

## **Speleologia subacquea e ricerca scientifica.**

### **Un caso di studio: il “Pozzo del Merro” e i *sinkholes* della Piana di Tivoli**

Giorgio Caramanna

#### **Riassunto**

Le tecniche speleosubacquee sono un utile ed efficace strumento a disposizione dei ricercatori per studiare ambienti e fenomeni altrimenti inaccessibili. L'acqua presente all'interno di grotte e cavità non costituisce più un limite invalicabile ma una frontiera verso nuovi ed affascinanti luoghi ancora inesplorati.

Lo sviluppo di nuove tecnologie subacquee, ed in particolare la disponibilità di veicoli robotizzati in grado di operare ad alta profondità in ambienti sommersi anche di ridotte dimensioni, ha permesso di estendere in modo considerevole la capacità operativa degli studiosi generando una forte sinergia tra uomo e macchina.

Un caso rilevante di applicazione di queste nuove metodologie d'indagine è rappresentato dalla cavità allagata del “Pozzo del Merro” e dei laghetti del sistema delle “Acque Albule” nell'area dei Monti Cornicolani e della Piana di Tivoli nel Lazio centro orientale.

Il rilevamento delle principali caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche delle voragini ha permesso di definire un quadro d'insieme in cui è evidente la correlazione tra assetto strutturale dell'area, presenza di apporti di fluidi endogeni mineralizzati alla falda carsica regionale e genesi delle cavità.

## **Abstract**

Cave and scientific diving techniques are useful “tools” for the researchers to study places and phenomena otherwise unreachable. The water filling caves and sinks is not an overwhelming barrier but a new frontier toward new and unexplored places.

The development of new underwater technologies and underwater robots (ROV), able to operate in hostile environments and in very deep and restricted places, extends very much the capacity of the scientists creating a strong synergy between men and machines.

A case study is the flooded karst sinkhole of the “Pozzo del Merro” and some lakes of the springs system “Acque Albule” in the Cornicolani Mounts and Tivoli Plain area (Latium Region).

By the survey of the main geomorphologic and hydrogeologic features of the sinks we were able to define the correlation between the structural setting of the area, the presence of mineralized geothermal fluids mixed with the local karst aquifer and the genesis of the sinkholes.

## **Key Words**

- *Karst sinkholes*
- *Cave diving*
- *Scientific diving*
- *ROV*
- *Geothermal fluids*
- *Pozzo del Merro*
- *Acque Albule*

## Introduzione

Per molto tempo la presenza dell'acqua sul fondo delle cavità ha costituito un ostacolo invalicabile per i ricercatori che erano costretti ad ottenere informazioni solo mediante metodi indiretti, il più delle volte limitati a semplici scandagli dalla superficie. Lo sviluppo negli anni di materiali e procedure speleosubacquee ha aperto una nuova frontiera nello studio degli ambienti ipogei sommersi. A questo si aggiunge il sempre maggior impiego dell'immersione scientifica per la raccolta di dati in numerose branche della ricerca. Il termine "immersione scientifica" ha un significato ben preciso venendo chiaramente definito dall' American Academy of Underwater Sciences conformemente al Codice Internazionale dell'Immersione Scientifica CMAS-UNESCO come: *"immersione eseguita esclusivamente come parte necessaria di un'attività scientifica, di ricerca o educativa da personale qualificato il cui solo scopo per immergersi sia di eseguire compiti di ricerca scientifica"*. Chi effettua operazioni subacquee deve quindi avere le necessarie competenze e adeguarsi agli standard previsti affinché i risultati della ricerca abbiano un serio e riconosciuto valore.

Le necessità dell'industria off-shore hanno spinto alla realizzazione di macchine robotizzate subacquee, sviluppate principalmente per compiti di monitoraggio e manutenzione delle infrastrutture sommerse, in grado di funzionare in ambienti, per profondità e caratteristiche ambientali, risultavano inaccessibili agli operatori umani. I ROV dall'inglese *"Remote Operated Vehicle"*.

La particolare geologia dell'Italia favorisce una diffusa presenza di fenomeni erosivi carsici sia epigei che ipogei. Un particolare tipo di queste strutture è rappresentato dai *sinkholes*. Il termine deriva dall'unione di *"sink"*, sprofondamento e *"hole"*, buco. In sintesi queste sono delle voragini a cielo aperto la cui genesi ed evoluzione è governata da svariati fattori: litologici, strutturali ed idrogeologici. In molti casi i *sinkholes* costituiscono un punto di affioramento della falda idrica sotterranea. Il loro studio riveste importanza sia dal punto di vista scientifico che applicativo. I *sinkholes* infatti possono costituire un potenziale pericolo per le infrastrutture umane ed una via di penetrazione di inquinanti nella falda basale. Questo articolo tratta di quattro *sinkholes* nel Lazio orientale studiati mediante tecniche speleosubacquee ed uso di ROV.

## Inquadramento geologico

Il *sinkhole* “Pozzo del Merro” si apre nella struttura carbonatica dei Monti Cornicolani nei pressi del paese di Sant’Angelo Romano in provincia di Roma.

I Monti Cornicolani rappresentano la propaggine più occidentale del settore appenninico laziale poco a Nord di Tivoli. Sono costituiti da tre rilievi principali: “Monte S. Francesco” (206 m.s.l.m.) con orientazione NNW-SSE, Sant’Angelo Romano (400 m.s.l.m.) orientato anch’esso NNW-SSE e Poggio Cesi (413 m.s.l.m.) allineato circa N-S.

I tre rilievi sono costituiti prevalentemente da calcari del Lias inferiore e, in minor misura, da analoghi sedimenti del Lias medio-Cretacico medio. I sedimenti carbonatici che, nella successione stratigrafica, seguono il “Calcarea Massiccio” hanno potenze modeste e si sono depositi da Est ad Ovest in tempi sempre più recenti. Ai termini calcarei si associano, al margine settentrionale, sedimenti Pliocenici clastici eterogenei (sabbie, limi, argille) presenti in affioramento alle quote più basse della catena in esame (Carta Geol. d’Italia Foglio n.144).

Il nucleo carbonatico è circondato dai sedimenti sabbiosi e argillosi pliocenici e i versanti sud occidentali sono interessati da coperture di tufi basaltici e leucitici (Segre 1948).

I Monti Cornicolani sono caratterizzati da motivi tettonici di estensione sia locale che regionale. La natura litologica dei termini in affioramento, Calcarea Massiccio di tipo “A” di Monte Nerone di “paleopiattaforma” epicontinentale (Chiocchini e Mancinelli 1978), e il grado di disturbo tettonico, con la presenza di tre sistemi di faglie subverticali con direzione NW-SE, NE-SW, N-S, hanno favorito la formazione di un esteso sistema carsico epigeo ed ipogeo con forme di piccole e grandi dimensioni. In particolare si identificano quattro fasi deformative principali legate sia a tettonica compressiva che distensiva (Mattei et alii.; 1986).

A sud dell’area cornicolana si localizza il Bacino delle Acque Albule con gli imponenti depositi di Travertino oggetto di estrazione fin da epoca Romana. All’interno dei sedimenti travertinosi si aprono gli altri tre *sinkholes* studiati: il Lago di S. Giovanni e i laghi Regina e Colonnelle sorgenti delle Acque Albule. La maggior parte della formazione si può considerare deposta in sincronia col II Interglaciale (Riss-Wurm). Il Bacino delle Acque Albule è da ritenersi di origine tettonico-carsica, in concomitanza con un’ulteriore fase di sollevamento del Preappennino Romano. Il carsismo è diffuso e, sotto lo strato più superficiale di “tartaro”, i travertini sono soggetti ad estesi fenomeni di sgrottamento con formazione di doline di crollo la cui morfologia risulta spesso obliterata da interventi antropici. Un sollevamento in blocco della struttura ha interrotto la deposizione del Travertino e il conseguente approfondimento del reticolo idrografico ha fatto sì che le acque calacreo-solfidriche risalenti dal sottosuolo esercitino la loro azione incrostante

prevalentemente in ambiente ipogeo contrastando la formazione delle citate cavità nel substrato travertinoso (Maxia 1949).

### **Metodologie di studio**

Lo studio geomorfologico ed idrogeologico dei *sinkholes* allagati è stato effettuato sia mediante indagini dirette che sondaggi indiretti.

Per le indagini dirette si è costituito un team di speleosubacquei. Si è proceduto ad una mappatura della parte allagata del Pozzo del Merro e del Lago di S. Giovanni utilizzando sia sistemi tradizionali che un sonar portatile al fine di velocizzare le operazioni. A causa della particolare forma della parte sommersa del Pozzo del Merro solo mediante una serie di immersioni si è potuto campionare l'acqua ed i sedimenti. Le immersioni sono state effettuate con tecniche speleo unite all'impiego di miscele respiratori ternarie (Trimix) per le operazioni svolte a profondità superiori ai 50 – 60 metri.

Vista la profondità considerevole della voragine si è deciso di proseguire nello studio mediante ROV. Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco è dotato di alcuni ROV impiegati in compiti di ricerca e recupero ed è con queste apparecchiature che ha contribuito in maniera determinante alle operazioni. Gli specialisti dei VVF hanno utilizzato ROV in grado di effettuare delle riprese video che, successivamente interpretate, hanno permesso di verificare aspetti morfologici e ricostruire l'andamento di massima della cavità nel settore più profondo. Dal 2000 al 2002 tre diverse campagne di esplorazione hanno visto l'impiego di tre diversi ROV: il "Mercurio" che ha raggiunto il suo limite operativo di 210 metri di profondità senza localizzare il fondo, il modello "Hyball 300" che ha proseguito l'indagine fino alla sua capacità massima di 310 metri e il "Prometeo" che ha raggiunto il fondo del sinkhole a 392 metri dalla superficie.

Nel Lago di S. Giovanni e nei laghi Regina e Colonnelle, sorgenti delle Acque Albule, le immersioni sono state condotte al fine di campionare le acque, prelevare dei campioni di roccia, e realizzare una documentazione video-fotografica degli ambienti. Le particolari caratteristiche chimiche delle Acque Albule, con presenza di forti concentrazioni in CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, hanno reso necessario l'impiego di mute stagne e sistemi respiratori "*full-face*" in grado di isolare completamente gli operatori dall'ambiente esterno. Inoltre le immersioni nel lago Colonnelle per la morfologia particolare e la presenza di uno strato opalescente in superficie in grado di ridurre notevolmente la trasmissione della luce al fondo si sono svolte con standard speleosubacquei. Standard analoghi sono stati impiegati nello studio del lago di S. Giovanni caratterizzato dalla presenza di uno sgrottamento perimetrale.

Le indagini speleosubacquee sono state integrate dall'esecuzione di batimetrie da superficie e misurazione dei principali caratteri chimico-fisici delle acque mediante sonde multiparametriche in grado di misurare T, pH, ossigeno disciolto e conducibilità elettrica. I campioni d'acqua prelevati sono stati analizzati, presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza", con metodi colorimetri e mediante uno spettrofotometro atomico al fine di determinare la concentrazione degli ioni principali. Durante l'ultima immersione del ROV nel Pozzo del Merro il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università "Roma TRE" ha gentilmente messo a disposizione una sonda multiparametrica che, collegata al robot subacqueo, è stata impiegata per misurare T, pH, conducibilità elettrica, contenuto in solidi totali ed ossigeno disciolto, fino alla profondità di 95 metri.

## **Risultati**

Prima delle esplorazioni da noi condotte il Pozzo del Merro era considerato essere una dolina ospitante un lago di profondità stimata in circa 50 metri. Lo studio speleosubacqueo ha evidenziato una morfologia con presenza di evidenti segni di ipercarsismo e disturbi tettonici riconducibili ai lineamenti strutturali presenti nell'area. Lungo le pareti sono presenti numerose cavità secondarie, la maggiore delle quali a circa 70 metri di profondità, e camini in parte percorribili. Tutte le diramazioni esplorate si sono rivelate a fondo chiuso. Le immagini trasmesse dal ROV hanno evidenziato una situazione analoga anche per il settore più profondo. Il diametro medio del condotto carsico sub verticale si aggira attorno ai 4 – 5 metri. Solo la parte terminale si allarga formando un ambiente del diametro di circa 30 metri con il fondo coperto da un deposito limoso rossastro formatosi dall'accumulo dei residui insolubili della roccia calcarea. Le immagini del ROV mostrano inoltre una possibile prosecuzione orizzontale della cavità. Complessivamente il Pozzo del Merro si sviluppa per 452 metri dal piano campagna al fondo, di questi 392 metri sono sommersi. Le analisi chimiche evidenziano la presenza di fluidi mineralizzati mescolati alla falda carsica basale. La probabile origine di questi apporti è da ricercarsi nella struttura vulcanica dei Colli Albani (Vulcano Albano). Il Pozzo del Merro costituisce anche un piezometro naturale evidenziando, con le oscillazioni del livello dell'acqua, le variazioni della piezometrica basale.

L'origine di questa imponente struttura è da ricondursi a fenomeni di carsismo inverso, in pratica la dissoluzione chimica del carbonato si è sviluppata non dall'alto verso il basso per effetto delle acque acide di infiltrazione ma dal basso verso l'alto per risalita di fluidi aggressivi.

Il Lago di S. Giovanni, grazie all'esplorazione speleosubacquea diretta, si è rivelato essere una antica grotta nel travertino la cui volta è crollata, probabilmente, a seguito di variazioni del

livello della falda freatica con conseguente effetto pistone. Lungo l'esteso sgrottamento perimetrale sono evidenti speleotemi rappresentati da incrostazioni di varia forma e piccole stalattiti. Il chimismo delle acque è caratterizzato da un'elevata concentrazione in bicarbonato di calcio.

Nelle sorgenti delle Acque Albule le immersioni nel Lago Colonnelle hanno permesso di osservare alcuni fenomeni particolari: la presenza lungo il perimetro di uno strato vegetale galleggiante, formazioni di pseudostalattiti originatesi dall'incrostazione di travertino su colonie di solfobatteri, spessi depositi di sedimenti ricchi in composti dello zolfo sul fondo. Entrambi i laghi delle Acque Albule sono inoltre caratterizzati da un marcato fenomeno di opalescenza degli strati superficiali. I composti dello zolfo infatti a contatto con l'ossigeno atmosferico, ed anche per azione dei batteri, si ossidano originando zolfo colloidale che floccula. Il fenomeno è maggiormente presente in inverno, la temperatura costante dell'acqua di 23 °C infatti innesca un "effetto termosifone" per cui l'acqua più calda dell'atmosfera esterna risale, si ossida e si raffredda e riaffonda ispessendo in modo notevole lo strato opaco. In estate invece la stratificazione termica riduce il fenomeno limitandolo i primi metri.

I laghi delle Acque Albule sono da considerarsi sinkholes da dissoluzione nei travertini. L'equilibrio chimico delle acque evidentemente varia nel tempo portando ora alla deposizione di travertino, ora alla dissoluzione dei sedimenti preesistenti.

## **Conclusioni**

Questa ricerca evidenzia una correlazione diretta tra lo sviluppo dei sinkholes, l'assetto strutturale locale e regionale e la presenza di apporti di fluidi geotermici. Nell'area studiata si ha un acquifero carsico regionale con locali apporti di fluidi mineralizzati. La dissoluzione delle rocce calcaree, siano esse il calcare liassico del Pozzo del Merro o i travertini dei laghi di S. Giovanni e delle Acque Albule, è incrementata dalla presenza di questi fluidi aggressivi, principalmente CO<sub>2</sub>, risalenti lungo le faglie e le fratture del substrato.

Il Pozzo del Merro è in particolare un maestoso esempio della forza dell'erosione carsica che ha originato nei Monti Cornicolani la voragine allagata più profonda del pianeta.

Le Acque Albule sono una sorgente di prima grandezza con importanza anche economica visto che le acque vengono impiegate dal vicino impianto termale per scopi curativi. Risulta evidente quindi l'importanza dello studio delle variazioni di flusso e la protezione dell'acquifero sia come quantità che come qualità.

Infine osserviamo come le metodologie speleosubacquee e l'impiego di sistemi robotizzati possano costituire un valido strumento per lo studio degli ambienti ipogei sommersi. Questo lavoro

è solo un primo modesto contributo ad un nuovo stile di esplorazione scientifica che vede la presenza diretta dei ricercatori in ambienti prima osservabili solo parzialmente e con sistemi indiretti.

### **Alcune notizie curiose**

Ambienti come il Pozzo del Merro ed i laghi sulfurei delle Acque Albule da sempre hanno stimolato la fantasia degli uomini con un fiorire di storie e leggende. In particolare sulle Acque Albule esiste un racconto documentato di Athanasius Kircher che, in uno scritto del 1671, ricorda un tentativo di esplorazione dei laghi da parte del Cardinale Ippolito d'Este. Nell'opera si parla di inutili tentativi di sondaggio dalla superficie "*imperscrutabilis profunditas repertus esset, ut nulla bolidum funiumque sufficienti longitudine explorari potuerit*" seguiti dall'impiego di due sommozzatori "*urinatores*". Dei malcapitati uno riuscì a risalire dopo pochi metri con le mani ed i piedi "bruciati", non dal calore come ipotizzato dal Kircher ma dall'azione dello zolfo. L'altro, appena giunto in superficie, rimase soffocato (dai gas) e scomparve sott'acqua.

Sul Merro ancora oggi vi sono storie di sommozzatori e palombari "risucchiati" da misteriosi vortici e correnti e ritrovati, udite udite, lungo il litorale laziale!

E' evidente che questi racconti sono privi di attendibilità ma rappresentano utili testimonianze di come l'immaginario collettivo reagisce di fronte al misterioso. Storie simili sono infatti raccontate relativamente a luoghi analoghi in tutto il mondo.

## Ringraziamenti

Gli amici speleosubacquei Riccardo Malatesta & Simone Formica

I componenti dei Nuclei Sommozzatori dei Vigili del Fuoco che hanno collaborato alla ricerca

I tanti amici che ci hanno aiutato nelle operazioni di campo

Comune di Sant'Angelo Romano e l'amico Fabio Scardazza

L'Assessorato all'Ambiente della Provincia di Roma

Acea S.p.A.

La Società "Acque Albule"

Palmiro Bernardini

Il Dr. Geologo Marco Vinci

Il Dr. Naturalista Marco Giardini

Il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza"

Il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università di Roma "Roma TRE"

Il Prof. Paolo Bono come relatore della tesi

## Bibliografia

- ◆ **Chiocchini M., Mancinelli A.** (1978) *"Ricerche geologiche sul Mesozoico del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). III. Correlazioni tra le facies di margine della piattaforma carbonatica e facies pelagiche del Giurassico e Cretaceo inferiore"* STUDI GEOL. CAMERTI N. 4
- ◆ **Mattei M., Montone P., Salvini F.** (1986) *"Analisi strutturale dei rilievi del margine appenninico intorno a Tivoli (Roma)"* MEM. SOC. GEOL. IT. V. 35 PP. 579-589
- ◆ **Maxia C.** (1949) *"Studi geologici sui Monti Cornicolani (Lazio)"* LA RIC. SC. 18 ROMA PP. 397-399
- ◆ **Segre A. G.** (1948) *"I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio"* PUBBLICAZIONI DELL'ISTITUTO DI GEOGRAFIA DELL'UNIVERSITÀ DI ROMA, SERIE A, N. 7. PP. 61-67