

Studi di sintesi e analisi geospaziale applicata alla valutazione della suscettibilità ai sinkholes naturali nella Piana delle Acque Albule (Tivoli, Roma)

Study of synthesis and geospatial analysis applied to evaluation of susceptibility to natural sinkholes in the Acque Albule Basin (Tivoli, Roma)

CIOTOLI G. (*), MELONI F. (**), NISIO S. (***)

RIASSUNTO - Vengono presentati i risultati preliminari degli studi in corso nel Bacino delle Acque Albule (Guidonia, Tivoli, RM). Nell'area sono state condotte nuove ricerche di carattere geologico-strutturale, geomorfologico stratigrafico, storico, geofisico, geognostico e geo-meccanico. Gli ulteriori dati geognostici raccolti si sono aggiunti ai dati geofisici, alle misurazioni dei gas, alle ricerche storiche e cartografiche.

I risultati, ancora preliminari, hanno tuttavia permesso, di migliorare le conoscenze sull'evoluzione dell'intera piana, di elaborare un modello geologico-strutturale dell'area e un modello di suscettibilità ai sinkholes naturali mediante metodologie geostatistiche.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati di abbassamento al suolo proveniente dall'interferometria InSAR.

PAROLE CHIAVE: Sinkhole, bacino delle Acque Albule, Bagni di Tivoli, Sorgenti minerali

ABSTRACT - Preliminary results of the in progress studies in the Acque Albule Basin (Guidonia, Tivoli, RM) is presented. New geological-structural, stratigraphic geomorphological, historical, geophysical, geognostic and geo-mechanical data have been collected and integrated with soil gas measurements and historical cartography. These preliminary results, however, have greatly improved the knowledge on the evolution of the entire plain, and aided the development of a geological and structural model of the area, as well as the elaboration of a susceptibility map for natural sinkholes by using geostatistical techniques. Obtained results were also compared with the subsidence data processed by using InSAR interferometric analysis.

KEY WORDS: Sinkhole, Acque Albule Basin, Bagni di Tivoli, Mineral Springs

1. - INTRODUZIONE

Il bacino delle Acque Albule è ubicato nelle media Valle dell'Aniene (Lazio, Roma), in un contesto geologico - strutturale caratterizzato dalla presenza di linee tettoniche attive e di sorgenti termo-minerali che hanno dato origine nel tempo a vasti depositi di travertino (fig. 1). Il bacino ha una forma tridimensionale complessa che si può sintetizzare in una conca caratterizzata nella sua parte centrale da depositi travertinosi, spessi fino a circa 90 m e ai margini da spessori di 10 m, che gradualmente passano alle formazioni di travertino incassanti. I rapporti tra il settore centrale ribassato ed i margini sono regolati da sistemi di faglie (FACCENNA *et alii*, 1994).

All'interno di questo esteso bacino, che va dal fiume Aniene fino ai primi rilievi calcarei pre-appenninici, si individuano ulteriori aree di subsidenza caratterizzate da sequenze litologiche francamente travertinose, prevalentemente terrigene o miste, quest'ultime caratterizzate da alternanze terrigene e travertinose (MAXIA, 1950; PENTECOST, 1989; PENTECOST & TORTORA, 1989).

È generalmente riconosciuto che le Acque Albule costituiscano un bacino di *pull-apart* legato ai movimenti della "faglia Sabina", un lineamento tettonico orientato N-S con movimento di tra-

(*) Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR

(**) Regione Lazio - Dipartimento Difesa del Suolo

(***) Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA

scorrenza destra (FACCENNA *et alii*, 1994; PIRRO & DI MARO 2003; PIRRO M. & GASPARINI 2003).

Nel bacino delle Acque Albule sono presenti molte sorgenti termo-minerali già note e sfruttate in epoca romana e pre-romana, con portate di oltre due metri cubi al secondo (alcune alimentano piccoli laghi).

In tale area sono da tempo noti e studiati da molti Autori i fenomeni di subsidenza generalizzata e di sprofondamento (sinkhole), oltre ai fenomeni carsici di superficie, di cui è stato già realizzato in passato un approfondito censimento (CARAMANNA, 2002, CARAMANNA *et alii*, 2004, 2006a, 2006b; NISIO 2003, 2008b; ANNUNZIATELLIS *et alii*, 2004, 2010; LIPERI *et alii*, 2010; MELONI *et alii*, 2011, 2012, 2013). In particolare nell'area è possibile individuare alcuni tipi di fenomenologie da sinkhole; una peculiare importante tipologia caratteristica è presente nella porzione centrale del bacino dove sono noti i tre sinkholes *ponds* dei laghi Colonnelle, Regina e S. Giovanni, originatisi con meccanismi di sprofondamento in epoca pre-romana (almeno i primi due) (fig. 2).

Alcune forme sono attualmente in fase di evoluzione e visibili in superficie, altre invece sono state individuate in sondaggio all'interno e alla base dei depositi travertinosi.

Negli ultimi anni sono stati registrati alti valori del tasso di subsidenza nell'area del bacino e fenomeni di cedimento differenziale di edifici nonché di alcuni centri urbani di Guidonia-Villalba.

Gli studi multidisciplinari eseguiti da Enti di ricerca (Università e il centro CE.RI.) hanno evidenziato che i cedimenti sono principalmente causati dal costipamento di un orizzonte superficiale

limo-argilloso, con torbe. Il costipamento si verificherebbe in seguito al massiccio emungimento della falda idrica a causa delle numerose attività estrattive. I movimenti del suolo sarebbero lenti ma continui e protratti nel tempo, raggiungendo entità ragguardevoli dell'ordine di diverse decine di centimetri, compromettendo la funzionalità delle strutture. Il rischio dei cedimenti nell'area urbanizzata è quindi elevato poiché il tipo di fondazione adottata in passato è stato quello superficiale, scelta, questa, perché più economica rispetto all'utilizzo di fondazioni profonde appoggiate sul sottostante travertino litoide (AA.VV., 2005; PRESTINIZI *et alii*, 2006).

Per lo studio della subsidenza del Bacino delle Acque Albule sono state utilizzate, contemporaneamente, dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) tecniche di interferometria SAR da satellite, con periodo di osservazione 1993-2000, che hanno dato risposte relative alle deformazioni del suolo (SALVI *et alii*, 2004, 2005). Tali studi permettono di individuare la presenza nell'area di due diversi tipi di deformazioni del suolo caratterizzati da scale diverse. Il primo tipo è rappresentato dalla presenza di singoli PS che mostrano tassi di subsidenza molto più forti (fino a 10 mm/anno e oltre) di quelli delle aree immediatamente adiacenti. I punti sul terreno caratterizzati da tali anomalie sono distribuiti abbastanza uniformemente all'interno dell'area del bacino, si rinvengono principalmente nelle aree caratterizzate dal travertino in affioramento, con una minore percentuale di punti nei terreni vulcanici e nelle coperture sedimentarie plio-pleistoceniche. Tali cedimenti potrebbero essere dovuti a sinkhole in formazione o a doline di soluzione normale in approfondimento. Il secondo tipo di deformazione osservato nell'area è rappresentato da una subsidenza generalizzata del settore centrale del bacino. L'area in subsidenza si estende per circa 6 chilometri in direzione nord-sud, con una larghezza di circa 1,5 chilometri. I tassi di deformazione sono più elevati nella parte settentrionale e diminuiscono rapidamente verso sud (fig. 3).

Nell'area dell'intero bacino sono stati condotti nuovi studi di carattere geologico-strutturale, geomorfologico stratigrafico, storico, geofisico, geognostico e geo-meccanico (AA.VV., 2005; PRESTINIZI *et alii*, 2005; LANZINI *et alii*, 2010) che hanno portato ad una più approfondita conoscenza dell'evoluzione dell'intera piana. Ciò ha permesso di realizzare tra l'altro una mappatura degli abbassamenti al suolo proveniente dall'interferometria InSar per gli ultimi 10-15 anni e la costruzione di un modello di suscettibilità ai sinkholes naturali mediante una metodologia geostatistica.



Fig. 2 – I laghi Regina, Colonnelle e S. Giovanni.
– Regina, Colonnelle and S. Giovanni Lakes.

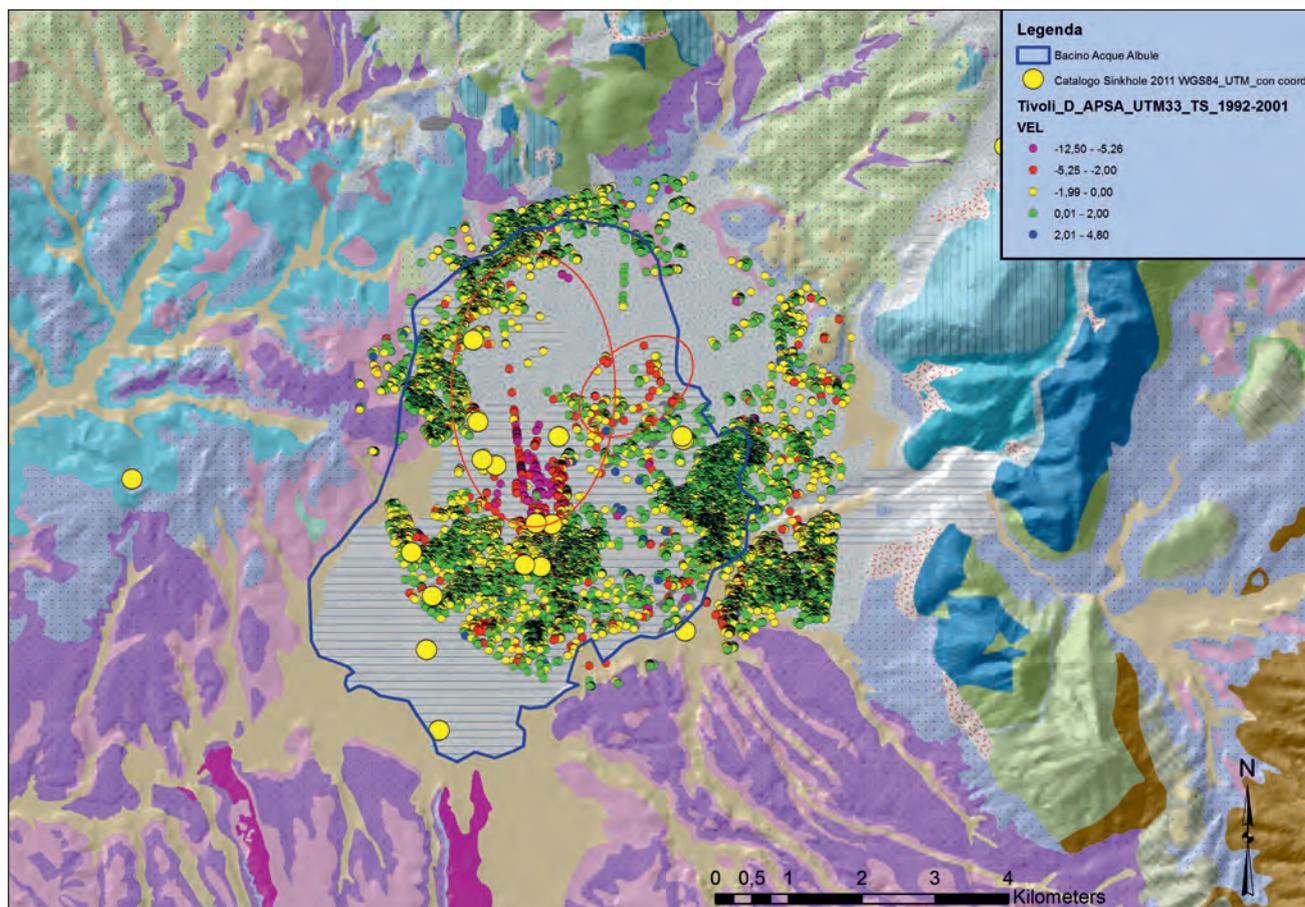


Fig. 3 – Distribuzione dei punti di misura della velocità di abbassamento del suolo nel periodo 1992-2001, con la tecnica InSar (Radarsat Discendente). Si nota un maggiore abbassamento nel tratto centrale con andamento circa N-S e in un tratto orientale con andamento NE-SW (ellissi rosse).
 – Distribution of the points of measurement of the speed of ground subsidence in the period 1992-2001, with the technique InSAR (Radarsat descendant). You notice a greater subsidence in the central sector, with approximately NS direction, and in an eastern sector with trends NE-SW (red ellipses).

1.1. - I DATI STORICI, CARTOGRAFICI E DOCUMENTALI

Il territorio del Bacino è stato studiato dal punto di vista storico attraverso l'esame di fonti documentarie e cartografie storiche.

È emerso che nell'antichità le sorgenti e i piccoli laghi fossero molti di più: “..Strabone indica che queste acque venivano da molte sorgenti: forse ai suoi tempi molti laghetti si saranno veduti...” (NIBBY, 1857). I laghi nel tempo hanno cambiato toponimo e questo potrebbe essere legato anche alla presenza di ulteriori sinkholes oggi non più visibili. Dei tre laghi attualmente presenti, lago della Regina, lago delle Colonnelle, lago di San Giovanni, quest'ultimo è il più recente.

1.1.1. - Il Sinkhole del lago di San Giovanni

La data dello sprofondamento del sinkhole di S. Giovanni potrebbe essere compresa tra il Medio Evo e il 1548, o più tardi agli inizi del 1600, certo è che esso non esisteva in epoca romana, non viene

citato in nessuno dei testi antichi. Secondo alcune ricostruzioni catastali, il lago, a differenza, invece, degli altri due compare con la denominazione di S. Giovanni: nella carta corografica dimostrativa della Sabina Antica e Moderna 1698, nella carta della Sabina di DIEGO DE REVILLAS (1739), nella Pianta della campagna Romana di SICKLER (1819), (fig. 4), nella Pianta della Città di Tivoli e agro Tiburtino del 1851, così come in quella dell'agro tiburtino del 1873 (SABUCCI, 1873) (fig. 5). Il lago altresì compare dubitativamente nella carta del CINGOLANI DALLA PERGOLA (1704) ma citato solo come laghetto di acqua dolce (fig. 6). Un piccolo lago, che potrebbe coincidere con il lago di S. Giovanni, ma in posizione differente, compare nella mappa dell'agro tiburtino del 1548 e questo sinora è il riferimento più antico.

A volte, alcune cartografie, alcuni piccoli specchi d'acqua non vengono riportati per un problema di scala: nella Carta della Campagna Romana del 1666, sono riportati solo due laghi di cui uno con il nome di lago delle Isole Natanti (fig. 7).

Alcune fonti popolari, poi, ritengono che il lago

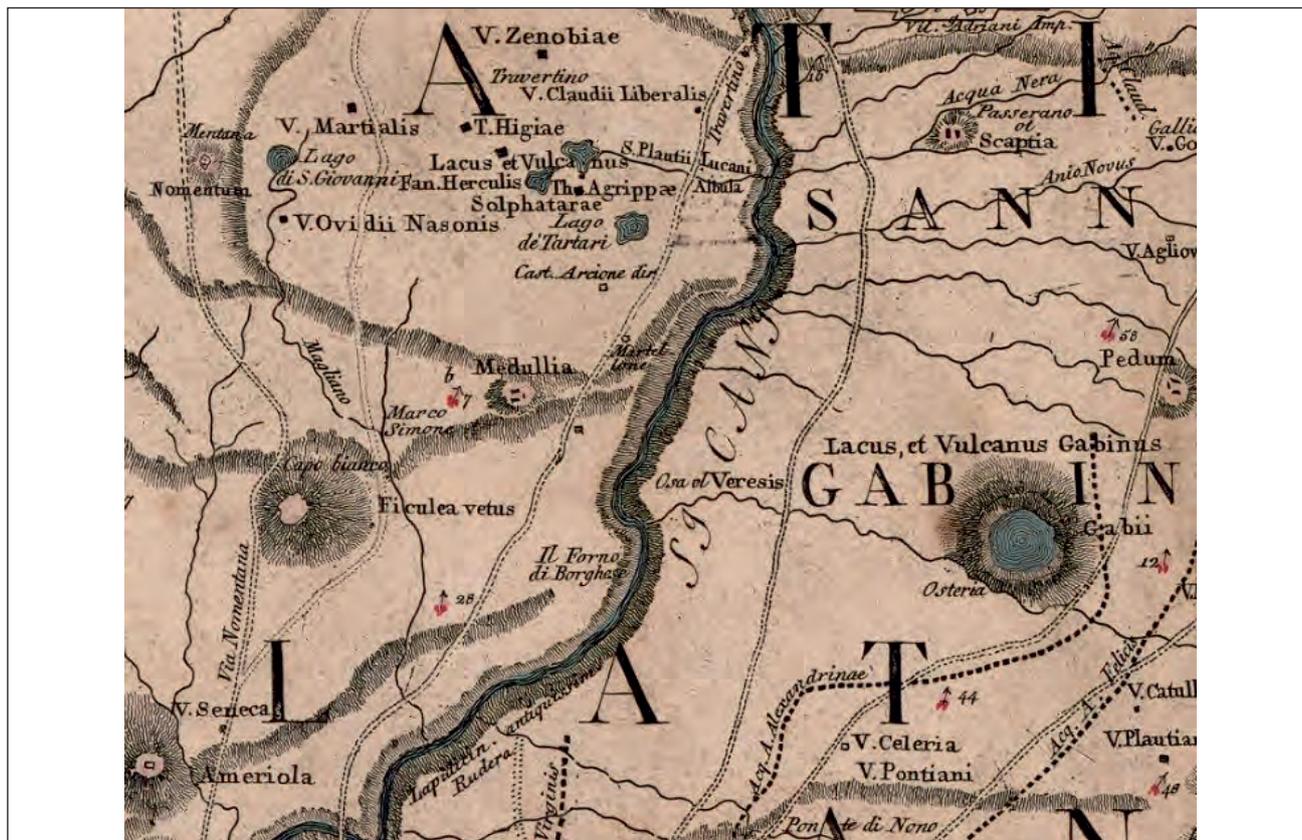


Fig. 4 – Carta topografica di SICKLER, 1832; sono riportati tutti e tre i laghi.
 – Topographic map by SICKLER, 1819; it is shown all the lakes.

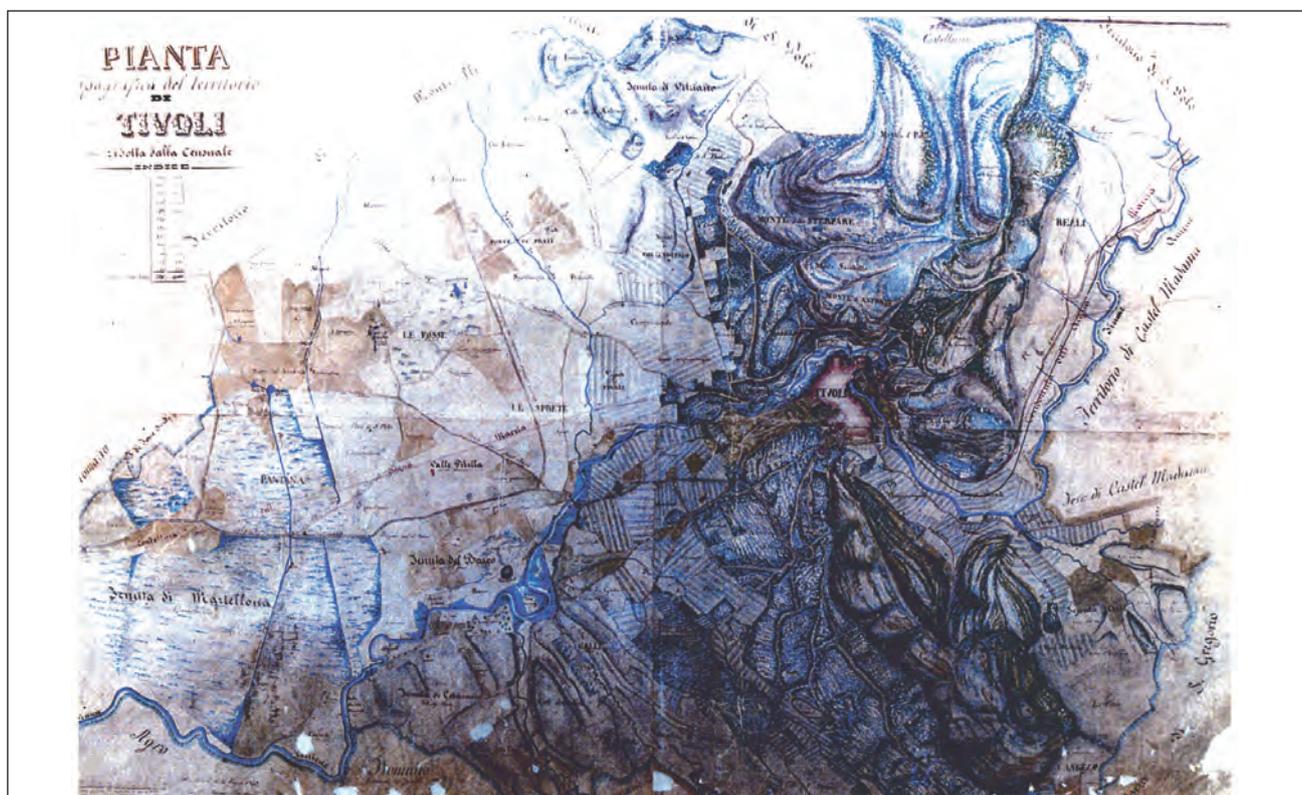


Fig. 5 – Pianta Topografica del territorio di Tivoli, di SABUCCI (1873).
 – Topographic map of Tivoli territory, by SABUCCI (1873).



Fig. 6 – Campagna di Roma di CINGOLANI DALLA PERGOLA (1704); non è presente il lago di San Giovanni.

– Rome land by CINGOLANI DALLA PERGOLA (1704); St. Giovanni Lake is not present.

si sia originato il 24 giugno del 1612, giorno dedicato a S. Giovanni, con eventi parossistici di sprofondamento, ma tali dati, non sono stati per il momento confermati, dalle ricerche storiche (NISIO, 2008 b).

Le acque presenti nel lago sono differenti da quelle dei due laghi sorgente, Regina e Colonnelle, sia per chimismo, si tratta in sostanza di acque dolci prive del contenuto solfureo dei due laghi sorgente, che per rapporti isotopici che ne indicano un bacino di alimentazione appenninico e non un alimentazione profonda.

1.1.2. - I laghetti Sorgente delle Acque Albule

Le sorgenti carbonico-solfuree, dei laghi delle Colonnelle (fig. 8) e della Regina (fig. 9), che alimentano le terme, conservano il nome che ebbero fin dall'antichità: “Acque Albule”, biancastre a causa dell'emulsione gassosa che si forma per l'ossidazione dello zolfo ad opera dell'ossigeno atmosferico (VIALE & LATINI, 1857; BARTOLI, 1865; BAROFFIO 1887; ALLEGRI, 1911; STABILIMENTI TERMALI DELLE ACQUE ALBULE, 1934).

Le acque erano già molto note e sfruttate sin dai tempi dell'antica Roma con la realizzazione di un edificio termale nel II sec. D.C. Lo sfruttamento delle sorgenti ebbe inizio nel III sec. A.C. e raggiunse l'apice nel II sec. D.C. (DESIDERI, 1918; COMUNE DI TIVOLI, 1924).

I Bagni di Agrippa o di Zenorbia, riportati alla luce nel sec. XVI, erano in riva al lago della Regina o Solfatarata. Nei pressi dei laghi, oltre le terme di Agrippa, sono ancora osservabili i resti di un tempio romano dedicato ad una divinità ctonia di difficile attribuzione (Giunone Regina o Cibele?) ma probabilmente dedicato alla Dea madre: “... vicino a queste acque consacrò un sacello alla madre della Igia” (BACCI, 1567) (fig. 10).

È possibile correlare anche la presenza del luogo di culto romano, nonché il nome delle



Fig. 7 – Catasto Gregoriano-Comarca sec. XIX.

– Gregorian-Comarca Cadastre, XIX century.



Fig. 8 – Lago delle Colonnelle.
– *Colonnelle Lake.*



Fig. 9 – Lago della Regina.
– *Regina Lake.*

sorgenti, con una divinità romana, Albunea, la decima sibilla, a cui lo stesso tempio potrebbe essere dedicato. È riportato, inoltre, da BACCI (1567): “È volgare opinione, che al tempo di quella superstizione de gentili, la Sibilla Tiburtina tanto famosa, le incantasse (le acque) e le rendesse buone ad ogni infermità...”.

Tuttavia ritenere che l'area dei laghetti (in particolare il lago della Regina) fosse proprio il sito in cui dimorava la sibilla viene contraddetto da: “... La foresta e la fontana a lei sacre erano situate sopra un'alta montagna” (CHOMPRES & MILLIN, 1804). L'area di piana in cui sono situati i laghi, potrebbe, tuttavia, essere molto vicina al luogo citato.

PIALE, nel 1854, descrive così le acque e i piccoli laghi: “L'acqua è di un colore ceruleo esala in odore disagiata di zolfo; da ciò vien detta solfatara; tenendosi a sinistra dopo un miglio incirca trovasi il lago di tal nome detto anche “lago delle isole natanti”. La spuma delle acque, unendosi insieme con polvere, frondi, arbusti forma sulla superficie del lago alcuni corpi isolati, a seconda de venti galleggianti, donde dissersi natanti. Esse sono le acque Albule ove credesi vi fosse l'oracolo Fauno e la selva Albunea”.

Le terme delle Acque Albule vennero spesso menzionate da scrittori latini e celebrate per le loro virtù terapeutiche: Virgilio ne parla nell'Eneide, Strabone ricorda come le ville romane fossero più numerose nei dintorni delle sorgenti che nella stessa Tivoli. BACCI (1567) riporta che le acque furono sempre ritenute sacre.

Il lago delle Colonnelle ha diametro di circa 50 m ed una profondità di circa 60 metri con variazioni stagionali. Il lago della Regina, il più grande dei due, ha diametro massimo di 150 m, per lo svasamento dovuto all'immissione delle acque nel canale dell'acqua sulfuree. La cavità originaria, con morfologia cilindrica, aveva

diametro di circa 60 m e profondità di 36 m, minore rispetto al lago delle Colonnelle. Le dimensioni dei due laghetti attualmente risultano ridotte, rispetto al passato, per effetto dell'abbassamento della falda regionale che li alimenta. Dal punto di vista chimico le loro acque sono classificabili come acque solfuree-carboniche, a contenuto salino misto e precisamente di tipo bicarbonato e solfato alcanino.

Le portate complessive dei sinkhole Regina e Colonnelle sono stimate intorno a circa 2,1 mc/sec.

2. - I SINKHOLES DEL BACINO DELLE ACQUE ALBULE

Fenomeni di sprofondamento si sono già manifestati nell'area in epoca storica fino ad oggi, dando origine a laghi e cavità sub-circolari. Tali sprofondamenti sono dovuti oltre all'accentuato carsismo, anche alla presenza di diaclasi e faglie che attraversano tutta la piana con differenti orientazioni.

È stato svolto un nuovo censimento dei sinkholes dell'intero bacino (MELONI *et alii*, 2013) ed è stato possibile individuare diversi tipi di fenomenologie da sinkholes (CIOTOLI *et alii*, 1998, 2001; NISIO, 2003; 2008 b; NISIO & SALVATI, 2004; figura 11).

La prima tipologia, *cave collapse sinkhole*, si sviluppa sui travertini in affioramento ed interessa principalmente le bancate litoidi di travertino al di sotto del “tartaro” (travertino sabbioso debolmente cementato con stratificazione piano parallela centimetrica). Il processo è dovuto alla percolazione di acque attraverso gli strati superficiali del terreno e il tartaro.

La seconda tipologia *cover collapse sinkhole* si sviluppa all'interno dei terreni di copertura (*cover*) sciolti, costituiti da sabbie, ghiaie, limi ed argille.

La terza tipologia di sinkhole, *deep piping sinkhole*, interessa ancora il travertino anche se un ruolo determinante è svolto dalla risalita di acque mineralizzate in pressione, che portano alla formazione di un condotto, o cammino cilindrico, anche ad elevata profondità. In tale tipo di sinkhole il processo risulta inverso, sviluppandosi dal basso verso l'alto ed è facilitato dalla presenza di linee di faglia o di frattura che possono costituire cammini preferenziali per le acque in pressione ed i gas.

Altre forme di categoria di sinkhole o "proto-sinkhole" è in corso di studio, si tratta di cavità

individuate in sondaggio e formatesi al tetto di terreni terrigeni, appena al di sotto dei travertini, per erosione e allontanamento delle particelle terrigene da parte delle acque di falda (NISIO, 2008 b).

In alcuni sondaggi sono stati individuate sacche di materiale terrigeno in profondità inglobate in sedimenti piroclastici, terrigeno-sedimentari e travertinosi, interpretate come sinkhole sinsedimentari, cioè sviluppatasi sulla paleosuperficie del terreno durante il processo di subsidenza o in una fase di stasi dello stesso e poi riempiti durante le successive fasi di subsidenza.

Negli ultimi anni sono stati segnalati dalla popolazione fenomeni di sprofondamento e di

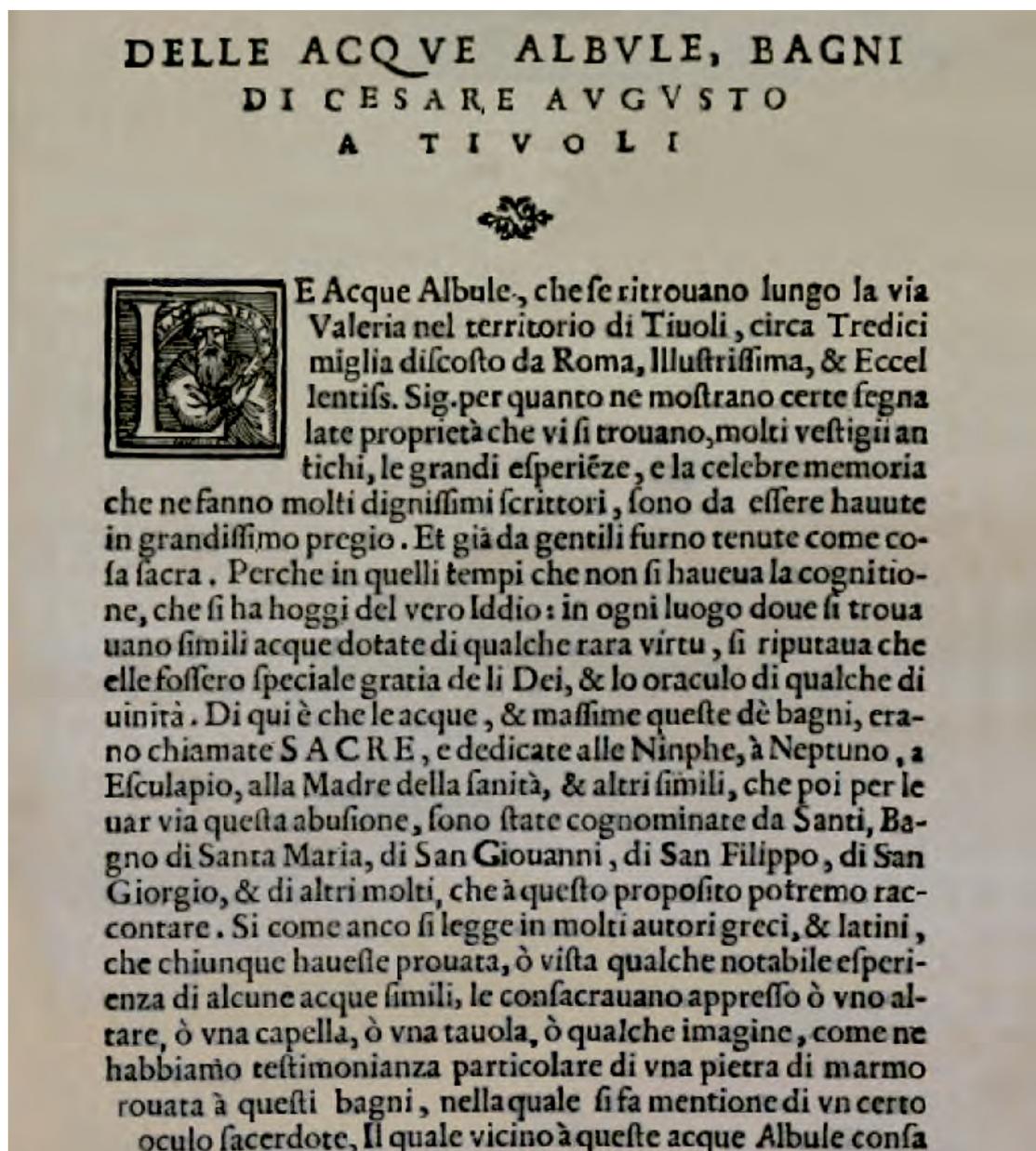


Fig. 10 - Immagine tratta da un manoscritto originale del 1567, a cura di BACCI, da cui si può leggere come le acque fossero ritenute sacre agli Dei. - Image taken from an original manuscript of 1567, edited by BACCI, which can be read as the waters were considered sacred to the Gods.

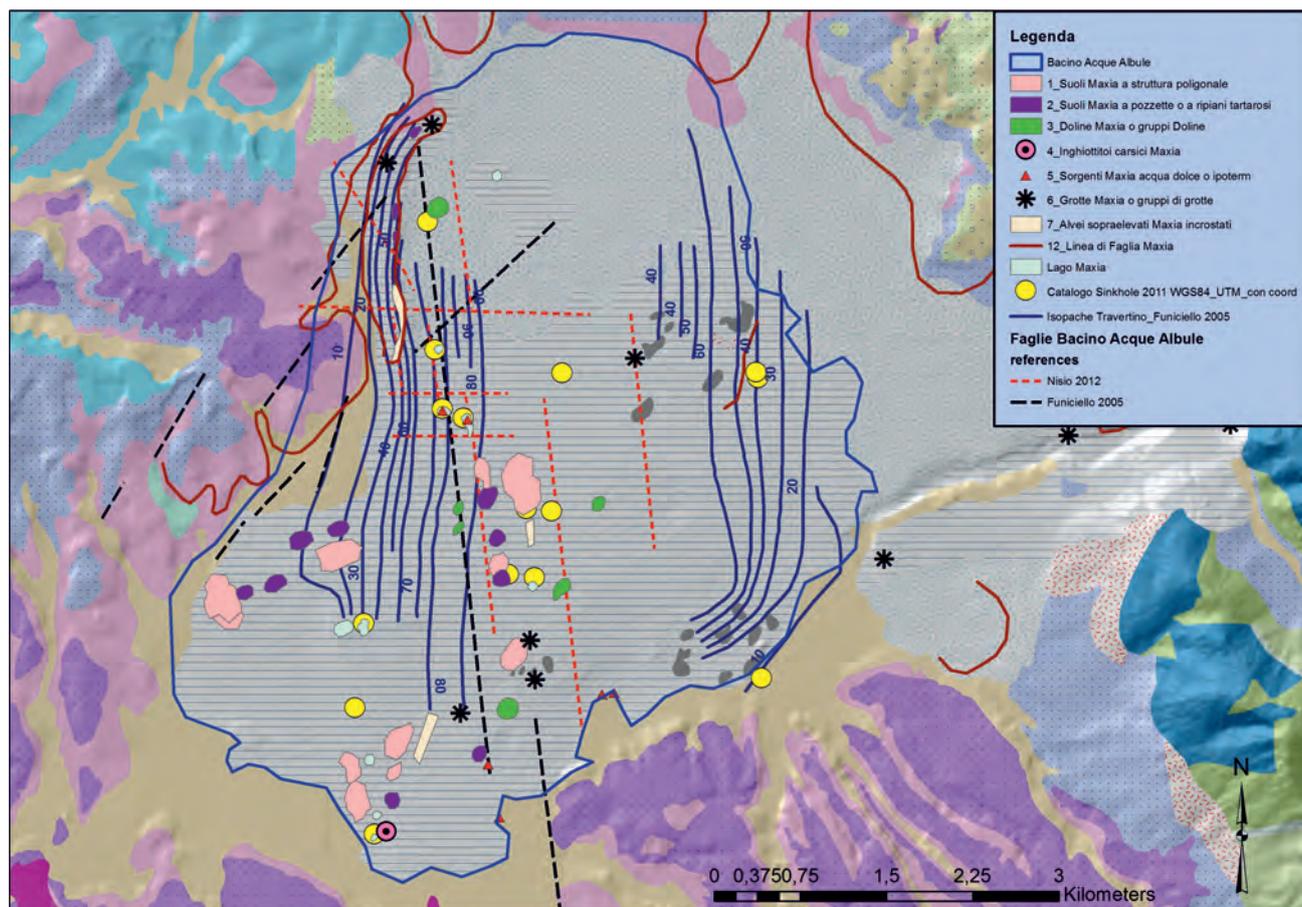


Fig. 11 – La mappa mostra la distribuzione dei Sinkhole all'interno del Bacino delle Acque Albule in rapporto alla geologia, alla tettonica ed allo spessore conosciuto del Travertino. Sono mostrate anche le forme morfologiche individuate da MAXIA (1950). Si nota chiaramente una distribuzione di forme morfologiche e di sinkhole in direzione NNW-SSE e in direzione NE-SE che ricalcano la forma generale del bacino travertinoso, a probabile controllo tettonico.
 – The map shows the distribution of Sinkhole within the Acque Albule Basin in relation to geology, tectonics and thickness of known Travertine. Are also shown morphological forms identified by MAXIA (1950). The pattern of morphological forms and sinkhole in NNW-SSE and NE-SE direction follow the general shape of the travertine basin and probable suggest a tectonic control.

subsidenza generalizzata che hanno interessato prevalentemente i centri urbani di Guidonia e Bagni ed allertato la Protezione Civile (AA.VV., 2005; REGIONE LAZIO, 1997, 1999, 2001; MELONI *et alii*, 2012, 2013).

Tali sprofondamenti hanno coinvolto prevalentemente le aree caratterizzate da travertino sub-affiorante prevalentemente urbanizzate. La presenza di edifici ha mascherato molto la morfologia naturale del fenomeno e pertanto si è reso difficile analizzare le forme ed i meccanismi genetici di sviluppo della cavità.

Nell'intero bacino sono riconoscibili, inoltre, molte forme sub-circolari relitte, per lo più si individuano all'interno della zona sfruttata dall'attività mineraria, scolpite sulle litologie di travertini.

Tuttavia l'antropizzazione ha stravolto le originarie forme pertanto attualmente risulta difficile distinguere i fenomeni carsici, le doline di soluzione normale, dalle morfologie di sinkhole.

3. - I RISULTATI RAGGIUNTI CON I NUOVI DATI DISPONIBILI

Le numerose stratigrafie ottenute dalle perforazioni a carotaggio continuo eseguite nell'area sia a scopo di studio che a fini geotecnici, hanno permesso di ricostruire l'assetto geologico del sottosuolo in modo molto più dettagliato di quanto finora disponibile e di realizzare un modello 3D dell'intero bacino, analizzati con un software specifico. Ulteriori dati sono in fase di elaborazione al fine di migliorare il modello 3D in corso di realizzazione. In questa sede si mostrano solo alcuni dei dati raccolti nelle immediate vicinanze dei tre piccoli laghi (Regina, Colonnelle, S. Giovanni).

I dati stratigrafici raccolti permettono di ipotizzare che la sedimentazione dei travertini è stata condizionata dagli importanti elementi strutturali che delimitano e attraversano la piana, determinando una serie di blocchi ribassanti la piana progressivamente verso N, nella porzione

meridionale, e verso S nella porzione settentrionale (fig. 12), e dando origine così, ad un'area più depressa, nella porzione centrale che rappresenta il depocentro del bacino di *pull-apart*. La conca così formata è stata poi colmata dal complesso dei depositi lacustri, costituiti da limi e argille ricchi di faune dulcicole e dai potenti spessori di travertini sino alla totale emersione e passaggio dall'ambiente lacustre a quello continentale, con formazione di paleo-suoli.

Dall'analisi dei sondaggi raccolti nell'area, i depositi argillosi lacustri, che sono intercalati o ubicati al letto dei travertini, sono caratterizzati da variazioni latero-verticali di facies, costituendo a volte lembi o lenti non continue. Un orizzonte di limi lacustri di modesto spessore si rinviene intercalato nei travertini a profondità di circa 9 – 10 m (fig. 13); tale orizzonte indica una fase di stasi di deposizione dei travertini all'interno dello specchio lacustre. I travertini presentano spessore crescente procedendo da ovest verso est (fig. 13) e verso il depocentro del bacino.

L'analisi fotointerpretativa ed i rilevamenti di campagna hanno permesso di individuare alcune lineazioni che si seguono per centinaia di metri sul terreno, a prevalente andamento meridiano (N5W). Un sistema a *trend* meridiano allinea anche i laghi della Regina, delle Colonnelle e S. Giovanni. Questo sistema è intersecato da un secondo

sistema di fratture, perpendicolare al primo, ad andamento circa E-W. L'area dei due sistemi (faglia NS e sistema di fratturazione EW) ricade nei pressi del lago delle Colonnelle (fig. 11). Tale area di intersezione costituisce via preferenziale di risalita dei gas e dei fluidi mineralizzati in superficie. I risultati delle analisi strutturali vengono confermati anche dalla distribuzione di alcune specie gassose nel suolo.

I dati dei sondaggi, i profili di tomografia elettrica e i dati microgravimetrici, permettono di individuare ulteriori lineamenti tettonici non visibili in superficie, oltre a fornire elementi utili per la costruzione e definizione del modello 3D.

Nel bacino sono stati effettuati molti campionamenti di CO₂ nel suolo e di altri gas, che hanno permesso di confermare alcuni *trend* tettonici, in particolare quello appenninico.

Si tratta sostanzialmente, come detto in precedenza, di un bacino di *pull-apart* formatosi al di sopra della faglia Sabina, attraversato da diversi sistemi di faglia NS, EW, NW-SE, NE-SW, che hanno estensioni ed importanza diversa l'uno dall'altro (FACCENNA *et alii*, 1994; PIRRO & DI MARO, 2003; PIRRO & GASPARINI, 2003). I sistemi si intersecano e si dislocano, o si deformano, nei punti di contatto. Il bacino è suddiviso al suo interno in settori caratterizzati da sequenze litologiche diverse, si passa da sequenze francamente travertinose, a

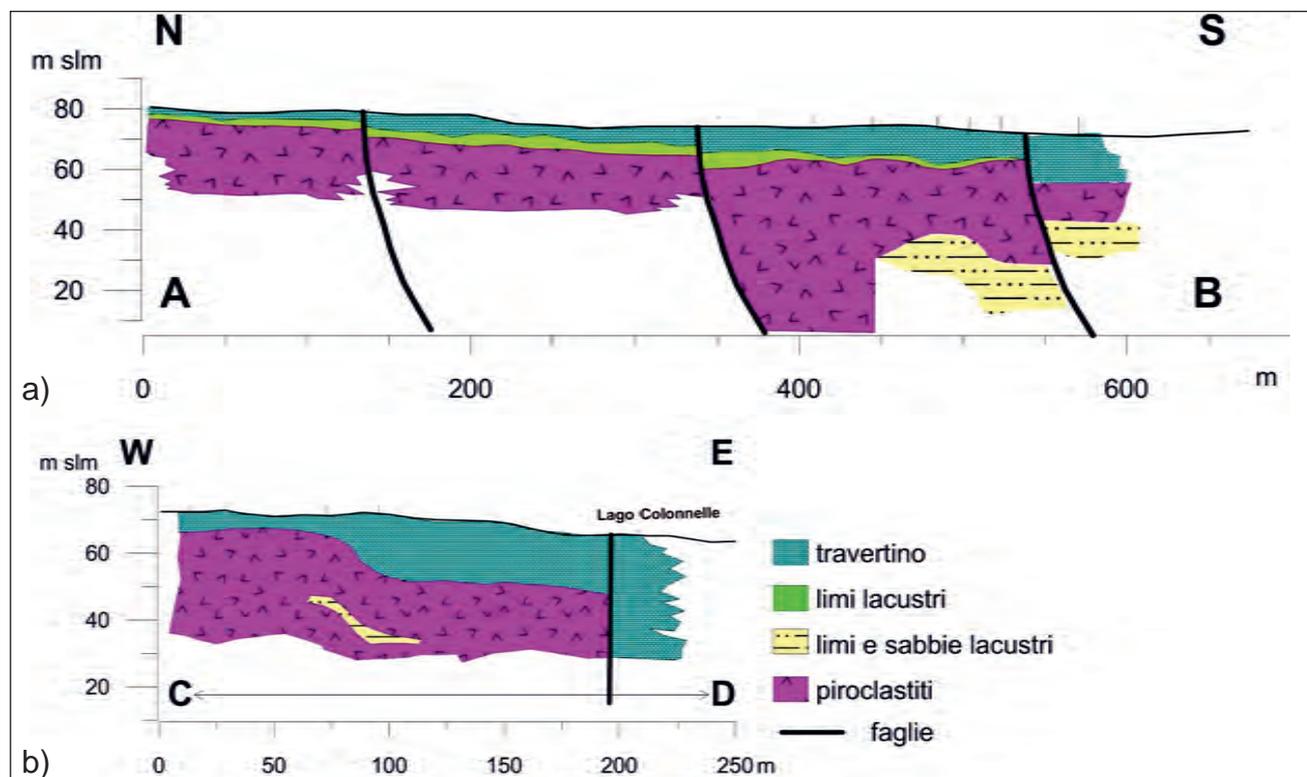


Fig. 12 – Sezioni stratigrafiche dell'area dei sinkholes Regina e Colonnelle. a) profilo NS; b) profilo E-W.
- Stratigraphic sections of the Regina and Colonnelle sinkholes. a) NS profile; b) E-W profile.

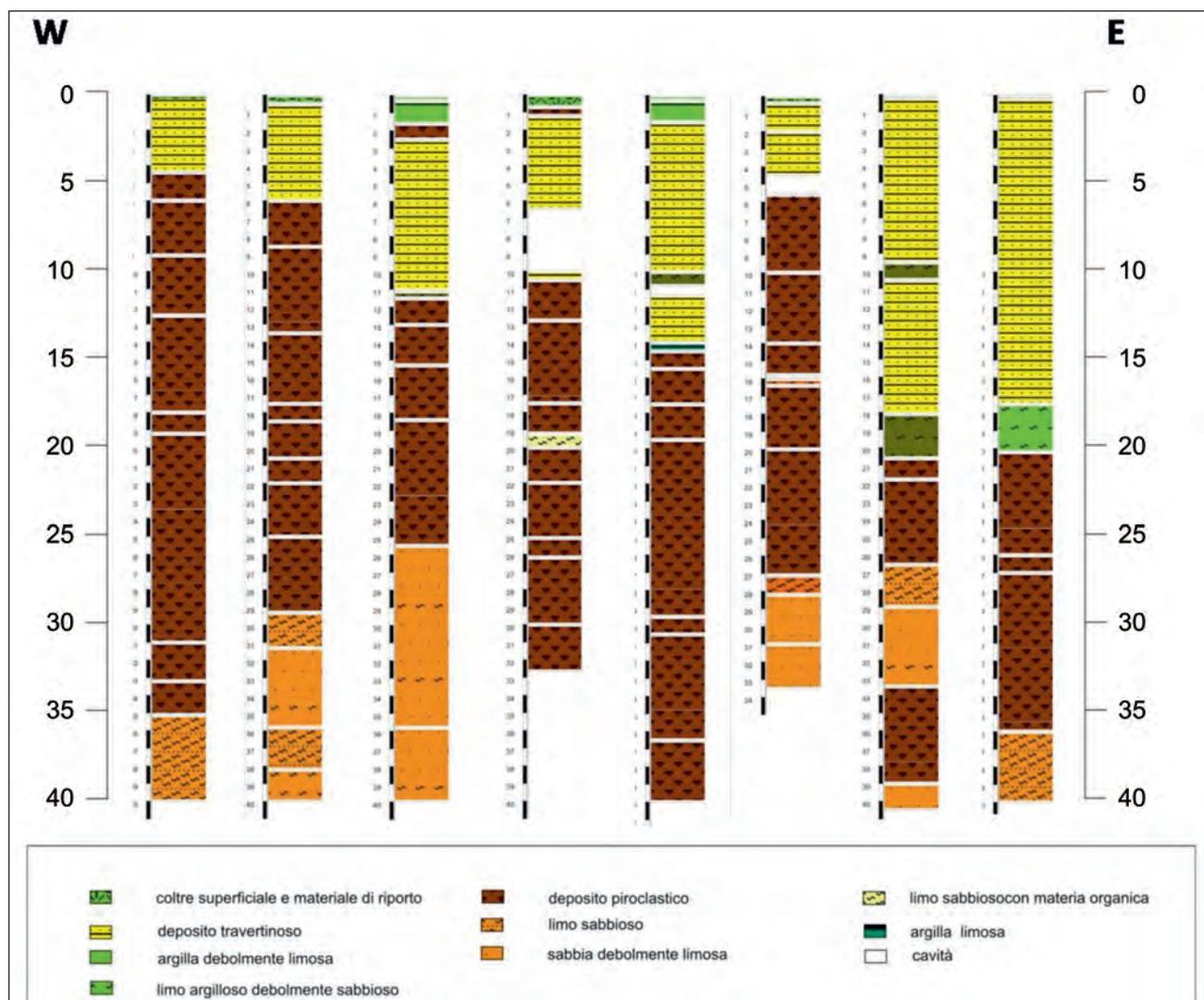


Fig. 13 – Stratigrafie di sondaggi nell'area dei sinkholes Regina e Colonnelle.
– Stratigraphic columns in the Regina and Colonnelle sinkholes area.

quelle prevalentemente terrigene e miste. I settori francamente travertinosi si ritrovano nella parte centrale e meridionale del bacino, presso il fiume Aniene, mentre la sequenza prevalentemente terrigena affiora verso il bordo settentrionale, soprattutto nel suo tratto più occidentale. In questa zona l'afflusso di sedimenti terrigeni proviene dai corsi d'acqua che drenano dai Monti Cornicolani e dalle vicine colline. È probabile che alcuni piccoli paleobacini subsidenti, forse isolati attraverso settori a maggiore stabilità, siano evoluti in modo diverso l'uno a fianco all'altro a seconda se prevaleva l'apporto di sedimenti terrigeni esterni o se ci si trovava in zone più isolate a prevalente sedimentazione chimica. I meccanismi che hanno guidato l'evoluzione del bacino devono essere correlati ai movimenti lungo la "faglia Sabina", trascorrente destra non affiorante. Nell'area è stato individuato anche un margine nord-occidentale

caratterizzato da fenomeni compressivi e da fagliazione inversa, divenuto poi punto preferenziale di risalita delle acque solfuree nelle ultime fasi di evoluzione del bacino.

Sismicamente l'area si presenta in modo molto peculiare, con eventi di magnitudo massima inferiore a 3 e profondità dei terremoti modeste. La sismicità più importante è costituita da sciami sismici a carattere molto superficiale, con profondità ipocentrali dell'ordine di 0,5 km (sciame del 1989 e del 2001), capaci tuttavia di causare forti risentimenti e qualche lieve danno a causa delle modeste profondità. Tali sciami si sono verificati nel margine nord-occidentale, dove è presente l'elemento tettonico principale NNW-SSE (faglia trascorrente destra) e gli altri sistemi NE-SW. Mentre i terremoti registrati dalla rete INGV di magnitudo maggiore ma inferiore a 3, si presentano come eventi isolati che generalmente avven-

gono fuori dall'area del bacino, fanno eccezione un settore orientale dove sono presenti eventi con profondità comprese tra 18 e 35 km ed un settore sud-occidentale con profondità mediamente di 12-18 km (ellissi rosse) (fig. 14).

I dati relativi alle misure piezometriche e i risultati delle analisi chimiche delle acque concordano con lo schema geologico-strutturale individuato. Un circuito idrogeologico interessa i depositi piroclastici e si caratterizza per i bassi valori di mineralizzazione delle acque. Un secondo circuito idrogeologico è dato da una falda in pressione presente al di sotto della bancata di travertino. Esso viene a giorno nei punti di emergenza corrispondenti alle sorgenti sub

lacuali. Le acque di tale circuito presentano valori di cloruri e di solfati elevati, compatibili con processi di arricchimento profondo.

I principali sinkholes attualmente visibili sono originati in corrispondenza degli importanti lineamenti tettonici menzionati, che costituiscono via preferenziale di risalita di acque profonde mineralizzate e di fluidi aggressivi.

I sinkholes censiti sono stati confrontati con i dati di abbassamento del suolo ricavati dall'interferometria InSAR, svolta tra il 1992 e il 2005 (fig. 15) e i valori di CO₂ (fig. 16). I dati raccolti permetteranno di realizzare uno studio della suscettibilità dell'intero bacino, tuttora in fase preliminare.

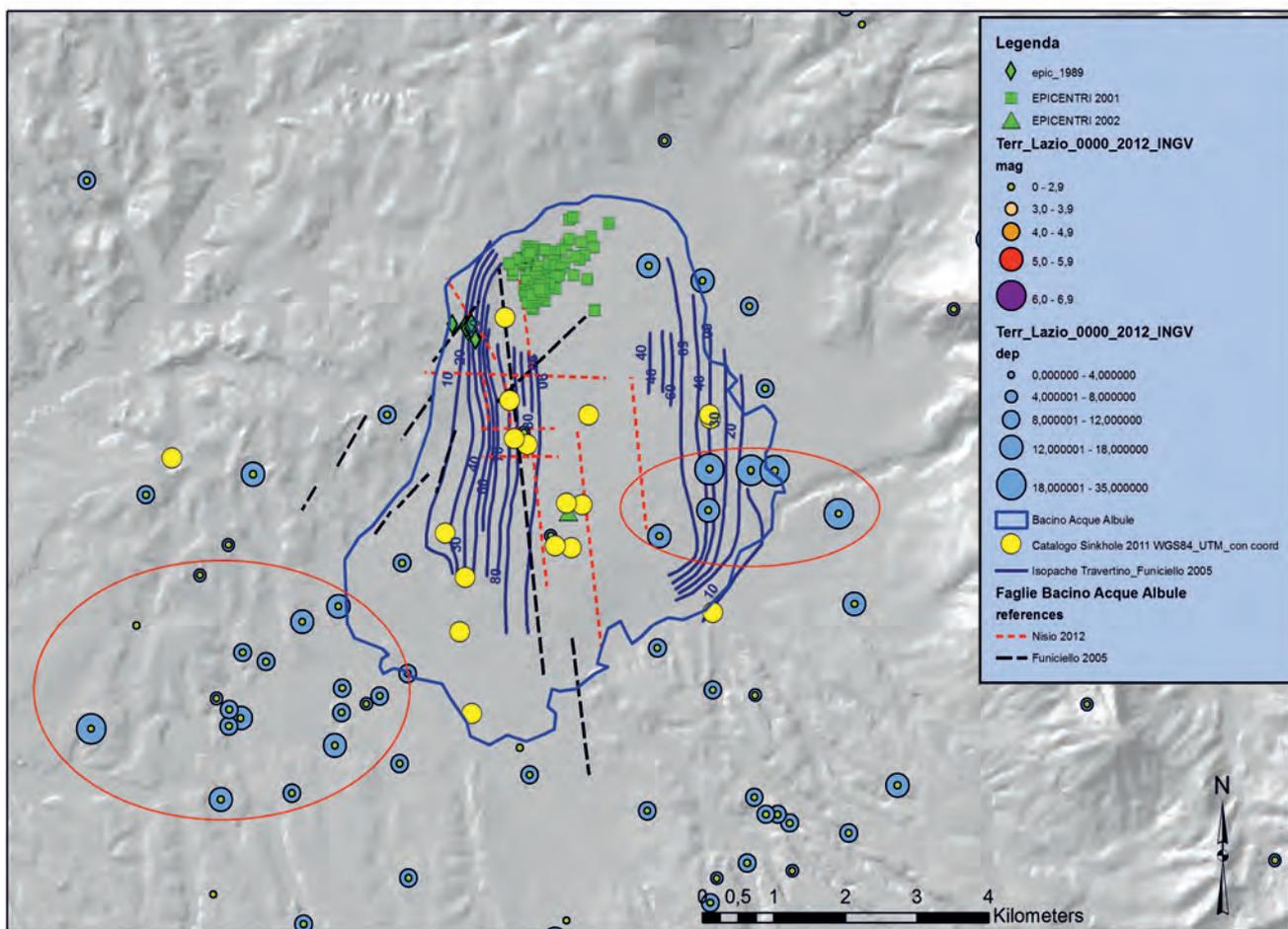


Fig 14 - Terremoti nel Bacino delle Acque Albule: sono mostrati gli eventi sismici dall'anno 0 al 2012 (catalogo CPTI04, cataloghi INGV dal 1981 al 2011 e per il 2012) sia in funzione della magnitudo, che non supera mai il valore di 2,9, che della profondità. Si nota che all'interno del bacino non risultano segnalati se non due con magnitudo e profondità modeste (tra 4 e 8 km). Altri eventi sismici molto superficiali vengono registrati al margine NNW del bacino in un settore dove passa il lineamento tettonico principale NNW-SSE (faglia trascorrente destra) e altri sistemi NE-SW; le profondità dei terremoti sono dell'ordine dei centinaia di metri e le magnitudo modeste benchè per la loro superficialità abbiano causato effetti sensibili sulla popolazione valutabili fino al V grado della scala MCS (sciame sismici del 1989 e del 2001 ed evento del 2002). Da notare al contrario le molto maggiori profondità e concentrazioni dei terremoti al margine orientale del bacino, range 18-35 km, ed al margine sud-occidentale, con range 12-18 km (ellissi rosse).

- Earthquakes in the Acque Albule Basin: there are shown the seismic events since 0-2012 (catalog CPTI04, INGV catalogs from 1981 to 2011 and for 2012) as a function of depth and magnitude, which never exceeds the value of 2.9. We note that within the basin there are only two earthquakes with modest magnitude and depth (between 4 and 8 km). Other seismic events are recorded near the surface of the NNW basin margin (depth about 0,5 km) in an area affected by NNW-SSE main tectonic lineament (right strike-slip fault) and other tectonic systems NE-SW; the depth of the earthquakes are of the order of hundreds of meters and the magnitude modest, though for their superficiality have caused a significant impact on population evaluable until the V degree of MCS scale (seismic swarms of 1989 and 2001 and the 2002 event). Note, on the contrary, the much greater depths and concentrations of earthquakes on the eastern edge of the basin, range 18-35 km, and on the south-west margin, with the range 12-18 km (red ellipse).

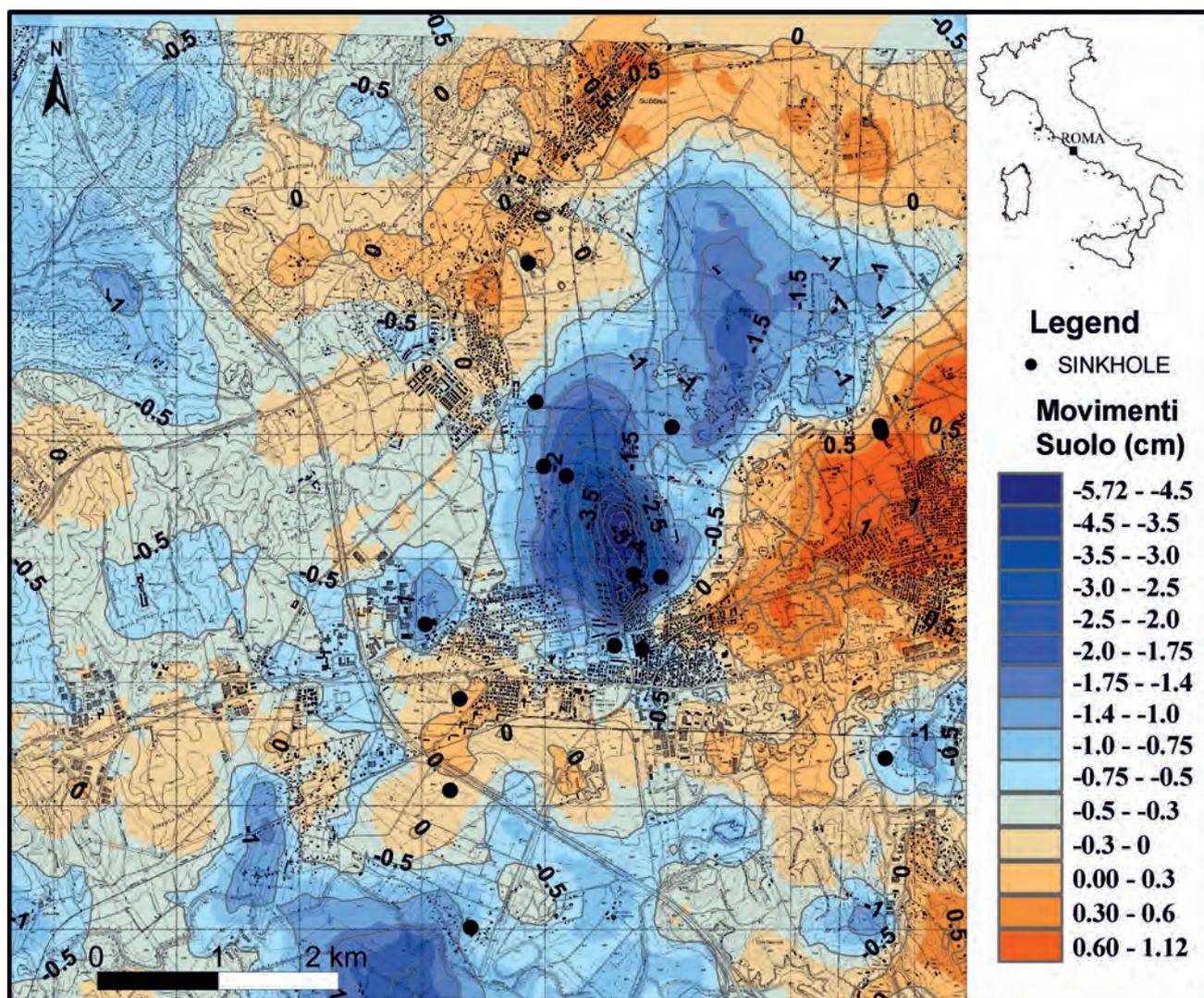


Fig. 15 - Mappa degli abbassamenti del suolo dai dati InSAR relativi all'intervallo 1992-2002 e confronto con gli eventi di sprofondamento. I settori di maggiore abbassamento del suolo coincidono con l'area dei tre laghi Regina, Colonnelle e S. Giovanni.

- Ground subsidence map by InSAR data concerning the interval 1992-2002 and comparison with the events of sinking. The higher ground subsidence sectors coincides with the area of the three lakes Regina, Colonnelle and San Giovanni.

4. - CONCLUSIONI

La particolare aggressività delle acque mineralizzate nei confronti dei carbonati e le litologie calcaree affioranti nel bacino delle acque Albule, particolarmente vacuolari e solubili, favoriscono lo sviluppo dei fenomeni di sinkhole, con formazione di voragini, di forma sub-circolare, e, diametro e profondità variabili che, per crolli successivi della volta, si estendono fino alla superficie.

I sinkholes e le altre tipologie prevalentemente carsiche interessano in genere lo strato più profondo e litoide del travertino.

Polle sorgive, piccoli laghi di acque termo-minerali e varie altre morfologie carsiche, sono presenti al centro della piana, la loro presenza è collegata anche alla risalita delle acque termo-minerali che caratterizzano il circuito idrogeologico del bacino.

I fenomeni di sinkhole si sono manifestati nell'area della piana in diverse epoche storiche.

Tali sprofondamenti sono dovuti oltre all'accentuato carsismo, anche alla presenza di diaclasi e faglie che attraversano tutta la piana con differenti orientazioni. Dalle faglie inoltre è facilitata la risalita di fluidi gassosi H_2S e CO_2 , altamente aggressivi nei confronti dei carbonati, che trovano così una via di risalita preferenziale, e che contribuiscono oltremodo alla formazione delle cavità stesse.

Vengono presentati in questo contributo i primi dati dello studio di revisione ed approfondimento del Bacino delle Acque Albule, area al centro di vari dibattiti geologici per le sue caratteristiche strutturali nonché per i fenomeni di subsidenza generalizzata che si esplicano da anni.

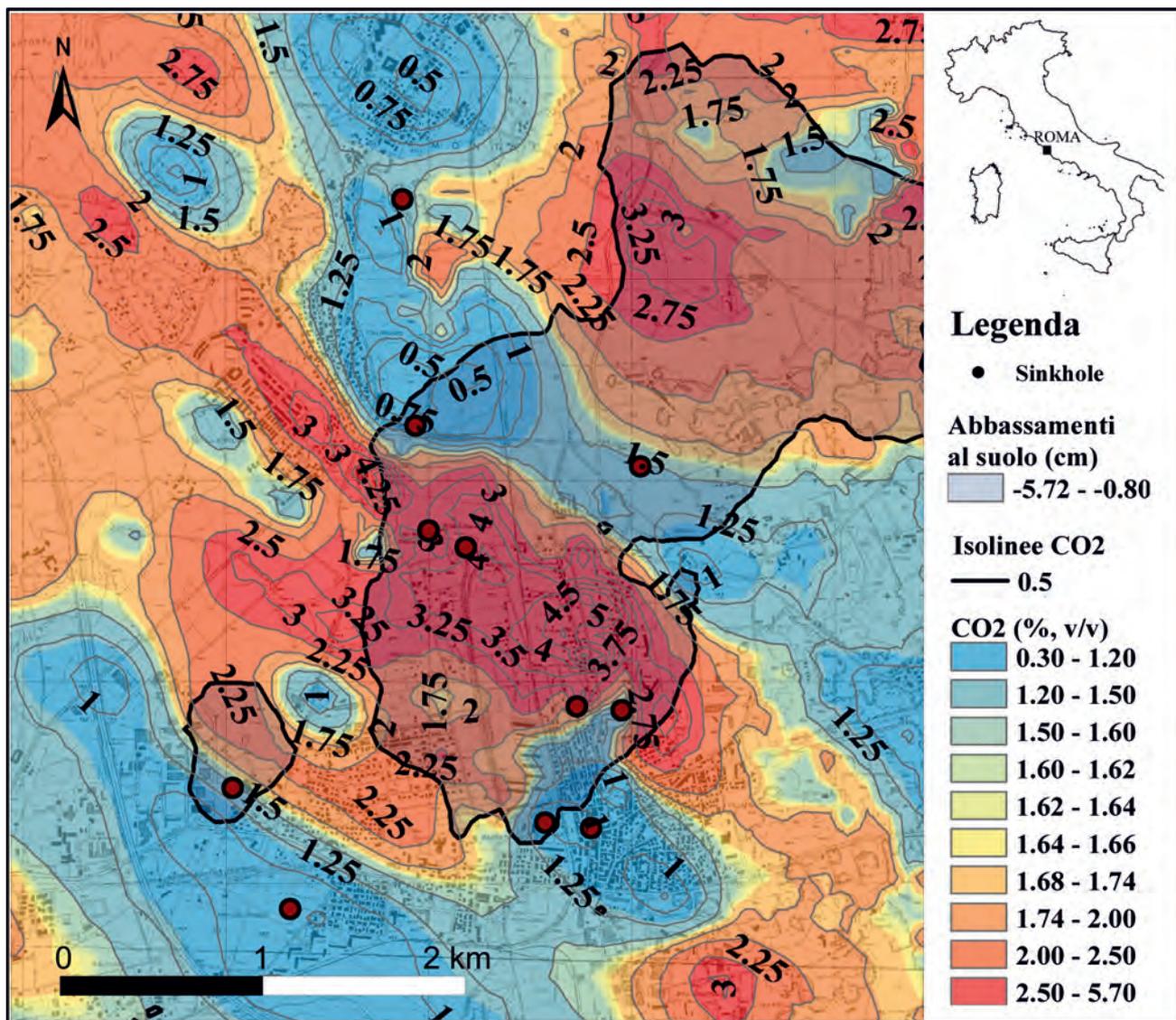


Fig. 16- Mappa della distribuzione della CO₂ nei suoli e confronto con gli abbassamenti misurati dall'InSAR.
- CO₂ distribution map and comparison with the lowering measured by InSAR.

Sono stati eseguiti approfondimenti di fonti documentarie e cartografiche storiche, raccolta ed elaborazione di stratigrafie provenienti da sondaggi geognostici, raccolta di dati geofisici (principalmente elettrico e gravimetrico), campagne di misurazione dei gas (principalmente CO₂ e radon), raccolta di dati sulla falda idrica e sull'idrogeologia dell'area, elaborazione dei dati di abbassamento del terreno provenienti da tecniche InSar, studio della sismicità dell'area.

È stato eseguito un nuovo censimento dei sinkholes dell'area e sono state individuate le diverse tipologie di genesi del fenomeno.

I nuovi dati raccolti permettono di ricostruire con maggiore dettaglio l'assetto strutturale ed idrogeologico dell'area del bacino delle Acque Albule consentendo di definire con maggiore

precisione il ruolo svolto dai diversi fattori responsabili della formazione dei sinkholes e, in definitiva, la suscettibilità all'innescarsi di ulteriori fenomeni.

BIBLIOGRAFIA

- AA:VV. (2005) – *Progetto delle indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli*. REGIONE LAZIO, Rapporti tecnici.
- ALLEGRI N. (1911) - *Acque albule: Notizie storico-mediche*. Tivoli, Tip. Majella, di A. Chicca, 1911, 72 pp.
- APAT (2004a) – *Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*. Atti I Convegno internazionale, Roma 20-21 maggio 2004.
- APAT (2004b) – *Database nazionale sinkhole – versione 2004*. File in formato elettronico, Sito: <http://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/default.htm>.

- ALBANESE G., CAPELLI G., FEDERICO P., SALVATI R., STORONI S. & ZALAFFI M. (2004) - *I fenomeni di sinkhole come elemento di rischio lungo le grandi arterie stradali*. Atti del 1° Seminario "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: 25-36.
- AMETI G.F. (1693) - *Il Lazio con le sue più cospicue strade antiche e moderne è principali casali, e tenute di esso*. Parte I e II, terrestre; parte I e II marittima, Domenico De Rossi (Ed.), Roma. Bibl. Soc. Geogr. It., Roma.
- 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.
- ANNUNZIATELLIS A., CIOTOLI G., GUARINO P.M. & NISIO S. (2010) - *Nuovi dati sui sinkholes del bacino delle Acque Albule (Tivoli, Roma)*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 395-412.
- BACCI A. (1567) - *Discorso delle acque albule, bagni di Cesare Augusto a Tivoli. Delle acque di S. Giovanni a Capo di Boue nuovamente venute in luce. Delle Acetose presso a Roma & delle acque d'Anticoli. ... Dell'eccell. medico M. Andrea Bacci delle therme*. In Roma: per li heredi di Antonio Blado stampatori Camerali, 1567, 34 pp.
- BAROFFIO F. (1887) - *Le acque albule presso Roma: Lettera al prof. L. Chiminelli*. Firenze, Tip. Cooperativa, 1887, 8 pp.
- BARTOLI L. (1865) - *Guida ai bagni delle acque albule presso Tivoli, del dottore Lorenzo Bartoli*. Roma: coi tipi dell'Osservatore romano, 1865, 22 pp.
- CAMPOBASSO C., GRACIOTTI R., NISIO S. & VITA L. (2004) - *Il progetto sinkhole: le attività svolte dal Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT*. 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: 171-188.
- CAPELLI G., SALVATI R., GARELLO M. & COLOMBI A. (2002) - *Progetto Sinkhole del Lazio*. Regione Lazio - Dir. Reg. Ambiente e Prot. Civ. - Univ. St. Roma Tre - Dip. Sc. Geologiche, Relazione finale, ottobre 2002: 1-215.
- CARAMANNA G. (2002) - *I laghetti sorgivi delle Acque Albule*. In: M. GIARDINI (a cura di) Atti: *Il Trivertino. Aspetti naturalistici e sfruttamento industriale all'inizio del terzo millennio*, Prov. di Roma, pp. 33-43.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G., FERRELLI L., GUERRIERI L., NISIO S., VITA L. & VITTORI E. (2006a) - *Relazioni tra strutture sismogenetiche, eventi*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It., **71**: 123.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G. & NISIO S. (2008) - *A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas*. Journal of Natural Hazard, **45**: 145-172, DOI 10.1007/s, 11069-007-9165-7.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G., NISIO S. & VITA L. (2006b) - *I fenomeni di sinkholes in Italia: inventario dei fenomeni naturali ed alcuni casi di studio*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It., **71**: 121.
- CARAMANNA G., NISIO S. & VITA L. (2004) - *Fenomeni di anegamento dei sinkholes: casi di studio su alcuni laghetti di origine incerta*. 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: 229-248.
- CATALANO G., LIPERI L., MELONI F., NOTARMUZI M.C., SATTALINI O., SERICOLA A., TOCCACIELI M., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2011) - *Studi sul fenomeno sinkhole nella Regione Lazio*. Atti del Convegno: "Studi ed interventi per il risanamento delle cavità antropiche e naturali. aspetti geologici, geotecnici e sismici", SIGEA - Sez. Puglia, Altamura (BA), 9 dic., 2010.
- CENTAMORE E. & NISIO S. (2002a) - *Quaternary morphodynamics between the Velino and Salto Valleys*. International Workshops on Large-Scale vertical movements and related gravitational processes, Rome-Camerino, June 21-26, 1999, Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. (1/2002): 33-44.
- CENTAMORE E. & NISIO S. (2002b) - *Tettonica e sedimentazione (Lias-Pleistocene) nella media Valle del Salto (Rieti, Italia Centrale)*. Studi Geologici Camerti 2002/2: 53-70.
- 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.
- CINGOLANI DALLA PERGOLA (1704) - *Campagna di Roma*. Biblioteca Soc. Geograf. It.
- 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.
- CIOTOLI G., DI FILIPPO M., NISIO S. & ROMAGNOLI C. (1998) - *La piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali, geomorfologici, geofisici e geochimici*. Atti Conv. Giovani Ricercatori di Geologia Applicata, Chieti 22-24 Ott. 1998, Vol. abs. 200-201.
- CIOTOLI G., FINOIA M.G., LIPERI L., MELONI F., NISIO S., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2012) - *Mappa di Suscettibilità ai sinkholes nel Lazio e le aree a rischio*. 13° Conferenza italiana utenti Esri, Roma 18-19 aprile 2012.
- COLOMBI A., SALVATI R., CAPELLI G., SERICOLA A., COLASANTO F., CRESCENZI R., MAZZA R., MELONI F. & ORAZI A. (1999) - *Problematiche da sprofondamento catastrofico nelle aree di pianura della Regione Lazio. Il Progetto Sinkhole del Lazio*. Convegno: *Conoscenza e salvaguardia delle aree di Pianura*. Ferrara, Italy, 8-11 Novembre 1999.
- D'ANIELLO V. (2012) - *Il rischio Sinkhole: gli sprofondamenti di natura antropica nel centro storico di Velletri (RM)*. Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA - Fiera di Vicenza, 6-9 novembre 2012: 515-522.
- DE REVILLAS D. (1739) - *Carta topografica della Diocesi e Agro tiburtino*. Stampa, Roma.
- DE ROSSI M.S. (1876) - *Meteorologia endogena*. Fratelli Dumolard Milano, **1**: 220-225.
- DESIDERI M. (1918) - *Le acque albule di Tivoli. Appunti e note del prof. Mariano Desideri*. Tivoli: Tip. Majella, di A. Chicca, 63 pp.
- FACCENNA C., FLORINDO F., FUNICIELLO R. & LOMBARDI S. (1993) - *Tectonic settings and sinkhole features: case histories from Western Central Italy*. Quaternary Proceedings, **3**.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R., MONTONE P., PAROTTO M. & VOLTAGGIO M. (1994) - *Late pleistocene strike in the Acque Albule basin (Tivoli, Latium)*, Mem. Carta Geol. d'It., **44**: 12 pp., Roma.
- GASPARINI C., DI MARO R., PAGLIUCA N.M., PIRRO M. & MARCHETTI A. (2002) - *Recent seismicity of the "Acque Albule" travertine basin*. Annals of Geophysics, **45**, N. 3/4, 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: 9 pp.
- ISPRA (2010b) - *Database nazionale sinkhole*. Catalogo in formato elettronico <http://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/>, Sito web ISPRA.
- ISPRA - ENI - OGS (2009) - *Carta Gravimetrica d'Italia*.
- 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 limitrofe*. Roma.
- LIPERI M., DI GIROLAMO M., LIPERI L., MELONI F., ZIZZARI P., MENICHELLI R. & GUALDI M. (2010) - *Studi geologici ed indagini geognostiche per la valutazione del rischio sinkholes, per il progetto di raddoppio della linea ferroviaria Roma-Pescara (tratto Lunghezza-Guidonia)*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 777-792.
- LIPERI L., MELONI F., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2010) - *Catalogo in Progress dei Sinkhole del Lazio. Revisione ed implementazione del catalogo - Approccio ecosistemico per la valorizzazione dei siti - Normativa e pianificazione territoriale*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 315-328.
- LOMBARDI L. (1977) - *Idrogeologia della Piana delle Acque Albule. Rapporti tra la falda della piana ed i rilievi (Cornicolani e Lucretili)*. Unigeo, 309 pp.
- MAXIA C. (1950) - *Il Bacino delle Acque Albule (Lazio)*. Contr. Sc. Geol. Suppl. Ric. Sc., Roma, **20**: 3-20.
- MELONI F. (2010) - *Terremoti e sprofondamenti - similitudine dei percorsi di ricerca storica, tra casi di sostituzione, effetti nel suolo e liquefazioni*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 97-112.
- MELONI F., NISIO S., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2011) - *The unified regional catalog of Latium sinkholes and risk areas*. Geitalia 2011, 8 Forum italiano di Scienze della Terra, Torino 19 -23 settembre 2011, Epitome, **4**, sess. C3-4.
- MELONI F., NISIO S., CIOTOLI G., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2012) - *I Sinkholes nella Regione Lazio - Catalogo 2011 - su carta geologica informatizzata della Regione Lazio (2012)*. Regione Lazio - Ass. Ambiente e sviluppo sostenibile - Area Difesa del Suolo e Concessioni demaniali, Stampa.
- MELONI F., NISIO S., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2013) - *Il catalogo regionale unificato dei sinkhole del Lazio e le aree a rischio*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93** (2013), 321-354 pp., figg. 39, tab. 1.
- MESSA L. (1998) - *Villalba di Guidonia*. (Notizie e documenti raccolti da L. Messa, Veligraf Montecelio (Roma 1998), 1-142 pp.
- MIELE P. (2010) - *Riconoscimento e censimento delle forme di sprofondamento catastrofico in ambiente carsico - area dei M.ti Aurunci occidentali. Lazio meridionale. Compilazione di un database*. Atti 2° Workshop internazionale: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009: 595-608.
- NISIO S. & SALVATI R. (2004) - *Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana*. 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: 573-584.
- NISIO S. & SCAPOLA F. (2005) - *Individuazione di aree a rischio sinkhole: nuovi casi nel Lazio meridionale*. Il quaternario. Italian Journal of Quaternary Sciences **18**(2): 223-239.
- NISIO S. & SCAPOLA F. (2010a) - *Fontana Liri: i laghi-sorgente Solfataro-Bucone indicatori di tettonica recente*. Atti 2° Workshop internazionale: *I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*, Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA: 607-622.
- NISIO S. & SCAPOLA F. (2010b) - *I sinkholes nel Frusinate*. Atti 2° Workshop internazionale: *I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*, Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA: 329-348.
- NISIO S. (2003) - *I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale*. Il Quaternario, **16** (1): 121-132.
- NISIO S. (2005) - *Aree a rischio sinkhole*. Annuario dei dati ambientali APAT, 2005: 1151-1155.
- NISIO S. (2006) - *Aree a rischio sinkhole*. Annuario dei dati ambientali APAT, 2006.
- NISIO S. (2008a) - *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**, 475 pp.
- NISIO S. (2008b) - *I Sinkholes nel Lazio*. In: S. NISIO, 2008a, Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**: 33-148.
- NISIO S. (2010) - *I sinkholes nelle aree di pianura italiane: i risultati del "Progetto Sinkhole"*. Atti 2° Workshop internazionale: *I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*, Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA: 13-28.
- 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.
- NISIO S., GRACIOTTI R. & VITA L. (2004) - *I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte*. 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: 557-572.
- NISIO S. & SALVATI R. (2004) - *Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana*. 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: 573-584.
- PENTECOST A. (1989) - "Bagni di Tivoli, Lazio: A modern travertine depositing site and its associated microorganisms". Boll. Soc. Geo. It., **108**: 315-324.
- PENTECOST A. & TORTORA P. (1989) - *Bagni di Tivoli (Lazio): a modern travertine depositing site and its associated microorganism*. Boll. Soc. Geol., **108**: 315-324.
- 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, p. 9.
- PIRRO M. & GASPARINI C. (2003) - *Morfologie e sismicità nel preappennino centrale*. Atti 21 GNGTS, Roma, CNR, pp. 9, (in CD rom).
- PRESTINIZI A., LOMBARDI S., SCARASCIA MUGNOZA G., BOZZANO F., PETITTA M., BIANCHI FASANI G., ESPOSITO C., SARANDREA P., BRAGA F., BUTTARAZZI F., GIGLIOTTI R. & LOMIENTO G. (2006) - *Relazione conclusiva relativa alle convenzioni stipulate tra Centro di Ricerca CE.RI. e la Regione Lazio inerente agli studi ed alle indagini condotte nelle zone soggette a fenomeni di subsidenza di Tivoli Guidonia*. Rapporto tecnico.
- REGIONE LAZIO (1981) - *Carta Tecnica regionale della Regione Lazio alla scala 1:10.000*. Roma.
- REGIONE LAZIO (1997) - *Deliberazione della Giunta Regionale 12 novembre 1996, n. 8989 "Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Individuazione delle aree a rischio nella piana di San Vittorino (Rieti). Norme di prevenzione*. Bollettino Ufficiale della Regione Lazio n° 5 del 20 febbraio 1997 - Supplemento Ordinario n° 2: 2-3.
- REGIONE LAZIO (1999) - *Deliberazione Giunta Regionale 18/5/1999, n. 2649 "Linee guida e documentazione per l'indagine geologica e vegetazionale. Estensione dell'applicabilità della legge 2 febbraio 1974, n. 64, Suppl. Ord. n. 5 B.U.R. Lazio N°26*.
- REGIONE LAZIO (2002) - *Deliberazione Giunta Regionale 2/8/2002, n. 1159 "Integrazione alla deliberazione n. 2649 del 18/5/1999, Linee guida e documentazione per l'indagine geologica*

e vegetazionale. Normativa tecnica per le indagini da effettuare nelle zone indiziate di rischio sinkhole". B.U.R. Lazio N° 30, parte I: 18-25, Roma.

SABUCCI S. (1873) - *Pianta Topografica del territorio di Tivoli ridotta dalla censuale*. Stampa, Archivio del Comune di Tivoli.

SALVI S., PIRRO M., GASPARINI C., STRAMONDO S., PAGLIUCA M.N., ATZORI S., COLINI L., TOLOMEI C., DOUMAZ F., FERRETTI A. & ALLIEVI J. (2004) – *Le deformazioni del suolo ricavate da dati satellitari in un settore a rischio sinkhole del bacino delle Acque Albule (Lazio)*. 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.

SICKLER (1819) – *Pian topographique de la campagne de Rome, 1819*.

SALVI S., PIRRO M., STRAMONDO S., PAGLIUCA N.M., ATZORI S., COLINI L., TOLOMEI C., DOUMAZ F., GASPARINI C. & PETITTA M. (2005) – *Analisi multi-disciplinare applicato allo studio del fenomeno di subsidenza relativo al bacino delle Acque Albule (Lazio): confronto di dati provenienti da tecniche satellitari, di campagna, del sottosuolo e geofisici*. GNGTS, Atti del 23° Convegno Nazionale/01.05.

STABILIMENTI TERMALI DELLE ACQUE ALBULE (1934) – *Le acque albule: indicazioni e controindicazioni/ Stabilimenti termali delle acque albule di Tivoli*. Roma, 1934, 20 pp.

VIALE B. & LATINI V. (1857) – *Sulle acque Albule presso Tivoli. Analisi chimica dei professori Benedetto Viale e Vincenzo Latini*. Roma, Tip. Menicanti, 1857, 76 pp.