

## Suoli e terreni degradati nell'area urbana di Roma: tecniche di indagine geologica, geotecnica e geofisica

Garbin SIGEA - Brancaleoni GEOPLANNING S.r.l.

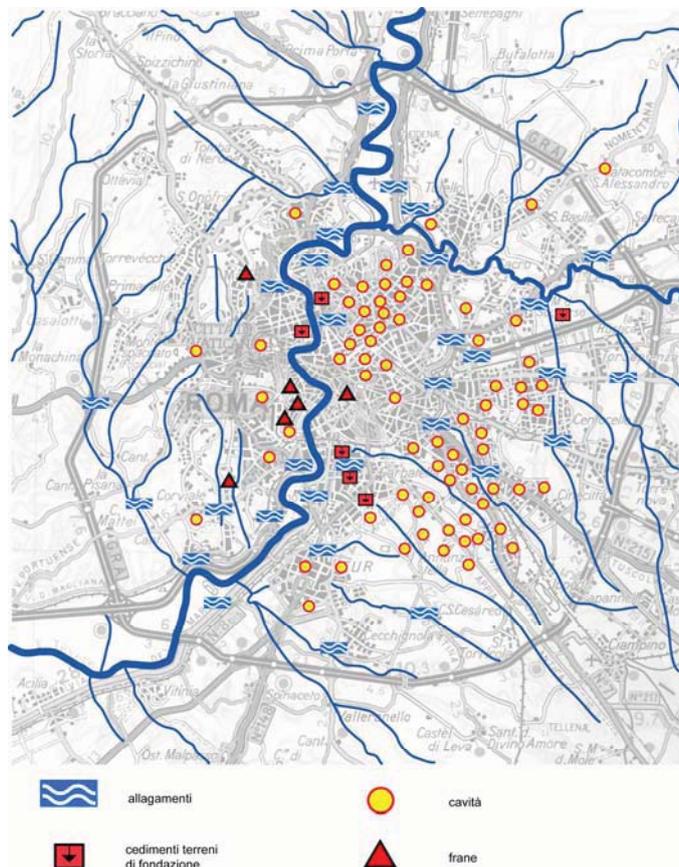
### 1) Premessa

Il territorio della città di Roma interessa a Nord il complesso Sabatino, i primi contrafforti dell'Appennino ad Est, il margine dei Colli Albani a Sud, e il litorale tirrenico ad Ovest. Nel corso della sua storia la città si è espansa dagli originari Sette Colli fino a ben oltre il tracciato del Grande Raccordo Anulare.

Si è costruito sia su terreni "buoni" dal punto di vista geotecnico sia su terreni più scadenti, soprattutto negli anni del boom economico, quando si sono realizzate molte strutture su terreni geologicamente infidi, spesso senza idonee indagini geognostiche propedeutiche alla loro progettazione.

E' un territorio dalle enormi risorse, che perciò ha visto sviluppare una delle più grandi civiltà della storia, ma al contempo presenta diverse problematiche geologiche che si celano nel variegato sottosuolo cittadino

**Figura 1: alcune "problematiche" geologiche presenti nell'area urbana di Roma (da Gasparini et al., 2005)**



. A ciò si devono aggiungere le pesanti modificazioni del territorio avvenute nel corso della storia della città di Roma che hanno trasformato, e a tratti stravolto, l'aspetto fisico originario determinando condizioni favorevoli all'innesco di situazioni di dissesto.

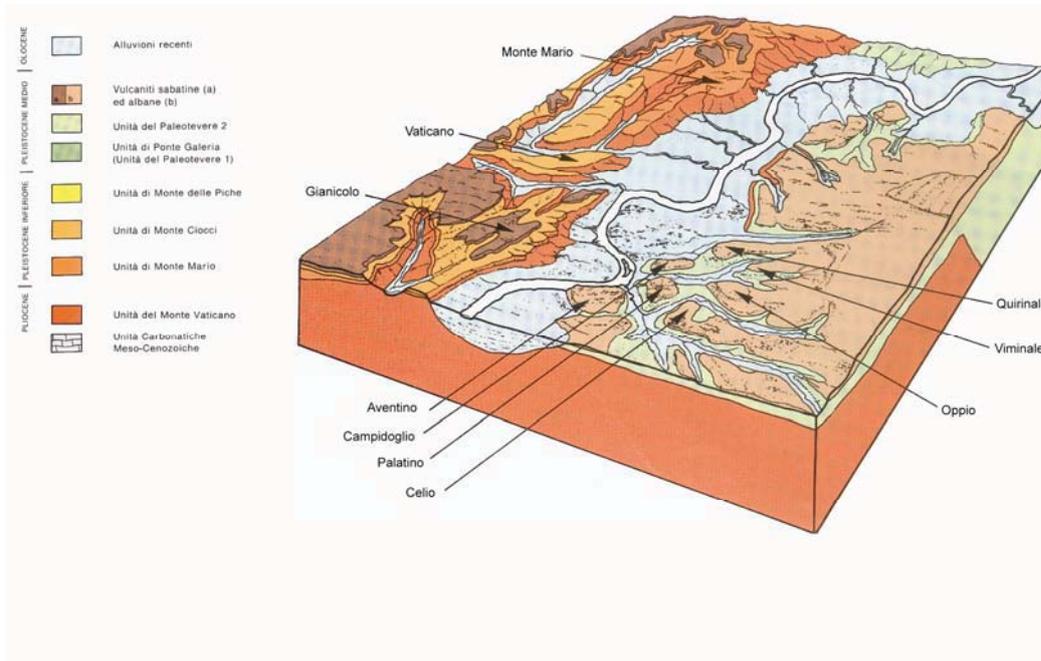
Verranno di seguito analizzati casi specifici legati ad alcune tra le più frequenti problematiche geologiche presenti in ambito urbano, sottolineando quale tipo di indagine geognostica è stata impiegata a riguardo.

Nell'ordine: dissesti di versante e difesa del suolo; accumulo di terreni di riporto e presenza di siti di interesse archeologico; presenza di cavità sotterranee.

E' doveroso precisare che il presente articolo prende in parte spunto da precedenti lavori già pubblicati dagli stessi autori.

Per cominciare viene descritta brevemente la storia geologica della città

**Figura 2 - Assetto geologico dell'area romana (da: Parotto, 1991; Faccenna et al., 1995)**



Durante il Pliocene-Pleistocene inferiore il territorio romano era caratterizzato da un ambiente di sedimentazione marino che determinò la deposizione delle argille azzurre dell'Unità di Monte Vaticano su di un basamento carbonatico meso-cenozoico. Questa unità, formata da argille dello spessore di circa 800 m, costituisce il substrato geologico che con continuità soggiace al di sotto dei terreni più recenti dell'area cittadina romana.

Dal Pleistocene medio un progressivo sollevamento dell'area cambia l'ambiente di sedimentazione da marino a continentale, con deposizione dapprima di sabbie e ghiaie marine e successivamente di terreni fluvio-lacustri, deltizi e fluvio-palustri caratterizzati da complessi rapporti stratigrafici. L'emersione dell'area romana determina infatti lo sviluppo di un ambiente fluvio-palustre caratterizzato dalla deposizione di terreni alluvionali "antichi" ad opera di un fiume (Paleotevere) abbondantemente rifornito di sedimenti provenienti dall'erosione della vicina catena appenninica in sollevamento.

Circa 600.000 anni fa inizia l'attività dei vulcani laziali (Sabatini a NW e Colli Albani a SE) che consente la messa in posto di una notevole quantità di prodotti vulcanici che, sotto forma di piroclastiti di ricaduta o di colate piroclastiche, ricoprono e modificano la precedente

morfologia dell'area. Ciò provoca la trasformazione radicale del reticolo idrografico, e il corso del Paleotevere viene definitivamente confinato in quello attuale, cioè costretto tra la dorsale plio-pleistocenica di Monte Mario-Gianicolo e il plateau ignimbrico albanese.

Durante la messa in posto dei prodotti vulcanici prosegue la sedimentazione continentale complicando così i rapporti tra le unità vulcaniche e quelle sedimentarie.

Durante l'ultima fase del periodo glaciale würmiano (circa 18.000 anni fa), la forte regressione del livello marino determina una notevole erosione dei terreni presenti: il Tevere e i suoi affluenti si approfondiscono fino a mettere a nudo il substrato argilloso pliocenico. Si creano così le condizioni per la deposizione dell'Unità delle Alluvioni attuali che con il successivo innalzamento del livello marino, continuato fino ad oggi, vanno a colmare le incisioni fluviali con spessori che in alcuni punti superano i 60 m.

## **2) I dissesti di versante**

La zona collinare della città di Roma ubicata sulla destra orografica del Tevere, compresa tra Monte Mario e Ponte Galeria, rappresenta il settore più elevato della città e maggiormente esposto al rischio di frana. Lungo i versanti più acclivi di quest'area si sono originati ed evoluti nel corso del tempo numerosi fenomeni franosi spesso direttamente connessi all'azione dell'uomo.

L'intensa urbanizzazione, avvenuta all'inizio dello scorso secolo, ha portato alla rapida modificazione dell'aspetto originario di alcuni settori cittadini quali Monte Mario e Monteverde: gli sbancamenti eseguiti per le costruzioni degli edifici e della rete stradale, il riempimento delle depressioni ed il notevole accumulo di materiali di riporto, hanno provocato effetti decisamente più evidenti rispetto alle zone pianeggianti della città.

Riportiamo un esempio di indagine geologica e geotecnica relativo a dissesti presenti a Villa Mazzanti, presso il rilievo di Monte Mario. Si vedrà come modifiche del territorio, apparentemente poco rilevanti, possono creare situazioni di rischio in un'area con sensibile predisposizione al dissesto

### **2.1.1) - Premessa**

Gli studi eseguiti negli anni 1998-99 per l'analisi dei dissesti che interessano l'edificio di Villa Mazzanti, situato sulle pendici meridionali della collina di Monte Mario a Roma, hanno permesso di conoscere in maniera approfondita le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni che costituiscono la pendice collinare.

Nell'ambito dello studio, al fine di comprendere le cause dei dissesti, sono stati analizzati anche gli aspetti relativi all'uso e alle modifiche del territorio nelle varie epoche storiche, puntando in particolar modo l'attenzione sugli interventi che potessero essere in qualche modo relazionati ai dissesti osservati.

### **2.1.2) – Inquadramento territoriale e morfologico**

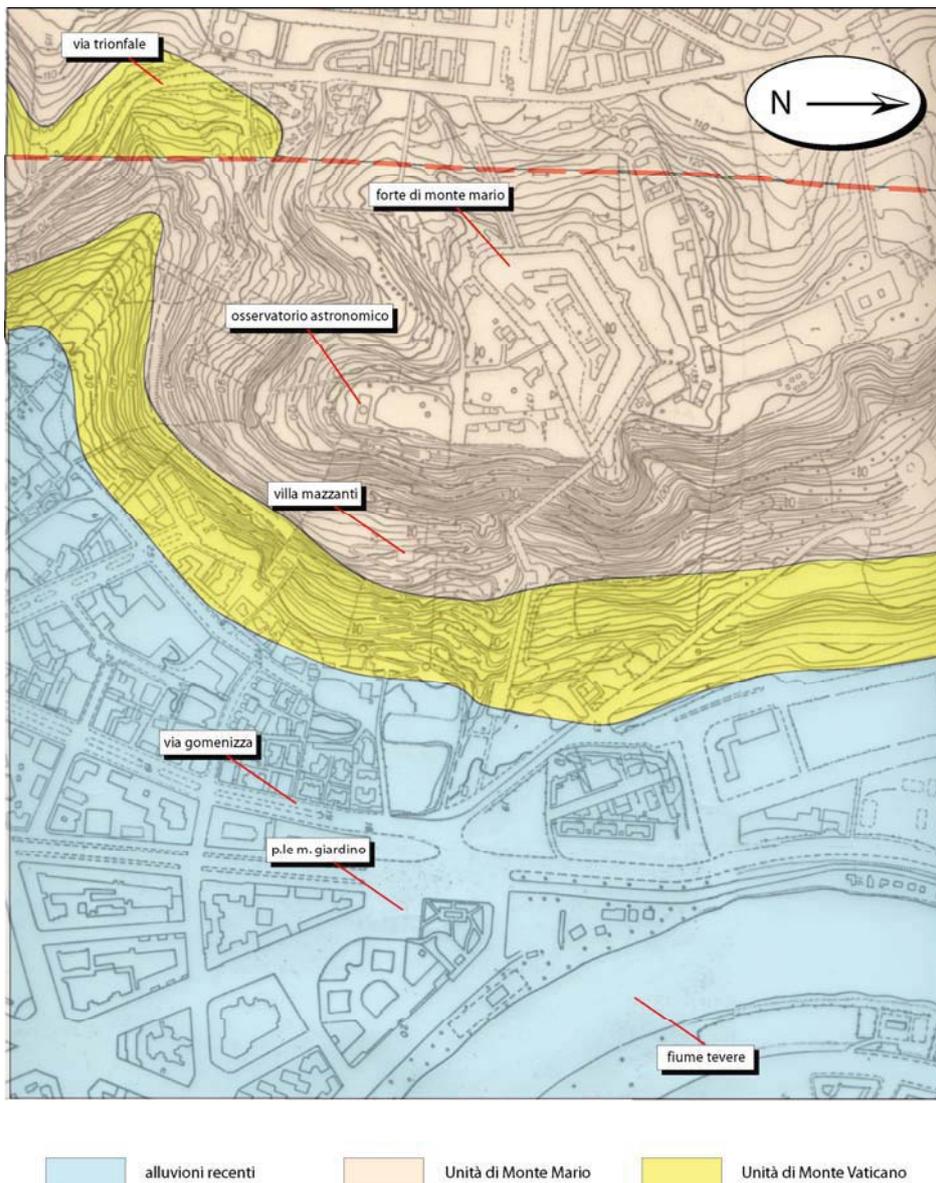
La zona collinare di Monte Mario è situata nel quadrante nord-occidentale della città di Roma, sulla riva destra del fiume Tevere. Con i suoi 146 metri sul livello del mare rappresenta il settore più elevato dell'intera città. La forte acclività del versante e il non facile accesso hanno permesso alla collina di mantenere intatti fino ai nostri giorni buona parte dei caratteri fisici originari. Dal 1989 inoltre, 204 ettari di terreno quasi interamente costituiti da boschi, fanno parte della Riserva naturale di Monte Mario, una delle 14 Aree Naturali Protette gestite da RomaNatura, l'ente regionale per la gestione di queste aree nel Comune di Roma.

I confini del rilievo di Monte Mario sono compresi tra i Colli della Farnesina a Nord, la piana che degrada verso il Tevere a Est e a Sud e, infine, il rilievo Balduina-Trionfale che termina verso l'incisione della Valle dell'Inferno a Ovest. Nel presente lavoro viene esaminata la porzione sud-orientale del versante collinare.

Il rilievo presenta due versanti aventi caratteristiche morfologiche ben distinte, quello orientale, che si affaccia sulla valle del Tevere, fortemente acclive con pendenze medie intorno ai 45° e un margine occidentale invece, che verso nord si unisce ai rilievi circostanti e più a sud degrada blandamente in direzione del mare.

### 2.1.3) – Caratteri geologici

Figura 4 - Geologia del settore di Villa Mazzanti (da Brancaleoni et al., 2003)



Il rilievo di Monte Mario è caratterizzato dalla presenza di argille limose grigio-azzurre ("Unità del Monte Vaticano") databili al Pliocene superiore e di sedimenti prevalentemente sabbiosi appartenenti ad un ciclo trasgressivo databile al Pleistocene inferiore che proprio su questa collina si incontrano nella loro sequenza tipo ("Unità di Monte Mario").

La prima unità è rappresentata da sedimenti di ambiente marino profondo che formano la gran parte del versante orientale della collina e sono presenti lungo le pendici del rilievo: tali sedimenti sono stati estratti e lavorati per la produzione di laterizi, dall'antichità fino quasi ai giorni nostri.

Al di sopra si trovano i termini riferibili all'Unità di Monte Mario, presenti in trasgressione ma con una superficie d'appoggio che si mantiene sostanzialmente sub-orizzontale.

La tettonica plio-pleistocenica ha dislocato le argille, e in alcune zone anche le sabbie, individuando vari settori in cui la superficie di appoggio tra le due Unità si trova posta a quote notevolmente diverse. Tale superficie infatti passa da 50-60 m s.l.m. circa sul versante orientale a 90-100 m s.l.m. circa verso la zona Trionfale. La differenza di quota di tale limite è spiegabile con la presenza di una serie di dislocazioni tettoniche, ad andamento meridiano, che hanno sollevato il settore occidentale del rilievo, il quale si affaccia sulla piana alluvionale del Tevere.

L'Unità di Monte Mario si distingue essenzialmente in quattro termini ben precisi. La porzione basale è rappresentata da litotipi limoso-argillosi caratterizzati da faune quaternarie con *Bulimina etnea*. La sequenza continua con la porzione più rappresentativa dell'intera Unità costituita dalle sabbie grigie ad *Arctica islandica*, ospite nordico migrato nel Mediterraneo durante i periodi freddi del Pleistocene. Al di sopra si rinvengono le sabbie gialle con frequenti livelli fortemente cementati, denominati "panchine", all'interno dei quali sono presenti brachiopodi e lamellibranchi (*Ostrea sp.*, *Pecten sp.*, *Dentalium sp.*, *Glycymeris sp.*, *Chlamys sp.*). Tale livello forma un gradino osservabile lungo tutta la collina e, proprio per la sua facile identificazione e continuità, costituisce un elemento fondamentale per la ricostruzione dell'assetto geologico dell'area; affiora intorno alla quota 100 m s.l.m. sia lungo la strada che conduce all'Osservatorio che in località Farnesina. Verso l'alto, chiudono la serie, le argille verdi a *Cerastoderma lamarkii*, costituite da argille limose in cui sono presenti alternanze di sabbie limose grigio-avana con gusci di molluschi e abbondanti faune ad ostracodi.

Questa sequenza di terreni testimonia un progressivo sollevamento dell'area e il ritiro del mare più ad ovest. Si passa infatti da un ambiente marino lontano dalla costa, ad un ambiente litorale e successivamente ad un ambiente di tipo lagunare.

Nella parte più occidentale della struttura, le sabbie dell'Unità di Monte Mario sono sovrastate dai prodotti piroclastici dell'apparato vulcanico sabatino. Si presentano come alternanze di livelli cineritici, lapilloso-scoriacei e scoriacei, a volte pedogenizzati e ricchi in leucite, con intercalati anche depositi argilloso-sabbiosi di ambiente lacustre.

La piana che borda il margine orientale e meridionale del rilievo di Monte Mario è contraddistinta dalla presenza dei depositi alluvionali del Tevere.

L'attività antropica legata alle opere di urbanizzazione dell'area ha prodotto, in particolare nelle zone depresse ma anche lungo i versanti, una coltre anche rilevante di terreni di riporto che è andata in parte a ricoprire il substrato originario.

Un altro aspetto molto importante correlato all'intervento dell'uomo è costituito dall'intensa attività di sfruttamento dell'argilla affiorante lungo i versanti collinari del settore occidentale della città di Roma. La coltivazione di numerose cave nelle zone di Monte Mario, Balduina, Monti di Creta, Vaticano e Gianicolo si è protratta, quasi ininterrottamente, dal I secolo d.C. fino ai primi anni Sessanta del secolo scorso.

#### 2.1.4) – Caratteri idrogeologici

La collina di Monte Mario, a differenza degli altri rilievi romani, ubicati sulla destra del Tevere, quali il Gianicolo e il Vaticano, su cui esiste una ricca letteratura inerente gli aspetti idrogeologici con informazioni storiche circa la presenza di numerose sorgenti, non presenta emergenze sorgentizie, né di queste si trova menzione o riferimento nei testi e nelle piante antiche.

L'assenza di sorgenti è dovuta alle condizioni geologiche, morfologiche e strutturali locali.

Il rilievo è costituito in gran parte da argille plioceniche impermeabili sulle quali poggiano i terreni della Unità di Monte Mario, che sono solo in parte sabbiosi e che quindi hanno una permeabilità complessiva medio-bassa. Inoltre le pendici del rilievo sono molto acclivi e quindi non esistono le condizioni per una forte infiltrazione nel sottosuolo delle acque piovane. Se si considera poi che per ragioni strutturali i terreni della Formazione di Monte Mario hanno spessori di qualche decina di metri solo nella porzione della collina che affaccia

sul Tevere, mentre hanno spessori molto minori nelle altre zone del rilievo, si capiscono le motivazioni per cui non esistono le condizioni per la creazione nel sottosuolo di una cospicua falda idrica.

L'assenza di una vera e propria circolazione idrica sotterranea è confermata anche dai dati ricavati dalle letture di falda eseguite nei mesi successivi alla campagna di indagini geognostiche eseguite nella villa negli anni 1998-1999. Il livello piezometrico rilevato in tutti i sondaggi si trova sempre al massimo qualche decimetro sopra il tetto delle argille della Unità del Monte Vaticano e i dati sono risultati molto variabili nel tempo e difficilmente correlabili tra loro.

Pur tuttavia, le informazioni raccolte, attestano la presenza di un pozzo presso l'Osservatorio di Monte Mario, drenante l'intero spessore della Unità di Monte Mario, che ha funzionato fino a pochi anni fa ed era capace di garantire, pur con qualche difficoltà durante le stagioni estive più asciutte, l'approvvigionamento idrico dell'intera struttura. Tale pozzo evidentemente andava a sfruttare un accumulo localizzato di acque sotterranee presente nelle sabbie al contatto con la sottostante Unità argillosa del Monte Vaticano.

E' ipotizzabile invece, la presenza di una irregolare, discontinua e talvolta intensa circolazione idrica epidermica strettamente connessa alle precipitazioni meteoriche alimentata, in maniera non trascurabile, anche dalle perdite di qualche impianto idraulico sotterraneo presente nell'area (cunicoli idraulici dismessi che alimentavano le fontane, rete idrica antincendio, nuova rete di drenaggio delle acque bianche e fognature).

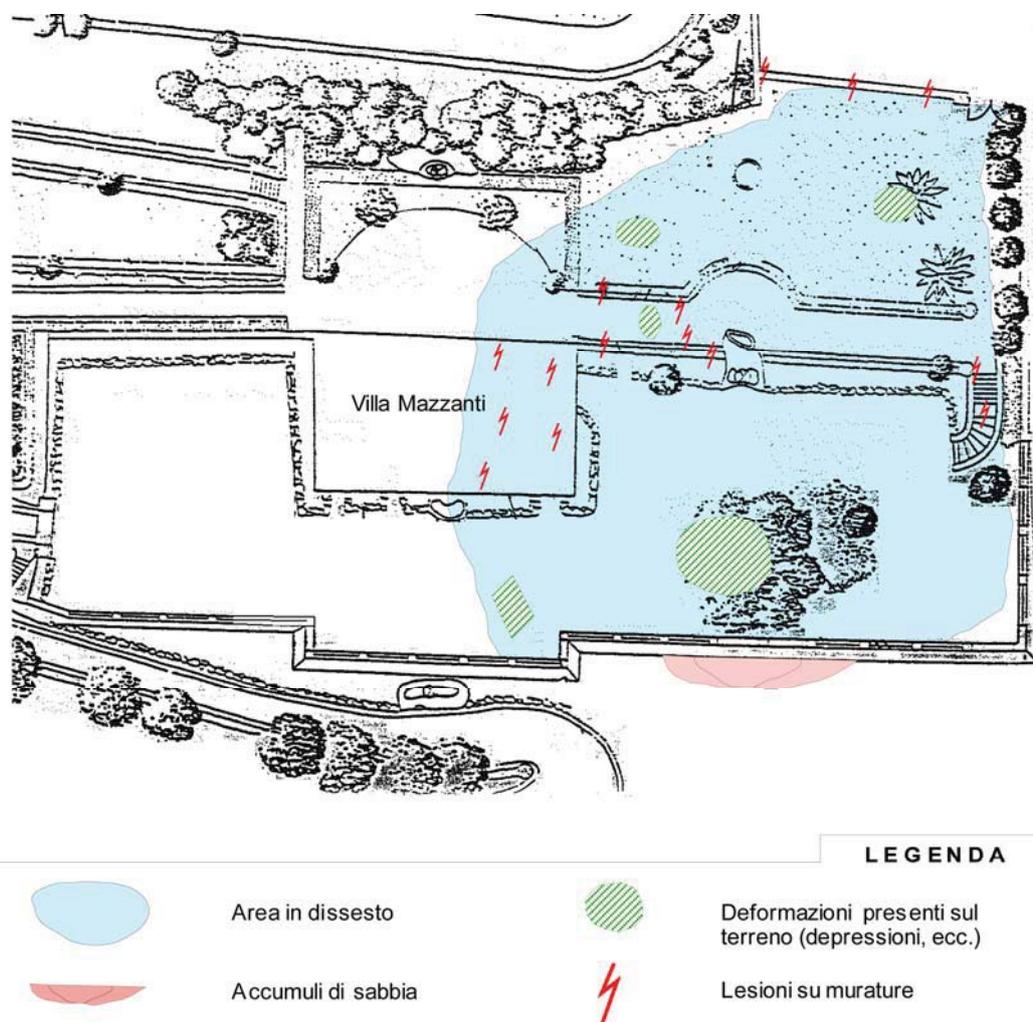
In accordo con tale ipotesi sembra essere la citazione fatta da Ventriglia relativa al rinvenimento nella valletta che divide Villa Madama dalla macchia della Farnesina di un cunicolo, che si dirige verso Villa Stuart, e di altre grotte, facenti probabilmente parte di un sistema di opere idrauliche, forse antiche.

La consultazione di vecchie immagini fotografiche, mappe antiche e visioni di Roma antecedenti l'urbanizzazione dell'area ha evidenziato che nella piana sottostante il versante meridionale della collina vi fosse un notevole accumulo di acque provenienti dal rilievo. L'area era paludosa e insalubre, al punto che la malaria era endemica, ed è stata completamente bonificata soltanto negli anni Trenta.

Dalle carte di inizio secolo si nota, inoltre, la presenza di un fosso che drenava il deflusso delle acque superficiali e quello della circolazione epidermica, quando presente, partendo dalla base del pendio all'altezza di Villa Mazzanti fino al Tevere nel punto su cui oggi sorge Piazzale Maresciallo Giardino.

## 2.1.5) – I dissesti presenti a Villa Mazzanti

Figura 5 - Schema dell'area di Villa Mazzanti con le principali evidenze di dissesto (da Brancaleoni et al., 2003)



Nel periodo successivo ai numerosi interventi di restauro eseguiti, a partire dagli anni Novanta, nel complesso di Villa Mazzanti, sia all'interno dell'edificio sia nel giardino per la messa in opera della nuova rete di sottoservizi, si è osservata l'improvvisa apertura di numerose lesioni sulle strutture murarie del fabbricato.

Ulteriori indizi di dissesto sono rappresentati dalla formazione nel giardino della villa di depressioni nel terreno (sprofondamenti a forma di imbuto), in sensibile approfondimento in concomitanza di eventi meteorici di particolare rilievo. In una di esse, nell'autunno del 1998, è sprofondata una quercia di notevoli dimensioni. Tali depressioni del terreno si sono formate con maggiore frequenza nella porzione settentrionale del giardino che circonda la villa e si sono impostate in zone di probabile dilavamento del substrato da parte delle acque.

Si sono osservati, inoltre, accumuli di sabbia ai piedi del muro di contenimento, immediatamente al di sotto della zona dove dimorava la quercia, all'altezza dell'ultimo tornante della strada che sale verso la villa, la cui presenza testimonia la deposizione e l'accumulo del materiale dilavato più a monte.

L'abbassamento del terreno che ne è derivato ha inoltre provocato il cedimento del muro di cinta che segna il confine tra il giardino della villa e la strada che conduce all'Osservatorio, e ha lesionato manufatti e pavimentazioni oltre l'edificio della villa stessa.

Le modifiche operate dall'uomo sia sul terreno che sui manufatti, come la messa in posto di una fitta rete di impianti idraulici sotterranei, che apparentemente potrebbero sembrare irrilevanti, hanno insistito in un contesto di forte predisposizione naturale del territorio al dissesto, determinato dalla forte acclività dei versanti, innescando una situazione di rischio potenziale.

Dalla consultazione di antiche visioni di Roma (Vasi, 1765), si è osservato che nel punto sui cui sorge Villa Mazzanti il pendio era stato modellato nel passato, rimaneggiando il terreno in posto, al fine di creare un terrazzo artificiale a mezza costa sulla collina di Monte Mario.

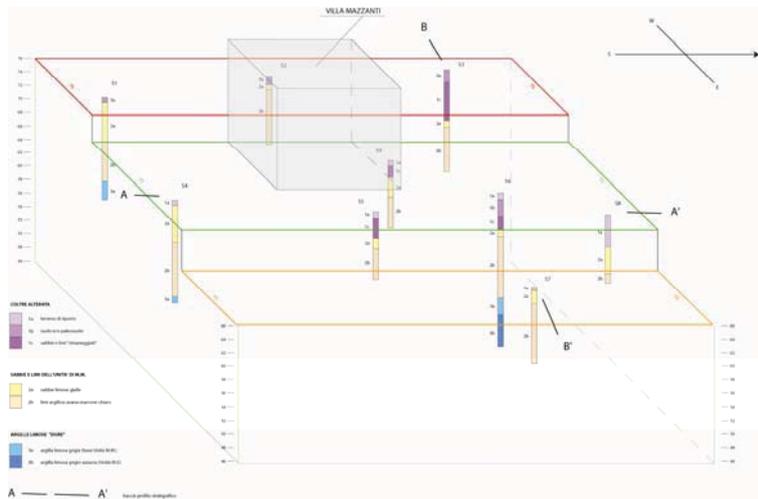
### 2.1.6) Indagini eseguite

Nel settembre 1998 è stata realizzata una campagna di indagini geognostiche con l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo e, successivamente, nel maggio 1999 un'indagine georadar.

Tali indagini sono state predisposte al fine di riconoscere la tipologia, l'estensione e la geometria del dissesto, individuandone le cause. Si è ricostruito l'assetto stratigrafico locale, sono state determinate le principali caratteristiche fisico meccaniche dei terreni, in modo da ottenere i dati geotecnici necessari ed utili alla progettazione di un intervento di bonifica del pendio.

A tale scopo sono stati realizzati 9 sondaggi (vedi Figura 6), corredati da prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.) e dal prelievo di campioni indisturbati di terreno per le analisi geotecniche di laboratorio. Per valutare il livello statico di una eventuale falda acquifera, tutti i sondaggi sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto tipo "Norton" e sono state eseguite, nel tempo, diverse misure con freaticometro.

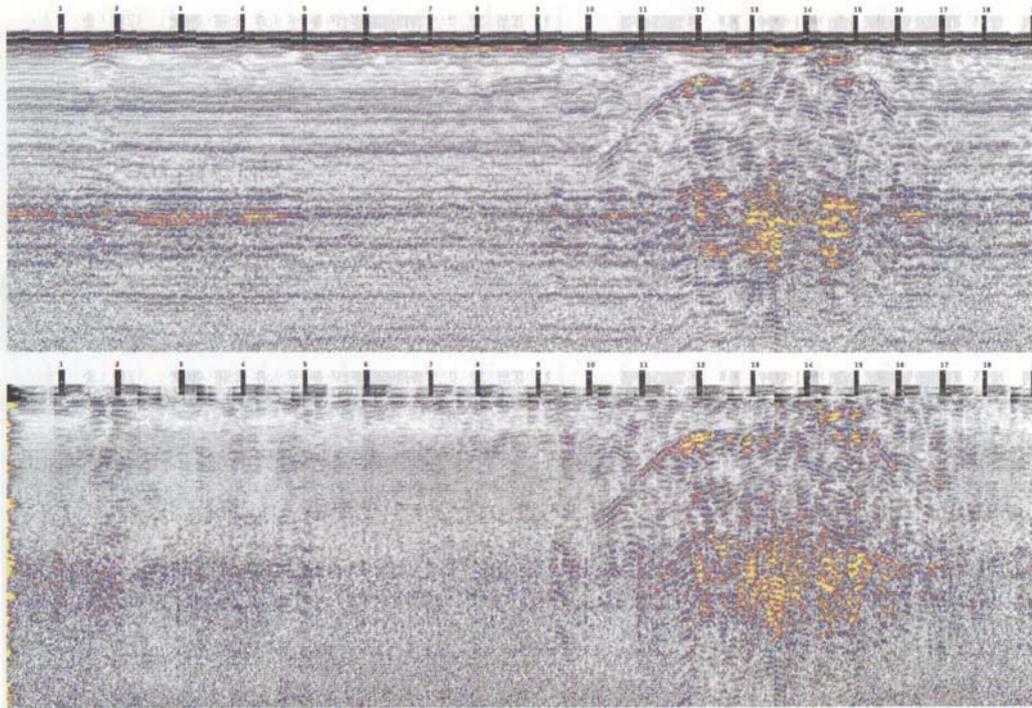
**Figura 6 - Sondaggi geognostici, rappresentazione tridimensionale dell'ubicazione e delle stratigrafie (da Brancaleoni et al., 2003)**



Per meglio conoscere lo spessore della coltre di riporto, verificare la presenza e lo sviluppo di eventuali cavità ed individuare aree eventualmente caratterizzate da un detensionamento dei terreni, imputabile a fenomeni di sifonamento, è stata condotta una indagine georadar.

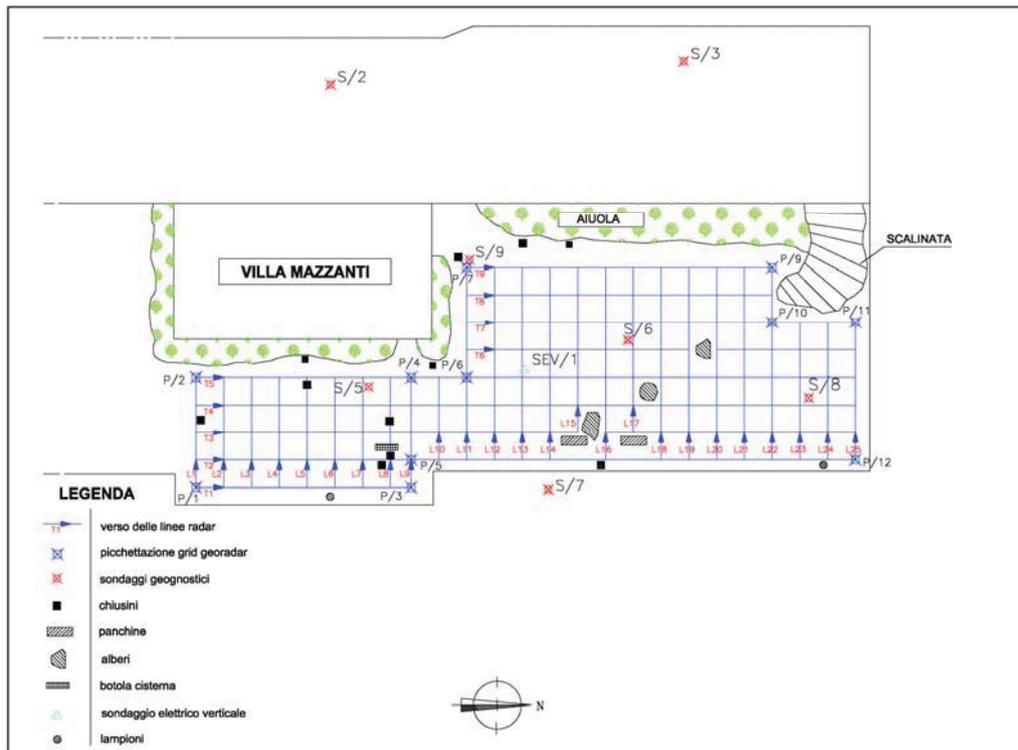
Si tratta di un sistema in grado di indagare i terreni, utilizzando la riflessione di onde elettromagnetiche appositamente prodotte (vedi **figura 7**), al fine di individuare strutture sepolte, cavità o variazioni litologiche con dettaglio inversamente proporzionale alla profondità di indagine, profondamente influenzata dalla natura dei terreni attraversati, che può raggiungere, in presenza di terreni lapidei molto resistivi anche alcune decine di metri.

**Figura 7 - Esempio di riflessione associabile alla presenza di cavità**



L'indagine è stata condotta utilizzando antenne a frequenza centrale pari a 100 ed a 500 MHz in modo da poter ottenere una buona risoluzione fino alla profondità di circa 7.00 metri, registrando sezioni parallele fra loro, distanti due metri, secondo due direzioni perpendicolari (vedi **figura 8**).

Figura 8 - Ubicazione direzione e verso delle linee georadar eseguite



### 2.1.7) Assetto Stratigrafico

Dai dati delle indagini geognostiche è stato possibile ricostruire con estremo dettaglio l'assetto stratigrafico dell'area di Villa Mazzanti.

I litotipi incontrati sono stati suddivisi in tre gruppi principali: di seguito ne viene riportata la descrizione partendo dall'alto verso il basso.

#### 1 – COLTRE ALTERATA

Questa formazione raggruppa tre termini che, seppur nella loro eterogeneità, costituiscono le coperture di superficie della successione stratigrafica presente nell'area e rappresentano l'orizzonte entro cui hanno sede i fenomeni di dissesto. In essa quindi, si distinguono i seguenti elementi:

##### 1a) Terreno di riporto

E' costituito da sabbie limoso-argillose di colore marrone giallastro, mediamente addensate. E' talora presente una componente organica di colore più scuro. Lo spessore è compreso tra 0.5 e 5.7 m.

##### 1b) Limo sabbioso argilloso marrone scuro

Si tratta probabilmente di un paleosuolo che dal punto di vista della granulometria è classificabile come un limo sabbioso argilloso di colore marrone scuro, da mediamente a ben addensato. Incontrato esclusivamente in due sondaggi, con spessore di 1.3 e di 2.5 m.

##### 1c) Sabbie limoso-argillose marrone-giallastre-rossastre

Si presentano mediamente addensate (ma a tratti il grado di addensamento si riduce), a bassa plasticità, con un'irregolare presenza di clasti ghiaiosi e intercalazioni limo-argillose avana grigiastre da consistenti a molto consistenti. Caratteristica di questa formazione è il maggior grado di alterazione e disturbo che presenta rispetto alle formazioni sottostanti.

## **2 – SABBIE E LIMI DELL'UNITÀ DI MONTE MARIO**

Questa formazione include i due termini afferenti alla porzione medio-inferiore dell'Unità di Monte Mario; è rappresentata da quei litotipi aventi granulometria variabile tra le sabbie e i limi costituenti l'aspetto peculiare di questa formazione.

### **2a) Sabbie medio fini limose giallastre**

Sono state incontrate in tutti i sondaggi, a varie profondità e con diversi spessori. Si tratta in prevalenza di sabbie medio fini limose di colore giallastro, ben addensate, caratterizzate da un minor grado di "disturbo" e alterazione rispetto alla formazione sabbiosa sovrastante. Lo spessore è compreso tra 0.8 e 5.7 m.

### **2b) Limi argillosi avana-marrone chiaro**

Sempre presenti in tutti i sondaggi, si tratta di limi argillosi avana-marrone chiaro, da molto consistenti a duri, con screziature giallastre e livelli decimetrici ben addensati. Spessore variabile tra 6.0 e 9.0 m.

## **3 - ARGILLE LIMOSE DELL'UNITÀ DI MONTE MARIO BASALE E UNITÀ DI MONTE VATICANO**

Questa formazione riunisce due termini aventi caratteristiche litologiche e granulometriche omogenee di cui il 3b costituisce il "bedrock" geologico dell'intera area urbana di Roma.

### **3a) Argille limose grigie**

Tale litologia è costituita da argille limose di colore grigio, dure, con livelli decimetrici sabbiosi giallastri. Lo spessore di tale litologia raggiunge 2.5 m. Rappresenta il livello basale dell'Unità di Monte Mario.

### **3b) Argille limose grigio-azzurre**

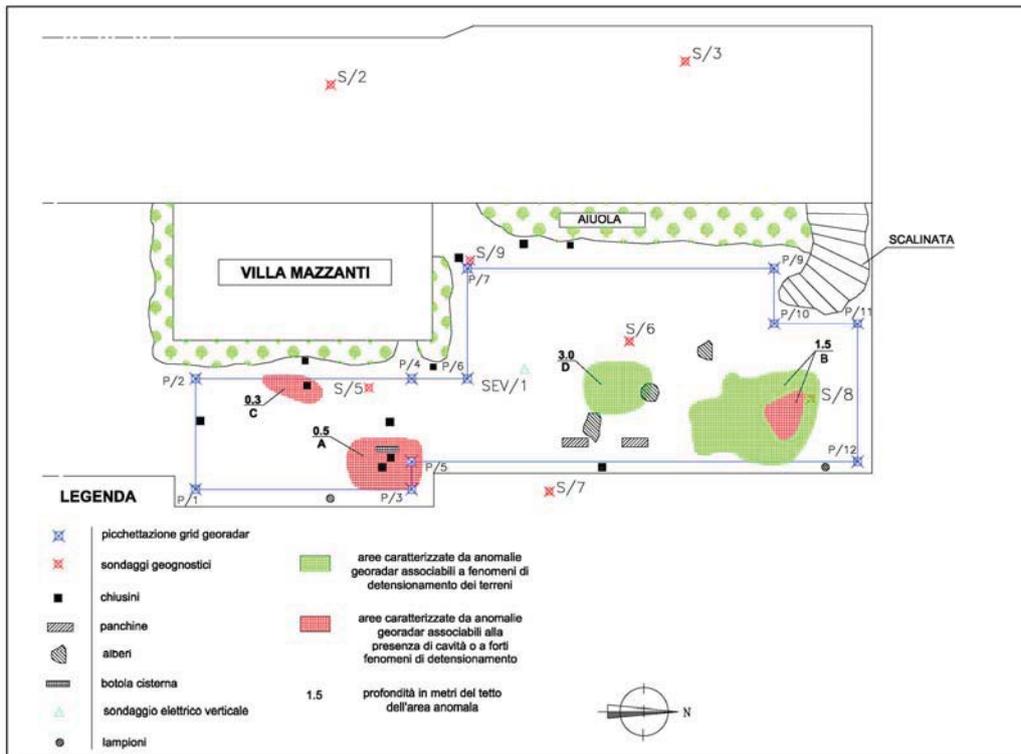
Sono state incontrate a 54 m di quota assoluta s.l.m. Questa formazione è costituita da argille limose grigio-azzurre, dure, con intercalazioni sabbiose di pochi centimetri. Sono terreni ascrivibili all'Unità di Monte Vaticano, rappresentano la formazione più profonda incontrata dalle presenti indagini; sono stati attraversati per 5.5 m.

### **2.1.8) Risultati indagine georadar**

L'indagine geofisica realizzata, utilizzando la metodologia georadar, oltre a fornire un'indicazione indiretta dello spessore dei terreni di riporto, che da una massima profondità possibile pari a circa 6.0 metri nel settore Nord risale fino a circa 0.8 metri nel settore meridionale di fronte a Villa Mazzanti, ha consentito di indicare la presenza di cavità o di aree caratterizzate da un detensionamento dei terreni imputabile a probabili fenomeni di sifonamento.

L'intervento condotto nell'area prospiciente Villa Mazzanti, ha permesso di delimitare alcune aree caratterizzate da anomalie ben definite

Figura 9 - Interpretazione dell'indagine georadar



Nell'area oggetto di indagine appare evidente la presenza di una estesa anomalia ("A") legata alla presenza di una struttura antropica, utilizzata nel passato come cisterna, appartenente all'impianto della Villa.

Tale cisterna, la cui esistenza era già nota, visibile nella parte del terrazzo antistante la struttura della Villa, è stata utilizzata per le operazioni di taratura.

L'anomalia "B", posta nel settore settentrionale dell'area investigata, denota la presenza, a partire dalla profondità di circa 1.5 metri, di un'area caratterizzata da intensi fenomeni di detensionamento, fenomeni che vanno via via attenuandosi procedendo dal centro dell'area verso l'esterno.

L'anomalia "C" corrisponde ad un fognolo presente nei pressi del muro di Villa Mazzanti così come riportato grazie ad un rilievo topografico eseguito.

L'anomalia "D", posta nel settore centrale dell'area esplorata, è riconducibile ad una zona caratterizzata da fenomeni di detensionamento dei terreni.

Pur apparendo meno marcato rispetto l'area contrassegnata con la lettera "B", tale fenomeno è da mettere in relazione, con tutta probabilità, alla manifesta instabilità degli alberi presenti.

### 2.1.9) Considerazioni conclusive

Negli studi geologici, eseguiti in ambito urbano, non sempre le campagne di indagine tradizionali, impostate sulla base dei dati ricavati dalla geognostica e dalla geotecnica, riescono a offrire un quadro esauriente ed esaustivo per comprendere le cause relative ad una situazione di dissesto.

Le indagini eseguite negli anni 1998-99 per l'analisi dei dissesti che interessano l'edificio di Villa Mazzanti, situato sulle pendici meridionali della collina di Monte Mario a Roma, hanno permesso di conoscere in maniera approfondita le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni che costituiscono la pendice collinare.

Per cercare di dare una spiegazione alle cause dei dissesti sono stati anche consultati documenti di carattere storico-urbanistico quali vecchie immagini fotografiche, mappe antiche e visioni di Roma per chiarire alcuni aspetti degli interventi antropici che negli ultimi secoli hanno modificato gli aspetti fisici originari del terreno.

Ciò ha consentito di osservare che nel punto sui cui sorge Villa Mazzanti, il pendio è stato nel passato modellato, rimaneggiando il terreno in posto, al fine di creare un terrazzo artificiale a mezza costa sulla collina di Monte Mario.

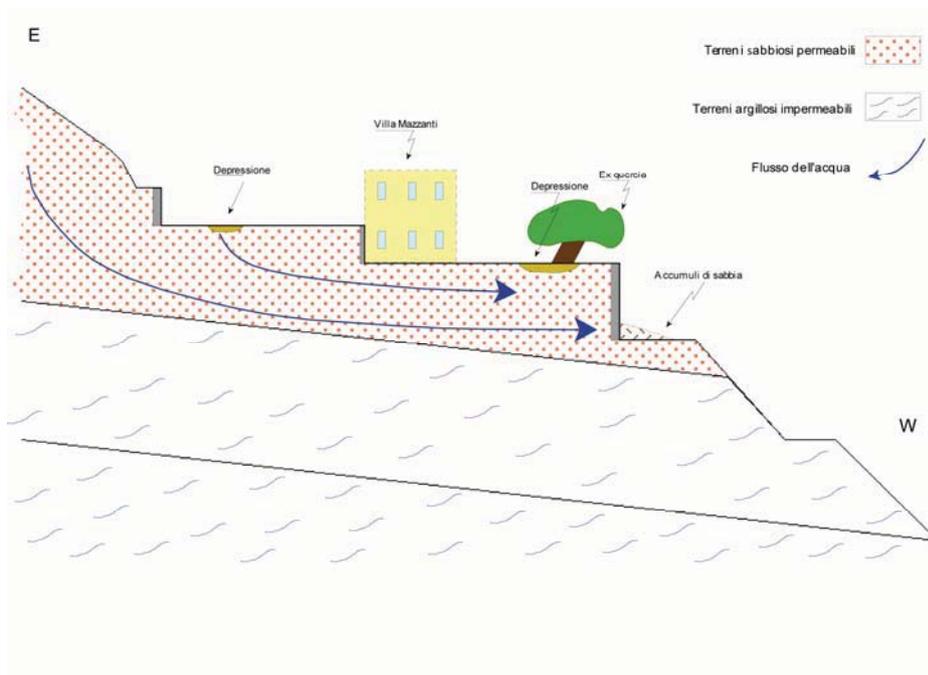
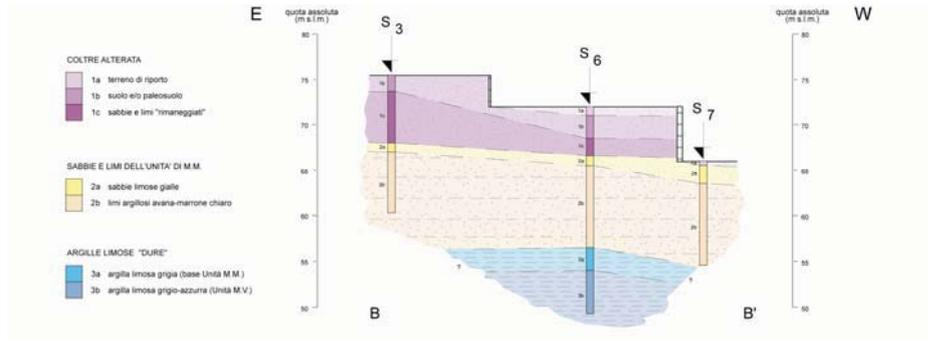
Sono stati analizzati anche gli aspetti relativi all'uso ed alle modifiche del territorio nelle varie epoche storiche, puntando in particolar modo l'attenzione sugli interventi che potessero essere in qualche modo relazionati ai dissesti osservati.

E' stata così esaminata la fitta rete di impianti idraulici presenti nel sottosuolo dell'area studiata (cunicoli idraulici dismessi che alimentavano le fontane, rete idrica antincendio, nuova rete di drenaggio delle acque bianche e fognature).

Le informazioni ricavate hanno permesso di ipotizzare che i dissesti presenti presso Villa Mazzanti non sono risultati associati a un classico movimento franoso di terreno, scivolamento di massa dovuto principalmente all'azione della forza di gravità, ma sono probabilmente legati all'azione erosiva operata dall'acqua che si infiltra nel terreno sabbioso rimaneggiato (coltre alterata) asportandone la frazione più fine, trovando come veicolo di flusso preferenziale i cunicoli idraulici dismessi, peraltro in cattivo stato di conservazione e di conseguenza soggetti a perdite in caso di eventi meteorici di notevole intensità.

L'insorgenza di tali fenomeni è favorita dall'assetto geologico-stratigrafico dell'area che vede una coltre di pochi metri costituita da terreni sabbiosi adagiata su un substrato impermeabile con giacitura a franapoggio, assetto che agevola lo scorrimento sotterraneo da monte verso valle delle acque di filtrazione all'interno delle sabbie.

**Figura 10 - Esempio di una sezione stratigrafica delle indagini e relativo schema interpretativo delle cause dei dissesti**



In conclusione, lo studio eseguito su Villa Mazzanti e sul settore meridionale del rilievo di Monte Mario costituisce un esempio applicativo di geologia urbana. Il geologo che opera in questo ambiente deve necessariamente ampliare le proprie conoscenze non limitandosi solo agli aspetti geologico-applicativi, ma approfondendo anche quelli legati all'evoluzione storico-urbanistica dell'area studiata.

Tale metodologia di lavoro appare assolutamente indispensabile e imprescindibile lavorando in un contesto come quello romano dove l'uomo, nel corso dei millenni, ha profondamente modificato i caratteri fisici originari del territorio.

### **3. I Terreni di riporto – Le modifiche del territorio e l'archeologia**

L'aspetto originario del paesaggio romano è stato ampiamente modificato dall'attività dell'uomo che, in circa tre millenni di storia, ha determinato l'evoluzione della città.

Nel corso dei secoli si sono infatti susseguite opere di sbancamento finalizzate alla costruzione di edifici, infrastrutture, canalizzazioni dei corsi d'acqua o dovute all'intensa attività estrattiva; sono stati realizzati riempimenti a scopo di bonifica, colmamenti, accumuli di macerie e depositi di rifiuti.

Tutti questi interventi hanno trasformato i caratteri fisici del territorio determinando il ricoprimento pressoché totale dell'area urbana con una coltre di terreni di riporto che può raggiungere, in alcuni casi, uno spessore superiore ai 20 metri.

Si tratta di materiali di diversa origine, molto eterogenei ed eterometrici: in una matrice più fine costituita da terreni vulcanici e/o sedimentari rimaneggiati, si ritrovano, infatti, ciottolami, pezzame litoide, frammenti di manufatti di varia natura e di epoche diverse.

Il grado di compattazione e le caratteristiche geotecniche di questi terreni possono variare notevolmente in funzione della loro natura e della loro età.

L'esistenza dei materiali di riporto rappresenta un segno tangibile di come sia profondamente cambiata la morfologia della città a seguito dell'intervento dell'uomo: un esempio è costituito dalla creazione di rilievi artificiali e dal livellamento delle asperità originarie del paesaggio, mediante lo sbancamento di intere colline e il colmamento di antiche valli fluviali.

L'esempio più emblematico di queste modifiche è rappresentato dal rilievo artificiale del "Monte di Cocci" a Testaccio, interamente costituito da frammenti di anfore e vasellame antico proveniente dal vicino porto fluviale: si erge per circa 50 metri dal livello del Tevere.

Anche Monte Citorio, sorto sul sepolcro degli Antonini, Monte Savello, costruito sulle rovine del Teatro di Marcello, Monte dei Cenci, ubicato sui resti del Teatro Balbo e Monte della Farina, realizzato sulle rovine del Teatro di Pompeo: questi sono i rilievi artificiali più importanti che sorgono nella zona del centro storico cittadino.

Un altro esempio eclatante di sostanziale modifica dell'aspetto fisico originario è rappresentato dallo sbancamento di quella parte del Colle Quirinale che si univa al Campidoglio, fatto eseguire dall'imperatore Traiano: la sommità della colonna a lui dedicata, infatti, indica quale era il livello del terreno in quel punto.

Durante il periodo del Fascismo poi, per realizzare Via dei Fori Imperiali, si ebbe l'eliminazione della collina Velia, un rilievo che univa il Colle Oppio al Palatino.

Anche la costruzione della stazione Ostiense ha determinato la distruzione di un'intera collina prospiciente Porta San Paolo.

#### **3.1. Esempio di indagine geologica e geotecnica .**

Riportiamo ora un esempio di indagine geologica e geotecnica relativo ad un'area in ambito cittadino in cui la presenza di terreno di riporto risulta non trascurabile e la connessa ricerca di eventuali evidenze archeologiche in tale orizzonte: Piazzale della Radio, Roma.

##### **3.1.1) Premessa.**

Per accertare le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dalla progettazione di un parcheggio sotterraneo presso Piazzale della Radio è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, oltre a una campagna di indagini archeologiche al fine di verificare l'eventuale presenza di siti "archeologicamente interessanti"

Sono stati eseguiti 19 sondaggi a carotaggio continuo, per l'indagine geognostica e archeologica e 4 penetrometrie statiche C.P.T.E.. Inoltre sono stati prelevati diversi campioni indisturbati, poi analizzati in laboratorio geotecnico e sono state eseguite numerose prove penetrometriche dinamiche S.P.T. nei fori di sondaggio.

Per la caratterizzazione idrogeologica del sito, sono stati installati 3 piezometri a tubo aperto di tipo "Norton" e 2 piezometri di tipo "Casagrande"; successivamente sono state effettuate letture periodiche dei livelli acquiferi con l'uso di un freatimetro.

Il programma di indagine è stato completato con l'esecuzione di 6 prospezioni geofisiche con tecnica "cross-hole".

Tali prospezioni, ubicate di comune accordo con la Sovrintendenza Archeologica, hanno interessato la porzione di Piazzale della Radio che presentava maggiori evidenze archeologiche sulla base dei dati provenienti dai sondaggi.

Tramite tale tecnica sono state determinate le velocità di propagazione delle onde P nel terreno a profondità prestabilite: in particolare si è deciso di intensificare le indagini nelle zone riconosciute come maggiormente antropizzate.

Le velocità delle onde P ( $V_p$ ) misurate sono state correlate con i dati litostratigrafici al fine di individuare, nell'ambito degli stessi litotipi, livelli a comportamento elastico di tipo "anomalo", soprattutto all'interno dei terreni di riporto.

### **3.1.2) Inquadramento geomorfologico e geologico**

L'area, ubicata nel centro abitato di Roma, quartiere Marconi, è pressoché sub orizzontale, con leggera diminuzione di quota verso Via Pacinotti, e risulta impostata su di un rilevato artificiale caratterizzato da una quota topografica di circa 14 m s.l.m.

Le indagini effettuate hanno interessato una coltre continua di materiale di riporto con spessore variabile da 6 a 8.5 m, l'Unità delle Alluvioni attuali, costituite da alternanze di argille, limi sabbiosi e sabbie, e un livello basale rappresentato da ghiaie eterometriche poligeniche in matrice sabbiosa raggiunto dai sondaggi spinti fino a 65-66 m dal piano di campagna.

Nel dettaglio, all'interno dei riporti e dei depositi alluvionali sono stati riconosciuti e differenziati, in base alle differenti caratteristiche granulometriche e geotecniche, i seguenti termini:

#### **1 - MATERIALE DI RIPORTO**

Questo livello è presente sotto ogni sito di sondaggio con uno spessore variabile da 6.0 a 8.5 m ed è costituito da riporti a granulometria sabbioso-ghiaiosa, da sciolti a mediamente addensati, eterometrici ed eterogenei, con scarsa matrice limosa, con trovanti di varia natura.

#### **2 - LIMO CON ARGILLA MARRONE CHIARO**

Si estende con continuità sotto il riporto e presenta uno spessore che varia da un minimo di 2.5 m a un massimo di 8.2 m ed è caratterizzato dalla presenza di limi con argilla di colore marrone, da molto consistenti a duri, con livelli millimetrici organici nerastrati intercalati a varie altezze. Intercalazioni di ghiaietto non evoluto si riscontrano lungo alcune verticali di indagine.

#### **3 - SABBIA LIMOSA E SABBIA MARRONE CHIARO**

Inferiormente è presente, con continuità sotto ogni sito di sondaggio, questo livello a comportamento granulare, di colore marrone chiaro, addensato, con spessori variabili da 1.8 a 9.9 m.

#### **4 - SABBIA VARICOLORE**

E' sempre presente al di sotto del livello 3, con spessori che variano da 6.1 a 12.4 m; questa formazione si presenta da addensata a ben addensata ed è costituita da sabbie in prevalenza di colore grigio o marrone. A luoghi, al suo interno, si ritrovano livelli torbosi e livelli centimetrici e millimetrici di limo argilloso poco consistente.

#### **5 - ARGILLA LIMOSA GRIGIA**

Questa formazione si incontra con continuità inferiormente al livello 4 e presenta spessore compreso tra 28.5 e 33.0 m. E' costituita da argille limose di colore grigio, da poco consistenti a consistenti. Sono inoltre presenti, a varie quote, orizzonti torbosi con resti vegetali, livelli sabbioso-limosi e livelli sabbioso-ghiaiosi.

#### **6 - SABBIA LIMOSA GRIGIA**

E' presente sotto il livello 5. Mostra spessori compresi tra 0.5 e 2.5 m. E' caratterizzata da sabbie limose grigie ben addensate, con intercalati livelli limo-argillosi di vari spessori.

#### **7 - GHIAIA**

I sondaggi più profondi si sono arrestati all'interno di questo livello, che rappresenta la base delle Alluvioni attuali del Tevere, il cui tetto è stato intercettato, nell'area in esame, a profondità comprese tra 59.7 e 62.0 m dal p.c.

Si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche, evolute, non classate, con ciottoli di diametro centimetrico, e di sabbie grossolane, generalmente ben addensate, in matrice limoso-sabbiosa grigia.

### **3.1.3) Situazione della falda**

Per poter valutare il livello statico della falda acquifera, sono stati installati 3 piezometri a tubo aperto di tipo "Norton" e 2 piezometri di tipo "Casagrande". Le letture dei livelli piezometrici hanno messo in luce una geometria abbastanza regolare del limite superiore della falda, con valori compresi tra 9.5 e 9.9 m s.l.m. correlabili in linea di massima con la quota idrometrica del Fiume Tevere.

### **3.1.4) Prospezioni cross-hole**

Le prospezioni sismiche tipo "cross-hole" consistono in misure di velocità delle onde elastiche longitudinali che si propagano nei terreni in direzione orizzontale utilizzando coppie di fori di sondaggio, posti a breve distanza tra loro.

Da uno dei due fori si creano sollecitazioni meccaniche dalle quali si generano delle onde elastiche il cui tempo di arrivo è registrato da un ricevitore posto nell'altro foro di sondaggio, con quota uguale a quella della sorgente energizzante. Con misure condotte a quote diverse si ottiene una sequenza di valori di  $V_p$  rappresentativa delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi.

Nel complesso sono state eseguite 6 prove "cross-hole", in fori appositamente predisposti con profondità di 12 metri (una coppia di fori per prova, a distanza compresa tra 4 e 5 metri).

Le prove cross-hole hanno interessato i terreni di riporto che poggiano, a profondità comprese tra 6 e 8 m dal piano di campagna, su terreni naturali limo-argillosi consistenti.

I terreni "naturali" limo-argillosi hanno mostrato valori di  $V_p$  crescenti da circa 1000  $m s^{-1}$  a profondità di 8 m, fino a 1600  $m s^{-1}$  a 11 m dal piano di campagna. Al di sopra dei terreni "naturali" si collocano terreni di riporto nei quali le  $V_p$  variano tra i 300 e gli 800  $m s^{-1}$ , salvo alcuni casi nei quali sono stati ottenuti valori maggiori di 1000 e 2000  $m s^{-1}$ . Tali valori elevati all'interno di terreni di riporto rappresentano delle anomalie che possono essere correlabili

alla presenza di materiali compatti (probabilmente murature). Le anomalie più significative sono localizzate in tre prove a profondità compresa tra 4.5 e 6 metri dal piano di campagna.

### 3.1.5) Conclusioni

La campagna di indagini geognostiche ha messo in luce l'esistenza di una coltre di materiale di riporto, estremamente eterogeneo ed eterometrico, con spessore medio di 8 metri circa.

Al di sotto del riporto, e per l'intero intervallo investigato, è presente una successione appartenente alle Alluvioni attuali del Fiume Tevere, caratterizzata da alternanze di materiali sabbiosi ed argillosi che possiedono una discreta variabilità sia laterale, sia verticale.

I sondaggi spinti a maggior profondità hanno evidenziato la presenza di ghiaie eterogenee ed eterometriche, poste a circa 60 m dal piano campagna, che costituiscono la porzione basale di questo complesso alluvionale.

Le letture dei livelli piezometrici hanno messo in luce una geometria abbastanza regolare del limite superiore della falda con valori compresi tra 9.5 e 9.9 m di profondità, pertanto correlabili con la quota idrometrica del Fiume Tevere.

L'indagine condotta con la tecnica "cross-hole" ha permesso di fornire nei 6 siti di prova indicazioni sul comportamento elastico dei terreni, a partire dal piano di campagna e fino alla profondità di 11 metri.

I terreni indagati comprendono riporti eterogenei fino a circa 6-8 metri dal piano di campagna, e terreni naturali limo-argillosi fino a fondo foro.

Le velocità delle onde P nei terreni naturali limo-argillosi sono normalmente maggiori di  $1000 \text{ m s}^{-1}$  e crescenti verso il basso, fino a raggiungere valori di circa  $1500\text{-}1600 \text{ m s}^{-1}$ .

Nei terreni di riporto le  $V_p$  sono piuttosto variabili, mediamente comprese tra  $300$  e  $800 \text{ m s}^{-1}$ .

Valori maggiori di  $1000$  e  $2000 \text{ m s}^{-1}$  si registrano all'interno dei materiali di riporto, nei siti di prova CH 1, CH 4 e CH 5, a profondità compresa tra 4.5 e 6 metri dal piano di campagna.

Tali valori lasciano presupporre, alle profondità indicate, la possibile presenza di preesistenze di natura archeologica, probabilmente strutture murarie.

L'analisi archeologica del materiale carotato sommata ai dati derivanti dalle indagini sismiche eseguite mediante metodo "cross-hole", ha permesso di delineare un quadro di riferimento complessivo riguardo alle possibili interferenze fra la progettazione dell'opera e le preesistenze archeologiche individuate nell'area indagata.

Senza dubbio la potenza del riporto documentata evidenzia un notevole rialzamento del piano di calpestio, dovuto con ogni probabilità (analogamente ad altre zone di Roma) alla vicinanza del Tevere ed alla necessità di salvaguardare le aree limitrofe dalle alluvioni.

Lo strato geologico in posto sottostante al riporto antropico è contaminato, fino ad una profondità media oscillante intorno ai 10 metri dal piano di calpestio, da minuti e sporadici frammenti fluitati di terracotta (derivanti dal disfacimento di ceramica e laterizi).

All'interno del riporto sono stati rinvenuti materiali prettamente edilizi (malta commista a frammenti di laterizio e materiali lapidei, travertino anche in blocchi) riferibili ad antiche strutture murarie caratterizzati da densità, continuità e coerenza tale da confermare la sopravvivenza sul posto di tali strutture, sia pure in stato di crollo.

Alcuni carotaggi hanno altresì attraversato, intorno ai 6 m, dei blocchi di basalto riferibili ad un antico lastricato stradale.

Oltre a resti di strutture edilizie, in alcuni sondaggi si sono riscontrati materiali lapidei decorativi: per lo più in frammenti (marmo bianco, granito, calcari compatti policromi, ardesia, marmo rosso e serpentino).

La presenza di tali materiali sembra costituire l'indizio della presenza di edifici di un certo pregio, probabilmente un'area sepolcrale databile in età imperiale oppure una residenza suburbana.

#### **4. Le Cavità sotterranee – Sviluppo urbanistico e dissesti**

Una frequente tipologia di dissesto geologico caratteristico della città di Roma è riconducibile alla presenza di cavità nel sottosuolo.

Come in altri centri urbani edificati su terreni di origine vulcanica, sono presenti numerosissime cavità sotterranee di varia origine storica e dalle diverse funzioni: cave, catacombe, cavità di interesse archeologico, cunicoli idraulici, acquedotti e fognature costituiscono le principali tipologie di vuoti esistenti nel sottosuolo cittadino.

Fin dall'antichità a Roma era consuetudine sfruttare materiali da costruzione, in gran parte prodotti dell'attività vulcanica dell'apparato sabatino e albano, estraendoli da cave sotterranee, situate non lontano dall'opera da realizzare.

Dal punto di vista storico l'origine della maggior parte delle cavità si può ricondurre al periodo etrusco-romano, durante il quale furono realizzate, per esigenze legate all'urbanizzazione del territorio, molte opere idrauliche quali acquedotti e fognature scavati nel sottosuolo.

Il grande sviluppo della città pose inoltre il problema dell'approvvigionamento dei materiali da costruzione e di conseguenza proprio i terreni vulcanici furono intensamente sfruttati mediante cave in sottosuolo. Altri scavi vennero inoltre effettuati per esigenze di culto, molto spesso cimiteri e ipogei riutilizzavano vecchie cave abbandonate.

In epoca medioevale ci si limitò a utilizzare le cavità già esistenti per gli usi più svariati; durante il corso dei secoli e fino ai primi anni del '900 furono spesso riutilizzate per le attività estrattive le vecchie cave di pozzolana, sabbia e ghiaia.

Durante il periodo bellico infine, molte delle cavità esistenti all'interno della città vennero utilizzate come ricoveri e rifugi di emergenza, oltre che come comandi e depositi militari.

Attualmente l'uso delle cavità è limitato a casi sporadici: vengono infatti per lo più adibite a fungaie, depositi di materiali vari e autorimesse.

L'esistenza delle cavità storiche, ritrovate praticamente ovunque nel territorio urbano, ha condizionato in vario modo lo sviluppo cittadino e soprattutto le attività edilizie.

Il problema delle cavità sotterranee è divenuto un'emergenza per la città proprio in questi ultimi decenni, quando a causa dell'espansione urbana si sono creati molti fattori di potenziale dissesto.

Il peso dei fabbricati sovrastanti, spesso costruiti ignorando la presenza di vuoti nel sottosuolo, e il continuo aumento del traffico veicolare inducono nel sottosuolo sollecitazioni, che in presenza di cavità possono provocare il collasso di queste ultime.

Ad aggravare la situazione concorre anche il non perfetto stato delle infrastrutture idrauliche: le perdite da acquedotti e fognature provocano il degrado dei materiali costituenti le pareti e le volte delle cavità, favorendo ulteriori dissesti.

##### **4.1. Un caso di studio,**

Riportiamo un caso di studio, indagine geologica e geofisica, relativo alla ricerca di cavità nei terreni vulcanici in ambito cittadino: Via Policastro, Roma

##### **4.1.1) Premessa**

Per caratterizzare dal punto di vista geologico e geotecnico il volume significativo di terreno interessato dal progetto di un parcheggio interrato presso Via Policastro e per accertare la presenza o meno di cavità sotterranee nel suddetto volume ha avuto luogo una campagna di indagini geognostiche e geofisiche così articolata

- 4 tomografie geoelettriche per evidenziare eventuali "anomalie elettriche" dei terreni riferibili alla presenza di cavità nel sottosuolo dell'area in esame e ricostruirne la geometria.
- 6 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 20 metri dal piano di campagna; 3 fori di sondaggio sono stati attrezzati fino a fondo foro con piezometri a tubo aperto tipo "Norton", al fine di ricostruire l'assetto idrogeologico locale;
- video-endoscopie, da eseguirsi all'interno delle cavità eventualmente rinvenute.

#### **4.1.2) Inquadramento geografico, geomorfologico e geologico**

L'area studiata ricade nel settore orientale della città di Roma, nella zona di Tor Pignattara, tra Via Casilina e Via dell'Acqua Bullicante.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area si trova nel settore più basso di un blando versante costituito da una struttura tabulare tufacea che dal punto più rilevato posto a circa 45 m s.l.m., nei pressi di Villa dei Gordiani, discende a quote di circa 30 m s.l.m. nei pressi del fosso di Acqua Bullicante; l'area si trova ad una quota di circa 36 – 37 m s.l.m. ma l'originaria orografia del territorio è stata in parte obliterata dalla forte antropizzazione.

La letteratura evidenzia che la zona in esame è caratterizzata dall'esistenza di un complesso reticolo di cavità sotterranee nei litotipi vulcanici, legate all'attività dell'uomo.

La geologia dell'area è caratterizzata dalla presenza dei prodotti piroclastici dei Colli Albani: in particolare dalla Formazione della Pozzolana grigia, materiale vulcanico piroclastico di colore grigio, incoerente, con discrete proprietà pozzolaniche; dalla Formazione del Tufo Lionato, frequentemente litoide e dal Complesso delle pozzolane medie e inferiori, caratterizzato da spiccate proprietà pozzolaniche.

#### **4.1.3) Inquadramento idrogeologico**

Per valutare il livello statico della falda acquifera dell'area in studio, dopo la perforazione, 3 fori di sondaggio sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto tipo "Norton".

Le letture di falda hanno evidenziato lo stabilizzarsi del livello dell'acqua nei tre piezometri, intorno a 11.5 m dal p.c.

#### **4.1.4) Indagini eseguite**

E' stata realizzata un'indagine geofisica, consistita nell'esecuzione di 4 tomografie elettriche per evidenziare l'eventuale presenza o meno di cavità nel sottosuolo. In particolare le 4 sezioni sono state eseguite con il dispositivo polo-dipolo ed un'interdistanza elettrodica pari rispettivamente a 1 metro (Tomo 1), 90 centimetri (Tomo 2 e 3) e 80 centimetri (Tomo 4).

Dall'analisi ed interpretazione preliminare dei dati delle tomografie elettriche è stato possibile evidenziare in planimetria alcune aree che presentavano anomalie imputabili alla presenza di cavità, sia vuote che riempite di materiali di riporto. Si è quindi deciso di procedere all'esecuzione di sondaggi da ubicare nei settori definiti "anomali" dall'indagine geoelettrica.

Le indagini geognostiche sono consistite nell'esecuzione di 6 sondaggi a carotaggio continuo aventi lo scopo di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente il sito e di accertare l'eventuale presenza di cavità sotterranee laddove indicato dalle anomalie rilevate dalle tomografie elettriche.

Inoltre è stata eseguita una indagine video-endoscopica all'interno del sondaggio S2/S7, dove è stata rilevata l'effettiva presenza di un vuoto compreso tra 5.0 m e 7.5 m dall'attuale piano campagna. La video-endoscopia ha permesso di accertare l'oggettiva presenza della cavità e di poter valutare con buona approssimazione la reale volumetria della stessa.

#### 4.1.5) Tomografie geoelettriche

L'esecuzione delle tomografie geoelettriche ha consentito di realizzare, passando attraverso la ricostruzione dell'andamento della resistività reale nei terreni presenti, le sezioni interpretative delle anomalie registrate (vedi Sezioni tomografiche riportate nelle Figure 13a, 13b, 13c e 13d Figure 13a, 13b, 13c e 13d – Via Policastro, le tomografie elettriche eseguite ) eventualmente imputabili alla presenza di cavità nel rispetto della seguente modalità rappresentativa.

Figura 13a

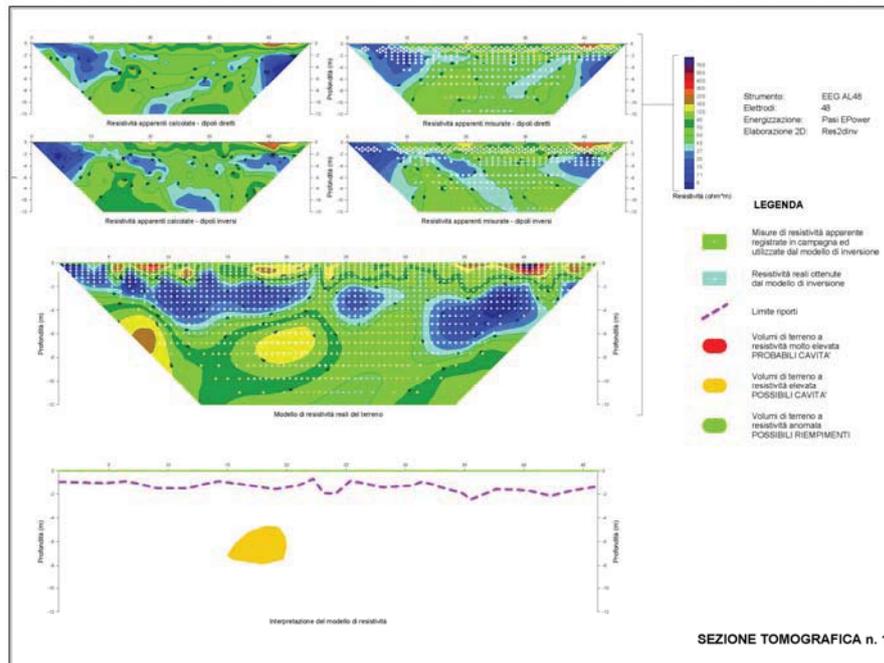


Figura 13b

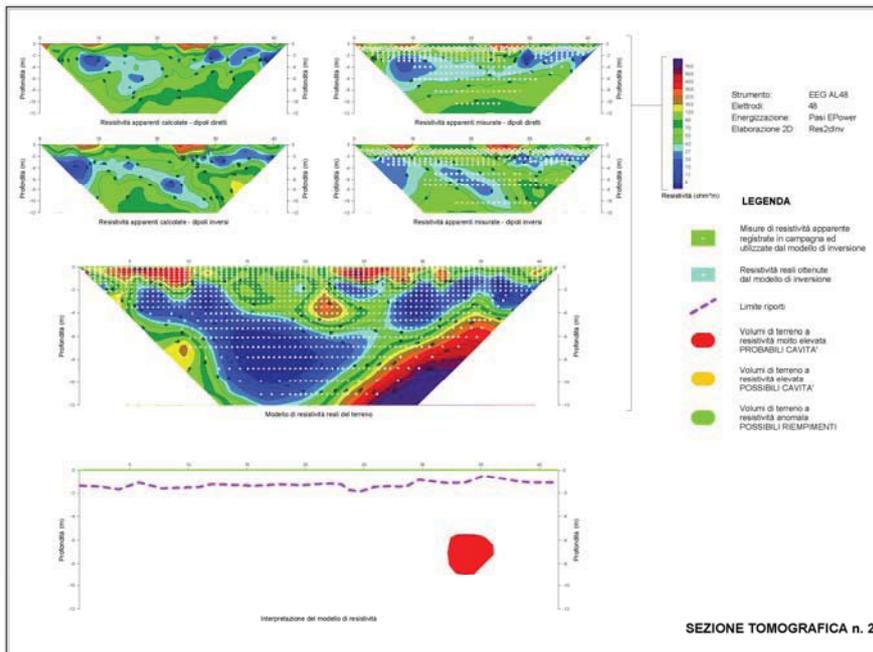


Figura 13c

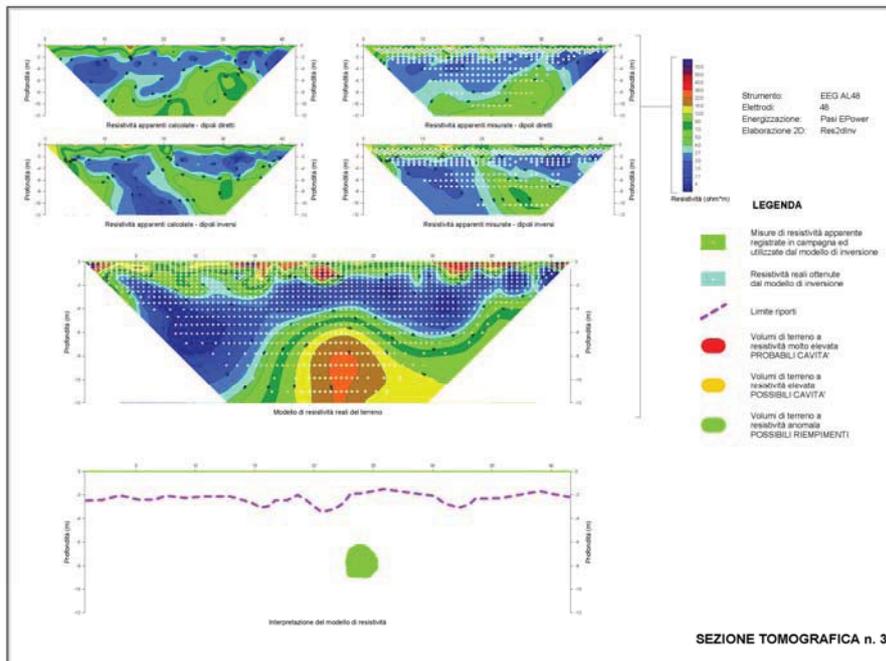
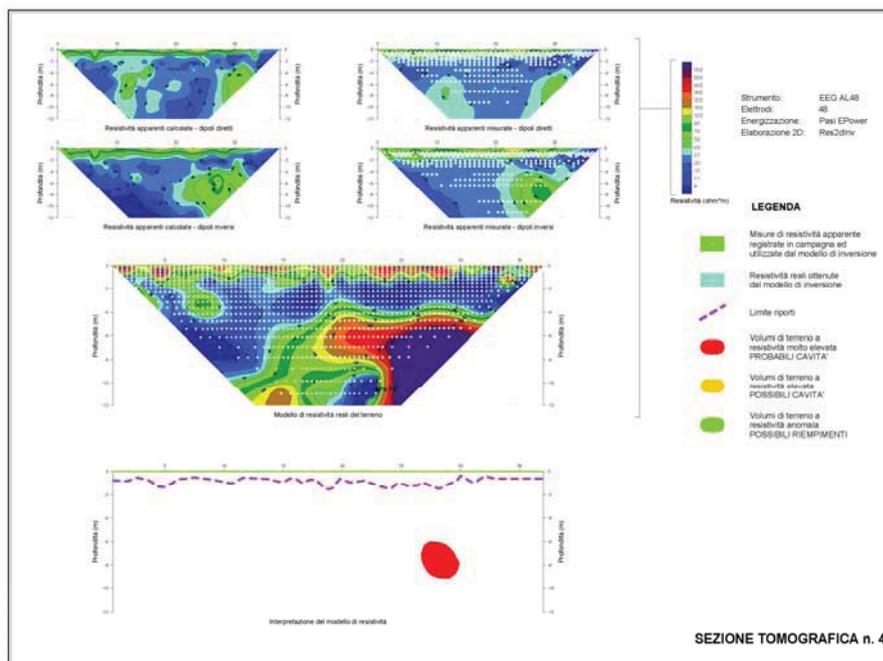


Figura 13d



- le due sezioni in alto a destra riportano i valori delle resistività apparenti effettivamente misurate, sia per i dipoli diretti (sopra) sia per i dipoli inversi (sotto); in corrispondenza di ciascuna di queste misure è graficato un punto bianco;
- le due sezioni in alto a sinistra riportano i valori delle resistività apparenti calcolate dal modello delle resistività reali posto al centro della Tavola, sia per i dipoli diretti (sopra) sia per i dipoli inversi (sotto); la più o meno precisa coincidenza fra le sezioni di destra e quelle di sinistra corrisponde graficamente all'errore rms cioè allo scarto quadratico medio fra le resistività misurate e quelle calcolate;
- la quinta sezione dall'alto costituisce il risultato finale della procedura di inversione che, a partire dalle resistività apparenti misurate produce una sezione con il modello delle resistività reali del terreno attraverso una matrice di valori individuati da croci bianche;
- l'ultima sezione in basso riporta una sezione interpretativa desumibile dal modello delle resistività reali.

#### 4.1.6) - Descrizione della successione stratigrafica

I sondaggi effettuati hanno definito la seguente successione geologica così suddivisa in funzione delle diverse caratteristiche stratigrafiche, granulometriche e geotecniche dei vari terreni incontrati.

##### 1 – TERRENO DI RIPORTO

Questo livello presenta uno spessore compreso tra 0 e 7 metri ed è costituito da materiale di natura vulcanica misto a materiale eterogeneo ed eterometrico di natura antropica; il colore è marrone ocraceo a luoghi marrone grigiastro; la granulometria varia da ghiaia sabbiosa a sabbia limoso argillosa; da poco a mediamente addensato.

##### 2 – TUFO GRANULARE MARRONE-OCRACEO

Il tetto del substrato geologico è rappresentato da tufo granulare marrone ocraceo, a granulometria di sabbia limosa debolmente ghiaiosa, ben addensato. All'interno si rinvenivano minerali femici, leucite, analcime, scorie e pomici. A luoghi è possibile rilevare la presenza di livelli decimetrici di pozzolana grigia, in parte cementata, a prevalente granulometria ghiaioso-sabbiosa con un discreto grado di addensamento.

All'interno di questo livello il sondaggio S2/S7 ha incontrato un vuoto di 2.5 metri di altezza compreso tra 5.0 e 7.5 m dall'attuale piano campagna.

### **3 – POZZOLANA ROSSASTRA E GRIGIO SCURO VIOLACEO**

Al di sotto del livello 2 è presente pozzolana rossastra e grigio scuro violaceo, a granulometria di sabbia limosa debolmente ghiaiosa, ben addensata, a luoghi cementata; si rinvenivano femici, abbondanti scorie e piccoli frammenti lavici. Lo spessore risulta compreso tra 4.0 e 12.0 metri.

### **4 – TUFO GRANULARE MARRONE**

La successione investigata si chiude con tufo granulare marrone a granulometria di sabbia limosa debolmente ghiaiosa, ben addensato. All'interno sono presenti minerali femici, analcime e scorie grigie.

#### **4.1.7) Conclusioni**

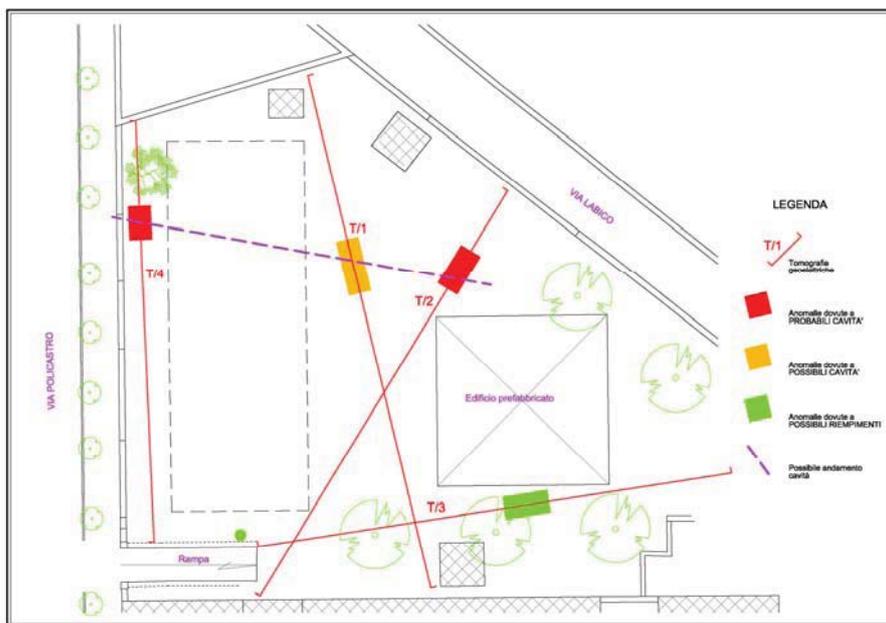
I terreni che costituiscono il substrato geologico dell'area sono ascrivibili ai prodotti del vulcanismo Albano e sono qui rappresentati in affioramento da alcuni prodotti della IV colata piroclastica del Tuscolano-Artermisio (formazione del "Tufo di Villa Senni" e "Pozzolanelle"); in profondità sono stati riconosciuti, inferiormente alle suddette formazioni, prodotti probabilmente ascrivibili alla III e II colata piroclastica del Tuscolano-Artermisio (rispettivamente formazione del "Tufo lionato" e formazione delle "Pozzolane inferiori").

La campagna geognostica ha evidenziato che al di sotto di una coltre di terreno di riporto di spessore variabile da 0 a 7.0 m sono presenti litotipi con buone proprietà di resistenza e compressibilità.

Le letture di falda hanno messo in evidenza la presenza del livello dell'acqua a 11.5 m circa dal p.c.

L'esecuzione delle tomografie elettriche ha permesso di individuare (**Vedi figura 14**) settori dell'area caratterizzati da "anomalie" eventualmente attribuibili alla presenza di cavità sotterranee oppure riconducibili ad importanti volumi di materiale di riempimento. In particolare, nel settore centrale dell'area investigata è stato rilevato un allineamento di forti anomalie, riconducibile alla presenza di una cavità ad andamento lineare, che da Via Labico procedono in direzione pressoché perpendicolare a Via Policastro. Nelle zone con tali anomalie sono stati eseguiti sondaggi geognostici per accertarne le cause.

Figura 14 – Via Policastro, risultati delle tomografie geoelettriche



E' noto che l'esecuzione di tomografie geoelettriche investiga un volume di terreno e non solo la sezione immediatamente soggiacente lo stendimento, quindi è possibile che una cavità sia in realtà posizionata lateralmente rispetto il profilo eseguito. Infatti solamente la perforazione S2/S7 ha rilevato l'effettiva presenza di una cavità compresa tra le profondità 5 m e 7.5 m dal p.c.

Si è proceduto all'esecuzione di una video-endoscopia all'interno del suddetto foro di sondaggio (S2/S7) che ha permesso di accertare e quantificare la presenza di un vuoto, parzialmente riempito da detrito, il cui sviluppo planimetrico sembra essere di tipo lineare e orientato circa perpendicolarmente alla direzione di Via Policastro.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ AMANTI M., GISOTTI G., PECCI M. (1995) – *I dissesti a Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 50, 215-248, Roma.
- ✓ ARNOLDUS-HUIZENDVELD A., CORAZZA A., DE RITA D., ZARLENGA F. (1997) – *Il paesaggio geologico ed i geotipi della Campagna Romana*. Quaderni dell'Ambiente, 5, Fratelli Palombi Ed., Roma.
- ✓ BOZZANO F., FUNICIELLO R., MARRA F., ROVELLI A., VALENTINI G. (1995) – *Il sottosuolo dell'area dell'Anfiteatro Flavio a Roma*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 30, 417-436.
- ✓ BRANCALEONI R., CORAZZA A., GARBIN F., LEONE F., MORASCHINI C., SCARAPAZZI M. (2003) – *Il Rilievo di Monte Mario a Roma: sviluppo urbanistico e dissesti. Un caso di Geologia Urbana*. Geologia dell'Ambiente, Anno XI, 3, 2-14, SIGEA, Roma.
- ✓ CARBONI M.G., FUNICIELLO R., PAROTTO M., MARRA F., SALVI S., CORAZZA A., LOMBARDI L., FEROCI M. (1991) – *Geologia e idrogeologia del centro storico di Roma*. Progetto Strategico Roma Capitale, CNR.
- ✓ CAVARRETTA G., CAVINATO G.P., MANCINI M., MOSCATELLI M., PATERA A., RASPA G., STIGLIANO F., VALLONE R., GARBIN F., MILLI S., STORONI RIDOLFI S. (2005) - *La banca dati delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo di Roma*. Convegno di presentazione della nuova cartografia geologica dell'area romana. Roma 7 ottobre 2005.
- ✓ CERISOLA R., GARBIN F., ROMEO R., STORONI RIDOLFI S. (1991) - *Caratteri geotecnici di sequenze stratigrafiche del perimetro urbano di Roma*. Convegno dei giovani ricercatori in geologia applicata. Viterbo 19 aprile 1991.
- ✓ COMMISSIONE VALUTAZIONE RISCHI AMBIENTALI (1994) – *L'ambiente nel centro storico e a Roma. Secondo Rapporto: il suolo/sottosuolo*. Comune di Roma, Dipartimento delle Politiche Territoriali, Roma.
- ✓ COMUNE DI ROMA (1997) – *Relazione sullo stato dell'ambiente a Roma*. Maggioli Ed., Roma.
- ✓ CORAZZA A., LANZINI M., ROSA C., SALUCCI R. (1999) – *Caratteri stratigrafici, idrogeologici e geotecnici delle alluvioni tiberine nel settore del Centro Storico di Roma*. Il Quaternario, 12(2), 215-235, Roma.
- ✓ CORAZZA A., LEONE F., MAZZA R. (2002) – *Il quartiere di Monteverde a Roma: sviluppo urbanistico e dissesti in un'area urbana*. Geologia dell'Ambiente, anno X, n.1, 8-18, SIGEA, Roma.
- ✓ CORAZZA A., LOMBARDI L. (1995) – *Idrogeologia dell'area del centro storico di Roma*. In Mem. Descr. Carta Geol. d'It., L, 173-211, Roma.
- ✓ CORAZZA A., LOMBARDI L., LEONE F., BRANCALEONI R., LANZINI M. (2004). - *Le acque sotterranee nei terreni di riporto della città di Roma*. Atti Convegno «Ecosistema Roma», Accademia dei Lincei, Roma, 14 -16 Aprile 2004.
- ✓ CRESCENZI R., PIRO M., VALLES R. (1995) – *Le Cavità sotterranee a Roma*. In “La Geologia di Roma. Il centro storico”. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 50, 497-542.
- ✓ DE ANGELIS D'OSSAT G. (1942) – *Nuove sezioni geologiche dei Colli di Roma*. Boll. Soc. Geol. It., 61, Roma.
- ✓ DI LORETO E. & GISOTTI G. (1994) – *Geologia e idrologia urbana*. Verde Ambiente, n. 6 (Speciale Roma), Roma.
- ✓ FABBRI M., GARBIN F., LANZINI M., SCARAPAZZI M. - *Interpretazione dei parametri geotecnici di laboratorio*. Di Virgilio editore, collana La Sintesi.
- ✓ FACCENNA C., FUNICIELLO R., MARRA F. (1995) – *Inquadramento geologico strutturale dell'area romana*. In Mem. Descr. Carta Geol. d'It., L, 31-118, Roma.
- ✓ FEROCI M., FUNICIELLO R., MARRA F., SALVI S. (1990) – *Evoluzione tettonica e paleogeografica plio-pleistocenica dell'area di Roma*. Il Quaternario, 3 (2), 141-148, Roma.
- ✓ FOLLE D., RASPA G., MANCINI M., MOSCATELLI M., PATERA A., STIGLIANO F.P., VALLONE R., CAVINATO G.P., CAVARRETTA G., MILLI S., GARBIN F., STORONI RIDOLFI S. (2006a) - *Geotechnical modelling of the subsoil of Rome (Italy) by means of*

*multivariate geostatistics*. Int. Ass. for Mathematical Geology – XI th International Congress. Università de Liège, Liegi 3-8 settembre 2006.

✓ FOLLE D., RASPA G., MANCINI M., MOSCATELLI M., PATERA A., STIGLIANO F.P., VALLONE R., CAVINATO G.P., CAVARRETTA G., MILLI S., GARBIN F., STORONI RIDOLFI S. (2006b) - *Integrated geological and geotechnical modelling of the terrains of Rome (Italy)*. XIV th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Madrid 24-27 settembre 2006.

✓ FUNICIELLO R., a cura di (1995) – *La Geologia di Roma. Il centro storico*. Memorie descrittive della carta geologica d'Italia, 50, Roma.

✓ FUNICIELLO R., GIORDANO G., DE RITA D., CARAPEZZA M.L., BARBERI F. (2002) – *L'attività recente del cratere del Lago Albano di Castelgandolfo*. Rend. Fis. Acc. Lincei s. 9, v. 13, 113-143, Roma.

✓ FUNICIELLO R., MARRA F., PAROTTO M. (1993) – *Attraverso la città di Roma*. In Guide Geologiche Regionali, vol. 5, "Lazio", Società Geologica Italiana, 229-245, Roma.

✓ GASPARINI C., LEONE F., BRANCALEONI R., GARBIN F. (2005) - *I rischi geologici nell'area urbana di Roma*. Convegno di Geologia Urbana nella Capitale, viaggio nella IV dimensione. Roma 28 novembre 2005.

✓ GEOPLANNING Servizi per il Territorio S.r.l. (1998) – *Relazione geologico-tecnica: indagini geognostiche, archeologiche e geofisiche presso Piazzale della Radio - Roma*. Relazione inedita.

✓ GEOPLANNING Servizi per il Territorio S.r.l. (1999) – *Relazione geologico-tecnica: indagini geognostiche e georadar nel giardino di Villa Mazzanti - Roma*. Relazione inedita.

✓ GEOPLANNING Servizi per il Territorio S.r.l. (2006) – *Relazione geologico-tecnica: indagini geognostiche e geofisiche presso Via Policastro - Roma*. Relazione inedita.

✓ GIGLI E. (1971) – *Cosa c'è sotto Roma? Monte Mario Vaticano Gianicolo un'origine comune*. Capitolium, 46, (7/8), Roma.

✓ GISOTTI G., ZARLENGA F. (1998) – *La geologia della città di Roma tra urbanistica e archeologia*. Geologia dell'Ambiente, 4, SIGEA, Roma.

✓ LANZINI M. (1995) – *Il problema delle cavità sotterranee a Roma (un rischio geologico)*. Geologia dell'Ambiente, 3, SIGEA, Roma.

✓ LUGLI G. (1951) – *Come si è trasformato nei secoli il suolo di Roma*. Rend. Sci. Mor., 6, Roma.

✓ MARRA F. (1993) – *Stratigrafia e assetto geologico-strutturale dell'area romana tra il Tevere e il Rio Galeria*. Geologica Romana, 29, 515-535, Roma.

✓ MARRA F., ROSA C. (1995) – *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana*. In Mem. Descr. Carta Geol. d'It., L, 49-112, Roma.

✓ MARRA F., CARBONI M.G., DI BELLA L., FACCENNA C., FUNICIELLO R., ROSA C. (1995 a) – *Il substrato plio-pleistocenico nell'area romana*. Boll. Soc. Geol. It., 114, 195-214, Roma.

✓ MOSCATELLI M., MILLI S., PATERA A., STIGLIANO F., STORONI RIDOLFI S., BRANCALEONI R., GARBIN F. - *Caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni della città di Roma*. Atti del II Congresso GeoSed 2004 «La geologia del sedimentario nella ricerca di base e nelle sue applicazioni» CNR, Roma, 22 -28 Settembre 2004.

✓ PONZI G. (1875) – *Dei Monti Mario e Vaticano e del loro sollevamento*. Atti R. Acc. Lincei, 2, Roma.

✓ VENTRIGLIA U. (1971) – *La geologia della città di Roma*. Amm. Prov. di Roma, Roma.

✓ VENTRIGLIA U. (1990) – *Idrogeologia della Provincia di Roma*. Provincia di Roma, Ass. LL. PP. Viab. e Trasp., Roma.

✓ VENTRIGLIA U. (2002) – *Geologia del territorio del Comune di Roma*. Amm. Prov. di Roma, Servizio Geologico Difesa del Suolo, Roma.