

Banca dati delle cavità del sottosuolo dei comuni della Provincia di Napoli

Premessa

Nel 1997 tra l'Amministrazione Provinciale di Napoli ed il **C.I.R.A.M.** (Centro Interdipartimentale Ricerca "Ambiente") dell'Università di Napoli Federico II fu stipulata una convenzione per lo Svolgimento di studi mirati all'analisi dell'ambiente fisico ed antropizzato e all'individuazione e definizione dei rischi naturali ad esso connesso. Da questa analisi emerse evidente una maggiore concentrazione di cavità nell'area a Nord della città di Napoli, ed una disomogeneità in qualità e quantità dei dati disponibili sulle cavità presenti nel sottosuolo dei comuni della Provincia di Napoli.

Sulla base di queste conoscenze acquisite l'Amministrazione Provinciale di Napoli ha stipulato con il C.I.R.A.M. una seconda convenzione "Prima Convenzione sulle cavità", avviata nel 1999 e conclusasi nel 2000, per studi relativi al Progetto della costituzione di una Banca Dati delle cavità presenti nel sottosuolo dei comuni situati a Nord della città di Napoli. Tale Progetto ha interessata in particolare i comuni di Afragola, Arzano, Caivano, Cardito, Casalnuovo, Casandrino, Casoria, Casavatore, Crispano, Frattamaggiore, Frattaminore, Grumo Nevano e Sant'Antimo.

L'alto numero di cavità censite in questi comuni e l'alta pericolosità, connessa al cattivo stato di conservazione in cui molte di esse versano, ha spinto l'Amministrazione Provinciale a stipulare una terza convenzione "seconda Convenzione sulle cavità" con il C.I.R.A.M. per estendere lo studio delle cavità all'intero territorio provinciale con Il Progetto "Costituzione della banca dati delle cavità dei comuni della Provincia di Napoli".

Il Progetto "cavità", sintesi del lavoro svolto nell'ambito delle due Convenzioni

Nell'ambito della *prima convenzione*, stipulata tra l'Amministrazione Provinciale di Napoli ed il C.I.R.A.M., mirata allo studio dell'analisi dell'ambiente fisico ed antropizzato e all'individuazione e definizione dei rischi naturali fu operata una sintesi dei dati sulle cavità disponibili in letteratura e presso le Amministrazioni Comunali che

disponivano di dati derivanti dagli elaborati previsti dalla L.R. 9/83° da altri studi. Da tale studio emerse che la maggior parte delle cavità sono ubicate nella città di Napoli (Evangelista A. ,1991) e nei comuni a Nord della città (C.I.R.AM., Analisi dell'ambiente fisico ed antropizzato, individuazione e definizione dei rischi naturali, luglio1998). Nella tabella A sono riportati i dati estratti dalla letteratura (V. Alterbitini et al., 1988); in tabella B è riportata una sintesi dei dati contenuti negli adeguamenti alla L.R. 9/83; in tabella C sono infine restituiti i dati sulle cavità contenuti nella “Bozza dell'indirizzo politico del Piano di Coordinamento Provinciale”.

Comune	Cavità rilevate	Cavità non rilevate	Comune	Cavità rilevate	Cavità non rilevate
Afragola	400	200	Casoria	10	150
Arzano	-	150	Crispano	40	50
Caivano	-	200	Frattamaggiore	200	100
Cardito	15	50	Frattaminore	200	100
Casalnuovo	-	-	Grumo Nevano	60	25
Casandrino	15	50	S.Antimo	60	25
Casavatore	-	50	-	-	-

Tab. A : Comuni ubicati a Nord di Napoli interessati da cavità (da V. Alterbitini ed altri 1988).

I dati raccolti risultarono disomogenei in qualità e in quantità fra i diversi adeguamenti, poiché spesso basati su quanto veniva tramandato oralmente dalle persone senza un riscontro effettivo.

Comune	Cavità rilevate	Cavità non rilevate
Afragola	Non fornisce l'ubicazione, ma la zonizzazione del territorio comunale in base alla diversa concentrazione di cavità	
Arzano	-	156
Caivano	Non fornisce l'ubicazione, ma la zonizzazione del territorio comunale in base alla diversa concentrazione di cavità	
Cardito	-	144
Casalnuovo	Non fornisce l'ubicazione, ma la zonizzazione del territorio comunale in base alla diversa concentrazione di cavità	
Casandrino	19	7
Casavatore	Non fornisce l'ubicazione, ma la zonizzazione del territorio comunale in base alla diversa concentrazione di cavità	
Casoria	213	-
Crispano	-	49
Frattamaggiore	-	138
Frattaminore	Non fornisce l'ubicazione, ma la zonizzazione del territorio comunale in base alla diversa concentrazione di cavità	
Grumo Nevano	36	25
S. Antimo	-	55

Tab. B: Dati estratti dagli adeguamenti alla L.R. 9/83

Comune	Cavità censite	Comune	Cavità censite
Afragola	483	Casoria	90
Arzano	230	Crispano	21
Caivano	94	Frattamaggiore	247
Cardito	112	Frattaminore	176
Casalnuovo	127	Grumo Nevano	21
Casandrino	5	S. Antimo	60
Casavatore	117		

Tab. C: Dati estratti dalla Bozza dell'indirizzo politico del P.C.T. (Amministrazione Provinciale di Napoli).

Lo studio delle cavità, oggetto della seconda convenzione ha avuto come obiettivo la realizzazione di una banca dati informatizzata delle cavità presenti nei comuni di Afragola, Arzano, Caivano, Cardito, Casalnuovo, Casandrino, Casoria, Casavatore, Crispano, Frattamaggiore, Frattaminore, Grumo Nevano e Sant'Antimo. Tale studio è stato realizzato attraverso tre fasi fondamentali:

- raccolta di dati esistenti e reperimento di nuovi dati;
- analisi dei dati;
- informatizzazione

La prima fase di lavoro è stata realizzata da un gruppo di professionisti, iscritti all'albo dell'Ente, che ha recuperato e raccolto, in apposite schede predisposte per la sistematizzazione dei dati, tutte le informazioni sulle cavità relative a censimenti e studi specifici effettuati dalle Amministrazioni Comunali sullo stato del sottosuolo quali:

- l'ubicazione
- le dimensioni
- la litologia, la stratigrafia
- lo spessore del tufo in chiave
- lo stato delle cavità
- l'accessibilità ed il tipo di accessibilità
- la tipologia di cavità
- planimetrie e sezioni
- materiale fotografico

L'informatizzazione dei dati curata dal CIRAM può essere sintetizzata nelle seguenti fasi operative:

- realizzazione di un database alfanumerico

- realizzazione di un database geografico
- scansione e georeferenziazione delle basi topografiche
- ubicazione delle cavità e dei pozzi isolati
- scansione delle planimetrie e delle sezioni delle cavità

Il C.I.R.A.M. nella Seconda Convenzione sulle cavità ha esplicato un'attività di coordinamento suddivisa principalmente in due fasi: affiancamento ed assistenza scientifica ai professionisti incaricati dalla Provincia per il censimento e l'informatizzazione dei dati e l'individuazione di una normativa atta a disciplinare le attività del soprassuolo e a definire ambiti prioritari di intervento.

I professionisti incaricati del reperimento dei dati sulle cavità hanno inserito nel database informazioni relativamente a:

- ubicazione delle cavità
- modalità di accesso (pozzo, scala, accesso diretto da cortile o strada, altro);
- tipo di accesso alla cavità (pedonale, carrabile, da cortile, da strada, da locale al piano terra di un edificio, altro)
- tipo di proprietà da cui avviene l'accesso (pubblica, privata, altro)
- profondità del piano di calpestio della cavità in rapporto al piano del soprassuolo da cui avviene l'accesso
- utilizzazione del soprassuolo, con particolare attenzione per gli usi residenziali o per quegli usi che prevedono un'utenza di massa (scuole, ospedali, grandi magazzini, cinema teatri, etc.)
- rilevamento delle cavità censite nel primo Progetto sulle cavità
- individuazione su base cartografica di areali riportanti:
- densità di presenza di cavità per tipologie (come sopra.....)
- possibili interferenze tra la presenza di cavità e le reti infrastrutturali (immaginando di poter avere a disposizione il tracciato delle reti con relative quote etc.)
- individuazione dei possibili “rischi” o conflitti per le utilizzazioni al soprassuolo.

Gli ambiti prioritari di intervento sono stati individuati in base alle analisi indicati al punto precedente e per ognuno di essi sono stati previsti degli interventi finalizzati:

- a regolamentare o limitare le utilizzazioni al soprassuolo
- all'adeguamento delle reti dei sottoservizi

- all'indicazione circa le eventuali e possibili utilizzazioni delle cavità in relazione ad usi esistenti o previsti (dagli strumenti urbanistici comunali o da altri progetti di rilevanza sovracomunale) al soprassuolo
- alla possibile acquisizione pubblica di alcune cavità particolarmente interessanti dal punto di vista storico-archeologico.

La geologia della Provincia di Napoli

Il territorio della Provincia di Napoli è caratterizzato dalla presenza sia di rocce sedimentarie sia di rocce di origine vulcanica legate all'attività del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei (R. de Riso, L. Lirer; PTCP-Progetto Preliminare, 1999). Nel settore orientale e nord orientale, Penisola Sorrentina monti di Sarno e quelli dell'avellano-baianese, affiorano prevalentemente carbonati; nel settore occidentale affiorano prevalentemente rocce vulcaniche e vulcanoclastiche.

La Penisola Sorrentina costituisce nel suo insieme un elemento strutturale trasversale rispetto alla catena appenninica ed è altresì disarticolato in varie unità morfostrutturali minori (figg.1, 1a). Ciò in conseguenza degli eventi tettonici plio-quadernari che hanno individuato un settore nord-orientale energicamente sollevato (M.ti di Meta-M.te Faito), un settore centrale ribassato (Piana di Sorrento) ed un settore occidentale nel quale sono presenti motivi strutturali compressivi molto evidenti (M. San Costanzo, isola di Capri).

I Monti di Avella e di Sarno costituiscono il margine orientale carbonatico della Piana Campana; la loro costituzione litologica non è dissimile nelle linee generali da quella del settore orientale della Penisola Sorrentina.

In corrispondenza dei principali rilievi dell'area: M. Solaro, M. San Costanzo, M. Faito, M.ti di Avella affiorano rocce lapidee mesozoico-terziarie, costituite per lo più da calcari in genere ben stratificati e molto fratturati. In Penisola Sorrentina, la sequenza è interrotta da un banco dello spessore massimo di qualche decina di metri, costituito da marne ed argille marnose grigio-verdastre (livello ad *Orbitoline Auct.*). Nei comuni di Massalubrense-Nerano, di Vico Equense (Arola) e nell'isola di Capri in rapporti non sempre chiari con il substrato carbonatico si rinvencono alternanze di livelli arenaceo-marnoso-argillosi ed arenarie grossolane con stratificazione sovente indistinta. Le prime,

, presentano i caratteri di un'unità eterogenea e strutturalmente complessa (anche per la presenza di lenti inglobate di Argille Varicolori scagliose); le seconde sono talora in contatto di tipo trasgressivo con il substrato mesozoico.

I comuni di Gragnano, Seiano Vico Equense, e località Pozzano, e M.ti di Avella rappresentano le principali aree di affioramento di conoide ad elementi prevalentemente calcarei in matrice limo-sabbiosa talora di origine vulcanica.

Su tutta l'area descritta affiorano prodotti vulcanici da litoidi (tufi della Piana di Sorrento) a sciolti (piroclastiti in appoggio sui versanti carbonatici), connessi all'attività dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio.

L'area del Somma_Vesuvio può essere suddivisa in due settori: quello meridionale, più strettamente legato all'attività effusiva del Vesuvio, e quello settentrionale legato per la maggior parte all'attività del Somma.

Nel settore meridionale si distinguono:

Lembi dell'edificio del Somma dislocati e ribassati rispetto all'orlo calderico vesuviano, costituiti da depositi piroclastici con subordinate lave; la stratigrafia è mal definibile se non nella sua parte più alta dove affiorano depositi piroclastici fittamente stratificati (facies planari) appartenenti alla fase finale dell'eruzione di Avellino (3800 a.b.p.).

- *prodotti esplosivi dell'eruzione del 79 d.C.*: terreni piroclastici eterometrici incoerenti in giacitura primaria a matrice prevalente con a luoghi intercalati livelli piroclastici ben assortiti, affioranti lungo la costa. Negli scavi archeologici di Ercolano la parte basale delle pareti è costituita da termini debolmente litoidi;
- *terreni piroclastici di età compresa fra il 79 d.C. ed il 1631 d.C.* terreni rimaneggiati a stratificazione incrociata cui si intercalano livelli conglomeratici costituiti da frammenti lavici arrotondati, affioranti nella zona di Torre Annunziata e a Torre Basano, a tetto dei prodotti del 79 d.C.;
- *lave vesuviane di età medioevale* affioranti in modo discontinuo lungo la costa, tra Portici e Torre Annunziata;
- *lave vesuviane di età compresa fra il 1631 ed il 1944.*

Nel settore meridionale i prodotti dell'attività del Somma si rinvencono in sondaggio: nelle stratigrafie si evidenziano orizzonti continui di lave fra i 20 ed i 50 m di profondità dal p.c. Queste lave sepolte possono essere correlate a quelle che si rinvencono sempre in sondaggio nella depressione del Sebeto nella piana del nolano ed affioranti alla base dei valloni del Somma. La stratigrafia dei sondaggi nel settore

meridionale inoltre mette in evidenza in modo discontinuo, al di sotto di terreni piroclastici, lave a profondità variabile (3, 7, 10 m p.c.) da riferire all'attività effusiva del Vesuvio.

Nel settore settentrionale si distinguono:

- *Tufo Grigio Campano* in facies gialla litoide affiorante in alcune cave attive, nei dintorni di Tufino. Nella zona fra Cicciano e Nola, al di sotto del Tufo Grigio Campano si rinviene, per un significativo spessore, un tufo leucitico che giace a diretto contatto sui calcari ribassati per faglia.
- *depositi piroclastici incoerenti* stratificati e separati da paleosuoli. Questi depositi nelle aree prossimali (spessore circa 30 m) sono eterometrici, grossolani e caratterizzati da un sorting da scadente a buono. Nelle aree distali (monti del sarnese e di Avella) si rinvencono sia a diretto contatto con le rocce sedimentarie sia a tetto del Tufo Grigio Campano (zona di Tufino). In quest'area i depositi piroclastici in questione formano una coltre con spessore massimi di una decina di m; si presentano stratificati, separati da paleosuoli e con caratteristiche litologiche che indicano un sorting da medio a buono e con una granulometria variabile da sabbia grossolana a sabbia fine. Questi depositi hanno un'età compresa fra < 17000 a.b.p. ed il 1906 d.C.
- *lave del Somma* presenti per uno spessore continuo di circa 100 m. Il tetto di queste lave affiora alla base dei valloni del Somma ed è stato ricostruito lungo tutto i fianchi dell'edificio vulcanico, sulla base dei sondaggi.

Area dei Campi Flegrei

La costituzione geologica, definita sulla base del rilevamento degli affioramenti, della cartografia geologica pubblicata in varie fasi a partire da quella di Scherillo (1967) e dei dati stratigrafici di perforazioni, è riferibile ai prodotti dei cicli dell'attività flegrea di età compresa fra 33.000 anni e alcune migliaia di anni (da oggi). In particolare se si escludono i depositi più recenti (terreni rimaneggiati e "riporti" antropici ;sabbie marine dei settori costieri) è possibile osservare le seguenti "unità flegree":

- *Prodotti piroclastici dell'attività flegrea recente* (<10.000 anni): successione di pomice e "pozzolane" di varia granulometria intercalate a paleosuoli e livelli umiferi. Gli spessori sono molto variabili a causa dei fenomeni erosivi subito dopo la messa in posto e delle notevoli manomissioni di origine antropica: i valori massimi (alcune decine di metri) sono stati misurati in fori di sondaggi nell'area del Vomero-Cardarelli; essi tendono a diminuire in direzione nord est.

- *Tufo Giallo Napoletano (TGN.-età 11.000 anni da oggi):* in facies litoide e in facies incoerente("pozzolana " del TGN).Gli affioramenti della facies litoide corrispondono in genere con pareti strutturali (Posillipo; Camaldoli) o erosionali (Valloni di nord est): lo spessore è di varie decine di metri. Gli affioramenti della facies incoerente sono più frequenti nei settori settentrionali e nord orientali (Chiaiano, Capodichino, S. Maria del Pianto).
- *Unità pre-TGN.* Si ritrovano alla base del TGN sia in affioramento ("tufi antichi" e "tufi stratificati " di punti singolari dell'area urbana) sia nel sottosuolo delle colline del Vomero, di Posillipo, di Fuorigrotta-Piedigrotta. L'età è compresa fra 1 1.000 e 33.000 anni da oggi.
- *Ignimbrite Campana (I.C. - Tufo grigio campano) e unità assimilabili* (età $\leq$ 33.000 anni da oggi). L' I.C. nella facies litoide e/o incoerente si rinviene nel sottosuolo del settore settentrionale ed orientale dell'area napoletana; affiora in facies di "Breccia Museo" e di "Piperno" alla base della Collina dei Camaldoli. Nel settore Capodichino-Casoria sono presenti un "tufo giallo rossastro" e "brecce vulcaniche" interpretati dalla Comunità scientifica come facies della I.C. od anche come prodotti di attività eruttive locali di età prossima a 33.000 anni.

In particolare nella zona interna alla caldera, dove si è avuta l'attività esplosiva, i caratteri litologici sono nel dettaglio diversificati in base al vulcano di provenienza ed all'età. Tenuto conto anche della scala di restituzione cartografica tutta l'attività posteriore al Tufo Giallo Napoletano è stata raggrupata in tre litotipi:

- *Tufi Gialli:* si rinvencono principalmente nel settore occidentale della caldera e sono legati a morfologie vulcaniche di tipo Tuff-cone e Tuff-ring; nel settore orientale si ascrivono a questo litotipo il tufo giallo di Nisida e di La Pietra; nel settore occidentale i tufi gialli di Capo Miseno, Porto Miseno, di Punta dell'Epitaffio, di Archiaverno, di Monteruscello, del Gauro. Questi tufi mostrano una tessitura che simula da lontano una stratificazione che risulta essere invece leggermente ondulata, a luoghi passante a stratificazione incrociata; la matrice di questi tufi mostra una granulometria sabbiosa da grossolana a fine. Questa matrice può ospitare frammenti juvenili (scorie e pomici) di dimensioni da centimetriche a decimetriche; il loro aspetto litoide è molto variabile e la loro attuale morfologia, talvolta relitta, è conseguenza di azioni sia vulcano tettoniche che erosionali. Il Gauro, il vulcano più alto (300 m) all'interno della caldera, mostra evidenti effetti, sui lati orientale e meridionale, legati a queste cause;

- *duomi lavici e colate di lava*: risulta estremamente limitato e circoscritto a modesti affioramenti come quello di monte Olibano e all'interno della Solfatara, della Caprara all'interno di Astroni, di Monte Spina alla base dell'omonima altura. Le lave sono di composizione trachitica e mostrano a luoghi una tessitura colonnare ed una struttura molto compatta. All'interno del vulcano di Astroni affiora un conetto di scorie (Toppo dell'Imperatrice) che ha dato origine all'unica manifestazione effusiva (colata della Rotondella) dei Campi Flegrei.
- *Depositi Piroclastici Incoerenti*: si riferisce sia a litologie costituenti morfologie vulcaniche tipo Ash-cone, Ash-ring e Cinder cone all'interno della caldera (vulcani di Astroni, Cigliano, Minopoli, Senga, Solfatara, Fondo Riccio, Averno, Fondi di Baia, Baia, Santa Teresa, Montagna Spaccata) sia a litologie presenti nella sequenza stratigrafica affiorante nelle aree di accumulo, a tetto del Tufo Giallo Napoletano, nella zona urbana di Napoli ovvero, come intercalazione fra i prodotti del Somma, nella zona orientale della depressione di Volla. Nelle aree prossimali questi depositi sono estremamente eterometrici in conseguenza della tipologia eruttiva che ne condiziona la granulometria che passa da grossolana (scorie e pomici) a sabbiosa (corse ash) a fine (fine ash). Il sorting assume valori da molto scadenti, per i depositi a matrice prevalente, a buoni per i depositi più grossolani; la loro struttura varia da isotropa a grossolanamente stratificata a nettamente stratificata.

Altri litotipi, più antichi del Tufo Giallo Napoletano, si rinvennero all'interno e all'esterno della caldera e sono localizzati in aree ben definite: Soccavo e Pianura, Punta Marmolite, Cuma, Monte di Procida, Procida e Napoli (Ponti Rossi). La più importante e famosa di queste litologie è rappresentata dal piperno con associate breccie di Soccavo e Pianura. Il piperno, in passato largamente utilizzato come elemento architettonico negli edifici maggior pregio del centro storico di Napoli (scale, portali, colonne etc.), è un litotipo estremamente litoide costituito da una cenere grossolana grigia contenente scorie appiattite orientate che vengono chiamate "fiamme". Di solito alle facies pipernoidi si associano depositi di breccie grossolane eterometriche e estremamente variabili per contenuto litologico con spessori talvolta anche superiori ai 15-20 m.; i depositi di breccie più significativi sono quelli di Soccavo e di Procida (Breccia della Lingua) e di Monte di Procida (Breccia di Marina di Vita Fumo). Intercalati ai litotipi precedentemente descritti sono da ricordare modesti e circoscritti affioramenti di cupole laviche trachitiche massicce talora mostranti una fessurazione colonnare (Marmolite,

Cuma, Punta Ottimo a Procida, San Martino a Monte di Procida); questi affioramenti lavici sono ricoperti dai prodotti dell'attività susseguente.

L'isola di Procida è caratterizzata da relitti di morfologie vulcaniche di tipo Tuff-ring costituiti da tufi gialli alquanto simili per litologia, ma non per età, a quelli che si rinvenivano nella caldera flegrea. I prodotti piroclastici incoerenti e stratificati presenti sull'isola di Vivara e lungo la spiaggia del cimitero sono legati all'attività dell'isola d'Ischia, mentre la sottile copertura di depositi piroclastici incoerenti di colore grigio chiaro diffusa su tutta l'isola è legata dall'attività esplosiva del settore occidentale dei Campi Flegrei.

Isola d'Ischia

L'isola di Ischia rappresenta probabilmente un altro esempio di campo vulcanico dove esistono attualmente manifestazioni (allineamenti di fumarole, sorgenti idrotermali) che testimoniano che l'area vulcanica è da considerarsi ancora attiva. La litologia di quest'isola è estremamente differenziata come conseguenza di un'attività eruttiva ben diversa da quella che ha caratterizzato i Campi Flegrei con la vicina isola di Procida. Tutta la litologia dell'isola è stata raggruppata in complessi litologici corrispondenti anche a differenti fasi vulcanologiche e tettoniche:

- *depositi piroclastici eterometrici a matrice prevalente* (155000-73000 a.b.p.), cui si intercalano colate di lava, a luoghi a struttura vetrosa, e dicchi. Affiorano lungo la falesia sud-orientale dell'isola per uno spessore di circa 200 m. Si associano a questi depositi cupole laviche trachitiche di modeste dimensioni, talvolta con fessurazione colonnare (S. Angelo, Monte Vico e Castello d'Ischia);
- *Tufo Verde di Ischia* (55000 a.b.p.): è un deposito a matrice prevalente, eterometrico, con differente grado di saldatura; la matrice, da sabbiosa grossolana a fine, ospita frammenti pomicei talora orientati e collassati. Tale materiale sollevato in più fasi attraverso un fenomeno di resurgent caldera costituisce l'ossatura del monte Epomeo;
- *siltiti biancastre* contenenti fossili: sono i sedimenti marini depositatisi sul tufo prima del sollevamento; affiorano sul versante N del Monte Epomeo;
- *formazione di Citara* (43000-33000 a.b.p.): costituita da un'alternanza di banchi di tufi eterometrici a matrice prevalente con differente grado di saldatura; la tessitura del deposito, a luoghi, è da ondulata a stratificazione incrociata. Affiora lungo la falesia di Punta Imperatore e nel settore sud-occidentale;

- *depositi di frana s.l.* Sono costituiti da potenti accumuli di materiale franato, in tempi diversi, dai versanti del M.te Epomeo: verso N ed W sono frequenti nell'accumulo detritico blocchi, anche di grandi dimensioni, di tufo verde: per l'entità dei volumi in gioco tali depositi si ritengono connessi a fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante; a sud si tratta in prevalenza di colate fangose con elementi di tufo verde e materiale derivato dai depositi sedimentari.
- *depositi piroclastici e lavici* (<10.000 a b.p.); i primi hanno a luoghi tessitura ondulata e grado di sorting variabile da valori bassi a medi; i secondi sono legati a differenti centri eruttivi (duomi, con-bastioni di scorie, colate laviche). L'attività più recente si è avuta in epoca storica (1301-1302) ed ha dato luogo alla Colata dell'Arso affiorante nella Pineta fra Porto d'Ischia e Ponte.

La Piana Campana ha subito un'evoluzione morfologica forzata dalla alta pressione antropica cui è sottoposta ed iniziata con gli interventi di bonifica di età storica e recente. Il sottosuolo è costituito da terreni a grana fine limo-sabbiosi, talora con torba, e da un substrato tufaceo (Tufo Grigio Campano) di spessore, in genere, più ridotto (se non addirittura assente per fenomeni di erosione) rispetto a quello dei settori limitrofi.

La geologia e la distribuzione delle cavità sul territorio provinciale

Le cavità presenti nel sottosuolo traggono origine dagli scavi per il prelievo di materiale da costruzione (tufo, pozzolana e lapilli); ne consegue che il numero delle cavità è generalmente commisurato all'espansione del centro antico. L'estrazione del tufo ai fini edilizi nell'area napoletana si è estesa nel tempo anche ai comuni ubicati a Nord della città; l'estrazione del tufo avveniva con tre tecniche fondamentali:

- approfondimento di un pozzo, in genere circolare e non rivestito, fino al tetto del banco tufaceo attraversato per 3-5 metri (spessore del tufo in volta) e raggiungimento del letto del banco. Dalle pareti dello scavo in genere si sviluppavano gallerie singole o multiple;
- realizzazione di una rampa di scale fino al raggiungimento del banco tufaceo da coltivare nel quale si procedeva alla realizzazione di gallerie orizzontali con volta circolare, trapezoidale o ellittica;
- realizzazione di un pozzo a pianta quadrata, generalmente avente lato da 3-5 metri, con il quale si raggiungeva il tetto del banco di tufo che veniva

attraversato per 8-12 metri per poi intraprendere lo scavo di gallerie dalle pareti del pozzo all'altezza del banco di tufo. Le gallerie in genere a sezione ellittica hanno una larghezza di 8-10 metri, un'altezza variabile 4 – 9 metri ed una lunghezza che in alcuni casi raggiunge i 50 metri. Le gallerie spesso venivano messe in comunicazione tra di loro tramite cunicoli secondari e con la superficie tramite condotti verticali rivestiti chiamati “occhi di monte” la cui funzione era quella di areare le gallerie.

Molto diffuse nei Comuni situati a Nord di Napoli sono le “*tane di lapillo*”, eseguite per l'estrazione delle pomice utilizzate per realizzare i lastrici solari; la tecnica di coltivazione dei lapilli pomicei si realizzava a mezzo di un pozzo verticale non rivestito con cui si raggiungeva il banco di lapillo pomiceo. Dalla base del pozzo e a partire dal letto del banco si realizzavano cunicoli a raggiera lunghi 10 – 15 metri e larghi qualche metro; dopo la cavazione il pozzo veniva riempito in genere con terreno vegetale o materiale di risulta, mentre si lasciavano solo occlusi i cunicoli. Tale metodo rende impossibile la localizzazione dei cunicoli nonché rende precaria e suscettibile di avvallamenti l'aria circostante i pozzi.

Nel comuni ubicati in tale area sono state censite circa 1600 cavità, un numero molto più esiguo è stato rilevato invece per il restante territorio provinciale; molti comuni sia dell'area flegrea – vesuviana che della penisola sorrentina risultano infatti privi di cavità (fig.3).

Le isole della Provincia sono caratterizzate dalla presenza di quattro tipologie di cavità:

- cisterne
- grotte
- tane di lapillo
- cavità

In particolare nell'isola di Procida le uniche cavità note sono costituite da cisterne (fig.2) utilizzate in passato per la raccolta dell'acqua piovana; nella maggior parte dei casi hanno una dimensione di circa 5x5 metri e sono ubicate sotto le costruzioni, da cui veniva prelevato l'acqua tramite un unico pozzo di accesso di dimensioni in genere di 60x60 cm. Le cisterne venivano impermeabilizzate tramite un rivestimento di “battuto di lapillo”. Attualmente molte cisterne non sono più utilizzate per la raccolta dell'acqua

ma costituiscono depositi o abitazioni e, dove la morfologia del territorio lo consente, sono utilizzate come garage per auto.

Nell'isola di Capri, se si escludono le cavità naturali rappresentate da grotte di origine carsica presenti nella zona costiera, le uniche cavità presenti sono rappresentate da cisterne (fig.2) con caratteristiche analoghe a quelle dell'Isola di Procida. Sono state censite solo le cisterne di grosse dimensioni, mentre con degli areali sono state individuate le zone del centro storico dove molto probabilmente ogni edificio è dotato di una propria cisterna di piccole dimensioni.

Nell'isola d'Ischia (fig.2) sono presenti tre tipologie di cavità: cavità, grotte e tane di lapillo. Le "tane di lapillo" sono state realizzate con la stessa tecnica utilizzata nell'area a nord di Napoli e sono ubicate nel solo territorio di Casamicciola Terme in località Parrocchia e Gran Sentinella; il materiale estratto veniva utilizzato per la realizzazione dei tetti delle case. Sono state censite circa 130 grotte diffuse in tutti i comuni dell'isola (fig.3) utilizzate attualmente come alberghi, ristoranti, garage o per la conservazione dei vini. In seguito a cedimenti in superficie sono state ritrovate 4 cavità, le uniche note in tutta l'isola ubicate in località Chianetella ed in località Pastino.

I comuni ricadenti nell'area flegrea, eccetto Villaricca e Qualiano risultano non interessati dalla presenza di cavità nel sottosuolo (fig.2). In questi due comuni invece sono presenti 15 cavità, in particolare nel comune di Villaricca sono presenti 6 cisterne e 6 cavità di cui 3 presunte ed in quello di Qualiano sono presenti 3 cavità e molti pozzi di cui si è persa memoria storica. I comuni di Pozzuoli e Bacoli anche se caratterizzati da un centro storico con costruzioni in muratura di tufo non presentano cavità nel sottosuolo poiché il tufo veniva prelevato in aree circostanti dove esso costituisce interi versanti dei rilievi vulcanici.

In tali comuni sono presenti cisterne di epoca romana, colombaie, correa ed ambienti abitativi posti al di sotto delle costruzioni attuali. La presenza di tali cavità "archeologiche" costituisce comunque un pericolo per la stabilità delle strutture su cui si poggiano le nuove costruzioni.

Tra i comuni vesuviani solo quello di Torre del Greco è caratterizzato dalla presenza di cavità, nel PRG sono indicate 16 aree con presenza di cavità, tuttavia non essendo mai stato eseguito un censimento da parte del Comune delle cavità presenti sul proprio territorio non si è entrato in possesso di elenchi o rilievi.

Solo tre delle cavità segnalate nel PRG sono state censite. Tali cavità venivano realizzate dai contadini per l'estrazione delle piroclastici sciolte utilizzate per il ripristino del terreno vegetale ricoperto dalla lava nel corso delle eruzioni.

Nel comune di Portici è stato evidenziato un cunicolo, utilizzato come via di fuga dai regnanti, che unisce la Regia con le vie del mare.

I comuni di Sant'Anastasia e Somma Vesuviana sono caratterizzati dalla presenza di tane di lapillo.

I comuni della Penisola Sorrentina sono caratterizzati dalla presenza di un numero esiguo di cavità presenti solo in quei comuni dove affiorano, con spessori maggiori, i depositi vulcanici legati all'attività flegrea ed a quella vesuviana. I comuni di Sorrento, Piano di Sorrento e Vico Equense sono caratterizzati da cavità in tufo realizzate nella falesia tufacea ed attualmente utilizzate come ricovero per le barche; in tali aree non esiste uno studio sistematico sull'esistenza delle cavità, ma la loro presenza è confermata dalla memoria di alcuni abitanti del posto.

Nel comune di Gragnano sono state rilevate 29 cavità di cui 28 realizzate in tufo ed 1 è di origine carsica; la presenza di tali cavità è legata all'ubicazione di tale comune nella zona di raccordo tra i rilievi montuosi dei monti Lattari e la Piana Campana. Nel comune affiorano i prodotti dell'attività vesuviana recente, come i depositi piroclastici da caduta dell'eruzione di Pompei del 79 d.C. ed i sottostanti depositi dell'Ignimbrite Campana. Nel comune di Casola è stata censita 1 cavità in litologia tufacea anche se numerose discenderie sono state riscontrate in Via Veneto; allo stato attuale in questo comune risultano tutte murate e non si è riusciti a risalire ai proprietari.

Nei comuni di Lettere ed Agerola sono state censite 3 cavità naturali di natura carsica di cui 2 nel comune di Lettere, ubicate lontane dal centro abitato, ed 1 nel comune di Agerola (non conteggiata nel presente censimento).

I comuni di Pomigliano d'Arco, Castello di Cisterna, Brusciano, Mariglianella, Marigliano, S. Vitaliano, Scisciano, Saviano appartenengono o confinano con la depressione dei Regi Lagni. Il comune di Pomigliano d'Arco è l'unico dell'area ad essere caratterizzato dalla presenza di 21 cavità; i comuni di Scisciano, Castello di Cisterna, Brusciano e Mariglianella sono caratterizzati dalla presenza di "tane di lapillo"; i comuni di Marigliano, S. Vitaliano e Saviano sono privi di cavità come indicato nella relazione geologica allegata al PRG.

I comuni di Roccarainola, Visciano, Tufino, Casamarciano, Comiziano, Cimitile, Cicciano, Camposano e Nola si estendono dai Massicci Carbonatici al settore sud-orientale della Piana Campana. Tale settore del territorio provinciale risulta essere il secondo più ricco in cavità dopo quello ubicato a nord della città di Napoli. Gli unici comuni non interessati da cavità in tale area sono il comune di Nola, Visciano e quello di Cimitile; in particolare il comune di Nola è caratterizzato da cunicoli di collegamento tra il Duomo di Nola e le basiliche di Cimitile di epoca paleocristiana costruite in grotte. Il comune di Casamarciano con 32 cavità e quello di Cicciano con 20 cavità rappresentano i comuni con il più alto numero di cavità della zona, Tufino con 14 cavità, Roccarainola con 11 cavità, Comiziano con 8 cavità e Camposano con 1 cavità.

Rischio cavità

Nella definizione del rischio sussistono tre elementi: la pericolosità P ovvero la probabilità che un *evento* di una data intensità si verifica in un certo periodo di tempo t ; il valore esposto E è costituito dai soggetti e dalle cose ubicate all'interno delle aree a rischio: la popolazione, gli edifici, le infrastrutture, i beni storici ed archeologici, gli ambienti naturali ed ecosistemi, le falde acquifere; la vulnerabilità V è l'attitudine a subire un danno, e può variare da 0, nessun danno, ad 1, perdita totale. Il rischio è dato dal seguente prodotto

$$R = P * E * V$$

Il prodotto tra il valore esposto E e la vulnerabilità V è definito con il termine di danno D per cui il rischio può essere riscritto come:

$$R = P * D$$

Nel caso del rischio sismico, vulcanico, di inondazione sono possibili valutazioni probabilistiche derivanti dalla analisi di serie storiche, 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 tempo t .

Nel caso di rischio connesso alla presenza di cavità ipogee tale problema può essere superato se si passa dal concetto di pericolosità a quello di pericolo dove non è presente alcun termine probabilistico.

Il pericolo di crollo coincide con il rischio assoluto che in un'area in un determinato periodo di tempo si determini una voragine; pertanto nelle aree dove sono presenti

cavità ipogee è possibile definire una maggiore o minore possibilità che si verifichi una voragine e/o subsidenza per il crollo di una cavità.

E' possibile individuare situazioni di maggiore o minore pericolo, attraverso l'analisi di una serie di indicatori su cui basare una zonizzazione del territorio ed individuare le aree con maggiore potenzialità di crollo (maggiore pericolo) su cui operare con immediati interventi di risanamento.

Gli indicatori utilizzati per individuare e definire il pericolo di sprofondamento legato al crollo di una cavità sono:

- numero di cavità
- geologia, litologia, stratigrafia
- idrogeologia
- profondità della calotta
- dimensioni planimetriche caveali
- rapporto tra altezza e larghezza dei pilastri
- rapporto tra profondità e larghezza della cavità
- tipologia
- caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni
- stato tensionale ed evolutivo delle gallerie
- presenza di strutture di sostegno in sotterraneo
- reti idriche e fognarie
- presenza di sovraccarichi - fondazioni dirette (sistema insediativo).

Tali indicatori sono stati acquisiti solo per una piccola parte delle cavità censite e/o rilevate in passato poiché in molti Comuni investigati non esiste uno studio sistematico sulle cavità ed in altri lo studio si limita ad un elenco dell'ubicazione delle cavità.

Tale problema doveva essere in parte risolto con la seconda Convenzione sulle cavità poiché i professionisti incaricati dalla Provincia per il reperimento dei dati dovevano occuparsi anche del rilevamento di buona parte delle cavità ritrovate. Purtroppo molte cavità non sono risultate accessibili a causa del crollo delle discenderie od occlusione dei pozzi di accesso o perché l'accesso è stato vietato da parte dei proprietari.

Da tale stato di cose la zonizzazione del territorio in diverse classi di pericolo si è dovuto basare principalmente sui seguenti indicatori:

- concentrazione delle cavità,
- tipologia

- idrogeologia
- geologia

La quantità e la qualità dei dati acquisiti sulle cavità, se pur non esaustivi, permettono comunque di tracciare delle linee guida relativamente ai problemi di previsione e prevenzione del pericolo di crollo di cavità sotterranee attraverso :

- individuazione delle aree esposte a voragine
- suddivisione di tali aree in zone a diverso grado di esposizione al pericolo voragine
- identificazione degli elementi a rischio
- valutazione della vulnerabilità
- valutazione del danno

Ciò non toglie che si è giunti ad un punto dell'indagine in cui una migliore conoscenza dello stato delle cavità non può avvenire che attraverso il rilevamento delle cavità di cui è nota l'ubicazione ed il ritrovamento delle cavità di cui si è persa memoria storica circa la loro ubicazione.

Il rilievo delle cavità

Gli studi effettuati con la seconda Convenzione sulle cavità hanno posto in evidenza due questioni:

- la carenza di dati utilizzabili come indicatori dello stato di pericolo delle cavità censite
- presenza di cavità confermata dalla memoria di alcuni abitanti ma di cui non è nota l'ubicazione.

La non conoscenza dell'attuale stato delle cavità può essere risolto solo con un attento rilevamento delle stesse. L'individuazione e lo sviluppo plano-altimetrico delle cavità è di solito definito attraverso sondaggi geognostici e l'esecuzione di sondaggi a distruzione di nucleo, i quali permettono di individuare il tetto e il letto di un vuoto sotterraneo. Tale tecnica può risultare valida nel caso di una singola cavità ma non in presenza di una rete di cavità, infatti risulta alquanto problematico nonché oneroso la realizzazione di una notevole quantità di sondaggi per ottenere un andamento attendibile della rete di cavità; inoltre in tal modo non si ottengono informazioni circa la larghezza delle cavità, lo stato fisico delle pareti degli ipogei e le evoluzioni tensionali in atto.

Nel caso di cavità accessibili il rilevamento può essere condotto nel modo classico attraverso il rilievo da parte di una o più persone della geometria della cavità, delle condizioni stratigrafiche, delle caratteristiche geotecniche dei terreni fra la calotta e la superficie topografica, delle caratteristiche dei terreni contenenti la cavità, l'entità dei fenomeni evolutivi di alterazione della calotta, i livelli tensionali, i dati geostretturali, gli eventuali carichi indotti da manufatti ed evidenziare l'esistenza di problematiche connesse alla stabilità di edifici e alla presenza di reti tecnologiche.

La definizione dei parametri fisico-meccanici dei terreni attraversati da cavità è ovviamente di fondamentale importanza per poter eseguire qualsivoglia analisi e valutazione di stabilità degli ipogei.

La caratterizzazione geotecnica dei materiali piroclastici presenta sovente problemi di scelta di parametri rappresentativi del comportamento geomeccanico in sito: ciò perché, oltre agli usuali problemi di scala fra il provino e l'ammasso, nei tufi sono spesso presenti situazioni di pseudocementazione e/o argillificazione con estrema variabilità spaziale.

L'esecuzione di prove di laboratorio su campioni pozzolanacei in particolare determina l'acquisizione di elevati valori di angoli di attrito e di coesione bassa o nulla, talché valutando la stabilità delle cavità con tali parametri si otterrebbero valutazioni di stabilità molto critiche fino a collassi immediati: eppure tali cavità 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-pozzolanici 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-pozzolanacei è causata, non tanto da fenomeni di consolidazione indotti dai carichi geostatici, ma dalla saldatura delle scorie e/o da fenomeni di zeolitizzazione, più o meno intensi e variamente distribuiti negli ammassi. Inoltre la presenza di liquami in cavità determina evidenti ed intensi fenomeni di disfacimento ed alterazione dei materiali tufaceo-pozzolanici, con conseguente scadimento localizzato delle caratteristiche geotecniche. L'intensità dell'azione di disfacimento dei liquami, difficilmente valutabile in laboratorio, è evidentemente funzione delle caratteristiche chimico batteriologiche delle acque più o meno inquinate e anche funzione del tempo.

Nel caso di cavità non accessibili ma fornite di pozzi di areazione e luce è possibile effettuare una prima analisi dello stato delle cavità attraverso una metodologia

di Indagine Televisiva in foro che permette di definire con precisione la tipologia di cavità e di individuare l'andamento del sistema caveale dal punto di vista planoaltimetrico. L'indagine si sviluppa con una prima ispezione della camera ed una puntuale annotazione degli elementi interessati e del loro orientamento rispetto al nord magnetico tramite bussola. Successivamente dopo aver annotato tutti gli elementi necessari, si eseguono le registrazioni televisive, sia con panoramiche che con riprese fisse su elementi particolarmente significativi. L'osservazione delle tipologie di distacco, la qualità e la granulometria di eventuali detriti presenti in cavità, possono dare una risposta sintetica della storia tensionale della cavità.

In diversi comuni della Provincia di Napoli dall'analisi dei documenti messi a disposizione dai Comuni, PRG o altri Studi, dalla Sovrintendenza ai Beni Archeologici e Ambientali e da altri Enti emerge l'assenza di cavità nel sottosuolo.

Ciò è spesso in contraddizione con quanto i tecnici incaricati del censimento delle cavità dalla Provincia hanno riscontrato sul territorio. Nei comuni di Sorrento, Vico Equense, Sant'Agnello ad esempio i tecnici non sono riusciti a risalire all'ubicazione delle cavità ma in base a diverse interviste effettuate agli abitanti più anziani è emerso il ricordo dell'esistenza di cavità. Per tali comuni l'identificazione delle cavità può avvenire tramite metodologie geofisiche.

L'identificazione delle cavità nelle aree urbane tramite metodi geofisici incontra due ordini principali di problemi: la presenza di un'elevato rumore di fondo, legato a tutte le attività antropiche, che fa diminuire la sensibilità e quindi il potere risolutivo di tutti i metodi impiegati; le barriere fisiche, edifici muri di cinta, che rendono impossibile effettuare misure secondo i profili più adeguati o lungo maglie regolari. (P. Gasparini, 1992 in Frane e Territorio Liguori Editore).

I metodi geofisici applicabili nella identificazione delle cavità sono: gravimetrico, metodi elettrici, il georadar, prospezione sismica.

Il metodo sismico, sia con i geofoni in superficie che in perforazione (cross-hole), si basa sul fatto che la velocità delle onde P diminuisce bruscamente al passaggio roccia-aria e le onde S si attenuano fortemente. Pertanto una cavità può essere individuata dalla presenza lungo il profilo di una zona d'ombra caratterizzata dall'assenza di arrivi. Tale metodo è inficiato dal rumore di fondo tipico delle aree urbane e dalla impossibilità di utilizzare sorgenti di energia sufficienti a generare un segnale ben distinguibile dal rumore ne consegue che questa metodologia non risulta di grande utilità

Il metodo gravimetrico si basa sulla differente densità che si rileva passando da una cavità alla roccia circostante. Una cavità è caratterizzata da un minimo delle anomalie di Bouger, la cui estensione è proporzionale alle dimensioni areali e alla profondità a cui si trova. Nella modellazione delle anomalie si deve considerare se, nella zona in questione, la litologia in cui si sviluppa la cavità è ricoperta da altre litologie a densità minore poiché parte delle anomalie riscontrate potrebbero essere dovute alla sua presenza.

In molte aree della città di Napoli come anche nei comuni ubicati a Nord della città il tufo è spesso ricoperto da uno spessore variabile di depositi piroclastici incoerenti caratterizzate da una minore densità rispetto al Tufo. In tali situazioni, per vincolare la profondità della superficie di separazione tra il tufo giallo e le piroclastici sciolte è necessario usare dati di perforazione, effettuare delle nuove perforazioni o dati di rilievi geofisici (geoelettrica).

La configurazione geoelettrica utilizzata per i sondaggi elettrici nelle città è la dipolo-dipolo che non richiede grandi stendimenti e presenta una notevole risoluzione orizzontale; le cavità appaiono come orizzonti resistivi. I sondaggi elettrici hanno dato risultati soddisfacenti per ricerche di cavità d'interesse archeologico.

L'interpretazione dei sondaggi elettrici in un'area urbana va comunque effettuata con molta cautela, perché la fitta rete di sottoservizi, spesso contenenti condutture metalliche produce forti deformazioni nelle curve di resistività apparente.

La metodologia elettrica tomografica permette di investigare aree di notevole complessità geologica e strutturale. Tale indagine multielettrodo permette di ottenere un profilo di resistività che riesce a dare informazioni fino a profondità di 50 metri o anche più. Questa tecnica si basa sulla misura della resistività elettrica ,dipolo-dipolo, che consente di raffinare sempre più l'interpretazione di anomalie, intrusioni, litologie. Le letture sequenziali delle resistività apparenti vengono invertite con processi matematici che restituiscono un'immagine del sottosuolo. Tale metodologia è utilizzata non solo per l'identificazione di cavità ma per la ricostruzione di paleoalvei, di discariche abbandonate

Il georadar è un metodo di prospezione geoelettrica che rivela la posizione di superfici di discontinuità tra mezzi con caratteristiche dielettriche differenti, misurando il tempo di ritardo tra un impulso elettromagnetico emesso da un'antenna trasmittente e l'eco riflesso dalla superficie di discontinuità. I modelli disponibili in commercio permettono di investigare fino ad una profondità di 20 metri. Il georadar è poco

ingombrante e pertanto è comodo da utilizzare in città risentendo molto poco del rumore elettromagnetico. E' stato impiegato con successo per il rilevamento di cavità archeologiche o per le cavità ubicate in terreni incoerenti. Nel caso delle cavità in tufo il georadar non è ottimale come strumento di rilevamento poiché la cavità è individuata attraverso una zona priva di riflessioni; le stesse caratteristiche si osservano anche in presenza di blocchi tufacei molto omogenei per cui i risultati ottenuti vanno interpretati con molta cautela.

LE CAVITÀ ARTIFICIALI

Dai risultati della ricerca che qui viene descritta, è emersa l'esistenza di una pluralità di soggetti che a diverso titolo hanno a che fare con le problematiche connesse con il sottosuolo (Enti di gestione di reti tecnologiche, Pubbliche amministrazioni, privati, etc.), individualmente o contestualmente interessati; ognuno di questi soggetti ha un interesse diverso (tutela della pubblica incolumità, corretto funzionamento delle reti tecnologiche, utilizzazione di un bene di cui si è proprietari, etc.) ma nessuno di loro ha una esatta conoscenza di tutto quello che accade nel sottosuolo e delle relative interferenze circa la sua utilizzazione. Gli aspetti gestionali e manutentivi, quindi, risultano affrontati in maniera parziale e settoriale, lasciando ampi margini all'abbandono, al degrado e, di conseguenza, al potenziale rischio che potrebbe generarsi sia al soprassuolo che alle stesse reti allocate nelle cavità stesse.

Il complesso delle attività legate al sottosuolo sono oggetto, ormai da diversi anni, di intense attività di ricerca, studio e catalogazione delle cavità artificiali, avviate da gruppi di studiosi (speleologi, archeologi, geologi, etc.) in Italia ed in altri paesi.

In Italia, in particolare, lo studio delle cavità artificiali ha avuto una forte connotazione di ricerca archeologica, per l'uso che nei secoli si è fatto del sottosuolo, quale grande contenitore di funzioni disparate, che hanno richiesto, spesso, la realizzazione di manufatti di notevole impegno costruttivo.

L'evoluzione della ricerca in tale campo, però, se ha portato a significativi risultati in merito alle metodologie di analisi, rilievo e catalogazione delle cavità, non ha ancora consentito, appunto, la costruzione di norme e regolamenti da inserire nella prassi ordinaria di pianificazione e gestione del territorio.

Al fine, pertanto, di costruire degli "Indirizzi" da fornire ai Comuni per la pianificazione comunale in aree con notevole presenza di cavità artificiali, si è ritenuto utile, oltre all'analisi dei risultati ottenuti dall'attività voluta dall'Amministrazione provinciale di Napoli, esplorare sinteticamente le

tematiche generali relative alla speleologia in cavità artificiali, le attività messe in atto per la costruzione del “catasto delle cavità artificiali” nelle diverse regioni italiane, i metodi utilizzati per la loro catalogazione, le tecniche esplorative, etc., si da desumerne utili indicazioni in merito alla costruzione, appunto, della normativa di cui sopra.

Storia delle cavità artificiali

L'uomo ha cominciato a scavare ambienti sotterranei, in prevalenza gallerie, già nella preistoria, per l'estrazione di pigmenti (ocra rossa) o di nuclei di selce da trasformare in utensili (paleolitico, medio-neolitico). A partire dal tardo neolitico-età del rame, si è cominciato ad utilizzare le tecniche, con il tempo evolutesi, per la captazione di vene d'acqua (soprattutto nelle regioni aride, nordafricane o asiatiche) e per scopi minerari (in Toscana, ad esempio, lo sfruttamento delle miniere di rame fu molto praticato dagli Etruschi).

Nei secoli VIII-VI a.C., in Italia l'attività si diffuse tantissimo: ad esempio, nel solo Lazio il numero di cavità create in quell'epoca è stimato pari ad alcune migliaia. Il mondo romano utilizzò il sottosuolo per la realizzazione di canali per l'approvvigionamento idrico lunghi decine di chilometri, che rifornivano di acqua potabile praticamente tutte le città dell'Impero (es. Napoli, dove i cunicoli per la distribuzione dell'acqua sono stati utilizzati ininterrottamente fino alla fine dell'800), per la creazione di luoghi di sepoltura, particolarmente ad opera dei seguaci della religione cristiana (le catacombe) etc..

Nel Medioevo la fuga dalle città, l'impovertimento e la necessità di difendersi dagli invasori, spinsero le popolazioni a rifugiarsi anche in strutture ipogee, sfruttando ambienti preesistenti (ad esempio tombe a camera) e creandone di nuovi. Ritornò in uso quindi, specie intorno ai castelli, la pratica di utilizzare il sottosuolo per usi difensivi o per lo stoccaggio e conservazione di prodotti.

In questo stesso periodo si diffusero anche gli insediamenti monastici sotterranei.

Col Rinascimento e l'Evo Moderno tale pratica si ridusse sopravvivendo solo nelle aree più depresse, ma sorsero grandi strutture civili e militari sotterranee.

Queste ultime, con l'avvento delle armi da fuoco, assunsero sempre maggiore importanza, come è dimostrato dalle cavità lasciateci dagli ultimi due conflitti della prima metà del XX secolo.

Nei sedimenti tufacei o calcarenitici, diffusi nell'Italia Centro-Meridionale, sono innumerevoli le cantine scavate per ricovero di attrezzi agricoli o automobili, o per l'invecchiamento del vino: in genere queste cavità non rientrano nella sfera di interessi degli speleologi.

Anche la coltivazione delle miniere ebbe uno sviluppo enorme, per piombare poi (in Italia) nell'abbandono quasi totale durante gli ultimi decenni del secolo appena conclusosi.

Naturalmente non tutte le cavità presentano un interesse per l'archeologia o la storia; tra esse, quelle vecchie di secoli o millenni è naturale che lo siano, anche quando svolgono tuttora il compito per il quale furono create.

Quando una cavità creata dall'uomo cade in disuso, è facile che possa crollare e addirittura scomparire, oppure, più spesso, conservarsi, almeno in parte, magari riempita di detriti o rifiuti., con il conseguente potenziale rischio che può generarsi.

In alcuni casi, l'ambiente sotterraneo abbandonato finisce col prendere, nel volgere di pochi decenni, caratteristiche di ambiente naturale: vi possono crescere concrezioni, anche splendide, persino se la roccia non è calcarea ma vulcanica, perché l'acqua che percola dalle fenditure è sovente ricca di sali.

Oppure, in quei casi in cui nella cavità scorre un corso d'acqua, le pareti ed il pavimento vengono scavati come nelle grotte naturali (se la roccia non è calcarea, agirà solo la erosione meccanica e non la corrosione chimica) e si formano meandri, marmitte, scallops, etc..

Significato di "speleologia in cavità artificiali"

Nel volgere di tempi spesso brevi, ci si è frequentemente dimenticati delle cavità scavate sotto terra; gli stessi archeologi, che si sono dimostrati molto

attenti nella ricerca e nello studio di tombe o santuari ipogei, perché possono contenere manufatti di grande interesse (sarcofagi, pitture, vasi, armi e monili, etc.), hanno di solito osservato superficialmente altre opere come gli acquedotti o le cavità diffuse in contesti non urbani. Va detto a tale proposito che descrizioni, rilievi, fotografie oggi difficilmente si trovano per miniere, rifugi o gallerie (ferroviarie, stradali, militari) abbandonate solo da pochi decenni. Certo, nelle cavità artificiali non si incontrano abissi, niente record di profondità, il loro sviluppo è prevalentemente suborizzontale, tranne che in qualche miniera abbandonata e nei pozzi di accesso a gallerie di lunghi acquedotti o emissari lacustri dove possono riscontrarsi considerevoli dislivelli verticali. In compenso, nelle cavità artificiali si possono fare interessanti scoperte di tipo storico-archeologico.

In Italia questo tipo di attività prese inizialmente il nome di *Speleologia Urbana* perchè si svolgeva essenzialmente nel sottosuolo di alcune città. Successivamente, si è constatata l'esistenza di un elevato numero di cavità artificiali anche in ambienti extraurbani, ed il loro studio ha portato a risultati non meno interessanti.

All'estero iniziative analoghe sono sorte da decenni, a partire in genere dallo studio di antiche miniere abbandonate (particolarmente in Inghilterra). Recentemente tali iniziative hanno avuto una grande diffusione con la costituzione di associazioni specializzate: a questo genere di studi è stato attribuito il termine di *Sotterraneologia*, parola che non è entrata in uso in Italia, dove essa sarebbe risultata riduttiva vista la prevalente importanza dell'aspetto archeologico nelle cavità artificiali.

Le attività di conoscenza e ricognizione sotterranea in ambito urbano e quelle nel territorio extraurbano presentano, per la maggior parte dei casi, caratteristiche comuni; in ambito urbano la gamma di tipologie è tendenzialmente più ristretta, vi si accentua però l'aspetto "storico"; inoltre, la speleologia urbana ha l'esigenza di rapporti e scambi con le Autorità e i proprietari degli immobili, esigenze queste che nella campagna si presentano con minori implicazioni.

Tipologie e funzioni delle cavità artificiali

Le tipologie presenti in Italia sono moltissime: alcune assai diffuse, altre rare o tipiche solo di alcune zone circoscritte. Alcune sono da tutti chiamate con lo stesso nome, altre hanno nomi che variano da regione a regione.

Per poter schedare le cavità artificiali è stata da tempo definita una codifica "standard" che comprende tutte le tipologie di una certa diffusione, e che le raggruppa per analogie di struttura, in modo da non eccedere con le casistiche.

Recentemente (giugno 1999) la Commissione Cavità Artificiali della S.S.I. (Società Speleologica Italiana) ha aggiornato tale codifica: l'ultima versione viene qui di seguito riportata.

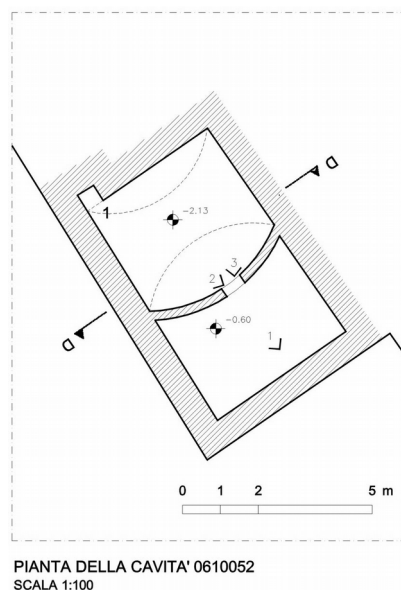


Fig.1 – Esempio di cavità tipica dell'isola di Procida

A. Opere idrauliche: condotti e conserve di acqua per i più disparati impieghi.

A.1 Opere di regimazione/bonifica, utilizzate al fine di mantenere costante il livello di bacini o laghi; oppure per evitare l'allagamento di campi o nuclei abitati.

A.2 Opere di captazione di sorgenti, da vene sotterranee.

A.3 Opere di trasporto, es. acquedotti sotterranei di acque potabili o irrigue.

A.4 Cisterne, opere sotterranee per l'accumulo di acqua o di altri liquidi.

A.5 Pozzi per l'estrazione di acqua.

A.6 Opere di distribuzione (cisterne sotterranee non di accumulo ma per ricevere acqua da vari condotti e/o distribuirla, sempre tramite condotti).

A.7 Fognature (condotti sotterranei per asporto di acque chiare o nere/liquami).

A.8 Canali navigabili (assai rari in Italia, più diffusi nel Nord Europa).

A.9 Ghiacciaie o neviere ipogee (analoghe a quelle naturali ma artificiali).

A.10 Condotti di funzione sconosciuta o dubbia (brevi tratti residui di opere più lunghe, che non consentono una chiara identificazione della loro antica funzione).

B. Opere insediative civili: luoghi ipogei creati per abitarvi, rifugiarsi, lavorare o immagazzinare merci.

B.1 Insediamenti stabili abitativi (abitazioni trogloditiche).

B.2 Ricoveri temporanei (cavità abitate temporaneamente da pastori, viandanti, ecc.).

B.3 Opifici (luoghi, in genere stabili, di lavoro: officine, oleifici, grotte dei cordari, etc.)

B.4 Magazzini (cavità adibite a depositi di attrezzi, botti di vino, materiali vari...).

B.5 Silos sotterranei (rassomigliano alle cisterne con cui spesso si confondono, ma sono destinati specificamente alla conservazione di

derrate secche; un tipico termine in uso presso gli archeologi è quello di "fosse granarie").

B.6 Stalle (ricoveri per quadrupedi di ogni taglia, gallinai).

B.7 Colombari (termine più esatto: colombaie; con tante cellette per i piccioni).

B.8 Altri insediamenti civili (non è detto che le classi soprastanti siano esaustive).

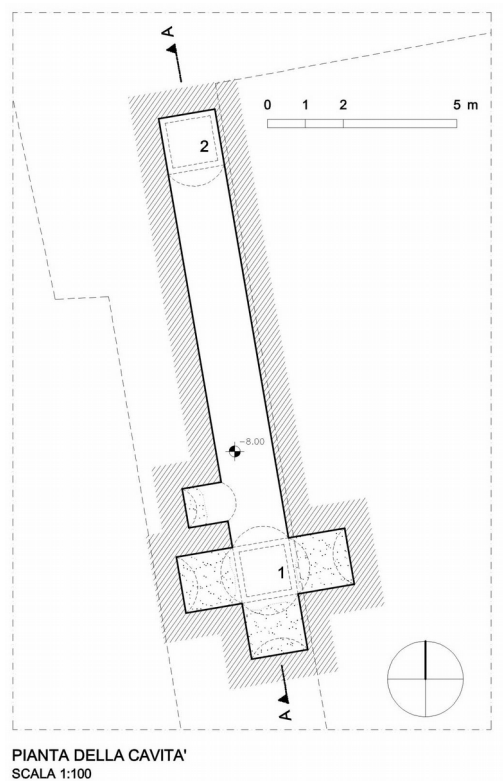


fig.2 – Esempio di cavità a Caivano

C. Opere di culto: luoghi destinati a funzioni religiose o alla sepoltura di defunti

C.1 Luoghi di culto (dei vivi: chiese, cappelle, mitrei...)

C.2 Opere sepolcrali (tombe a camera, catacombe); comprendono i "colombari" per sepolture umane; spesso sono associate ai luoghi di culto dei vivi: in tal caso si classificano in funzione dell'uso preminente o di entrambi.

D. Opere militari: di difesa o di offesa.

D.1 Opere difensive varie (fortificazioni).

D.2 Gallerie e camminamenti (con funzioni specificamente militari).

D.3 Gallerie di mina e contromina (molto diffuse nel Rinascimento: es. le gallerie famose per l'atto di Pietro Micca a Torino).

D.4 Postazioni di sparo (di cannoni, mitragliatrici, fucili o anche armi bianche antiche, quali balestre e altri dispositivi di lancio).

D.5 Depositi (di munizioni, armi, viveri...; o anche piccole officine).

D.6 Rifugi e alloggi per soldati, posti comando e trasmissioni.

D.7 Rifugi per la popolazione civile in caso di guerra, ad esempio quelli antiaerei (a Napoli, durante l'ultimo conflitto mondiale, molte cavità furono utilizzate come rifugi antiaerei).

E. Opere estrattive (secondo la classifica internazionale, comprendono oltre alle miniere anche le coltivazioni sotterranee, perché con esse si estrae qualcosa di utile dal sottosuolo)

E.1 Cave di inerti (materiali da costruzione o ornamentali, pietre squadrate, pozzolana, sabbia, gesso).

E.2 Miniere metallifere (di qualsiasi minerale che dà origine a metalli).

E.3 Miniere di altre sostanze (zolfo, carbone, allume, sabbia per vetro, selci preistoriche)

E.4 Sondaggi minerari indefinibili (spesso non si riesce ad individuarne la natura).

E.5 Coltivazioni agricole sotterranee (di funghi; nel Nord Europa anche di altre verdure).

F. Vie di transito (per usi civili)

F.1 Gallerie stradali (per veicoli, cavalli, anche pedoni, purché larghe, oltre i 2mt.)

F.2 Cunicoli di transito (dimensioni ridotte in larghezza; di collegamento tra vari edifici, di fuga da castelli, chiese, palazzi, conventi...).

F.3 Gallerie ferroviarie, tranviarie, di funicolari, etc..

F.4 Pozzi (non idraulici e non facenti parte di miniere; verticali o obliqui = discenderie).

G. Altre opere non classificate: opere varie che non rientrano nei casi già previsti,

ad esempio: musei, autorimesse, ritrovi sotterranei. Oppure che non si riesce a classificare.

E' importante non dimenticare che in una stessa cavità possono trovarsi tipologie diverse, originate simultaneamente o dovute a successivi e differenti utilizzi degli stessi ambienti, con o senza la loro progressiva trasformazione o ingrandimento: in tal caso la cavità possiede diverse tipologie, che vanno tutte indicate, possibilmente secondo un ordine cronologico.

Tecniche esplorative utilizzate

Le cavità artificiali abbandonate si presentano ricche di ostruzioni naturali: crolli, intasamenti detritici e conseguenti eventuali tratti allagati. Le grotte naturali sono state in genere scavate dall'acqua, che in parte ancora vi circola, ed in esse sono comuni forti correnti d'aria; nulla di questo in molte cavità

create dall'uomo che, pertanto, possono presentare, anche per le ostruzioni sopra dette, sacche di aria venefica.

Esistono diverse cavità (in particolare nel Lazio) che si aprono a metà altezza di pareti strapiombanti, senza altri accessi.

La strumentazione da rilievo topografico è quella usuale, però non bisogna dimenticare che le rocce vulcaniche possono produrre anomalie magnetiche locali a cui si può porre rimedio solo con la tecnica della doppia misurazione delle direzioni, sia in avanti che all'indietro, e con qualche altro accorgimento da specialisti. Solo in cavità molto estese e di facile transito, quando per esigenze particolari è richiesta una precisione massima, si fa ricorso agli strumenti e tecniche della topografia professionale (tacheometri, distanziometri digitali, ecc.). Per quanto riguarda la tecnica fotografica va rilevato che in assenza di circolazione d'aria si possono formare, specie col fiato, anniebbiamenti e che i sedimenti del suolo possono, essendo spesso le cavità molto secche, produrre pulviscolo che si deposita dappertutto, obiettivi compresi. Tra le varie tecniche, particolare valore assume la macrofotografia a luce radente per la documentazione delle tecniche di scavo, delle scritte e dei graffiti antichi, nonché delle eventuali strutture murarie interne.

Il Catasto delle cavità artificiali

Nell'ambito della “Società Speleologica Italiana” (Associazione tra speleologi e studiosi di problematiche connesse alle attività di esplorazioni sotterranee) è stata costituita nel 1981 una Commissione avente lo scopo, tra gli altri, di dare vita ad un Catasto delle Cavità Artificiali, simile al Catasto delle Grotte (naturali) d'Italia; essa nacque in occasione di un convegno sul sottosuolo dei centri storici umbri, tenuto nella città di Narni, per iniziativa di gruppi di studiosi ed associazioni già operative da alcuni anni. La “Commissione Nazionale per le Cavità Artificiali”, composta da un rappresentante per ogni

regione più un certo numero di altri speleologi che svolgono attività scientifiche nel settore, assolve da quel periodo alle seguenti funzioni:

- Organizzazione e conservazione del Catasto delle Cavit  Artificiali (CA).
- Creazione di un Centro di Documentazione e Bibliografia delle CA.
- Promozione di corsi specifici per l'attivit  nelle cavit  artificiali e per l'inserimento di una lezione su tale argomento anche nei corsi di speleologia.
- Promozione e organizzazione di attivit  esplorative e di studio scientifico, anche all'estero.
- Sostegno degli speleologi ai fini di una equilibrata collaborazione con Istituti Universitari.
- Divulgazione delle informazioni sull'attivit  dei Gruppi Speleologici operanti nel settore.
- Pubblicazione di una Rivista specializzata (Opera Ipogea).
- Attivit  di consulenza presso gli Enti Locali interessati alla conoscenza sulla dislocazione e tipologia delle CA.

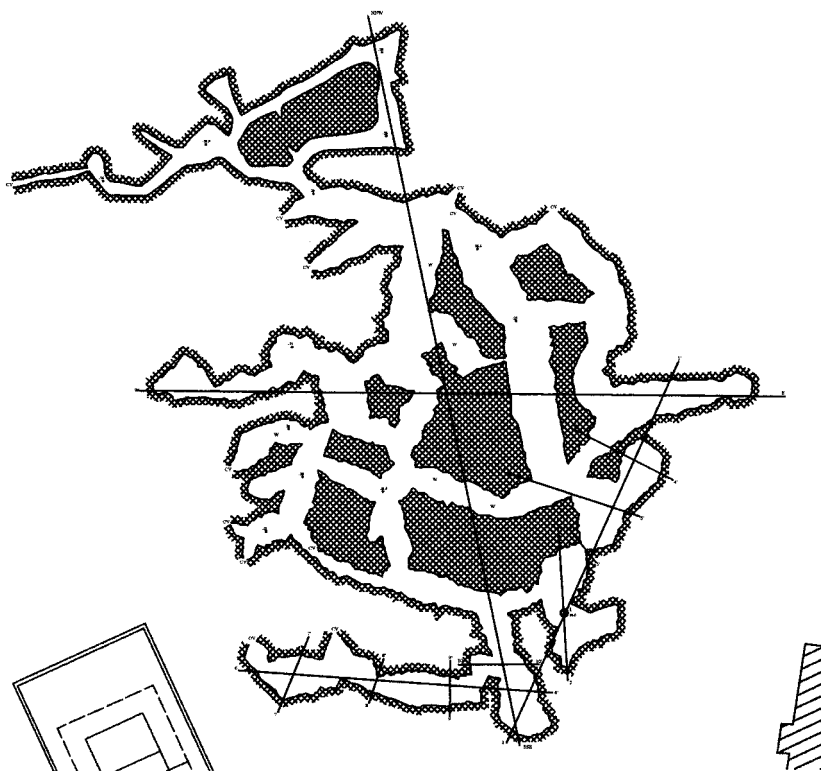


Fig.3 – Cavità a Gragnano

Il Catasto delle Cavità Artificiali, in particolare, è organizzato mediante l'ausilio di schede che riassumono i dati essenziali di posizione, denominazione, caratteristiche strutturali, pericolosità, stato delle conoscenze, bibliografia, ecc., alle quali si possono aggiungere fogli contenenti descrizioni, itinerari, rilievi, dati storici e archeologici, ecc..

Il Catasto Nazionale è costituito dall'insieme dei Catasti Regionali, per ciascuno dei quali la Federazione Regionale (o altro Ente equivalente) designa un conservatore, a cui tutti gli interessati possono far pervenire le schede compilate (o i dati necessari per riempirle) che quindi vengono numerate (dopo le opportune verifiche). Attraverso la loro consultazione, gli speleologi interessati possono essere informati del livello delle conoscenze consolidate, importante base per le future ricerche e per studi di sintesi ed elaborazione dei dati.

A Narni esiste il Centro Nazionale di raccolta delle schede catastali e di documentazione bibliografica, promosso dal locale Gruppo Speleologico in

collaborazione con la S.S.I..

In Italia il livello di interesse per le cavità artificiali varia notevolmente da regione a regione; questo non dipende solo dall'interesse che gli speleologi della regione nutrono per questo settore ma anche dalla diffusione e importanza o ricchezza di cavità. Umbria, Campania, Puglia, Abruzzo sono forse col Lazio le regioni in cui le Cavità Artificiali antiche sono più abbondanti, ma un'intensa attività si svolge anche in Liguria, Lombardia, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Emilia Romagna, Toscana, Sicilia, Sardegna, ecc..

Nel mondo la situazione è alquanto differente; come già detto l'attività prende il nome di Sotterraneologia, diffusa nel nord Europa essenzialmente come esplorazione e studio di miniere antiche (là molto diffuse, a differenza dell'Italia) e fortificazioni, essendo poco diffuse le cavità con interesse archeologico.

A differenza del nord europea, vi sono invece altri paesi molto ricchi di cavità artificiali (Medio Oriente, Nord Africa, India, Iran, ...) dove però le attività risultano ancora ad uno stadio iniziale e spesso sono ostacolate dalla locale situazione politica.

Attualmente anche in seno all'Unione Internazionale di Speleologia (UIS) è operante una Commissione specifica per la catalogazione e studio delle cavità artificiali.

Metodologie di indagine per la ricerca e la mappatura di cavità sotterranee, con particolare riferimento alle aree urbane

Si sottolinea che la necessità di operare in area urbana determina una serie di difficoltà e vincoli, quali quelli urbanistici, quelli derivanti dalla presenza delle reti idriche ed elettriche e, per le indagini di tipo geofisico, anche la presenza di diverse fonti di disturbo da parte di correnti vaganti.

La complessità ambientale delle aree urbane richiede pertanto di volta in volta una opportuna progettazione e programmazione delle indagini, con una attenta scelta delle metodologie disponibili, variabili in funzione della realtà urbanistica, geologica e idrogeologica locale.

Tali metodologie possono essere così suddivise:

Indagini dirette con sondaggi

- Sondaggi geognostici
- Sondaggi guidati (indagine televisiva in foro e indagine speleologica)

Indagini indirette con metodi geofisici

- Metodo gravimetrico
- Metodi geoelettrici
- Indagini con georadar (GPR)
- Metodi sismici

Individuazione di cavità nel sottosuolo con metodi microgravimetrici - un caso studio a Roma

La città di Roma, come altri centri urbani edificati in aree vulcaniche, è caratterizzata dalla presenza di numerosissime cavità ipogee di origine antropica e dalle diverse funzioni. L'esistenza di molte di queste cavità spesso non è nota, oppure se ne è persa la conoscenza nel corso dei secoli.

Negli ultimi cento anni si sono frequentemente verificate fenomenologie relative a cedimenti e dissesti di edifici, o semplicemente di aree, sotto le quali giaceva una cavità della quale si ignorava la presenza. La frequenza delle interferenze tra opere o attività in superficie e le cavità del sottosuolo è andata aumentando con il progressivo sviluppo dell'urbanizzazione della città di Roma

(questo è valido per ogni centro urbano caratterizzato dalla presenza, nel sottosuolo, di cavità artificiali).

Tali fenomeni assumono notevole importanza in vista della realizzazione di opere in sotterraneo della città, in particolare nella escavazione delle gallerie e delle stazioni per la metropolitana, poiché i diversi tipi di cavità, per lo più cave e catacombe, si concentrano principalmente entro i primi 15 metri dal piano campagna. Il problema viene ad essere ancora più evidente se si considerano i fenomeni di degrado che il tempo ed altri fattori hanno indotto sulla stabilità delle volte di tali cavità nel sottosuolo.

Le cave dei materiali da costruzione, tufi e pozzolane, sfruttavano generalmente i livelli teneri compresi tra livelli più resistenti: i pilastri, a volte, mostrano evidenti segni di degrado, soprattutto per ciò che riguarda distacchi a cuneo che inducono fenomeni di assottigliamento con conseguente diminuzione della capacità portante degli stessi.

Da quanto evidenziato sopra si comprende come sia di notevole importanza uno studio per indicare e circoscrivere le zone più a rischio e la relativa localizzazione delle cavità ipogee.

Tra le indagini geofisiche, per l'esplorazione del sottosuolo in aree urbane, la prospezione gravimetrica risulta essere la più vantaggiosa in quanto si misurano unicamente variazioni di un campo di forze naturali; non è necessaria alcuna energizzazione del terreno ed i valori misurati non risentono dei disturbi indotti dalla presenza di tubature metalliche interrato, di correnti vaganti nel sottosuolo, della vicinanza di linee ferroviarie, o di cabine di trasformazione. Le anomalie rilevate sono determinate dalla non omogenea distribuzione delle masse all'interno della Terra, ed il metodo microgravimetrico ben si presta per individuare anomalie di gravità generate da strutture e cavità sepolte di modeste dimensioni a piccola profondità che abbiano un sufficiente contrasto di densità con le rocce incassanti.

A tale scopo è stata effettuata una prospezione microgravimetrica nell'area di Villa Gordiani, lungo la via Prenestina, una zona fortemente antropizzata alla periferia di Roma, per verificare la possibilità di utilizzo di questo metodo

geofisico per la localizzazione e la stima delle dimensioni delle cavità ipogee al fine di poterne valutare il rischio di crollo.

La dettagliata prospezione microgravimetrica eseguita nell'area di Villa Gordiani ha permesso l'elaborazione di una “carta delle anomalie residue”, da cui risultano evidenti due minimi gravimetrici correlabili a due cavità di cui, attraverso la realizzazione di un modello tridimensionale del quale è stato calcolato l'effetto gravimetrico, sono stati desunti il volume, le dimensioni e la profondità alle quali sono ubicate.

Interventi di risanamento e consolidamento di cavità sotterranee - il caso di una Scuola Elementare a Roma

Nel presente paragrafo si riporta, sinteticamente, un intervento eseguito per mettere in sicurezza il complesso scolastico di Santa Beatrice a Roma.

A seguito di una voragine verificatasi nel mese di Gennaio 1995, si è rilevata la presenza di una fitta rete caveale legata ad attività estrattive di pozzolana sviluppatesi nel passato.

Una accurata indagine condotta utilizzando, oltre alle classiche metodologie dei sondaggi geognostici, una serie di ispezioni televisive in foro per visionare ed analizzare le reali geometrie delle cavità e le loro condizioni geostatiche, ha permesso di valutare con precisione l'entità del problema e di realizzare una zonazione della rete caveale con relativo grado di rischio di crollo.

Il successivo intervento di consolidamento è stato condotto riempiendo le cavità a maggior rischio di crollo con un materiale a base di leganti idraulici caratterizzato da una densità simile a quella del terreno circostante, iniettabile, autolivellante e dotato di buona permeabilità.

Queste caratteristiche sono state ritenute indispensabili, da un lato per poter eseguire il consolidamento dalla superficie senza mai dover accedere alle gallerie, evitando quindi rischi, assai elevati, per la presenza di personale nelle cavità, dall'altro per non modificare il comportamento geomeccanico e idrogeologico dell'ammasso nel quale le cavità sono scavate, non inducendo

pertanto disuniformità in superficie (cedimenti differenziali, tensionamenti dei pilastri, modifiche del regime idraulico, ecc.).

Il controllo e la calibrazione del consolidamento è stato assicurato realizzando una serie di barriere artificiali che hanno permesso di iniettare selettivamente le cavità, controllando i volumi iniettati in funzione dei volumi rilevati in fase di indagine televisiva in foro.

Queste barriere sono state realizzate utilizzando speciali micropali attrezzati con sacchi otturatori che venivano opportunamente gonfiati per sigillare trasversalmente la cavità.

Tutte le operazioni di realizzazione e iniezione dei sacchi otturatori sono state controllate per mezzo della telecamera in foro, realizzando pertanto un intervento di ingegneria del sottosuolo simile a quello che in medicina si sarebbe definito di chirurgia endoscopica.

Gli obiettivi di consolidamento sono stati tutti raggiunti, confermando la validità di un metodo che apre interessanti possibilità nella soluzione del problema del consolidamento delle cavità sotterranee.

Nel paragrafo che segue, si evidenziano alcune delle problematiche legate al piano di posa delle fondazioni di edifici, in presenza di cavità artificiali sottostanti e quindi delle relative tecniche di intervento.

Problematiche fondazionali in presenza di cavità sotterranee

E' difficile parlare in termini generali di problemi geotecnici di fondazione di strutture in presenza di cavità, siano esse naturali od artificiali, nel sottosuolo. Questo in quanto ogni situazione risulta fortemente differente dall'altra per

caratteri delle cavità stesse, per situazione stratigrafica dei terreni, per tipologia ed esigenze del manufatto da fondare.

In linea del tutto astratta, non si pongono comunque grandi problemi concettuali, avendo a disposizione diverse possibili ed affidabili tecniche di intervento alcune delle quali ben collaudate. Nelle situazioni reali tuttavia, la estrema delicatezza del problema deriva da diversi fattori contingenti che vanno attentamente valutati e dalla capacità di adattare le possibili soluzioni.

Possibili tecniche di intervento:

Rimozione preventiva

Un primo criterio consiste nel rimuovere preventivamente la fascia di terreni interessata dalle cavità. Ciò risulterà praticamente possibile nel caso di spessori dei terreni interessati relativamente modesti e, soprattutto, dalla assenza di vincoli e condizionamenti al contorno.

B) Fondazioni profonde

E' una delle soluzioni più diffuse e facilmente praticabili. In questo modo, com'è noto, con le fondazioni profonde, ad esempio su pali, il problema viene superato trasferendo i carichi al di sotto delle cavità. La delicatezza dell'intervento è legata ad aspetti costruttivi, evitando per quanto possibile di sovraccaricare le volte delle cavità. Questo viene generalmente risolto "incamiciando" opportunamente tutta la parte superiore dei pali.

C) Riempimento delle cavità

Questa soluzione, apparentemente semplice ed intuitiva, presenta delicati problemi di congruenza e continuità con i terreni preesistenti e quindi di scelta dei materiali di riempimento. Interessanti sviluppi derivano dall'impiego di materiali artificiali innovativi.

D) Interventi di consolidamento

Interventi sistematici di sostegno delle volte, di rinforzo di colonne e pilastri e di consolidamento dei terreni intorno alle cavità può risultare utile ed efficace, se non altro come intervento preventivo o complementare ad altri.

Dalla sommaria elencazione delle possibili tipologie di intervento risulta evidente che la scelta della migliore soluzione da adottare dipende essenzialmente da due fattori. Il primo è legato ad una accurata individuazione e delimitazione delle cavità. La seconda da una accurata e significativa caratterizzazione geotecnica e strutturale dei terreni interessati.

Decisivo, in un progetto di fondazione, è il cosiddetto "effetto scala". Dal rapporto geometrico tra dimensioni del corpo di carico ed estensione delle cavità dipende essenzialmente la entità del problema - fino alla stessa fattibilità dell'intervento - e la scelta della migliore soluzione progettuale.

Un'ultima notazione riguarda infine l'esigenza che in ogni caso un progetto deve contenere sempre una certa flessibilità, con possibilità di apportare ad esso modifiche ed integrazioni. Per quanto preventivamente studiata, ogni situazioni può presentare incognite e particolarità tali da imporre degli aggiustamenti in corso d'opera.

**IPOTESI DI NORMATIVA / INDIRIZZI PER LA PIANIFICAZIONE
COMUNALE IN AREE CON NOTEVOLE PRESENZA DI CAVITÀ
ARTIFICIALI**

Nelle note precedenti, si è cercato di analizzare/evidenziare le problematiche connesse alla presenza di cavità artificiali in aree urbane e le relative attività intraprese per la conoscenza, catalogazione e predisposizione delle tecniche, di prevenzione da eventuali rischi connessi a tali presenze da un lato, di valorizzazione per quelle di particolare valore sotto il profilo storico-archeologico dall'altra e, infine, le tecniche per il loro consolidamento e la messa in sicurezza degli spazi e/o degli edifici in superficie.

Nel complesso un'attività interessante che, in maniera differente nelle diverse regioni italiane, ha elevato il livello di attenzione e di sensibilizzazione, sia di associazioni di volontariato e di settore che delle pubbliche amministrazioni verso tali problematiche, favorendo iniziative tese, appunto, ad una migliore conoscenza del sottosuolo e ad una più efficace difesa da eventuali rischi ad esso connessi.

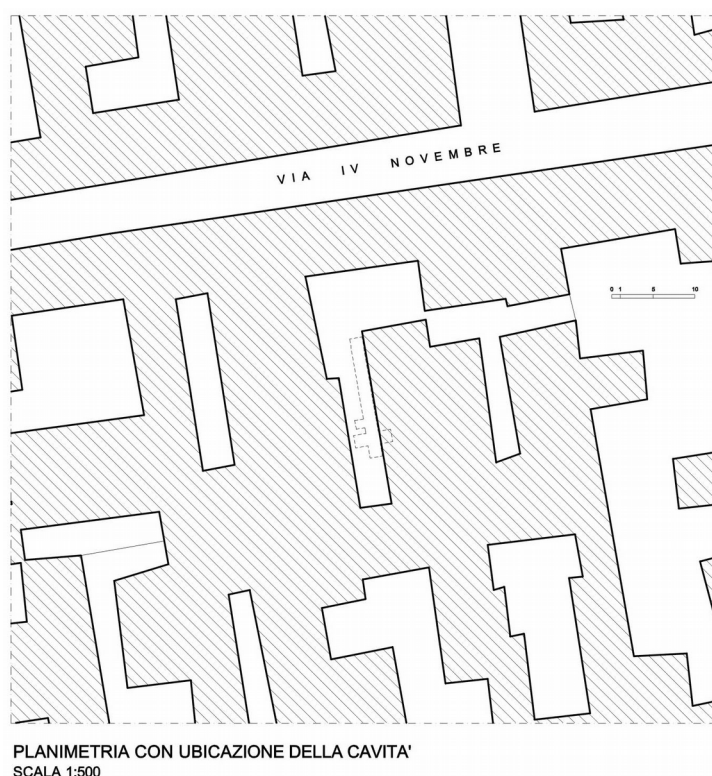


Fig.4 – La cavità ed il contesto urbano soprastante

Nello specifico del lavoro che qui stiamo affrontando, quello cioè della predisposizione di indirizzi da fornire ai Comuni per la pianificazione in aree con notevole presenza di cavità, si ritiene indispensabile ed auspicabile che i Comuni, al fine di una corretta gestione del sottosuolo urbano (le cavità sono soprattutto concentrate nelle parti di più antica formazione dei centri abitati,

nelle parti cioè dove maggiormente stratificata risulta la presenza antropica), si dotino di:

- un “catasto” completo delle cavità artificiali presenti nel sottosuolo del proprio territorio, in particolare di quello urbanizzato;
- una “mappa completa e dettagliata delle reti tecnologiche”, con la specificazione dell’epoca di realizzazione, dei materiali utilizzati, della quota del piano di posa, dello stato di manutenzione etc., al fine di valutarne il grado efficienza e di eventuale interferenza con le cavità artificiali;
- una “normativa d’uso” che contempli sia il corretto uso delle attività al soprassuolo, laddove risulta la presenza di cavità sotterranee, sia delle cavità stesse, in funzione della loro tipologia, accessibilità, interesse;
- un “piano di manutenzione del sottosuolo urbano”, finalizzato, ciclicamente, a verificarne la tenuta e/o la eventuale necessità di interventi più consistenti.

I punti sopra elencati definiscono anche una scala di priorità, essendo logico come la normativa d’uso ed il piano di manutenzione possono essere possibili soltanto una volta realizzati il catasto delle cavità artificiali e la mappatura delle reti tecnologiche.

Risulta altresì evidente come, ai fini della catalogazione delle cavità artificiali, sarebbe indispensabile una qualche forma di coinvolgimento dei proprietari degli immobili in cui sono ubicati gli accessi a tali cavità (spesso sono loro i depositari della conoscenza di cavità ormai in disuso, non più accessibili e/o ostruite per vari motivi).

Come anche la ricerca in corso ha dimostrato, infatti, molti cittadini negano l’esistenza delle cavità perché temono il pagamento della relativa tassa di possesso, oppure perché temono di essere coinvolti economicamente nella loro manutenzione, o perché non vogliono interferenze nell’uso delle stesse cavità (spesso annesse a proprietà più consistenti e da esse accessibili). Andrebbero in tal senso studiate delle forme di incentivazione, eventuali sgravi fiscali, etc., per favorire, appunto, l’acquisizione di tale conoscenza e la relativa

catalogazione. In ogni caso questi temi risultano non semplici da affrontare sia in sede di redazione dello strumento urbanistico comunale, sia nella prassi ordinaria di gestione amministrativa.

Ci si è resi conto che, oltre a quanto necessario al fine della conoscenza e catalogazione delle cavità (le cui tecniche e metodologie sono state ampiamente illustrate nelle note precedenti), risultano da definire prioritariamente:

1. la natura proprietaria delle cavità (soggetti, pubblici e privati, a cui saranno indirizzate le indicazioni della normativa) ;
2. i soggetti abilitati/obbligati alla manutenzione della cavità;
3. la natura giuridica del bene ai fini fiscali.

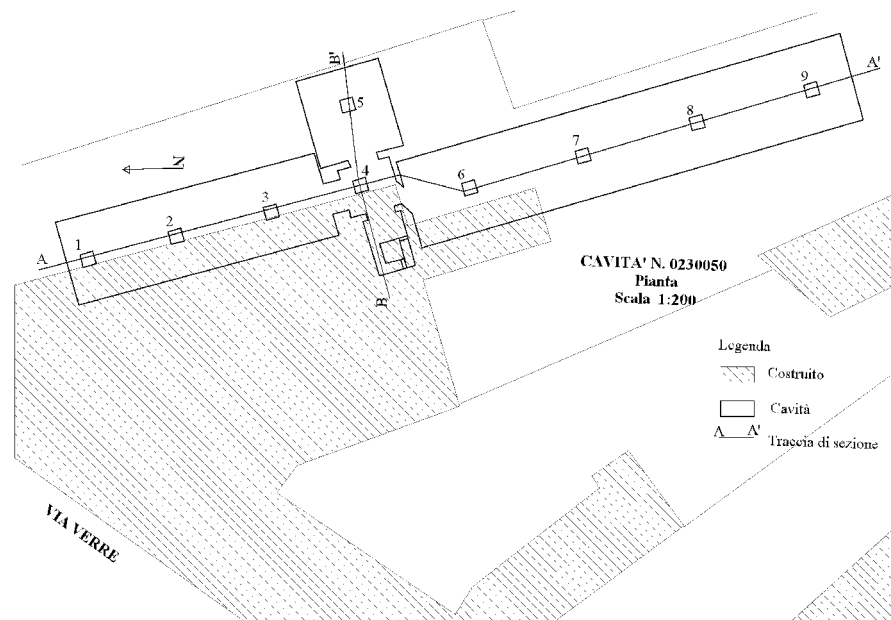


Fig.5 – La cavità ed il contesto urbano soprastante

In sostanza i Comuni, contestualmente alla predisposizione del “catasto delle cavità artificiali” e della “mappa delle reti tecnologiche”, al fine di predisporre una adeguata normativa ed un efficiente “Piano di manutenzione” del sottosuolo urbano, dovranno individuare i differenti soggetti che, a vario titolo, hanno una qualche competenza, appunto, su quanto di artificiale esiste nel sottosuolo (proprietari, Enti di gestione, Pubblica amministrazione, Soprintendenze, etc.).

Le note seguenti, volendo configurarsi anche come base per gli indirizzi da fornire ai Comuni, pertanto, saranno divise in due parti:

- una prima parte, nella quale viene definita la natura proprietaria della cavità, il soggetto abilitato alla sua manutenzione, le utilizzazioni consentibili;
- una seconda parte contenente gli indirizzi per la pianificazione comunale.

PRIMA PARTE

Non sempre risulta semplice definire la natura proprietaria e quindi il soggetto abilitato alla manutenzione della cavità, in quanto in alcuni casi trattasi di cavità profonde ed estese e con diversi accessi, sia da proprietà pubbliche che da proprietà private.

Per quanto riguarda la natura giuridica del bene ai fini fiscali, si intende che la cavità debba essere classificata in funzione anche della modalità di appartenenza, più o meno diretta, al bene dal quale vi si accede ed al quale è strettamente connesso, nel senso che si possono verificare i seguenti casi:

- la cavità amplia/migliora la disponibilità di spazio dell'immobile cui è connesso e dal quale vi si accede agevolmente;
- la cavità risulta difficilmente accessibile ed utilizzabile, non rappresentando sostanziale incremento di spazio per l'immobile cui è connesso.

Nel primo caso risulta evidente come la cavità debba essere valutata, a tutti gli effetti, superficie catastale da considerare ai fini fiscali; nel secondo caso, potrebbe rappresentare un vincolo, per l'onere economico necessario per la sua eventuale efficienza/manutenzione, a fronte di una sua scarsa utilizzabilità. Si evidenzia in tal senso la necessità di esplorare eventuali forme di detassazione-incentivi al fine, da una parte di non penalizzare alcuni cittadini e, dall'altra, di garantirsi la manutenzione della cavità e quindi la difesa e/o prevenzione da eventuali rischi da crollo.

Inoltre risulta fondamentale definire una griglia di possibili utilizzazioni delle cavità, in funzione:

- della tipologia di cavità (pozzo, cisterna, cunicolo, etc..);
- del tipo e modalità di accesso;
- della dimensione;
- dell'interesse dal punto di vista storico-archeologico-documentario;
- del rapporto con le funzioni al soprassuolo.

In tal senso, i risultati del lavoro condotto dai tecnici esterni incaricati dalla Provincia per il rilevamento e la catalogazione delle cavità al fine della costruzione del data-base, forniscono dati non sufficientemente esaurienti, relativamente ad alcuni aspetti (in particolare per le funzioni al soprassuolo e per la valutazione dell'interesse storico-archeologico della cavità), ma in ogni caso utili ad impostare una prima ipotesi normativa.

Nei paragrafi che seguono si tenterà di individuare e descrivere i casi riscontrabili circa la natura proprietaria delle cavità, i soggetti che dovranno avere delle responsabilità nella loro manutenzione e le utilizzazioni possibili delle stesse, alla luce, appunto, delle loro caratteristiche tipologiche, proprietarie e del tipo e modalità di rapporto/connessione tra sottosuolo e soprassuolo.

Natura proprietaria delle cavità

Alla proprietà del bene, in particolare, è legata la possibilità di individuare chi ed in che modo deve mantenere o utilizzare tale bene.

Si definiscono i seguenti casi:

A) cavità di proprietà privata, accessibile dall'interno della stessa proprietà e connessa, dal punto di vista strutturale, con il resto della proprietà; Questo caso può presentarsi secondo differenti modalità e pertanto si può tentare di fare un'ulteriore classificazione in:

- a1) cavità di modeste dimensioni il cui sviluppo superficiale ricade esclusivamente all'interno del perimetro dell'edificio soprastante;

a2) cavità di dimensioni notevoli e con sviluppo superficiale che fuoriesce dal perimetro della proprietà, anche se l'accesso avviene da un'unica proprietà.

a3) cavità di interesse storico-archeologico;

B) cavità con più accessi da proprietà differenti.

C) cavità con un'estensione tale da interessare spazi pubblici o di uso pubblico (strade, piazze, etc.) ed accessibile esclusivamente dall'interno di proprietà private;

D) cavità come sopra, accessibile però anche da spazi pubblici.

E) cavità interessate e/o utilizzate, a tratti, dalle reti infrastrutturali (acquedotti, fognature, etc.), accessibili sia dall'interno di proprietà private che pubbliche e/o di Enti di gestione di tali reti; questo risulta essere tra i casi più complicati, vista la necessità, da parte dell'Ente di gestione (pubblico o privato) di monitorare ed intervenire sull'intera rete.

Soggetti abilitati/obbligati alla manutenzione della cavità

I soggetti abilitati/obbligati alla manutenzione della cavità vanno innanzitutto individuati in funzione della sua potenziale effettiva utilizzabilità; vanno cioè prima definiti gli aspetti di natura più prettamente giuridico-amministrativi prima accennati, relativamente ai casi circa la natura del bene, successivamente si individuano i soggetti deputati, appunto, alla sua manutenzione.

In sostanza si definisce:

- la necessità di accatastamento e quindi la relativa stima del valore economico della cavità con obbligo di manutenzione, nel caso in cui la cavità sia ben accessibile nonché strettamente connessa al bene dal quale si accede; in questo caso la cavità può essere utilizzata dal proprietario;
- il semplice obbligo di manutenzione, attraverso la sottoscrizione di eventuale atto unilaterale d'obbligo, senza che però la cavità partecipi, dal punto di vista fiscale, alla definizione e/o incremento del bene dal quale è accessibile e/o al quale è connesso, nel caso in cui la

cavità si sviluppa al di sotto di un'unica proprietà, l'accessibilità non sia del tutto semplice e quindi di difficile utilizzabilità;

- l'obbligo di mantenere il solo accesso, senza però che la cavità partecipi, dal punto di vista fiscale, alla definizione e/o incremento del bene dal quale è accessibile, nel caso in cui la cavità si sviluppa al di sotto di più proprietà ed interessi, in particolare, delle aree pubbliche o sia interessata, in alcuni tratti, dal percorso delle reti tecnologiche.

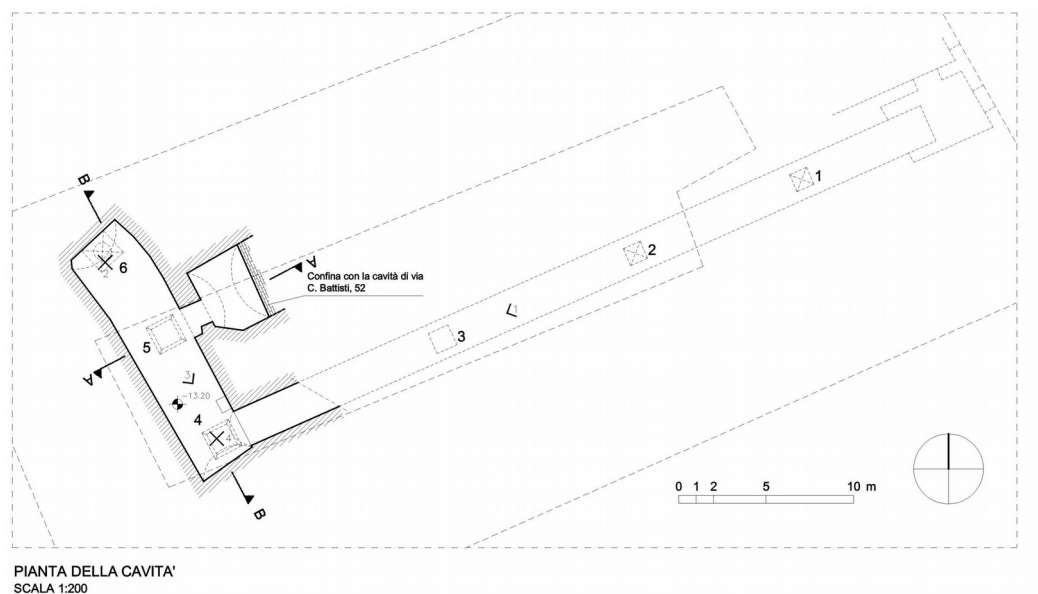


Fig.6 – Un esempio di cavità a Cardito

Definiti questi aspetti, si identificano quindi i soggetti responsabili della manutenzione nel modo seguente:

- I casi contrassegnati dalla lettera A), identificano nel privato proprietario del bene il soggetto responsabile della manutenzione dello stesso; qualora trattasi di cavità che presentano anche un interesse storico-archeologico, il privato può sottoscrivere con l'Ente pubblico una convenzione in base alla quale si impegna a rendere visitabile dal pubblico la cavità in cambio di eventuali contributi per la manutenzione della cavità stessa. La cavità, inoltre, potrà essere accatastata o meno in funzione del suo grado di utilizzabilità.
- Il caso contrassegnato con la lettera B), identifica nei diversi proprietari degli accessi i soggetti responsabili della manutenzione. La cavità, potrà essere accatastata o meno in funzione del suo grado di utilizzabilità.
- Il caso contrassegnato con la lettera C), identifica:

- a) nei diversi proprietari degli accessi i soggetti responsabili della manutenzione, qualora la cavità sia agevolmente utilizzabile (potrà essere accatastata o meno in funzione del suo grado di utilizzabilità);
 - b) nel pubblico, il soggetto responsabile della manutenzione qualora le cavità non siano utilizzabili dai privati. In questo caso, però, i privati proprietari degli accessi debbono consentire al pubblico la ciclica manutenzione (quindi una sorta di “servitù di passaggio”).
- Il caso contrassegnato con la lettera D risulta simile a quello contrassegnato con la lettera C) con maggiore partecipazione del pubblico nella manutenzione, per gli accessi dagli spazi pubblici.
 - Il caso contrassegnato con la lettera E), identifica nel Pubblico, o negli eventuali Enti di gestione, i soggetti responsabili della manutenzione, con l’obbligo per i proprietari degli accessi alle cavità di consentirne la ciclica manutenzione.

Utilizzazioni consentibili

Le possibili utilizzazioni delle cavità artificiali discenderanno dalla loro natura proprietaria, dalle modalità di accesso, dalle dimensioni e tipologia di cavità, dal rapporto con il soprassuolo. In sintesi avremo:

- *cavità di modeste dimensioni il cui sviluppo superficiale ricade esclusivamente al di sotto del perimetro di un edificio soprastante ed a questo, per facilità di accesso, strettamente connesso*; in questo caso gli usi consentibili possono essere quelli di deposito, tavernetta, cantina, cucina, quando la cavità risulta accessibile direttamente dall’interno dell’edificio o dall’esterno senza che questo comporti la modifica o l’alterazione degli elementi strutturali; garage, quando la cavità è accessibile agevolmente dall’esterno, per la modesta differenza di quota tra il calpestio della cavità e la quota esterna, e senza che per tale utilizzazione si debbano manomettere o alterare elementi strutturali (es. volte).

- *cavità di modeste dimensioni il cui sviluppo superficiale ricade esclusivamente al di sotto del perimetro di una proprietà soprastante, costituita da un edificio e da spazi aperti (cortile, giardino);* gli usi consentibili possono essere gli stessi di cui sopra sempre che non comportino cambi di destinazione d'uso degli spazi scoperti soprastanti (es. il giardino o il cortile).
- *Cavità di notevoli dimensioni il cui sviluppo superficiale interessa sia spazi pubblici che diverse proprietà private;* in tali cavità possono essere possibili usi quali parcheggi, quando le cavità hanno una dimensione tale da consentirli, nonché una facile accessibilità; depositi a servizio della pubblica amministrazione; locali per lo spettacolo, etc., purché sia possibile il rispetto delle norme igieniche e di pubblica sicurezza ed i soggetti gestori si impegnino, previa sottoscrizione di una convenzione con il Comune, a garantirne la manutenzione.
- *Cunicoli, necropoli, camminamenti, etc.* di interesse storico-archeologico; tali cavità potranno essere utilizzate solo per fini scientifico-culturali e didattici (visite guidate, eventuali allestimenti museali, etc.). In questo caso saranno consentibili tutte quelle opere finalizzate a rendere visitabile agevolmente la cavità, quali percorsi protetti, impianto di illuminazione, etc.. La manutenzione sarà a carico della pubblica amministrazione oppure di Enti, Soprintendenze, Associazioni culturali, etc..

SECONDA PARTE

Innanzitutto si premette che dai risultati delle ricognizioni operate dai tecnici incaricati dalla Provincia si nota come le cavità artificiali siano concentrate, principalmente, nelle parti urbane di più antica formazione, cioè nei centri storici e con tale maggiore diffusione sul territorio provinciale:

- Fascia a nord di Napoli comprendente i comuni di Villaricca, Qualiano, Sant'Antimo, Casavatore, Casoria, Arzano, Casalnuovo, Afragola, Caivano, Casandrino, Frattamaggiore, Grumo Nevano, Frattaminore,

Crispano, Cardito, Roccarainola, Cicciano, Camposano, Tufino, Comiziano, Cimitile, Casamarciano.

- Area Flegrea e più precisamente nei comuni di Pozzuoli e Bacoli; in questi comuni le cavità rivestono un particolare interesse archeologico.
- Comuni del versante nord del Vesuvio, Castello di Cisterna, Brusciano, Mariglianella, Pomigliano d'Arco, Sant'Anastasia, Somma Vesuviana, Scisciano; in questi comuni sono particolarmente presenti le cosiddette "tane di lapillo".
- Comuni di Agerola e Lettere, per la presenza di cavità di natura carsica; comune di Gragnano per la diffusa presenza di cavità e gallerie.

Le norme, pertanto, debbono essere calibrate per poter essere applicate all'interno di tessuti storici, ambiti cioè già oggetto di pesanti interventi di trasformazione e, in buona parte, in condizioni di degrado. Gli interventi sulle cavità, in tal senso, dovranno essere pensati all'interno di una logica complessiva di recupero, riqualificazione ed eventuale rifunzionalizzazione di parti consistenti di tali tessuti.

Questo significa che, relativamente a quei comuni per i quali sia sufficiente la conoscenza circa la presenza di cavità artificiali e più in particolare per quegli ambiti dove ne risulta maggiore la concentrazione, in sede di redazione degli strumenti urbanistici comunali, generali ed esecutivi, si dovranno, oltre a quanto di norma previsto per il soprassuolo, prevedere una serie di norme che, da una parte, consentano l'eventuale conservazione del sistema caveale e, dall'altra, garantiscano la sicurezza delle funzioni e dei manufatti presenti al soprassuolo.

In sostanza, il Comune, oltre a quanto già descritto nelle note precedenti circa la costituzione del "catasto delle cavità artificiali" e una volta chiariti gli aspetti circa la natura proprietaria e giuridica della cavità, dovrà dotarsi di uno strumento normativo contenente:

- norme per la corretta gestione di aree ancora inedificate al di sopra di cavità artificiali di cui si conosce con certezza l'esistenza o la si suppone da notizie e fonti bibliografiche e/o archivistiche;

- norme per gli interventi sulle fondazioni degli edifici nei centri storici, in caso di interventi di ristrutturazione edilizia, risanamento conservativo o restauro;
- norme che prevedano indagini accurate preventive nel sottosuolo, nel caso di realizzazione o riqualificazione di impianti a rete che interessano i tessuti storici degli abitati.

A) Norme per la corretta gestione di aree ancora inedificate

Qualora il P.R.G. dovesse destinare queste aree a nuova edilizia residenziale oppure ad attrezzature di interesse collettivo, oltre alle indagini geologiche già previste dalle norme vigenti, dovrebbero, obbligatoriamente, effettuarsi su queste aree tutte quelle indagini (es. quelle con metodi geofisici descritti precedentemente) finalizzate ad acquisire una conoscenza dettagliata (dimensione, profondità, condizioni statiche, etc.) delle eventuali cavità presenti nel sottosuolo. Soltanto dopo aver ottenuto i risultati delle indagini sarà possibile valutare la opportunità di confermare la destinazione prevista e/o le eventuali tecniche di intervento, che potranno essere di:

- riempimento della cavità, qualora la stessa non presenti interesse dal punto di vista archeologico e sia in pessimo stato di conservazione;
- consolidamento della cavità, qualora la stessa,
 - a) presenti un interesse storico archeologico
 - b) si trovi ad una profondità tale da non interferire con eventuali piani di posa di fondazioni di edifici soprastanti

Norme per gli interventi sulle fondazioni di edifici nei centri storici

Anche in assenza di un “catasto delle cavità artificiali” che restituisca in maniera dettagliata la rete caveale esistente al di sotto dei centri storici, è possibile prescrivere che in sede di interventi di consolidamento delle fondazioni di edifici (sottofondazioni, micropali, etc.) ricadenti in ambiti dove maggiore risulta la concentrazione di cavità artificiali, si conducano preventivamente tutte le indagini già descritte sopra. Tali indagini dovrebbero essere allegate alla richiesta di Concessione edilizia e/o Autorizzazione. Nel caso si rilevi la presenza di cavità, dovrà essere valutata, insieme con l’Ufficio

Tecnico Comunale, la opportuna tecnica di consolidamento e/o qualsiasi altra iniziativa (manutenzione, accessibilità, eventuale destinazione d'uso, etc.) finalizzata alla sua conservazione e/o fruizione. Più in particolare, sarebbe interessante che in sede di redazione del Piano di Recupero di un centro storico, tali indagini conoscitive consentissero la possibilità di localizzare nel sottosuolo funzioni coerenti e, in qualche caso, in continuità con quelle previste al soprassuolo. Si pensa in particolare a destinazioni di interesse collettivo.

Norme per la realizzazione, riqualificazione e gestione delle reti tecnologiche

Per le reti esistenti, risulta prioritaria la conoscenza dettagliata delle stesse in merito a:

- epoca di realizzazione;
- modalità di realizzazione (utilizzo di cunicoli già esistenti, nuovo scavo);
- materiali utilizzati;
- quote del piano di posa dei tracciati.

Per le nuove reti, si possono invece prescrivere le indagini conoscitive prima descritte. Per quanto riguarda gli aspetti gestionali e quindi manutentivi delle reti, oltre ai tracciati, risultano fondamentali le conoscenze circa la natura proprietaria delle cavità, le modalità di accesso, etc., già descritte nei paragrafi precedenti.

Bibliografia

Alberico I., Guerra V., Lirer L.; Il rischio sottosuolo nella Provincia di Napoli, IV Conferenza Nazionale ASITA - Informazione Geografica: innovazione e formazione, pp. 1411-1416, Ottobre 2000.

Alterbitini V., Baldi A., Collini L., Esposito C., Guerra V., Miraglino P., Schiattarella F., Vallario A. Le cavità sotterranee del napoletano: pericolosità e possibili utilizzi, Geologia Tecnica N.3, 1988

C.I.R.A.M. (Centro Interdipartimentale Ricerca "Ambiente"), Università degli Studi di Napoli Federico II. Analisi dell'ambiente fisico ed antropizzato, individuazione e definizione dei rischi naturali, luglio 1998.

de Riso R., Lirer L., I Caratteri Fisico-Ambientali del Territorio - La carta Geolitologica, Il Piano territoriale di Coordinamento della Provincia di Napoli-Progetto Preliminare, pp. 63-70 Novembre 1999.

Di Girolamo P., Ghiara M.R., Lirer L., Munno R., Rolandi G. Stanzione D. Vulcanologia e petrografia dei Campi Flegrei. Boll. Soc. Geol. It, 103, 1984

Evangelista A., Cavità e dissesti nel sottosuolo dell'area napoletana, Atti del Convegno <Rischi naturali ed impatto antropico nell'area metropolitana napoletana> Napoli, Facoltà di Ingegneria 7-8 giugno 1991

Gasparini P. "La localizzazione delle cavità con metodologie sismiche" in "Frane e Territorio" pp. 444 – 450 Liguori Editore, 1992

Jeffrey D. Ullman Stanford University California, Gruppo Editoriale Jackson, Basi di dati e basi di conoscenza, 1991

Jones C. Geographic Information System and Computer Cartography, Longman Press, 1997

Santacroce R. editors (1987) Somma-Vesuvius. C.N.R. Quaderni del "la Ricerca Scientifica" 114, vol.8.