

Le cavità nascoste nei “*calcareous tufa*” del sottosuolo di Rieti

Underground cavities hidden in the “calcareous tufa” of the Rieti town

MADONNA Sergio(*), NISIO Stefania(**), GANDIN Anna(***)

RIASSUNTO - L'antica Città romana di Rieti (*Reate*) si è sviluppata al margine Sud-Orientale della omonima piana, quasi alla confluenza del Fiume Turano con il Velino. Essa sorgeva su una piccola rupe costituita da depositi carbonatici continentali prodotti da acque mineralizzate fredde (*calcareous tufa*), impropriamente definiti “*travertini*”. Questi depositi si sono formati nel Pleistocene Superiore e sono stati poi profondamente incisi dal reticolo idrografico e carsificati. Nel corso dei secoli, lo sviluppo urbanistico ha quasi completamente cancellato le tracce delle scarpate di erosione fluviale che limitavano il versante meridionale dell'antica rupe. In questo settore la città si è stratificata su entrambi i fianchi del viadotto del ponte romano sul Velino, cui corre l'attuale Via Roma. Il viadotto sorretto da imponenti arcate, permetteva l'accesso dalla via Salaria, superando con un dislivello di ben 17 m un'area paludosa e soggetta a frequenti esondazioni. I resti delle botteghe e delle antiche vie, che dal porto fluviale e dalle sponde del Velino si addossavano alle arcate del ponte, sono osservabili nei sotterranei dei palazzi che si aprono su via Roma e costituiscono lo straordinario universo della “Rieti sotterranea” antropica. Tuttavia nel sottosuolo della parte centrale della città che sorge sulla rupe sono presenti anche estesi, e poco noti sistemi di cavità carsiche, con grandi ambienti in gran parte rimaneggiati e trasformati dall'azione antropica, utilizzati anche come rifugi anti-aerei durante la seconda guerra mondiale. Queste cavità, solo in minima parte censite, si intersecano con i resti di cunicoli e di opere di derivazione idraulica connessi all'articolato sistema di canali che si è evoluto parallelamente alla espansione della cinta muraria, sia per scopi difensivi, sia per garantire la forza idraulica (che alimentava i numerosi mulini), sia per l'approvvigionamento idrico della città. I canali, le fontane e cisterne ed i mulini erano

alimentati non solo dal Velino ma anche dal Fiume Cantaro, che scorreva nella parte nord-orientale della città. Questi canali, come anche il Fiume Cantaro, il Fiume dei Nobili e le “cavallette” della zona del borgo, sono ormai tombati e scomparsi, ma erano in parte presenti fino alla fine del XIX secolo, ed hanno valso a Rieti il titolo di “Venezia del centro-Italia”. Questo sistema di condotti e di cavità, soprattutto quelle carsiche, costituiscono un reale fattore di rischio, in quanto potrebbero dar luogo a numerosi fenomeni di sprofondamento, tenendo conto anche dell'elevata sismicità dell'area connessa alla complessa e recente evoluzione tettonica della piana reatina e della presenza di faglie classificate come “attive e capaci” che, in pratica, attraversano il centro urbano.

PAROLE CHIAVE: Calcareous tufa, cavità, Rieti, sinkhole, GIS, Carsismo, rischio geologico.

ABSTRACT - The ancient Roman city of Rieti (*Reate*), developed on the south-eastern edge of the homonymous plain, almost at the confluence of the Turano River with the Velino. It stood on a small cliff of continental carbonate deposits produced by cold mineralized waters (*calcareous tufa*), improperly defined “*travertines*”. These deposits were product in the Upper Pleistocene and then were deeply engraved by the hydrographic network and karsified. Over the centuries, urban development has almost completely erased the traces of the river erosion escarpments that limited the southern slope of the ancient cliff. In this sector, the city is stratified on both sides of the viaduct of the Roman bridge over the Velino, which is the current Via Roma. The viaduct, supported by imposing arches, allowed access from Via Salaria, overcoming a swampy area subject to

(*) Università degli Studi della Tuscia Dipartimento DAFNE sermad@unitus.it

(**) ISPRA stefania.nisio@isprambiente.it

(***) gandinanna@gmail.com

frequent flooding with a difference in height of 17 m. The remains of the shops and the ancient streets, which from the river port and the banks of the Velino leaned against the arches of the bridge, can be observed in the basement of the buildings that open onto Via Roma and constitute the extraordinary universe of the anthropic “underground Rieti”. But in the subsoil of the central part of the city that rises on the cliff there are also extensive, and little known systems of karst cavities, with large rooms largely remodeled and transformed by anthropogenic action, also used as anti-aircraft shelters during the second world war. These cavities, only minimally surveyed, intersect with the remains of tunnels and hydraulic derivation works connected to the articulated system of canals that evolved parallel to the expansion of the walls, both for defensive purposes and to guarantee strength hydraulics (which fed the numerous mills), and for the water supply of the city. The canals, the fountains, cisterns and the mills were fed not only by the Velino but also by the Cantaro River. They flowed in the north-eastern part of the city. These canals, as well as the Cantaro River, the River of the Nobles and the “cavatelle”, are now buried and disappeared, but they were present until at the end of the nineteenth century, and they have earned to Rieti the title of “ Venice of central Italy “. This system of ducts and cavities, especially the karst phenomena, constitute a real risk factor. They could give rise to sinkhole phenomena, also considering the high seismicity of the area, connected to the recent tectonic evolution of the Rieti plain and with some faults classified “active and capable” crossing the urban centre.

KEY WORDS: Calcareous tufa, cavities, Rieti, sinkhole, GIS, Karst, geological hazard.

1. - INTRODUZIONE

Le cavità sotterranee costituiscono potenzialmente un grave problema per le aree urbane, soprattutto per quelle poste in aree altamente sismiche, perché possono originare improvvisi sprofondamenti e crolli in superficie.

Tuttavia, quando sono note, investigate e messe in sicurezza possono costituire anche un'importante risorsa per la valorizzazione turistica delle città d'arte. Se sono rese fruibili ed adeguatamente attrezzate per essere visitate dal pubblico, esse possono svelare, con i loro affascinanti percorsi che si snodano sotto ai monumenti ed ai palazzi dei nostri centri storici, uno spaccato della storia della città. Rieti con la sua storia millenaria rappresenta un buon esempio di questo tipo di utilizzo, in quanto le visite nei sotterranei del

centro storico, in cui si possono osservare i resti dei quartieri medioevali o i fornicelli delle grandi arcate del viadotto romano su cui corre l'attuale via Roma, rappresentano ormai una delle principali attrazioni turistiche. Ma i percorsi della “Rieti sotterranea” nonostante la loro ricchezza interessano solo ambienti interamente edificati dall'uomo, sopra i quali la città è cresciuta e si è stratificata (GIOVANNELLI, 2005, 2012).

Nei depositi carbonatici continentali (*calcareous tufa*), che costituiscono il substrato geologico del sottosuolo del centro storico di Rieti, tuttavia, sono presenti, anche enormi cavità naturali (carsiche) un tempo ricche di speleotemi (Fig 1), solo in minima parte conosciute, e di cui si è persa quasi completamente la memoria sulla loro origine. Alcune di queste cavità sono state completamente rimaneggiate dalla azione antropica e trasformate in grandi rifugi antiaerei, in uso durante la Seconda guerra mondiale, altre utilizzate come cantine o come birrerie o ristoranti. La loro presenza in ogni caso è indicativa di un sistema carsico ipogeo molto esteso, e nota solo in piccola parte.

Sotto il tessuto urbano inoltre sono presenti anche resti di altre tipologie di cavità realizzate dal-



Fig. 1 - Foto dei primi del Novecento che testimonia la grande ricchezza di speleotemi che caratterizzava la cavità carsica presente sotto la caserma Verdirosi, prima che venisse distrutta per creare un rifugio antiaereo in uso durante il secondo conflitto mondiale. (Foto pubblicata per gentile concessione dell'archivio fotografico Bernardinetti).

- Photo from the early twentieth century that testifies to the great wealth of speleothems that characterized the karst cavity under the Verdirosi barracks, before it was destroyed to create an air-raid shelter in use during the second world conflict. (Photo published courtesy of the Bernardinetti photographic archive).

l'uomo per differenti motivi o connesse alle opere idrauliche ed ai sistemi di distribuzione idrica della antica città. Si tratta di cunicoli sotterranei, e di canali realizzati inizialmente a cielo aperto e poi successivamente tombati o coperti. Tali opere un tempo erano molto numerose da far concedere a Rieti il titolo di “Venezia dell'Italia Centrale”.

Una prima sintesi delle cavità e dei cunicoli (naturali ed antropici) presenti nell'area urbana di Rieti in relazione alle unità del suo substrato è presentata nella figura 2.

2. - METODOLOGIA

Al fine di gestire la notevole mole di dati che sono stati acquisiti è stato elaborato un progetto GIS in cui sono stati raccolti e “contestualizzati” sia i dati prodotti attraverso rilievi diretti di terreno, sia i dati interdisciplinari frammentati o dispersi nelle innumerevoli

fonti bibliografiche disponibili. Per alcune cavità per cui esisteva o è stata prodotta una planimetria si è provveduto alla loro georeferenziazione, per altre si è tentato di ubicarle in modo approssimato utilizzando i pochi riferimenti disponibili.

Per comprendere l'origine delle cavità carsiche presenti nel sottosuolo di Rieti è stato fondamentale far riferimento non solo alla natura delle rocce carbonatiche (*calcareous tufa*) che costituiscono il suo substrato (oggetto di una dettagliata analisi di *facies* degli affioramenti presenti in ambito urbano), ma anche al contesto geomorfologico strutturale ed idrogeologico in cui si sono inseriti, con particolare riferimento alle sorgenti ed alle emanazioni gassose, in relazione anche al complesso assetto idraulico ed alla evoluzione della piana reatina.

Analogamente per comprendere la distribuzione e la tipologia delle cavità antropiche, occorre analizzare la complessa evoluzione del paesaggio urbano, strettamente connessa sia alle opere di difesa sia alle

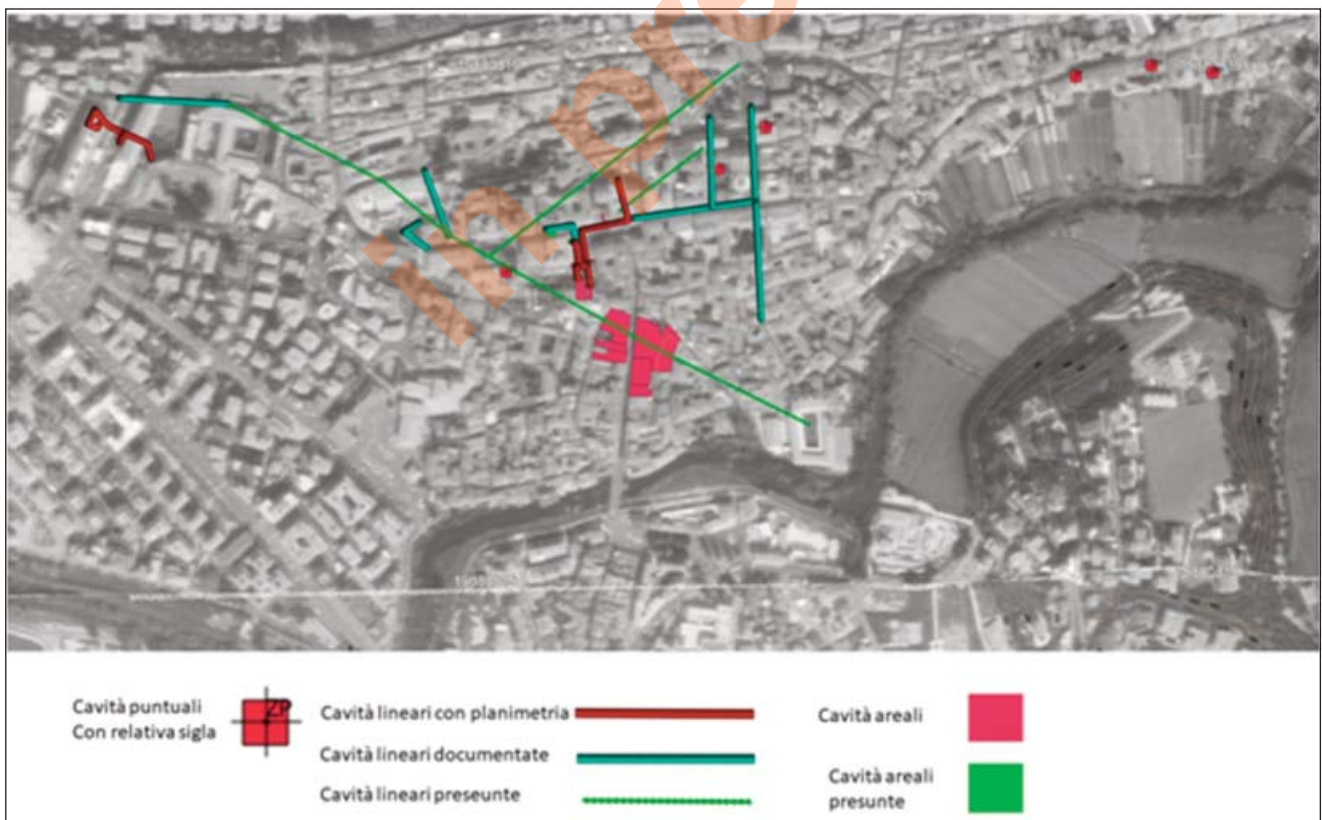


Fig. 2 - Schema dei principali tipi di cavità, naturali ed antropiche presenti nel sottosuolo di Rieti sovrapposto alle curve di livello della CTRN della Regione Lazio in scala 1:5.000 ed ad una ortofoto in B/N del 1998 (Geoportale nazionale servizi WMS).

- Diagram of the main types of natural and anthropogenic cavities present in the Rieti subsoil, it's superimposed on the level curves of the CTRN of the Lazio Region on a scale of 1:5,000 and on a 1998 B / W orthophoto (National Geoportale Surveys WMS).

opere idrauliche prodotte in seguito alle modifiche dell'assetto idrografico del settore meridionale della piana reatina, oggetto sin dall'epoca romana di profondi interventi di bonifica, di regimazione delle acque e di canalizzazione.

L'approccio è stato quindi di tipo interdisciplinare: la ricerca delle informazioni è stata estesa anche ai dati storici-archeologici, alla cartografia storica ed ai dati del sottosuolo, resi disponibili grazie ai recenti studi di microzonazione sismica (fino al terzo livello). Importantissimo è stato anche il contributo di storici e professionisti locali, custodi di una "memoria storica" della città tramandata in gran parte oralmente. Il progetto GIS e la relativa banca dati è stato prodotto con il software open source QGIS).

Nel progetto sono stati inseriti numerosi strati informativi che vanno dalla: cartografia storica ai dati storico-archeologici, dai dati idrogeologici, geomorfologici, geologici disponibili in studi di carattere regionale, a quelli di dettaglio derivanti dalla microzonazione sismica di III livello pubblicati sul sito della Regione Lazio o acquisiti da alcuni professionisti locali che hanno messo a disposizione i loro dati. L'obiettivo è stato quello di presentare in via preliminare, un quadro complessivo delle cavità fino a questo momento individuate, auspicandoci che possa rappresentare uno stimolo per ulteriori ricerche volte a produrre un censimento più completo ed il punto di partenza per la costituzione di una banca dati integrata dell'area urbana di Rieti.

3. - INQUADRAMENTO STRUTTURALE GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Per comprendere sia l'origine dei depositi carbonatici continentali che costituiscono la piccola rupe di Rieti, sia la natura e l'estensione delle cavità carsiche, che sono state identificate nel suo sottosuolo, è indispensabile fare riferimento al contesto strutturale ed idrogeologico in cui si sviluppa la piana di Rieti: un tipico bacino intermontano a geometria sub-retangolare (Fig. 3) compreso nel tratto sabino dell'Appennino centrale (ACCORDI & CARBONE, 1988;

COSENTINO & PAROTTO, 1992), un settore che è stato coinvolto nella strutturazione della catena durante l'evento del Messiniano inf., ma riattivato, fuori sequenza, durante il Messiniano terminale-Pliocene inferiore (CIPOLLARI & COSENTINO 1992; COSENTINO *et alii*, 2008). Data la natura prevalentemente calcarea delle successioni che costituiscono i rilievi sabini e reatini tra il quali è compresa la piana (Fig. 3), l'esumazione della catena segna anche l'avvio dei fenomeni carsici, che sono una delle cause della forte mineralizzazione delle acque che dai rilievi circostanti confluiscono nella valle del Reatino, ed in particolare di quelle della idrostruttura dei monti Reatini (Fig. 3). Tuttavia le variazioni climatiche che sono intervenute dal Miocene superiore sino a tutto il Quaternario, le oscillazioni del livello della falda di base, la tettonica e la risalita di fluidi profondi (per citare solo alcune delle principali cause), hanno avuto notevoli effetti sul chimismo delle acque, che sono passate più volte da fasi in cui erano fortemente incrostanti durante le quali hanno portato alla formazione di depositi carbonatici continentali, ad altre in cui erano fortemente erosive, durante le quali sono stati favoriti i processi carsici.

I depositi carbonatici continentali che affiorano lungo la valle del Velino, nella piana reatina ed in corrispondenza della soglia delle Marmore (Fig. 3) sono stati già oggetto di studio, soprattutto in relazione alla evoluzione quaternaria dell'area (BRUNAMONTE *et alii*, 1993a, b; CARRARA *et alii*, 1992, 1995; LORENZONI *et alii*, 1993; MICHETTI *et alii* 1995; SOLIGO *et alii*, 2002; FERRELLI *et alii*, 1992). Tali depositi vengono da sempre genericamente definiti come "travertini", non solo nel comune parlare, ma anche in relazioni di carattere tecnico o in pubblicazioni scientifiche. Tuttavia, come dettagliato in GANDIN & CAPEZZUOLI (2008) ed in GANDIN, (2013), il termine "travertino" andrebbe riservato solo ai depositi calcarei continentali formati da acque termo-minerali, che producono, soprattutto per processi abiotici, depositi lapidei relativamente compatti. Al contrario i depositi microcristallini molto porosi, bioindotti e biosostenuti, precipitati come incrostazioni su una rigogliosa vegetazione acquatica a partire da acque mineralizzate "fresche"

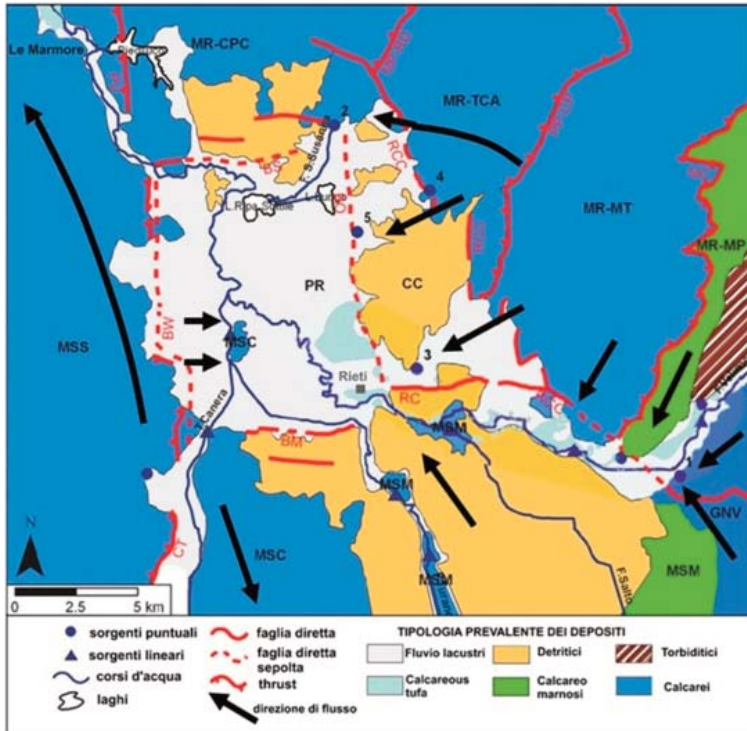


Fig. 3 - Schema idrogeologico dell'area reatina e sabina (da MARTARELLI *et alii*, 2008 modificato e parzialmente ridisegnato. Strutture idrogeologiche: PR: Piana Reatina e valli limitrofe; MR: Monti Reatini (Sottostrutture: CPC: Cima del Carpellone-M. La Pelosa-M. Castiglione; TCA: M. Tilia-M. Corno-Cima d'Arme; MT: M. Terminillo; MP: M. Porillo); MSS: Monti Sabini settentrionali; MSC: Monti Sabini centrali; MSM: Monti Sabini meridionali; CC: Cantalice-Castelfranco; GNV: Giano-Nuria-Velino. Linee tettoniche: BS: Bordiera settentrionale; BW: Bordiera occidentale; BM: Bordiera meridionale; BO: Bordiera orientale ("faglia di Rieti"); MP-RD: M. La Pelosa-Rivodutri; PP-CP: Piedelpoggio-Cupaello; MC: Micigliano-Castel S. Angelo; RCC: Rivodutri-Cantalice-Cittaducale; RC: Rieti-Cittaducale; PV: Piediluco-Valnerina; CT: Contigliano-M. Tancia. Sorgenti puntuali principali: 1: Peschiera; 2: S. Susanna; 3: Cantaro; 4: S. Liberato; 5: Vicenna Riarà.

- Hydrogeologic structure sketch in the Rieti area. Hydrogeologic structures: PR: Rieti Plain and neighbouring valleys; MR: "Monti Reatini" (substructures: CPC: "Cima del Carpellone M. La Pelosa-M. Castiglione"; TCA: "M. Tilia-M. Corno-Cima d'Arme"; MT: "M. Terminillo"; MP: "M. Porillo"); MSS: "Monti Sabini settentrionali"; MSO: "Monti Sabini centrali"; MSM: "Monti Sabini meridionali"; CC: "Cantalice-Castelfranco"; GNV: "Giano-Nuria-Velino". Tectonic lines: BS: "Bordiera settentrionale"; BW: "Bordiera occidentale"; BM: "Bordiera meridionale"; BO: "Bordiera orientale" ("faglia di Rieti"); MP-RD: "M. La Pelosa-Rivodutri"; PP-CP: "Piedelpoggio-Cupaello"; MC: "Micigliano-Castel S. Angelo"; RCC: "Rivodutri-Cantalice-Cittaducale"; RC: "Rieti-Cittaducale"; PV: "Piediluco-Valnerina"; CT: "Contigliano-M. Tancia". Main springs: 1: Peschiera; 2: S. Susanna; 3: Cantaro; 4: S. Liberato; 5: Vicenna Riarà.

di origine carsica, in sistemi fluvio-lacustri, andrebbero classificati come *calcareous tufa*.

Sotto il profilo strutturale il bacino di Rieti è riconducibile agli eventi tettonici post-collisionali estensionali che hanno interessato questo settore della catena appenninica sin dal pliocene (PATACCA *et alii*, 1992; DOGLIONI, 1993; D'AGOSTINO *et alii*, 2002). Il suo assetto geometrico è legato essenzialmente all'azione di faglie dirette, a direttrici prevalenti N160 (la cosiddetta "Faglia di Rieti" – BO nella Fig. 3) ed E-W (BM e BS nella Fig. 3) - CAVINATO *et alii*, 1989; CAVINATO & PAROTTO 1992.

Oltre alla presenza delle placche di *calcareous tufa* nella sua parte sud-orientale, anche il bacino di Rieti, come molti altri bacini appenninici, è caratterizzato da un potente pacco di sedimenti clastici continentali, dello spessore complessivo di 400-500 metri (MANFREDINI, 1972; CAVINATO & PAROTTO, 1992; BARBERI & CAVINATO, 1992). Negli ultimi decenni, numerosi Autori si sono occupati dell'evoluzione della Piana di Rieti, spesso nell'ambito di studi interdisciplinari (LEGGIO & SERVA, 1991; FERRELLI *et alii*, 1992; FERRELLI *et alii*, 1993; CARRARA *et alii*, 1993, 1995; MARCHETTO *et alii*, 1997; GUERRIERI *et alii*,

2004; CARRARA *et alii*, 2004; CAMERIERI *et alii*, 2009; CAMERIERI & MATTIOLI, 2014). I depositi che affiorano attualmente nella piana sono costituiti essenzialmente da sedimenti fluvio lacustri, ma la successione in profondità diviene molto più articolata e complessa e riflette le alterne vicende subite dalla piana nel corso del Quaternario, con fasi di marcata erosione alternate a fasi in cui prevalevano i fenomeni di deposizione.

Nel Pliocene inferiore il bacino doveva essere all'incirca al livello del mare ed in comunicazione con l'adiacente Tirreno, come dimostra la presenza di facies salmastre nei depositi presenti nella parte occidentale della piana (GLIOZZI & MAZZINI, 1998). Quindi il sollevamento del bacino deve essere avvenuto in modo significativo successivamente al Pliocene superiore. (D'AGOSTINO *et alii*, 2002; CARRARA *et alii*, 2004) ed in particolare GUERRIERI *et alii* (2004) (Fig. 4) hanno prodotto una dettagliata ricostruzione della sua evoluzione a partire dal Pliocene superiore, sulla base di studi interdisciplinari: geomorfologici, stratigrafici, geofisici, paleoclimatici, pedologici, archeologici, storici e paleosismologici.

Sotto il profilo strutturale il bacino di Rieti dal

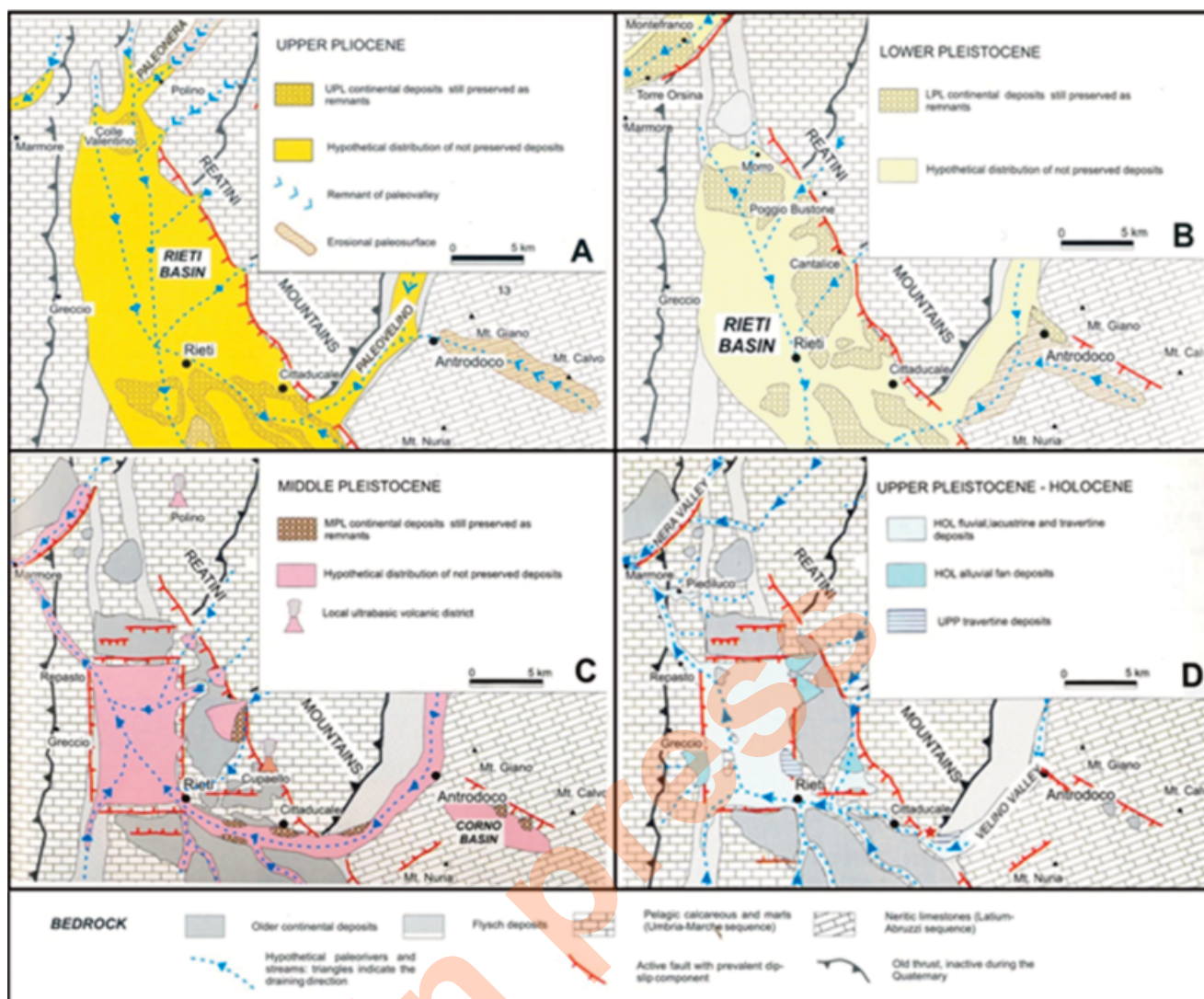


Fig. 4 - Ricostruzione schematica dell'evoluzione dell'area di studio nel: Pliocene sup. (Fig. 2A); Pleistocene inf. (Fig. 2B); Pleistocene medio (Fig. 2C); Pleistocene sup. Olocene (Fig. 2D) - da GUERRIERI *et alii* (2004) modificato.

- Schematic reconstruction of the evolution of the study area in: Upper Pliocene (Fig. 2A); Lower Pleistocene (Fig. 2B); Middle Pleistocene (Fig. 2C); Upper Pleistocene Holocene (Fig. 2D) - from GUERRIERI *et alii* (2004) modified.

Pliocene sup. al Pleistocene inf. (Fig. 4A, 4B) si sviluppa su un *half-graben* bordato verso oriente da una faglia orientata NW-SE immergente verso SW, la cosiddetta “Faglia di Rieti” (CAVINATO *et alii*, 1989; MICHETTI *et alii*, 1995). La “Faglia di Rieti” è stata sicuramente attiva sino all'Olocene, analisi paleosismiche (MICHETTI *et alii*, 1995) hanno evidenziato che essa è stata in grado di produrre terremoti di magnitudo superiore a 6,5 e fagliazione superficiale tra il 5000 ed il 6400 BP.

Questo *half-graben* dal Pliocene sup. al Pleistocene inf. è stato colmato da depositi fluviali, conoidi alluvionali e sedimenti lacustri attribuiti da GUERRIERI

et alii (2004) a due principali unità deposizionali (UPL e LPL), separate da una superficie erosiva (in-conformità).

Nel Pliocene Sup. (Fig. 4A) un singolo reticolo di drenaggio risultava diretto verso SSE (paleo-Nera-Velino). Nel Pleistocene Inf. (Fig. 2B) il paleo-Nera è catturato e migra verso WNW mentre il sistema di drenaggio del paleo-Velino drena ancora verso SSE. Alla fine del Pleistocene inf. Una fase tettonica regionale di sollevamento interessa un ampio settore dell'appennino centrale (DRAMIS, 1993) in cui è compreso anche il bacino di Rieti e nuove faglie dirette sono attivate.

Nel Pleistocene medio (Fig. 4C) la struttura del bacino di Rieti evolve verso un *graben* con lo sviluppo di nuove faglie dirette orientate N-S ed E-W, che rimodellano l'antico bacino, portandolo verso la configurazione attuale (Fig. 4D). La struttura viene così disarticolata in numerosi blocchi sul più basso dei quali si sviluppa l'attuale piana di Rieti. Il depocentro del bacino sedimentario durante questa fase si sposta verso NW, e questo ha determinato il richiamo e la cattura di numerosi assi fluviali che incidono i loro stessi depositi. Come conseguenza di questa fase estensionale il reticolo Villafranchiano dei bacini di Rieti e di Terni è ringiovanito (RAFFY, 1983; MICETTI *et alii*, 1995) e il fiume Velino devia verso N-NW. A questa fase estensionale che raggiunge il suo acme nel Pleistocene medio è da connettere anche il vulcanismo ultrabasico del piccolo centro di Cupaello e di Polino lungo il margine orientale della piana (GRAGNANI, 1972; STOPPA & VILLA, 1991; LAURENZI *et alii*, 1994). Si tratta di lave melilitiche imballate nei sedimenti fluviali villafranchiani del Pleistocene inf. e datate radiometricamente (STOPPA & VILLA, 1991) a circa 640.000 anni BP (Fig. 5).

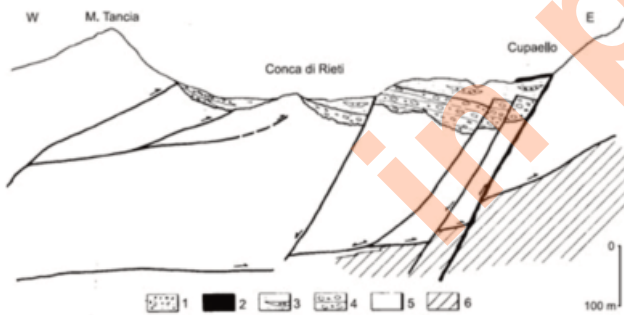


Fig. 5 - Sezione Geologica attraverso il Bacino di Rieti - DA CAVINATO 1993 - Legenda: 1) depositi di conoide (Pleistocene medio-Olocene); 2) Lava melilitica di Cupaello (640 Ka, Pleistocene medio); 3) Unità deposizionale superiore (Villafranchiano sup.); 4) Unità deposizionale inferiore (Villafranchiano inf.); 5) Successioni di transizione umbro sabine (Trias sup. Miocene sup.); 6) Successioni di piattaforma carbonatica laziale-abruzzese (Trias sup.-Miocene sup.).

- Geological Section through the Rieti Basin.

4. - CARATTERISTICHE LITOLOGICHE, MORFOLOGIA ED IDROGRAFIA DELLA CITTÀ DI RIETI

I piccoli affioramenti ancora osservabili nel tessuto urbano, lungo le strade e lungo le pareti interne di alcune cavità sotterranee, evidenziano la

presenza di banchi suborizzontali generalmente lenticolari di calcari chiari, terrosi in bande, irregolarmente alternate, di *facies* ad alta porosità "reticolare" bioindotta, e di prevalenti *facies* più omogenee fini e compatte, la cui porosità di dimensioni centimetriche/decimetriche, è riferibile a dissoluzione carsica. Le litofacies più frequenti, sono irregolarmente alternate, senza gradualità e con contatti netti. Clasti a maggior granulometria (intraclasti e/o extraclasti), sono localmente presenti in accumuli o in piccole tasche, con fitoclasti e/o oncoidi, associati a sabbie e *silt* carbonatico residuale di colore rossastro ("terra rossa"). Il contenuto organico nelle facies più porose è rappresentato da accumuli di resti vegetali in posto (fitoermali) e/o trasportati (fitoclastici), da duomi microbiali/algali di dimensioni variabili, e da fanghi/limi calcarei

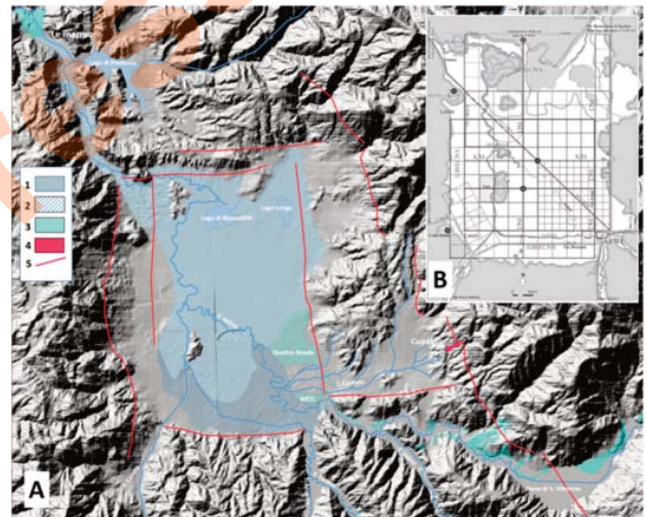


Fig. 6 - A - Distribuzione dei depositi carbonatici continentali della valle del Velino e della piana reatina in relazione all'originario assetto idraulico della piana ed ai principali elementi neotettonici e vulcanici. Legenda: a) 1) area di massima espansione del Lacus Velinus posta in corrispondenza della attuale isoipsa 380 m s.l.m.; 2) ipotesi di massima espansione del lacus Velinus nel settore meridionale in epoca pre-romana, prima che questo settore venisse colmato e sopraelevato dai depositi alluvionali; 3) Calcareous tufa; 4) Lave ultramafiche di Cupaello; 5) faglie attive e capaci (Progetto Itacha). B - Quadro sinottico della prima centuriazione a cui fu sottoposta la piana di Rieti nel III sec.a.C. dopo il taglio della cava curiana, bonifica che comportò la completa riorganizzazione dell'assetto idraulico della piana (da CAMERIERI *et alii* 2009).

-A- Distribution of continental carbonate deposits of the Velino valley and the Rieti plain in relation to the original hydraulic structure of the plain and the main neotectonic and volcanic elements. Legend: a) 1) area of maximum expansion of Lacus Velinus located at the altitude 380 m; 2) hypothesis of maximum expansion of the lacus Velinus in the southern sector in pre-Roman times, before this sector was filled and raised by alluvial deposits; 3) Calcareous tufa; 4) Ultramafic lava of Cupaello; 5) active and capable faults (Itacha Project). B - Synoptic picture of the first centuriazione to which the plain of Rieti was subjected in the third century BC after the cutting of the Curian quarry. It involved the complete reorganization of the hydraulic structure of the plain (from CAMERIERI *et alii* 2009).

rosati (*lime mudstone*) contenenti resti incrostati di invertebrati sia acquatici sia terricoli. Queste *facies* e le loro associazioni, sono molto simili a quelle attualmente in formazione nei sistemi deposizionali fluvio-lacustri di clima mediterraneo (PEDLEY, 2009), caratterizzati da tratti a gradinata (*stepped*), tra vasche delimitate da dighe fitoermali a mezzaluna (*fluviale barrage*) con la convessità verso monte, e riempite da fanghi/limi calcarei (laghi e laghetti). Complessivamente *facies* deposizionali e associazioni di *facies* sono comparabili con quelle dei *calcareous tufa* (PEDLEY *et alii*, 2003; GANDIN & CAPEZZUOLI, 2008; CAPEZZUOLI *et alii*, 2008; CAPEZZUOLI GANDIN & SANDRELLI, 2008; ARENAS-ÁBAD *et alii*, 2010).

Le caratteristiche del paesaggio fisico hanno da sempre rappresentato un fattore determinante nello sviluppo della antica città di Rieti, importante centro dei Sabini ancor prima della conquista romana. Contrariamente a quanto indicato nella maggior parte degli studi, anche relativamente recenti (ad es GUERRIERI *et alii*, 2004;) e nella cartografia geologica ufficiale (Foglio 138 Terni, SGI, 1970) che attribuiscono una età Olocenica a questi depositi, noi riteniamo, in accordo con (CARRARA *et alii*, 2004), che i processi deposizionali dei *calcareous tufa* di Rieti siano terminati nel Pleistocene superiore. Questo significa che già ai tempi dei primi insediamenti, che risalgono almeno alla prima età del ferro (ALVINO & LEZZI, 2013; 2014), la sommità della rupe si presentava come una superficie strutturale più o meno rimodellata dagli agenti esogeni, a luoghi intensamente pedogenizzata e profondamente incisa, soprattutto sul suo versante meridionale, da scarpate di erosione fluviale. La sommità della rupe si sviluppa all'incirca tra i 400 ed i 406 m s.l.m. e rappresentava quindi una posizione strategica e sopraelevata di almeno 15-20m rispetto alla sottostante malsana piana reatina. Fino all'epoca romana infatti la parte centro settentrionale della piana era occupata (almeno fino alla isoipsa dei 375-380m. s.l.m), dal Lacus Velinus (Fig. 4A).

La rupe si colloca nella parte sud-orientale della piana, ove sfociano il Fiume Velino e il Fiume Turano (Fig. 4A) ed era quindi bordata da malsane aree palustri soggette a periodiche inondazioni sino al-

l'incirca alla altezza della isoipsa dei 385-390 m (Fig. 7). Tali esondazioni erano prodotte soprattutto del Fiume Turano che a differenza del Velino (alimentato soprattutto da sorgenti) presenta un bacino idrografico abbastanza esteso in grado di convogliare rapidamente le acque delle precipitazioni nello stretto sbocco nella piana, quindi con un regime molto più irregolare. Nel 290 a.C. il console romano Manio Curio Dentato assoggettò tutta la Sabina e procedette ad una serie di imponenti opere volte sia a bonificare la piana sia ad organizzare meglio la difesa, la viabilità e l'approvvigionamento idrico della città di Reate, nell'ottica di una complessiva riorganizzazione dell'assetto idraulico del territorio. Sono ben conosciute le opere di bonifica della parte centro settentrionale della piana, culminate con l'apertura della cava curiana, attraverso lo sbarramento delle Marmore in modo da permettere il drenaggio del Lacus Velinus nel fiume Nera. Il fertilissimo terreno così bonificato venne sottoposto a centuriazione (Fig. 4B) e riassegnato al fine di un suo ottimale sfruttamento (CAMERIERI *et alii*, 2009). Meno note invece sono le opere idrauliche realizzate, sempre in epoca romana, nella parte meridionale della piana, del tutto funzionali alle prime (CAMERIERI *et alii*, 2009; CAMERIERI & MATTIOLI, 2014). Infatti, in questa fase è presumibile che anche il Fiume Turano, che attualmente si presenta deviato in modo innaturale con un angolo di novanta gradi, verso ovest (Fig. 4A), sia stato canalizzato e deviato, sia per limitare le esondazioni che interessavano Reate, sia per contribuire, insieme al più occidentale Fiume Canetra, alla irrigazione della piana.

La costruzione del ponte romano sul Velino e dell'imponente viadotto che permetteva l'accesso diretto della via Salaria nell'acropoli di Reate (Fig. 7), superando il dislivello morfologico di quasi 17 m presente lungo il suo versante meridionale, fu associato ad opere idrauliche volte alla regimazione delle piene ed a protezione del ponte (CAMERIERI *et alii*, 2009; CAMERIERI & MATTIOLI, 2014). Altri importanti interventi riguardarono infine il fiume Cantaro, che scorreva nella parte settentrionale della città, e dal cui moderno canale sotterraneo arriva ancora buona parte dell'acqua che alimenta an-

cora la città di Rieti (Fig. 7).

Questo fiume, ormai completamente canalizzato nel sottosuolo, era alimentato da una serie di sorgenti che scaturiscono alle pendici dei Monti Reatini, quindi scorreva ad una quota più elevata rispetto al Velino, presentando ideali caratteristiche per essere parzialmente deviato e canalizzato verso un fossato che bordava il limite settentrionale delle mura (Fig. 7), utilizzato sia per scopi difensivi, sia per garantire l'approvvigionamento idrico della città, sia per fornire forza idraulica. Infatti, *Reate* era dotata di tutte le infrastrutture tipiche delle città romane: i templi, l'area forense, le terme, l'anfiteatro e probabilmente un teatro (LEZZI, 2014), era quindi dotata anche di tutte le opere idrauliche ed in particolare quelle necessarie per servire le terme pubbliche e private, anche se non sono stati ancora trovati cunicoli e cavità, attribuibili con certezza all'epoca romana, probabilmente a causa del forte rimaneggiamento. Rieti inoltre è l'unica tra le città romane della Sabina della sua provincia ad avere la cinta muraria ed uno spazio relativamente ampio destinato alle abitazioni (LEGGIO, 2014). Anche in questo caso le caratteristiche del sito ed in particolare quelle litologiche sono state fondamentali. I *calcareous tufa* della rupe di Rieti non

solo costituiscono un solido supporto per la cinta muraria che circondava l'antica acropoli di *Reate*, ma potevano essere cavati ed utilizzati come materiale da costruzione da utilizzare direttamente in sito. La rupe di Rieti infatti presenta depositi in gran parte relativamente compatti molto diversi anche dai *calcareous tufa* dei limitrofi affioramenti della Valle del Velino o di Quattro Strade (Fig. 4A). Questi ultimi depositi sono generalmente costituiti da materiali porosi, friabili, localmente definiti "pietra sponga". Al contrario l'analisi di *facies* effettuata sugli affioramenti presenti nell'area urbana, dimostra che si tratta di depositi organizzati in successioni con andamento sostanzialmente sub orizzontale con spessi banchi, molto compatti con tessitura micritica, alternati a livelli o strati più porosi in cui prevalgono *facies* fitoclastiche o fitoermali. Si tratta di depositi che si sono formati nella parte interna di un sistema deposizionale caratterizzato da una energia relativamente bassa in cui si potevano depositare i fanghi micritici che generano banchi spessi e compatti, (Fig. 8) con alternanza di eventi o episodi di maggior energia che portavano alla presenza delle *facies* fitoclastiche più porose, o rimuovono il fango dalle costruzioni fitoermali aumentandone la porosità.

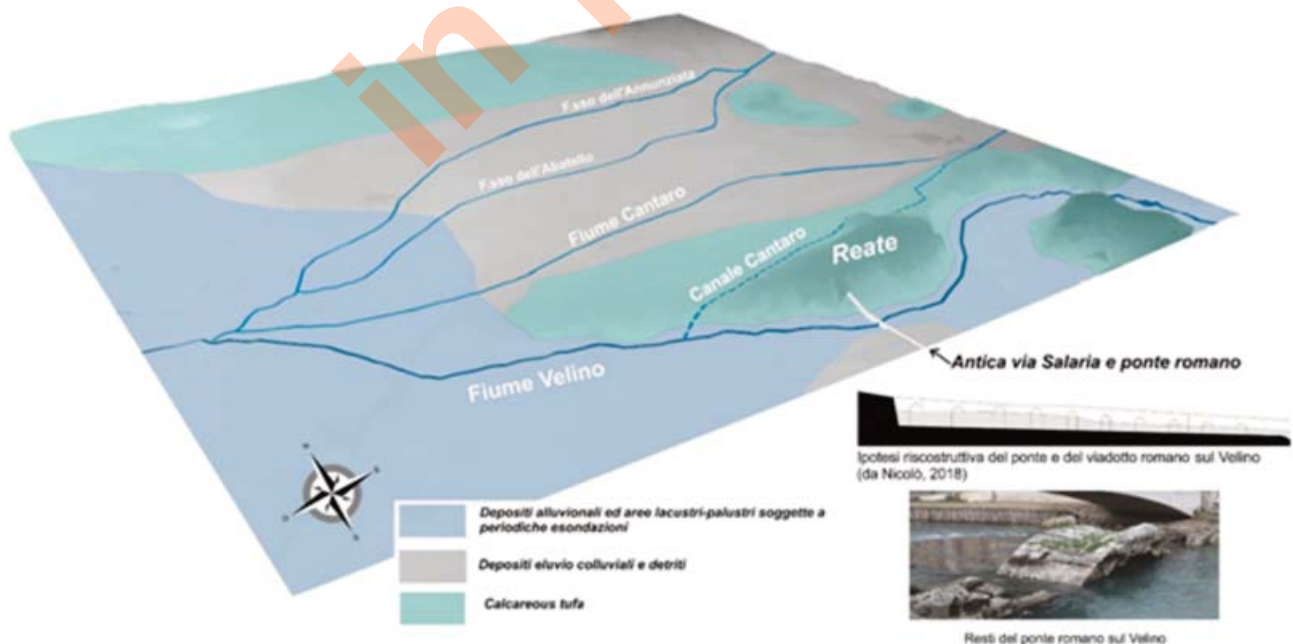


Fig. 7 - Ipotesi di ricostruzione dell'assetto idraulico della rupe di Rieti in epoca Romana, con un dettaglio del ponte e del viadotto costruito per far superare alla antica via Salaria il dislivello morfologico di quasi 17m (a quel tempo) tra la rupe ed il fondovalle soggetto a periodiche esondazioni.

- Hypothesis of reconstruction of the hydraulic structure of the Rieti cliff in Roman times, with a detail of the bridge and the viaduct built to make the ancient Via Salaria overcome the morphological difference of almost 17m (at that time), between the cliff and the valley subject to periodic flooding.



Fig. 8 - Esempio delle ottime caratteristiche dei calcareous tufa che costituiscono la rupe di Rieti: banchi spessi anche alcuni metri a volte sottilmente laminati compatti, costituiti da calcari miciritici, alternati a livelli più porosi con facies fitoclastiche o fitoemali.

- Example of the excellent characteristics of the calcareous tufa of the Rieti cliff: banks some meters thick, sometimes subtle compact laminates, consisting of mycrite limestones, alternating with more porous levels with phytoclastic or phytoemal facies.

Probabilmente l'imponente viadotto realizzato sul Velino, come anche la cinta muraria romana, sono stati realizzati grazie alla disponibilità di questi materiali che a differenza della "pietra sponga" permettono l'estrazione anche di grandi blocchi. Questo processo può aver comportato l'apertura di cave, tombate ed ormai completamente coperte dal tessuto urbano, ma probabile che molti di questi materiali siano stati prelevati lungo i bordi della Rupe al fine di aumentare anche la pendenza alla base della cinta muraria, o in occasione dello scavo del canale che la bordava a nord dove è stato deviato il Fiume Cantaro.

5. - LE CAVITÀ PRESENTI NEL SOTTOSUOLO DI RIETI

Nel sottosuolo di Rieti sono presenti cavità sia naturali che antropiche (Fig. 2).

Nei sotterranei degli antichi palazzi che si affacciano su via Roma sono, inoltre, stati individuati alcuni locali che in epoca medioevale erano addossati all'imponente viadotto romano. Questi locali, erano posti al livello del suolo in origine, tuttavia, oggi, a causa dell'innalzamento del p.c. risultano, interrati dando origine a dei vuoti nel sottosuolo. Nel corso del tempo infatti lo sviluppo della città ha annullato i quasi 17 m di dislivello tra la base della rupe e

l'ingresso nella antica acropoli, la città si è sviluppata sopra a questi ambienti e sopra a queste antiche strade che ora (grazie all'impegno di Rita Giovannelli) sono visitabili e costituiscono il circuito della "Rieti sotterranea", una delle principali attrazioni turistiche della città (GIOVANNELLI, 2008).

Nei *calcareous tufa*, che costituiscono il sottosuolo dell'area urbana di Rieti, sono presenti sia cavità carsiche con decorso prevalentemente verticale (pozzi), di modesto spessore ed andamento irregolarmente lineare, sia cavità molto ampie con decorso prevalentemente orizzontale (gallerie, Fig. 1). Entrambe sono state rimodellate nel tempo dall'azione antropica, per vari utilizzi e quasi sempre completamente rivestite da intonaci e murature.

Gli ambienti ipogei maggiori, con diametri che arrivano a superare i 4-5 m e lunghezza stimata superiore ai cento metri, sono stati utilizzati per realizzare i rifugi anti-aerei del centro storico di Rieti durante i bombardamenti della seconda guerra mondiale (Fig. 8). Tali rifugi alla fine della guerra sono stati chiusi, tombando o murando i loro ingressi, e col tempo se ne è persa la memoria.

Al momento è stato ricostruito l'imbocco e l'estensione di due soli rifugi nel centro storico, in grado di ospitare centinaia di persone, ma secondo quanto riferito da alcuni abitanti ne erano presenti anche altri, di dimensioni più modeste. Il rifugio sotto la caserma Verdirosi (Figg. 1, 2, 9 e 10) è stato riscoperto per caso negli anni novanta, durante alcuni lavori di manutenzione. Tale rifugio avendo l'ingresso posto all'interno di un'area militare può essere visitato solo in occasione di visite guidate o con apposito permesso. Si tratta di un ambiente ottenuto ampliando e rivestendo una grande cavità carsica ricca di speleotemi, scoperta agli inizi del secolo scorso (Fig. 1).

Nella cavità presente sotto la caserma Verdirosi al contrario è stato possibile effettuare alcuni sopralluoghi e, grazie alla disponibilità dal gruppo speleologico UTEC Narni nell'ottobre 2019 è stata realizzata da Virgilio PENDOLA, Gian Luigi GUERRIERI, MONALDI G. una prima planimetria del rifugio (Fig. 9). Di notevole interesse sono gli speleotemi (in particolare stalattiti) ancora visibili nei pochi tratti

non rivestiti e nel poco spazio rimasto libero tra la volta realizzata in mattoni e il tetto della grotta (Fig. 8). Si accede alla grotta da un ingresso posto nel piazzale della caserma, attraverso una rampa di scale che scende sino ad una profondità di circa 13 m sotto il piano di campagna. La planimetria evidenzia che la grotta/rifugio ha un andamento all'incirca SSW-ENE e che attraversa Via Verano prima di terminare al di sotto del moderno palazzo dove ha sede anche l'Ufficio dei Tributi del Comune di Rieti, e dove era presente il secondo ingresso, che attualmente termina con una rampa di scale contro il solaio dell'edificio. È singolare che nel corso della costruzione di questo palazzo, negli anni '70-80, inizialmente non ci si era resi conto della presenza della cavità (riscoperta solo in seguito nel piazzale della caserma), ma è stato riferito che, dopo che alcune centinaia di metri cubi di calcestruzzo (di uno dei pali di fondazione) scomparvero misteriosamente nel sottosuolo, e in seguito vennero fatte ulteriori in-

dagini scoprendo l'ingresso posto sotto il palazzo. Attraverso quest'ultimo gli operai entrarono per realizzare un plinto isolato, posto al centro del rifugio, poggiante direttamente sul suo pavimento (Fig. 9). Il plinto sorregge ancora la punta di un palo lungo almeno 10-13 m, ci auguriamo in modo conforme all'attuale normativa antisismica, vista l'elevata sismicità che caratterizza la città di Rieti, il carattere pubblico del palazzo sovrastante e la sua elevatissima frequentazione (è sede anche dell'Ufficio Scolastico Provinciale, nonché di altri uffici pubblici).

Il rifugio presente sotto Piazza Vittorio Emanuele II - Piazza Cesare Battisti (Figg. 2, 9, 11), al contrario, non è visitabile in quanto tutti gli accessi sono stati chiusi, ma è stato ispezionato in alcune occasioni dai vigili del fuoco che si sono calati attraverso il pozzo di areazione presente ancora al centro della piazza. In questo caso non è stato possibile effettuare alcun controllo diretto, ma dalla documentazione fotografica realizzata dai vigili del fuoco e visibile sul sito di

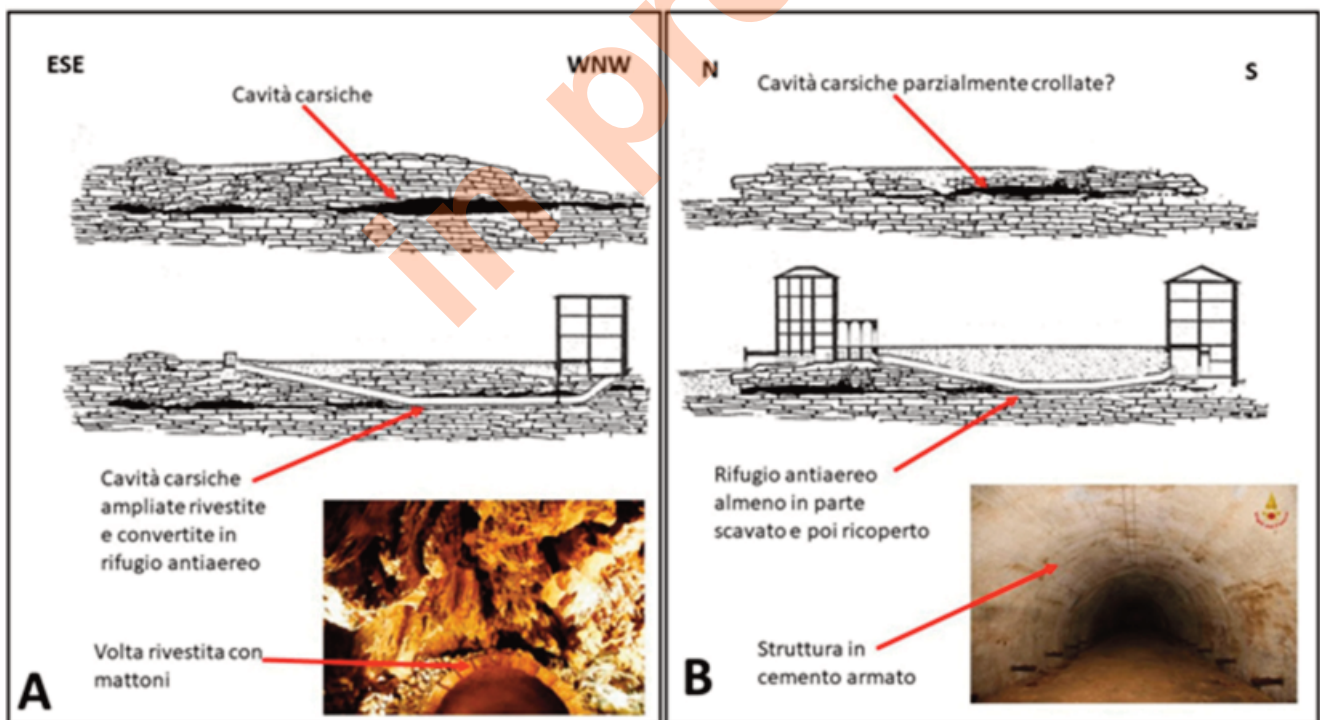


Fig. 9 - Schemi semplificati e non in scala che idealmente rappresentano le due principali tipologie di rifugi antiaerei presenti nel sottosuolo di Rieti: A) rifugio ottenuto ampliando e rivestendo una cavità carsica preesistente (ad es. quello sotto la casera Verdirosi); B) rifugio in cemento armato ottenuto scavando, ovvero rimuovendo in tutto o in parte i depositi sovrastanti e ricoprendo il tutto con terreno di riporto, anche in questo caso presumibilmente sfruttando una preesistente cavità carsica in tutto od in parte crollata.

- Simplified and non-scale sketches; it ideally represent the two main types of air-raid refuge present in Rieti underground. A) refuge obtained by expanding and covering a pre-existing karst cavity (eg the one under the Verdirosi dairy); B) reinforced concrete shelter obtained by digging, or by removing all or part of the overlying deposits and covering the whole with back-fill soil also in this case presumably using a pre-existing one karst cavity completely or partially collapsed.



Fig. 10 - A) Situazione attuale della volta della cavità carsica presente sotto la caserma Verdirosi dopo la sua trasformazione in un rifugio antiaereo; B) Esempio di estensione orizzontale.

- A) Current situation of the vault of the karst cavity present under the Verdirosi barracks, after its transformation into an air-raid refuge; B) Example of horizontal extension.

“rietinivetrina.it” (<https://www.rietinivetrina.it/le-foto-interne-del-rifugio-antiaereo/>) e dalle planimetrie ritrovate negli archivi comunali e disponibili sul sito del Comune di Rieti (<http://www.comune.rieti.it/sites/default/files/allegatiarticoli/Planimetria%20rifugio%202.jpg>), si ha una precisa idea sia della sua ubicazione, sia delle sue dimensioni che del suo sviluppo. Il rifugio (Fig. 11) è molto ampio, con sistemi di camere, cunicoli e servizi che si estendevano per qualche centinaio di metri connettendo la prefettura, il palazzo comunale e l'Hotel Quattro Stagioni. Dalle immagini si evince che a differenza di quello presente sotto la caserma Verdirosi, è stato costruito realizzando una solida struttura in cemento armato. In questo caso quindi, non è chiaro se sia stato fatto uno scavo nei *calcareous tufa*, fino ad arrivare ad una profondità di circa 10 m dal piano di campagna, o come è presumibile, si è sfruttata anche in questo caso una preesistente cavità sotterranea forse in parte crollata. Dai dati dei sondaggi si rileva che, anche se non affiorano in superficie, il sottosuolo è costituito dai *calcareous tufa*. Appare quindi poco plausibile che sia stata aperta un'enorme cava in materiali lapidei smaltendo gli enormi volumi di materiale necessari per creare, alla profondità di circa 12-15 m i

grandi ambienti sotterranei del rifugio, ma future ricerche storiche sui progetti originali e sulle modalità di costruzione di questo rifugio forse potranno chiarire questi aspetti.

Entrambi questi rifugi erano dotati di servizi essenziali, inclusi dei bagni per le centinaia di persone che dovevano ospitare. Sarebbe interessante sapere come venissero smaltiti gli scarichi, vista la profondità dei rifugi, ma è presumibile che questo venisse fatto attraverso il circuito carsico ipogeo che doveva essere molto esteso per giustificare cavità di quelle dimensioni e con quella estensione.

Definire l'origine di queste cavità ed i meccanismi che hanno portato alla loro formazione richiede uno studio specifico. Va comunque osservato che tettonica e carsificazione seguono cammini paralleli, con una forte influenza degli eventi tettonici sui processi carsici. Anche se i *calcareous tufa* di Rieti sono prodotti da acque mineralizzate fredde, la messa in posto delle lave di Cupaello ed in generale il tormentato assetto tettonico dell'area e la presenza di un circuito idrotermale profondo, possono aver controllato indirettamente sia i loro processi di deposizione, sia i marcati fenomeni carsici che li hanno successivamente interessati. E' ben noto che

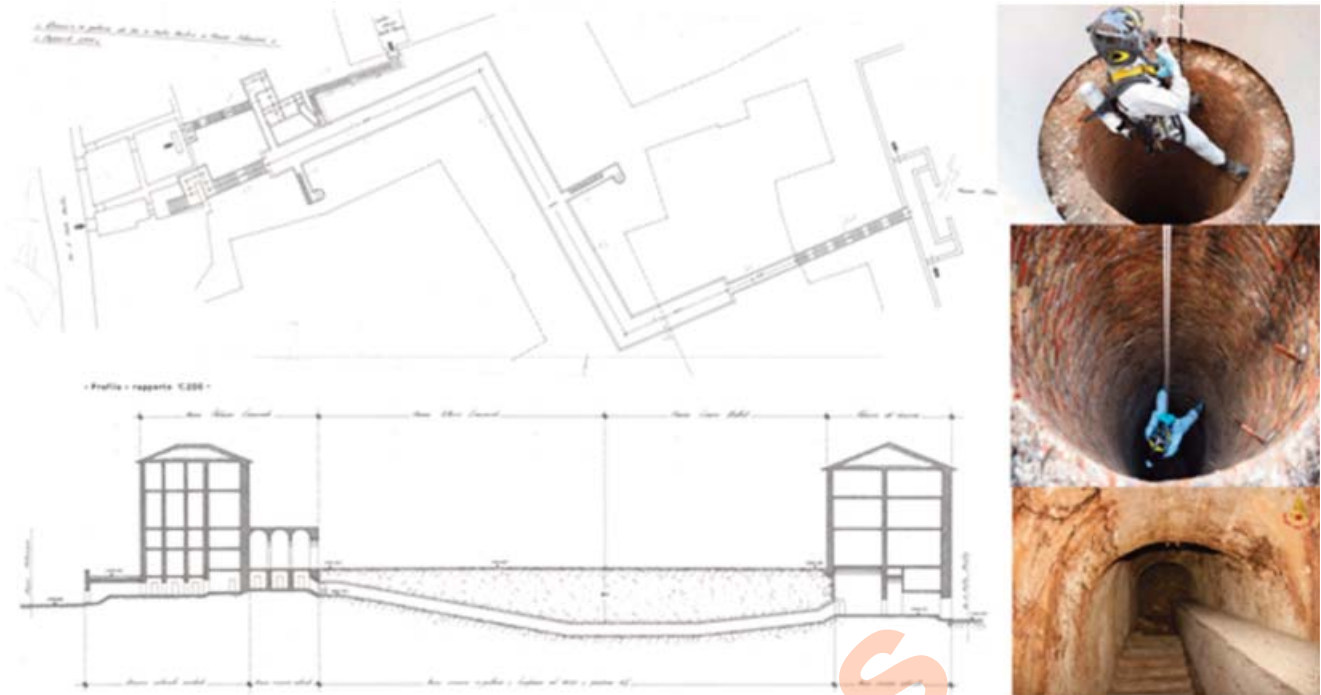


Fig. 11 - Planimetrie, profilo originale ed alcune immagini riprese del rifugio posto sotto Piazza Vittorio Emanuele II- Piazza Cesare Battisti.
 - Plans, original profile and some images taken of the refuge located under Vittorio Emanuele II Square - Piazza Cesare Square.

sia i processi di deposizione che di erosione dei *calcareous tufa* sono strettamente correlati a fattori climatici. Tuttavia, nel caso specifico, i fenomeni carsici potrebbero essere connessi anche a fattori ipogenici legati alla risalita di fluidi profondi particolarmente aggressivi nei confronti del carbonato di calcio lungo i sistemi di fratture che caratterizzano i bordi della piana, nonché il suo originario assetto idraulico. Più in generale sia i processi erosivi che quelli di deposizione possono essere controllati anche da fenomeni di miscelazione delle acque del circuito carsico superficiale con quello idrotermale più profondo. È interessante notare che l'Enel Unita Nazionale Geotermica - (1987) nel suo inventario delle risorse geotermiche nazionali (ENEL, 1987), segnala nella valle del Velino e nella piana reatina ben tre sorgenti con temperature maggiori di 20° gradi. Sono inoltre noti e ben documentati i fenomeni di risalita di gas e fluidi che interessano la piana di S. Vittorino (FACCENNA *et alii*, 1993; NOLASCO, 1998; CIOTOLI *et alii*, 2001; BIGI *et alii*, 2000; BONI *et alii*, 2004; CAPELLI *et alii*, 2000; MENOTTI *et alii*, 1999; SALVATI & SASOWSKY, 2002; CENTAMORE & NISIO 2002; NISIO, 2003, 2008;

CENTAMORE *et alii* 2004; 2009; ANNUNZIATELLIS *et alii* 2004; CARAMANNA *et alii* 2008; NISIO *et alii* 2007), ma restano ancora poco conosciuti invece quelli che interessano il settore meridionale della piana di Rieti, caratterizzato dalla presenza di sistemi di faglie dirette bordiere, molto profonde, con rigetti di centinaia di metri, alcune delle quali classificate come attivi e capaci nel progetto Itacha (Fig. 4A). In questa sede ci limitiamo solo ad osservare che meccanismi di dissoluzione del calcare "normali", cioè quelli in cui l'agente carsificante è l'acqua arricchita della CO₂ che deriva dall'atmosfera e dal suolo, responsabile della genesi delle grotte cosiddette epigeniche (KLIMCHOUK, 2000), non sembra essere sufficiente. Infatti occorre tener conto di alcuni elementi: l'età relativamente recente (Pleistocene sup.) dei *calcareous tufa* della rupe di Rieti, lo sviluppo prevalentemente orizzontale delle cavità, la loro estensione ed il loro diametro (fino a 4-5 m); il fatto che la rupe di Rieti è isolata dai circostanti rilievi da profonde (oltre 60 m) scarpate di erosione fluviale (colmate da alluvioni) ed è inoltre sollevata rispetto alla sottostante piana; la presenza di faglie attive e capaci; l'assenza di una falda nei *calcareous tufa* anche al di

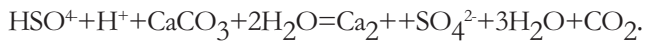
sotto dell'attuale livello del Velino; la risalita di fluidi profondi particolarmente aggressivi nei confronti del carbonato di calcio. Tutti questi elementi pongono degli interrogativi sia sulla esatta cronologia dello sviluppo dei fenomeni carsici, sia sulla loro natura. Non siamo a conoscenza di specifiche datazioni sui *calcareous tufa* di Rieti, ma per continuità stratigrafica con quelli di Quattro Strade è ipotizzabile che siano dello stesso intervallo cronologico tra 183.000 e 33.000. E' difficile stabilire con precisione quando il Velino ha iniziato a incidere questi depositi. Il suo naturale deflusso verso Nord sembra essere ostacolato dalla presenza della placca dei tufa di Rieti; analogamente è difficile stabilire in che misura sia stato, insieme al Fiume Cantaro, il responsabile della loro deposizione. Le alterne vicende climatiche della parte finale del Quaternario che hanno controllato la formazione e lo smantellamento della soglia delle Marmore sembra che possano trovare comunque corrispondenza in quella di Rieti. L'unica cavità carsica di notevoli dimensioni effettivamente documentata è quella sotto la caserma Verdirosi. Essa si sviluppa intorno ad una quota media di circa 378 m s.l.m., più o meno in corrispondenza di quello che poteva essere la quota del livello del *Lacus* momento della sua massima espansione. Nel modello della Fig. 4A realizzato in base alle carte CTRN in scala 1:5000, il *Lacus Velinus* non arriva a lambire la rupe di Rieti. Tuttavia se consideriamo che i depositi alluvionali che attualmente bordano la rupe di Rieti, si sono depositi nelle ultime migliaia di anni e che, solo a partire dall'epoca romana l'alveo del Velino (che attualmente scorre intorno ai 385 m s.l.m.) e la sua circostante pianura si sono rialzati di almeno 4-5 m, al punto tale quasi da sommergere l'arcata dell'antico ponte romano (Fig. 7), è presumibile che anticamente la rupe di Rieti fosse lambita da una zona lacustre-palustre intorno la quota 380-378 m s.l.m. In corrispondenza della città di Rieti confluiscono il Velino ed il Turano (a quel tempo non ancora deviato verso sud). Le loro acque fortemente ossigenate si immettevano nelle paludose acque del *Lacus Velinus* dove tuttavia si potevano avere forti concentrazioni di idrogeno solforato proveniente dai fluidi che risalivano lungo il sistema

di faglie bordiero a quelle tempo sommerso (anche attualmente lungo la valle del Turano sono presenti delle manifestazioni sulfuree come quelle della sorgente Cottorella).

Come dimostra il pozzo Antrodoco, nella successione presente nella idrostruttura dei monti Reatini e in generale nel substrato di tutti i monti sabini, lo zolfo di origine sedimentaria sembra imputabile all'attraversamento, durante la risalita dei fluidi idrotermali lungo le fratture, degli orizzonti evaporitici di età triassica sottostanti alla pila di sedimenti carbonatici, (MARTINIS & PIERI, 1964). Nel corso della risalita i fluidi acidi e caldi provenienti da zone profonde mobiliterebbero i solfati degli orizzonti evaporitici, producendo H₂S (ZUPPI *et alii*, 1974; BONI *et alii*, 1980).

Ove nell'area mancano indicatori di termalismo, lo zolfo potrebbe derivare dal dilavamento delle formazioni evaporitiche da parte di acque meteoriche infiltratesi in profondità per l'alta permeabilità delle rocce (TAZIOLI *et alii*, 1990; SIGHINOLFI, 1990). Inoltre, la presenza nell'area delle manifestazioni magmatiche di Cupaello potrebbe aver fornito calore e specie chimiche che, interagendo con le formazioni confinanti, possono aver favorito i processi di rimobilitazione dello zolfo sedimentario. Sono noti meccanismi di formazione di grotte "ipogeniche" non solo nelle ambientazioni profonde in cui circolano solo fluidi idrotermali, ma anche zone superficiali delle falde dove si miselano le acque del circuito carsico "superficiale" e quelle del circuito idrotermale profondo (PALMER, 2000). L'acido solfidrico disciolto (H₂S), originato principalmente per riduzione dei solfati, è un acido debole in grado di sciogliere i carbonati, tuttavia la dissoluzione, è molto più pronunciata se le acque con H₂S entrano in contatto con quelle della falda superficiale. Infatti, durante la risalita del fluido nella frattura, l'acido solfidrico rimane allo stato ridotto finché, approssimandosi alla superficie piezometrica, il fluido si miscela con le acque di provenienza meteorica esterna, ricche di ossigeno. Nel corso della miscelazione l'acido solfidrico si trasforma in acido solforico (HILL, 1990): $H_2S + 2O_2 = HSO_4^- + H^+$.

L'acido solforico è fortemente aggressivo e reagisce con le pareti calcaree:



Quindi, la maggior parte della dissoluzione è operata dall'acido solforico e ha luogo in prossimità della superficie freatica. Un ulteriore contributo ai processi di dissoluzione potrebbe essere conseguente del fatto che l'ossidazione dell' H_2S favorisce l'attività dei batteri chemioautotrofici che determina una ulteriore ossidazione dell' H_2S , contribuendo significativamente alla corrosione carsica presso la superficie della falda freatica (GALDENZI & SARBU, 2000).

Uno dei meccanismi proposti per la formazione di grotte ipogeniche nel Lazio (MECCHIA *et alii*, 2003) e quindi quello del ruolo dei fenomeni di miscelazione, in condizioni freatiche, in corrispondenza o in prossimità della superficie piezometrica, tra le acque della falda carsica con fluidi sulfurei di origine profonda. Tali fenomeni si vanno a localizzare in punti particolari di iniezione (faglie, intersezione di fratture) che caratterizzano i margini della conca reatina (Figg. 2, 6)

Oltre ai due grandi rifugi sono presenti nel sottosuolo di Rieti una serie di cavità carsiche indicate

nella figura 2 come “cavità puntuali”. Si tratta di ambienti ipogei sempre fortemente rimaneggiati dall'azione antropica, ma con indizi sulla origine carsica visibili nelle poche pareti non coperte da murature o da intonaci. I pochi locali che è stato possibile censire e visitare sono utilizzati come cantine o come locali adibiti a varie funzioni (Fig. 12), tuttavia è ipotizzabile che ve ne siano moltissimi altri all'interno delle cantine delle abitazioni private, soprattutto nella zona dei Pozzi.

Sono presenti poi moltissime altre cavità, nell'area del centro storico, di dimensioni minori la cui presenza è ben documentata da dati bibliografici, fonti documentali ed in alcuni casi fotografiche (Fig. 2). Si rimanda a BERNARDINETTI & DE FRANCESCO (1975), ed a BERNARDINETTI (2009) per una dettagliata descrizione di queste cavità, essenzialmente di tipo lineare e costituite da cantine, locali sotterranei e cunicoli in gran parte connessi tra loro il cui accesso al loro interno è in parte ancora possibile, ma limitato dal fatto che si tratta di proprietà private.

Sempre in figura. 2 sono stati indicati inoltre delle cavità lineari “presunte” la cui presenza è ipotizzata in BERNARDINETTI (2009).

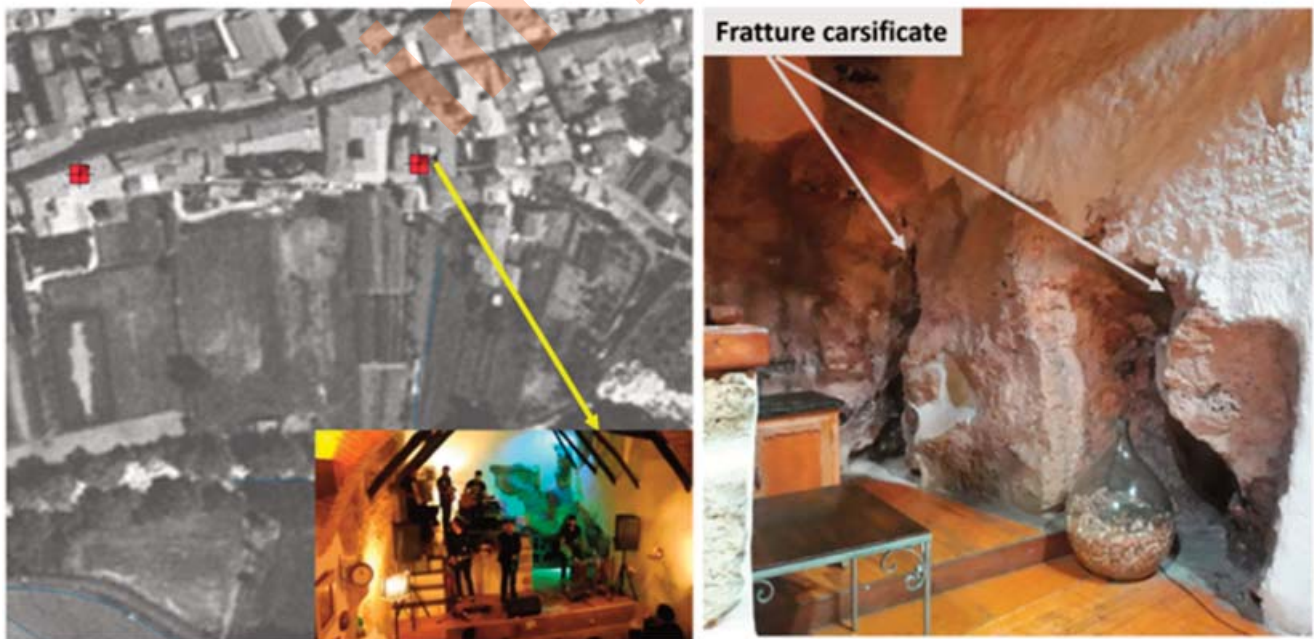


Fig. 12 - A) Dettaglio della immagine di fig. 2. Esempio di cavità in origine probabilmente carsica probabilmente rimaneggiata dalla attività antropica. B) Locale Bee'r Shiva in via del Pozzi.

- A) Detail of the image of fig. 2. Example of a cavity that was probably originally karst probably remodeled by anthropic activity. B) Bee'r Shiva restaurant in via del Pozzi.

6. - I CANALI DI RIETI

Oltre alle principali cavità naturali ed antropiche che sono state precedentemente descritte, nell'area urbana di Rieti sono presenti anche una serie di opere idrauliche (cunicoli, cisterne, ecc.) connesse sia all'antico sistema di canali che distribuivano l'acqua del Torrente Cantaro a tutta la città di Rieti, sia ai canali costruiti per fornire forza idraulica ai numerosi mulini presenti all'interno dell'attuale tessuto urbano, sia ai sistemi canali costruiti per finalità difensive e che bordavano le antiche cinte murarie.

Nel seicento viene descritta una grande presenza d'acqua in città, anche dopo il prosciugamento del Lago Velino (LORENZETTI, 1990), molti toponimi che sono stati registrati nel tempo sono legati infatti a quest'elemento.

Nel centro storico della città, per esempio, erano presenti le Vie delle Canali (via delle Canali è presente ancora oggi in periferia della città sulla sponda destra del Velino) che testimoniano la massiccia presenza di canali drenanti. Inoltre era conosciuto un condotto sotterraneo, attuale via Cavatella (che dall'ansa del Velino porta a Via Matteotti), che introduceva l'acqua alla città. Ivi sono riportati altri toponimi che riconducono a cavità sotterranee (Taverna Cava, Ristorante alla Cava etc.). Tali sistemi di canali tombati o sotterranei inducono oggi a lenti o rapidi fenomeni di cedimento del suolo. Infatti, problemi di cedimento si sono manifestati nell'area di Via della

Cavatella, come il crollo di un muro nel 2014, e non è escluso che possano essere stati connessi allo stato del sottosuolo (Fig. 13).

Nel quartiere i "Pozzi", inoltre, in età romana erano presenti le terme, tanto che fino al medioevo i documenti usano abitualmente la locuzione "*balneum vetus*" o "*balnea vetera*" per indicare questa zona della città e la presenza di grandi quantitativi di acqua, forse anche sorgiva. I resti delle terme vennero fatti smantellare e le autorità ripristinarono il luogo che, a causa del suo isolamento, era diventato nel corso dei secoli di frequentazione promiscua, detto anche il "*pozzo di magno epulo*" (da Loreto Mattei nel suo Erario Reatino). Il quartiere dei Pozzi si sviluppa in destra del Fiume Velino, presso via Garibaldi, un tempo abitato prevalentemente da artigiani e da coloro che si dedicavano alla lavorazione del guado (pianta dalla quale si ricava un pigmento blu per fibre tessili) e dove erano ubicate le aree per la macerazione dei tessuti alimentate dal Torrente Cantaro. E' da ricordare che anche l'area di Via Garibaldi viene spesso interessata da dissesti del suolo. Le acque del torrente Cantaro (di cui si è detto in precedenza) venivano utilizzate per azionare le ruote dei mulini da grano.

Via della Molina era il cuore pulsante della vita economica e sociale con la vicina via del Porto, zona sottostante via Roma dove si registra un luogo di attracco delle barche soprattutto per lo scarico delle merci.



Fig.13 - Crollo di un muro in via della Cavatella a Rieti, 4 luglio 2014.
- Collapse of a wall in via della Cavatella in Rieti, 4 July 2014.

Nel corso dei secoli la maggior parte delle opere idrauliche menzionate sono state distrutte o tombate, tuttavia risulta oggi importante definirne con maggior precisione la loro reale estensione ai fini della sicurezza cittadina, in quanto potrebbero essere sede ancora di una circolazione idrica sotterranea, in grado di asportare gradualmente nel corso del tempo i terreni costituenti e dare origine a cavità e successivi crolli (Fig. 14).

mentati negli ultimi 20 anni e ciò ha portato ad un incremento degli sprofondamenti al suolo registrati (NISIO, 2019 *cum biblio*).

Gli sprofondamenti a Rieti sono riconducibili a varie cause: essi sono per lo più connessi a fenomeni di dilavamento delle coperture presenti sotto il manto stradale (innescate anche da perdite idrauliche della rete dei sotto servizi) o a crolli di volte di cavità o ambienti antropiche e/o di cavità naturali, a scarsa



Fig. 14 - Dissesto del manto stradale in Via dei Pini, aprile 2014.
- *Unevenness of the road surface in Via dei Pini april, 2014.*

7. - IL RISCHIO GEOLOGICO ASSOCIATO ALLO SPROFONDAMENTO DELLE CAVITÀ SOTTERRANEE

Negli ultimi anni è stato registrato un aumento dei casi di sprofondamento (*sinkhole antropogenici*) nei centri urbani del Lazio (MELONI & NISIO, 2014) e da ciò aumenta la preoccupazione per il rischio indotto dal fenomeno.

Le voragini occorse nei centri urbani della provincia di Rieti, censite nelle banche dati, risultano di numero contenuto sino agli inizi degli anni 2000, mentre sono più numerose nelle altre provincie laziali. Tuttavia nell'ultimo decennio la città di Rieti ha visto moltiplicare il numero degli episodi di sprofondamento e di cedimento del suolo.

Le voragini che occorrono nelle strade reatine sono generalmente innescate dai fenomeni pluviometrici intensi (bombe d'acqua), eventi che sono au-

o media profondità dal piano campagna (NISIO, 2011; NISIO *et alii* 2015).

Censimenti completi di tali fenomeni per la città di Rieti, associati a uno studio storico di dettaglio, non sono stati ancora svolti, tuttavia, in questa sede, è stato



Fig. 15 -Via Cintia: una grande voragine si aprì in strada nel 2011.
- *Cintia Street: a large sinkhole occurred in the street, in the 2011.*



Fig. 16 - Immagini degli eventi di Via Cintia anno 2019; Rottura di una tubatura e innesco di una voragine (da Rieti Life).
 - Images of the events of Cintia street in the year 2019; Breaking a pipe and triggering of a large sinkhole (from Rieti Life).

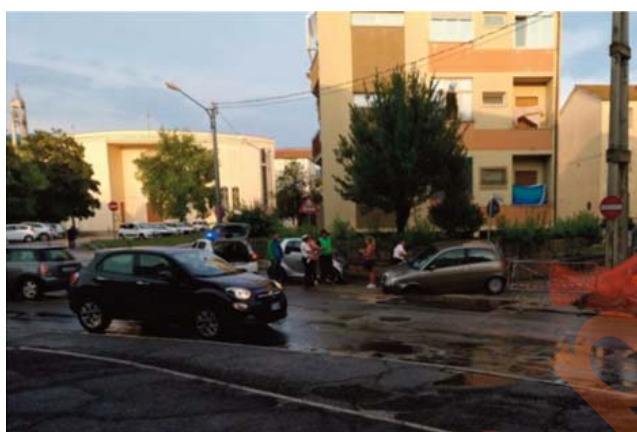


Fig. 17 - Voragine Via Nenni occorsa il 6 giugno 2018 fu coinvolta un'auto-vettura parcheggiata.
 - Sinkhole of Nenni street which occurred on 6 June 2018, a parked car was involved.

svolto primo contributo al censimento degli eventi che si sono verificati in città negli ultimi anni (Nisio, 2019).

Un primo grande episodio di sprofondamento, tra quelli censiti, si è registrato a Rieti nell'anno 1999 presso l'incrocio tra Piazza Oberdan con Via Peschiera; lo stesso viene segnalato nell'archivio AVI del CNR (Archivio AVI scheda n. 10200254), tale episodio viene messo in correlazione con presunte cavità sotterranee che si estendono ad una certa profondità sotto il manto stradale. Nel primo decennio degli anni 2000 gli eventi sono rimasti contenuti ad un numero esiguo, per arrivare ad una effettiva esplosione di casi negli ultimi 9 anni, in cui si registrano più di 30 voragini.

Nel 2011, si aprì una voragine presso via Cintia (Fig. 15) e nel 2019 un altro importante episodio innescato dalla rottura di una conduttura ha interessato la stessa importante strada urbana (Fig. 16).

Molti sprofondamenti hanno interessato e coinvolto persone e autovetture come è accaduto presso Via Nenni (Fig. 17) nel giugno del 2018; gli sprofondamenti si sono ripetuti a distanza di tempo nella medesime strade, come confermato dall'evento di Via Nenni il 2 febbraio 2019.

Di seguito si riporta una tabella (tab. 1) che riassume i principali casi censiti e segnalati anche da fonti giornalistiche.

I casi di sinkhole antropogenici registrati a Rieti sono correlati principalmente a due tipi di fenomeni: i) presenza di cavità all'interno delle coperture sciolte, lungo le principali vie cittadine a lungo decorso, che avvengono preferenzialmente lungo cunicoli drenanti e gli antichi fossi tombati; ii) presenza di cavità naturali o antropiche che interessano le litologie calcaree (*Calcareous Tufa*), all'interno del centro storico della città.

E' possibile sovrapporre tali fenomeni con la cartografia e iniziare ad indentificare in città alcune zone più suscettibili agli eventi di sprofondamento dovuti alla presenza di cavità (Fig. 18). Area particolarmente suscettibile è quella tra via Cintia e la Chiesa di Santa Maria Assunta, altra area è sicuramente quella circostante il Teatro Comunale Flavio Vespasiano. In par-

Tab. 1 - *Censimento degli eventi di sprofondamento avvenuti a Rieti nell'ultimo decennio.*

- Census of sinkhole events that occurred in Rieti in the last decade.

Data di formazione	Ubicazione del sinkhole
feb-11	Via Cintia
apr-14	Via Dei Pini
dic-14	Via Cintia
ott-15	Via Di Mezzo
dic-16	via Dei Mirti
lug-17	Viale Matteucci
gen-18	Via Tancia
mar-18	viale Morroni
mar-18	Viale Canali
mar-18	Parcheggio Stazione ferroviaria
mar-18	Borgo Sala
feb-18	Via Marchioni
dic-18	Viale Matteucci
gen-19	Viale Maraini
feb-19	Villa Reatina, via Mitrotti
feb-19	via Martiri della Libertà
feb-19	via Lesta della Battaglia
feb-19	via Tizi
feb-19	via del Terminillo (incrocio dell'ex manicomio)
feb-19	viale Morroni-Canali
feb-19	Via Verani
feb-19	Via Nenni
feb-19	Via Angelo Maria Ricci
feb-19	viale Maraini
feb-19	via Togliatti,
feb-19	Via Sant'Agnese
mar-19	Via Cintia
lug-19	Podere privato Salisano a una decina di metri dalla strada provinciale 46
dic-19	Via Paolessi
feb-20	Via Marchioni Villa Reatina
mar-20	Si riapre la Voragine via Paolesse dando origine a un cedimento del manto stradale
mag-20	Vecchia Salto Cicolana, Strada provinciale 67
lug-20	Via dei Tigli

ticolare, suscettibile risulta Piazza Vittorio Emanuele II, sovrapposta alle cavità di cui si è parlato in precedenza. Ulteriori aree a rischio sprofondamento sono connesse con la presenza degli antichi canali tombati, che si sviluppano ai margini del centro storico, tra queste è evidente l'area circostante Via Ludovico Canali.

Altri fenomeni naturali connessi al carsismo possono verificarsi all'interno della città e nelle aree di pianura circostanti essa. Ne è un esempio il fenomeno verificatosi il 31 maggio del 2018 quando si è originata una grossa voragine (sinkhole; NISIO 2003, 2008) nell'area verde del quartiere di Borgo Sala alla periferia Sud di Rieti (Fig. 19). Il sinkhole, che presenta diametro di 25 metri ed profondità di 15 m, innescato probabilmente da un evento pluviometrico intenso, ha creato preoccupazioni nella cittadinanza reatina poiché l'area è molto frequentata e adibita a parco per picnic. La sua origine è connessa al carsismo ma anche alla risalita delle acque in pressione nel sottosuolo (*piping sinkhole*, NISIO 2008).

8. - CONCLUSIONI

Rieti è ormai nota a livello internazionale per i suoi tour della "Rieti sotterranea", ma la visita ai locali dei palazzi che nel corso dei secoli sono stati addossati alle grandi arcate del suo viadotto romano lungo l'attuale via Roma per quanto ricca e suggestiva, è solo una piccolissima parte dello straordinario mondo ipogeo presente nel sottosuolo di questa bellissima città d'arte.

Questo studio ha messo in evidenza la presenza di varie strutture sotterranee e in particolare di alcune grandi cavità carsiche nel sottosuolo del centro storico che potrebbero far parte di un sistema molto più ampio ed esteso.

Queste cavità un tempo ricchissime di speleotemi si sono sviluppate nei depositi di natura calcarea che costituiscono la sua rupe. Si tratta di depositi carbonatici continentali prodotti da acque mineralizzate fredde, impropriamente confusi con i "travertini" che non sono mai stato oggetto in precedenza di studi specifici. A questi depositi inoltre, nella carto-

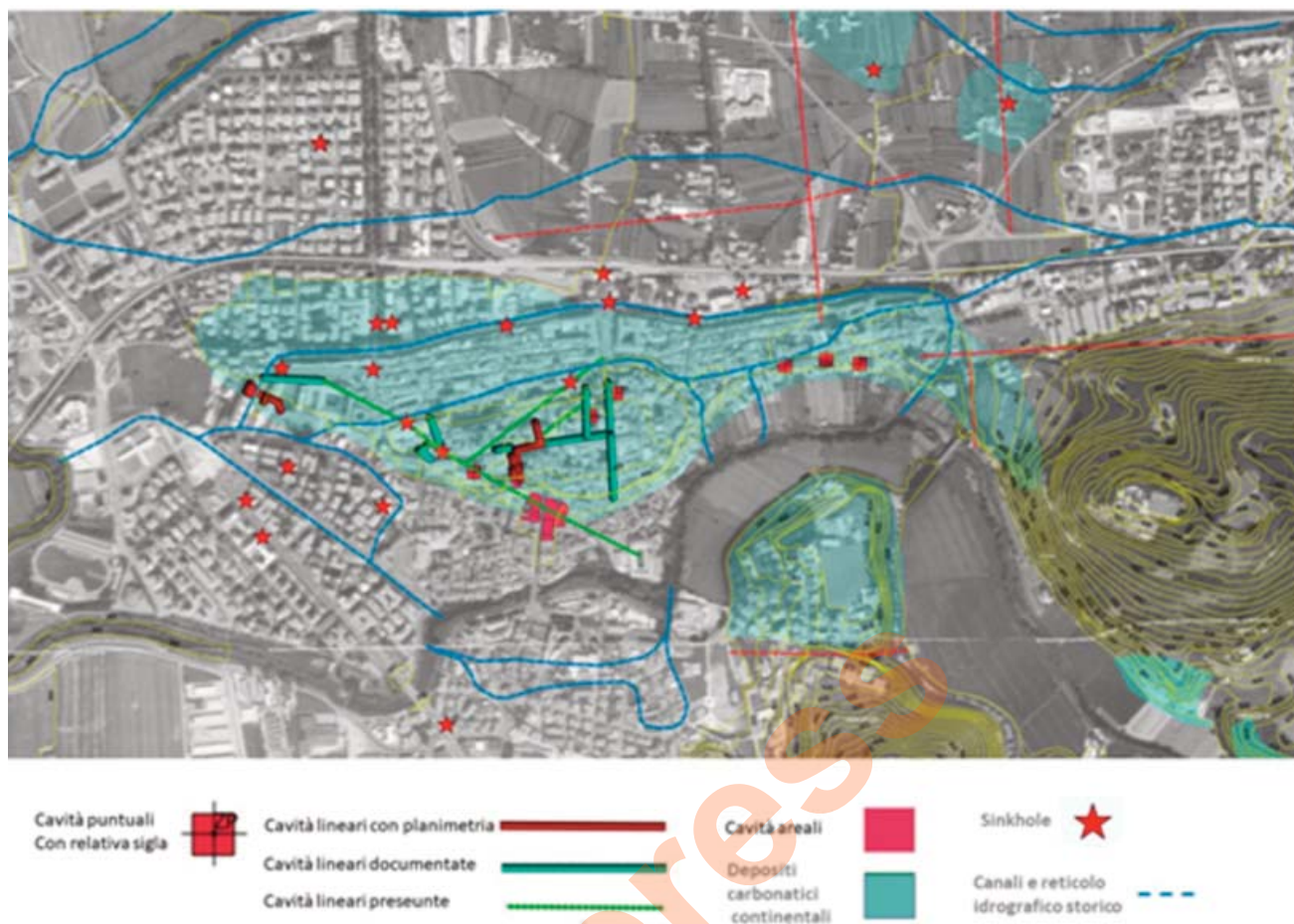


Fig. 18 - *Sinkhole* censiti nell'area urbana di Rieti in relazione alla distribuzione delle cavità, dei depositi carbonatici continentali, delle principali discontinuità tettoniche e dell'antico reticolo idrografico e sistema di canali. Cartografia di base: ortofoto BN 1998 (geoportale nazionale) con sovrapposte le curve di livello evidenziate in giallo.

- *Sinkholes surveyed in the urban area of Rieti in relation to the distribution of cavities, continental carbonate deposits, the main tectonic discontinuities and the ancient hydrographic network and canal system. Basic cartography: BN 1998 orthophoto (national geoportal) with superimposed level curves highlighted in yellow.*

grafia ufficiale e nella maggior parte dei lavori di carattere generale sulla piana reatina è stata inoltre attribuita una età Olocenica, cosa, che non ha contribuito ad incentivare la ricerca di cavità carsiche al suo interno, perché si poteva supporre che non ci fosse stato un intervallo di tempo sufficiente per sviluppare importanti sistemi carsici. In questo studio, coerentemente con CARRARA *et alii* (2004) riteniamo che questi depositi siano da attribuire al Pleistocene superiore, in quanto del tutto contigui sotto il profilo stratigrafico a quelli che affiorano estesamente in località Quattro strade, che si sono depositati tra i 183.000 ed i 33.000 anni.

Dal punto di vista morfologico la rupe di Rieti si presenta profondamente incisa, soprattutto lungo il bordo meridionale da scarpate di erosione fluviale,

che hanno generato una stretta valle sepolta (colmata da oltre 60m di depositi alluvionali) su cui attualmente scorre il Fiume Velino. La rupe quindi, non solo si eleva di circa una ventina di metri rispetto alla sottostante piana reatina, ma è anche isolata, sotto il profilo idrogeologico e idrografico sia dai rilievi dei Monti Sabini Meridionali sia dai Monti Reatini. Inoltre nonostante la sua vicinanza al Velino nei *calcareous tufa* della rupe di Rieti i sondaggi non incontrano alcuna falda idrica.

In questo lavoro si ipotizza che queste cavità, con sviluppo prevalentemente orizzontale (in pratica delle grotte di livello piezometrico perfetto) si siano formate probabilmente con un notevole contributo di processi ipogenetici, legati ad una peculiare combinazione di alcuni fattori:

- 1) risalita di fluidi profondi ricchi di H_2S e di altri componenti fortemente aggressivi nei confronti del carbonato di calcio lungo i sistemi di faglie che bordano a sud la città di Rieti, e che di fatto la attraversano (classificate come capaci ed attive nel catalogo Itacha);
- 2) livello del Lacus Velinus, che prima che le alluvioni del Velino del Turano e del Torrente Cantaro colmassero la parte sud-orientale della piana, alzandone il livello lambiva la rupe di Rieti, sommergendo in parte anche le faglie bordiere;
- 3) posizione della rupe di Rieti alla confluenza di ben tre fiumi che scaricavano acque molto ossigenate nelle stagnanti acque del Lacus Velinus, arricchite di H_2S dai fluidi di provenienza profonda;
- 4) presenza di fratture molto ampie e persistenti nei calcareous tufa della rupe di Rieti e presumibilmente anche di una faglia attiva che la attraversa in senso est-ovest. A nostro parere l'ossidazione dell' H_2S e la sua trasformazione in acido solforico in corrispondenza della superficie freatica con meccanismi simili a quelli proposti da (HILL, 1990) ed una ulteriore ossidazione dell' H_2S come risultato dell'attività dei batteri chemioautotrofici (GALDENZI & SARBU, 2000), soprattutto dopo che l'acqua ha iniziato a penetrare nei sistemi di fratture, può aver contribuito significativamente alla corrosione carsica presso la superficie della falda freatica. Questo potrebbe spiegare sia le dimensioni delle cavità carsiche di Rieti (non

compatibili con i tempi medi dei normali processi carsici epigenici), sia il loro sviluppo essenzialmente orizzontale, alla quota media di circa 378-380 m s.l.m. che rappresenta anche il livello della massima espansione del Lacus Velinus. Nel momento in cui il livello del lago si è abbassato questo processo si è disattivato ed è iniziata la fase costruttiva grazie alle acque arricchite di carbonato di calcio proveniente dalla lisciviazione dei suoli molto sviluppati presenti sulla superficie sommitale isolata della rupe (i sondaggi hanno trovato fino ad oltre 5m di terre rosse). Queste acque nel momento in cui raggiungevano gli ambienti ipogei per un processo di degassazione liberavano la CO_2 permettendo la deposizione del carbonato di calcio che forma le straordinarie concrezioni che erano visibili nelle cavità prima che fossero distrutte (Fig. 1). Naturalmente questa è solo una prima ipotesi di lavoro che potrà essere confermata sia da datazioni che da analisi degli speleotemi per capire quando è iniziata la loro formazione, cosa che ovviamente segna la fine della formazione delle cavità carsiche.

Oltre a queste cavità naturali rimaneggiate e rimodellate successivamente dall'azione antropica il sottosuolo di Rieti è molto ricco di cavità antropiche, ovvero scavate direttamente nei *calcareous tufa* nel corso della millenaria storia di questa città. Tali materiali presentano caratteristiche ideali come materiali da costruzione. Infatti a differenza dei depositi calcarei meso-cenozoici dei circostanti rilievi appenninici, si tratta di depositi post-orogeni. I depositi carbonatici continentali (*calcareous tufa* e travertini) non sono affetti dal clivaggio che caratterizza i depositi pre-orogeni e quindi, dove le caratteristiche dell'ambiente deposizionale lo consentono, possono permettere l'estrazione di grossi blocchi privi di fratture. I romani conoscevano molto bene le caratteristiche del *Lapis Tiburtinus* con cui hanno costruito i grandi edifici della Roma imperiale. Nell'antica Reate tuttavia hanno trovato una variante più povera, ma altrettanto valida. Nella rupe di Rieti, infatti, affiorano in prevalenza *facies* di un ambiente lacustre-palustre a bassa energia (parte interna del conoide) per lo più micritiche, molto diverse dalla *facies* terrose o fitoclastiche o fitohermali che caratterizzano gli altri



Fig. 19 - Sinkhole verificatosi nel quartiere Borgo Sala a Rieti il 31 maggio 2018.
- Sinkhole occurred to Borgo Sala district in Rieti town, on 31 May 2018.

affioramenti presenti lungo la valle del Velino e nella piana reatina nella placca di Quattro Strade. Inoltre le ultime fasi della tettonica estensionale che hanno interessato anche i calcareous tufa di Rieti, hanno prodotto fratture molto persistenti, ma con una spaziatura dell'ordine dei metri in corrispondenza dei banchi più compatti, quindi creando delle discontinuità che non solo non danneggiano il materiale, ma favoriscono il processo di estrazione. Anche i processi carsici ed il probabile collasso di alcune cavità possono aver favorito il processo di estrazione di questo materiale che ha fornito i grossi blocchi con cui si è costruito non solo il ponte ed il viadotto romano ma anche la prima cinta muraria che cingeva l'acropoli. Tutta la superficie sommitale della rupe di Rieti quindi per secoli può aver fornito il materiale da costruzione direttamente in sito, ma questo significa che mentre una prima città veniva creata in superficie una seconda si sviluppava nel sottosuolo mentre si cavavano i materiali per edificare gli edifici e le infrastrutture.

Oggi poco resta di questa prima Reate, le guerre, le distruzioni operate dai catastrofici terremoti e la costruzione di nuove abitazioni direttamente sulle macerie di quelle crollate, nel corso dei secoli non solo hanno coperto la superficie sommitale della rupe di spessori variabili ma sempre notevoli di materiali di riporto, ma hanno anche colmato le depressioni ed eliminato le ripide scarpate, al punto tale che il viadotto romano con i suoi circa 17 metri di dislivello tra la sommità e la base della rupe è stato completamente inglobato nel tessuto urbano. Scavi effettuati sulla superficie sommitale della rupe, come quelli di Palazzo Aluffi (LEGGIO, 2017) o il circuito della "Rieti sotterranea" (GIOVANNELLI, 2008) che si sviluppano lungo le arcate del suo antico viadotto ne dimostrano la straordinaria ricchezza.

Oltre che nella roccia i romani trovarono a Rieti un'altra grande ricchezza, l'acqua. Rieti infatti è nota come città delle acque, e in epoca rinascimentale era considerata una sorta di "Venezia dell'Italia centrale". Titolo che oggi potrebbe lasciare perplessi visto che attualmente il Velino è l'unico fiume che la attraversa. Ma la cartografia storica e le numerose pubblicazioni di carattere storico ed archeologico te-

stimoniano la presenza di un articolato sistema di canali (Fig. 18) di cui oggi in pratica non resta alcuna traccia. La ricchezza di Rieti sotto questo profilo nasce dal Fiume Cantaro (Fig. 7).

Un importante corso d'acqua che, alimentato in gran parte da una serie di sorgenti perenni che scaturivano alla base del conoide di Vazia alle pendici dei reatini, scorreva nella parte settentrionale della rupe di Rieti. Questo fiume tuttavia in corrispondenza della parte orientale della rupe di Rieti scorreva a circa quota 400 quindi circa 20 metri al di sopra di quella che in epoca romana doveva essere la quota media dell'alveo del Velino nel tratto che borda a sud la città. Un carico idraulico ideale per alimentare qualsiasi opera idraulica oltre che per garantire un efficientissimo sistema di distribuzione idrica ed una altrettanto efficiente rete fognaria a tutta la Città. Una volta canalizzato e deviato a lambire la cinta muraria il Canale Cantaro in epoca romana forniva un'efficace difesa della cinta muraria settentrionale. Questa situazione venne in seguito sfruttata ogni volta che fu necessario procedere ad una espansione della cinta muraria, accompagnata sempre da una contemporanea costruzione di un canale di difesa. Oggi ben poco rimane di questo sistema di canali ed opere idrauliche che permetteva di alimentare contemporaneamente fino a sette mulini, fonte di reddito per la città di Rieti e per la sua diocesi che in epoca medioevale ne possedeva una gran parte. Non si conoscono nemmeno i dettagli della articolata rete di distribuzione idrica, ma nella Carta di Martigny del 1725 sono presenti ben 44 fontane distribuite in tutta la città alimentate direttamente dal ramo principale del canale Cantaro.

La presenza di vuoti in sottoterraneo, di acqua, di circuiti idrotermali e di strutture tettoniche ha favorito nel tempo processi di crollo che sono testimoniati dall'aumento di sinkholes antropogenici nel centro storico e lungo le aree di paleo-canale e da sinkholes naturali e che diventano sempre più frequenti nella periferia della città (sinkhole di Borgo Sala; NISIO 2010, 2011, 2019).

In questo caso il contributo della cartografia storica e l'analisi delle fonti documentali (conservate in gran parte presso l'archivio di stato di Rieti o presso

la Curia Vescovile) è risultato fondamentale per tentare di ricostruire in prima approssimazione la loro presenza e la loro estensione. Si tratta di una grande massa di dati, che tuttavia risultano estremamente frammentati e dispersi. E' auspicabile che la loro acquisizione e "contestualizzazione", già in corso nell'abito del progetto GIS, in futuro potrà fornire un quadro più preciso della estensione e della ramificazione dei sistemi di cavità cunicoli, condotti e cisterne presenti nel sottosuolo di Rieti di cui questo studio vuole essere solo una anteprima.

L'interesse sia per le cavità che per questi antichi sistemi di canali naturalmente non è solo di tipo storico o scientifico, ma fornisce un indispensabile corollario per interpretare correttamente e valutare le adeguate tecniche di indagine per i fenomeni di sinkhole che interessano la città di Rieti.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i Geologi professionisti locali ed in particolare lo studio geologico GEO3D per i dati relativi alle perforazioni di sondaggio, il Dott. L. Bernardinetti per la documentazione fotografica, e le preziose informazioni che ci ha fornito. Il Ten. Colonnello Passi della scuola NBC di Rieti per averci permesso il sopralluogo ed i rilievi all'interno del rifugio antiaereo presente sotto la Caserma Verdirosi; la Dott.ssa R. Giovannelli per averci permesso l'accesso ed i rilievi nei percorsi della Rieti sotterranea; L'Arch. G. Nicolo per averci messo a disposizione le planimetrie dei suoi rilievi effettuati nella zona di via Roma ed i primi risultati dei suoi studi inediti sullo sviluppo urbano di Rieti. Ringraziamo infine il Dott. F. Vesella per il suo contributo alla realizzazione del progetto GIS.

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI G. & CARBONE F. (Eds.) (1988) - *Lithofacies map of Latium-Abruzzi and neighbouring areas, scale 1:250,000*. C.N.R. Quad. Ric. Sci., 114 (5).
- ALVINO G. & LEZZI F. (2013) - *Reate/Rieti. Archeologia urbana*. Lazio e Sabina 9 G." in G. GHINI, Z. MARI (a cura di), Lazio e Sabina 9, Atti del Convegno (Roma 27-29 marzo 2012), Roma 2013, 145-150.
- ALVINO G. & LEZZI F. (2014) - *Rieti nella storia: gli scavi di palazzo Aluffi* in GHINI G. & MARI Z. (a cura di), Lazio e Sabina 10, Atti del Convegno (Roma 4-6 giugno 2013), Roma 2014, 35-42.
- ANNUNZIATELLIS A., BEAUBIEN S.E., CIOTOLI G., LOMBARDI S., NISIO S. & NOLASCO F. (2004) - *Studio dei parametri geologici e geochimici per la comprensione dei meccanismi genetici degli sprofondamenti nella piana di S. Vittorino*. Atti Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004"; 63-82.
- ARENAS-ABAD C., VAZQUEZ-URBEZ M., PARDO-TIRAPU G. & SANCHO-MARCEN C. (2010) - *Fluvial and associated carbonate deposits*. In: *Developments in Sedimentology: Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes* (Eds A.M. Alonso-Zarza and L.H. Tanner), 133-pp. 175. Elsevier, Amsterdam.
- BARBERI R. & CAVINATO G.P. (1992) - *Analisi sedimentologiche ed evoluzione paleogeografica del settore meridionale del bacino di Rieti (Appennino Centrale)*. Studi Geol. Camerti, Volume Speciale, 39-53.
- BERNARDINETTI L. & DE FRANCESCO (1975) - *Rieti Ieri e Oggi Immagini a Confronto*. Ed. Tipografia Borgia per Banca popolare di sovvenzione di Rieti, Roma 206 pp.
- BIGI G., CAPELLI G., MAZZA R., PAROTTO M., PETITTA M. & SALVATI R. (2000) - *Strutture di collasso nella piana di S. Vittorino (Fiume Velino, Lazio): interazione tra circolazione idrica sotterranea e tettonica attiva*. Atti convegno "Protezione e salvaguardia delle aree di pianura", Ferrara novembre 1999, Regione Emilia-Romagna, 159-162.
- BONI C., BONO P., CALDERONI G., LOMBARDI S. & TURI B. (1980) - *Indagine idrogeologica e geochimica sui rapporti tra ciclo carsico e circuito idrotermale nella pianura Pontina (Lazio Meridionale)*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 15, 203-247, Bari.
- BONI C.F., BEAUBIEN S.E., CIOTOLI G., DI FILIPPO M., LOMBARDI S., NOLASCO F., PETITTA M., & TORO B. (2004) - *Sinkhole hazard in Italy: research projects in the S. Vittorino Plain (Central Italy)*. Abstract 32 IGC, session G02.04 (144), Florence, august 2004.
- BRUNAMONTE F., CARRARA C., CAVINATO G.P., FERRELLI L., SERVA L., MICHETTI A.M. & RAGLIONE M. (1993b) - *La conca di Rieti*. In: Convegno AIQUA "Le Conche Intermontane, Caratteristiche Stratigrafiche, Sedimentologiche, Strutturali ed Aspetti Applicativi - Guida all'escursione Le Conche intermontane dell'Appennino Laziale-Abruzzese". Il Quaternario, 6(2) 1993, 396-402.
- BRUNAMONTE F., MICHETTI A.M., SERVA L. & VITTORI E. (1993a) - *Seismic hazard evaluation in Central Italy: preliminary results of the Rieti Basin Project*. Annali di geofisica, XXXVI (1), 253-262.
- CAMERIERI P. & MATTIOLI T. (2014) - *Archeologia e modificazioni ambientali lungo il corso del fiume Velino*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. **XCVI**, pp. 169-188, figg. 22.
- CAMERIERI P. (2009) - *La ricerca della forma del catasto antico di Reate nella pianura di Rosea*. in: divus Vespasianus, "Il Bimillenario dei Flavi". reate e l'Ager reatinus, Catalogodella Mostra, pp. 39-48, Rieti.
- CAMERIERI P., DE SANTIS A. & MATTIOLI T. (2009) - *La limitatio dell'Ager reatinus. Paradigma del rapporto tra agrimensura e pastorizia, viabilità e assetto idrogeologico del territorio*. Convegno internazionale "Sistemi centuriali e opere di assetto agrario tra età romana e primo medioevo. Aspetti metodologici, ricostrut-

- tivi e interpretativi”, Borgoricco (Padova) – Lugo (Ravenna), 10-12 settembre 2009.
- CAPELLI G., PETITTA M. & SALVATI R. (2000) - *Relationships between catastrophic subsidence hazards and groundwater in the Velino Valley (Central Italy)*. Proceedings SISOLS 2000, Ravenna, Italy, September 2000, 123-135.
- CAPEZZUOLI E., GANDIN A. & SANDRELLI F. (2008) - *Evidence of associated deposition of travertine and calcareous tufa in the Quaternary carbonates of Valdelsa Basin (Tuscany)*. Ital. J. Quatern. Sci., **21**, 113-124.
- CAPEZZUOLI E., GANDIN A. & SANDRELLI F. (2010) - *Calcareous tufa as indicators of climatic variability: a case from the Southern Tuscany (Italy)*. In: Tufas, Speleothems and Stromatolites: Unravelling the Physical and Microbial Controls (Eds M. PEDLEY & M. ROGERSON), Geol. Soc. London Spec. Publ., **336**, 263-281.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G. & NISIO S. (2008) - *A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas*. Jour. of Natural Hazard, **45**, 145- 172, DOI 10.1007/s, 11069-007-9165-7.
- CARRARA C., BRUNAMONTE F., FERRELI L., LORENZONI P., MARGHERITI L., MICHETTI A.M., RAGLIONE M., ROSATI M. & SERVA L. (1992) - *I terrazzi della medio-bassa valle del F. Velino*. In: FARABOLLINI P., INVERNIZZI C., PIZZI A., CAVINATO G.P. & MICCADEI E. (eds.): *Evoluzione geomorfologica e tettonica quaternaria dell'Appennino centro-meridionale*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1992/1: 39-53, Camerino.
- CARRARA C., ESU D. & FERRELI L. (1995) - *Lo sbarramento di travertino delle Marmore (Bacino di Rieti, Italia Centrale): aspetti geomorfologici, faunistici ed ambientali*. Il Quaternario, **8**(1), 111-118.
- CARRARA C., FERRELI L., GUERRIERI L. & SERVA L. (2004) - *The Rieti intermountain basin and S. Francesco d'Assisi*. Field Trip Guide book D07 - 32nd International Geological Congress Florence APAT.
- CAVINATO G.P. & PAROTTO M. (1992) - *Evoluzione tettonica e paleogeografica della Conca di Rieti (Appennino centrale)*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, 608-609.
- CAVINATO G.P., CHIARETTI F., COSENTINO D. & SERVA L. (1989) - *Caratteri geologico-strutturali del margine orientale della Conca di Rieti*. Boll. Soc. Geol. It., **108**, 207-218.
- CENTAMORE E. & NISIO S. (2002) - *Quaternary Geology and morphostructural evolution between the Velino and Salto Valleys*. Studi Geol. Camerti Vol Spec. (1999), 37-44.
- CENTAMORE E., NISIO S. & ROSSI D. (2004) - *Aspetti geologico-strutturali in relazione alla formazione della "sinkhole plain" di S. Vittorino*. Atti Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004", 285-298.
- CENTAMORE E., NISIO S. & ROSSI D. (2009) - *The San Vittorino Sinkhole Plain: relations between bedrock structure, sinking processes seismic events and hydrothermal springs*. Boll. Soc. Geol. **128**, 3, 629-639.
- CIOTOLI G., DI FILIPPO M., NISIO S. & ROMAGNOLI C. (2001) - *La piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali, geomorfologici, geofisici e geochimici* Mem. Soc. Geol. It., **56**, 297-308.
- CIPOLLARI P. & COSENTINO D. (1992) - *La linea Olevano-Antrdoco: contributo del/a biostratigrafia alla sua caratterizzazione cinematica*. In: TOZZI M., CAVINATO G. P. & PAROTTO M. (eds.): *Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 11 Civitavecchia-Vasto*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1991/2: 143-149 Camerino.
- COMERCI V., MOLIN D., PASQUARÈ F.A. & SERVA L. (2003). *Risposta sismica dell'area urbana di Rieti in occasione del terremoto del 27 giugno 1898 nel bacino di Vazja (RJ)*. Boll. Soc. Geol. It., **122**, 147-156.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1992) - *La struttura a falde della Sabina (Appennino centrale)*. In: TOZZI M., CAVINATO G. P. & PAROTTO M. (eds.) - *Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP II Civitavecchia-Vasto*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1991/2: 381-387, Camerino.
- COSENTINO D., MICCADEI E., BARBERI R., BASILICI G., CIPOLLARI P., PAROTTO M. & PIACENTINI T. (2008) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 357 Cittaducale*. Apat. Organo Cartografico dello Stato. Roma Tre, Roma 144 pp.
- COSENTINO D., SCOPPOLA C., SCROCCA D. & VECCHIA P. (1991) - *Stile strutturale dei Monti Reatini e dei Monti Sabini settentrionali (Appennino Centrale) a confronto*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. **2**, 55-61.
- D'AGOSTINO N., JACKSON J.A., DRAMIS F. & FUNICIELLO R. (2002) - *Interactions between mantle upwelling, drainage evolution and active normal faulting: an example from the central Apennines (Italy)*. Geophysical Journal International.
- DOGLIONI C. (1993) - *Some remarks on the origin of the foredeeps*. Tectonophysics, **228**, 1-20.
- FACCENNA C., FLORINDO F., FUNICIELLO R. & LOMBARDI S. (1993) - *Tectonic setting and sinkhole features: case histories from western Central Italy*. Quaternary Proceedings, **3**, 47-56.
- FERRELI L., BRUNAMONTE F., FILIPPI G., MARGHERITI L. & MICHETTI A.M. (1992) - *Riconoscimento di un livello lacustre della prima età del ferro nel bacino di Rieti e possibili implicazioni neotettoniche*. In: FARABOLLINI P., INVERNIZZI C., PIZZI A., CAVINATO G.P. & MICCADEI E. (eds.): *Evoluzione geomorfologica e tettonica quaternaria dell'Appennino centro-meridionale*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1992/1: 127-135, Camerino.
- FERRELI L., PAROTTO M. & SERVA L. (1990) - *Evoluzione del reticolo idrografico nella piana di Rieti negli ultimi 4000 anni*. Mem. Soc. Geol. It. **45**, 901-910
- GALDENZI S. & MENICETTI M. (1995) - *Occurrence of hypogenic caves in a karst region: examples from central Italy*. Environmental Geology, **26** (1), 39-47.
- GALDENZI S. & SARBU S.M. (2000) - *Chemiosintesi e speleogenesi in un ecosistema ipogeo: i rami sulfurei delle Grotte di Frasassi (Italia centrale)*. Le Grotte d'Italia (Istituto Italiano di Speleologia), serie V, **1**, 3-18.
- GANDIN A. (2013) - *Classificazione genetica, caratteri petrologici distintivi e valori isotopici correlati di calcari incrostanti depositi da acque scorrenti (Travertini - Calcareous Tufa - Speleotemi)*. Rend. Online

- Società Geologica Italiana, **27**, 10-30. Roma.
- GANDIN A. & CAPEZZUOLI E. (2008) - *Travertine versus Calcareous tufa: distinctive petrologic features and stable isotope signatures*. Ital. J. Quatern. Sci., **21**, 125-136.
- GIOVANNELLI R. (2005) - *Rieti sotterranea* - Comune di Rieti, Fondazione Varrone, Lions Clubs ilvicività - Universo Editoriale. 112 p.
- GIOVANNELLI R. (2012) - *Rieti sotterranea. La magia di una scoperta*. Tip. Fabbri, Rieti.
- GLIOZZI E. & MAZZINI I. (1998) - *Palaeoenvironmental analysis of Early Pleistocene brackish marshes in the Rieti and Tiberino intrapenninic basins (Latium and Umbria, Italy) using ostracods*. Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol., **140**(1-4): 325-333, Amsterdam.
- GUERRIERI L., BRUNAMONTE F., COMERCI V., FERRELLI L., MICCHETTI A.M., POMPILI R. & SERVA L. (2004) - *Geologic map of continental deposits in the Rieti Basin (Central Apennines*. In: G. PASQUARÈ & C. VENTURINI (Eds.): "Mapping geology in Italy". APAT-Servizio Geologico d'Italia, 123-130. S.EL.CA, Firenze.
- HILL C.A. (1990) - *Sulphuric acid speleogenesis of Carlsbad Cavern and its relationship to hydrocarbons, Delaware Basin, New Mexico and Texas*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, **74**, p. 1685-1694.
- KLIMCHOUK A. (2000) - *Speleogenesis under deep-seated and confined settings*. In: KLIMCHOUK A., FORD D., PALMER A., DREYBRODT W. (ed.), "Speleogenesis - Evolution of karst aquifers", National Speleological Society, Huntsville, Alabama, p. 244-260.
- KLIMCHOUK A.B. (2009) - *Morphogenesis of hypogenic caves*. Geomorphology, **106** (1-2), 100-117.
- LEGGIO T. & SERVA L. (1991) - *La bonifica della piana di Rieti dall'età romana al medioevo*. ENEA Notiz. Sicur. Prot. 25- 26, 61-70.
- LORENZETTI R. (1990) - *Lacus Velinus. La bonifica dell'agro reatino dall'antico Lacus Velinus alla riorganizzazione del territorio*. Regione Lazio. Ed. Franco Maria Ricci, Milano.
- LORENZONI P., RAGLIONE M., BRUNAMONTE F., MICCHETTI A.M. & PENNACCHIONI M. (1993) - *Stratigrafia dei depositi di versante tardo-quaternari del Bacino di Rieti: la sezione de "La Casetta"*. In: FARABOLLINI P., INVERNIZZI C., PIZZI A., CAVINATO G.P. & MICCADEI E. (eds.): *Evoluzione geomorfologica e tettonica quaternaria dell'Appennino centro-meridionale*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1992/1: 145-153, Camerino.
- MANFREDINI M. (1972) - *Studio idrogeologico della Piana di Rieti*. Quad. Ist. Ric. Acque, CNR, **6**, 87-122.
- MARCHETTO F., BRUNAMONTE F., CARDARELLI E., GUERRIERI L., MARGHERITI L., MICCHETTI A.M. & SERVA L. (1997) - *Ricostruzione dell'evoluzione ambientale della soglia del bacino di Rieti attraverso indagini geologiche e geofisiche*. Atti del Convegno F.I.S.T., Geitalia 1997, 1° Forum Italiano di Scienze della Terra, Bellaria 1-9 Ottobre 1997, 2: 249-250.
- MARTINIS B. & PIERI M. (1964) - *Alcune notizie sulle formazioni evaporitiche del Triassico superiore dell'Italia centrale e meridionale*. Mem. Società Geologica Italiana, **4**, 649-678.
- MECCHIA G., MECCHIA M., PIRO M. & BARBATI M. (2003) - *Le Grotte del Lazio - I fenomeni carsici elementi della biodiversità*. Regione Lazio Assessorato Ambiente - Agenzia Regionale per i Parchi ARP. SYSTEMCART srl. Roma.
- MELONI F. & NISIO S. (2015) - *Catalogo dei Sinkhole Antropogenici del Lazio 2013 ed organizzazione delle attività future*. (2015) Mem. Descr. Carta Geol. D'It. **99**, 245-254. ISBN 978 - 88-9311-009-9.
- MENOTTI R.M., MILLESIMI F. & PETITTA M. (1999) - *La piana di S. Vittorino (Rieti) tra dissesto idrogeologico, valenze ambientali e sviluppo antropico*. Accademia Nazionale dei Lincei, "Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo", ottobre 1998, Roma, Atti dei Convegni Lincei 327-333.
- MICCHETTI A.M., BRUNAMONTE F., SERVA L. & WHITNEY R.A. (1995) - *Seismic hazard assesment from paleoseismological evidence in the Rieti Region (Central Italy)*. SERVA L. & SLEMMONS D.B. (Editors), Association of Engineering Geologists, "Perspectives in Paleoseismology" Spec. Publ. No. 6.
- NISIO S. (2003) - *I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale*. Il Quaternario, **16** (1) 2003, 121-132.
- NISIO S. (2008) - *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane*. Monografia Memorie descrittive della Carta Geologica d'It. Vol. **LXXXV**; 475pp.
- NISIO S. (2010) - *Fenomeni di sprofondamento in alcuni centri urbani*. Atti 2° Workshop internazionale: I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato. Roma 3-4 dicembre 2009. ISPRA, 845-864.
- NISIO S. (2010) - *Fenomeni di sprofondamento nell'ambiente urbano*. VI Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano, ISPRA, 81-94.
- NISIO S. (2018) - *I sinkholes antropogenici nelle città Italiane -Qualità dell'ambiente urbano - XIV Rapporto 2018*. ISPRA Stato dell'Ambiente 82/18, 149-158.
- NISIO S. (2019) - *I sinkholes antropogenici nelle città Italiane - Qualità dell'ambiente urbano - XV Rapporto 2019*. ISPRA Stato dell'Ambiente.
- NISIO S., CARAMANNA G. & CIOTOLI G. (2007) - *Sinkholes hazard in Italy: first results on the inventory and analysis of some case studies*. In: PARISE & GUNN (eds) *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society, London, Special Publications, **279**, 23-45.
- NOLASCO F. (1998) - *La Piana di San Vittorino. Contributo allo studio dei processi evolutivi, dei rischi e della prevenzione*. 68 pp., ACEA s.p.a., Roma.
- PALMER A.N. (2000) - *Hydrogeological control of cave patterns*. In: KLIMCHOUK A., FORD D., PALMER A., DREYBRODT W. (ed.), "Speleogenesis - Evolution of karst aquifers", National Speleological Society, Huntsville, Alabama, p. 77-90.
- PATACCA E. SARTORI R. & SCANDONE P. (1992) - *Tyrrenian basin and Appenninic arcs: Kinematic relation since Late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It. **45**: 425-451, 5 ff. 6 tab., Roma.
- PEDLEY M., GONZALEZ MARTIN J.A., ORDONEZ DELGADO S.

- & GARCIA DEL CURA M.A. (2003) - *Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain*. *Sedimentology*, **23**, 50-44.
- SALVATI R. & SASOWSKY I.D. (2002) - *Development of collapse sinkholes in areas of groundwater discharge*. *Journal of Hydrology*, **264**, (1-4): 1-11.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1970) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 F.138 Terni*. 2a Ed.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1975) - *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia f: 138-144 (Temi-Palombara Sabina)*.
- SIGHINOLFI G.P. 1990). - *Studio chimico delle acque del complesso "Grotte di Frasassi" (Ancona) implicazioni speleogenetiche e ambientali*. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, **4**, 109-122.
- SOLIGO M., TUCCIMEI P., BARBERI R., DELITALA M.C., MICCADEI E. & TADDEUCCI A. (2002) - *U/Tb dating of freshwater travertine from Middle Velino Valley (Central Italy): paleoclimatic and geological implications*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **184**, 147-161.
- TAZIOLI G.S., COCCHIONI M., COLTOR TI M., DRAMIS F. & MARIANI M. (1990) - *Circolazione idrica e chimismo delle acque sotterranee dell'area carsica di Frasassi nelle Marche*. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, **4**, 93-108.
- ZUPPI G.M., FONTES J.CH. & LÉTOLE R. (1974) - *Isotopes du milieu et circulations d'eaux sulfurées dans le Latium*. In: «*Isotope Techniques in Groundwater Hydrology*», vol. 1, I.A.E.A., Vienna, p. 341-361.ii.

in press