



AREA TERRITORIALE ATO 2
56121 PISA - Loc. OSPEDALETTO
Via A. Bellatalla, 1
tel. 050/843423 - Fax 050/843400

ACQUE S.p.A.
Uffici e Sede amministrativa:
56121 PISA - Loc. OSPEDALETTO
Via A. Bellatalla, 1
tel. 050/843111 - Fax 050/843260
Sede Legale: 50053 EMPOLI (FI) Via Garigliano, 1



STUDIO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO



COMUNE DI PISA
Provincia di Pisa

**STUDIO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO
NELL'AREA DEL CAMPO POZZI SAN BIAGIO**

EI. 1	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	<i>Data :</i>
		<i>Scala :</i>

<i>Committente:</i> Dott. Ing. Roberto CECCHINI	<i>Il progettista :</i> Dott. Geol. Nicola CEMPINI
<i>Il responsabile di commessa :</i> Geom. Alessandro PIOLI	<i>Collaboratori tecnici :</i> Dott. Geol. Michela SODINI

<i>Indice rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Oggetto</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>
0		Prima emissione	Cempini	Bonifazi

1.	PREMESSA	2
2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO	4
4.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	7
5.	INDAGINI GEOGNOSTICHE PRECEDENTI	8
6.	CAMPAGNA GEOGNOSTICA ACQUE 2014	12
	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO :	13
	ANALISI DI LABORATORIO - DESCRIZIONE DEI CAMPIONI:	15
	PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO (PROVA LEFRANC)	17
7.	MODELLO CONCETTUALE	23
8.	CONCLUSIONI	25

Tavole:

- Tav. 1 – Corografia dell'area, scala 1:25.000,
- Tav. 2 – Planimetria dati di base, scala 1:5.000;
- Tav. 3 – Estratto dalla mappa catastale, scala 1:2.000;
- Tav. 4 – Geologia dell'area;
- Tav. 5 – Sezioni idrogeologiche.

Allegati:

- All. 1 – Pozzi Acque Spa;
- All. 2 – Campagna geognostica Acque 2002;
- All. 3 – Campagne geognostiche AOUP 2010, 2011 e 2014;
- All. 4 – Campagna geognostica Acque 2014

1. PREMESSA

La derivazione di San Biagio – Cisanello del Comune di Pisa è costituita da sette pozzi realizzati tra la seconda metà degli anni '80 e la prima metà degli anni '90 nell'area a nord dell'Arno compresa tra via San Biagio e l'argine maestro (quattro pozzi) e lungo via Bargagna (tre pozzi).

A seguito dell'espansione del polo ospedaliero di Cisanello con la costruzione di nuovi padiglioni e delle strutture di servizio connesse (in particolare strade e parcheggi) i pozzi denominati San Biagio 2, 3 e 4 devono essere dismessi e sostituiti da tre nuovi pozzi, denominati San Biagio 5, 6 e 7, ubicati in posizioni compatibili con la nuova situazione urbanistica. In particolare:

nella Conferenza dei servizi del 5 dicembre 2011 per la verifica semestrale dello stato di attuazione dell'Accordo di programma 2005, per il trasferimento delle attività della Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana e del Polo Universitario da S. Chiara a Cisanello, è stato inserito nel cronoprogramma degli interventi lo spostamento dei pozzi esistenti denominati San Biagio 2,3 e 4;

L'AOUP con deliberazione D.G. 1090 del 10/10/2012 ha approvato il verbale della conferenza dei servizi del 26/06/2012 relativa al "Progetto definitivo del nuovo ospedale denominato Nuovo Santa Chiara in Cisanello e Lavori Complementari propedeutici al 2° potenziamento".

La società Acque SpA, gestore del ciclo idrico integrato ha presentato il progetto per la realizzazione dei nuovi pozzi, redatto dal dott. Geol. Nicola Cempini.

Il progetto di realizzazione di questi tre nuovi pozzi è stato approvato nella conferenza dei servizi del 27 agosto 2013, indetta dal Direttore Area Tecnica dell'AOUP e RUP dell'Accordo di programma 2005 ing. Rinaldo Giambastiani, nella quale sono stati regolarmente invitati i seguenti enti:

Comune di Pisa;

Provincia di Pisa;

Azienda USL 5 di Pisa;

Soprintendenza per i beni architettonici e per il paesaggio, per il patrimonio storico, artistico ed etnoantropologico per le provincie di Pisa e Livorno;

Autorità Idrica Toscana – Conferenza Territoriale 2 Basso Valdarno;

Acque SpA;

Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana;

I lavori di realizzazione e collegamento del pozzo San Biagio 7 sono iniziati nel settembre 2014 e si sono conclusi all'inizio di marzo 2015.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area del campo pozzi San Biagio si trova nel territorio comunale di Pisa (PI), nella zona periferica a nord-est della città in cui è in corso lo sviluppo dell'area ospedaliera di Cisanello, in destra idrografica del Fiume Arno (Tav. 1 – Corografia).

In quest'area sono attualmente presenti i pozzi denominati “San Biagio 2”, “San Biagio 3” e “San Biagio 4”, il pozzo “Campo sportivo” e il pozzo “Ospedale Cisanello” mentre poco più ad Ovest, in corrispondenza di Via Italo Bargagna sono presenti i pozzi denominati “Bargagna 1” e “Bargagna 2” e il pozzo “Via di Padule” (Fig. 1, Tav. 2 – Planimetria dati di base).

Nei pressi del settore più meridionale dell'area ospedaliera è stato inoltre realizzato il nuovo pozzo denominato “San Biagio 7”, attualmente in fase di completamento. Nella stessa zona saranno realizzati in una fase successiva i due pozzi “San Biagio 5” e “San Biagio 6”.

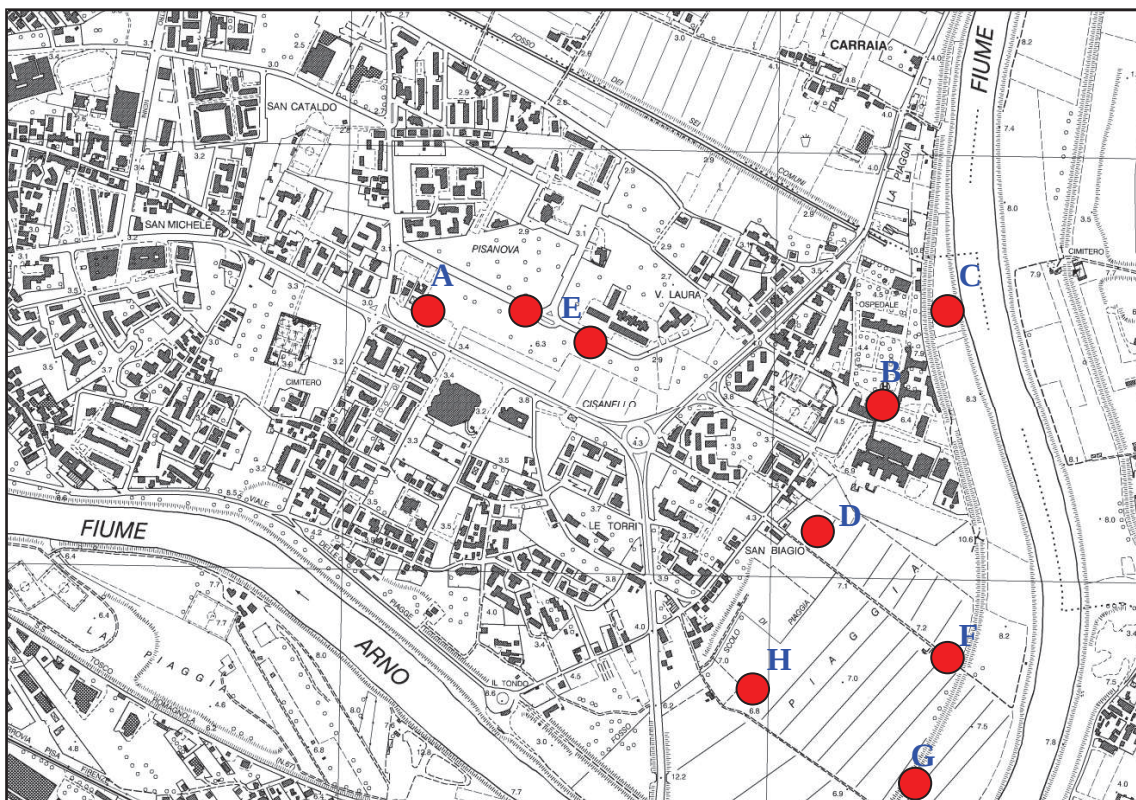


Figura 1 - Acquedotto San Biagio - A: Pozzo Via di Padule; B: Pozzo Campo sportivo; C: Pozzo Ospedale; D: Pozzo Centrale San Biagio; E: Pozzi Via Bargagna 1 e 2; F: Pozzo San Biagio 2; G: Pozzo San Biagio 3; H: Pozzo San Biagio 4.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO

Dal punto di vista morfologico la zona d'interesse è essenzialmente pianeggiante con un'altezza di circa 7 m s.l.m. ed è delimitata a Sud e Sud-Est dal Fiume Arno che, in questo tratto del suo corso, è caratterizzato da arginature sopraelevate rispetto al piano campagna per difendere le aree prossime all'alveo da fenomeni alluvionali e morfogenetici.

Dal punto di vista geomorfologico in questo tratto della pianura di Pisa sono presenti paleoalvei sepolti rintracciati con le immagini da satellite e riferibili all'antico corso del F. Arno (Tav. 4 – Geologia dell'area).

L'area non è interessata da fenomeni di dissesto né sono stati osservati segnali o evidenze di dissesto potenziale o in atto: l'area appare globalmente stabile.

Dal punto di vista geologico l'area in studio è collocata all'interno del sistema complesso della pianura di Pisa il cui sviluppo, a partire dalla fine del Pleistocene inferiore, era legato alle variazioni glacio-eustatiche del livello del mare e da quelle, conseguenti, dei corsi d'acqua. Le articolate interazioni tra molteplici sistemi idrografici, combinate con gli alterni processi di sedimentazione ed erosione connessi alle variazioni glacio-eustatiche, hanno portato a evidenti variazioni granulometriche, e quindi di permeabilità, dei depositi costituenti attualmente il sottosuolo della pianura alluvionale.

L'area in studio è stata inoltre interessata da movimenti tettonici connessi a sistemi di faglie impostate sul substrato lapideo pre-neogenico che hanno dislocato i sedimenti neogenici e quaternari della pianura alluvionale almeno fino al Pleistocene medio. Si tratta di due principali sistemi di faglie grossomodo ad andamento perpendicolare, con direzione il primo NW-SE e il secondo NE-SW, sviluppatasi in conseguenza all'instaurarsi di una tettonica distensiva successiva alla fase parossistica dell'orogenesi appenninica (Tortoniano – Miocene superiore) caratterizzata invece da una tettonica compressiva. A partire dalla fine del Miocene si sono dunque formate gradinate di faglie dirette, molto probabilmente di tipo listrico, che hanno portato alla formazione di depressioni tettoniche, sede di una potente sedimentazione marina e continentale durante il Pliocene e il Pleistocene.

La pianura alluvionale di Pisa è caratterizzata dunque da forti spessori di sabbie, limi e ed argille, depositi durante le fasi in cui prevaleva una sedimentazione marina o lagunare-salmastra e dai depositi abbandonati dal F. Serchio e dal F. Arno che si univano poco più a Est dell'attuale abitato di Cascina. Finché il contributo del F. Serchio è stato importante, i depositi alluvionali erano caratterizzati da elementi

grossolani, prevalentemente ciottoli e ghiaie in matrice sabbiosa. Nell'ambito della pianura i depositi più grossolani si rinvengono ad una profondità variabile a partire da 80-100 m fino a 160-180 m nell'area in studio (Fig. 2).

Recenti studi stratigrafici e sedimentologici hanno evidenziato che il sottosuolo della pianura di Pisa è suddiviso in:

1. substrato profondo: è costituito da rocce litoidi pre-neogeniche che si trovano in affioramento sui rilievi montuosi (Monte Pisano) ubicati pochi chilometri a Est e Nord-Est dell'area del campo pozzi di San Biagio. Il Monte Pisano è un alto morfologico che rappresenta il prolungamento verso Nord della Dorsale Medio Toscana, la quale arriva a comprendere verso Sud e Sud-Est i Monti di Monticiano e di Roccastrada. La Dorsale Medio Toscana e quindi anche il Monte Pisano, è caratterizzata dalla presenza di rocce di età paleozoica, relitti dell'antica catena ercinica europea, e da rocce mesozoiche metamorfiche (Toscanidi metamorfiche);
2. substrato intermedio: si tratta di sedimenti pliocenici del Neoautoctono toscano che affiorano diffusamente in tutta la Valdera. Generalmente a questo livello vengono ascritte anche le Sabbie di Nugola Vecchia attribuite al Pleistocene inferiore;
3. substrato superiore: a questo livello appartengono i sedimenti neogenici depositi a partire dal Pleistocene medio e quindi dalla deposizione dell'unità stratigrafica dei Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci Aucct., che rappresenta quindi la prima unità deposizionale del substrato superiore. Alcuni autori (Della Rocca et al., 1987) hanno rivelato una certa difficoltà nel distinguere, nel corso delle perforazioni, questa formazione da quella dei sovrastanti Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina, l'importante livello del sottosuolo attribuito da Trevisan e Tongiorgi (1953) all'ultima glaciazione (Wurm II – Pleistocene superiore). Tali ghiaie infatti contengono in prevalenza ciottoli di Verrucano e sono dunque piuttosto simili ai livelli grossolani dell'unità dei Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci Aucct. attribuiti al Pleistocene medio; le numerose perforazioni della zona di Pontedera tuttavia hanno evidenziato che nella maggior parte dei casi i Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina e i livelli più grossolani dei Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci Aucct. sono separati da depositi piuttosto fini che rappresenterebbero il tetto di quest'ultima

formazione. In alcuni casi, soprattutto nella zona più occidentale della pianura pisana, sono stati evidenziati contatti diretti tra i Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina e depositi argillosi e sabbiosi presumibilmente eteropici con le Sabbie di Nugola Vecchia attribuite al Pleistocene inferiore.



Figura 2 - Carta del tetto del primo acquifero artesiano in ghiaie, (Baldacci et al. 1999)

Al di sopra dei Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina i pozzi della Pianura di Pisa hanno evidenziato un primo livello di sedimenti a granulometria fine noti in letteratura come Limi fluvio-palustri del sottosuolo (Fancelli et al., 1986). Questi limi sono sormontati direttamente dalle Sabbie e Limi di Vicarello, attribuiti alla fase finale del Wurm II.

Secondo alcuni autori (Fancelli et al., 1986; Della Rocca et al., 1987) i Limi fluvio-palustri del sottosuolo rappresenterebbero il passaggio tra la fase anaglaciata del Wurm II, caratterizzata da un clima molto umido, approfondimento fluviale e abbassamento glacio-eustatico del livello del mare e la successiva fase cataglaciata di clima più secco e durante la quale avrebbe prevalso la sedimentazione eolica con la deposizione delle Sabbie e limi di Vicarello.

I sedimenti superficiali della pianura di Pisa, ovvero i Depositi fluvio-palustri di superficie, sono attribuiti in parte al Wurm III (abbassamento del livello del mare di

110 m rispetto a quello attuale) e principalmente alla fase olocenica di deglaciazione e al conseguente sovralluvionamento che si sarebbe sviluppato man mano che il livello del mare risaliva. In questi sedimenti prevalgono le sabbie nelle zone più vicine al corso dell'Arno mentre nelle zone più distali prevalgono argille e torbe.

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nella pianura di Pisa confluiscono acque sia superficiali che sotterranee provenienti dai Bacini del F. Arno e del F. Serchio, per mezzo di falde confinate di subalveo. Gli acquiferi confinati della pianura, inoltre, ricevono apporti da una circolazione profonda alimentata da strutture idrogeologiche carbonatiche, situate sulla prosecuzione sud-orientale delle Alpi Apuane.

Le stratigrafie esistenti nell'area relative a perforazioni realizzate nel corso degli anni (**All. 1**), insieme a studi idrogeologici eseguiti in passato, hanno permesso di ricostruire l'andamento del sottosuolo dell'area oggetto del presente studio.

In particolare è stato possibile ricostruire la presenza di:

un acquifero dello spessore di circa 10-15 m, sede di una falda freatica circolante negli orizzonti permeabili superficiali prevalentemente sabbiosi, il cui livello risulta fortemente influenzato dell'idrografia superficiale e quindi dall'andamento dei livelli idrometrici di fossi, canali e del Fiume Arno. La ricarica quindi avviene, oltre che dal subalveo del reticolo idrico superficiale, anche dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche. Essendo molto brevi i tempi di ricarica di tale acquifero, caratterizzato da oscillazioni stagionali anche forti, è frequente che i numerosi pozzi ad uso prevalentemente domestico che captano da questo livello possano, nei mesi estivi più caldi, divenire improduttivi;

al di sotto di questo primo acquifero è presente un potente livello argilloso-limoso impermeabile dello spessore di 40 m all'interno del quale sono stati rinvenuti orizzonti permeabili "sospesi" di scarso interesse dal punto di vista idrogeologico. Questo livello costituisce un'importante acquicluda per la falda acquifera confinata sottostante; per confermare l'assenza di comunicazione tra la falda captata e quella più superficiale è stata monitorata la piezometria sia in fase di collaudo che in fase di utilizzo dei pozzi attraverso i piezometri posti in opera nell'intercapedine dei pozzi stessi.

al di sotto di questo potente livello impermeabile, si trova una successione di sedimenti a buona permeabilità costituita da sabbie e sabbie limose caratterizzate da permeabilità variabile e alternate a livelli di limi argillosi, argille sabbiose. Questi sedimenti costituiscono l'acquifero confinato multifalda frequentemente sfruttato dalle perforazioni presenti nella zona e indicato come prima falda artesiane in sabbia da Baldacci et al. (1994).

I **valori di trasmissività T** e di **permeabilità K** dell'acquifero multifalda, sono stati ricavati dalle prove di portata eseguite in passato sui pozzi pre-esistenti: i risultati hanno evidenziato valori di trasmissività T dell'ordine di 10^{-3} m²/sec e valori di permeabilità dell'ordine di 10^{-4} e 10^{-5} m/sec coerentemente ai valori di permeabilità riportati nello studio di Baldacci et al. (1994).

Il coefficiente di **immagazzinamento S** è stato calcolato solamente nel pozzo "Bargagna 2" e risulta avere valori dell'ordine di 10^{-1} tipici di un acquifero a falda imprigionata.

Questi valori di trasmissività e di permeabilità sono tipici di acquiferi confinati costituiti da depositi incoerenti con granulometrie variabili tra sabbie e sabbie fini, con una certa componente limosa.

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE PRECEDENTI

ACQUE SPA

Nel 2002 Acque Spa ha commissionato uno studio idrogeologico per la determinazione della zona di rispetto di 5 pozzi appartenenti all'acquedotto di San Biagio (pozzi Bargagna 1, Bargagna 2, Via di Padule, San Biagio 1 e San Biagio 2) (Fig. 3; Tav. 2 Planimetria dati di base).

Nell'ambito di questa campagna di indagini, nelle vicinanze di ciascun pozzo, ad una distanza compresa tra i 20 ed i 45 metri, sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo spinti fino ad una profondità di 24 m circa dal p.c. per il completo riconoscimento stratigrafico dei terreni e su tutti i sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati su cui sono state effettuate analisi di laboratorio per la determinazione della permeabilità K, in permeametro a carico variabile (All. 2 – Campagna geognostica Acque 2002).

Le analisi di laboratorio hanno restituito i seguenti valori di permeabilità K:

Sonda ggio (anno 2002)	Camp ione	Profo ndità da p.c. (m)	Litolo gia	Coefficiente di permeabilità k (cm/s)
S1	C1	20,20-20,50	Argille grigie plastiche	$1,3 \times 10^{-8}$
S2	C1	21,00-21,30	Argille grigie plastiche	$1,2 \times 10^{-8}$
S3	C1	19,20-19,50	Argille grigie plastiche	$1,1 \times 10^{-8}$
S4	C1	15,50-15,70	Argille grigie plastiche	$1,8 \times 10^{-8}$
S5	C1	13,70-14,00	Argille grigie plastiche	$2,9 \times 10^{-8}$

Tabella 1 - Riepilogo dei campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti da Acque Spa e dati acquisiti - campagna anno 2002.

I dati acquisiti e l'elaborazione delle sezioni idrogeologiche avevano portato alle seguenti conclusioni:

Nel settore più occidentale dell'area di indagine, dove sono presenti i pozzi Via di Padule, e Bargagna 1 e 2 i terreni interessati presentano, a partire dal piano campagna, dopo un primo livello di terreno sabbioso-limoso di 3-4 metri, uno strato continuo di depositi argillosi con spessore di oltre 40 metri, per poi incontrare 2 livelli sabbiosi aventi potenze dell'ordine di 100 metri il primo e di 80 metri il secondo, separati da uno strato argilloso continuo di 20 metri circa di spessore, presente dai 150 ai 170 metri.

Nel settore più settentrionale, dove sono presenti i pozzi "Campo Sportivo" ed "Ospedate di Cisanello" si osserva sempre la presenza costante del primo livello argilloso da 3/4 metri dal p.c. fino a circa 40 metri di profondità, ma appare di minore spessore (10 m) il livello argilloso che separa i due potenti banchi di sabbie con potenza di 70 metri per lo strato superiore e di 80 metri per quello inferiore, fino alla profondità massima esplorata di 205 metri.

La permeabilità media dello strato di terreno superficiale argilloso, determinato con analisi di laboratorio eseguite sui campioni di terreno prelevati in fase di perforazione dei sondaggi a carotaggio continuo, è risultata pari a $K=1.66 \cdot 10^{-8}$ cm/sec. Tale fatto consente di valutare che una particella d'acqua, per azione della

forza di gravità, impiegherebbe 100 anni per attraversare con direzione verticale 52 cm di tali argille.

AZIENDA OSPEDALIERA UNIVERSITARIA PISANA

Ulteriori indagini sull'area sono state eseguite negli anni successivi (2010, 2011 e 2014) dall' **AOUP di Cisanello** per la caratterizzazione dei terreni nell'ambito della progettazione per la realizzazione del nuovo polo ospedaliero universitario di Cisanello.

Nel 2010 una campagna di indagini geognostiche ha riguardato l'esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 30,0 m dal p.c., n. 2 prove di permeabilità Lefranc all'interno del foro di sondaggio (nei primi metri) e prelievo di n. 2 campioni indisturbati sottoposti a prove e analisi di laboratorio (All.3 Campagne geognostiche AOUP 2010, 2011 e 2014).

Nel 2011 una nuova campagna di indagini ha riguardato l'esecuzione di n. 6 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 30,0 m dal p.c. e il prelievo di n. 5 campioni indisturbati a foro di sondaggio, sottoposti a prove e analisi di laboratorio geotecnico (All.3 Campagne geognostiche AOUP 2010, 2011 e 2014).

Di queste due campagne sono stati acquisiti i dati stratigrafici e di laboratorio ma sono state sfruttate solamente le stratigrafie dei sondaggi per la stesura delle sezioni idrogeologiche, poichè nelle analisi di laboratorio eseguite, avendo finalità prettamente geotecnica, non sono stati determinati valori di permeabilità del terreno.

Nel 2014 una ulteriore campagna di indagini geognostiche ha riguardato l'esecuzione di n. 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 30,0 m dal p.c. e il prelievo di n. 5 campioni indisturbati in ciascun sondaggio (per un totale di 15), sottoposti a prove e analisi di laboratorio geotecnico (All. 3 Campagne geognostiche AOUP 2010, 2011 e 2014).

Con le analisi di laboratorio relative a 2 campioni per ciascun sondaggio sono stati determinati anche valori di permeabilità da cella edometrica, che hanno restituito i valori riportati nella tabella seguente:

Sondaggio Campione (anno 2014)	Profondità da p.c. (m)	Litologia	Coefficiente di permeabilità k (cm/s)
S7C1	3,00-3,50	Sabbia limosa da mediamente addensata a addensata	$2,87 \times 10^{-7} / 9,06 \times 10^{-8}$
S7C3	19,50-20,00	Argille grigie plastiche	$5,3 \times 10^{-9} / 3,23 \times 10^{-9}$
S8C1	3,00-3,50	Sabbia debol. limosa da debol. addensata a sciolta	$1,19 \times 10^{-7} / 6,39 \times 10^{-8}$
S8C3	16,00-16,50	Sabbia grossolana da debolmente addensata a sciolta	$1,64 \times 10^{-7} / 6,45 \times 10^{-8}$
S9C1	3,00-3,50	Sabbia limosa debolmente addensata	$3,65 \times 10^{-8} / 2,47 \times 10^{-8}$
S9C3	19,00-19,50	Argille grigie plastiche	$1,76 \times 10^{-8} / 1,01 \times 10^{-8}$

Tabella 2 - Riepilogo dei campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dall'Azienda Ospedaliera e dati acquisiti - campagna anno 2014. I dati si riferiscono ai sondaggi riportati in planimetria rispettivamente con la sigla OS7, OS8, OS9

I sondaggi eseguiti durante tutte le campagne di indagini suddette vengono riportati sulle sezioni stratigrafiche e in allegato (Tav. 2 – Planimetria dati di base, Tav. 5 Sezioni idrogeologiche; All. 3 Campagne geognostiche AOUP 2010, 2011, 2014).

I dati acquisiti hanno permesso di ottenere una descrizione litostratigrafica di dettaglio dei primi 24 / 30 metri al di sotto del piano campagna, per la parte più orientale dell'area di studio, posta a sud dei pozzi Ospedale e Campo Sportivo e di attribuire un valore di permeabilità al livello argilloso sovrastante ai livelli acquiferi più profondi. In particolare questi dati mettono in evidenza:

la presenza, a partire dal piano campagna, dopo un primo livello di terreno sabbioso-limoso di 4-5 metri, una strato di depositi sabbiosi con spessore di circa 10/15 metri, per poi incontrare 2 livelli sabbiosi aventi potenze dell'ordine di 100 metri il primo e di 80 metri il secondo, separati da uno strato argilloso continuo di 20 metri circa di spessore, presente dai 150 ai 170 metri.

La permeabilità media dello strato di terreno più superficiale limoso argilloso posto nei primi 5 metri di profondità dal piano campagna, determinata con analisi di laboratorio sui campioni di terreno prelevati in fase di perforazione dei sondaggi a carotaggio continuo, è risultata pari a $K=1.0 \cdot 10^{-7}$ cm/sec.

La permeabilità media dello strato di terreno argilloso posto al di sotto del livello sabbioso a partire dalla quota di circa 15-18 m, fino circa alla quota di 40-45 m dal piano campagna, determinata con analisi di laboratorio eseguite sui campioni di terreno prelevati in fase di perforazione dei sondaggi a carotaggio continuo, è risultata pari a $K=8.8 \cdot 10^{-8}$ cm/sec.

6. CAMPAGNA GEOGNOSTICA ACQUE 2014

Tenuto conto dei dati geognostici acquisiti già dalle precedenti campagne eseguite da Acque Spa e dall'Azienda Ospedaliera, per completare il quadro idrogeologico e litostratigrafico dell'area di indagine, è stata compiuta una nuova campagna geognostica mirata ad integrare le conoscenze in due specifici siti: uno nei pressi della centrale acquedottistica di San Biagio, a breve distanza dal pozzo San Biagio 1, l'altro nel settore più sud, nei pressi del pozzo San Biagio 7, come illustrato in figura 3.



Figura 3: Aree indagini geognostiche eseguite nell'area di studio

Le indagini geognostiche effettuate per le finalità previste dal presente studio sono rappresentate da:

- n. 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo S6 e S7, spinti rispettivamente fino alla profondità di 28.70 m e di 29,50 m dal p.c., volti alla ricostruzione della litostratigrafia dei siti e alla determinazione, durante la perforazione, dello stato di consistenza dei terreni e al prelievo di campioni indisturbati da sottoporre alle prove di laboratorio geotecnico;

- n. 9 campioni indisturbati sono stati prelevati in fustella tipo Shelby e sottoposti ad una serie di analisi di laboratorio finalizzate al riconoscimento ed alla misurazione/valutazione della permeabilità dei singoli orizzonti;

- n. 4 prove di permeabilità in foro (prove Lefranc), eseguite in fase di avanzamento delle perforazioni dei sondaggi geognostici per determinare il valore della conducibilità idraulica e, quindi, della permeabilità dei terreni attraversati;

- n. 2 sezioni stratigrafiche realizzate al fine di correlare gli orizzonti impermeabili intercettati dai sondaggi e dalle perforazioni dei pozzi nel sottosuolo dell'area di studio e nelle zone adiacenti per verificare l'effettiva protezione naturale delle falde captate.

Dati stratigrafici sono stati inoltre reperiti nel mese di settembre 2014 durante la perforazione del nuovo pozzo San Biagio 7 nell'area a sud del polo ospedaliero di Cisanello: è stata redatta una stratigrafia di dettaglio ed eseguiti logs geofisici in foro al termine della perforazione per una più corretta ricostruzione stratigrafica.

SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO:

Al fine di conseguire gli elementi necessari per ricostruire le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni dell'area e determinare la vulnerabilità effettiva degli acquiferi captati nel campo pozzi di San Biagio sono stati eseguiti n.2 sondaggi a carotaggio continuo: S6, in prossimità della centrale di San Biagio e S7, in prossimità del pozzo San Biagio 7. L'ubicazione è riportata nella planimetria allegata (Tav. 2 – Planimetria dati di base).

I due sondaggi sono stati eseguiti con diametro 101 mm ed hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 28,70 m e di 29,50 m dal p.c. (All. 3 – Campagna geognostica Acque 2014).

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati in totale nove campioni per le analisi geotecniche di laboratorio, al fine di caratterizzare i terreni dal punto di vista litologico e litotecnico.

Sondaggio	Campione	Profondità di prelievo
S6	C1	9,0 – 9,5 m
	C2	12,7 – 13,2 m
	C3	15,5 – 16,0 m
	C4	21,0 – 21,5 m
	C5	27,0 – 27,5 m
S7	C1	16,5 – 17,0 m
	C2	22,0 – 22,5 m
	C3	27,0 – 27,5
	C4	29,5 – 29,5 m

Tabella 3 - Campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo

Date le caratteristiche dei campioni sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- determinazione del contenuto di acqua allo stato naturale;
- determinazione del peso di volume;
- analisi granulometrica mediante vagliatura per via umida;
- analisi granulometrica per sedimentazione con areometro;
- prove di permeabilità in cella edometrica a gradini di carico costante;
- prove di permeabilità a carico variabile.

ANALISI DI LABORATORIO - DESCRIZIONE DEI CAMPIONI:

S6-C1 (9,0 – 9,5 m p.c) 0 - 26 cm: limo argilloso da poco a mediamente consistente - 26 - 49 cm: da sabbia limosa a limo sabbioso con torba.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,0 % ghiaia; 3,3% sabbia; 57,1 % limo; 39,6 % argilla. Secondo la classificazione A.G.I.: "limo con argilla"

Permeabilità calcolata in cella edometrica **K: $1,25 \times 10^{-8}$ (cm/s).**

S6-C2 (12,7 – 13,2 m p.c) Limo argilloso inconsistente di colore grigio verdastro.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 1,5 % ghiaia; 12,1% sabbia; 47,5 % limo; 38,9 % argilla. Secondo la classificazione A.G.I.: "limo con argilla sabbioso"

Permeabilità calcolata in cella edometrica **K: $4,04 \times 10^{-9}$ (cm/s).**

S6-C3 (15,5 – 16,0 m p.c) Limo argilloso da poco a mediamente consistente colore grigio verdastro;

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,6 % ghiaia; 3,1% sabbia; 42,0 % limo; 54,3 % argilla. Secondo la classificazione A.G.I.: "argilla con limo"

Permeabilità calcolata in cella edometrica **K: $5,25 \times 10^{-9}$ (cm/s).**

S6-C4 (21,0 – 21,5 m p.c) Limo argilloso mediamente consistente colore grigio bluastro scuro.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,8% ghiaia; 1,3% sabbia; 32,8% limo; 65,1% argilla. Secondo la classificazione A.G.I.: "argilla con limo".

Permeabilità calcolata in cella edometrica **K: $2,69 \times 10^{-9}$ (cm/s).**

S6-C5 (27,0 – 27,5 m p.c) Limo argilloso da mediamente consistente a consistente con tratti sabbiosi, colore grigio verdastro a tratti grigio oliva chiaro.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,0% ghiaia; 2,9% sabbia; 49,2% limo; 47,9% argilla. Secondo la classificazione A.G.I.: "limo con argilla"

Permeabilità calcolata in cella edometrica **K: $3,12 \times 10^{-9}$ (cm/s).**

S7-C1 (16,5 – 17,0 m p.c) 0 - 20 cm: sabbia limosa colore grigio verdastro; 20 - 40 cm: sabbia limosa alternata a limo sabbioso argilloso colore grigio verdastro.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,4% ghiaia; 91,5% sabbia; 6,7% limo; 1,4% argilla. Secondo la classificazione A.G.I. risulta quindi sabbia debolmente limosa.

Permeabilità K_{20} (permeabilità riferita alla temperatura di 20°C) media: **$K:2,55 \times 10^{-3}$ (cm/s).**

S7-C2 (22,0 – 22,5 m p.c) 0 - 10 cm: limo argilloso inconsistente colore grigio verdastro - grigio oliva; 10 - 23 cm: limo argilloso poco consistente colore grigio oliva - grigio verdastro; 40 - 53 cm: limo argilloso, a tratti sabbioso, da mediamente consistente a consistente colore grigio verdastro - grigio oliva.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,1% ghiaia; 12,9% sabbia; 39,9% limo; 47,1% argilla. Secondo la classificazione A.G.I. risulta quindi “argilla con limo sabbiosa”.

Permeabilità calcolata in cella edometrica : **$K: 1,26 \times 10^{-9} / 6,3 \times 10^{-10}$ (cm/s).**

S7-C3 (27,0 – 27,5 m p.c): 0 - 12 cm: limo argilloso sabbioso consistente colore giallo oliva – oliva; 12 - 25 cm: limo argilloso sabbioso da poco a mediamente consistente colore oliva ; 25 - 39 cm: sabbia limosa addensata colore giallo oliva – oliva; 39 - 48 cm: limo argilloso alternato a limo argilloso sabbioso consistente colore oliva; 48 - 58 cm: sabbia limosa colore giallo oliva – oliva.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,0 % ghiaia; 86,3 % sabbia; 9,9 % limo; 3,8 % argilla. Secondo la classificazione A.G.I. risulta quindi: “sabbia debolmente limosa”.

Permeabilità K_{20} (permeabilità riferita alla temperatura di 20°C) media: **$4,00 \times 10^{-10}$ (cm/s).**

S7-C4 (29,0 – 29,5 m p.c): 0 - 25 cm: sabbia limosa debolmente argillosa mediamente addensata colore giallo - giallo oliva; 25 - 39 cm: limo argilloso con livelletti sabbiosi, consistente colore da verde grigiastro a giallo - giallo oliva; 39 - 53 cm: sabbia limosa addensata colore marrone grigiastro scuro.

La composizione granulometrica del campione di terreno è così suddivisa: 0,0 % ghiaia; 82,0 % sabbia; 12,6 % limo; 4,3 % argilla. Secondo la classificazione A.G.I. risulta quindi: “sabbia limosa”.

Permeabilità K_{20} (permeabilità riferita alla temperatura di 20°C) media: $8,49 \times 10^5$ (cm/s).

I parametri fisici rilevati vengono riassunti nella tabella seguente.

Campione	Prof. (m p.c.)	γ (g/cm ³)	W (%)	K_{edo} (cm/sec)	K_{20} (cm/sec)
S6 - C1	9,0-9,5	1,79	38,24	$1,25 \times 10^{-8} / 8,19 \times 10^{-9}$	-
S6 - C2	12,7-13,2	1,58	61,06	$8,80 \times 10^{-9} / 4,04 \times 10^{-9}$	-
S6 - C3	15,5-16,0	1,66	51,98	$7,70 \times 10^{-9} / 5,25 \times 10^{-9}$	-
S6 - C4	21,0-21,5	1,64	51,34	$4,09 \times 10^{-9} / 2,69 \times 10^{-9}$	-
S6 - C5	27,0-27,5	1,85	38,99	$3,44 \times 10^{-9} / 3,12 \times 10^{-9}$	-
S7 - C1	16,5-17,0	1,88	24,03	-	$2,55 \times 10^{-3}$
S7 - C2	22,0-22,5	1,96	25,91	$1,26 \times 10^{-9} / 6,3 \times 10^{-10}$	-
S7 - C3	27,0-27,5	1,87	23,37	-	$4,00 \times 10^{-4}$
S7 - C4	29,0-29,50	1,94	22,28	-	$8,49 \times 10^{-5}$

Tabella 4 - Parametri ricavati da prove di laboratorio (dove: γ , peso di volume naturale; W contenuto d'acqua allo stato naturale; K_{edo} permeabilità in cella edometrica; K_{20} permeabilità media a carico variabile riferita alla temperatura di 20°C).

PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO (PROVA LEFRANC)

La prova di permeabilità in foro nei terreni granulari (prova Lefranc) si esegue in fase di avanzamento della perforazione e permette di determinare il valore della conducibilità idrica e, quindi, del coefficiente di permeabilità dei terreni.

La modalità utilizzata è quella a carico variabile in abbassamento, avendo come normativa di riferimento le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'AGI (1977).

Per ogni prova sono state rispettate le seguenti prescrizioni:

- le pareti della perforazione sono state rivestite con una tubazione per tutto il tratto del sondaggio non interessato dalla prova;
- il tratto di prova (tasca) ha una lunghezza (L), variabile per ciascuna prova, e 101 mm di diametro (D);

- prima della prova si è provveduto alla preventiva saturazione del terreno da indagare riempiendo il foro fino a bocca-pozzo;
- dall'istante in cui è stata sospesa l'immissione dell'acqua è iniziata la misurazione dell'altezza del livello, annotando ora e minuti di inizio della prova; le letture del livello sono state eseguite ad intervalli frequenti di tempo registrando sia il livello dell'acqua (h) che il tempo (t) corrispondente a ciascuna lettura.

A seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di prova e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (Kh), quella verticale (Kv) o una media tra le due. In considerazione delle dimensioni della tasca utilizzata, essendo il rapporto $L/D > 1,2$ (con D diametro del foro), si stima di aver misurato una permeabilità Kh orizzontale.

Il valore del coefficiente di permeabilità è stato calcolato con la seguente formula:

$$K = A/C \cdot (t_2 - t_1) \cdot \ln(h_1/h_2)$$

dove:

A = area della base del foro (cilindrico) in prova;

L = lunghezza del tratto scoperto di prova;

C = coefficiente di forma uguale a L per $L > 2r$;

h1 = altezza del livello acqua al t1;

h2 = altezza del livello acqua al t2

t1-t2 = intervalli di tempo di lettura.

PROVA LEFRANC S6 L1

In data 24/11/2014 sono state eseguite tre prove di permeabilità in situ con metodo Lefranc, a tre differenti profondità, all'interno del foro del sondaggio S6 della durata di 60 minuti ciascuna.

La prima prova (**S6-L1**), è stata eseguita in un foro profondo 9,50 m dal piano campagna rivestito fino alla quota di 8,6 m; il tratto interessato dalla prova è stato dunque di 90 cm.

S6-L1 (da 8,60 a 9,50 m da p.c.)		
t (sec)	abbassamenti (m)	h colonna d'acqua dal fondo foro (m)
0	0	9,500
60	0,007	9,493
300	0,003	9,490
600	0	9,490
900	0,001	9,489
1200	0	9,489
1500	0	9,489
1800	0	9,489
2100	0	9,489
2400	0	9,489
2700	0	9,489
3000	0	9,489
3300	0	9,489
3600	0	9,489

Tabella 5 - Dati prova Lefranc S6L1

La rielaborazione dei dati ottenuti da questa prova ha fornito un valore del coefficiente di permeabilità dei terreni indagati pari a $K=1,33 \times 10^7$ cm/s.

PROVA LEFRANC S6 L2

La seconda prova (**S6-L2**) è stata eseguita in un foro profondo 13,2 m dal piano campagna rivestito fino alla quota di 11,6 m interessando dunque una tasca di 160 cm di lunghezza.

S6-L2 (da 11,60 a 13,20 m da p.c.)					
t (sec)	abbassamenti (m)	h colonna d'acqua dal fondo foro (m)	t (sec)	abbassamenti (m)	h colonna d'acqua dal fondo foro (m)
0	0	13,200	900	0,026	13,110
60	0,010	13,190	1200	0,025	13,085
120	0,006	13,184	1500	0,027	13,058
180	0,002	13,182	1800	0,020	13,038
240	0,005	13,177	2100	0,018	13,020
300	0,007	13,170	2400	0,017	13,003
360	0,007	13,163	2700	0,010	12,993
420	0,005	13,158	3000	0,016	12,977
480	0,004	13,154	3300	0,007	12,970
540	0,008	13,146	3600	0,013	12,957
600	0,010	13,136			

Tabella 6 - Dati prova Lefranc S6L2

La rielaborazione dei dati ottenuti da questa prova ha fornito un valore del coefficiente di permeabilità dei terreni indagati pari a $K=2,71 \times 10^6$ cm/s.

PROVA LEFRANC S6 L3

La terza prova (**S6-L3**), è stata eseguita una volta raggiunta la profondità di 20,60 m di profondità dal piano campagna rivestendo il foro fino alla quota di 21,50 m; il tratto interessato dalla prova è stato dunque pari a 90 cm.

<u>S6-L3 (da 20,60 a 21,50 m da p.c.)</u>		
t (sec)	abbassamenti (m)	h colonna d'acqua dal fondo foro (m)
0	0,0	21,5
60	0,0	21,5
300	0,0	21,5
600	0,0	21,5
900	0,0	21,5
1200	0,0	21,5
1500	0,0	21,5
1800	0,0	21,5
2100	0,0	21,5
2400	0,0	21,5
2700	0,0	21,5
3000	0,0	21,5
3300	0,0	21,5
3600	0,0	21,5

Tabella 7 - Dati prova Lefranc S6L3

Il coefficiente di permeabilità relativo alla prova è risultato essere pari a **K=0 (strumentale)**.

PROVA LEFRANC S7 L1

In data 19/11/2014 è stata eseguita una prova Lefranc all'interno del sondaggio 7 della durata di 90 minuti. La prova (**S7-L1**), è stata eseguita alla profondità di 18,50 m di profondità dal piano campagna mantenendo un tratto scoperto di prova di 50 cm.

S7-L1 (da 18,00 a 18,50 m da p.c.)					
t (sec)	abbassamenti (m)	h colonna d'acqua dal fondo foro (m)	t (sec)	abbassamenti (m)	h colonna d'acqua dal fondo foro (m)
0	0	18,5	1200	0,027	18,393
60	0,008	18,492	1500	0,027	18,366
120	0,007	18,485	1800	0,027	18,339
180	0,006	18,479	2100	0,024	18,315
240	0,006	18,473	2400	0,028	18,287
300	0,006	18,467	2700	0,025	18,262
360	0,004	18,463	3000	0,027	18,235
420	0,007	18,456	3300	0,025	18,21
480	0,005	18,451	3600	0,03	18,18
540	0,006	18,445	3900	0,02	18,16
600	0,003	18,442	4200	0,024	18,136
660	0,005	18,437	4500	0,025	18,111
720	0,004	18,433	4800	0,025	18,086
780	0,004	18,429	5100	0,022	18,064
840	0,004	18,425	5400	0,024	18,040
900	0,005	18,42			

Tabella 8 - Dati prova Lefranc S7L1

La rielaborazione dei dati ottenuti con questa prova ha portato a calcolare un valore coefficiente di permeabilità pari a $K=7,46 \times 10^{-6}$ cm/s.

Nella tabella seguente sono sintetizzati i risultati relativi al coefficiente di permeabilità ottenuti da tutte le prove Lefranc.

Prova Lefranc	Tratto di prova	K (cm/s)
S6-L1	da 8,60 a 9,50 m da p.c.	$1,33 \times 10^{-7}$
S6-L2	da 11,60 a 13,20 m da p.c.	$2,71 \times 10^{-6}$
S6-L3	da 20,60 a 21,50 m da p.c.	0 strumentale
S7-L1	da 18,00 a 18,50 m da p.c.	$7,46 \times 10^{-6}$

Tabella 9 Valori di permeabilità ottenuti con le prove Lefranc

I valori ottenuti permettono di definire i terreni indagati come terreni a permeabilità "praticamente nulla"

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' "k" in cm/sec (scala logaritmica)

	10 ⁻²	10 ⁻¹	1,0	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
PERMEABILITA'	BUONA			SCARSA			PRATICAMENTE NULLA					
TIPO DI TERRENO	GHIAIA PULITA	SABBIE PULITE, MISCOLANZE DI SABBIA PULITA E GHIAIA		SABBIE MOLTO FINI, LIMI ORGANICI E INORGANICI, MISCOLANZE DI SABBIE LIMO E ARGILLA, TILL GLACIALE, DEPOSITI STRATIFICATI DI ARGILLA, ECC			TERRENI IMPERMEABILI CIOE' ARGILLE OMOGENEE AL DI SOTTO DELLA ZONA INFLUENZATA DAGLI AGENTI ATMOSFERICI					
				TERRENI IMPERMEABILI MODIFICATI DALL'AZIONE DELLA VEGETAZIONE E DEGLI AGENTI ATMOSFERICI								

“Classificazione dei terreni in funzione della permeabilità”

Tabella 10 - Schema di classificazione dei terreni in funzione della permeabilità

I dati acquisiti da questa campagna hanno permesso di ottenere una descrizione litostratigrafica di dettaglio dei primi 30 metri al di sotto del piano campagna, per due settori dell'area di studio, uno compreso tra l'area investigata da Acque Spa nel 2002 e l'area oggetto di indagini in diversi anni da parte dell'Azienda Ospedaliera e l'altro più a sud di quest'ultima, e di attribuire un valore di permeabilità al livello argilloso sovrastante ai livelli acquiferi più profondi. In particolare questi dati mettono in evidenza:

Nei pressi del pozzo San Biagio 1 ubicato all'interno dell'area della centrale acquedottistica i terreni interessati presentano, a partire dal piano campagna, uno strato continuo di depositi argillosi e limosi di permeabilità molto bassa con spessore di oltre 40 metri, per poi incontrare 2 livelli sabbiosi, separati da uno strato argilloso.

Nel settore più meridionale, dove sono presenti i pozzi “San Biagio 4” e “San Biagio 7” si osserva la presenza di una lente di sabbia, rilevata nella perforazione del pozzo 7 e del Sondaggio S7, che interrompe la continuità laterale del livello argilloso superficiale a copertura dei livelli acquiferi sfruttati. Il livello argilloso risulta comunque presente a partire da 18 metri di profondità con una potenza minima di 17 metri, fino a 35 metri di profondità da piano campagna.

La permeabilità media dello strato di terreno più superficiale limoso argilloso presente nei pressi del Sondaggio S6 eseguito nell'area della centrale San Biagio, posto subito al di sotto dei primi metri di profondità dal piano campagna (determinata con analisi di laboratorio eseguite sui campioni di terreno prelevati in

fase di perforazione del sondaggio a carotaggio continuo) è risultata pari a $K=1.99 \cdot 10^{-8}$ cm/sec.

La permeabilità dello strato di terreno argilloso posto tra le quote di circa 18 e 35 m dal piano campagna presso il pozzo San Biagio 7, determinata con analisi di laboratorio eseguite sui campioni di terreno prelevati in fase di perforazione del sondaggio a carotaggio continuo S7, è risultata pari a $K=1.26 \cdot 10^{-9}$ cm/sec.

Per questo preciso sito è stato tenuto conto del valore di permeabilità ricavato da prova edometrica, relativo al campione rappresentativo dei sedimenti argillosi che caratterizzano i terreni rinvenuti dalla quota 18,3 del sondaggio S7 (S7 C2). Gli altri valori ricavati sono infatti evidentemente attribuibili a piccoli passaggi a sedimenti più sabbiosi (All. 4 – Campagna geognostica Acque 2014 – analisi di laboratorio) che costituiscono delle lenti di piccolo spessore presenti in modo discontinuo nell'area.

Ciò è desumibile dall'osservazione della stratigrafia del sondaggio S7 confrontata con quella del vicino pozzo San Biagio 7 supportata dai logs geofisici eseguiti all'interno del foro, a fine perforazione, prima di procedere al completamento con tubi e filtri; qui, infatti a conferma della sostanziale uniformità dei sedimenti a granulometria finissima presenti, è evidente una netta flessione verso sinistra (diminuzione) dei valori di resistività tra le quote comprese tra 15 e 30 m da piano campagna (All.4 Campagna geognostica Acque 2014 – Carotaggi geofisici in foro).

Nella stima del tempo di attraversamento darcyano si terrà comunque conto anche di questi valori di permeabilità attribuiti ai relativi strati per confrontarlo con quello ricavato assumendo il solo valore medio attribuito allo strato, per verificare quanto effettivamente incida nel calcolo la decisione presa di ritenerli trascurabili.

7. MODELLO CONCETTUALE

L'indagine aveva lo scopo di verificare la reale esistenza del livello di materiali argillosi la cui presenza, secondo dati bibliografici, si presenta costante da pochi metri al di sotto del piano campagna fino a circa 40 metri di profondità. Si intendeva quindi confermarne l'estensione e continuità orizzontale e verticale e la sua permeabilità, per conoscere il grado di protezione delle falde profonde, presenti nei livelli acquiferi sottostanti captati a fini acquedottistici.

Per questo motivo a conclusione dello studio sono state elaborate due sezioni idrogeologiche pressoché perpendicolari tra loro, nelle quali sono stati riportati i dati ottenuti nelle varie campagne geognostiche (Tav. 2 Planimetria dati di base, Tav. 5 Sezioni idrogeologiche).



La sezione AA' è stata eseguita lungo l'allineamento W-E da Via Bargagna fino all'area ospedaliera intercettando i pozzi Via Padule, Pozzo Bargagna 1 e 2 e Pozzo San Biagio 1; sulla sezione sono inoltre stati riportati i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nelle adiacenze dei pozzi (rispettivamente sondaggi S5, S4, S3), nell'ambito della campagna geognostica commissionata da Acque spa nel 2002 e il nuovo sondaggio S6 eseguito nel 2014 nelle adiacenze del pozzo San Biagio 1 (Tav. 2 – Planimetria dati di base e Tav. 5 –Sezioni idrogeologiche).

La sezione BB' è stata eseguita lungo l'allineamento NNO-SSE intercettando, da nord, i pozzi Ospedale Cisanello, Campo Sportivo, San Biagio 1, San Biagio 4 e San Biagio 7. Sulla sezione sono stati riportati anche i nuovi sondaggi S6 ed S7, in prossimità rispettivamente dei pozzi San Biagio 6 e San Biagio 7, i sondaggi S1 e S2 eseguiti nelle adiacenze dei pozzi Ospedale e Campo sportivo, nell'ambito della campagna geognostica commissionata da Acque spa nel 2002 e tre sondaggi eseguiti nelle diverse campagne geognostiche compiute dall'Azienda Ospedaliera e localizzati

tra i pozzi San Biagio 1 e San Biagio 4 (Tav. 2 – Planimetria dati di base e Tav. 5 – Sezioni idrogeologiche).

A livello generale dell'area di studio, la ricostruzione dei terreni eseguita con la stesura delle due sezioni idrogeologiche permette di formulare un modello idrogeologico ben definito in cui è la presenza di un livello continuo di depositi agillosi o argillo-limosi con spessore importante per tutta l'area indagata.

In particolare nei settori più settentrionale ed occidentale dell'area di studio, a partire dal piano campagna, dopo un livello di terreni sabbioso limosi di pochi metri (3, 5 m), è presente uno strato argilloso con spessore di oltre 40 m (Sez AA' Tav. 5 - Sezioni idrogeologiche) continuo ed omogeneo con valori medi di conducibilità dell'ordine di $1,66 \cdot 10^{-8}$ cm /sec, valore caratteristico di terreni impermeabili.

Tale strato tende a diminuire di spessore nell'area più meridionale (Sez BB' Tav. 5- Sezioni idrogeologiche) a favore di uno spessore maggiore del livello di sabbie limose superficiale, che in quest'area, particolarmente nel tratto A'B', raggiunge spessori di circa 10 -19 m.

Al di sotto di questa profondità si ritrova tuttavia lo stesso strato argilloso e argillo-limoso con valori di permeabilità media di $1,5 \times 10^6$ cm/sec fino a quote comprese tra 35 e 45 m da piano campagna, garantendo quindi una potenza di almeno 17 m di terreni praticamente impermeabili.

Al di sotto di questo strato si incontrano dei potenti livelli di sabbie medie e fini sede dell'importante falda acquifera sfruttata dai pozzi acquedottistici.

8. CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha permesso di confermare che i pozzi presenti nella zona hanno attraversato una serie di sedimenti a granulometria fine e medio fine del tutto concordante con la geologia della zona.

La stratigrafia ricostruita per l'intera area mostra la presenza di sabbie fini e medio fini che da uno spessore di 3,5 m nel settore più settentrionale tendono ad aumentare procedendo verso sud, fino ad arrivare ad una potenza massima di 18 m, al di sotto delle quali è presente un "pacco" di sedimenti argillosi (granulometria finissima) che si estende fino a 35/40 metri di profondità da piano campagna con una potenza minima di 17 metri di spessore nel settore più meridionale dell'area. Questi sedimenti argillosi, riferibili al punto 2 del paragrafo 3, costituiscono una potente

barriera protettiva impedendo alle acque della circolazione superficiale di venire a contatto con la circolazione profonda, target dei pozzi acquedottistici presenti nell'area. Questi sedimenti argillosi sono stati infatti analizzati in laboratorio per la determinazione della conducibilità idraulica che è risultata essere dell'ordine di 10^{-10} m/s.

Questo valore ci consente di affermare che si tratta di sedimenti impermeabili; in condizioni di gradiente unitario (infiltrazione verticale) la velocità darcyana coincide con la conducibilità idraulica e il tempo teorico di attraversamento darcyano, calcolato per l'area più meridionale, dove minore è la potenza dei terreni argillosi, considerando il valore di permeabilità medio attribuito al livello nel modello concettuale sarebbe di oltre 3000 anni.

Eseguendo il calcolo di dettaglio, considerando tutti i valori di permeabilità ricavati dalle analisi di laboratorio attribuiti ai relativi strati, il valore del tempo teorico di attraversamento darcyano risulta di circa 3000 anni. Anche applicando un coefficiente di sicurezza del 50% siamo ben al di sopra dei 40 anni indicati dall'accordo stato regioni del 12 dicembre 2002 come tempo di infiltrazione necessario per dichiarare un acquifero protetto.

Al di sotto di questi sedimenti impermeabili si trova una sequenza di sabbie fini riferibili al punto 3 del paragrafo 3 che costituiscono l'acquifero multi falda sfruttato dal campo pozzi di San Biagio.

Il Tecnico
Geologo Nicola Cempini

Riferimenti bibliografici

AS Progetti srl (2002) – Studio idrogeologico per la determinazione della estensione delle zone di rispetto relativamente ai pozzi di Via di Padule, Bargagna 1 e 2, Campo sportivo, Ospedale Cisanello – Acquedotto di Pisa. Acque SpA.

Amorosi A., Ricci Lucchi M., Rossi V., Sarti G. (2009) – Climate change signature of small-scale parasequences from Lateglacial–Holocene transgressive deposits of the Arno valley fill. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 273, pp. 142–152.

Baldacci F., Bellini L., Raggi G. (1994) – Le risorse idriche sotterranee della Pianura Pisana. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., serie A Vol. 101*, pp. 241-322.

Baldacci F. (1999) – Struttura e piezometria del «1° acquifero artesiano in ghiaie» della pianura pisana. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., serie A Vol. 106*, pp. 91-101.

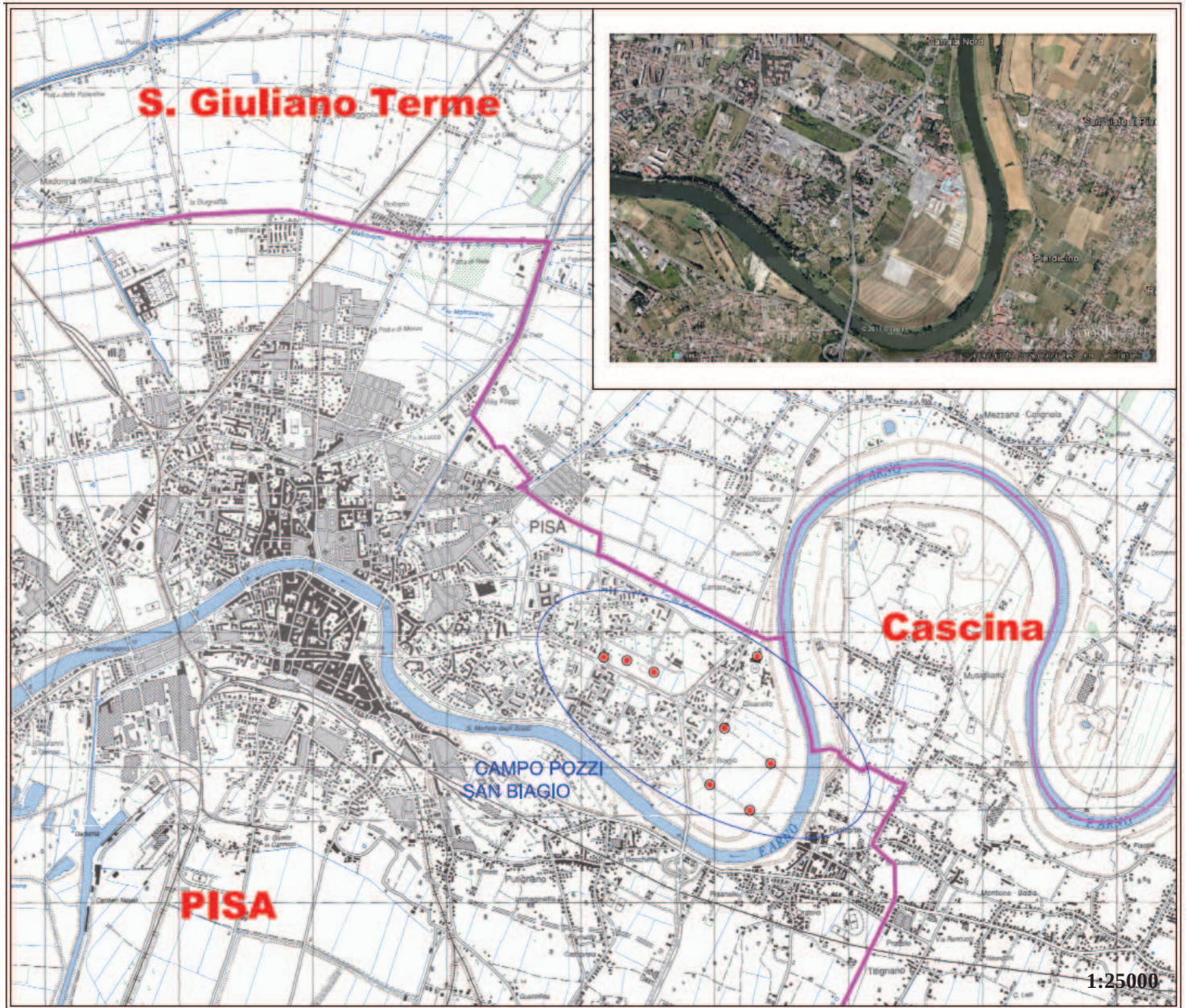
Bani Micheletti M. (2004) – Indagine idrogeologica finalizzata al reperimento di nuove fonti di approvvigionamento idrico ai fini idropotabili nell'area compresa tra Calci, Zambra e Colignola. Relazione tecnica, Studio Gaia.

Della Rocca R., Mazzanti R., Pranzini E. (1987) – Studio geomorfologico della Pianura Pisana. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, Vol. 10, pp. 56-84.

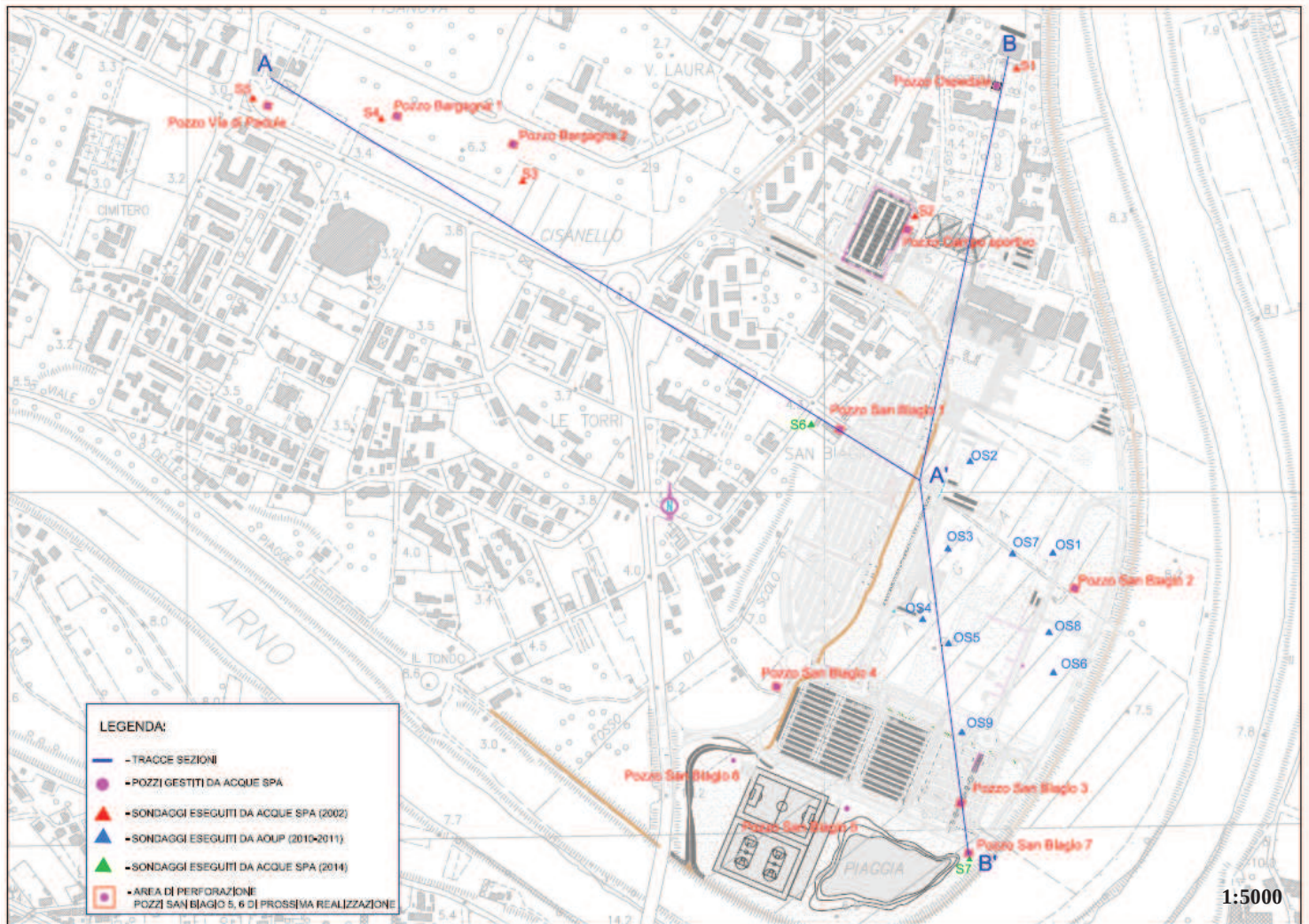
Fancelli R., Grifoni Cremonesi R., Mazzanti R., Menichelli S., Nencini C., Pasquinucci M. Tozzi C. (1986) – Evoluzione della Pianura di Pisa. Terre e paludi. Pontedera, pp. 25-39.

GEA Servizi per l'Ambiente SPA – Emungimento di acque per uso idropotabile da n° 7 pozzi siti in località Cisanello Comune di Pisa. Relazione tecnica, Acquedotto di Pisa – Sfruttamento di risorse idriche sotterranee ai fini idropotabili.

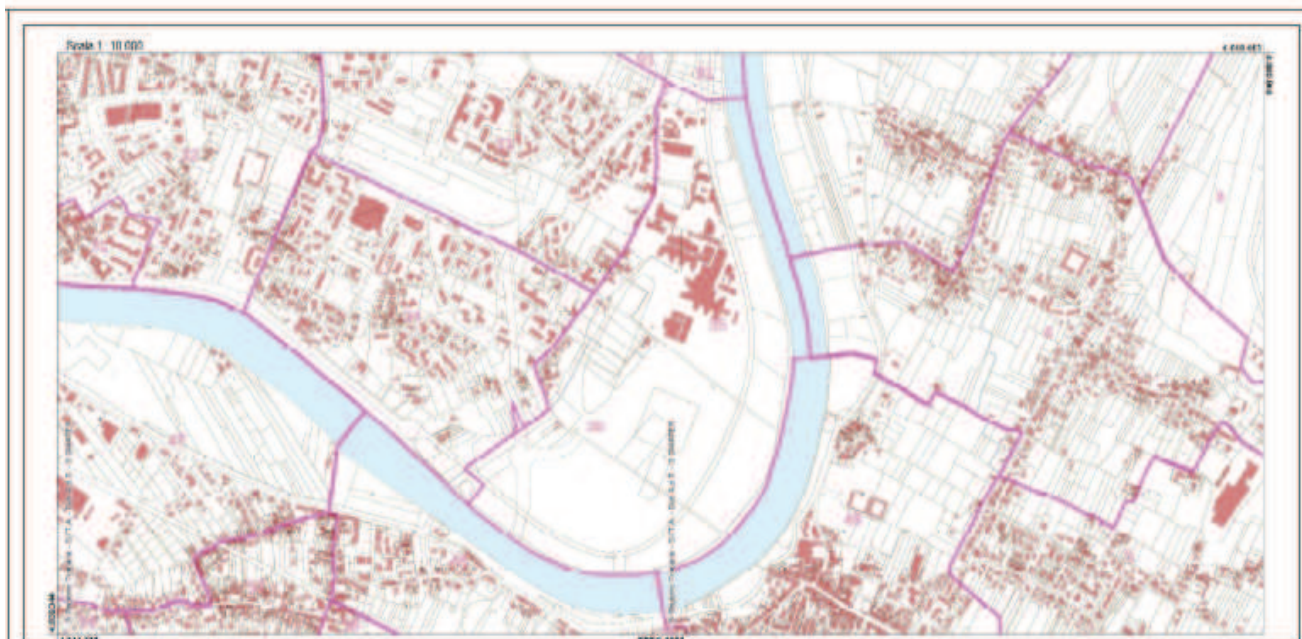
Tav. 1 Corografia



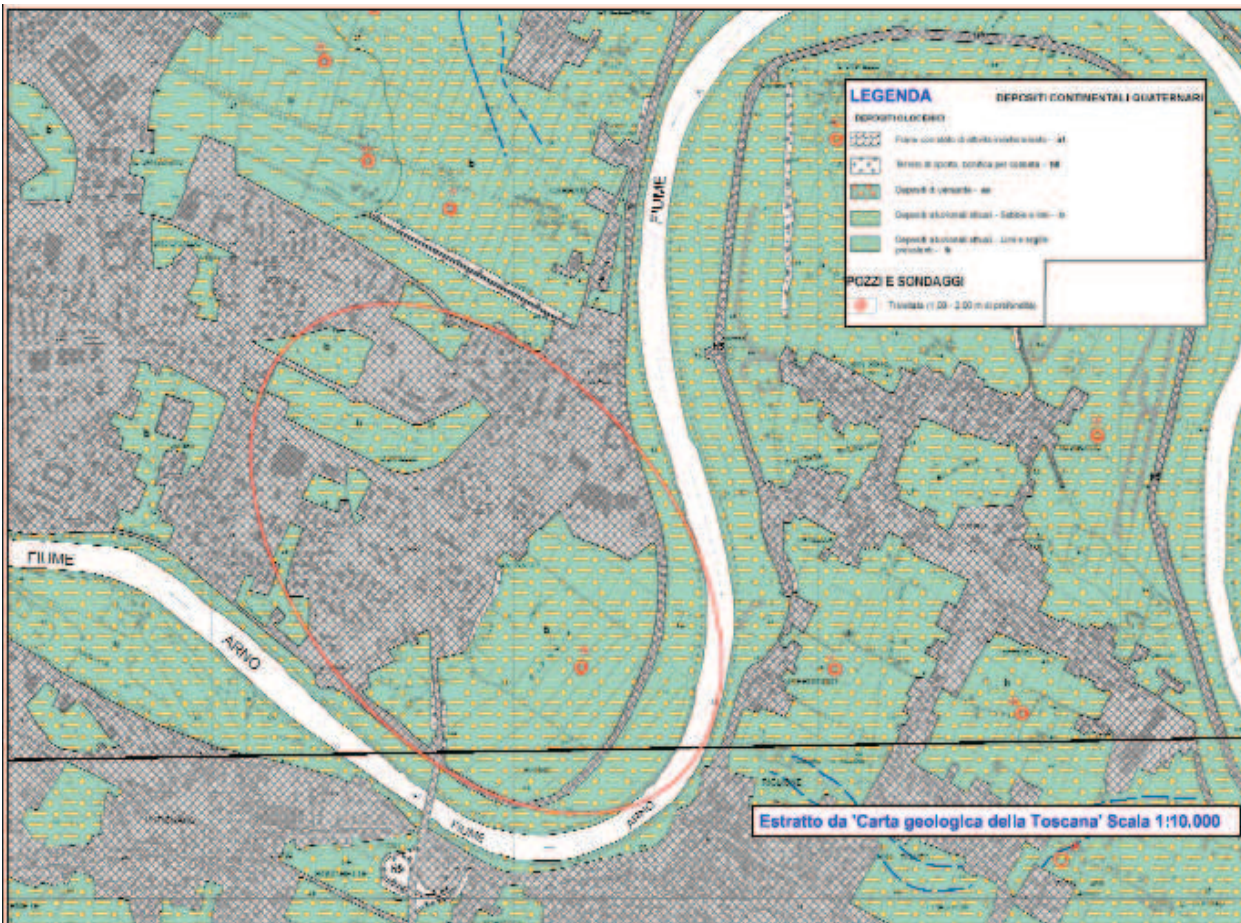
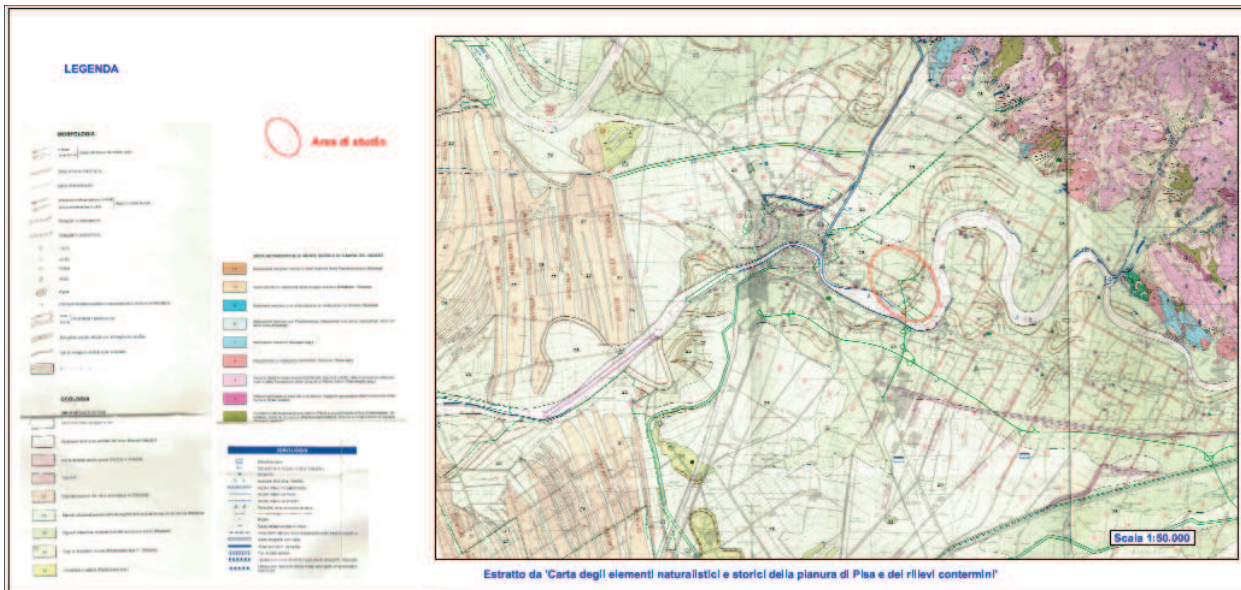
Tav. 2 Planimetria dati di base



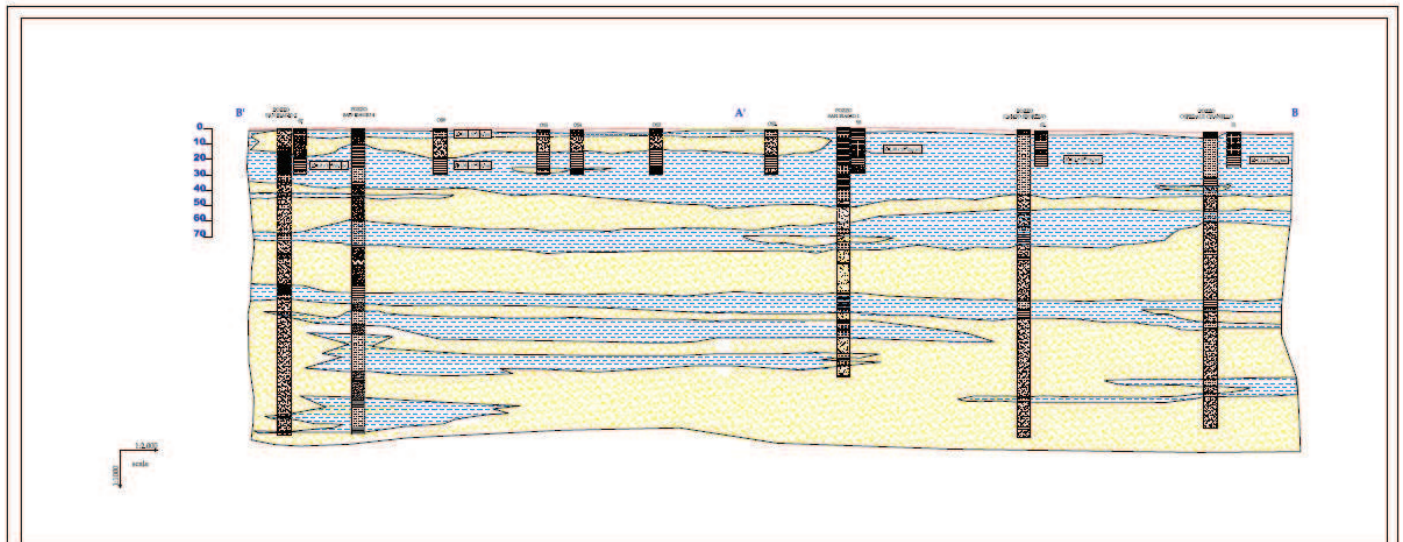
Tav. 3 Planimetria catastale



Tav. 4 Geologia



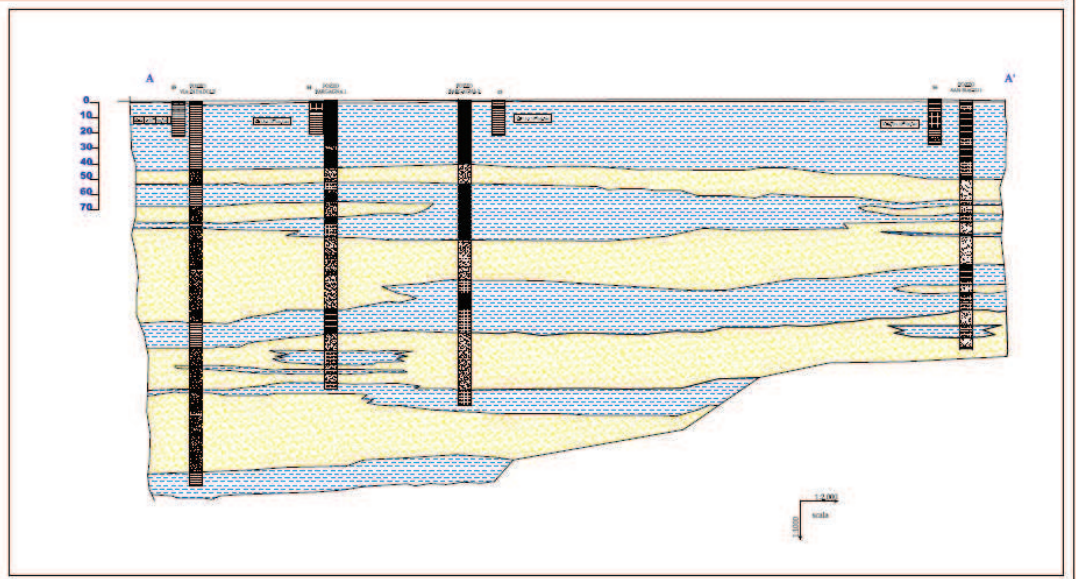
Tav. 5 Sezioni idrogeologiche



LEGENDA

DEPOSITI A BASSA PERMEABILITÀ
 Argille, argille limose e limi argillosi, sabbie fini limose

DEPOSITI A BASSA PERMEABILITÀ
 Sabbie



STUDIO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

INGEGNERI TOSCANI

COMUNE DI PISA
 Provincia di Pisa

**STUDIO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO
 NELL'AREA DEL CAMPO POZZI SAN BIAGIO**

Tav. 5 SEZIONI IDROGEOLOGICHE

Autore: ING. ROBERTO CECCHI	Progetto: ING. ROBERTO CECCHI
Revisione: ING. ROBERTO CECCHI	Disegno: ING. ROBERTO CECCHI

Rev.	Descr.	Aut.	Data

AUTORE: ING. ROBERTO CECCHI - VIA S. GIULIANA, 10 - 56122 PISA (PI) - TEL. 050/2399111 - FAX 050/2399112 - WWW.CECCHI.IT