



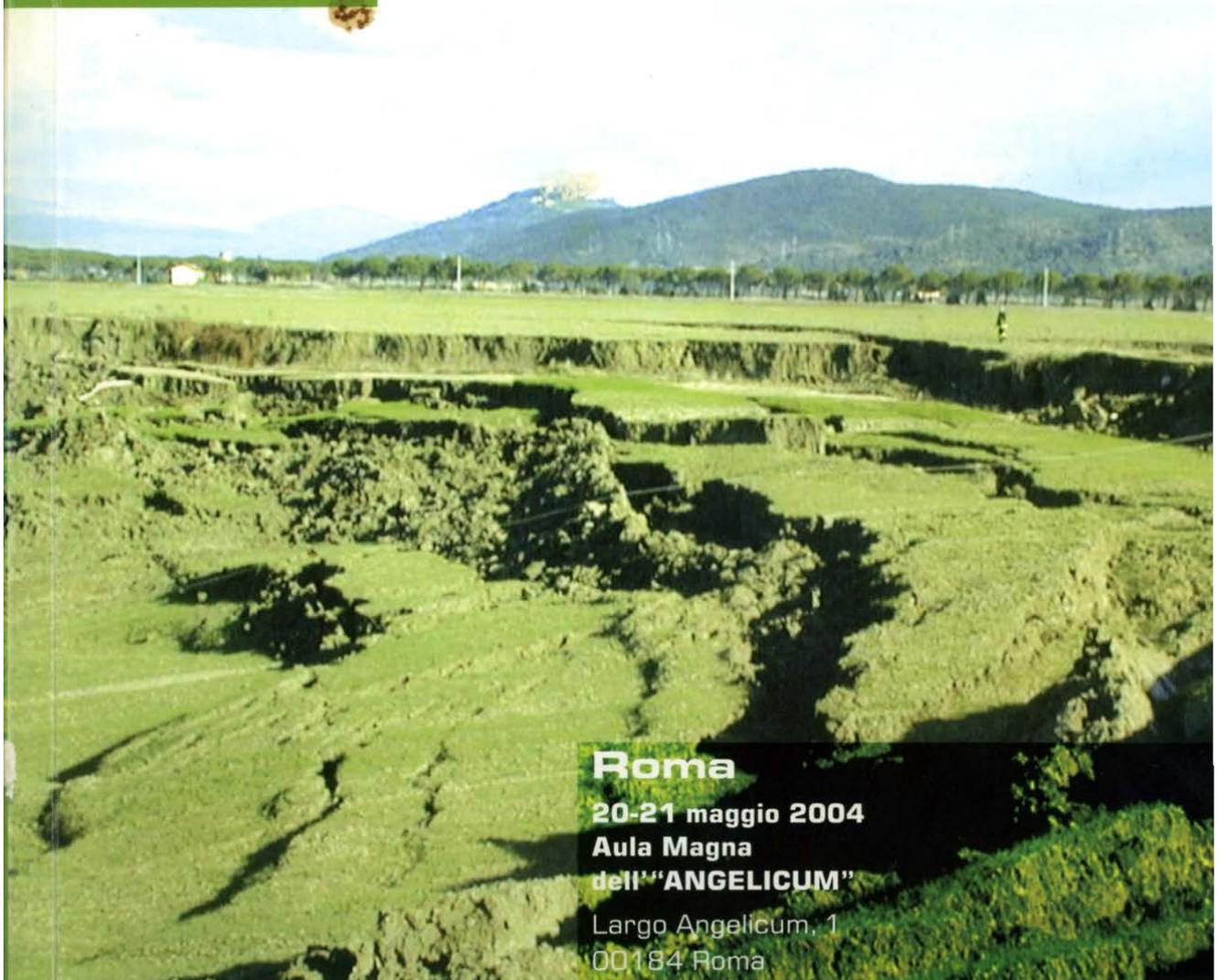
**APAT**

Agenzia per la protezione  
dell'ambiente e per i servizi tecnici

Dipartimento Difesa del Suolo

**1<sup>o</sup>**  
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**  
**Aula Magna**  
**dell'“ANGELICUM”**  
Largo Angelicum, 1  
00184 Roma

**Roma 20 -21 Maggio 2004**  
Aula Magna dell'Angelicum, Largo Angelicum 1, 00184 Roma

**RIASSUNTI DELLE COMUNICAZIONI**

**Apat-Dipartimento Difesa del Suolo**

**Workshop**

# **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

Aula Magna dell'Angelicum, Largo Angelicum 1, 00184 Roma

## **Comitato organizzativo:**

Silvia Bacchiocchi, Monica Baldelli, Sabrina Farris, Stefania Nisio, Ornella Notargiacomo, Letizia Vita.

## **Comitato tecnico-scientifico:**

Marco Amanti, Claudio Campobasso, Giuseppe Capelli, Ernesto Centamore, Antonio Colombi, Francesco Dramis, Roberto Graciotti, Salvatore Lombardi, Luigi Micheli, Stefania Nisio, Francesco Nolasco, Alberto Prestininzi, Roberto Salvati, Anna Rosa Scalise, Leonello Serva, Beniamino Toro, Letizia Vita.

## **Redattori:**

Stefania Nisio, Salvatore Panetta, Letizia Vita

## **INDICE**

1. CAVITÀ DI COLLASSO RECENTI E ANTICHE NEL BACINO LACUSTRE DI POSTA FIBRENO (FR) - Agrillo E., Bono P., Caramanna G., Casella L., D'Andrea L..... 7
2. IL POLJE DI RASCINO (RI): LA ZONA UMIDA DELLA DEPRESSIONE CARSIACA E FORME DI COLLASSO RECENTI NEL SISTEMA "SUOLO-BED ROCK" - Agrillo E., Bono P., Casella L. .... 8
3. I FENOMENI DI SINKHOLE COME ELEMENTI DI RISCHIO LUNGO LE GRANDI ARTERIE STRADALI - Albanese G., Capelli G., Federico P., Salvati R., Storoni S., Zalaffi M. .... 9
4. SEGNALEZIONE DI *SINKHOLES* A VARI STADI DI EVOLUZIONE NELLE ALPI OCCIDENTALI - Alberto W., Carraro F., Giardino M., Martinotti G., Sassone P. & Tiranti D. .... 10
5. CONTRIBUTO DELLO STUDIO MINERALOGICO ALLA RICOSTRUZIONE DELL'EVOLUZIONE GEOLOGICA DEL BACINO DI POZZO GRANDE (MARCELLINA, ROMA) - Aldega L., Argentieri A., Giampaolo C., Loretelli S. .... 11

6.	STUDIO DEI PARAMETRI GEOLOGICI E GEOCHIMICI PER LA COMPrensIONE DEI MECCANISMI GENETICI DEGLI SPROFONDAMENTI NELLA PIANA DI S. VITTORINO - Annunziatellis A., Beaubien S.E., Ciotoli G., Lombardi S., Nisio S. & Nolasco F. ....	12
7.	IL RUOLO DEGLI ENTI LOCALI NEL GOVERNO DEL TERRITORIO: IL CASO DEL SINKHOLE DI MARCELLINA (ROMA) - Argentieri A., Loretelli S. & Vecchia P..	13
8.	LA DEPRESSIONE DI "IL LAGHETTO" (ROMA): UN POSSIBILE SINKHOLE? Argentieri A., Cecchini F., Di Filippo M., Di Nezza M., Margottini S., Toro B.....	14
9.	DISSESTI DOVUTI AL CEDIMENTO DI CAVITÀ SOTTERRANEE NEL TERRITORIO DELLA REGIONE VENETO: ATTIVITÀ DI CENSIMENTO E PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI - Arziliere L., Baglioni A., Curtarello M., De Marco P., Mariani R., Mastellone F., Maurizio I., Schiavon E., Tosoni D. ....	15
10.	IL RISCHIO DA SINKHOLES NELL'AREA URBANA DI NAPOLI - Auriemma G., Ortolani F., Pagliuca S., Pisano L. ....	16
11.	COMUNE DI CAMAIORE E REGIONE TOSCANA: PROVVEDIMENTI CAUTELARI IN CAMPO URBANISTICO E DI PROTEZIONE CIVILE A SEGUITO DELL'INDIVIDUAZIONE DI AREE A RISCHIO SINKHOLE A CAMAIORE - Barsotti A. & Sargentini M.....	17
12.	"I SINKHOLE E L'UOMO" - Bersani P.....	18
13.	IL SINKHOLE DI CAMAIORE (LU) - Buchignani V. ....	19
14.	INTERFEROMETRIA SAR DA TERRA PER IL MONITORAGGIO DI UN FENOMENO DI SPROFONDAMENTO (SINKHOLE) IN TOSCANA - Buchignani V., Leva D., Nico G., Rivolta C. ....	20
15.	MONITORAGGIO SISMICO IN AREE A RISCHIO DI SINKHOLE L'ESEMPIO DI CAMAIORE - Buchignani V., Musmeci F. & Rizzo S. ....	21
16.	STATO DI EVOLUZIONE DI <i>SINKHOLES</i> IN ALCUNE AREE MONTANE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA - Burelli G., Cleva S., Cucchi F., Oberti di Valnera S. ....	22
17.	SINKHOLES NELL'AREA DI TELESE TERME (PROVINCIA DI BENEVENTO) E DI CONTURSI TERME (PROVINCIA DI SALERNO): RAPPORTI CON LA STRUTTURA PROFONDA E I FENOMENI IDROTERMALI - Caliro G., Morriello G., Ortolani F., Pagliuca S., Stanzione D., Uccellini A. ....	23
18.	IL PROGETTO SINKHOLE: LE ATTIVITA' SVOLTE DAL DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO - Campobasso C., Graciotti R., Nisio S. & Vita L. ....	24
19.	VORAGINE CARSICA AL LIVATA (SUBIACO - RM) IN LOCALITA' POZZO DEI MONACI - Cappa E., Cappa G. & Felici A.....	25
20.	LO STUDIO DEGLI SPRING-SINKHOLE DEL GRUPPO DEI LAGHI DEL VESCOVO (PIANURA PONTINA) ATTRAVERSO L'USO DEL RADON BUDGET - Capelli G., Delitala M. C., Primavera P., Salvati R., Taddeucci A. & Tuccimei P.....	26
21.	GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA, GEOCHIMICA E MECCANISMI GENETICI DI ALCUNI SINKHOLES ALLAGATI. CASI DI STUDIO NEL LAZIO (ITALIA CENTRALE), TAUMALIPAS (MESSICO), SUWANNEE BASIN (FLORIDA) - Caramanna G. & Gary M.....	27
22.	APPLICAZIONI DI METODOLOGIE DI IMMERSIONE SCIENTIFICA E ROV (REMOTE, OPERATED, VEHICLE) NELLO STUDIO GEOLOGICO COMPARATO DEI DUE SINKHOLES ALLAGATI PIÙ PROFONDI DEL PIANETA: POZZO DEL MERRO (LAZIO, ITALIA CENTRALE), EL ZACATON (TAUMALIPAS, MESSICO) - Caramanna G. & Gary M.....	28
23.	FENOMENI DI ANNEGAMENTO DEI SINKHOLES: CASI DI STUDIO SU ALCUNI LAGHETTI DI ORIGINE INCERTA - Caramanna G., Nisio S. & Vita L. ....	29
24.	IL PROGETTO <i>SINKHOLES</i> DEL GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE: IL CENSIMENTO DEI FENOMENI SUL TERRITORIO ITALIANO - Casagli N., De Rosa G., Fanti R., Moretti S. ....	30
25.	ELABORAZIONE DI UNA CARTA DELLA VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO PROFONDO DI UN'AREA DEL SALENTO MERIDIONALE CARATTERIZZATA DA CARSIAMO SUPERFICIALE E PROFONDO - Cataldo R., Leo G., Margiotta S.....	31
26.	ASPETTI GEOLOGICO-STRUTTURALI IN RELAZIONE ALLA FORMAZIONE DELLA SINKHOLE PLAIN DI S. VITTORINO - Centamore E., Nisio S. & Rossi D. ....	32

27. "I SINKHOLES DEL SULCIS-IGLESIENTE" CASI DI STUDIO E RUOLO DELLE AMMINISTRAZIONI PUBBLICHE - Cinus S., Farris M.....	33
28. IL RISCHIO SINKHOLE NELLA REGIONE LAZIO: QUADRO NORMATIVO E PROSPETTIVE FUTURE - Colombi A. & Nolasco F.....	34
29. IL RISCHIO DI FENOMENI DI SPROFONDAMENTO IN ITALIA: LE ATTIVITÀ DEL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE - Corazza A. ....	35
30. CENSIMENTO DEI DISSESTI DOVUTI A CAVITÀ SOTTERRANEE IN ITALIA - Corazza A. ....	36
31. SINKHOLE HAZARD IN URBAN AREAS: THE CASE OF CAMAIORE (TUSCANY, ITALY) - D'Amato Avanzi G., Giannecchini R., Puccinelli A. & Verani M.....	38
32. VOLCANOGENIC FLUORIDE AS A POSSIBLE OUTBREAK IN THE GENESIS OF SINKHOLE IN GROUNDWATER DISCHARGE AREAS OF CENTRAL ITALY - De Rita D. & Cinnirella A. ....	39
33. ESAME DEL FENOMENO DI SUBSIDENZA DEL "BOTTEGONE" (GROSSETO) STUDY OF THE SUBSIDENCE OF "BOTTEGONE" (GROSSETO) - Del Greco O., Garbarino E. e Oggeri C. Pioli F. ....	40
34. PRIMO CONTRIBUTO SULLA DISTRIBUZIONE DEI SINKHOLES DI ORIGINE CARSIKA IN CAMPANIA - Del Prete S., De Riso R., Santo A.....	41
35. PROBLEMATICHE CONNESSE A FENOMENI DI SUBSIDENZA CARSIKA E SINKHOLES IN PUGLIA - Delle Rose M., Federico A. & Parise M.....	42
36. INDAGINI GEOFISICHE PER L'INDIVIDUAZIONE DI AREE A RISCHIO DI SINKHOLE NELLA PIANA DI SAN VITTORINO (RI) - Di Filippo M., Nolasco F., Toro B., Rizzo S. ....	43
37. GLI ALTOPIANI DI ARCINAZZO: UN'AREA A RISCHIO DI SINKHOLE - Di Filippo M., Nolasco F., Toro B. ....	44
38. INDAGINI GRAVIMETRICHE E MICROGRAVIMETRICHE NELL'ABITATO DI CAMAIORE - Di Filippo M. & Toro B. ....	45
39. I FENOMENI DI SINKHOLE IN RELAZIONE ALLE STRUTTURE SISMOGENETICHE E AGLI EVENTI SISMICI: UN APPROCCIO METODOLOGICO ED IL CASO DI STUDIO DELLA PIANA DI S. VITTORINO (RI) - Ferreli L., Guerrieri L., Nisio S., Vita L. & Vittori E.....	46
40. ESEMPIO DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE DEL RISCHIO IN UNA AREA A RISCHIO SINKHOLE (TOR TRE PONTI, LATINA) - Garbin F., Scarapazzi M., Cianci S., Capelli G., Salvati R., Albanese G. & Storoni S.....	47
41. LE INDAGINI E IL MONITORAGGIO DI FENOMENI DI SUBSIDENZA E SPROFONDAMENTO NELL'AREA MINERARIA DI GAVORRANO. (GR – TOSCANA) - Garzonio C.A., Barsuglia F., Iotti A. ....	48
42. EL RIESGO DE DOLINAS DE SUBSIDENCIA EN TERRENOS EVAPORITICOS. INVESTIGACIÓN Y MITIGACIÓN - Gutierrez F. ....	49
43. IMPIEGO DELLA TECNICA DELLE EMISSIONI ACUSTICHE NELLA PREVISIONE DEI DISSESTI IN CAVITÀ: STUDI PRELIMINARI DI LABORATORIO - Hall S., de Sanctis F., Viggiani C., Evangelista A. ....	50
44. INDAGINI INTEGRATE GEOLOGICHE E GEOFISICHE PER LA VALUTAZIONE DEI DIVERSI GRADI DI RISCHIO AMBIENTALE LEGATO ALLA PRESENZA DI INGHIOTTITOI CARSIKI NEL TERRITORIO DEL SALENTO LECCESE - Leucci G., Margiotta S., Negri S. ....	51
45. RISCHIO NELLE AREE CARSIKE IN SICILIA: "CASE HISTORIES" NELLA PIANA DI CINISI (PALERMO) - Liguori V., Manno G., Mortellaro D. ....	52
46. INTERAZIONI TRA CARSIKISMO E DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE NELLA GENESI DI SINKHOLES - Martino S. & Prestininzi A. ....	53
47. APPLICAZIONE DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA IN AREE SOGGETTE A FENOMENI DI "SINK-HOLES" (CISTERNA DI LATINA, LT) - Menghini A., Pagano G., Floris S. ....	54

48. ELETTRONICA ED INFORMATICA NELLA GEOFISICA - UN METODO TRIDIMENSIONALE PER L'INTERPRETAZIONE DIRETTA DEI METODI GEOELETTICI - Musmeci F. & Rizzo S.....	55
49. I FENOMENI DI SINKHOLE IN ITALIA: TERMINOLOGIA, MECCANISMI GENETICI E PROBLEMATICHE APERTE - Nisio S., Graciotti R. & Vita L. ....	56
50. FENOMENI DI SPROFONDAMENTO CATASTROFICO. PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE APPLICATA ALLA CASISTICA ITALIANA - Nisio S. & Salvati R. ....	57
51. INDAGINI GEOGNOSTICHE FINALIZZATE AL RICONOSCIMENTO DELLA PERICOLOSITÀ DEI SINKHOLE DI PASSO S.LUGANO (BZ) NEI GESSI DEL BELLEROPHON - Nobile M., Gradizzi A., Nössing L., Strada C. ....	58
52. SINKHOLES IN CAMPANIA: CAUSE E RISCHIO PER L'AMBIENTE ANTROPIZZATO - Ortolani F., Pagliuca S., Spizuoco A. ....	60
53. FENOMENI DI TIPO SINKHOLES NEI CENTRI ABITATI A NORD DI NAPOLI - Ortolani F., Pagliuca S., Pisano L. ....	61
54. I LAGHI DEL VESCOVO - Picozza R. ....	62
55. MANIFESTAZIONI "SPRUGOLARI " NELL'AMBITO DEL GOLFO DELLA SPEZIA - Pintus S. ....	63
56. CARTA DELLE AREE A RISCHIO SINKHOLE DELLA REGIONE LAZIO - Salvati R., Garello M. & Capelli G. ....	64
57. LE DEFORMAZIONI DEL SUOLO RICAVATE DA DATI SATELLITARI IN UN SETTORE A RISCHIO SINKHOLE DEL BACINO DELLE ACQUE ALBULE (LAZIO) - Salvi S., Pirro M., Gasparini C., Stramondo S., Pagliuca M.N. & Di Maro R. ....	65
58. ASSETTO GEOLOGICO E POSSIBILE SVILUPPO DI FENOMENI DI SINKHOLE LUNGO LA "LINEA VAL ROVETO-ATINA" - Saroli M., Ciotoli G., Lombardi S. & Mariotti G. ....	67
59. INVESTIGATION OF SINKHOLE DEVELOPMENT IN A LOW-RELIEF GLACIATED "KARST" TERRANE: OHIO, USA - Sasowsky I. D. ....	68
60. FENOMENI DIFFUSI DI SINKHOLES NELLA PIANURA DEL FIUME CORNIA SOGGETTA A SUBSIDENZA – Sbrilli L. ....	70
61. PROBLEMAS CAUSADOS POR EL KARST ALUVIAL EN EL CENTRO DE LA CUENCA DEL EBRO (ESPAÑA) - Soriano M.A., Simón J.L., Arlegui L.E. y Liesa C.L.....	71
62. EROSIONE SOTTERRANEA E SPROFONDAMENTI NELL'ALTA PIANURA LOMBARDA: GLI "OCCHI POLLINI" - Strini A. ....	73
63. RILEVAMENTO DI SINKHOLES DI ORIGINE ANTROPICA E INTERVENTI URBANISTICI NEL TERRITORIO DI MONTE DELLE PICHE (ROMA SUD-OVEST) - Succhiarelli C., Di Stefano V. ....	74
64. APPLICAZIONE DI METODOLOGIA GPR ALLO STUDIO DI COLLASSI DEL PIANO DI CAMPAGNA IN AREE DI PIANURA - Vettore L., Martelli L., Cremonini S., Rabbi E. ....	75

## CAVITÀ DI COLLASSO RECENTI E ANTICHE NEL BACINO LACUSTRE DI POSTA FIBRENO (FR)

AGRILLO E. \*, BONO P. \*, CARAMANNA G. \*\*, CASELLA L. \*, D'ANDREA L. \*

\*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza". P.le A. Moro 5 00185 – Roma

\*\* Apat- Dipartimento Difesa del Suolo

Il lago di Posta Fibreno rappresenta il livello di base della struttura carsica della Marsica Occidentale. Il sistema idrogeologico marsicano si estende in direzione appenninica parallelamente alla Val Roveto ed è costituito prevalentemente da calcari e calcari dolomitici mesozoici, molto permeabili per fratturazione e carsismo.

Il Lago Fibreno ubicato in una depressione tettonica, ha origine da un importante gruppo di sorgenti costituito da emergenze sia sommerse sia perilacuali distribuite su un fronte di circa un chilometro ai margini della dorsale marsicana.

Il lago (0.277 km<sup>2</sup>) ha un unico emissario, il Fiume Fibreno, la cui portata media annua è di 9.3 m<sup>3</sup>/s nel periodo 1923-2002. Il Fiume Fibreno scorre in direzione anti-appenninica fino alla confluenza con il Fiume Liri, a SW, presso Sora.

In tale contesto idrologico schematico, assume particolare rilievo l'esistenza di numerose depressioni di forma conica o cilindrica, localizzate in un'area ristretta del fondale del lago e alla periferia del sistema lacustre. Le voragini sublacuali sono perlopiù di recente o recentissima formazione spesso coincidenti con sorgenti, come evidenziato da piccoli crateri e da sedimenti fini tenuti in sospensione dalla motilità continua dell'acqua. Nell'area periferica al bacino lacustre oltre alla diffusa presenza di doline non mancano forme carsiche epigee di spettacolari dimensioni come "Il Tomolo" di Campoli Appennino e "Fossa Majura", localizzate nella fascia di raccordo tra il settore montano della Marsica Occidentale e la piana del Fibreno.

La genesi di queste cavità (peraltro non ancora chiarita) è verosimilmente dovuta all'azione sinergica di diversi fattori: a) le oscillazioni naturali della superficie piezometrica della falda regionale e del livello del lago; b) l'attività tettonica in atto; c) la capacità aggressiva delle acque sotterranee nell'area di emergenza, verosimilmente esaltata da apporti gassosi acidi di origine profonda; d) l'attività estrattiva delle acque sotterranee concentrata in campi pozzi ad elevata produzione.

L'area delle sorgenti del Lago di Posta Fibreno è racchiusa nei limiti dell'omonima Riserva Naturale Regionale. Tale area è inoltre riconosciuta Sito di Interesse Comunitario a ragione della presenza di un habitat lacustre e di specie vegetali ed animali di particolare valore ambientale e scientifico, garantito da un delicato equilibrio naturale tra elementi biotici e abiotici.

## **IL POLJE DI RASCINO (RI): LA ZONA UMIDA DELLA DEPRESSIONE CARSIKA E FORME DI COLLASSO RECENTI NEL SISTEMA "SUOLO-BED ROCK"**

AGRILLO E., BONO P., CASELLA L.

*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza". P.le A. Moro 5 00185 - Roma*

Il Piano di Rascino, situato tra 1160 e 1140 m di quota, si estende in una depressione carsica di origine tettonica all'interno dell'Unità geologica del Nuria-Velino. Questa è costituita per la maggior parte da una successione meso-cenozoica, formata prevalentemente da depositi carbonatici di piattaforma-transizione (Giurassico-Miocene) e da depositi torbiditici silico-clastici (Messiniano inferiore).

Il Piano di Rascino, circondato da aspri rilievi di rocce prevalentemente calcaree e calcareo-dolomitiche, occupa il fondo di una ampia depressione allungata in direzione NW – SE, colmata da depositi alluvionali e lacustri.

L'aspetto più caratteristico del paesaggio è rappresentato da forme epigee, come doline e inghiottitoi, in continua formazione, diffuse in tutta l'area montana del Nuria ed in particolare nella piana carsica apparentemente senza alcun ordine.

L'idrografia del Piano di Rascino, piuttosto complessa, si articola in tre sistemi paralleli ad orientamento antiappenninico. Il sistema più occidentale è costituito da un lago ("Lago di Rascino") di forma lobata, alimentato dalle acque meteoriche sia zenitali sia di episodici fenomeni di ruscellamento e da alcune piccole sorgenti situate alla periferia del bacino lacustre.

Il reticolo idrografico del pianoro converge in alcuni inghiottitoi, periodicamente attivi, localizzati al margine orientale della depressione carsica. In queste aree di assorbimento localizzato le acque superficiali iniziano il loro percorso ipogeo nel sistema di fratture e di condotti presenti nella zona areata della idrostruttura carbonatica.

L'assetto geologico-strutturale della catena Nuria-Velino e le condizioni idrogeologiche regionali, consentono di ritenere che le acque di infiltrazione del reticolo carsico ipogeo del Polje di Rascino rialimentino "localmente" la falda basale che più a ovest (circa 10 km) sostiene la portata di numerose grandi sorgenti tra cui quelle del fiume Peschiera. È verosimile che le acque di infiltrazione nel Polje di Rascino seguano traiettorie circa sub-verticali raggiungendo la falda basale alla profondità indicativamente di 600-700 m dal campo carsico.

Le modalità di flusso "veloce" nel reticolo carsico ipogeo e la scarsa reattività delle rocce carbonatiche nel processo depurativo delle acque inquinate, rendono altamente critica la gestione del Polje di Rascino per la tutela della qualità delle risorse idriche captate dall'ACEA (Acquedotto del Peschiera).

## I FENOMENI DI SINKHOLE COME ELEMENTI DI RISCHIO LUNGO LE GRANDI ARTERIE STRADALI

ALBANESE G\*., CAPELLI G.\*\* , FEDERICO P.\* , SALVATI R\*\*., STORONI S.\* , ZALAFFI M.\*\*

\*ANAS S.p.A.

\*\*Università Roma Tre

Le valutazioni di rischio idrogeologico lungo i tracciati stradali sono normalmente connesse ai fenomeni franosi. Nell'ultimo decennio, nell'Italia centrale, è stata riscontrata una nuova problematica, quella legata agli sprofondamenti di suolo nelle pianure, noti come sink hole. L'ANAS ha affrontato, nell'ultimo decennio, lo studio di alcuni casi verificatisi lungo la Via Salaria (Km 88) nella piana di San Vittorino-Peschiera e nella pianura Pontina al margine della Via Appia (Km 67+750). Le problematiche geologiche ed idrogeologiche, relative ai due casi, pur essendo differenti, presentano delle significative analogie, che si rendono importanti nel momento in cui si debbono delineare degli scenari di pericolosità. L'ANAS S.p.A. ha avviato, nell'ambito di un più vasto protocollo d'intesa con il Dipartimento di Scienze Geologiche di Roma Tre, un programma di studio sui rischi da sinkhole nelle due piane citate, finalizzato non solamente a definire la mappatura dei fenomeni, ma soprattutto le condizioni ed i processi che portano alla loro genesi.

La collaborazione ha portato, previa analisi delle condizioni a contorno, alla realizzazione di un sondaggio a carotaggio continuo che attraversata la serie terrigena della piana Pontina, ha raggiunto quella mesozoica a circa 200 metri di profondità. Nel corso della perforazione sono stati prelevati campioni che hanno consentito la realizzazione di analisi geomeccaniche in laboratorio. Le falde incontrate saranno monitorate grazie a un particolare progetto di completamento del foro. Lo studio stratigrafico è stato integrato con la realizzazione di geofisica in foro con il metodo down hole. Relativamente ai fenomeni verificatisi sulla Via Salaria a fine millennio, nella nota vengono descritte alcune soluzioni tecniche adottate per ripristinare la viabilità interrotta per il verificarsi di sinkhole e le metodologie adottate per lo studio delle stratigrafie ritenute a rischio e per il progetto di monitoraggio della sede stradale.

## SEGNALAZIONE DI *SINKHOLES* A VARI STADI DI EVOLUZIONE NELLE ALPI OCCIDENTALI

ALBERTO W.\* , CARRARO F.\* , GIARDINO M.\* , MARTINOTTI G.\* , SASSONE P.\*\* & TIRANTI D.\*\*\*

\**Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino. Via Valperga-Caluso, 37 – 10125 Torino*

\*\**Studio Geoingegneria Ambientale Mineraria – Casalborgone (TO).*

\*\*\**ARPA Piemonte - Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio. C.so Unione Sovietica, 216 – 10134 Torino*

Nell'ultimo decennio presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino sono stati oggetto di numerosi studi due tipi di fenomeni che trovano larga diffusione nelle Alpi occidentali e che, almeno in alcuni casi, hanno mostrato di essere legati tra loro geneticamente:

- i processi di deformazione gravitativa profonda;
- la genesi di ammassi di rocce carbonatiche epigenetiche ("pseudocarniole").

Queste ultime presentano facies molto diversa, e mostrano di essersi formate per dissoluzione e riprecipitazione o sedimentazione detritica di corpi rocciosi carbonatici ad opera prevalentemente di fluidi risalenti caldi o discendenti freddi (cfr. Alberto ed al., in stampa).

La riduzione di volume che è venuta a prodursi in profondità in seguito ai processi di corrosione ha avuto come riflesso superficiale la genesi di deformazioni gravitative profonde; in alcuni casi queste, o porzioni di queste, si sono evolute in veri e propri sinkholes. Le forme di collasso gravitativo attualmente osservabili si presentano a stadi di evoluzione molto diversi, da quello embrionale ad altri in cui le manifestazioni presentano il loro aspetto tipico, fino a quello in cui l'originaria presenza dei sinkholes è documentata unicamente dalla conservazione dei materiali detritici grossolani derivanti dal collasso. Nei casi in cui l'originario assetto geomorfologico è stato apprezzabilmente modificato, hanno preso origine situazioni morfologiche molto diverse di interpretazione non sempre univoca: si va da depressioni "catturate" dal sistema di drenaggio (fluviale o glaciale) a situazioni nelle quali l'evoluzione estrema ha portato addirittura all'inversione del rilievo. Questi fenomeni sono da mettere in relazione con la estrema complessità delle interazioni tra i fenomeni di corrosione ed i processi deformativi, da un lato, e quelli carsici, fluviali e glaciali dall'altro, protrattisi per un intervallo di tempo che dati preliminari di natura palinologica effettuati su depositi detritici fini associati alle "pseudocarniole" hanno dimostrato estendersi in alcuni casi almeno dal Pliocene terminale all'Attuale

In tutti i casi riconosciuti la originaria esistenza di sinkhole, oltre che dalla presenza di tutti i fattori predisponenti (ammassi carbonatici in rapporto di sovrapposizione nei confronti di corpi gessosi, regime strutturale distensivo, circolazione di fluidi) è suggerita dalla morfologia (depressioni ellittiche in pianta con pareti subverticali) con presenza di ammassi detritici a grossi blocchi sul fondo, talora cementati.

Si ritiene opportuno porre l'accento su questi fenomeni sia per aggiungere un tassello alla ricostruzione dell'evoluzione geologica recente delle aree di studio, sia per i molteplici riflessi applicativi che la loro presenza mostra talora di rivestire.

## **CONTRIBUTO DELLO STUDIO MINERALOGICO ALLA RICOSTRUZIONE DELL'EVOLUZIONE GEOLOGICA DEL BACINO DI POZZO GRANDE (MARCELLINA, ROMA)**

ALDEGA L. \*, ARGENTIERI A. \*\*, GIAMPAOLO C. \*, LORETELLI S. \*\*\*

\* *Università degli Studi "Roma TRE"- Dipartimento di Scienze Geologiche- L.go S. L. Murialdo, 1- 00146 Roma (e-mail: [aldega@uniroma3.it](mailto:aldega@uniroma3.it))*

\*\* *Provincia di Roma- Dipartimento V- Servizio 4° "Geologico"- Viale di Villa Pamphili, 84- 00152 Roma (e-mail: [aargentieri@tiscali.it](mailto:aargentieri@tiscali.it))*

\*\*\* *Provincia di Roma- Dipartimento VI- Servizio 1° " Trasporti, mobilità, sicurezza del territorio e della circolazione stradale"- Viale di Villa Pamphili, 84- 00152 Roma*

Un corretto approccio per la definizione dei meccanismi genetici delle voragini catastrofiche deve prevedere un'analisi multidisciplinare, basata sul confronto e sull'integrazione dei risultati ottenuti con diverse metodologie a carattere sia diretto che indiretto. Il caso di studio del sinkhole di Marcellina (Roma), originatosi il 25 gennaio 2001, può fornire elementi di notevole interesse in tal senso. La voragine è localizzata all'interno della conca di Pozzo Grande (circa 1 Km<sup>2</sup>) nella quale, allo scopo di definire i caratteri peculiari del fenomeno, sono state condotte indagini specialistiche (geofisiche, geognostiche, geologiche, geotecniche, idrogeologiche e mineralogiche) a cura di soggetti pubblici e privati con compiti istituzionali distinti.

In questa sede vengono presentati i risultati di uno studio diffrattometrico a raggi X eseguito su 115 campioni prelevati da un sondaggio effettuato dal Servizio Geologico della Provincia di Roma, tramite carotaggio continuo fino alla profondità di 100 m, all'interno del bacino sedimentario quaternario e ad una distanza di circa 300 m dal sinkhole. L'analisi mineralogica ha permesso di riconoscere e discriminare l'intera sequenza delle unità piroclastiche riconducibile all'attività del Tuscolano-Artemisio, il cui spessore è compatibile con quello osservabile in altri luoghi del Complesso Vulcanico, e di individuare altre tre unità litologiche correlabili ad altrettante fasi d'evoluzione tettonico- sedimentaria del bacino continentale. Esistono evidenze mineralogiche e deposizionali per ritenere che una delle fasi principali di strutturazione del bacino sia avvenuta dopo la messa in posto del Tufo Litoide e che la depressione sia quindi divenuta un'area d'accumulo del materiale d'alterazione delle vulcaniti attigue.

Data la verosimile stretta relazione tra la localizzazione della voragine ed i caratteri geologico-strutturali e deposizionali del bacino di Pozzo Grande, appare importante, ai fini della definizione della pericolosità da sinkhole del settore peritirrenico laziale, focalizzare l'attenzione su eventuali altre aree ove potrebbe verificarsi la concomitanza dei fattori geologici peculiari descritti.

## **STUDIO DEI PARAMETRI GEOLOGICI E GEOCHIMICI PER LA COMPrensIONE DEI MECCANISMI GENETICI DEGLI SPROFONDAMENTI NELLA PIANA DI S. VITTORINO**

ANNUNZIATELLIS A. \*, BEAUBIEN S.E. \*, CIOTOLI G. \*, LOMBARDI S. \*, NISIO S. \*\* & NOLASCO F. \*\*\*

\* *Università La Sapienza di Roma- Dipartimento Scienze della Terra*

\*\* *Apat- Dipartimento Difesa del Suolo*

\*\*\* *Regione Lazio*

In questo lavoro è presentata la sintesi di una serie di studi a carattere interdisciplinare effettuati dal 1997 nella Piana di S. Vittorino (Rieti). Tali studi hanno avuto l'obiettivo di migliorare le conoscenze sull'origine e sulle cause innescanti i noti fenomeni di sprofondamento avvenuti in epoca storica e recente nell'area.

Lo scenario emerso ha permesso di ipotizzare un modello concettuale sulla genesi dei sinkholes, le cui caratteristiche possono essere estese ad altri casi simili presenti lungo la fascia peritirrenica nel Lazio (Pianura Pontina, Guidonia, Capena) e in Toscana (Grosseto, Camaiore).

Le indagini effettuate (geologiche, geomorfologiche, idro-geochimiche) hanno permesso di attribuire al fenomeno una genesi non semplicemente carsica, ma che necessariamente deve ammettere un processo di risalita (piping), di fluidi aggressivi che possano generare sifonamento e asportazione chimica e/o meccanica di particelle solide. La migrazione dei fluidi è strettamente legata alla presenza di un importante reticolo di faglie, anche profonde, come evidenziato dalla componente gassosa di alcune emergenze, ricca in  $\text{CO}_2$ , He,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .

A tale proposito, lo studio del chimismo delle acque superficiali prelevate nella piana ha messo in evidenza la presenza di tre gruppi di acque con caratteristiche chimico-fisiche differenti. In particolare, le emergenze, ubicate tra le Terme di Cotilia e l'argine settentrionale del Velino, presentano anomalie di alcuni parametri fisici e chimici tra i quali assumono un ruolo rilevante il pH e gli ioni  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Tutti i campioni di acqua prelevati in quest'area mostrano una forte componente gassosa, anche quelli appartenenti ai piccoli invasi circolari (sinkholes).

Inoltre, poiché la piana è caratterizzata da una importante circolazione idrica sotterranea, su entrambe i versanti, la risalita di fluidi nel centro della piana potrebbe essere giustificata dall'esistenza di un gradiente idraulico che darebbe origine ad emergenze anche all'interno dei depositi alluvionali.

Alla luce dei risultati ottenuti l'area compresa tra le Terme di Cotilia e la destra idrografica del fiume Velino può essere indicata come una zona potenzialmente interessata da nuovi sprofondamenti.

## IL RUOLO DEGLI ENTI LOCALI NEL GOVERNO DEL TERRITORIO: IL CASO DEL SINKHOLE DI MARCELLINA (ROMA).

ARGENTIERI A., LORETELLI S. & VECCHIA P.

<sup>(1)</sup> *Provincia di Roma- Dipartimento V- Servizio 4° “Geologico”- Viale di Villa Pamphili, 84- 00152 Roma (e-mail: [aargentieri@tiscali.it](mailto:aargentieri@tiscali.it))*

<sup>(2)</sup> *Provincia di Roma- Dipartimento VI- Servizio 1° “ Trasporti, mobilità, sicurezza del territorio e della circolazione stradale”- Viale di Villa Pamphili, 84- 00152 Roma*

Lo studio del “cover collapse sinkhole” di Marcellina (Roma), verificatosi improvvisamente la notte tra il 24 ed il 25 gennaio 2001 nel preappennino laziale, in corrispondenza del settore pedemontano dei Monti Lucretili, può fornire un interessante contributo per quanto riguarda due aspetti principali che, seppure ben distinti, risultano strettamente interconnessi tra loro: da un lato la caratterizzazione dei meccanismi genetici dei fenomeni di sprofondamento catastrofico nel dominio peritirrenico dell'Italia centrale; dall'altro la messa a punto di procedure operative ed amministrative da attuare nelle fasi di emergenza, finalizzate al supporto tecnico-specialistico agli organi decisionali, nonché nelle successive attività di monitoraggio, analisi, pianificazione e gestione del territorio.

In questa nota si illustra l'esperienza del sinkhole di Pozzo Grande (Marcellina), focalizzando l'attenzione sulle interferenze del fenomeno con le attività antropiche e sulle iniziative poste in essere, autonomamente o in sinergia, dai diversi Enti pubblici e privati coinvolti. In primo luogo vengono illustrati sinteticamente contesto geologico e stato delle conoscenze sull'area; quindi si ricostruiscono le fasi di emergenza e di primo intervento (Gennaio- Febbraio 2001), nonché le indagini specialistiche condotte nei mesi successivi all'evento a cura dei diversi soggetti interessati. Viene infine presentata una sintesi delle attività di monitoraggio e di gestione del territorio (periodo 2001-2004), con particolare riguardo al ruolo svolto dal Servizio Geologico della Provincia di Roma, evidenziando gli aspetti ancora da approfondire per una migliore definizione del modello geologico e per l'individuazione di linee guida per la pianificazione e il governo del territorio.

## LA DEPRESSIONE DI "IL LAGHETTO" (ROMA): UN POSSIBILE SINKHOLE?

ARGENTIERI A. \*, CECCHINI F. \*\*, DI FILIPPO M. \*\*, DI NEZZA M. \*\*, MARGOTTINI S. \*, TORO B. \*\*

\* *Provincia di Roma*

\*\* *Università di Roma "La Sapienza"*

La località "Il Laghetto" ricade all'interno del comune di Guidonia, lungo la Via Palombarese, tra gli abitati di Mentana ad ovest, S. Angelo Romano a nord, Guidonia ad est e la periferia nord-orientale della città di Roma (S. Basilio, Settecamini) a sud. Dal punto di vista morfologico si presenta come una depressione di forma subcircolare con un diametro di circa 400 metri e un dislivello di circa 30 metri tra il bordo superiore e il fondo. Soprattutto negli ultimi trenta anni è stata interessata da un notevole sviluppo antropico.

Dal punto di vista geologico si hanno depositi argillosi del Plio-Pleistocene, rocce vulcaniche sedimentatesi a partire dal Pleistocene medio-superiore riconducibili ai prodotti eruttati durante la prima fase della formazione della caldera Tuscolano-Artemisio e depositi continentali recenti. Proprio per la tipologia delle rocce affioranti in quest'area, non sono direttamente identificabili sul terreno l'andamento di faglie o strutture tettoniche ma esse possono essere dedotte da osservazioni indirette.

In seguito ai primi dati gravimetrici ottenuti su questa località e nella zona circostante sono state avanzate diverse ipotesi sulla possibile genesi di tale depressione morfologica integrate sia con dati geologici, geomorfologici, geognostici, storici e geofisici.

Al fine di identificare la genesi di tale depressione verranno mostrati dati gravimetrici eseguiti in corrispondenza del "Fosso Capaldo", che confluisce nel fosso di Marco Simone, situato nel settore settentrionale della depressione, dove l'ingente spessore dei depositi recenti fluvio-lacustri possono mascherare eventuali lineamenti tettonici con possibile formazione di sinkhole.

# **DISSESTI DOVUTI AL CEDIMENTO DI CAVITÀ SOTTERRANEE NEL TERRITORIO DELLA REGIONE VENETO: ATTIVITÀ DI CENSIMENTO E PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI**

ARZILIERO L., BAGLIONI A., CURTARELLO M., DE MARCO P., MARIANI R., MASTELLONE F., MAURIZIO I., SCHIAVON E., TOSONI D.

## ***Regione Veneto***

Il territorio veneto è interessato dalla presenza di diverse tipologie di dissesto che impegnano gli enti competenti in un'intensa attività di individuazione delle aree a rischio e di definizione degli interventi di mitigazione.

Al fine di fornire un adeguato supporto a tali attività la Regione del Veneto, con l'adesione al progetto IFFI, sta realizzando un'unica banca dati regionale dei dissesti georeferenziata.

L'attività di raccolta dati ha evidenziato la presenza sul territorio delle tipologie di dissesto dovute al cedimento di cavità sotterranee, sia di origine antropica che naturale.

Le prime sono derivanti dallo scavo di gallerie minerarie (Salafossa-BL e Cordignano-TV) e idroelettriche (Quero-BL), cedimenti di origine naturale sono invece diffusi sugli altipiani calcarei del Cansiglio (BL) e di Asiago (VI).

Tuttavia risultano avere più rilevanza, per il loro impatto con le attività antropiche, i cedimenti dovuti al processo di dissoluzione dei conglomerati calcarei di Badia Calavena (VR) ed i fenomeni presenti in alcune aree dei Colli Euganei (PD). Particolarmente interessante è il fenomeno che ha portato alla temporanea sparizione per un lungo tratto del torrente Cridola in comune di Domegge di Cadore (BL).

I fenomeni di cedimento dovuti alla dissoluzione dei livelli gessosi sono tra i più diffusi, soprattutto nella provincia di Belluno, in particolare sui conoidi dei torrenti Gavon e Rova, nell'agordino, e nel centro abitato di Perarolo di Cadore. Tali siti sono stati individuati nell'attività di pianificazione condotta dalla Regione del Veneto in collaborazione con l'Autorità di Bacino territorialmente competente nella redazione dei piani stralcio di assetto idrogeologico. In particolare, nell'abitato di Perarolo di Cadore, le attività di perimetrazione delle aree a rischio hanno portato alla definizione di interventi di mitigazione tra i quali è prevista una fase di studio e monitoraggio dei fenomeni ed il censimento dei danni indotti nei fabbricati.

## IL RISCHIO DA SINKHOLES NELL'AREA URBANA DI NAPOLI

AURIEMMA G.\* , ORTOLANI F.\* , PAGLIUCA\*\* S. , PISANO L.\*

\* *Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio, Università degli Studi di Napoli Federico II, e-mail: fortolan@unina.it*

\*\* *ISAFOM, CNR, via Cupa Patacca, Ercolano, Napoli, e-mail: s.pagliuca@ispaim.na.cnr.it*

Nell'area urbana di Napoli si sono verificati finora numerosi fenomeni tipo sinkholes che hanno provocato decine di vittime.

I fenomeni più significativi e gravi sono stati provocati dalle seguenti cause:

- 1- cedimento improvviso dei sedimenti sciolti vulcanici entro i quali sono stati realizzati i pozzi verticali che collegano le cavità scavate nel Tufo Giallo Napoletano per estrarre la roccia. Il dissesto inizia con il distacco regressivo di porzioni di sedimenti lungo il pozzo verticale solitamente non rivestito. L'evoluzione dei distacchi dalla parte sommitale della volta della cavità di neoformazione all'interno dei sedimenti pozzolanici, continua ad ampliare il vuoto verso l'alto. Allo stadio terminale dell'evoluzione, è sufficiente il distacco dalla volta di una ulteriore porzione di sedimenti per provocare il cedimento improvviso della volta stessa e il conseguente scorrimento verso il basso dell'ultimo diaframma comprendente i sovrastanti manufatti. Un tipico esempio è rappresentato dal luttuoso evento verificatosi nel maggio 1999 nel Quartiere Mater Dei. Era nota la presenza di una cavità nel sottosuolo, come si evince da una relazione geologica impropriamente firmata da architetti. Le indagini tese a individuare le eventuali cavità furono solo oggetto di enunciazioni e non furono mai eseguite.
- 2- cedimento improvviso della volta costituita da sedimenti sciolti di cavità di neoformazione provocate dall'escavazione sotterranea di acqua in pressione fuoriuscita da acquedotti e fognature. Un tipico fenomeno che fortunatamente non è giunto a compimento si è verificato alcuni mesi orsono nella zona interessata dalla stazione della Ferrovia Cumana frequentata ogni giorno da diverse migliaia di passeggeri. Nel sottosuolo cittadino costituito in prevalenza da sedimenti sciolti vulcanici, alluvionali e di riporto interagiscono acquedotti e fognature quando si verificano fuoriuscite di acque in pressione. L'acqua nel sottosuolo determina la liquefazione dei sedimenti fini di tipo pozzolanico, provocandone l'erosione e l'evacuazione sotterranea attraverso i livelli molto porosi di pomice, originando rapidamente la formazione e successivo ampliamento di una cavità non rilevabile dalla superficie fino al crollo definitivo della volta.
- 3- cedimento della volta di una galleria in esecuzione per la realizzazione di un asse stradale. L'evento più catastrofico si è verificato nel 1996 ed ha provocato 14 vittime. Durante i lavori improvvisamente la volta cedette coinvolgendo nel crollo i sottoservizi (acquedotto, fognatura, metanodotto) con conseguente incendio del metano.

Nel 1997 in seguito a quest'ultimo evento è stato istituito il Commissariato Straordinario per l'Emergenza Sottosuolo del Comune di Napoli che ha prodotto finora discutibili risultati.

**COMUNE DI CAMAIORE E REGIONE TOSCANA: PROVVEDIMENTI CAUTELARI  
IN CAMPO URBANISTICO E DI PROTEZIONE CIVILE A SEGUITO  
DELL'INDIVIDUAZIONE DI AREE A RISCHIO SINKHOLE A CAMAIORE**

BARSOTTI A.\* & SARGENTINI M.\*\*

*Comune Di Camaiore – Ufficio Protezione Civile  
Regione Toscana*

L'evento disastroso dell'ottobre 1995, che portò alla formazione di una "voragine" nel centro abitato di Camaiore, venne preannunciato da diversi cenni precursori e premonitori, sfruttando i quali fu possibile evitare il coinvolgimento della pubblica incolumità.

Una parte dei cenni precursori si manifestarono alcuni giorni prima dell'evento, mentre altri si evidenziarono in un arco di tempo più ristretto, dell'ordine di alcune ore, in un areale circoscritto alla zona del dissesto.

Sulla base di questa esperienza, l'Ufficio di Prot. Civile del Comune di Camaiore ha redatto un vademecum esplicativo, nel quale si illustrano quali possono essere gli accenni ad una predisposizione all'evento, in modo da istruire la popolazione, cercando di abituarla a convivere con una situazione di palese rischio, senza creare panico o condizioni di emergenza difficilmente gestibili.

## **"I SINKHOLE E L'UOMO"**

BERSANI P.

*Geologo, Libero professionista*

Nel territorio italiano ed in particolare nell'Appennino i sinkhole sono un fenomeno naturale da sempre presente in tempi storici, ma solo recentemente con la crescita delle aree urbanizzate, la maggiore attenzione al territorio ed il maggior interesse ai fenomeni geologici, i sinkhole sono divenuti oggetto di studi specifici, parallelamente a quanto avvenuto in molti altri stati del mondo.

Sui sinkhole sono tuttora in corso discussioni sia su quali cavità sia corretto classificare come tali, sia sul loro meccanismo di formazione, soprattutto per quanto riguarda il ruolo che hanno i depositi travertinosi.

Di molti sinkhole avvenuti in passato, soprattutto nei terreni non urbanizzati, si è persa memoria proprio a causa dello scarso interesse che vi era per questo fenomeno. Infatti molte cavità prodotte dai sinkhole o si sono colmate naturalmente oppure, nella maggior parte dei casi, l'uomo ha rimodellato la morfologia dei luoghi eseguendo lavori di bonifica (come nella Pianura Pontina nel basso Lazio) o più semplicemente riempiendo le "buche" dei sinkhole per consentire la coltivazione dei campi.

Tra le voragini o sinkhole apertesesi nell'Appennino in seguito a scosse sismiche e di cui si è persa quasi completamente la memoria, si ricordano quelle causate dai grandi terremoti appenninici del gennaio-febbraio 1703: in Umbria nel bacino del Tevere si aprirono molte voragini a Norcia, mentre in Abruzzo presso il torrente Pizzoli (AQ) nel bacino del fiume Aterno-Pescara si formò una voragine dalla quale uscì con violenza una colonna d'acqua solforosa fino all'altezza di un alto pioppo ed il getto durò fino al 20 febbraio (dal terremoto del 2 febbraio).

Buche o sprofondamenti sub-circolari di piccole dimensioni sono stati registrati anche nei terremoti di Palombara Sabina (1901) e dell'Irpinia (1930).

È interessante notare infine che in Italia non è documentato che i sinkhole abbiano causato dei morti, ma ciò è dovuto solo a circostanze fortunate; basti pensare infatti al sinkhole "provocato" dalla sonda per perforazione risucchiata nell'ottobre 1993 al margine della via Appia presso il borgo di Foro Boario (LT) nella pianura pontina e mai più ritrovata od anche al sinkhole di 40 m di diametro avvenuto il 14 ottobre 1995 a Camaione (Lu) in Toscana, che ha fatto completamente crollare diversi edifici, concedendo però il tempo necessario per lo sgombero degli abitanti.

## IL SINKHOLE DI CAMAIORE (LU)

BUCHIGNANI V.

*Libero professionista. V. Capanni, 198, 55100 Lucca*

Il territorio di Camaiore, per la sua struttura geologica ed il suo assetto morfologico, è notoriamente a rischio ambientale, soprattutto in termini di dissesto idrogeologico. Da sempre sono segnalate, nell'entroterra collinare, frane con esiti talora catastrofici. Le aree di pianura sono state spesso coinvolte da eventi alluvionali e da altri dissesti. In particolare un fenomeno atipico ha interessato l'area urbana del capoluogo nel 1995, con danni per oltre 4 mld di vecchie Lire e, solo per casualità, senza lesioni a persone: l'apertura di una voragine (sinkhole) di circa 30 m di diametro, verificatasi nella notte tra il 14 ed il 15 ottobre 1995 nel pieno centro urbano di Camaiore (Lucca) che ha provocato il disastroso sprofondamento di un fabbricato quadrifamiliare, nonché la grave lesione di altri 5 fabbricati circostanti, successivamente demoliti.

Dal 1995 ad oggi il fenomeno è stato oggetto di una serie di studi interdisciplinari che hanno consentito l'individuazione di aree a rischio sinkhole nell'ambito dell'area urbanizzata del capoluogo; hanno inoltre portato alla progettazione ed alla realizzazione di un sistema integrato di punti di monitoraggio. E' stato attuato un controllo in continuo di tipo sismico in tre centraline nella piana camaiorese per il monitoraggio del sottosuolo, associate ad un controllo periodico di un inclinometro. Sono stati predisposte misurazioni per le falde idriche sotterranee e per le micro-deformazioni del suolo (GPS).

Il progetto in corso ha come obiettivo la messa a punto di una metodologia di pianificazione territoriale preventiva e di intervento per la tutela della pubblica incolumità nelle zone a rischio sinkhole, sia attraverso il riconoscimento e l'analisi di alcuni parametri chiave delle caratteristiche fisiche e geologiche locali, sia attraverso la messa in opera di un monitoraggio in tempo reale che agisca anche come sistema di allerta/allarme.

Il monitoraggio in corso di realizzazione prevede il controllo dei seguenti sistemi:

- A.** il suolo, attraverso il controllo delle micro-deformazioni morfologiche di punti significativi;
- B.** il sottosuolo, mediante apparecchiature per la captazione di segnali sismici e con rilevatori di deformazioni profonde (inclinometri), sensori per la misura della concentrazione di alcuni gas di origine endogena, controllo delle variazioni di densità di massa;
- C.** le acque sotterranee, mediante trasduttori e sonde multi-parametriche, in piezometri significativi, per la lettura in continuo delle variazioni del livello di falda e di alcuni parametri chimico-fisici delle acque.

Il sistema verrà interfacciato con il controllo dei parametri meteo-climatici.

## **INTERFEROMETRIA SAR DA TERRA PER IL MONITORAGGIO DI UN FENOMENO DI SPROFONDAMENTO (SINKHOLE) IN TOSCANA**

BUCHIGNANI V. \*, LEVA D. \*\*, NICO G. \*\*, RIVOLTA C. \*\*

\* Geologo, libero professionista, Via Capanni, 198 Lucca (LU)

tel/fax 348 7766109, e-mail: [ybuchig@tin.it](mailto:ybuchig@tin.it),

\*\*LiSALab srl, Tecnocity Alto Milanese, Via XX Settembre 34, 20025 Legnano (MI)

tel/fax 0331 599 265, e-mail: [info@lisalab.com](mailto:info@lisalab.com)

In Italia sono numerose le zone interessate da fenomeni di sprofondamento. Questo fenomeno comporta la formazione di una depressione nel terreno di forma varia, ma generalmente circolare, che in genere si forma rapidamente, tipica di zone carsiche, di aree di pianura con basamento carsificabile e di aree il cui sottosuolo presenti cavità di varia natura. Negli ultimi anni sembra registrarsi un aumento del numero di sprofondamenti catastrofici legato sia all'espansione delle aree urbane, sia ad eventuali squilibri innescati dalle attività antropiche; ma il fenomeno rimane soprattutto connesso alla naturale predisposizione dell'area alla formazione di dissesti tipo sinkhole. Ciò ha comportato una maggiore attenzione da parte delle amministrazioni preposte alla gestione del territorio verso questo tipo di calamità naturale. In questo lavoro si farà particolare riferimento al fenomeno di sprofondamento catastrofico nell'area di Camaiore (Lucca) dove il 15 Ottobre 1995 si è verificata la repentina formazione di una voragine che provocato la distruzione o danni gravi a numerose strutture. Le procedure di analisi del rischio per gli sprofondamenti catastrofici presentano molte analogie con quelle utilizzate con i fenomeni franosi. Infatti, come le frane, gli sprofondamenti rappresentano sempre "movimenti di massa" che tuttavia non si sviluppano necessariamente lungo un versante ma di solito in aree pianeggianti. Per questo motivo nello studio dello sprofondamento di Camaiore verrà applicata la tecnologia LiSA<sup>®</sup> inventata e sviluppata dal Centro Comune di Ricerca (CCR) della Commissione Europea e validata in collaborazione con diversi dipartimenti universitari, sia in Italia sia all'estero, su frane ad alto rischio, di diversa topologia e su strutture differenti come ponti, dighe e monumenti artistici. In seguito alla positiva conclusione di queste ricerche, il CCR ha assegnato alla LiSALab srl la licenza esclusiva per l'utilizzo e la commercializzazione dei servizi offerti per mezzo della tecnologia LiSA<sup>®</sup>. La LiSALab srl, infatti, è nata sotto l'egida della "European Technology Transfer Initiative" che ha permesso ad alcuni ricercatori, che hanno lavorato e sviluppato la tecnologia, di lasciare il CCR ed intraprendere l'attività imprenditoriale. Il sistema LiSA<sup>®</sup> è un interferometro SAR (radar ad apertura sintetica) mobile, che opera generalmente nelle bande di frequenza C, X e Ku. Esso restituisce mappe bidimensionali del campo di deformazione dell'oggetto o della scena osservata, che possono estendersi fino a qualche chilometro quadro, con una precisione nell'ordine della frazione di millimetro. La distribuzione continua dell'informazione interferometrica, essendo di carattere spaziale, migliora e semplifica l'interpretazione dell'evoluzione del fenomeno osservato, fornendo una visione globale della deformazione in atto facilmente utilizzabile per ulteriori indagini tecniche o simulazioni. Nel caso specifico di Camaiore il sistema LiSA<sup>®</sup> implementerà il monitoraggio progettato, attraverso il controllo delle microdeformazioni del suolo.

## MONITORAGGIO SISMICO IN AREE A RISCHIO DI SINKHOLE L'ESEMPIO DI CAMAIORE

BUCHIGNANI V.\* MUSMECI F.\*\* & RIZZO S.\*

*\*Geologo, Libero professionista*

*\*\* Enea, Roma*

Nel 1995, a Camaiore, in località "Le Funi" si è formato un sinkhole che ha provocato la distruzione di 4 fabbricati. In seguito al fenomeno sono state eseguite diverse indagini, geofisiche, geologiche e geochimiche, che sono presentate in un'altra relazione.

In questo contributo viene presentato il sistema di monitoraggio sismico dell'area, progettato ed installato a partire dal 1998.

Le indagini microgravimetriche e tomografiche eseguite nel corso degli ultimi anni hanno individuato una serie di anomalie (gravimetriche ed elettriche), molto spesso coincidenti, che potrebbero essere legate alla presenza di cavità, o zone con terreni decompressi ed a bassa densità, poste a diversa profondità. Tutte le anomalie sono ubicate in una zona ristretta, centrale, della piana di Camaiore.

I dati raccolti in questi anni sembrano confermare uno schema evolutivo in base al quale un altro sinkhole che dovesse ancora formarsi nella piana di Camaiore sarebbe preceduto da una serie di eventi, e cioè:

- piccoli crolli della volta che provocherebbero del rumore sismico; altri rumori potrebbero essere determinati da assestamenti del materiale alluvionale poco addensato e con bassi valori dei moduli elastici;
- subsidenza dell'area interessata dal potenziale dissesto;
- variazione anomala delle pressioni idrauliche;
- variazioni anomale nel flusso dei gas endogeni;
- spostamento o migrazione laterale dei terreni.

L'installazione delle tre centraline di monitoraggio sismico risponde alla necessità di monitorare il primo, ed in parte anche il terzo, di questi probabili precursori.

Un qualsiasi movimento di masse importanti nel sottosuolo genera un'onda sismica che può essere rilevata da un geofono tridimensionale. Per conoscere la posizione spaziale dell'evento è necessario conoscere la direzione da cui esso proviene; se tale direzione è misurata in due punti di misura separati tra loro, il punto d'incrocio delle due direzioni determina il luogo d'origine dell'evento sismico. Considerato però l'inevitabile errore nella taratura dei sistemi d'acquisizione dei segnali, pur identici tra loro, un terzo punto di misura, separato dai precedenti, fornirà presumibilmente non un punto ma un'area da cui proviene il segnale.

Anche la ricarica accelerata dell'acquifero, possibile in un circuito carsico, provoca una microsismicità che può essere valutata in intensità e frequenza.

## **STATO DI EVOLUZIONE DI *SINKHOLES* IN ALCUNE AREE MONTANE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA**

BURELLI G., CLEVA S., CUCCHI F., OBERTI DI VALNERA S.

*Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine -Università degli Studi di Trieste*

Nel Friuli montano numerosi sono i fenomeni di dissesto innescati dalla dissoluzione di depositi evaporitici.

Con questo contributo ci si propone di valutare lo stato di evoluzione di fenomeni di sinkholes già noti in letteratura e correlati alla presenza di gessi. In particolare si sono scelti tre siti, due dei quali con sinkholes legati ad un forte impatto antropico (Prato Carnico e Ovaro) ed uno che riveste interesse prettamente geomorfologico (Alta Val Tagliamento).

A Prato Carnico il deflusso delle acque freatiche ipogee provoca una solubilizzazione sia diffusa che puntuale dei clasti gessosi contenuti nel materiale alluvionale. Ne segue la genesi di depressioni più o meno evidenti nel materiale che ricopre o sovrasta gli orizzonti gessosi, per adattamento alle forme del substrato o per mutate caratteristiche di densità, e quindi di portanza, della copertura.

A Ovaro la solubilizzazione è legata a precipitazioni e perdite laterali del rio che ha edificato il conoide, che originano scorrimenti di acque nelle alluvioni sui gessi a confluire nelle doline-inghiottitoio o negli inghiottitoi sepolti ubicati lungo le linee di deflusso preferenziale. Tutto ciò porta alla genesi di sprofondamenti e/o avvallamenti che spesso interessano le opere fondazionali, le vie di comunicazione e le infrastrutture urbane.

Nell'Alta Val Tagliamento, si sono verificati (ed occasionalmente si verificano ancora) in corrispondenza di punti di assorbimento preferenziale in gessi, doline di crollo, o meglio doline alluvionali anche ampie e profonde, nei depositi fluvio-glaciali recenti e nei depositi alluvionali attuali. Si tratta di forme di indubbio interesse morfologico, già descritte da Marinelli (1897, 1916) e Gortani (1904, 1965). Sono particolarmente frequenti in un tratto di alcuni chilometri della Val Tagliamento fra Ampezzo e Enemonzo.

## **SINKHOLES NELL'AREA DI TELESE TERME (PROVINCIA DI BENEVENTO) E DI CONTURSI TERME (PROVINCIA DI SALERNO): RAPPORTI CON LA STRUTTURA PROFONDA E I FENOMENI IDROTERMALI**

CALIRO G\*\*\*\*, MORRIELLO G., ORTOLANI F.\*, PAGLIUCA S.\*\*, STANZIONE D.\*\*\*, UCCELLINI A.\*

\* *Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio, Università degli Studi di Napoli Federico II, e-mail: fortolan@unina.it*

\*\* *ISAFOM, CNR, via Cupa Patacca, Ercolano, Napoli, e-mail: s.pagliuca@ispaim.na.cnr.it*

\*\*\* *Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli Federico II*

\*\*\*\* *Osservatorio Vesuviano, Napoli*

In Campania si trovano alcune aree caratterizzate da un elevato numero di sinkholes concentrati in zone ristrette come ad esempio a Telese Terme e nei pressi di Contursi Terme.

Tali aree si distinguono per la presenza di acque termominerali, rocce carbonatiche affioranti e comunque presenti nel sottosuolo, tettonica recente connessa a strutture cristalline.

Nell'abitato di Telese Terme si verificò uno sprofondamento circolare nel febbraio 2002 che ha coinvolto i sedimenti pleistocenici nella zona della "Sorgente Occola" determinando un'area depressa di forma subcircolare, del diametro di circa 21-23 m e della profondità massima di circa 6,30 m che si è subito riempita di acqua sino a 40-50 cm dal p.c.

L'area interessata dal sinkhole è pianeggiante e ubicata alla periferia dell'abitato e si trova compresa tra edifici abitati e una strada comunale. Le indagini effettuate hanno consentito di delimitare l'area di rischio e di delineare le linee di intervento per il ripristino ambientale. Nel sottosuolo all'interno di sedimenti alluvionali, piroclastici e travertinosi sono state rinvenute diverse falde anche in pressione. La causa del sinkhole è stata individuata nell'interazione tra acque minerali in pressione e sedimenti incassanti attraverso i quali le acque risalivano fino alla superficie da alcune decine di metri di profondità. Nell'abitato di Telese sono stati individuati oltre 10 sinkholes avvenuti negli ultimi 100 anni.

A monte delle sorgenti termominerali di Telese affiorano le rocce carbonatiche riferibili alle unità della Piattaforma abruzzese campana, costituenti una piccola collina interessata da numerosi sinkhole, non attribuibili a semplici fenomeni carsici.

Situazione simile si trova nei pressi di Contursi Terme dove i sinkholes interessano anche depositi alluvionali pleistocenici.

Nelle aree citate risulta evidente l'interazione tra fluidi di provenienza profonda, rocce carbonatiche, falde subsuperficiali e acque di infiltrazione meteorica nel dare luogo ai numerosi e concentrati fenomeni tipo sinkholes.

## **IL PROGETTO SINKHOLE: LE ATTIVITA' SVOLTE DAL DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO**

CAMPOBASSO C., GRACIOTTI R., NISIO S. & VITA L.

*Apat –Dipartimento Difesa del Suolo*

Da alcuni anni sono stati condotti dal Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico Scienze della terra e Cartografia tematica (SUO-GEO), studi e ricerche sui fenomeni di sprofondamento (sinkhole) che hanno interessato il territorio nazionale.

Gli sprofondamenti presi in esame sono stati quelli naturali, con particolare riguardo ai sinkholes formati nelle aree di pianura, su sedimenti alluvionali di rilevante potenza, giacenti su substrato carbonatico posto a notevole profondità. Si è potuto constatare che in questi casi il meccanismo genetico non è imputabile al solo processo carsico, ma piuttosto all'interazione di più processi e vari fenomeni al contorno.

Data l'attuale confusione terminologica che caratterizza la letteratura su questo argomento rimangono ancora aperti molti problemi e quindi risulta necessaria, a nostro avviso, l'elaborazione di linee guida che ne permettano una corretta classificazione.

Il progetto prevede lo svolgimento di alcune fasi di lavoro, in parte già realizzate:

1. Censimento e raccolta dati
2. Rilevamenti geologici, idrogeologici e geomorfologici
3. Analisi fotointerpretativa
4. Studio processi genetici
5. Classificazione fenomeni
6. Realizzazione cartografia tematica
7. Studio dell'evoluzione dei fenomeni
8. Individuazione aree a rischio
9. Informatizzazione dati

La fase di censimento e raccolta dati ha previsto una estesa ricerca bibliografica nazionale ed internazionale al fine di reperire, valutare, archiviare i dati fino ad oggi pubblicati sull'argomento e analizzare materiale inedito.

Sono quindi stati condotti sopralluoghi in tutti i siti del Lazio e della Toscana interessati da sinkholes, allo scopo di raccogliere dati per lo studio delle condizioni al contorno. Sono in itinere ulteriori sopralluoghi in altri siti.

Successivamente si è volta l'attenzione all'individuazione dei meccanismi genetici, tema non risolto e tutt'ora dibattuto nel mondo scientifico a causa delle molte variabili coinvolte nel processo. Si è quindi proposta una prima classificazione delle forme di sprofondamento.

E' inoltre nostro interesse approfondire lo studio della migrazione dei sinkholes e l'individuazione e mappatura delle possibili aree a rischio.

## **VORAGINE CARSIKA AL LIVATA (SUBIACO - RM) IN LOCALITA' POZZO DEI MONACI**

CAPPA E., CAPPA G. & FELICI A.

*Società Speleologica Italiana*

Ai margini dell'abitato del Livata, il 2.9.2002 alle ore 13 una voragine puteiforme, profonda oltre 23m, sprofondò improvvisamente a poche decine di metri da un grande condominio. Una immediata e rapida ricognizione permise di scoprire anche la presenza di una cavità carsica discendente, posta a lato della voragine, che rese possibile di raggiungere rapidamente il fondo dello sprofondamento e di effettuarne il rilevamento; si constatò che questa seconda cavità, drenando le acque superficiali della valletta soprastante, aveva scavato dal di sotto il sedimento che riempiva la voragine fino a determinare il crollo improvviso della sua porzione superiore. Successive ricognizioni hanno dimostrato che il sistema è tuttora in fase evolutiva e che la presenza di varie infiltrazioni idriche collaterali sconsigliano per ora qualsiasi intervento ostruttivo.

## **LO STUDIO DEGLI SPRING-SINKHOLE DEL GRUPPO DEI LAGHI DEL VESCOVO (PIANURA PONTINA) ATTRAVERSO L'USO DEL RADON BUDGET**

CAPELLI G., DELITALA M. C., PRIMAVERA P., SALVATI R., TADDEUCCI A. & TUCCIMEI P.  
*Dipartimento di Scienze Geologiche, Università Roma TRE*

Nell'ambito delle attività del "Progetto Sinkhole del Lazio" una delle collaborazioni che maggiormente ha prodotto contributi significativi ai fini della ricerca, è stata quella tra i gruppi di lavoro di Idrogeologia e di Geochimica del Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università Roma TRE.

In particolare lo scopo di questa collaborazione è stato lo studio dei processi idrogeologici ed idrogeochimici che caratterizzano le aree a rischio sinkhole.

In questa nota vengono sintetizzati i risultati di uno studio specifico condotto nella Piana Pontina tra il 2001 e il 2003, ovvero l'analisi delle caratteristiche idrogeologiche e idrogeochimiche del Gruppo dei Laghi del Vescovo (LT).

In questo settore sono presenti quattro forme di sprofondamento che, durante le fasi precedenti del Progetto, sono state riconosciute come forme di sinkhole coalescenti; di queste, due (Lago Verde e Lago Nero) sono state studiate mediante l'uso di metodologie geochimiche elementari e isotopiche.

Durante le campagne di raccolta dati sono state condotte analisi in situ e campionamenti.

Le analisi sul terreno hanno riguardato i parametri chimico-fisici e il contenuto di  $^{222}\text{Rn}$  sia nelle acque che nei fluidi interstiziali contenuti nel sedimento di fondo lago, mentre i campionamenti, eseguiti su più punti e diverse verticali in ognuno dei due laghi, sono stati finalizzati alla caratterizzazione della matrice idrogeochimica delle acque dei laghi e di alcune sorgenti di riferimento, esterne ai bacini lacustri.

Il Rn-budget eseguito sui dati raccolti ha permesso di identificare i punti di immissione delle sorgenti sublacuali, la loro portata, la loro appartenenza alla circolazione carsica nonché la contaminazione ad opera di convogli fluidi risalenti dal profondo, lungo i sistemi di faglie che interessano il margine della dorsale lepina.

I dati raccolti hanno peraltro fornito elementi utili a sostenere il modello concettuale di sviluppo dei sinkhole in aree di risorgenza.

# **GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA, GEOCHIMICA E MECCANISMI GENETICI DI ALCUNI SINKHOLES ALLAGATI. CASI DI STUDIO NEL LAZIO (ITALIA CENTRALE), TAUMALIPAS (MESSICO), SUWANNEE BASIN (FLORIDA).**

CARAMANNA G. \* & GARY M. \*\*

*\*Apat –Dipartimento Difesa del Suolo*

*\*\* University of Texas at Austin*

I sinkholes, letteralmente "voragini da sprofondamento", sono manifestazioni superficiali di fenomeni erosivi, principalmente ma non esclusivamente, attivi nell'ambito di litologie carsificabili. In molti casi sono delle "finestre" che mettono in comunicazione l'ambiente esterno con il reticolo carsico ipogeo. Possono costituire aree di ricarica puntuale per la falda basale o sorgenti. Diversi Autori hanno proposto una classificazione delle tipologie dei sinkholes esistenti prendendo in esame le caratteristiche morfologiche e la loro genesi in relazione ai diversi tipi litologici interessati dal fenomeno di subsidenza

I "casi di studio" presentati sono rappresentativi di varie tipologie della dinamica di formazione di sinkholes in contesti differenti nell'ambito del territorio del Lazio (Italia Centrale), sono anche, brevemente, considerati alcuni sinkholes presenti in Messico ed in Florida (USA).

Caratteristiche comuni sono la presenza di un substrato carbonatico, l'esistenza di falde importanti a fronte di modeste linee di drenaggio superficiale e sviluppo di un reticolo carsico ipogeo, la presenza di fluidi chimicamente aggressivi nei confronti del substrato, lineamenti tettonici a scala locale e regionale.

Le indagini condotte sono state essenzialmente di tipo geomorfologico, idrogeologico ed idrochimico al fine di caratterizzare gli aspetti principali dei sinkholes sedi di affioramento della falda basale.

In diversi casi si è proceduto ad un'indagine diretta all'interno delle voragini allagate impiegando tecniche di progressione speleosubacquea e metodologie di campionamento subacqueo specifico.

E' evidente la stretta correlazione tra sinkholes e presenza di dislocazioni tettoniche che funzionano sia da linee di risalita preferenziale per fluidi endogeni sia da piani di debolezza sui quali è più facile agisca la subsidenza.

Lo studio dei sinkholes, in particolare in riferimento ai meccanismi di formazione ed evoluzione, riveste non solo un valore scientifico ma anche di salvaguardia ambientale e tutela della sicurezza per le attività umane.

L'esplorazione diretta delle cavità allagate ha permesso, in tutte le situazioni studiate, di ottenere informazioni nuove che hanno contribuito a modificare, a volte in maniera sostanziale, quanto si era ipotizzato dalle sole osservazioni in superficie. Questo dimostra come l'immersione scientifica, grazie anche alle moderne potenzialità in termini di equipaggiamenti e tecniche subacquee, possa essere uno "strumento" molto utile per la ricerca in ambienti analoghi a quelli oggetto del presente lavoro.

**APPLICAZIONI DI METODOLOGIE DI IMMERSIONE SCIENTIFICA E ROV (REMOTE, OPERATED, VEHICLE) NELLO STUDIO GEOLOGICO COMPARATO DEI DUE SINKHOLES ALLAGATI PIÙ PROFONDI DEL PIANETA: POZZO DEL MERRO (LAZIO, ITALIA CENTRALE), EL ZACATON (TAUMALIPAS, MESSICO).**

CARAMANNA G. \* & GARY M. \*\*

*\*Apat -Dipartimento Difesa del Suolo*

*\*\* University of Texas at Austin*

Lo sviluppo, a partire dagli anni '50, dei sistemi autonomi di respirazione SCUBA (Self Contained Underwater Breathing Apparatus) ha aperto una nuova frontiera all'esplorazione, e alla conoscenza scientifica, permettendo, per la prima volta, ai ricercatori di immergersi e muoversi liberamente in ambienti subacquei dalle dimensioni ristrette.

Oggi, dopo mezzo secolo di studi e sviluppo tecnologico, si dispone di apparecchiature subacquee dagli standard di sicurezza paragonabili a quelli dell'industria aerospaziale, metodologie e procedure testate ed affinate in migliaia di ore di immersione, centri di addestramento all'avanguardia. L'immersione scientifica è quindi definitivamente uscita dall'era "pionieristica" per divenire, a pieno diritto, un serio ed efficace strumento a disposizione della ricerca geologica subacquea.

L'esplorazione umana diretta, sempre di primaria importanza, può essere supportata, in situazioni particolari, da sistemi comandati dalla superficie: i ROV (Remote Operated Vehicle). Questi sono, in sintesi, dei robot in grado di spostarsi autonomamente sott'acqua trasmettendo agli operatori in superficie immagini dell'ambiente sommerso. Sviluppati dall'industria off-shore, per operazioni di manutenzione e sorveglianza delle grandi infrastrutture subacquee, oggi vengono utilizzati anche per compiti di ricerca.

Dalla sinergia tra uomo e macchina si è sviluppata la possibilità di studiare in modo diretto quelle che, ad oggi, sono le voragini allagate a cielo aperto più profonde del pianeta: il Pozzo del Merro (392 m) (Italia Centrale) ed El Zacaton (> 300 m) (Messico). Questi spettacolari esempi di carsismo epigeo si sono sviluppati in contesti geologici estremamente simili: presenza di potenti serie carbonatiche, lineamenti tettonici di importanza regionale, attività geotermica relitto di antichi sistemi vulcanici.

## FENOMENI DI ANNEGAMENTO DEI SINKHOLES: CASI DI STUDIO SU ALCUNI LAGHETTI DI ORIGINE INCERTA

CARAMANNA G., NISIO S. & VITA L.  
*Apat – Dipartimento Difesa del Suolo*

### **Uno degli effetti più frequenti dopo la formazione di un sinkhole è il processo di “annegamento”.**

Accade spesso infatti che, quando il livello della falda dell’acquifero superficiale è prossimo al piano campagna, dopo uno sprofondamento catastrofico, l’acqua di falda si riversi all’interno della depressione dando a questa la fisionomia di un piccolo lago.

In tale situazione il livello dell’acqua all’interno del lago subisce delle fluttuazioni stagionali essendo strettamente influenzato dagli eventi pluviometrici, con minimi nella stagione estiva.

In altri casi si osserva che il piccolo lago, ormai formato, non subisce rilevanti variazioni stagionali di livello poiché sul fondo sono presenti una o più polle risorgive perenni, spesso di acque mineralizzate. In questi casi si può ipotizzare che il fenomeno di annegamento sia influenzato dalla presenza di acquiferi in pressione all’interno del bedrock carbonatico venuti in connessione con la superficie, nonché da fenomeni di risalita di fluidi profondi (acqua e gas).

La risalita di acque profonde avviene attraverso processi di upwelling e risulta in genere controllata da discontinuità (faglie, fratture) presenti nella copertura alluvionale, che può raggiungere a volte spessori anche notevoli (100-200 m), fino al bedrock calcareo.

In Italia sono molti i laghetti formati in epoca storica la cui morfologia (spesso perfettamente sub-circolare) ed il cui contesto geologico-strutturale (substrato calcareo carsificato sepolto sotto una copertura alluvionale a scarsa permeabilità, presenza di elementi tettonici importanti, abbondanti acque di circolazione sotterranea) potrebbero essere compatibili con fenomenologie da sinkhole, inoltre per alcuni di essi si narrano leggende popolari che farebbero risalire l’origine ad un preciso evento catastrofico.

Sono stati quindi svolti studi di carattere storico e bibliografico su alcuni di questi laghetti, valutata la possibilità di una loro correlazione con eventi sismici e condotte indagini geologiche ed idrogeologiche, di cui si riportano i risultati, mirate ad una loro più precisa caratterizzazione genetica.

## **IL PROGETTO *SINKHOLES* DEL GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE: IL CENSIMENTO DEI FENOMENI SUL TERRITORIO ITALIANO.**

CASAGLI N., DE ROSA G., FANTI R., MORETTI S.

*Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Firenze*

Il Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche ha recentemente avviato, in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile, un progetto per lo studio degli sprofondamenti presenti sul territorio nazionale, al fine di concorrere alla realizzazione delle fasi di previsione e prevenzione dei rischi connessi con l'occorrenza di tali fenomeni.

In tale progetto sono attive sei Unità Operative, aventi compiti di ricerca complementari nei settori della ricognizione dello stato dell'arte internazionale, delle cause degli eventi, della loro tipologia, delle tecniche di monitoraggio: gli scriventi rappresentano le due UU.OO. afferenti al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, che operano nel campo del censimento dei fenomeni e dell'analisi statistica dei loro parametri geologici e morfometrici.

In particolare il presente lavoro è dedicato all'analisi della banca dati nazionale dei sinkholes, realizzata dal Dipartimento della Protezione Civile e messa a disposizione del Progetto GNDICI, che contiene informazioni relative ad oltre 1000 casi distribuiti su gran parte del territorio italiano, dati raccolti attraverso l'uso di una scheda di censimento appositamente realizzata.

Tale mole di informazioni è stata oggetto di una preliminare indagine relativa alla distribuzione degli eventi registrati, in rapporto alle caratteristiche geologiche e morfologiche dei territori interessati ed ha consentito di effettuare alcune elaborazioni statistiche sui caratteri geometrici delle forme di collasso. Il completamento delle analisi morfometriche e l'esame della loro significatività ai fini delle attività previsionali di Protezione Civile rappresentano infatti uno degli obiettivi specifici del Progetto, il cui conseguimento è previsto al termine del primo anno di attività.

## **ELABORAZIONE DI UNA CARTA DELLA VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO PROFONDO DI UN'AREA DEL SALENTO MERIDIONALE CARATTERIZZATA DA CARSIAMO SUPERFICIALE E PROFONDO**

CATALDO R., LEO G., MARGIOTTA S.

*Universita' degli Studi Di Lecce*

La Penisola salentina è caratterizzata, per vaste aree, dall'affioramento di rocce carbonatiche, le quali hanno favorito lo sviluppo di forme di modellamento carsico sia superficiale che sotterraneo. Queste formazioni hanno un'enorme importanza sia per lo smaltimento delle acque meteoriche corrivanti sulla superficie, sia in quanto mettono direttamente in comunicazione il suolo con il sottosuolo, favorendo la circolazione idrica sotterranea.

L'obiettivo del seguente lavoro è l'elaborazione di una Carta della Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento di una zona fortemente antropizzata, comprendente i territori comunali di Parabita e Matino (Salento Meridionale) e caratterizzata da tre vore che collegano direttamente la superficie con l'acquifero sottostante.

Per il calcolo dell'indice di vulnerabilità del test-site, è stato utilizzato il metodo Sintacs, la cui struttura modulare è stata concepita per poter usare varie stringhe (linee di pesi moltiplicatori), elaborate in modo da esaltare i singoli parametri alla base del metodo, onde descrivere di fatto il tipo di situazione idrogeologica e di impatto, risultante dall'insieme dei dati (CIVITA, 1997). La stringa utilizzata è quella destinata a quelle zone ove sussistono condizioni di carsismo profondo e completo. In questa stringa, l'azione di mitigazione della soggiacenza, combinata con l'insaturo, è pressoché nulla poiché le acque superficiali si riversano nel sottosuolo percorrendo condotti (inghiottitoi) anche molto profondi con velocità incomparabilmente maggiori di quelle che caratterizzano i processi infiltrativi normali. La massima enfasi viene attribuita, attraverso il valore dei moltiplicatori, all'infiltrazione efficace e alle caratteristiche dell'acquifero ed alla sua permeabilità. Tutte le informazioni concernenti la vulnerabilità sono state organizzate entro un Sistema Informativo Geografico (GIS).

Nell'area di studio sono state individuate ben 5 classi corrispondenti a diversi gradi di vulnerabilità da basso ad elevatissimo mettendo in evidenza aree ristrette nelle quali è necessaria una pianificazione o ri-pianificazione del territorio per quanto attiene alla protezione nel tempo e nello spazio delle risorse idriche.

## ASPETTI GEOLOGICO-STRUTTURALI IN RELAZIONE ALLA FORMAZIONE DELLA SINKHOLE PLAIN DI S. VITTORINO

CENTAMORE E.\* , NISIO S.\*\* & ROSSI D.\*

\* *Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza". P.le A. Moro 5 00185 - Roma*

\*\* *APAT- Dipartimento Difesa del Suolo. Via Curtatone 3, 00185 – Roma*

La piana di S. Vittorino, caratterizzata dalla presenza di numerosi fenomeni di sinkholes e colmata da depositi fluvio-lacustri del Pleistocene superiore-Olocene, può essere definita una sinkhole plain. Costituisce una depressione tettonica localizzata nel punto d'incontro di importanti unità strutturali che dall'alto verso il basso sono l'Unità dei Monti Reatini, l'Unità Navegna, l'Unità Salto e l'Unità Nuria.

Queste sono delimitate da elementi tettonici di importanza regionale quali: la linea Anzio-Ancona, la linea Olevano-Antrudoco, la Faglia Fiamignano-Micciani e la faglia del Velino.

La depressione di S. Vittorino rappresenta la parte più ribassata di un sistema a blocchi, a movimenti verticali differenziati, ed è controllata dall'attività di alcuni sistemi di faglie (il sistema NW-SE; il sistema NE-SW ed il sistema E-W) che sono responsabili della caratteristica forma triangolare con vertice rivolto a sud. Alcune di queste faglie sono di neoformazione, ma, per la maggior parte, esse riattivano elementi strutturali formati durante le precedenti fasi tettoniche.

In particolare la genesi di questa depressione sembra essere legata ad una fase trassensiva sviluppatasi dopo il Pleistocene medio lungo il sistema Fiamignano-Micciani (NW-SE).

Lo sviluppo dei sinkholes localizzati sulla copertura fluvio-lacustre della conca, è legato a processi di risalita di fluidi e sifonamento dal basso in corrispondenza dell'intersezione dei principali lineamenti tettonici. Questi ultimi infatti svolgono un ruolo fondamentale nella organizzazione idraulica superficiale e profonda della piana.

Nel presente lavoro si è cercato di ricostruire l'assetto geologico profondo della piana poiché, mancando indagini geognostiche profonde e ben distribuite, non sono ancora chiari i rapporti tra le differenti unità tettoniche al di sotto della copertura, non sono note le cause di un confinamento tra le principali facies idrogeochimiche presenti, né i rapporti tra i vari complessi idrogeologici.

## **"I SINKHOLES DEL SULCIS-IGLESIENTE" CASI DI STUDIO E RUOLO DELLE AMMINISTRAZIONI PUBBLICHE**

CINUS S. \*, FARRIS M. \*\*

\* Regione Autonoma della Sardegna, Servizio della Tutela del Suolo e Politica Forestale, Via Biasi, 9 tel. 070-606/5922, [salvatore.cinus@posta.regione.sardegna.it](mailto:salvatore.cinus@posta.regione.sardegna.it)

\*\* Regione Autonoma della Sardegna, Servizio della Tutela del Suolo e Politica Forestale, Via Biasi, 7 tel. 070-606/6540, [mauro.farris@posta.regione.sardegna.it](mailto:mauro.farris@posta.regione.sardegna.it)

La consapevolezza del verificarsi di fenomeni ascrivibili a sinkholes in Sardegna è recente, i primi eventi risalgono al 1999 e fino ad oggi non mancano di risaltare in cronaca od in ambiti amministrativi regionali e provinciali preposti alla tutela e difesa del suolo.

I settori coinvolti riguardano il Sulcis-Iglesiente, ove si osservano diffusi sprofondamenti nei territori amministrati dai Comuni di Villamassargia, Iglesias, S. Anna Arresi e Narcao; particolare rilevanza per diffusione, entità e rischio di pregiudizio alla incolumità di persone ed infrastrutture rivestono quelli ubicati nella Piana del Rio Cixerri compresa fra gli abitati di Iglesias e Villamassargia, in quanto si estendono in prossimità di strutture ferroviarie o stradali, in zone ad elevato insediamento produttivo o presso edifici residenziali.

I Fattori predisponenti da porre all'origine delle voragini sono sia il substrato litoide cambrico profondo di natura calcareo-dolomitica, già soggetto a formazione di strutture carsiche sia la circolazione delle acque di falda interposte fra basamento litoide e copertura alluvionale.

L'Assessorato regionale della Difesa dell'Ambiente, ha disposto nel nov. 2000 un finanziamento di € 516.456,89 delegando il Consorzio di Bonifica del Cixerri per l'esecuzione di "*Indagini, monitoraggio e interventi urgenti di messa in sicurezza geostatica delle voragini*" volto a di redigere gli studi inerenti le cause che hanno provocato gli sprofondamenti ed i collassi puntuali del terreno, loro evoluzione, ed i provvedimenti da assumere per la messa in sicurezza a protezione della pubblica incolumità.

Il Consorzio ha provveduto al riempimento di alcune voragini, alla recinzione delle stesse e ad affidare studi, indagini geofisiche e geognostiche i cui sviluppi hanno definito un'area potenzialmente a rischio per la formazione di voragini, nonché ambiti a rischio geostatico di grado elevato per persone, insediamenti ed infrastrutture su cui attuare l'adozione delle necessarie misure di salvaguardia.

## **IL RISCHIO SINKHOLE NELLA REGIONE LAZIO: QUADRO NORMATIVO E PROSPETTIVE FUTURE**

COLOMBI A. & NOLASCO F.

*Servizio Geologico Regione Lazio, Area Difesa del Suolo, Direzione Regionale Ambiente e Protezione Civile, Dipartimento Territorio, Via R.R. Garibaldi 7, 00145 Roma Italia,  
Membro Comitato APAT*

*Dirigente Area Difesa del Suolo, Direzione Regionale Ambiente e Protezione Civile,  
Dipartimento Territorio Regione Lazio, Via R.R. Garibaldi 7, 00145 Roma Italia,*

Gli sprofondamenti catastrofici improvvisi o Sinkhole, sono stati segnalati nell'Italia Centrale sin dai tempi dei Romani, ma l'interesse scientifico e l'attenzione al problema dal punto di vista della sicurezza sono cresciuti solo nel secolo scorso, a causa dello sviluppo nel nostro paese delle opere infrastrutturali, delle aree industrializzate e del crescente bisogno di costruzioni a destinazione residenziale.

La cognizione che questo fenomeno naturale potesse diventare un serio problema nello sviluppo del tessuto urbano e nella progettazione territoriale ha stimolato un bisogno di comprensione da parte della comunità scientifica verso livelli di conoscenza sempre maggiori. Ma d'altra parte sta obbligatoriamente indirizzando i governi locali, che regolano e gestiscono il territorio, ad operare con interventi programmatici e strutturali nei confronti del problema della gestione del Rischio Sinkhole.

Negli ultimi decenni le finalità degli studi e i progetti intrapresi dalla Regione Lazio, in collaborazione con i Dipartimenti di Scienze Geologiche delle Università di Roma, hanno avuto la duplice funzione di investigare il problema, da una parte per rispondere celermente durante le fasi d'emergenza e dall'altra per cercare di capire la genesi, l'evoluzione e la formazione, in modo da predisporre le norme di salvaguardia per le aree a rischio.

Nell'Agosto del 2002 la Regione Lazio ha emanato la Delibera di Giunta Regionale n. 1159 con la quale ha delineato il quadro normativo su cui impostare le strategie future. Questa DGR definisce le indagini di carattere geologico, geofisico e idrogeochimico, necessarie e propedeutiche per i progetti di pianificazione territoriale che dovranno essere eseguiti in aree a Rischio Sinkhole. La DGR Lazio 1159/02 è il seguito di provvedimenti normativi pilota emanati dalla Regione Lazio per aree ben circoscritte (DGR Lazio 8989/97 per l'area di San Vittorino presso Rieti) ed è l'estensione di un'altra normativa a carattere regionale (DGR Lazio 2649/99) che ha obbligato tutti i comuni della Regione a predisporre elaborati geologici tematici in sede di redazione degli strumenti urbanistici a qualunque livello.

Le prospettive future dovranno essere indirizzate a definire proposte cautelative differenziate per le diverse aree di rischio, in modo da permettere all'Amministrazione Regionale di rispondere concretamente agli Enti locali periferici ed ai Professionisti sulle attenzioni da prestare durante gli studi di Pianificazione Territoriale.

## **IL RISCHIO DI FENOMENI DI SPROFONDAMENTO IN ITALIA: LE ATTIVITÀ DEL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE**

CORAZZA A.

*Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della protezione civile – Ufficio Pianificazione Valutazione e Prevenzione Rischi – Servizio Rischio Idrogeologico e Idrico*

In Italia i dissesti provocati da fenomeni di sprofondamento o dovuti alla presenza di cavità sotterranee sono frequenti ed hanno determinato spesso ingenti danni materiali e, in molti casi, anche la perdita di vite umane.

Nei casi più gravi lo Stato è anche intervenuto direttamente, dichiarando lo stato di emergenza e finanziando, attraverso Ordinanze di protezione civile, gli interventi di sistemazione, a tutela anche dell'incolumità delle persone.

Tenuto conto della diffusione dei fenomeni e dei danni da essi provocati, il Dipartimento della protezione civile ha ravvisato la necessità di avviare studi approfonditi per definire il rischio collegato a tale tipo di fenomeni e a tal fine, ha predisposto uno specifico progetto denominato Rischio Cavità.

La prima fase del Progetto, realizzata tra il 2001 e il 2003, ha avuto come obiettivo quello di ricostruire un quadro conoscitivo a livello nazionale sul rischio in questione. E' stato quindi condotto un censimento dei dissesti, con predisposizione di una apposita scheda censuaria redatta con la collaborazione del Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.) del C.N.R., avviando parallelamente una raccolta di informazioni e documentazione tecnica presso Autorità di bacino, Regioni e Province.

Il censimento ha permesso di raccogliere informazioni su 1009 casi di dissesto che sono disponibili, oltre che in forma cartacea, in un data base e GIS.

La seconda fase del progetto, da attuarsi nel 2004-2005, prevede, con la collaborazione di tutte le amministrazioni e gli enti interessati al problema, il completamento del censimento e la messa a punto, con il concorso scientifico del G.N.D.C.I., al quale il Dipartimento ha finanziato un progetto di ricerca specifico ("Progetto Sinkholes"), di linee guida metodologiche per lo studio e pianificazione del rischio in questione, per la realizzazione degli interventi di sistemazione dei dissesti e per il monitoraggio specifico, quest'ultimo supporto indispensabile alla redazione di piani di emergenza.

I prodotti finali del progetto Rischio Cavità saranno resi disponibili per le attività di previsione e prevenzione (strutturale e non strutturale) svolte dalle amministrazioni pubbliche.

## CENSIMENTO DEI DISSESTI DOVUTI A CAVITÀ SOTTERRANEE IN ITALIA

CORAZZA A.

*Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della protezione civile – Ufficio Pianificazione Valutazione e Prevenzione Rischi – Servizio Rischio Idrogeologico e Idrico*

Il Dipartimento della protezione civile, nell'ambito delle attività intraprese per l'analisi sul rischio legato alla presenza di cavità sotterranee, ha realizzato un censimento dei dissesti provocati da dette cavità. Il censimento, realizzato in due fasi tra il 2001 e il 2003, ha avuto come obiettivo quello di ricostruire un quadro conoscitivo a livello nazionale. Per l'acquisizione delle informazioni, svolta con la collaborazione di Autorità di bacino, Regioni e Province, è stata redatta insieme al Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.) del C.N.R. una apposita scheda censuaria. Tale scheda caratterizza il caso per molteplici aspetti: la fonte dei dati, la documentazione tecnica e visiva disponibile, la datazione, il tipo e morfologia del dissesto, la sua origine, gli insediamenti ed attività antropiche ricadenti nell'area d'interesse, lo stato delle conoscenze, i caratteri geologico-strutturali e idrogeologici della stessa area, le caratteristiche e la stabilità delle grotte o delle cavità antropiche, i fenomeni precursori, l'evoluzione e i fattori predisponenti il dissesto, le persone e le cose danneggiate e/o a rischio, gli enti e gli organismi intervenuti a seguito del dissesto, gli interventi di sistemazione e di risanamento e i relativi costi, l'eventuale monitoraggio post-intervento, i provvedimenti amministrativi di riduzione del rischio, i piani o programmi di intervento in cui eventualmente il dissesto è stato inserito, una descrizione sintetica (abstract) di tutte le informazioni contenute nella scheda.

Il censimento ha permesso di raccogliere informazioni su 1009 casi di dissesto che sono disponibili, oltre che in forma cartacea, in un data base e GIS.

Nella tabella che segue viene fornito, distinto per regione e per tipologia della cavità sotterranea, un quadro riassuntivo dei casi di dissesto censiti.

REGIONE	Cavità Antropiche	Cavità Naturali	Totale
Piemonte	17	4	21
Valle d'Aosta	1	0	1
Lombardia	38	15	53
Veneto	4	14	18
Friuli Venezia Giulia	4	28	32
Trentino Alto Adige	9	0	9
Emilia Romagna	27	4	31
Liguria	4	2	6
Toscana	28	6	34
Umbria	15	3	18
Lazio	131	31	162
Marche	92	6	98
Abruzzo	65	11	76
Molise	10	2	12
Campania	194	0	194
Puglia	57	35	92
Basilicata	57	4	61
Calabria	11	9	20
Sicilia	14	19	33
Sardegna	28	10	38
TOTALE	806	203	1009



## **SINKHOLE HAZARD IN URBAN AREAS: THE CASE OF CAMAIORE (TUSCANY, ITALY)**

D'AMATO AVANZI G., GIANNECCHINI R., PUCCINELLI A. & VERANI M.

*Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa*

In the Camaiore town (Tuscany), a sinkhole suddenly formed in 1995 and caused destruction or heavy damage of several houses. Many people were evacuated.

The geological structure being one of the most important preparing factors of the sinkhole, surface and underground geologic features of the area were investigated, in order to understand the causes of the collapse and its evolution. Such features were reconstructed on the basis of geologic, geomorphic and geognostic surveys: in the sinkhole zone, the bedrock is made up of limestone, densely fractured and intersected by several direct faults. This bedrock is buried by thick alluvial deposits, up to 140 m thick. Basing on surveys and drillings, the bedrock evidences karst cavities, generally filled by breccia and/or alluvial materials.

The sinkhole disaster is attributed to a deep collapse of a cave in the calcareous bedrock. The effects of this collapse were felt at the surface only after a considerable lapse of time, determined by the slow progress of the cavity upwards in the alluvial materials. Actually, it is significant to note that, one week before the collapse, an earthquake with a 50 km far epicentre involved the Camaiore area as well; probably, the earthquake triggered the collapse of the cave roof in the bedrock. In order to individuate other hazardous places, historic-archive researches together with geognostic and geomorphic surveys were also performed, in the urban area and around. These studies highlighted possible deep caves in the underground and traces of past karst collapses, close to and in the Camaiore town; in fact, limestone is widespread in the study area and might be affected by sudden karst phenomena. Furthermore, Camaiore is next a high seismicity region (the Garfagnana-Lunigiana), where very strong earthquakes (> 6 M) occurred. Finally, due to the high sinkhole hazard of the area, it is considered necessary to extend the investigations to the whole Camaiore plain, in order to identify any conditions like those of the 1995 collapse.

## **VOLCANOGENIC FLUORIDE AS A POSSIBLE OUTBREAK IN THE GENESIS OF SINKHOLE IN GROUNDWATER DISCHARGE AREAS OF CENTRAL ITALY**

DE RITA D. & CINNIRELLA A.

*Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Roma Tre*

We propose sinkholes are due to the dissolution of the limestones by the attack of fluoridric acid derived by geothermal water rising up along the major structural discontinuities at the margin of the Apennines.

Major evidences for this hypothesis are:

- all the sinkholes develop at the western margin of the Apennines chain in proximity of volcanic complexes, or in the core of the Apennine where monogenic volcanic centres occurred.
- the sinkhole prone areas are located in correspondence of seismogenetic zones or active faults with resurgences of thermo-mineral waters.
- Most of the last volcanic episodes of each volcanic district are phreatomagmatic implying a continuous interaction between the rising magma and the deep regional aquifers.
- The anomalous fluorine content of most of the springs and in the regional aquifers in the volcanic areas.
- The presence of conspicuous fluorite deposits in the volcanic areas, and the abundance of related secondary minerals F-rich (Apatite, etc).
- There are intense CO<sub>2</sub> manifestations in all volcanic districts with deposition of travertine often enriched in fluorine.
- The sinkhole phenomena locate in groundwater discharge areas (GDA) implying a near-saturation state of the waters with respect to calcite. Furthermore, the confined karst bedrock aquifers have upwelling waters variously artesian, sometimes above the ground surface.

Our hypothesis is that F in the regional aquifer forms fluoridric acid (or the acid is directly introduced in the regional aquifer) giving the possibility to the water to attack the limestones of the carbonatic sequences of the Apennine. It is known that fluoridric acid is able to dissolve the limestones producing fluorite in its esothermic reactions liberating CO<sub>2</sub>.

## **ESAME DEL FENOMENO DI SUBSIDENZA DEL "BOTTEGONE" (GROSSETO) STUDY OF THE SUBSIDENCE OF "BOTTEGONE" (GROSSETO)**

DEL GRECO O., GARBARINO E. E OGGERI C. PIOLI F.

*Diget, Politecnico di Torino  
Geoprogetti Informatica, Grosseto*

Nel gennaio 1999 si è manifestato un fenomeno di subsidenza di considerevole entità nella pianura maremmana, ad una distanza di circa 10 km a Nord da Grosseto, in località "Bottegone". L'evento si è originato con un repentino sprofondamento, sviluppatosi nell'arco di 22 circa ore, durante il quale si è formata una voragine di contorno pseudocircolare, caratterizzata da un diametro di 140 m e da sponde scoscese e verticali. Nelle settimane successive la voragine ha assunto una forma ellissoidica, con asse maggiore di 188 m in direzione NNE-SSO e con asse minore di 150 m nella direzione perpendicolare. Quindi, nel volgere di diversi mesi, la morfologia delle scarpate si è gradualmente evoluta con un addolcimento delle forme e varie fenomenologie, legate principalmente alla circolazione di acque sotterranee, hanno accompagnato l'esaurimento della subsidenza.

La subsidenza è stata ricondotta ad un'origine naturale e profonda, in particolare al collasso di una struttura cavernosa ipogea presente nel substrato calcareo. Tale substrato caratterizza la geologia della regione e rappresenta il principale acquifero profondo carsico in pressione, come testimoniano le sorgenti termali che emergono in superficie e che contornano l'area in studio. Lo studio del fenomeno geologico si è basato su valutazioni di geologia strutturale a livello locale e regionale e su indagini geofisiche e idrogeochimiche. E' stata eseguita una modellazione preliminare del fenomeno, finalizzata alla comprensione della sua dinamica evolutiva ed all'estensione dell'approccio ad aree potenzialmente soggette a manifestazioni simili, con finalità di pianificazione territoriale e gestione del rischio.

## PRIMO CONTRIBUTO SULLA DISTRIBUZIONE DEI SINKHOLES DI ORIGINE CARSICA IN CAMPANIA

DEL PRETE S. \*, DE RISO R. \*\*, SANTO A. \*\*

\*\*Dipartimento di Ingegneria Geotecnica "Sezione di Geologia Applicata"

*Università di Napoli "Federico II"*

\* collaboratore esterno

Nell'Appennino carbonatico campano sono presenti numerose grandi doline da sprofondamento di origine carsica (*collapse sinkholes*) che solo in pochi casi sono state oggetto di studi di dettaglio. Tali fenomenologie si sviluppano alla base di massicci carbonatici o in aree detritico-alluvionali prossime ai versanti calcarei ove, non di rado, si osservano importanti infrastrutture e centri abitati in via di espansione.

Alcuni esempi significativi riguardano le aree di Telesse e di Solopaca (provincia di Benevento) dove i sinkholes interessano sia versanti calcarei che i terreni di conoide ed alluvionali del fondovalle, e risultano in stretta correlazione con il contesto idrogeologico e strutturale dell'area.

In penisola sorrentina alcuni sinkholes si aprono sui versanti calcarei compresi tra Gragnano e Vico Equense; in particolare uno di essi "la Dolina della Jala" insiste su un versante sul quale si osservano anche profonde fratture di trazione (denominati "Spacchi") profondi più di 100m e lunghi sino a 3-400m. Non è un caso che l'esecuzione di due importanti infrastrutture che attraversano in galleria il costone (linea ferroviaria della Circumvesuviana e, di recente, la variante ANAS alla statale Sorrentina) ha comportato una serie di problemi connessi all'intenso stato di fratturazione dell'ammasso roccioso carsificato.

Nell'area termale di Contursi (in provincia di Salerno) sono state osservate numerose doline da crollo una delle quali (la "dolina di Pianelle" ) si è "aperta" improvvisamente nel maggio del 1981, creando una voragine di oltre 100m di diametro e profonda circa 30m.

E'attualmente in corso una intensa attività di rilevamento e di controllo su alcune decine di altri sinkholes già riconosciuti attraverso fotointerpretazione.

Le prime riflessioni che è possibile proporre riguardano l'osservata correlazione fra sinkholes, importanti lineamenti tettonici a carattere regionale e gruppi sorgivi mineralizzati. La ricerca storica e i primi rilevamenti di dettaglio, finalizzati alle analisi stratigrafiche dei terreni coinvolti nello sprofondamento, hanno evidenziato che alcuni collassi sono stati improvvisi e sono avvenuti in tempi storici.

Tali risultati preliminari costituiscono uno stimolante punto di partenza per le attività che si intende svolgere nell'ambito del Progetto Speciale Sinkholes (C.N.R. – Dipartimento Protezione Civile) in vista della individuazione di aree di "pericolosità" connessa a sprofondamenti di origine antropica o naturale e conseguenti proposte di metodologie di monitoraggio e di intervento.

## PROBLEMATICHE CONNESSE A FENOMENI DI SUBSIDENZA CARSICA E SINKHOLES IN PUGLIA

DELLE ROSE M.\* , FEDERICO A.\*\* & PARISE M.\*

\* *CNR-IRPI, sezione di Bari*

\*\* *Facoltà di Ingegneria di Taranto*

La regione Puglia presenta distinti contesti geologici che determinano differenti condizioni di propensione al dissesto idrogeologico e di vulnerabilità ambientale. Tra queste, data la natura prevalentemente carbonatica delle rocce affioranti, i fenomeni di subsidenza carsica e gli sprofondamenti (sinkholes) hanno un ruolo notevole, e devono essere presi in considerazione sia per la valutazione della pericolosità da fenomeni naturali, che per la relativa vulnerabilità dell'ambiente antropico. La subsidenza del territorio pugliese è riconducibile, oltre che a fenomeni carsici, anche ad attività antropiche. Varie zone dell'ampia pianura alluvionale del Tavoliere sono ad esempio interessate da fenomeni di subsidenza causata dall'emungimento della falda superficiale, o dall'estrazione di gas; altre aree della regione, caratterizzate nel passato da intensa attività estrattiva sotterranea, mostrano invece attualmente abbassamenti del suolo di entità variabile da alcuni centimetri ad alcuni decimetri all'anno.

Negli ultimi decenni sono stati registrati in Puglia numerosi eventi di dissesto che hanno arrecato danni a infrastrutture antropiche presenti sul territorio. Nel presente contributo si intende illustrare, dopo una introduzione agli aspetti generali dei sinkholes, e aver delineato le principali caratteristiche carsiche del territorio pugliese, alcuni significativi casi di studio. In particolare, si descriveranno le gravi del Promontorio del Gargano, gli eventi di subsidenza carsica nelle Murge di sud-est (ad es. Castellana-Grotte), e, infine, alcune situazioni nella Penisola Salentina (area delle Cesine, Grotte della Poesia, zona di Porto Badisco). In qualche caso, la presenza di beni archeologici e di eccezionali testimonianze storiche risalta ulteriormente la necessità di svolgere ricerche sulle possibili evoluzioni dei fenomeni, al fine della salvaguardia e della tutela del paesaggio carsico e dei beni archeologico-culturali.

Da segnalare infine l'incidenza sull'evoluzione geomorfologia dei fenomeni ubicati in prossimità delle linee di costa, dove la presenza di cavità carsiche, combinata a processi di ipercarsismo (dovuto al miscelamento tra acque dolci di falda e acque marine, che determina una maggiore attività di dissoluzione delle rocce carbonatiche), provoca la coalescenza di più sprofondamenti, sino alla formazione di vaste aree depresse (profonde anche alcuni metri), o di estese aree paludose e di insenature costiere.

## INDAGINI GEOFISICHE PER L'INDIVIDUAZIONE DI AREE A RISCHIO DI SINKHOLE NELLA PIANA DI SAN VITTORINO (RI)

DI FILIPPO M.\* , NOLASCO F.\*\* , TORO B.\* , RIZZO S.\*\*\*

*\*Università di Roma La Sapienza. Dipartimento Scienze della Terra*

*\*\*Regione Lazio*

*\*\*\*Geologo, Libero Professionista*

La Piana di San Vittorino è stata interessata in epoche storiche e recenti da improvvisi sprofondamenti con formazione di laghetti.

Negli ultimi anni sono state effettuate prospezioni microgravimetriche e tomografie elettriche allo scopo di individuare dettagliatamente le aree a rischio di sinkhole.

È stata messa a punto la metodologia della parte operativa delle prospezioni geofisiche: spaziatura tra le stazioni di misura, esecuzione dei rilievi, elaborazione e modellizzazione dei dati di gravità e della tomografia elettrica.

In una prima fase è stata eseguito un rilievo gravimetrico dell'intera piana per dettagliare l'andamento del bedrock carbonatico, evidenziare le dislocazioni tettoniche recenti e valutare lo spessore dei terreni fluvio-lacustri.

Successivamente è iniziata le prospezioni nelle aree abitate e quindi più a rischio. In una ulteriore fase le aree oggetto delle prospezioni sono state ampliate da un versante all'altro della piana.

I risultati delle prospezioni evidenziano alcune aree con minimi gravimetrici subcircolari associati ad una bassa resistività elettrica, riconducibili alla presenza nel sottosuolo di volumi caratterizzati da bassa densità ed un'alto contenuto in elettroliti, potenzialmente a rischio di collasso.

In queste aree è stata impostata una rete di monitoraggio gravimetrico, altimetrico ed elettrico al fine di delineare eventuali variazioni ascrivibili alla naturale evoluzione dei fenomeni di formazione di sinkhole.

## GLI ALTOPIANI DI ARCINAZZO: UN'AREA A RISCHIO DI SINKHOLE

DI FILIPPO M.\* , NOLASCO F\*\*., TORO B.\*

*\*Università di Roma La Sapienza. Dipartimento Scienze della Terra*

*\*\*Regione Lazio*

Gli Altopiani di Arcinazzo rappresentano una zona carsica, tuttora attiva, fra le più belle e caratteristiche dell'Appennino Centrale. Questa ampia zona, leggermente concava e a contorno grossolanamente ellittico, costituisce il tratto orientale e più elevato di una depressione legata a motivi tettonici, fra le dorsali calcaree del Monte Scalambra e del Monte Altuino. L'intensa tettonizzazione delle formazioni calcaree rappresenta un fattore essenziale per la genesi e lo sviluppo del fenomeno carsico epigeo ed ipogeo.

Sulla base di tali ipotesi genetiche, si può in ogni caso ritenere che nell'area esaminata possano esistere cavità ipogee anche più giovani di quelle conosciute; esse non sarebbero osservabili in superficie solo perché non sono ancora riuscite ad aprirsi completamente un'apertura esterna.

Su queste considerazioni, e nella prospettiva di uno sviluppo urbanistico, la Regione Lazio, Dipartimento Ambiente e Protezione Civile ha richiesto l'intervento del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza" per uno studio volto ad individuare la presenza di cavità sotterranee suscettibili di crollo in località Altopiani di Arcinazzo (Rm).

A tale scopo, il Dipartimento di Scienze della Terra ha effettuato una prospezione microgravimetrica nelle aree di prossimo sviluppo urbanistico.

Sono state elaborate varie mappe delle anomalie di gravità dove i minimi gravimetrici indicano la presenza di eventuali cavità ipogee. I dati geofisici sono stati correlati anche con la geologia di superficie e con tutti gli indizi morfologici, quali lo sviluppo delle forme carsiche e i sinkholes recenti.

È stata osservata una stretta correlazione tra i minimi di gravità e i piccoli sprofondamenti che verificano a cadenza anche mensile. Essi sono ubicati al bordo dei minimi gravimetrici e rappresentano i margini di futuri sinkholes.

## **INDAGINI GRAVIMETRICHE E MICROGRAVIMETRICHE NELL'ABITATO DI CAMAIORE.**

DI FILIPPO M. & TORO B  
*Università "La Sapienza" Roma.*

A seguito del grave dissesto idrogeologico avvenuto a Camaiore nella notte tra il 14 ed il 15 di ottobre 1995 in località "Le funi" con la formazione di una voragine di ingenti proporzioni,

furono eseguite una serie di indagini geofisiche atte a comprendere le modalità del fenomeno ed ad individuare aree a rischio di sprofondamento.

Nell'anno 1998 è stata eseguita una prospezione gravimetrica di dettaglio in tutta l'area abitata allo scopo di individuare le principali strutture sepolte. In base ai dati di gravimetria e ai dati di perforazione e di SEV fu realizzato un modello gravimetrico tridimensionale della Piana di Camaiore.

Successivamente, a seguito dei risultati delle tomografie elettriche che mettevano in evidenza alcune aree anomale e quindi potenzialmente a rischio, si ritenne necessario effettuare in queste aree prospezioni microgravimetriche aventi lo scopo di individuare aree con anomalie gravimetriche negative imputabili a carenze di massa e quindi potenzialmente a rischio.

Le prospezioni eseguite hanno indicato alcune zone con anomalie negative che potrebbero essere imputabili a cavità sepolte o comunque a volumi a bassissima densità. In base ai modelli interpretativi realizzati, il tetto di eventuali cavità sarebbe situato a profondità comprese tra 15 e 20 metri.

## **I FENOMENI DI SINKHOLE IN RELAZIONE ALLE STRUTTURE SISMOGENETICHE E AGLI EVENTI SISMICI: UN APPROCCIO METODOLOGICO ED IL CASO DI STUDIO DELLA PIANA DI S. VITTORINO (RI)**

FERRELI L., GUERRIERI L., NISIO S., VITA L. & VITTORI E.

*Apat Dipartimento Difesa del Suolo*

Tra i fattori predisponenti l'innescamento e la propagazione di un fenomeno di sinkhole gioca un ruolo predominante il contesto geologico-strutturale in cui è condizione necessaria la presenza di faglie e fratture che possano mettere in comunicazione il substrato carbonatico con la copertura alluvionale. Tra i fattori innescanti in letteratura sono stati invocati anche gli eventi sismici verificatisi alcuni giorni prima del fenomeno, come ad esempio a Camaiore, (LU), Doganella di Ninfa, (LT) e nella Piana di S. Vittorino (RI).

In tale ambito presso l'APAT- Dipartimento Difesa del Suolo sono in corso ricerche finalizzate all'individuazione delle correlazioni tra strutture sismo-genetiche (geometria della struttura, magnitudo associata, distanza dall'area investigata) e sinkholes in alcune aree campione della catena appenninica. Queste analisi mirano a definire il ruolo giocato dai diversi contesti geologici (fagliazione, sismicità locale e regionale, natura e spessore dei depositi di riempimento, natura e struttura del substrato, circolazione idrica superficiale e sotterranea) e dall'attività antropica (es. emungimento).

A lungo termine, l'obiettivo di questa ricerca sarà la definizione del "contesto geologico caratteristico" per lo sviluppo di fenomeni di sinkhole attraverso la realizzazione di un'apposita banca dati georiferita, contenente a livelli sovrapposti le caratteristiche delle strutture attive, la sismicità, lo spessore, la geometria e la natura dei depositi continentali di riempimento. In tale modo sarà anche possibile individuare aree potenzialmente idonee a produrre eventi di rilievo nel prossimo futuro o aree solo apparentemente prive di fenomeni in quanto questi non erano ancora stati individuati o correttamente interpretati.

Si espongono in questo lavoro i primi risultati ottenuti nell'area della Piana di S. Vittorino e nelle aree adiacenti, dove si è proceduto alla raccolta e alla analisi delle caratteristiche geologiche e strutturali del sito (es. variazioni significative nello spessore, nella geometria e nella natura dei depositi continentali di copertura, profondità della falda) che condizionano la distribuzione dei fenomeni in esame, nonché allo studio degli eventi sismici avvenuti in epoca storica e recente nell'area in corrispondenza con innescamento di sprofondamenti catastrofici.

## **ESEMPIO DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE DEL RISCHIO IN UNA AREA A RISCHIO SINKHOLE (TOR TRE PONTI, LATINA)**

GARBIN F.\* , SCARAPAZZI M.\* , CIANCI S.\* , CAPELLI G.\*\* , SALVATI R.\*\* , ALBANESE G.\*\*\* & STORONI S\*\*\* .

\* - *Geoplanning Servizi per il Territorio S.r.l.*

\*\* - *Dipartimento di Scienze Geologiche, Università Roma TRE*

\*\*\* - *ANAS S.p.A.*

In questa nota vengono presentati i risultati di una collaborazione tra il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università Roma TRE, l'ANAS Compartimento per la viabilità di Roma e del Lazio, e la Geoplanning Servizi per il Territorio S.r.l.

Scopo della collaborazione è stato lo studio delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni in un sito della Piana Pontina (Tor Tre Ponti, LT) in funzione della definizione dei parametri necessari alla modellizzazione numerica del rischio sinkhole.

Da un punto di vista squisitamente geotecnico la collaborazione di cui sopra ha permesso di acquisire dati di fondamentale importanza per l'implementazione del modello numerico di simulazione ma, allo stesso tempo, ha permesso anche di mettere a punto tecnologie e protocolli di analisi che possono rappresentare un contributo significativo nel panorama delle procedure applicative di laboratorio.

Cogliendo quindi l'opportunità offerta dalla realizzazione di un sondaggio profondo, spinto fino al tetto del bedrock carbonatico, eseguito nell'area in studio è stato pertanto delineato un razionale piano di prove geotecniche di laboratorio da eseguirsi sui campioni prelevati.

Tali prove hanno permesso di definire le caratteristiche fisiche delle varie litologie incontrate durante la perforazione, e di caratterizzarne alcuni aspetti meccanici con prove mirate in funzione dei requisiti richiesti dalla modellizzazione dei fenomeni di sprofondamento catastrofico. I test eseguiti sono generalmente riconducibili alla geotecnica classica, ma è stato altresì necessario realizzare prove speciali non normate, per la determinazione della permeabilità e della resistenza a trazione su terre. Per l'esecuzione di quest'ultima prova si è resa necessaria la progettazione e realizzazione "ex novo" di una strumentazione sperimentale che permettesse di raccogliere informazioni sulla resistenza e sulla deformazione di materiali saturi granulari e non.

Questo studio si inserisce in un più ampio progetto di ricerca condotto dal Dipartimento di Scienze Geologiche, volto ad analizzare le modalità di innesco e sviluppo dei fenomeni di sprofondamento catastrofico, nonché la definizione delle aree potenzialmente o già conclamate a rischio e i dati raccolti sono in corso di utilizzazione per l'implementazione di un modello numerico di simulazione della propagazione della deformazione che porta alla genesi di un sinkhole, in collaborazione con il Prof. T.Tharp dell'Earth and Atmospheric Sciences Dept. della University of Purdue (West Lafayette, Indiana, USA).

## **LE INDAGINI E IL MONITORAGGIO DI FENOMENI DI SUBSIDENZA E SPROFONDAMENTO NELL'AREA MINERARIA DI GAVORRANO. (GR – TOSCANA)**

GARZONIO C.A., BARSUGLIA F., IOTTI A.

*Dipartimento Restauro e Conservazione dei Beni Architettonici*

*Laboratorio Materiali Lapidei*

*Tel: +39 055 50774226 - FAX: +39 055 5001988*

*Via Micheli, 8 - 50121 - Firenze - ITALY*

Durante l'estrazione mineraria, in prevalenza nei casi dove la coltivazione viene eseguita a medie e basse profondità, sono frequenti fenomeni di sprofondamento o collasso gravitativo. Dopo la chiusura delle attività estrattive e quindi l'abbandono dell'area mineraria è possibile il verificarsi di sprofondamenti e di fenomeni di subsidenza, talora di grandi dimensioni, causati soprattutto dal collasso di antiche gallerie.

La subsidenza può inoltre causare, in relazione all'assetto morfologico ed allo stato di fratturazione degli ammassi rocciosi coinvolti, fenomeni di diffusa instabilità gravitativa.

La nota descrive le indagini svolte sui fenomeni di subsidenza del rilievo soprastante il complesso minerario di Gavorrano, che è stato il più grande d'europa per l'estrazione di pirite, chiuso completamente nel 1982. I fenomeni occorrono su un rilievo calcareo fratturato dove erano già presenti eventi di collasso carso-gravitativo. Inoltre sono rilevati fenomeni più limitati, legati a rapidi sprofondamenti, sia per collassi di cavità ai bordi del principale fenomeno di subsidenza, che per cedimenti di pozzi o fornelli minerari.

Al fine di ottenere un quadro geologico e geomeccanico per la messa a punto di un sistema di monitoraggio dell'area mineraria, oltre a rilievi di superficie e minerari, sono utilizzate alcune metodologie di prospezione, in particolare nei punti dove si sono avuti eventi di crollo. Sono sviluppate delle indagini attraverso il Georadar-GPR (Ground-penetrating-radar) per il rilevamento di possibili cavità vuote nei punti dove si erano già verificate delle voragini, dei Sondaggi Sismici a rifrazione per valutare la consistenza del materiale e definirne lo stato di fratturazione e quindi la relativa stabilità, delle Tomografie Elettriche (polo-dipolo) per evidenziare le zone di riempimento dei terreni allentati a causa dei crolli precedenti.

Infine è stata redatta una carta delle anomalie rilevate, finora limitatamente ad alcune zone campione. Questa ha dato la possibilità di poter evidenziare le aree maggiormente instabili e quindi la progettazione della rete di monitoraggio.

## **EL RIESGO DE DOLINAS DE SUBSIDENCIA EN TERRENOS EVAPORITICOS. INVESTIGACIÓN Y MITIGACIÓN**

GUTIERREZ F.

*Edificio Geológicas - Universidad de Zaragoza- C/. Pedro Cerbuna, 12-50009 Zaragoza-SPAIN*

La karstificación de sedimentos evaporíticos por flujos de agua subsuperficiales puede provocar la deformación gravitacional de los materiales suprayacentes y el hundimiento de la superficie del terreno. Estos fenómenos de subsidencia por disolución generalmente se manifiestan en superficie mediante depresiones cerradas denominadas dolinas de subsidencia. El hundimiento brusco o gradual que experimenta la superficie del terreno durante el desarrollo de las dolinas de subsidencia puede provocar graves daños en distintos tipos de estructuras (obras lineales, edificios, presas, centrales nucleares) e incluso poner en peligro la vida de las personas. España es el país europeo en el que la subsidencia por disolución de evaporitas tiene una mayor repercusión socioeconómica. En el territorio español estos fenómenos se deben fundamentalmente a la karstificación de formaciones evaporíticas triásicas y terciarias, cuyo afloramiento ocupa aproximadamente el 7% de su superficie. Las zonas donde la subsidencia provoca mayores pérdidas son las áreas urbanas de Zaragoza, Calatayud y Madrid. Las investigaciones geomorfológicas, el análisis del paleokarst y las exploraciones espeleológicas ayudan a comprender los procesos y los factores que intervienen en los fenómenos de subsidencia. Para reducir los daños por subsidencia es preciso evitar las zonas potencialmente peligrosas o aplicar medidas correctivas. Dado que en la mayoría de los casos no es posible detener el fenómeno de subsidencia, estas medidas deben orientarse preferentemente a reducir la vulnerabilidad de las estructuras mediante diseños especiales. Debido a la creciente ocupación de zonas peligrosas y a la proliferación de las actividades humanas que contribuyen a acelerar la subsidencia, cabe esperar que las pérdidas en el futuro vayan en aumento.

La carsificazione dei sedimenti evaporitici per scorrimento di acque superficiali può provocare deformazioni gravitazionali dei materiali affioranti con sprofondamento della superficie del terreno. Questi fenomeni di subsidenza per dissoluzione si manifestano in superficie generalmente con la formazione di depressioni chiuse chiamate doline di subsidenza. Lo sprofondamento improvviso o graduale in cui evolve la superficie del terreno nello sviluppo della dolina di subsidenza può provocare gravi danni in diverse strutture antropiche (edifici, opere di captazione, centrali nucleari) e determinare il pericolo per le vite umane. La Spagna è il paese europeo in cui la subsidenza per dissoluzione ha il maggior risvolto socio-economico. Nel territorio spagnolo questi fenomeni sono dovuti alla carsificazione delle evaporiti triassiche e terziarie, che affiorano con una estensione del 7% della superficie. Le zone dove questa subsidenza provoca i maggiori danni sono le aree urbane di Saragoza, Calatayud e Madrid. Gli studi geomorfologici, l'analisi del paleocarsismo e la esplorazione speleologica possono aiutare a comprendere i processi e i fattori determinanti nel fenomeno della subsidenza. Per ridurre questi danni è necessario di evitare attività antropiche nelle zone pericolose o intervenire con rimedi preventivi. Dato che nella maggiorparte dei casi non è possibile conoscere il momento ed il luogo preciso dell'evento, le misure correttive devono orientarsi preferibilmente a ridurre la vulnerabilità delle strutture antropiche mediante progetti speciali. In riferimento alla crescente occupazione delle aree pericolose e alla proliferazione delle attività umane che aiutano lo sviluppo della subsidenza stessa, si può attendere un aumento dei danni in queste zone.

## **IMPIEGO DELLA TECNICA DELLE EMISSIONI ACUSTICHE NELLA PREVISIONE DEI DISSESTI IN CAVITÀ: STUDI PRELIMINARI DI LABORATORIO**

HALL S. , DE SANCTIS F.\*\* , VIGGIANI C.\* , EVANGELISTA A.\*\*

\* *Laboratoire 3S INPG Grenoble*

\*\* *Dipartimento di Ingegneria Geotecnica Università di Napoli Federico II*

Il fenomeno di propagazione di discontinuità naturali nelle rocce tenere è di grande interesse applicativo nell'ambito dei problemi di instabilità dei fronti di scavo e dei pendii naturali. Le discontinuità esistenti nell'ammasso roccioso svolgono il ruolo di concentratori di sforzi di trazione e sono in grado di attivare nel tempo un progressivo processo di microfessurazione che riduce la resistenza a lungo termine del materiale. L'interazione, la propagazione e la coalescenza di fratture a livello microscopico può contribuire in modo significativo alla formazione di una fessura macroscopica che si manifesta improvvisamente e senza alcun segno premonitore. A questo tipo di meccanismo è imputabile l'origine di alcuni dei dissesti che si sono verificati recentemente nelle cavità sotterranee della città di Napoli, dove l'improvviso distacco di grossi blocchi di tufo dalle volte o dai pilastri può provocare il collasso parziale o addirittura totale della struttura, anche a distanza di 100 anni dalla fine delle operazioni di scavo. La valutazione e gestione del rischio associato ai fenomeni di dissesto richiede l'impiego di una tecnica di monitoraggio che consenta di tenere sotto osservazione continua l'evoluzione del sistema di fratture nell'ammasso. La tecnica delle emissioni acustiche (EA) sembra rappresentare uno strumento particolarmente idoneo a tal fine, dal momento che è in grado di rilevare le onde elastiche provocate dall'improvviso rilascio di energia dovuto alla propagazione di lesioni. La possibilità di impiegare le emissioni acustiche come sistema di prevenzione in sito è in sede di verifica in laboratorio.

Una campagna sperimentale in corso presso il Laboratoire 3S di Grenoble su campioni naturali di tufo giallo napoletano mostra che il numero di eventi acustici e lo spettro di frequenze possono essere messi in relazione ai fenomeni di innesco e propagazione di fessure. In particolare i parametri delle emissioni acustiche (conteggi, ampiezza, durata ed energia degli eventi) sono stati registrati durante prove di compressione uniassiale su campioni di tufo sia integri sia dotati di intagli appositamente realizzati per favorire l'innesco della propagazione. Dall'esame contestuale dei diagrammi carico - tempo e conteggi EA - tempo è possibile individuare il processo di microfessurazione che precede la rottura e la formazione di una macro-fessura in corrispondenza del carico di picco. Inoltre per i provini a due intagli l'esame dello spettro di frequenze fornisce utili informazioni sui due diversi meccanismi di coalescenza (per trazione e/o per taglio) del ponte di roccia tra le fessure.

## **INDAGINI INTEGRATE GEOLOGICHE E GEOFISICHE PER LA VALUTAZIONE DEI DIVERSI GRADI DI RISCHIO AMBIENTALE LEGATO ALLA PRESENZA DI INGHIOTTITOI CARSIICI NEL TERRITORIO DEL SALENTO LECCESE**

LEUCCI G., MARGIOTTA S., NEGRI S.

*Osservatorio di Chimica, Fisica e Geologia Ambientali - Dipartimento di Scienza dei Materiali – Università di Lecce –*

E' stato effettuato uno studio integrato geologico e geofisico volto a tipicizzare il territorio del Salento leccese in relazione al differente grado di rischio ambientale mediante una indagine conoscitiva e la localizzazione delle forme carsiche superficiali esistenti. Tali forme infatti, oltre a costituire naturali vie di convogliamento delle acque meteoriche incidenti e corrivanti sulla superficie topografica nel sottosuolo e quindi nella falda carsica profonda che rappresenta per il territorio interessato la più importante risorsa idrica rinnovabile, condizionano in più luoghi l'assetto morfologico (campi solcati, aree depresse sedi di doline ecc.) e, di contro, laddove ostruite naturalmente o in conseguenza di antropizzazione individuano, quasi ovunque, aree soggette a temporanei ristagni superficiali.

Lo studio è consistito nel riconoscimento sul terreno delle forme carsiche e nella ricostruzione dei locali assetti geologici, tettonici e morfologici che tali forme condizionano. I dati ottenuti sono stati elaborati nel loro insieme per cui è stato possibile effettuare delle ipotesi sulla genesi e sullo sviluppo del fenomeno carsico rapportato alle manifestazioni via via osservate. In particolare la valutazione in superficie della frequenza delle manifestazioni carsiche (sono stati osservati circa 100 inghiottitoidi), in relazione ai piani di discontinuità esistenti, ha costituito utile indicazione circa lo sviluppo della rete carsica ipogea.

Le indagini geofisiche, laddove eseguite, hanno consentito di individuare l'andamento del reticolo carsico sommerso, l'estensione e l'ubicazione delle cavità e di stabilire i rischi di sprofondamento del suolo quale presupposto per l'impostazione di un programma di tutela dei precari equilibri idrogeologici esistenti.

Questo approccio ha consentito una prima interpretazione, a scala regionale, relativamente alla genesi delle macroforme carsiche presenti nel territorio salentino, nonché ha permesso una verifica dello stato dei luoghi e quindi, riscontrando l'incuria e l'abbandono in cui versa la gran parte dei siti osservati, il richiamo ad una maggiore attenzione nel preservare la funzionalità di questi condotti.

## **RISCHIO NELLE AREE CARSIICHE IN SICILIA: “CASE HISTORIES” NELLA PIANA DI CINISI (PALERMO)**

LIGUORI V., MANNO G., MORTELLARO D.

*Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Palermo.*

[liguori@diseg.unipa.it](mailto:liguori@diseg.unipa.it) - Tel. 039-0916568466

In Sicilia le aree Carsiche sono diffuse su quasi tutto il territorio, nei complessi carbonatici e nei depositi della serie Gessoso – Solfifera. L'ambiente carsico e il tipo di carsismo sono legati alle caratteristiche litologiche e tessiturali dei terreni e alle successive deformazioni tettoniche.

Viene di seguito presentato un caso di studio di carsismo evidenziato nel complesso calcareo-detritico (Quaternario) della Piana di Cinisi compresa tra Torre Molinazzo e Torre dell'Orsa, dove sono localizzati l'aeroporto internazionale “Falcone-Borsellino” e il tratto finale della metropolitana che collega Palermo con lo stesso.

L'area in studio, caratterizzata morfologicamente da un terrazzo lievemente degradante verso mare, ricade nella zona dei “Monti di Palermo”. La stratigrafia della zona è costituita dall'alto verso il basso da una panchina probabilmente di età Tirreniana piuttosto spessa, seguita da sabbie, calcarenite e calciruditi, talora vacuolari, con grado di cementazione variabile. Sotto si riscontra un altro complesso litologico quaternario costituito da ghiaie, brecce, sabbie e conglomerati. Segue la formazione di base costituita da calcari, calcari dolomitici e dolomie fossilifere del Trias-Lias.

Le cavità presenti nel sottosuolo sono di duplice natura: primaria e carsica. Le prime sono sinsedimentarie e si localizzano nel complesso detritico. Le seconde sono legate ad un carsismo epidermico e discontinuo. I vuoti di origine primaria, di tipo interstiziale, sono generati dall'accatastamento di grossi blocchi o per fenomeni di compattazione differenziale. Le cavità carsiche sono prodotte principalmente dall'azione di decementazione e trasporto, operato dalle acque circolanti nel sottosuolo. Esso è quindi condizionato dalla circolazione idrica sotterranea e dalla sua connessione con quella superficiale. Tali grotte sono legate a più cicli carsici e la loro disposizione a diverse altezze nel sottosuolo dipende dai movimenti relativi tra la terraferma e il mare.

Lungo la pista aeroportuale principale si sono verificati all'impatto dell'aeromobile, crolli con relativi sprofondamenti delle volte di alcune di queste cavità. Il problema è stato affrontato attraverso studi, indagini e interventi in seguito a sondaggi diretti (carotaggi e indagini geotecniche) e indiretti (georadar).

## INTERAZIONI TRA CARSIAMO E DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE NELLA GENESI DI SINKHOLES

MARTINO S. \* & PRESTININZI A. \*

Università degli Studi di Roma "La Sapienza" – C.E.R.I. Centro di Ricerca per i Rischi Geologici (Valmontone – RM)

La presente nota riporta i risultati relativi allo studio della deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV) che coinvolge integralmente il versante a nord dell'abitato di Pendenza (Rieti) alle pendici del M. Nuria; il versante ospita le Sorgenti del Peschiera che, con una portata media di  $18\text{m}^3/\text{s}$ , costituiscono una delle più importanti emergenze idriche dell'intero Appennino.

Il caso studiato ha permesso di analizzare le complesse interazioni esistenti tra ammassi carbonatici fratturati, filtrazione, dissoluzione carsica e genesi di *sinkholes*, nel quadro dell'evoluzione spazio-temporale degli stati tenso-deformativi connessi a fenomeni di DGPV. In particolare, le diffuse evidenze geomorfologiche ed il dettagliato rilievo geomeccanico, supportato da indagini in sito, monitoraggio ed analisi di laboratorio, hanno consentito di descrivere dinamiche e cinematismi del fenomeno gravitativo in atto, portando alla ricostruzione di un modello geologico-evolutivo che è stato validato mediante un'analisi numerica effettuata con il codice alle differenze finite FLAC 4.0.

Il modello geologico-evolutivo si riferisce ad un processo di DGPV per *mass rock creep* che inizialmente si configura come *sackung* (Zischinsky *sensu*) ed evolve dapprima in *lateral spread* e quindi in un processo deformativo definibile come *rock-block mass deformation* (deformazione di ammasso in blocchi di roccia). Nelle fasi iniziali del processo gravitativo l'ammasso si deforma secondo meccanismi guidati dalle anisotropie primarie e dalla geometria delle forme del versante che, dall'analisi di profili digitali di inclinazione, risultano marcatamente convesse in corrispondenza dei settori a minore evoluzione dei processi deformativi. La progressiva evoluzione porta alla formazione di fasce subverticali di detensionamento (*stress relief*) lungo le quali si concentrano sforzi trattivi responsabili della formazione dapprima di *tension cracks*, a seguire di vere e proprie fratture beanti ed infine di scarpate trasversali e trincee longitudinali ("*trenches* multipli trasversali"). L'approfondimento delle trincee e delle scarpate è connesso alla compensazione in superficie di perdite di volume conseguenti a collassi di vuoti e cavità carsiche, la cui origine è da ricondurre all'interazione tra l'attività dissolutiva delle acque di falda e la concentrazione di sforzi trattivi perlopiù in corrispondenza della prosecuzione sotto falda delle fasce di detensionamento dell'ammasso. Come conseguenza di tali processi si giustificano l'origine e l'evoluzione delle depressioni superficiali e dei pozzi di crollo (*sinkholes*), perlopiù localizzati a valle delle scarpate trasversali o in corrispondenza delle trincee.

## **APPLICAZIONE DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA IN AREE SOGGETTE A FENOMENI DI "SINK-HOLES" (CISTERNA DI LATINA, LT)**

MENGHINI A., PAGANO G., FLORIS S.  
*S.Te.G.A. - V. Monte Bianco 5, 01100 VT*

Nel Giugno del 2002, l'Amm.ne Comunale di Cisterna di Latina (LT) ci incaricò di condurre una campagna di tomografia elettrica, all'interno di un'area, in località Doganella, soggetta a fenomeni di sinkholes. A tale scopo realizzammo n°6 profili, utilizzando cavi a 64 elettrodi e spaziatura elettrodica di 10 m. Utilizzando il quadripolo Wenner siamo riusciti ad acquisire informazioni sino ad una profondità di circa 100 m dal p.c.

I risultati della prospezione elettrica sono stati rappresentati tramite sezioni 2D e vertical slices, ottenendo quindi informazioni in merito alla distribuzione della resistività elettrica sia in senso verticale che laterale.

Il grosso vantaggio dei metodi geofisici è quello di riuscire ad indagare vaste superfici, con costi relativamente ridotti: nel giro di 3 giornate di lavoro sul campo è stata investigata, con estremo dettaglio, un'area di circa 0,5 Km<sup>2</sup>, ottenendo valide informazioni di carattere stratigrafico.

In particolare sono state localizzate 4 aree di "probabile sprofondamento", caratterizzate da valori di resistività decisamente inferiori del contesto: si tratta di strutture sepolte, poste a profondità variabili da circa 40 a 90 m dal p.c. ed ampiezza apparente di circa 70-90 m, che interrompono la continuità della formazione dei Travertini inferiori. Tali strutture potrebbero essere interpretate come sinkhole, colmati successivamente dalle Piroclastiti.

## ELETTRONICA ED INFORMATICA NELLA GEOFISICA - UN METODO TRIDIMENSIONALE PER L'INTERPRETAZIONE DIRETTA DEI METODI GEOELETRICI

MUSMECI F.\* & RIZZO S.\*\*

\* *Enea, Roma*

\*\* *Geologo, Libero professionista*

L'uso dell'elettronica e dell'informatica nella geofisica applicata, ed in particolare nella geoelettrica, ha consentito, negli ultimi anni, un notevole sviluppo della strumentazione che, da monocanale, è divenuta multicanale, consentendo di acquisire contemporaneamente più segnali.

Contemporaneamente l'affacciarsi sul mercato di numerosi programmi di interpretazione, soprattutto basati sull'inversione dei dati, ha facilitato il compito di chi interpreta le prospezioni geoelettriche.

Questa "rivoluzione" ha però il rovescio della medaglia: strumenti automatici ed interpretazione automatica hanno fatto sì che persone senza un'adeguata preparazione si presentassero nel mondo della geofisica applicata, fornendo dati e risultati spesso di dubbio valore scientifico.

Strumenti del tipo "scatola nera", che non consentono una valutazione puntuale dei segnali elettrici, e programmi di inversione che forniscono comunque delle immagini del sottosuolo impossibili dal punto di vista di un geologo, hanno spesso svalutato la figura dei geofisici applicati.

Viene proposto un metodo di acquisizione dei segnali elettrici, anch'esso multicanale, ma dove è possibile valutare ogni singolo segnale e, se necessario, intervenire sulla misura automatica.

Viene inoltre proposto un modello per il supporto all'interpretazione diretta di misure geoelettriche. Il modello, agli elementi finiti, discretizza il terreno con resistenze poste ai vertici di un reticolo tridimensionale. Utilizzando le equazioni di Kirchhoff e un metodo numerico per la loro soluzione, viene ricostruito il potenziale in ogni punto desiderato. L'utente può così osservare le conseguenze sulle sue misure di diverse ipotesi sulla stratigrafia, presenza d'anomalie ecc. Confrontando i valori calcolati con quelli acquisiti in campagna può essere guidato verso una corretta interpretazione della zona in studio. Una serie di esempi mostra l'affidabilità del metodo nel rappresentare configurazioni teoriche e di sistemi noti.

## I FENOMENI DI SINKHOLE IN ITALIA: TERMINOLOGIA, MECCANISMI GENETICI E PROBLEMATICHE APERTE

NISIO S., GRACIOTTI R. & VITA L.

*Apat- Dipartimento Difesa del Suolo, V. Curtatone 3,00185 Roma*

I fenomeni di sprofondamento sono noti e studiati da molto tempo, infatti nella letteratura nazionale ed internazionale sono stati da tempo introdotti numerosi termini per indicarli.

Attualmente però viene sempre più spesso utilizzato il termine "*sinkhole*" per definire forme spesso omologhe, ma sviluppatasi attraverso processi genetici differenti.

Nella letteratura anglosassone il termine è sinonimo di dolina e di sprofondamento antropico; in Italia invece è stato adottato la prima volta, all'inizio degli anni novanta, per indicare fenomeni di genesi incerta e non semplicemente dovuta a fenomeni carsici o gravitativi. Attualmente, invece, il termine, anche in Italia, viene spesso utilizzato nella accezione anglosassone per indicare fenomeni carsici (doline) e sprofondamenti di natura antropica.

I casi definiti come fenomeni di sinkhole (nella prima accezione del termine) in Italia risultano concentrati nelle piane alluvionali, nelle immediate vicinanze di dorsali carbonatiche, in contesti geologico-strutturali ed idrogeologici complessi innescati da cause di diversa natura (sismi, siccità, alluvioni, emungimenti di acque etc.). La presenza di un pacco di sedimenti impermeabili o semi-permeabili, al tetto di un substrato carbonatico carsificato, un reticolo di faglie e diaclasi che mettano in comunicazione i due mezzi, sono fattori predisponenti essenziali. Inoltre, nella maggioranza dei casi, è stata riscontrata la presenza di fluidi nel sottosuolo (CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S) che consentano la dissoluzione e di conseguenza il sifonamento dei materiali di copertura.

Il processo genetico principale, pertanto, per questi fenomeni è la risalita dei fluidi dal basso, l'erosione profonda e il *piping*, attraverso reticoli di fratture che mettono in comunicazione un substrato carsificato con i sedimenti superficiali.

Nell'ambito del Progetto sinkhole, organizzato dall'APAT, sono stati studiati casi di sprofondamento naturale in cui il processo genetico risulta essere l'interazione di differenti fattori al contorno che meritano ulteriori chiarimenti. Vengono pertanto in questo lavoro esposti alcune riflessioni, i primi risultati dello studio, mettendo in luce le problematiche aperte e i punti ancora oscuri su questi fenomeni.

## FENOMENI DI SPROFONDAMENTO CATASTROFICO. PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE APPLICATA ALLA CASISTICA ITALIANA.

NISIO S.\* & SALVATI R.\*\*

\*Apat - Dipartimento Difesa del Suolo

\*\*Università di Roma Tre

In questa nota viene affrontato il problema della classificazione dei fenomeni di sprofondamento catastrofico, soprattutto per cercare di proporre una razionalizzazione nell'uso e nella accezione di termini mutuati dalla letteratura anglosassone ed entrati ormai di diritto nel lessico scientifico italiano.

Ci si riferisce in particolare al termine *sinkhole* che nella letteratura, soprattutto statunitense, è utilizzato come sinonimo di *doline* (dolina), mentre nella terminologia italiana i due termini sono attribuiti spesso a fenomeni di tipo diverso.

In questa nota verranno analizzati i fenomeni di sprofondamento catastrofico riconosciuti in Italia, ne verranno discusse le modalità di innesco e sviluppo e queste verranno utilizzate per formalizzare una proposta di classificazione dei *sinkholes* fondata non sulla morfologia dei fenomeni quanto sul contesto geologico al contorno (*sinkhole prone areas*), innesco (*triggering*) e sviluppo (*upward propagation*).

Sostanzialmente ciò che distingue una dolina (dolina di soluzione normale, di crollo o alluvionale) da un fenomeno di *sinkhole* sono le condizioni geologiche al contorno (essenzialmente profondità del substrato) e le condizioni di innesco e propagazione del fenomeno.

Nel primo caso l'evoluzione procede, ad opera di agenti esogeni (acque meteoriche, carsismo, gravità), dalla superficie verso il sottosuolo, mentre nel caso dei *sinkholes* l'innesco del fenomeno avviene ad opera di processi endogeni (acque di circolazione sotterranea, flussi gassosi, collassi nel sottosuolo, carsismo ipogeo etc.) e la propagazione della deformazione si sviluppa dal basso verso l'alto all'interno della copertura che giace al di sopra del substrato carsificabile.

## INDAGINI GEOGNOSTICHE FINALIZZATE AL RICONOSCIMENTO DELLA PERICOLOSITÀ DEI SINKHOLE DI PASSO S.LUGANO (BZ) NEI GESSI DEL BELLEROPHON

NOBILE M. GRADIZZI A., NÖSSING L., STRADA C.  
*Provincia Autonoma di Bolzano- Geologia ed Ambiente*  
*Provincia Autonoma di Bolzano- Servizio Geologico PAB*

Il fenomeno dello "sprofondamento carsico" o "sinkhole" non risulta diffuso nella regione dell'Alto Adige ed è stato rilevato solamente in corrispondenza di ridotte aree nei pressi dell'abitato di San Lugano (Comune di Trodena – BZ).

Nell'autunno del 2000, legato a fenomeni di piovosità intensa e prolungata, si è verificato un collasso superficiale con apertura di una voragine conica del diametro di circa 8-10 m e con una profondità di 15 m. La sede del recente evento di dissesto è estremamente vicina ad un nucleo abitato (Maso Scofa).

In seguito all'evento è iniziata una campagna di indagini che si è avvalsa di un rilevamento geologico-geomorfologico di dettaglio, integrato dall'esecuzione di quattro sondaggi a carotaggio continuo, di sette sondaggi a distruzione di nucleo, di tre stendimenti di geofisica e di un rilievo microgravimetrico.

L'Area si trova al limite fra le Vulcaniti Atesine e la parte basale della serie Permo-Triassica dolomitica (Arenarie di Val Gardena, Formazione di Bellerophon e Formazione di Werfen). L'assetto stratigrafico-strutturale risulta di difficile interpretazione a causa delle diffuse coperture quaternarie (till indifferenziato e depositi di versante).

Le indagini dirette ed indirette hanno permesso di acquisire importanti informazioni riguardanti il modello geologico e stratigrafico locale, risultato di difficile interpretazione a causa della potenza delle coperture quaternarie e del complesso assetto geostrutturale (presenza della Linea di Trodena).

I sondaggi a distruzione eseguiti hanno permesso di rilevare:

- a) la profondità del substrato roccioso, che riflette la presenza di antiche morfologie carsiche sepolte
- b) che i livelli gessosi presenti a NW delle abitazioni rurali hanno spessori che raggiungono i 12 m, mentre a SE i livelli gessosi sono rappresentati da intercalazioni di spessore decimetrico interne alle arenarie.
- c) la presenza di una fascia argillificata in corrispondenza della zona di faglia di direzione NE-SW e la complessa successione stratigrafia del sottosuolo.
- d) la presenza di materiali sia arenacei sia gessosi completamente disciolti, ridotti in sabbia, tali da essere assimilati a possibili cavità carsiche embrionali.
- e) la presenza deboli infiltrazioni idriche che interessano prevalentemente i livelli gessosi e che ne favoriscono i processi di dissoluzione.

I profili sismici hanno rilevato la presenza della faglia subverticale che taglia l'area prativa antistante le abitazioni rurali e che viene interpretata come una struttura di direzione circa NE-SW, legata alla Linea di Trodena. Hanno inoltre messo in evidenza una struttura sepolta, di forma vagamente ogivale, che unitamente alla interpolazione stratigrafica dei sondaggi, può essere interpretata come il relitto di un sinkhole.

La Carta della Pericolosità ricavata adotta determinati criteri di realizzazione: aree a forte intensità di pericolosità sono quelle zone in cui sono stati individuati forti spessori di gessi posti o direttamente a contatto con il detrito superficiale o separati dallo stesso da sottili spessori arenaci. Non esistendo un pericolo immediato per il nucleo abitato si è deciso di optare per un sistema di monitoraggio a lungo termine (paragonabile ai tempi di carsificazione dei gessi) costituito da:

- a) piezometri per il controllo e prelievo ed analisi delle acque circolanti
- b) assestimetri per valutare gli eventuali cedimenti e riduzioni dello spessore dei gessi.

## **SINKHOLES IN CAMPANIA: CAUSE E RISCHIO PER L'AMBIENTE ANTROPIZZATO**

ORTOLANI F.\* , PAGLIUCA S.\*\* , SPIZUOCO A.\*

\* *Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio, Università degli Studi di Napoli Federico II, e-mail: fortolan@unina.it*

\*\* *ISAFOM, CNR, via Cupa Patacca, Ercolano, Napoli, e-mail: s.pagliuca@ispaim.na.cnr.it*

In Campania nelle ultime decine di anni si sono verificati numerosi fenomeni tipo sinkholes che hanno interessato anche aree densamente urbanizzate provocando decine di vittime.

Nel presente lavoro si descrivono le cause di tali fenomeni e viene valutato il rischio per l'ambiente antropizzato.

I fenomeni più numerosi sono quelli connessi allo sprofondamento dei pozzi verticali che collegano le cavità artificiali ricavate nel tufo vulcanico presente nel sottosuolo, in seguito all'estrazione della roccia usata come materiale da costruzione, con la superficie. Tali fenomeni si verificano in gran parte dell'area urbana di Napoli e in numerosi comuni caratterizzati dalla presenza nel sottosuolo del Tufo Giallo Napoletano e dell'Ignimbrite Campana. Gli abitanti esposti al rischio connesso all'improvviso sprofondamento del suolo sono stimati intorno ad 1 milione. Gli interventi di consolidamento sono i più disparati e connessi alle locali caratteristiche delle aree urbanizzate. In relazione alle locali caratteristiche stratigrafiche e geomeccaniche delle rocce interessate dalle cavità si manifestano o meno fenomeni precursori dei crolli.

Altri fenomeni si verificano nelle aree urbane interessate in passato da escavazione di cavità nel substrato per ricavare spazi utili alle attività domestiche, come nei centri abitati costruiti su arenarie e calcari cataclastici. In occasione dell'evento sismico del 1980 in tali aree abitate si verificarono numerosi crolli delle volte e amplificazioni locali responsabili della morte di circa il 50% delle vittime del terremoto come accaduto a Laviano, Castelnuovo di Conza, S. Gregorio Magno, Ricigliano, Balvano, S. Mango sul Calore. Il rischio è connesso ai crolli delle volte in occasione di forti eventi sismici e le persone interessate sono alcune migliaia.

In aree più ristrette interessate da strutture tettoniche crostali si verificano fenomeni di sinkholes in seguito all'interazione tra fluidi di origine profonda, rocce carbonatiche e falde idriche. Il rischio è connesso a limitate aree urbane nella zona di Telesse Terme (Provincia di Benevento) e Riardo (Provincia di Caserta).

Nessuna Autorità di Bacino ha preso in considerazione il fenomeno dei sinkholes tra quelli che determinano rischio per l'ambiente antropizzato nell'ambito dei Piani Stralcio.

## FENOMENI DI TIPO SINKHOLES NEI CENTRI ABITATI A NORD DI NAPOLI

ORTOLANI F. \*, PAGLIUCA S. \*\*, PISANO L. \*

\* *Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio, Università degli Studi di Napoli Federico II, e-mail: fortolan@unina.it*

\*\* *ISAFOM, CNR, via Cupa Patacca, Ercolano, Napoli, e-mail: s. pagliuca@ispaim.na.cnr.it*

In un vasto comprensorio della Piana Campana, che include una quindicina di Comuni a nord di Napoli con circa 500.000 abitanti, nel sottosuolo sono state realizzate numerose cavità artificiali di diversa tipologia. Queste cavità in relazione al tipo di fondazione degli edifici e alla natura e caratteristiche dei terreni, provocano voragini e dissesti nei manufatti di superficie in conseguenza di fenomeni tipo sinkholes.

Negli anni '60 e '70 il fenomeno presenta il suo culmine in particolare nei Comuni di Afragola, Cardito, Frattamaggiore e Grumo Nevano dove interi fabbricati per civili abitazioni crollano improvvisamente coinvolgendo purtroppo quanti in quel momento si trovano al loro interno.

Anni particolarmente critici sono quelli che vanno dal 1967 al 1973. In questo periodo tra dissesti alle strade e dissesti agli edifici si contano 25 eventi in Cardito, 20 in Grumo Nevano, 10 a Frattamaggiore e 7 in Afragola.

Nel 1973, i danni, non solo economici ma anche in termini di vittime, sollecitano l'allora Presidente della Giunta Regionale a costituire una Commissione per lo studio del sottosuolo dei Comuni di Afragola, Cardito, Frattamaggiore, Grumo Nevano e di eventuali altri territori limitrofi con il compito di:

-effettuare appropriati studi e indagini sullo stato del sottosuolo e sulle cause dei dissesti;

-indicare gli opportuni rimedi atti a scongiurare situazioni di pericolo.

I lavori della Commissione si conclusero nel giugno del 1974 con la individuazione di un complesso di interventi, urgenti e a medio-lungo termine, che furono recepiti dalle leggi regionali n. 30/1975, n. 38/1975 e n. 20/1976. con le quali vennero finanziati indagini ed interventi statico-risanativi. Le risultanze debbono ritenersi positive se si considera che i dissesti sono regrediti in maniera significativa nei Comuni che hanno provveduto ad attuare i piani di risanamento.

Le sopraindicate leggi sono le sole ancora vigenti dal momento che l'Autorità di Bacino Regionale Nord Occidentale nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, almeno per il momento, non ha contemplato il rischio connesso con la presenza di cavità sotterranee.

## I LAGHI DEL VESCOVO

PICOZZA R.

*Libero professionista*

I Laghi del Vescovo sono degli specchi d'acqua dolce e albula aventi un contorno all'incirca sub-circolare con un diametro che raggiunge i 120-130 metri e profondità medie di 10-15 metri. Essi sono situati lungo la fascia pedemontana delle prime propaggini carbonatiche dei Monti Lepini, ai margini della Pianura Pontina (Lazio sud-occidentale) a quote di -1,00/-1,50 m al di sotto del livello del mare in un'area avente una estensione di circa 20 ettari.

La concomitanza e l'interazione di diversi fattori quali: presenza di settori ribassati delle unità carbonatiche (Lepini), ora ricoperti dai sedimenti quaternari della Pianura Pontina; dinamica regionale dell'idrologia sotterranea; manifestazioni idrotermali; attività tettonica quaternaria; ecc., ha, probabilmente, controllato la genesi e la localizzazione dei Laghi del Vescovo, un esempio di Sinkholes nella Pianura Pontina.

Nell'aprile del 1991, nella località Gricilli, laddove sono ubicati i suddetti laghi si è verificato un fenomeno di sprofondamento della superficie del suolo.

La maggior parte delle fratture apertisi nel terreno ricalcano quasi perfettamente l'andamento perimetrale dei Laghi del Vescovo. Come conseguenza si è avuto il cedimento della porzione di terreno, delimitata dalla sponda dei laghi e le fratture, con relativo allargamento della superficie lacustre.

I soli laghi interessati da questo fenomeno sono stati quelli aventi acque albule.

La presenza di contributi di fluidi di origine profonda aumentano l'aggressività dell'acqua amplificando il fenomeno carsico nei confronti del substrato (bedrock, rappresentato da calcari, calcari organogeni fortemente fratturati e carsificati), fino ad arrivare al crollo di masse calcaree e, quindi, costituire delle vere e proprie cavità ipogee con conseguente collasso repentino della struttura soprastante.

La temperatura costante tutto l'anno è un ulteriore indizio a favore dell'interpretazione della genesi del sinkhole come il risultato di una forma di ipercarsismo geotermico inverso, favorito dalla presenza di evidenti dislocazioni tettoniche.

## MANIFESTAZIONI "SPRUGOLARI " NELL'AMBITO DEL GOLFO DELLA SPEZIA

PINTUS S.

*Provincia Della Spezia- Area Difesa Del Suolo- Servizio Geologico  
Via XXIV Maggio, 3 - 19124 La Spezia*

Nell'ambito del golfo della Spezia sono note da tempo (sec. XVIII°) alcune tipiche risorgive di acqua dolce che scaturiscono sia dal terreno in pianura sia dal mare.

In particolare ad alcune di esse è stato associato il termine dialettale di "sprugola" (da sprugoa = baratro) intendendo delle depressioni acquitrinose superficiali variabili di morfologia e portata. Tale fenomenologia è ricollegabile ad un sistema artesiano collegato ad una rete idrografica sotterranea di origine carsica che determina la creazione di vie di penetrazione verticali in sedimenti di origine continentale ed alluvionale, spessi anche più di 40 metri.

Tra queste sprugole, la più importante per dimensioni ed implicazioni connesse alla protezione civile, è la così detta sprugola dell'arsenale, che era ubicata tra le attuali Via Gramsci (ex via Maria Adelaide) e Viale Amendola ( ex viale Savoia) e si manifestava con due laghi: uno lungo circa 120 m e largo 40 ed un secondo , circolare (detto sprugolotto), di circa 20 metri di diametro. L'evoluzione di questa forma è attestato da alcune cartografie storiche conservate presso il comune. In seguito all'espansione urbana dei secoli XIX° e XX° le sprugole vennero ridotte e colmate, così come il reticolo idrografico che le collegava, finendo per scomparire ma nel caso dello sprugolotto, interventi edilizi poco accorti, hanno determinato nel tempo il riaffioramento dello stesso e l'insorgere di problemi statici in alcuni edifici costruiti nelle vicinanze con la recente demolizione (anni 90) di uno di essi.

## **CARTA DELLE AREE A RISCHIO SINKHOLE DELLA REGIONE LAZIO.**

SALVATI R. \*, GARELLO M. \*\* & CAPELLI G. \*

*\*Dipartimento Scienze Geologiche, Università Roma TRE*

*\*\*Environ Italia S.p.A.*

Uno dei principali obiettivi del "Progetto Sinkhole del Lazio" condotto tra il 1998 e il 2002 dal Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università Roma TRE in collaborazione e con finanziamento della Regione Lazio Ass.to U.T.V.RA. (Delib. C.R.L. n° 4662, 08/31/1999), è stato il censimento delle aree con fenomeni di sinkhole conclamati che, insieme alla identificazione delle condizioni geologiche e idrogeologiche al contorno e delle modalità di innesco e di potenziale sviluppo delle deformazioni, definiscono le sinkhole prone areas ovvero le aree a rischio sinkhole.

In questa nota viene presentata la "Carta delle aree a rischio sinkhole della Regione Lazio" che rappresenta la sintesi delle elaborazioni del Progetto Sinkhole.

Nella carta sono identificate le aree a rischio censite nel territorio regionale, nonché l'elenco di tutti i fenomeni di sinkhole riconosciuti. L'elaborato è poi corredato da una sezione schematica interpretativa delle condizioni di innesco dei fenomeni di sprofondamento catastrofico e dalla loro classificazione dedotta da quanto proposto in letteratura e applicato alle evidenze rilevate nell'area di studio.

La "Carta" intende essere:

- a scala regionale, uno strumento conoscitivo dedicato a tutti coloro che si trovano ad operare in aree potenzialmente a rischio e soprattutto, agli enti locali e di gestione del territorio per poter pianificare studi di dettaglio, volti ad una ulteriore definizione dei fenomeni conclamati o potenziali;
- a scala nazionale, un contributo allo studio e alla comprensione di fenomeni che interessano molte più aree di quanto non fosse presumibile e che rappresentano di fatto un rischio geologico a tutti gli effetti.

## **LE DEFORMAZIONI DEL SUOLO RICAVATE DA DATI SATELLITARI IN UN SETTORE A RISCHIO SINKHOLE DEL BACINO DELLE ACQUE ALBULE (LAZIO).**

SALVI S., PIRRO M., GASPARINI C., STRAMONDO S., PAGLIUCA M.N. & DI MARO R.  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia- Via di Vigna Murata, 605-00143 Roma*

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), già da alcuni anni, ha dato vita a ricerche per lo studio della fenomenologia legata agli sprofondamenti improvvisi (sinkholes) sia dal punto di vista geologico che geofisico.

Un'area d'interesse, per questo particolare studio, si trova ubicata nel settore occidentale del Bacino delle Acque Albule ben noto in letteratura per l'estrazione del lapis tiburtinus (travertino) utilizzato, nel corso della storia di Roma, nel rivestimento di monumenti storico-architettonici.

La porzione di territorio esaminata nel presente lavoro, ricade in parte nel comune di Guidonia Montecelio e in parte in quello di Tivoli.

In particolare nella piana di Guidonia, che va dalla zona pedemontana dei Monti Cornicolani sino al fiume Aniene, si osservano una serie di sinkholes, riconosciuti da vari autori, collocati lungo alcuni lineamenti tettonici ritenuti attivi anche alla luce del recente periodo sismico avvenuto nella zona tra il maggio del 2001 e il gennaio del 2002.

Il Bacino travertinoso delle Acque Albule ebbe modo di impostarsi circa 165 ka, a seguito dell'instaurarsi di un sistema tettonico pull-apart. Esso presenta un'estensione complessiva di circa 45 Km<sup>2</sup> mentre il suo spessore massimo, osservato in un sondaggio geo-meccanico a Bagni di Tivoli, supera di poco i 100 metri.

Nel suddetto bacino travertinoso, fino all'estate del 2002, erano osservabili alcune importanti sorgenti di acque solfuree, la cui portata era di circa 3 mc/sec, che scaturivano dai laghetti delle Colonnelle e della Regina, le cui acque alimentavano, sin dal periodo romano, le terme di Tivoli per poi immettersi più a sud nell'Aniene.

Nel corso dell'ultimo quinquennio in alcune aree urbanizzate site all'interno del bacino travertinoso, si sono riscontrate notevoli deformazioni del suolo soprattutto in località: Lago dei Tartari, sita nel territorio di Guidonia e in via Cesare Augusto ubicata presso l'abitato di Bagni di Tivoli. Nel primo caso le rapide modificazioni del suolo hanno danneggiato seriamente un edificio scolastico di proprietà dell'Amministrazione della Provincia di Roma mentre nel secondo caso citato la fenomenologia ha interessato una serie di immobili adibiti a civile abitazione.

L'attività sismica della zona ci è nota solo con l'inizio dell'urbanizzazione (1970) in quanto gli eventi sono molto locali e di piccola magnitudo. Tuttavia ripetute indagini micro e macrosismiche hanno messo in luce alcuni allineamenti di tali eventi che hanno una profondità ipocentrale inferiore al Km e una componente in frequenza molto alta, tanto che la maggior parte di essi è percepita dalle persone come rombo.

Nell'intento di investigare le cause di tali deformazioni superficiali, l'INGV ha intrapreso (insieme con la società TeleRilevamento Europa) una indagine utilizzando avanzate tecniche di monitoraggio satellitare. A tale scopo sono state utilizzate circa 100 immagini SAR dei satelliti ERS1 e ERS2, analizzati tramite la tecnica detta degli Scatteratori Permanenti (PS). Essa è una metodologia di analisi di serie temporali di immagini SAR che consente di raggiungere elevate accuratezze di misura delle velocità di spostamento del suolo (fino a 1 mm/anno) in corrispondenza di punti stabili dal punto di vista della risposta radar.

L'esame di dati ERS relativi al periodo 1992-2000 ha consentito di individuare, nell'ambito del Bacino delle Acque Albule, numerose aree in forte subsidenza (alcuni

mm/anno) che si correlano con la presenza di sinkholes attivi e campi di sinkholes fossili. E' in corso di valutazione l'evoluzione delle altre aree subsidenti che non corrispondono a sinkholes noti.

## ASSETTO GEOLOGICO E POSSIBILE SVILUPPO DI FENOMENI DI SINKHOLE LUNGO LA "LINEA VAL ROVETO-ATINA"

SAROLI M. \*, CIOTOLI G. \*\*, LOMBARDI S. \*\* & MARIOTTI G. \*\*

\*CNR-IGAG Istituto di Geologia ambientale e Geoingegneria, Sezione di Roma "La Sapienza", P.le A. Moro 5, 00185, Roma – m.saroli@cnr.igag.it

\*\*Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", P.le A. Moro 5, 00185, Roma

Osservazioni effettuate nel settore terminale della Val Roveto e nel settore centrale della Valle di Comino, tra i centri abitati di Campoli Appennino, Posta Fibreno, Alvito e San Donato Val Comino evidenziano la presenza di imponenti fenomeni carsici, ed emissioni anomale di gas dal suolo. Lo studio è stato condotto correlando i dati desunti dall'analisi fotogeologica (Volo Italia 1988-89; Volo Gai 1954) e quelli di terreno. L'area si estende tra le dorsali carbonatiche dei M. Simbruini-Ernici a sud-ovest, della Marsica Occidentale e dei Monti della Meta a nord-est. Il settore è caratterizzato da elementi tettonici regionali, tra i più importanti dell'Appennino centrale, quali il fronte di sovrascorrimento dei M. Simbruini-Ernici a SW e la Faglia Val Roveto-Atina-Caserta a NE, già nota come Faglia orientale del Liri o "Faglia della Marsica". La successione sedimentaria affiorante è rappresentata da termini carbonatici e torbiditici, di età giurassico-miocenica, appartenenti alla serie laziale-abruzzese, cui seguono, in discordanza, le puddinghe poligeniche ad elementi allotigeni del Messiniano lago-mare-Pliocene inferiore e i depositi continentali Plio-quadernari. In tale contesto geologico la morfologia dell'area risulta caratterizzata dal forte contrasto di competenza e di quote tra i depositi delle strutture carbonatiche e quelli, prevalentemente terrigeni alto miocenici affioranti lungo le valli. Diversi autori interpretano la "linea Val Roveto-Atina" come una discontinuità crostale corrispondente ad un gradino della Moho. Proprio in prossimità di tale discontinuità, all'interno della Val Comino, l'analisi dei gas al suolo (in un'area di circa 80 km<sup>2</sup> per un totale di prelievo ed analisi di 300 campioni) evidenzia la presenza anomala di He, (circa 5000 ppb), Rn (circa 400 Bq/l), CO<sub>2</sub> (90% v/v) e CH<sub>4</sub> (4000 ppm). L'estrema mobilità dei gas e la loro capacità di migrare attraverso spesse coltri di sedimenti (anche poco permeabili), dà luogo in superficie ad aloni di dispersione ben definibili arealmente. Indipendentemente dall'origine di questi gas, l'analisi geostatistica rileva una loro stretta correlazione con l'influenza spaziale della discontinuità tettonica. Nel contesto geologico in cui è stato condotto lo studio è facile aspettarsi oltre che fenomeni di migrazione verticali dei gas, anche fenomeni di migrazione orizzontali. Non è un caso infatti che le sorgenti del Posta Fibreno, poco distanti dall'area in esame, con circa 10 m<sup>3</sup>/sec presentino valori anomali di CO<sub>2</sub> spiegabili solo con una contaminazione dell'idrostruttura da parte del CO<sub>2</sub> risalente dalla linea Val Roveto-Atina. Poco a nord-ovest dell'area campionata infatti l'elemento tettonico delimita l'idrostruttura stessa in cui risiede l'acquifero del Posta Fibreno. La presenza anomala dell'anidride carbonica nel circuito idrogeologico delle aree prospicienti favorisce ulteriormente, sulle strutture carbonatiche, la presenza di forme carsiche imponenti. Lo sviluppo ed estensione di tali forme carsiche, per lo più doline, interessa anche il margine delle strutture carbonatiche, dislocate e ribassate al di sotto delle coltri quaternarie e terrigene. Proprio in tali settori si vengono ad individuare zone critiche e di potenziale sviluppo di fenomeni di sinkholes.

## INVESTIGATION OF SINKHOLE DEVELOPMENT IN A LOW-RELIEF GLACIATED "KARST" TERRANE: OHIO, USA

SASOWSKY I. D.

*University of Akron (Ohio-USA)*

The Bellevue-Castalia Karst Plain is a low-relief region about 600 km<sup>2</sup> in size located in the state of Ohio, USA. The Devonian/Silurian age bedrock is covered with Quaternary glacial sediments. Sinkholes varying in diameter from several to 100's of meters cover the area, but are quite shallow. These features have been significant routes for groundwater pollution by agricultural, industrial, and municipal contaminants. We studied the origin and morphology of the sinkholes by: spatial analysis (via GIS in relation to topography, geology, and hydrology), geophysics, geochemistry, borehole data, and morphometry studies.

A digital database of caves and sinkholes was available, and included point and area coverage, that had been subject to extensive field checking (1:24.000 scale). The geographic distribution of the approximately 1.300 sinkholes is roughly coincident with the occurrence of carbonate bedrock below the glacial material. To the south, where the thickness of glacial deposits increases, sinkholes are much less common, but are still exposed, indicating that the lack of expression is probably due to obscuring by glacial deposits (rather than absence). Many of the sinkholes pond in the wet season, while a few actively receive streams. Most of the sinkholes have no bedrock exposure; a few have limited outcropping, sometimes in non-carbonate rock. The few caves show only minor evidence of dissolution - they are mainly mechanical in origin. Geochemical, geophysical, and morphometric evidence show that the bigger sinkholes are large collapse shafts that originate in evaporite beds up to >100 m below land surface. Others are suffosional features that lead to bedrock fissures that may be mechanical rather than dissolutional in origin. Therefore, although it is appropriate to consider the area to be karst, many of the observable "karst" features may not come from carbonate dissolution.

Application of multi-disciplinary techniques has allowed us to decipher this peculiar terrane.

La piana carsica di Bellvue-Castalia è una regione sub-pianeggiante estesa per circa 600km<sup>2</sup> nella porzione nord-orientale dello Stato dello Ohio, USA. Il bedrock, di età Devoniano/Siluriano, è coperto da sedimenti glaciali di epoca quaternaria. Numerosi sinkholes di dimensioni variabili da pochi ad alcune centinaia di metri di diametro ma con profondità modeste sono presenti estesamente nell'area. Queste forme sono state vie primarie di contaminazione per l'inquinamento delle acque sotterranee da parte di contaminanti di origine agricola, industriale e civile. In questa nota viene presentato lo studio da noi condotto sulle origini e morfologie dei sinkhole. Il lavoro è stato realizzato attraverso l'uso di: analisi spaziale (mediante l'uso di GIS in relazione alla topografia, geologia e idrogeologia), geofisica, geochimica, dati di sondaggio e studi morfometrici.

Lo studio ha preso le mosse da un esteso database delle forme carsiche (sinkholes e grotte), che oltre alla localizzazione includeva anche l'area interessata dai fenomeni, che è stato sottoposto ad una estesa e puntuale verifica di terreno (scala 1:24.000). La distribuzione geografica degli approssimativamente 1300 sinkholes censiti è generalmente coincidente con la presenza del bedrock carbonatico al di sotto della copertura dei depositi glaciali. Spostandosi nel settore meridionale, dove lo spessore dei depositi glaciali aumenta, i sinkholes sono molto meno frequenti ma sono

comunque ben visibili, indicando che probabilmente la mancanza di espressione superficiale non è tanto dovuta all'assenza dei fenomeni quanto ad un loro "mascheramento" da parte dei depositi di copertura. Molti dei sinkhole vengono allagati durante i periodi piovosi, mentre alcuni presentano immissari perenni. La maggior parte delle forme rilevate non presenta l'affioramento del bedrock carbonatico, mentre alcuni hanno limitati affioramenti che a volte mostra un bedrock non-carbonatico. Le poche grotte presenti mostrano solo evidenze limitate di dissoluzione essendo principalmente di origine meccanica. I dati geochimici, geofisici e le evidenze morfometriche mostrano che i sinkhole di dimensioni maggiori sono in realtà condotti di collasso originatisi in orizzonti evaporitici posti a profondità superiori ai 100 metri al di sotto del piano campagna. Altri casi sono invece forme di origine suffosionale che portano alla creazione di aperture nel bedrock di origine meccanica piuttosto che di dissoluzione. Conseguentemente, sebbene sia appropriato definire l'area come carsica, molte delle "forme carsiche" osservabili non hanno origine nella dissoluzione dei carbonati. L'applicazione di tecniche multidisciplinari ci ha permesso di definire questa situazione peculiare.

## FENOMENI DIFFUSI DI SINKHOLES NELLA PIANURA DEL FIUME CORNIA SOGGETTA A SUBSIDENZA

SBRILLI L.

*Geologo, Libero professionista*

La pianura costiera della Val di Cornia posta nelle adiacenze di Piombino (Livorno) è soggetta da alcuni anni ad un importante fenomeno di subsidenza indotta provocata dagli emungimenti di acque sotterranee. La presenza di una grande industria siderurgica, una fiorente agricoltura e il continuo e crescente consumo idrico ad uso idropotabile hanno determinato già da alcuni anni un eccessivo sfruttamento della falda che supera i 44 milioni di mc annui. Considerando che la ricarica naturale mediamente di aggira intorno ai 35 milioni di mc annui, si determina ogni anno un forte squilibrio che provoca subsidenza indotta. Tale fenomeno dapprima sviluppatosi in adiacenza alla costa del Golfo di Follonica dove era presente il campo pozzi dell'azienda siderurgica, aveva un tasso di velocità di abbassamento pari a 1 cm/anno, valore misurato su capisaldi e successivamente dimostrato mediante opportuni studi con l'ausilio di modelli matematici. A metà degli anni novanta, lo spostamento a monte del campo pozzi ad uso idropotabile per motivi di salinizzazione della falda, ha determinato la concentrazione degli emungimenti in una zona limitata. Questo fatto, unito alla crescente domanda di risorsa ed al contributo per la fornitura idrica all'isola d'Elba, hanno creato le condizioni per l'attivazione di un fenomeno di subsidenza con tassi di abbassamento del suolo pari a 4 cm/anno .

I valori così elevati di subsidenza hanno creato molti dissesti diffusi sul territorio provocando in molte strutture immobiliari, sia abitative che produttive, gravi lesioni e cedimenti strutturali.

Nella stessa zona dove si riscontrano le abitazioni colpite dal fenomeno, sono stati documentati per la prima volta, camini di collasso in due zone specifiche con dimensioni medie del diametro che si aggirano intorno a 1-3 metri e profondità di circa 1-2,5 metri.

## **PROBLEMAS CAUSADOS POR EL KARST ALUVIAL EN EL CENTRO DE LA CUENCA DEL EBRO (ESPAÑA)**

SORIANO M.A., SIMÓN J.L., ARLEGUI L.E. Y LIESA C.L..

*Dpto de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza. España.*

Durante el Terciario, el centro de la cuenca del Ebro (NE de España) se rellenó por materiales detríticos en sus márgenes y de precipitación química en el centro (evaporitas y carbonatos) en régimen endorreico. Las etapas de erosión-acumulación cuaternarias en régimen exorreico causaron el vaciado de la cuenca y el desarrollo de niveles de terrazas y glaciares de acumulación que recubren parcialmente al Terciario. Como consecuencia de procesos de disolución de los yesos (y posterior hundimiento de la cubierta cuaternaria) se desarrollan en esta zona un gran número de formas kársticas, principalmente, dolinas.

Desde los años 70, terrenos dedicados tradicionalmente a agricultura en esta parte del valle del Ebro, se han utilizado para edificar construcciones industriales y viviendas, produciéndose un aumento de los riesgos causados por la karstificación. Los problemas son muy abundantes y afectan a edificios, carreteras, autopistas, ferrocarril (convencional y de alta velocidad), redes de abastecimiento de agua,.... Los hundimientos pueden ser repentinos (colapsos) o lentos, con tasas de hundimiento comprendidas entre 12 y 120 mm/año.

El Ayuntamiento de Zaragoza nos encargó elaborar un mapa de peligrosidad de karst en varios sectores del término municipal para considerarlo en el plan de ordenación urbana.

La distribución espacial del fenómeno (determinada mediante fotografías aéreas y estudios de campo) constituye una aproximación al problema. No obstante, al ser un proceso activo, zonas que actualmente no presentan dolinas pueden tenerlas posteriormente. Por ello, será necesario completar los estudios con métodos directos (sondeos mecánicos) y también indirectos, tales como GPR (limitada profundidad y gran precisión), prospección sísmica de alta resolución, microgravimetría (que no ofrece tanta resolución pero abarca mayor profundidad). Por ello en un estudio regional lo más efectivo es combinar varias de esas técnicas en aquellas zonas que presenten mayores problemas.

Durante il Terziario la parte centrale della Conca dell'Ebro fu riempita da materiali detritici nel settore bordiero e da evaporiti e depositi carbonatici per precipitazione chimica nel settore centrale per un tipico regime endoreico.

Nel Quaternario le fasi di erosione e riempimento in un regime exoreico causarono lo svuotamento della Conca e lo sviluppo di terrazzi e di glaciares di accumulo che ricoprirono i sedimenti terziari.

Come conseguenza dei processi di dissoluzione dei gessi e del successivo sprofondamento della copertura quaternaria si svilupparono in questa zona un gran numero di forme carsiche, principalmente doline.

In questa parte della Valle dell'Ebro, a incominciare dagli anni 70, i terreni dedicati anticamente alla coltura agraria, sono stati utilizzati per l'attività costruttiva industriale e residenziale, producendo un notevole aumento dei rischi connessi e causati alla carsificazione. Gli effetti visibili sono molti e colpiscono edifici, la rete stradale, la rete ferroviaria, gli acquedotti.

Gli sprofondamenti possono essere repentini (sinkhole) o lenti, con velocità di sprofondamento comprese fra i 12 ed i 120mm/anno.

La Municipalità di Saragoza ha incaricato il Dipartimento di Geologia di elaborare una mappa della pericolosità carsica nei vari settori per inserirlo nello studio di pianificazione urbana della zona.

La distribuzione spaziale del fenomeno (come determinata dall'interpretazione delle foto aeree e da rilevamenti sul terreno) costituisce un primo approccio al problema. E' chiaro zone che allo stato attuale non presentano fenomenologie di questo tipo potrebbero averle in futuro.

Per questo è essenziale terminare lo studio in atto combinando le varie tecniche nelle zone che presentano i maggiori problemi utilizzando metodi diretti (sondaggi meccanici) ed indiretti, come il metodo GPR (limitata profondità di investigazione ma grande precisione), prospezioni sismiche ad alta risoluzione, microgravimetria (non tanta risoluzione però buona profondità).

## **EROSIONE SOTTERRANEA E SPROFONDAMENTI NELL'ALTA PIANURA LOMBARDA: GLI "OCCHI POLLINI"**

STRINI A.

*Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze della Terra*

Nell'Alta Pianura Lombarda si manifestano sporadicamente sprofondamenti che si generano sia in aree urbane sia in zone rurali. Gli sprofondamenti rappresentano solo l'ultimo stadio di fenomeni di erosione sotterranea noti localmente come "occhi pollini". Gli occhi pollini provocano spesso cedimenti in strutture già in esercizio e in costruzione, rendono necessario l'uso di pali nelle fondazioni e, non ultimo, possono costituire una via preferenziale di trasmissione di inquinanti.

E' stato effettuato un primo censimento nell'area a NE di Milano, una zona particolarmente colpita da questo fenomeno. Sono stati riconosciuti tre tipi di cavità in sedimenti quaternari che possono evolvere a dare crolli superficiali o comunque interagire con l'attività umana: gallerie superficiali, cavità di grande dimensioni e cavità nel conglomerato.

L'area interessata dagli occhi pollini è dominata da sedimenti glaciali e fluvioglaciali alterati. La presenza di estesi corpi di conglomerato con forte componente carbonatica può essere un importante fattore nella genesi del fenomeno.

Le cavità nel conglomerato sono da attribuirsi principalmente a dissoluzione carsica mentre negli altri due casi il meccanismo scatenante è il piping, favorito da variazioni del livello della falda sia naturali che antropiche.

La scarsa conoscenza del fenomeno tra gli operatori del settore e l'oggettiva difficoltà di definire l'estensione e le dimensioni delle cavità hanno portato spesso a sottovalutare i potenziali pericoli e danni connessi a questo fenomeno.

In zone soggette a occhi pollini le fondazioni devono essere in grado di sopportare cedimenti differenziali e, inoltre, dovrebbe essere ridotta la dispersione di acqua nel sottosuolo.

La definizione di aree a rischio è quindi il primo passo per identificare le zone dove sono necessarie interventi mirati. Per la definizione di queste aree è però necessaria una maggiore collaborazione degli enti locali e dei professionisti in modo da realizzare una banca dati completa e aggiornata riguardo al fenomeno.

## **RILEVAMENTO DI SINKHOLES DI ORIGINE ANTROPICA E INTERVENTI URBANISTICI NEL TERRITORIO DI MONTE DELLE PICHE (ROMA SUD-OVEST)**

SUCCHIARELLI C.\* , DI STEFANO V.\*\*

*\*Comune di Roma, Dipartimento alle Politiche della Programmazione e Pianificazione del Territorio*

*\*\*Ufficio Pianificazione e Progettazione Generale, Via del Turismo, 30 - 00144 Roma,*

Durante i sopralluoghi condotti nel territorio di Monte delle Piche (Municipio Roma XV) per l'ubicazione di un nuovo tracciato stradale di collegamento tra via delle Vigne (borgata del Trullo) e via Del Fosso della Magliana sono stati rilevati un certo numero di morfologie di dissesto per sprofondamento del piano campagna aventi forme prevalentemente subcircolari ed ellittiche. Ad una prima indagine cartografica, la loro distribuzione interessa una fascia territoriale rettangolare di circa 2 Km<sup>2</sup> avente dimensioni di 400 m per 700 m, posizionata con il lato maggiore parallelo e adiacente alla pianura alluvionale del fosso della Magliana. Le forme sono ubicate, per gran parte del loro numero, lungo le scarpate costituite da sabbie e ghiaie dell'Unità di Ponte Galeria che raccordano (per un dislivello pari a circa 22 m) i fondovalli del Fosso della Magliana e di due sue incisioni vallive laterali, con i sovrastanti rilievi di altopiano.

L'analisi cartografica dell'area ha permesso di individuare circa 30 sprofondamenti, attualmente in corso di verifica tramite il riscontro diretto con i rilevamenti di campagna. Le dimensioni dei loro diametri minori sono variabili da 5 a 10 m mentre per quanto riguarda il diametro maggiore possono raggiungere i 20 m circa. Le profondità sono state valutate ad una prima stima anch'esse variabili da circa 3 m a 8 m.

La causa del fenomeno è dovuta ai processi di crollo delle volte di una estesa rete caveale sotterranea non conosciuta, impostata con gli ingressi (attualmente obliterati dai dissesti) alla base delle scarpate e adibita, molto probabilmente, per attività estrattive condotte ai primi del 1900.

La distribuzione dei dissesti, concentrati in numero maggiore nella parte meridionale della fascia interessata, ha portato i tecnici dell'Ufficio ad approfondire la conoscenza delle aree interessate dai dissesti per valutare l'idoneità territoriale degli interventi urbanistici previsti dal Nuovo Piano Regolatore riguardanti l'ubicazione del tratto stradale di collegamento con via del Fosso della Magliana (opera pubblica n.2 del Programma di Recupero Urbano "Corviale") e la realizzazione di nuovi insediamenti residenziali (ATO R 72).

## **APPLICAZIONE DI METODOLOGIA GPR ALLO STUDIO DI COLLASSI DEL PIANO DI CAMPAGNA IN AREE DI PIANURA**

VETTORE L. \*, MARTELLI L. \*\*, CREMONINI S. \*\*, RABBI E. \*\*

*\* Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Università di Padova, corso Matteotti, 38 – Padova.*

*\*\* Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università degli Studi di Bologna, via Zamboni, 3 – Bologna.*

Nel corso dell'ultimo decennio, in alcune aree della pianura emiliano-romagnola (principalmente bolognese e modenese) hanno iniziato a manifestarsi localizzati e repentini collassi del piano di campagna, di dimensioni da metriche a decimetriche, di non chiara ed univoca origine. Il loro studio, tuttora in corso, ha comportato tra le altre anche l'esecuzione di una serie di rilievi geofisici (tomografie elettriche, profili sismici, ecc...) non ancora ultimata, mirata alla caratterizzazione a varia scala della struttura del materasso alluvionale locale. In tale ottica, l'espletamento di un survey intensivo GPR (300 MHz) su un area campione di circa 1000 mq ha tentato di evidenziare la geometria delle cavità in luce e la loro eventuale reciproca connessione anteriormente al manifestarsi dei collassi superficiali.

Le condizioni di deficit idrico dei terreni interessati dall'indagine a seguito dell'ultima (2003) eccezionalmente calda stagione estiva, la presenza di una netta stratificazione di depositi sedimentari caratterizzati da un adeguato contrasto granulometrico e la non eccessiva profondità (2-3 m dal piano-campagna) di giacitura delle protocamere di crollo hanno rappresentato le condizioni ideali per l'operatività dello strumento.

## **EVALUATION OF UNDERGROUND EXCAVATION STABILITY IN HARD ROCK BY THE NUMERICAL MODEL AND AE/MS MONITORING**

BATTISTA GROSSO<sup>1</sup>, PIER PAOLO MANCA<sup>1</sup>, DAVIDE PUSCEDDU<sup>1</sup> AND ROBERTO SARRITZU<sup>2</sup>

The paper relates to a combination of the numerical model simulation and the application of Acoustic Emission (AE) and Micro Seismic (MS) methods to monitor the stability of an abandoned underground mine. The proposed methods are usually employed to monitor failure propagation during mining or tunnelling operation. The case discussed here presents an original application of this technique to a disused mine cavity, where failure propagates due to localized strength reduction rather than stress redistribution. The mine has experienced subsidence phenomena in the past, and the potential instability of the surrounding rock mass could affect a roadway near the mine. The mine is part of a metalliferous mining district, intensively exploited for lead and zinc ores in the past century. Should the method prove successful, it could be extended to monitor other mine voids.