

Rischio di crollo di cavità nel territorio del VI municipio del comune di Roma

Risk of underground cavity collapse in the area of the 6th sub-municipality of Rome

R. MAZZA*, G. CAPELLI*, M. LANZINI**

RIASSUNTO - Viene presentato uno studio articolato in una serie di attività volte alla conoscenza del territorio in relazione alla presenza di cavità ipogee ed alla definizione di metodologie di indagine per la classificazione del rischio da crollo in relazione alle diverse configurazioni urbanistiche. Tale programma si configura come una prima fase di studi alla scala dell'intero territorio considerato. Sono stati, così, forniti al VI Municipio della Città di Roma gli strumenti di conoscenza e le metodologie operative per una corretta gestione dell'ambiente urbano, al fine di ottenere un miglior governo del rischio di crollo da voragine e un supporto per i relativi progetti di intervento preventivo e di recupero ambientale. Lo studio ha sviluppato, inoltre, un modello operativo di valutazione del rischio, utilizzabile anche nelle altre zone dell'area urbana di Roma ove sussistano le medesime problematiche ambientali.

PAROLE CHIAVE: rete caveale; rischio geologico; matrice di calcolo; Roma

ABSTRACT - *The study covered by this paper is part of a project aimed at improving the understanding of underground cavities in the area of the 6th sub-municipality ("VI Municipio") of Rome. The study (1st stage of the project) identified underground cavities and developed methodologies of investigation suitable for the different land uses. As a result of the study, the authorities in charge of the sub-municipality were provided with resources to better understand and correctly manage their urban environment, mitigate the risk of underground cavity collapse and obtaining support for their prevention policies and environmental restoration projects. As part of the project, a risk assessment model, to be applied to other urban areas of Rome experiencing the same environmental issues, is also expected to be developed.*

KEY WORDS: *network of underground cavities, geological risk, computation matrix; Rome*

* Laboratorio di Idrogeologia – Dip. di Scienze Geologiche – Università degli Studi “Roma Tre”, Largo San Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma

** Libero professionista

- Il lavoro è stato realizzato con i contributi tecnici di MARIA PAOLA CAMPOLUNGH, LUIGI DE FILIPPIS, DANIELA PAGANELLI & MARTA SERENI

1 - INTRODUZIONE

Nell'area romana, nel corso della millenaria storia della città, sono state realizzate innumerevoli gallerie per la coltivazione mineraria di pozzolane, tufi, ghiaie, sabbie e subordinatamente per la captazione di acque sotterranee. Ciò determina, con relativa frequenza, l'apertura di voragini e franamenti di versanti in corrispondenza di dette cavità e, nel contempo, una condizione di rischio per la cittadinanza, problemi legati alla interruzione delle strade e delle reti di sottoservizi (fognature, reti idriche, elettriche, telefoniche, ecc.), nonché alla stabilità degli edifici sovrastanti.

Le aree interessate dalla presenza di tali cavità sono prevalentemente quella orientale, settentrionale e meridionale della città, ove si sviluppano, in riva sinistra del Tevere, i depositi piroclastici pozzolanacei del Vulcano Laziale, anche se non mancano segnalazioni in destra idrografica del Tevere, in corrispondenza delle vulcaniti sabatine. Le cave in galleria relative a coltivazioni di depositi di ghiaie e sabbie, sono invece riferibili alla Formazione di Ponte Galeria che è diffusa nelle aree della Magliana, Monteverde e in alcuni settori nord-occidentali di Roma, lungo il versante destro della valle tiberina.

Nel tempo si è persa la memoria dell'ubicazione e presenza di tali cavità e, soprattutto durante la intensa espansione edilizia degli anni 50-70, si è costruito un tessuto continuo di strutture urbane al di sopra di tali gallerie, non sempre con le tipologie fondazionali opportune; sovente infatti si riscontrano edifici innalzati su fondazioni dirette al di sopra di reti ipogee a piccola profondità ed in condizione di potenziale pericolo. Altre interazioni negative si realizzano fra le gallerie e le reti idriche e fognarie, spesso fatiscenti e con frequenti perdite.

E' ben evidente che tale situazione, del tutto particolare per l'area romana, avrebbe richiesto un più accorto uso del territorio e scelte urbanistiche più attente alla realtà geoambientale; possiamo asserire che la disordinata espansione edilizia del dopoguerra, soprattutto nei settori orientali di Roma, ha sviluppato interi quartieri ad alta densità abitativa al di sopra di una estesa rete caveale.

Ad oggi la situazione è tale che frequentemente dissesti, voragini, cedimenti e lesioni ad edifici provocano danni economici e rischi per la popolazione residente, senza che tutto ciò sia preso nella giusta considerazione da parte della Pubblica

Amministrazione mediante l'attuazione di interventi programmatici mirati e non isolati e sporadici, frutto dell'emergenza.

La presenza di tali cavità, occasionalmente evidenziate da voragini, pone una serie di problematiche di studio relativamente a settori ambientali, applicativi, geotecnici e di valutazione del rischio che condizionano l'impostazione dell'indagine. La tipologia e la distribuzione degli interventi va progettata in riferimento a un quadro generale, vale a dire "territoriale", delle problematiche presenti, all'interno del quale affrontare specifici problemi di stabilità.

Rispetto ai numerosi autori che si sono applicati alla mappatura delle cavità nell'ambito del Comune di Roma, rari sono coloro che hanno tentato di definire il rischio da crollo per la presenza di cavità sotterranee. Tale carenza di indirizzi metodologici (di indagine, di valutazione del rischio, di tipologie di interventi di risanamento, ecc.) pone seri problemi ai geologi che debbono affrontare concretamente tali situazioni e dare risposte immediate e realistiche sugli interventi da approntare.

2 - ATTIVITA' DI COLTIVAZIONE IN SOTTERRANEO

La presenza di gallerie nell'area romana è legata prevalentemente alle passate attività di cava per la coltivazione di materiale pozzolanico, con tecniche di scavo a camere e pilastri; pertanto la presenza di tali reti ipogee va ricercata ove sussistano depositi vulcanici di natura pozzolanacea, riferibili sia ai depositi del Vulcano Laziale, sia a quelli del Vulcano Sabatino.

Le formazioni che hanno maggiormente interessato le coltivazioni sono rappresentate dalle Pozzolane Rosse e subordinatamente dalle Pozzolane Nere e dalle Pozzolanelle (rispettivamente RED, PNR, VSN₂ nella carta geologica allegata al presente volume). Nell'area romana, oltre alle coltivazioni dei suddetti materiali, si sono sviluppate anche cave per il prelievo di sabbie e ghiaie, sempre con le metodologie di scavo a camere e pilastri (LANZINI, 1995).

Sin dall'antichità, lo sviluppo incessante dell'Urbe ha portato alla realizzazione anche di cunicoli drenanti di captazione e di aree cimiteriali sotterranee (fig. 1).

I metodi di coltivazione, che si sono susseguiti



quasi invariati nel tempo, prevedevano lo scavo di una galleria principale con imbocco ortogonale al versante, in modo da guadagnare subito in copertura; da questa galleria le cavità si dipartivano con andamento sub-rettangolare. In aree lontane dai versanti dei rilievi, le cavità venivano sviluppate anche operando dal fondo di discenderie, più o meno inclinate e aerate con pozzi. In genere si realizzavano gallerie larghe circa 2-3 metri con altezze variabili da 3 a 5 metri.

Durante gli scavi in avanzamento, fra galleria e galleria, venivano isolati pilastri a sezione quadrangolare con lati variabili da 8 a 15 metri. Più frequentemente nell'area romana si rinvengono pilastri da 6 a 8 metri di lato in quanto, al momento di abbandonare l'area di coltivazione per esaurimento degli strati pozzolanacei, i pilastri venivano ulteriormente ridotti per ottenere ancora materiale (riquartatura).

Nel passato si tendeva a mantenere definiti rapporti dimensionali tra gallerie e pilastri (rapporti areali di scavo < 40%), in modo da garantire una certa sicurezza durante i lavori. Successivamente, la frequente operazione di riquartatura, l'insacco di sgrottamenti, le erosioni ed alterazioni delle pareti e delle volte delle cavità, hanno portato all'aumento dei volumi delle gallerie con conseguente incremento del rapporto di scavo (> 50% di cavità) e con diminuzione dei coefficienti di sicurezza globali.

Una volta abbandonata l'attività estrattiva le gallerie potevano essere parzialmente riutilizzate come deposito, fungaia, ecc., determinando ulteriori potenziali modificazioni e disturbi (fig. 2).

Anche le gallerie eseguite in corpi geologici

ghiaioso-sabbiosi sono state realizzate con metodologie simili, ma con dimensioni minori.

3 - METODOLOGIA DI STUDIO

Lo studio si è sviluppato attraverso una prima fase di raccolta di dati geologici, stratigrafici, idrogeologici e geotecnici inerenti il territorio del VI Municipio e zone limitrofe.

Con questi dati e con numerosi controlli *in situ* (rilevamenti geologici su alcuni affioramenti esistenti e misure piezometriche) si sono costruite la carta geologica, la carta dello spessore dei terreni di riporto e la carta idrogeologica di base con i relativi profili che assieme descrivono gli aspetti geoambientali del territorio.

Parallelamente si è sviluppata un'analisi delle infrastrutture di superficie attraverso lo studio della serie storica delle carte topografiche dalla fine dell'ottocento ai giorni nostri, in modo da individuare le modalità dell'espansione edilizia; inoltre si sono reperite mappature relative alla distribuzione delle reti idriche, fognarie, elettriche, ecc. Tutto ciò ha consentito la realizzazione di una carta dello sviluppo urbano e di una carta delle reti e dei sottoservizi.

Riguardo al tema specifico delle cavità sotterranee, sono stati ubicati tutti gli eventi di dissesto e le cavità segnalate. Sono state esaminate, inoltre, informazioni relative alle precedenti indagini inerenti fenomeni simili.

Una volta raccolti tutti i dati degli aspetti geoambientali ed antropici del territorio, si è progettato un modello concettuale che individua nella real-



Fig. 1 - Area cimiteriale all'interno della rete caveale.
- Cemetery area in the network of underground cavities.



Fig. 2 - Rete caveale adibita ad attività di coltivazione micotica.
- Underground cavities used for mushroom-growing.

tà ipogea gli elementi di pericolo di crollo che possono colpire le infrastrutture di superficie, le quali possono essere caratterizzate da una vulnerabilità variabile in funzione delle tipologie strutturali e fondali degli edifici e della diversa gerarchia della rete stradale.

Questa analisi ha portato alla realizzazione di una carta degli elementi di propensione al crollo degli ipogei e di una carta delle tipologie costruttive e delle reti di comunicazione.

Sovrapponendo la carta del pericolo di crollo alla carta della vulnerabilità territoriale si è ottenuta la carta del rischio di crollo di cavità sotterranee.

La mole delle informazioni reperite relative alle indagini geognostiche condotte all'interno del VI Municipio, nonché la loro eterogeneità, hanno reso necessaria un'archiviazione su un *database* relazionale che, permettendo la suddivisione delle informazioni per argomenti (tabelle) garantisca un accesso rapido e diretto a tutti i dati. Di estrema importanza è, infatti, la capacità di poter gestire in tempo reale e con la massima flessibilità gli elementi a disposizione a seconda degli scopi ai quali sono destinati. La possibilità, inoltre, di relazionare diversi argomenti permette già, in prima approssimazione, di desumere conclusioni che, con i metodi tradizionali, richiederebbero lunghe e laboriose ricerche. Come già accennato, durante la progettazione di una banca dati informatica, è necessario dapprima suddividere in argomenti distinti le informazioni che si desidera archiviare e quindi indicare il tipo di relazioni esistenti tra le informazioni. Si è così proceduto organizzando la progettazione in base alle finalità.

Sono state ideate quattro tabelle principali relative agli argomenti:

- indicazioni generiche (numero di identificazione, tipo di indagine, ubicazione, ecc.);
- idrogeologia (indicazioni sulla profondità dei livelli statici e dinamici, sulla portata, sugli usi e sui periodi di utilizzazione dei pozzi);
- geologia (descrizioni stratigrafiche);
- geotecnica (dati relativi alle prove di laboratorio e dati relativi alle prove *in situ*).

Una volta organizzata la struttura del *database*, si è proceduto al *data entry*, provvedendo a stabilire come campo obbligatorio il campo relativo al numero d'ordine identificativo del pozzo (riportato anche in carta). Tutti gli altri campi sono facoltativi in quanto, vista l'eterogeneità delle fonti, non sempre per ciascun foro è stato possibile avere a disposizione lo stesso tipo di informazioni. Si sot-

tolinea, infine, che l'opportunità di poter formulare delle interrogazioni specifiche sui dati archiviati, servendosi sia dei filtri utilizzabili all'interno delle singole tabelle, sia delle "query" (con le quali è possibile esaminare anche i dati combinati tra più tabelle), non è da considerarsi propedeutica unicamente alla realizzazione del lavoro in oggetto, ma rende questo archivio informatico un valido strumento agevolmente fruibile e costantemente editabile.

4 - CONTESTO GEOAMBIENTALE

4.1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO


L'area romana, tra il Pliocene ed il Pleistocene inferiore, è stata interessata da una sedimentazione marina influenzata da oscillazioni eustatiche che determinano temporanee emersioni dei fondali. Le formazioni plioceniche (formazione di Monte Vaticano, MVA nella carta geologica allegata al presente volume) prevalentemente argillose, successivamente fagliate e piegate, risultano ricoperte, nell'area oggetto del presente studio, da depositi fluvio - lacustri riferibili alla formazione di Ponte Galeria (PGL).

Circa 600.000 anni fa, dopo una nuova fase di erosione che ha modellato l'area, è iniziata l'attività dei vulcani laziali (albano e sabatino) che ha avuto le fasi parossistiche fino a 300.000 anni fa, ma che si è protratta fino a circa 20.000 anni fa; durante questo periodo è stata riconosciuta l'attivazione di una tettonica sinvulcanica ad asse N-S. I prodotti di queste eruzioni vulcaniche si sono sovrapposti ai depositi sabbioso-argillosi pleistocenici della formazione di Ponte Galeria, modificando profondamente la morfologia della zona e costringendo probabilmente il fiume a modificare il suo corso per assumere quello attuale.

Durante l'ultima fase glaciale, il Tevere ha ripreso la sua attività erosiva a spese dei materiali vulcanici e soprattutto dei più teneri sedimenti fluviali e marini, mettendo a nudo i terreni più antichi. E' seguita una fase di deposizione durante la quale si sono accumulati i materiali alluvionali più recenti.

Per definire l'assetto geologico dell'area occupata dal VI Municipio non è stato possibile ricorrere esclusivamente ai metodi tradizionali di rilevamento geologico, ma è stato necessario adottare metodologie adeguate ad un ambito urbano: l'intensa





urbanizzazione dell'area, infatti, spesso impedisce l'osservazione diretta dei litotipi caratteristici della zona, ormai mascherati in superficie da costruzioni, terreni di riporto, o che addirittura sono stati smantellati nelle porzioni più superficiali per esigenze costruttive o attività caveali; gli affioramenti sono quindi sporadici e non permettono di controllare la continuità laterale delle formazioni. Di conseguenza la metodologia adottata, oltre al consueto esame delle cartografie geologiche già esistenti e degli studi precedenti, è consistita nel reperimento, l'analisi e l'interpretazione di oltre 800 tra sondaggi geognostici con stratigrafie e perforazioni a distruzione di nucleo (raccolti nel *database*), a cui è seguito, per alcuni casi più problematici, anche un colloquio con i curatori dei sondaggi. Sono stati esplorati alcuni rami delle gallerie che si snodano al di sotto del piano campagna, lungo le quali è stato possibile seguire per notevoli estensioni le formazioni non più osservabili in superficie. Infine è stato eseguito un controllo puntuale di campagna per verificare e completare le informazioni ottenute dalla ricerca bibliografica.

In sostanza in quest'area i litotipi principali sono quelli dovuti alla prima delle tre fasi eruttive del Distretto Vulcanico dei Colli Albani (Fase Tuscolano-Artemisia), caratterizzata da quattro eventi esplosivi parossistici responsabili della messa in posto di prodotti per lo più ignimbricitici, sovrapposti ai depositi argillosi e sabbioso-ghiaiosi prevulcanici, riconducibili al ciclo sedimentario prima marino e poi continentale del Plio-Pleistocene.

Al di sopra dei termini vulcanici sono invece riconoscibili i depositi alluvionali recenti ed attuali, legati all'attività del Tevere e dei suoi affluenti. Sia i depositi vulcanici che quelli alluvionali sono stati poi ricoperti, come già accennato, da una coltre pressoché continua di riporti antropici (per una descrizione di dettaglio si rimanda a FUNICIELLO & GIORDANO, in questo volume).

Nel dettaglio la serie presente nell'area del VI Municipio, procedendo dai termini più recenti a quelli più antichi, è la seguente (di seguito alle formazioni vengono riportate le sigle adottate dalla Carta Geologica del Comune di Roma allegata al presente volume):

Riporto (b₁): materiale di riporto eterogeneo, riferibile a varie epoche, costituito prevalentemente da pozzolane rimaneggiate, da frammenti di laterizi e dai prodotti di discariche incontrollate degli ultimi decenni.

Alluvioni recenti ed attuali (b_a, b_b, Olocene): argille,

limi e sabbie con torbe e abbondante materiale vulcanico rimaneggiato; è presente un livello basale di ghiaie in matrice sabbiosa.

Alluvioni antiche simvulcaniche (SKP, VTN, AEL, Pleistocene medio-superiore): argille e limi sabbiosi, diatomiti, ghiaie sabbiose poligeniche con materiale vulcanico rimaneggiato.

Formazione di Villa Senni – Pozzolanelle (VSN₂, Pleistocene medio-superiore): deposito da colata piroclastica, massivo, generalmente incoerente, costituito da scorie rossastre o nerastre disperse in una matrice scoriacea da rossastra a grigia. Sono presenti nella matrice abbondanti cristalli di leucite, di pirosseno e litici olocristallini a leucite e pirosseno (IV colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio).

Formazione di Villa Senni – Tufo Lionato (VSN₁, Pleistocene medio-superiore): deposito da colata piroclastica, massivo, prevalentemente litoide, di colore da giallo al caratteristico rosso-fulvo; la litificazione è legata a estesi processi di devetrificazione e zeolitizzazione. Nella matrice cineritica sono presenti scorie grigiastre e pomice giallo-arancio, fenocristalli di leucite analcimizzata, pirosseno e biotite, e litici lavici. Il deposito è caratterizzato localmente da fenomeni di fessurazione. Alla base sono raramente presenti litici olocristallini a leucite e pirosseno. E' da sottolineare che questi prodotti e quelli delle Pozzolanelle sono riconducibili a due distinte ignimbriti che si sono deposte successivamente nel corso di un unico grande evento eruttivo.

Pozzolane nere (PNR, Pleistocene medio-superiore): deposito da colata piroclastica massivo e prevalentemente incoerente, costituito da scorie a grana piuttosto fine di colore scuro tendente al nero-violaceo, contenente rari litici del substrato sedimentario termometamorfosati. La parte alta della colata presenta fenomeni di pedogenesi che determinano una parziale argillificazione del deposito.

Pozzolane rosse (RED, Pleistocene medio-superiore): deposito da colata piroclastica massivo e prevalentemente incoerente, costituito da scorie rosso violacee o nere in una matrice scoriacea di colore analogo. Si presenta notevolmente arricchito in litici sedimentari termometamorfosati e litici olocristallini; sono frequenti cristalli di leucite non alterata. E' caratterizzato dalla presenza di strutture da degassazione ("pipes"). La parte alta della colata presenta fenomeni di pedogenesi che determinano una parziale argillificazione del deposito.

Tufi antichi e Tufi pisolitici, Auct. (KKA, PTI, TDC, Pleistocene medio-superiore): queste unità eruttive sono

costituite dai depositi da colata piroclastica legati alle prime fasi eruttive del Distretto Vulcanico dei Colli Albani, intercalati a prodotti di ricaduta provenienti probabilmente dal Distretto Sabatino; i depositi sono massivi e prevalentemente litoidi e costituiti da scorie nerastre o grigie e pomici gialle caratterizzate da fenocristalli di leucite, biotite e rari pirosseni, disperse in una matrice cineritica contenente cristalli di leucite analcimizzata, pirosseno e biotite. Localmente si presentano arricchiti in litici lavici e olocristallini. Sono presenti anche depositi di ricaduta di lapilli scoriacei e, nei settori più pianeggianti, piroclastiti pedogenizzate a testimonianza di una certa stasi dell'attività vulcanica. Possono inoltre essere presenti livelli cineritici, prevalentemente massivi, ricchi in lapilli accrezionari ("pisoliti").

Formazione di S. Cecilia (CIL, Pleistocene medio): limi e sabbie di colore giallo di ambiente fluvio-palustre con frequenti concrezioni carbonatiche in cui si rinvenivano, verso l'alto, minerali vulcanici e piccole pomici rimaneggiate.

Formazione del Fosso della Crescenza (FCZ, Pleistocene medio): argille lacustri grigio-azzurre sovrapposte a ghiaie fluviali eterometriche ed eterogenee in matrice sabbiosa avana, a luoghi cementate (Unità a1): in quest'area si trovano direttamente sovrapposte alle argille marine plioceniche.

Formazione di Monte Vaticano (MVA, Pliocene): argille grigio-azzurre fortemente precomprese con intercalazioni decimetriche di sabbie molto addensate gialle o grigie. Rappresentano la formazione più antica fra quelle esistenti nell'ambito della zona in esame. L'ambiente di sedimentazione è marino.

4.2 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

I depositi vulcanici del dominio albano ospitano acquiferi distribuiti su più livelli in relazione alla presenza e alla quota dei depositi cineritici più o meno argillificati presenti nella serie. La falda di base, ospitata nei termini a elevata permeabilità del Paleotevere 2, è sostenuta, invece, da una potente sequenza argillosa pliocenica che funge da *aquiclude*. L'andamento morfologico di tale superficie condiziona fortemente le linee di flusso sotterraneo soprattutto nei settori periferici, dove decrescono gli spessori dei litotipi vulcanici. La soggiacenza di questo piano al di sotto dell'area studiata aumenta da sud-ovest verso nord-est e la sua profondità varia da -10 a -50 m s.l.m. (MAZZA *et alii*, 2001).

Dallo studio della letteratura specialistica


(VENTRIGLIA, 1971 e 2002; CAPELLI *et alii*, in questo volume) si evince che, al di sopra della falda di base, esistono delle circolazioni "sospese" che trovano recapito nei termini vulcanici sovrastanti: una al contatto tra Pozzolanelle e Tufo Lionato, che però non presenta una diffusione uniforme su tutto il territorio, e l'altra, la più importante fra quelle che interessano le formazioni vulcaniche, ospitata invece nelle Pozzolane Rosse e Nere e nella parte superiore dei tufi antichi (in evidente continuità idraulica) e sorretta alla base dalla *facies* meno permeabile degli stessi. E' questa, fra l'altro, una falda estremamente importante a livello locale, perché è sufficientemente potente da poter essere ampiamente utilizzata, come verificato durante i controlli di campo, ed è anche non eccessivamente profonda, al contrario di quella ospitata nelle ghiaie della formazione di Fosso della Crescenza. La conoscenza dell'assetto geometrico di questa falda costituisce un passaggio obbligato nell'affrontare lo studio dei rischi connessi alla presenza di cavità sotterranee, poiché lo sviluppo degli ipogei coltivati per le pozzolane è stato limitato in profondità dalla presenza della falda stessa.

4.3 - CARTA GEOLOGICA

In base alla metodologia descritta precedentemente è stata realizzata la Carta Geologica (carta n° 1), rappresentativa dell'assetto stratigrafico dell'area occupata dal VI Municipio. Dato che le formazioni più superficiali sono coperte da una coltre più o meno continua di riporti, per migliorare la leggibilità della Carta Geologica, questi sono stati omessi e sono stati rappresentati solo i terreni situati subito al di sotto; l'andamento dei riporti viene mostrato in un'altra carta descritta nel seguito. Di fatto le due carte, quella geologica e quella dei riporti, separate per comodità di lettura, si integrano a vicenda. Nella Carta Geologica sono state indicate, inoltre, l'ubicazione dei sondaggi e pozzi esaminati nel corso dello studio, le cui informazioni di dettaglio sono riportate nel *database*, e la traccia dei due profili A-A' e B-B'.

La ricostruzione dell'assetto geologico, con l'identificazione degli spessori, delle quote del tetto e del letto delle diverse formazioni e l'individuazione della distribuzione del Tufo Lionato nell'area, assume una particolare importanza al fine di localizzare eventuali cavità sotterranee e di valutarne la propensione al crollo, come verrà illustrato successivamente.





Dalla carta si evince che nella zona le formazioni più diffuse sono quelle vulcaniche, ma la loro distribuzione non è uniforme: nonostante la sostanziale equivalenza delle quote medie della superficie topografica, che si presenta solo blandamente ondulata, nel settore occidentale (ad ovest di Via dell'Acqua Bullicante) risultano prevalenti i termini più antichi (le Pozzolane Nere e Rosse) rispetto a quelli rappresentati nel settore orientale (prevalentemente Formazione di Villa Senni). Questa situazione, come evidenziato nei profili geologici, è dovuta al fatto che il settore occidentale è strutturalmente più rilevato rispetto a quello orientale, ribassato da una faglia diretta ipotizzata al di sotto delle alluvioni, in corrispondenza dell'antico Fosso della Marranella. Di conseguenza le formazioni più recenti del settore occidentale, trovandosi a quote più elevate, sono state erose, mentre i termini corrispondenti situati più ad est a quote inferiori, si sono potuti conservare.

Il Tufo Lionato, osservabile prevalentemente nella parte settentrionale del Municipio, merita un discorso più dettagliato perché riveste una particolare importanza rispetto alle finalità del presente studio; in questa zona infatti assume caratteristiche differenti da settore a settore, che influiscono in modo diverso sulla stabilità delle cavità ipogee localizzate nelle formazioni sottostanti (Pozzolane Nere e Rosse). Può presentarsi da lapideo a mediamente addensato a seconda del grado di zeolitizzazione subito, cosicché la roccia risulta avere caratteristiche geotecniche da ottime fino a medie; nel primo caso il Tufo Lionato ha l'effetto di conferire una maggiore stabilità alle gallerie sottostanti, mentre nel caso opposto risulta maggiore la propensione al crollo della volta delle cavità. Un altro fattore che può influire sulla stabilità delle gallerie è lo spessore del Tufo Lionato, che in questa zona può variare da qualche metro fino ad esaurirsi completamente; l'assenza di questa formazione o un suo esiguo spessore rendono sicuramente il settore corrispondente, in caso di presenza di cavità, a maggior rischio di crollo. In ogni caso è importante tener presente l'azione dei due fattori combinati (carattere più o meno lapideo, spessore), rappresentati nella "Carta degli elementi di propensione al crollo" descritta più avanti insieme ad altre componenti.

Infine, per quanto riguarda le successioni sedimentarie, si è fatta distinzione tra i depositi recenti e quelli più antichi della formazione di Fosso della Crescenza.

4.4 - CARTA IDROGEOLOGICA

Il territorio di competenza del VI Municipio del Comune di Roma è situato al margine dell'idrostruttura Albana. Questa ospita una importante falda regionale che alimenta un drenaggio di tipo centrifugo verso l'Aniene a nord, il Tevere a ovest, il Mar Tirreno a sud - ovest e l'Agro Romano e Pontino a sud - est.

La caratterizzazione idrogeologica di un'area come questa, segnata da una fortissima antropizzazione, con le zone di affioramento estremamente rare e i corsi d'acqua minori di fatto tutti ritombati, ha seguito i percorsi metodologici tipici della "geologia urbana". Una parte importante dell'indagine bibliografica è consistita nel reperimento presso enti pubblici e/o professionisti di sondaggi e di perforazioni eseguite nell'area.

Nel dettaglio la redazione della carta idrogeologica (carta n° 2) è stata condotta sulla base dei seguenti punti:

- inquadramento dell'area nel contesto albanico;
- ricostruzione della geometria del substrato prevulcanico;
- controllo sul terreno dei dati freaticometrici e ricostruzione della superficie freatica;
- caratterizzazione chimico-fisica delle acque sotterranee.

Ricostruzione della geometria del substrato prevulcanico

Per la ricostruzione della paleomorfologia antecedente la messa in posto delle vulcaniti, sono stati utilizzati sia i dati di bibliografia, sia i dati inediti reperiti presso gli enti locali e/o i professionisti, per un totale di 42 perforazioni. Questi dati sono stati interpretati sia in rapporto alle conoscenze ormai acquisite di geologia regionale, che indicano un substrato genericamente ribassato verso est, sia tenendo conto degli spessori minimi delle vulcaniti accertati nell'area dai sondaggi.

Il risultato ottenuto è presentato nella carta idrogeologica. La superficie ricostruita (letto delle formazioni vulcaniche, in rosso) presenta un andamento generale degradante verso est. Il settore più rilevato è stato rinvenuto nella zona di Via Tiburtina-Scalo S. Lorenzo (30 m s.l.m.), da cui inizia un approfondimento regolare verso est, fino all'isobata "0" in prossimità di Via dell'Acqua Bullicante, laddove le evidenze stratigrafiche e geochemiche suggeriscono la presenza di importanti motivi tettonici. Tale superficie torna quindi ad

approfondirsi verso est, fino al raggiungimento del minimo valore riscontrato nell'area: -13 m s.l.m. in sondaggio dell'area di Gordiani.

A questo motivo principale si sovrappongono però delle evidenti articolazioni che potrebbero essere interpretate come paleovalli disposte trasversalmente ai lineamenti principali. In particolare, tra i quartieri di Porta Maggiore e Tuscolano, l'andamento ricostruito sembrerebbe suggerire, proprio in corrispondenza della stazione Tuscolana, la presenza di una paleovalle orientata SO-NE.

Ricostruzione della superficie piezometrica

Il censimento dei pozzi e piezometri ha portato alla realizzazione di un *database* idrogeologico costituito da 193 *record* rilevati dagli anni '70 all'anno 2000. Al fine di realizzare un prodotto aggiornato, per la costruzione delle linee isopiezometriche sono stati utilizzati esclusivamente i dati rilevati dal gennaio 1999 al giugno del 2000.

Il rilevamento di terreno, pur nelle difficoltà dovute alla forte antropizzazione, ha permesso di ottenere una serie sufficiente di punti di controllo e pertanto di giungere alla realizzazione di una carta delle isofreatiche e di un modello di circolazione. Durante la campagna sono stati rilevati 18 pozzi nei quali è stata misurata la profondità della falda e, quando possibile, i parametri chimico-fisici di temperatura, conducibilità e pH.

La ricostruzione della superficie piezometrica dell'acquifero vulcanico è riportata in blu nella carta idrogeologica. Nella stessa carta sono presenti anche altri livelli informativi, come le isobate del substrato prevulcanico, i sondaggi utilizzati per la sua ricostruzione, i pozzi per acqua e le linee relative alle direzioni preferenziali di flusso sotterraneo e la traccia dei paleoalvei. A tal riguardo si è convenuto che in un'area a forte antropizzazione come quella studiata, la presenza di paleoalvei (corsi d'acqua minori ritombati a seguito del procedere dell'urbanizzazione) può risultare di estrema importanza ai fini della ricostruzione delle caratteristiche della circolazione sotterranea, in quanto in particolari condizioni, la differenza di permeabilità rispetto ai terreni circostanti può far sì che questi costituiscono delle vere e proprie vie preferenziali di drenaggio.

I dati disponibili hanno permesso la costruzione di linee isofreatiche con equidistanza di 2 metri. Il modello di circolazione così identificato presenta la zona di massimo potenziale coincidente con il margine sud-occidentale dell'area indagata (Parco

di Centocelle), dove la superficie piezometrica si attesta intorno ai 30 m di quota.

Le linee di flusso evidenziano una direttrice indirizzata prevalentemente verso nord (quartieri Prenestino-Labicano) e verso est, con un flusso convergente verso l'ex Fosso di Centocelle, oggi trasformato in collettore fognario (Via Palmiro Togliatti). Fino agli anni '80 l'alveo del fosso era alimentato dalla falda regionale con un drenaggio che in magra raggiungeva alcune decine di litri al secondo. Oggi, essendo il fosso sostituito da un collettore, la circolazione sotterranea converge verso quest'opera.

La presenza di queste due aree di forte richiamo, evidenziate dalla forma stessa delle isolinee, ben concorda con l'assetto idrogeologico già proposto in precedenti studi (CAPELLI & MAZZA, 2005; CAPELLI *et alii*, 2005).

I gradienti idraulici evidenziati in carta presentano i valori massimi nei settori marginali e valori più bassi nella fascia centrale.

Caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee

Nel corso dei rilievi è stata condotta una campagna di rilevamento chimico-fisico delle acque sotterranee in pozzo. Tuttavia essendo normalmente i boccafiori sigillati, solo da poche perforazioni è stato possibile prelevare acqua per le determinazioni. Vengono di seguito riportati i dati rilevati:

n°pozzo	C ₂₀ (μ S/cm)	S (mg/l)	T (°C)	pH
608	1727	1310	14,7	6,69
609	1291	979	16,3	7,32
610	1247	946	16,4	7,06
611	1455	1104	16,0	6,86
612	1399	1061	15,8	6,97
833	815	584	-	-
834	673	481	-	-

Nel 1981, nel Fosso del Fontanile ubicato poco ad ovest del Fosso di Centocelle e drenante la stessa falda, furono rilevati i seguenti valori:

$$S \text{ (mg/l)} = 655; T \text{ (}^\circ\text{C)} = 9,4; \text{pH} = 7,8$$

Confrontando i dati numerici rilevati nei pozzi, con quelli relativi alla stessa falda controllata in superficie venti anni fa, si può osservare che la salinità è quasi sempre aumentata. Si ipotizza a tal riguardo che l'aumento di salinità sia dovuto a fenomeni di inquinamento.



4.5 - CARTA DELLO SPESSORE DEI RIPORTI

Ciò che è rappresentato e descritto nella carta geologica è per la maggior parte frutto di estrapolazioni condotte sulla base di deduzioni geometrico-stratigrafiche, in base alle informazioni provenienti dai sondaggi. L'urbanizzazione dell'area, nonché l'esistenza di ampie coperture, limita la possibilità di ritrovare gli affioramenti relativi alle diverse formazioni geologiche. Tali emergenze si riducono, così, a pochi siti utilizzabili come riscontro alle conclusioni tratte dalle analisi dei dati puntuali. Nella carta dei riporti (carta n° 3) è rappresentata la natura del terreno al di sopra del quale si articola l'insediamento urbano e al di sotto del quale si estendono le formazioni precedentemente menzionate. Questi terreni, di varia origine, frequentemente sono riferibili a ritombamenti di morfologie depresse (alvei, cave a cielo aperto) prodotti al fine di livellare le superfici destinate all'edilizia. A questo proposito si evidenzia come in carta siano state riportate anche le aree di antica attività estrattiva in quanto, specialmente per ciò che concerne le cave a cielo aperto, si presumono cospicui volumi di riporto (l'assenza di sondaggi in quelle aree specifiche non permette di determinare lo spessore di detti terreni). La potenza della coltre superficiale (sono stati contemplati anche i terreni vegetali e le discariche) è stata infatti identificata attraverso aree delineate sulla base delle informazioni provenienti dallo studio delle stratigrafie dei sondaggi, delle estrapolazioni condotte in funzione alle paleomorfologie e dal confronto con i dati altimetrici delle cartografie storiche reperite. Infine è necessario evidenziare che, proprio per la natura antropica di dette coperture e della conseguente eterogeneità degli spessori, si potrebbero riscontrare dati discrepanti provenienti da alcuni sporadici sondaggi. Si sottolinea, così, che il valore di dette zonazioni è frutto di una interpretazione statistica dei dati a disposizione e non dell'analisi puntuale di ognuno di essi.

4.6 - TAVOLE DEI PROFILI

Profili geologici

I profili geologici, costruiti in base alle informazioni fornite dalla carta geologica e all'interpretazione e correlazione delle informazioni puntuali (sondaggi), evidenziano la continuità laterale delle formazioni anche dove non è presente nessun tipo di esplorazione. La rappresentazione dell'assetto

geologico che ne deriva, pur essendo bidimensionale, scaturisce da una elaborazione realizzata su base tridimensionale.

Si sottolinea che nei profili la scala delle altezze è 10 volte la scala delle lunghezze, al fine di migliorare la leggibilità delle informazioni riportate.

Ai fini del presente studio le sezioni geologiche offrono importanti informazioni, poiché consentono di identificare gli orizzonti e le relative quote delle formazioni che potenzialmente sono in grado di ospitare cavità. Inoltre la conoscenza dello spessore e della natura dei litotipi sovrastanti può fornire ulteriori indicazioni sulla stabilità delle gallerie.

Il profilo A-A¹ (carta n° 4) attraversa l'intero territorio di studio da ovest ad est, spingendosi anche oltre i limiti amministrativi, delimitati sulla carta geologica e sui profili in rosso. Come già accennato, nel profilo compare una coltre continua di riporto, non rappresentata sulla carta geologica per motivi di leggibilità, ma riprodotta separatamente sulla carta n°3. Al di sotto la situazione si presenta piuttosto articolata e con delle discontinuità tra il settore occidentale e quello orientale: nel primo, fino al Fosso dell'Acqua Bullicante, sotto i riporti si rinvengono prodotti vulcanici più antichi rispetto al settore orientale; il termine più recente, infatti, è rappresentato dalle Pozzolane Rosse, mentre più ad est, sono presenti tutte le formazioni successive ossia le Pozzolane Nere (con una cavità accertata tramite i sondaggi 73-76), il Tufo Lionato e le Pozzolanelle. Si può notare anche come qui il Tufo Lionato, procedendo da est verso ovest, vada assottigliandosi fino a scomparire, tanto che le Pozzolanelle compaiono direttamente sovrapposte alle Pozzolane Nere nel settore compreso tra l'Acqua Bullicante e il sondaggio 11.

Tutto il settore orientale appare ribassato rispetto a quello occidentale; per spiegare questa discordanza tra le due zone è stata ipotizzata la presenza di una faglia diretta, in corrispondenza del Fosso dell'Acqua Bullicante, che avrebbe ribassato il settore orientale permettendo la conservazione dei litotipi più recenti, rimasti invece a quote più elevate ad ovest e quindi elisi dai fenomeni erosivi. A favore di questa ipotesi gioca anche la presenza, nelle vicinanze della faglia, di manifestazioni sorgentizie mineralizzate e ricche di CO₂, documentate dalla letteratura (CAMPONESCHI & NOLASCO, 1982) e visibili fino agli anni '50. La faglia avrebbe favorito la risalita dei fluidi endogeni mineralizzati, connessi all'antica attività vulcanica. La zona

interessata dalla faglia, resa più fragile dalla tettonizzazione subita, è diventata una fascia di erosione preferenziale su cui si è potuto impostare il fosso, documentato anche dalle alluvioni indicate in carta.

Sotto le Pozzolane Rosse, che in questo profilo hanno uno spessore massimo di 15 metri, sono stati rappresentati i Tufi Pisolitici *Auct.*, con uno spessore compreso tra 10 e 25 metri. Questa unità poggia sulle alluvioni della formazione di S.Cecilia e di Fosso della Crescenza, identificate nel settore occidentale fino al letto, situato ad una quota variabile da pochi metri a circa 20 metri sotto il livello del mare; due sondaggi hanno incontrato anche le sottostanti argille marine plioceniche che mostrano un andamento degradante verso est. Ad est della faglia i sondaggi non arrivano al substrato argilloso pliocenico e intercettano solo la formazione di S. Cecilia (Unità "b"); il limite con le sottostanti unità è stato quindi solo tratteggiato e poi sfumato per la mancanza di informazioni certe sul loro andamento.

Il sondaggio 47 ha inoltre evidenziato la presenza di una profonda incisione colmata da alluvioni sinvulcaniche in corrispondenza del Fosso dell'Acqua Bullicante: il letto di tali depositi è situato ad una quota di circa 8 metri sotto il livello del mare; vista l'entità del fenomeno erosivo, che interessa tutta l'unità piroclastica inferiore e almeno la formazione di S.Cecilia, si è ritenuto necessario verificare la bontà del dato tramite colloqui con i curatori del sondaggio e la ricerca di situazioni analoghe eventualmente riscontrate nelle zone limitrofe. In effetti, in base alle informazioni raccolte in entrambi i casi, è stato possibile confermare l'interpretazione proposta nel profilo. In particolare, poco più a nord del limite settentrionale del Municipio (Stazione Tiburtina) è stata accertata la presenza di depositi alluvionali a quote corrispondenti a quelle in questione.

Al di sopra delle alluvioni sinvulcaniche sono state infine segnalati i depositi alluvionali recenti ed attuali, legati all'attività dei corsi d'acqua nell'Olocene.

Il profilo B-B¹ (carta n° 5) attraversa il settore orientale della circoscrizione da nord a sud, passando per le strade principali quali le Vie Prenestina, Casilina e Tuscolana. L'assetto geologico rappresentato appare più lineare rispetto a quello del profilo precedente; al di sotto dei riporti figurano le Pozzolanelle o direttamente il Tufo Lionato che, come nel caso già descritto, appare con spessori

variabili (0-4 metri); seguono verso il basso le Pozzolane Nere (spessore 3-10 metri), le Pozzolane rosse con le cavità accertate dai sondaggi (spessore circa 10 metri) e i Tufi pisolitici (spessore 15-20 metri). La formazione di S.Cecilia (Unità "b") è stata intercettata solo dal sondaggio 11 ad una quota di circa 5 metri sotto il livello del mare.

Profili idrogeologici

Sono stati eseguiti 2 profili idrogeologici, uno orientato E-O (carta n° 4) e l'altro, trasversale al primo, NE-SO (carta n° 5).

Ambedue i profili mettono chiaramente in evidenza la presenza di una significativa continuità idraulica tra la formazione delle pozzolane e quella dei sottostanti tufi antichi (granulari). E' interessante osservare come invece non esista una correlazione evidente tra andamento della superficie piezometrica e morfologia superficiale; la circolazione profonda viene evidentemente influenzata dal particolare assetto geometrico di strutture più profonde (substrato a bassa permeabilità) (carta n° 2).

Nel profilo A (carta n° 4) uno dei motivi di maggior interesse è costituito dal ribassamento verso est che interessa le strutture prevulcaniche; il flusso sotterraneo proveniente dalle aree "distali" converge in una zona centrale, sita nei pressi di Via di Gordiani. Il profilo B (carta n° 5) evidenzia invece il trend prevalente osservato nell'area, con direttrici di flusso che dai settori più meridionali, dove la falda raggiunge i valori di massimo potenziale (30 m s.l.m.), si dirigono verso nord (il Tevere costituisce, infatti, verso nord il livello di base dell'acquifero indagato).

Profili delle cavità


Utilizzando tutti i dati di profondità delle calotte e delle altezze delle gallerie, sia di reti caveali mappate che di dati puntuali di sondaggi, si sono individuati per tutto il municipio 3 livelli di reti caveali con le seguenti quote medie delle calotte e delle altezze:

Livello	Quota calotta (m s.l.m.)	Quota pavimento (m s.l.m.)	Litologia
I	40	37	Pozzolanelle (VSN ₂)
II	34	31	Pozzolane Nere (PNR)
III	27	24	Pozzolane Rosse (RED)

Le quote di cui sopra sono riferite ai valori mediani (più frequenti) con variazioni di 1-2 metri.

A seconda della quota topografica e dei limiti di





coltivazione dovuti alla presenza di falda nelle varie zone, sono presenti o uno o l'altro dei suddetti livelli di gallerie; soltanto nella zona centro-orientale del municipio (area Gordiani) si individuano due livelli sovrapposti, relativi ad antiche cave, in compresenza con un ulteriore livello più alto, riferibile alle catacombe dei SS. Pietro e Marcellino.

4.7 - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

La parametrizzazione geomeccanica è sviluppata prevalentemente per i litotipi piroclastici ed in particolare per le unità pozzolanacee che sono state oggetto di attività di cava in sotterraneo. Insieme alle piroclastiti verranno analizzate anche le caratteristiche geotecniche dei terreni di riporto e delle alluvioni oloceniche dei fossi. Non viene affrontata pertanto la discussione delle caratteristiche geotecniche delle unità prevulcaniche.

I parametri fisico-meccanici sono riferiti a prove di laboratorio ed in sito relativi a indagini geognostiche che hanno interessato il VI Municipio; per aumentare la popolazione di dati sono stati inclusi anche dati geotecnici tratti da studi eseguiti esternamente al Municipio, ma sempre in aree prossime ad esso (V e VII Municipio).

Sono stati utilizzati i risultati ricavati da circa 230 campioni.

Si descrivono qui di seguito le caratteristiche geotecniche dei vari litotipi (unità litotecniche), dall'alto verso il basso.

Terreni di riporto antropico

Dal punto di vista granulometrico essi sono costituiti prevalentemente da sabbie limose di natura essenzialmente piroclastica, con abbondanti elementi eterometrici di tufo lapideo e trovanti eterogenei (frammenti di laterizi, ecc.).

I riporti sono diffusi in tutta l'area del VI Municipio con spessori maggiori in corrispondenza degli antichi fossi e delle zone di disturbo legato alle passate attività di cava.

Questi terreni sono caratterizzati da un'estrema eterogeneità granulometrica e da un comportamento geomeccanico frizionale con elevata deformabilità.

Unità delle alluvioni recenti

Nell'area esaminata sono presenti soltanto depositi alluvionali recenti riferiti alle paleovalli e ai Fossi della Marranella (o dell'Acqua Bullicante)

e di alcuni rami dei Fossi di Centocelle che dai rilievi del *plateau* piroclastico scendevano fino al fondovalle del Fiume Aniene in direzione nord. Trattasi di depositi limo-sabbiosi, localmente limo-argillosi, con inclusi elementi fluitati di origine prevalentemente tufacea; il colore è molto variabile dal giallastro al grigio-nerastro per la presenza diffusa di sostanza organica.

Il comportamento geomeccanico è variabile a seconda del prevalere di una matrice sabbiosa o limo-argillosa, in frequente giacitura eteropica; trattandosi, inoltre, prevalentemente di materiale piroclastico rimaneggiato e più o meno argillificato, si individuano a volte valori medio-alti dei Limiti di *Atterberg*. Si può assumere comunque una resistenza al taglio governata prevalentemente dalla resistenza attrittiva e un medio-basso livello di addensamento e/o coesione, a seconda del prevalere della frazione sabbiosa o limo-argillosa, con deformabilità medio-alta.

Unità dei depositi piroclatici pleistocenici

Pozzolanelle (VSN₂)

Il membro delle Pozzolanelle della formazione di Villa Senni è rappresentativo degli ultimi prodotti eruttati dal Vulcano Laziale e pertanto è presente alla fine della serie deposizionale piroclastica ed alle quote più elevate.

Le Pozzolanelle sono definibili litologicamente come una piroclastite massiva, essenzialmente granulare; dal punto di vista tessiturale si passa da tufi cineritici fino a tufi relativamente più scoriacei ed a volte pozzolanacei.

Le caratteristiche geotecniche sono sempre ottime con elevati valori di resistenza al taglio e bassa deformabilità; sovente si passa da elevati addensamenti a stati semilapidei.

Tufo Lionato (VSN₁)

Il Tufo Lionato, membro inferiore della formazione di Villa Senni, presenta un colore dal giallo chiaro all'arancio e consistenza lapidea; può presentarsi con un variabile grado di fratturazione. Tale deposito è costituito da una matrice cineritica completamente zeolitizzata contenente cristalli di leucite analcimizzata, biotite e pirosseno, scorie grigiastre e pomici giallastre, e litici lavici.

Il Tufo Lionato si presenta in genere con un aspetto lapideo, e ciò si verifica soprattutto quando lo strato è di spessore significativo (maggiore di 3 m), altrimenti può presentarsi in un assetto da semilapideo a molto addensato, qualora i fenomeni

di zeolitizzazione non si sono sviluppati come nelle aree a modesto spessore o nelle zone marginali della colata stessa.

Tale differenziazione geotecnica è molto importante ai fini del presente studio in quanto, poiché gli strati pozzolanacei oggetto di attività di cava sono sottostanti al tufo lapideo, quest'ultimo se presente in uno stato lapideo può assicurare un certo grado di sicurezza alla migrazione ed evoluzione delle calotte delle cavità verso la superficie. Di contro tale sicurezza non sussiste o è decisamente minore come nel caso del Tufo Lionato addensato e/o semilapideo; in tale circostanza risulta molto difficile discriminare geotecnicamente il Tufo Lionato dalle sovrastanti Pozzolanelle.

Tufi pedogenizzati

All'interno della serie piroclastica sono presenti degli orizzonti di limitato spessore (0.5-2.5 m) di tufi pedogenizzati, più o meno argillificati, intercalati fra le Unità di Villa Senni, delle Pozzolane Nere e delle Pozzolane Rosse (rispettivamente SLV e LLT nella carta geologia allegata al presente volume).

Sono caratterizzati da limitati spessori ed a volte il passaggio verso le unità sovrastanti e sottostanti è senza soluzione di continuità; i tufi in questione non hanno particolare importanza dal punto di vista geotecnico in relazione al comportamento geomeccanico massivo della sequenza piroclastica.

Pozzolane Nere (SLV)

Inferiormente alla formazione di Villa Senni e con le intercalazioni dei tufi pedogenizzati di cui sopra, è presente l'ignimbrite delle Pozzolane Nere; nell'area del VI Municipio in questo strato pozzolanaceo è presente un primo livello di gallerie.

Trattasi di tufi scoriacei, a granulometrie sabbioso-ghiaiose, sempre molto addensate.

Il comportamento geomeccanico è governato decisamente dalla resistenza frizionale, anche se, e soprattutto a bassi livelli tensionali, a volte può essere assunto un comportamento semilapideo.

L'esecuzione di prove di laboratorio su campioni pozzolanacei determina l'acquisizione di elevati valori di angoli di attrito e di coesione bassa o nulla, talché valutando la stabilità delle gallerie con tali parametri si otterrebbero valutazioni di stabilità molto critiche fino a collassi immediati: eppure tali gallerie sono presenti a volte da decenni o da

centinaia di anni. Tali incongruenze si realizzano in quanto la struttura litologica e geotecnica dei terreni tufaceo-pozzolancei in genere rende tali terreni molto sensibili ai disturbi indotti dalla perforazione, dal campionamento e dalla confezione dei provini; infatti la coesione di litotipi tufaceo-pozzolancei è dovuta non tanto a fenomeni di consolidazione indotti dai carichi geostatici, ma dalla saldatura delle scorie, più o meno intensa e variamente distribuita negli ammassi e pertanto tale coesione non può essere valutata secondo i modelli geomeccanici dei "terreni coesivi" come, per esempio, delle argille.

Il problema maggiore risiede pertanto nell'individuare una coesione dell'ammasso pozzolanaceo che sia attendibile riguardo alle reali condizioni geomeccaniche e tensionali esistenti in sito.

Inoltre la parametrizzazione geomeccanica risulta particolarmente delicata, poiché i tufi pozzolanacei in esame sono collocabili in un campo intermedio fra la Meccanica delle Terre e la Meccanica delle Rocce; più propriamente andrebbero collocati a nostro giudizio nell'ambito delle Rocce Tenere o Molto Tenere (*Weak Rock*).

Pertanto nelle valutazioni che seguiranno si assume per le pozzolane un comportamento semilapideo (rocce tenere) e con una resistenza monoassiale $sf = 200-800$ KPa; tali valori sono stati ottenuti da prove di compressione in laboratorio su campioni del diametro delle carote, preparate dopo "capping" sulle facce superiore ed inferiore.

E' da sottolineare che questi valori sono in accordo con quelli ricavati prelevando campioni cubici di varia dimensione nelle Pozzolane Rosse e Nere delle Tre Fontane (BERNABINI, 1965; BERNABINI *et alii*, 1965).

Pozzolane Rosse (LLT)

Le Pozzolane Rosse, presenti a profondità maggiori, sono anch'esse state oggetto di passate attività di cava e, nel VI Municipio, ospitano un secondo livello di gallerie fino a profondità che potevano essere raggiunte dalla morfologia locale, dal livello di falda e, ovviamente, dalle passate tecniche di scavo.

Trattasi di tufi scoriacei, a granulometrie sabbioso-ghiaiose, sempre molto addensati.

Il comportamento geomeccanico è governato decisamente dalla resistenza frizionale, anche se, e soprattutto a bassi livelli tensionali, a volte può essere assunto un comportamento semilapideo.

Nelle pozzolane nere sono presenti le proble-



matiche legate al comportamento geomeccanico ed alle difficoltà di campionamento già descritte per le pozzolane rosse.

Tufi pisolitici, Auct.

Trattasi di tufi stratificati a granulometrie cineritiche e/o granulari, di colore marrone, con livelli pedogenizzati, provenienti prevalentemente dai Distretti Vulcanici dei Sabatini e dei Colli Albani (Unità di Casale del Cavaliere, KKA; Unità del Palatino, PTI; Unità di Tor de' Cenci, TDC nella Carta Geologica del Comune di Roma allegata al presente volume).

I depositi piroclastici di ricaduta sono caratterizzati da una alternanza di livelli a diversa granulometria e stato di alterazione, con spessore variabile da alcuni centimetri al metro, costituiti da orizzonti cineritici, lapillosi e scoriacei, da sciolti a marcatamente cementati.

Qui di seguito sono riassunti i principali parametri fisico-meccanici delle unità litologiche sopra descritte:

Litotipi	Peso di volume (kN/m ³)	Angolo di attrito (°)	Coesione drenata (kPa)	Resistenza a compressione monoax. (kPa)	Modulo di Deformazione (mPa)
Riporti	15-16	25-30	0	-	3-10
Alluvioni recenti dei fossi	17-18	23-26	20-30	-	6-10
Pozzolanelle	15-17	25-35	10-30	-	10-20
Tufo Lionato lapideo	16-18	-	-	5000-10000	100-150
Tufo Lionato non lapideo	15-17	35	15-35	-	15-30
Tufi pedogenizzati	16-18	24-33	10-15	100-300	6-8
Pozzolane Nere	15-18	30-36	10-30	200-800	30-40
Pozzolane Rosse	16-18	33-38	15-40	300-800	50-60
Tufi pisolitici	16-17	30-32	10-30	-	13-15

5 - CONTESTO ANTROPICO

5.1 - CARTA DELLO SVILUPPO URBANO

In relazione al rischio di crollo di cavità sotterranee, si è resa necessaria l'analisi delle tipologie costruttive dei fabbricati presenti nel territorio circoscrizionale. Mancando però un censimento aggiornato al riguardo, si è proceduto ad effettuare una stima di massima delle suddette tipologie, associando a determinati intervalli temporali uno stile costruttivo prevalente (vedi seguito).

Sono state quindi reperite una serie di carte storiche che hanno permesso di definire lo sviluppo urbano del territorio del VI Municipio dal XVII secolo fino al 1991, data relativa al volo aereo con il quale sono state effettuate le foto che hanno costituito la base per le restituzioni di cui la Carta Tecnica Regionale della Regione Lazio. Sono stati inoltre effettuati dei sopralluoghi sul terreno per identificare eventuali ulteriori sviluppi del tessuto urbano nell'ultimo decennio.

Le informazioni sono state sintetizzate nella Carta dello sviluppo urbano (carta n° 6).

In tale carta gli intervalli temporali non costituiscono delle date associate a particolari eventi costruttivi, bensì quelle di edizione delle carte topografiche compilate per finalità di piano regolatore o per gestione della rete tranviaria o per altro motivo.

Si sottolinea che l'analisi è stata effettuata non alla scala del singolo edificio, ma per zone. Inoltre, ogni area è stata classificata secondo il primo periodo di urbanizzazione; non sono state quindi considerate eventuali ricostruzioni avvenute nei periodi successivi.

Nella medesima carta sono stati riportati i dati dal 1868, data di edizione della prima restituzione topografica sulla quale sono indicate infrastrutture tutt'oggi presenti (rete ferroviaria). La cartografia edita fino a quel

momento riporta per il territorio in esame solamente isolate costruzioni (ville e casali rurali) delle quali oggi non esiste più traccia se non nei nomi propri della toponomastica.

Dall'osservazione dell'allegato si può notare che fino agli anni '20 il territorio del VI Municipio appariva del tutto privo di un tessuto urbano. Le uniche strutture presenti erano quelle in prossimità di Porta Maggiore. Il ventennio 1920-1940 rappresenta il primo periodo di grande sviluppo urbanistico dell'area. L'edilizia è prevalentemente popolare, residenziale con rari esempi di strutture adibite ad attività produttive (stabilimento "SNIA Viscosa" a Largo Preneste). Alla fine del secondo

conflitto bellico l'area urbanizzata arrivava alle zone Prenestino - Labicano verso est e Quadraro - Porta Furba verso sud. Con il boom economico di metà anni cinquanta, fino alla fine degli anni '60, il territorio in esame assume l'aspetto urbanistico tutt'oggi presente. L'edilizia continua a essere prevalentemente residenziale popolare e viene occupato praticamente quasi tutto il territorio a meno di alcune aree in seguito adibite a verde pubblico oppure urbanizzate in tempi recenti, come il grande complesso I.A.C.P. lungo Viale della Primavera.

5.2 - CARTA DELLE RETI DEI SOTTOSERVIZI

Al fine di giungere ad una conoscenza non soltanto geologica, ma anche "antropica" del sottosuolo dell'area, è stata realizzata una carta delle *life-lines* (carta n° 7), il cui fine principale è quello di fornire una chiave di lettura delle attività e delle modificazioni (seppur superficiali) che si sono avute nel sottosuolo accanto alle reti caveali e che con queste ultime interagiscono, aumentando sicuramente il rischio.

Presso gli Uffici Tecnici del Comune di Roma è stato possibile reperire le planimetrie delle reti fognaria, idrica, elettrica, telefonica e del gas. Le planimetrie acquisite hanno permesso la realizzazione di una carta costituita dalla sovrapposizione di tanti livelli informativi quante erano le *life-lines* da cartografare. Anche se in possesso delle planimetrie della distribuzione della rete telefonica si è deciso di non rappresentarla, visto il minimo ingombro volumetrico dei cavi telefonici e la loro bassa tensione elettrica, caratteri quindi che "pesano" pochissimo ai fini del rischio. Per le altre reti invece si può certamente parlare di una loro partecipazione a definire una situazione di rischio legata alle dimensioni delle condotte, ai fluidi in esse circolanti (reti fognaria, idrica e del gas) o, come nel caso della rete elettrica, alle alte tensioni elettriche.

Il crollo caveale può indurre il danneggiamento di tali reti con conseguenze molto pericolose per la comunità, ma a sua volta può essere indotto dalla rottura delle suddette reti. Si pensi ad esempio allo scenario che si verrebbe a delineare per una eventuale perdita del sistema fognario o idrico: i liquidi andrebbero ad imbibire i terreni circostanti peggiorandone le caratteristiche geomeccaniche e quindi la stabilità; la presenza contemporanea di acqua, elettricità e gas nel sottosuolo, inoltre, parteciperebbe a definire un rischio di esplosività.

Per la rete fognaria viene riportato in rosso lo

sviluppo delle condotte principali di tipo VI bis, VII, VIII e IX. I collettori principali sono rappresentati da una linea rossa più spessa e tratteggiata. Il territorio, visto l'alto grado di antropizzazione, risulta percorso quasi totalmente dalla rete fognaria. Laddove figurano aree prive di linee non significa che non vi siano fogne, ma che la rete è costituita da condotte con dimensioni inferiori al tipo VI bis, non rappresentate in questa carta.

Le condotte tipo VI bis sono le più diffuse; un ramo percorre quasi tutto il tratto di Via Casilina compreso nel territorio del VI Municipio e le vie limitrofe. Il secondo tipo di condotta più diffuso è il VII, che interessa in gran parte la Via Prenestina, l'asse Via di Portonaccio-Acqua Bullicante, i quartieri più recenti limitrofi alla Via della Serenissima. Le condotte di tipo VIII si sviluppano per una lunghezza molto limitata, mentre quelle di tipo IX sono rappresentate da un breve tratto (una decina di metri) che attraversa la Via Casilina all'incrocio con Via di Tor Pignattara.

Il collettore principale (2,5x3,0 metri) si sviluppa lungo l'asse Via della Serenissima - Via della Primavera, congiungendo la Via Prenestina con la Via Casilina, ed in un breve tratto tra Via dell'Acqua Bullicante e la Via Casilina. In carta sono riportati inoltre i versi di scorrimento dei liquami. E' stato possibile riconoscere che le condotte si approfondiscono dai 2 ai 6 metri dal piano stradale, mentre i collettori arrivano fino a 7 metri.

La rete idrica (linee di colore azzurro) interessa tutto l'areale del VI Municipio, ma ai fini del nostro studio si è deciso di cartografare (per i motivi suddetti) le condotte di diametro (in mm): 250-300-600-700-900-1000-1200-1400-1600-1700; le dimensioni delle condotte figurano accanto ad esse.

L'impianto di distribuzione maggiore riportato in carta, è il Centro Idrico Casilino, limitrofo al Parco di Centocelle.

La rete elettrica è rappresentata da linee di colore arancione, ed in particolare figura solo l'alta tensione. Questa si sviluppa lungo un asse principale che va da Via di Portonaccio a Porta Furba, seguendo il tracciato di Via dell'Acqua Bullicante. Da Piazza Zambecari la linea si ramifica andando ad interessare anche Via degli Angeli.

La presenza della linea ad alta tensione ed il suo relativo sviluppo sembrano strettamente legati alla presenza delle linee ferroviarie Roma-Pescara e Pisa-Napoli.

La rete del gas, rappresentata da linee di colore verde, ha uno sviluppo areale omogeneo, andando



ad interessare sia le direttrici stradali principali che quelle secondarie. Risultano cartografate le condotte di diametro (in mm): 200-250-300-400. I diametri delle condotte sono riportati accanto allo sviluppo delle condotte stesse.

5.3 - CARTA DELLA PRESENZA DI CAVITÀ

Nella carta n° 8 sono riportate tutte le indicazioni relative all'esistenza di aree ipogee. Alcune di queste sono state individuate grazie a ricerche bibliografiche su documenti storici, dal 1924 ai giorni nostri (VENTRIGLIA, 1971 e 2002; CRESCENZI *et alii*, 1995). Sono indicate aree caveali delle quali, purtroppo, non è dato sapere se si tratti di imbocchi di cavità sotterranee, cave a cielo aperto o voragini. E' presumibile pensare che ciò che è delineato da morfologie allungate, specialmente se posto in prossimità dei paleovalvei, possa rappresentare l'imbocco di ipogei. In altri casi sono indicate aree sotterranee nelle quali sono stati effettuati o rilevamenti topografici, o indagini televisive, nei casi di presenza di acque (reflui fognari) e di accessi impediti. Sono evidenziate, inoltre, segnalazioni puntuali di cavità derivate da varie fonti. Altresì sono indicati importanti crolli o dissesti che però non hanno interessato la superficie, ma sono avvenuti in ipogeo. E', infine, indicata l'area caveale attualmente utilizzata a fungaia nella quale sono state condotte analisi e studi specifici di stabilità, utilizzando il metodo proposto da BERNABINI *et alii* (1965).

6 - VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI CROLLO DI CAVITÀ SOTTERRANEA

Relativamente al concetto di Rischio nella letteratura scientifica si danno le seguenti definizioni:

Elementi di rischio (E): soggetti di impatto all'interno delle aree esposte al pericolo. Negli elementi a rischio sono in genere inclusi: la popolazione, gli edifici, le infrastrutture, l'economia, la cultura e le tradizioni storiche, ambienti naturali ed ecosistemi, le falde acquifere, ecc.

Vulnerabilità di un elemento a rischio (V): attitudine a subire un danno; V può variare da 0 (nessun danno) a 1 (perdita totale).

Severità dell'impatto o danno (D): prodotto tra gli elementi a rischio e la vulnerabilità degli stessi

$$D = E \times V$$

Pericolosità (P): probabilità che si verifichi un

evento di una data intensità in un periodo di tempo assegnato t.

Rischio (R): definito come il prodotto fra la Pericolosità e il Danno:

$$R = P \times D = P \times E \times V$$

6.1 - APPLICABILITÀ DEL CONCETTO DI RISCHIO AL PROBLEMA "CROLLO PER CAVITÀ SOTTERRANEA"

Come visto in precedenza, nella definizione del rischio sussistono due elementi: uno relativo alla possibilità che in un certo arco di tempo si verifichi l'evento indesiderato ed uno relativo alla gravità ed entità dei danni locali ed areali che tale evento può determinare.

Le problematiche di definizione del rischio sono già state affrontate, pur con modalità differenti, nei differenti campi della geologia (rischio sismico, vulcanico, di esondazione fluviale, ecc.). Nel caso del rischio sismico, vulcanico, di esondazione sono possibili valutazioni probabilistiche derivate dalla analisi di serie storiche e valutazioni di gravità intrinseca dell'evento per mezzo di scale empiriche (scale di intensità sismica, quote idrometriche, ecc.). Al contrario, nel caso della valutazione della pericolosità conseguente al crollo di una cavità sotterranea non è possibile eseguire valutazioni 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.

In tale senso si assume che sia possibile individuare situazioni di maggiore o minore pericolo (o più classi di pericolo), attraverso l'analisi di una serie di "indicatori" (vedi oltre). 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.

In relazione alla vulnerabilità del sistema superficiale che può subire danni (area urbana), sussistono minori problemi per la sua definizione, nel senso che è ovvio che le tipologie infrastrutturali (che verranno di seguito definite) porteranno alla individuazione di elementi meno vulnerabili (parchi, aree marginali, edifici con fondazioni profonde, ecc.) e di elementi più vulnerabili (edifici con fondazioni dirette, manufatti di importanza storica, ecc.).

6.2 - I SISTEMI COINVOLTI NEL PROBLEMA "VORAGINE"

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". Si possono individuare i sistemi ipogeo e insediativo:

Sistema ipogeo

Il sistema ipogeo è rappresentato dalla presenza di cavità sotterranee, come sono realmente ad oggi esistenti anche in relazione alla loro storia evoluti-

va e tensionale. Il livello di equilibrio e/o squilibrio statico di tale sistema, che si esplica con la possibilità di verificarsi di crolli, è all'origine degli impatti negativi e distruttivi sul sovrastante sistema insediativo (fig. 3).

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



Fig. 3 - Fenomeni di crollo all'interno della rete caveale. - *Underground cavity collapse.*



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. Si possono individuare alcuni indicatori di vulnerabilità (vedi oltre).

Questo schema concentra l'attenzione sui danni che possono colpire il tessuto urbano e la popolazione, in quanto in questa sede si pone principalmente l'obiettivo di una corretta gestione da parte della Amministrazione Pubblica delle problematiche relative ai rischi per la città, in termini di organizzazione amministrativa e non unicamente l'analisi tecnico-scientifica della stabilità degli ipogei in se stessi (anche se tale contesto è, come visto, fondamentale). Vale a dire che le problematiche tecnico-scientifiche di valutazione evolutiva delle cavità sono funzionali e subordinate alla necessità di impostare un ottimale governo tecnico-amministrativo dei problemi in oggetto.

Si elencano di seguito alcuni danni che possono interessare il 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 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 e perdite della rete idrica e/o fognaria che possono portare, con incrementi di carico, tensioni dinamiche e scaldamento delle caratteristiche geotecniche dei terreni, ad accelerare le evoluzioni delle cavità verso condizioni di maggiore pericolosità ed instabilità.

Riassumendo si realizzano le relazioni fra i vari sistemi (origine e bersagli di impatti) come illustrato nella figura 4.

6.3 - INDICATORI DI PERICOLO DEL SISTEMA IPOGEO E DI VULNERABILITÀ DEL SISTEMA INSEDIATIVO

Al fine di individuare i livelli di pericolo di crollo degli ipogei e di vulnerabilità territoriale, si possono selezionare alcuni indicatori la cui disponibilità e qualità è funzione della scala di lavoro e dei dati effettivamente acquisibili.

Qui di seguito sono elencati alcuni indicatori che possono essere utilizzati per definire il Pericolo di sprofondamento legato al crollo di una cavità:

- numero di cavità;
- profondità calotta;
- dimensioni planimetriche caveali, cavità unica, rete caveale, ecc.;
- percentuale di scavo;
- rapporto fra altezza e larghezza dei pilastri;
- rapporto fra profondità e larghezza della cavità;
- tipologia (cava, cunicolo idraulico, catacomba, ecc.);
- geologia, litologia, stratigrafia;
- idrogeologia;
- caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni;
- stato tensionale ed evolutivo delle gallerie



Fig. 4 - Relazione fra i diversi sistemi (origine e bersagli di impatti). - Relations between the various systems (origin and targets of impact).

(dedotto da analisi diagnostica visiva delle cavità o calcolato con il metodo dell'area tributaria);

- presenza di strutture di sostegno in sotterraneo;
- reti idriche e fognarie lesionate e con perdite (sistema insediativo);
- vibrazioni del traffico (sistema insediativo);
- presenza di sovraccarichi derivati da fondazioni dirette (sistema insediativo).

Qui di seguito, invece, sono elencati alcuni indicatori per individuare i livelli di Vulnerabilità del sistema insediativo:

- presenza o meno di edifici;
- tipologie dei manufatti;
- tipologie fondazionali;
- presenza di reti di sottoservizi.

6.4 - METODOLOGIA OPERATIVA PER IL PERICOLO "VORAGINE" NEL VI MUNICIPIO

In base a quanto esposto, nell'ambito della individuazione dei livelli di Pericolo e di Vulnerabilità si sono selezionati i seguenti indicatori:

Nell'ambito della definizione dei livelli di pericolo si è redatta una carta della propensione al crollo, mentre per la valutazione della vulnerabilità si è costruita una carta delle tipologie edilizie e della rete di comunicazione.

PERICOLO DI CROLLO
– aree senza cavità
– profondità calotte
– presenza di Tufo lapideo in calotta

VULNERABILITA'
– aree non edificate
– tipologie strutturali e fondazionali delle aree edificate
– gerarchia strade (vibrazioni)

La sovrapposizione di queste due carte ha permesso una zonazione di tre livelli di rischio rappresentati nella loro distribuzione areale nella carta del rischio di crollo di cavità sotterranee.

6.5 - CARTA DEGLI ELEMENTI DI PROPENSIONE AL CROLLO

Si tratta di una carta propedeutica a quella del rischio di crollo nella quale sono evidenziati tutti i fattori (naturali ed antropici) predisponenti eventuali voragini (carta n° 9). Tra gli elementi naturali sono stati evidenziati:

- La presenza di terreni alluvionali connessi a paleoreticoli, indice di assenza di attività estrattiva nell'immediata vicinanza all'asta fluviale (indicativamente posta al centro della formazione), ma anche dalla possibile esistenza di imbocchi di ipogei in prossimità dei versanti.

- L'assenza di Tufo Lionato, oppure la presenza di questo in *facies* non litoide, ovvero litoide, ma con spessori inferiori ai 2 metri (*classe A*). Queste condizioni determinano un aumento della predisposizione al crollo per la mancanza dell'effetto trave prodotto da tale formazione che, salvo alcuni *gap* deposizionali, è posta al tetto delle Pozzolane inferiori (sede di attività estrattiva).

- La presenza di Tufo Lionato in *facies* litoide con spessori superiori ai due metri (*classe B*). Tale condizione è, invece, indice di minore predisposizione al crollo in conseguenza dell'effetto trave richiamato nel punto precedente.

Tra gli elementi di origine antropica sono stati esaminati:

- La profondità della volta delle cavità sulla base dell'analisi dei sondaggi che hanno evidenziato la presenza di ipogei. Diversi sondaggi indicano l'esistenza di due reti caveali distinte e sovrapposte; ai fini dello studio in questione sono stati considerati solo i livelli superiori in quanto responsabili in maggior misura, rispetto ai livelli più profondi, di crolli in superficie per apertura di voragini.

- Le informazioni sulle voragini che in tempi recenti si sono verificate all'interno dell'area di competenza del VI Municipio reperite presso l'Ufficio Stabili pericolanti del Comune di Roma.

L'area in esame è stata, quindi, suddivisa in tre zone rappresentative di tre *range* relativi ai valori dello spessore del substrato sovrastante le cavità. Anche in questo caso, come per la carta dei rapporti, si sottolinea che in alcuni casi è possibile trovare dati inerenti ad alcuni sondaggi discrepanti con il valore attribuito dalla zonazione che è frutto di una valutazione statistica.



6.6 - CARTA DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE E DELLA RETE DI COMUNICAZIONE

Sulla base della “Carta dello sviluppo urbano” è stata effettuata una stima delle tipologie costruttive in relazione alle opere fondazionali (carta n° 10). Lo sviluppo edilizio del VI Municipio si è svolto quasi esclusivamente nell’ambito di strutture residenziali popolari, con tipologie di fondazioni che rispecchiano lo *standard* metodologico costruttivo dell’epoca in cui le stesse sono state edificate.

Sono stati considerati tre intervalli temporali, ognuno caratterizzato da specifiche strutture e fondazioni e, relativamente alla “Carta dello sviluppo urbano”, sono state definite le seguenti aree:

aree edificate fino al 1950, caratterizzate da strutture in muratura e/o blocchetti di tufo e fondazioni di tipo superficiale;

aree edificate dal 1950 al 1960, caratterizzate da strutture in muratura e/o blocchetti di tufo e/o miste con cemento armato e fondazioni di tipo superficiale;

aree edificate dal 1960 a oggi, caratterizzate da strutture intelaiate, in cemento armato e fondazioni di tipo profondo.

Si ricorda che la suddetta analisi, anche se abbastanza di dettaglio, non è avvenuta alla scala del singolo palazzo; ciò vuol dire, in sostanza, che non sono stati considerati quegli stabili ricostruiti in epoca successiva a quella di appartenenza dell’area sulla quale ricadono.

Inoltre, sulle aree non edificate, per i medesimi motivi, non si è tenuto conto delle case sparse o delle strutture leggere oppure dei ruderi su di esse ospitati.

La rete viaria dell’area in esame è stata suddivisa in quattro classi a seconda del grado di importanza attribuibile ad ogni tracciato determinato dall’estensione di quest’ultimo e dall’entità del traffico. Le strade a grande viabilità sono essenzialmente quelle di collegamento tra la città ed i siti esterni ad essa. Le strade extracircostrizionali rappresentano importanti arterie all’interno della città; fortemente trafficate, collegano importanti punti nodali urbani. Le strade circostrizionali attraversano quasi per intero la circostrizione raccordandosi alle strade a grande viabilità e alle strade extracircostrizionali. Le strade locali, infine, rivestono un’importanza gerarchica minore rispetto le altre in quanto di scarsa percorrenza ed estensione.

6.7 - CARTA DEL RISCHIO DI CROLLO

Alla luce delle considerazioni circa la complessità di definire il rischio di crollo di cavità sotterranee (carta n° 11) si è costruita una matrice concettuale sulla base di indicatori di vulnerabilità delle infrastrutture (vedi carta n° 10) e di indicatori di pericolo (vedi carta n°9).

Si sono definiti i seguenti indicatori degli elementi di propensione al crollo, con livelli di pericolo crescente (fig. 5):

1) Aree con assenza di cavità per motivi geologico-stratigrafici (aree delle alluvioni dei fossi).

2) Aree con profondità della volta delle cavità > 8 m dal p.c. e con Tufo Lionato di classe B.

3) Aree con profondità della volta delle cavità compresa fra 4 e 8 m dal p.c. e con Tufo Lionato di classe A o B.

4) Aree con profondità della volta delle cavità < 4 m dal p.c. e con Tufo Lionato di classe A.

Si sono definiti i seguenti indicatori degli elementi di vulnerabilità del sistema insediativo, con livello di vulnerabilità crescente:

1) Aree prevalentemente non edificate (ospitano case sparse, strutture leggere, ruderi).

2) Aree edificate prevalentemente con strutture intelaiate in cemento armato, con fondazioni di tipo profondo.

3) Aree edificate prevalentemente con strutture in muratura e/o miste in cemento armato, con fondazioni di tipo superficiale. Strade ad alta viabilità urbana ed extracircostrizionale e direttrici principali delle reti di sottoservizi.

4) Aree edificate prevalentemente con strutture in muratura, con fondazioni di tipo superficiale. Strade ad alta viabilità urbana ed extracircostrizionale e direttrici principali delle reti di sottoservizi.

Gli indicatori scelti sono ovviamente soggettivi, o meglio sono quelli che sono apparsi più significativi in relazione alla scala del lavoro, alla attendibilità e distribuzione dei dati a disposizione, ecc.; è ovvio che una maggiore mole di dati o una più precisa e completa serie di indicazioni sulle geometrie locali degli ipogei, potrebbe aiutare a costruire una matrice più completa.

Elaborando i suddetti indicatori in una matrice si individuano n. 16 relazioni che esprimono diverse potenzialità di rischio che sono state raggruppate, per una leggibilità ottimale della carta in funzione della scala del lavoro, in 3 livelli di rischio:

- Rischio alto;

- Rischio medio;
- Rischio nullo o basso.

Il rischio alto indica che nell'area sussistono condizioni geometriche degli ipogei con notevole propensione a crolli, in presenza di infrastrutture edilizie con fondazioni dirette e comunque tali da essere gravemente coinvolte dal dissesto. Le zone interessate sono soprattutto quelle occidentali (area del Pigneto) ove si associa una edilizia dei primi del '900 a cavità sotterranee di età più antica, molto lesionate e con calotte prossime al piano campagna; sovente in questa area si sono individuate coltri eterogenee di terreni sciolti riconducibili a riempimenti di antiche voragini che interagiscono con la eventuale circolazione idrica e/o fognaria nelle cavità e nei riporti stessi, aggravando le condizioni di stabilità globale. Si sono considerate ad alto rischio tutte le vie stradali principali sia a causa della presenza di reti di sottoservizi importanti, che per le vibrazioni del traffico. L'area a rischio alto dovrebbe essere analizzata dai tecnici responsabili, individuando in essa le zone più critiche ove dirottare risorse economiche per interventi estensivi di risanamento (reti fognarie, miglioramenti del manto stradale, politiche di miglioramento statico e strutturale di edifici, interventi diretti di consolidamento). In questa area, dallo studio emergono come zone di particolare criticità l'area degli edifici di Via Buie d'Istria, che sono dotati di fondazioni dirette su diffuse reti caveali invase da liquami, e l'area di Via Sezze e Via Formia, ove recenti crolli in sottoterraneo, hanno reso ancora più problematica la realizzazione della rete fognaria.

Il rischio nullo o basso esprime una condizione di assenza di cavità sotterranee o, pur in presenza di cavità, l'assenza di infrastrutture insediative significative (aree non edificate, parchi, ecc.); in tale contesto una eventuale voragine o subsidenza, pur restando una eventualità possibile, non determina rischi importanti al sistema insediativo (edifici, strade, fognature, ecc.). Queste aree sono presenti in tutto il settore centrale del Municipio.

Il rischio medio è definito come intermedio fra quelli già definiti e va inteso come condizione comunque dinamica, che tende nel tempo a raggiungere lo stato di rischio più elevato, soprattutto con riferimento alla evoluzione delle cavità. Le aree interessate sono ubicate a macchia di leopardo soprattutto nelle zone meridionali e orientali del

municipio: gli elementi caratterizzati sono condizioni geometriche delle cavità sufficientemente profonde e/o protette da uno strato di Tufo Lionato e/o da una edilizia più recente in cemento armato e/o con fondazioni profonde.

Oltre alla zonazione di rischio, nella carta sono indicati i centri ad alta frequentazione (scuole, ospedali, uffici municipali, che rappresentano punti di particolare importanza).

Tale suddivisione di rischio ha ovviamente valenza territoriale e prescinde da locali situazioni di pericolo di crollo dovute a fattori puntuali (perdite della rete idrica e fognaria, geometrie ipogee locali particolarmente critiche, ecc.). Comunque tale zonazione risulta sostanzialmente confermata dall'esame della localizzazione degli eventi di voragine che si sono storicamente succeduti nell'area del VI Municipio (vedi carta n°9), che sono maggiormente presenti nelle zone di alto rischio e in zone marginali di medio rischio.

7 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio ha permesso di effettuare una zonazione di rischio di crollo di cavità sotterranee relativamente all'intero territorio di competenza del VI Municipio del Comune di Roma.

Tramite il reperimento di una notevole mole di informazioni tecniche, ricavate dagli archivi di enti pubblici, privati e di liberi professionisti, si è prodotto un *database* contenente elementi stratigrafici, idrogeologici e geotecnici relativi a circa 850 perforazioni all'interno del territorio del VI Municipio e delle aree immediatamente circostanti.

Relativamente al contesto urbanistico, sono state reperite le informazioni circa la distribuzione delle reti gerarchicamente più importanti dei sottoservizi, nonché sullo sviluppo antropico dell'area con la conseguente analisi sulle tipologie costruttive, con specifico riferimento alle fondazioni.

Inoltre, è stato raccolto un elevato numero di informazioni relativamente a passate aperture di voragini, segnalazioni di ipogei e indagini e studi sul tema in oggetto.

Sulla base di tali informazioni si sono potute costruire 10 carte tematiche che descrivono l'assetto territoriale negli aspetti geoambientali e urbanistici del medesimo territorio.

L'analisi del rischio di crollo è stata impostata analizzando separatamente gli aspetti legati al pericolo di crollo degli ipogei e gli aspetti della vulne-





rabilità territoriale. Non è stato considerato l'elemento "valore", in quanto, riferendosi a un ambito urbano, è stato assunto come elevato e uniforme su tutto il territorio.

Si è, quindi, prodotta una carta del rischio di crollo di cavità sotterranee applicando una matrice concettuale che mette in relazione gli elementi di pericolo con gli elementi di vulnerabilità territoriale.

Dalla suddetta carta risulta che le zone a eleva-

to rischio sono soprattutto quelle occidentali (area del Pigneto) e alcune zone nel settore settentrionale (Via Buie d'Istria e strade limitrofe) e centrale (area Gordiani) del territorio in studio.

Si fa presente che la valutazione del rischio si è basata sulla qualità e quantità delle informazioni disponibili. Nell'ottica di una più precisa e puntuale valutazione del rischio, saranno particolarmente importanti i dati sulla stabilità dei singoli edifici.

		ELEMENTI DI PROPENSIONE AL CROLLO			
		Aree con assenza di cavità per motivi geologico-stratigrafici (alluvioni recenti e attuali)	Aree con profondità della volta delle cavità > 8 m dal p.c. e con Tufo Lionato di classe B	Aree con profondità della volta delle cavità compresa tra 4 e 8 m dal p.c. e con Tufo Lionato di classe A o B	Aree con profondità della volta delle cavità < 4 m dal p.c. e con Tufo Lionato di classe A
ELEMENTI DI VULNERABILITÀ DEL SISTEMA INSEDIATIVO	Aree prevalentemente non edificate (ospitano case sparse, strutture leggere, ruderi)	Green	Green	Green	Green
	Aree edificate prevalentemente con strutture intelaiate in c.a., con fondazioni di tipo profondo	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	Aree edificate prevalentemente con strutture in muratura e/o miste in c.a., con fondazioni di tipo superficiale. Strade ad alta viabilità urbana ed extracircostrizionali e direttrici principali delle reti dei sottoservizi	Green	Yellow	Orange	Orange
	Aree edificate prevalentemente con strutture in muratura, con fondazioni di tipo superficiale. Strade ad alta viabilità urbana ed extracircostrizionali e direttrici principali delle reti dei sottoservizi	Green	Yellow	Orange	Orange

Fig. 5 - Matrice concettuale che relaziona gli elementi di propensione al crollo con gli elementi di vulnerabilità del sistema insediativo.
- Conceptual matrix relating the collapse-prone elements to the vulnerable elements of the local human settlements.

BIBLIOGRAFIA

- BERNABINI M. (1965) - *Un esempio di applicazione dei metodi sismici allo studio del comportamento statico dei pilastri in sotterraneo*. Symposium A.M.S., Cagliari.
- BERNABINI M., ESU F., MARTUNETTI S. & RIBACCHI R. (1965) - *On the stability of the pillars in an underground quarry worked through soft pyroclastic rocks*. Symposium A.M.S., Cagliari.
- CAMPONESCHI B. & NOLASCO F. (1982) - *Le risorse naturali della Regione Lazio: Roma e i Colli Albani*. Regione Lazio, 7, Roma.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2005) - *Schema idrogeologico della Città di Roma - Gestione della risorsa idrica e del rischio idrogeologico*. In: Atti del convegno "la IV Dimensione - Lo spazio sotterraneo di Roma" Geologia dell'Ambiente - periodico trimestrale della SIGEA (Società Italiana di Geologia Ambientale), Anno XIII n° 4 (supplemento), Roma, p. 47-58.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (A CURA DI) (2005) - *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio - Gli acquiferi vulcanici*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale n.78. Pitagora Editrice, 216 pp., 4 tavv. f.t., 21 tavv. f.t. su CD-ROM allegato.
- CRESCENZI R., PIRO M. & VALLESI R. (1995) - *Le cavità sotterranee a Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 50, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, p. 249-278.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (questo volume) - *La nuova Carta Geologica di Roma (scala 1:10.000). Litostratigrafia e organizzazione stratigrafica*.
- LANZINI M. (1995) - *Il problema delle cavità sotterranee a Roma (un rischio geologico)*. SIGEA, Geologia dell'ambiente, 3, Luglio-Settembre 1995.
- MAZZA R., PAGANELLI D., CAMPOLUNGI P., CAPELLI G., LANZINI M., SERENI M. & DE FILIPPIS L. (2001) - *Rischio di crollo da cavità sotterranee nel settore orientale della città di Roma*. Atti del III Forum Italiano di Scienze della Terra GEOITALIA 2001, Chieti, 5-8 settembre 2001 (*extended abstract*), p. 414-416.
- VENTRIGLIA U. (1971) - *Geologia della Città di Roma*. Amministrazione Provinciale di Roma.
- VENTRIGLIA U. (2002) - *Geologia del territorio del Comune di Roma*. Amministrazione Provinciale di Roma, Servizio Geologico, Difesa del Suolo.

