



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato (legge N°68 del 2-2-1960)

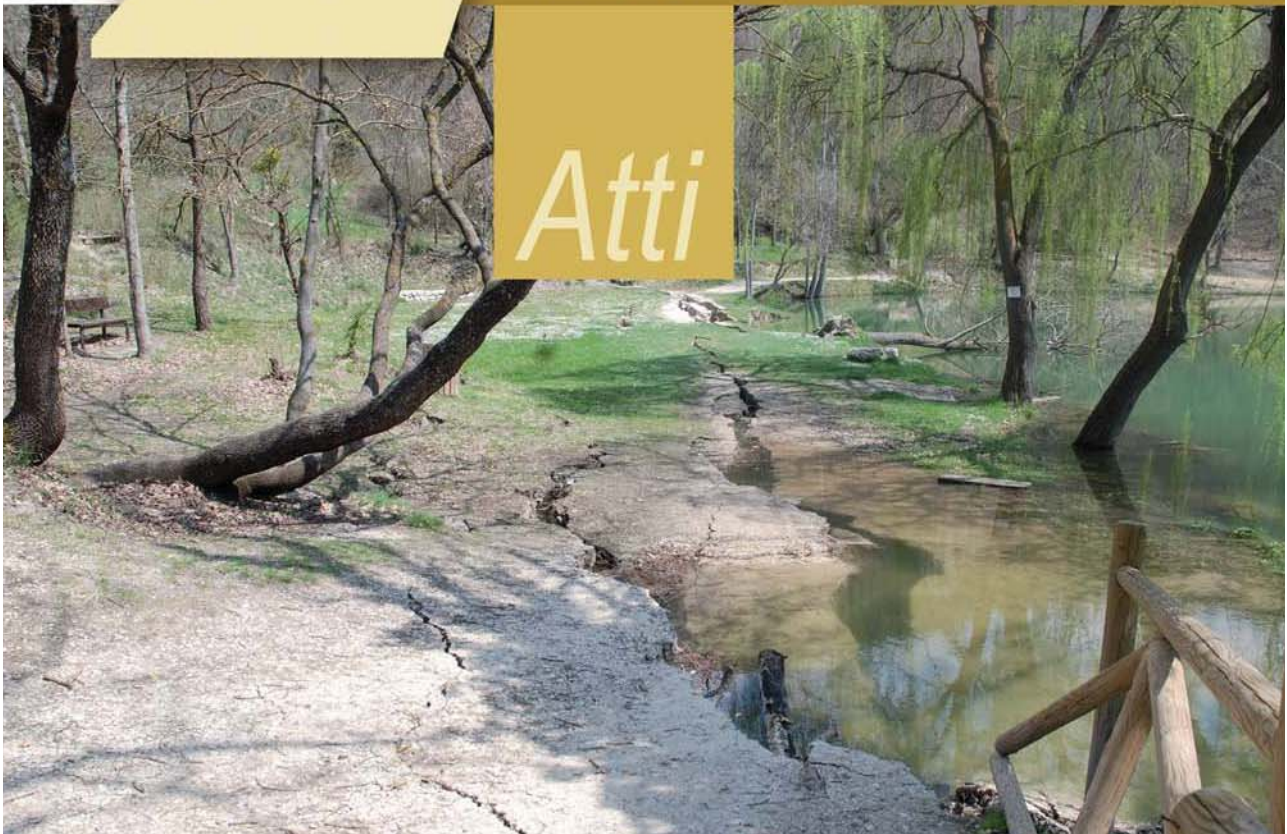
Dipartimento Difesa del Suolo

Workshop Internazionale

I SINKHOLES. GLI SPROFONDAMENTI CATASTROFICI NELL'AMBIENTE NATURALE ED IN QUELLO ANTROPIZZATO

ROMA 3 - 4 DICEMBRE 2009

Atti





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

2° Workshop internazionale

I Sinkholes

Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato

Roma, 3-4 Dicembre 2009

Auditorium ISPRA, Via Curtatone 7, 00185 Roma

Coordinamento Scientifico:

Stefania Nisio

Comitato tecnico scientifico:

Marco Amanti, Mario Aversa, Vincenzo Buchignani, Giuseppe Capelli, Ernesto Centamore, Giancarlo Ciotoli, Stefano Cremonini, Franco Cucchi, Orazio De Angelis, Michele Di Filippo, Francesco Dramis, Calvino Gasparini, Massimo Grisolia, Paolo Maria Guarino, Giulio Iovine, Salvatore Lombardi, Luigi Micheli, Stefania Nisio, Fabio Meloni, Mario Parise, Marco Petitta, Antonio Santo, Gabriele Scarascia Mugnozza, Marcello Schiattarella, Francesco Stoppa, Beniamino Toro, Giulia Ventura.

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

Con la legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del decreto legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, è stato istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

ISPRA - Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
www.isprambiente.it

ISPRA, Serie Atti 2009

ISBN 978-88-448-0400-8

Coordinamento tecnico-scientifico: ISPRA - Stefania Nisio
V. Curtatone 3 - 00185 Roma
Telefono: 0650074940
stefania.nisio@isprambiente.it
<http://www.sinkhole.apat.gov.it>

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Editing e Redazione: ISPRA - Stefania Nisio

Elaborazione grafica: ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Marco Amanti

Coordinamento tipografico
Daria Mazzella
ISPRA - Settore Editoria

Amministrazione
Olimpia Girolamo
ISPRA - Settore Editoria

Distribuzione
Michelina Porcarelli
ISPRA - Settore Editoria

Impaginazione e Stampa
Tipolitografia CSR - Via di Pietralata, 157 - 00158 Roma
Tel. 064182113 (r.a.) - Fax 064506671

Finito di stampare maggio 2010

PREMESSA

di Leonello Serva

Capo Dipartimento Difesa del Suolo

A distanza di 5 anni dal primo workshop internazionale tenutosi con successo a Roma nel maggio 2004 si è ritenuto utile riaccendere l'interesse su un tema geologico, sicuramente dibattuto in ambiente scientifico, ma ancora poco noto all'opinione pubblica.

Il 2° Workshop Internazionale: *I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato* ha costituito il proseguimento ideale dei lavori iniziati con il 1° Workshop.

Si parla molto e spesso di frane e di alluvioni ma poco si conosce riguardo i *sinkholes*, gli sprofondamenti, che al pari degli altri fenomeni di rischio naturale, possono essere altrettanto pericolosi per la popolazione qualora si verificano in aree antropizzate.

Questo secondo evento, a cui hanno partecipato oltre 450 esperti, è stata l'occasione per fare il punto sullo stato dell'arte in merito alla conoscenza di questi fenomeni, per chiarire le problematiche ancora aperte circa i meccanismi genetici e la determinazione delle aree a rischio sprofondamento distribuite sul territorio nazionale, e per effettuare un confronto con la comunità scientifica internazionale.

Il workshop è stato un'importante momento di discussione tra il mondo scientifico e quello professionale e ha trovato l'interesse anche delle pubbliche Amministrazioni e degli Enti Locali competenti nella tutela e gestione del Territorio, ai fini di una seria previsione e prevenzione del fenomeno sia in aree già urbanizzate che in quelle naturali.

Come accennato sopra, hanno partecipato al meeting i più importanti esperti del mondo accademico italiano, eminenti Professori di quasi tutti i Dipartimenti Universitari che si occupano di studi sul territorio, inoltre ricercatori dei principali Enti di ricerca italiana (Dipartimento di Protezione Civile, CNR, INGV, ASI, ESA etc.), funzionari e dirigenti delle Regioni, tecnici comunali, specialisti delle Autorità di Bacino. Tale eterogeneità di provenienza ha contribuito ad arricchire la discussione scientifica.

Sono stati presentati studi e lavori svolti anche da professionisti che operano direttamente sul territorio e hanno dovuto affrontare in forma diretta problematiche riguardo presenza di cavità e di sprofondamenti in atto (erano presenti in sala i maggiori esperti dei più importanti Studi di Geotecnica, ANAS, Italfer, Roma Metropolitane etc.).

Utili si sono rivelati i contributi di alcune Università Spagnole, del Regno Unito, Ciprota e della Florida.

È da evidenziare infine che hanno presenziato agli interventi alcune testate giornalistiche ed inviati di alcune radio e televisioni Nazionali e Regionali.

INDICE

Premessa	3
----------------	---

SESSIONE 1 - IL QUADRO CONOSCITIVO DEI FENOMENI DI SINKHOLE: MECCANISMI GENETICI E METODOLOGIE D'INDAGINE

<i>Nisio S.</i> - I sinkholes nelle pianure italiane: i risultati del "Progetto Sinkhole"- ISPRA	13
<i>Cremonini S.</i> - Can subaerial pockmarks exist?	29
<i>Cremonini S., De Waele J., Forti P., Sanna L., Vigna B.</i> - May subcutaneous evaporites enhance the risk of suffusion dolines ? Examples from Emilia Romagna, Piedmont, Apulia (Italy), Cardona (Spain) and Siberia (Russia)	35
<i>Schiazza M. & Tranquilli A.</i> - Pit falls and sinkholes: an analogous mechanism features in different geological situation	47
<i>Stoppa F.</i> - Maars, diatremi, vulcani di fango, crateri da impatto, piping sinkhole: distinzioni e criteri classificativi	61

SESSIONE 2 - SPROFONDAMENTI E RICERCA STORICA

<i>Aversa M., D'Aniello V.</i> - Informazioni storiche e fenomeni di sprofondamento nel comprensorio dell'antica città volsca di Velletri (rm)	75
<i>Guarino P.M. & Nisio S.</i> - Il contributo della ricerca storico-archivistica nello studio dei sinkhole della piana del F. Sarno (Campania, ITALIA)	85
<i>Meloni F.</i> - Terremoti e sprofondamenti – similitudine dei percorsi di ricerca storica, tra casi di sostituzione, effetti nel suolo e liquefazioni.	97
<i>Nisio S. & Ventura G.</i> - Le ricerche storiche nello studio dei fenomeni di sprofondamento: alcuni esempi	113
<i>Pirro M.</i> - Il contributo della toponomastica in chiave geologica nello studio delle aree soggette agli sprofondamenti del suolo: il caso di un tratto della Campagna Romana (Lazio).	131

SESSIONE 3 - SINTESI REGIONALI

<i>Alemanno D., Damato B., Denora D., Di Santo A.R., Fiore A., Iacobellis V. & Intini V.</i> Il ruolo delle voragini nella valutazione della pericolosità idraulica delle aree endoreiche della Penisola Salentina - Sinkholes role in the evaluation of hydraulic risk for the endorheic basins of Peninsula Salentina.	145
<i>Beccarisi L., Delle Rose M., Ernandes P., Napoletano S., Zuccarello V.</i> Distribuzione geografica e stato di conservazione delle doline di crollo della costa ionica salentina (Puglia meridionale)	165
<i>Borgatti L., Bianchi E., Bonaga G., Gottardi G., Landuzzi A., Marchi G., Mastrangelo A., Rodorigo S., Vico G., Vittuari L.</i> - Fenomeni di sprofondamento del piano di campagna in pianura padana: il ruolo del contesto geologico, geomorfologico e geotecnico	181
<i>Brinkmann R., Hafen M., and Van Beynen P.</i> - Paleosinkholes and Modern Sinkholes in the Brooksville Ridge Region of Florida, USA: Clues to Landscape Genesis.	203
<i>Calligaris C., Zini L., Cucchi F., Stefanelli N.</i> - Gypsum's role in the Friuli Venezia Giulia sinkholes	213
<i>La Vigna F., Di Salvo C., Mazza R., Capelli G., Taviani S. & Teoli P.</i> - IWSD – Italian Web Sinkhole Database. Caratteristiche, stato d'aggiornamento e prospettive future della banca dati on line dei sinkholes dell'Università di RomaTRE.	223
<i>Caredda P., Mariolu E., Nisio S.</i> - I sinkholes in Sardegna meridionale. Alcuni esempi dal Sulcis Iglesiente e possibili correlazioni con le attività antropiche	231
<i>Cooper A.H., Farrant A.R., Price S.</i> - Karst, GIS and geological hazard planning and management in Great Britain.	243
<i>Cremonini S.</i> - A preliminary overview of sinkholes in the Emilia-Romagna Region (Italy)	257
<i>Del Prete S., Di Crescenzo G., Santo A.</i> - I sinkhole dell'Appennino Campano: stato delle conoscenze	283
<i>Di Maggio C., Di Trapani F.P., Madonna G., Salvo D. & Vattano M.</i> - Primo contributo sui sinkhole nelle evaporiti della Sicilia (Italia) - first report on the sinkhole phenomena in the Sicilian evaporites (Italy)	299

<i>Liperi L., Meloni F., Tonelli V., Zizzari P.</i> - Catalogo in Progress dei Sinkhole del Lazio. Revisione ed implementazione del catalogo – Approccio ecosistemico per la valorizzazione dei siti – Normativa e pianificazione territoriale	315
<i>Nisio S. & Scapola F.</i> - I sinkholes nel frusinate	329
<i>Poyiadji El., Hadjicharalambous Kl., Sampatakakis P., Karmis P., Demetriadis Al., Nikolaou N., Stergiopoulos C.</i> - Sinkholes due to gypsum dissolution. Genetic mechanism – Definition of sinkhole prone areas. A case study in Cyprus	349
<i>Soriano M.A., Luzón A., Pérez A., Pocoví A., Simón J.L., Gil H.</i> - Past and present doline development in the central Ebro Basin (NE Spain)	359
<i>Teoli P., Capelli G. & Mazza R.</i> - Metodologie per la definizione della pericolosità da sinkhole nella Piana Pontina	371
<i>Tiberi V.</i> - Analisi della suscettibilità da sinkholes per collasso di cavità naturali nelle Marche settentrionali	387

SESSIONE 4 - CASI DI STUDIO

<i>Annunziatellis A., Ciotoli G., Guarino P. M., Nisio S.</i> - Nuovi dati sui sinkholes del bacino delle Acque Albule (Tivoli, Roma)	395
<i>Bersani P., Canalini A., Nisio S.</i> - Segnalazione di fenomeni di sprofondamento nell'area di Sasso di Furbara (Santa Severa-Roma)	413
<i>Bughignani V., Di Filippo M. & Di Nezza M.</i> - Individuazione di zone a rischio sinkhole, metodologie operative a Camaione (Lu)	423
<i>Canora F., Caporale F., Fidelibus M.D., Gutierrez F., Leandro G., Spilotro G.</i> Variazioni idrogeologiche e riattivazione del carsismo nei gessi di Lesina Marina (Puglia)	435
<i>Cremonini S., Martelli L., Zanutta A.</i> - An Initial approach to the analysis of alluvial plain sinkhole-clusters at Finale Emilia and Reno Finalese (Modena - Italy)	453
<i>Dell'Aringa M., Giannecchini R., Puccinelli A.</i> - Le micro-sinkholes di Paganico (Piana di Lucca, Toscana): aspetti stratigrafici, idrogeologici e geotecnici	469
<i>Di Filippo M. & Di Nezza M.</i> - Marcellina e Gissi, origine naturale e antropica dei sinkhole.	487

<i>Di Nezza M., Cecchini F., Margottini S., Di Filippo M.</i> - Il Bacino delle Acque Albule, Sinkholes e Assetto Geologico-Strutturale	501
<i>Festa Vi., Fiore A., Parise M. & Quarta G.</i> - Il sinkhole di Masseria Forte di Morello (prov. Lecce, Puglia)	509
<i>Giustini F., Brilli M., Ciotoli G., Lombardi S., Nisio S.</i> - Metodologie geologiche e geochemiche applicate allo studio dei sinkholes della piana del Fucino [Italia centrale]	525
<i>Guarino P.M. & Nisio S.</i> - I sinkholes del settore nord orientale della piana del F. Sarno: ulteriori dati relativi all'assetto litostratigrafico del sottosuolo	541
<i>Guarino P.M. & Nisio S.</i> - Sprofondamenti naturali ed antropici nella media Valle del Fiume Aterno (Abruzzo): l'area di S. Pio delle Camere	553
<i>Iovine G., Parise M., Caloiero T., Lanza G. & Suriano S.</i> - I sinkhole di Piano dell'Acqua (San Basile – Calabria settentrionale). Indagine sulle fasi di attivazione su base storica, geomorfologica, ed idrologica	565
<i>Ludovico D. & Nisio S.</i> - Fenomeni di sinkhole nella Regione Molise. Esempi in provincia di Campobasso.	583
<i>Miele P.</i> - Riconoscimento e censimento delle forme di sprofondamento catastrofico in ambiente carsico – area dei M.ti Aurunci occidentali. Lazio meridionale. Compilazione di un database.	595
<i>Nisio S. & Scapola F.</i> - Fontana Liri: i laghi-sorgente Solfatarata-Bucone indicatori di tettonica recente	607
<i>Parise M., Perrone A., Violante C., Stewart J.P., Simonelli A. & Guzzetti F.</i> - Activity of the Italian National Research Council in the aftermath of the 6 April 2009, Abruzzo earthquake: the Sinizzo Lake case study	623
<i>Ruisi M., Moretti D., Bersani P.</i> - Fenomeni di sinkhole all'interno dei bacini endoreici nel bacino idrografico del Tevere	643

SESSIONE 5 - CASI DI STUDIO: SPROFONDAMENTI NELL'AMBIENTE ANTROPIZZATO

<i>Barnaba F., Caggiano T., Castorani A., Delle Rose M., Di Santo A.R., Dragone V., Fiore A., Limoni P.P., Parise M. & Santaloia F.</i> - Sprofondamenti connessi a cavità antropiche nella Regione Puglia	653
--	-----

<i>Berardi C., Buonamassa G., Denora A., Fiore A., Lorusso G., Pepe P., Walsh N. & Zaccaria V.</i> - Il catasto delle cave in sotterraneo, "ccs", di Altamura (Ba): attività di censimento nelle aree interessate da cavità antropiche	673
<i>Corazza A.</i> - Individuazione di movimenti precursori di sprofondamenti nell'area urbana di roma attraverso l'utilizzo dell'interferometria differenziale	685
<i>De Pascalis A., De Pascalis F. & Parise M.</i> - Genesi ed evoluzione di un sinkhole connesso a cavità antropiche sotterranee nel distretto estrattivo di Cutrofiano (prov. Lecce, Puglia)	703
<i>Del Greco O., Godio A., Oggeri C., Vigna B.</i> - Indagini geognostiche nella valutazione del rischio di subsidenza da coltivazioni minerarie per vuoti	719
<i>Fiore R., Pacifici G., Sciotti A.</i> - Realizzazione di opere in sotterraneo in presenza di cavità in ambito urbano. Il caso di Roma.	737
<i>Gizzi F.T., Loperte A., Satriani A., Potenza M.R., Proto M., Lapenna V.</i> The role played by grottoes in increasing the seismic damage: the case of Rionero in Vulture (southern Italy)	755
<i>Guarino P.M. & Minutolo V.</i> - Anthropogenic sinkholes: simulazione attraverso modellazione numerica dello sprofondamento prodotto in superficie dal collasso di una cavità: il caso della Grotta di Cocceio (Campi Flegrei, Napoli)	767
<i>Lanzini M., Di Girolamo M., Liperi L., Meloni F., Zizzari P., Menichelli R., Gualdi M.</i> - Studi geologici ed indagini geognostiche per la valutazione del rischio sink-holes, per il progetto di raddoppio della linea ferroviaria Roma-Pescara (tratto Lunghezza-Guidonia)	777
<i>Lazzari M.</i> - Collasso di cavità antropiche e sviluppo di piping-sinkholes in ambito urbano: il caso di studio del centro storico di Tursi (Basilicata)	793
<i>Lollino P. e Parise M.</i> - Analisi numerica di processi di instabilità di cavità sotterranee e degli effetti indotti in superficie	803
<i>May A., Carsana M., Castellanza R., Spada M., Orlandi G.M., Bianchi S., Bertolini L.</i> - Rischi di crollo catastrofico di cavità antropiche: le ex gallerie minerarie di gesso allagate di Santa Brigida (BG) – Studi, modellazioni ed opere pilota di consolidamento	817
<i>Nisio S.</i> - Fenomeni di sprofondamento in alcuni centri urbani	845
<i>Stecchi F., Mancini F., Gabbianelli G.</i> - Analisi del rischio nella città di Tuzla (Bih) in relazione ai fenomeni di deformazione del suolo connessi all'estrazione di salgemma.	865

<i>Succhiarelli C., Sciacca P., Fucci F., Marabotto F.</i> - Individuazione di un'area a rischio sinkholes interessata da un programma integrato di intervento urbanistico (Pr.Int. "Prima Porta", Roma)	881
--	-----

SESSIONE 6 - SISTEMI DI MONITORAGGIO E TECNICHE D'INTERVENTO

<i>Buccomino G., Capecechi P., Vecchio M., Vinci M., Cazzella R.</i> - Monitoraggio idrogeologico ed ambientale del Pozzo del Merro (Roma)	903
<i>Buchignani V., Binda Rossetti I., Leva D., Rivolta C.</i> - Monitoraggio interferometrico con radar da terra in area a rischio sinkhole. L'esempio di Camaione.	913
<i>Calcaterra D., Esposito A., Fuschini V., Galluccio F., Giulivo I., Nardò S., Russo F., Terranova C.</i> - L'utilizzo della tecnica Psinsar™ per l'individuazione ed il monitoraggio di sinkholes in aree urbanizzate della Campania: i casi di Telesse Terme (Bn) e Sarno (Sa)	931
<i>Castiello G., Fedi M., Florio G., Grimaldi M.</i> - Indagini microgravimetriche per l'individuazione di cavità sotterranee in ambienti urbani: i casi di Cardito (Na) e di Lesina Marina (Fg)	949
<i>Costantini F., Fea M., Nisio S., Sarti. F.</i> - Radar interferometry: preliminary study about sinkhole prone areas.	967
<i>Di Filippo M., Tartarello M.C.</i> - Nuovi dati gravimetrici e caratteri geologici del settore sud-est della Conca di Camaione (Lu)	973
<i>Iovine G., Parise M., Ferraro G., Lanza G., Suriano S.</i> - Primi risultati di prospezioni di tomografia geoelettrica a piano dell'acqua (San Basile - Calabria Settentrionale)	979
<i>Pueyo Anchuela, Ó., Casas Sainz, A.M., Soriano, M.A., Pocoví Juan, A.</i> - Geophysics for doline detection. Proposal of a Systematic Survey routine in alluvial dolines of the central Ebro	991
<i>Barsotti A., Buchignani V., Musmeci F., Rizzo S.</i> - Monitoraggio sismico in aree a rischio di sinkhole: l'esempio di Camaione	1005

PRIMI RISULTATI DI PROSPEZIONI DI TOMOGRAFIA GEOELETTRICA A PIANO DELL'ACQUA (SAN BASILE – CALABRIA SETTENTRIONALE)

di Iovine G.¹, Parise M.², Ferraro G.³, Lanza G.⁴ & Suriano S.⁵

ABSTRACT

A set of five sinkholes has recently been surveyed in detail at San Basile (Northern Calabria), in locality "Piano dell'Acqua". The sinkholes are located within a small valley draining toward the east. They are quite limited in size; two of them present elongated shapes, whilst the remaining three are circular. In the area, Pliocene conglomerate and sand crop out, that appear to be dislocated by tectonic structures.

The sinkholes have first been examined by means of multi-temporal aerial photos; the outcomes from this phase of analysis have been checked in the field, through geo-structural and geomorphological surveys. An historical investigation has also been performed to collect and critically evaluate the existing information and testimonies about the age of occurrence of the phenomena. At this aim, several interviews with local inhabitants have been performed, and a number of archives scrutinized.

As a result, the periods of origin of the sinkholes at Piano dell'Acqua could be hypothesized. Analyses of the seismic catalogues have allowed to exclude earthquakes as a possible trigger. The origin of the studied phenomena could be related to sub-cutaneous erosion, within an area that is rich in groundwater: local changes in the water table, related to either climate or human activities, may have triggered the sinkholes. Further analyses of the meteoric characteristics of the area, as recorded at the rain gauges located in the surroundings of San Basile, have recently been carried out, aiming at verifying the role of the rainfalls and of the alternances of humid and dry periods in the origin of the examined cases (cf. Iovine et al., this volume).

Furthermore, with the aim of better understanding the litho-structural and hydrogeological setting of the study area, a campaign of geoelectrical tomographies has been carried out in August 2009. The adopted method is based on the application of 2D-models (Electrical Resistivity Tomography) to determine the subsurface resistivity. In such a way, the characteristics of the underground materials, as well as the presence of tectonic discontinuities or unknown underground cavities in the study area could be analysed.

After a brief description of the study area and of the surveyed sinkholes, the adopted method of geoelectrical investigation is presented, and the main results are discussed.

1 CNR-IRPI, via Cavour 6 – 87039 Rende (CS), g.iovine@irpi.cnr.it

2 CNR-IRPI, via Amendola 122-I – 70126 Bari

3 Geofisica Misure s.n.c. – Trebisacce (CS)

4 Geologo libero professionista, Castrovillari (CS)

5 Collaboratore, CNR-IRPI, Rende (CS)

In short, the geo-structural setting previously hypothesized has been confirmed and better detailed. Two distinct NE-SW trending fault segments crossing the study area have been recognised: 4 out of the 5 sinkholes are just located along such segments. Furthermore, even though no clear evidence of subsurface cavities has been recognised, some resistivity anomalies could be pointed out: in one case, low resistivity values are to be found to a depth of 20 m, and may be ascribed either to a cataclastic zone or to a cavity filled by low-resistance material; on the other hand, two high-values anomalies can be recognised at 5-15 m, that may be caused by small cavities or by the early effects of suffosion processes. In both cases, such conditions may in time origin new sinkholes.

1. PREMESSA

Nell'ambito di uno studio a scala regionale, recentemente realizzato al fine di costituire una banca dati dei fenomeni da *sinkhole* in aree di pianura della Calabria (LOVINE & PARISE, 2008), sono stati riscontrati n.5 fenomeni di sprofondamento nei pressi di Piano dell'Acqua (San Basile - Calabria settentrionale). Tali fenomeni sono caratterizzati da dimensioni limitate e da un grado di "freschezza geomorfologica" diversificato, e si rinven-gono nell'ambito di una vallecola poco pronunciata, nella coltre detritica colluviale a copertura di litotipi prevalentemente sabbioso-conglomeratici di età plio-quadernaria.

Sono state effettuate indagini geologico-geomorfologiche e storico-archivistiche (LOVINE *et al.*, *submitted*), al fine di pervenire ad una prima caratterizzazione dell'area e per ricostruire la sequenza delle fasi di presumibile origine degli stessi sprofondamenti. Avendo escluso come potenziali cause - sulla base delle informazioni raccolte - gli eventi sismici e l'azione antropica, le suddette fasi sono state quindi analizzate con maggior dettaglio da un punto di vista idrologico, verificando per esse i caratteri di eccezionalità delle precipitazioni (cumulate per varie aggregazioni temporali) e dei periodi siccitosi (LOVINE *et al.*, in questo volume).

Allo scopo di approfondire le conoscenze sui caratteri lito-strutturali dell'area, nell'agosto del 2009 sono state realizzate alcune indagini geofisiche, finalizzate alla ricostruzione dell'assetto geo-litologico ed idraulico dei terreni. Il metodo utilizzato si basa sulla determinazione della resistività del sottosuolo mediante modelli bidimensionali (ERT, *Electrical Resistivity Tomography* - GRIFFITHS *et al.*, 1990; 1993). La scelta del metodo è stata dettata, oltre che da vincoli di carattere economico, dalla possibilità di riconoscere indizi di cavità nell'immediato sottosuolo della zona investigata.

Nel seguito, dopo una breve descrizione dell'area di studio e degli sprofondamenti in essa rilevati, si illustra il metodo di indagine adottato per le prospezioni e si riportano i risultati delle stesse, con alcune considerazioni finali in merito alla costituzione del sottosuolo nella vallecola indagata.

2. I SINKHOLE DI PIANO DELL'ACQUA

La località di Piano dell'Acqua, nel territorio di San Basile, è ubicata in corrispondenza del margine occidentale del bacino del F. Crati, in una zona di transizione tra i sedimenti plio-quadernari di riempimento del *graben*, e le unità costituenti l'ossatura della Catena Costiera (Figura 1 - IANNACE *et al.*, 2007). Poco ad W del sito di indagine, un sovrascor-rimento di rilevanza regionale, a sviluppo ca. NNE-SSW, determina la sovrapposizione delle filladi dell'Unità di Diamante-Terranova sulle dolomie triassiche dell'Unità Lungro-Verbicaro (IANNACE *et al.*, 2005). Ad E-NE, nell'ambito degli affioramenti plio-pleistocenici, la carto-

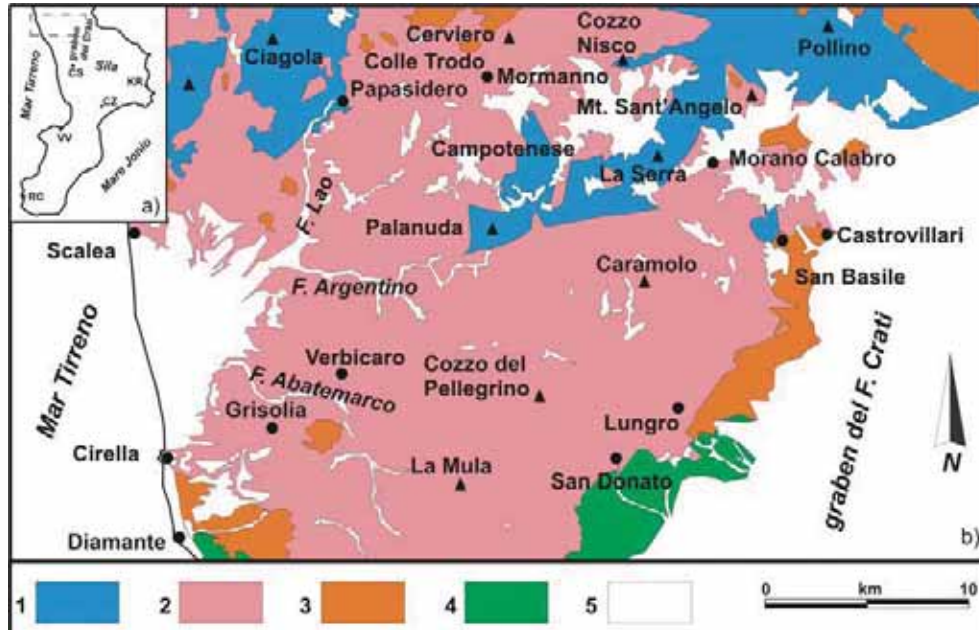


Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio [a] e schema geologico semplificato della Calabria nord occidentale [b], tratto da Iannace et al. (2007). Legenda: 1) Unità Pollino-Ciagola (Norico-Langhiano); 2) Unità di Lungro-Verbicario (Anisico-Aquitano); 3) unità ofiolitiche (Giurassico sup.-Cretacico inf.); Unità di Diamante Terranova ed Unità di Malvito; nell'area del Pollino, Complesso Liguride (Giurassico sup.-Aquitano); Unità del Frido, Unità Nord-Calabrese, Formazione delle Crete Nere, Formazione del Saraceno, Complesso ad Affinità Sicilide; 4) Conglomerati ad elementi di piattaforma carbonatica (Tortoniano sup.-Messiniano); 5) depositi alluvionali, lacustri e costieri, detrito di falda, corpi di frana (Pliocene-Attuale).

grafia geologica segnala inoltre la presenza di alcune strutture dirette, ancora orientate NNE-SSW, di modesta estensione e ribassanti verso oriente (CASMEZ, 1969; 1970).

I *sinkhole* si rinvennero nell'ambito di una vallecchia, ubicata tra 325 e 400 m s.l.m. a SE di Piano dell'Acqua, in sinistra idrografica di un affluente del F. Coscile (Torrente Cuppone - Figure 2 e 3). Nel sito affiorano alternanze di sabbie e conglomerati poligenici, localmente associate a conglomerati ben cementati ed a sabbie a grana fine o medio-grossolana (Pliocene sup-Calabriano). La permeabilità dei materiali è generalmente elevata; la resistenza all'erosione è variabile, in funzione del locale grado di cementazione. In superficie si riscontra una diffusa copertura colluviale, spesso anche alcuni metri. Nei pressi del sito si rinvennero inoltre sabbie e conglomerati terrazzati.

I *sinkhole* #1 e #4 presentano una forma allungata, mentre i casi #2, #3 e #5 tendono ad una forma più circolare. Le dimensioni degli assi maggiore e minore variano tra 5-10 m e 5-8 m, rispettivamente, per una profondità di 1,5-2,5 m. In generale, il punto più depresso è ubicato presso il margine di valle dei fenomeni, in corrispondenza dell'asse maggiore, ove le pareti interne risultano più acclivi. Per quanto riguarda i caratteri relativi di "freschezza" morfologica, il #1 presenta l'aspetto meno modellato, mentre i casi #3 e #5 sono i più modellati ed ospitano vegetazione arbustiva. I casi #2 e #4 sono infine mediamente modellati.

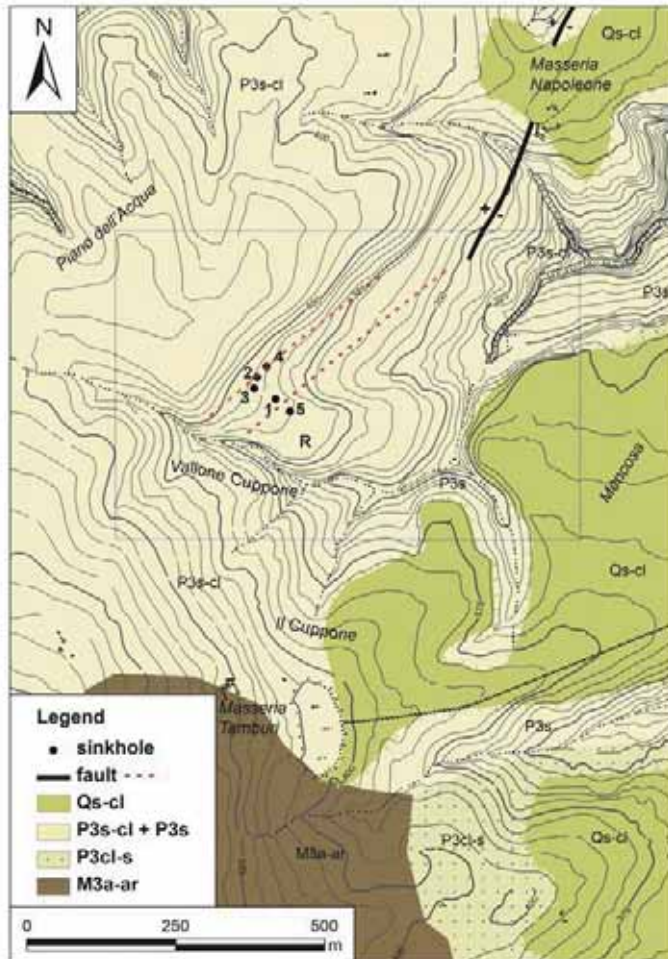


Fig. 2 - Piano dell'Acqua (San Basile): schema litologico dell'area di studio [tratto da CASMEZ, 1969; 1970], con l'ubicazione dei 5 sinkhole, l'indicazione [in nero] del tratto di faglia segnalata nei pressi di Masseria Napoleone, e [in tratteggio rosso] dei segmenti ipotizzati da Iovine et al. [submitted].
 Legenda: Qs-cl) sabbie gialle o giallo-rossastre oppure ocracee, sabbie con ciottoli e conglomerati, mal stratificati, ed in genere terrazzati, di ambiente marino (Pleistocene); P3s-cl) Alternanza di sabbie e conglomerati poligenici di colore giallo bruno-rossastre, con ciottoli eterometrici di natura calcarea, arenacea, o cristallina, ben arrotondati, caratterizzata da brusche variazioni laterali e verticali di facies (Pliocene sup.-Calabriano); P3s) lenti di sabbie giallastre o rossastre, a grana da fine a media, poco cementate e mal stratificate (Pliocene sup.-Calabriano); P3cl-s) conglomerati ben cementati associati a sabbie grossolane (Pliocene sup.-Calabriano); M3a-ar) Argille grigio-verdastre e brune, con sottili intercalazioni di arenarie marroni, da fini a grossolane, e con lenti di arenarie grossolane, conglomerati e sabbie giallo-biancastre (Miocene sup.). Il simbolo "R" indica l'ubicazione di alcuni ruderi. I trattini che marcano il perimetro degli affioramenti di Qs-cl evidenziano l'orlo dei terrazzi. Il rettangolo grigio indica l'area indagata in dettaglio da Iovine et al. [submitted].

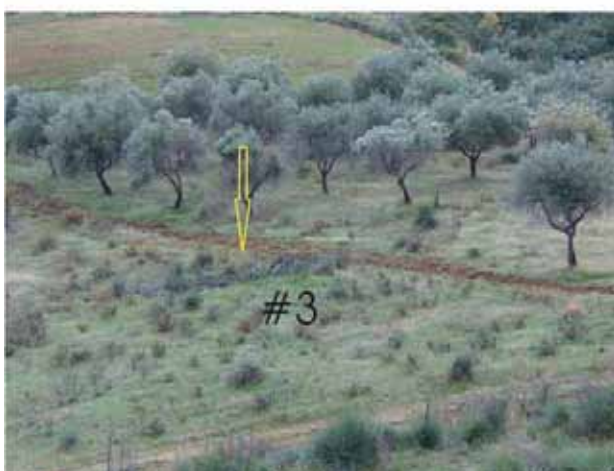
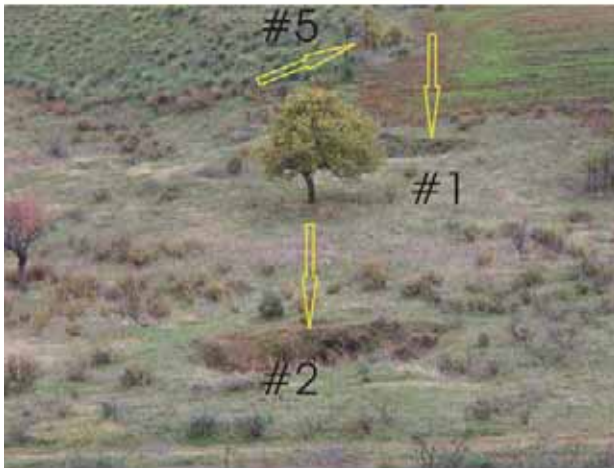


Fig. 3 - Vedute (da NW) dei 5 sinkhole di Piano dell'Acqua (foto del 27 novembre 2008).

Relativamente all'epoca di origine degli sprofondamenti, in base alle testimonianze raccolte in loco ed a informazioni di carattere storico e geomorfologico, IOVINE *et al.* [submitted] hanno ipotizzato le seguenti fasi: 1) i casi #3 e #5 risalirebbero alla metà-fine degli anni '70; 2) i casi #2 e #4 all'inverno 2000-2001 (prima del 4 febbraio 2001); 3) il caso #1 si sarebbe originato successivamente al 4 febbraio 2001, ma prima del 14 novembre 2007. Nello stesso lavoro, in base alle evidenze litologiche riscontrate in affioramento nei dintorni dell'area interessata dagli sprofondamenti, ed all'analisi della citata cartografia geologica ufficiale, era stata ipotizzata la presenza di due segmenti di faglia, orientati all'incirca NE-SW ed attraversanti l'area in corrispondenza della stradina per Masseria Napoleone ["sfiorata" dall'apertura di 3 dei 5 *sinkhole*], e alcune decine di metri più a SE, ca. in corrispondenza del #1 (cfr. Figura 2).

3. METODO DI STUDIO

In campagna, per eseguire le misure di resistività apparente in configurazione multi-elettroica, è stato utilizzato un sistema costituito da un georesistivometro (ABEM, modello Terrameter SAS4000) a 4 canali di acquisizione simultanea con isolamento galvanico, per misure di resistività, polarizzazione indotta e potenziale spontaneo, con le seguenti caratteristiche: selezione automatica o manuale della corrente immessa (0.20, 0.50, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 mA); energizzazione con tensione max = 400 V (800 V *peak-peak*); potenza max = 100 W; accuratezza della trasmissione di corrente = 0.5 % con misure a 100 mA; lunghezza dell'impulso di corrente = 0.1–4 s.; impedenza = 10 M Ω risoluzione = 30 nV; accuratezza $dV/I < 1\%$; precisione $dV/I < 0.5\%$.

Per eseguire le misure in configurazione multielettroica, al georesistivometro è stato abbinato un selettore automatico (ABEM, modello Lund ES-64), capace di gestire contemporaneamente n.64 elettrodi. Gli elettrodi (in acciaio *inox*), infissi nel terreno, sono stati connessi al selettore tramite cavi *multicore*.

In due diversi esperimenti, sono stati utilizzati n.41 elettrodi (*Tomo-1*) e n.34 elettrodi (*Tomo-2*). I picchetti erano intervallati di 5 metri, e gli stendimenti ottenuti avevano una lunghezza di 200 e 165 metri. Com'è noto, la disposizione degli elettrodi di corrente rispetto a quelli di potenziale determina il tipo di configurazione delle misure, alla quale corrisponde una sensibilità alla definizione delle variazioni di resistività del terreno. Per la *Tomo-1*, orientata ca. NE-SW (cfr. A-B in Figura 4), sono stati utilizzati quattro canali di acquisizione simultanea dei valori di potenziale, energizzando su due elettrodi di corrente esterni, ed effettuando ogni lettura di potenziale generato su quattro coppie di elettrodi interni ai primi due. Questo dispositivo ha una sensibilità alla rilevazione delle variazioni di resistività che dipende dalla posizione delle varie coppie di elettrodi di potenziale rispetto a quelli di corrente (*Multiple Gradient Array* - DAHLIN & ZHOU, 2006). Per la *Tomo-2*, orientata ca. NW-SE (cfr. C-D in Figura 4), si è scelto invece di adoperare un *array* di tipo Wenner-Schlumberger: i due elettrodi di potenziale sono all'interno di quelli di corrente con spaziature variabili, ma simmetriche; i quattro elettrodi sono spazati di un valore variabile da un minimo, pari alla distanza elettroica minima (a), e un massimo ($n \cdot a$), in relazione alla profondità che si vuole indagare ed al numero di elettrodi disponibili nell'*array* realizzato. Questa configurazione determina un segnale robusto, ed ha il pregio di essere poco influenzata dai disturbi ambientali (correnti telluriche e indotte da disturbi vari). La profondità di indagine è stata spinta al massimo ottenibile dalla configurazione usata.



Fig. 4 - Traccia dei due profili tomografici (Tomo-1 e Tomo-2), effettuati a Piano dell'Acqua (indagini risalenti all'agosto 2009). Sono indicate anche le ubicazioni degli sprofondamenti (#1-5).

Le misure di campagna sono realizzate in maniera automatica, ma con il costante controllo dei dati che venivano acquisiti. Il valore della corrente immessa è variato tra i 100 e i 500 mA.

Il passaggio dai valori di resistività apparente, misurati in campagna, ad un modello bi-dimensionale di resistività reale del terreno, è stato eseguito tramite l'inversione dei dati, utilizzando un apposito *software* (RES2DINV - LOKE, 2002). L'inversione consiste nel produrre dei modelli di resistività reale ipotetici, su cui vengono calcolati dei valori sintetici di resistività apparente in relazione al tipo di *array* utilizzato. I valori calcolati vengono confrontati, in cicli iterativi, con quelli misurati fino a che l'errore può essere considerato accettabile. Il modello "finale" di resistività reale sarà quello che prevede resistività apparenti calcolate che più si avvicinano a quelle misurate. Più la sezione di resistività apparente calcolata si avvicina a quella delle resistività misurate, migliore sarà l'attendibilità del modello di resistività reale finale.

Il processo di inversione non ha soluzioni univoche. Al fine di migliorarne il risultato, è opportuno tenere conto del contesto di indagine, adottando dei vincoli per ridurre l'incertezza del processo di elaborazione. Nel caso di studio, in entrambe le sezioni sono stati adottati processi di inversione che prevedono variazioni graduali di resistività, rispettando le variazioni litologiche dei depositi pliocenici presenti nel sottosuolo di interesse (ovvero, conglomerati in cui sono molto variabili la granulometria, l'abbondanza ed il grado di cementazione della matrice, nonché la natura dei clasti). Inoltre, come accennato, la presenza di dislocazioni tettoniche nel sito di indagine era oggetto specifico di verifica: in base a ciò, si prevedeva uno stato di fratturazione e caratteristiche idrogeologiche variabili lateralmente, con bruschi gradienti in prossimità dei contatti tra i diversi blocchi dislocati, ma con andamenti graduali all'interno degli stessi, al variare dello stato di fratturazione (e quindi idraulico).

4. RISULTATI

In entrambi i modelli tomografici (cfr. Figure 5 e 6) sono state riscontrate spiccate variazioni laterali di resistività, sia nelle aree più superficiali che in profondità. In particolare, un primo orizzonte basso-resistivo caratterizza la parte centrale di entrambi i modelli, con r variabili tra 5 e 45 Ωm . Tali valori sono associabili a termini sabbiosi fini, contenenti anche importanti frazioni pelitiche limoso-argillose, con spessore fino a circa 10 metri. I tratti iniziali dei modelli (cfr. estremi A e C) si sviluppano su conglomerati e arenarie con valori di resistività elevata (in genere superiori a 200 Ωm). Proseguendo lungo i profili, si osserva in superficie un brusco passaggio ad una zona basso-resistiva centrale, presumibilmente legata alla presenza di una prima struttura tettonica (riferibile a quella precedentemente osservata in campagna lungo il fianco sinistro del torrente Cuppone - cfr. *LOVINE et al., submitted*).

Nella *Tomo-1*, in profondità si osserva una zona centrale caratterizzata da valori di resistività reale compresi tra 80 e 280 Ωm ; sui lati, essa tende ad aumentare fino a oltre 500 Ωm . Tale differenza può essere imputata, almeno in parte, a variazioni dello stato di fratturazione e di umidità della compagine conglomeratica che, nelle zone più basso-resistive (80-150 Ωm), si assume in condizioni di totale saturazione. Nel tratto terminale della *Tomo-1* (cfr. presso B) si osserva un passaggio laterale continuo, sebbene con un gradiente elevato, verso valori elevati di resistività. Nella parte centrale della *Tomo-2* (ca. in corrispondenza con il #1) si osserva invece una variazione molto brusca di resistività, forse dovuta ad una discontinuità tettonica antitettonica rispetto a quella prima citata. Una

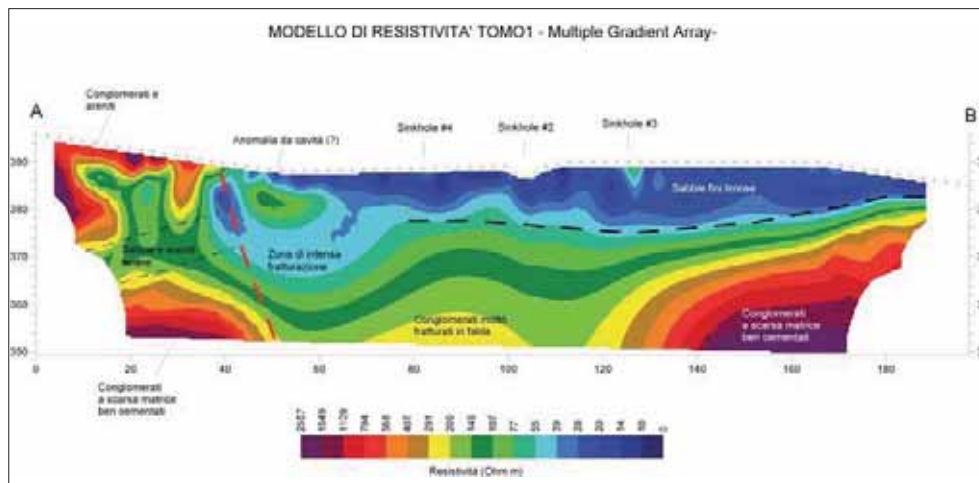


Fig. 5 - Modello di resistività Tomo-1. Il modello deriva dall'inversione, con smoothness constraint, dei dati acquisiti con dispositivo multiple-gradient array. Da notare la brusca variazione laterale di resistività tra le progressive 40 e 50 metri, associata ad una probabile dislocazione tettonica. La parte centrale del modello è caratterizzata da un orizzonte basso-resistivo dello spessore di circa 10 metri, attribuibile a sabbie fini limose o a paraconglomerati a matrice sabbioso-limosa. Nella zona centrale, tale orizzonte poggia su di un substrato a media resistività (probabilmente conglomerati molto fratturati e in falda) che diventa nettamente più alto-resistivo nella parte più profonda e terminale del modello (dove è presumibile una maggiore integrità della compagine clastica grossolana cementata).

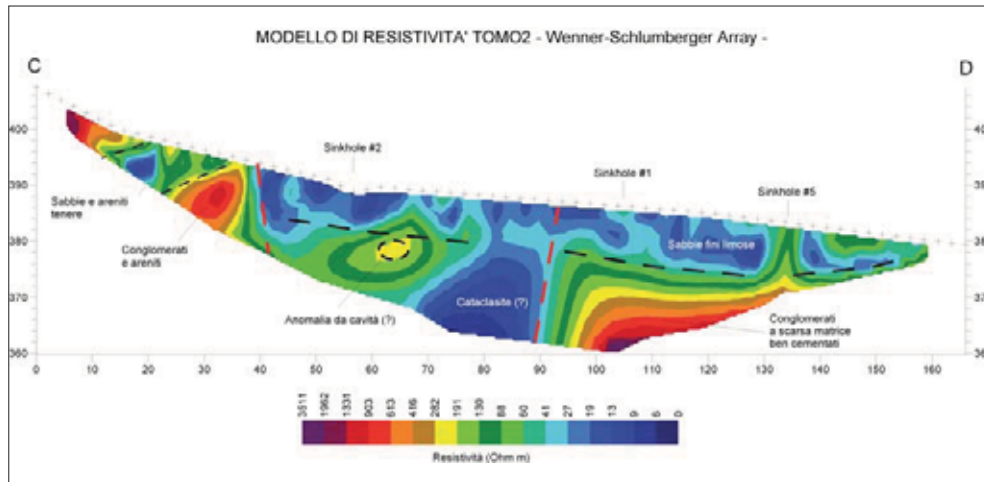


Fig. 6 – Modello Tomo-2. Il modello deriva dall'inversione, con smoothness constraint, dei dati acquisiti con dispositivo Wenner-Schlumberger. A differenza dei risultati rappresentati nella Tomo-1, si riconosce un'ampia fascia basso-resistiva centrale [tra le progressive 70 e 90 m]: per essa viene ipotizzata una zona di frizione cataclastica in condizioni di totale saturazione, oppure una cavità riempita da terreno pelitico-residuale. Verso la parte terminale della sezione, si nota un passaggio brusco ad una zona alto-resistiva, riferibile a conglomerati ben cementati e scarsamente fratturati.

tale ipotesi è avvalorata dalla presenza di un'ampia fascia basso-resistiva (5-25 Ωm) nella zona centrale e più profonda del modello che potrebbe essere associata ad una zona cataclastica in condizioni di saturazione. Anche la presenza di tale struttura tettonica era stata ipotizzata nello studio sopra citato, sulla base del rilievo litologico effettuato nei dintorni del sito che ospita in *sinkhole*. Nel complesso, tali strutture delimiterebbero un settore tettonicamente ribassato, costituito da materiali meno resistivi rispetto ai litotipi conglomeratici presenti ai margini delle sezioni.

Integrando i dati litologico-strutturali rilevati in precedenza con quelli geofisici appena descritti, è possibile affinare il modello preliminare del versante, elaborato da Iovine *et al.* [submitted] sulla base delle sole osservazioni di superficie. La successione litologica appare caratterizzata, in profondità, da conglomerati a scarsa matrice e ben cementati (con resistività superiori a 500 Ωm); verso l'alto, si osserva un aumento della matrice sabbiosa [che determina una diminuzione della resistività complessiva]. Tale successione sembra interrompersi bruscamente, procedendo da NW verso SE, in corrispondenza della base del versante di Piano dell'Acqua, nei pressi della stradina per Masseria Napoleone.

Nell'ambito della vallecchia che ospita gli sprofondamenti si riconosce un orizzonte basso-resistivo, associabile a sabbie limose o a paraconglomerati con predominanza di matrice limoso-sabbiosa, per uno spessore di circa 8-10 metri; tale orizzonte tende ad assottigliarsi verso la parte terminale di entrambe le sezioni. Gli sprofondamenti sono impostati proprio in tale orizzonte, poggiante sui conglomerati. Questi ultimi mostrano valori di resistività molto elevate nel settore più meridionale della valle (cfr. B e D), associabili a termini ben cementati ed a scarsa matrice; nella parte centrale dei modelli, si registrano invece valori di resistività relativamente basse che potrebbero essere legate a condizioni di forte

fratturazione ed a presenza di acqua. Non si può infine escludere che una tale compagine, caratterizzata da una notevole composizione carbonatica, sia soggetta anche a notevoli processi paracarsici, specie nelle zone fortemente fratturate.

In entrambi i modelli di resistività, nella zona ribassata compresa tra le due faglie, si osservano delle anomalie a resistività più alta rispetto al contesto inglobante. In particolare, nella porzione iniziale del profilo della *Tomo-1*, si rinviene all'interno dell'orizzonte basso-resistivo un nucleo con resistività di $150 \Omega\text{m}$, circa 3 volte più elevata rispetto al contesto, che potrebbe essere dovuta ad una cavità di piccole dimensioni (tale da produrre effetti sulle resistività rilevate, ma non essere modellabile nella sua forma e dimensione), o ad uno stadio incipiente di genesi di uno sprofondamento per erosione sottocutanea della matrice fine nei paraconglomerati. Una situazione simile si riscontra anche nella porzione centrale della *Tomo-2*, a profondità compresa tra 10 e 15 m, circa in corrispondenza dello sprofondamento #2.

Infine, nella *Tomo-2* si nota una modesta anomalia positiva di resistività nel settore più superficiale del versante (per uno spessore di ca. 10 m) in corrispondenza del *sinkhole* #5. Un'analoga anomalia, di entità ancor più lieve, si può osservare nella *Tomo-1* in corrispondenza del #3.

5. CONCLUSIONI

Avendo ipotizzato la presenza di terreni generalmente poco coesivi negli strati più superficiali del versante esaminato, è possibile attribuire gli sprofondamenti di Piano dell'Acqua al tipo da "richiamo" dello schema classificativo di WALTHAM et al. (2005). Per una definizione più particolareggiata del tipo di fenomeni, si attendono i risultati di alcuni sondaggi previsti nella zona.

È probabile che la genesi delle cavità nel sottosuolo, responsabili poi degli sprofondamenti che si manifestano in superficie, sia connessa alle condizioni idrauliche presenti nei conglomerati posti al di sotto dello strato sabbioso-limoso. Tale strato determina presumibilmente il tamponamento della falda all'interno dei conglomerati sottostanti, permettendo l'instaurarsi di una falda in pressione. È possibile che i flussi idrici siano responsabili, oltre che della dissoluzione della componente calcarea nei conglomerati (con aumento della dimensione dei condotti), anche di processi di erosione per *piping* alla base dello strato sabbioso-limoso, con formazione di cavità che possono poi propagarsi verso la superficie. Riguardo al ruolo ricoperto dalle oscillazioni del livello di falda, è possibile che i fenomeni erosivi si esplicino in maniera più decisa nei periodi di maggiore ricarica, quando le pressioni dell'acquifero nei conglomerati, e quindi le velocità di flusso, sono più elevate; i fenomeni di crollo possono essere facilitati dalla diminuzione della pressione dell'acqua alla base dell'orizzonte sabbioso-limoso, e di quella agente sulla volta delle cavità sotterranee.

L'analisi dei risultati delle prospezioni tomografiche ha permesso di confermare le ipotesi precedentemente formulate circa l'assetto geo-strutturale della vallecchia di Piano dell'Acqua, evidenziando la presenza di discontinuità riferibili a strutture tettoniche che attraversano il sito di studio. In particolare, risulta confermata la presenza di due segmenti di faglia ravvicinati, che attraversano l'area interessata dai *sinkhole* con direzione NE-SW, e delimitano un ristretto settore ribassato. Ben 4 dei 5 sprofondamenti risultano allineati all'incirca in corrispondenza di dette strutture tettoniche antitetiche.

L'esame delle tomografie non evidenzia tracce chiaramente riferibili a cavità sepolte. Nella porzione centrale della *Tomo-2* si riconosce tuttavia una zona a bassa resistività, caratterizzata da un discreto sviluppo verticale (oltre 20 m) e slargata verso il basso, interpretabile come una zona cataclastica oppure come una cavità sepolta, riempita di materiale a bassa resistività.

Nel sottosuolo della vallecchia che ospita gli sprofondamenti si sono inoltre individuate due zone (a profondità compresa tra 5 e 15 m) caratterizzate da resistività circa 3 volte superiori rispetto al contesto. Le cause di questo innalzamento dei valori di resistività potrebbero essere associate ai processi di suffusione, responsabili dell'asportazione della matrice fine più conduttiva ed aumento della porosità complessiva della compagine (EZERSKY *et al.*, 2006), o alla presenza di modeste cavità di dimensioni non elevate rispetto alla profondità (quindi non modellabili, ma capaci di influenzare i valori di resistività misurati). In entrambi i casi, si tratta di processi capaci di produrre nel tempo fenomeni di sprofondamento – che meritano quindi di essere adeguatamente seguiti nel loro sviluppo.

RINGRAZIAMENTI

Già autori desiderano ringraziare: il Dr. Clemente Napoli e il Dr. Giuseppe Mainieri per il valido supporto nella realizzazione delle indagini geofisiche in campagna e nell'interpretazione critica dei dati; il Dr. Francesco A. Violo, per aver consentito l'esame di alcune stratigrafie relative a sondaggi effettuati nel territorio di San Basile; il Dr. Stefano Luigi Gariano per aver collaborato alla redazione delle figure.

BIBLIOGRAFIA

- CASMEZ (1969) - *Foglio 221-II-NW della Carta d'Italia 1:25.000 dell'I.G.M. "Castrovillari"*. Carta Geologica della Calabria. Cassa per Opere Straordinarie di Pubblico Interesse nell'Italia Meridionale. Poligrafica e Cartevalori, Ercolano (NA). Dir. del rilevamento: M.P. Marchetti.
- CASMEZ (1970) - *Foglio 221-III-NE della Carta d'Italia 1:25.000 dell'I.G.M. "Saracena"*. Carta Geologica della Calabria. Cassa per Opere Straordinarie di Pubblico Interesse nell'Italia Meridionale. Poligrafica e Cartevalori, Ercolano (NA). Dir. del rilevamento: M.P. Marchetti.
- DAHLIN T. & ZHOU B. (2006) - *Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging*. *EAGE - Near Surface Geophysics*, **4**, 113-123.
- EZERSKY M., BRUNER I., KEYDAR S., TRACHTMA P. & RYBAKOV M. (2006) - *Integrated study of the sinkhole development site on the western shores of the Dead Sea using geophysical methods*. *EAGE - Near Surface Geophysics*, **4**, 335-343.
- GRIFFITHS D.H. & BAKER R.D. (1993) - *Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology*. *Journal of Applied Geophysics*, **29**, 211-226.
- GRIFFITHS D.H., TURNBULL J. & OLAYINKA A.I. (1990) - *Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array*. *First Break*, **8**, 121-129.
- IANNACE A., BONARDI G., D'ERRICO M., MAZZOLI S., PERRONE V. & VITALE S. (2005) - *Structural setting and tectonic evolution of the Apennine Units of northern Calabria*. *C. R. Geoscience*, **337**, 1541-1550.
- IANNACE A., VITALE S., D'ERRICO M., MAZZOLI S., DI STASO A., MACAIONE E., MESSINA A., REDDY S.M., SOMMA R., ZAMPARELLI V., ZATTIN M. & BONARDI G. (2007) - *The carbonate tectonic units of northern Calabria (Italy): a record of Apulian palaeomargin evolution and*

- Miocene convergence, continental crust subduction, and exhumation of HP-LT rocks.* Journal of the Geological Society, London, **164**, 1165–1186.
- IOVINE G. & PARISE M. (2008) - *I sinkholes in Calabria.* In: Nisio S. (Ed.), *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane.* Mem. Descr. della Carta Geol. d'It., **85**, 323-386.
- IOVINE G., PARISE M., CALOIERO T., LANZA G., NICOLINO N. & SURIANO S. (submitted) - *Prime osservazioni sui sinkhole di Piano dell'Acqua (San Basile - Calabria Settentrionale).* Rendiconti della Società Geologica Italiana.
- IOVINE G., PARISE M., CALOIERO T., LANZA G., & SURIANO S. (stesso volume) - *I sinkhole di Piano dell'Acqua (San Basile - Calabria settentrionale). Indagine sulle fasi di attivazione su base storica, geomorfologica, ed idrologica.*
- LOKE M.H., a cura di (2002). *RES2DINV. Rapid 2-D resistivity and IP inversion using the least square method.* Atti del Seminario informale su "Tomografia Elettrica - Lo stato dell'Arte ed i programmi RES2DINV e RES3DINV". Catania, 18-20 aprile 2002, 122 pp.
- WALTHAM T., BELL F. & CULSHAW M. (2005) - *Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction.* Springer, 382 pp.