

I dissesti a Roma

AMANTI M. (*), GISOTTI G. (*), PECCI M. (*)

1. – PREMESSA

Le frane e i dissesti di vario tipo che si sono manifestati nell'ambito del centro storico di Roma, pur rimanendo fenomeni abbastanza circoscritti, hanno non trascurabili evidenze, risonanza e conseguenze, legate sia all'elevatissimo grado di antropizzazione del territorio, sia al valore storico, artistico e culturale, unico al mondo nel caso di Roma.

La tipologia dei dissesti riscontrati e riscontrabili nel centro storico di Roma non è solo legata alla natura ed al comportamento della unità litologiche esistenti, ma anche alla presenza delle cavità, il cui scavo e sfruttamento, a vario titolo, hanno da sempre accompagnato la nascita e lo sviluppo della città (CRESCENZI *et alii*, 1995, in questo volume).

L'interazione di questi due fattori, tipo e comportamento delle unità litologico-tecniche coinvolte e presenza di cavità, non permettono, almeno al momento attuale, una facile previsione nella localizzazione e probabile evoluzione dei dissesti; il loro studio d'altro canto si presenta affascinante ed unico al mondo per i motivi già esposti e per la realtà stessa della «Città eterna».

In questa sede verranno prese in considerazione le tipologie dei dissesti più caratteristici e frequenti nel centro storico di Roma, attraverso la presentazione di alcuni casi emblematici e rappresentativi. La ricostruzione dei fenomeni è stata effettuata sulla base dei dati riportati nella letteratura scientifica e nelle relazioni tecniche specifiche elencate in bibliografia e, dove possibile, anche di sopralluoghi. In questa operazione si è cercato di dare maggiore

importanza e spazio agli aspetti conoscitivi del territorio e della sua evoluzione morfodinamica, piuttosto che alla discussione critica sugli interventi effettuati o ritenuti necessari.

Nel territorio del centro storico di Roma è stato possibile individuare fundamentalmente due grosse famiglie di dissesti:

- fenomeni franosi s.s. a carico dei versanti naturali, spesso antropizzati,
- cedimenti nell'ambito del tessuto urbano.

Non vengono presi in considerazione in questa sede i locali sprofondamenti della sede stradale e l'aspetto riguardante la prevedibilità e la pericolosità dei fenomeni in questione; la realizzazione di una banca dati e di una cartografia della pericolosità aggiornabile è infatti l'obiettivo dello studio geologico-applicativo, ma presuppone la totale disponibilità dei dati geologico-tecnici informatizzati. Questo argomento e le prospettive che esso può offrire nel futuro sono trattati altrove in questo stesso volume (AMANTI *et alii*, 1995b; CARA *et alii*, 1995).

In ogni singolo caso di studio vengono presentate le caratteristiche delle unità litologico-tecniche localmente affioranti e presenti nel sottosuolo. La caratterizzazione geomeccanica che di queste unità viene fatta ha un valore esclusivamente locale e non estrapolabile altrove, dato anche l'esiguo numero di dati geotecnici a disposizione in questa fase del «Progetto Roma».

Dove non altrimenti specificato, le attribuzioni stratigrafiche fanno riferimento all'articolo relativo alla geologia di questa stessa opera.

(*) Presidenza del Consiglio dei Ministri - DSTN - Servizio Geologico.

2. - FENOMENI FRANOSI S.S.

Quantunque il tessuto urbano, talora estremamente fitto e gli interventi antropici abbiano nascosto e obliterato l'originario assetto morfologico, il territorio su cui si sviluppa il centro storico di Roma ha uno sviluppo altimetrico ben definito e caratteristico, come si può agevolmente constatare dalla restituzione cartografica del modello digitale del terreno riportata nell'articolo riguardante la banca dati. (CARA & PROSPERI, 1995).

Bisogna preliminarmente specificare che l'originario assetto (con il proverbiale richiamo ai sette colli della fondazione di Roma) è stato notevolmente modificato nel corso del tempo, con interventi antropici che, in alcuni casi, hanno portato al completo riempimento di depressioni e specchi d'acqua stagnante («*Lacus Curtius*», «*Velabro*», «*Palus Caprea*», ecc.), o alla creazione di veri e propri rilievi, di piccola entità, come nel caso di Monte Citorio

o del Monte della Giustizia (15 m circa dal p.c.) di età classica, prospiciente alle Terme di Diocleziano e spianato durante i lavori per la costruzione della Stazione Termini, ma anche rilevanti, come nel caso del Monte dei Cocci di Testaccio.

I fenomeni franosi s. s. si sono originati ed evoluti nel corso del tempo lungo i versanti più acclivi, innescati spesso dall'intervento dell'uomo, che ha agito imponendo un sovraccarico artificiale o modificando l'originario assetto idrogeologico e morfologico; le tipologie più frequentemente riscontrate sono classificabili (AMANTI *et alii*, 1994a) come scorrimenti rotazionali e/o traslativi e come frane complesse sulle pendici argilloso-sabbiose di Monte Mario e di Monteverde, nonché come localizzati crolli di blocchi e massi in corrispondenza della scarpate più acclivi, impostate in rocce litoidi (tufi, livelli arenacei e conglomeratici, «*Tartaro*»). Le ubicazioni del totale dei dissesti censiti nel presente lavoro (tab. 1) sono riportati, con le coordi-

TAB. 1 - *Notizie relative ai dissesti censiti nel Centro Storico di Roma*

	QUADRANTE	UBICAZIONE	UNITÀ COINVOLTA	CLASSIFICAZIONE DISSESTO
1	E4	Campidoglio - R. Tarpea	Tufo litoide lionato	Crollo
2	D4	Palazzo Valentini	Piroclastiti stratificate dei Sabatini / Unità del Paleotevere 2	Cedimento dovuto alla presenza di manufatti di interesse archeologico
3	C5	Villino Centurini	Pozzolane rosse di S. Paolo	Cedimento dovuto a cavità
4	F2	Monteverde: via Saffi e Villa Sciarra	Riporti e terreni rimaneggiati	Scorrimento rotazionale
5	C3	Palazzo di Giustizia	Alluvioni recenti e attuali	Cedimento dei terreni di fondazione
6	A1	Monte Mario	Unità di Monte Ciocci	Scorrimento rotazionale
7	A3	Viale Tiziano	Unità di Valle Giulia	Crollo
8	F2	Monteverde Nuovo: via Busiri Vici	Unità di Monte Ciocci	Cedimento dovuto a cavità
9	F1	Via Ozanam	Unità di Monte Mario / Unità di Monte Ciocci	Cedimento dei terreni di fondazione
10	F2	Via Barrili	Unità di Monte Ciocci	Cedimento dovuto a cavità
11	F4	Via di S. Josafath	Piroclastiti stratificate dei Sabatini	Cedimento dovuto a cavità
12	F4	Via di Marcella	Piroclastiti stratificate dei Sabatini / Tufo lionato litoide	Cedimento dovuto a cavità
13	G6	Porta S. Sebastiano (Sepolcro degli Scipioni)	Piroclastiti stratificate dei Sabatini	Cedimento dovuto a cavità
14	E5	Obelisco di Villa Celimontana	Piroclastiti stratificate dei Sabatini / Tufo lionato litoide	Cedimento dei terreni di fondazione
15	A3	Via Flaminia, 118	Alluvioni recenti e attuali	Cedimento dei terreni di fondazione
16	A7	Villa Leopardi, via Asmara	Tufo di Villa Senni	Cedimento dovuto a cavità

nate dei quadranti di appartenenza, nella cartografia tematica a scala 1:10.000, fuori testo, in tasca di copertina.

Di seguito vengono presentati due casi di studio rappresentativi, relativi a Monteverde per quanto riguarda le frane per scorrimento e al Campidoglio per quanto riguarda le frane per crollo, non trascurando peraltro che fenomenologie simili si sono avute e si potrebbero sviluppare in futuro anche in condizioni morfo-litologiche simili, con riferimento, a quanto già avvenuto, ad esempio, in via degli Ammiragli (Monte Mario) e a viale Tiziano (Monte Parioli), entrambi al di fuori dell'area presa in considerazione in questo lavoro.

2.1 – FRANE PER SCORRIMENTO: VIA A. SAFFI

Monteverde insieme al vicino Monte Mario hanno costituito un alto strutturale dalla fine del Pliocene e per tutto il Pleistocene. I loro versanti hanno subito quindi una lenta e continua evoluzione geomorfologica, che negli ultimi quattro secoli è stata fortemente influenzata da una crescente pressione antropica (la costruzione dei bastioni è datata tra il 1630 e il 1642), e che dal 1907 in poi ha dato luogo a movimenti franosi molto ravvicinati nel tempo e nello spazio.

A questo proposito è di estremo interesse la lettura del lavoro di Fossa Mancini (FOSSA MANCINI, 1923) concepito anche come «guida» per «una persona prudente che intenda costruire o prendere in affitto un fabbricato a Monteverde».

Nelle frane e nei numerosi dissesti che interessano i versanti dei rilievi in esame l'azione dell'uomo ha giocato generalmente un ruolo fondamentale. Tale azione si è esplicata talvolta come sovraccarico lungo il versante, talvolta come aumento della pressione interstiziale per la rottura di scarichi fognari, spesso fatiscenti, in altri casi come lavori di sbancamento al piede del versante per opere di urbanizzazione, molto spesso con una sinergia di tutti i fattori instabilizzanti precedentemente menzionati.

Quantunque i fenomeni di dissesto di Monteverde abbiano evidenze anche all'esterno e a valle della cerchia delle mura, il loro interesse esemplificativo ai fini del presente lavoro ed il fatto stesso che arrivino ad interessare le mura di Villa Sciarra consente che siano qui analizzati e presentati come fenomeni a tutti gli effetti tipici del centro storico.

I litotipi affioranti nell'area in studio sono riferibili, dall'alto verso il basso, a:

– Unità dei riporti e terreni di alterazione o rimaneggiati (riporti *Auct.*), legati rispettivamente al riempimento di vallecole ed incisioni e ai movimenti di versante progressi. Questa unità, con componenti eterometrici e poligenici, ma comunque originati dall'attività antropica a partire dai primi anni di questo secolo, costituisce nella zona una coltre, a luoghi con una potenza superiore alla decina i metri (SCIOTTI, 1986).

– Unità di Monte Ciocci, costituita da sabbie giallastre con ghiaie cementate, passanti verso l'alto a limi e argille sabbiose in facies di transizione e continentale.

– Unità di Monte Mario, costituite da limi sabbie e ghiaie di ambiente principalmente marino e subordinatamente di transizione, con spessori variabili da 3 a 10 m nell'area in studio.

– Unità del Monte Vaticano (Marne Vaticane/Argille Azzurre *Auct.*) del Pliocene Superiore, costituita da argille e argille limose; essa rappresenta il «basamento» di tutta l'area romana, con una potenza valutabile in alcune centinaia di metri.

Dal punto di vista geomorfologico ed idraulico l'azione antropica ha rappresentato l'elemento principale di alterazione dell'equilibrio, già di per se precario, dei versanti naturali. In particolare nell'area dissestata il riempimento di un paleoimpluvio ha alterato irreversibilmente il drenaggio superficiale originario, andando a creare un acquifero superficiale. La presenza, inoltre, di un'area di richiamo preferenziale per le acque meteoriche è testimoniata non solo dalle carte topografiche di epoca storica, ma anche dalla difforme distribuzione della vegetazione e da un'orografia più regolare, almeno nel passato (FOSSA MANCINI, 1922).

Dal punto di vista idrogeologico le argille dell'Unità del Monte Vaticano costituiscono il livello di base per lo scorrimento delle acque sotterranee, sia nelle sabbie che nei riporti superficiali; anche se l'acquifero principale è costituito dalle sabbie e ghiaie dell'Unità di Monte Mario e/o della soprastante Unità di Monte Ciocci, la falda più superficiale presenta modeste emergenze, seppur perenni, ai piedi delle scarpate, al contatto con le unità meno permeabili; tra di esse, la più conosciuta sin dai tempi remoti (FOSSA MANCINI, 1922) è quella ubicata poco sopra il fondo cieco di via Pietro Sterbini, oltre alla segnalazione presso Villa Sciarra, di una fonte sacra dedicata alla dea Furrina, di cui non è stata mai ritrovata traccia.

Dal punto di vista geotecnico è possibile individuare in questo sito le seguenti quattro unità litotecniche principali:

– Terreni coesivi, poco permeabili, di genesi sedimentaria, ambiente marino, attribuibili all'Unità del Monte Vaticano (Argille Azzurre *Auct.*) e caratterizzati nell'area dai seguenti parametri fisici e meccanici, determinati nel corso di prove di taglio diretto consolidate drenate (tab. 2).

TAB. 2 – Parametri fisici e meccanici dei terreni riferiti all'Unità del Monte Vaticano

(fonte: COMUNE DI ROMA, 1981).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore	Valore	Valore	Numero prove	Valore medio
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	26,7	27	27,1	3	26,93
Peso di volume γ (kN/m ³)	20,1	20,8	20,6	3	20,50
Umidità naturale w (%)	20	16	18,5	3	18,17
Coesione in cond. dren. c' (kN/m ²)	30	25	20	3	25,00
Ang. di attr. int. in cond. dren. ϕ' (gradi)	23	23,5	26,5	3	24,33
Coeff. di permeabilità k (10 ⁻¹⁰ m/s)	3,5	0,5	7,5	3	3,83

– Terreni granulari, permeabili, di genesi sedimentaria, ambiente marino e di transizione attribuibili all'Unità di Monte Mario; nell'area sono caratterizzate dai seguenti parametri fisici e meccanici, determinati nel corso di prove di taglio diretto consolidate drenate (tab. 3).

TAB. 3 – Parametri fisici e meccanici dei terreni riferiti all'Unità di Monte Mario

(fonte: COMUNE DI ROMA, 1981).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore	Valore	Valore	Numero prove	Valore medio
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	27	26,9	26,5	3	26,80
Peso di volume γ (kN/m ³)	19	18,5	18,5	3	18,67
Umidità naturale w (%)	25	27,5	23,5	3	25,33
Coesione in cond. dren. c' (kN/m ²)	0	0	3	3	1,00
Ang. di attr. int. in cond. dren. ϕ' (gradi)	30,5	33	30	3	31,17
Coeff. di permeabilità k (10 ⁻⁸ m/s)	8,6	78	8	3	31,53

– Terreni granulari, di genesi sedimentaria, ambiente continentale attribuibili all'Unità di Monte Ciocci, membro sabbioso; nell'area sono caratterizzate dai seguenti parametri fisici e meccanici, deter-

minati nel corso di prove di taglio diretto consolidate drenate (tab. 4).

TAB. 4 – Parametri fisici e meccanici dei terreni riferiti all'Unità di Monte Ciocci, membro sabbioso

(fonte: COMUNE DI ROMA, 1981).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	26,9
Peso di volume γ (kN/m ³)	18,5
Umidità naturale w (%)	23,5
Coesione in cond. dren. c' (kN/m ²)	3
Ang. di attr. int. in cond. dren. ϕ' (gradi)	30

– Unità dei riporti e dei terreni rimaneggiati composta da:

a) terreni granulari per coesione nulla, di genesi antropica, attribuibili all'Unità dei riporti, con caratteristiche meccaniche scadenti, esprimibili da un valore dell'angolo di attrito in condizioni drenate $\phi' \leq 30^\circ$; i valori sono stati ottenuti nell'area da prove SCPT con numero di colpi $N \leq 5$ (COMUNE DI ROMA, 1981);

b) terreni rimaneggiati, coinvolti in fenomeni franosi pregressi e classificabili come argille rimaneggiate, attribuibili all'unità di Monte Ciocci. Una tale attribuzione è desumibile dalle osservazioni di cantiere e dai risultati delle prove di laboratorio effettuate su un campione prelevato nel corso di una perforazione nell'area interessata direttamente dalla frana del 1963 (COMUNE DI ROMA, 1981); lo spessore coinvolto è di circa una decina di metri, fino ad una profondità di 12,50 m al di sotto del piano stradale di via A. Saffi, in corrispondenza del ciglio di frana (fig. 1); i parametri fisici e meccanici, determinati nel corso di una prova di taglio diretto consolidata drenata, di tali terreni sono riportati in tab. 5.

TAB. 5 – Parametri fisici e meccanici di terreni (argille rimaneggiate) riferiti all'Unità dei riporti

(fonte: COMUNE DI ROMA, 1981).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	26,8
Peso di volume γ (kN/m ³)	16,5
Umidità naturale w (%)	70
Coesione in cond. dren. c' (kN/m ²)	0
Ang. di attr. int. in cond. dren. ϕ' (gradi)	28,5

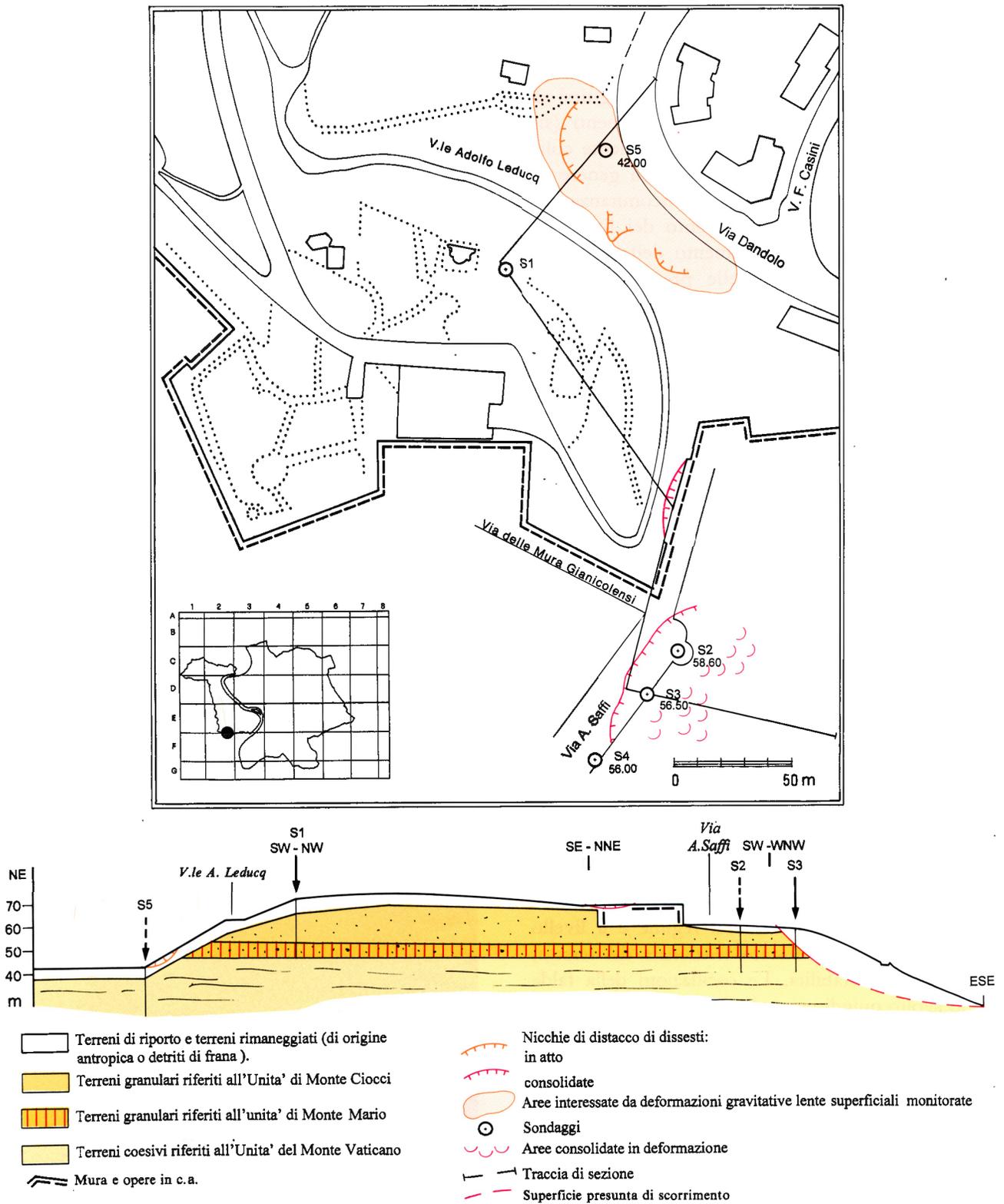


Fig. 1 – Stralcio planimetrico e sezione geologico-tecnica relativa ai dissesti di Villa Sciarra e Via A. Saffi (Monteverde) (disegno: Gabriella Masella).

Come già riferito, il fianco orientale della collina di Monteverde é sempre stato interessato da una rapida evoluzione dei versanti, legato anche alla presenza dei disturbi tettonici che hanno innalzato l'intero «alto strutturale» di Monteverde - Monte Gianicolo - Monte Mario. Fino ai primi anni del secolo (FOSSA MANCINI, 1922) la naturale evoluzione del versante é proceduta tramite il susseguirsi di fenomeni franosi, principalmente scorrimenti (sia traslativi che rotazionali) e subordinatamente colamenti, sulle unità in posto, innescati in genere da eventi meteorici particolari, in concomitanza dei quali si verificava un innalzamento del livello di falda, con corrispondente aumento delle pressioni interstiziali, diminuzione delle pressioni efficaci e conseguente diminuzione della resistenza al taglio disponibile.

In seguito alla veloce e pressoché completa urbanizzazione di tutto il versante orientale della collina, ai fenomeni franosi sopra descritti si sono sostituiti principalmente scorrimenti rotazionali nelle argille rimaneggiate, anche per spessori dell'ordine della decina di metri (cfr. SCIOTTI, 1986), come é visibile dalla sezione geologico-tecnica (fig. 1), e scorrimenti traslativi nei riporti e nella coltre di alterazione superficiale.

Ricapitolando, nell'evoluzione del dissesto in studio, sono individuabili varie cause predisponenti e fattori innescanti.

A creare una situazione di predisposizione all'instabilità ha concorso principalmente la crescente pressione antropica, che é andata ad agire modificando la morfologia originaria, sia alla sommità che al piede del versante, ed imponendovi carichi artificiali, costituiti nella maggioranza dei casi da costruzioni.

Su una situazione spesso prossima all'equilibrio limite le precipitazioni, non necessariamente eccezionali, e le perdite della rete delle acque bianche e nere hanno concorso a modificare il regime e il livello della falda e quindi lo stato tensionale dei terreni, a scapito della stabilità. Le oscillazioni della falda hanno svolto quindi un ruolo diretto nell'innescare dei movimenti di versante ed hanno inoltre avuto una manifestazione secondaria, come già detto, nelle locali modificazioni del regime delle acque sotterranee (comparsa e scomparsa di piccole sorgenti).

Al momento attuale, nel corso dei sopralluoghi effettuati per verificare le notizie riportate nell'ambito del presente lavoro, si é notata la presenza di alcune evidenze morfologiche (figg. 2 e 3), che fanno pensare ad una possibile riattivazione dei movimenti di versante.

2.2 – FRANE PER SCORRIMENTO: VILLA SCIARRA

La parte sommitale di Monteverde, coincidente nel settore orientale con Villa Sciarra, é stata sottoposta da parte del Comune di Roma a controllo strumentale dall'inizio degli anni '90, a seguito della manifestazione di evidenze di movimento del terreno e di localizzate lesioni a carico delle mura.

Per quanto riguarda l'assetto geologico ed idrogeologico si rimanda a quanto già descritto nel paragrafo 2.1, ricordando che Villa Sciarra é ubicata nei terreni della parte alta della serie stratigrafica, comprendente, fino ai 30-35 m dal p.c., dall'alto verso il basso: i Riporti, l'Unità di Monte Ciocci e l'Unità di Monte Mario.

Dal punto di vista geomorfologico é invece importante segnalare che il versante orientale di Monteverde, culminante con i circa 100 m s.l.m. della



Fig. 2 – Muretto danneggiato dai movimenti in atto sul versante sottostante Via A. Saffi; è visibile l'imbocco della scaletta pericolante di Via U. Bassi. (foto: M. Amanti).



Fig. 3 – Particolare delle fessure e crepe nel muretto di Via A. Saffi, all'altezza dell'incrocio con Via delle mura gianicolensi. (foto: M. Amanti).

sua sommità, presenta la cinta delle mura ad una quota di circa 70 m s.l.m. ed i principali dissesti a quote di poco inferiori. Tali versanti presentano pendenze variabili dai 16° ai 35°, sono a luoghi caratterizzati da zone a verde e da locali, piccole nicchie di distacco (fig. 4), limitate alle coltri superficiali.

È importante infine segnalare la presenza, ancora in tempi recenti, di una sorgente ubicata sul versante in studio, prospiciente via Dandolo e captata per il fabbisogno idrico di alcune abitazioni.

La stratigrafia locale è stata definita da una campagna di indagini geognostiche (COMUNE DI ROMA, 1990) a cui si è fatto riferimento per tutti i dati di seguito riportati nelle tabelle; le unità stratigrafiche presenti nell'area sono riferibili, dall'alto verso il basso, a:

- terreno vegetale e riporti di vario genere, con spessori fino a 10 m (Riporti *Auct.*),
- limi argilloso-sabbiosi e sabbie fini con residui carboniosi e soprastanti sabbie giallastre con livelli arenacei ascrivibili all'Unità di Monte Ciocci,



Fig. 4 – Panoramica della nicchia di frana per scorrimento rotazionale situata all'ingresso di Villa Sciarra su Via Dandolo; il movimento è tuttora in atto, come evidenziato dalla curvatura degli alberi sul corpo di frana. (foto: M. Amanti).

TAB. 6 – Parametri fisici e meccanici dei terreni riferiti all'Unità di Monte Ciocchi, membro superiore
(fonte: COMUNE DI ROMA, 1986).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore	Numero prove	Valore medio	Varianza						
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	27	27,1	27	27	27	27,2	26,9	7	27,03	0,01
Peso di volume γ (kN/m ³)	20	19	18,5	19	18,2	20,2	18,8	7	19,10	0,55
Umidità naturale w (%)	19	26,5	31,5	24,5	25,5	20,5	22	7	24,21	17,65
Coesione in cond. dren. c' (kN/m ²)	40	25	35	15	25	45	25	7	30,00	108,33
Angolo di attr. int. in cond. dren. ϕ' (gradi)	19	25,5	18,5	26,5	22	18	24	7	21,93	12,29
Coesione in cond. res. c_r (kN/m ²)			5		5		10	3	6,67	
Ang. di attr. int. res. ϕ_r (gradi)			13,5		15,5		16,5	3	15,17	
Coazione in cond. non con. non dr. c_{uu} (kN/m ²)			48			148		2	98,00	

– sabbie da fini a medie da mediamente a fortemente addensate ascrivibili all'Unità di Monte Mario.

Dal punto di vista geologico-tecnico, escludendo i riporti, su cui non sono state compiute analisi, è possibile individuare nell'area, dall'alto verso il basso, le seguenti unità litotecniche:

– Terreni coesivi, di geni sedimentaria e ambiente di transizione, attribuibili all'Unità di Monte Ciocchi, membro superiore, con i parametri fisici e meccanici (coesione e angolo di attrito interno in condizioni drenate sono stati ricavati nel corso di prove di taglio diretto, la coesione non drenata nel corso di prove triassiali) elencati in tab. 6.

– Terreni coesivi, ma con livelli arenacei litoidi, di geni sedimentaria e ambiente di transizione, attribuibili all'Unità di Monte Ciocchi, membro inferiore, con i parametri fisici e meccanici, questi ultimi determinati nel corso di prove di taglio diretto consolidate drenate, elencati in tab. 7.

TAB. 7 – Parametri fisici e meccanici dei terreni riferiti all'Unità di Monte Ciocchi, membro inferiore
(fonte: COMUNE DI ROMA, 1986).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore	Valore	Valore	Numero prove	Valore medio
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	26,9	26,9	27	3	26,93
Peso di volume γ (kN/m ³)	18,6	19	18,5	3	18,70
Umidità naturale w (%)	22	23	19	3	21,33
Coesione in cond. dren. c' (kN/m ²)	10	15	35	3	20,00
Ang. attr. int. in cond. dren. ϕ' (gradi)	28	27	20	3	25,00
Coesione in cond. res. c_r (kN/m ²)	0	0	15	1	5,00
Angolo di attr. int. res. ϕ_r (gradi)	19,5	18,5	14,5	3	17,50

– Terreni granulari, di geni sedimentaria e ambiente marino, attribuibili alla facies limosa dell'Unità di Monte Mario, con i parametri fisici e meccanici, questi ultimi determinati nel corso di prove di taglio diretto consolidate drenate, elencati in tab. 8.

TAB. 8 – Parametri fisici e meccanici dei terreni riferiti all'Unità di Monte Mario
(fonte: COMUNE DI ROMA, 1986).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore	Valore	Numero campioni	Valore medio
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	27,2	26,9	2	27,05
Peso di volume γ (kN/m ³)	20,3	18,7	2	19,50
Umidità naturale w (%)	20,5	19,5	2	20,00
Coesione in cond. dren. c' (kN/m ²)	40	20	3	30,00
Ang. attr. int. in cond. dren. ϕ' (gradi)	20,5	25	2	22,75

I risultati delle misure inclinometriche effettuate nel sito in esame, riportati nella relazione tecnica sulle indagini eseguite nel 1990, si riferiscono ad un intervallo di tempo troppo limitato (poco più di un mese), per poter valutare i meccanismi e le superfici di taglio eventualmente sviluppatasi nell'ambito del versante immediatamente a valle delle mura di Villa Sciarra. La tendenza evolutiva del versante comunque sembra essere legata a scorrimenti traslativi e colamenti, almeno negli orizzonti più superficiali (terreni rimaneggiati e riporti antropici).

Sempre in fig. 1 è riportata in planimetria ed in sezione la geologia tecnica dell'area interessata dai fenomeni franosi; la superficie topografica è quella che risulta dalla restituzione aerofotogrammetrica di



Fig. 5 – Consolidamento delle mura di Villa Sciarra su Via A. Saffi. (foto: M. Pecci).

un volo dei primi anni '80 (U.S.I.C.S., 1981), integrata dagli elementi morfologici ricostruiti a partire dalla letteratura tecnica esistente (COMUNE DI ROMA, 1981) che sia nel caso di via A. Saffi che nel caso di Villa Sciarra sono stati, in parte, modificati dagli interventi effettuati (esempio fig. 5).

2.3 – CROLLI SULLE SCARPATE: IL CAMPIDOGLIO

Il Campidoglio rappresenta un sito di interesse non solo in senso archeologico, storico ed artistico, per il diretto riferimento alla fondazione ed alla fortuna della Roma classica, ma anche politico ed economico-amministrativo, in quanto centro nevralgico dell'attività di governo della città, e scientifico, in quanto sede dei pochi affioramenti esistenti nel Centro Storico.

Il colle del Campidoglio, con la rupe Tarpea di storica memoria, rappresenta uno dei pochi ammassi rocciosi affioranti nell'area del centro storico, e proprio perché oggetto di attività ed interventi umani millenari, è in condizioni di precario equilibrio (figg. 6 e 7), come evidenziato dai crolli di blocchi



Fig. 6 – Particolare delle lesioni e delle fessure alla base delle opere di sostegno della Rupe Tarpea. (foto: M. Amanti).



Fig. 7 – Particolare delle lesioni a carico delle opere di sostegno della Rupe Tarpea (parte sommitale). (foto: M. Pecci).

di roccia e di murature che occasionalmente si verificano e di cui il rovinoso crollo del terrazzo sovrastante via di Monte Caprino, del 5 marzo 1991, altro non rappresenta che uno degli ultimi eventi in ordine di tempo.

Il colle ha una forma allungata in direzione NE-SW, con quote massime comprese tra 40 e 45 m s.l.m. ed è separato dall'odierna Piazza del Campidoglio in due zone distinte, l'Arx, settentrionale e il *Capitolium*, meridionale. Il rilievo ha caratteristica sommità tabulare e versanti molto acclivi, a luoghi sub-verticali, risultanti da un'azione erosiva estremamente spinta da parte dei paleo-affluenti del fiume Tevere su litologie con comportamento litoide («Tufo Lionato» *Auct.*).

Il Campidoglio, dal punto di vista geologico, presenta in affioramento le formazioni appartenenti alle sequenze continentali pleistoceniche e i prodotti di natura vulcanica dell'area romana.

Dall'alto verso il basso si ritrovano:

- Unità Aurelia, costituita da ghiaie cementate, limi argillosi e sabbie con livelli piroclastici rimaneggiati, con spessore massimo di 10 m. Ricopre la sommità occidentale del Campidoglio con giacitura

sub-orizzontale, conferendone il caratteristico assetto tabulare;

- «Tufo lionato»: tufo litoide dal caratteristico colore rosso fulvo, con fenocristalli di leucite e feldspati, scorie e pomici; presenta spessori crescenti da Est verso Ovest, da pochi metri anche fino a 20 m, andando a riempire una paleomorfologia incisa nei terreni più antichi;

- Unità delle piroclastiti di ricaduta («Tufi antichi» *Auct.*), cui si trova intercalata l'unità piroclastica di Tor dei Cenci («Tufo granulare» *Auct.*): si tratta di colate piroclastiche costituite da scorie disperse in matrice sabbioso scoriacea, arricchite verso il basso in frammenti litici e ghiaie prelevate da substrato sedimentario, con spessore massimo di qualche metro; nella parte alta si riscontra nell'area un caratteristico livello di epivolcaniti rimaneggiate e depostesi in ambiente continentale lacustre, ricche di concrezioni carbonatiche nella parte inferiore (tuffiti);

- Unità del Paleotevere 2, («Maremmano» *Auct.*), costituita da sabbie e ghiaie con argille di ambiente continentale, con spessore dell'ordine di qualche decina di metri.

Le argille dell'Unità del Monte Vaticano sono state incontrate solo con sondaggi attorno alla quota dell'attuale livello del mare.

Bisogna inoltre specificare che la giacitura delle unità sopra descritte è caratterizzata da andamento lenticolare e da interdigitazioni, legata non solo alle modalità deposizionali, ma anche al riempimento delle paleomorfologie (fossi e cavità), create dall'azione erosiva in ambiente sub-aereo.

La caratterizzazione geologico-tecnica delle unità litotecniche nel sito è stata realizzata utilizzando i dati raccolti in un rilievo geologico-tecnico di dettaglio, realizzato per l'occasione (dati diretti), e da una completa indagine geognostica e geotecnica nel vicino Palatino (MINISTERO B.C.A., 1985)

Le unità incontrate sono di seguito brevemente descritte:

– Terreni di riporto e terreni rimaneggiati; si tratta di riporti delle più varie natura e dimensioni (dalle macerie in grossi blocchi alla sabbia con matrice limosa), e proprio per questo motivo i valori dei parametri fisici e meccanici sono molto variabili.

– Terreni coesivi attribuibili all'Unità Aurelia; presentano i valori delle caratteristiche fisiche e meccaniche, queste ultime ricavate da prove triassiali consolidate drenate, mostrati in tabella 9.

TAB. 9 – Parametri fisici e meccanici relativi ai terreni riferiti all'Unità Aurelia
(fonte: M.B.C.A., 1981).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore	Valore	Valore	Media
Limite di liquidità w_l (%)	60,4	68,8	55,6	61,6
Limite di plasticità w_p (%)	31	26,5	22,3	26,6
Indice di plasticità I_p (%)	29,4	42,3	33,3	35
Indice di consistenza I_c (%)	1,0	0,9	0,7	0,87
Peso di volume γ (kN/m ³)	19,2	19,1	2	19,1
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	27,45	27,55	22,77	25,92
Umidità naturale w (%)	30,5	31,0	31,3	30,93
Coesione consolidata drenata c_{cd} (kN/m ²)	20	32	0	17,33
Angolo di attrito in condizioni consolidate drenate ϕ_{cd} (gradi)	24	26	27	25,67

– Rocce («Tufo lionato litoide» e «Tufi antichi» *Auct.*). Le caratteristiche meccaniche sono state ricavate, eseguendo un rilevamento spedativo dell'ammasso roccioso affiorante e prendendo conseguen-

temente in esame i parametri che ne definiscono il comportamento «in grande» (AMANTI *et alii*, 1992).

I valori ottenuti nel corso del rilevamento sono stati i seguenti:

– resistenza a compressione uniaassiale, tramite il martello di Schmidt, intorno a 25.000 kN/m²;

– stato di fratturazione: è stata rilevata la giacitura azimutale di un totale di 33 giunti (le cui distribuzioni sul reticolo di Schmidt sono riportati in tav. 1), attribuibili a 4 famiglie principali di discontinuità (fratture). La spaziatura, data la densità dei giunti ed il fine applicativo (valutazione delle condizioni geometriche e morfologiche ai fini della stabilità dell'ammasso roccioso), è stata misurata tra tutti i giunti di fratturazione presenti ed è risultata la seguente:

– affioramento Via della Consolazione (lato esterno al Foro), spaziatura variabile tra 30 e 100 cm;

– affioramento Via della Consolazione (all'interno del Foro), spaziatura variabile tra 30 e 100 cm.;

– affioramento di Via di Monte Tarpeo, spaziatura variabile tra 5 e 30 cm.

Bisogna evidenziare che nell'area (Via della Consolazione - falde della rupe Tarpea) il «Tufo litoide lionato» e i «Tufi antichi» *Auct.* sono separati da un orizzonte di scorie e sabbie a matrice limosa, con concrezioni calcaree di colore giallastro (figg. 8 e 9), geneticamente legato a sedimentazione in ambiente lacustre. Il comportamento di questa tufite non è facilmente classificabile dal punto di vista fisico-meccanico; a luoghi si presenta come litoide, manifestando una resistenza a compressione uniaassiale, stimata attraverso i risultati delle prove effettuate con il martello di Schmidt e compresa tra 20.000 e 25.000 kN/m², al tetto invece, di solito umido ed alterato, manifesta un comportamento tipicamente coesivo, con valori della coesione non drenata, ricavata, ove possibile in affioramento, come resistenza alla punta in *pocket penetration tests* intorno a 400 kN/m², in accordo peraltro con i valori riscontrati, nelle stesse modalità di prova, nel corso dei sondaggi effettuati nell'area.

Nella vicina zona del Palatino, nelle tufite in questione, sono stati riscontrati in un campione prelevato nel corso di un sondaggio, i parametri fisici e meccanici di tab. 10, questi ultimi determinati nel corso di una prova di taglio diretto consolidata drenata.

La presenza di questo livello rappresenta quindi, proprio per il suo comportamento disomogeneo, un



Fig. 8 – Veduta panoramica della Rupe Tarpea (Campidoglio); in primo piano in basso a destra è visibile il contatto tra unità litotecnica litoide (Tufo litoide lionato *Auct.*) e unità a comportamento «pseudocoesivo» (tufti *Auct.*). (foto: M. Pecci).



Fig. 9 – Foro Romano, Via della Consolazione; ancora il contatto della Fig. 8. In basso è visibile anche il «Tufo grigio granulare *Auct.*, considerato, come il Tufo litoide lionato, unità litotecnica litoide. È possibile osservare anche l'alto grado di fratturazione delle unità litoidi. (foto: M. Pecci).

TAB. 10 – *Parametri fisici e meccanici relativi ad un campione di tufiti del Palatino*
(fonte: M.B.C.A., 1981).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore
Limite di liquidità w_l (%)	32,5
Limite di plasticità w_p (%)	16,5
Indice di plasticità I_p (%)	16
Peso di volume γ (kN/m ³)	15,5
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	26,8
Umidità naturale w (%)	62,5
Coesione in condizioni drenate c' (kN/m ²)	15
Angolo di attrito in condizioni drenate ϕ' (gradi)	24

elemento di «complessità geotecnica» e potrebbe esercitare quindi una funzione non trascurabile ai fini della stabilità.

In profondità, e non affioranti nell'area, si ritrovano 2 unità litotecniche appartenenti al complesso delle alluvioni del Paleotevere:

– Unità superiore, costituita da terreni granulari (ghiaie e sabbie limose), dotate anche di debole coesione negli orizzonti superiori (coesione non drenata pari a 70 kN/m², ricavata come resistenza alla punta, mediante pocket penetration test sulle carote dei sondaggi);

– Unità inferiore, costituita da terreni coesivi di cui sono riportati (tab. 11), a titolo esemplificativo, i valori riscontrati per un campione prelevato nel corso di una perforazione.

TAB. 11 – *Parametri fisici e meccanici relativi ad un campione di terreno riferito alla Unità del Paleotevere 2 inferiore*
(fonte: M.B.C.A., 1981).

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore
Limite di liquidità w_l (%)	40,5
Limite di plasticità w_p (%)	20,5
Indice di plasticità I_p (%)	20
Peso di volume γ (kN/m ³)	20,3
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	27,0
Coesione in condizioni drenate c' (kN/m ²)	30
Angolo di attrito in condizioni drenate ϕ' (gradi)	20

Il dissesto della rupe Tarpea e del Campidoglio nel suo complesso si presenta quindi legato a cause predisponenti naturali (stato di fratturazione dell'ammasso roccioso) ed a cause innescanti in parte naturali (infiltrazione e sottospinta dell'acqua nelle discontinuità) e principalmente antropiche (presenza di sovraccarichi dovuti agli edifici, perdite della rete di acque bianche e nere e variazione della morfologia originaria).

Nel diagramma delle condizioni qualitative di stabilità (tav. 1) sono rappresentati sull'emisfero inferiore le giaciture azimutali (direzione e inclinazione) rispettivamente:

– dei piani relativi ai versanti (ed alle mura) del lato meridionale della rupe Tarpea, attualmente oggetto di interventi di consolidamento (in nero);

– dei piani relativi ai massimi di frequenza dei giunti su cui insistono blocchi sostanzialmente stabili in riferimento alle condizioni geometriche e morfologiche a contorno - incongruenza tra la giacitura dei piani dei giunti e quella del versante (in verde);

– del piano relativo al massimo secondario di frequenza dei giunti, corrispondente ad una giacitura azimutale N 357° 84°, potenzialmente sede di scivolamento di blocchi o cunei lungo una superficie piana rispetto al tratto di versante individuato con b nella planimetria geologica (tav. 1) - congruenza tra giacitura del piano del giunto e quella del versante, in concomitanza a inclinazione minore del primo rispetto al secondo (in rosso);

– del piano relativo ad un ulteriore massimo secondario di frequenza dei giunti, corrispondente ad una giacitura azimutale N 263° 75°, potenzialmente sede di fenomeni di ribaltamento, rispetto al tratto di versante individuato con c nella planimetria geologica (tav. 1) - giacitura del piano del giunto e di quello del versante all'incirca opposti e sub-verticali (in viola) .

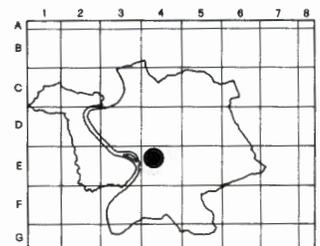
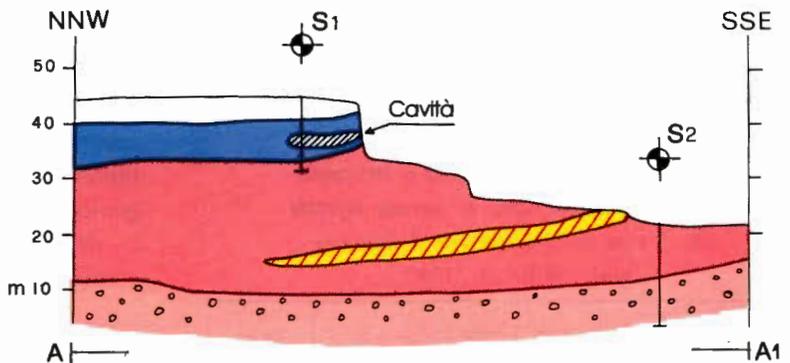
Oltre al potenziale innesco delle localizzate fenomenologie franose precedentemente segnalate e ricavate da valutazioni preliminari basate su risultati di tipo semiquantitativo, ottenuti per via statistico-grafica (HOEK & BRAY, 1976; ATTEWELL & FARMER, 1976), l'intero versante risulta soggetto a fenomeni caratterizzati da lenta evoluzione nel tempo, di cui i crolli a carico delle pareti sub-verticali non sono altro che le manifestazioni più ricorrenti e localizzate. Infatti la presenza di terreni sia coesivi (Unità Aurelia), che granulari (tufiti gialle - via della Consolazione), che limitano sia superior-



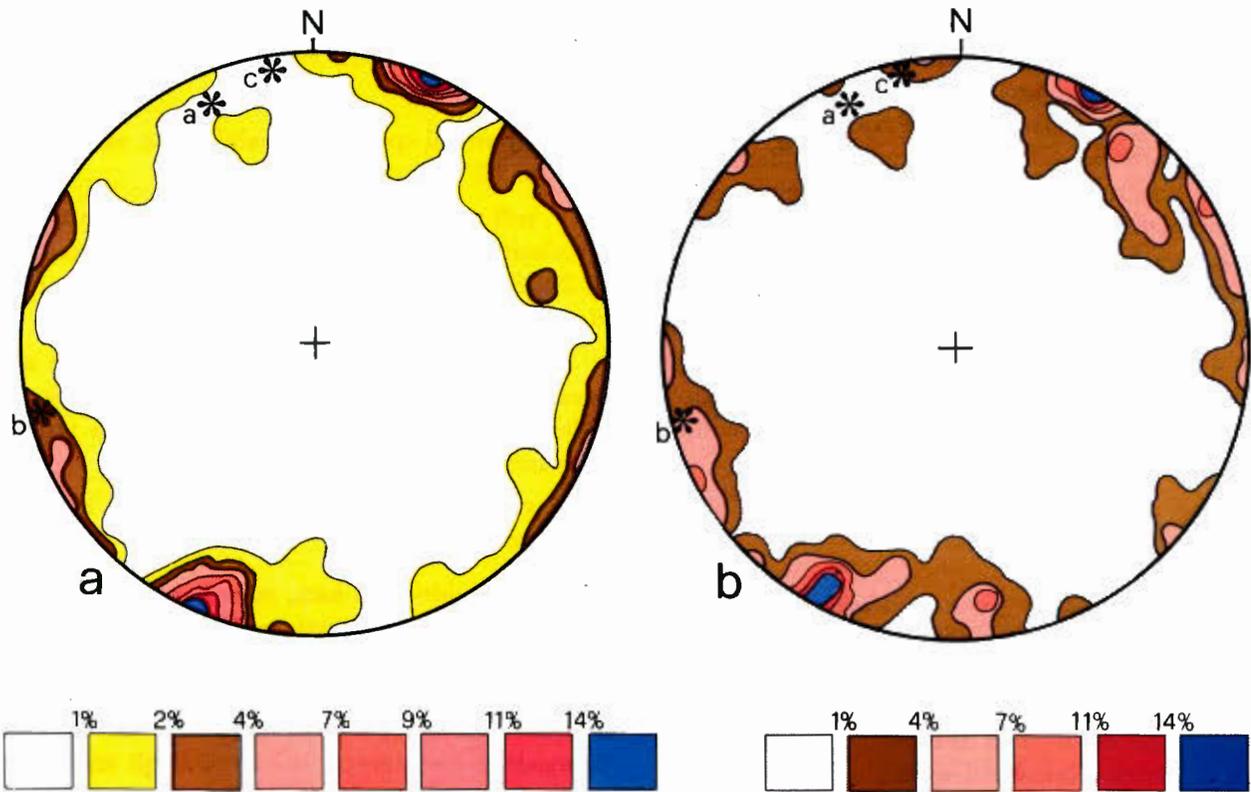
IL CAMPIDOGLIO: Crolli in corrispondenza delle scarpate: planimetria e sezione geologico - tecnica.

-  Riporti e terreni rimaneggiati
-  Terreni coesivi
-  Terreni "pseudocoesivi"
-  Rocce
-  Terreni granulari

-  Limiti fra le unità litologiche
-  Sondaggi
-  Area cui si riferiscono le foto di figg. 6, 7, 8, 9
-  Mura e opere in c.a. Per i tratti evidenziati l'orientazione azimutale è la seguente: a: N 65° 80° b: N 349° 90° c: N 76° 90°

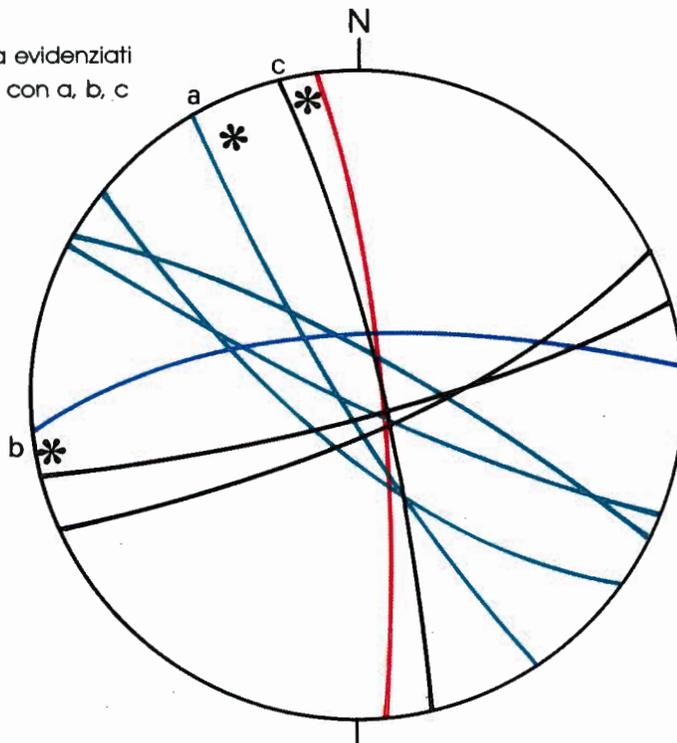


Tav. 1 - Crolli su scarpate: il caso



Diagrammi di frequenza: Reticolo di Kalsbeech, (emisfero anteriore) con percentuali riferite all'1% di area che cumulano i dati relativi ai poli dei giunti di discontinuità (principalmente fratturazioni). a) Diagramma riferito a tutte le litologie (totale di 83 misure); b) Diagramma riferito al «Tufo litoide lionato» (totale 33 misure). Sono proiettati, con asterisco, anche i poli dei piani su cui giacciono le mura.

* Poli dei tratti di mura evidenziati nella pianta indicati con a, b, c



Proiezione sul reticolo di Schmidt (Emisfero inferiore) delle giaciture (direzione e inclinazione) dei piani potenzialmente sede di fenomeni di instabilità: *in rosso* per scivolamento, *in viola* per ribaltamento rispetto ai corrispondenti tratti di versante e *in nero* per le mura della rupe Tarpea. *In verde* sono rappresentate le giaciture dei piani relativi ai massimi di frequenza dei giunti di discontinuità rilevati e sostanzialmente stabili.

mente che soprattutto inferiormente unità litoidi dal migliore comportamento meccanico, contribuisce a conferire all'intero ammasso, come già detto, una complessità geotecnica che trova riscontro nella naturale evoluzione del versante, che manifesta un generale arretramento delle scarpate morfologiche per fenomeni di crollo *s.l.* La predisposizione delle scarpate a tali fenomeni è legata preferenzialmente allo scalzamento al piede operato dall'erosione differenziale sui terreni che costituiscono la parte inferiore del versante, dotati di peggiori caratteristiche meccaniche rispetto ai tufi superiori, e probabilmente interessati, nel passato, da frane per scorrimento.

3. - CEDIMENTI

Sono presentati in questo paragrafo i dissesti che si riscontrano in una situazione morfologica pianeggiante e quindi non classificabili come fenomeni franosi *s.s.*, ma come cedimenti imputabili alle caratteristiche del terreno di fondazione o alla presenza di cavità e manufatti archeologici.

3.1 - CEDIMENTI CAUSATI DA CAVITÀ SOTTERRANEE: IL VILLINO CENTURINI IN PIAZZA INDIPENDENZA

Nell'ambito della città di Roma, il cui sottosuolo è ricchissimo di cavità di varia forma, natura ed origine, non sono infrequenti i dissesti a stabili e infrastrutture che possono essere imputati alla presenza di tali cavità. Ma la concomitanza di cause diverse e di difficile individuazione rende complessa l'esatta conoscenza dei fenomeni in indagine.

Un esempio è rappresentato dal villino Centurini, sito in Piazza Indipendenza, angolo Via Varese, un tempo sede del Liceo «Giulio Cesare», poi dell'Istituto magistrale «Alfredo Oriani», ora di proprietà comunale, le cui strutture hanno evidenziato numerose carenze e cedimenti, sia nella parte antica che in quella più recente:

- fessurazione di muri maestri, con orientamento prevalentemente verticale e a 45 gradi;
- rottura architravi di finestre;
- lesioni su intonaco di volte affrescate.

Il Comune di Roma, dal cui archivio provengono le notizie di seguito riportate, ha ordinato una campagna diagnostica sulle strutture e sul sottosuolo; tale studio ha ipotizzato l'influenza del tracciato di gallerie e cavità sotterranee sulla stabilità dell'edificio.

I litotipi presenti al di sotto del sito in questione (tav. 2) sono, dall'alto verso il basso (COMUNE DI ROMA, 1985):

riporti di spessore variabile, fino ad un massimo di 12-13 m dal p.c.

- tufi rossi incoerenti (pozzolane) con brevi intercalazioni di tufo litoide dello spessore massimo di 20-25 m; tali terreni sono ascrivibili alla formazione delle pozzolane rosse di S. Paolo;

- alluvioni argillose limose e ghiaiose, per uno spessore di circa 40 m, ascrivibili alle Unità del Paleotevere 2, superiore e inferiore, talora indifferenziate;

- argille e argille sabbiose ascrivibili all'Unità del Monte Vaticano.

La falda idrica di base, sulla base dei dati ottenuti da sondaggi a Piazza Indipendenza, dovrebbe trovarsi al livello del mare, circa 60 m dal p.c.; alcuni orizzonti idrici sospesi sono stati ritrovati a profondità comprese tra i 13 ed i 20 m, nella formazione piroclastica, nel corso degli scavi della Metropolitana - linea B (vedi sezione di tav. 2).

L'esame della letteratura ha mostrato che, nella zona circostante la palazzina, sono state rinvenute nel tempo numerose cavità sotterranee, soprattutto latomie, tra i 10 ed i 20 m dal p.c. nel livello tufaceo-pozzolanceo (COMUNE DI ROMA, 1985); altre gallerie, rinvenute nei pressi di via Marsala nel corso degli scavi per la linea B della metropolitana, nei primi 10 m di profondità, sono state riempite con cemento; la carta archeologica di Roma (MIN. P.I., 1977), infine, segnala resti di costruzioni romane all'angolo Via Vicenza-Via Bachelet, presso la parte posteriore della palazzina.

Le prime indagini effettuate sull'edificio (lettura ottica laser) sembrano evidenziare, sia pure in maniera qualitativa, una tendenza alla rotazione verso Via Vicenza dello spigolo dell'edificio, nonché punti di perdita di orizzontalità (COMUNE DI ROMA, 1985). La successiva indagine pondero-oscillografica mirante, tramite l'uso di vibrazioni indotte nella struttura, all'individuazione di eventuali squilibri nel carico e dei loro punti di massimo, sembra aver localizzato delle zone di scompenso; in particolare una concentrazione di sforzi su di un pilastro di Via Bachelet (evidenziato anche dalle letture laser) ed una progressiva disarticolazione della struttura a livello fondale, che nella relazione citata vengono imputati ad un progressivo cedimento del terreno di fondazione verso Via Vicenza (COMUNE DI ROMA, 1985).

Al fine di ricercare le cause delle anomalie riscontrate nella struttura sono state effettuate indagini geoelettriche per indagare il comportamento dei terreni sottostanti la palazzina.

Tali indagini hanno presentato notevoli difficoltà, legate all'ambiente urbano (presenza di linee infrastrutturali) ed alla applicazione in zone diverse per terreno e struttura (vecchio e nuovo edificio); le difficoltà sono state solo in parte superate mediante un lavoro iniziale di taratura ed accrescendo il numero dei profili di prospezione, variamente intersecantisi nell'area da esaminare.

I risultati di queste indagini hanno evidenziato vistose anomalie in termini di resistività dei terreni indagati, interpretati come presenza di cavità, (COMUNE DI ROMA, 1985), talora su precisi allineamenti, al di sotto dell'ala vecchia. Tali vuoti sono stati correlati con i punti del vecchio edificio soggetti a fessurazione, o con quelli di cedimento delle strutture; al di sotto del nuovo edificio però, i risultati delle indagini effettuate non hanno permesso di individuare vere e proprie cavità, ma solo notevoli disomogeneità nei valori di resistività. Infine, indagini condotte in maniera speditiva anche su edifici circostanti hanno permesso di ipotizzare (COMUNE DI ROMA, 1985), tramite l'osservazione di fratturazioni analoghe a quelle del villino Centurini, la direzione e l'andamento di alcune gallerie, poste a profondità fra 5 e 8.5 m dal p.c., di cui una passante per il cortile dell'edificio in esame (tav. 2).

Per quanto riguarda l'acqua nel sottosuolo, le prospezioni geoelettriche ne hanno accertato la presenza a deboli profondità; più precisamente è stata identificata la presenza di acqua di saturazione nei livelli contenenti le cavità e di acqua scorrente in alcune di esse, verosimilmente proveniente da tubazioni danneggiate.

A verifica di quanto emerso dalle indagini indirette sono stati eseguiti 15 sondaggi a distruzione di nucleo per la ricerca di cavità all'interno del cortile del villino, unico luogo accessibile alla macchina per l'esecuzione delle perforazioni; i risultati di tali indagini sono riassunti nel profilo di tav. 2 da cui emerge che esistono cavità sotterranee, a circa 3.5 m dal p.c., lungo la direttrice indagata, nelle vicinanze del muro di Via Varese; tali cavità risultano a luoghi parzialmente riempite (COMUNE DI ROMA, 1986). La presenza di vuoti nel terreno sottostante l'edificio in questione, sembra comunque confermare l'interpretazione dei risultati delle indagini indirette.

Riassumendo, nel corso delle indagini sono stati evidenziati nella struttura dell'edificio dei punti di

maggior concentrazione degli sforzi ed una tendenza alla rotazione di uno spigolo, nonché della perdita di orizzontalità della facciata di Via Bachelet.

Le indagini geoelettriche hanno portato ad ipotizzare la presenza di cavità a varie profondità sotto l'ala vecchia dell'edificio ed in corrispondenza con fessurazioni, nonché acque stagnanti o scorrenti a debole profondità. I sondaggi geognostici hanno accertato la presenza di cavità sotterranee a 3,5 m dal p.c. nel cortile della scuola.

In conclusione tenendo anche conto che la presenza di cavità costituisce un fattore di pericolosità non solo per l'eventuale crollo della volta con conseguente sprofondamento, ma anche per un possibile effetto di risonanza, con conseguente amplificazione, in presenza di onde sismiche (vedi anche CRESCENZI *et alii*, 1995), al termine delle indagini commissionate dal Comune, si è ritenuto che i dissesti rilevati sull'edificio fossero imputabili a:

a) presenza di cavità al di sotto dell'edificio vecchio, presumibilmente interessate da sprofondamenti di volte e cedimento del terreno e della struttura soprastante;

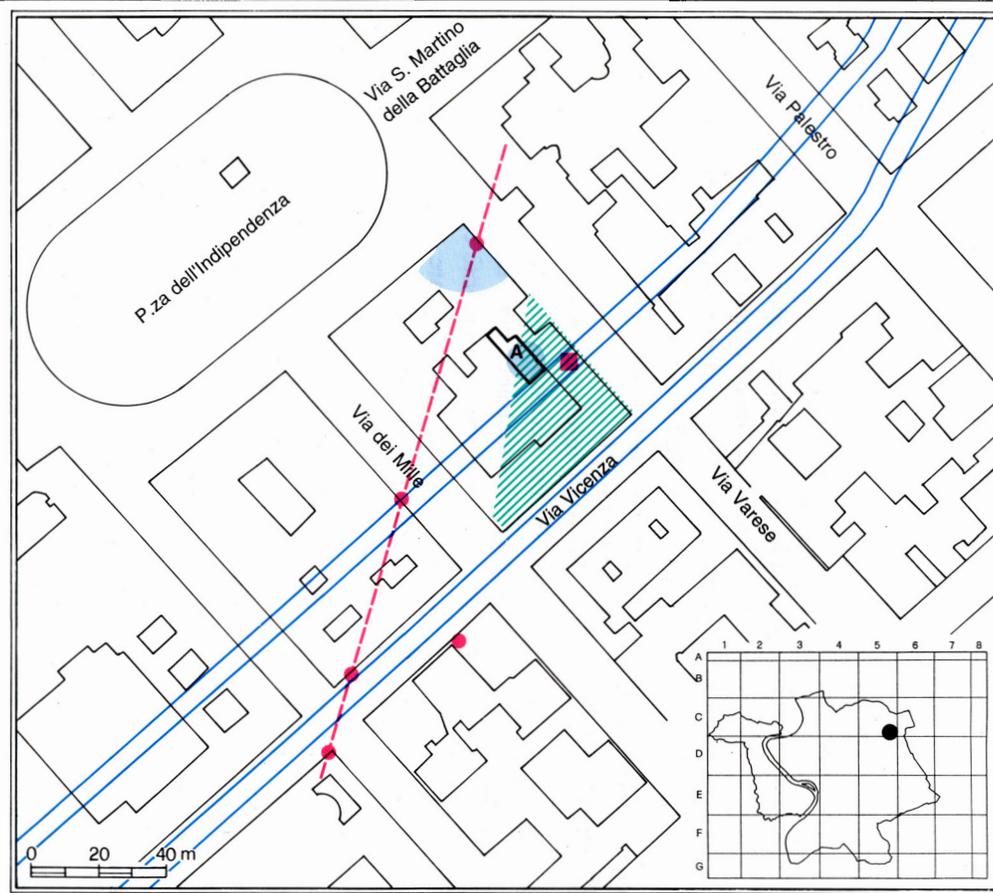
b) cedimento differenziale del terreno di fondazione al di sotto dell'ala nuova dell'edificio, a causa dell'eterogeneità e del vario spessore dei terreni di riporto su cui insiste la fondazione nonché alla presenza di acque di infiltrazione con livelli e velocità variabili nel tempo.

Da quanto sopra esposto emerge chiaramente la difficoltà di una completa analisi dei fenomeni a causa della presenza di terreni diversi e di spessore variabile e degli interventi antropici succedutisi nel tempo (cavità nel sottosuolo, aggiunte a strutture preesistenti, etc.).

Possibili interventi possono consistere nella ricerca di un accesso e nell'esplorazione completa delle cavità sotterranee per l'identificazione dei punti su cui intervenire direttamente e l'eliminazione delle acque circolanti non regimate, nonché il consolidamento del terreno di fondazione.

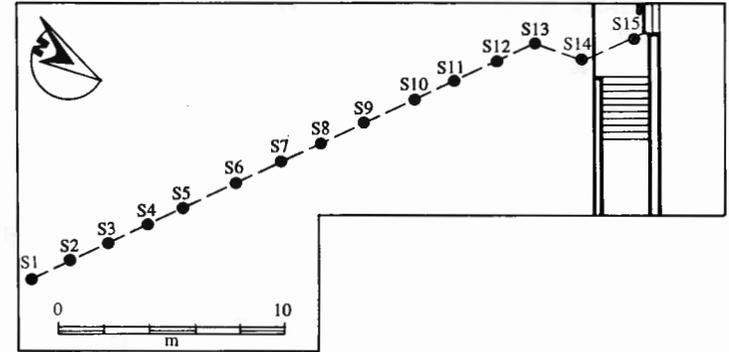
3.2 – CEDIMENTI DEL TERRENO DI FONDAZIONE: IL PALAZZO DI GIUSTIZIA

Nell'agosto del 1969 la caduta di una mensola di granito, che costituiva l'appoggio di un architrave del soffitto antistante un'aula del piano terra, ripropose all'attenzione delle Autorità e dell'opinione pubblica il problema della statica del Palazzo di Giustizia di Roma (il «Palazzaccio») che si affaccia sul Tevere; tale problema aveva destato particolare

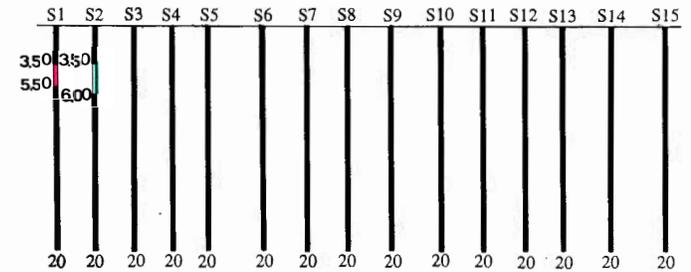


Planimetria dell'area in cui sorge il Villino Centurini; come da legenda sono evidenziate le principali anomalie riscontrate e l'andamento della linea B della metropolitana; con la lettera A è indicata la zona in cui sono stati effettuati i sondaggi a distruzione di nucleo;

-  Tracciato della linea B della metropolitana
-  Probabile tracciato di cunicoli sotterranei individuati tramite prospezioni geoelettriche e allineamento di fratture anche su edifici circostanti
-  Area in cui è stata identificata la presenza di acqua corrente e non a debole profondità
-  Area in cui si è verificato un cedimento dei terreni di fondazione
-  Punto in cui l'indagine pondero-oscillografica ha evidenziato una concentrazione di sforzi
-  Fratture negli edifici

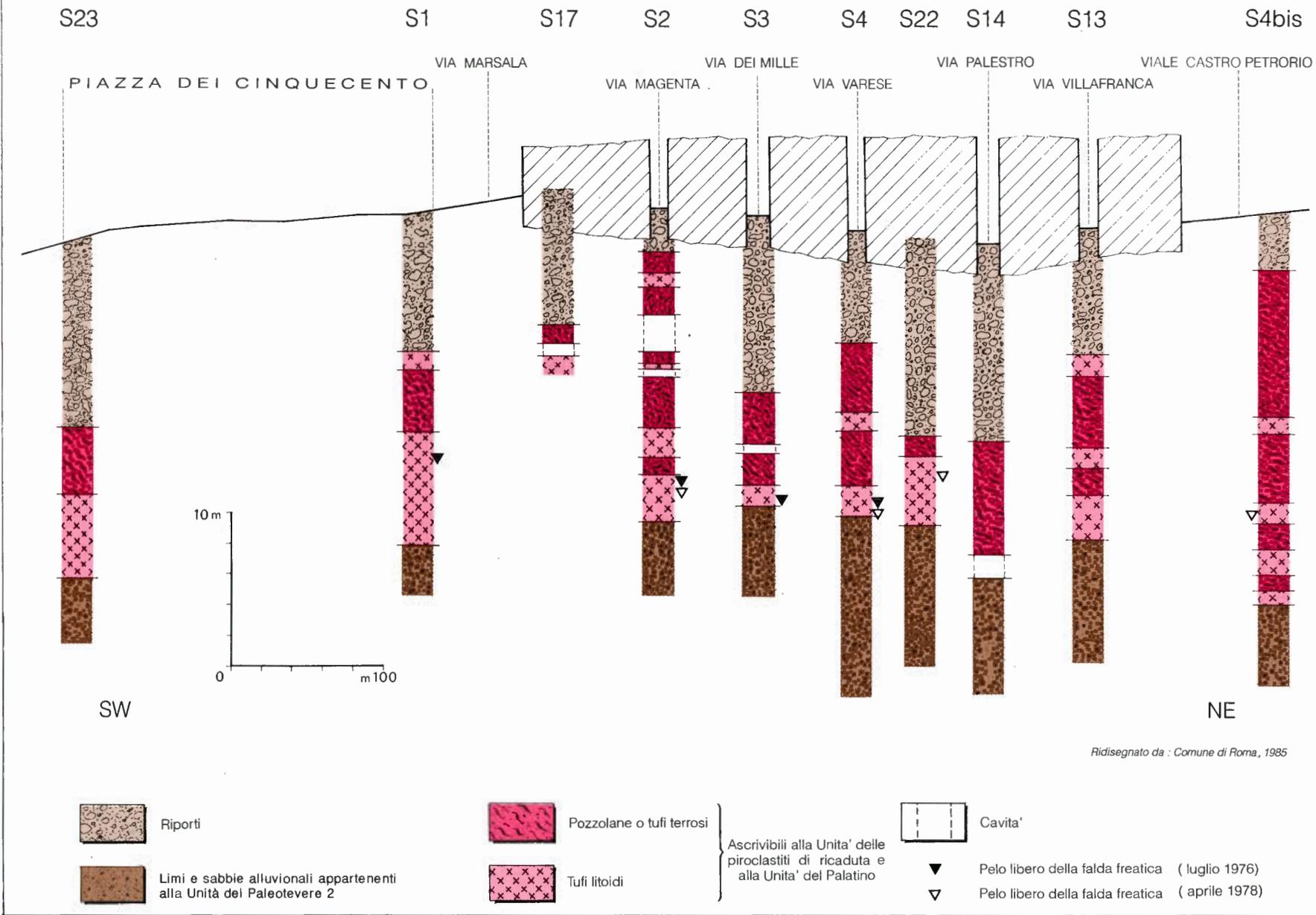


Planimetria di dettaglio della zona A con ubicazione dei sondaggi a distruzione di nucleo



Profilo dei sondaggi a distruzione di nucleo

-  cavità
-  materiale consistente
-  cavità riempita



Tav. 2. Cedimenti per cavità sotterranee: il Villino Centurini (disegno: Enrico Cirese, Gabriella Masella).

interesse già nella fase di costruzione del Palazzo, verso la fine del secolo scorso. In occasione di questa caduta si ridestarono quelle preoccupazioni circa la effettiva stabilità dell'edificio, che dopo le prime osservazioni del secolo scorso aveva dato l'impressione che stesse per raggiungere uno stato di equilibrio stazionario, e si rinnovarono i dubbi circa la possibilità di continuare ad utilizzarlo, per motivi di sicurezza delle persone che dovevano frequentarlo. Il tutto culminò nella necessità di dichiarare inagibile l'edificio.

Con la legge 10 maggio 1970, n. 235 venne nominata una Commissione alla quale si affidò l'incarico di accertare le cause dei dissesti manifestatisi e di indicare i rimedi atti a consolidare l'edificio e le opere occorrenti. La Commissione fece eseguire rilievi topografici, sondaggi geognostici, pozzi piezometrici e le prove geotecniche di laboratorio necessarie e relazione in merito. Successivamente fu preparato un progetto per il consolidamento del Palazzo di Giustizia e la stabilizzazione del complesso fondale.

Le informazioni riportate in questo capitolo sono relative essenzialmente ai risultati dei lavori citati, integrati da alcuni dati tratti dalla relazione del marzo 1893 di una precedente Commissione incaricata di fornire indicazioni sulle lesioni manifestatesi nel costruendo Palazzo di Giustizia.

Le indagini hanno riguardato:

- a) le caratteristiche dell'edificio e della platea di fondazione;
- b) le preesistenze archeologiche;
- c) la ricostruzione dell'assetto geologico e la caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione;
- d) le acque sotterranee;
- e) le fessurazioni manifestatesi nel Palazzo ed il loro comportamento nel tempo;
- f) l'assetto dell'edificio nel tempo.

Nel seguito i vari argomenti vengono illustrati nello stesso ordine.

a) La costruzione del Palazzo iniziò nel 1889, su progetto dell'architetto Calderini e fu completato dopo oltre un decennio. L'edificio sorge in località «Prati di Castello», in riva destra del Tevere e a poche decine di metri da Castel S. Angelo (Mausoleo di Adriano), in corrispondenza di una ampia ansa del fiume.

Il Palazzo è costituito da un fabbricato a pianta quadrangolare, con lati paralleli al Tevere della lun-

ghezza di 170 m e lati a questi ortogonali, della lunghezza di 154 m. Tra esso e il fiume sono interposti il Lungotevere Castello ed i «muraglioni». Una facciata dà sul Tevere, quella opposta dà su Piazza Cavour. Due strade, Via Ulpiano e Via Triboniano, bordano gli altri due lati. Il Palazzo fronteggia il Ponte Umberto I°.

L'edificio è stato realizzato secondo una costante simmetria, ma a tale regolarità di forme non corrisponde un'altrettanto equilibrata distribuzione delle masse murarie. A parte le diverse altezze dei corpi di fabbrica (in elevato, si contano circa 26 m su due piani nei corpi lungo le Vie Ulpiano e Triboniano e circa 40 m per tre piani nella parte centrale), si rilevano in planimetria non uniformi concentrazioni di masse.

Pertanto si può affermare che il fabbricato è caratterizzato da carichi trasmessi al terreno di fondazione molto diversi da zona a zona; inoltre il fabbricato è caratterizzato da una struttura altamente rigida, senza giunti.

I materiali impiegati sono vari, e quelli più usati sono stati i mattoni pieni, i blocchi di travertino e di granito e inoltre elementi metallici come putrelle, piattabande, grappe.

Connotato saliente dell'edificio è stato il ricorso massiccio a decorazioni in pietra da taglio, granito e travertino, che corrono su tutte le facciate esterne del Palazzo e nel perimetro interno dei cortili. L'uso di questi grandi fregi e gruppi scultorei ha costituito, per il loro peso notevole, un problema statico di rilevante importanza in sede costruttiva (ma essi hanno anche «appesantito» l'estetica dell'edificio, onde il nome affibbiatogli dai romani di «Palazzaccio»).

I fenomeni fessurativi e la degradazione operata nel tempo a spese di tali decorazioni, ne hanno reso possibile in alcuni punti la rottura o il distacco anche parziale, costituendo così i motivi prevalenti di preoccupazione per la sicurezza dei fruitori dell'edificio.

L'edificio ha una struttura di fondazione a platea generale; nel progetto, l'altezza della platea appare regolare con uno spessore costante di 1,90 m al di sotto dei corpi di fabbrica più bassi e di 2,50 m sotto quelli più elevati.

Invece, a seguito delle indagini espletate e in particolare sulla base dei dati delle perforazioni che hanno attraversato anche la platea, questa è risultata molto irregolare sia come spessore che come qualità e consistenza dei materiali impiegati. Infatti la platea ha spessore variabile da 1,70 a 2,40 m ed è impostata a quota variabile da 8 a 10 m s.l.m., a circa 9 m di profondità dal p. c.

b) Sotto il Palazzo di Giustizia esistevano resti di costruzioni di epoca romana, in parte demoliti durante i lavori di scavo. Si è rilevata una concentrazione di edifici nella zona prospiciente l'attuale Piazza Cavour. Si suppone che altri muri presenti nel sito avessero la funzione di contenere i movimenti del terreno e appartenessero al complesso degli «*Horti Domitiae*». Inoltre erano presenti, nel sito, alcuni canali di convogliamento delle acque, che dovevano sfociare nel Tevere.

Nella fase di costruzione del Palazzo, le parti di manufatti insistenti nelle aree destinate alla costruzione della platea furono demolite; i vuoti così determinati furono riempiti con materiali sciolti costipati fino alla quota di imposta della platea stessa.

c) Sondaggi geognostici, scavi esplorativi e analisi di laboratorio sulle terre sono stati eseguiti allo scopo di conoscere le possibili interferenze tra stato dei terreni, cedimenti degli stessi e lesioni nell'edificio; queste indagini hanno interessato i terreni sottostanti il Palazzo di Giustizia e quelli delle zone contermini, il cui ambiente di sedimentazione è quello tipico alluvionale del Tevere: si tratta della Unità delle alluvioni recenti e attuali dell'Olocene. Tale Unità poggia sull'Unità del Monte Vaticano (Marne Vaticane *Auct.*) del Pliocene superiore. I sondaggi geognostici eseguiti nell'area del Palazzo non hanno raggiunto le argille plioceniche, che, secondo i dati della letteratura, dovrebbero trovarsi nell'area in esame ad una quota di circa -40 m s.l.m.: qualcuno di essi è stato tuttavia spinto fino ad una profondità tale da toccare le ghiaie alluvionali antiche, che di solito si ritrovano direttamente soprastanti alle argille plioceniche.

In affioramento nel sito in esame, come in gran parte del centro storico di Roma, sono presenti terreni di riporto di varia natura. Durante la costruzione del Palazzo, fu effettuato un riempimento generale sopra la platea di fondazione, dello spessore di poco più di 5 m.

Nel seguito si descrive la successione dei terreni incontrati nel corso delle perforazioni, dall'alto verso il basso; si tratta di una classificazione schematica, poiché quasi mai nel passaggio da uno strato all'altro si rileva un salto netto nella stratigrafia, bensì un passaggio graduale, con variazione continua delle caratteristiche litologiche e quindi anche di quelle fisiche e meccaniche.

Livello L: limo con argilla, giallastro; lo spessore varia entro 3-7 m; in particolare verso il lato Tevere è preponderante un limo argilloso, che passa lateralmente a termini più ricchi di argilla verso

Piazza Cavour; questo materiale costituisce il terreno d'appoggio della platea.

Livello S: sabbia fine e media, con limo, gialla-grigiastra e sabbia grossa grigio-nerastra; lo spessore minimo è di circa 5 m nel lato Piazza Cavour ed aumenta man mano verso il Tevere; da questo lato lo spessore dell'unità è dell'ordine di grandezza dei 40 m, anche se in realtà sono presenti intercalazioni limo-argillose.

Livello LO: limi argillosi grigi, a volte torbosi, con intercalazioni limoso-sabbiose alla base; vi sono contenuti numerosi frammenti di gusci di molluschi gasteropodi; il massimo spessore è di circa 20 m.

Livello SL: sabbia fine più o meno limosa grigio-azzurra, dello spessore di circa 8 m.

Livello G: ghiaie alluvionali di base.

Procedendo da Piazza Cavour verso il Tevere, lo spessore del livello L diminuisce gradatamente, mentre, di conseguenza, lo spessore del sottostante livello S aumenta di pari passo; il tetto di tali sabbie degrada quindi lievemente dal Tevere verso Piazza Cavour; infine il tetto del livello LO s'inclina dapprima leggermente (con un angolo di circa 10°) e poi rapidamente verso il Tevere.

L'ordine in cui si susseguono i terreni sopra indicati è quello tipico della serie di deposizione fluviale, costituita da alternanze di sedimenti a diversa granulometria: ciò dipende dagli episodi di deposizione normale e da quelli di esondazione del Tevere.

In particolare, in direzione trasversale al Tevere lo spessore delle sabbie S aumenta da Piazza Cavour verso il fiume; al di sopra di tale strato, si nota che il livello L si arricchisce in argilla passando dal lato Tevere al lato Piazza Cavour; tutto ciò è da attribuirsi al progressivo spostamento dell'alveo del Tevere. Infatti il Palazzo è ubicato sulla riva destra del fiume, corrispondente alla parte interna di un meandro, dove, prima della costruzione dei muraglioni, prevalevano i fenomeni di deposizione («barra di meandro»); questa sponda è progressivamente avanzata, prima della urbanizzazione, verso la sponda opposta concava, che parallelamente arretrava perchè soggetta ad erosione. Recenti rilevamenti del fondo-alveo attuale, confrontati con quelli rilevati in precedenza, confermano questa tendenza; segno, questo, che la dinamica fluviale del Tevere è attiva malgrado la sua «canalizzazione». In sezione longitudinale, cioè secondo l'allineamento Via Triboniano-Via Ulpiano, a parte le ovvie variazioni locali, derivanti dalla già descritta complessità degli insiemi

litologici, gli strati appaiono sostanzialmente orizzontali, con spessori grossomodo costanti.

Dal punto di vista geologico-tecnico i livelli riscontrati (a parte le ghiaie) possono essere considerati come quattro unità litotecniche, dotate delle seguenti caratteristiche fisiche e meccaniche riscontrate su campioni prelevati sotto il Palazzo (MIN. LL.PP., 1971)

Livello L - Limo con argilla: terreni coesivi, con un contenuto in acqua (w) variabile tra il 25 e il 30%, con elevata compressibilità e scarsa permeabilità. La pressione di preconsolidazione artificialmente indotta dal fabbricato ha dato valori dell'ordine di 400 kN/m^2 , la resistenza a compressione è pari a $150\text{-}350 \text{ kN/m}^2$.

Livello S - Sabbia con limo: terreni granulari, su cui è stata rilevata una minima compressibilità ed una permeabilità media.

Livello LO - Limi argillosi, a volte torbosi: terreni coesivi, ad elevata plasticità e compressibilità, bassa permeabilità e comportamenti meccanici disomogenei, anche in relazione al contenuto organico; la pressione di preconsolidazione artificialmente indotta è stata valutata in 200 kN/m^2 ; la resistenza a compressione è di circa 250 kN/m^2 .

Livello SL - Sabbia fine limosa: terreni granulari in alternanza con terreni coesivi, caratterizzati da permeabilità media.

L'esame dei campioni prelevati dai sondaggi all'esterno del Palazzo conferma in generale la successione e le caratteristiche dei terreni riscontrati sotto di esso, con la sola differenza che il valore della pressione di preconsolidazione del livello L è risultato di 200 kN/m^2 , contro i 400 kN/m^2 precedenti (MIN. LL.PP., 1971). Appare evidente che la differenza deve essere attribuita all'effetto del consolidamento del terreno sotto il carico dell'edificio.

Anche la pressione di preconsolidazione del livello LO è risultata inferiore, anche se di poco, a quella rilevata sotto l'edificio (180 contro i 200 kN/m^2).

Ulteriori prove di laboratorio, accompagnate da prove penetrometriche, hanno fornito nuovi valori (tabb. 12 e 13) dei parametri geotecnici (MIN. LL.PP., 1971).

Nella tavola 3 viene presentato l'andamento nel sottosuolo dell'indice di plasticità I_p , per un allineamento lungo la facciata del Palazzo che dà su Piazza Cavour; sono inoltre riportati i valori delle tensioni di preconsolidazione σ'_{vp} e della coesione

non drenata c_u relativi all'area dell'edificio ed all'esterno di questo (Piazza Cavour). Le rette indicate con σ'_{vo} e $0,2\sigma'_{vo}$ (questa ricavata da relazioni empiriche) rappresentano i profili del sottosuolo originari normalconsolidati, che risultano tangenti a notevole profondità (in corrispondenza del livello SL e pertanto verosimilmente al tetto del livello G) con i profili attuali.

In tutti i casi, dalle prove è risultato che la preconsolidazione si riduce man mano che ci si approfondisce, assumendo valori che si avvicinano a quelli della pressione litostatica.

Per i terreni granulari con componente coesiva, costituiti dai livelli S e SL, i valori del modulo di compressibilità edometrica E_{ed} sono stati dedotti dai valori della resistenza penetrometrica alla punta R_p (tab. 13). I profili penetrometrici mostrano che sul lato Tevere sia il livello SL che S sono più addensati che nelle zone circostanti.

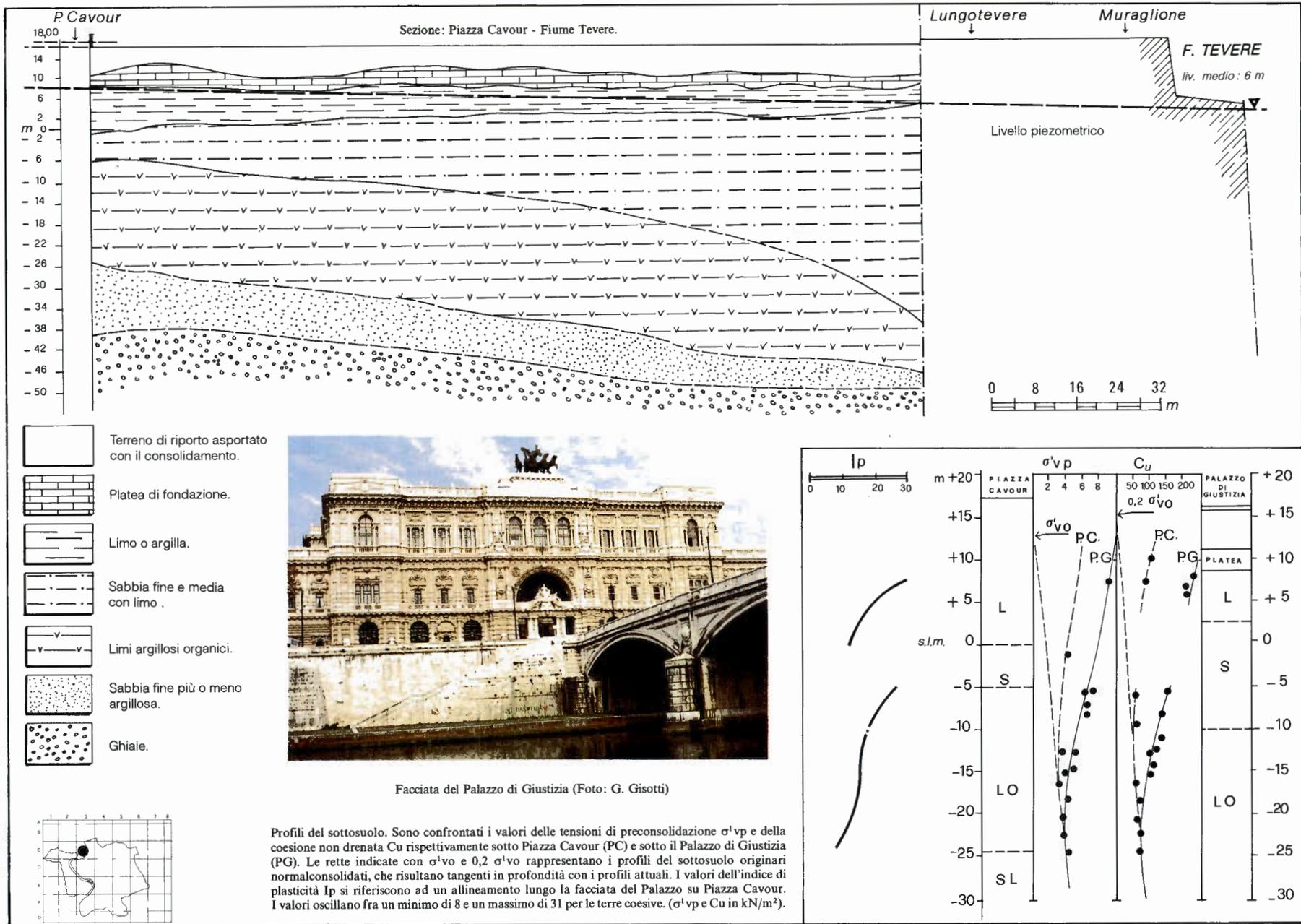
d) Attraverso misure freaticometriche è stato possibile individuare nell'area del Palazzo la presenza di una falda acquifera e le sue escursioni. Il suo livello superiore può essere stabilito a quota 6-9 m s.l.m.; il livello medio del Tevere è, in quel tratto di fiume, di circa 6 m, in particolare 6,41 per il periodo 1944-1959 in corrispondenza dell'idrometro di Ripetta.

TAB. 12 - Valori medi della coesione drenata c_u e del modulo di compressibilità edometrica E_{ed} per i terreni coesivi sotto il Palazzo di Giustizia e in Piazza Cavour (fonte: MIN. LL.PP., 1971).

TERRENI	Palazzo di Giustizia		Piazza Cavour	
	c_u (kN/m ²)	E_{ed} (kN/m ²)	c_u (kN/m ²)	E_{ed} (kN/m ²)
L	2100	1500	90	8000
LO	70-100	5000-8000	50-70	3000-5000

TAB. 13 - Valori medi della resistenza penetrometrica R_p (alla punta) e del modulo di compressibilità edometrica E_{ed} per i terreni granulari nel lato verso il Tevere e nel lato verso Piazza Cavour (fonte: MIN. LL.PP., 1971).

TERRENI	Lato Tevere		Lato Piazza Cavour	
	R_p (kN/m ²)	E_{ed} (kN/m ²)	R_p (kN/m ²)	E_{ed} (kN/m ²)
S	13000	40000	10000	30000
SL	15000	50000	8000	20000



Tav. 3 Cedimenti del terreno di fondazione: il Palazzo di Giustizia (disegno: Anna Iori).

Tale falda si trova a circa 10 m di profondità rispetto al piano di calpestio del Palazzo.

La falda acquifera ha rivelato un comportamento che la fa ritenere in comunicazione diretta con il fiume Tevere, quindi di subalveo. Inoltre le iso-freatiche hanno un andamento subparallelo all'asse longitudinale del fiume e la pendenza piezometrica è diretta verso il fiume Tevere: ci troviamo quindi nel caso in cui, in condizioni normali, la falda alimenta il corso d'acqua, mentre durante le piene quest'ultimo alimenta la falda.

L'acquifero è costituito dal livello S, permeabile, in comunicazione diretta con l'alveo del Tevere; al di sotto è presente il livello LO e al di sopra il livello L, ambedue scarsamente permeabili, per cui la falda in questione può essere definita «in pressione».

Le osservazioni piezometriche su tale falda (eseguite a cominciare dal 1893 e fino ai primi anni '80, ma non costanti), hanno permesso di rilevare consistenti oscillazioni del suo livello superiore, che può variare da 5,30 m a 10,50 m s.l.m.: in caso di precipitazioni notevoli e quindi di piene del Tevere, il livello massimo sopra riportato potrebbe salire ulteriormente. Si suppone che tale livello sia salito di molto, ad esempio, in occasione della piena eccezionale del 1937, quando il fiume raggiunse una quota assoluta di 17,60 m.

Risulta inoltre che il ritardo nell'innalzamento del livello della falda rispetto a quello del Tevere è stato, in occasione della piena del 2 maggio 1972, di circa 3 giorni sul Lungotevere e di circa 6 giorni sul lato Piazza Cavour. Poiché il livello statico della falda è, come già detto, a 6-9 m s.l.m., poco sotto il piano di appoggio della platea di fondazione, la cui quota è di 8 m s.l.m., in caso di precipitazioni abbondanti e prolungate e comunque in seguito ad incrementi del livello del Tevere, la falda può raggiungere e superare l'intradosso (base) della platea, determinando quindi delle variazioni delle tensioni efficaci nei terreni di fondazione. Si può rilevare inoltre che i livelli di massima piena del Tevere sono stati in passato ben più elevati di quelli attuali, e che in generale le acque del fiume oscillano attualmente entro quote più basse: ciò è stato messo in relazione con l'entrata in esercizio delle varie dighe che sono state costruite a monte del fiume in questo secondo dopoguerra. Di conseguenza, poiché il Tevere influenza notevolmente le acque sotterranee delle zone adiacenti, è da ritenere che anche i livelli della falda non raggiungano più le quote massime riscontrate nel passato.

Infine è stata riscontrata la presenza di una modesta falda idrica sospesa, discontinua, contenuta nei terreni di riporto e sostenuta dal livello L.

e) Il Palazzo presentava, quando fu insediata la Commissione di studio nel 1970, numerose fessure che interessavano le sue strutture orizzontali e verticali; furono individuate e catalogate oltre 450 fessure importanti per ciascun piano. Nel complesso, di tali fessure se ne individuaronò due gruppi, ciascuno caratterizzato da lesioni aventi grossomodo la stessa direzione, conseguenza dei movimenti più significativi dell'edificio. Il primo gruppo di fessure interessava una fascia che correva da Via Ulpiano a Via Triboniano, all'incirca lungo l'asse di simmetria ortogonale alle due strade, precisamente inclinata su tale asse di circa 18°. Le fessure apparivano essenzialmente determinate dal notevole cedimento differenziale verificatosi nel tempo nei terreni al di sotto della facciata di Piazza Cavour rispetto a quelli presenti sotto la parte antistante il Tevere. La fascia delle fessure rappresenta il giunto determinatosi in conseguenza delle differenti deformazioni tra le due parti dell'edificio.

Il secondo gruppo si evidenziava nella zona posta in prossimità dell'angolo fra Via Triboniano e il Lungotevere, più propriamente lungo il corpo di collegamento intermedio, mettendo in evidenza quindi un movimento della struttura muraria locale dall'esterno verso l'interno dell'edificio. Le altre fessure hanno caratteri più particolari e interessi locali. Tutte le fessure citate hanno messo in evidenza spostamenti differenziali tra le varie parti del fabbricato.

Per lo studio delle variazioni dell'ampiezza delle fessure nel tempo furono installate basi deformatriche a cavallo di quelle più significative. Fu rilevato che le fessure subivano variazioni dell'ordine anche di 3-4 millimetri, in apertura e chiusura. Fu appurato che tali variazioni non erano esclusiva conseguenza di fenomeni ciclici (ad esempio, escursioni termiche stagionali, oscillazioni del livello della falda), ma erano connessi a movimenti ancora esistenti nell'edificio.

f) Per quanto riguarda lo stato di deformazione dell'edificio, sono state eseguite nel tempo numerose (seppure discontinue) livellazioni di precisione, con lo scopo di determinare: abbassamenti assoluti, abbassamenti relativi, diagrammi cedimenti-tempo. Da tali osservazioni è risultato che l'edificio è stato soggetto, almeno fino agli interventi di consolidamento del periodo 1978-1981, a spostamenti altimetrici; in particolare dai rilievi del 1970-71 risultò

che l'intero edificio tendeva ancora ad abbassarsi, con una velocità di circa 5 mm/anno. Tale valore dell'abbassamento generalizzato dell'edificio è dello stesso ordine di grandezza rispetto a quello che si otterrebbe dividendo i valori globali degli abbassamenti in alcuni punti dell'edificio, desumibili dai rilevamenti del 1893 e del 1970-71, per il numero degli anni trascorsi. Questo confronto, tuttavia, può essere diretto solo alla valutazione dell'entità residua del fenomeno, dato che la mancata conoscenza di valori intermedi non consente di stabilire il decorso né quindi di ricavare elementi di giudizio su di esso.

Per quanto riguarda i cedimenti differenziali, è stato possibile desumere che l'edificio ha subito inizialmente un maggiore abbassamento sulla fronte prospiciente Piazza Cavour (derivante dall'assetto delle unità litotecniche), che ha assunto il consistente valore di circa 50 cm fino al 1970.

Dalle curve cedimenti-tempo è stata evidenziata, peraltro in tempi recenti (DEL MONTE, 1978), la maggior velocità di abbassamento dei punti dell'edificio situati sul lato del Lungotevere, rispetto a quelli situati sul lato di Piazza Cavour; ciò è in relazione con il generale lento abbassamento del livello medio della falda (abbassamento naturalmente maggiore verso il lato del Lungotevere, trattandosi di falda di subalveo), che determina una variazione delle tensioni interstiziali ed effettive nel terreno, con cedimenti probabilmente legati a fenomeni di consolidazione secondaria nei terreni più compressibili.

Peraltro l'influenza del regime della falda acquifera, legato a sua volta a quello del fiume Tevere, è alquanto articolata.

Infatti i diagrammi dei valori medi mensili delle altezze idrometriche del fiume Tevere e dei cedimenti medi del fabbricato nel periodo 1971-1972 mostrano un'evidente analogia (CALABRESI *et alii*, 1980). A periodi di magra corrispondono in genere incrementi dei cedimenti medi, mentre a periodi di piena corrispondono fasi di arresto o, addirittura, di rigonfiamento: tenuto conto della relazione tra altezze idrometriche e quote piezometriche sotto il Palazzo, è lecito ipotizzare che alle variazioni di tensioni interstiziali corrispondano variazioni di tensioni effettive uguali ma di segno opposto, a parità di tensioni totali, non essendosi verificate modificazioni dei carichi applicati.

Infine il cedimento medio annuo del Palazzo nel periodo 1981-1983 è stato valutato in 1,67 mm/anno, contro un cedimento medio annuo di 2,78 mm/anno nel periodo 1970-1972. Si registra, pertanto, una progressiva diminuzione nel tempo dei cedimenti dell'edificio.

In conclusione, sulla base dei risultati delle indagini e dei rilevamenti illustrati in precedenza, si può affermare che la causa principale del dissesto del Palazzo di Giustizia sia da attribuirsi a due fattori concomitanti:

1) cedimenti differenziali dei terreni di fondazione, inizialmente attribuibili alle variabili e in generale elevate caratteristiche di compressibilità e successivamente alla variazione del regime idrologico ed idrogeologico;

2) scarsa rigidità e omogeneità della platea di fondazione.

In relazione ai cedimenti l'elevata compressibilità del terreno di fondazione (livello L) non è apparsa uniforme nell'area di impronta dell'edificio; infatti nella fascia contigua a Piazza Cavour si è verificato un maggior cedimento, rispetto a quella antistante il Tevere, sia perchè nel lato di Piazza Cavour è presente un terreno leggermente più ricco di argilla rispetto a quello della zona estrema, sia perchè il livello L ha un maggiore spessore nel lato Piazza Cavour rispetto al lato Tevere. Da qui il forte squilibrio con le conseguenti lesioni nella fascia centrale dell'edificio parallela al Tevere.

È da aggiungere che il riempimento sull'estradosso della platea con terreno di riporto per un'altezza di circa 5 m, ha prodotto un ulteriore aggravio per il terreno di fondazione.

Per quanto riguarda il secondo fattore, la già descritta scarsa rigidità e coerenza della platea, e in alcuni punti la sua assenza, fanno apparire del tutto inadeguata la funzione di tale platea nel trasmettere in modo omogeneo le pressioni al terreno rispetto alla massiccia parte in elevazione.

La situazione è stata ulteriormente aggravata dalle caratteristiche costruttive e dalle disuniformità dei carichi in elevazione, dalla presenza di ruderi e, come già detto, dalle variazioni del livello piezometrico della falda, che ha indotto cicliche deformazioni nell'edificio e un generalizzato cedimento recente sul lato Lungotevere.

Con la ristrutturazione si è scelta la strada di non consolidare i terreni di fondazione, bensì di ridurre i carichi agenti in fondazione e di irrigidire le esistenti strutture fondali.

Attualmente il consolidamento delle strutture fondali è realizzato, ma rimane da intervenire sulla struttura in elevazione, e in particolare sulle lesioni; considerata l'opera e gli interventi finora compiuti, il Palazzo è ritornato agibile ed ospita gli uffici giudiziari.

3.3 — CEDIMENTI PER LA PRESENZA DI MANUFATTI ARCHEOLOGICI: PALAZZO VALENTINI

Lo svilupparsi nel tempo di varie lesioni verificatesi a carico di Palazzo Valentini, sede dell'Amministrazione Provinciale di Roma, ha portato ad alcuni studi e ricerche sul dissesto dell'edificio, consistenti in indagini storiche, rilievi topografici, sondaggi geognostici, prove di laboratorio.

Nel seguito vengono illustrati i risultati di tali indagini.

Palazzo Valentini è ubicato tra via Cesare Battisti, Via S. Eufemia, Via dei Fornari e Vicolo S. Bernardo, alle spalle di Piazza Venezia e contiguo al Foro di Traiano.

Il fabbricato ha una forma di poligono irregolare, derivante dal fatto che non si tratta di un unico corpo di fabbrica, bensì di costruzioni successive, le cui fasi sono di seguito schematicamente illustrate.

113 d.C.: la zona in esame è sede di un notevole sbancamento, disposto dall'imperatore Traiano per la realizzazione del suo Foro, fra cui la Colonna; successivamente Adriano fa costruire il Tempio del Divo Traiano; l'area sulla quale sorge Palazzo Valentini era occupata, quasi per intero, dalle strutture di tale Tempio e, secondo recenti ricerche, anche da un impianto termale romano (tav. 4).

V - XII sec.: dopo che l'area era caduta in rovina, essa diviene sede di un quartiere medievale; l'area diviene acquitrinosa e prende il nome de «Il Pantano».

XV sec.: nell'area sede del futuro Palazzo sorgono le prime costruzioni dei Boncompagni.

1583 - 85: vengono demolite le proprietà Boncompagni e si realizza Palazzo Bonelli (poi Valentini); l'edificio non viene ultimato.

1650 - 89: inizia l'ampliamento del Palazzo verso la Colonna Traiana.

1735 - 41: viene edificata una chiesa (S.S. Nome di Maria) sul lato prospiciente la Colonna Traiana.

1750: ad opera del nuovo proprietario, il Cardinale Imperiali, si eseguono dei lavori di restauro che riguardano soprattutto la Biblioteca.

1796 - 1830: Vincenzo Valentini, nuovo proprietario, fa costruire un prospettino verso la Colonna Traiana.

1874: a cura della Provincia, nuova proprietaria, si eseguono i lavori di costruzione del quarto lato del cortile e della Sala Consiliare e si procede alla sopraelevazione di un altro piano.

1930 - 37 - 52: si sopraeleva un altro piano, si costruisce il ricovero antiaereo, si restaura la Sala Consiliare e probabilmente si procede alla copertura del soffitto della stessa Sala con una struttura in cemento armato che funge da soletta per il terrazzo sovrastante.

Sondaggi geognostici, analisi di laboratorio sulle terre e misure piezometriche effettuati nell'area di Palazzo Valentini, seppure insufficienti per avere un quadro completo della situazione del sottosuolo del Palazzo, hanno fornito indicazioni sulla natura dei terreni e sulla presenza di acque sotterranee (tav. 4).

L'assetto stratigrafico è caratterizzato dall'alto verso il basso da:

- a) terreni di riporto,
- b) terreni piroclastici pozzolanacei, non presenti però sotto l'intera area del Palazzo, appartenenti all'Unità delle piroclastiti di ricaduta
- c) alluvioni appartenenti all'Unità del Paleotevere 2, caratterizzate da una marcata variabilità litologica, sia in verticale che in orizzontale.

Corrispondentemente è stato possibile distinguere le seguenti unità litotecniche, dall'alto verso il basso:

Terreni di riporto (Unità R): sono terreni originariamente granulari, di natura prevalentemente piroclastica, con processi di argillificazione e alterazione in atto, eterometrici ed eterogenei, incontrati da tutte le perforazioni nell'area sottostante il Palazzo, con uno spessore variabile dai 6 ai 16 m, che sembra aumentare dal lato della facciata del Palazzo (Via C. Battisti), che dà sul Foro Romano.

I riporti, essendo costituiti da materiali con proprietà geomeccaniche molto difformi, sono caratterizzati da parametri geotecnici che variano in un campo di valori estremamente ampio.

Terreni granulari (Unità V), di color marrone, a grana medio-grossolana formata da prodotti piroclastici eterometrici (tipo «pozzolana»), localmente con tufi cineritici marroni. Questo livello è presente in modo discontinuo nell'area indagata. Si trova a circa 7 m di profondità dal piano di calpestio del Palazzo ed ha uno spessore massimo intorno ai 4 m, al di sotto del quale si riscontrano tufiti composte da limi argillosi grigio-nerastri (L). Anche questo livello è discontinuo sotto il Palazzo.

Si trova a circa 11 m di profondità dal piano di calpestio ed ha uno spessore massimo di 4 m.

Terreni coesivi (Unità AL) formati da argille limose, passanti dal marrone al verdastro, con forte presenza di noduli calcitici; si presentano omogenee e consistenti e costituiscono un livello continuo nell'area in esame. Si trovano a circa 15 m di profondità dal piano di calpestio del Palazzo e s-20 sono state attraversate dai sondaggi per i primi 5 m circa. Sembrano costituire il terreno d'appoggio non solo del Palazzo ma anche del muro di epoca romana attraversato dal sondaggio n. 3 (tav. 4), probabilmente una struttura del Tempio del Divo Traiano. Tale unità è caratterizzata dai parametri illustrati nella tab. 14.

TAB. 14 – Parametri fisici e meccanici dei terreni riferiti all'Unità del Paleotevere 2

CARATTERISTICA FISICO-MECCANICA	Valore	Valore	Numero prove	Valore medio
Peso specifico γ_s (kN/m ³)	27	27,1	2	27,05
Peso di volume γ (kN/m ³)	19,5	19,8	2	19,65
Umidità naturale w (%)	29,4	26,4	2	27,90
Limite di liquidità w_L (%)	53,5	46	2	49,75
Limite di plasticità w_p (%)	26	22,5	2	24,25
Indice di plasticità I_p	27,5	23,5	2	25,50
Indice di consistenza I_c	0,88	0,81	2	0,85
Mod. di compress. Edom. E_{cd} (kN/m ²)		9800	1	

Infine un campione di questi terreni, provato col *pocket penetrometer*, ha fornito valori di resistenza alla punta R_p pari a 300 (corrispondente ad una c_{cu} di 150 kN/m²). Secondo l'*Unified Soil Classification System* (USCS) tale materiale rientra nella categoria delle argille inorganiche di medio-alta plasticità, mediamente compressibili, in uno stato di consistenza solido-plastica. Con un sondaggio in Vicolo S. Bernardo, prossimo ai resti della Basilica Ulpia e quindi al Foro di Traiano, sono stati rinvenuti, a circa 6 m di profondità dal piano di calpestio del Palazzo, muri di epoca romana, che sono stati attraversati per circa 12 m, finché il sondaggio non ha incontrato le argille limose di base. Infine va fatto notare che le fondazioni del Palazzo, attraversate da alcuni sondaggi inclinati, si mostrano sostanzialmente integre: infatti gli scapoli di tufo vulcanico non risultano alterati, conservando ancora lo

stato di compattezza propria dei materiali lapidei, e la malta pozzolanica non mostra segni di degradazione. Per quanto riguarda le acque sotterranee, è stato individuata la presenza di una modesta falda sospesa, contenuta negli orizzonti a comportamento granulare del terreno di riporto, a circa 9,50 m di profondità dal piano di calpestio del Palazzo, a quota assoluta di 11,50 m.

Le indagini geognostiche e geotecniche eseguite allo scopo di determinare le cause dei dissesti statici che si manifestano all'interno della Sala Consiliare sono risultate insufficienti a spiegare in modo chiaro ed esauriente il fenomeno fessurativo; è possibile però riconoscere tre fattori predisponenti al cedimento del terreno di fondazione.

Il primo è costituito dalla presenza discontinua, nel sottosuolo del Palazzo, di muri e di altri reperti di epoca romana, da cui deriva la disomogeneità dei terreni di fondazione e il conseguente verificarsi di cedimenti differenziali.

Il secondo è costituito dal fatto che il fabbricato è stato edificato in epoche successive, con ampliamenti sia planimetrici che in elevazione, e probabilmente una struttura così eterogenea presenta una fondazione altrettanto eterogenea, sia come procedimento costruttivo, che come quota del piano d'appoggio.

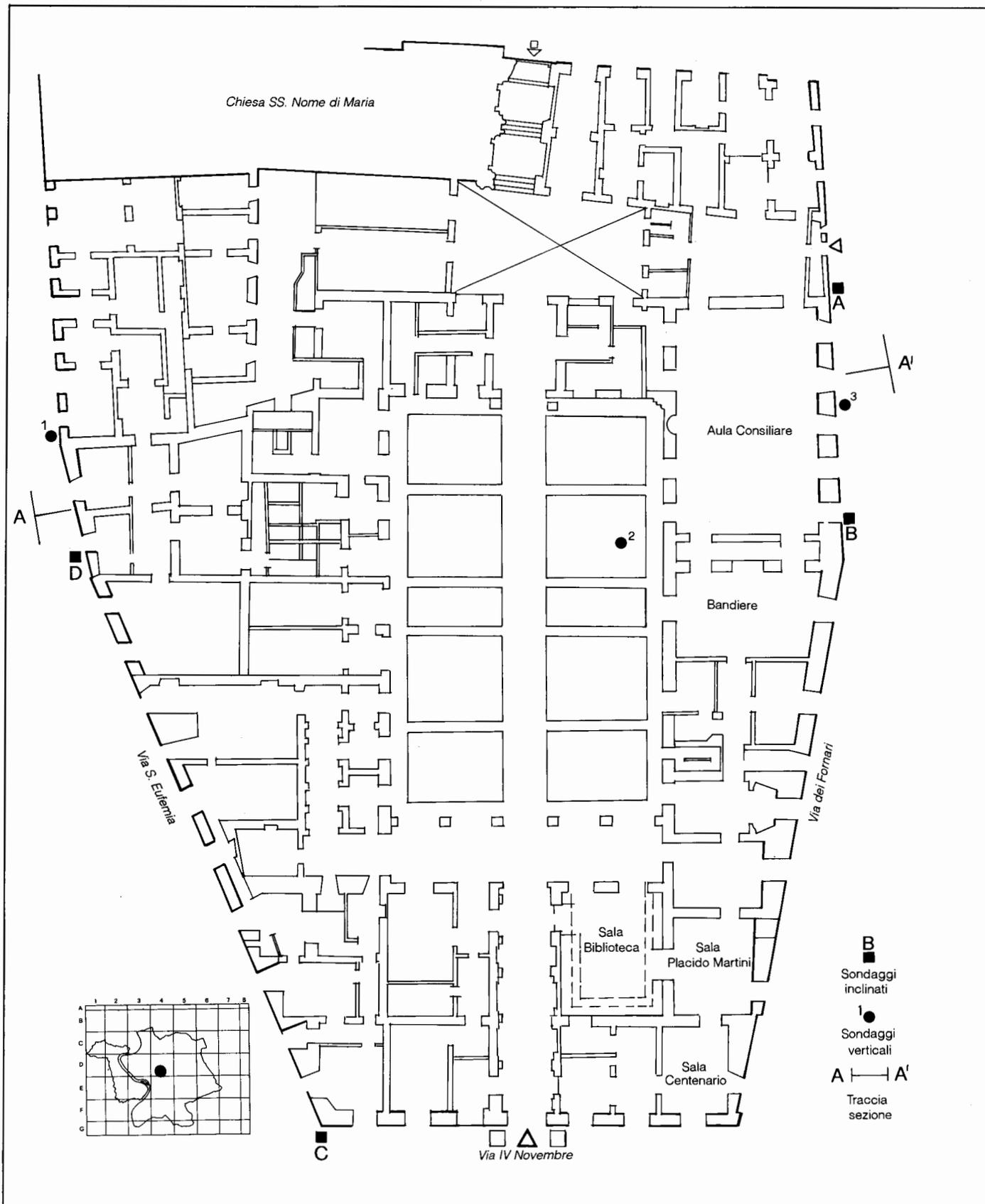
Il terzo fattore risiede nelle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno che forma il piano d'appoggio generale del Palazzo, le argille limose che lo compongono, infatti, appartengono a facies sedimentarie alluvionali e sono caratterizzati da brusche variazioni, sia orizzontali che verticali, di tutte le loro proprietà.

4. – CONCLUSIONI

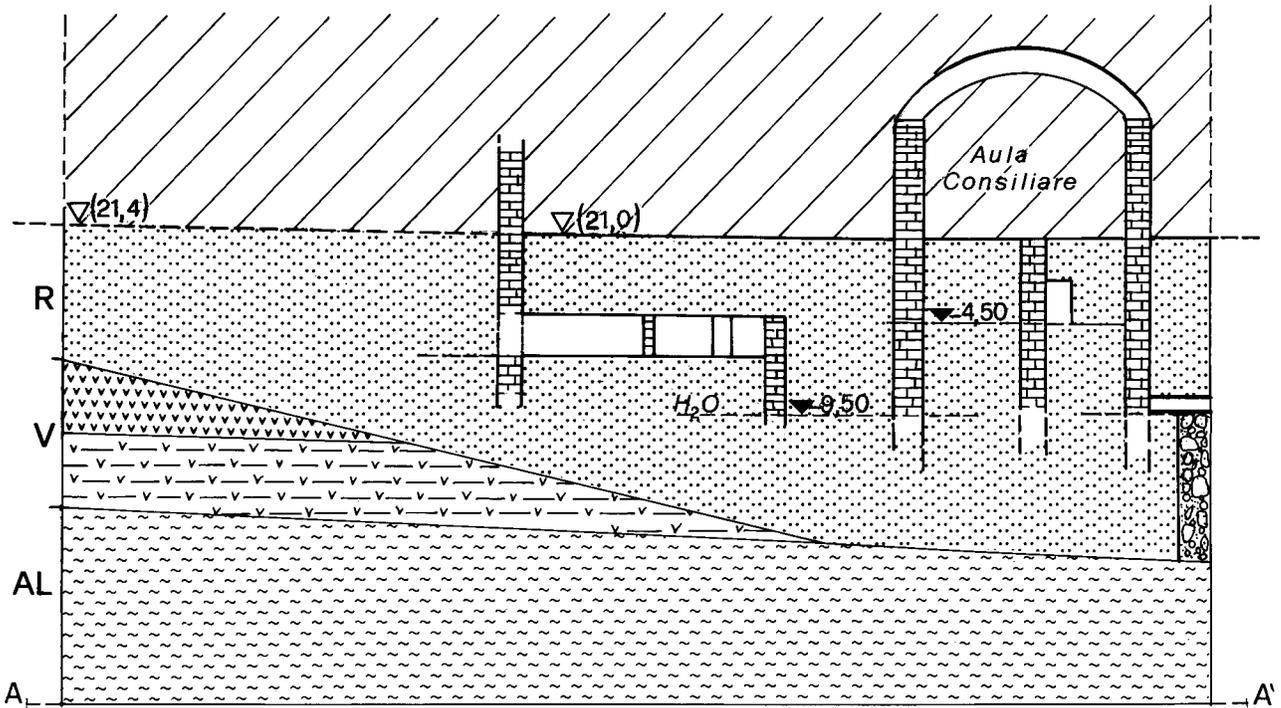
Il quadro che emerge dalla panoramica presentata nello studio dei dissesti nel centro storico di Roma e della loro distribuzione spaziale e temporale consente di esprimere le considerazioni di seguito esposte.

1. Le frane *s.s.* sono di numero limitato, spesso ricorrenti e localizzate sui versanti più acclivi delle zone rilevate, con tipologie riferibili a crolli/ribalamenti, scorrimenti (sia rotazionali che traslativi) e più raramente a frane complesse.

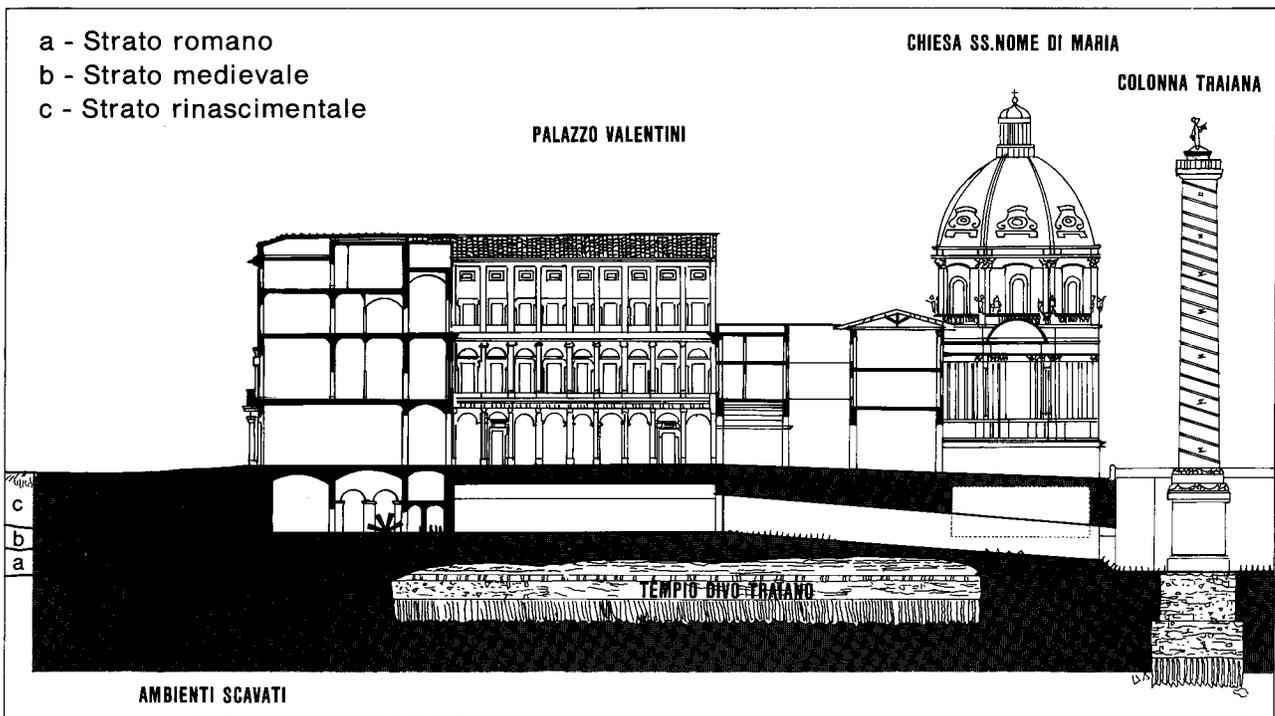
2. I restanti fenomeni di dissesto *s.l.*, anche se limitati come numero nella cartografia di sintesi,



Tav. 4 - Cedimenti del terreno di fondazione per la presenza



Sezione geologica interpretativa del Palazzo Valentini. R: Riporto; V: Piroclastiti Tuffiti; AL: Argille limose



Sezione dell'isolato di Palazzo Valentini e della Colonna Traiana (Farina, 1985)

rappresentano nella vita della città fenomeni ricorrenti, che si manifestano ora come cedimenti, ora come sprofondamenti, ora come lesioni alle strutture in elevazione. Tutti, spesso, sono riconducibili all'azione antropica, che ha perturbato le preesistenti condizioni di equilibrio naturale nell'ambito di unità litotecniche dal comportamento meccanico spesso mediocre o scadente.

I casi di studio presentati rappresentano quindi fenomeni esemplificativi ed allo stesso tempo di particolare vulnerabilità per il patrimonio storico-artistico (Campidoglio), politico-economico (Palazzo di Giustizia, Palazzo Valentini, Villino Centurini) e soprattutto umano (Monteverde e Villa Sciarra), che essi potenzialmente minacciano.

Se si rende necessario il locale intervento di bonifica del dissesto, d'altro canto e da un punto di vista più generale, si rende contestualmente necessaria la conoscenza su vasta scala del comportamento meccanico dei terreni di fondazione, con l'obiettivo di prevederne la pericolosità in relazione alle strutture ed infrastrutture presenti.

Non è da sottovalutare infine il fatto che con tali strumenti si potrà rispondere all'esigenza di realizzare un osservatorio multidisciplinare permanente, così come fortemente richiesto dalla commissione rischi del Comune di Roma, in occasione della presentazione del secondo rapporto sull'ambiente nel centro storico e a Roma - Suolo e Sottosuolo, al Campidoglio nel maggio 1994.