

# Genesi dei Sinkhole nel Bacino delle Acque Albule (Roma, Lazio)

## *Sinkholes genesis in the Acque Albule Basin (Rome, Latium)*

DI NEZZA M. (\*), DI FILIPPO M. (\*\*)

**RIASSUNTO** - Un nuovo studio gravimetrico ha permesso di riconoscere una complessa struttura geo-gravimetrica chiamata *Dorsale Gravimetrica Tiberina* (DGT) che assume un ruolo predominante per comprendere la genesi dei *sinkhole* nel Bacino delle Acque Albule (BAA). La stessa tipologia di rocce carbonatiche Meso-Cenozoiche e travertinosi caratterizzano la DGT. La distribuzione dei *sinkhole* mostra una buona correlazione tra tettonica e la geometria della struttura profonda della DGT all'interno del BAA. La genesi dei *sinkhole* è legata principalmente al tipo "*deep piping sinkhole*" (DPS) e "*tectonic sinkhole*" (TS) ma è possibile identificare un gran numero di sprofondamenti del tipo "*cave collapse sinkhole*" (CaCS). Al momento non sono stati ancora identificati quelli della tipologia "*cover collapse sinkhole*" (CoCS).

**PAROLE CHIAVE:** gravimetria, Bacino delle Acque Albule, Dorsale Gravimetrica Tiberina, genesi, sinkhole

**ABSTRACT** - A new gravity investigation detected a complex geogravity structure called Tiberian Gravity Ridge (TGR) that has a important rule in order to understand the sinkhole genesis in Acque Albule Basin (AAB). Same type of outcropping rocks characterize the Meso-Cenozoic carbonaceous deposit and travertine along the TGR. Sinkhole occurrences show a good correlation with TGR deeper tectonic and structure geometry in the AAB. Genesis sinkhole is due a "*deep piping sinkhole*" (DPS) and "*tectonic sinkhole*" (TS) types but it is possible identify a great number of "*cave collapse sinkhole*" (CaCS) type. In the present time no "*cover collapse sinkhole*" (CoCS) type is observed yet.

**KEYWORDS:** gravity, Acque Albule Basin, Tiberina Gravity Ridge, genesis, sinkholes

### 1. - INTRODUZIONE

Studi geologici, strutturali e geognostici condotti negli ultimi venti anni hanno caratterizzato il Bacino delle Acque Albule (BAA) nella sola parte superficiale evidenziando gli spessori dei depositi di travertino (FACCENNA 1994; FACCENNA *et alii*, 1994; 2008; 2009; DE FILIPPIS *et alii*, 2013 a, b; DI SALVO *et alii*, 2013). Il travertino ebbe modo di impostarsi nel BAA a partire da circa 165 ka (FACCENNA *et alii*, 2008) e la sua formazione è strettamente connessa all'ultima fase della vicina attività vulcanica. I numerosi sondaggi geo-meccanici hanno permesso di evidenziare che lo spessore massimo del travertino, osservato a Bagni di Tivoli, supera di poco i 100 metri (LA CHIOMA, 1999; FACCENNA *et alii*, 2009) e ricopre la parte sommitale della conca.

L'evoluzione recente del BAA è stata controllata dall'interazione tra sistemi di faglie (FACCENNA 1994; FACCENNA *et alii*, 1994), cinematicamente compatibili con una *shear zone* trascorrente destra ad andamento meridiano (ARGENTIERI *et alii*, 2002; 2004 a, b; DI FILIPPO *et alii*, 1991). Inoltre studi recentemente, avviati nel settore nord-orientale e occidentale della Campagna Romana, individuano altre zone depresse di limitata estensione, situate in aree limitrofe al bacino, contraddistinte da un

(\*)Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 2, Via Vigna Murata, 605, 00143 Roma. maria.dinezza@ingv.it

(\*\*)Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Sapienza" di Roma, Piazzale Aldo Moro, 5, 00185 Roma. michele.difilippo@uniroma1.it

analogo assetto geologico-strutturale con la formazione di bacini di *pull-apart* (ARGENTIERI *et alii*, 2004 b).

Per quanto concerne lo studio di dettaglio riguardo l'assetto geologico-strutturale della forma, estensione ed andamento del bacino nelle porzioni più profonde, il primo studio effettuato risale agli anni 70 evidenziando la presenza della *Dorsale Tiberina* (DT) (TORO, 1976) in riferimento ai rilievi del Monte Soratte e dei Monti Cornicolani a nord del BAA (TORO, 1976; DI FILIPPO *et alii*, 1991) ma poco dettaglio rivolto al bacino stesso.

Negli ultimi venti anni l'interesse per il BAA è andato crescendo in quanto sono state riconosciute diverse depressioni studiate da alcuni autori ed identificate come *sinkhole* (COLOMBI *et alii*, 2001; CARAMANNA *et alii*, 2004; NISIO, 2003; 2008) attribuite a genesi differenti. Alcuni riconoscono fenomeni di *sinkhole* riconducibili a "*cave collapse sinkhole*" (CaCS), con formazioni di doline, ubicati nel settore occidentale tra gli abitati di Guidonia e Bagni di Tivoli, e impostatisi sugli affioramenti di travertino. Nella parte occidentale del BAA, invece, si identificano i laghi di Colonnelle e Regina formati nel periodo pre-Romano (CARAMANNA, 2002; NISIO, 2003, 2008) e San Giovanni tra il periodo Medievale e il 1698 (ROMEO DI COLLOREDO, 2007) dovuti ad un meccanismo legato ad un processo di "*deep piping sinkhole*" (ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2010) (DPS) (CARAMANNA *et alii*, 2008). Nel settore meridionale del BAA, poco fuori il bacino, è presente il lago delle Tartare, anch'esso formatosi per eventi di collasso all'interno del *plateau* di travertino, ma attualmente riempito da sedimenti attribuiti ad una bonifica effettuata all'inizio del '900, come messo in evidenza anche da studi geofisici recenti (DI NEZZA *et alii*, 2010). Nella parte marginale del settore occidentale del BAA è stata riconosciuta un'altra depressione, presso la località Marco Simone, identificata con il toponimo *Il laghetto* la cui genesi di formazione è da attribuire a cause prettamente tettonico-strutturali (bacino di *pull apart*) (ARGENTIERI *et alii*, 2004 b) e il cui riempimento è ascrivibile a fenomeni naturali come messo in evidenza da dati geofisici integrati (metodo microgravimetrico e sismico). Altri autori ritengono che all'interno del BAA ci sono le condizioni affinché si possano venire a formare fenomeni di sprofondamenti del genere "*cover collapse sinkhole*" (CoCS), in quanto la presenza di sedimenti Plio-Pleistocenici sovrapposti al substrato carbonatico presuppone che ci siano tutte quelle condizioni per le quali, in passato e in futuro, fenomeni del genere si possono essere verificati e/o si potranno verificare (ARGENTIERI *et alii*, 2003).

Nella piana sono stati riconosciuti molti altri processi di sprofondamento meno evidenti come

è possibile notare sulla banca dati *on line* dei processi di sprofondamento IWSD (*Italian Web Sinkhole Database*) (LA VIGNA *et alii*, 2007). Molti sprofondamenti sono segnalati in letteratura e sul *database* più aggiornato ed ufficiale effettuato a cura della Regione Lazio e dell'ISPRA (MELONI *et alii*, 2013; CIOTOLI *et alii*, 2015)

(MESSA, 1998) ma attualmente non sono visibili per l'intensa antropizzazione dell'area. Questi ultimi potrebbero generare problemi per l'incolumità di persone e infrastrutture qualora non presi in considerazione o non monitorati nel tempo.

Un maggior dettaglio per la definizione del riconoscimento dell'originario carattere di bacino endoreico della conca è stato messo in evidenza da studi gravimetrici di dettaglio eseguiti negli ultimi anni (DI NEZZA *et alii*, 2010, 2012).

L'analisi e l'interpretazione dei nuovi rilievi gravimetrici di dettaglio, integrati con studi di carattere geologico-strutturale, geomorfologico, storico, geofisico e geognostico e non in ultimo geochimico hanno permesso di identificare che la DT non è nient'altro che una porzione rilevata di una struttura molto più estesa: la *Dorsale Gravimetrica Tiberina* (DGT); tale dorsale si estende dai margini occidentali del BAA verso nord con i Monti Cornicolani, il Monte Soratte, la zona di Orte, fino ai rilievi dei Monti di Amelia ed è marcata da un'alternanza sia dagli affioramenti carbonatici Meso-Cenozoici sia dagli affioramenti di travertini.

I risultati ottenuti permettono di fare ipotesi più precise circa la differente genesi degli sprofondamenti che si osservano all'interno di tutto il BAA ascrivibile alla combinazione di cause profonde e alla tettonica del bacino stesso come messo in evidenza dalla nuova carta batimetrica (DI NEZZA *et alii*, questo volume).

## 2. - ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE

Il BAA presenta un'estensione areale complessiva di circa 45 km<sup>2</sup>; il bacino ha una forma ovale con una lunghezza dell'asse maggiore di circa 9 km. Dal punto di vista morfologico è un'area pianeggiante, nella bassa Valle del fiume Aniene, depressa rispetto ai rilievi adiacenti, circondata da dorsali carbonatiche dei Monti Cornicolani a nord, dei Lucretili-Tiburtini ad est e dai rilievi vulcanici del Distretto Vulcanico dei Colli Albani a sud e dai depositi Plio-Pleistocenici ed alluvionali del fiume Aniene ad ovest.

I Monti Cornicolani rappresentano la porzione più occidentale del settore dell'Appennino laziale e sono state riconosciute varie unità litostratigrafiche (facies di piattaforma, facies pelagica, facies pelagica di *seamount*), dal Giurassico al Cretaceo, che

presentano in generale le stesse caratteristiche litologiche e paleontologiche di quelle Mesozoiche dell'Umbria-Marche (SEGRE, 1948; CENTAMORE *et alii*, 1971; CHIOCCHINI *et alii*, 1975; 1976; 1979).

Più a Nord la dorsale del Monte Soratte è rappresentata da litotipi carbonatici Meso-Cenozoici riferibili ad una serie ridotta analoga a quelle presenti nella facies Umbro-Sabina (BORTOLANI & CARUGNO, 1979). Le rocce più antiche affiorano nella parte inferiore del Monte Soratte e dolomie grigiastre associate a calcari e contengono resti di foraminiferi vissuti alla fine del periodo Triassico e sono testimonianze di ambienti marini pochissimo profondi. Le rocce che costituiscono la maggior parte del Monte Soratte sono rappresentate dai calcari detritico-organogeni della Formazione del «Calcere Massiccio» (Giurassico) (passano ad ambienti marini più aperti, di “piattaforma carbonatica”) (PAROTTO, 2003).

A Nord della DT, si osserva la dorsale dei Monti di Amelia costituita da terreni Triassico-Miocenici appartenenti alla Successione Umbro-Marchigiana, alla Successione Umbro-Romagnola ed alle Unità Toscane (AMBROSETTI *et alii*, 1987; DAMIANI & TUSCANO, 1991; DAMIANI, 1991; AMBROSETTI & BASILICI, 1994; REGIONE DELL'UMBRIA, 1995; BASILICI, 1997; ALBIANELLI *et alii*, 1999; BIZZARRI *et alii*, 2003; GIROTTI & MANCINI, 2003).

Ad Est del BAA i Monti Lucretili appartengono al dominio sabino meridionale e sono formati da più unità strutturali, accavallate verso NW e costituite da depositi in facies di transizione di età Meso-Cenozoica (COSENTINO & PAROTTO, 1986; COSENTINO *et alii*, 1993). Questa dorsale è bordata da un sistema di faglie dirette, ad andamento NNW-SSE, che ribassano verso Ovest le strutture carbonatiche con rigetti dell'ordine del migliaio di metri, generando settori ribassati che ospitano sequenze Plio-Pleistoceniche, con facies che evolvono da marine a salmastre con spessori di alcune centinaia di metri. Il sistema di faglie bordiere è in gran parte coperto da una serie di conoidi di deiezione di età Olocenica, a loro volta sovrapposte ad una coltre di depositi cineritici alterati e di vulcaniti rimaneggiate di età Pleistocenica. In questo settore del margine tirrenico laziale è possibile individuare diversi bacini sedimentari di età quaternaria, colmati da depositi continentali, come travertini e/o vulcaniti (ALDEGA *et alii*, 2004), la cui evoluzione è strettamente influenzata dalla tettonica: piana di Marcellina e appunto il BAA, interessate entrambe da fenomeni di sprofondamento in tempi storici e attuali.

Studi microgravimetrici di dettaglio eseguiti negli ultimi quindici anni in diversi settori del BAA, integrati ad altri metodi geofisici quali la geoelettrica (previsto dal DGR 1159/2002, Regione Lazio

2002), a cui sono stati aggiunti anche quello sismico (riflessione e rifrazione), per meglio definire anche la risposta sismica locale per i rispettivi siti, ha consentito di avere un quadro puntuale molto più esaustivo delle diverse geometrie sepolte e dei materiali di riempimento dei rispettive *sinkhole* (*laghi Regina, Colonnelle e San Giovanni*, ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2010; *lago delle Tartare*, Villalba, Villanova, DI NEZZA *et alii*, 2010; *Il Laghetto presso la località Marco Simone*, ARGENTIERI *et alii*, 2004 b), come appunto accreditati dai diversi autori. La diversificazione delle geometrie, e in alcuni casi anche la tipologia dei materiali litologici di riempimento, ha posto il problema di comprendere, a nostro avviso, se ci potesse essere una possibile correlazione tra ubicazione dei fenomeni di sprofondamento, di subsidenza e carsismo, loro genesi correlato all'assetto geologico-strutturale dell'intero Bacino o se piuttosto questi fenomeni invece potessero essere connessi solo a cause prettamente locali.

### 3. - ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE PROFONDO OTTENUTO DA DATI GRAVIMETRICI

Poco è noto sulle geometrie e assetto geologico-strutturale profondo del BAA (si veda in proposito DI NEZZA *et alii*, questo volume), in quanto, solo negli ultimi anni, le diverse problematiche connesse a fenomeni di subsidenza e di dissesto idrogeologico ha permesso di studiare con maggiore dettaglio questo settore del Lazio e, in base ai diversi sondaggi geo-meccanici, anche se solo pochi hanno raggiunto i 100 metri di profondità dal p.c., è stato possibile ricostruire l'andamento dello spessore di travertino che affiora, quasi costantemente, nel bacino (FACCENNA 1994; FACCENNA *et alii*, 1994; 2008; 2009; DE FILIPPIS *et alii*, 2013 a, b; DI SALVO *et alii*, 2013).

Per avere un'idea sull'andamento e sulla distribuzione dei corpi geologici profondi in questo settore della Campagna Romana, e le eventuali correlazioni connesse al verificarsi o meno di fenomeni di sprofondamento, studi gravimetrici condotti negli anni 50 (AMADEI *et alii*, 1953), negli anni 60 (SGI, 1968; MAINO & MOTTA, 1968; MAINO *et alii*, 1969), negli anni 70 (AMADEI & MAINO, 1973a; AMADEI & MAINO, 1973b; MAINO & MOTTA, 1973; TORO, 1976), negli anni 80 (AMATO *et alii*, 1986) ed infine negli anni 90 (A.A.V.V., 1990; DI FILIPPO *et alii*, 1991) non permettono di avere un adeguato ed esaustivo dettaglio per la finalità delle osservazioni che possono interessare questo studio.

Negli ultimi anni una serie di misure gravimetriche ottenute da diverse campagne di acquisi-

zioni, hanno permesso di ottenere una quadro delle anomalie adeguate alla scala del problema (DI NEZZA *et alii*, questo volume). La definizione corretta della struttura e configurazione geologica profonda è venuta prendendo in considerazione anche dati gravimetrici riferite non solo l'area del BAA, in quanto, la corretta definizione della struttura ed interpretazione, ha posto necessariamente l'esigenza di richiamare un contesto geologico-strutturale più vasto e non limitato al solo BAA. I risultati ottenuti da questi nuovi studi gravimetrici eseguiti negli ultimi anni hanno permesso di osservare che la *Dorsale Tiberina* (DT) (TORO, 1976), in riferimento ai soli rilievi del Monte Soratte e dei Monti Cornicolani, ubicata a nord del BAA (TORO, 1976; DI FILIPPO *et alii*, 1991) ha un'estensione molto maggiore e risulta estremamente articolata in profondità con evidenti espressioni in superficie connessi a fenomeni geologici caratteristici e peculiari.

Le dorsali dei Monti Cornicolani, del Monte Soratte e dei Monti di Amelia presentano un'estensione maggiore, secondo l'andamento delle isoanomale, se confrontate con le sole emergenze delle rocce affioranti in superficie; inoltre i massimi valori delle anomalie gravimetriche (fig. 1, 2), non sono localizzati solamente in corrispondenza di alcuni settori degli affioramenti che costituiscono i rilievi della successione delle rocce Meso-Cenozoiche dell'Umbria-Marche, della Successione Umbro-Romagnola e delle Unità Toscane che presentano una densità media di 2600 kg/m<sup>3</sup>, ma esse sono ubicate invece nel settore SW dove in affioramento si ritrovano i depositi Plio-Pleistocenici. Ciò indica non solo che i singoli rilievi carbonatici proseguono anche in profondità, ma questi costituiscono una struttura geologica molto più continua di quella visibile appena in superficie.

La peculiarità delle geometrie e forme delle singole strutture, che proseguono al di sotto dei depositi Plio-Pleistocenici, messi in evidenza proprio dalla gravimetria, conferiscono un'omogeneità strutturale dal punto di vista gravimetrico nonché ne esalta la continuità dal punto di vista delle medesime discontinuità gravimetriche riconosciute e delle densità delle rocce che caratterizzano le rocce non affioranti.

Nel settore SW si concentrano, per i singoli rilievi affioranti, la maggiore distribuzione dei valori delle anomalie gravimetriche imputate, dal punto di vista geologico, a rocce che generano questa anomalia che hanno una densità maggiore di quelle calcaree del Lias e pertanto legate alla presenza di rocce che costituiscono il basamento cristallino (fig. 3 a, b, c). Informazioni indirette sulla presenza di questo basamento cristallino in profondità è dato dai numerosi *ejecta* carbonatici metamorfosati

(AMATO & VALENSISE, 1986), che rappresentano appunto porzioni del substrato geologico dell'area strappati dal magma durante la risalita, presenti nelle piroclastici idromagmatici del distretto vulcanico dei Colli Albani, e da diversi sondaggi profondi presenti nelle zone circostanti questa struttura gravimetrica (SIGNORINI, 1939; FUNICIELLO & PAROTTO, 1978; ENEL, 1990) a Sud, e intercettati anche dal pozzo *Perugia 2* ubicato poco a Nord delle dorsali carbonatiche (MARTINIS & PIERI, 1962).

La presenza di anomalie gravimetriche positive, con valori più bassi in corrispondenza proprio degli affioramenti dei Monti Cornicolani, Monte Soratte, Monti di Amelia, implicano necessariamente che, dal punto di vista gravimetrico, è presente in profondità, l'esistenza di terreni con una densità minore delle rocce calcaree affioranti. Non essendoci quindi evidenze in affioramento, l'ipotesi è quella che si possa trattare di sedimenti quali la Scaglia Cinerea, Rossa e Bianca magari in più livelli, che comporterebbe la presenza di uno o più piani di scollamento responsabili dell'accavallamento di più falde.

*L'interpretazione geo-gravimetrica ottenuta per i rilievi dei Monti Cornicolani (fig. 3c) sembra ricalcare appunto la stessa struttura a falde identificata, sempre con dati gravimetrici (DE RITA et alii, 1989), per il vicino Monte Soratte (fig. 3b) ereditandone, anche in questo caso, similitudine nella struttura geologica poco profonda. La similitudine nella struttura a falde ricorre anche per gli affioramenti dei Monti di Amelia (AMODIO et alii, 1986; DI FILIPPO et alii, 1991) caratterizzati da un sistema complesso di accavallamenti, a loro volta sovrapposti ad una unità più esterna, già strutturata in sistemi di anticlinali e sinclinali, localmente a vergenza occidentale (BONCIO et alii, 1995; CALAMITA et alii, 1995; BIGI & PIERANTONI, 1997; BIGI et alii, 2000) a cui corrisponde anche una correlazione strutturale profonda (fig. 3 a).*

Dal punto di vista delle strutture geologiche affioranti e dei risultati gravimetrici ottenuti, la DT è quindi nient'altro che una piccola porzione di una enorme struttura geo-gravimetrica identificata con il nome di *Dorsale Gravimetrica Tiberina* (DGT) (DI NEZZA *et alii*, 2010, 2012). La DGT ha un andamento NW-SE dell'asse morfologico (in figura 1 viene indicata con la linea blu) e non si limita ai soli rilievi: essa si estende dai margini occidentali del BAA verso nord con i Monti Cornicolani, il Monte Soratte, la zona di Orte, fino ai rilievi dei Monti di Amelia ed è marcata sia dagli affioramenti delle dorsali isolate, costituite dai carbonatici Meso-Cenozoici, sia dagli affioramenti di travertini (v. fig. 1). Nel settore meridionale dei Monti Cornicolani, la prosecuzione della struttura carbonatica della successione Umbro-Marchigiana

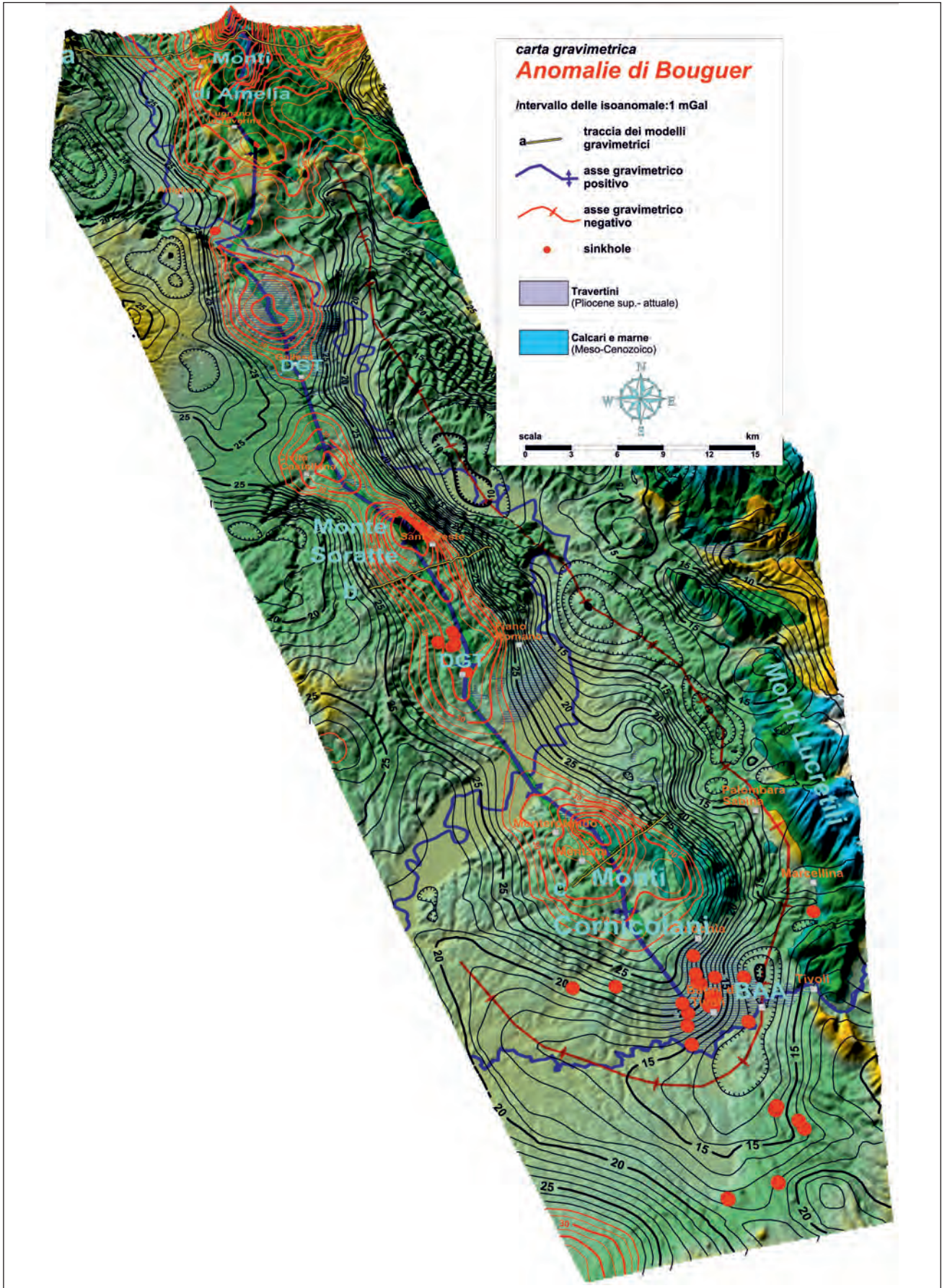


Fig. 1 - Carta delle Anomalie di Bouguer della Dorsale Gravimetrica Tiberina. - *Bouguer anomaly map of Tiberian Gravity Ridge (TGR).*

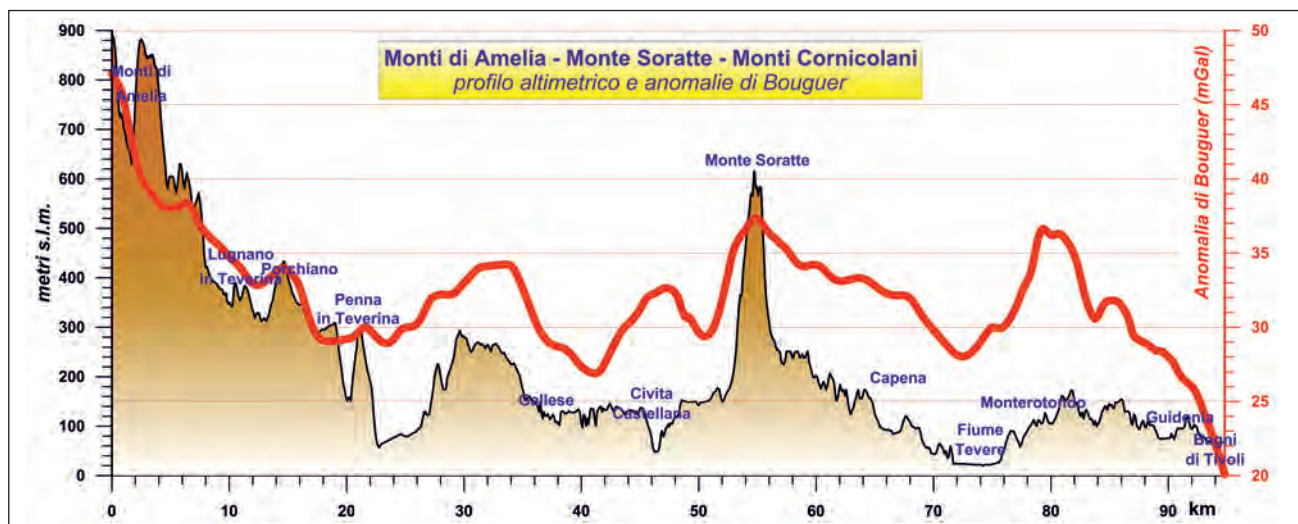


Fig. 2 - Profilo gravimetrico ed altimetrico lungo la DGT.  
- Gravity and Elevation profile along TGR.

della DGT, non avviene al di sotto del BAA, ma la propaggine meridionale della struttura DGT tende piuttosto ad allungarsi sul settore ad ovest del bacino, al di sotto degli abitati di Guidonia e Bagni di Tivoli (DI NEZZA *et alii*, 2010; DI NEZZA *et alii*, questo volume).

La DGT costituita da formazioni appartenenti principalmente alla successione Umbro-Marchigiana e subordinatamente da quelle della Successione Umbro-Romagnola e Unità Toscane, ha similitudini anche delle direttrici tettoniche principali. Evidenti discontinuità gravimetriche ad andamento N-S, bordano non solo la DGT stessa, permettendo di definirla spazialmente in profondità, ma, tali discontinuità, tagliano la DGT interamente. Lungo tali discontinuità, che hanno ribassato porzione dei rilievi dell'intera struttura carbonatica, si sono impostati, nel settore meridionale delle rispettive porzioni delle dorsali, i depositi del complesso dei travertini di Orte, Civita Castellana, Fiano Romano, Monterotondo e Tivoli (Pleistocene-Olocene).

I depositi del complesso dei travertini sono rappresentati da travertini litoidi, terrosi e detritici talvolta con intercalazioni sabbioso-argillose, ed affiorano lungo il fianco sud-occidentale delle dorsali carbonatiche che dal punto di vista gravimetrico rappresentano appunto la DGT.

#### 4. - GENESI DEI SINKHOLE

L'analisi geomorfologica delle dorsali carbonatiche affioranti lungo la DGT vede i Monti di Amelia caratterizzati da un'idrografia superficiale poco sviluppata e non sono presenti fiumi perenni, mentre sul versante centro-orientale, è sviluppato

un notevole carsismo, con presenza di doline e da un complesso e sviluppato sistema ipogeo, favorito anche dalla scarsa acclività e dalla presenza di una fitta rete di fratture (FAZZINI, 1968).

Sul Monte Soratte, i fenomeni carsici ipogei che interessano tutto il corpo del rilievo, specie lungo la cresta, creando cavità, talvolta collegate tra loro, a sviluppo soprattutto verticale. La più imponente di tali cavità, la Grotta di S. Lucia (110 m di profondità e 300.000 m<sup>3</sup> di volume), fu scoperta nel 1967 nel corso dei lavori di estrazione di una cava che ne hanno causato il crollo della volta, portando alla luce il più grande ambiente naturale sotterraneo del Lazio. I pozzi denominati *Meri*, situati sul lato orientale, sono un altro esempio di fenomeno carsico costituito da un sistema di tre voragini comunicanti tra loro e profondo complessivamente 115 m.

Anche nella zona dei Monti Cornicolani il processo geomorfologico più rappresentato è quello carsico dovute al macro e al microcarsismo epigeo ed ipogeo, a cui i calcari sono predisposti sia per le loro caratteristiche petrogenetiche sia per le abbondanti fratture che li caratterizzano.

Invece i travertini si impostano proprio in corrispondenza delle parti ribassate delle strutture carbonatiche, indicando locali risalite di acque con elevato contenuto di gas lungo i lineamenti tettonici distensivi Plio-Quaternari. Le differenti caratteristiche isotopiche e geochimiche rilevate, nonché la differente genesi dei travertini riscontrate in affioramento nel settore occidentale e orientale in corrispondenza del fiume Tevere, lungo questo tratto del Lazio, (MANFRA *et alii*, 1974; MANFRA *et alii*, 1976; MINISSALE *et alii*, 2002), sono legate a cause prettamente geologiche nonché strutturali profonde. I travertini impostatisi sui depositi carbonatici Meso-Cenozoici del substrato

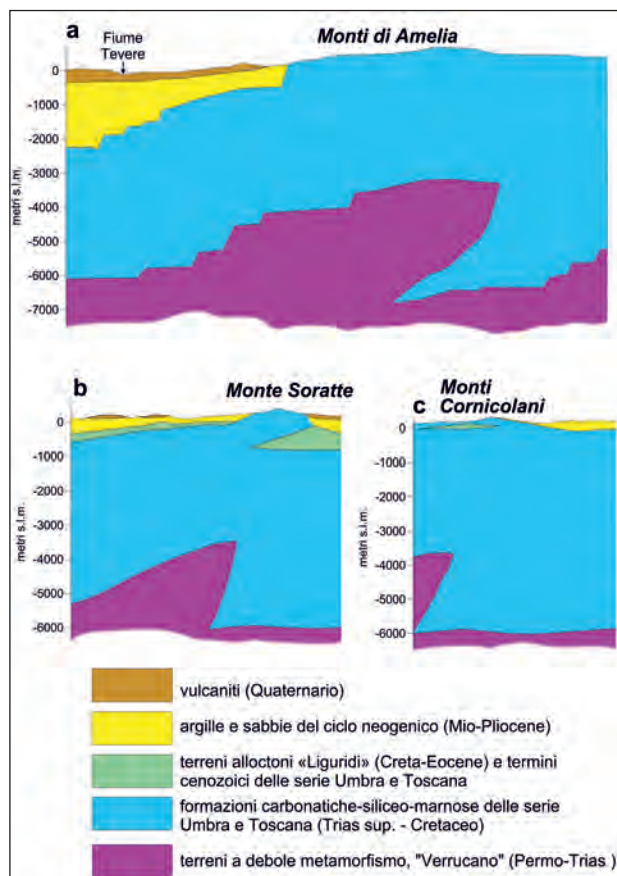


Fig. 3 - Struttura geogravitometrica a) Monti di Amelia; b) Monte Soratte; c) Monti Cornicolani.  
- Geogravitometric structure of a) Mts. Amelia; b) Mt. Soratte; c) Cornicolani Mts.

lungo la DGT avranno rapporti isotopici e caratteristiche differenti da quelli che si osservano nel settore orientale della Valle del fiume Tevere, come scaturito anche dalla differenza isotopica dei rapporti dell'ossigeno, MINISSALE *et alii*, (2002): un assetto geologico così articolato pone in evidenza che il sistema idrogeologico costituisce, in questo settore, un sistema isolato che non può essere connesso al sistema di circolazione dei Monti Lucretili, dato che l'assetto geologico profondo, ottenuto da dati gravimetrici (v. fig. 1), non risulterebbe neanche in continuità.

La presenza di fenomeni carsici impostatisi in corrispondenza delle dorsali carbonatiche e l'accrezione di banchi di travertini nel settore meridionale delle rispettive dorsali, ubicate proprio lungo la DGT, porta appunto a ritenere che la causa dei fenomeni geomorfologici e l'ubicazione dei depositi travertinosi possa essere la medesima: la risalita di fluidi, connessa all'attività dei vicini vulcani della fascia Tirrenica. Tale attività porta ad una dissoluzione accelerata dei carbonati dal basso verso l'alto nei rilievi dei Monti di Amelia, del Monte Soratte e dei Cornicolani, in quanto, una volta entrati in contatto con la falda, incontrano direttamente le

rocce carbonatiche che sono facilmente dissolvibili a causa dell'eccessiva acidità; ciò spiegherebbe anche l'enorme sviluppo del sistema carsico ipogeo di questi rilievi (CREMA, 1915; LUPA PALMIERI, 1966) cosa che non si osserva invece sui vicini Monti Lucretili dove il carsismo è prettamente epigeo. Mentre in corrispondenza delle zone ribassate, trovandosi l'acquifero nei depositi carbonatici Meso-Cenozoici, i gas vi si disciolgono direttamente; una volta saturo l'acquifero, essendo le condizioni chimico-fisiche instabili, le acque arricchite di gas tendono a risalire in superficie, lungo le direttrici tettoniche che, secondo quanto messo in evidenza dai dati gravimetrici, hanno direzione N-S. I gas nella risalita non incontrano più le rocce carbonatiche bensì i depositi argillosi alluvionali Plio-Pleistocenici, marini e continentali, ed Olocenici. In queste condizioni viene piuttosto favorita, non la dissoluzione, ma la precipitazione dei *travertini termogenici*. Inoltre l'interpretazione geogravitometrica condotta lungo le dorsali carbonatiche (v. fig. 3 a, b, c) mostra che al di sotto del substrato Meso-Cenozoico carbonatico sono presenti le evaporiti del Lias con spessori sicuramente più sviluppati rispetto ai circostanti rilievi dei Monti Lucretili (FUNICIELLO & PAROTTO, 1978). La presenza dei depositi evaporitici viene confermata anche dall'esistenza di diversi sondaggi profondi in prossimità di *Cesano 1 e 2* (FUNICIELLO & PAROTTO, 1978; ENEL 1990; DI FILIPPO *et alii*, 1991; BARBERI *et alii*, 1994) e *Perugia 2* (MARTINIS & PIERI, 1962) che bordano la DGT. La presenza di rocce evaporitiche comporterebbe che la circolazione dell'acqua e la decarbonatazione dei carbonati avverrebbero in modo ancora più spinto proprio per la presenza dei gas, e quindi una maggior quantità di sali, che si depositano in corrispondenza dei travertini.

Per quanto riguarda l'identificazione della DGT nella zona del BAA, si osserva una forte correlazione tra assetto geologico profondo e la manifestazione in superficie con la ricorrenza dei fenomeni di *sinkhole*. Un ruolo importante lo assumono i fluidi profondi, come visto per tutta la DGT, soprattutto la distribuzione dei fenomeni di sprofondamento nel settore occidentale del BAA non avvengono casualmente (si rimanda DI NEZZA *et alii*, questo volume) ma sono distribuiti su sistema di zone di taglio con diversa direzione e che ricalcano le dislocazioni nel substrato carbonatico.

Una tipologia importante di *sinkhole* nella zona del BAA sembra però impostarsi lungo direttrici tettoniche di interesse regionali (si rimanda DI NEZZA *et alii*, questo volume) che localmente possono anche presentare diversi fenomeni sismici di bassa magnitudo (GASPERINI *et alii*, 2001; 2002; PIRRO & DI MARO, 2003; PIRRO & GASPERINI, 2003) e riconosciute lungo discontinuità gravimetriche a diverse

direzioni (si rimanda DI NEZZA *et alii*, questo volume). Tali discontinuità tettoniche Plio-Quaternarie sembrano ricalcare quelle del substrato carbonatico profondo che potrebbero aver riattivato linee tettoniche anche durante il Pleistocene. Inoltre all'interno del BAA lungo questa principale discontinuità tettonica sono disseminate anche sorgenti idrotermali ed emergenze termominerali perenni e stagionali associate a forte mineralizzazione con valori di temperatura e conducibilità elettriche elevate (DI SALVO *et alii*, 2013), tra queste si ricordano quelle della località Pantano.

Studi geofisici di dettaglio mostrano che fenomeni carsici epigei di neoformazione, quiescenti o relitti non sono stati associati in corrispondenza o prossimità degli sprofondamenti dei *sinkhole* dei laghi Regina, Colonnelle e San Giovanni (ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2010) o per quelli del lago delle Tartare (DI NEZZA *et alii*, 2010).

I laghi Regina, Colonnelle, San Giovanni e lago delle Tartare, così come gli sprofondamenti menzionati in letteratura e non più visibili, sono impostati su una direttrice tettonica NNE-SSW, NE-SW e N-S che spiegherebbe pertanto anche il diverso assetto idrogeologico e chimico delle acque in questo settore della piana come messo appunto in luce anche dalle analisi condotte (ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2010) e dal campionamento e dall'analisi dei gas del suolo di radon e di torio (ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2010; CIOTOLI *et alii*, 1998; 2007), quest'ultime non ascrivibili a cause vulcaniche e neanche all'accumulo all'interno delle rocce. I valori elevati di He riscontrati vengono pertanto messi in relazione al decadimento di minerali radioattivi di origine crostale e migranti verso l'alto attraverso canali di permeabilità secondaria (ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2010). La diversa espressione in superficie di un processo geologico profondo trova lungo la direttrice la formazione di processi di *piping* profondi portando alla risalita di liquidi fortemente mineralizzati e alla formazione di depressioni che in passato erano colmate da acqua. Risulta pertanto che la genesi e la ricorrenza nel settore occidentale del BAA è di natura DPS che possono generare appunto sprofondamenti di grande dimensioni.

Una seconda tipologia di *sinkhole* riconducibili a CaCS può interessare diversi settori del bacino ma con estensione molto limitate; le forme carsiche si sviluppano invece ad ovest e a sud dell'area del BAA in corrispondenza dell'affioramento dei maggiori spessori del *plateau* di travertino. Questa tipologia ricorre sui travertini litoidi in affioramento interessati da zone di fratturazione superficiale dove le acque tenderanno a dissolvere il travertino dall'alto in seguito ad infiltrazioni di acque piovane. I fenomeni di sprofondamento segnalati di recente dalla popolazione, presso i centri urbani di Guidonia e Bagni

di Tivoli, sono riconducibili a questa tipologia e segnalati in seguito ai crolli della volta.

Sebbene al di sotto del *plateau* di travertino siano presenti valori massimi di 400-450 metri di spessori di depositi Plio-Quaternari (DI NEZZA *et alii*, questo volume), al momento non si riconoscono in affioramento situazioni di CoCS; in particolare tale tipologia di genesi dovrebbe ricorrere in corrispondenza dei minor spessori del travertino, verso il margine orientale del BAA, ma in questo settore al momento non sono stati identificati nessun effetto di sprofondamento.

Un'ultima genesi dei processi di sprofondamento che possono ricorrere all'interno del BAA è una tipologia definita per la prima volta come "*tectonic sinkhole*" (TS). Un'prima formazione di sprofondamento riconducibile a tale genesi è stata messa in evidenza già nel 2002 con Il Laghetto in località Marco Simone (ARGENTIERI *et alii*, 2004 b) e il lago delle Tartare (DI NEZZA *et alii*, 2010) posto nella parte marginale del bordo occidentale del bacino. Le direttrici tettoniche ad andamento regionale N-S e E-W hanno determinato la formazione ed approfondimento di questa depressione, e dai risultati ottenuti dalla nuova carta strutturale del BAA (DI NEZZA *et alii*, questo volume) porterebbe a ritenere che anche il lago dell'Inferno abbia la medesima genesi. Medesima situazione si osserva anche per il lago della Regina e delle Colonnelle.

Le dimensioni scaturite da questa tipologia di genesi sembra inoltre accentuata dal fatto che queste depressioni hanno a poca profondità il substrato carbonatico della DGT, quindi una maggiore interazione anche con i fluidi profondi.

Visto la complessa distribuzione delle zone di taglio all'interno del bacino non si esclude che in condizioni di TS si possano formare altre forme di sprofondamenti in futuro sulle diverse discontinuità gravimetriche riconosciute.

## 5. - CONCLUSIONI

I risultati raggiunti possono essere sintetizzati: 1) l'individuazione della *Dorsale Gravimetrica Tiberina* (DGT), che presenta una estensione molto maggiore rispetto a quella della *Dorsale Tiberina* (DT), ha mostrato la geometria della falda appenninica più interna e più prossima agli edifici vulcanici della fascia tirrenica che si estende dall'alto Lazio fino a nord della città di Roma. L'andamento della dorsale presenta una continuità strutturale con un'alternanza di rilievi carbonatici e depositi travertinosi rappresentati da nord a sud dai Monti di Amelia, la zona di Orte, il Monte Soratte, Monti Cornicolani. Nel settore meridionale dei Monti Cornicolani, la prosecuzione della struttura carbonatica della suc-



cessione Umbro-Marchigiana non avviene al di sotto del BAA, ma la parte più meridionale della DGT risulta spostata nel settore ad ovest del bacino, al di sotto dell'abitato di Guidonia e Bagni di Tivoli.

2) l'evidenza di un minimo gravimetrico con la Valle del Tevere e di Palombara che limita ad est e sud la DGT e il relativo contributo idrico ed di H<sub>2</sub>S e di CO<sub>2</sub> al BAA. I valori di anomalia riscontrati nella Valle di Palombara mettono in evidenza la presenza di un asse gravimetrico negativo ad andamento appenninico, riconosciuto anche precedentemente (DI FILIPPO *et alii*, 1991). Questo nuovo studio gravimetrico ha permesso di valutare la continuità di struttura tra la Valle di Palombara e la Valle di Cretone nonché stimare la profondità, il tetto del substrato carbonatico e la sua variabilità laterale anche in questo settore. La DGT, la cui vera estensione è apprezzabile solo in profondità, rappresentava un vero e proprio "spartiacque" tra diversi ambienti geologici delimitando il settore dei Tiburtini-Lucretili (altra distinta struttura gravimetrica, *Dorsale dei Monti Lucretili*) ascrivibile alla Serie Sabina dal settore delle rocce della serie Toscana. Essa presenta appunto caratteristiche intermedie e, paleogeograficamente, può essere considerata un'altra paleopiattaforma, non isolata e con un'estensione apprezzabile se paragonata a quelle note in superficie. La diversa natura paleogeografica si ripercuoterebbe anche nella circolazione delle acque nei due diversi serbatoi e pertanto potrebbe giustificare anche l'intenso processo di carsificazione che si osserva sui Monti di Amelia, Monti Cornicolani e sul Monte Soratte che si differenzia da quello dei Monti Lucretili.

3) I maggior spessori di travertino si osservano proprio dove si ha la maggior disarticolazione del substrato carbonatico ascrivibile alla DGT, nella porzione meridionale, in quanto c'è un maggior sistema di faglie e fratturazione, quindi i fluidi possono risalire più facilmente depositando il *travertino termogenico*.

4) all'interno del BAA, la genesi dei processi di sprofondamento sono diversificati in quattro tipologie e sono connessi alla delimitazione della DGT:

a) quello per "cave collapse sinkhole" (CaCS) che si impostano al di sopra dei *plateau* di travertino litoidi in affioramento e si possono osservare facilmente lungo i fronti di cava; questi hanno limitate dimensioni spaziali ma possono essere di gran lunga numerosi.

b) quello per "cover collapse sinkhole" (CoCS), sebbene ci siano tutte le caratteristiche per la formazione, al momento non sono state riconosciute tipologie di sprofondamenti connessi a questa genesi in quanto i depositi sedimentari Plio-Pleistocenici che colmano il bacino sono ricoperti dal *plateau* di travertino che ha grandi spessori.

c) quello per "deep piping sinkhole" (DPS) che si sono impostate lungo la direttrice tettonica ad andamento NNE-SSW e N-S che bordano nel settore occidentale e meridionale il BAA.

d) quello per "tectonic sinkhole" (TS) che si impostano su direttrici tettoniche a carattere regionale.

La presenza degli sprofondamenti DPS e TS, non distribuiti casualmente, hanno una genesi comune e cioè profonda solo che, nel primo caso, la dissoluzione da parte di fluidi fortemente acidi tende ad asportare dal basso il deposito travertinoso portando al collasso delle volte; mentre nel secondo caso la tettonica profonda, che dal substrato carbonatico coinvolge i terreni più superficiali, fa risalire le acque contenute all'interno dei depositi carbonatici Meso-Cenozoici, le acque portano alla formazione per dissoluzione e per tettonica di depressioni che si riempiono d'acqua.

Il confronto tra dati geofisici estesi ad un settore molto più vasto rispetto al solo BAA e localmente ai singoli *sinkhole* insieme all'assetto morfostrutturale e informazioni storiche ha consentito di riconoscere l'originario carattere di bacino endoreico della conca, peraltro già ipotizzata, in base ai soli caratteri morfologici, da MAXIA (1954), che la definisce "conca carsica".

#### BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V. (1990) - *Structural model of Italy and gravity map*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto finalizzato Geodinamico, 114, 3, CNR, Scala 1:500.000, S.EL.CA (Ed.).
- ALBIANELLI A., BASILICI G., GIAMPAOLO C., GIOZZI E., LO MASTRO S., MAZZINI I., NAPOLEONE G. & PONTINI M.R. (1999) - *Mid-late Pliocene palaeoenvironmental variations in the Valtiberina (Tiber Valley) lacustrine rhythmites: ostracod and pollen distributions related to the magnetocyclic record*. 2<sup>nd</sup> Limnogeological Congress, Brest (France), May 26th-30th, 1999.
- ALDEGA L., ARGENTIERI A., DE RITA D., FABBRI M., GIAMPAOLO C. & LORETELLI S. (2004) - *Contributo dello studio mineralogico alla ricostruzione dell'evoluzione geologica del bacino di Pozzo Grande (Marcellina, Roma)*. Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkhole e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma 20-21 maggio 2004, 53-62.
- AMADEI G. & MAINO A. (1973 a) - *Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:100.000. F° 143 "Bracciano"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- AMADEI G. & MAINO A. (1973 b) - *Considerazioni geofisiche sull'area compresa nel F°143 "Bracciano" della carta d'Italia al 100.000 dell'I.G.M.* Boll. Serv. Geol. d'It., **94**: 27-40.
- AMADEI G., MAINO A. & MOTTA A. (1953) - *Rilevamento gravimetrico della basse Valle dell'Aniene*. Boll. Serv. Geol., **74**: 34-45.
- AMATO A. & VALENSISE G. (1986) - *Il basamento sedimentario dei Colli Albani: risultato di uno studio degli ejecta dei crateri idromagmatici di Albano e Nemi*. Mem. Soc. Geol. It., **35**: 761-767.
- AMATO A., DI FILIPPO M., MATTEI M., MONTONE P. & SCARPA R. (1986) - *Interpretazione congiunta di Profili Gravimetrici e di Sismica a rifrazione nella provincia di Roma*. Mem. Soc. Geol. It., **35**: 469-472.
- AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., ESU D., GIROTTI O., LAMONICA G.B., LANDINI B. & PARISI G. (1987) - *Il Pliocene ed il Pleistocene inferiore del bacino del fiume Tevere nell'Umbria meridionale*. Geografia Fisica e Dinamica Quater-

- narìa, **10**: 10-33.
- AMBROSETTI P. & BASILICI G. (1994) - *Appennino Umbro-Marchigiano*. Guide Geologiche Regionali, 7, a cura della Società Geologica Italiana, Roma, BE-MA (Ed.).
- AMODIO M., DI FILIPPO M., GALADINI F. & TORO B. (1986) - *Modello geologico-strutturale di un profilo gravimetrico tra Monte Argentario ed i Monti di Amelia (Italia centrale)*. Atti del 5° convegno del Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, CNR, Roma.
- ANNUNZIATELLIS A., CIOTOLI G., GUARINO P.M. & NISIO S. (2010) - *Nuovi dati sui sinkholes del bacino delle Acque Albule (Tivoli, Roma)*. Atti del 2° Workshop Internazionale: "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 Dicembre 2009: 395-412.
- ARGENTIERI A., CAPELLI G., DI FILIPPO M., LORETELLI S., SALVATI R., TORO B. & VECCHIA P. (2002) - *Il sinkhole di Marcellina (Roma) del 25/1/2001: primi dati stratigrafici, idrogeologici e geofisici*. Atti dei Convegni Lincei, 181: "Il Dissesto idrogeologico: inventario e prospettive", (19 Giornata dell'Ambiente-Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 5/6/2001): 243-255.
- ARGENTIERI A., VECCHIA P., SALVATI R., CAPELLI G. & LORETELLI S. (2003) - *La pericolosità da sinkhole nel territorio della Provincia di Roma: il caso di Marcellina*. Atti del 2° Incontro di Studi: "Il carsismo nell'area mediterranea" (Castro Marina, Lecce, 14-16/9/2001), Thalassia Salentina, **26**: 95-105.
- ARGENTIERI A., LORETELLI S., VECCHIA P. & SCIARRA P. (2004a) - *Il ruolo del Servizio Geologico della Provincia di Roma nel governo del territorio: il caso del sinkhole di Marcellina (Roma)*. Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkhole e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma, 20-21 maggio 2004: 93-107.
- ARGENTIERI A., CECCHINI F., DI FILIPPO M., DI NEZZA M., MARGOTTINI S. & TORO B. (2004b) - *La depressione di "Il Laghetto" (Roma): un possibile sinkhole?* Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkhole e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma, 20-21 maggio 2004: 83-92.
- BARBERI F., BUONASORTE G., CIONI R., FIORDELISI A., FORESI L., IACCARINO S., LAURENZI M.A., SBRANA A., VERNIA L. & VILLA I.M. (1994) - *Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **49**: 77-134.
- BASILICI G. (1997) - *Sedimentary facies in an extensional and deep-lacustrine depositional system: the Pliocene Tiberino Basin, Central Italy*. Sedimentary Geology, **109**: 73-94.
- BIGI S. & PIERANTONI P.P. (1997) - *Assetto geologico-strutturale della dorsale Narnese-Amerina a nord di Amelia (Appennino Centrale)*. Stud. Geol. Cam., **14**: 329-336.
- BIGI S., MANDRONE S., PIERANTONI P.P. & ROSSI D. (2000) - *Structural analyses and restoration of structural cross-section in the northern central sector of the Narni-Amelia ridge (Central Apennines)*. Mem. Soc. Geol. It., **55**: 185-192.
- BIZZARRI R., AMBROSETTI P., ARGENTI P., GATTA G.D. & BALDANZA A. (2003) - *L'affioramento del Caio (Lago di Corbara, Orvieto, Italia Centrale) nell'ambito dell'evoluzione paleogeografica plio - pleistocenica della Valle del Tevere: evidenze sedimentologiche e stratigrafiche*. Il Quaternario, **16** (2): 240-255.
- BONCIO P., BACHECA A., BRONZETTI F. & LAVECCHIA G. (1995) - *Analisi geometrica e cinematica del settore centrale della catena Narnese-Amerina (Umbria Sud-Occidentale)*. Stud. Geol. Cam., **1995/1**: 73-86.
- BORTOLANI L. & CARUGNO P. (1979) - *Lineamenti geologico-strutturali dell'area a sud di M. Soratte (Lazio centro meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **98**: pp. 353 - 373, Roma.
- CALAMITA F., PIERANTONI P.P. & PRONTONI R. (1995) - *Il sovrascorrimento di Narni (Appennino Centrale)*. Stud. Geol. Cam., **1995/1**: 183-201.
- CARAMANNA G. (2002) - *I laghetti sorgivi delle Acque Albule*, In: M. GIARDINI, Atti: "Il Travertino. Aspetti naturalistici e sfruttamento industriale all'inizio del terzo millennio", Prov. di Roma: 33-43.
- CARAMANNA G., NISIO S. & VITA L. (2004) - *Fenomeni di annegamento dei sinkholes: casi di studio su alcuni laghetti di origine incerta*. Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkhole e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma, 20-21 maggio: 229-248.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G., NISIO S. (2008) - *A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas*. Nat. Hazar. **45**(2): 145-172.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DELIANA G., MICARELLI A. & PERUCCINI U. (1971) - *Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Stud. Geol. Cam., **1**: 7-89.
- CHIOCCHINI M., MANFREDINI M., MANGANELLI V., NAPPI G., PANUZZI L., TILIA ZUCCARI A. & ZATTINI N. (1975) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Fogli 138-144 Terni e Palombara Sabina*. Min. I.C.A., Serv. Geol. d'It., Spoleto.
- CHIOCCHINI M., MANGANELLI V. & PANUZZI L. (1976) - *Ricerche geologiche sul Mesozoico della Sabina (Lazio)*. I. - *Micro-paleontologia, stratigrafia ed evoluzione paleoambientale dell'area del Monte Calvo*. Boll. Soc. Geol. It., **94** (6), 1975, Roma.
- CHIOCCHINI M., MANGANELLI V. & PANUZZI L. (1979) - *Ricerche geologiche sul Mesozoico della Sabina (Lazio)*. II - I Monti Cornicolani, Boll. Serv. Geol. It., **100**: 235-264.
- CIOTOLI G., GUERRA M., LOMBARDI S. & VITTORI E. (1998) - *Soil gas survey for tracing seismogenic faults: A case study in the Fucino Basin, central Italy*. J. Geophys. Res., **103**: 23, 781-23, 794.
- CIOTOLI G., LOMBARDI S. & ANNUNZIATELLIS A. (2007) - *Geostatistical analysis of soil gas data in a high seismic intermontane basin: Fucino plain, central Italy*. J. Geophys. Res. **112**: B05407.
- COLOMBI A., CAPELLI G., DI LORETO, E., HERRING, J.G., NOLASCO, F. & SALVATI R. (2001) - *The purposes of the main sinkhole project in the Latium region of central Italy: Proceedings - Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karsts*, **8**, Rotterdam - Boston: A.A. Balkema, 2001.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1986) - *Assetto Strutturale dei Monti Lucretili Settentrionali (Sabina)*. Nuovi dati schema tettonico preliminare. Geolog. Rom., **25**: 73-89.
- COSENTINO D., MICCADEI E. & PAROTTO M. (1993) - *Assetto Geologico Strutturale dei Monti di Fara Sabina (Lazio, Appennino Centrale)*. Geolog. Rom., **29**: 537-545.
- CREMA C. (1915) - *Improvvisa formazione di una dolina presso Montecelio in provincia di Roma*. Boll. Soc. Geol. It., **34**: 273-277.
- DAMIANI A.V. (1991) - *Osservazioni stratigrafico-strutturali sull'area fra la valle del F. Paglia e F. Tevere a sud del lago Trasimeno*. Stud. Geol. Cam., **1991/1**, sezione 3 dati regionali.
- DAMIANI A.V. & TUSCANO F. (1991) - *Panoramica sulla sedimentazione silico-clastica in facies umbra e i suoi rapporti con le unità ad affinità toscana*. Stud. Geol. Cam., **1991/1**, sezione 3 dati regionali.
- DE FILIPPIS L., ANZALONE E., BILLI A., FACCENNA C., PONCIA P.P. & SELLA P. (2013a) - *The origin and growth of a recently active fissure ridge travertine over a seismic fault, Tivoli, Italy*. Geomorphology, **195**, 13-26.
- DE FILIPPIS L., ROSSETTI, C., BILLI, A. & FACCENNA C. (2013b) - *Uomo, georisorse e faglie nel Bacino delle Acque Albule, Italia Centrale*. Rend. online Soc. Geol. It., **27**, 86-97, 13 figs., doi:10.3301/ROL. 2013.20.
- DE RITA D., DI FILIPPO M. & SPOSATO A. (1989) - *Geological map of the Sabatini volcanic complex*. CNR Pro Fin Geodi-

- namica, Stab. Salomone, **114**, Roma.
- DI FILIPPO M., RUSPANDINI T. & TORO B. (1991) - *Evidenze di zone di taglio N-S in Sabina meridionale*. Stud. Geol. Cam., **1991/2**, CROP 11, 67-71.
- DI NEZZA M., CECCHINI F., MARGOTTINI S. & DI FILIPPO M. (2010) - *Il Bacino delle Acque Albule, Sinkholes e Assetto Geologico-Strutturale*. Atti del 2° Workshop Internazionale, "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 Dicembre 2009, 501-508.
- DI NEZZA M., CECCHINI F., MARGOTTINI S. & DI FILIPPO M. (2012) - *La Struttura dei Monti Cornicolani: un piccolo elemento di una grande struttura nascosta*, In: M. GIARDINI (a cura di), Sant'Angelo Romano (Monti Cornicolani, Roma): "Un territorio ricco di storia e di natura". Regione Lazio, Assessorato Ambiente e Sviluppo sostenibile, Comune di Sant'Angelo Romano, Grafica Ripoli, Tivoli, 80-90.
- DI NEZZA M., CECCHINI F., MARGOTTINI S. & DI FILIPPO M. - *Assetto geologico strutturale profondo del Bacino delle Acque Albule (Roma, Lazio)*. Atti 3° Workshop internazionale "Voragini in Italia. I Sinkholes e le cavità sotterranee: ricerca storica metodi di studio e d'intervento", Roma, 8 Maggio 2014, Roma, Mem. Desc. Carta Geol. d'It., (questo volume).
- DI SALVO C., MAZZA R. & CAPELLI G. (2013) - *Gli acquiferi in travertino del Lazio: schemi idrogeologici e caratteristiche chimico-fisiche*. Rend. online Soc. Geol. It., **27**, 54-76, 30 figs., 1 tab. doi:10.3301/ROL. 2013.20.
- ENEL (1990) - *L'esplorazione geotermica nel p.r. Colli Albani*. (Unpublished report).
- ENEL - DIP. SCIENZE DELLA TERRA PISA (1990) - *Stratigrafia Plio-Quaternaria del Lazio Settentrionale e Toscana Meridionale: implicazioni strutturali e magmatiche*. ENEL, internal report.
- FACCENNA C. (1994) - *Structural and hydrogeological features of Pleistocene shear zones in the area of Rome (Central Italy)*. Annali di geofisica, **37**, (1), 121-133.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R. & MATTEI M. (1994) - *Late Pleistocene N-S shear zones along the Latium Tyrrhenian Margin: structural characters and volcanological implications*. Boll. Geof. Teorica e Appl., **36**, (141-144), 507-522.
- FACCENNA C., SOLIGO M., BILLI A., DE FILIPPIS L. & FUNICIELLO R. (2008) - *Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, Central Italy): possible influence of climate and fault activity*, Global and Planetary Change, **63**, 299-308.
- FACCENNA C., DE FILIPPIS L., SOLIGO M., BILLI A., FUNICIELLO R., ROSSETTI C. & TUCCIMEI P. (2009) - *Cicli deposizionali del travertino Lapis Tiburtinus durante il tardo Pleistocene (Tivoli, Italia Centrale): influenze climatiche e tettoniche*. Rend. Online Soc. Geol. It., **5**, 86-88, 2 ff.
- FAZZINI P. (1968) - *La geologia dei Monti d'Amelia (stratigrafia e tettonica)*. Mem. Soc. Geol. Ital., **7**, 441-469.
- FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1978) - *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino Centrale*. Geol. Rom., **17**, 233-287.
- GASPARINI C., DI MARO R., PAGLIUCA M.N., PIRRO M. & MARCHETTI A. (2002) - *Recent seismismy of the 'Acque Albule' travertine basin'*. Annals of Geophysics, **45**, pp. 537-550.
- GASPARINI C., PIRRO M., MARCHETTI A. & PAGLIUCA M.N., (2001) - *Analisi del periodo sismico avvenuto nel territorio di Guidonia Montecelio nel giugno 2001*. Atti 20 GNGTS, pp. 9.
- GIROTTI O. & MANCINI M. (2003) - *Plio - Pleistocene stratigraphy and relations between marine and non-marine successions in the middle valley of Tiber river (Latium, Umbria)*. Il Quaternario, **16** (1bis): 89-106.
- LA CHIOMA A., DI NARDO G., FERRANTI N. & PASTORI P. (1999) - *Studi e ricerche finalizzate alla riduzione dell'impatto ambientale delle attività estrattive nel Comune di Tivoli e aree limitorfe*, (in CD rom).
- LA VIGNA F., DI SALVO C., MAZZA R., CAPELLI G., TAVIANI S., TEOLI P. & RUSPANDINI T. (2007) - *Italian Web Sinkhole database* [Online].http://host.uniroma3.it/laboratori/idrogeologia/iwisd.
- LUPIA PALMIERI E. (1966) - *Il carsismo ipogeo del Monte Soratte*. Boll. Soc. Geol. It., **85**: 71-89.
- MAINO A. & MOTTA A. (1968) - *Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:100.000. F° 150 "Roma"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- MAINO A., MOTTA A. & SEGRE A.G. (1969) - *Considerazioni sui rapporti tra gravimetria e geomorfologia per il F° 150 Roma (Vulcano Laziale) della carta d'Italia al 100.000 dell'I.G.M.*, Boll. Geod. Sc. Aff., Anno 28, **2**: 173-188.
- MAINO A. & MOTTA A. (1973) - *Studio gravimetrico della regione Sabina (Italia Centrale)*. Boll. Serv. Geol. d'It., **94** (1): 167-168.
- MANFRA L., MASI U. & TURI B. (1974) - *Effetti isotopici nella diagenesi dei travertini*. Geol. Rom., **13**: 147-155, 7 figs., 1tab.
- MANFRA L., MASI U. & TURI B. (1976) - *La composizione isotopica dei travertini nel Lazio*. Geol. Rom., **13**, 127-174, 48 figs., 23 tabb.
- MARTINIS B. & PIERI M. (1962) - *Alcune notizie sulla formazione evaporitica del Triassico Superiore nell'Italia centrale e meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **4** (1): 649-678, 18.
- MAXIA C. (1954) - *La geologia dei Monti Cornicolani (Lazio)*. Pubbl. Ist. Geol. e Paleont. Univ. Studi Roma, **11**: 1-98.
- MESSA L. (1998) - *Villalba di Guidonia*. Notizie e documenti raccolti da L. Messa, Veligraf Montecelio (Roma 1998), 1-142.
- MINISALE A., KERRICK D.M., MAGRO G., MURRELL M.T., PALADINI M., RIHS S., STURCHIO N.C., TASSI F. & VASELLI O. (2002) - *Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications*. Earth and Planetary Science Letters, **203**: 709-728.
- 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 sinkholes nel Lazio, in I fenomeni naturali di sinkhole delle aree di pianura italiane*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**: 33-148.
- PAROTTO M. (2003) - *La geologia. La dorsale carbonatica*. In: AA.VV., "Sant'Oreste e il suo territorio", 20-21, Regione Lazio, Rubbettino (Ed.).
- PIRRO M. & DI MARO R. (2003) - *La sismicità recente della medio-alta Valle dell'Aniene (Lazio): considerazioni geologiche e geofisiche*. Atti Gngts 21° CNR, Roma, 19-21 novembre, 9.
- PIRRO M. & GASPARINI C. (2003) - *Morfologie e sismicità nel pre-appennino centrale*. Atti 21 GNGTS, Roma, CNR, 9.
- REGIONE LAZIO (2002) - *Delibera di Giunta Regionale 1159 del 2 agosto 2002 Integrazione alla Deliberazione 2649/99 Linee guida e documentazione per l'indagine geologica e vegetazionale. "Normativa tecnica per le indagini da effettuare nelle zone indiziate di rischio sinkhole"*, BUR Lazio n. 30 del 30/10/2002: 18-25.
- REGIONE DELL'UMBRIA (1995) - *Risorse idriche sotterranee integrative e sostitutive da destinare al consumo umano: verifica delle portate estraibili, Progetto esecutivo delle perforazioni di prova-produzione*. Assessorato Difesa del Suolo, Ambiente e Infrastrutture, Perugia.
- ROMEO DI COLLOREDO P. (2007) - *Montecelio a Mezzanotte spiriti, fantasmi e folletti della tradizione cornicolana*. Montecelio, 64.
- SEGRE A.G. (1948) - *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*. Ist. Geogr. Dell'Univ., **11**: 239, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968) - *Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1: 100.000, F° 137 "Viterbo"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SIGNORINI R. (1939) - *Risultati geologici della perforazione eseguita dall'AGIP alla Mostra Antiarcbica del Minerale al Circo Massimo*. Boll. Soc. Geol. It., **58**: 83.
- TORO B. (1976) - *Gravimetry and deep structure of the Sabatinian and Alban Volcanic Areas (Latium)*. Geol. Rom., Roma, 15: 301-310.