

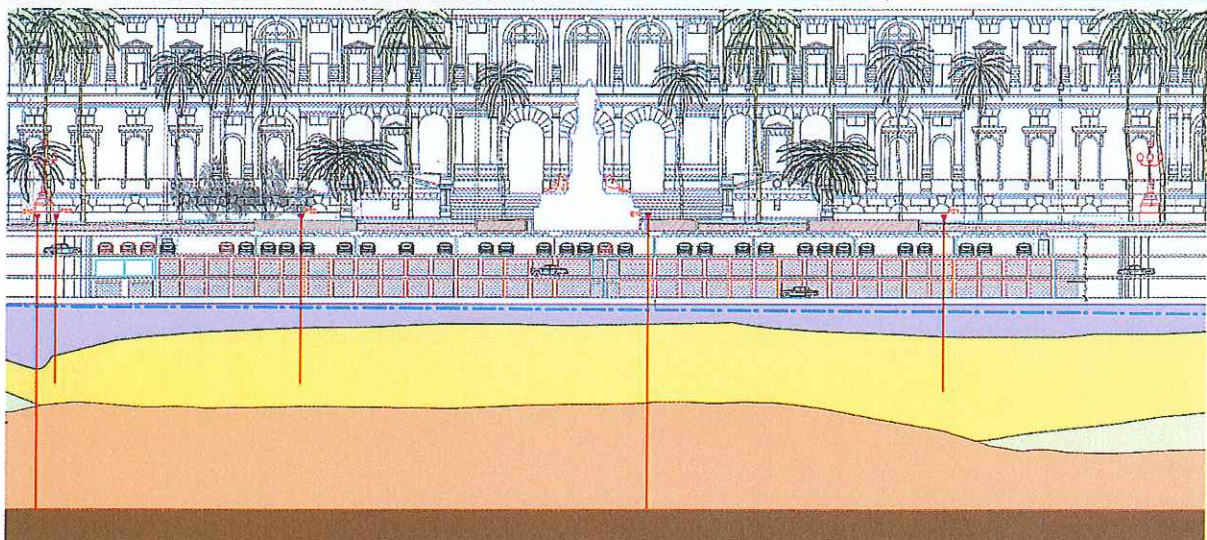
3/14

Quadrimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi

# GEOLOGIA

## TECNICA & AMBIENTALE

Settembre - Dicembre 2014 / ISSN 1722 - 0025





# REALIZZAZIONE DI GRANDI OPERE IN SOTTERRANEO IN AREE URBANE DI GRANDE PREGIO E IN SITUAZIONI GEOLOGICHE MOLTO COMPLESSE

*Construction of Important Underground Works  
in Valuable Urban Areas in a Very Complex Geological Context*

**Gualtiero Bellomo:**

geologo libero professionista, guabello@tin.it

**Giacomo Anselmo:**

geologo libero professionista, giacans@yahoo.it

## Riassunto

Tutte le realizzazioni in sotterraneo sono tecnicamente complesse e meritevoli di grande attenzione progettuale ma le difficoltà aumentano enormemente quando si opera in ambienti urbani di grande pregio, in prossimità di manufatti architettonicamente unici e staticamente compromessi, nonché in contesti geologici ed idrogeologici caratterizzati da grande eterogeneità litologica, da terreni con scarse o scarsissime caratteristiche fisico-meccaniche e dalla presenza di un sistema multifalदे particolarmente articolato. Uno di questi esempi è la realizzazione del parcheggio sotterraneo di Piazza Cavour a Roma. Ci troviamo, infatti, limitrofi al cosiddetto "Palazzaccio", opera di inestimabile valore architettonico, che sin dalla sua costruzione ha manifestato evidenti carenze strutturali, dissesti legati a cedimenti differenziali che lo hanno fatto diventare uno degli edifici storici più monitorati d'Italia.

A complicare la realizzazione di questa importante opera ingegneristica è la presenza, al centro della piazza, di una grande statua di Cavour che non poteva essere né smontata né delocalizzata. Si rendeva, quindi, indispensabile ricostruire oltre alle caratteristiche spaziali delle singole formazioni geologiche anche l'andamento delle singole lenti, spesso interdipendenti tra loro, dei vari litotipi che

## Abstract

All the realizations in the underground are technically complex and worthy of great planning attention, but the difficulties increase dramatically when operating in valuable urban areas, close to monuments of great architectural unique value and structurally compromised, as well as in geological and hydrogeological contexts characterized by great lithological heterogeneity, by soils with poor or very poor physical-mechanical properties and the presence of an articulated multi-aquifers.

An example is the construction of the underground car park in Piazza Cavour in Rome. This is adjacent to the "Palazzaccio", a work of an immense architectural value, which since its construction showed evident structural defects, damages related to differential settlements that make it one of the most monitored historic building in Italy. >>

## Termini Chiave

Opere in sotterraneo  
Terreni di scarse  
caratteristiche fisico  
- meccaniche  
Contesto storico  
- monumentale  
Assetto idrogeologico  
Rapporti  
terreno-falda-strutture

## Keywords

Underground works  
Soils of poor  
physical and  
mechanical properties  
The historical-monumental  
context  
The hydro-geological context  
Relationships between  
soil-aquifer-structures

costituiscono il complesso alluvionale finalizzato sia alla ricostruzione del sistema multifalde sia per dare al consulente geotecnico ed al calcolista delle strutture in c.a. tutte le indicazioni necessarie per la scelta più idonea delle tipologie di opere da realizzare, al fine di evitare qualunque interferenza negativa degli scavi con i manufatti presenti all'esterno dell'area di cantiere.

Viste le limitate distanze tra il parcheggio, il "Palazzaccio" e le strade perimetrali la parte tecnicamente più complessa è stata quella della scelta delle opere di sostegno provvisoria da realizzare prima degli scavi, tenendo conto che la scelta progettuale doveva essere tale da:

- non arrecare disturbo alla falda in pressione;
- evitare la sia pur minima alterazione al regime idrogeologico al di sotto del piano di sedime del "Palazzaccio" che si trova in condizioni statiche delicate ed estremamente sensibili;
- evitare che durante gli scavi si potessero innescare cedimenti e/o movimenti di qualunque tipo che potessero indurre dissesti nei manufatti limitrofi;
- realizzare il parcheggio senza smontare la statua di Cavour.

Le analisi geotecniche eseguite e le soluzioni progettuali perfettamente rispettose delle condizioni geologiche ed idrogeologiche complesse del sito, hanno permesso di realizzare un'opera di grande delicatezza ed importanza, senza che questa mostri dopo qualche anno dalla sua realizzazione alcun elemento di criticità e senza avere arrecato alcun danno ai manufatti vicini, alcuni dei quali già in condizioni statiche critiche.

## PREMESSE

Il crescente sviluppo urbanistico, soprattutto nelle grandi città, e la crescente difficoltà di organizzare al meglio la mobilità urbana impone a tutte le Amministrazioni Pubbliche sforzi notevoli per incentivare la delocalizzazione di molti servizi in sotterraneo.

Tutte le realizzazioni in sotterraneo sono tec-

*To complicate the realization of this important engineering work is the presence, in the center of the site, of a large statue of Cavour which could not be removed or relocated.*

*Therefore it was necessary to rebuild the trend of the individual lenses besides the spatial characteristics of the individual formations, often inter-leveled with each other, the trend of the various litho-types that form the alluvional complex aimed at both the reconstruction of the multi-aquifer system and to give to the equip of engineers all the informations needed to choose the most suitable solution in order to avoid any negative interference with the structures surrounding the construction site.*

*Due to the limited distance between the car park, the "Palazzaccio" and the perimetral streets, the most complicated part was the choice which kind of temporary structures to be carried out before the excavations.*

*The planning choice had to :*

- *Do not disturb the aquifer under pressure;*
- *avoid the slightest alteration to the hydrological regime under the foundation level of the "Palazzaccio" going through extremely sensitive structural conditions;*
- *avoid during the excavation subsidences or movements of every sort that could lead to the instability of nearby buildings*
- *realize the car park without moving the Cavour's Statue.*

*Geotechnical analysis and planning solutions have lead to the realization of a work of great delicacy and importance, respecting the complicated geological and hydro-geological conditions, ensuring its durability over the years and not producing damages to the surrounding buildings in many cases in critical structural conditions.*



nicamente complesse e meritevoli di grande attenzione progettuale ma le difficoltà aumentano enormemente quando si opera in ambienti urbani di grande pregio, in prossimità di manufatti architettonicamente unici e staticamente compromessi, nonché in contesti geologici ed idrogeologici caratterizzati da grande eterogeneità litologica, da terreni con scarse o scarsissime caratteristiche fisico-meccaniche e dalla presenza di un sistema multifalde particolarmente articolato.

Uno di questi esempi è la realizzazione del parcheggio sotterraneo di Piazza Cavour a Roma. Ci troviamo, infatti, limitrofi al cosiddetto "Palazzaccio", opera di inestimabile valore architettonico, che sin dalla sua costruzione ha manifestato evidenti carenze strutturali, dissesti legati a cedimenti differenziali che lo hanno fatto diventare uno degli edifici storici più monitorato d'Italia.

A complicare la realizzazione di questa importante opera ingegneristica è la presenza, al centro della piazza, di una grande statua di Cavour che non poteva essere né smontata né delocalizzata.

Questa particolare condizione al contorno, associata alla presenza di un modello geologico ed idrogeologico piuttosto complesso, ha reso necessario uno studio piuttosto dettagliato finalizzato non solo all'individuazione delle formazioni geologiche presenti e dei loro reciproci rapporti stratigrafici ma anche a fornire ai progettisti una rappresentazione, quanto più precisa possibile, della distribuzione spaziale dei vari livelli litotecnici che costituiscono le singole formazioni geologiche.

Ciò poiché, nel caso specifico, si rendeva indispensabile ricostruire oltre alle caratteristiche spaziali delle singole formazioni anche l'andamento delle singole lenti, spesso interdigitate tra loro, dei vari litotipi che costituiscono il complesso alluvionale finalizzato sia alla ricostruzione del sistema multifalde sia per dare al consulente geotecnico ed al calcolista delle strutture in c.a. tutte le indicazioni necessarie per la scelta più idonea delle tipologie di opere da realizzare al fine di evitare qualunque interferenza negativa

degli scavi con i manufatti presenti all'esterno dell'area di cantiere.

Lo studio aveva, quindi, lo scopo di:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica sotterranea;
- indicare le opere di consolidamento o presidio al fine di evitare sia il deterioramento dei manufatti in progetto, sia eventuali danni ai manufatti già realizzati in zona con particolare riferimento al "Palazzaccio";
- determinare le caratteristiche tecniche dei vari terreni con particolare interesse a quelle che più incidono in questo tipo di progetto (composizione mineralogica, coesione, angolo d'attrito, peso specifico, granulometria, ect.).

In una prima fase abbiamo organizzato il nostro lavoro eseguendo numerosi sopralluoghi studiando una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale, per definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico del sito e per verificare la presenza di eventuali agenti morfogenetici attivi.

Per la caratterizzazione tecnica dei terreni e dei loro reciproci rapporti giacitureali sono state utilizzate numerose pubblicazioni scientifiche, le indagini "in situ" ed in laboratorio effettuate nell'area per altri lavori, i dati ricavabili dalle indagini archeologiche eseguite per il presente progetto durante le quali sono state scavate trincee di profondità di oltre 7,00 mt, nonché ulteriori indagini che si è ritenuto utile eseguire per completezza di studio.

In particolare sono stati eseguiti e/o installati:

- n. 7 sondaggi meccanici di profondità variabile tra 15 e 30 mt. durante i quali sono

- stati prelevati n. 15 campioni indisturbati, inviati al laboratorio geotecnico per le necessarie sperimentazioni di laboratorio;
- n. 21 prove SPT;
  - n. 8 prove pressiometriche;
  - n. 6 piezometri Casagrande e n.4 piezometri a tubo aperto per misurare l'eventuale presenza di falde superficiali all'interno dei terreni di riporto ed il livello piezometrico della falda in pressione che ha sede nelle sabbie.

#### DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto strutturale è stato redatto dall'Ing. Cinnuzzi, la consulenza geotecnica dal Prof. Napoleoni, il progetto architettonico dall'Arch. Frangipane.

Il parcheggio è stato realizzato con una struttura scatolare in c.a. completamente interrata su tre livelli collegati da due rampe poste ai bordi del fabbricato. La massima profondità di scavo è pari a 11,40 mt.

Lungo tutto il perimetro è stata realizzata una paratia di pali del diametro  $\Phi$  600 di lunghezza pari a m. 11.00, posti ad interasse trasversale di 1.00 m al fine di permettere il regolare deflusso idrico sotterraneo.

Le fondazioni sono del tipo superficiale e sono costituite da una platea in c.a. di spessore costante pari a 80 cm.

Data le particolari e delicate condizioni al contorno, costituite da un modello geologico

ed idrogeologico piuttosto delicato e complesso, dalla presenza di fabbricati di notevole importanza storica e da strade ad intenso scorrimento veicolare, al fine di ridurre al minimo il disturbo arrecato dallo sbancamento del terreno è stata prevista una particolare metodologia costruttiva, che permette di puntellare la paratia a tutti i livelli anche durante le fasi di sbancamento che risultano evidentemente le più gravose per l'opera di contenimento del terreno.

Il puntellamento della paratia nelle fasi intermedie di cantiere viene realizzato tramite le stesse solette in c.a. che costituiscono gli impalcati dei piani interrati del parcheggio.

Per sostenere, in prima fase, le solette in c.a. viene realizzata una apposita struttura provvisoria costituita da pali-pilastro posti su una maglia regolare di dimensioni in pianta pari circa a 6.00 x 6.00 m.

I pilastri provvisori sono costituiti da montanti in acciaio del tipo HEB 160 fondati su pali in c.a. di diametro  $\Phi$  600 e lunghezza pari a l = 8.00 m e vengono rimossi una volta completata la soletta di fondazione ed effettuata la realizzazione dei pilastri in c.a. definitivi fino al secondo ordine.

Per una migliore comprensione delle modalità costruttive previste per la realizzazione dell'opera si riporta di seguito la sequenza temporale delle varie fasi lavorative:

a) realizzazione di una paratia di pali del diametro  $\Phi$  600 di lunghezza pari a m. 11.00 e posti

Sondaggio	Profondità mt.	Campioni n°	S.P.T. n°	Piezometro mt	Prove pressiometriche	Cassette n°
S1	21,00	2	4	21,00	/////	5
S2	20,00	2	3	20,00	/////	4
S3	20,00	2	3	20,00	/////	4
S4	20,00	2	3	20,00	/////	4
S5	15,50	1	2	///	/////	3
S6	30,00	3	3	15	4	6
S7	30	3	3	11	4	6



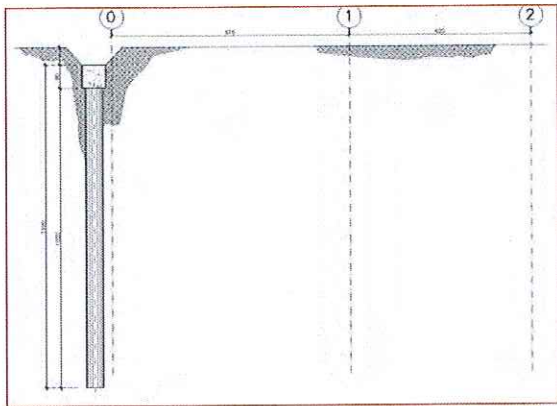


Fig. 1 Sezione tipologica.  
Fig. 1 Typology section.

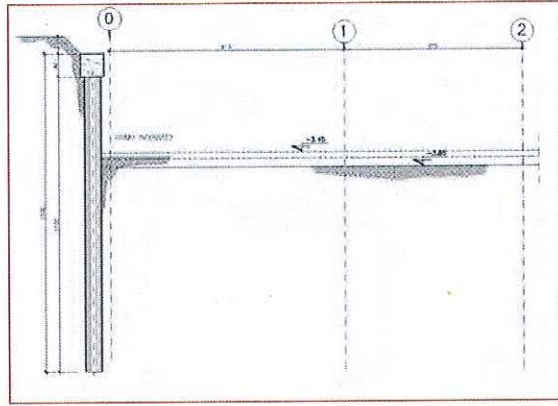


Fig. 2 Sbancamento del terreno fino alla quota del primo livello interrato.  
Fig. 2 Excavation of the first floor below the ground level.

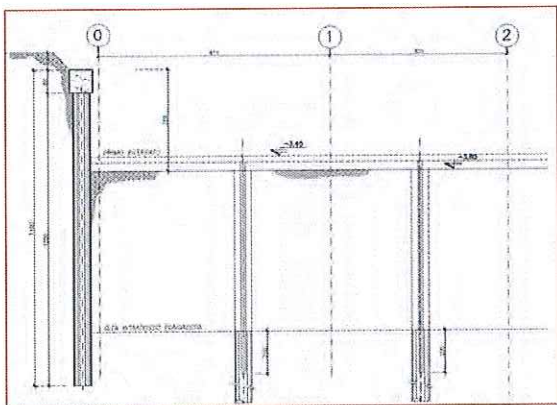


Fig. 3 Realizzazione dei pali pilastro provvisionali.  
Fig. 3 Realization of provisional piles.

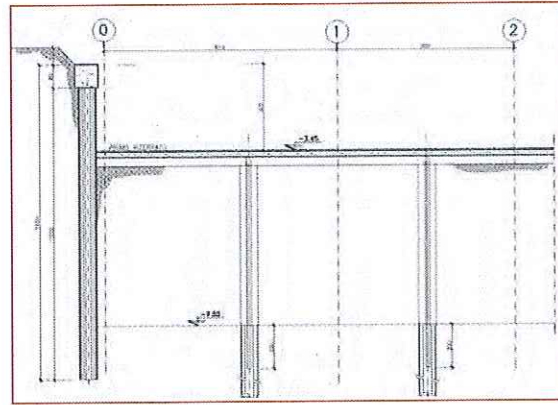


Fig. 4 Realizzazione della soletta del primo livello interrato.  
Fig. 4 Realization of the slab of first floor below the ground level.

ad interasse di 1.00 m lungo tutto il perimetro del parcheggio (Fig. 1)

b) sbancamento del terreno interno alle paratie fino alla quota del primo livello interrato (Fig. 2)

c) esecuzione di pali-pilastro provvisionali impostati su una maglia quadrata di circa 6.00 m di lato (Fig. 3). I pali-pilastro sono costituiti da una struttura di fondazione realizzata da pali in c.a. del diametro  $\Phi$  600 aventi lunghezza pari a 8.00 m nei quali sono annegati a fresco dei profilati metallici del tipo HEB 160 che realizzano i pilastri provvisionali veri e propri;

d) realizzazione della soletta di calpestio del primo livello interrato, opportunamente vinco-

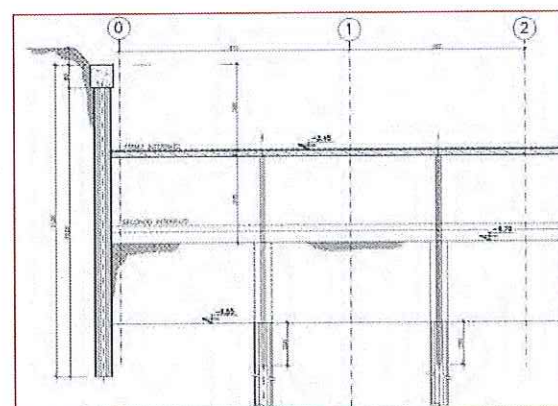
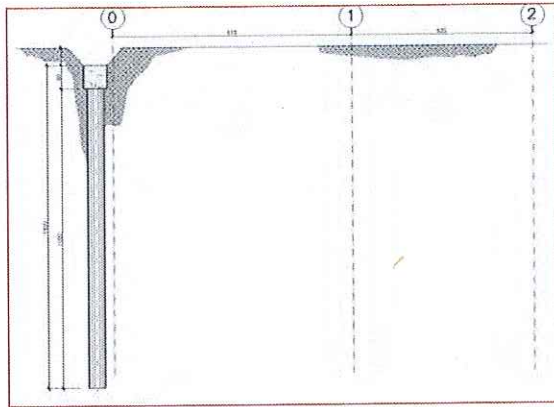
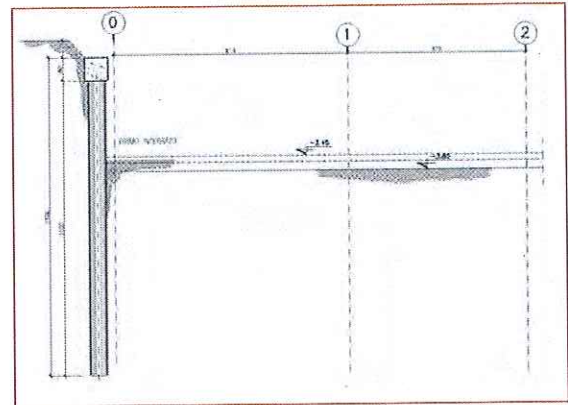


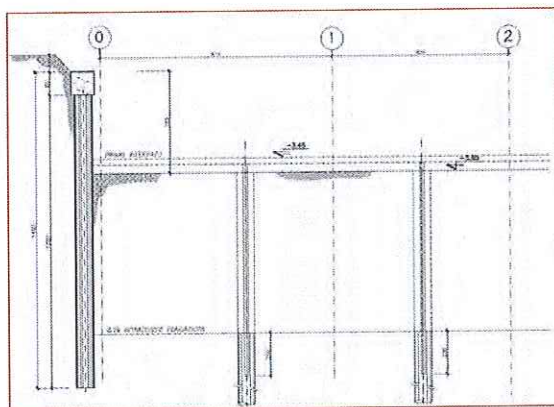
Fig. 5 Sbancamento del terreno fino alla quota del secondo livello interrato.  
Fig. 5 Excavation of second floor below the ground level.



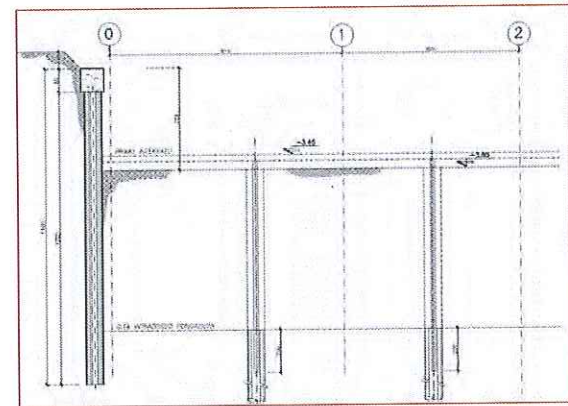
**Fig. 6** Realizzazione della soletta del secondo livello interrato.  
**Fig. 6** Realization of the slab of second floor below the ground level.



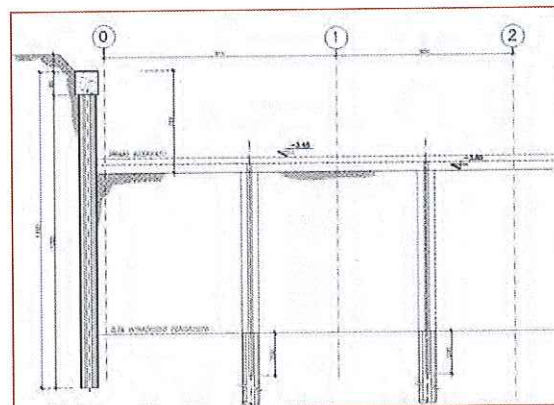
**Fig. 7** Sbancamento del terreno fino alla quota di intradosso delle fondazioni.  
**Fig. 7** Excavation of the lower surface level of the foundations.



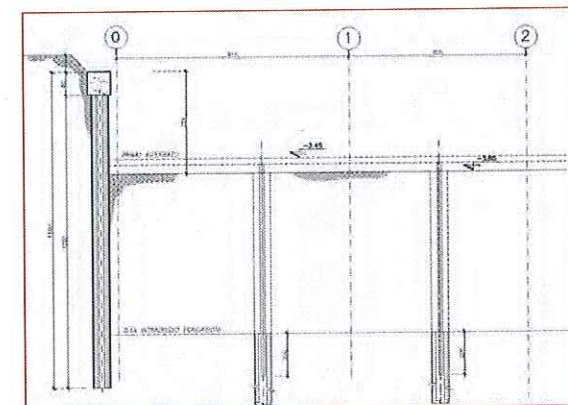
**Fig. 8** Realizzazione delle strutture di fondazione.  
**Fig. 8** Realization of foundation structures.



**Fig. 9** Completamento delle strutture di fondazione.  
**Fig. 9** Completion of foundation structures.



**Fig. 10** Realizzazione delle strutture verticali definitive.  
**Fig. 10** Realization of final vertical structures.



**Fig. 11** Completamento delle strutture.  
**Fig. 11** Completion of the structures.



lata alla paratia perimetrale mediante spinotti localizzati in asse alla soletta stessa, che risulta a sua volta impostata su idonei capitelli presenti alla sommità dei pali-pilastro (Fig. 4);

e) sbancamento del terreno fino alla quota di imposta della soletta del secondo livello interrato (Fig. 5);

f) predisposizione di appositi elementi di connessione sui profilati metallici (HEB160) per il collegamento con la soletta del secondo livello interrato e quindi nel getto della stessa (Fig. 6);

g) sbancamento del terreno al di sotto della soletta fino alla quota di intradosso delle future strutture di fondazione mantenendo inizialmente una berma di terreno a ridosso della paratia. In questa fase è previsto inoltre la scapitozzatura dei pali in c.a. e l'inguainamento dei profilati così da svincolarli completamente dalle future strutture di fondazione (Fig. 7);

h) formazione delle strutture di fondazione nel solo campo non occupato dalla berma di terreno lasciata nella fase precedente (Fig. 8);

i) completamento delle strutture di fondazione effettuato a settori e solo al termine del getto delle fondazioni della parte interna (Fig. 9);

l) realizzazione dei pilastri definitivi del terzo e del secondo livello interrato così da vincolare gli impalcati alle strutture di fondazione (Fig. 10);

m) asportazione dei pilastri provvisori e completamento delle strutture del parcheggio costituite dai pilastri del primo livello interrato e della sovrastante soletta di piano terra (Fig. 11).

#### PROBLEMATICHE RELATIVE ALLA PRESENZA DELLA STATUA DI CAVOUR

La presenza della statua di Cavour al centro della piazza ha creato una serie di difficoltà tecniche in relazione all'impossibilità di spostarla ed al notevole peso della stessa.

L'Ing. Cinuzzi ha, quindi, progettato una serie coordinata di opere che permettessero la realizzazione del parcheggio sotterraneo mantenendo al suo posto la statua che vale la pena riassumere per l'interesse che ha suscitato.

Di seguito si descrivono le varie fasi costruttive:



a) 2005.09.22 Messa a nudo delle strutture di fondazione



b) 2006.12.14 Realizzazione pali-pilastro provvisori - Calo delle putrelle nei fori con annessamento nel cls fresco



c) 2007.03.05 Realizzazione fori nel basamento ed inserimento travi HEM 240





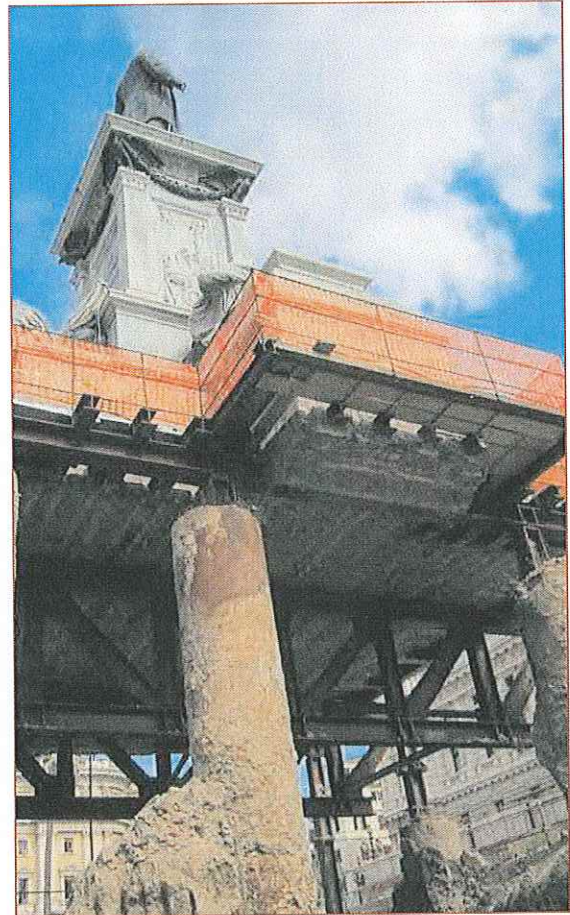
d) 2007.04.03 Realizzazione dell'impalcato di sostegno del monumento



e) 2007.05.17 Inserimento prima trave reticolare



f) 2007.06.22 Demolizione primo muro interno



g) 2010.09.07 Getto della soletta del primo livello interrato esternamente al monumento



h) 2010.10.18 Getto di magrone a livello del secondo interrato per allestimento visita delle autorità





i) 2010.12.10



l) 2011.02.12



m) 2011.02.17 Vista dei pali in c.a di ammortamento dei montanti in acciaio



n) 2011.03.30 Realizzazione della fondazione al di sotto del monumento



## CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE

Il territorio comunale di Roma, in generale, è caratterizzato, da un punto di vista geologico, dall'affioramento di terreni relativamente recenti in quanto i più antichi appartengono alle facies marine del Plio-Pleistocene rappresentate da ghiaie e sabbie note in letteratura come Unità di Monte Ciocchi, da argille ed argille sabbiose note in letteratura come Argille di Monte Mario ed Argille Azzurre dell'Unità di Monte Vaticano che costituiscono la base sopra la quale si rinvengono tutti i terreni del "Pleistocene Glaciale" abbondantemente presenti nel territorio comunale di Roma.

Quest'ultimo periodo è caratterizzato dalla deposizione di materiali vulcanici che si alternano a depositi sedimentari.

In questo periodo si verifica un sollevamento generale dell'area che ha preceduto l'ultimo glaciale, responsabile dell'assetto morfologico del territorio così come noi lo osserviamo attualmente, che inizia con una progressiva e lenta discesa del livello marino che raggiunge un minimo di circa 120 m rispetto al livello attuale.

Successivamente, il livello marino risale rapidamente (in termini geologici) fino a raggiungere una quota prossima a quella attuale.

Da un punto di vista morfologico il risultato di questa imponente discesa del livello del mare e della successiva risalita è stata la creazione di grandi vallate, dovute all'accresciuta attività erosiva durante la fase regressiva, successivamente ricolmate dalla deposizione di grandi quantità di sedimenti fluviali in relazione alla perdita di energia da parte dei fiumi a causa dell'innalzamento del livello di base.

Nello specifico dell'area direttamente interessata dai lavori i terreni presenti sono:

- Riperti;
- Alluvioni recenti costituite prevalentemente da limi argillosi, argille, sabbie, ghiaie e da materiale organico in decomposizione;
- Argille limose plioceniche (Unità del Monte Vaticano).

I primi sono "rocce incoerenti" generalmente di scarse caratteristiche fisico-meccaniche, da poco a mediamente addensate.

Nello specifico, dalle indagini eseguite si evince che tale litotipo è costituito, granulometricamente, da limi, limi sabbiosi, sabbie limose con abbondanti elementi lapidei eterometrici e litologicamente eterogenei. Le caratteristiche fisico-meccaniche risentono, ovviamente, della notevole eterogeneità intrinseca del litotipo ma in generale, come dimostrano le prove geotecniche eseguite, sono piuttosto scadenti. Lo spessore è variabile.

Le alluvioni sono da considerare "rocce incoerenti o pseudocoerenti" costituite prevalentemente da terreni poco consistenti con caratteristiche fisico-meccaniche spesso scadenti.

Dalle indagini eseguite si evince che questo complesso, nell'area direttamente interessata dal progetto, ha spessore notevole (variabile tra 35 e 50 mt.) ed è estremamente eterogeneo sia in senso verticale che orizzontale.

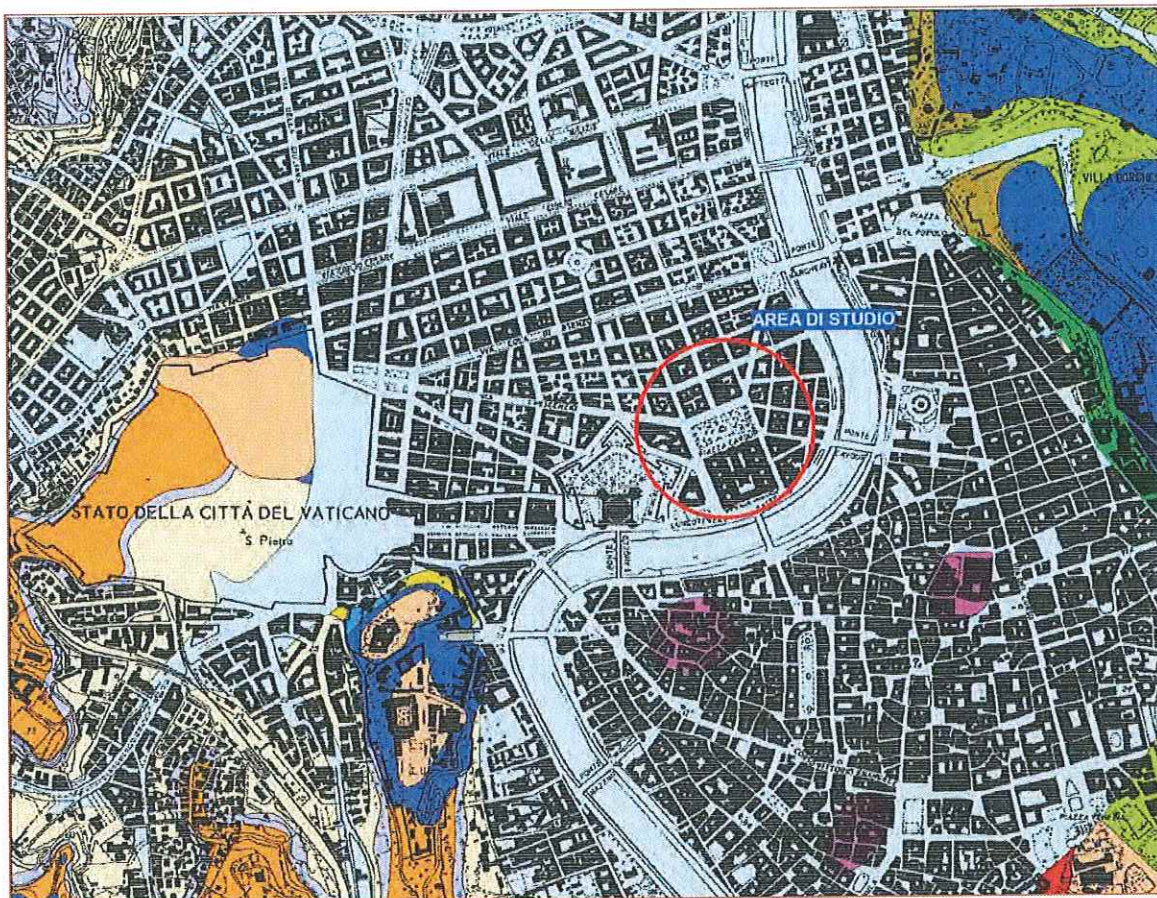
In particolare si possono distinguere 5 livelli litotecnici principali, tenendo conto che anche all'interno dei singoli livelli si possono trovare eterotopie orizzontali e verticali: a) Limi e limi sabbiosi giallastri, grigi o bruno-marrone; b) Sabbie fini grigiastre; c) Sabbie a granulometria media e/o grossolana; d) Argille limose più o meno torbose; e) Ghiaie.

Il livello a) è presente in maniera costante al di sotto dello strato di riporto. Si tratta di limi e limi sabbiosi poco consistenti, plastici, saturi, con scadenti caratteristiche fisico meccaniche, così come si deduce dalle indagini geotecniche eseguite e da quelle in nostro possesso.

Il livello b) è costituito da sabbie fini da poco a mediamente addensate, con contenuto di argilla tra il 15 ed 35% con livelli intercalati di veri e propri limi sabbiosi. Si individuano frequenti tracce di materiali vegetali in via di decomposizione.

Il livello c) è costituito da sabbie a granulometria media e/o grossolana, addensate, a scarso contenuto di limi ed argille, con livelli di sabbie





**Fig. 12** Carta geologica con l'ubicazione della sezione geologica 1 (Fonte: Carta geologica del centro storico di Roma di F. Funicello, 1995).

**Fig. 12** Geological map showing the location of the geological section 1 (Source: Geological map of the historical center of Rome by F. Funicello, 1995).

- Zone di particolare accumulo di materiale di riporto - rocce permeabili per porosità
- Alluvioni recenti ed attuali localmente ricoperte da terreno di riporto - rocce a permeabilità da elevata a bassa per porosità
- Depositi fluvio lacustri del Pleistocene superiore (Unità Aurelia) - rocce poco permeabili
- Tufo tufato o tufo tufato - rocce permeabili per fratturazione
- Proclastiti - rocce permeabili per porosità e fratturazione
- Proclastiti rimaneggiate (Unità di S. Pietro) rocce permeabili per porosità e fratturazione
- Travertini (Unità di Valle Giulia) - rocce permeabili per fratturazione
- Tufo giallo di Via Tiburtina - rocce permeabili per porosità
- Colata lavica massiva prevalentemente Etioide (Peperino della Via Flaminia) - rocce permeabili per fratturazione
- Depositi fluvio - palustri Pleistocene medio (Unità B del Paleotevere 2) - rocce a permeabilità per porosità variabile tra basso e medio
- Depositi alluvionali terrazzati (Unità del Fojta Gallica o del Paleotevere 1) - rocce permeabili per porosità
- Ghiaie poligeniche (Unità Monte Ciccio) - rocce permeabili per porosità
- Sabbie grigie (Unità Monte Mario) - rocce permeabili per porosità
- Argille grigie azzurre (Unità Monte Vaticano) - rocce impermeabili



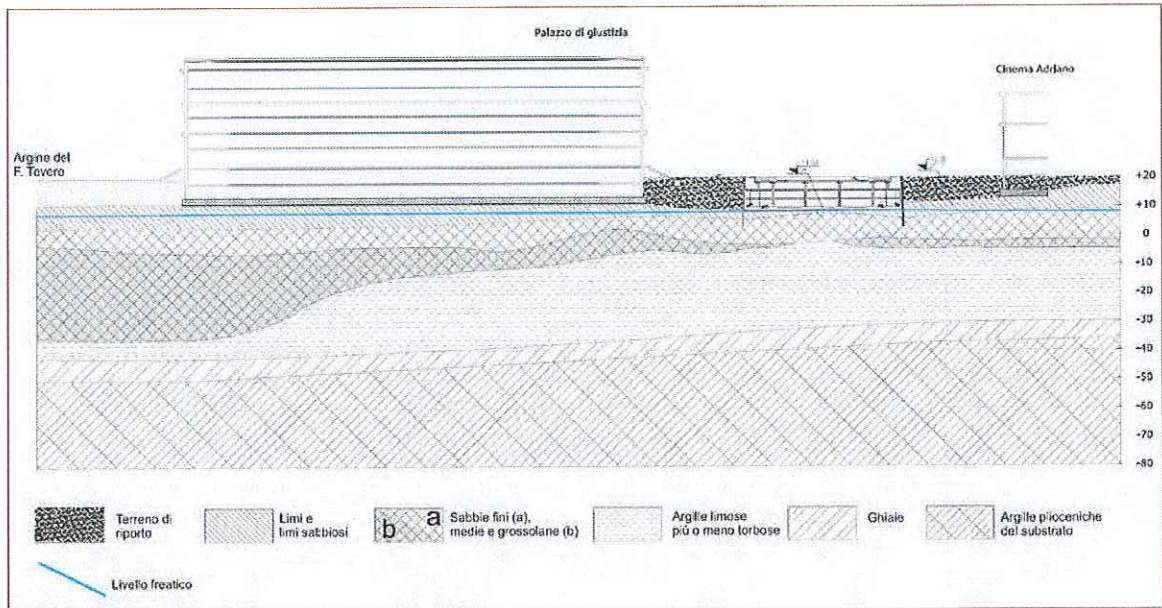
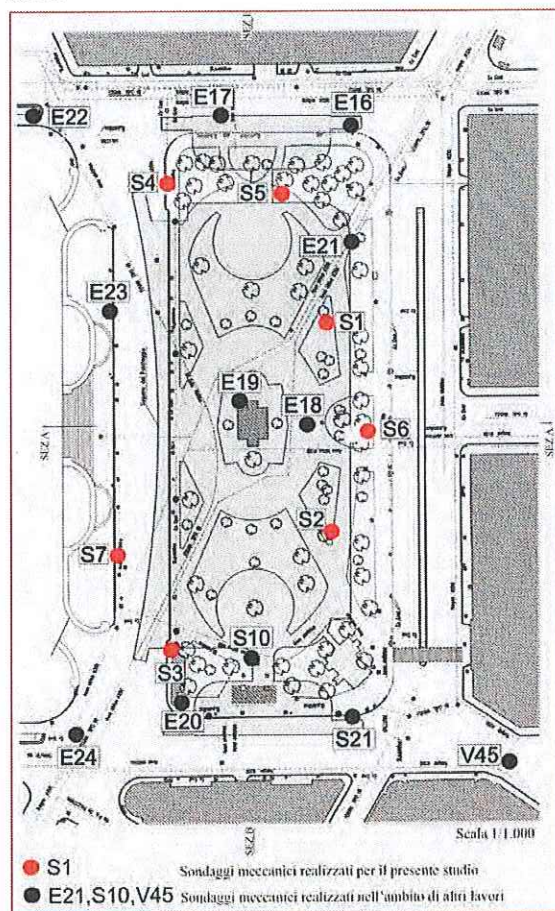


Fig. 13 Sezione geologica 1.

Fig. 13 Geological section 1.

Fig. 14 Planimetria schematica con l'ubicazione delle sezioni geologiche AA e BB

Fig. 14 Schematic Plan showing the location of the geological cross sections AA and BB.



fini. Localmente si ritrovano strati debolmente cementati. Non si trovano, in genere, tracce di depositi organici in decomposizione.

Il livello d) è, invece, prevalentemente costituito da argille limose grigie, plastiche, da poco a mediamente consistenti, con frequenti livelli di torba centimetrici, plastici e lenti sabbiose medio-grossolane.

Il livello e) è costituito da ghiaie grossolane con livelli di sabbie.

Il pacco di depositi alluvionali poggia sul complesso delle cosiddette "Argille vaticane". Si tratta di argille grigie molto consistenti, omogenee, con alternanze sabbio-limose.

In conclusione si può dire che la stratigrafia geologico-tecnica locale è data, dall'alto verso il basso, da (vedi sezioni geologiche allegate):

- *Terreni di riporto* – Spessore variabile tra 3,80 e 12 mt. Su questo tipo litologico sono state eseguite prove di laboratorio e prove geotecniche in situ. I valori ottenuti portano a considerare questi terreni come scadenti e suscettibili di elevata deformabilità;
- *Limi e limi sabbiosi* – Spessore variabile tra 2 e 8 mt. Anche su questo tipo litologico sono state eseguite prove geotecniche



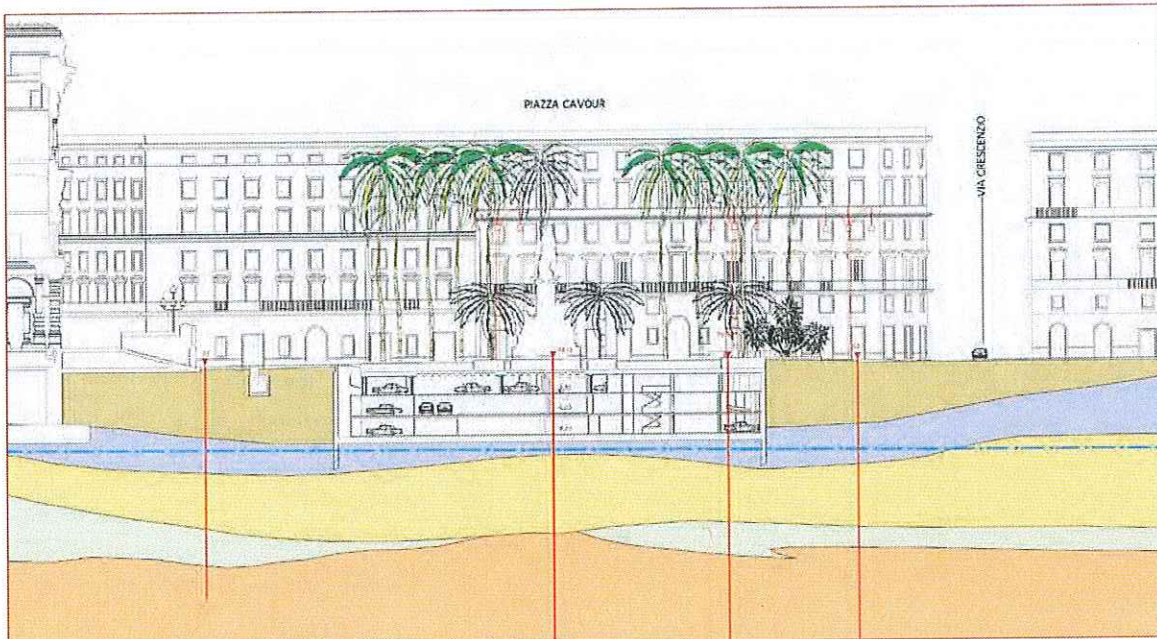


Fig. 15 Sezione geologica AA.

Fig. 15 Geological section AA.

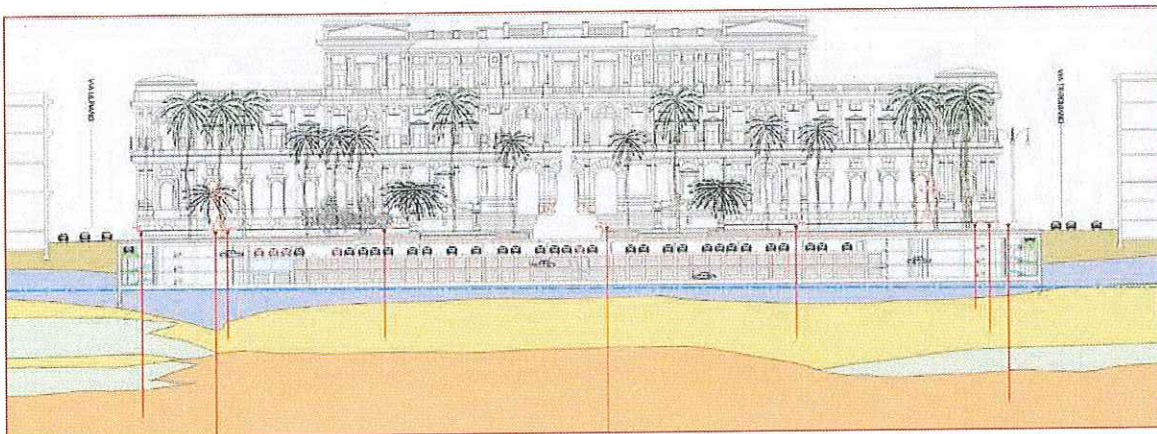
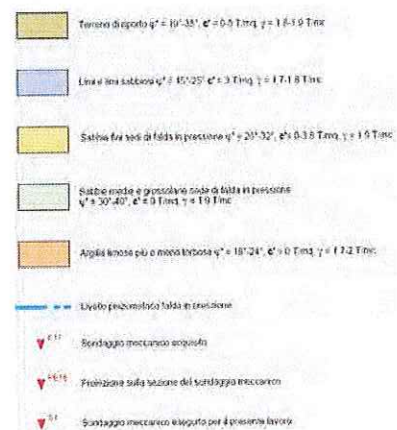


Fig. 16 Sezione geologica BB.

Fig. 16 Geological section BB.

di laboratorio ed in situ. I valori ottenuti portano a considerare questi terreni come scadenti e suscettibili di elevata deformabilità;

- *Sabbie fini* – Spessore variabile tra 4 e 35 metri. Su questo tipo litologico sono state eseguite prove di laboratorio e prove geotecniche in situ. I valori ottenuti portano a considerare questi terreni come scadenti e suscettibili di elevata deformabilità;
- *Sabbie medie e/o grossolane* – Spessore me-





dio 2,5-7 mt. In questo caso non è stato possibile avere risultati delle sperimentazioni di laboratorio ma si hanno i risultati di prove penetrometriche dinamiche che danno valori medi di N30 pari a 30 da cui si evince che si tratta di terreni mediamente addensati ed a medio-bassa deformabilità;

- *Argille limose più o meno torbose* – Spessore medio 15-20 mt. Si tratta di depositi grigiastri costituiti da argille limose e limi sabbiosi con abbondante contenuto organico. I livelli più ricchi di torba sono a consistenza estremamente scarsa, i livelli meno ricchi in sostanza organica sono generalmente meno scadenti. Il passaggio tra questi due livelli non è netto ed è spesso interdigitato. Nelle sezioni geologiche allegate i due membri non sono stati distinti per la scarsità di dati in nostro possesso ma si deve dire che tale distinzione non è indispensabile nel nostro caso perché entrambi sono terreni ad alta compressibilità e consistenza da molle a plastica ed in entrambi i casi il comportamento geomeccanico è governato essenzialmente dalla coesione con apporto limitato della resistenza frizionale.
- *Ghiaie* – Spessore medio intorno a 5-10 mt. Si tratta di un deposito granulare grossolano con intercalati livelli e lenti sabbiose.
- *Argille plioceniche* – Sono terreni di spessore notevole che si rinvengono a profondità elevata, maggiore di 35 mt. Sono terreni consistenti o molto consistenti, generalmente omogenei, con ottime caratteristiche fisico-meccaniche.

#### CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO

L'area interessata dallo studio è limitrofa all'argine del Fiume Tevere che, assieme all'Aniene ed alle vicissitudini geologiche del Pleistocene ed in particolare dall'alternanza dei periodi

glaciali ed interglaciali, ha influenzato in maniera significativa la morfologia del territorio comunale di Roma. In particolare i corsi d'acqua con l'incessante attività erosiva, di trasporto e deposito hanno modellato i rilievi ed agito sulle valli e pianure modificandole continuamente.

A Roma un problema molto delicato è costituito dalla presenza di numerosissime cavità e questo aspetto impone un'attenzione particolare ma nel nostro caso la geologia presente, tutte le notizie storiche e le indagini eseguite hanno permesso di escludere, nell'area direttamente interessata dal progetto, il rischio di rinvenire cavità ed effettivamente in fase di realizzazione dei lavori non sono state intercettate cavità.

Per quanto riguarda le condizioni di stabilità, si può dire che l'area direttamente interessata dal progetto è assolutamente stabile in relazione al fatto che è pianeggiante e che non esistono agenti geodinamici che possano modificare l'attuale stato di equilibrio.

Non si è ritenuto utile eseguire specifiche verifiche di stabilità dei pendii in quanto queste avrebbero fatto registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla normativa vigente.

Le stesse opere in progetto, realizzate in maniera da tenere in debito conto le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito, non hanno modificato in alcun modo l'attuale habitus geomorfologico e le condizioni di stabilità dell'area.

#### CARATTERI IDROGEOLOGICI DEL TERRITORIO

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio romano sono molto variabili in rapporto alla variabilità delle caratteristiche litologiche o giaciture dei terreni presenti.

Caratteristica principale è data dalla serie argillosa marina dell'Unità di Monte Vaticano che ha una permeabilità così bassa che può essere considerata, ai fini idrogeologici, praticamente impermeabile e che rappresenta il letto del sistema idrogeologico sotterraneo in tutta l'area.



Al di sopra di tale substrato impermeabile poggiano:

- a) le serie sedimentarie pre-vulcaniche con orizzonti ghiaiosi e/o sabbiosi permeabili alternati ad argille e limi impermeabili;
- b) le serie vulcaniche che mostrano alternanze di livelli molto permeabili con livelli francamente impermeabili;
- c) il sedimentario post vulcanico che è da considerarsi a permeabilità variabile poiché presenta frequenti variazioni di permeabilità, sia in senso orizzontale che in senso verticale, che rendono la situazione idrogeologica del territorio romano abbastanza complessa per la presenza di numerose circolazioni idriche sotterranee, spesso in contatto idraulico tra loro.

Quasi ovunque si hanno più circolazioni idriche sovrapposte a vari livelli, con quelle profonde che presentano spesso caratteristiche di falda in pressione mentre le circolazioni idriche sotterranee più superficiali hanno un andamento fortemente influenzato dalla topografia e dalla morfologia superficiale.

Nel caso specifico dell'area in studio si può dire che siamo in presenza di un assetto idrogeologico caratterizzato da un complesso multifalde con una falda principale in pressione con sede nei terreni di elevata permeabilità (ghiaie) a profondità variabile tra 35 e 50 mt. dal piano campagna ed una falda secondaria anch'essa in pressione che ha sede nelle sabbie fini e nelle sabbie grossolane a profondità variabile tra 12 e 14 mt.

I livelli piezometrici si collocano a profondità rispettivamente:

1. (falda principale) variabile tra 11,10 (livello misurato nei periodi invernali e primaverili) ed 11,80 (livello misurato nei periodi autunnali ed estivi) nei piezometri installati a valle dell'area (S3 ed S4),
2. (falda secondaria) variabile tra 9,92 (livello misurato nei periodi invernali e primaverili) e 10,45 (livello misurato nei periodi autunnali ed estivi) nei piezometri installati a monte dell'area (S1, S2 ed S6).

Nei riporti, infine, non è presente una vera e propria falda freatica ed i sondaggi e le indagini archeologiche eseguite non hanno rinvenuto significativi livelli idrici.

Considerato, però, che i riporti poggiano sulle alluvioni limose e che al loro interno sono presenti livelli e lenti argillo-limose, si ritiene possibile ipotizzare che all'interno del complesso, nei periodi di piogge, si possano costituire modesti livelli idrici a carattere stagionale (ipotesi confermata in sede di realizzazione dei lavori).

Dai numerosi dati a nostra disposizione, anche di serie storiche (dati storici sulle variazioni del livello del Tevere e dei livelli piezometrici delle falde), nonché dagli approfondimenti eseguiti per il presente progetto, si evince che le prime due falde sono certamente di grande rilievo e potenzialità ed entrambe in diretto contatto con il Tevere.

Si tratta, infatti, di falde che instaurano un rapporto biunivoco di alimentazione con il Tevere nel senso che quando il livello della falda è superiore a quello del corso d'acqua (periodo primaverile) il drenaggio è diretto verso il corso d'acqua, nei giorni immediatamente dopo le piogge il flusso sotterraneo si inverte.

Per quanto riguarda il problema dell'interferenza tra i lavori e la falda in pressione nelle sabbie si può dire che il progetto è stato studiato in maniera da risultare del tutto inesistente.

Ciò poiché la profondità di progetto del piano di sedime è stata scelta con la necessaria cura al fine di non intercettare il contatto tra i limi e le sabbie, evitando scrupolosamente di intaccare il livello impermeabile che mantiene la falda in condizioni artesiane.

Solo le opere di contenimento dei fronti di scavo, inevitabilmente, hanno intercettato il complesso sabbioso ma sono stati realizzati in maniera tale da garantire che il deflusso sotterraneo possa continuare con le stesse caratteristiche ante operam, senza imporre né alcun effetto diga, né risalite all'interno dei pali realizzati.

La stessa velocità di deflusso, peraltro molto modesta, non ha subito alcuna sostanziale modi-



fica, sia per la permeabilità limitata delle sabbie, che hanno in genere una matrice piuttosto fina, sia per la tipologia delle opere di sostegno degli scavi.

## CONCLUSIONI

Il progetto ha previsto la realizzazione di un parcheggio multipiano di forma rettangolare con lati di lunghezza pari a 130x56 mt.

I piani sono tre, completamente interrati e l'interpiano previsto è pari a 2,50 mt. Il primo piano è stato ricoperto da uno spessore pari a 1,30 mt. di terreno vegetale.

La massima profondità di scavo è pari a 11,40 mt che, pur essendo maggiore della profondità del livello piezometrico della falda in pressione presente nelle sabbie fini, si mantiene sempre al di sopra del livello in cui viene intercettata la falda (contatto tra i limi e le sabbie), così come si evince dalle sezioni geologiche allegate, evitando qualunque interferenza tra le opere e la falda stessa.

La realizzazione del parcheggio ha confermato tale ipotesi geologica.

Il terreno di fondazione è costituito dai limi che presentano scadenti caratteristiche fisico-meccaniche, soprattutto in relazione alla loro eterogeneità, alla loro elevata plasticità e deformabilità.

Per quanto riguarda il sistema fondazionale, tenuto conto che il parcheggio risulta interrato e, quindi, in buona parte di tipo "compensato" (le tensioni indotte dalla realizzazione del parcheggio sono simili al carico litostatico del terreno asportato) e visto l'assetto idrogeologico, si è realizzata una fondazione di tipo diretta tramite platea continua in c.a. di adeguato spessore, realizzata in maniera da essere completamente impermeabile.

Il parcheggio è stato completamente impermeabilizzato sia in elevazione che in fondazione.

In tal modo si è ottenuto il doppio risultato di ripartire al meglio le tensioni sul terreno di sedime e di evitare infiltrazioni all'interno del par-

cheggio in caso di periodiche e/o momentanee formazioni di livelli freatici all'interno dei riporti al di sopra del piano di calpestio del parcheggio.

Viste le limitate distanze tra il parcheggio, il "Palazzaccio" e le strade perimetrali la parte tecnicamente più complessa è stata quella della scelta delle opere di sostegno provvisoria da realizzare prima degli scavi, tenendo conto che la scelta progettuale doveva essere tale da:

- non arrecare disturbo alla falda in pressione;
- evitare la sia pur minima alterazione al regime idrogeologico al di sotto del piano di sedime del "Palazzaccio" che si trova in condizioni statiche delicate ed estremamente sensibili;
- evitare che durante gli scavi si potessero innescare cedimenti e/o movimenti di qualunque tipo che potessero indurre dissesti nei manufatti limitrofi;
- realizzare il parcheggio senza smontare la statua di Cavour.

Le analisi geotecniche eseguite dal Prof. Napoleoni e le soluzioni progettuali ideate dai progettisti Arch. Frangipane (progetto architettonico) ed Ing. Cinuzzi (progetto strutturale) perfettamente rispettose delle condizioni geologiche ed idrogeologiche complesse del sito, hanno permesso di realizzare un'opera di grande delicatezza ed importanza, senza che questa mostri dopo qualche anno dalla sua realizzazione alcun elemento di criticità e senza avere arrecato alcun danno ai manufatti vicini, alcuni dei quali già in condizioni statiche critiche.

Con ciò a dimostrazione del fatto che anche opere importanti possono essere realizzate in ambienti urbani e geologici complessi senza creare alcun problema purché:

- a) ci sia la giusta consapevolezza della necessità di progettare sulla base di un modello geologico ricostruito con il necessario dettaglio sia rispetto all'importanza intrinseca dell'opera sia alla complessità geologica, geomorfologica ed idrogeologica del sito;



- b) sia forte l'interazione tra figure professionali diverse;
- c) le scelte progettuali siano ponderate e rispettose di tutte le criticità presenti ■ ■ ■

## BIBLIOGRAFIA

U. Ventriglia (1971) – La geologia della città di Roma;

Funicello R. (1995) – Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. Volume L - La geologia di Roma. Il centro storico;

P.R.G. di Roma adottato dal Consiglio Comunale con Delibera n. 33 del 19/20 marzo 2003.

Società Geologica Italiana (2004) – Guide Geologiche regionali – Lazio– BE-MA editrice;

R. Funicello, G. Heiken, D. De Rita, M. Parotto (2006) – I sette colli – Guida geologica a una Roma mai vista: Raffaello Cortina Editore;

D. De Rita, R. Funicello, M. Parotto – Carta geologica del complesso vulcanico dei colli Albani – scala 1/50.000.

Dr. Bellomo Gualtiero (geologo libero professionista)

Dr. Anselmo Giacomo (geologo libero professionista)