

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

Di **FILIPPO MICHELE\***, **NOLASCO FRANCESCO\*\***, **TORO BENIAMINO\***

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

\*\*Direzione Regionale Ambiente e Protezione Civile, Dipartimento Territorio Regione Lazio.

## PREMESSA

Gli Altopiani di Arcinazzo rappresentano una zona carsica, tuttora attiva, fra le più belle e caratteristiche dell'Appennino Centrale. Quest'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 una prospezione microgravimetrica al fine di individuare la presenza di cavità sotterranee suscettibili di crollo in località Altopiani di Arcinazzo (Rm), figura 1.

Sono state elaborate varie mappe delle anomalie residue 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 si verificano a cadenza anche mensile (figure 2 e 3). Essi sono ubicati al bordo dei minimi gravimetrici e rappresentano i margini di futuri e più ampi sinkholes.



Fig. 1 - Ubicazione dell'area in studio.



Fig. 2 - Altopiani di Arcinazzo, sinkhole avvenuto nel settembre 2001

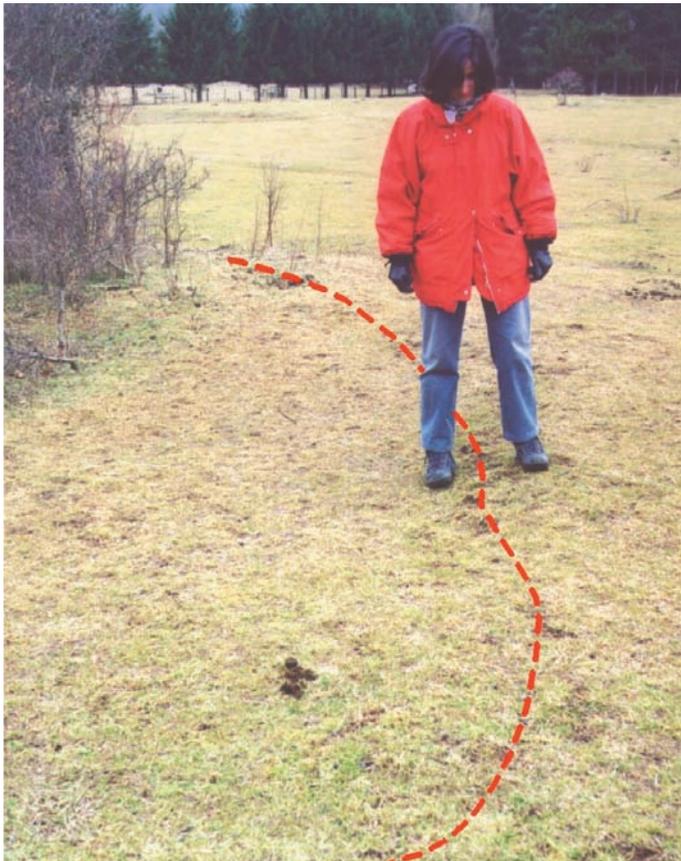


Fig. 3 - Altopiani di Arcinazzo, una zona in via di collasso accanto ad un sinkhole precedente.

## 1. GEOLOGIA DELL'AREA

Il fenomeno carsico, reso possibile dalle favorevoli condizioni geologiche e climatiche, è diffuso su tutta l'area studiata (LUPA PALMIERI et alii, 1977), dove si manifesta in forme diverse, soprattutto epigee, che costituiscono l'elemento più appariscente del paesaggio e conferiscono agli altopiani stessi l'aspetto di una delle più belle e caratteristiche zone carsiche dell'Appennino Centrale.

Le formazioni geologiche presenti nell'area esaminata sono costituite da calcari di età cretacea e miocenica, a cui sono sovrapposte terre rosse del Quaternario e attuale. I termini cretacei affiorano largamente su ampie zone dell'area esaminata: essi sono particolarmente rappresentati sulle pendici nord orientali dei M. Affilani, formano l'ossatura principale della dorsale dei M. Scalambra e costituiscono per la massima parte i bordi degli Altopiani di Arcinazzo. I litotipi appartenenti a questo periodo costituiscono due insiemi caratteristici, nettamente distinti: calcari nocciola, calcari a Rudiste.

Calcari nocciola - Si può comprendere in questo insieme tutta una potente serie di calcari detritici ultrafini (intramicriti e micriti), ben stratificati; Albano p.p. -Cenomaniano. Il colore di questi calcari varia dall'avana chiaro al marroncino, la frattura è scheggiata o concoide; tutto l'insieme presenta notevoli fessurazioni, orientate secondo molteplici direzioni e riempite da calcite secondaria.

Calcari a Rudiste - Quest'insieme giace superiormente, in perfetta concordanza, ai calcari nocciola; ha una potenza variabile da 230 a 300 metri circa ed è costituito da bancate calcaree ricchissime di grosse Rudiste, con chiari caratteri delle facies marginali di piattaforma. I calcari hanno frattura nettamente scheggiata e sono interessati da un'intensa carsificazione in superficie.

I termini miocenici compaiono immediatamente sopra a quelli cretacei, con i quali sono in continuità litologica: fra le due assise esiste una lacuna stratigrafica contrassegnata da una discordanza parallela. Procedendo dal basso, si rinvengono tre formazioni litologicamente ben distinguibili: Calcari a Briozoi e Litotamni, marne e argille marnose ad Orbulina, argille e arenarie torbiditiche, ma solo la prima compare nell'area in studio.

Calcari a Briozoi e Litotamni - In generale il passaggio fra i calcari del Cretaceo superiore e quelli del Miocene non è caratterizzato dai tipici elementi di trasgressione e la posizione dei limite fra i due si può stabilire soltanto in base allo studio dei fossili. Solo in qualche caso si nota la presenza di un hardground a cemento calcareo microcristallino. La potenza dei calcari miocenici si aggira sui 230 metri. Nella parte settentrionale dei M. Affilani essi affiorano in larghe bande orientate secondo la direzione del rilievo (NW-SE), mentre nella parte meridionale degli stessi le placche di calcare miocenico sono orientate in direzione Est-Ovest, probabilmente in relazione con la situazione tettonica.

I depositi del Quaternario presenti nell'area in studio sono rappresentati da terre rosse. Le terre rosse carsiche si presentano, nell'area in studio, frammiste a materiali di origine vulcanica, principalmente cristalli di augite e lamine di biotite, che spesso hanno dimensioni dell'ordine del centimetro. La provenienza di tali materiali piroclastici è dagli apparati vulcanici Laziale e Sabatino. Le terre rosse tappezzano frequentemente le depressioni carsiche ed anche il fondo di valli torrentizie; le terre assumono a luoghi una colorazione nerastra, dovuta ad intensa umificazione ed alla presenza di ossidi di ferro.

Il fenomeno carsico, reso possibile dalle favorevoli condizioni geologiche e climatiche, è diffuso su tutta l'area studiata, dove si manifesta in forme diverse, soprattutto epigee, che costituiscono l'elemento più appariscente del paesaggio e conferiscono agli altopiani stessi l'aspetto di una delle più belle e caratteristiche zone carsiche dell'Appennino Centrale. Data l'intensa fratturazione accentuata da numerosi e vari disturbi tettonici, la permeabilità secondaria delle formazioni carbonatiche è elevatissima; la carsificazione è molto spinta, con forme sia epigee sia ipogee. È quindi da correlare la presenza e l'allineamento dei caratteri carsici epigee con l'assetto tettonico-strutturale.

Il paesaggio si presenta in duplice modo: da una parte è evidente una morfologia aspra data dagli affioramenti calcarei e dall'altra andamento morbido nelle depressioni colme di terra rossa terrazzate e modellate dall'attività antropica agricola. Quest'ultimo fatto, come si è constatato, ha operato fino a qualche decennio fa, cancellando con l'aratura e coltivazione la presenza di piccoli sinkholes.

## 2. PROSPEZIONE GRAVIMETRICA

Le misure di gravità sono state eseguite con un gravimetro LaCoste & Romberg mod. D, strumento che consente un campo di lettura di 200 mGal con una sensibilità di 0.001 mGal. Tali misure sono state eseguite mediante circuiti chiusi, con controllo periodico della deriva strumentale ogni due ore; tale deriva è stata considerata accettabile per valori non superiori ai 10 microGal per ora. Ogni misura gravimetrica è stata ripetuta almeno due volte.

Le Anomalie di Bouguer sono state elaborate utilizzando per la correzione per la piastra e per la correzione topografica un valore di densità di  $2.6 \text{ g/cm}^3$ , valore medio tipico delle rocce carbonatiche di età cretacico-miocenica che affiorano ai margini e che costituiscono il bedrock delle terre rosse. Tale valore è stato ottenuto anche con l'elaborazione statistica di quote e anomalie di gravità, una volta detratto il Campo Regionale del 1° ordine, come è illustrato nel grafico di figura 4.

Dalla correlazione tra Quota e  $((\text{Grav.Osservata} - \text{Grav.Normale} + \text{Faye}) + \text{Cor.Topografica})$  è possibile ottenere il valore di densità medio delle rocce presenti tra la quota più bassa e quella più alta (figura 4). La retta di correlazione presenta un ottimo fitting con i punti di misura. Infatti, il coefficiente di correlazione è vicino al 100% e lo scarto quadratico medio calcolato su 494 punti risulta molto basso.

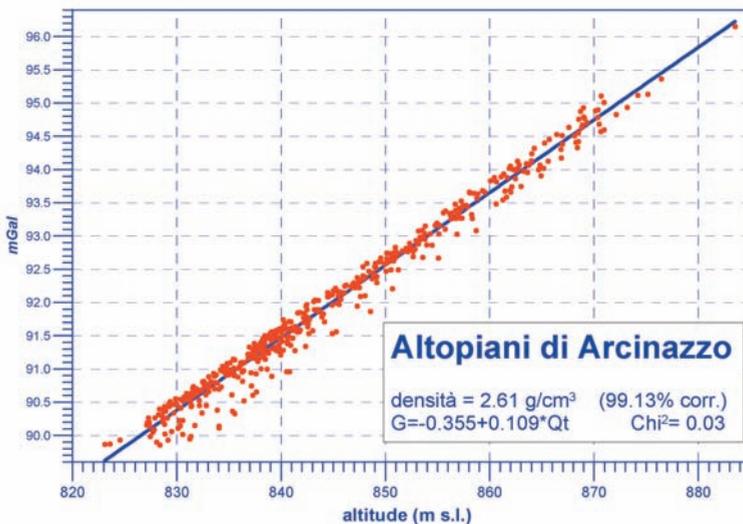


Fig. 4 - Grafico quota – Anomalie di gravità elaborato sulle 494 stazioni microgravimetriche. Dal rapporto tra gravità e quota si può calcolare la densità media delle rocce comprese nell'intervallo di quota.

Le Anomalie di Bouguer sono conformi all'andamento regionale e presentano come caratteristica principale un decremento dei valori da WSW verso ENE. A questo andamento si sommano comunque alcune aree di minimo gravimetrico dovute a variazioni di densità locali.

Le Anomalie Residue di ordine n-1, figura 6, sono state elaborate sottraendo alle Anomalie di Bouguer, il Campo Regionale del 1° ordine che rappresenta la caratteristica più importante nel quadro delle Anomalie di Bouguer e cioè il decremento dell'anomalia di gravità da WSW verso ENE. La geometria della superficie del Campo Regionale del 1° ordine è stata ottenuta utilizzando il metodo dei minimi ed è rappresentata da una superficie piana che presenta la direzione di Nord 40° Ovest e che immerge a NE con un gradiente di 1.77 mGal per km.

In particolare, è molto evidente il minimo gravimetrico, impostato nella parte centrale, che presenta un asse gravimetrico orientato NNW-SSE con un valore di anomalia negativa di oltre 0.750 mGal; si ha l'impressione di aver intercettato una depressione endoica dove affiora terra rossa per uno spessore di alcune decine di metri ed è presente un sistema carsico ipogeo.

La presenza di questo minimo ubicato, da Nord verso Sud, su una valletta terrazzata e su una porzione degli ampi terreni coltivati, non era assolutamente prevedibile dai dati di affioramento.

Mentre per le altre Anomalie Residue di ordine n-1 risulta una notevole correlazione tra entità dei valori e densità dei terreni affioranti: i valori positivi sono ubicati nelle aree dove i calcari affiorano o sono a debole profondità (qualche metro), mentre valori negativi dell'anomalia sono impostati nelle aree caratterizzate dalla presenza di terre rosse. È più facile trarre ogni altra considerazione, non da questa carta, ma dalle successive elaborazioni, in quanto le zone, sia positive che negative, di anomalia chiusa di piccola estensione risultano più evidenti.

È stato elaborato un filtraggio sulle Anomalie Residue di ordine n-1 con il metodo di Griffin con un raggio di regionalità pari a 50 m. Il valore del raggio, 50 m, è stato scelto per filtrare ed esaltare le anomalie indotte da variazioni di densità nelle prime decine di metri del sottosuolo.

Una volta sottratto il Campo Regionale del 2° ordine sono state ottenute le anomalie Residue di ordine n-2, illustrate in figura 7: queste anomalie presentano una notevole correlazione con la geologia di superficie. Generalmente le aree, in cui affiorano i calcari sono caratterizzate da anomalie di gravità positive mentre anomalie negative si trovano sugli affioramenti di terre rosse. Al margine tra zone di anomalia di gravità positiva e negativa sono stati osservati dei sinkholes recenti.

Tuttavia ad un esame più dettagliato si può vedere che mentre gli affioramenti calcarei presentano per lo più anomalie positive, per le zone caratterizzate da terre rosse la correlazione in qualche caso non è verificata: come si evince dalla figura 5, le terre rosse e il suolo agricolo modellato e terrazzato negli ultimi decenni presenta da luogo a luogo spessori da esigui a valori dell'ordine di decine di metri.

I minimi gravimetrici, infatti, possono essere indotti sia da una depressione colma di sedimenti leggeri rispetto al bedrock, sia da una cavità nel sottosuolo vuota o piena d'acqua.

Pertanto per individuare la causa di un minimo di gravità, occorre utilizzare anche il gradiente gravimetrico orizzontale. L'anomalia di gravità indotta da una cavità presente nel sottosuolo è distinguibile da quella prodotta da una cava riempita presente in superficie per il diverso gradiente.

L'anomalia indotta da una cavità nel sottosuolo presenta il gradiente orizzontale maggiore in prossimità dell'epicentro della cavità stessa, mentre per una depressione riempita, il maggior gradiente si nota in prossimità dei margini della depressione stessa.

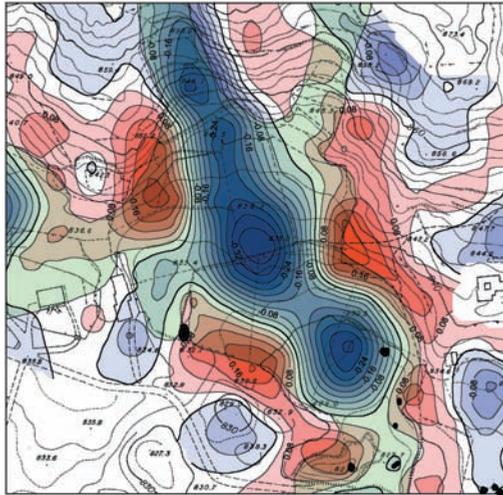


Fig. 5 - Sono riportate le Anomalie Residue di ordine n-2 e con il colore verde l'affioramento di terre rosse.

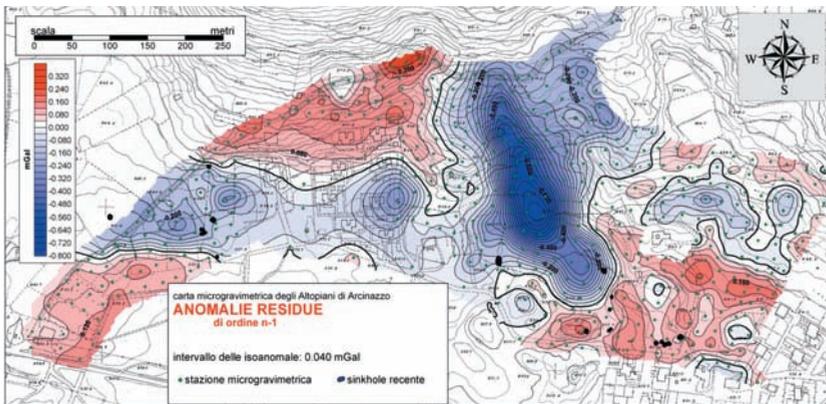


Fig. 6 - Carta microgravimetrica degli Altopiani di Arcinazzo: Anomalie Residue di ordine n-1.

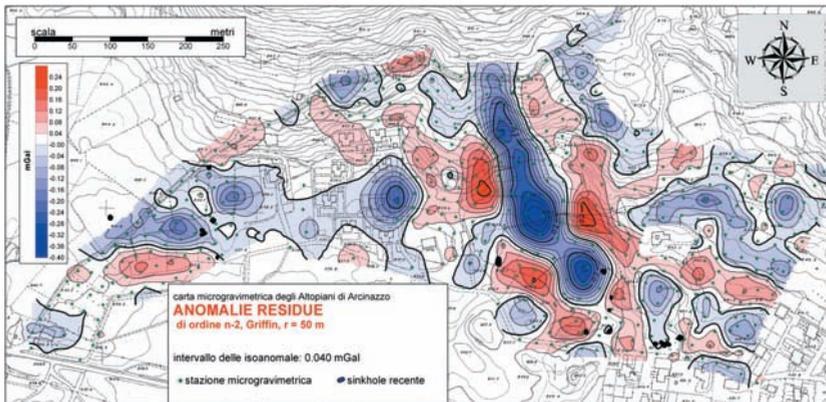


Fig. 7 - Carta microgravimetrica degli Altopiani di Arcinazzo: Anomalie Residue di ordine n-2.

### 3. RISULTATI E CONCLUSIONE

Analizzando le Anomalie Residue di ordine n-1 e n-2, figure 6 e 7, si evince che i sinkholes non corrispondono agli epicentri dei minimi gravimetrici, ma ne evidenziano il loro margine: è evidente che i segni più vistosi di un'area che sprofonda sono ai margini di questa (figura 8).

C'è da considerare che i sinkholes osservati non danno da soli una zona di minimo gravimetrico: per questo scopo i punti di misura della gravità dovrebbero essere effettuati su una maglia con passo minore, adeguato alle dimensioni di queste cavità subsuperficiali e che i dati gravimetrici andrebbero correlati e incrociati con altre metodologie geofisiche, quali le tomografie elettriche.

Le anomalie di gravità di vario ordine unitamente all'ubicazione dei piccoli sinkholes hanno permesso di delineare quindi le zone a rischio, indicate nella figura 9, che rappresenta l'elaborato finale: le zone evidenziate dalla retinatura in rosso, sono quelle per cui, in base ai dati gravimetrici e alle manifestazioni in superficie del carsismo ipogeo, si può prevedere che siano soggette a sprofondamenti.

I risultati di questo studio indicano la presenza, al di sotto delle terre rosse, di numerose depressioni del substrato carbonatico. In sintesi le zone di minimo gravimetrico sono le aree che nel tempo potranno subire uno sprofondamento nel caso avvengano elementi perturbatori dell'equilibrio del sistema carsico ipogeo. Tale equilibrio varia nel tempo con la sua naturale evoluzione ma può essere controllato e accelerato dall'attività sismica locale e/o delle aree adiacenti o da eventi piovosi molto intensi.

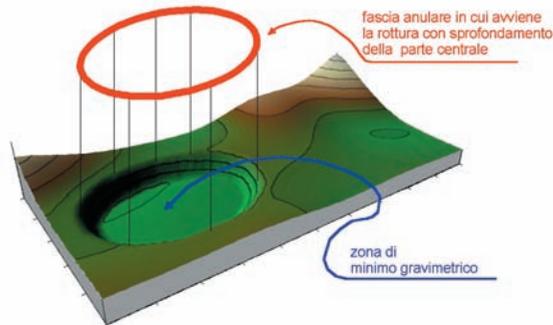


Fig. 8 - Blocco-diagramma di un'area carsica soggetta a sinkhole

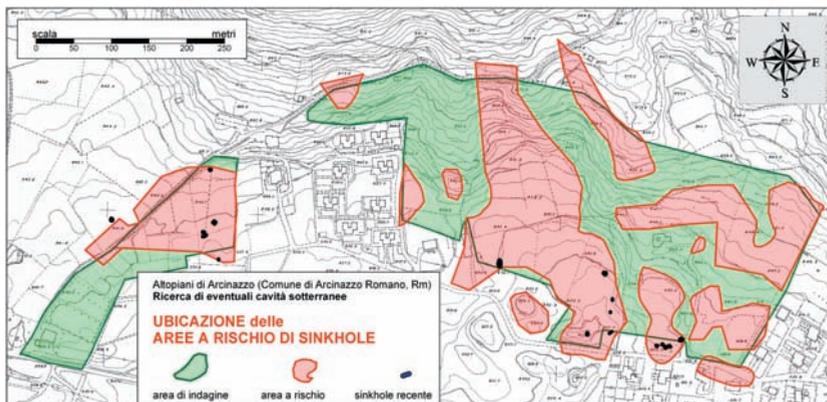


Fig. 9 - Le aree a rischio sinkholes

I problemi di queste aree sono duplici: la possibilità di uno sprofondamento e l'eventuale crollo di costruzioni soprastanti e, nel tempo, l'inquinamento della falda idrica presente nel sistema carsico causato dall'uso del sinkhole come discarica.

#### **BIBLIOGRAFIA**

LUPIA PALMIERI E., ZUPPI G. M. (1977) - Il carsismo degli Altopiani di Arcinazzo (Lazio). *Geologica Romana*, vol. **XVI**, pp. 309-390, Roma.