sotto di 1,5 m di profondità dal piano di campagna e fino alla profondità di almeno 25 m dal piano di campagna, non è 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 in cui saranno realizzate le opere previste dal Master Plan non sono presenti.

Le opere in progetto prevedono lavori di escavazione e di movimento terra di modesta entità che coinvolgono solamente 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 interesseranno le acque di ritenzione presenti stagionalmente, che vanno a occupare i primi metri al di sotto del piano di campagna e non coinvolgeranno mai l'acquifero saturo principale in quanto assente nell'area di interesse e rilevato a sud nella zona dell'Osmannoro (§ 3.1).

3.6. Misure freatimetriche

A partire dal 2016 sono state eseguite delle misure freatimetriche 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 sedici piezometri (S05, S13, S19, S22, S28, S31, S35, S39, S40, S44, S88, S106, S108, S117, S126, S128); l'ubicazione dei sedici piezometri è mostrata nella planimetria di figura 10.

Le misure freatiche riportate in coda al presente documento nella tabella 2 del capitolo 8 ALLEGATI, 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 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 freatiche nei piezometri, saremmo portati a ritenere che sia presente una falda con la superficie piezometrica prossima al piano di campagna;

Occorre quindi 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.

La campagna di misurazioni freatiche continuerà anche nei

prossimi mesi.

3.7. Acqua sotterranea filtrante attraverso le superfici di scavo

Per una stima di massima del volume d'acqua filtrante attraverso le aree 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 [m ³ /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 di flusso [m ²]
Q/A	velocità (apparente) di filtrazione [m/s]

Il calcolo della quantità di acqua filtrante dalle pareti degli scavi è stato eseguito a titolo di esempio per alcuni scavi da realizzarsi per la costruzione delle opere in progetto.

I calcoli che sono stati predisposti sono:

1. tratto di pista a nord-est del Lago di Peretola (o dei Cacciatori)
2. tratto di pista a sud-est del Lago di Peretola (o dei Cacciatori)
3. area a sud della pista (parte dei piazzali, taxiways)
4. area di compensazione ambientale S. Croce
5. area di compensazione ambientale Il Piano (Signa)
6. area della vasca "D"

Il gradiente idraulico è stato considerato unitario ($i = \Delta h / L = 1$), valore che di sicuro appare poco realistico ma che però è assolutamente spostato verso una maggiore cautela (la quantità di acqua di filtrazione è stata calcolata per eccesso).

3.7.1. Tratto di pista a nord-est del Lago di Peretola (o dei Cacciatori)

Si tratta di una superficie di circa 367.000 m² (figura 4) in cui gli scavi possono raggiungere, localmente, le maggiori profondità previste (scavo di

5,25 m di profondità dal piano di campagna), come ad esempio nella zona prossima al sondaggio S27. Il coefficiente di permeabilità medio k è dell'ordine di $1,0E-09$ cm/s ($1,0E-11$ m/s), salvo casi limitati come in corrispondenza dei sondaggi S28, S31, S98 ($1,0E-10$ m/s) e S99 ($1,0E-07$ m/s). Il valore di permeabilità k risultante da tutti i sondaggi eseguiti nell'area in oggetto è pari a $9,47E-11$ m/s (come valore della media) e a $2,57E-11$ m/s (come valore della mediana). Il volume d'acqua di filtrazione è pari a $3,00$ m³/giorno (con k media), valore influenzato dalla k del sondaggio S99-C1 (k $1,12E-09$ m/s), e a $0,82$ m³/giorno (con k mediana).

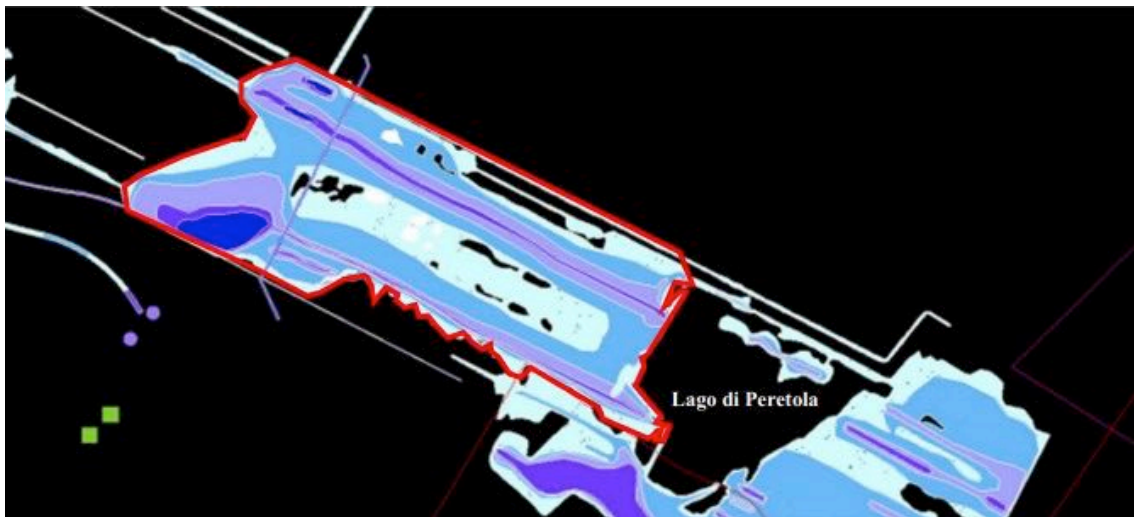


Figura 4 - Aree di escavazione nel tratto di pista a nord-est del Lago di Peretola.

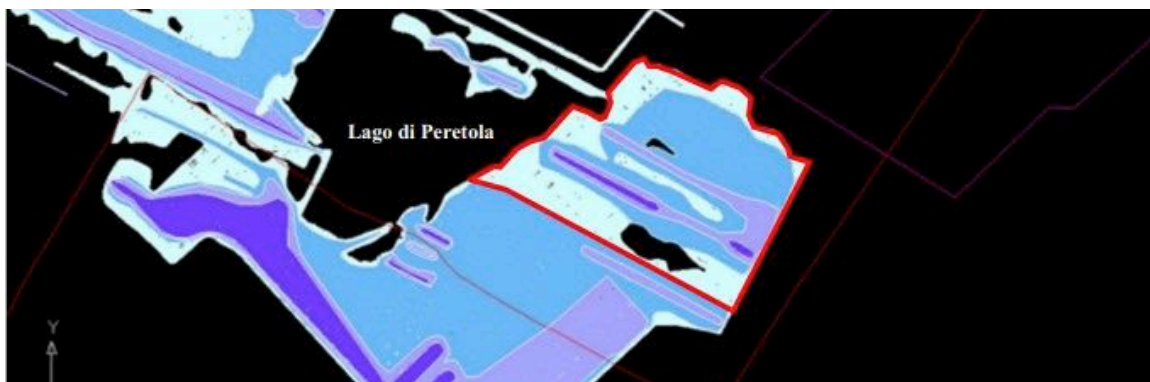


Figura 5 - Aree di escavazione nel tratto di pista a sud-est del Lago di Peretola.

3.7.2. Tratto di pista a sud-est del Lago di Peretola (o dei Cacciatori)

Si tratta di un'area di circa 103.000 m² (figura 5) in cui gli scavi che saranno effettuati raggiungeranno, solo in superfici limitate, profondità di 1,50-3,00 m dal piano di campagna. Il valore di k (coefficiente di permeabilità) risultante da tutti i sondaggi dell'area in oggetto è pari a 1,84E-11 m/s (come valore della media) e a 1,90E-11 m/s (come valore della mediana). Il volume d'acqua di filtrazione è pari a 0,16 m³/g (con k media) e a 0,17 m³/g (con k mediana).

3.7.3. Area a sud della pista e del Lago di Peretola (parte dei piazzali, taxiways)

Si tratta di un'area di circa 251.000 m² (figura 6) in cui gli scavi raggiungono, estesamente, profondità di 1,50-3,00 m dal piano di campagna. Il valore di permeabilità k risultante da tutti i sondaggi dell'area in oggetto è pari a 2,55E-11 m/s (come valore della media) e a 2,38E-11 m/s (come valore della mediana). Il volume d'acqua di filtrazione è pari a 0,55 m³/g (con k media) e a 0,52 m³/g (con k mediana).



Figura 6 - Aree di escavazione a sud della pista e del Lago di Peretola

3.7.4. Area di compensazione ambientale S. Croce

Si tratta di un'area di circa 94.000 m² (figura 7) in cui l'escavazione rimane limitata a profondità contenute, entro 1,50 m dal piano di campagna. Il valore di k risultante dai sondaggi dell'area in oggetto è pari a 5,07E-11 m/s (come valore della media) e a 5,64E-11 m/s (come valore della mediana). Il volume d'acqua di filtrazione è pari a 0,41 m³/g (con k media) e a 0,46 m³/g (con k mediana).



Figura 7 - Aree di escavazione presso l'area umida di Santa Croce

3.7.5. Area di compensazione ambientale Il Piano (Signa)

Area di circa 315.000 m² in cui l'attività di escavazione rimane limitata a profondità contenute, entro 1,50 m dal piano di campagna. Il valore di k risultante dai sondaggi dell'area in oggetto è pari a 2,45E-10 [m/s] (come valore della media) e a 4,79E-11 m/s (come valore della mediana). Il volume d'acqua di filtrazione è pari a 6,67 m³/g (con k media), valore influenzato dalla k del sondaggio S125 C2 (k 1,45E-09 m/s) e a 1,30 m³/g (con k mediana).

3.7.6. Area della vasca "D"

Area di circa 143.193 m² in cui l'attività di escavazione rimane limitata a profondità contenute, entro 2,50 m dal piano di campagna. Il valore di k risultante dai sondaggi dell'area in oggetto è pari a 1,19E-10 [m/s] (come valore

della media) e a $8,07 \times 10^{-11}$ m/s (come valore della mediana). Il volume d'acqua di filtrazione è pari a $1,48 \text{ m}^3/\text{g}$ (con k media), e a $1,00 \text{ m}^3/\text{g}$ (con k mediana).



Figura 8 - Aree di escavazione presso l'area di compensazione de Il Piano (Signa)

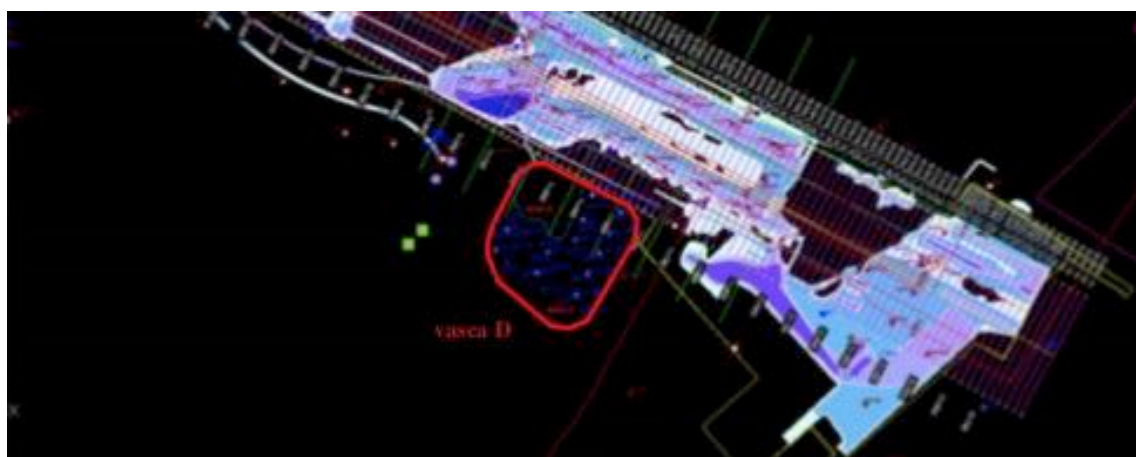


Figura 9 - Aree di escavazione presso l'area della vasca "D".

Nella tabella 1 sono riportati i volumi indicativi di acqua di filtrazione attraverso le superfici di scavo, ricavate per ciascuna delle aree analizzate e descritte nei paragrafi precedenti.

area	superficie in mq	permeabilità k		portata Q	
		(media) in m/sec	(mediana) in m/sec	(k media) in mc/giorno	(k mediana) in mc/giorno
tratto pista a NO del lago di Peretola (o dei Cacciatori)	367.176	9,47E-11	2,57E-11	3,00	0,82
tratto pista a SE del lago di Peretola (o dei Cacciatori)	103.380	1,84E-11	1,90E-11	0,16	0,17
area a S della pista (piazzali, taxiways)	251.235	2,55E-11	2,38E-11	0,55	0,52
area di compensazione ambientale S. Croce	93.678	5,07E-11	5,64E-11	0,41	0,46
area di compensazione ambientale Il Piano (Signa)	314.518	2,45E-10	4,79E-11	6,67	1,30
Area della cosiddetta vasca "D"	143.193	1,19E-10	8,07E-11	1,48	1,00
				12,27	4,26

Tabella 1 - Risultati del calcolo delle acque di filtrazione per le aree indagate.

4. INDICAZIONI SULLA GESTIONE DELLE ACQUE DI AGGOTTAMENTO

Nell'area in cui saranno realizzate le opere previste dal Master Plan 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 e 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 così come calcolate nelle pagine precedenti e riassunte nella tabella 1.

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 bassa o molto bassa, che limita molto o che 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.

5. CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI AMBIENTALI N. 28 E N. 33

5.1. Condizione ambientale n. 28

Il testo della condizione ambientale n. 28, che si riferisce alle aree di laminazione, è stato riportato per esteso all'inizio del presente documento. Si ritiene che la parte riguardante gli aspetti idrogeologici sia la seguente:

Aree di laminazione

... [omissis] ...

La progettazione dovrà essere sviluppata anche tenendo conto delle criticità idrogeologiche dell'area, legate alla falda molto prossima al piano di campagna nel periodo di morbida, con potenziale interferenza nel caso di scavi anche poco profondi. Tale progettazione dovrà essere preventivamente verificata dagli Enti competenti sul territorio, poi inviata all'Autorità Idraulica per l'approvazione e infine - ad approvazione avvenuta - inviata al MATTM prima dell'avvio dei lavori di fase 1.

... [omissis] ...

Come già detto più volte nelle pagine che precedono, nel sottosuolo dell'area di indagine non è presente una vera e propria falda, ma le acque che possono essere rinvenute sono conseguenza della caratteristica dalla ritenzione idrica tipica dei terreni affioranti. Per quanto detto è stato eseguito anche il calcolo della quantità di acqua che può filtrare dagli scavi in progetto e si è potuto verificare che si tratta di quantità assolutamente irrisorie. Per queste semplici considerazioni si ritiene che per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici la progettazione delle aree di laminazione non presenterà alcuna problematica.

5.2. Condizione ambientale n. 33

Il testo della condizione ambientale n. 33, che si riferisce alle interferenze idrauliche, è stato riportato per esteso all'inizio del presente documento. Si ritiene che la parte riguardante gli aspetti idrogeologici sia la seguente:

Interferenze idrauliche

... [omissis] ...

Per le opere che possono avere effetti sulla falda freatica dovrà essere fornita una caratterizzazione aggiornata dell'acquifero con modellazione idrogeologica di dettaglio dell'area di progetto.

... [omissis] ...

Nelle pagine che precedono sono state illustrate le caratteristiche geologiche e quelle idrogeologiche con particolare attenzione agli aspetti della presenza o meno di una falda e sulla possibilità di interferenza delle acque di sottosuolo eventualmente presenti, con la realizzazione delle opere. La caratterizzazione di dettaglio dell'area è stata illustrata nelle pagine che precedono. Per quanto detto, soprattutto in merito all'assenza di un acquifero, e di conseguenza di una falda, si ritiene che non possa essere eseguita una modellazione idrogeologica.

6. CONCLUSIONI

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

- 1) 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. Il valore e l'interesse di questo livello dal punto di vista della risorsa idrica è assolutamente nullo;
- 2) 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;
- 3) qualora i lavori per la costruzione delle opere previste dal Master Plan fossero eseguiti nella stagione secca è ragionevole pensare che nel livello superficiale non vi sia acqua;
- 4) 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;

- 5) 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);
- 6) le interferenze tra l'esecuzione delle opere e le acque di sottosuolo sono limitate all'acqua di ritenzione la cui quantità è stata calcolata e che si è dimostrata del tutto irrisoria. Peraltro, qualora i lavori fossero svolti nella stagione secca, è ragionevole pensare che non vi sia acqua di ritenzione.

In relazione alle condizioni ambientali n. 28 e n. 33, relativamente alle parti che riguardano gli aspetti idrogeologici, è stata illustrata la caratterizzazione aggiornata; si ritiene inoltre che per gli aspetti idrogeologici la progettazione delle aree di laminazione non presenterà alcuna problematica e che per l'assenza di un acquifero non possa essere eseguita una modellazione idrogeologica.

Firenze, 25 maggio 2018

dr. geol. Michele Sani

7. BIBLIOGRAFIA

Per redigere il presente documento sono state consultate e utilizzate le seguenti pubblicazioni e lavori professionali:

- AA.VV. (1982) - *Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale in scala 1:250.000*. Note illustrative C.N.R., Prog. Fin. Geod., 429, 203 pp.
- AA.VV. (2010) - *Relazione idrogeologica*. Progetto esecutivo linea 2. Soc. Tramvia di Firenze S.p.A. 1-107.
- AA.VV. (2011) - *Quadro di riferimento ambientale: relazione*. Autostrada A11 Firenze - Pisa Nord: ampliamento alla terza corsia del tratto Firenze - Pistoia. Progetto definitivo. Studio di Impatto Ambientale. SPEA Ingegneria Europea - Autostrade per l'Italia. 1-297.
- Abbate E., Bortolotti V., Passerini P. & Sagri M. (1970) - *Introduction to the geology of the Northern Apennines*. Sedimentary Geology 4, 3-4, 207-249.
- Aiello E. (2003) - *Contributo alla conoscenza del sottosuolo di Firenze*. Quarry and Construction, 11, 49-69.
- Aiello E. (2015) - *Relazione tecnica specialistica - Aspetti geologici, idrogeologici e geotecnici - R02 - Masterplan 2014 - 2029*. Aeroporto Amerigo Vespucci - Firenze.
- Alexanian A., Corti F. & Poggiolini S. (2013) - *Piano di Caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/06 "Nuovo piazzale ovest di sosta aeromobili"* - Relazione finale delle indagini ed allegati (Revisione 01).
- Autorità di Bacino del Fiume Arno (2010) - *Piano di Bacino - Stralcio bilancio idrico*.
- Bartolini C. (1987) - *Geologia e idrografia*. In: *Firenzecologia*. Conoscere e capire l'ambiente del Comune di Firenze. Il Ventaglio, 33-44.
- Bartolini C. & Pranzini G. (1981) - *Plio-Quaternary evolution of the Arno Basin drainage*. Zeit. Geomorph. N.F., Suppl. Bdo 40, 77-91.
- Bartolini C. & Pranzini G. (1984) - *L'antecedenza dei corsi d'acqua che attraversano la dorsale M. Albano - Poggiona nel quadro dell'evoluzione Plio - Quaternaria del Valdarno*. Boll. Soc. Geol. It., 103, 271-278.
- Benvenuti G. (1971) - *Ricerca sulle falde acquifere profonde fra Firenze e Pistoia. Parte II. Indagine geofisica*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 6, 54-71.
- Boccaletti M., Bonini M., Moratti G., Sani F. (1995) - *Nuove ipotesi sulla genesi e l'evoluzione dei bacini post-nappe in relazione alle fasi compressive neogenico-quaternarie dell'Appennino Settentrionale*. In: Atti del convegno "Rapporti Alpi-Appennino". Polino R. & Sacchi R. (Editori). Scritti e Docum. Accad. Naz. Delle Scienze, 14, 229-262.
- 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.

- Boccaletti M. & Sani F. (1998) – *Cover thrust reactivation related to internal basement involment during Neogene-Quaternary evolution of the Northern Apennines*. Tectonics, 17 (1), 112-130.
- 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.
- Castany G. (1982) – *Idrogeologia: principi e metodi*. Libreria Dario Flaccovio Editrice, 1-243.
- Cecconi A. & Cuccuini P. (1986) – *L'antico lago di Firenze-Prato-Pistoia*. Edizioni del Palazzo, Prato, 1-47.
- Cestelli Guidi C. (1987) – *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*. Volume primo. Ed. Ulrico Hoepli Milano. 1-863.
- 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.
- Corti F. (2013) – Relazione tecnica. Realizzazione di piezometri nell'ambito di un piano di caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/06. Nuovo piazzale ovest di sosta aeromobili. Committente Aeroporto di Firenze. 1-18.
- Davis S. N. & de Wiest R. J. M. - (1966) – *Hydrogeology*. Wiley, 1-463.
- Facciorusso J., Madiati C., Vannucchi G. (2011) – *Dispense di Geotecnica Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Sezione Geotecnica* (Rev. Ottobre 2011), Università degli Studi di Firenze, Capitolo 4, 1-40.
- Focardi G. (2003) – *Relazione geologica e geotecnica sulle indagini*. Progettazione integrale e inserimento ambientale dell'area di laminazione delle acque meteoriche dell'insediamento universitario. 1-80.
- 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.
- Monti S. (2015) – *Relazione tecnica* – Piano di indagine. Impianto di recupero energia da incenerimento di rifiuti non pericolosi loc. Case Passerini – Sesto Fiorentino (Fi). Domanda di A.I.A., 1-42.
- 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. (1981) – *Le risorse idriche dell'area consortile. Disponibilità attuale e prospettive di incremento*. Consorzio delle risorse idriche – Schema 23. 1-24.
- Pranzini G. (1987) – *Risorse idriche*. In: *Firenzecologia. Conoscere e capire l'ambiente del Comune di Firenze*. Il Ventaglio, 18-32.
- 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.
- TERRA & OPERE S.r.l. (2015) – *Idrogeologia della zona dell'Aeroporto Amerigo Vespucci – Firenze*. Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze – costruzione della nuova pista, delle opere accessorie e di quelle di compensazione. Rapporto inedito.
- TERRA & OPERE S.r.l. (2018) – *Quantificazione dell'acqua filtrante dalle pareti degli scavi*. Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze – costruzione della nuova pista, delle opere accessorie e di quelle di compensazione. Rapporto inedito.

* * *

8. ALLEGATI

Misure del 11/05/2016				Misure del 07/09/2016			Misure del 27/10/2016			Misure del 14/12/2016		
n. piezometro	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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		
n. piezometro	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Misure del 30/01/2018				Misure del 28/02/2018			Misure del 10/03/2018			Misure del 30/04/2018		
n. piezometro	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
S126	1,70	0,15	14,50	1,49	0,15	14,50	1,20	0,15	14,50	1,55	0,15	14,50
S128	1,20	0,04	15,00	0,99	0,04	15,00	0,49	0,04	15,00	0,95	0,04	15,00

Tabella 2 - Risultati delle misure eseguite nei piezometri.



Figura 10 - Ubicazione dei piezometri citati nel testo le cui misurazioni sono riportate in tabella 2.