

*Oggetto*

**RELAZIONE**  
**MAPPA DI RISCHIO GEOTECNICO**

*Comune di Roma – Zona CTR 374100*

*Corso*

**GEOLOGIA AMBIENTALE E DEI  
MATERIALI**

Ingegneria per la protezione del territorio dai rischi naturali

*Docente*

**Dott. Guido Giordano**



*Studenti*

**Berti Andrea**  
**Campoese Mattia**

*Anno*

**2007 / 2008**

# Sommario

Introduzione.....	2
Il rischio geotecnico.....	3
Cedimento fondazioni.....	4
Frane.....	9
Cavità sotterranee.....	13
Zona analizzata.....	17
Geologia di Roma.....	17
Geomorfologia dell'area romana.....	17
Area piana del Tevere.....	18
Localizzazione zona CTR 374100.....	20
Geomorfologia.....	21
Idrogeologia.....	22
Storia.....	23
Analisi.....	25
Valutazione pericolosità.....	25
Cedimento fondazioni.....	25
Frane.....	28
Cavità.....	31
Valutazione vulnerabilità.....	33
Cedimenti.....	33
Frane e cavità.....	35
Valutazione valore.....	36
Rischio calcolato.....	37
Proposte d'intervento.....	39
Cedimenti.....	39
Frane.....	40
Cavità.....	41
Riferimenti bibliografici.....	43

# Introduzione

Il seguente lavoro consiste nella redazione di una carta relativa ad uno specifico rischio ambientale in seguito alla richiesta da parte di un ente appaltante. Il limitato livello di dettaglio dell'analisi è dovuto alla riduzione del carico di lavoro per poter sostenere l'esame di Geologia ambientale e dei materiali.

E' stato valutato il rischio geotecnico in un'area all'interno del comune di Roma identificata nella carta geologica di Funicello & Giordano del 2005 dalla zona CTR 374100:

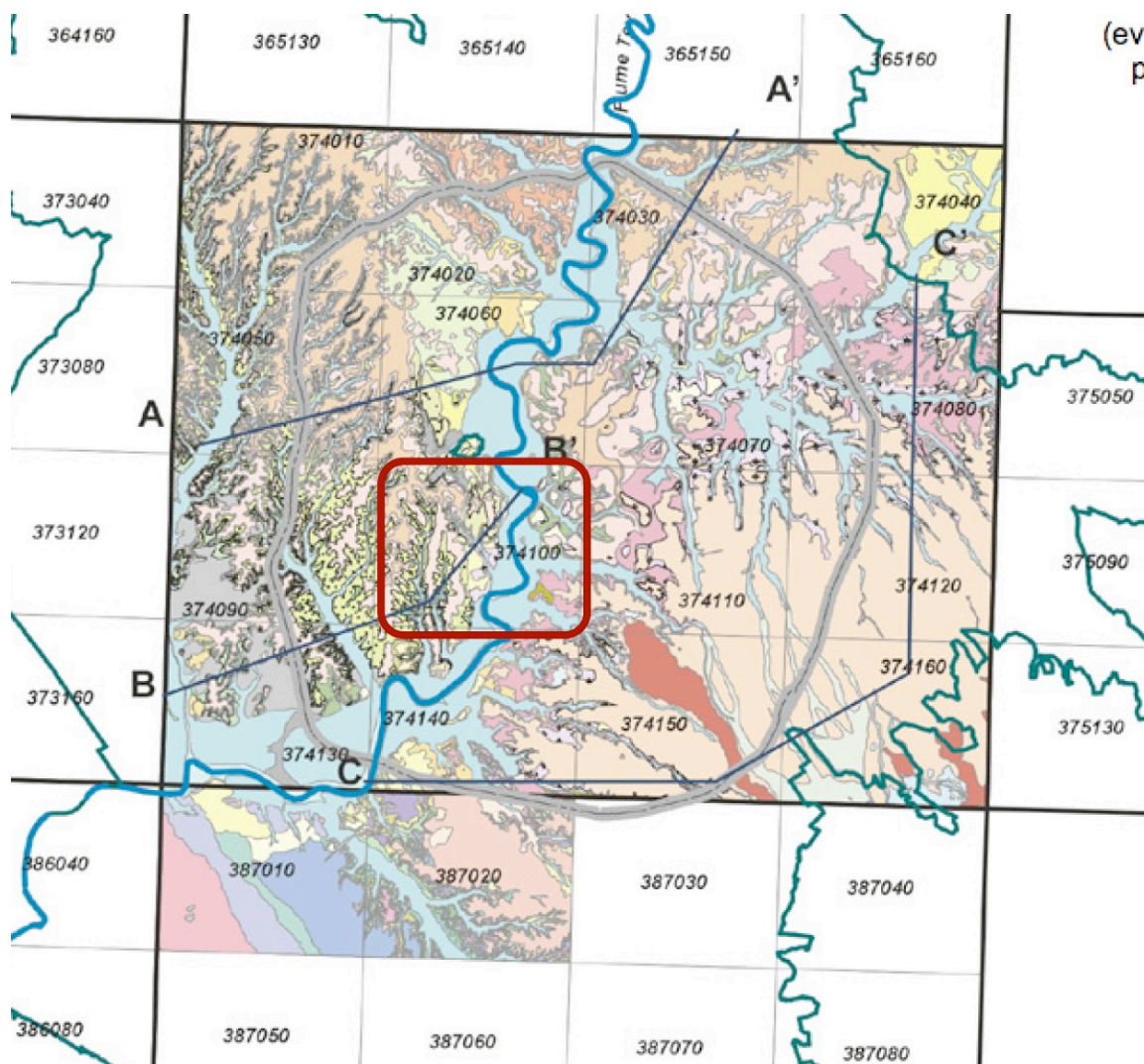


Fig. 1: Posizione zona analizzata all'interno del comune di Roma

# Il rischio geotecnico

Il concetto di rischio è stato introdotto dall'UNESCO nel 1984 per rispondere ai compiti istituzionali di mitigazione dei danni causati dalle catastrofi naturali ed ha trovato ampia diffusione nella comunità scientifica, anche se ancora oggi non vi è uniformità di interpretazione.

Nella valutazione degli scenari evolutivi possibili di un territorio, quali l'analisi di problematiche di carattere ambientale, il **rischio** è un valore definito dal prodotto:

$$R = P * V * E$$

con

- "P" = pericolosità dell'evento in analisi, ovvero la probabilità che un fenomeno accada in un determinato spazio con un determinato tempo di ritorno;
- "V" = vulnerabilità, ovvero l'attitudine di un determinato elemento a sopportare gli effetti legati al fenomeno pericoloso;
- "E" = valore che l'elemento esposto al pericolo assume in termini di vite umane, economici, artistici, culturali o altro;

In generale è possibile effettuare una suddivisione in:

- rischi di origine **antropica**: connessi direttamente all'attività dell'uomo sul territorio (rischio chimico-industriale, sanitario, dei trasporti, nucleare ...);
- rischi di origine **naturale** : derivano dall'evoluzione dell'ambiente nel tempo (rischio sismico, vulcanico, idrogeologico, incendi ... );

Nel seguente lavoro è stato analizzato il rischio geotecnico considerando le problematiche di cedimento delle fondazioni, della presenza di cavità sotterranee e la possibilità di eventi franosi.

## Cedimento fondazioni

Per una maggiore comprensione delle analisi effettuate è utile un breve richiamo di geotecnica per comprendere meglio i fattori che influenzano scelta e dimensionamento delle fondazioni e origine ed entità dei cedimenti.

La fondazione per rispondere in maniera corretta alla sua funzione deve essere dimensionata in modo da ottenere un adeguato margine di sicurezza rispetto alla rottura per carico limite del terreno e da contenere gli spostamenti assoluti e differenziali entro valori compatibili.

Seguendo la suddivisione fatta da Karl Von Terzaghi (Praga 1983) esistono tre tipi principali di fondazioni:

- superficiali su *plinto*, *trave continua*, *platea*
- semi-profonda costituita da *pozzi* o *cassoni*
- profonda su *pali*

Il progetto di una fondazione deve tenere in conto della capacità portante del terreno o carico di rottura ( $Q_f$ ) il quale dipende dai seguenti elementi:

- caratteristiche meccaniche del terreno
- profondità del piano di fondazione
- forma e dimensioni della superficie di carico
- della situazione della falda
- delle tensioni iniziali nel terreno di fondazione
- attrito laterale (per fondazioni profonde)

Definendo un coefficiente di sicurezza ( $F$ ) è possibile definire il carico ammissibile ( $Q_a$ ). È quindi possibile determinare il carico a rottura utilizzando tre approcci:

- metodo dell'*analisi dell'equilibrio plastico*
- metodo delle *linee caratteristiche (Prandtl)*
- metodo dell'*equilibrio limite globale (Terzaghi)*

### Capacità portante fondazioni dirette

Per una fondazione continua sottoposta a carico verticale centrato il valore della tensione di rottura (non esatto ma cautelativo) ottenuta da Terzaghi dalla composizione dei risultati ottenuti con i tre approcci sopra descritti è la seguente:

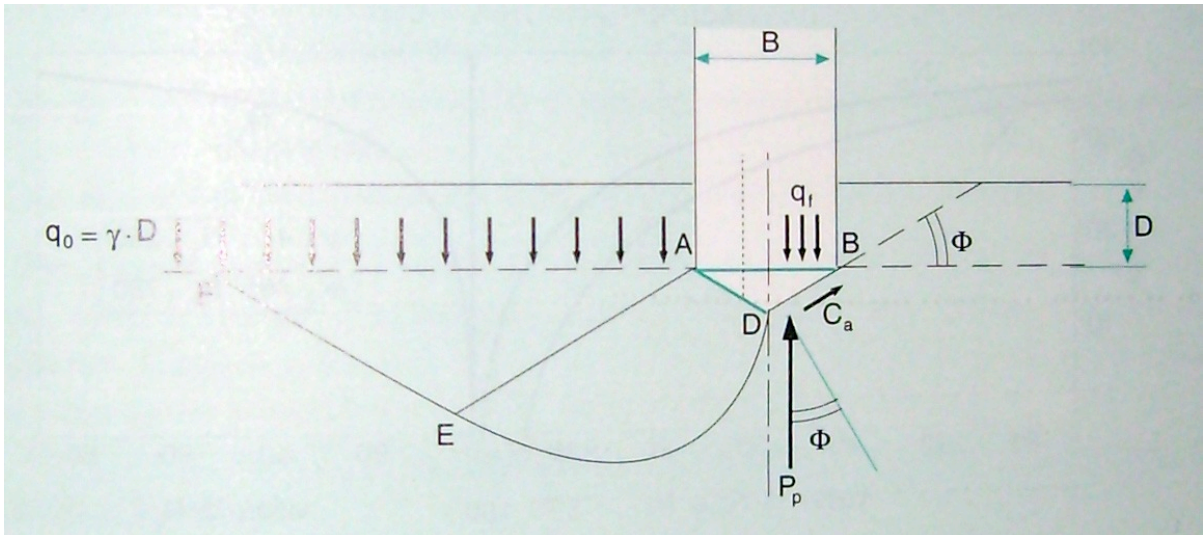


Fig. 2: Schema di Terzaghi

$$q_f = c \cdot N_c + q_0 \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \text{con:}$$

$$N_c = \frac{2P_c}{Bc} + \text{tg}\varphi, \quad N_q = \frac{2P_q}{\gamma DB}, \quad N_\gamma = 4P'_p \quad \text{fattori di capacità portante e:}$$

- $c$  è la coesione del terreno
- $q_0 = \gamma D$  è un sovraccarico agente sui lati della fondazione

Da questa formulazione si può ottenere quella più generale di Brinch Hansen:

$$q_f = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot b_c \cdot i_c \cdot g_c + q_0 N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot b_q \cdot i_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot b_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma$$

La quale tiene conto anche della forma della fondazione (s), dell'inclinazione del carico (d), della base della fondazione (b), del piano campagna (i), della profondità del piano di posa (g).

### Capacità portante fondazioni profonde

Le fondazioni profonde differiscono sostanzialmente da quelle dirette per il fatto di trasmettere il carico per *attrito* lungo il fusto. Queste vengono utilizzate per trasmettere il carico in profondità al di sotto di terreni con caratteristiche meccaniche molto basse.

I pali si possono classificare secondo il loro diametro in:

- *grande diametro*:  $700 \text{ mm} < D < 2000 \text{ mm}$ , pali di solito trivellati che raggiungono fino a 20-40 m
- *medio diametro*:  $300 \text{ mm} < D < 700 \text{ mm}$  profondità da 5 a 25 m
- *piccolo diametro*:  $80 \text{ mm} < D < 300 \text{ mm}$  profondità da 5 a 20 m

La capacità portante di un singolo palo viene di solito divisa in due termini indicati come resistenza alla punta  $Q_b$  e resistenza laterale  $Q_s$ :

$$Q_f + W = Q_b + Q_s = q_b A_b + q_s A_s \quad \text{con:}$$

- $W$  = peso del palo
- $q_b$  = resistenza unitaria di punta
- $q_s$  = attrito laterale

La determinazione di  $Q_b$  e  $Q_s$  viene fatta nell'ipotesi che queste siano indipendenti l'una dall'altra e che le due resistenze vengano mobilitate con il valore massimo in corrispondenza di un diverso cedimento. Tenendo conto di questo la suddivisione tra resistenza alla punta e laterale dipende da:

- dimensione del palo
- caratteristiche del terreno ai lati e sotto la punta del palo
- modalità costruttive del palo
- percorso dei carichi e dal tempo trascorso dall'applicazione del carico.

Per calcolare  $q_b$  per un terreno coesivo in condizioni non drenate si può far riferimento alle formule utilizzate per le fondazioni superficiali continue:

$$q_c = c \cdot N_c + q_0 N_q$$

In letteratura vengono fornite tutte le formule necessarie per il calcolo dell'attrito laterale nelle varie condizioni applicative.

### **Cedimenti delle fondazioni**

Con il termine *cedimento* si indica l'abbassamento verticale del piano di posa della fondazione di una struttura a causa delle deformazioni del terreno. Se il piano d'appoggio della struttura rimane piano il cedimento non è pericoloso, poiché non si altera la distribuzione delle tensioni nella struttura; se invece il piano di appoggio si incurva, la struttura tende a deformarsi dando luogo a nuove tensioni generalmente non considerate in progetto.

Quando si calcola un generico cedimento è buon uso procedere nel seguente modo:

1. si determina, sulla base delle indagini eseguite, il profilo geotecnico del terreno
2. si calcolano gli incrementi di tensione verticale nel terreno di fondazione, incrementi determinati dai carichi agenti sul piano di fondazione
3. sulla base dei risultati dell'indagine geotecnica, si scelgono le caratteristiche tensioni - deformazioni - tempo rappresentative dei vari strati di terreno interessati dalle variazioni di tensioni verticali e si calcolano le tensioni verticali litostatiche.
4. si calcolano le deformazioni dei vari strati di terreno
5. si valuta l'andamento nel tempo dei cedimenti (solo per terreni coesivi a bassa permeabilità)

Per quanto riguarda la determinazione delle tensioni verticali prodotte dall'applicazione dei carichi è possibile fare riferimento alla formula proposta da Boussinesq nel 1885:

$$\sigma_z = q_v = \frac{Q}{z^2} I_i \quad \text{con:}$$

$$I_i = \frac{3}{2\pi} \left[ 1 + \left( \frac{r}{z} \right)^2 \right]^{-\frac{5}{2}}$$

Questa formula fa riferimento alla teoria dell'elasticità ed ipotizza un solido semi-infinito

delimitato da una superficie orizzontale caricato con una forza  $P$  puntiforme che agisce normalmente ad essa.

Una volta nota la variazione delle tensioni verticali si possono valutare le deformazioni conseguenti e quindi i cedimenti. In genere si hanno valori significativi del cedimento, per il campo di tensioni più frequentemente trasmesse al terreno, quando si interessano strati di *argilla normalmente consolidata* o leggermente sovraconsolidata, mentre quando si interessano strati di argilla fortemente sovraconsolidata, o di *sabbie* e di *ghiaia*, si hanno cedimenti limitati.

Rispetto al caso di un argilla NC la formazione dei cedimenti può essere schematizzata nel modo seguente:

1. durante la fase di carico si formano delle sovrappressioni  $\Delta u$  nell'acqua del terreno argilloso, ma data la bassa permeabilità di questo e la velocità con cui è applicato il carico, si ha una deformazione in condizioni non drenate dello strato di argilla e quindi a volume pressoché costante ed il cedimento corrispondente è detto immediato  $S_i$
2. per effetto delle sovrappressioni neutrali provocate dal carico applicato inizia il processo di uscita dell'acqua dal terreno argilloso ed il trasferimento del carico dall'acqua allo scheletro solido del terreno, cioè la pressione neutrale diminuisce e la pressione effettiva aumenta e contemporaneamente lo spessore dello strato argilloso diminuisce, dando luogo ad un cedimento di consolidazione  $S_c$
3. esaurite le sovrappressioni neutrali si hanno ancora deformazioni molto lente, in condizioni drenate, dovute a fenomeni di *creep*, cioè di riaggiustamento dello scheletro solido sotto carico costante, e il cedimento corrispondente  $S_s$  è detto secondario.

Il cedimento totale sarà quindi dato dalla somma dei tre cedimenti:

$$S_t = S_i + S_c + S_s$$

Di solito è possibile trascurare il cedimento secondario, ad esclusione di casi di argille organiche o torbe.

Il cedimento immediato nei terreni argillosi ha importanza principalmente per terreni di media e di alta plasticità e per terreni di bassa plasticità con struttura instabile.

Il cedimento di consolidazione rappresenta in genere, per terreni coesivi normalmente consolidati o leggermente sovraconsolidati, la parte preponderante del cedimento e quindi quella più importante ai fini progettuali. Per terreni sabbiosi e ghiaiosi a permeabilità elevata cedimenti immediati e di consolidazione avvengono contemporaneamente quindi si perde la distinzione valida per le argille.

La formulazione proposta da Terzaghi per la determinazione dei cedimenti di opere su terreni coesivi è:



$$S_i = \frac{qB}{E_u} I_w \quad \text{con:}$$

- **q** = carico uniforme
- **B** = dimensione della fondazione
- **$I_w$**  = coefficiente di influenza che dipende dalla forma, dalla rigidità della fondazione, dallo spessore H dello strato deformabile e della profondità D del piano di posa

$$S_c = H_0 \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta \sigma_z}{\sigma'_{v0}} \quad \text{con:}$$

- **$C_c$**  = coefficiente di compressibilità del terreno ottenuto dai risultati di una prova edometrica
- **$H_0$**  = spessore iniziale dello strato analizzato
- **$e_0$**  = indice dei vuoti iniziale

Per i terreni non coesivi la complessità nel calcolare la loro compressibilità ha spinto i ricercatori ad utilizzare per il calcolo dei cedimenti i risultati delle prove in situ.

## I problemi

La maggior parte delle opere dà luogo a variazioni di tensioni nel terreno relativamente limitate. Edifici civili ed industriali, rilevati stradali o arginali, muri di sostegno in genere provocano variazioni di tensione nel terreno che raramente superano i 3 Kg/cm<sup>2</sup> ma più spesso sono comprese tra 0,5 e 1,5 Kg/cm<sup>2</sup>. Il volume significativo di terreno dipende dalle dimensioni dell'area caricata e dall'entità delle tensioni sul piano di fondazione.

Nel caso di fondazioni dirette generalmente vengono interessati strati di terreno fino a 10-15 m di profondità dal piano di fondazione; con fondazioni profonde invece si raggiungono profondità più rilevanti, ma in genere non si superano i 60m. Le pressioni litostatiche che si hanno fino a 60 m di profondità sono relativamente limitate e possono arrivare fino a 10 e a 6 Kg/cm<sup>2</sup> in presenza di terreno sopra la falda o di terreno immerso in falda. Oltre alle tensioni si è interessati alla valutazione delle deformazioni. Quando vengono sollecitati strati di argilla normalmente consolidata o leggermente sovraconsolidata, in genere si hanno valori significativi (dai centimetri a qualche decina di centimetri) del cedimento, per il campo di tensioni trasmesse al terreno più di frequente; quando invece si interessano strati di argilla fortemente consolidata o di sabbia e di ghiaia si hanno cedimenti limitati (dell'ordine dei millimetri e di qualche centimetro). Quindi il problema dei cedimenti per la maggior parte delle opere si presenta quando si sollecitano strati di argilla normalmente consolidata.

Se l'entità dei cedimenti non è accettabile spesso si fa ricorso alle fondazioni su pali con i quali, come è noto, si trasmettono i carichi a strati profondi poco deformabili e si riducono le tensioni medie trasmesse, poiché si interessa un volume di terreno molto più grande, mediamente più profondo e generalmente con compressibilità decrescente con la profondità.

I problemi maggiori si hanno nel caso di cedimenti differenziali, ovvero a diversi valori di abbassamento del terreno sotto una struttura che – anche per entità molto limitate – generano dei momenti incompatibili con la stabilità della stessa.

## Frane

E' utile anche qui un excursus sulle tipologie di eventi franosi che possono verificarsi, le loro principali cause, i problemi conseguenti e le modalità di analisi del rischio conseguente.

La frana per definizione è un movimento di masse di terreno o di roccia costituenti un pendio, limitate da una superficie ben definita, con direzione verso il basso o verso l'esterno del pendio stesso. Costituiscono un evento naturale che può causare vittime e danni materiali quando coinvolgono attività umane, paesi, strade ed altre infrastrutture. Ciò avviene quando queste attività sono svolte sulle aree potenzialmente franose o nella loro prossimità.

L'entità dei danni ed il numero delle eventuali vittime dipendono da molti fattori, fra i quali le dimensioni delle frane, la rapidità con cui si muovono (che a volte non consente la fuga), il valore di quanto, trovandosi sul loro percorso, è danneggiato o distrutto.

I principali meccanismi realizzabili sono il crollo, il ribaltamento, lo scorrimento, l'espandimento, la colata.

Nel territorio romano si sono verificati principalmente:

- **Crolli:** possono realizzarsi in roccia, in detriti e meno frequentemente in terreni limoso-sabbiosi parzialmente cementati. Si realizza attraverso il distacco e la conseguente caduta di una massa di materiale da un pendio molto ripido o da una scarpata. Il materiale discende in caduta libera fino a che non raggiunge il versante (impatto), quindi si muove mediante movimenti di rimbalzo e/o rotolamento. Il distacco si ha quando la resistenza al taglio lungo le superfici di frattura preesistenti non è più in grado di controbilanciare i pesi dei blocchi delimitati dalle fratture stesse.
- **Scivolamenti**, a loro volta suddivisi in base alla geometria delle superfici di movimento:
  - *Scorrimento traslazionale:* possono realizzarsi in roccia, in terreno e in detrito. Il movimento si realizza in corrispondenza di orizzonti di debolezza strutturale quali fratture, superfici di stratificazione, superfici di contatto tra substrato roccioso e detriti e/o terreni sovrastanti, superfici di contatto tra strati con diverse proprietà geotecniche o altro. Può coinvolgere un singolo blocco o più blocchi ravvicinati caratterizzati da un basso grado di deformazione oppure materiali altamente fratturati e i movimenti possono continuare, dopo la rottura, per lunghissimi periodi.
  - *Scorrimento rotazionale:* possono realizzarsi in terreno, in detrito e in rocce tenere. Si verificano generalmente per rottura progressiva; il movimento, rotazionale rispetto ad un asse parallelo al versante, avviene lungo una superficie dal profilo curvilineo, concava verso l'alto. Le superfici possono avere forme a cucchiaio se la lunghezza della superficie è maggiore della larghezza, o assomigliare a superfici cilindriche con assi paralleli al versante. In sezione, le superfici di movimento possono essere circolari o curve non circolari. In questa situazione il materiale coinvolto, dopo la rottura, raggiunge l'equilibrio in breve tempo attraverso successivi movimenti di assestamento.

Poichè avvenga una frana sono necessarie delle cause predisponenti (indebolimento della massa terrosa o rocciosa che poi si muoverà, lenta filtrazione dell'acqua nel sottosuolo, ecc..) che devono agire per tempi molto lunghi, e delle cause innescanti, rapide e violente, come ad esempio forti precipitazioni, terremoti, ecc. La principale causa innescante è la pioggia intensa, e quando questo avviene può mettere in movimento numerose frane, creare erosioni sui versanti, provocare deviazioni fluviali ed alluvioni.

In generale le cause di genesi di un fenomeno franoso possono essere distinte in:

- **Preparatorie:** fattori intrinseci di instabilità legati, essenzialmente, alle caratteristiche litologiche, strutturali, tessiturali, giaciture, dei materiali costituenti il pendio.
- **Scatenanti:** agiscono su un pendio intrinsecamente indebolito e sono quelle che innescano il movimento franoso.

La rottura si verifica quando le forze che si oppongono al movimento sono minori delle forze che favoriscono il movimento stesso, e si ha che il *fattore di sicurezza*, definito come:

$$F_s = \frac{\text{resistenza al taglio del materiale}}{\text{resistenza al taglio mobilitata}}$$

ha valori minori di 1.

Ne consegue che i fattori che possono condurre all'instabilità un pendio sono suddivisi in:

- **Fattori che contribuiscono all'aumento degli sforzi tangenziali mobilitati:** asporto del materiale e diminuzione del sostegno laterale, sovraccarico del pendio, riduzione del supporto sotterraneo, pressioni laterali, sforzi transitori sul terreno
- **Fattori che contribuiscono alla diminuzione della resistenza al taglio del materiale:** riduzione dell'attrito e/o della coesione dei materiali e/o aumento delle pressioni neutre (per sforzi normali costanti)

Esistono tecniche di indagine per il riconoscimento e la delimitazione dei dissesti in atto o potenziali, per la definizione dei cinematismi agenti e loro possibile evoluzione e quindi individuazione delle cause predisponenti e scatenanti e determinazione delle proprietà geotecniche dei materiali coinvolti, il tutto teso alla realizzazione del progetto di stabilizzazione dell'area nel quale si sviluppa tale dissesto.

## I problemi

Le conseguenze dei fenomeni franosi sono tali da rappresentare un vero e proprio problema socioeconomico.

Le vittime ed i dispersi in seguito a frane nel XX secolo ammontano a 5939 (in media 54 per anno). Inquadrati in un contesto complessivo l'Italia, con una media di 59 vittime l'anno, risulta al 4° posto nel mondo dopo i paesi andini, la Cina ed il Giappone.

Nel dopoguerra lo Stato ha stanziato, per far fronte ai problemi di rischio da frana, una media di oltre 500 milioni/anno di euro ai valori correnti, mentre le stime del costo totale dei danni

sono variabili fra uno e due miliardi/anno di euro, valore che mette l'Italia al secondo posto dopo il Giappone (con danni stimati in oltre 4 miliardi/anno di euro).



Fig. 3: Distribuzione dei fenomeni franosi in Italia

In sintesi il “problema frane” porta l'Italia al primo posto in Europa, seconda solo al Giappone fra i paesi tecnologicamente avanzati.

I dati raccolti nell'ambito delle ricerche scientifiche portano ad escludere che nel corso dell'ultimo secolo siano aumentati la frequenza e la severità dei fenomeni franosi. Il nostro paese è stato, infatti, maggiormente interessato da frane fra il 1550 ed il 1850, in corrispondenza di un lungo periodo di deterioramento climatico e di disboscamenti estensivi. In base all'evoluzione storica del nostro Paese nell'ultimo secolo si può affermare che:

- la *pericolosità* degli eventi è rimasta sostanzialmente invariata, anche se il cambiamento climatico globale in atto potrà portare in futuro ad un incremento degli eventi meteorologici estremi e quindi aumentare la probabilità di frane;
- la *vulnerabilità* è aumentata a causa della crescente complessità della struttura socioeconomica e dello sviluppo industriale e demografico che ha portato ad un'espansione delle urbanizzazioni su aree prima non occupate, fra le quali anche aree instabili. Oggi anche eventi naturali di modesta entità possono determinare ingenti danni per il maggior valore delle attività su cui possono incidere;
- il *rischio*, come prodotto di pericolosità e vulnerabilità è molto aumentato, mentre si sono ridotte le soglie di rischio accettabile perchè l'odierna società non tollera perdite causate da eventi naturali;

## Analisi

Considerato che i movimenti franosi avvengono (in prevalenza) all'interno dei versanti, ossia in aree morfologiche comprese fra crinali e linee di drenaggio, è ragionevole delimitare l'area oggetto di studio utilizzando semplici criteri morfologici. Più precisamente, nell'intorno dell'area da investigare e sulla base della presenza di spartiacque (*displuvi*) e di linee di

drenaggio (*impluvi*) vengono definiti uno o più *versanti elementari*. I versanti elementari devono contenere tutti i movimenti franosi (ossia le condizioni di possibile pericolo di frana) osservati nelle vicinanze della località oggetto di indagine, o che in ogni modo possono interferire con gli elementi a rischio (abitazioni, edifici, strade, strutture, infrastrutture, ecc..) posti nella località oggetto d'indagine. L'individuazione dei crinali e degli impluvi che bordano i versanti elementari avviene di preferenza attraverso la lettura di carte topografiche di scala opportuna (come le CTR a scala 1:10000), od attraverso l'analisi di fotografie aeree a grande e media scala. Il numero e l'estensione dei versanti elementari varia in funzione della morfologia locale, delle caratteristiche litologiche e geologiche del territorio, nonché del numero e della tipologia dei movimenti franosi osservati (od attesi).

Definita l'area all'interno della quale applicare la metodologia è necessario conoscere la distribuzione spaziale delle frane. Ciò è giustificato dall'osservazione che le frane tendono a ripetersi (nel tempo) la dove (nello spazio) si sono verificate nel passato, in corrispondenza o nelle vicinanze di altri movimenti franosi, o comunque negli stessi ambiti geomorfologici. La conoscenza della franosità passata è quindi propedeutica per la stima delle condizioni attuali e future di pericolosità da frana di un territorio.

Tra le caratteristiche della frana, la *profondità* di scivolamento è valutata sulla base della stima dei volumi coinvolti nel movimento. La stima del volume della frana è empirica, e basata su considerazioni morfologiche relative alla zona di distacco ed al deposito di frana. Vengono distinte le *frane profonde*, generalmente di grande estensione e che coinvolgono volumi considerevoli, e le *frane superficiali*, generalmente di piccole dimensioni.

La velocità di movimento (presunta) è dedotta dalla tipologia di movimento. Le frane vengono suddivise in: movimenti a *cinematica lenta* (gli scorrimenti rotazionali o traslativi, gli scorrimenti-colata e le colate, sia superficiali che profonde); movimenti a *cinematica rapida* (le colate di terra e di detrito); movimenti a *cinematica veloce* (i crolli, i ribaltamenti, gli scivolamenti in roccia).

Il grado di certezza di una frana è valutato in base all'evidenza degli elementi morfologici caratteristici del dissesto. La forma concavo-convessa, la presenza di una scarpata ad andamento concavo verso valle, la presenza di gradonature, contropendenze ed ondulazioni nel versante e di locali deviazioni nell'andamento dei corsi d'acqua, sono alcuni dei caratteri morfologici che consentono di identificare con certezza la presenza di una frana. Dove questi indicatori geomorfologici sono chiaramente riconoscibili le frane sono classificate come certe. Al contrario, dove le evidenze morfologiche non sono chiare o comunque univoche le frane sono classificate come incerte.

## **Cavità sotterranee**

Il sottosuolo di molti centri abitati, in Italia e all'estero, dalle grandi metropoli alle cittadine di provincia, ha modificato nel tempo il suo ruolo nel complesso sistema costituito dalla città e dai suoi abitanti. Da risorsa indispensabile per la nascita e lo sviluppo dello stesso centro abitato, il sottosuolo è divenuto nel tempo un "vincolo" gravoso nella realizzazione delle successive opere di urbanizzazione (edifici, infrastrutture, ecc.); infine, in molti casi, è degenerato in "minaccia" per il tessuto urbano e per gli abitanti.

In talune circostanze, tale trasformazione è derivata dalla naturale evoluzione dell'ambiente geologico, ma in molte altre è stata sicuramente indotta dalle attività antropiche. Al secondo caso sono riferibili i fenomeni di subsidenza conseguenti alla estrazione dal sottosuolo di fluidi (acqua o idrocarburi) o di materiali solidi (minerali o rocce) di interesse per l'industria e le costruzioni.

In particolare, nei centri abitati dell'Italia centrale, molti problemi di instabilità derivano dalla presenza di cavità artificiali, di vario tipo e di varie dimensioni, scavate dall'epoca etrusca ai primi decenni del XX secolo, per soddisfare esigenze quanto mai diversificate. Catacombe, cunicoli di drenaggio, acquedotti, cantine e, soprattutto, cave in sotterraneo di materiali da costruzione, variamente associate ed interconnesse, pervadono estesamente il sottosuolo di molti centri abitati e principalmente di quelli di più antica data. Il problema si esalta, ovviamente, in corrispondenza delle grandi città.

Nel contesto di valutazione del rischio di crollo di cavità sotterranee l'assunzione di concetti quali il pericolo e la vulnerabilità ha lo scopo di definire le interazioni fra i vari "sistemi":

### *Sistema ipogeo*

Il sistema ipogeo è rappresentato dalla presenza di cavità sotterranee, come sono realmente ad oggi esistenti anche in relazione alla loro storia evolutiva e tensionale. Il livello di equilibrio e/o squilibrio statico di tale sistema, che si esplica con la possibilità di verificarsi di crolli, è l'origine degli impatti negativi e distruttivi sul sovrastante sistema insediativo. Nell'ambito del sistema ipogeo pertanto il problema è di verificare quali elementi possono essere presi in considerazione per valutare i livelli di stabilità e/o instabilità (pericolo). Dal punto di vista metodologico si esclude la possibilità di classificare come omogeneamente pericolose tutte le aree con presenza di gallerie sotterranee, sia per ovvi problemi di gestione politica di tale rischio che può coinvolgere vaste porzioni del tessuto urbano, ma anche per la necessità di impiegare risorse economiche in zone relativamente più rischiose. Si assume pertanto che è possibile eseguire una zonazione di pericolo (con i limiti sopra esposti) fra varie situazioni caveali.

### *Sistema insediativo*

Il sistema insediativo definisce le attività, la sicurezza, il valore economico e storico-culturale delle infrastrutture di superficie e della popolazione. Rappresenta il bersaglio che può essere colpito da eventi di crollo originati nel sistema ipogeo. All'interno del sistema insediativo potranno essere eseguite valutazioni di maggiore o minore vulnerabilità.

## **Il caso romano**

A causa delle caratteristiche geologiche del territorio della città di Roma, costituito in gran parte da prodotti dell'attività vulcanica degli apparati sabatino e laziale e il particolare assetto morfologico nel quale predominano modesti colli tufacei sperati dalle valli alluvionali dei principali corsi d'acqua e le attività antropiche che si sono sviluppate nel territorio nel corso della sua storia, il sottosuolo della città è caratterizzato dalla presenza di numerosissime cavità sotterranee di varia origine storica e dalle diverse funzioni.

L'origine della maggior parte delle cavità è appunto ascrivibile al periodo etrusco-romano durante il quale furono realizzate opere idrauliche quali acquedotti e fognature. Ci fu poi il problema dell'approvvigionamento dei materiali da costruzione, e di conseguenza i terreni vulcanici furono intensamente sfruttati mediante cave in sottosuolo. Nel periodo medioevale si utilizzarono le cavità già esistenti per gli usi più svariati, mentre nel periodo bellico furono utilizzate come ricoveri e rifugi di emergenza. Attualmente l'uso è limitato a casi sporadici. Fino al XIX secolo, a causa della limitata estensione della città, la maggioranza delle cavità sotterranee si trovava in quartieri periferici o in aperta campagna.

## **Cave**

La facilità di lavorazione e di utilizzo dei materiali vulcanici ha permesso lo sfruttamento dei livelli pozzolanici e scoriacei che sono intercalati spesso a tufi litoidi. Oltre agli affioramenti sono stati sfruttati intensamente i livelli tufacei nel sottosuolo mediante cave in sottosuolo. Sono state così scavate numerosissime gallerie e cunicoli nel corso dei secoli, distribuiti in aree di grande estensione e spesso su più livelli. Si sviluppavano nei livelli teneri di tufo e pozzolana, nei tufi litoidi e più raramente in sabbie e ghiaie.

## **Catacombe**

Sono ipogei scavati a scopo di culto, ubicate preferenzialmente al di fuori delle mura. L'andamento delle gallerie era meno regolare e geometrico di quello delle cave, tanto che in base alla planimetria si distinguono bene le catacombe scavate ex novo dalle cave trasformate in cimiteri ipogei. Gli scavi raramente si trovano a profondità superiori ai 15 m dal piano campagna e la percentuale di ambienti scavati nelle piroclastiti di ricaduta è ancora maggiore rispetto al caso delle cave (a causa della facilità di lavorazione dei materiali). Discorso analogo per la piccola percentuale di gallerie riscontrate in sabbie o in alluvioni.

## **Cunicoli idraulici, acquedotti e fognature**

I Romani si sono distinti come esperti costruttori di opere idrauliche realizzando grandi acquedotti, condotte per acque termali e fognature. Tali opere si estendevano nel sottosuolo lungo cunicoli ispezionabili di grande sviluppo lineare, riscontrati in tutti i tipi litologici. Gli acquedotti, che fuori città correvano in elevazione, all'interno delle mura venivano realizzati in sottosuolo con canali realizzati in muratura e fondo rivestito con laterizi, sezione spesso a volta o quadrangolare fino a 2 m di altezza e 1 m di larghezza, con pendenza generalmente modesta e costante.

## I problemi

Riferendosi allo schema dei sistemi introdotto precedentemente, si elencano di seguito alcuni danni che possono derivare sul sistema insediativo:

- lesioni ad edifici e manufatti
- crollo di edifici e manufatti
- rottura di reti idriche, fognarie, del gas, ecc.
- rottura manto e struttura stradale
- interruzione strade ed aree urbane, interruzione del traffico
- pericoli per la cittadinanza
- disturbi alla cittadinanza
- costi relativi ai danni di cui sopra

Il sistema insediativo non è esclusivamente bersaglio degli impatti distruttivi originatisi nel sistema ipogeo, ma contiene anche elementi di incremento della pericolosità del sistema ipogeo stesso: manufatti con fondazioni dirette al di sopra di cavità (sovraccarichi), vibrazioni del traffico, perdite della rete idrica e/o fognaria possono portare con incrementi di carico, tensioni dinamiche e scadimento delle caratteristiche geotecniche dei terreni ad accelerare evoluzioni delle cavità verso condizioni di maggiore pericolosità ed instabilità.

Nel caso romano, i primi problemi si presentarono con la grande espansione edilizia avvenuta in occasione della riunificazione del Regno, soprattutto in occasione della costruzione dei grandi edifici pubblici dove si sono avute interferenze tra strutture di fondazione e cavità sotterranee.

È nata quindi l'esigenza di accertare la presenza di situazioni di potenziale rischio per vuoti sotterranei, presente quando queste vengono ad interferire con opere o attività presenti in superficie. Lo sviluppo della città di Roma ha fatto sì, infatti, che settori via via più ampi di territorio siano stati urbanizzati e quindi siano state raggiunte aree perforate da cave e cavità. Queste hanno quindi avuto sempre maggiori problemi di stabilità; ad esempio le cave dei materiali da costruzione sfruttavano generalmente livelli teneri compresi fra altri più resistenti, quindi pilastri e volte mostrano a distanza di tempo segni di degrado assai evidenti (distacchi a cuneo lungo i pilastri che si assottigliano o dalla volta).

Esistono diverse modalità dei dissesti nei vari litotipi, come distacchi da volte e pareti che interessano esclusivamente i tufi terrosi. Importante è anche la geometria e la disposizione degli ambienti sotterranei: mentre nel caso delle piroclastiti di ricaduta le gallerie risultavano di dimensioni piuttosto ridotte, nelle pozzolane rosse si scavavano gallerie di grandi dimensioni, e successivamente durante la fase di abbandono i pilastri venivano assottigliati per sfruttare al massimo il livello di interesse. Il progressivo degrado ha provocato nel corso dei secoli dissesti superficiali dovuti al cedimento di questi e delle volte da essi sorrette. Oltre alle voragini che si creano sporadicamente nelle varie zone della città esistono anche numerosi esempi di subsidenza superficiale. I distacchi dei materiali, causa principale del degrado, si ritiene siano dovuti all'esposizione all'aria che provoca variazioni nella percentuale di umidità dello strato superficiale e quindi ad uno scadimento delle loro caratteristiche meccaniche.

Le coltivazioni in tufi litoidi, nonostante le notevoli dimensioni degli ambienti, a causa delle migliori caratteristiche meccaniche assicurano una maggiore stabilità e in questo caso i dissesti tipici sono crolli di blocchi dalla volta, favoriti dalle fratture.



Le cavità puntuali, per costruzione o per successivo riadattamento, hanno capacità di stabilità proprie (anche ad opere di consolidamento oltre alle ridotte dimensioni degli ambienti) e raramente hanno causato evidenti dissesti superficiali.

Negli ultimi decenni, comunque, l'estensione dell'urbanizzazione ha creato molti fattori potenziali di 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 sforzi e deformazioni, che in presenza di cavità vanno a concentrarsi in corrispondenza dei pilastri e delle pareti verticali provocando lesioni e distacchi. Un ulteriore contributo deriva dallo stato di manutenzione delle infrastrutture idrauliche le cui perdite provocano il degrado dei materiali.

In alcuni casi, tali cavità sono in sufficienti condizioni di stabilità e sono utilizzate per la coltivazione di funghi, come magazzini, ecc. In molti casi, invece, sono in condizioni di stabilità molto precarie sia per il modo in cui venivano condotte in passato le coltivazioni, sia per il progressivo, naturale ammaloramento delle strutture in sotterraneo; tali cavità condizionano la sicurezza di ampie aree del territorio urbano. È importante, tuttavia, sottolineare che si hanno anche esempi nei quali le condizioni di stabilità di queste cavità sono state aggravate, anche nei tempi relativamente recenti, da provvedimenti incauti, tesi ad un illusorio recupero di zone del territorio con manifesti segni di dissesto in superficie.

### **Analisi**

Come per altre categorie di rischio, una possibile metodologia operativa per la definizione della previsione e prevenzione del pericolo di crollo di cavità sotterranee è una lista di azioni successive di seguito elencate:

1. Individuazione delle aree esposte al pericolo voragine
2. Suddivisione di tali aree in zone a diverso grado di esposizione al pericolo voragine
3. Identificazione degli elementi a rischio (elementi danneggiabili)
4. Valutazione della vulnerabilità (propensione a subire un danno) di tali elementi
5. Valutazione della severità degli impatti (danni)
6. Identificazione nell'ambito delle aree vulnerabili delle zone a priorità di intervento sulla base di due scale di valutazione: il danno potenziale e l'esposizione al pericolo.

# Zona analizzata

## Geologia di Roma

### Geomorfologia dell'area romana

Si riporta qui di seguito un estratto riadattato della relazione geomorfologica dell'area romana contenuta nel PRG vigente:

*Le condizioni sfavorevoli riscontrabili sul terreno possono essere, a titolo esemplificativo e non certo esaustivo: presenza di cigli di scarpata e/o di versanti a scarsa stabilità potenziale, presenza di terreni a scarse o pessime caratteristiche tecniche, eventualmente peggiorate dalla presenza di una falda idrica subaffiorante, contatti stratigrafici tra terreni a litologia e caratteristiche differenti, presenza di accumuli di terreni di riporto, possibilità di incontrare cavità sotterranee, ecc..*

*Uno degli elementi messi in luce con gli studi di carattere geomorfologico è la presenza, diffusa su tutto il territorio, di cigli di scarpata. Salti morfologici che possono rivelarsi potenzialmente instabili specialmente se gravati dal carico di eventuali manufatti.*

*All'interno del territorio esistono aree con terreni di scarse o pessime caratteristiche tecniche riconducibili, soprattutto, ai depositi costieri ed alle alluvioni. In linea di massima su tali terreni sono da evitare fondazioni dirette così come i movimenti terra di una certa importanza che saranno subordinati all'esecuzione di accurati studi preliminari.*

*I terreni di riporto, specialmente quelli accumulati all'interno delle cave dimesse, come riempimento delle stesse, presentano caratteri litologici disomogenei, hanno spessori per lo più sconosciuti e sono poco o nulla addensati e, quindi, molto compressibili. Tali terreni possono, inoltre, mascherare i rapporti con la "parete geologica" di scavo dei materiali cavati (nel caso di sistemazione di cave) o con il terreno naturale (nel caso di rimodellamenti superficiali), creando contatti anomali tra terreni a litologia e caratteristiche diverse che possono dar luogo a cedimenti differenziali.*

*Su tali terreni non solamente bisognerà condurre delle accurate indagini geognostiche e geotecniche per l'accertamento delle caratteristiche, ma bisognerà, inoltre, mirare alla ricostruzione esatta della geometria dell'accumulo di ritombamento o rimodellamento e delle pareti di contatto. Indagini che, ove se ne verificasse la necessità, dovranno essere accompagnate da verifiche di stabilità delle pareti di appoggio onde definire i parametri di sicurezza e gli accorgimenti da applicare e mettere in atto per ridurre ed attenuare il rischio.*

*La presenza di una circolazione idrica sotterranea a piccola profondità o subaffiorante porta ad un peggioramento delle caratteristiche generali dei terreni che la contengono.*

*Difatti, specialmente in terreni di pessime caratteristiche tecniche (alluvioni o riporti, ad esempio) la presenza della falda può provocare problemi sia alle fondazioni che agli eventuali ambienti interrati per la più certa risalita capillare.*

*Su tali aree, prima di procedere ad un qualsiasi intervento urbanistico, si dovrà procedere non solamente ad opportune indagini geognostiche e geotecniche, ma anche a verifiche idrauliche mirate alla valutazione dell'oscillazione della falda e della sua possibile risalita ed alle conseguenze che tali oscillazioni possono avere sulle condizioni di stabilità e di umidità dei manufatti.*

*All'interno del territorio comunale è molto diffusa, soprattutto nella porzione orientale e meridionale, ma anche nelle altre zone, sia pure in minor misura, la presenza di cavità sotterranee.*

## Area piana del Tevere

Si considera ora un excursus sulla storia geologica dell'area romana con riferimento all'area della piana del Tevere, la più interessante per i problemi di rischio geotecnico.

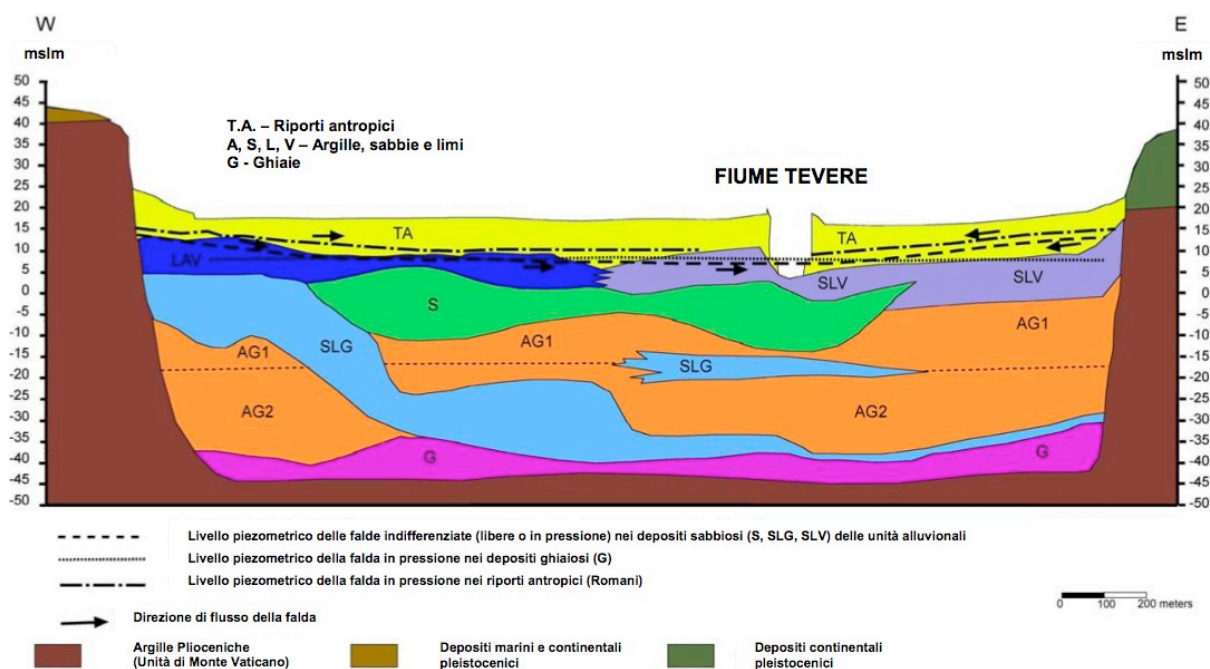


Fig. 4: Stratigrafia dei depositi alluvionali olocenici del Tevere (da Corazza et al., 1999)

Le alluvioni dell'Olocene deposte nel centro di Roma sono spesse fino a 60 m e riempiono la vallata formata nel Wurmiano che taglia profondamente il letto di argille Plioceniche. La stratigrafia di tali depositi è piuttosto complessa, e risulta influenzata localmente dalla morfologia del paleoalveo nonché dalla presenza di tributari e dalle loro dimensioni. In generale, la sequenza stratigrafica è caratterizzata da una riduzione della granulometria verso l'alto, con la presenza di un conglomerato basale sovrastato da sabbie, limi e argille con livelli torbosi. La porzione superiore della successione è costituita da un orizzonte di riporti antropici il cui spessore varia tra 1 e 10 m. I terreni alluvionali olocenici sono non-consolidati, e negli ultimi 20 metri di sedimento possono verificarsi fenomeni di compattazione dovuti alla granulometria fine ed alla presenza di torba.

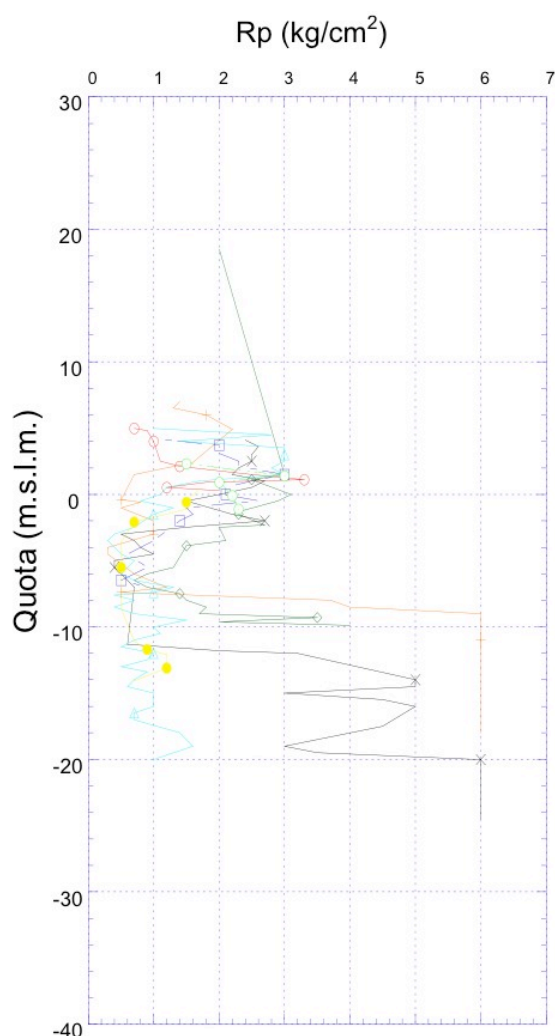
I dati interferometrici raccolti durante dieci anni di telerivelamento hanno rivelato che gli edifici periferici ubicati lungo la piana del Tevere sono soggetti ad una generale subsidenza. Ciò accade poiché, mentre nel centro cittadino i grandi complessi monumentali hanno sottoposto i terreni sottostanti a più di 2000 anni di compattazione, nelle aree periferiche il processo di carico e compattazione dei terreni sui quali sono stati realizzati i moderni agglomerati urbani è ancora in corso. Tale fenomeno è dimostrato dagli elevati valori di resistenza alla penetrazione che mostrano i campioni di sedimento prelevati nel centro di Roma. Tuttavia, al di là della compattazione dei sedimenti alluvionali indotta dal carico degli edifici, i dati geotecnici raccolti nel centro storico mettono in evidenza le caratteristiche delle diverse unità riconosciute all'interno dei sedimenti alluvionali olocenici. La fig.4 mostra l'andamento del valore di resistenza alla penetrazione (Pocket Penetrometer) relativamente ad 8 sondaggi realizzati nell'area dei Fori Imperiali, al di sopra quindi dei depositi alluvionali del

Velabro Minore.

In particolare, si nota un brusco decremento della resistenza alla penetrazione nella parte centrale dei sondaggi: ciò è dovuto alla presenza dell'orizzonte limoso-sabbioso assimilabile all'analogo orizzonte osservato in fig. 3 e denominato AG1.

Nel tratto inferiore dei sondaggi si osservano invece valori elevati dovuti alla presenza dell'unità di Monte Vaticano.

La presenza di orizzonti analoghi sia nella valle del Tevere che nei fossi tributari suggerisce una forte influenza dell'attività di esondazione del Tevere sulla deposizione dei sedimenti olocenici all'interno dell'intero reticolo idrografico del centro storico: di conseguenza, le considerazioni fatte relativamente al rischio di subsidenza degli edifici periferici costruiti nella piana del Tevere vanno estese alle nuove costruzioni realizzate al di sopra dell'intero reticolo idrografico, ove naturalmente questo sia caratterizzato da valli di una certa importanza.



*Fig. 5: Andamento della resistenza alla penetrazione in funzione della profondità per alcuni sondaggi effettuati nell'area dei Fori Imperiali*

## Localizzazione zona CTR 374100

Si analizza ora più in dettaglio il territorio esaminato.

La zona analizzata comprende le seguenti aree:

- *Est del fiume Tevere*. S. Paolo, Marconi, Ostiense, Garbatella, Aventino, Testaccio e la parte inferiore del centro storico (Circo Massimo, Colosseo, Colle Oppio, Palatino, Celio, Campidoglio, P.za Venezia, Corso Vittorio Emanuele, P.za Navona, S. Maria Maggiore)
- *Isola Tiberina*
- *Ovest del fiume Tevere*. Corviale, Casetta Mattei, Gianicolense (Monteverde nuovo, Monteverde vecchio, Colli Portuensi), Trastevere, Valle Aurelia, Villa Doria-Pamphili, Valle dei Casali.

I municipi interessati sono l'I, l'XI, il XV, il XVI e il XVIII (tutti in parte).



Fig. 6: Fotografia satellitare zona CTR 374100 - da Google Earth

Dalla relazione tecnica del PRG per i municipi d'interesse è possibile estrapolare una descrizione generale delle caratteristiche geologiche e morfologiche della zona.

## Geomorfologia

Il territorio del municipio XV e XVI e XVIII è caratterizzato da una morfologia a dolci colline tagliate dai fossi principali e dalla vasta valle del Tevere. Nell'area più prossima al centro storico, sono presenti tracce di antiche gallerie, talora utilizzate nei tempi passati come luoghi di culto o cimiteriali, di cui solo raramente si conoscono le ubicazioni e lo sviluppo e di cui, talora, si suppone l'esistenza.

Della morfologia naturale del centro storico restano accenni delle colline principali e sono ancora leggibili le principali aree pianeggianti: Campo Marzio, Campo Vaccino, Valle Camena, la parte bassa di Trastevere, le zone del Vaticano e Prati, la valle tra l'Aventino e il Piccolo Aventino e pochi altri elementi. Tutto questo territorio ha subito tali e sostanziali modifiche con i tagli, i rinterri, le sovrapposizioni millenarie di edifici e, da ultimo con i muraglioni del Tevere che l'assetto morfologico originario è quasi del tutto obliterato.

Parte della zona coperta dal territorio è ed è stata sede di intensa attività di scavo per il prelievo di sabbia e ghiaia, sia dai rilievi collinari che dalla piana del Tevere. Meno frequenti le cave in materiale vulcanico.

Milioni di metri cubici di materiale sono stati estratti dai rilievi collinari.

Da sempre, a meno delle estrazioni in galleria, si è utilizzato il metodo del ritombamento delle aree di cava con la messa in posto del materiale di scarto della lavorazione e, spesso, prima della nascita della discarica di Malagrotta, anche di residui solidi urbani.

Seri problemi si manifestano nell'azione di ritombamento:

La superficie topografica dei terreni restituiti all'agricoltura a seguito dei ritombamenti viene a trovarsi, anche con terreni perfettamente rimodellati, ad una quota inferiore di quella originaria con un dislivello pari allo spessore del materiale asportato.

I terreni rimessi in sede hanno tempi di consolidazione lunghi e un comportamento alle sollecitazioni completamente diverso rispetto ai terreni originari che giacevano in profondità da circa 700.000 anni e avevano subito un processo di consolidazione che ne aveva ridotto il volume. I materiali di ritombamento sono poco consolidati e facilmente compressibili e, rispetto ai vicini terreni vergini, hanno caratteristiche tecniche molto scadenti.

Per errata ricostituzione del reticolo idrografico, la parte superficiale dei terreni è spesso soggetta a fenomeni di erosione accentuata, il più delle volte retrograda, con solchi e fossi in cui si incanalano le acque di scorrimento superficiale. In alcuni casi si ha poco rispetto del reticolo idrografico preesistente con riempimento di vallecole e ricostituzione della circolazione idrica superficiale con tubi alla base dei rilevati che intercettano le valli. La continuità del banco di ghiaia inferiore viene interrotta e con essa viene interrotta la continuità della circolazione idrica sotterranea.

A ritombamento terminato, salvo pochi casi, l'ultimo fronte di cava lavorato rappresenta la parete finale della zona ritombata. Poichè lo spessore del materiale scavato raggiunge anche i 30 metri non sono rari i casi in cui si hanno pareti verticali di 20-30 metri, da un lato, a modesta distanza da centri abitati o da strade, dall'altro a contatto con terreni di pessime caratteristiche tecniche. I fronti di cava sono potenzialmente instabili e possono essere soggetti a dissesti anche gravi.

A parte i problemi delle cave e dei ritombamenti, in gran parte del territorio si evidenziano solo scarpate con cigli che a volte delimitano versanti a forte pendenza.



## **Storia**

E' interessante per la comprensione dello sviluppo e utilizzo del territorio in esame effettuare un excursus sulla storia dei quartieri e delle zone principali dell'area in esame.

Dando per scontata l'importanza e la storia della parte relativa al centro storico, si considera la storia dei quartieri Gianicolense, Testaccio e Ostiense.

### **Gianicolense**

La zona è sorta intorno a due nuclei inizialmente distinti: Monte Verde Vecchio, che occupa principalmente la collina tufacea omonima, e Monte Verde Nuovo, che incominciò a formarsi a valle di questa, verso i Colli Portuensi.

A dispetto del nome, i due nuclei, ormai saldati tra loro, sono praticamente contemporanei: entrambi furono decisi, nei principali assetti viari, dal piano regolatore del 1909. Mentre Monte Verde Vecchio ebbe quasi subito la consistenza di "quartiere", Monte Verde Nuovo rimase fino al dopoguerra in prevalenza campagna e fu completato nelle sue parti negli anni 70. Monte Verde Nuovo ebbe origine dalla lottizzazione della Settecentesca Villa Baldini. Ciò che rimane della villa è il giardino di largo Alessandrina Ravizza, mentre l'edificio padronale della villa oggi ospita la scuola elementare "Oberdan".

Intorno ad essa e soprattutto lungo via Giulia di Gallese, rimangono dei bellissimi villini di inizio '900, tutti con giardino privato, che costituiscono un insieme di grande qualità urbana e ambientale, simile ad altre zone a villini della Capitale, come per esempio Monte Sacro, i Parioli, e alcune zone del quartiere Nomentano.

In seguito alle demolizioni operate nel centro della città per volontà del Fascismo, vengono costruite le Case Popolari di via di Donna Olimpia per gli sfollati del Rione Borgo, soprannominate sarcasticamente dagli inquilini "i grattacieli". Queste contrastano anche con l'edilizia successiva, che sarà soprattutto signorile, anche se di pessima qualità.

L'insediamento poi dell' "Ospedale del Littorio", oggi "San Camillo", contribuirà ad attrarre il ceto medio borghese fatto soprattutto di medici, impiegati statali e professionisti.

A nord del quartiere si apre un grande polmone verde: è la villa Doria-Pamphili, il parco pubblico più grande di Roma. La villa, che si è originata dalla fusione di diverse vigne nel Seicento ad opera della nobile famiglia romana dei Doria Pamphili, che la possedette fino agli anni 70 del 900. Degno di menzione è l'edificio principale della villa: il Casino Seicentesco, progettato dall'architetto Alessandro Algardi.

### **Testaccio e Ostiense**

Testaccio è il XX rione di Roma. Il nome deriva dal cosiddetto "monte" (mons Testaceus): 35 metri di cocci (testae, in latino) e detriti vari, accumulatisi nei secoli come residuo dei trasporti che facevano capo al porto di Ripa grande.

Il porto dell'Emporio funzionava fin dall'epoca romana, ed era il punto d'approdo delle merci e delle materie prime (prioritariamente marmi, grano, vino) che, arrivate via mare dal porto di Ostia, risalivano il Tevere su chiatte rimorchiate dai bufali (che nel 1842 vennero sostituiti con rimorchi a vapore).

Nei secoli, i cocci di anfore, che erano i contenitori dell'epoca per la movimentazione di grano e alimenti liquidi, si accumularono a montagna: da qui il nome - antico - di monte Testaccio o Monte dei cocci, e la scelta - moderna - dell'anfora come simbolo del rione.



Fino alla bonifica e alla riorganizzazione urbana iniziata dopo il 1870, che destinò questo territorio e quello lungo la via Ostiense fino alla basilica di san Paolo ad attività industriali e di servizi "pesanti" (ferrovie, mattatoio, mercati generali, fabbrica del gas - per fare degli esempi) la zona, che pure era dentro le mura, era popolata da contadini poveri e pastori, soggetta alle alluvioni del Tevere e infestata dalla malaria, che cominciava alle porte di Roma.

Testaccio è un esempio tipico di urbanizzazione industriale, nata come insediamento abitativo, separato e prossimo, connesso a luoghi di produzione: il rione entro le mura nacque, in effetti, come propaggine residenziale destinata agli operai addetti alle attività che si vennero insediando lungo la via Ostiense dalla fine dell'Ottocento. Da questo punto di vista è un esempio unico, a Roma, di urbanizzazione programmata.

Già il primo piano regolatore di Roma capitale, nel 1873, prevedeva che l'espansione industriale della città dovesse avvenire nella zona Ostiense: favorivano questa scelta il territorio pianeggiante e la presenza di varie vie di comunicazione - la via Ostiense appunto, il fiume con il porto di Ripa, e la ferrovia.

# Analisi

In seguito alle considerazioni precedentemente effettuate è stato possibile redarre una carta delle diverse pericolosità agenti sul territorio, della vulnerabilità degli elementi (edifici, strade) e del valore il cui prodotto ha fornito la mappa di rischio risultante.

## Valutazione pericolosità

### Cedimento fondazioni

La pericolosità che si ricorda essere definita come la probabilità che un dato fenomeno accada in un determinato spazio con un determinato tempo di ritorno, è stata valutata per l'evento pericoloso formazione di cedimenti, che si definirà pericolosità "CEDIMENTP".

Le classi di pericolosità "CEDIMENTP" saranno valutate rispetto a due criteri:

- presenza nel sottosuolo di terreni argillosi NC o leggermente sovraconsolidati, elevati strati di riporti o terreni generalmente con qualità scadente (ex. torbe) per i quali i cedimenti sono maggiori
- profondità alla quale è possibile trovare strati di questi terreni. Non potendo effettuare sondaggi in questa fase preliminare, non si farà riferimento alla reale profondità alla quale si troveranno argille NC, bensì agli spessori tipici all'interno dei quali la presenza di strati compressibili influisce sui cedimenti delle strutture.

### Pericoli connessi a situazioni statiche

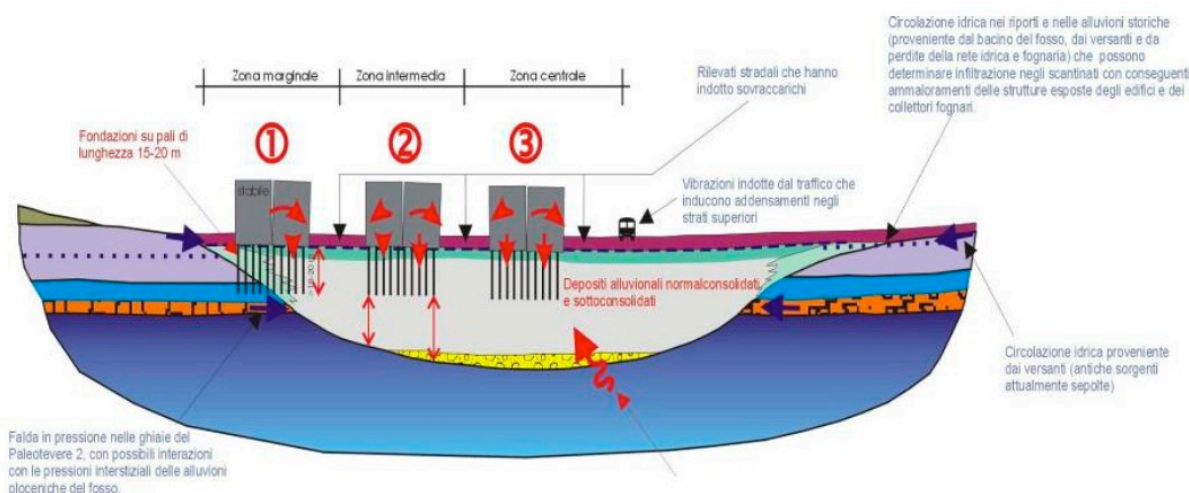


Fig. 8: Schema pericoli di cedimenti nell'area romana

Per i *cedimenti differenziali* si è adottato il seguente criterio. Si è considerata una fascia di 200 m a cavallo tra due terreni con compressibilità diverse, come mostrato in figura 8. La larghezza della fascia di rispetto stata valutata assumendo che la dimensione massima di un piano di fondazione può essere assunta pari a 100m, quindi che le condizioni di pericolo sussisteranno quando la struttura si troverà entro 100 m da destra e da sinistra del limite delle

formazioni. Ne consegue che nelle zone a cavallo tra due tipologie diverse di terreno si è considerata una fascia di 100 m con pericolosità massima.

I dati per effettuare queste valutazioni sono stati tratti dalle tavole geolitologiche 1:20000 del recente PRG per ogni municipio d'interesse. In queste è stata fornita una macro-descrizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni dell'area che è stata utilizzata per definire le classi di pericolosità:

CLASSI DI PERICOLOSITA'				
CEDIMENTI				
Caratteristiche geotecniche dei terreni	Livello Pericolosità	Descrizione nel PRG		
		Scadenti	Medioci	Buone/ottime
	C1			X
	C2		X	
C3	X			

Tabella 1: Classi di pericolosità per i cedimenti

- **C1:** Formazioni dalle buone caratteristiche tecniche, a volte anche ottime. Indicate nel PRG principalmente in depositi travertinosi più o meno compatti, terreni vulcanici formati da tufi, pozzolane, rari livelli di tufo argillificato e tufi litoidi, con intercalazione di colate laviche.
- **C2:** Formazioni dalle caratteristiche tecniche generalmente mediocri o dalla elevata variabilità. Indicate nel PRG principalmente in terreni sedimentari pre-vulcanici formati da sabbie più o meno limose ed argille, con intercalati rari livelli ghiaiosi di modesto spessore e depositi di litorale.
- **C3:** Terreni dalle caratteristiche meccaniche da scadenti a pessime. Indicate nel PRG in terreni di riporto o di colmata, alluvioni recenti di riempimento delle incisioni dei corsi d'acqua principali costituiti da terreni prevalentemente limo-argillosi con livello di materiale organico, depositi sabbioso argillosi a volte diatomitici di origine fluvio-lacustre. In questa classe si è inoltre considerata la fascia di terreno che può indurre problemi di cedimenti differenziale.

I dati raccolti dal PRG sono stati confrontati con quelli della legenda della carta geologica di Funicello e Giordano e con la relazione geologica del Ventriglia del 2002; quest'ultima classificazione è stata realizzata per una scala maggiore, quindi è utile riportare maggiori dati di dettaglio:

PRG del 2003 1:20000	Carta geologica di Roma 1:10000 di Funicello & Giordano del 2005					Carta geologica 1:20000 di Ventriglia	
Qualità	Sigla	Nome	Classificazione	Età	Spessore	Sigla	Classificazione
Scadente / Pessima	R	Riporti		Olocene	fino a 30 m		
	a1	Sedimenti alluvionali in evoluzione	sabbie limi silts ricchi di materiale organico	Olocene	da 0 a 10 m	qa	alluvioni attuali
	a2	Depositi alluvionali	depositi siltosi sabbiosi e siltosi argillosi	Olocene	fino a 60 m	qa	alluvioni attuali
	VTN	Unità di Vitinia	sabbie ghiaie limi	Pleistocene medio	fino a 20 m	fl	formazione fluvio lacustre
	AUA	Unità Aurelia	ghiaia e sabbie, limi argillosi	Pleistocene medio	fino a 20 m	fl	formazione fluvio lacustre
Mediocre	VSN2	Unità di Villa Senni	Pozzolanelle	Pleistocene medio	fino a 30 m	Aps	Pozzolanelle
	VSN1	Unità di Villa Senni	Tufo lionato	Pleistocene medio	fino a 25 m	Atl	Tufo lionato
	LTT	Successione di La Storta	Alternanza di piroclastiti e pomici	Pleistocene medio	fino a 10 m	Sg	Tufo stratificato
	RED	Unità delle pozzolane rosse	Pozzolane	Pleistocene medio	fino a 35 m (sondaggio) 15 m (affioramento)	Api	Pozzolane inferiori Conglomerato giallo
	SKF	Successione di Sacrofano	Piroclastiti	Pleistocene medio	fino a 14 m	SI	Tufo di sacrofano
Buona / Ottima	TDC	Unità di Tor de Cenci	Piroclastiti	Pleistocene medio	fino a 15 m	Ata	Tufi antichi
	PGL3a		Ghiaie stratificate	Pleistocene inferiore	fino a 35 m	qt	Sedimenti del siciliano
	PGL3b	Unità di Ponte Galeria	Argille grige e limi sabbiosi	Pleistocene inferiore	fino a 5 m	qt	Sedimenti del siciliano
	PGL3c		Sabbie e sabbie limose	Pleistocene inferiore	4-5 a 10 m	qt	Sedimenti del siciliano
	MCCa	Unità di Monte Ciocci	Ghiaie	Pleistocene inferiore	fino a 30 m	Pm	Argille azzurre
	MAV	Unità di Monte Vaticano	Argille grige stratificate	Pleistocene inferiore	fino a 45 m	Psi	Argille grigio-azzurre

Tabella 2: Riepilogo formazioni geologiche indicate nelle carte utilizzate

Non si sono considerate zone a pericolosità nulla per cautelarsi dalla variabilità dei dati disponibili sui terreni di riporto, presenza di falda acquifera con relativi problemi di oscillazione del livello, generale incertezza sui dati disponibili e loro dettaglio.

Come accennato nella precedente trattazione, la pericolosità della zona del centro storico compresa dentro le mura Aureliane è stata ridotta alla classe C1 in quanto i terreni hanno ampiamente accomodato le deformazioni indotte dai carichi che persistono da secoli.

Esempi di elevata pericolosità dovuta a cedimenti di fondazioni sono gli edifici in Viale Giustiniano Imperatore e la Vasca Navale. Dai sondaggi effettuati nella zona si sono infatti riscontrati importanti livelli di materiale altamente scadente sul quale sono stati fondati edifici di carico elevato che nel tempo hanno presentato gravi problemi di stabilità.

## Frane

La pericolosità da frana, come quella di altri fenomeni naturali potenzialmente distruttivi, è definita come la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di intensità data si verifichi in un dato periodo di tempo ed in una data area. La pericolosità da frana è quindi la probabilità di occorrenza di un movimento franoso (nello spazio e nel tempo) riferita ad una determinata intensità di dissesto.

La definizione incorpora i concetti di *frequenza* e di *intensità* del fenomeno. La frequenza si riferisce alla ricorrenza temporale dell'evento di frana. E' possibile ottenerla attraverso informazioni storiche (serie storiche), in genere molto difficili da reperire in modo completo od anche solo sistematico, sia per singole frane che per gruppi di frane od aree in frana.

Al contrario di quanto avviene per altri eventi naturali potenzialmente distruttivi, come ad esempio i terremoti, per le frane non esiste una misura univoca e riconosciuta dell'intensità o della magnitudo. E' tuttavia possibile affermare che l'intensità di una frana esprime la capacità distruttiva del fenomeno e dipende dalle caratteristiche fisiche (cinematiche) e geometriche (volumetriche) della frana. In prima approssimazione, l'intensità può essere considerata funzione del proprio volume e della velocità di movimento. Si può calcolare basandosi sulla stima della velocità e del volume della frana. La velocità di movimento (presunta) è funzione delle sue caratteristiche tipologiche. Il volume è a sua volta funzione dell'estensione, della profondità stimata e della tipologia del dissesto.

La valutazione completa ed esaustiva della pericolosità da frana richiede più di una previsione, ed in particolare:

- una previsione *spaziale*, ossia la definizione di dove essa potrà verificarsi;
- una previsione *temporale*, ossia la definizione di quando si verificherà;
- una previsione *tipologica*, ossia la definizione del tipo di frana che si potrà verificare;
- una previsione di *intensità*, considerando anche il volume e la sua estensione verificabile;
- una previsione evolutiva, ossia la definizione del possibile *scenario* evolutivo del dissesto

Definita la distribuzione spaziale e la tipologia delle frane e le caratteristiche necessarie a definire la pericolosità dei movimenti franosi (tipologia, frequenza ed intensità), si delimita attorno a ciascuna frana un'*area di possibile evoluzione* del dissesto esistente. La perimetrazione dell'area a rischio viene effettuata sulla base di considerazioni geomorfologiche sulla possibile evoluzione della frana legata in particolare allo stile ed alla distribuzione dell'attività. Lo scenario definisce quindi l'area di possibile espansione dei movimenti franosi esistenti o dell'occorrenza di nuove frane, in base all'intensità e tipologia del movimento, al grado e tipo di attività dei dissesti presenti, alla morfologia del versante, ed alle condizioni litologiche locali.

Le aree di possibile evoluzione delle frane sono definite su basi geomorfologiche e non puramente geometriche, e comprendono sia l'area attualmente riconosciuta in frana, sia le zone di possibile influenza, diretta od indiretta, della frana stessa. Per le frane a cinematica prevalentemente lenta (scorrimenti, colate ... ) le aree di possibile evoluzione sono generalmente limitate alle immediate vicinanze delle frane esistenti. L'evoluzione di questi dissesti, anche se continua, è generalmente lenta e relativamente prevedibile (nello spazio). Nel caso di movimenti franosi molto estesi e verificatisi in condizioni morfologiche, climatiche o sismiche diverse dalle attuali (frane relitte), le aree di possibile evoluzione

possono coincidere con un intero versante elementare. Per le frane a cinematica rapida (colate di detrito o di terra) le aree di possibile evoluzione comprendono le pareti rocciose od i tratti di versanti molto acclivi e le sottostanti aree di accumulo di detrito.

La valutazione della pericolosità da frana presuppone più di una previsione, ed in particolare può essere effettuata in modo areale, ossia per l'intero territorio oggetto d'indagine o per singole frane o versanti. La pericolosità viene valutata all'interno delle aree di possibile evoluzione dei dissesti, mentre nulla è detto sulle condizioni di pericolosità delle aree che, pur ricadendo all'interno di un versante elementare, sono esterne ad un'area di possibile evoluzione della frana. In tali aree, frane minori ed in particolare frane superficiali, potranno comunque verificarsi, anche se con frequenza presumibilmente bassa, inferiore a quella rilevata nelle aree in frana presenti nel versante elementare.

In questo lavoro, dato il livello di dettaglio, essendo impossibile tecnicamente effettuare un'analisi accurata, per la valutazione del pericolo da frane le fonti di riferimento sono state le tavole geomorfologiche 1:20000 del recente PRG, anch'esse confrontate e trasferite sulla carta geologica di Funicello & Giordano.

In questo caso sono state definiti 3 livelli di pericolosità:

CLASSI DI PERICOLOSITA'			
FRANE			
Tipologia di dissesto	Livello Pericolosità	Descrizione nel PRG	
		Frana attiva	Ciglio di scarpata
	F0		
	F1		X
	F2	X	X

Tabella 3: Classi di pericolosità per frane

- **F0:** aree estranee a pericoli di franamento (morfologia pressochè pianeggiante), assenza di pericolo
- **F1:** aree in corrispondenza o prossime a cigli di scarpata di potenza variabile
- **F2:** aree di dissesto da frana attiva

Le aree prossime a cigli di scarpata sono state delimitate considerando 100 m nel verso della scarpata e 50 m alle spalle di essa in base ad un criterio empirico a favore di sicurezza, dovuto al limitato livello di dettaglio dell'analisi in questa sede che giustifica l'omogeneità del livello di pericolosità nell'area.

Fattori di instabilità sono attribuibili alla presenza di numerosi cigli di scarpate, sia di origine naturale che antropica, che, ancorché si presentino attualmente in equilibrio, potrebbero, se sottoposti a sollecitazioni, presentare dei problemi di rischio.

Nella zona in esame i fenomeni franosi noti sono:

- *Monte Verde*, Via Saffi e Villa Sciarra: coinvolte riporti e terreni rimaneggiati, scorrimento di tipo rotazionale
- *Campidoglio*, Rupa Tarpea: coinvolto del tufo litoide lionato, frana per crollo

## Via Saffi

Il versante orientale del Gianicolo e in particolare modo l'area compresa tra le Mura Gianicolensi e la scalea di U. Bassi, è stata interessata nel corso del Novecento da diversi eventi franosi di varia entità.

Per comprendere lo stato di attività del versante è stata ricostruita la cronologia della frana:

- 1605, S.Pietro in Montorio, in parte ripreso nel 1985
- 1907
- 1915
- 1915-1918, a cavallo della I Guerra Mondiale
- 1922, limitata alla scalea U. Bassi
- 1925, via Dall'Ongaro
- 14/10/1928, l'intero versante
- 1930, evento limitato alla scalea di U. Bassi
- 10/01/1963, l'evento interessa le Mura Leonine a via Saffi
- 1965, via Dall'Ongaro

Il versante ha subito delle profonde modifiche antropiche come:

- totale rimozione delle coperture arboree
- modificazioni della morfologia al piede e alla sommità del versante
- la messa in posto di estese coltri di materiali di riporto che hanno progressivamente modificato le forme del versante
- influenza sul deflusso sotterraneo e superficiale delle acque

I fattori che hanno innescato il processo di degrado del versante sono stati:

- i fattori che hanno contribuito ad aumentare le forze di taglio
- i fattori che hanno determinato una diminuzione della resistenza a taglio del materiale

Ovvero:

- la rimozione del piede del versante, effettuata per la realizzazione della Stazione Trastevere o per il risultato dell'attività della cava di argilla, localizzata in P. Ippolito Nievo, osservata dalla sovrapposizione tra la carta topografica del 1876 e quella del 1906
- la crescente urbanizzazione del Novecento che ha creato un sovraccarico a monte della frana, influenzato anche dalla presenza della vegetazione costituita dagli alberi che contribuisce ad aumentare il peso lungo il versante
- la totale alterazione del deflusso superficiale e sotterraneo dovuta alla crescente urbanizzazione
- l'aumento della pressione interstiziale generata dalle perdite dalle condotte delle acque e delle fogne

## Cavità

Nel caso della valutazione della pericolosità conseguente al crollo di una cavità sotterranea non è possibile eseguire una valutazione sui tempi di ritorno e quindi valutazioni probabilistiche sul verificarsi dell'evento in un determinato orizzonte temporale.

Tale difficoltà può essere superata se al concetto di *pericolosità* si sostituisce quello di *pericolo* dove non è presente alcun termine probabilistico. Il pericolo di crollo viene infatti a coincidere con il rischio assoluto che in una determinata area, in un intervallo di tempo *infinito*, si determini una voragine.

In relazione alla presenza di cavità ipogee pertanto si definisce il pericolo di voragine con la sola accezione della minore o maggiore possibilità che possano verificarsi voragini e/o subsidenze per crollo delle cavità stesse; tale assunzione è assimilabile alle valutazioni del rischio di frana nella quale non sono date indicazioni temporali del probabile evento franoso.

L'importanza di eseguire una zonazione di pericolo (rischio assoluto di voragine) è giustificata dalla necessità di individuare zone con maggiori potenzialità di crollo e che richiedono immediati interventi di risanamento.

Per l'analisi del pericolo da presenza di cavità nel sottosuolo la fonte di riferimento sono state le tavole geomorfologiche 1:20000 del recente PRG e la carta geologica 1:20000 di Ventriglia del 2002, anch'esse confrontate e trasferite sulla carta geologica di Funicello & Giordano. Sono state indicate anche le cavità puntuali trovate e il tutto è stato combinato in un'unica rappresentazione, la cui fedeltà è testimoniata da questa immagine:



Fig. 9: Sovrapposizione PRG e carta Ventriglia - cavità



Per determinare le classi di pericolosità ci si è riferiti alla legenda della carta delle cavità del Ventriglia:

CLASSI DI PERICOLOSITA'			
CAVITA'			
Cavità	Livello Pericolosità	Descrizione nel Ventriglia	
		Riscontrate	Non riscontrate
	CV0	No	Si
	CV1	Probabili	Si
	CV2	Si / Probabili	No

Tabella 4: Classi di pericolosità per cavità

- **CV0**: cavità non riscontrate e non riscontrabili
- **CV1**: zone nelle quali è probabile l'esistenza di cavità sotterranee ma mancano segnalazione dirette della loro presenza; la probabile esistenza è deducibile da elementi indiretti quali morfologia, geologia, possibile sviluppo di cavità già note, ecc..
- **CV2**: zone nelle quali è molto probabile l'esistenza di cavità sotterranee e sono presenti abbondanti segnalazioni di queste con estensione direttamente accertata, gruppi di cavità tra loro ricollegabili, ecc..

E' importante notare come per le cavità il *sistema insediativo* non è esclusivamente bersaglio degli impatti distruttivi originatesi nel *sistema ipogeo*, ma contiene anche elementi di incremento della pericolosità del sistema ipogeo stesso: manufatti con fondazioni dirette al di sopra di cavità (sovraccarichi), vibrazioni del traffico, perdite della rete idrica e/o fognaria possono portare con incrementi di carico, tensioni dinamiche e scadimento delle caratteristiche geotecniche dei terreni ad accelerare evoluzioni delle cavità verso condizione di maggiore instabilità.

# Valutazione vulnerabilità

## Cedimenti

La vulnerabilità è l'attitudine di un determinato elemento a sopportare gli effetti legati al fenomeno pericoloso (varia da 0 a 1). Questa vulnerabilità si traduce nel tipo di fondazione delle strutture che ricadono nella nostra zona, valutare il tipo di fondazione per ciascuna di esse sarebbe una operazione troppo onerosa per il livello di approfondimento e attendibilità che ci prefiggiamo, quindi si valuteranno i tipi di fondazione facendo riferimento al periodo in cui esse sono state edificate e quindi agli standard costruttivi utilizzati all'epoca. Sarà possibile fare questo utilizzando il nuovo piano regolatore del comune di Roma.

E' rigoroso ricordare che a parità di fondazioni, gli effetti che i vari tipi di cedimenti hanno su una struttura dipendono dal comportamento stesso della struttura. Quindi strutture deformabili o molto rigide contrasteranno meglio un cedimento rispetto ad altre.

Facendo riferimento alle norme tecniche di attuazione, in particolar modo al capitolo secondo nel quale si tratta il sistema insediativo che ha interessato il comune di Roma, si possono suddividere il tessuto urbano in periodi di costruzione definendo quindi i Tessuti della Città storica.

*Si intendono per tessuti della Città Storica gli isolati o parti di isolato ad essa appartenenti costituiti dall'aggregazione di edifici, con relativi spazi aperti di pertinenza e l'esclusione delle sedi viarie, riconducibili a regole sostanzialmente omogenee d'impianto, suddivisione del suolo, disposizione e rapporto con i tracciati, nonché di prevalente caratterizzazione tipologica, formale, costruttiva e funzionale. Rientrano in tali tessuti gli edifici seriali e gli edifici a tipologia edilizia speciale esprimenti le stesse regole del tessuto di appartenenza.*

*I tessuti individuati nell'elaborato 2. "Sistemi e Regole", rapp. 1:5.000, si articolano in:*

*T1-Tessuti di origine medievale;*

*T2-Tessuti di espansione rinascimentale e moderna preunitaria;*

*T3-Tessuti di ristrutturazione urbanistica otto-novecentesca;*

*T4-Tessuti di espansione otto-novecentesca ad isolato;*

*T5-Tessuti di espansione otto-novecentesca a lottizzazione edilizia puntiforme;*

*T6-Tessuti di espansione novecentesca a fronti continue;*

*T7-Tessuti di espansione novecentesca a lottizzazione edilizia puntiforme;*

*T8-Tessuti di espansione novecentesca con impianto moderno e unitario;*

*T9-Edifici isolati;*

*T10-Nuclei storici isolati.*

Utilizzando gli elaborati grafici 1:5.000 concernenti "Sistemi e Regole" l'obiettivo è stato quello di individuare i tessuti citati sopra sulla superficie del territorio d'interesse analizzando per ogni municipio.

Si riportano di seguito la descrizione che forniscono le norme tecniche di attuazione:

**T6)**

*Sono Tessuti di espansione novecentesca a fronti continue i tessuti caratterizzati da una edificazione intensiva compatta con fronti prevalentemente continue ed allineate su strada, pianificati e realizzati con il Piano regolatore del 1931 o costruiti dopo il 1960 con piano particolareggiato approvato.*

**T7)**

*Sono Tessuti di espansione novecentesca a lottizzazione edilizia puntiforme i tessuti di edifici isolati nel lotto con tipologia a palazzina formati a ridosso e all'esterno della cinta muraria, disegnati sulla base di impianti urbani previsti sia dal Piano regolatore del 1909 e dalle successive varianti tipologiche di sostituzione e di intensificazione della densità fondiaria, sia dal Piano regolatore del 1931 e dalle successive varianti.*

**T8)**

*Sono Tessuti di espansione novecentesca con impianto moderno e unitario i complessi di edilizia pubblica disegnati, sulla base di impianti urbani previsti dai Piani regolatori del 1931 e del 1962 e successive varianti, secondo i principi progettuali del Movimento Moderno così come interpretati dalla cultura urbanistica e architettonica italiana.*

**T9)**

*Sono Edifici isolati gli edifici seriali o speciali che non rivestono un particolare interesse storico, architettonico o monumentale, collocati in posizione singolare e autonoma rispetto ai tessuti contigui, nei confronti dei quali presentano un carattere di diversità tipo morfologica e una frequente mancanza di integrazione dimensionale e funzionale, e generalmente caratterizzati dalla presenza di aree di pertinenza verdi o pavimentate, riconoscibili e definite.*

Noti i tessuti della zona studio è stata elaborata una classificazione di vulnerabilità basata sulla relazione esistente tra periodo di edificazione di un edificio e fondazioni utilizzate. Questo passaggio è stato effettuato valutando l'introduzione nella letteratura tecnica delle formule necessarie per effettuare un buon dimensionamento di una fondazione.

Detto questo e ricordando il dettaglio ancora superficiale di questo studio, si è ipotizzato quindi che con il trascorrere degli anni si è passati da fondazioni a sacco, per passare poi a quelle superficiali ed infine a quelle profonde.

Allo stesso modo si è supposto che con l'evolversi degli studi sulla risposta strutturale degli edifici si è passati da progetti che non prevedevano una determinata risposta strutturale ad edifici progettati in modo tale che le loro risposte fossero prevedibili, ad esempio che la risposta rispetto ai cedimenti fosse quella di una struttura deformabile anziché fragile.

Da quanto detto sopra è stata costruita la tabella riportata di seguito:

CLASSI DI VULNERABILITA' CEDIMENTI							
TIPOLOGIA DI FONDAZIONE E COMPORTAMENTO DELLE STRUTTURE	Prima formula esatta con la quale dimensionare la fondazione	Livello pericolosità	Periodo di costruzione				
			Altro	T6	T7	T8	T9
			Strutture nei precedenti periodi di costruzione	Tessuto ad espansione novecentesca a fronti continue	Tessuto ad espansione novecentesca a lottizzazione uniforme	Tessuto ad espansione novecentesca a lottizzazione uniforme	Edifici isolati
Assenza strutture	-	V0					
Strutture a comportamento deformabile	Ultimo decennio	V1				X	
Fondazione profonda	Berezantssev (1961)	V2		X			
Fondazione superficiale	Prandtl (1921)	V3	X		X		X

Tabella 5: Classi di vulnerabilità per il pericolo di cedimenti

Riferendosi a questa classificazione è importante far notare che classificando una zona come V1 non si esclude in quel territorio la presenza di fondazioni su pali a comportamento fragile ne tanto meno fondazioni su plinti; quello che si vuole indicare, a questo livello di conoscenza, è la capacità tecnologica a disposizione dei progettisti.

## Frane e cavità

La vulnerabilità della *popolazione* alle frane può essere stimata sulla base della presenza di case, edifici civili, strade, ferrovie, ossia di elementi strutturali ed infrastrutturali utilizzati dalla popolazione. Questa è quindi considerata vulnerabile in quanto associata alla presenza di strutture ed infrastrutture. Il livello di vulnerabilità è quindi stimato sulla base dell'utilizzo (ipotizzato) delle strutture ed infrastrutture da parte della popolazione.

La vulnerabilità del sistema insediativo alle cavità è dovuta alla presenza o meno di edifici, alla tipologia dei manufatti e delle fondazioni, alla presenza di reti di sottoservizi (in particolare gas) e alla presenza di reti fognarie ed idriche.

Dato il livello di dettaglio di questo lavoro si considera per le cavità e frane gli eventi di massima intensità tali da generare il massimo danno in tutte le opere. Strade, edifici, aree pubbliche reagiscono quindi tutte subendo il danno maggiore e quindi presentano vulnerabilità massima. Questo, convenzionalmente con la pratica comune, porta a considerare unificate vulnerabilità e valore esposto nel quale andranno effettuate considerazioni sulle caratteristiche degli elementi a rischio.

## Valutazione valore

Il valore esposto associato al verificarsi di un evento pericoloso è individuabile tramite le vite umane, il valore economico (infrastrutture e attività), ed artistico che si perderebbe.

Attraverso l'utilizzo del piano regolatore comunale e da conoscenze di base è stato possibile classificare il territorio in 4 densità abitative e identificare le infrastrutture viarie principali nonché gli elementi di rilevante interesse storico-archeologico, in modo da definire la seguente tabella indicativa del valore esposto del territorio:

<i>Tipo</i>	<i>Sigla</i>	<i>Descrizione</i>
Densità quasi nulla	<b>V0</b>	Zone in cui l'assenza degli edifici viene estesa alla densità abitativa
Bassa densità	<b>V1</b>	Zone non interessate da attività residenziali o che non presentano punti d'interesse primari. Presentano un tessuto urbano molto rado e caratterizzato da attività artigianali
Media densità	<b>V2</b>	Zona residenziale soddisfacente il PRG, con una urbanizzazione regolare, caratterizzata da edifici che non superano i 4-5 piani di elevazione
Alta densità	<b>V3</b>	Zona residenziale con un'urbanizzazione massiccia, caratterizzata da una forte densità di edifici residenziali che superano i 5 piani di elevazione
Culturale	<b>V3</b>	Aree di rilevante interesse storico-archeologico
Infrastrutture	<b>V3</b>	Arterie stradali e ferroviarie
Infrastrutture	<b>Variabile</b> Strade secondarie (valore a seconda della zona alla quale appartengono in base alla densità di popolazione)	

Tabella 6: Classi di valore

Si assume che in corrispondenza delle infrastrutture viarie siano presenti anche i sottoservizi prima descritti per la vulnerabilità da cavità e che queste, in un'ottica metropolitana, abbiano un valore elevato per la loro importanza nella vita di una città. Un esempio di questo è la chiusura di Viale Tiziano in seguito alla frana del novembre 2007 che ha creato notevoli disagi alla circolazione, rendendo necessario un rapido intervento di ripristino della viabilità minima.

## Rischio calcolato

Il rischio è stato riassunto in una mappa ottenuta dalla sovrapposizione delle precedenti mappe: quella di pericolosità, quella di vulnerabilità e quella del valore esposto. Al fine di determinare la priorità da dare agli interventi sul territorio è necessario associare al rischio ottenuto sotto forma di mappa un valore numerico. Per fare questo vengono definiti di seguito i valori da attribuire alle varie classi di pericolosità, vulnerabilità, e valore esposto, con i quali attraverso una semplice moltiplicazione sarà possibile determinare il valore di rischio risultante.

Dal prodotto dei valori di pericolosità e di vulnerabilità si possono ottenere tutti i seguenti valori:

PERICOLOSITA' X VULNERABILITA'					
CEDIMENTI					
PERICOLOSITA'	Valori	VULNERABILITA'			
		V0	V1	V2	V3
		0	1	2	3
C1	1	0	1	2	3
C2	2	0	2	4	6
C3	3	0	3	6	9

Tabella 7: Tabelle valori pericolosità x vulnerabilità

Per frane e cedimenti i valori di  $P \times V = P$  in quanto la vulnerabilità è massima in ogni parte del territorio come detto.

Moltiplicando infine questi dati per gli indici del valore esposto si ha il rischio finale:

VALORI DI RISCHIO					
CEDIMENTI					
PERICOLOSITA' X VULNERABILITA'	Valori	VALORE ESPOSTO			
		V0	V1	V2	V3
		0	1	2	3
0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	2	3
2	2	0	2	4	6
3	3	0	3	6	9
4	4	0	4	8	12
6	6	0	6	12	18
9	9	0	9	18	27

Tabella 8: Valori di rischio per i cedimenti

VALORI DI RISCHIO					
FRANE					
PERICOLOSITA' X VULNERABILITA'	Valori	VALORE ESPOSTO			
		V0	V1	V2	V3
		0	1	2	3
0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	2	3
2	2	0	2	4	6

Tabella 9: Valori di rischio per le frane

VALORI DI RISCHIO CAVITA'					
PERICOLOSITA' X VULNERABILITA'	Valori	VALORE ESPOSTO			
		V0	V1	V2	V3
0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	2	3
2	2	0	2	4	6

Tabella 10: Valori di rischio per cavità

Raggruppando i valori si è definita la classificazione finale per la mappa di rischio:

CATEGORIE DI RISCHIO		
Gruppi	Valori corrispondenti di rischio	
	Cedimenti	Frane e cavità
Nulla	0	0
Basso	1	1
	2	2
	3	
	4	
Medio	6	3
	8	4
	9	
Alto	12	6
	18	
	27	

Tabella 11: Categorie di rischio in base ai valori

# Proposte d'intervento

## Cedimenti

Una volta in possesso della carta di rischio è possibile definire un programma di interventi con il quale prevenire, là dove è previsto, l'insorgere di problemi, in questo caso cedimenti, che possano mettere a repentaglio la sicurezza della struttura. Le soluzioni possibili ricadono grosso modo in tre tipologie:

1. modifiche della fondazione
2. miglioramento delle condizioni del terreno di fondazione o sua parziale sostituzione
3. modifica della sovrastruttura

Le soluzioni più comunemente usate modificano la fondazione.

Una prima possibilità consiste molto spesso nella riduzione della pressione unitaria aumentandone le dimensioni; una seconda è costituita dal passaggio da fondazioni isolate a fondazioni continue o a platea, irrigidendo quindi anche la struttura di fondazione; una terza è quella di aumentare la profondità del piano di posa. Con questa ultima soluzione è possibile ridurre l'entità delle tensioni trasmesse dalla struttura scavando una quantità di terreno corrispondente a parte o a tutto il nuovo carico, formando in tal modo le cosiddette fondazioni parzialmente o totalmente compensate. Questa soluzione è particolarmente accettabile quando possono essere utilizzati i vani sotterranei (garages, magazzini, ecc).

Si possono poi adoperare soluzioni che modificano il terreno di fondazione: il precarico dell'area che sarà occupata dalle nuove opere riduce in modo sostanziale i cedimenti che si avranno durante e dopo la costruzione. L'operazione è particolarmente vantaggiosa con terreni compressibili nei quali il cedimento avviene abbastanza rapidamente. In genere il precarico viene eseguito formando dei rilevati in terra, ma talvolta può essere eseguito anche con altri materiali. L'abbassamento della falda costituisce un altro metodo di precarico dando luogo ad un andamento delle pressioni effettive del terreno. Talvolta se gli strati di terreno a basse caratteristiche meccaniche sono di spessore limitato e a profondità piccola dal piano campagna, può essere conveniente procedere alla loro asportazione completa ed alla loro sostituzione con materiale sabbioso o ghiaioso opportunamente addensato.

Vi sono infine le soluzioni che considerano modifiche della sovrastruttura; le possibilità di intervento sono molteplici e possono seguire vari indirizzi. Evidentemente per ridurre i pericoli per la struttura, connessi alle deformazioni del terreno di fondazione, si possono modificare le caratteristiche della struttura stessa rendendola più deformabile oppure la si può irrigidire dandole la capacità di assorbire le nuove tensioni che vengono suscitate obbligando il terreno a deformarsi uniformemente.

Si può infine cercare di alleggerire la struttura trasmettendo così sollecitazioni minori al terreno.



# Frane

Come avviene per tutti i fenomeni naturali che comportano rischi socioeconomici alla collettività, non è possibile eliminare completamente tali rischi, ma soltanto diminuire la probabilità che avvengano e le conseguenze dannose (*mitigazione* o attenuazione del rischio).

Questo può essere fatto agendo sia sulla pericolosità, sia sulla vulnerabilità.

Diminuire la pericolosità consiste nel fare interventi di stabilizzazione sulle frane, cioè contrastare il loro movimento, ad esempio costruendo muri che ne fermano la discesa. Una frana sicuramente non più in movimento si definisce stabilizzata.

Diminuire la vulnerabilità consiste nel rendere persone, beni ed attività non soggetti a subire danni da frana.

Poichè le frane sono fenomeni che coinvolgono superfici limitate, la prima regola è di costruire lontano da loro.

Quando non è possibile non attraversare o avvicinarsi a zone in frana si possono comunque adottare soluzioni che, rispettando il territorio e tenendo conto degli equilibri che lo governano, non incidano su di esso in modo negativo.

Il problema della difesa dalle frane è, infatti, un problema di corretta pianificazione territoriale: non si potrà mai invocare la casualità o l'eccezionalità degli eventi quando una frana farà vittime o provocherà dei danni.

Se da un lato quindi si rende necessario il locale intervento di bonifica dei dissesti più gravosi (limitando i danni e i fastidi alle popolazioni), da un punto di vista più generale si può rendere necessaria un'opera di continuo monitoraggio dei dissesti in atto.

Da un punto di vista normativo, è necessario tenere conto della tutela e conservazione del patrimonio ambientale e dei beni culturali. Le *misure di salvaguardia* per il rischio di frana prevedono di massima due livelli e nelle zone peggiori sono consentiti esclusivamente:

1. interventi di demolizione senza ricostruzione; interventi di manutenzione ordinaria
2. interventi strettamente necessari a ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e di volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico urbanistico;
3. gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche o di interesse pubblico;
4. tutte le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi

## Cavità

La scelta degli interventi più opportuni deve derivare necessariamente dalle caratteristiche specifiche del sito e da un accurato accertamento dei parametri geologico-tecnici e geomeccanici. È da ricordare, tuttavia, che fare riferimento solo ad aree circoscritte in una situazione nella quale il problema è diffuso su grandi aree appare troppo limitato e fonte di possibili errori: se, infatti, le cavità costituiscono reti complesse ed estese, nella verifica statica e nella progettazione dell'intervento in un'area circoscritta si deve tener conto delle interazioni con le cavità presenti nelle zone limitrofe e degli effetti degli interventi stessi, anche a lungo termine, sulla stabilità di aree più ampie. In questo caso gli interventi che vengono effettuati hanno il carattere specifico di emergenza e non eliminano (al contrario spesso aggravano) il problema del pericolo e del rischio preesistente sull'area più estesa.

Nel caso che l'eliminazione di situazioni di rischio si riferisca a pericoli temuti, diffusi su ampia area, la risposta deve essere più articolata ma può ancora essere affermativa. In tali casi la complessità dei fenomeni di instabilità che possono verificarsi e quella delle varie interazioni con il tessuto urbano, nonché la diffusione del fenomeno in interi quartieri della città richiede studi, indagini, e interventi molto impegnativi ed onerosi sotto l'aspetto economico.

È evidente che a questo livello, per l'importanza dell'impegno finanziario necessario, per le implicazioni di competenze tra i soggetti istituzionali che hanno titolo in materia, l'intero problema richiede l'intervento e il coordinamento dell'Autorità pubblica.

È necessario, pertanto, che alla scala del centro abitato il problema sia affrontato preliminarmente in termini ampi, con un approccio di studio che consenta una valutazione quantitativa del rischio e premetta di graduare nel tempo l'impegno tecnico ed economico da dedicare ad accertamenti di dettaglio, a più precise valutazioni del rischio e della necessità di intervento, alla scelta degli interventi di consolidamento più idonei.

Tale approccio può essere efficacemente realizzato facendo riferimento alle metodologie di valutazione del rischio già sperimentate e collaudate negli studi sulla instabilità dei versanti, adottandone con opportuni accorgimenti, i principi informativi ed i criteri che guidano nella scelta della strategia di intervento.

Si possono incontrare oggettive difficoltà nelle verifiche di stabilità sia per la irregolare geometria delle cavità, sia per la difficoltà di valutare il comportamento meccanico dei terreni interessati dalle coltivazioni, soprattutto se si tratta di pozzolane, come nella città di Roma. Ma certamente l'aspetto più critico nelle analisi è rappresentato dalla scelta del coefficiente di sicurezza da assumere nella verifica di stabilità delle cavità o, ancor più, il coefficiente di sicurezza minimo da conseguire con un intervento di stabilizzazione. Inoltre, la definizione del rischio implica necessariamente la definizione di un livello di rischio accettabile in una determinata area. La definizione di tale soglia ha implicazioni sociali, giuridiche, economiche e deve trovare in ogni caso consenso ed adesione da parte dell'opinione pubblica.

Nel caso della città di Roma, l'applicazione di tale metodologia è già possibile sulla base delle conoscenze attuali, a partire dai lavori di censimento e delimitazione delle aree con presenza di cavità fatti già in passato sulla base dell'analisi dei riscontri diretti, della successione stratigrafica sulle varie aree, dello spessore e delle caratteristiche degli orizzonti che venivano coltivati e delle tecniche di coltivazione che venivano adottate.

L'applicazione di tale metodologia affidata ad una Authority che raccolga figure professionali diverse (geologi, ingegneri, urbanisti ed archeologi) sarebbe una chiara risposta alla richiesta di maggior livello di protezione contro il *rischio cavità sotterranee*.

In tal modo il sottosuolo potrebbe riacquistare il suo ruolo primitivo di *risorsa*, ed essere considerato, a pieno titolo, come una riserva di spazio, tanto più utile e necessaria quanto più la superficie dell'area urbana è congestionata.

Una tecnica utilizzata per evitare crolli di cavità sotterranee naturali o di origine artificiale è quella di riempirle con impasti di aggregato granulare e boiacca cementizia.

Così operando si evitano pericolose concentrazioni di sforzo che possono causare, data la mancanza di duttilità dei materiali generalmente interessati da questi fenomeni (tufi, calcareniti, rocce tenere in genere di natura piroclastica o sedimentaria), crolli improvvisi in profondità, cedimenti ed effetti disastrosi sulle strutture eventualmente poste in superficie.

Le conseguenze di crolli sotterranei dovuti a variazioni dello stato tensionale sono spesso oggetto di notizie di cronaca. Purtroppo la reale valutazione del rischio è molto complessa in quanto una precisa descrizione della stratigrafia è spesso economicamente troppo onerosa, come il monitoraggio del comportamento meccanico dei materiali interessati. Si preferisce allora, per quanto possibile, affrontare il problema intervenendo direttamente sulle cavità sotterranee bonificandole artificialmente.



Fig. 10: Schema semplificato delle cavità sottostanti un edificio

I volumi vuoti sono generati o da improvvisi crolli verificatisi durante le fasi di scavo o dall'azione erosiva dell'acqua che penetrando nelle piccole intercapedini fra le cantine e le pareti di roccia genera vere e proprie "grotte sotterranee" (dette anche "fornelli"). Il riempimento delle cavità sotterranee con aggregati granulari ha il compito essenziale di cercare di ripristinare nel sottosuolo la situazione così com'era originariamente. Il vuoto infatti che si è venuto a creare genera sulla sua corona pericolosi sforzi di pura trazione lungo l'asse verticale e di pura compressione lungo quello orizzontale, dannosi per la stabilità.

# Riferimenti bibliografici

*Memorie descrittive della carta geologica d'Italia – Vol. I - IPZS*  
R. Funicello et alii (a cura di), 1995

*Carta geologica di Roma – scala 1:10000*, R. Funicello, G. Giordano, 2005

*Piano regolatore generale di Roma – Relazione geologico tecnica*, 2003

*Geologia del territorio del comune di Roma - Ugo Ventriglia*, 2002

*Relazione mappa di rischio geotecnico zona Eur-* Furgani Luca e Zannoni Edoardo, 2007

*Geologia applicata – Il rilevamento geologico-tecnico - Laura Scesi, Monica Papini, Paola Gattinoni*, Ed. Ambrosiana, 2005

*Elementi di geotecnica - Pietro Colombo e Francesco Colleselli*, Zanichelli

*Guida ad un itinerario geologico attraverso la città di Roma -*  
R. Funicello, G. Giordano, B. Adanti, C. Giampaolo, M. Parotto, L. Balzerano  
Dipartimento Scienze Geologiche, Università Roma TRE

*Gianicolense*. Wikipedia, L'enciclopedia libera. Tratto l'11 febbraio 2008.

*Testaccio*. Wikipedia, L'enciclopedia libera. Tratto l'11 febbraio 2008.

*Il rischio da frana*, di Alessandro Annovi.

*Il rischio idrogeologico in Italia*, [www.rischioidrogeologico.it](http://www.rischioidrogeologico.it), Tratto l'11 febbraio 2008.

*Il sottosuolo delle aree urbane: risorsa o minaccia?* - Prof. Maurizio Sciotti,  
[www.assonet.org](http://www.assonet.org), Tratto l'11 febbraio 2008

*Grotte e cavità sotterranee*, [www.ntanet.it](http://www.ntanet.it), Tratto l'11 febbraio 2008.

*Valutazione di rischio di crollo per cavità sotterranee (rischio di voragine)*, Maurizio Lanzini

*Perimetrazione delle aree a rischio frana*, Regione Umbria

Dispense del corso di *Geologia ambientale e dei materiali*, prof. Guido Giordano, A.A.  
2007/2008