



TREVI s.p.a.

FIRENZE PARCHEGGI s.p.a.

ELABORATO N.

**PP4**

**PROGETTO PER UN PARCHEGGIO INTERRATO  
IN PIAZZA BRUNELLESCHI A FIRENZE**

DESCRIZIONE ELABORATO

**PP4  
RELAZIONE GEOLOGICA**

<input checked="" type="checkbox"/>	PRELIMINARE	<input type="checkbox"/>	DEFINITIVO	<input type="checkbox"/>	ESECUTIVO
-------------------------------------	-------------	--------------------------	------------	--------------------------	-----------

PROT. N.	DATA	giugno 2012			
SOSTITUISCE IL N.					
AGG.	DATA	FIRMA	AGG.	DATA	FIRMA
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Committente:

FIRENZE PARCHEGGI s.p.a. - via Giorgio La Pira, 21 - Firenze

TREVI s.p.a. - via Dismano 5819 - Cesena

Progetto:

A.S.I. Progetti Integrati - via Q. Balducci 14/A - Prato  
Legale Rappresentante: prof. arch. Alberto Breschi

*progettisti opere architettoniche:* prof. arch. Alberto Breschi  
arch. Claudia Giannoni

*progettisti opere strutturali:* ing. Claudio Consorti  
ing. Andrea Vignoli

*progettisti opere impiantistiche:* ing. Andrea Carlesi  
ing. Daniele Bogani  
ing. Filippo Bogani

Consulenza geologica:

 H2O CONSULTING  
Via della Macchia 45/B  
00069 Trevignano R.no (RM)

dott. geol. Pierfrancesco Parisella

dott. geol. Giuseppe Tricarico



# **PARCHEGGIO SOTTERRANEO** **Piazza Brunelleschi**

## **STUDIO DI PREFATTIBILITÀ AMBIENTALE** **PROGETTO PRELIMINARE**

### **RELAZIONE GEOLOGICA ILLUSTRATIVA**

*15 Giugno 2012*

**H2Q Consulting S.r.l.** – Via della Macchia 45/B

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[Info@h2q.it](mailto:Info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze– Studio di Fattibilità .

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1	Articolazione delle fasi di lavoro .....	4
1.2	Inquadramento generale dell'area .....	5
1.3	Breve descrizione del progetto .....	7
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>9</b>
2.1	Caratteri tettonici e strutturali .....	9
2.2	Evoluzione geologica .....	10
2.3	Caratteri geomorfologici .....	16
2.4	Caratteri idrografici ed idrogeologici .....	17
<b>3</b>	<b>MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....</b>	<b>20</b>
3.1	Assetto stratigrafico .....	20
3.2	Aspetti geomorfologici .....	27
3.3	Circolazione idrica sotterranea .....	29
3.4	Caratteristiche geomeccaniche .....	30
3.5	Caratteri sismici .....	31
<b>4</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>36</b>

## Allegati

### Tav. 01 – Sezioni geologiche interpretative dell'area di intervento

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

## 1 PREMESSA

La società Trevi S.p.a., nell'ambito di un progetto preliminare per la realizzazione di un parcheggio interrato, da realizzarsi presso il sito di Piazza Brunelleschi nel comune di Firenze, ha conferito incarico agli scriventi per la redazione di una relazione geologica illustrativa a corredo di uno studio di prefattibilità ambientale.

Lo studio in questione costituisce uno strumento necessario attraverso il quale vengono analizzati gli aspetti fondamentali nelle valutazioni di fattibilità dell'opera in progetto e indicate le soluzioni più adeguate e meno impattanti per la sua realizzazione.

In quest'ottica, l'analisi di prefattibilità ambientale sarà tesa al controllo e alla verifica di una serie di elementi, di seguito elencati:

- accertamento della compatibilità dell'intervento con le prescrizioni degli strumenti paesaggistici, territoriali ed urbanistici sia a carattere generale che settoriale;
- analisi degli effetti prevedibili a seguito della realizzazione dell'intervento, e del suo esercizio, sulle componenti ambientali e sulla sicurezza e salute dei cittadini;
- illustrazione, in un'ottica di minimizzazione dell'impatto ambientale, delle ragioni della scelta del sito e della soluzione progettuale prescelta nonché delle possibili alternative localizzative e tipologiche;
- determinazione delle misure di compensazione ambientale e degli eventuali interventi di ripristino, riqualificazione e miglioramento ambientale e paesaggistico, con la stima dei relativi costi da inserire nei piani finanziari dei lavori;
- indicazione delle norme di tutela ambientale che si applicano all'intervento e degli eventuali limiti posti dalla normativa di settore per l'esercizio di impianti, nonché l'indicazione dei criteri tecnici che si intendono adottare per assicurarne il rispetto.

In questo contesto, pertanto, si inserisce la presente relazione geologica illustrativa, che inquadra il problema della "fattibilità geologica" dell'opera, in un'ottica ampia e di analisi complessiva del territorio interessato.

In particolare, gli obiettivi del presente lavoro si riassumono come segue:

- 1) classificare il territorio oggetto di intervento in funzione delle sue caratteristiche oggettive e del suo stato attuale, determinati dagli assetti geologico, geomorfologico, idrogeologico, sismico, ed urbanistico;
- 2) elaborare un programma di massima dei rilievi e delle indagini geognostiche e geotecniche necessarie nelle successive fasi di progettazione definitiva;

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

**00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183**

**[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007**

**Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.**

**TREVI S.p.a.**

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

- 3) fornire un documento quadro di norme di attuazione di carattere geologico–ambientale, da seguirsi nelle fasi di progettazione e nelle fasi di monitoraggio sia ante–operam, sia durante le fasi esecutive, sia post–operam.

### 1.1 Articolazione delle fasi di lavoro

Nella redazione della presente relazione, intendendo sviluppare una fase conoscitiva del sito oggetto di intervento, finalizzata alla definizione di un *modello geologico preliminare* relativo ad un'area sufficientemente vasta nell'intorno, si è proceduto in prima analisi con l'acquisizione della documentazione relativa agli aspetti progettuali generali dell'opera.

Successivamente si è provveduto ad eseguire un'accurata ricerca ed analisi della documentazione bibliografica disponibile di carattere geologico che, oltre alla cartografia ufficiale, ha preso in esame sia pubblicazioni scientifiche, sia risultanze di precedenti indagini geognostiche realizzate in aree limitrofe a quella in esame.

Sono stati inoltre consultati gli studi specialistici e le relative cartografie prodotti nel P.A.I. dell'Autorità di Bacino dell'Arno, nonché lo strumento di pianificazione urbanistica costituito dal Piano Strutturale del Comune di Firenze, quest'ultimo di fondamentale importanza in materia di rischio idraulico.

In ultimo è stata condotta anche una verifica in merito al regime normativo di carattere regionale in materia di costruzioni e di rischio sismico.

L'elenco completo della documentazione bibliografica consultata per l'elaborazione del presente lavoro, viene di seguito presentato.

**Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P.** (2004) – *Carta Geologica del substrato Litoide dell'area Fiorentina*. Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.

**Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P.** (2004) – *Carta Geologica dell'area Fiorentina*. Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.

**Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P.** (2004) – *Firenze: Carta Litotecnica*. Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.

**Agili F., Cecchi M., Coli M., Pini G. & Rubellini P.** (2004) – *Dati idrogeologici del sottosuolo del Comune di Firenze: Livelli piezometrici di morbida anni 1971 e2002* . Comune di Firenze & Università degli Studi di Firenze.

**Bartolini C. & Pranzini G.** (1981) – *Plio-Quaternary evolution of the Arno basin drainage*. Zeitschrift fuer geomorphologie. Suppl. BD40, 77-91.

**Briganti F., Ciufegni S., Coli M., Polimeni S. & Pranzini G.** (2003) – *Plio-Quaternary evolution of the Firenze area*. Boll. Soc. Geol. It., 122.

**Capecchi F. Guazzone G., & Pranzini G.** (1976) – *Ricerche geologiche ed idrogeologiche nel sottosuolo della pianura di Firenze* . Boll. Soc. Geol. It., XCVI (4), 661-692.

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

**00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183**

**[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007**

**Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.**

**TREVI S.p.a.**

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

**Coli M., Agili F. & Pranzini G.** (2003) – *Geological setting of the Firenze underground*. 4th Europ. Congr. on Reg. Cartography and inf. System, Bologna, 17-20/06/03.

**Coli M., Agili F., Pini G., & Coli N.** (2004) – *Firenze: il suo impatto sull'evoluzione geologica dell'area*. Atti Convegno AIQUA: "La Geologia del Quaternario in Italia, temi emergenti e zone d'ombra. C.N.R. Roma.

**Comune di Firenze** (2010) – *Piano Strutturale*.

**Pranzini G.** (2008) – *Idrogeologia della Piana Fiorentina*. Atti del convegno "Un Piano per la Piana: idee e progetti per un parco". Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino, Università degli studi di Firenze.

**Regione Toscana** (2003) – *Piano di tutela delle Acque della Toscana*. Vol. 1: Il bacino del fiume Arno. 318pp.

**Regione Toscana** – *Carta Geologica Regionale scala 1:10.000*. Foglio 263, Sez. 263150, 263160; Foglio 275 Sez. 275030, 275040, 275070, 275080.

**Servizio Geologico d'Italia** (1965) – *Foglio 106 "Firenze" in scala 1:100.000*.

**Vannucci G, Gasperini P., Boccaletti M., Loddo F.** – *Zonazione sismica di dettaglio dell'area urbana di Firenze e valutazione del rischio per i beni artistici e culturali*– GNGTS – Atti del 20° convegno nazionale / 04. 19.

## 1.2 Inquadramento generale dell'area

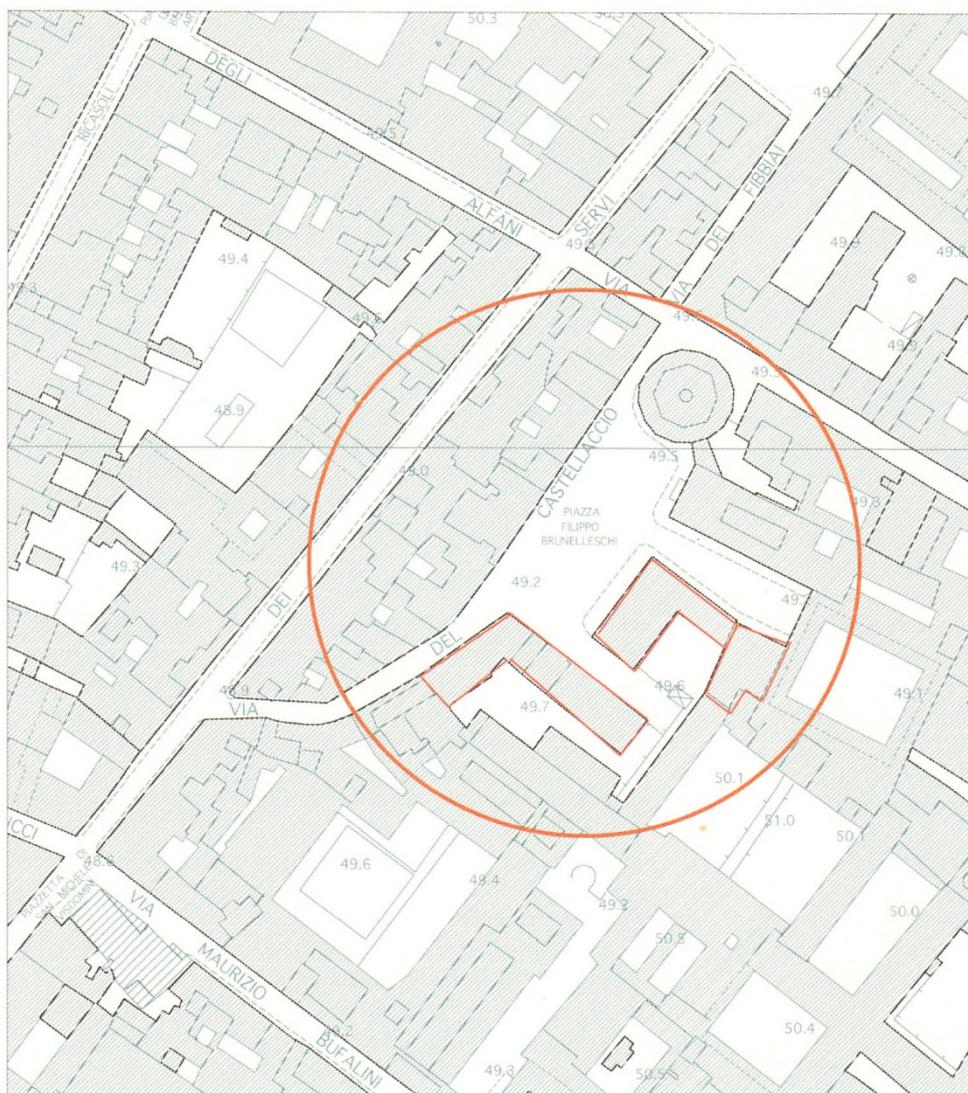
Piazza Brunelleschi ricade all'interno del centro storico di Firenze, in una posizione piuttosto importante per la vicinanza ad alcune siti di interesse storico e/o artistico, quali Piazza Santissima Annunziata, il Duomo con la Cupola del Brunelleschi ed il Museo dell'Accademia di Belle Arti solo per citarne alcuni. Adiacenti alla piazza sono inoltre presenti alcune strutture di primaria importanza per la città, come la Facoltà di Lettere e Filosofia e l'Ospedale di S. Maria Nuova.

La piazza è situata in una posizione strategica all'interno del centro storico di Firenze, trovandosi lungo l'asse viario costituito da Via degli Alfani – Via dei Pilastrini, il quale mette in comunicazione i due estremi della città, da Piazza Ghiberti verso Sud–Est alla Fortezza da Basso verso Nord–Ovest.

Con una forma irregolare dovuta ad un susseguirsi di interventi nel corso del tempo, la piazza è sede attualmente di un parcheggio a raso per autoveicoli, con una parte più antica costituita dal Convento di S. Maria degli Angioli, attualmente sede della Facoltà di Lettere, cui si affianca una costruzione recente (risalente agli anni '60), oggi sede della biblioteca della Facoltà di Lettere, che ne delimitano il margine orientale.

In corrispondenza del lato settentrionale, verso Via degli Alfani, è posizionata la "Rotonda", una tarda ricostruzione dei primi anni del '900 su progetto di Filippo Brunelleschi.

Tutto il margine occidentale della piazza è delimitato da un complesso di edifici a due e tre piani di epoca moderna, mentre lungo il lato meridionale ha sede un edificio di recente costruzione, a quattro e cinque piani, progettato da G. Michelucci.



**Fig. 1 – Stralcio da C.T.R.**

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**  
**00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183**  
**[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007**

**Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.**

**TREVI S.p.a.**

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .



**Fig. 2 – Ortofoto del sito in esame**

### **1.3 Breve descrizione del progetto**

L'intervento in progetto ha come obiettivo primario la realizzazione di un parcheggio interrato su due livelli e la riqualificazione generale di tutta la piazza, con la realizzazione di un nuovo edificio in luogo della Palazzina del Dipartimento di Costruzioni sul lato sud-orientale della piazza.

Il progetto proposto prevede in sintesi la realizzazione di una struttura costituita da due livelli interrati, nelle previsioni ubicati rispettivamente a profondità di circa 3,5 m e di 6,5 dal piano campagna.

A protezione dello scavo, lungo il perimetro del parcheggio, è prevista la realizzazione di pannelli di diaframma, nelle previsioni ciascuno di larghezza 250 cm e spessore di 65 cm, approfonditi fino a circa 18 m dal piano campagna e comunque, sulla base dell'effettivo assetto geologico-stratigrafico del

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**  
00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183  
[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

sito di intervento, fino a profondità tale da permettere un'intestazione di almeno 3–5 m all'interno di un banco argilloso.

In considerazione della profondità dello scavo, per limitare gli spostamenti e le sollecitazioni nei diaframmi, risulta indispensabile la creazione di vincoli a quote intermedie tra il piano campagna e la quota di fondo scavo.

Pertanto, in luogo della consueta realizzazione di diversi ordini di tiranti, i quali andrebbero certamente ad interferire con strutture di fondazione ed eventuali volumi interrati posti nelle proprietà confinanti, il progetto prevede il ricorso ad un sistema di controventamento all'interno del volume di scavo.

La soluzione ricercata consiste nel contrastare le azioni di spinta sui diaframmi per mezzo degli stessi solai che costituiranno gli orizzontamenti definitivi, ricorrendo ad una metodologia costruttiva tipo “*Top Down*”.

Inoltre, in ragione delle dimensioni dell'opera, è prevista la realizzazione di giunti tecnici in modo da suddividere la struttura in blocchi, allo scopo di garantire l'assenza di lesioni derivanti da possibili cedimenti differenziali e/o da effetti termici.

Le opere di impermeabilizzazione previste per la presenza di falda sono costituite da una barriera bentonitica a livello della platea di fondazione, proseguita in verticale sui diaframmi controterra per almeno 1 m al di sopra del livello massimo di falda. Inoltre, a maggiore garanzia di tenuta, nei giunti di platea saranno posizionati dei profili *waterstop*.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

### 2.1 Caratteri tettonici e strutturali

L'area in esame è situata in corrispondenza del margine Sud–Orientale della conca intra–montana rappresentata dal “*Bacino di Firenze–Prato–Pistoia*”, in una zona in cui ai processi della tettonica compressiva connessa alla strutturazione della catena appenninica settentrionale, sono successivamente seguiti i processi legati alla tettonica distensiva connessa all'apertura del Mar Tirreno.

In questa porzione di territorio, infatti, le formazioni pre–plioceniche, che costituiscono il substrato del bacino e che affiorano in corrispondenza dei rilievi circostanti, si mostrano accavallate in una serie di falde sovrapposte tra loro lungo piani di scorrimento a basso angolo (*piani di thrust*) con vergenza verso ENE, a testimonianza di fasi di tettonica compressiva legate sia all'orogenesi alpina, sia all'orogenesi appenninica, ed evolutesi a partire dal Cretaceo superiore fino al Miocene superiore.

Questa fase di tettonica compressiva, coeva con la fase di chiusura dell'oceano Ligure–Piemontese, provoca la strutturazione ed il sollevamento della catena nord-appenninica, coinvolgendo unità tettonico–sedimentarie (Unità Liguri, Unità Toscane, Unità Umbro–Marchigiane) costituite da litologie arenacee, calcaree, calcareo marnose ed ofiolitiche, derivanti da sedimenti provenienti da bacini di sedimentazione distinti sia per età che per localizzazione.

A partire dal Miocene medio–superiore la tettonica distensiva relativa all'apertura del bacino del Mar Tirreno, provoca uno smembramento della catena orogenica precedentemente impostatasi, con la formazione di una serie di depressioni tettoniche allungate longitudinalmente in direzione NW–SE, con età sempre più recenti procedendo da Ovest verso Est.

Si vengono così a formare, nell'area toscana, una serie di bacini lacustri intra montani (Lunigiana, Garfagnana, Mugello, Casentino, Valdarno superiore, Val di Chiana) tra cui quello di Firenze–Prato–Pistoia, delimitati da faglie a carattere distensivo, ed interamente colmati da sedimenti terrigeni ascrivibili al Quaternario (Villafranchiano medio–superiore).

Da quanto emerge dagli studi eseguiti nell'area, il bacino presenta una profondità massima del tetto del *bedrock* pari a circa 500–550 m (zona di Calenzano e di Campi Bisenzio), mentre risulta poco profondo nell'area dell'abitato storico di Firenze. Ciò a causa di una serie di faglie trasversali ad attività quaternaria, che hanno provocato una disarticolazione dello stesso substrato, con sollevamenti di alcune zone e ribassamenti di altre attigue.

Il profilo longitudinale del bacino appare pertanto asimmetrico, presentando una zona di alto strutturale in corrispondenza della zona di Firenze, tra Peretola e Scandicci a Nord–Ovest e Certosa a Sud–Ovest, delimitata da zone con forti ribassamenti, tra le quali quella compresa tra Sesto Fiorentino e Peretola in corrispondenza dell'area aeroportuale.

Altrettanto asimmetrico appare anche il profilo trasversale del bacino, con il fianco Nord- Orientale che si presenta piuttosto ripido, a causa della faglia ad andamento appenninico di S. Domenico di Fiesole, il cui rigetto è stato valutato in alcune centinaia di metri, ed il fianco Sud–Occidentale che viceversa si presenta meno ripido, con piccole faglie di rigetto poco rilevante.

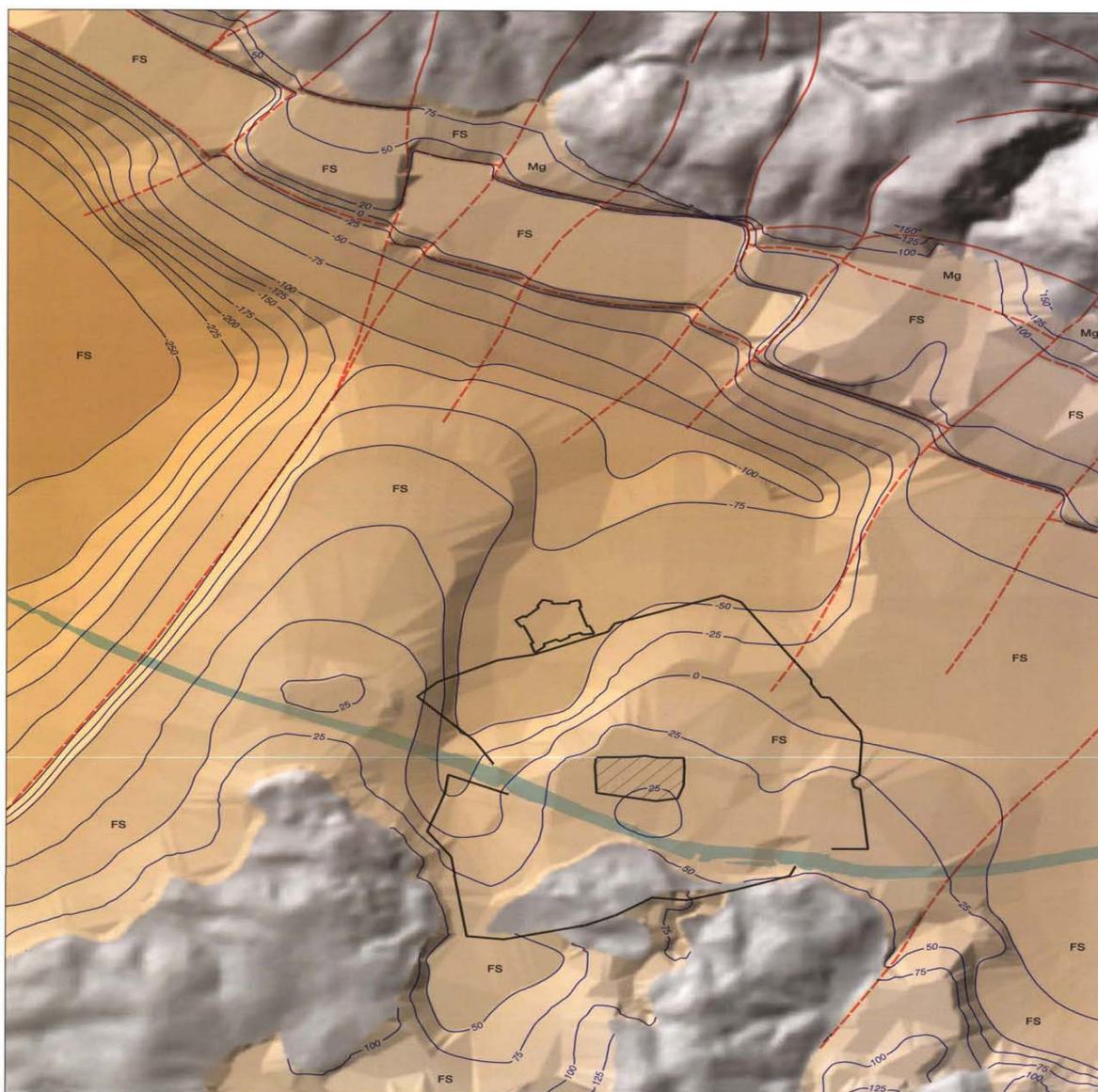
## 2.2 Evoluzione geologica

L'evoluzione geologica dell'area fiorentina può essere ricostruita a partire dal Pliocene, momento in cui l'attività delle faglie di Fiesole (ad andamento NW–SE e con rigetti verticali totali intorno ai 1000 m) e quella delle faglie trasversali (ad andamento NE–SW e con rigetti verticali complessivi nell'ordine delle centinaia di metri), determinano una disarticolazione e generale ribassamento del *bedrock* costituito dalla successione di sedimenti di età dal Giurassico superiore al Miocene (ofioliti, calcari, diaspri e argille del *Complesso Ofiolitifero*; arenarie, calcari marnosi e marne del *Gruppo della Calvana*; argille scagliose del *Complesso del Canetolo*; arenarie, siltiti ed argilloscisti del *Gruppo del Macigno*).

Dati relativi a perforazioni a carotaggio eseguite nell'area fiorentina permettono una sommaria ricostruzione dell'andamento della superficie di tetto del substrato litoide pre–pliocenico, il quale è stato osservato a debole profondità dal piano campagna (profondità < 20 m) nell'area del centro storico della città, tendendo ad approfondirsi verso NE, verso la zona dei viali e dei rilievi pedecollinari, ove raggiunge le massime profondità, finanche oltre i 170 m.

Spostandosi ad Ovest della cinta muraria della città, in corrispondenza del brusco gradino delineato dalla faglia trasversale Scandicci–Castello, si osserva un brusco ribassamento del substrato litoide, che si osserva a profondità di circa 100 m dal p.c., via via in aumento continuando a spostarsi verso i quadranti occidentali, ove lo stesso si intercetta a profondità anche superiori ai 600 m dal p.c. nella zona di Campi Bisenzio.

L'andamento del substrato litoide pre–pliocenico, rappresenta un elemento di fondamentale importanza nel quadro dell'assetto geologico–stratigrafico della città, in quanto lo stesso costituisce un vero e proprio *bedrock* potente e continuo, in grado di condizionare lo sviluppo della morfologia recente, controllare le dinamiche della circolazione idrica sotterranea dei vari acquiferi e di influenzare le diverse dimensioni della risposta sismica superficiale in funzione del contrasto di impedenza con i terreni più recenti e meno consolidati.



SUBSTRATO LITOIDE  
pre-Pliocene

**FS** - Formazione di Sillano - Pietraforte: prevalenza di argilliti alternanti a livelli calcareo-marnosi e calcareo-arenacei; arenarie quarzoso-carbonatiche. UNITA' LIGURI *Paleocene-Cretaceo Superiore*

**Mg** - Macigno (membro Modino) - Marne di San Polo: torbiditi arenacee e pelitico-arenacee; marne siltose. FALDA TOSCANA *Miocene Inferiore-Oligocene*



Ipsometria (curve di livello riferite al livello del mare)



Faglie del substrato litoide (certe, presunte)



Cinta muraria (cerchia dei viali)



Centro storico (città romana)

**Fig. 3 – Carta del Substrato litoide dell'area Fiorentina**

In corrispondenza dell'area in esame il substrato litoide è rappresentato, nella sua porzione di tetto riconducibile alle Unità Liguri – Unità di Monte Morello, da una serie di argilliti varicolori con

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**  
00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183  
[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

intercalazioni irregolari di torbiditi arenacee quarzoso-calcaree e calcarenitiche, marne grigio scure compatte e calcari marnosi (*FS – Formazione di Sillano*), cui seguono verso l'alto delle alternanze regolari di torbiditi arenacee e quarzoso calcaree in strati generalmente sottili (*P – Formazione di Pietraforte*).

A chiusura di questa serie, in corrispondenza dell'area di indagine, si rinviene una sequenza di calcari marnosi e marne calcaree di colore bianco giallastro, in strati da spessi a sottili, a luoghi alternati a livelli sottili di calcareniti e argilliti (*FM – Formazione di Monte Morello*).

A partire dal Pliocene superiore, in concomitanza con l'avvio di una fase di tettonica distensiva, ha inizio la deposizione di una successione di sedimenti, a riempimento del bacino via via in formazione, di ambiente fluvio-lacustre, in discordanza stratigrafica con le formazioni del *bedrock* sottostante.

Caratteristica peculiare di questa sedimentazione clastica è l'estrema variabilità di facies, sia in senso laterale, sia in senso verticale, con frequenti e repentine variazioni granulometriche che determinano la formazione di corpi litologici dai rapporti stratigrafici spesso piuttosto complessi, con geometrie lenticolari ed accostamenti laterali secondo superfici sedimentarie eteropiche e/o secondo superfici erosive anche ripetute.

Partendo dalla base della successione, si osserva dapprima la presenza di un orizzonte di depositi pre-lacustri, non sempre continuo lateralmente, direttamente sovrapposto al substrato litoide, costituito da depositi clastici grossolani, quali ghiaie e ciottolame in matrice limoso-sabbiosa cui sono intercalati livelli e lenti di limi argillosi di colore brunastro (SB1, SB3, SB4 – Sintema del Bacino di Firenze–Prato–Pistoia).

Al di sopra di questo orizzonte clastico grossolano poggia una sequenza di depositi lacustri, costituiti da limi argillosi e argille limose di colore grigio bluastrò, al cui interno possono rinvenirsi livelli a geometria lenticolare di ghiaie e sabbie in matrice limosa e, soprattutto verso il tetto, livelli con torbe, frustoli carboniosi, calici e paleosuoli (SB5, *Argille turchine* – Sintema del Bacino di Firenze–Prato–Pistoia).

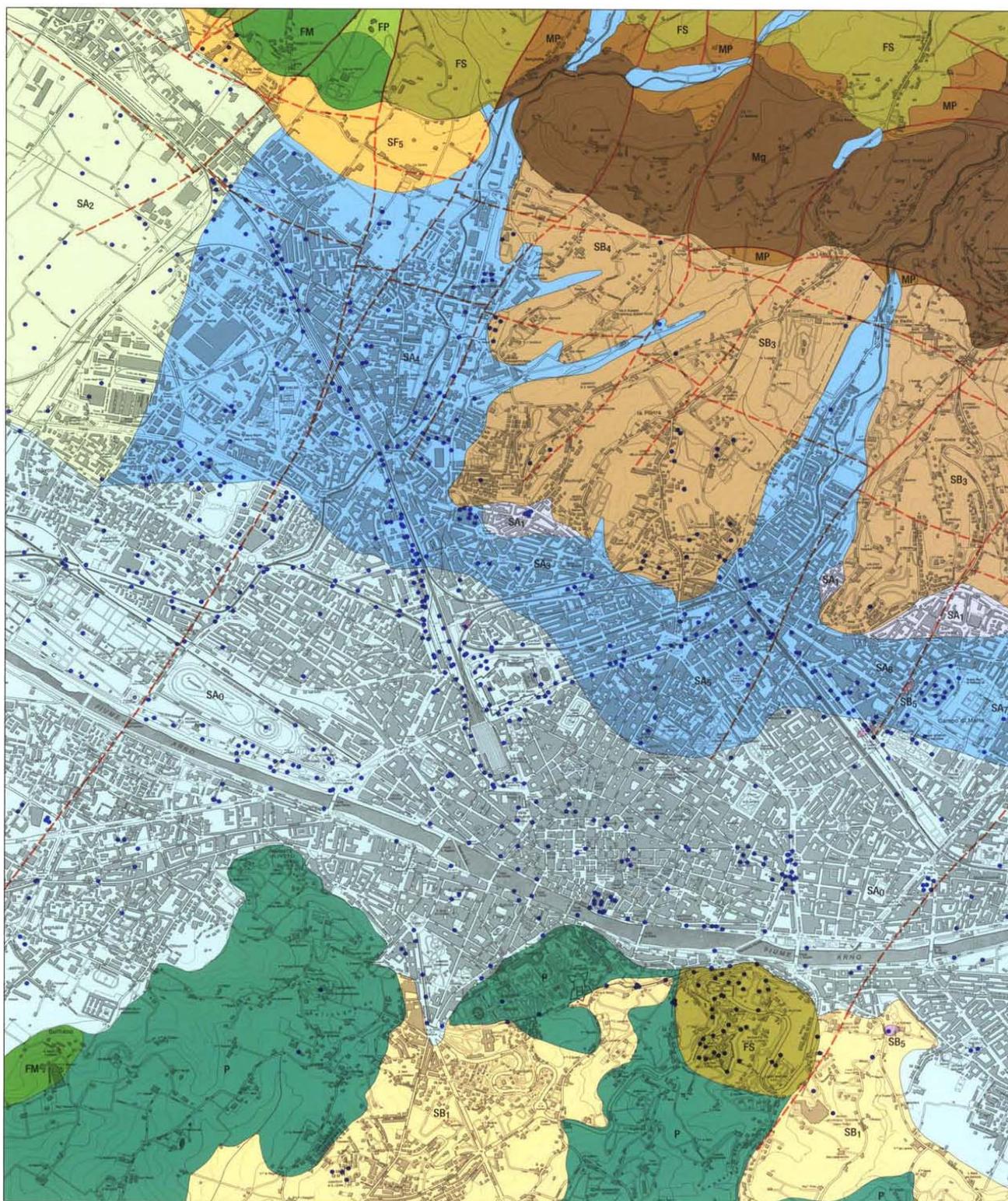
Proseguendo verso l'alto nella successione si rinviene un deposito ghiaioso-ciottoloso ad elementi ben evoluti, immersi in abbondante matrice sabbioso-limosa, al cui interno sono intercalati livelli sabbioso-limosi di colore brunastro, riconducibile all'azione diretta del corso del Paleo–Arno (*SF – Sintema di Firenze*) e osservato soprattutto in perforazioni eseguite in destra idraulica del Fiume Arno, nella parte di centro storico compresa tra lo stesso ed il corso del Torrente Mugnone.

A chiusura delle successioni descritte si ritrovano i depositi alluvionali recenti del Fiume Arno e dei suoi affluenti (*SA – Sintema Fiume Arno*), costituiti in prevalenza da ghiaie e ciottoli immersi in una più o meno abbondante matrice sabbioso-limosa, con livelli e/o lenti di sabbie spesso gradate, cui si

affiancano o sovrappongono depositi a granulometria prevalentemente limoso-sabbiosa e limoso-argillosa, più abbondanti man mano che ci si allontana dall'alveo ( $SA_0$  – Depositi d'Arno).

Questi sedimenti ricoprono, con spessori variabili da pochi metri ad alcune decine di metri, gran parte dell'area occupata dal centro storico, mentre spostandosi verso Nord e Nord-Est in direzione dei rilievi pedecollinari, vengono affiancati e gradualmente sostituiti da depositi torrentizi prevalentemente grossolani ( $SA_{3-7}$  – Depositi torrentizi) e da sedimenti clastici in facies di conoide alluvionale, costituiti da corpi ghiaioso-ciottolosi in scarsa matrice sabbioso-limosa mal classati e mal assortiti ( $SA_1$  – Depositi di conoide), del tutto assenti viceversa nelle aree pedecollinari in sinistra idraulica del Fiume Arno.

Nelle figure di seguito (Fig. 3 e Fig. 4) sono rappresentati uno stralcio dalla Carta Geologica del comune di Firenze, con la relativa legenda ove sono riportate le unità litologiche sopra descritte, suddivise per i rispettivi Sintemi di appartenenza, quest'ultimi definiti secondo i vari ambienti fluvio-lacustri o corsi fluviali di afferenza.



**Fig. 4 – Stralcio da Carta Geologica del Comune di Firenze**

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**  
**00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183**  
[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Inscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

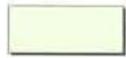
TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

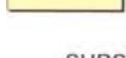
#### SA - SINTEMA DELL'ARNO *Olocene*

-  **SA<sub>0</sub>** Depositi d'Arno: costituiti principalmente da ciottolami e ghiaie, da puliti a sporchi, con livelli e lenti di sabbie, anche gradate; i 3-5 m superiori sono formati da limi più o meno sabbiosi, in relazione alla loro distanza dall'alveo; le ghiaie presentano frequenti episodi di erosione e sostituzione.
-  **SA<sub>3-7</sub>** Depositi torrentizi: si tratta di depositi d'alveo ghiaioso-ciottolosi, con abbondante matrice limoso-sabbiosa imballati in corpi limosi palustri e/o d'esonazione. La divisione tra i vari torrenti è stata fatta in funzione delle zone di pertinenza dei vari apparati torrentizi; hanno potenze variabili da pochi fino alla ventina di metri. Affrico (**SA<sub>7</sub>**), San Gervasio (**SA<sub>6</sub>**), Mugnone (**SA<sub>5</sub>**), Arcovata-Montughi (**SA<sub>3</sub>**), Terzolle-Lastra (**SA<sub>4</sub>**).
-  **SA<sub>2</sub>** Depositi palustri: depositi limno-palustri delle residue zone umide ad ovest della città e nella pianura tra Campi e Sesto-Castello; ha potenza di un paio di metri nella zona settentrionale, fino a qualche metro nella zona meridionale della pianura.
-  **SA<sub>1</sub>** Depositi di conoide: ghiaie in matrice limoso-sabbiosa (derivano tutti da erosione dei terreni villafranchiani dei rilievi pedecollinari settentrionali), mal classati e mal assortiti; hanno potenza di alcuni metri.

#### SF - SINTEMA DI FIRENZE *Pleistocene Superiore*

-  **SF<sub>5</sub>** Depositi di margine: limi bruni ghiaiosi a clasti spigolosi centimetrici di natura eminentemente carbonatica.

#### SB - SINTEMA DEL BACINO DI FIRENZE-PRATO-PISTOIA *Pleistocene Inferiore-Pliocene Superiore*

-  **SB<sub>5</sub>** Argille Turchine: depositi limoso-argillosi lacuali costituiti da massicci corpi di argille-limose grigio bluestre; all'interno di questo corpo principale sono presenti livelli e lenti di ghiaie e sabbie, in genere sporchi; verso l'alto passano a limi bruni, a luoghi varvati, con torbe, frustoli carboniosi, calici e paleosuoli.
-  **SB<sub>3</sub>** paleo-Mugnone: ciottolami e ghiaie in matrice limoso-sabbiosa e corpi limoso-argillosi bruni.
-  **SB<sub>4</sub>** paleo-Terzolle: ciottolami e ghiaie, spesso sabbiosi, e lenti di limi argillosi bruni.
-  **SB<sub>1</sub>** paleo-Ema/Greve: ciottolami e ghiaie in matrice sabbiosa.

#### SUBSTRATO LITOIDE *pre-Pliocene*

- UNITA' LIGURI -UNITÀ DI MONTE MORELLO**
-  **FP** Argilliti di Pescina: abbondanti argilliti, con intercalazioni di calcari verdastrì e arenarie calcaree, e di calcari marnosi e marne calcaree chiare, in grossi banchi con rari livelli basali calcarenitici. *Eocene Medio-Inferiore*
-  **FM** Formazione di Monte Morello: calcari marnosi, calcari chiari tipo Alberese e marne calcaree di colore bianco giallastro in strati da pochi cm a qualche metro, a luoghi alternati a livelli calcarenitici e ad argilliti. *Eocene Medio-Paleocene*
-  **P** Pietraforte: regolare alternanza di torbiditi arenacee quarzoso-calcaree grigio bruno in strati da 25 cm ad 1 m, argilliti siltose di colore grigio scuro in livelli di 15-20 cm; affiora sui rilievi di Arcetri-Giramonte, e nell'area del Giardino di Boboli-Forte Belvedere. Costituisce un corpo all'interno della parte alta della Formazione di Sillano. *Cretaceo Superiore*
-  **FS** Formazione di Sillano: argilliti varicolore con irregolari intercalazioni di torbiditi arenacee quarzoso-calcaree e calcarenitiche in strati da 10 cm ad 1 m, marne grigio scure compatte con laminazioni in livelli metrici, calcari marnosi grigio chiari ed avana giallastri ("Pietra Paesina") in strati da 15 cm ad 1 m, e brecciole ofiolitiche, spesso gradate, con clasti centimetrici a spigoli vivi (costituiti da calcare, serpentina, diabase, diaspro) immersi in una matrice siltoso-sabbiosa a cemento carbonatico. *Eocene Inferiore-Cretaceo Superiore*
- FALDA TOSCANA**
-  **MP** Marne di San Polo: marne siltose grigio giallastre con rare intercalazioni di arenarie fini. *Miocene Inferiore-Oligocene*
-  **Mg** Macigno: torbiditi arenacee quarzoso-feldspatiche gradate, da medie a grossolane con rapporto sabbia/pelite >1, in banchi anche amalgamati di spessore massimo di 8 m e raramente inferiore al mezzo metro, con intercalazioni di torbiditi arenacee fini e torbiditi siltoso-argillose in strati di spessore inferiore ai 30 cm. *Miocene Inferiore-Oligocene*
-  Faglie del substrato litoide (certe, sepolte)  Ubicazione sondaggi geognostici

**Fig. 5 – Legenda Carta Geologica del Comune di Firenze**

### 2.3 Caratteri geomorfologici

La morfologia del territorio fiorentino è fortemente influenzata dall'assetto tettonico strutturale instauratosi, a partire dal Pliocene superiore, con la formazione della depressione tettonica del "Bacino di Firenze–Prato–Pistoia", sede di un ambiente di tipo fluvio–lacustre a partire dal Villafranchiano.

Questo bacino, che si pone a quote mediamente intorno ai 45 m s.l.m., si sviluppa con una forma allungata in direzione NW–SE per una lunghezza complessiva di circa 45 Km ed una larghezza di circa 10 Km, risultando delimitato a Nord dal gruppo dei Monti della Calvana e di Monte Morello, che raggiungono quote fino a 900 m s.l.m., a Sud dal Montalbano e dai rilievi collinari di Montegufoni e dell'Impruneta, con quote massima fino a 600 m s.l.m..

L'abitato di Firenze ricade proprio in corrispondenza del margine Sud–orientale del bacino, ove quest'ultimo tende a richiudersi compreso tra la fascia pedecollinare dei rilievi di Fiesole a Nord, di Bagno a Ripoli a Est e di Bellosguardo, San Gaggio e Monte alle Croci a Sud.

L'evoluzione morfogenica del bacino inizia a partire dal Pliocene superiore, momento in cui la formazione di una depressione a carattere endoreico esercita un'azione di richiamo dei corsi d'acqua che sfociavano nelle pianure costiere ubicate nelle attuali zone di San Casciano e Montelupo. Questi corsi d'acqua pertanto, caratterizzati anche da un ingente trasporto solido, cominciano a scaricare il loro materiale all'interno del bacino lacustre di neo formazione, dando luogo inoltre alla formazione di ampie conoidi alluvionali.

A partire dal Pleistocene, il sollevamento per cause tettoniche dell'area fiorentina condiziona l'evoluzione del bacino, con il permanere di un ambiente lacustre–palustre nelle aree occidentali (area di Casellina–Cascine Careggi) e l'alternarsi di attività di erosione e deposizione fluviale nelle aree orientali.

L'attuale morfologia del territorio fiorentino è il frutto soprattutto degli eventi avvenuti a partire dalla fine del Pleistocene, con la formazione di un reticolo idrografico avente come livello di base il corso del Fiume Arno, le cui dinamiche sono controllate dalle fluttuazioni glacio-eustatiche e dipendenti pertanto dall'alternanza di fasi climatiche glaciali ed inter-glaciali.

Durante l'ultimo glaciale, a causa di una forte regressione del livello medio del mare, si instaurano le condizioni per lo sviluppo di un'intensa fase erosiva, tale da portare l'Arno ed i suoi affluenti ad incidere profondamente i precedenti sedimenti lacustri villafranchiani. Successivamente il progressivo innalzamento del livello marino comporta una crescente fase di alluvionamento dei terreni precedentemente incisi, con deposizione di sedimenti grossolani in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua e via via più fini allontanandosi dagli stessi.

Questa fase culmina con la recente migrazione del corso dell'Arno, che si sposta da Nord-Est verso Sud-Ovest, assumendo un andamento meandriforme e andando ad intaccare la base dei rilievi collinari di San Miniato e di Bellosguardo.

La pianura fiorentina si configura pertanto come un'area di tipo alluvionale, essendo stata fino ad oggi soggetta a fenomeni di esondazione e di erosione laterale dei corsi d'acqua talora anche molto accentuati.

Il fiume Arno attualmente scorre nella porzione meridionale della pianura, caratterizzato da una linearità artificiale e da processi di approfondimento in alveo, dovuti ad interventi antropici eseguiti nelle zone di monte, che negli ultimi 130 anni circa hanno raggiunto valori dell'ordine dei 4 – 6 m.

Lo sviluppo della città di Firenze, che sulla base dei dati storici può essere fatto risalire a partire dal 59 a.c., ha visto l'alternarsi di diverse fasi di costruzione ed ampliamento con momenti in cui parti della città venivano altresì demolite e ricostruite per far fronte alle nuove esigenze di ammodernamento e di funzionalità.

Si è venuta così a creare, nel corso del tempo, una coltre di materiali di riporto antropico che, in alcune aree della città, raggiunge spessori rilevanti, con modifiche anche significative della morfologia originaria di alcune fasce di territorio.

Escavazioni, scarichi di detriti, colmate per operazioni di bonifica, hanno pertanto determinato l'attuale assetto morfologico, soprattutto attraverso le opere di deviazione, canalizzazione o totale tombamento degli originari corsi d'acqua che solcavano la pianura fiorentina.

## **2.4 Caratteri idrografici ed idrogeologici**

I caratteri idrografici dell'area fiorentina risultano notevolmente influenzati dagli innumerevoli interventi antropici succedutisi nel tempo durante l'evoluzione del tessuto urbano.

Il corso d'acqua principale che solca il territorio comunale è rappresentato dal Fiume–Arno, il quale rappresenta il livello di base locale di tutto il reticolo di fossi e torrenti che solcano l'area fiorentina.

Gli interventi antropici che hanno caratterizzato le diverse fasi di crescita urbanistica della città, con la bonifica delle aree paludose, hanno provocato sostanziali alterazioni del reticolo idrografico, con corsi d'acqua deviati dal loro percorso originario o che spesso scorrono interrati e solo in parte canalizzati.

In destra idraulica dell'Arno, ad eccezione del Torrente Mugnone, sono presenti affluenti di origine recente, impostatisi in erosione sui sedimenti villafranchiani, caratterizzati da un regime idraulico di tipo torrentizio, presentandosi con tragitti brevi e piuttosto acclivi nelle zone di monte, viceversa canalizzati, deviati o coperti nell'area urbana di pianura.

In sinistra idraulica dell'Arno degli antichi affluenti oggi rimane solo la testimonianza del Fosso di San Rocca, il cui corso scendeva dalla località San Gaggio lungo una vallecchia compresa tra le colline di Boboli e Bellosguardo, per poi sfociare nell'Arno all'incirca in corrispondenza dell'attuale Ponte alla Carraia, nei pressi dell'area oggetto di intervento. Successivamente questo fosso venne utilizzato per l'alimentazione dei fossati posti intorno alla seconda cerchia di mura della città, per poi scomparire definitivamente con la costruzione della terza cerchia di mura.

Il sottosuolo della pianura fiorentina, che ospita un acquifero sede di una falda idrica freatica molto importante per estensione e potenzialità, è costituito da diversi complessi idrogeologici, con caratteristiche di permeabilità variabili e strettamente dipendenti dalla costituzione delle singole unità litologiche.

Il substrato di base che funge da sostegno della circolazione idrica sotterranea (*acquiclude*) è costituito dal complesso idrogeologico roccioso delle Formazioni di Sillano e di Pietraforte, rappresentate da calcari marnosi, marne, arenarie ed argilliti, generalmente di bassa permeabilità a meno della presenza di orizzonti fratturati che ne aumentano localmente la conducibilità idraulica.

Al di sopra di questo substrato poggia tutta la successione dei terreni di origine alluvionale, caratterizzata da una sequenza basale di sedimenti lacustri limoso argillosi con intercalazioni di livelli e/o lenti di ghiaie e sabbie, cui segue una sequenza di depositi fluviali a granulometria prevalentemente grossolana, la cui deposizione è riconducibile all'azione del Fiume Arno e dei suoi affluenti (T. Mugnone, T. Affrico, T. Terzolle, T. Mensola, etc.).

Dal punto di vista idrogeologico la copertura dei depositi alluvionali può essere schematicamente così suddivisa, procedendo dall'alto verso il basso:

- Orizzonte Firenze 1: a granulometria limoso sabbiosa e/o limoso argillosa, di spessore variabile tra 2 e 7 m, costituito da depositi di esondazione dell'Arno e da riporti antropici, con permeabilità nell'ordine dei  $10^{-7}$  m/sec che ne identifica caratteristiche di acquitardo.
- Orizzonte Firenze 2: costituito da ghiaie e ciottoli, raramente sabbie, al cui interno sono intercalate lenti di limi sabbiosi e argillosi, con uno spessore variabile fino ad un massimo di 20 m e permeabilità altrettanto variabili, comprese tra  $10^{-3}$  e  $10^{-7}$  m/sec, che ne determinano la caratteristica di corpo acquifero principale.
- Orizzonte Firenze 3: confrontabile, dal punto di vista litologico, all'orizzonte soprastante, rispetto al quale presenta generalmente un maggior contenuto nella matrice limosa, ma spesso difficilmente distinguibile dallo stesso, soprattutto quando tra i due non è presente un caratteristico livello limoso–argilloso di alcuni metri di spessore. Presenta permeabilità in genere più basse rispetto all'orizzonte 2, potendo comunque essere sede di significative circolazioni idriche sotterranee.

- Orizzonte Firenze 4: costituito da una successione di limi argillosi e argille limose, con rare intercalazioni di ghiaie a matrice limo-argillosa, di spessore variabile e stratigraficamente sottostante all'orizzonte 2, caratterizzato da una bassa permeabilità.

Questa schematizzazione, decisamente significativa a scala regionale, assume un carattere puramente indicativo a scala locale, in virtù delle caratteristiche di notevole variabilità ed eterogeneità dei terreni alluvionali, le quali condizionano in maniera determinante i caratteri della circolazione idrica sotterranea.

L'acquifero costituito dalla coltre dei terreni alluvionali è sede di una falda freatica che, nell'area della piana fiorentina, si riscontra generalmente a profondità comprese tra 1 e 10 m, variabili anche in relazione al periodo stagionale e che trova la sua alimentazione dai corsi d'acqua, dalle piogge efficaci ricadenti nell'area della piana, e dalle acque di ruscellamento superficiale che scendono dai rilievi collinari e si infiltrano nei detriti di versante e nei depositi eluvio-colluviali presenti nella fascia pedecollinare.

La circolazione idrica sotterranea si estende per lo più all'interno degli orizzonti clastici grossolani delle alluvioni dell'Arno e dei suoi affluenti (Orizzonte Firenze 2), i quali sono presenti in maniera pressoché continua nel sottosuolo di gran parte della pianura fiorentina. Solo in corrispondenza delle parti marginali della pianura, ove l'orizzonte superiore limoso-argilloso presenta spessori maggiori e la superficie piezometrica tende a raggiungere quote prossime alla superficie topografica, si determinano condizioni tipiche di falda semiconfinata.

La ricostruzione dell'andamento delle superfici isofreatiche, indica un flusso idrico dalle colline verso la valle con una componente verso Ovest, in accordo con il verso di scorrimento dell'Arno.

In corrispondenza di un paleoalveo dell'Arno, tra l'area di Campo di Marte ed il centro storico, si osserva, in maniera abbastanza evidente, un asse di drenaggio sotterraneo connesso sia ad un'elevata trasmissività dei depositi, sia ad una doppia alimentazione dell'acquifero dai rilievi collinari posti a Nord e a Sud del corso d'acqua.

L'Arno esercita un'azione di alimentazione della falda nel suo primo tratto in pianura, circa fino all'altezza di Ponte S. Niccolò, mentre nel resto del suo corso all'interno dell'area fiorentina, a causa dell'abbandono dei pozzi dell'acquedotto fiorentino e di molti altri pozzi privati con conseguente rialzo della superficie piezometrica, si osserva un'alternanza di tratti "drenanti" con tratti viceversa "alimentanti".

### 3 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

#### 3.1 Assetto stratigrafico

Piazza Brunelleschi è ubicata in destra idraulica del Fiume Arno, all'interno della vasta area di piana alluvionale compresa tra l'attuale alveo del corso d'acqua a Sud e la fascia pedecollinare di La Pietra e Camerata a Nord.

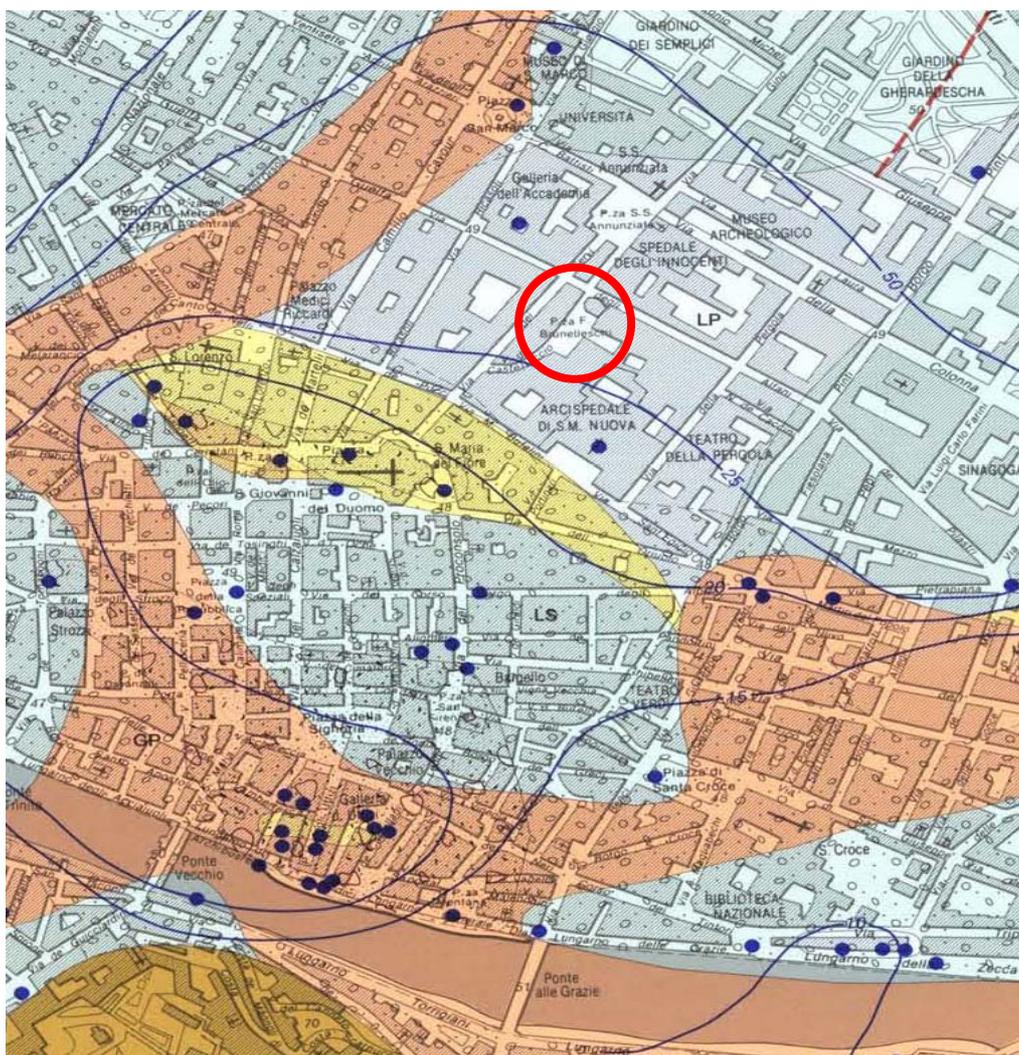
La suddetta fascia pedecollinare rappresenta un antico terrazzo alluvionale costituito dai depositi d'alveo del Torrente Mugnone, rappresentati da ghiaie e ciottoli immersi in abbondante matrice limoso-sabbiosa, imballati all'interno di corpi limosi e limo-sabbiosi di ambiente fluvio-palustre.

Spostandosi verso il sito in esame si entra pienamente all'interno della piana alluvionale dell'Arno, caratterizzata in questa zona da un approfondimento del substrato litoide fino a quote prossime al livello del mare, ovvero circa 40 m di profondità, al di sopra del quale è presente una sequenza di depositi prevalentemente limo-argillosi pleistocenici, cui segue verso l'alto la coltre dei depositi alluvionali olocenici, caratterizzata da frequenti eteropie, sia in senso laterale sia in senso verticale, e da orizzonti litologici con geometrie generalmente lentiformi e sovente dai complessi rapporti stratigrafici (Fig. 7).

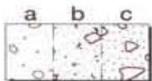
In assenza di dati diretti di sottosuolo all'interno dell'area di Piazza Brunelleschi, è stata eseguita una ricostruzione di massima dell'assetto stratigrafico, sfruttando i dati di sondaggio e di pozzo presenti nel Sistema Informativo Geologico del Sottosuolo del Comune di Firenze, disponibili sulla rete internet, relativi ad un'area posta nell'intorno del sito di interesse.

Nel caso specifico, sono state consultate le schede stratigrafiche n°199 (sondaggio eseguito in Piazza S. Marco), n°236 (sondaggio eseguito in Via degli Alfani), n°317 (pozzo eseguito presso l'Ospedale S. Maria Nuova), n°959 (sondaggio eseguito per la metropolitana presso Via Fiesolana – Via S. Egidio – Borgo Pinti), n°1216 (sondaggio eseguito presso il Duomo di Firenze), n°1314 (sondaggio eseguito presso Via Botticelli ang. Via L. Giordano) e n°1636 (sondaggio eseguito presso Via Borgo Bitti ang. Via G. Giusti).

Le ubicazioni dei sondaggi sopra citati e le singole schede stratigrafiche sono riportate nelle figure 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.



**MATERIALI DI ORIGINE ANTROPICA**



Riporti e coperture costituiti da materiali sciolti misti di varia pezzatura ed origine, più o meno costipati, anche con cocciame di laterizi; nei vecchi fossati delle mura a luoghi anche livelli limosi compatti. Sono stati cartografati solo ove costituiscono un livello continuo e potente almeno un paio di metri. *Attuale*. Spessore dei riporti: **a** = 2 + 4m, **b** = 4 + 6m, **c** > 6m.

-  **GP** Ghiaie pulite, con diametro medio dei clasti di 2+3 cm e massimo dell'ordine dei 5 cm, con frequente componente sabbiosa; i clasti sono in genere ben arrotondati, prevalentemente discoidali, subordinatamente subsferici.
-  **SS** Sabbie sporche di colore ocra, a luoghi con componente pelitica fino al 20%+50%, in tale caso risultano totalmente chiuse.
-  **LS** Limi-ghiaiosi e limi-sabbiosi con componente granulare anche del 20%+50%.
-  **LP** Limi e limi-argillosi con scarsa (5+20%) componente granulare, di colore bruno, con calici (in genere con LL < 50).

**Fig. 7 – Stralcio da Carta Litotecnica del Comune di Firenze**



**Fig. 8 - Planimetria con ubicazione dei sondaggi**



## COMUNE DI FIRENZE

Direzione Ambiente

via Benedetto Fortini, 37 - 50125 - e.mail: [direz.ambiente@comune.fi.it](mailto:direz.ambiente@comune.fi.it)

Scheda del Sondaggio n. 199

**Data inizio:**  
**Data fine:**  
**Cantiere:** (PRG)  
**Località:** Firenze  
**Quota p.c. (m):**  
**Tipologia:**

Stratigrafia			
Descrizione stratigrafia	Profondità iniziale (m)	Profondità finale (m)	Campione
Coperture superficiali	0.00	7.50	N
Ghiaie	7.50	24.00	N
Argille limose con passaggi di ghiaie	24.00	52.00	N
Substrato litoide	52.00	57.00	N

**Fig. 9 – Scheda sondaggio n°199**



## COMUNE DI FIRENZE

Direzione Ambiente

via Benedetto Fortini, 37 - 50125 - e.mail: [direz.ambiente@comune.fi.it](mailto:direz.ambiente@comune.fi.it)

Scheda del Sondaggio n. 236

**Data inizio:**  
**Data fine:**  
**Cantiere:** Via degli Alfani  
**Località:** Firenze  
**Quota p.c. (m):**  
**Tipologia:**

Stratigrafia			
Descrizione stratigrafia	Profondità iniziale (m)	Profondità finale (m)	Campione
Pavimento	0.00	0.30	N
Argilla limosa, limosa sabbiosa	0.30	6.00	N
Sabbia fine	6.00	7.60	N
Sabbia grossolana	7.60	9.30	N
Ghiaia	9.30	21.00	N
Sabbia grossolana con ghiaia	21.00	23.50	N

**Fig. 10 – Scheda sondaggio n°236**

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Inscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .



## COMUNE DI FIRENZE

Direzione Ambiente

via Benedetto Fortini, 37 - 50125 - e.mail: [direz.ambiente@comune.fi.it](mailto:direz.ambiente@comune.fi.it)

Scheda del Sondaggio n. 317

**Data inizio:**

**Data fine:**

**Cantiere:** Pozzo presso l'Ospedale

**Località:** Firenze

**Quota p.c. (m):**

**Tipologia:**

Stratigrafia			
Descrizione stratigrafia	Profondità iniziale (m)	Profondità finale (m)	Campione
Materiale di riporto	0.00	1.00	N
Argilla giallastra	1.00	6.50	N
Argilla con ghiaia e sabbia	6.50	8.90	N
Ghiaia e sabbia con acqua	8.90	19.00	N
Argilla plastica color cenere	19.00	20.00	N

**Fig. 11 – Scheda sondaggio n°317**



## COMUNE DI FIRENZE

Direzione Ambiente

via Benedetto Fortini, 37 - 50125 - e.mail: [direz.ambiente@comune.fi.it](mailto:direz.ambiente@comune.fi.it)

Scheda del Sondaggio n. 959

**Data inizio:**

**Data fine:** 1988-12-31

**Cantiere:** Metropolitana

**Località:**

**Quota p.c. (m):**

**Tipologia:** Sondaggio

Stratigrafia			
Descrizione stratigrafia	Profondità iniziale (m)	Profondità finale (m)	Campione
Riporti.	0.00	3.00	N
Ghiaie e sabbie	3.00	15.00	N
Limi argillosi.	15.00	20.00	N
Substrato :alternanze di argilliti, marne e calcareniti.	20.00	30.00	N

**Fig. 12 – Scheda sondaggio n°959**

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .



## COMUNE DI FIRENZE

Direzione Ambiente

via Benedetto Fortini, 37 - 50125 - e.mail: [direz.ambiente@comune.fi.it](mailto:direz.ambiente@comune.fi.it)

Scheda del Sondaggio n. 1216

**Data inizio:** 1967-12-19  
**Data fine:** 1967-12-19  
**Cantiere:** Duomo di Firenze  
**Località:** Firenze  
**Quota p.c. (m):** 49.00  
**Tipologia:** Sondaggio

Stratigrafia			
Descrizione stratigrafia	Profondità iniziale (m)	Profondità finale (m)	Campione
Argilla rimaneggiata.	0.00	0.50	N
Argilla sabbiosa marrone, compatta.	0.50	5.60	N
Argilla sabbiosa marrone con ghiaia.	5.60	7.50	N
Ghiaia.	7.50	10.00	N

**Fig. 13 – Scheda sondaggio n°1216**



## COMUNE DI FIRENZE

Direzione Ambiente

via Benedetto Fortini, 37 - 50125 - e.mail: [direz.ambiente@comune.fi.it](mailto:direz.ambiente@comune.fi.it)

Scheda del Sondaggio n. 1314

**Data inizio:**  
**Data fine:**  
**Cantiere:** Via Botticelli angolo Via Luca  
**Località:** Firenze  
**Quota p.c. (m):**  
**Tipologia:** Pozzo

Stratigrafia			
Descrizione stratigrafia	Profondità iniziale (m)	Profondità finale (m)	Campione
Materiale di riporto.	0.00	1.00	N
Argilla gialla.	1.00	6.50	N
Argilla con ghiaia e sabbia.	6.50	8.90	N
Ghiaia e sabbia con acqua.	8.90	19.00	N
Argilla plastica color cenere.	19.00	20.00	N

**Fig. 14 – Scheda sondaggio n°1314**

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .



## COMUNE DI FIRENZE

Direzione Ambiente

via Benedetto Fortini, 37 - 50125 - e.mail: [direz.ambiente@comune.fi.it](mailto:direz.ambiente@comune.fi.it)

Scheda del Sondaggio n. 1636

**Data inizio:** 2002-05-08  
**Data fine:** 2002-05-08  
**Cantiere:**  
**Località:** Via Borgo Pitti angolo Via Gii  
**Quota p.c. (m):** 0.00  
**Tipologia:** Carotaggio continuo

<b>Stratigrafia</b>			
<b>Descrizione stratigrafia</b>	<b>Profondità iniziale (m)</b>	<b>Profondità finale (m)</b>	<b>Campione</b>
Soletta di asfalto	0.00	0.70	N
Terreno di riporto composto da limi e sabbie limose con inclusi clasti centimetrici e decimetrici fra cui laterizi	0.70	1.40	N
Limi argillosi e argille limose di colore marrone	1.40	2.60	N
C.I.	2.60	3.10	S
Alternanza di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone	3.10	4.50	S
C.I.	4.50	5.00	S
Limo argilloso marrone	5.00	5.45	N
C.R.	5.45	5.95	N
Limi argillosi con rari clasti da millimetrici a centimetrici di colore marrone	5.95	6.70	N
Sabbia debolmente limosa prevalentemente di colore ruggine con inclusi clasti centimetrici	6.70	7.30	N
Ghiaia con alta percentuale di clasti arenacei e calcareo-silicei eterogenei per dimensione e forme: da millimetrici a centimetrici e raramente decimetrici da arrotondati a spigolosi in matrice sabbioso limosa	7.30	17.00	N
Ghiaie con alta percentuale di clasti arenacei e calcareo-silicei eterogenei per dimensioni e forme: da millimetrici a centimetrici e raramente a decimetrici da arrotondati a spigolosi in matrice sabbioso limosa localmente abbondante	17.00	19.50	N

**Fig. 15 – Scheda sondaggio n°1636**

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

Allo scopo di ricostruire, sia pur in maniera del tutto sommaria e certamente non esaustiva, il quadro dell'assetto stratigrafico generale dell'area di intervento, sono state elaborate due sezioni geologiche all'incirca ortogonali tra loro (vedi Tav. 01 in allegato alla presente relazione), entrambe centrate sull'area di Piazza Brunelleschi, lungo due direttrici orientate rispettivamente da SSE verso NNW (Sezione A – B) e da SW verso NE (Sezione C – D).

Nell'area oggetto di intervento la coltre dei depositi alluvionali recenti è rappresentata da un orizzonte superficiale di limi sabbiosi e limi argillosi, a luoghi con intercalazioni di livelli e lenti a granulometria più grossolana, da sabbioso–limosa a sabbioso–ghiaiosa, presenti fino ad una profondità stimata di circa 6–8 m, cui segue una sequenza di ghiaie in matrice sabbiosa e sabbioso–limosa, caratterizzata da frequenti eteropie sia in senso verticale che in senso laterale, e da geometrie dei diversi corpi di tipo lentiforme, con superficie di letto che si stima posta a profondità non inferiore a 20 – 22 m dal piano campagna.

Scendendo ancora in profondità, al di sotto della coltre di alluvioni recenti, i dati di sottosuolo indicano la presenza di una sequenza di depositi di ambiente essenzialmente lacustre e/o fluvio–lacustre, costituiti da limi argillosi e argille limose con intercalazioni da medie a sottili di sabbie e sabbie ghiaiose. Lo spessore di questa sequenza tende in genere a diminuire, fin quasi ad annullarsi, spostandosi in direzione del corso dell'Arno, potendosi stimare, in corrispondenza dell'area in esame, spessori intorno ai 15 m circa, con superficie di letto a profondità intorno ai 40 m.

La successione limoso–argillosa sopra descritta poggia direttamente al di sopra del substrato litoide dell'area fiorentina, nel caso rappresentato dai depositi riconducibili alla Formazione di Sillano–Pietraforte, costituiti da argilliti alternate a livelli calcareo–marnosi e calcareo–arenacei.

### **3.2 Aspetti geomorfologici**

L'analisi dei principali caratteri geomorfologici è stata condotta sia attraverso un sopralluogo in sito, sia con un accurato esame della cartografia disponibile, prendendo in esame anche documenti cartografici di bibliografia, utili per una definizione delle caratteristiche originarie del territorio in esame.

La morfologia dell'area oggetto di intervento è stata certamente condizionata dagli intensi processi di urbanizzazione avvenuti nel corso degli ultimi 155 anni circa, con continue trasformazioni dell'assetto geomorfologico originario del territorio, spesso anche di particolare rilevanza.

Come accennato in precedenza, l'area di Piazza Brunelleschi ricade all'interno della piana alluvionale del Fiume Arno, non molto distante dal corso da un antico fosso (Fosso dello Scheraggio), che dalla zona di Piazza S. Marco andava ad immettersi in Arno all'incirca nella zona compresa tra Piazza S. Croce e Piazza S. Firenze.

Sulla base di ricostruzioni di carattere archeologico questo fosso, le cui acque venivano sfruttate già in epoca romana per l'alimentazione degli impianti per la produzione di tessuti e che venne anche canalizzato in epoca medioevale, verrà in seguito definitivamente abbandonato, rimanendo un fossato all'interno della città.

L'area presenta una morfologia generale completamente pianeggiante con quote topografiche che, all'interno della piazza, risultano comprese tra 49,5 m s.l.m. in corrispondenza del margine nord-orientale verso Via dei Fibbiai e 49,2 m s.l.m. in corrispondenza del margine sud-occidentale verso Via del Castellaccio.

Le pendenze pertanto risultano notevolmente basse, fattore questo che, unitamente all'intensa urbanizzazione dell'area, induce a ritenere come elevata la possibilità di fenomeni di ristagno delle acque superficiali di afflusso meteorico, soprattutto a seguito di eventi di particolare intensità e/o persistenza.

A tal riguardo un ruolo fondamentale è giocato dalla rete fognaria e dallo stato di manutenzione delle caditoie di raccolta delle acque bianche ad essa collegate, le quali spesso, a causa dell'occlusione provocata dal materiale (soprattutto fogliame e rifiuti) trasportato dalle stesse acque superficiali, possono essere responsabili principali di veri e propri fenomeni di allagamento, che puntualmente si verificano anche solo a seguito di violenti temporali.

Altro elemento di estrema importanza è rappresentato dalle esondazioni del Fiume Arno, definite attraverso gli studi idraulici di supporto agli strumenti urbanistici territoriali (Comune di Firenze – Direzione Ambiente – Servizio Geologia – Elaborati in adeguamento D.P.G.R. n. 26/R/2007).

Sulla base di questi studi idraulici, tenendo come riferimento il livello massimo raggiunto dalle acque di piena nel corso dell'alluvione del 1966 pari a 46,7 m s.l.m., sono stati definiti i seguenti livelli di esondazione per diversi tempi di ritorno, validi all'interno del territorio comunale (vedi Tabella 1).

<b>Tabella 1</b>	
<b>Livelli di esondazione del Fiume Arno</b>	
Eventi con ricorrenza probabilistica (TR) 200 anni	45,64 m s.l.m.
Eventi con ricorrenza probabilistica (TR) 100 anni	44,33 m s.l.m.
Eventi con ricorrenza probabilistica (TR) 30 anni	44,33 m s.l.m.

In relazione al Piano Strutturale del Comune di Firenze l'area di Piazza del Carmine ricade in classe di pericolosità I.2, ovvero pericolosità idraulica media, comprendente aree inondabili da eventi con tempi di ritorno  $200 < T_R \leq 500$ .

### 3.3 Circolazione idrica sotterranea

Sulla base dell'assetto stratigrafico definito nel precedente paragrafo, messo in evidenza attraverso le sezioni geologiche in allegato, e in ragione di un'analisi delle informazioni di carattere idrogeologico che è stato possibile reperire dalla letteratura, è stato ricostruito un quadro generale, ancorché non definitivo ed esaustivo, della circolazione idrica sotterranea nell'area di interesse.

La coltre dei depositi alluvionali recenti, nel suo orizzonte superficiale prevalentemente limo-argilloso e con spessore intorno ai 6–8 m circa, può essere considerata come un complesso in genere di bassa permeabilità, anche se comunque potenzialmente percolabile dalle acque di infiltrazione.

Il sottostante complesso dei depositi ghiaiosi a matrice sabbiosa, in ragione della sua composizione granulometrica, comunque soggetta a frequenti variazioni sia in senso laterale che verticale, può essere considerato in generale da mediamente permeabile a permeabile, con sensibili riduzioni di conducibilità idraulica laddove sono presenti intercalazioni di spessore metrico costituite da materiali più fini.

Questo complesso, che sulla base dell'assetto stratigrafico ricostruito per l'area in esame si osserva fino a profondità non inferiori ai 20 m, è sede della principale circolazione idrica sotterranea, costituita da una falda in genere freatica, a luoghi parzialmente confinata al tetto, sostenuta dal sottostante complesso dei depositi argilloso-limosi di ambiente lacustre, i quali, in ragione di una permeabilità generalmente da bassa a molto bassa e del loro elevato spessore, svolgono pertanto funzione di *acquicludo*.

Sulla base della ricostruzione dell'andamento delle isopieze nell'anno 2008, illustrate nella rappresentazione grafica del Sistema Informativo Geologico del Sottosuolo del Comune di Firenze (vedi Fig. 16), in corrispondenza del sito di intervento si osserva una circolazione idrica sotterranea caratterizzata da un flusso orientato all'incirca da E verso W, con gradiente idraulico valutabile intorno allo 0,5% circa, certamente in diretta connessione idraulica con il livello del Fiume Arno.

Il livello statico della falda in prossimità dell'area di Piazza Brunelleschi si attesta su valori prossimi ai 42 m s.l.m., ovvero circa 7 m di profondità dal piano campagna, con oscillazioni che, esclusi i casi eccezionali dovrebbero essere comprese in  $\pm 1$  m.



**Fig. 16 – Stralcio da Carta delle Isopieze del Comune di Firenze (anno 2008)**

### **3.4 Caratteristiche gomecniche**

La caratterizzazione geotecnica di dettaglio esula dagli obiettivi del presente studio, il quale si propone di investigare il tema specifico con un'impronta conoscitiva a grande scala, secondo l'ottica di un primo approccio cognitivo, volto ad inquadrare e distinguere i complessi litologici presenti nel sottosuolo dell'area di intervento.

L'orizzonte superiore limoso–argilloso appartenente al complesso dei depositi alluvionali recenti, dal punto di vista geotecnico, può essere considerato come un terreno a comportamento prevalentemente coesivo, plastico, di consistenza generalmente medio–bassa e compressibile soprattutto nei livelli dove è più abbondante la componente argillosa.

Il sottostante complesso costituito dalla successione ghiaioso–sabbiosa può essere considerato come un terreno a comportamento prevalentemente granulare, con apporto della coesione in genere nullo o comunque poco significativo, a meno di particolari livelli e/o lenti di materiale in cui è più rilevante la componente limosa.

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

In merito alle caratteristiche geomeccaniche di questo complesso di terreni non si hanno informazioni dirette e specifiche per il sito di intervento, dovendosi pertanto basare, in questa sede ed a titolo meramente indicativo, su alcuni dati provenienti da indagini eseguite in aree limitrofe ed in contesti geologico-stratigrafici simili a quelli dell'area in esame.

In particolare sono stati visionati ed analizzati i dati relativi a prove SPT in foro di sondaggio eseguite nell'area dell'ex stabilimento Fiat di Viale Belfiore, provenienti da un'indagine geognostico-geotecnica coordinata dalla società scrivente per conto della TREVI S.p.a.

Questi dati ci delineano un complesso di terreni che, per lo meno a profondità comprese tra 10–20 m dal p.c., si caratterizzano per uno stato di addensamento da medio ad elevato, cui corrispondono apprezzabili resistenze meccaniche.

La sottostante successione costituita dal complesso argilloso-limoso dovrà essere considerata come un terreno a comportamento prevalentemente coesivo, pertanto da valutare sia nelle condizioni “non drenate”, ovvero con deformazioni e resistenze a breve termine ed in termini di tensioni totali, sia nelle condizioni “drenate”, ovvero con deformazioni e resistenze a lungo termine ed in termini di tensioni efficaci.

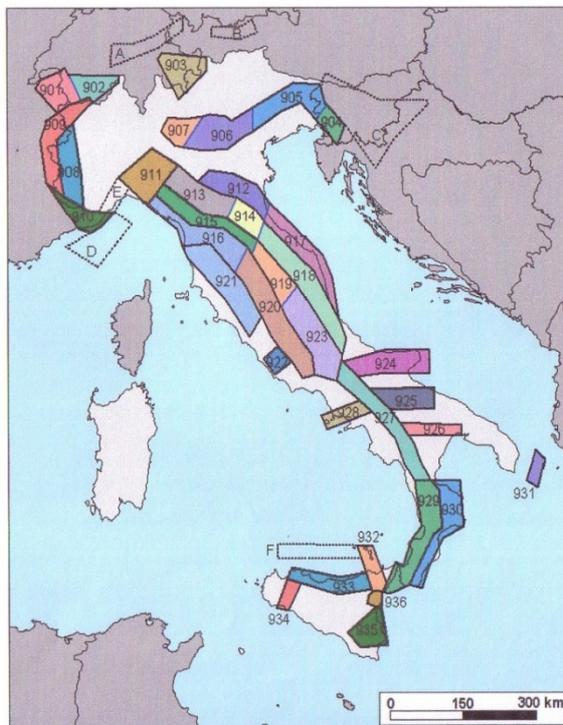
Inoltre per questa tipologia di terreni assume particolare importanza anche la determinazione di alcune caratteristiche fisiche, quali contenuto naturale in acqua, Limiti di Atterberg e conseguente indice di plasticità, attraverso i quali si possono ottenere utili informazioni sul comportamento meccanico degli stessi.

Sempre riferendosi ai dati provenienti dall'indagine geognostica eseguita in Viale Belfiore, il complesso argilloso-limoso appare come un terreno di consistenza da media a medio-alta, con resistenze al pocket penetrometer che si attestano di norma su valori compresi tra 2,5 e 4,0 Kg/cmq.

### **3.5 Caratteri sismici**

Le registrazioni strumentali della rete sismica nazionale permettono di osservare come, nell'area del territorio fiorentino, gli eventi sismici si concentrino maggiormente lungo la catena appenninica, con una percentuale intorno al 10% di ipocentri posti a profondità inferiori ai 15 Km.

Il comune di Firenze nell'ambito della zonazione sismogenetica ZS9 del territorio Italiano, ricade all'interno della ZS 915 “Garfagnana–Mugello”, ove si attendono eventi connessi ad un meccanismo di fagliazione di tipo distensivo e con profondità ipocentrali comprese tra 5–15 Km.



**Fig. 17 – Zonazione Sismogenetica ZS9**

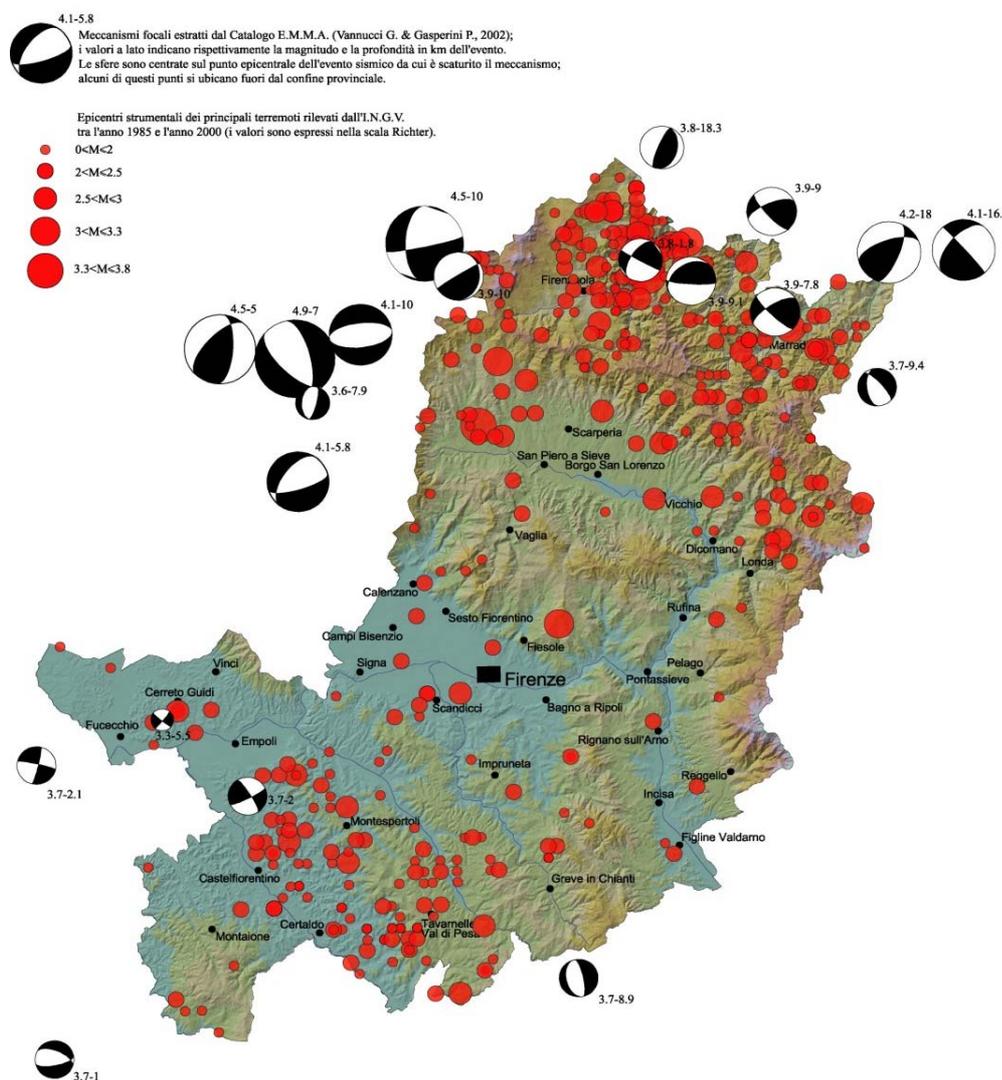
All'interno di questa zona sismogenetica, gli eventi di maggiore intensità sono stati registrati nelle aree del Mugello (si ricorda ad esempio il terremoto del 1919), con Magnitudo momento (Mw) registrate fino a valori massimi pari a 6,14 e con Magnitudo massima stimata (Mwmax2 valore di Magnitudo cautelativa) pari a 6,6.

Numerosi eventi, generalmente di bassa intensità, sono registrati anche nell'area della piana di Firenze–Prato–Pistoia, quest'ultima comunque sede, sulla base dei dati di sismicità storica, di eventi importanti e con Magnitudo massime stimate di poco inferiori a 5.

Nella tabella che segue si riporta una distribuzione, per numero di eventi e per classi di Magnitudo momento (Mw), dei terremoti all'interno della zona sismogenetica di interesse.

Tabella 2									
Distribuzione dei terremoti in ZS915									
Numero di eventi	31	17	19	1	4	2	1	0	1
Classi di Magnitudo Mw	4.76	4.99	5.22	5.45	5.68	5.91	6.14	6.37	6.60

Nella figura che segue viene rappresentata la distribuzione degli epicentri degli eventi sismici registrati nel territorio fiorentino nell'intervallo temporale 1985 – 2000, con indicazione della Magnitudo e della profondità ipocentrale.



**Fig. 18 – Distribuzione degli eventi sismici registrati tra gli anni 1985 e 2000 (Piano Provinciale di emergenza 1° stralcio – Servizio di Protezione Civile Provincia di Firenze).**

Dal punto di vista dei risentimenti in sito l'area di Firenze ha manifestato intensità macrosismiche fino ad un massimo dell'VIII° grado MCS, con sensibili differenze locali nelle diverse aree della città,

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**  
 00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183  
[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

legate sia a fattori “geologici” ovvero connessi alla natura e assetto stratigrafico dei terreni presenti nel sottosuolo, sia a fattori “costruttivi”, connessi alle diverse epoche e tipologie delle costruzioni.

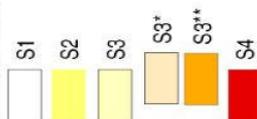
Da un’analisi eseguita sui danni riportati in città in occasione del terremoto del 1919 con epicentro al Mugello, si è potuto osservare che le zone con presenza dei danni maggiori si concentrano soprattutto nei quartieri della Cure, di San Jacopino, di San Frediano e di San Niccolò, mentre nelle restanti zone all’interno della cerchia dei viali i danni maggiori sono stati osservati nei quartieri di Santa Croce, San Gallo e Piazza della Libertà.

Il territorio comunale di Firenze, sulla base dell’O.P.C.M. n°3274 del 20/03/2004, è classificato in zona di sismicità 2, caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra 0,15g e 0,25g.

Sulla base della Deliberazione di Giunta Regionale del 27/04/2007 n°26R “Regolamento di Attuazione dell’Art.62 della Legge Regionale 3/01/2005 n°1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche”, sono state inoltre definite le condizioni di pericolosità sismica locale, la cui perimetrazione è riportata nella Carta di Pericolosità Sismica (vedi Fig. 19).

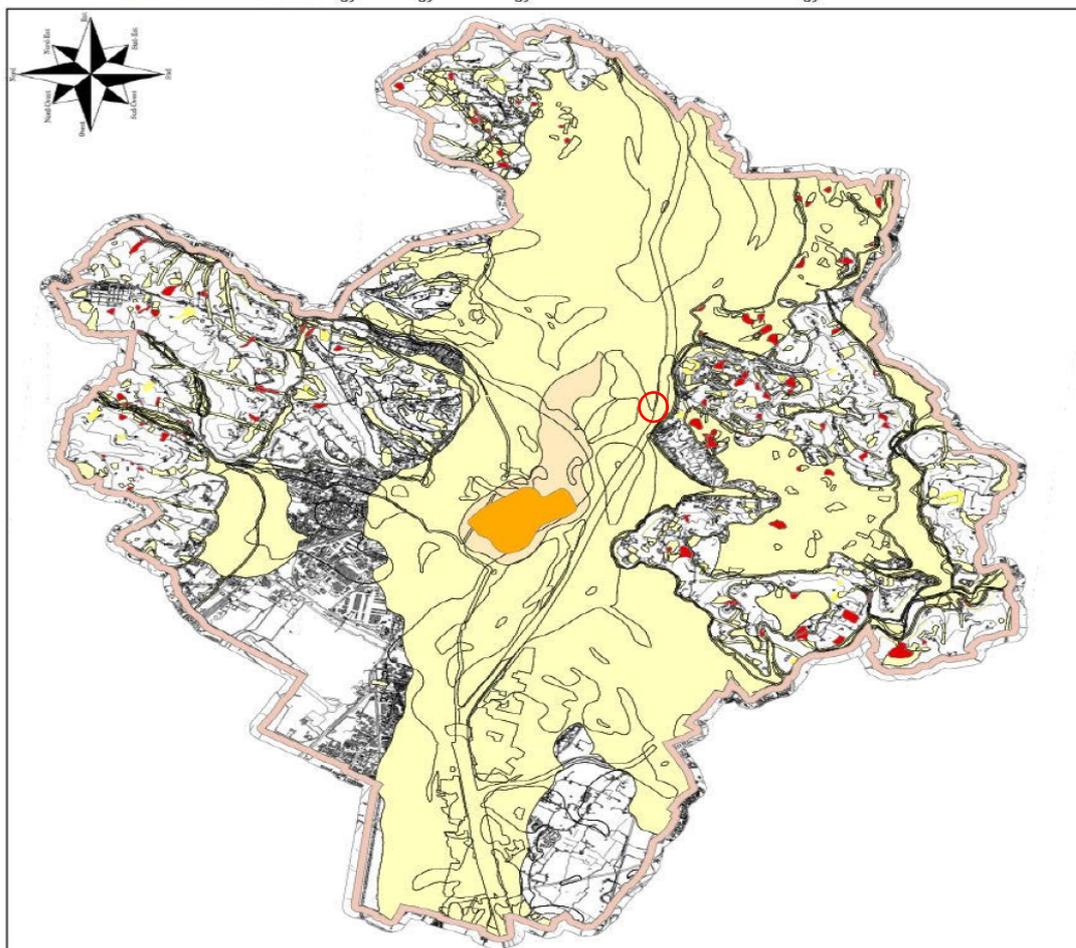
Il sito oggetto di intervento ricade in zona S.3 a “pericolosità sismica locale elevata”, ove sono possibili effetti di amplificazione sismica locale connessi alla disposizione stratigrafica dei terreni, alla loro natura e caratteristiche geomeccaniche, ed a particolari condizioni geomorfologiche quali la presenza di zone di raccordo con i versanti e/o di paleo morfologie sepolte.

**Classificazione**



- S1** : Pericolosità sismica locale bassa : aree caratterizzate dalla presenza di formazioni lioclidi e dove non si rilevano probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.
- S2** : Pericolosità sismica locale media : zone con fenomeni franosi inattivi ; aree in cui è possibile amplificazione dovuta ad effetti topografici ; zone con possibile amplificazione stratigrafica in comuni a media sismicità (zone 3).
- S3** : Pericolosità sismica locale elevata (S3, S3\* e S3\*\*): aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità quiescenti e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici, quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana per le quali non si escludono fenomeni di instabilità indotta dalla sollecitazione sismica; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi ; terreni soggetti a liquefazione dinamica in comuni a media elevata sismicità (zone 3a).
- zone con possibile amplificazione sismica commesse a zone di bordo della valle e/o aree di accordo con il versante ; zone con possibile amplificazione per effetti stratigrafici in comuni a media-elevata sismicità (zone 2 e 3a); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche litomeccaniche significativamente diverse; presenza di faglie o contatti tettonici . Queste aree ricomprendono le sottozone S3\* con 1.65<math>F\_{a}>1.7</math> e S3\*\* con  $F_{a}>1.7</math>.$
- S4** : Pericolosità sismica locale molto elevata : aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità attivi, e che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni soggetti a liquefazione dinamica in comuni a media-elevata sismicità (zone 2).

(\*) Fonte Direzione Ambiente Comune di Firenze - Elaborazione derivata dal DPGR 28/R del 2007 e dallo studio condotto con l'Università degli Studi di Firenze - Dip. Scienze della Terra



**Fig. 19 – Carta della Pericolosità sismica del Comune di Firenze, Piano Comunale di Emergenza I° stralcio All. C3, Direzione Ambiente Comune di Firenze, Protezione Civile Toscana**

#### 4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione è stata redatta quale necessario supporto ad uno studio di prefattibilità ambientale riguardante il progetto di realizzazione di un parcheggio sotterraneo, presso il sito di Piazza Brunelleschi nel comune di Firenze.

Il progetto preliminare, nelle sue linee generali, consiste nella realizzazione di una struttura con due piani interrati, con impalcati che saranno sostenuti da travi e solai poggianti su pilastri al centro e su diaframmi perimetrali ai lati. Questi ultimi, nell'ottica di svolgere anche una funzione di isolamento della falda presente nel sottosuolo, saranno spinti fino a profondità tale da attestarsi all'interno di un banco di argille con caratteristiche idonee a svolgere la funzione di tampone di fondo naturale.

Per la redazione della presente relazione geologica, che dovrà pertanto intendersi quale documento di carattere illustrativo ai fini di una verifica della fattibilità dell'opera e in un'ottica di pianificazione delle eventuali e successive fasi di progettazione definitiva, si è fatto riferimento a dati geologici presenti, sia in bibliografia, sia contenuti nella documentazione tecnica ufficiale, quale ad esempio il Piano di Bacino del Fiume Arno, Piano Strutturale del Comune di Firenze, Piani di emergenza della Protezione Civile, etc).

Piazza Brunelleschi è ubicata in destra idraulica del Fiume Arno, ad una quota di circa 49 m s.l.m., in un'area di piana alluvionale caratterizzata dalla presenza di una successione di depositi recenti, di ambiente da fluviale a fluvio-lacustre.

Partendo dalla superficie si osserva una successione di depositi alluvionali recenti, costituiti da un orizzonte superficiale di terreni prevalentemente limo-argillosi fino a circa 6-8 m di profondità, cui seguono delle ghiaie in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di ambiente fluviale, da mediamente a ben addensate, fino a profondità non inferiori a 20 m dall'attuale piano campagna.

La successione ghiaioso-sabbiosa risulta essere direttamente sovrapposta ad una serie di terreni di ambiente fluvio-lacustre, rappresentata da argille limose e limi argillosi, generalmente di consistenza da media a medio-alta, presenti fino a profondità prossime ai 40 m dall'attuale p.c..

A partire da questa profondità si incontra la successione costituita dal cosiddetto substrato litoide dell'area fiorentina, nel caso specifico rappresentato dai materiali calcarei, silicei ed argillitici in alternanze regolari, ascrivibili alla Formazione di Sillano-Pietraforte.

Il complesso dei depositi ghiaioso-sabbiosi è sede di una falda freatica estesa e continua in tutta l'area della piana alluvionale del Fiume Arno e che, in corrispondenza della fascia di territorio di interesse, assume una direzione di flusso orientata da E verso W, con riequilibrio della piezometrica a quote prossime ai 42 m s.l.m..

L'analisi critica dei dati acquisiti nel corso del presente studio ha condotto ad una valutazione dei principali aspetti di pericolosità e vulnerabilità geologica del territorio, permettendo pertanto alcune

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183

[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007

Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.

TREVI S.p.a.

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

importanti considerazioni relative alla fattibilità dell'opera ed ai possibili effetti (temporanei e/o permanenti) indotti dalla stessa sull'ambiente circostante e viceversa. Un primo elemento di particolare rilevanza, soprattutto in relazione alle caratteristiche dell'opera in progetto, è quello relativo all'assetto stratigrafico dei terreni presenti nel sottosuolo e alla circolazione idrica sotterranea.

Infatti, soprattutto in relazione alla profondità del piano di imposta del diaframma perimetrale, sarà assolutamente necessario stabilire con estrema precisione la profondità del contatto stratigrafico tra i depositi clastici grossolani e la sottostante successione argilloso limosa, prestando inoltre particolare attenzione, sia alla natura dello stesso contatto (ad esempio netto con improvviso passaggio litologico, oppure sfumato con gradazioni, etc.), sia alla sua geometria, che dovrà essere accuratamente ricostruita allo scopo di rintracciare eventuali superfici inclinate, oppure con andamento ondulato e/o irregolare.

Absolutamente importante è la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni che saranno interessati dall'opera in progetto, con la definizione analitica non solo dei parametri di interesse prettamente ingegneristico necessari per la ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo, ma anche dei parametri idrogeologici indispensabili per una valutazione delle dinamiche della circolazione idrica e delle interferenze tra la stessa e la struttura interrata.

Altro elemento di criticità è rappresentato dai potenziali effetti di amplificazione dell'energia sismica, connessi nel caso in esame alla natura dei terreni presenti nel sottosuolo, alla loro disposizione stratigrafica e all'eventuale contrasto di impedenza sismica dovuto al contatto tra terreni con caratteristiche di "rigidità" sensibilmente differenti.

Resta infine l'elemento di vulnerabilità connesso alla possibilità di eventi di esondazione del Fiume Arno, valutato attraverso gli studi idraulici eseguiti dalle autorità competenti (Autorità di Bacino dell'Arno) e a supporto degli strumenti urbanistici territoriali (vedi Piano Strutturale del Comune di Firenze), i quali prescrivono che la fattibilità di un intervento urbanistico sia tale solo a seguito dell'individuazione delle condizioni per la messa in sicurezza e per la riduzione della vulnerabilità delle opere per eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni.

Il quadro delle criticità di tipo geologico che è stato possibile individuare nel corso del presente studio, non appare essere tale da pregiudicare la fattibilità dell'opera in progetto, ma certamente pone all'attenzione una serie di questioni che dovranno essere oggetto di sicuro approfondimento in fase di progettazione definitiva dell'opera.

La programmazione di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione di un dettagliato modello geologico dell'area di intervento, diventa pertanto una condizione assolutamente necessaria ed imprescindibile allo scopo di valutare e definire la migliore soluzione progettuale possibile.

Le indagini dovranno certamente prevedere l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo, in un numero per lo meno pari a 5–6 verticali di perforazione, le quali dovranno in primo luogo permettere un'accurata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo interessato dall'opera in progetto.

Le perforazioni a carotaggio, che dovranno essere eseguite con avanzamenti progressivi non superiori a 1,5–2,0 m e con altrettanto progressiva immissione di rivestimento provvisorio, dovranno raggiungere profondità tali da intercettare ed indagare per uno spessore significativo la successione costituita dai terreni argilloso–limosi, potendosi prevedere pertanto profondità dell'ordine dei 35–40 m circa.

Nel corso delle perforazioni, in corrispondenza degli orizzonti prevalentemente granulari, si dovranno eseguire prove penetrometriche S.P.T., allo scopo di valutarne stato di addensamento e parametri di resistenza, mentre in corrispondenza degli orizzonti con componente coesiva si potrà procedere con il prelievo di campioni indisturbati di terreno, da sottoporre in seguito a specifiche analisi in laboratorio geotecnico.

In corrispondenza di tutte le verticali di sondaggio si dovrà procedere con l'esecuzione di un cospicuo numero di prove di permeabilità, le quali dovranno interessare sia il complesso ghiaioso–sabbioso, sia il sottostante complesso dei depositi argilloso–limosi, allo scopo di ricostruire un quadro sufficientemente dettagliato in merito alla conducibilità idraulica dei terreni di interesse.

Le dinamiche della circolazione idrica sotterranea dovranno essere ricostruite attraverso la posa in opera e messa in esercizio di tubi piezometrici, in un numero non inferiore a 4, i quali dovranno essere progettati ed ubicati anche come elementi di presidio nelle successive fasi di monitoraggio *post-operam*.

Gli stessi tubi piezometrici, con opportuno diametro, potranno anche essere utilizzati per eseguire prove di portata, quest'ultime senz'altro necessarie per l'identificazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero.

Una o due verticali di sondaggio dovranno essere attrezzate per l'esecuzione di prove sismiche di tipo *down-hole*, allo scopo di ricostruire il modello sismo–elastico del sottosuolo, determinare l'andamento della velocità delle onde S con la profondità e valutare infine il parametro relativo alle  $V_{S30}$  secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia di costruzioni.

Alle prove *down-hole* potranno essere affiancati almeno due stendimenti, incrociati tra loro, per prospezioni geofisiche con metodologia MASW e una serie di misure HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la determinazione dei picchi di frequenza di vibrazione naturale dei terreni, in modo tale da risalire ai valori della frequenza di risonanza delle onde S, da paragonare successivamente alla frequenza di vibrazione della struttura in progetto.

Per l'esecuzione delle prove geofisiche sarà inoltre necessario valutare la possibilità o meno di una parziale chiusura della piazza al traffico veicolare o, in alternativa, procedere alla loro realizzazione in orari notturni quando minore è l'impatto del "rumore" di fondo.

In ultimo, in ragione del previsto smaltimento a discarica del materiale terroso proveniente dagli scavi, nelle stesse fasi di carotaggio si potrà precedere con il prelievo, secondo le metodologie previste dalle normative in vigore, di un adeguato numero di campioni di terreno da sottoporre ad analisi in laboratorio chimico per la determinazione della classificazione C.E.R..

In sintesi, la fattibilità dell'opera in progetto non dovrà assolutamente prescindere da un protocollo di indagini mirate a definire e valutare, con estrema cura, il quadro delle criticità di tipo geologico all'interno dell'area di intervento. L'obiettivo, pertanto, dovrà essere quello di sviluppare un sistema di moduli o "prismi ideali" di suolo che abbiano caratteri litostratigrafici, geomeccanici, idrogeologici e sismici ben definiti, ciò allo scopo di permettere la valutazione e la scelta delle più adeguate modalità di intervento e delle migliori soluzioni progettuali definitive.

Le stesse indagini dovranno essere precedute da un rilievo dello stato di fatto degli edifici circostanti e, anche in ragione di eventuali evidenze di dissesto, prevedere la messa in opera di opportuna strumentazione di monitoraggio e controllo.

In relazione alle fasi di monitoraggio sarà assolutamente importante la parte relativa ai rilievi della piezometrica in corrispondenza dei piezometri installati, sia in fase *ante-operam*, sia in fase *post-operam*, allo scopo soprattutto di verificare le interferenze alla circolazione idrica sotterranea imposte dalla presenza della struttura in progetto.

Infine il controllo e la verifica del modello geologico e geotecnico ricostruito in fase progettuale, eseguito da parte di un professionista esperto e competente durante l'esecuzione degli scavi, delle opere di sostegno e di fondazione, sarà un ulteriore presidio a vantaggio della sicurezza dell'opera e nella ricerca immediata di eventuali soluzioni a problematiche che si dovessero palesare in fase esecutiva.

La comprensione preventiva e la conoscenza approfondita dell'insieme dei fenomeni in processo, permetterà di immaginare, inserire e sviluppare il progetto traendo a proprio vantaggio le particolarità del sito, realizzando gli interventi di protezione e contenimento più adeguati, efficaci e rispondenti alle effettive criticità, che generalmente, se eseguiti nei tempi e con le modalità opportune, risultano anche i più economici.

Dott. Geol. Giuseppe Tricarico

Dott. Geol. Pierfrancesco Parisella

**H2Q Consulting S.r.l. – Via della Macchia 45/B**

**00069 Trevignano Romano (RM) – Tel/Fax 06 9997183**

**[info@h2q.it](mailto:info@h2q.it) – [www.h2q.it](http://www.h2q.it) – P. IVA/C.F. 08155721007**

**Iscr. Reg. Imp. di Roma N° 08155721007 – R.E.A 1077506 – Cap. Soc. €10.000,00 i.v.**

**TREVI S.p.a.**

Rif. # 10/12, Trevignano – GIUGNO 2012

Relazione Geologica Illustrativa

Parcheggio Piazza Brunelleschi, Firenze – Studio di Fattibilità .

PRELIMINARE	DEFINITIVO	ESECUTIVO
DATA	DATA	DATA
REDAZIONE	REDAZIONE	REDAZIONE
VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA
APPROVAZIONE	APPROVAZIONE	APPROVAZIONE

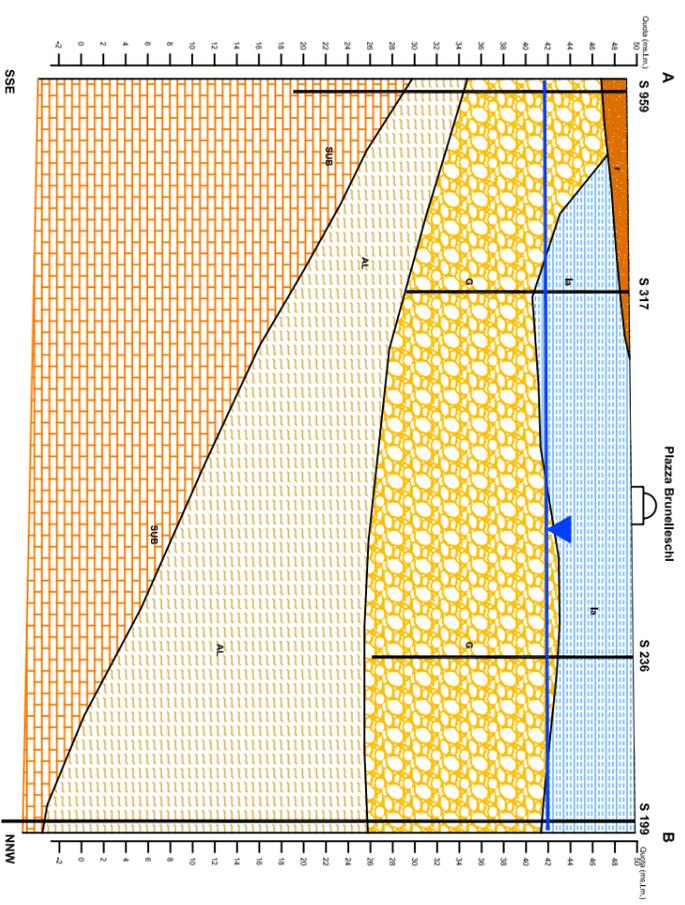
PROGETTISTI:  
A.S.L. Progetti e Opere - Ing. O. Baldacci - Via. 7/9m  
TREVI s.p.a. - Via. Cavour 59/19 - Firenze

PROGETTISTI OPERAZIONALI:  
Ing. Claudio Bonacci  
Ing. Andrea Colli  
Ing. Daniela Bogani  
Ing. Filippo Bogani

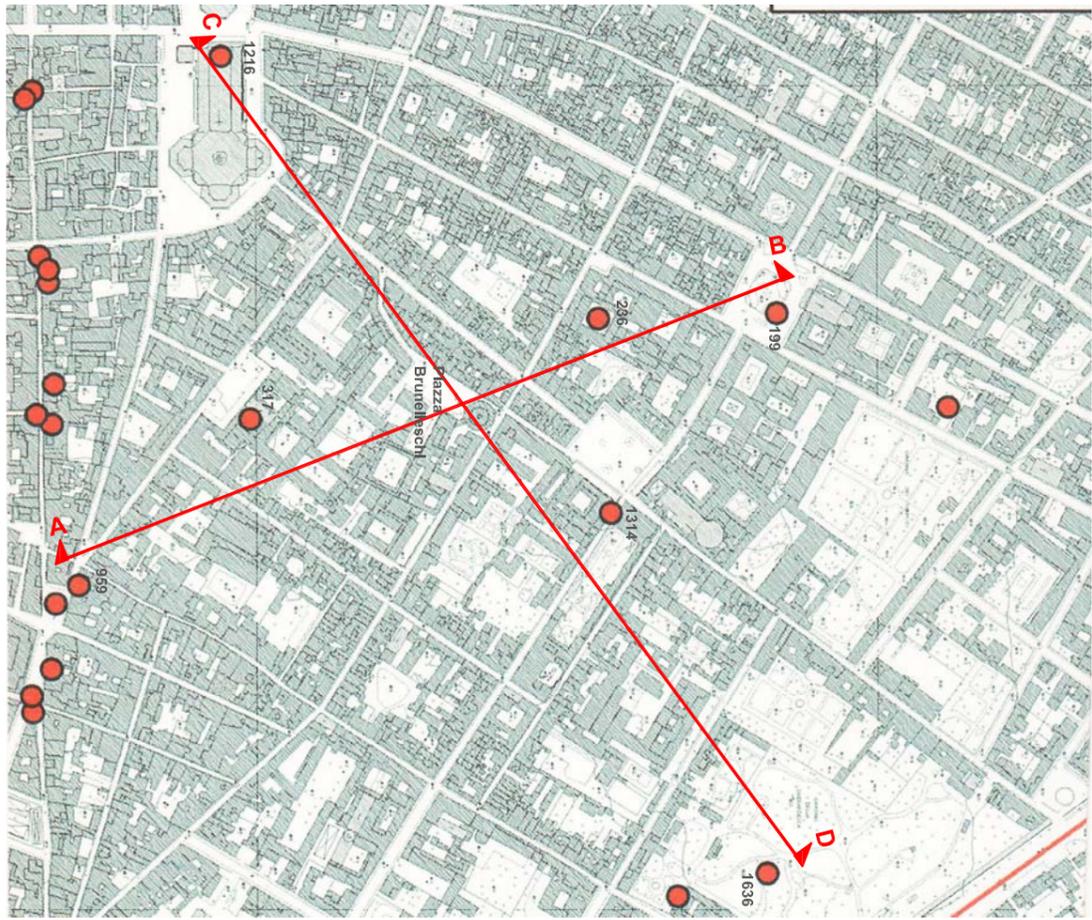
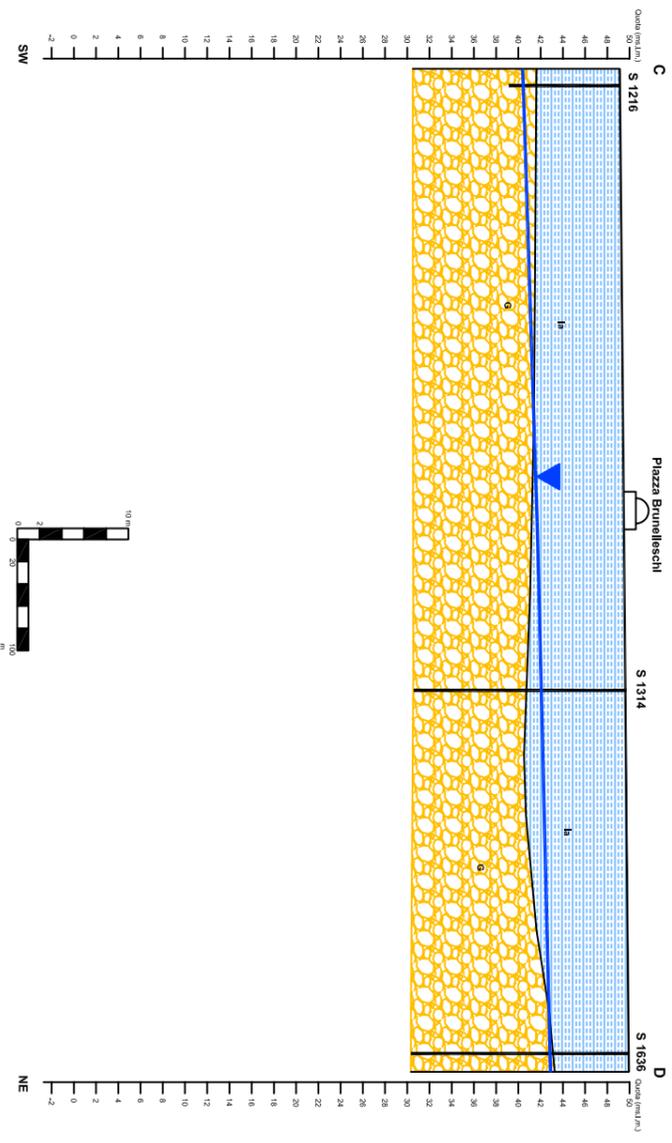
PROGETTISTI OPERAZIONALI:  
Ing. Claudio Bonacci  
Ing. Andrea Colli  
Ing. Daniela Bogani  
Ing. Filippo Bogani

COORDINATORE GENERALE:  
Ing. Paolo Pizzanelli  
Ing. Paolo Pizzanelli  
Ing. Paolo Pizzanelli

SEZIONE GEOLOGICA A - B



SEZIONE GEOLOGICA C - D



PLANIMETRIA DELL'AREA DI PIAZZA BRUNELLESCHI CON UBICAZIONE  
DELLE INDAGINI PREGRESSE E DELLE TRACCE DELLE SEZIONI GEOLOGICHE  
SCALA 1:2.000

LEGENDA

- Terreni di ripieno (r)
- Limiti argillati alluvionali (h)
- Ghiaie in matrici sabbiose (g)
- Argille rosse (A1)
- Substrato indurito (SUB)
- Livello scavo della fossa
- Traccia delle sezioni



**TREVI s.p.a.**

**FIRENZE PARCHEGGI s.p.a.**

ELABORATO N.

**PP4**

**PROGETTO PER UN PARCHEGGIO INTERRATO  
IN PIAZZA BRUNELLESCHI A FIRENZE**

DESCRIZIONE ELABORATO

**PP4  
RELAZIONE GEOLOGICA**



PRELIMINARE



DEFINITIVO



ESECUTIVO

PROT. N.	DATA	giugno 2012			
SOSTITUISCE IL N.					
AGG.	DATA	FIRMA	AGG.	DATA	FIRMA
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Committente:

FIRENZE PARCHEGGI s.p.a. - via Giorgio La Pira, 21 - Firenze

TREVI s.p.a. - via Dismano 5819 - Cesena

Progetto:

A.S.I. Progetti Integrati - via Q. Balducci 14/A - Prato  
Legale Rappresentante: prof. arch. Alberto Breschi

*progettisti opere architettoniche:* prof. arch. Alberto Breschi  
arch. Claudia Giannoni

*progettisti opere strutturali:* ing. Claudio Consorti  
ing. Andrea Vignoli

*progettisti opere impiantistiche:* ing. Andrea Carlesi  
ing. Daniele Bogani  
ing. Filippo Bogani