

**Riconoscimento e classificazione di alcune
depressioni di origine incerta nell'area
vulcanica di Roccamonfina**

Dr.ssa Laura Ambu

Tutor: Dr.ssa Letizia Vita

**Con la collaborazione di: Dr.ssa Stefania Nisio
Dr. Giorgio Caramanna**

Prefazione

Questa tesi di stage è nata come approfondimento di un più generale studio svolto dall'APAT sui fenomeni di sprofondamento naturale (*sinkhole*). Da alcuni anni infatti il Servizio Geologico, Scienze della Terra e Carte Tematiche censisce i *sinkholes* sviluppatasi sul territorio italiano analizzandone il contesto geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico (Progetto Sinkhole) anche ai fini della ricostruzione del meccanismo genetico e della individuazione delle aree a rischio.

Nell'ambito di questa attività si è evidenziata la necessità di svolgere studi più circostanziati in aree con caratteristiche al contorno peculiari. Nello specifico, alcune depressione individuate in aree interessate da vulcanismo recente hanno richiesto approfondimenti specialistiche per un corretto riconoscimento e classificazione delle forme riconosciute.

In questa tesi la dott.ssa Laura Ambu, avvalendosi della esperienza pregressa nello studio dei terreni e delle fenomenologie vulcaniche acquisita durante il corso di laurea e l'attività post-lauream, ha svolto uno studio multidisciplinare su alcune depressioni presenti nell'area di influenza del vulcano di Roccamonfina e dei Campi Flegrei (Campania), la cui genesi era stata diversamente interpretata nel tempo dagli Autori.

Il lavoro che ne è scaturito è un bell'esempio di applicazione multipla di tecniche specialistiche di campo e di laboratorio utilizzate nelle Scienze della Terra per la comprensione ed interpretazione dei fenomeni naturali.

Infatti attraverso un attento studio di testi e carte antiche presso biblioteche tecniche ed archeologiche, l'analisi fotointerpretativa per l'individuazione delle principali caratteristiche geomorfologiche e strutturali dell'area, il rilevamento geo-vulcanologico e geomorfologico condotto in situ per la verifica puntuale della situazione attuale, l'acquisizione dei dati geochimici e batimetrici di alcune depressioni occupate da laghetti, la ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo attraverso i dati dei pozzi censiti con la legge 464/84, nonché l'esame degli studi precedenti, si è giunti alla definizione di un quadro geologico-interpretativo ragionevolmente certo e completo dell'area in esame. Molte delle informazione acquisite sono state rappresentate in una carta di sintesi, nella quale risultano tra l'altro segnalate anche alcune forme relitte in precedenza non note.

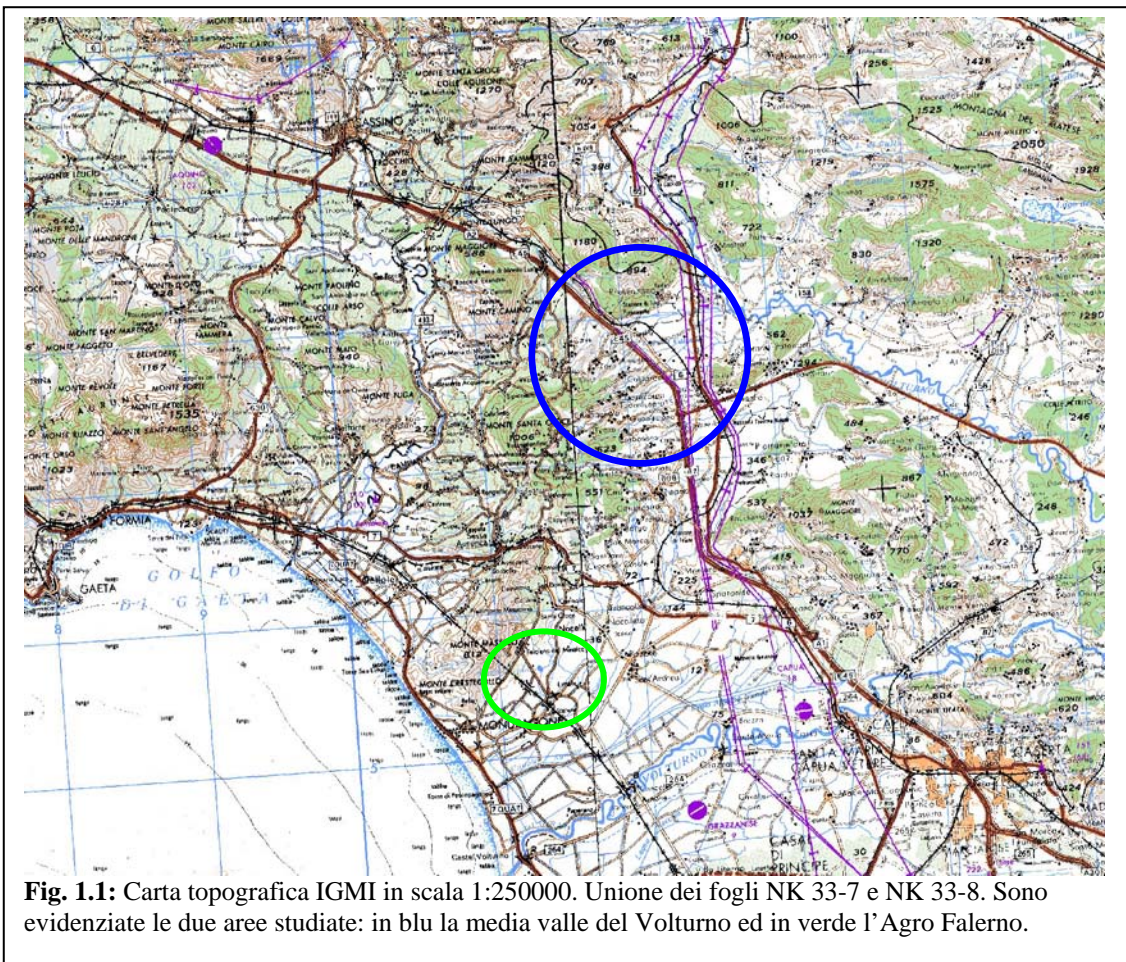
Indice

1	Introduzione	5
1.1	Sinkhole e maar.....	6
2	Metodologia	9
3	Geologia delle aree	11
3.1	Inquadramento geologico e strutturale.....	11
3.2	Lineamenti strutturali.....	15
3.3	Il vulcano di Roccamonfina.....	17
3.4	Ignimbrite Campana.....	18
4	Idrogeologia dell'area in esame	20
4.1	Strutture idrogeologiche.....	20
4.2	Permeabilità, caratteristiche e ruolo idrogeologico dei principali litotipi affioranti.....	21
4.3	Unità idrogeologica del Roccamonfina.....	21
4.4	Il chimismo delle acque sorgive.....	22
5	Aree in esame	25
5.1	Lago delle Corrèe.....	26
5.2	Aia Spaccata.....	30
5.3	Lago di Vairano.....	32
5.4	Agro Falerno.....	34
5.4.1	Lago di Falciano del Massico, Fossa Annunziata e La Valla.....	35
5.4.2	Fossa Barbata, Fossa del Ballerino e Fossa della Torre.....	41
6	Conclusioni	47
7	Bibliografia	49
	Allegato 1: Carta	
	Allegato 2: Stratigrafie pozzi censiti con Legge 464/84	
	Allegato A: Tabella con analisi delle acque	

1- Introduzione

Questa tesi di stage rientra nel Progetto Sinkhole dell'A.P.A.T. che si propone lo scopo di censire tutti i casi italiani di cavità che possono essere riconducibili a tale fenomenologia.

Le aree in esame sono quelle della porzione nord della Regione Campania che rientrano nella provincia di Caserta; più precisamente, lo studio si riferisce alle depressioni ubicate nell'Agro Falerno (vicino all'abitato di Mondragone, Foglio 171 della Carta topografica e geologica in scala 1:100.000) e a quelle della media piana del fiume Volturno (vicino all'abitato di Vairano Patenora, Foglio 161 e 172 delle suddette carte) (vedi Fig. 1.1)



La necessità di chiarezza sulla loro genesi deriva dal fatto che esse, ubicate su terreni di origine vulcanica nei pressi del Vulcano di Roccamonfina, sono state attribuite da alcuni Autori (Scherillo *et alii*, 1965; 1966a e b; Gasparini, 1965, 1966; Zannini, 2001) a fenomenologie di tipo primario connesse ad attività esplosiva (maar), coeve con il vulcanismo nord campano (0.06-0.03 Ma), mentre altri Autori (Gussone & Tenore, 1835;

Scacchi, 1885; Del Prete *et alii*, 2004) ne hanno associato l'origine a fenomeni di sprofondamento (*sinkhole*)

Questo lavoro si propone lo scopo, attraverso uno studio interdisciplinare, di determinare tutti i fattori oggettivi che possano far propendere per l'una o l'altra ipotesi.

Nel paragrafo successivo verranno brevemente illustrate le caratteristiche e gli elementi essenziali tipici delle strutture da *sinkhole* e da *maar*.

• 1.1 Sinkhole e maar

a) Sinkhole

Con il termine *sinkhole* s.s. si indica ogni cavità formatasi in seguito a sprofondamenti repentini legati a diversi processi quali carsismo, risalita di acque dal basso, erosione e sifonamento dei materiali di copertura (Nisio, 2003). La morfologia osservabile sul terreno è una cavità sub-circolare apertasi improvvisamente in terreni diversi e a varia granulometria a causa di risalita di acque e di gas, sifonamento, suffosione profonda (ossia l'erosione del materiale dal basso a causa dello scorrimento attraverso condotti verticali e seguente collasso (Nisio, 2003).

Il termine *sinkhole*, come riportato ampiamente in letteratura (A.A.V.V., 2004), è molto spesso utilizzato con un aggettivo che specifica la causa della formazione di tale cavità. Nel lavoro di Nisio (2003), testo cui qui si farà riferimento, si differenziano varie tipologie di *sinkhole* in base alla loro genesi, proponendo quindi una terminologia ufficiale.

Nello specifico vengono qui riportati tutti gli elementi caratteristici dei *sinkhole* riscontrabili anche nella zona da noi studiata e precisamente:

- presenza di aree pianeggianti;
- presenza di fratture e faglie che provocano la risalita di fluidi mineralizzati e ricchi in gas;
- presenza di acquiferi importanti evidenziata dall'esistenza di numerose sorgenti perenni (vedi allegato 1);
- presenza di carbonati nei rilievi circostanti la piana ed anche sotto di essa nonché di depositi di copertura che consentano la circolazione dei fluidi.

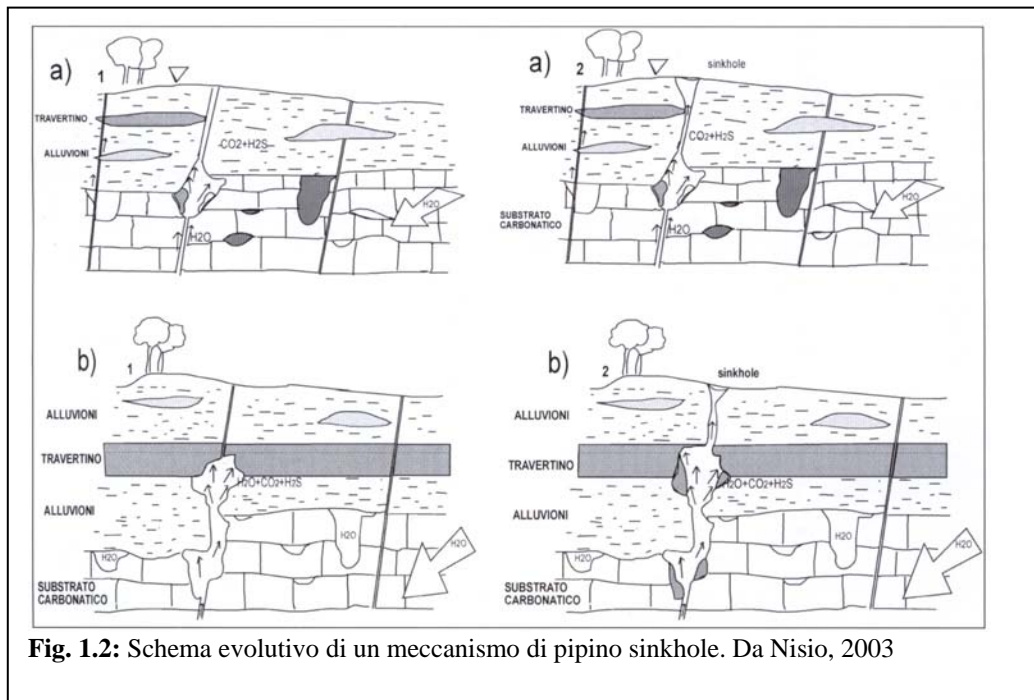


Fig. 1.2: Schema evolutivo di un meccanismo di pipino sinkhole. Da Nisio, 2003

b) Maar

I *maar* sono crateri vulcanici usualmente monogenetici prodotti da eruzioni freatiche o freatomagmatiche (Cas & Wright, 1987).

A questo termine è associata anche una caratteristica forma geologica dai peculiari

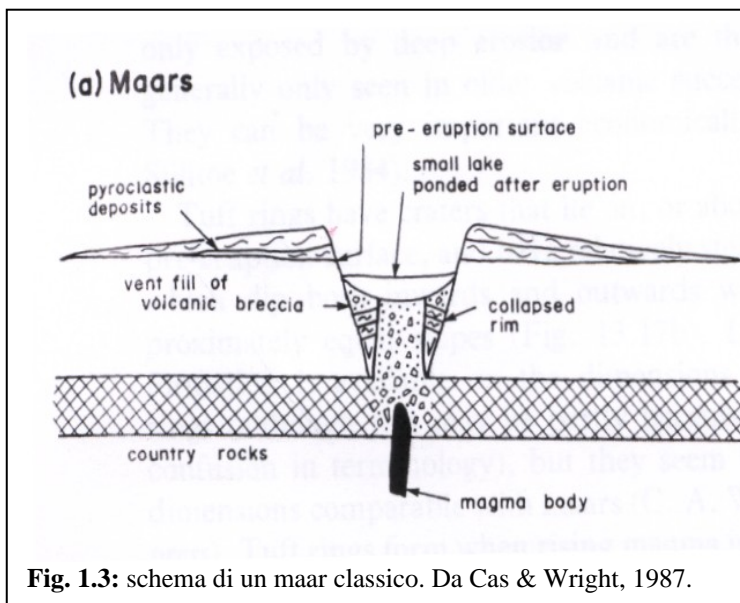


Fig. 1.3: schema di un maar classico. Da Cas & Wright, 1987.

parametri geometrici e strutturali: esso indica un cratere che taglia letteralmente i litotipi circostanti con ripide scarpate interne e poco inclinate quelle esterne; questa forma si apre sempre al di sotto del piano campagna (Fig. 1.3). altre caratteristiche distintive sono un elevato diametro del cratere, da poche centinaia di metri a circa tre chilometri (Cas & Wright, 1987).

I prodotti maggiori sono rappresentati da depositi cineritici con stratificazione parallela e incrociata. Questi ultimi sono riconosciuti come deposito da *base surge* con una

distribuzione radiale; a questi possono essere intercalati depositi da ricaduta. Vicino al cratere sono abbastanza comuni blocchi balistici e bombe ed anche frammenti di rocce locali. La ricostruzione del livello di appartenenza di tali prodotti è utile per conoscere la profondità a cui è avvenuta l'esplosione e quindi la profondità dell'acquifero. Il primo deposito espulso è una breccia vulcanica composta da frammenti angolari della roccia sovrastante, tipico dell'inizio di una esplosione freatica; in piccoli *maar* si osserva una predominanza di questo prodotto (Cas & Wright, 1987).

I *maar* recenti hanno un rapporto profondità – diametro di 1:5 che tende ad aumentare con il passare del tempo per effetto del progressivo riempimento del cratere e del suo allargamento per erosione progressiva dei bordi.

La presenza di tali forme è legata a specifici contesti idrogeologici, geologici e magmatici. Nel nostro caso specifico, gli Autori che propendono per una genesi vulcanica primaria sostengono che l'esplosione possa essere stata solo di tipo freatico, senza interazione con nuovo magma, dal momento che non si rinvenivano prodotti diversi dai circostanti (assenza di frammenti juvenili).

Quindi, affinché ci possa essere stata un'esplosione di tipo freatico, si deve essere creata una situazione di concomitanza dei tre seguenti fattori essenziali:

- a) Un flusso di calore dal basso che consenta la produzione crescente di vapore nel reservoir (ossia nella falda) e la formazione di un sistema pressurizzato; questo può essere dato dalla risalita di fluidi caldi, magmatici o provenienti da un acquifero più profondo e più caldo o da entrambi;
- b) una falda circolante che può subire riscaldamento ed ebollizione con conseguente aumento della pressione;
- c) una copertura impermeabile che impedisca la dissipazione della pressione del fluido sottostante.

I prodotti di una simile esplosione, che ricordiamo avviene solo quando la pressione vapore supera quella litostatica, rinvenibili nell'anello bordante il cratere sono delle brecce di craterizzazione composte dalle rocce che costituivano il *reservoir* e la sovrastante copertura

Nel caso di esplosione freatomagmatica, con interazione acqua - magma superficiale o posto a profondità intermedia avremmo avuto alla base del deposito esplosivo dei *lahar* con litici magmatici, di prodotti vulcanici più antichi e sedimentari; dei *surges* prima umidi e poi secchi ed infine un deposito da ricaduta. E' evidente che questa opzione è stata scartata subito da ogni geologo che si è trovato in situ; tuttavia, l'ipotesi di *maar* è rimasta

valida considerando solo un'esplosione di tipo freatico che genera un volume più ridotto di prodotti.

2 - Metodologia

In questo capitolo si elencano tutte le operazioni effettuate per cercare di indagare le aree in esame in modo multidisciplinare e quindi amalgamare in un quadro di sintesi informazioni di natura differente.

- Ricerca e analisi delle carte e dei testi storici riguardanti le aree in cui ricadono le depressioni riconosciute al fine di risalire alla data della loro formazione e capire quale possa essere stata la causa scatenante il fenomeno (terremoti, piogge abbondanti, eventi eruttivi, ecc). Le carte storiche di quella zona, appartenente alla "Provincia di Terra di Lavoro" sono osservabili presso la Biblioteca della Società Geografica Italiana mentre testi storici quali gli "Annali civili del Regno delle Due Sicilie" sono presenti a Roma nella Biblioteca degli Studi Meridionali Giustino Fortunato e in quella dell'Istituto Archeologico Germanico.
- Studio delle Carte geologiche e della Bibliografia esistente su questa porzione della nostra penisola al fine di conoscere al meglio il territorio.
- Studio del territorio dall'alto con l'ausilio delle foto aeree del Volo Italia IGM del 1954, presenti nella biblioteca dell'A.P.A.T.. Tale collezione è divisa per fogli geologici ed è rappresentata da strisce di foto continue in parziale sovrapposizione che permette una visione in tre dimensioni. La scala della ripresa è circa 1:33000. Dallo studio delle foto aeree dei settori in esame (Foglio 172 strisciata 1, fotogrammi 2579-2580 per le fosse dell'Agro Falerno; strisciata 3, fotogrammi 3676-3677 per il lago delle Corràe; foglio 161, strisciata 3, fotogrammi 3675-3676 per il lago di Vairano e Aia Spaccata) è stato possibile osservare e successivamente interpretare alcune forme che sul campo appaiono meno evidenti ed anche faglie e lineamenti strutturali non riportati sulla carta geologica al 100.000 (vedi cap. 5)
- Analisi delle stratigrafie di tutti i pozzi censiti con la Legge 464 del 1984 di alcuni comuni della provincia di Caserta (Marzano Appio, Vairano Patenora, Vairano

Patenora, Presenzano, Tora e Piccilli, Mondragone, Carinola, Falciano del Massico) archiviati presso la sede del Servizio Geologico d'Italia, ora A.P.A.T., di Via Curtatone n° 3, Roma. Infatti, per comprendere al meglio le modalità di formazione di cavità ascrivibili a *sinkhole*, è importante individuare la quota a cui si trova il substrato di origine carbonatica o comunque carsificabile.

- Studio dell'idrogeologia del settore e ricerca dei dati sulle sorgenti presenti nell'area in esame o nei pressi di essa al fine di confrontarli con quelli raccolti nell'ambito del Progetto Sinkhole e relativi alle acque dei laghetti presenti all'interno di alcune delle depressioni.
- Realizzazione di una nuova carta (allegato 1) in scala 1:100.000 in cui siano riportati, oltre alle cavità indagate, anche gli elementi di tettonica (sia quelli presenti sulla carta geologica al 100000 (in rosso) sia quelli osservati dalle foto aeree (In viola) e non ancora cartografati), le sorgenti cartografate sul 100.000 geologico, nonché quelle per le quali è presente in letteratura l'analisi delle acque e tutti i pozzi della legge 464/84 utilizzati per le ricostruzioni stratigrafiche.
- Analisi di campagna attraverso rilevamenti geologici e geomorfologici, acquisizione di testimonianze da parte dei residenti, l'analisi delle acque e la ricostruzione della batimetria dei laghi nell'ambito del Progetto Sinkhole, promosso dal Dipartimento del Suolo dell'A.P.A.T..
- Discussione e conclusioni sull'argomento derivanti dalla sintesi di tutte le informazioni reperite sull'area in esame.

3 - Geologia dell'area

• 3.1- Inquadramento geologico e strutturale

L'area in esame è ubicata nella parte nord della regione Campania, nella provincia di Caserta, e rientra nei Fogli Geologici 161, 171 e 172 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100000).

L'evoluzione geologica di questa porzione della nostra penisola ha inizio con la formazione delle piattaforme carbonatiche impostatesi verso la fine del Triassico lungo la fascia sudtetidea, su settori crostali spianati dalle fasi erosive post-erciniche ed in corso di graduale sprofondamento a causa dell'apertura di quello che diventerà, nel Giurassico superiore, il nuovo oceano Ligure-Piemontese, interposto tra Africa ed Europa (Praturlon, 1993).

A causa del diverso grado di sprofondamento delle porzioni di una iniziale grande piattaforma carbonatica, si formano più piattaforme tra loro isolate da bacini a sedimentazione più profonda; questo equilibrio perdura fino all'Eocene in cui si ha parziale emersione delle piattaforme e quindi interruzione della sedimentazione che riprende poi nel Miocene con la deposizione di sedimenti calcarei e calcari marnosi e successivamente con alternanza di arenarie e argille (Tortoniano). I bacini, al contrario, continuano ad approfondirsi fino al Neogene, quando vengono rapidamente colmati da depositi terrigeni torbiditici derivanti dallo smantellamento della catena orogenizzata ed in sollevamento (Capelli *et alii*, 1999).

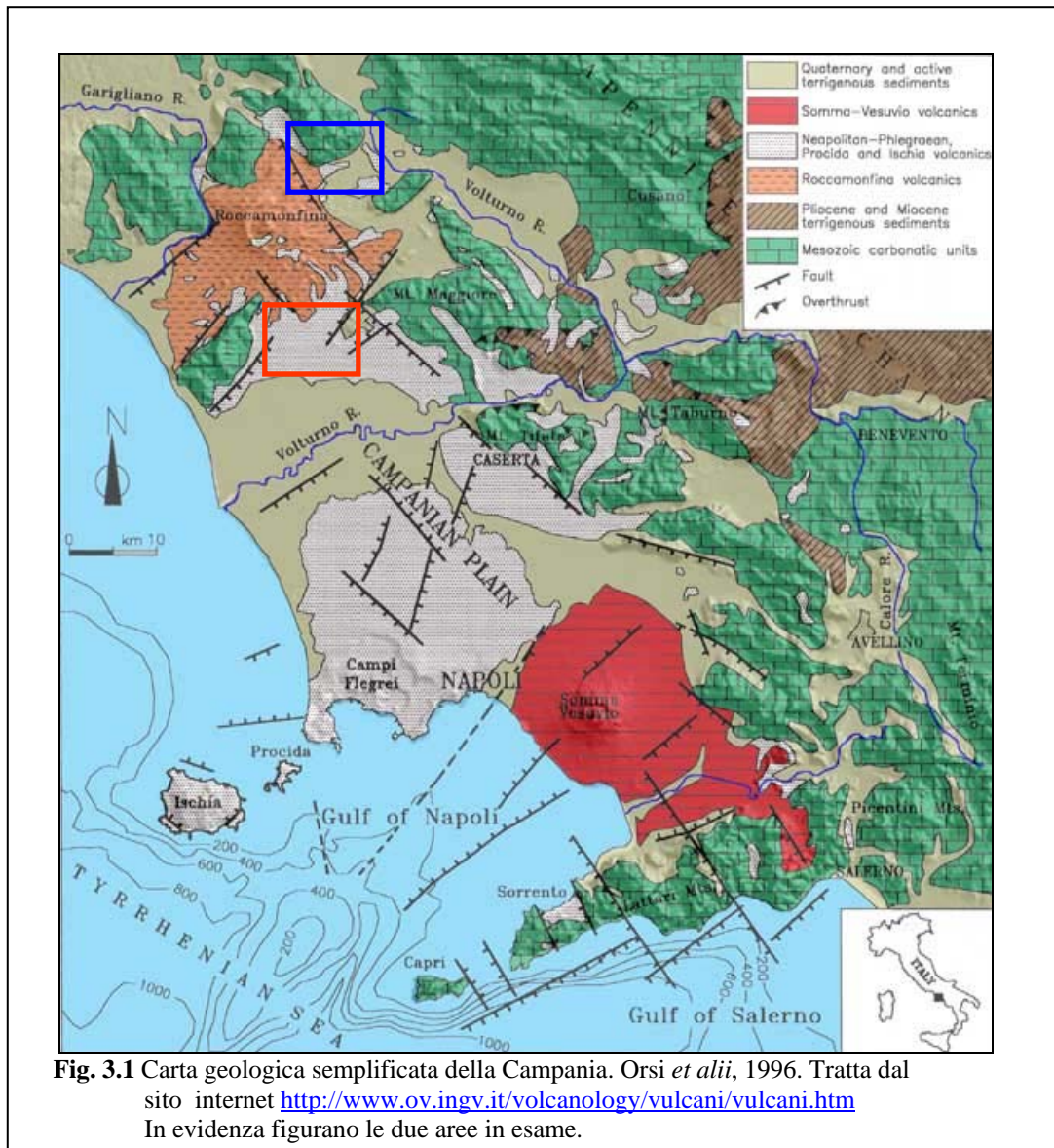
A partire dal Pliocene medio l'area è completamente emersa.

Nel Pliocene superiore le aree divenute costiere sono interessate da uno sprofondamento del basamento dovuto alla tettonica estensionale connessa all'apertura del bacino tirrenico che porta alla formazione di graben ancora a sedimentazione marina.

Nelle zone ribassate si accumulano rapidamente potenti spessori di depositi clastici e vulcanici (da 2000 a 5000m circa), questi ultimi dovuti ad un vulcanismo orogenico attivo dal Pleistocene superiore (Roccamonfina) con associazioni piroclastiche riconducibili alla "Provincia Magmatica Romana" (Capelli *et alii*, 1999).

I prodotti del vulcano di Roccamonfina e dei Campi Flegrei costituiscono i litotipi vulcanici attualmente affioranti nelle zone in esame; pertanto nei paragrafi successivi (cfr. § 3.2 e 3.3) verranno brevemente riportate alcune informazioni utili ad una loro conoscenza essenziale.

Nella Fig. 3.1 viene riportata una Carta Geologica semplificata della Campania in cui si osserva l'assetto geologico-strutturale attuale (Orsi *et alii*, 1996).



La zona di basso strutturale costiero, quale è la Piana Campana (Fig. 3.2), la cui parte settentrionale è oggetto del nostro interesse, risulta interrotta e delimitata da alti strutturali carbonatici come la dorsale dei M. Lepini-Aurunci a nord-ovest, la dorsale del M. Maggiore e del M. Avella ad est e M. Lattari e a sud e M. Massico; questi sono caratterizzati da un attivo sollevamento che sembra più o meno coevo con le fasi di ribassamento della suddetta area costiera (Ortolani & Pagliuca, 1988).

Da indagini profonde eseguite per diversi scopi è emerso che lo sprofondamento del substrato carbonatico sotto la Piana, risulta essere anche di alcuni chilometri (Ortolani & Pagliuca, 1988 e Incoronato *et alii*, 1985). Gli allineamenti tettonici che hanno portato a tali dislocazioni hanno direzione NW-SE e circa N-S che, assieme alla direzione

“antiappenninica” NE-SW comunque presente, sono i principali trend regionali che caratterizzano l'intera penisola.



Fig. 3.2: Schema strutturale della Campania. (Ortolani e Pagliuca, 1988).
 Legenda: a: unità sedimentarie della catena appenninica; b: terreni vulcanici; c: terreni alluvionali; d: principali faglie superficiali quaternarie; e: principali faglie profonde quaternarie; f: margine esterno della catena; g: principali centri vulcanici quaternari. Con il numero 3 è indicato il vulcano di Roccamonfina. In rosso è evidenziata la linea Ortona-Roccamonfina. I cerchi indicano i centri eruttivi allineati lungo l'allineamento suddetto.

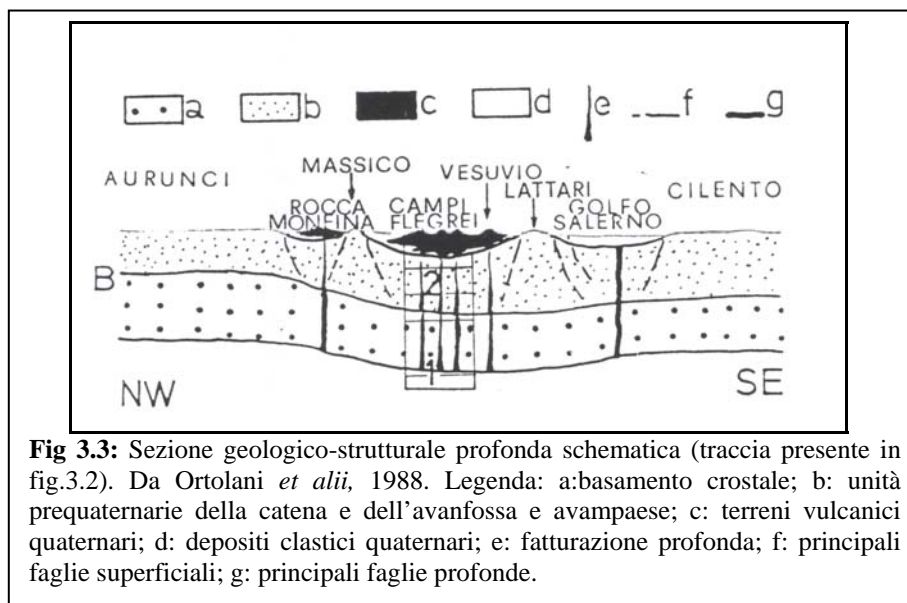
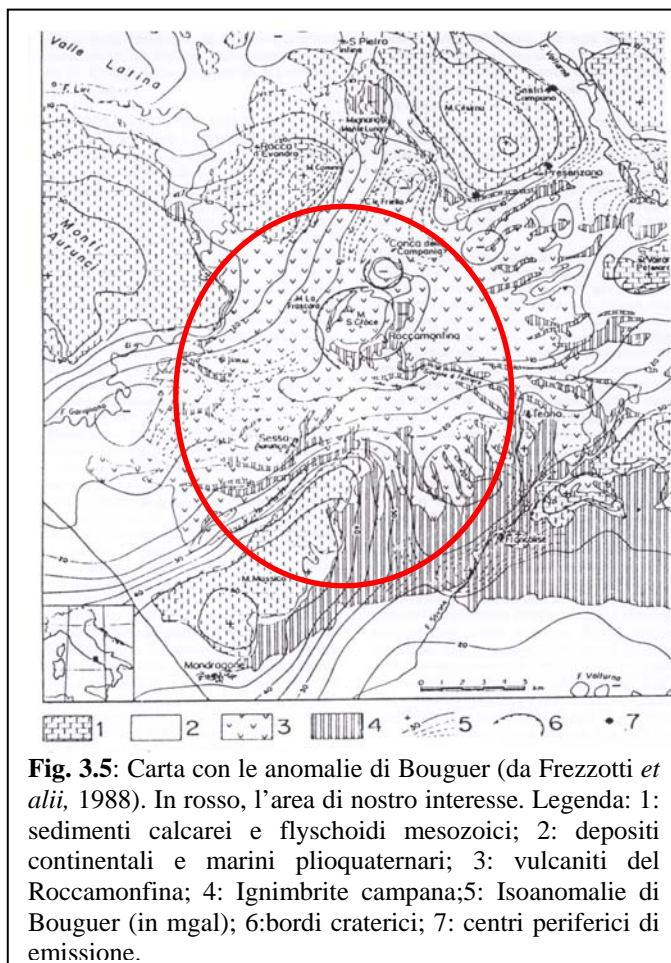


Fig 3.3: Sezione geologico-strutturale profonda schematica (traccia presente in fig.3.2). Da Ortolani *et alii*, 1988. Legenda: a: basamento crostale; b: unità prequaternarie della catena e dell'avanfossa e avampaese; c: terreni vulcanici quaternari; d: depositi clastici quaternari; e: fatturazione profonda; f: principali faglie superficiali; g: principali faglie profonde.

Lungo queste direzioni principali si imposta anche il vulcanismo campano quaternario e pertanto si ipotizza che esse siano connesse a deformazioni profonde che hanno controllato, nello spazio e nel tempo, sia l'evoluzione del settore tirrenico della catena sudappenninica sia l'attività vulcanica.

Il tetto del basamento crostale nella Piana Campana sembra sia stato individuato a circa 14-15Km dall'Agip (Cassano *et alii*, 1986) come evidenziato in Fig. 3.3.

L'assetto del substrato nell'area di nostro interesse, proposto da Frezzotti *et alii* (1988), è il risultato dei dati emersi utilizzando le Anomalie di Bouguer (Fig. 3.5). Quello che è emerso è un substrato carbonatico piuttosto articolato, come evidenziano gli alti e i bassi gravimetrici presenti in corrispondenza i primi dei rilievi Meso-Cenozoici ed i secondi dei sedimenti Plio-Quaternari e della coltre vulcanica. I minimi gravimetrici, delimitano delle depressioni allungate i cui assi hanno un andamento antiappenninico e meridiano; entrambe passano per l'apparato di Roccamonfina (Fig. 3.5).



Il bordo NW della depressione gravimetrica antiappenninica coincide con il limite meridionale dei monti Aurunci; quello SW con M. Massico e quello NE con i rilievi carbonatici di Vairano Patenora (Frezzotti *et alii*, 1988); la depressione gravimetrica ad andamento meridiano si estende da Mignano Monte Lungo al Roccamonfina ed è bordata dai rilievi di M. Cesima e M. Camino.

I bordi di tali depressioni coincidono con elementi tettonici che hanno quindi dislocato e ribassato tali settori anche di migliaia di metri come confermerebbero alcuni dati di perforazioni profonde e di sismica a riflessione (Ippolito *et alii*, 1973).

• 3.2 - Lineamenti strutturali

Come già accennato, tutto l'Appennino è caratterizzato dalla presenza di grossi lineamenti che hanno dislocato e smembrato intere parti della nostra penisola. Nella porzione della Campania di nostro interesse è presente uno dei lineamenti più importanti per la geodinamica dell'Appennino meridionale cioè la Linea Ortona-Roccamonfina che secondo alcuni Autori (Patacca e Scandone, 1989; fig.3.6) rappresenterebbe lo svincolo tra due archi della catena appenninica.

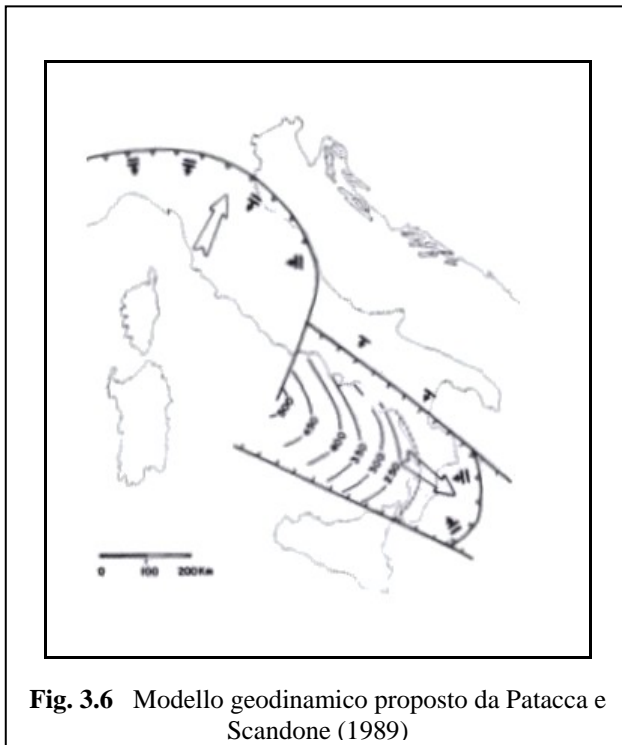


Fig. 3.6 Modello geodinamico proposto da Patacca e Scandone (1989)

Tali archi esprimono l'andamento superficiale arcuato delle strutture come risposta all'adattamento della litosfera, in tratti dove essa trova ostacoli alla libera deformazione e rifletterebero anche la geometria dello sprofondamento gravitativo della microplacca adriatica, o il residuo di una subduzione non più attiva lungo tutto l'asse della catena. Gli stili strutturali dei due archi sono diversi: quello meridionale mostra strutture a duplex, con forti raccorciamenti, in quello centro-settentrionale sono più

comuni le strutture a ventaglio (Tozzi, 1993).

La linea Ortona-Roccamonfina (indicata con il n° 7 nella fig. 3.7), secondo alcuni Autori (Locardi & Nicolich, 1988; Locardi, 1982; 1988), è una trascorrente sinistra con direzione circa N-S a forte rigetto orizzontale e verticale che coinvolge ampiamente le strutture profonde. Questa delimita la piattaforma carbonatica laziale-abruzzese rappresentata nella nostra area da tutti i rilievi posti in riva destra del Fiume Volturno, dalle formazioni dell'Appennino meridionale, in sinistra dello stesso, ed è parallela ad un altro lineamento fondamentale quale quello dell'Ancona-Anzio (n° 8 nella Fig. 3.7).

Tozzi, nella Guida Geologica del Lazio (1993), in accordo con il modello di Patacca e Scandone (1989) (Fig. 3.6), sostiene che tale linea sia una trascorrente destra di primo ordine che serve da svincolo ai due grandi archi che disegnano la catena appenninica.

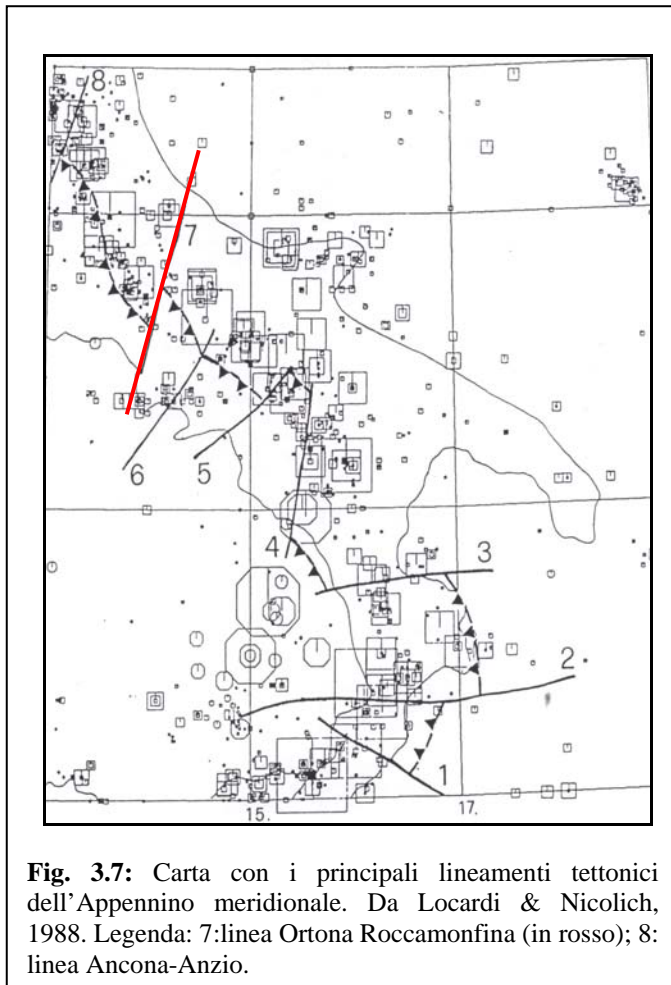


Fig. 3.7: Carta con i principali lineamenti tettonici dell'Appennino meridionale. Da Locardi & Nicolich, 1988. Legenda: 7:linea Ortona Roccamonfina (in rosso); 8: linea Ancona-Anzio.

La linea Ancona-Anzio anch'essa N-S, è una faglia trascorrente sinistra che separa le strutture litosferiche caratteristiche della regione toscolaziale da quelle dell'Appennino centro-meridionale (Castellarin *et alii*, 1978). Essa corrisponde ad una discontinuità strutturale attiva a partire dal Lias nel separare il bacino pelagico umbro-sabino dalla piattaforma carbonatica laziale-abruzzese (Castellarin *et alii*, 1978; Locardi e Nicolich, 1988).

• 3.3 - Il Vulcano di Roccamonfina

Il centro eruttivo di Roccamonfina si trova allineato ad altri centri vulcanici come Presenzano (n°2, in fig. 3.2), Sesto Campano (n°1) e le Isole Pontine (n° 9) tutti impostatisi lungo l'importante lineamento tettonico come la Linea Ortona-Roccamonfina (in rosso nelle Fig. 3.2 e 3.7. Vedi testo nel paragrafo precedente)

L'attività del vulcano di Roccamonfina inizia intorno a 0.6Ma inizia ed i suoi prodotti ricoprono in parte l'area del nostro studio.

Questo stratovulcano appartiene alla "Provincia Magmatica Romana" per l'affinità dei prodotti eruttati. La storia evolutiva del Roccamonfina viene suddivisa in tre fasi, comprese tra 630Ka e 50Ka (Giordano, 1993).

Nella prima fase (630-400Ka), si ha la costruzione dell'edificio principale con l'emissione di lave e piroclastiti prevalentemente tefritico-leucitiche appartenenti alla serie magmatica ad alto tenore in potassio (HKS) e di piroclastiti da stromboliane a subpliniane fuoriuscite da fratture orientate NE nel graben del Garigliano. E' verso la fine di questa fase, segnata dalla messa in posto di ingenti volumi di colate piroclastiche a composizione leucititica (*Brown lucitic tuff* ; Luhr & Giannetti, 1987) che inizia la formazione della caldera sommitale.

Nella seconda fase, (350 – 150Ka), l'attività diviene prevalentemente esplosiva. Si ha la messa in posto di colate piroclastiche molto estese con pomice bianche a composizione trachitica (*White trachitic tuff*) (Giannetti & Luhr 1983; Ballini *et alii*, 1989; Valentine & Giannetti, 1995; De Rita & Giordano, 1996; Giordano, 1998). Questo evidenzia un cambiamento nel chimismo dei magmi. Segue una attività di tipo idromagmatico all'interno della caldera che si chiude con la messa in posto dei domi lavici latitici di M. S. Croce e M. Lattani (Giordano, 1993)

Nella terza fase (150 – 53Ka), esauritasi l'attività centrale, si ha ancora la messa in posto di lave e piroclastiti da alcuni apparati eccentrici.

Il deposito più recente in affioramento nell'area del vulcano di Roccamonfina è l'Ignimbrite Campana (39Ka, De Vivo *et alii*, 2001) la cui origine è legata al vulcanismo dei Campi Flegrei (vedi § 3.3).

• 3.4 - Ignimbrite Campana (IC)

L'ignimbrite Campana o Tufo Grigio Campano Auct. è stata prodotta da un'eruzione datata 39000 anni (De Vivo *et alii*, 2001) che ha portato alla formazione della caldera dei Campi Flegrei (Barberi *et alii*, 1978). Questa è stata la più importante eruzione dell'Epoca Quaternaria e riveste una fondamentale importanza in quanto ha raggiunto un'areale molto vasto ed è pertanto considerata un vero e proprio marker stratigrafico (Fig. 3.8).

I depositi da flusso piroclastico (Fig. 3.9) hanno una sequenza stratigrafica tipica idealizzabile, secondo Sparks *et alii* (1973) e Sheridan (1979), in tre parti ben distinte: alla base un deposito di *groud surge* o un *ground layer* ricco in litici prodotti dalla prima sedimentazione delle parti più dense alla fronte del flusso; il corpo centrale suddiviso in due parti: quella basale (2a) che potrebbe essere notevolmente povera di clasti grossolani, meglio selezionata del resto del livello e a gradazione inversa e la seconda (2b) omogenea con una gradazione diretta di lapilli compatti (*dense lapilli*) e la gradazione inversa di pomici o (*scoria lapilli*).

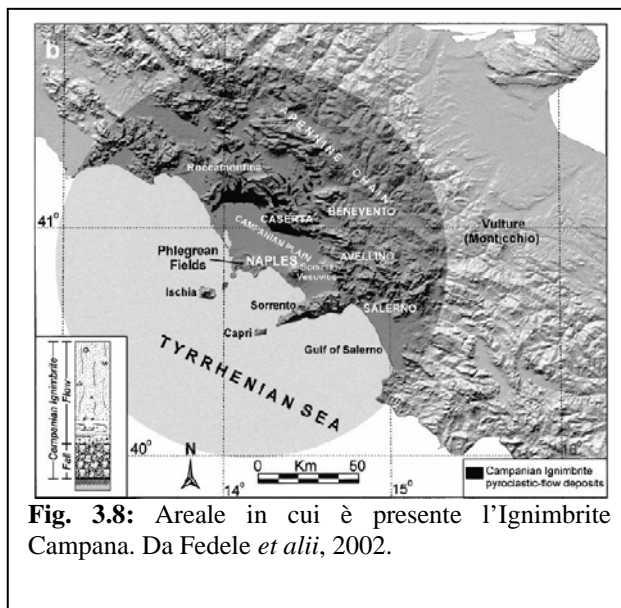


Fig. 3.8: Areale in cui è presente l'ignimbrite Campana. Da Fedele *et alii*, 2002.

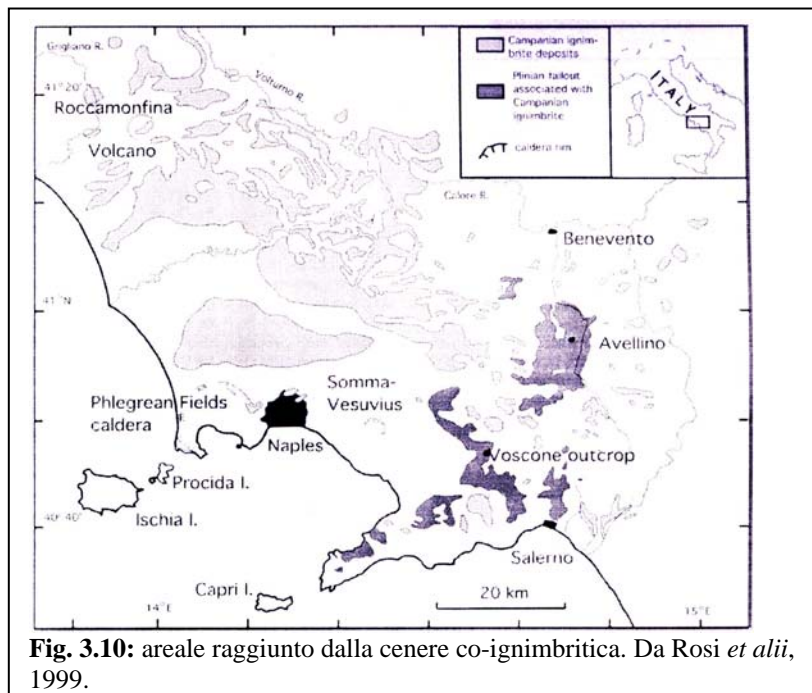
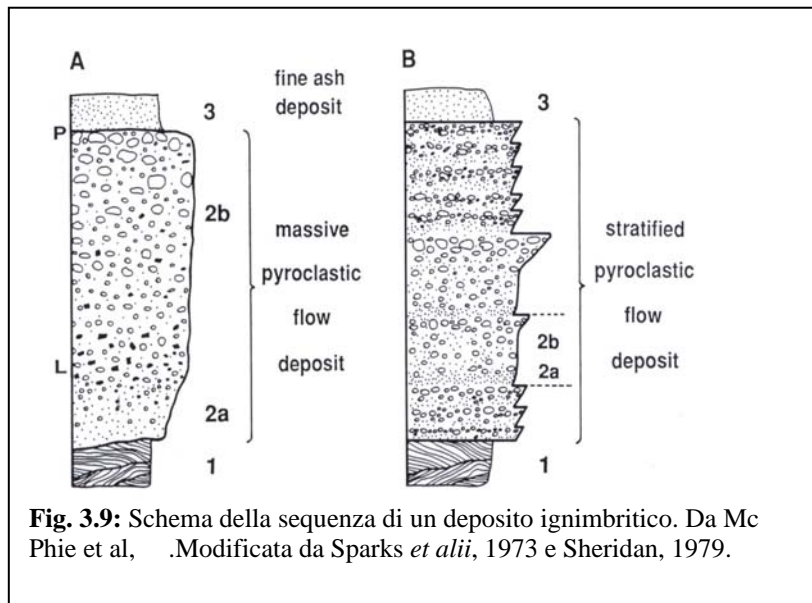
Al top (livello 3) si trova, con spessori variabili, una cenere fine che in molti casi include ricaduta da una nube di cenere diluita associata al flusso piroclastico (*cenere co-ignimbritica* – Sparks & Walker 1977; Walker, 1981) (Sparks *et alii*, 1973 e Sheridan, 1979). Nel caso specifico della IC, un deposito cineritico di colore grigio, ha ricoperto chilometri quadrati di superficie, come mostra la figura 3.10.

L'ignimbrite Campana affiora nell'area in studio sia come deposito da colata piroclastica, molto esteso e di notevole spessore, che ha ammantato completamente la topografia nella parte a sud del Roccamonfina, (fogli geologici alla scala 1:100000 n° 171 e 172), sia in lembi discontinui in parte attribuibili alla facies cineritica co-ignimbritica, come nella zona a NE del vulcano (foglio geologico n°161).

Questa cinerite si presenta tipicamente grigia, massiva con scorie nere, spesso con fatturazione colonnare.

La porzione cineritica, non differenziata nella cartografia ufficiale, grazie ai venti, ha raggiunto anche alcuni paesi europei ed oltre, fino ai ghiacciai groenlandesi (carota GISP2, Fedele *et alii*, 2003). Questo livello, di colore grigio, è presente sia al tetto delle ripide pareti del lago delle Corrèe (vedi cap. 5) sia nelle stratigrafie dei pozzi dei comuni ad esso circostanti (pozzi censiti dalla legge 464/84).

Come detto precedentemente l'IC è un marker che ci consente di stabilire una sequenza temporale negli eventi che hanno originato le fenomenologie in studio.



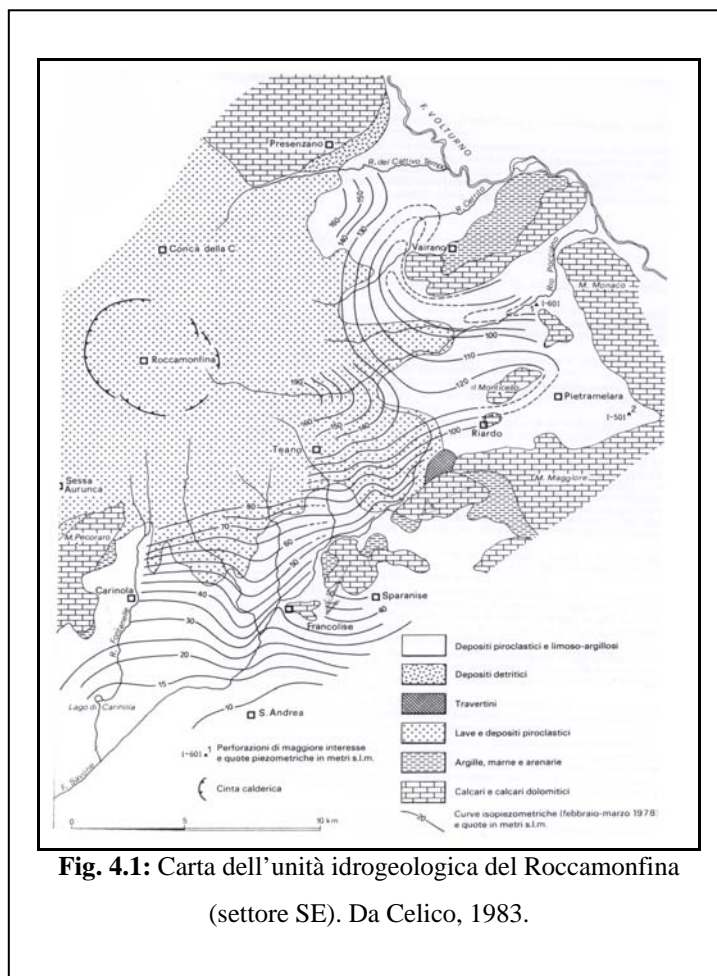
4 - Idrogeologia dell'area in esame

• 4.1- Strutture idrogeologiche

Nell'Appennino campano-lucano esistono almeno quattro fattori determinanti ai fini della ricostruzione della circolazione idrica sotterranea (De Riso, 1988), riscontrabili anche attraverso una semplice analisi di superficie:

- a) grande diffusione di rocce serbatoio fortemente ricettive corrispondenti ai massicci montuosi della piattaforma carbonatica campano-lucana e abruzzese-campana;
- b) apporti meteorici annui $>$ di 1000mm, dovuti alla elevata quota media dei rilievi;
- c) concomitanza di motivi tettonici e stratigrafici locali e regionali che hanno favorito accumuli sotterranei che arrivano in superficie (sorgenti) talora ben concentrati e di grande portata (vedi carta con indicazione di pozzi e sorgenti Allegato 1);
- d) frequenti interconnessione tra i massicci carbonatici acquiferi e le altre strutture serbatoio periferiche quali pianure alluvionali e depositi piroclastici.

La presenza di un vulcano quale il Roccamonfina (Fig. 4.1), inoltre, influenza la circolazione delle acque e la portata delle sorgenti come descritto meglio di seguito.



• 4.2 - Permeabilità, caratteristiche e ruolo idrogeologico dei principali litotipi affioranti

I massicci carbonatici rappresentano il principale acquifero dell'area in esame. Essi sono costituiti da litotipi calcarei fratturati e carsificati il cui grado di permeabilità è evidentemente molto elevato; la porzione dolomitica del Trias costituisce spesso il serbatoio di tutta l'acqua che arriva in profondità.

Ad esso si contrappone la scarsissima permeabilità dei terreni argilloso-marnoso-arenacei appartenenti alle Unità Irpine e Sicilidi (non affioranti nella nostra area) caratterizzati dall'esiguo volume dei pori; tali unità costituiscono la soglia di permeabilità degli acquiferi carbonatici. Tali terreni fungono, inoltre, da impermeabile di fondo degli acquiferi quaternari. (Celico *et alii*, 1980).

I depositi quaternari (alluvionali e vulcanici) sono nel loro complesso dei buoni acquiferi per porosità ed il loro grado di permeabilità è valutato come intermedio rispetto a quello dei due complessi idrogeologici suddetti; questi depositi contribuiscono a tamponare la falda di rete presente nei terreni carbonatici (Celico *et alii*, 1977).

Data l'importanza dei depositi vulcanici e della struttura del Vulcano di Roccamonfina per questa porzione della Campania, viene dedicato ad essi il prossimo paragrafo.

• 4.3- Unità idrogeologica del Roccamonfina

Nella conca calderica del vulcano di Roccamonfina esiste una potente copertura di materiale piroclastico e depositi lacustri scarsamente permeabili che tamponano lateralmente due cupole laviche centrali e la cinta lavica della stessa caldera, dando origine a diverse sorgenti (Allegato 1) la cui portata complessiva è di circa 80 l/s.

La struttura acquifera extracalderica è caratterizzata da una circolazione idrica di tipo radiale (Fig. 4.1 e 4.2); le aree di captazione delle acque coincidono quindi con quelle depresse circostanti l'edificio (Celico, 1983).

La falda del vulcano-strato, ad occidente e nel settore meridionale è tributaria del fiume Garigliano (circa 20 milioni di metri cubi/annui) le acque del versante orientale (24×10^6 m³/a) alimentano la falda del monte Maggiore; quelle della zona settentrionale (10×10^6 m³/a) alimentano il fiume Peccia e la sua valle nonché la struttura carbonatica di Rocca d'Evandro, la quale è stratigraficamente sottoposta ai depositi vulcanici. Ad

occidente, i rapporti tra la falda del Roccamonfina ed il monte Pecoraro (Unità del monte Massico) sono pressoché nulli poiché affiorano a quota alta i depositi torbiditici lungo i margini della struttura carbonatica. Ciò è evidenziato anche dall'andamento delle isopiezometriche (Fig. 4.1) (Celico, 1983). In quest'area la falda tende a defluire verso la piana del Volturno ed il lago di Falciano del Massico dove il suo immissario, il Rio Fontanelle, raggiunge di magra 80l/s (Capelli *et alii*, 1999).

• 4.4 - Il chimismo delle acque sorgive

Lo studio del chimismo delle acque sorgive e di falda, nonché il relativo raffronto con i dati derivanti dalle analisi delle acque lacustri campionate in alcune delle cavità indagate (LV, LC, LF) (vedi tabella A e allegato 1), costituisce un elemento fondamentale nella individuazione dell'acquifero di provenienza delle acque stesse. Esso è pertanto uno dei fattori da considerare nell'analisi dei possibili meccanismi di formazione di cavità superficiali di origine incerta.

Inoltre, la presenza di sorgenti mineralizzate, ricche soprattutto in CO₂ ed H₂S, facilita la lenta dissoluzione di tutti i litotipi carbonatici come calcari, dolomie e travertini. Queste acque, generate in questo caso per la presenza di corpi magmatici in raffreddamento (Capelli *et alii*, 1999) che rilasciano molti elementi e sostanze solubili, riescono ad emergere grazie a faglie profonde che intercettano la circolazione idrica più profonda.

Nel nord della Campania tale tipo di sorgenti è abbastanza frequente (Tabella A) e concentrato principalmente lungo l'alveo di fiumi e torrenti. Alcune di esse emergono lungo un tratto del Torrente Savone, tra Riardo e Teano, in un'area interessata da profonde discontinuità tettoniche (D'Argenio & Pescatore, 1963); qui il corso d'acqua corre a NW dei rilievi carbonatici giurassici e cretaci del Monte Maggiore che risultano bordati da elementi tettonici ad orientazione appenninica ed antiappenninica (vedi sorgenti, allegato 1).

Queste acque vengono captate anche attraverso pozzi (appartenenti ad una nota casa di imbottigliamento) e dalla loro stratigrafia emerge che sotto ad un centinaio di metri di prodotti del Roccamonfina si rinvenivano i carbonati appartenenti all'unità del M. Maggiore, ribassata dalla tettonica (Corniello, 1988). L'acqua ha una composizione che indica sia una circolazione nei carbonati che nelle piroclastiti (Tabella A e allegato 1).

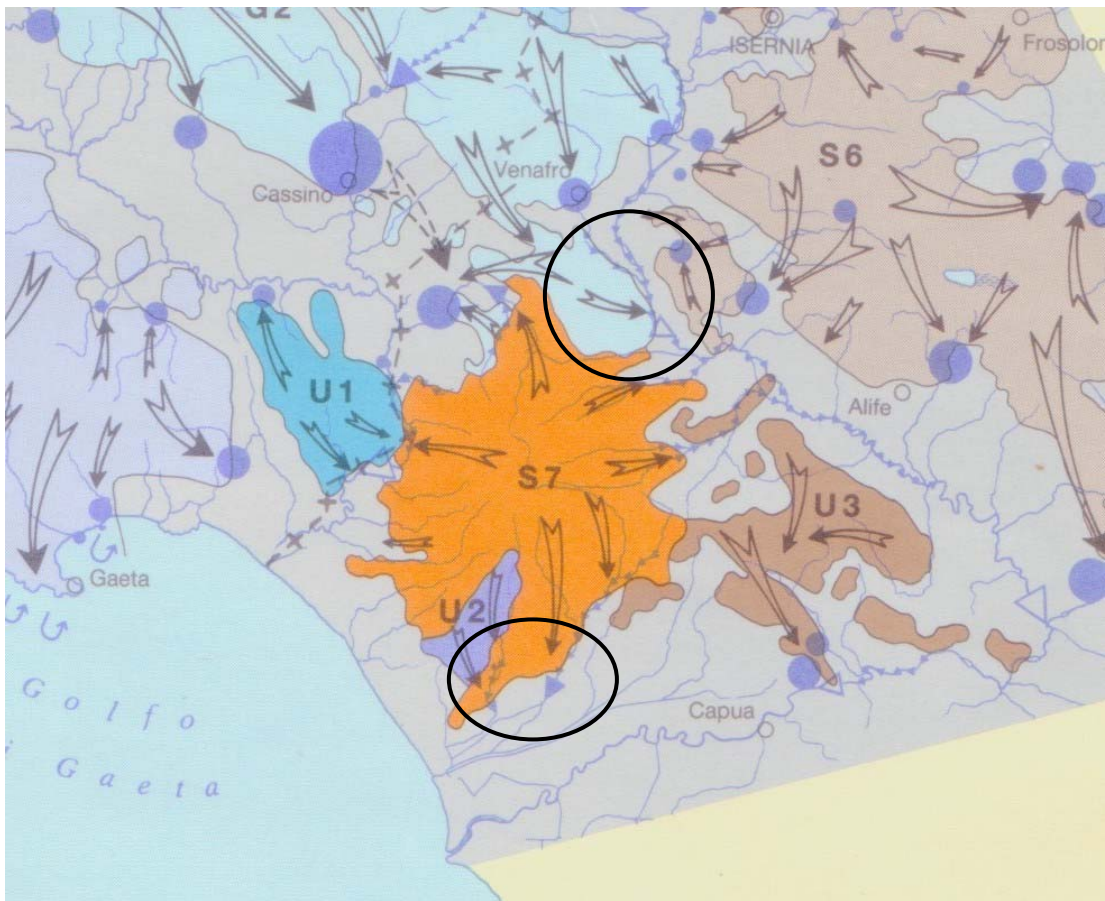
Più a sud, lungo il corso del fiume Volturno, ad ovest della dorsale del M. Maggiore, emergono le sorgenti Triflisco (T), Pila (P) e Riccia (R) anch'esse con elevato tenore in CO₂ (Tabella A).

Anche in un tratto del Fiume Garigliano, ad ovest del Roccamonfina, sul limite tra carbonati e depositi vulcanici emergono sorgenti minerali che risalgono, come evidente dalla carta riportata in allegato 1, attraverso una serie di faglie che bordano i carbonati. In questa zona, inoltre, è presente un pozzo da cui captano l'acqua S. Anna (A); la stratigrafia mostra sotto a 40m di lave ed alcuni metri di argille sabbiose, un substrato carbonatico riconducibile a quello affiorante alla destra del fiume. Tale acqua è di tipo bicarbonato calcica, ipertermale con elevati tenori in CO₂ ed H₂S (Corniello, 1988).

Le Fosse Barbata e Ballerino (vedi cap. 5) si trovano 14-20Km a sud dell'area sopra citata (vedi allegato 1), con l'edificio vulcanico che si estende ad est di esse; questo ci porta a dedurre una possibile azione di acque ricche in CO₂ ed H₂S sia sui depositi carbonatici, che in questa zona si trovano a circa 62m (pozzo irriguo n°30, Archivio Legge 464/84, allegato 2), a 74m (pozzo n° 24) e a 32m (pozzo n°21); sia su eventuali livelli carbonatici più superficiali (detrito calcareo, da 40 a 60m; pozzo n° 24; allegato 2).

Ad est delle fosse, poco a nord di Mondragone si trova una sorgente chiamata "Calda" (C , in allegato 1). Le acque sono sulfuree, ricche in CO₂ e con temperature superiori a 50°C. I terreni in affioramento sono marnosi-arenacei che poggiano in trasgressione sui depositi carbonatici (Vallario, 1966). Dalla durezza dell'acqua (Tabella A) emerge un'influenza dei carbonati mentre gli elevati tenori in alcali e cloruri indica anche l'influenza di rocce non carbonatiche (Corniello, 1988). Le temperature delle acque, il tenore in gas ed il carattere inorganico della CO₂ costituiscono credenziali di apporti endogeni risalenti da sistemi di faglia, che verso SW e NE intercettano il bedrock carbonatico (Corniello, 1988).

Nel comune di Pratella, a nord del lago di Vairano, si trova la sorgente Lete (poco a nord dell'area studiata); anche in questo caso si tratta di acque bicarbonato-calciche ricche in CO₂ interpretate come apporto endogeno lungo le linee tettoniche a SW del Matese.



NOME DELLE STRUTTURE IDROGEOLOGICHE

S1	Sistema dei M. Lepini
S2	Sistema dei M Ausoni e Aurunci
U1	Unità di M Maio
U2	Unità di M Massico
U3	Unità del M Maggiore
S6	Sistema dei M. ti del Matese e M Tolita
S7	Sistema di Roccamonfina

Fig. 4.2: Porzione nord della Carta idrogeologica della Campania. Da Celico & Nicotera, 1976. Le aree in studio sono evidenziate.

5 – Aree in esame

Le aree in esame si trovano tutte in provincia di Caserta, nelle vicinanze del vulcano di Roccamonfina come evidente nella carta geologica in scala 1:100000 riportata in fig. 5.

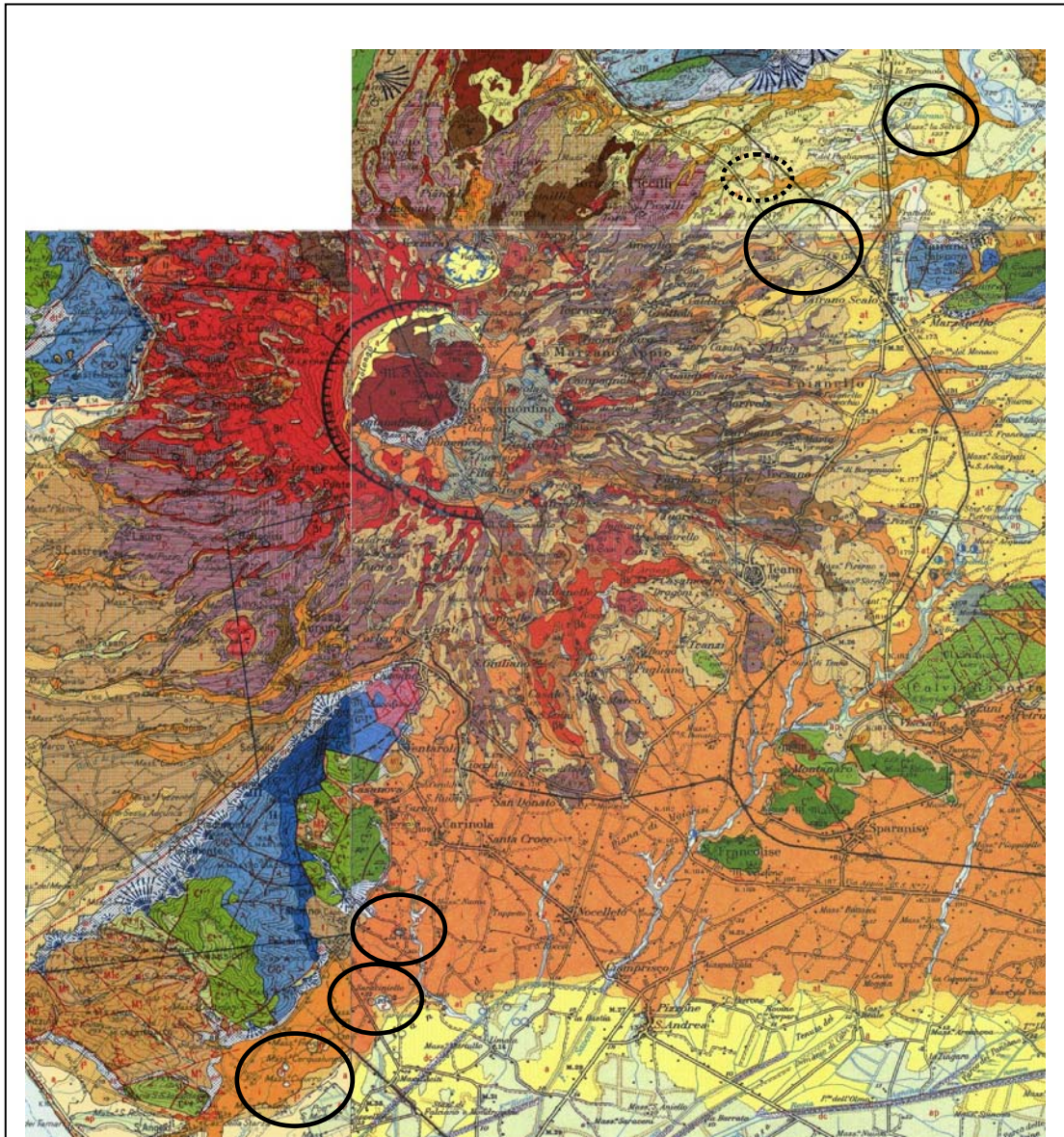


Fig. 5.: Unione dei fogli 161 (Isernia), 171 (Gaeta), 172 (Caserta) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 con l'ubicazione delle aree oggetto vedi studio..

LEGENDA: In **azzurro** e **verde** sono rappresentati i depositi carbonatici giurassici e cretaci; con tutte le tonalità del **rosso** e del **marrone**, i depositi del vulcano di Roccamonfina, in **arancio** l'Ignimbrite Campana; in **giallo** e **celestino** i depositi recenti. In nero sono evidenziate le aree in esame; con il tratteggio, la zona dell'Aia Spaccata.

• 5.1 - Il Lago delle Corrèe

UBICAZIONE

Situato ai margini nord-orientali dell'area vulcanica di Roccamanfina, tra i paesi di Marzano Appio e Vairano Patenora, il Lago delle Corrèe è un piccolo invaso subcircolare di circa 150m di diametro (Fig. 5.1) ubicato sul fondo di una cavità più ampia; pareti sub-verticali collegano la cavità al sovrastante pianoro attraverso un dislivello di circa 40m.

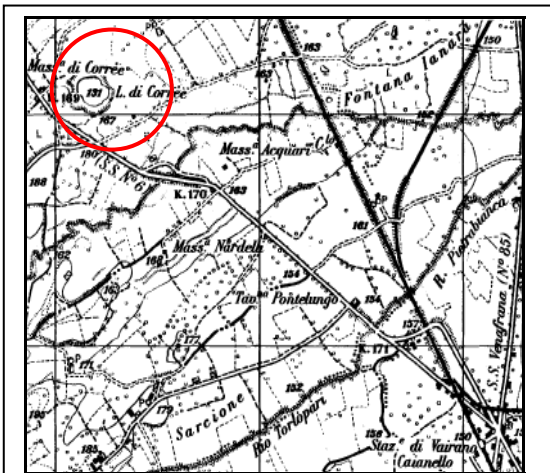


Fig. 5.1: stralcio dalla tavoletta IGM 172IVNE in scala 1:25000 con ubicazione del Lago.



Foto 1: porzione del lago.

ANALISI DELLA CARTOGRAFIA STORICA

La presenza di questo lago sulle Carte Storiche, consultabili presso la biblioteca della Società Geografica Italiana, risale al 1850, dove esso compare nella Carta della "Provincia di Terra di Lavoro" disegnata da B. Marzolla in scala 1:264.285 (scala ricostruita).

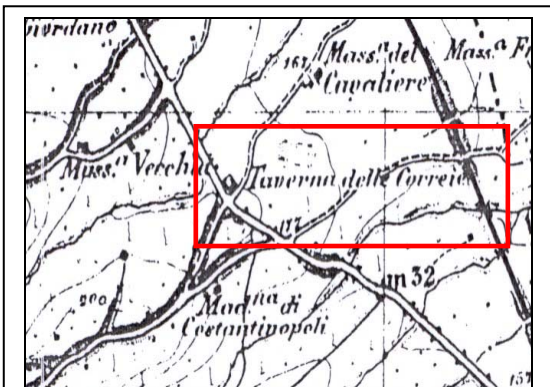


Fig. 5.1a: Dettaglio della Carta Topografica dell'Istituto Topografico Militare del 1875 in scala 1:50000.

Sono state visionate anche carte più antiche (Magini, 1631 scala 1:258.000, Marzolla 1850, scala 1:280.000) ma il Lago non compare; questo presumibilmente perché i disegni sono a piccola scala e quindi non in grado di rilevare elementi del paesaggio di dimensioni ridotte.

In una Carta Topografica dell'Istituto Topografico Militare del 1875 in scala

1:50.000 quello che si può constatare è che il lago non viene menzionato ma questa volta non possiamo attribuire tale assenza alla scala del rilevamento; l'unico toponimo riconducibile al nome Corrè è quello di una Taverna, come mostrato in Fig. 5.1a.

L'unica certezza della presenza del lago già nel 1834 proviene dalla "passeggiata" fatta da Gussone & Tenore nella "Provincia di Terra di Lavoro": dopo una sosta alla Taverna omonima, al miglio 35 della Consolare di Sangermano, si sono fermati ad osservare il lago. Essi descrivono uno specchio d'acqua di forma ellittica, come pure il bacino che lo circonda, con un diametro in estate di 400 piedi e con profondità modesta vista l'emersione di zolle di erba; la presunta mancanza di vegetazione consente loro di osservare strati orizzontali "senza tracce di sconvolgimento" (Gussone & Tenore, 1835).

Le informazioni raccolte in sito, intervistando gli abitanti, fanno risalire l'origine del lago a circa 150 anni fa mediante un episodio catastrofico di cui si narra ancora una leggenda legata a S. Anna (Santa protettrice dei trebbiatori).

FONTI BIBLIOGRAFICHE

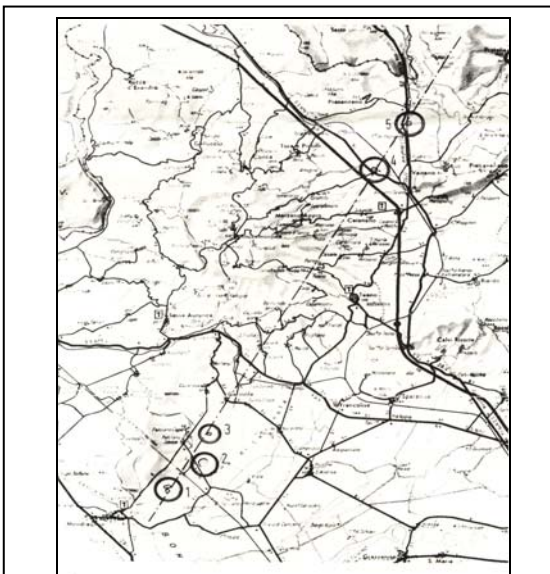


Fig. 5.2: allineamento di tutti i siti indagati lungo la direttrice del Monte Massico. Da Scherillo *et alii*, 1965. I numeri indicano in ordine: 1) la fossa Barbata e la fossa del Ballarino; 2) il lago di Carinola (ora di Falciano del Massico); 3) la fossa Annunziata; 4) il lago di Corrè e 5) quello di Vairano.

Le fonti bibliografiche parlano di questo laghetto come un "maaren" generato da eruzioni freatiche o gassose connesse all'attività esplosiva del vulcano di Roccamonfina (Scherillo, 1965; Scherillo *et alii*, 1965; 1966a e b; Gasparini, 1966), mentre studi più recenti, rifacendosi anche a lavori del XIX Secolo (Gussone & Tenore, 1834; Scacchi, 1885) ne attribuiscono la genesi a fenomeni di sprofondamento connessi a crolli nel substrato (*sinkholes*) avvenuti in epoca successiva alla cessazione dell'attività vulcanica (Del Prete *et alii*, 2004; Nisio, 2003).

Nel primo caso, considerando il semplice contesto morfologico attuale nel quale si colloca il laghetto, dovremmo ipotizzare una morfologia e prodotti compatibili con l'attività di un *maar* (vedi paragrafo 1.1) situato in posizione distale rispetto al centro vulcanico di Roccamonfina ma comunque connesso alla storia eruttiva di tale centro. Per avvalorare questa ipotesi, gli Autori (Scherillo, 1965;

Scherillo *et alii*, 1965; 1966; Gasparini, 1966) sostengono che la presenza della direttrice regionale del M. Massico, orientata NE-SW, (Fig. 5.2) sia il luogo in cui siano avvenute le esplosioni esclusivamente gassose che hanno portato alla formazione sia del lago del Corrè che di tutte le altre forme rappresentate nella figura. Nel secondo caso non dovremmo avere evidenze di campagna riconducibili a forme vulcaniche primarie né evidenza di prodotti vulcanoclastici legati ad eruzioni freatiche o “gassose” ma piuttosto elementi imputabili a fenomeni di sprofondamento come per esempio pareti fresche subverticali al bordo della cavità e/o il taglio netto di prodotti vulcanici di età più recente. Del Prete ed i suoi Colleghi (2004) propendono per questa ipotesi proprio grazie alla mancanza di depositi riconducibili ad una esplosione oltre che per il fatto che in Campania la fenomenologia da *sinkhole* è piuttosto diffusa.

GEOLOGIA DELL'AREA

Il contesto geologico è stato in via preliminare indagato acquisendo i dati della cartografia



Fig. 5.3: dettaglio del lago delle Corree dalla carta geologica di Fig. 5.0. Legenda: a²: sedimenti palustri delle fosse Annunziata e Corree; i: ignimbrite da trachitica a trachifonolitica (“tufo grigio campano” Auct.); t : banchi di tufiti ocracee e paleosuoliti con intercalazioni di alluvioni ghiaioso-sabbiose, tufiti giallognole, sabbie vulcaniche grigiastre; at : sabbie e limi grigi e giallastri, stratificati, incoerenti ; tt : tufi cineritici in “pyroclastic flow” con orizzonti da tefritico

geologica ufficiale disponibile (Fig.5.3). Da questa risulta che il Lago si trova ed è circondato da terreni di origine vulcanica appartenenti sia ai prodotti del Roccamonfina (t; tt) (vedi paragrafo 3.2) sia ad un prodotto dei Campi Flegrei come l’Ignimbrite Campana (i) (vedi paragrafo 3.3). Quest’ultimo, più recente, potrebbe rappresentare uno dei fattori discriminanti nell’individuazione dell’età di formazione del lago e quindi potrebbe porre in discussione una genesi primaria legata all’attività di Roccamonfina, certamente precedente alla messa in posto dell’Ignimbrite

stessa.

ANALISI DI CAMPAGNA

Durante un primo sopralluogo di campagna è stato possibile constatare la presenza di una sola sezione accessibile in corrispondenza del ripido sentiero che conduce al fondo della cavità a pozzo alla base della quale è situato il laghetto. Il sentiero ubicato al lato NNW della cavità.

La successione di depositi vulcanici individuati dall'alto verso il basso è sintetizzabile in una sezione non continua tracciata lungo il sentiero (Fig. 5.4):

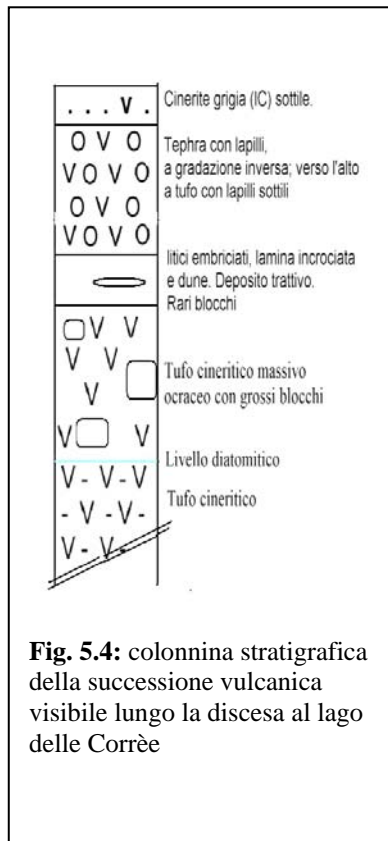


Foto 2: Particolare del terzo strato della sezione.

1 - suolo

1a - cineriti grigie sottili (*tephra*) stratoidi con vaga gradazione inversa e passaggio verso l'alto a tufo a lapilli sottili, fortemente pedogenizzato; spessore metrico. All'interno, lapilli pomicei molto vescicolati a mica scura, analcime, K-feldspato e clinopirosseno. Ipotesi genetica: cenere primaria co-ignimbritica della Ignimbrite Campana Auct. (fase di chiusura della Ignimbrite Campana). Età circa 39.000 anni (De Vivo *et alii*, 2001).

2 - tufo a lapilli con matrice arricchita in cristalli. Granulometria della cenere grossolana. Alla base livello a litici embriciati; verso l'alto accenno di laminazione incrociata e dune decimetriche. Rari blocchi lavici (lava a grossi cristalli di leucite) e pomice centimetriche. Spessore di almeno 4 m. Ipotesi genetica: deposito primario da *pyroclastic surge* (elutriato). In alternativa deposito epiclastico (evidente struttura trattiva) ma il livello biancastro di base è risultato completamente sterile.

3 - tufo cineritico massivo ocraceo con grossi blocchi ricchi in leucite.

4 - a circa 30-35 m di profondità rispetto al bordo della cavità è presente un sottile livello (circa 10-15 cm) di colore chiaro costituito da limi biancastri attribuibili a livelli diatomitici lacustri o a una cinerite fine (verificare attraverso l'analisi del campione). Sottile livello più chiaro (pochi centimetri), discontinuo, forse concrezionare e a struttura leggermente brecciata.

5 - tufo cineritico massivo ocraceo, fortemente pedogenizzato, con pomicette centimetriche chiare molto alterate e blocchi litici angolari sia sedimentari che lavici. Ipotesi genetica: deposito primario da *pyroclastic flow*.

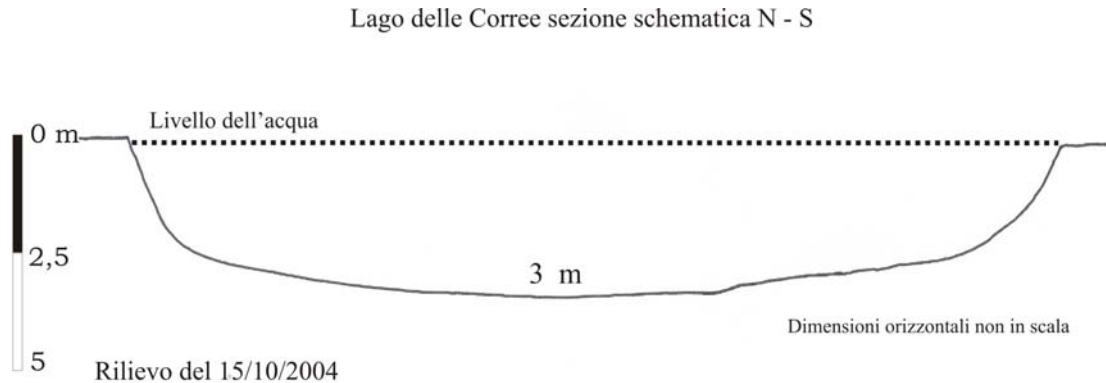


Fig. 5.4 bis: profilo batimetrico del lago delle Corrèe ricostruito mediante ecoscandaglio (dati APAT – Progetto Sinkhole).

CONSIDERAZIONI

A causa della fitta copertura vegetale e dell'acclività delle pareti (quest'ultima accentuata soprattutto nell'area del versante orientale e sud-orientale) non è stato possibile accedere ad altre sezioni esposte. Parimenti non è stato possibile individuare nella parte bassa della successione la presenza di un eventuale substrato costituito da depositi pre-esplosivi.

Non sono inoltre visibili brecce o progetti riconducibili ad eruzioni gassose.

E' stato tuttavia possibile fare alcune considerazioni morfologiche sulla struttura di collasso, evidenziando la freschezza e buona conservazione del limite interno della cavità e l'assenza al di fuori di essa di bordi rialzati che potessero in qualche modo ricordare alla morfologia di un *maar*.

Inoltre, la successione stratigrafica tagliata dal bordo della cavità è chiusa a tetto da un deposito cineritico primario attribuibile alla fase terminale della eruzione della Ignimbrite Campana, la cui età assoluta risulta più recente di quella degli ultimi depositi attribuiti all'attività di Roccamonfina.

• 5.2 Aia Spaccata

UBICAZIONE

Questo toponimo si trova sulla carta topografica al 25.000 (Tavoletta 161 III SO, Mignano Monte Lungo) a NW del lago delle Corrèe ed è posto nei pressi di un'area dalla forma circolare di diametro poco superiore al chilometro.

Tale forma è stata vista attraverso lo studio delle foto aeree come pure tutte le faglie presunte disegnate a tratteggio rosso nella figura 5.5.

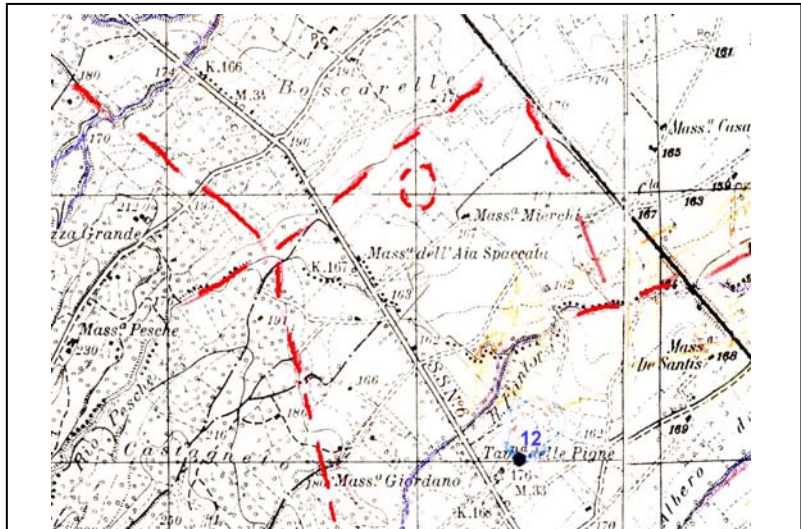


Fig. 5.5: stralcio della tavoletta topografica del foglio 161 III SO in cui è evidenziato il toponimo e la forma riferibile all'Aia Spaccata. In rosso sono riportate le faglie evidenziate dallo studio delle foto aeree.

ANALISI DELLA CARTOGRAFIA STORICA

Dall'analisi del foglio n° 43 parte orientale, "Teano" dell'Istituto Topografico Militare del

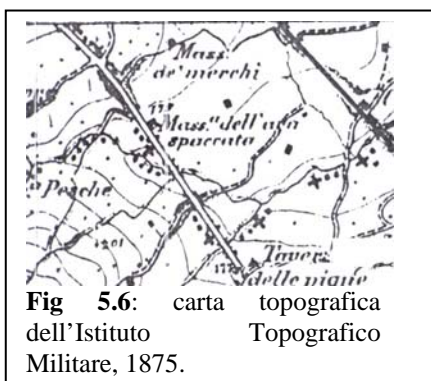


Fig 5.6: carta topografica dell'Istituto Topografico Militare, 1875.

1875 è visibile la Masseria dell'Aia Spaccata il cui toponimo potrebbe indicare un cortile che è stato danneggiato.

Dallo studio delle foto aeree quest'area ricade lungo un allineamento di faglie (non riportate sul 100.000) sulla cui prosecuzione verso sud sono ubicate altre forme di collasso (Fig. 5.5).

FONTI BIBLIOGRAFICHE

Questo toponimo e conseguentemente anche la forma ad esso associata non sono mai state citate da alcun autore nonostante una attenta ricerca in tal senso.

GEOLOGIA DELL'AREA



Sulla carta geologica al 100.000 questo toponimo non compare; in affioramento ci sono lembi di Ignimbrite Campana (in arancio) e depositi sabbiosi e limosi (in giallo) (Fig. 5.7). In basso a destra dell'immagine si vede il lago delle Corrèe e ad ovest si vedono le propaggini più esterne dei depositi vulcanici del Roccamonfina.

I carbonati affiorano circa 3 Km a nord-ovest ma da una stratigrafia proveniente dal pozzo n° 12 (vedi allegato 2 e Fig. 5.6) i calcari non si rinvennero

nonostante il fondoforo sia a quasi 100m dal piano campagna. Questo a conferma della estrema disarticolazione del substrato che cambia di punto in punto al di sotto delle aree di piana.

ANALISI DI CAMPAGNA

Attualmente in campagna non si osserva che un lieve rilassamento dovuto all'antropizzazione dell'area. Ricordiamo che il Volo Italia IGM cui fanno riferimento le foto aeree da noi studiate risalgono al 1955.

CONSIDERAZIONI

Vista l'ubicazione (Fig. 5) e la presenza di faglie che dislocano questo settore e che quindi potrebbe consentire la risalita dei fluidi mineralizzati si intende inserire tale forma relitta tra quelle eventualmente soggette a sprofondamento come tutte quelle presenti in questo lavoro.

• 5.3 - Lago di Vairano

UBICAZIONE

Il lago di Vairano è ubicato nella piana alluvionale del fiume Volturno, tra i paesi di Vairano Patenora e Presenzano; esso, impostatosi sui depositi alluvionali ed epiclastici, si presenta con una forma circolare con diametro di 200m e con un emissario artificiale che sfocia nel Volturno.

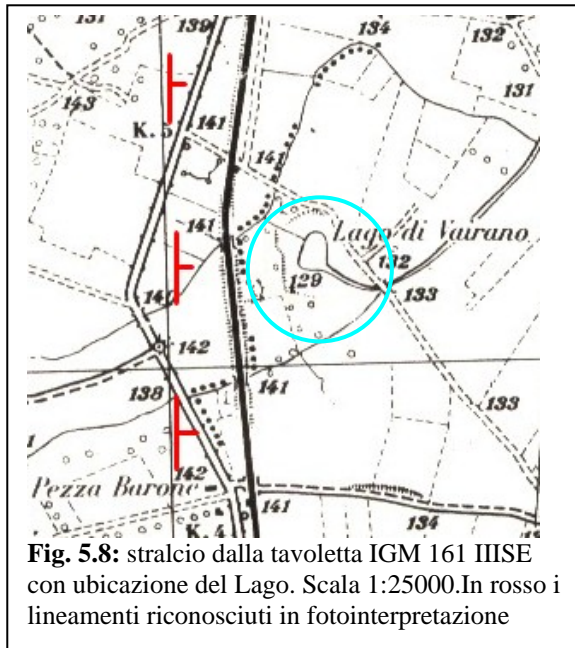


Fig. 5.8: stralcio dalla tavoletta IGM 161 IIISE con ubicazione del Lago. Scala 1:25000. In rosso i lineamenti riconosciuti in fotointerpretazione



Foto 3 : Dettaglio del lago di Vairano. Misura della batimetria del lago per il Progetto Sinkhole del dipartimento del Suolo.

ANALISI DELLA CARTOGRAFIA STORICA

Come per il lago delle Corràe, si è andati a ricercarlo nella cartografia storica della Provincia di Terra di Lavoro; tale denominazione dell'area rimarrà infatti fino alla formazione del Regno d'Italia.

La carta più antica da noi rinvenuta che riporta questo lago con la sua denominazione attuale è del 1800; la scala del disegno è 1:100.000 (Società Geografica Italiana).

Nella già citata Carta Topografica del 1875 in scala 1:50.000 (cfr. § 5.1), il lago ha una forma diversa rispetto all'attuale: è più stretto in direzione E-W e più sviluppato longitudinalmente (Fig. 5.8a.).

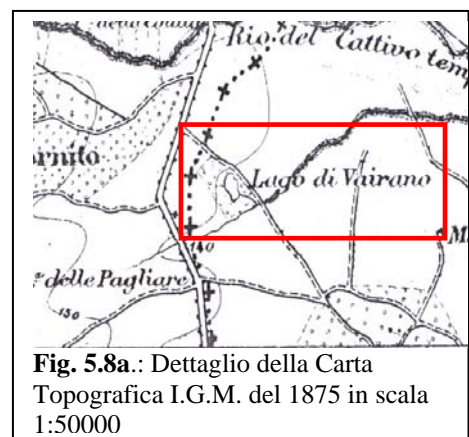


Fig. 5.8a.: Dettaglio della Carta Topografica I.G.M. del 1875 in scala 1:50000

FONTI BIBLIOGRAFICHE

Questo lago viene spesso messo in relazione a quello delle Corrèe poiché situato a pochi chilometri da esso e ubicati nella media valle del fiume Volturno. Autori come Scherillo *et alii* (1965-1966) e Gasparini (1965,1966) sulle orme di Colleghi come Gussone & Tenore (1834) e Scacchi (1885), ma anche Autori contemporanei come Del Prete *et alii* (2004) trattano questi due laghi insieme, attribuendo loro la stessa genesi. I primi due, negli anni '60 proposero per una genesi da forma primaria collegabile al Roccamonfina ed al sistema di faglie distensive presenti nel settore, attraverso le quali le masse calde sarebbero risalite riscaldando l'acqua della falda freatica e provocandone l'esplosione (Fig. 5.2); gli altri, nonostante si passino oltre un secolo, propendono invece per una genesi da sprofondamento legato alla dissoluzione di livelli carbonatici in profondità.

GEOLOGIA DELL'AREA

Dallo studio del Foglio Geologico 161 della Carta d'Italia 1: 100000 emerge che il lago si trova su detriti calcarei misti a materiale piroclastico dilavato nella zona circumvulcanica (at) e nell'intorno affiorano le alluvioni del Volturno. I rilievi che bordano questo tratto di pianura sono di tipo carbonatico e sono la dorsale di Presenzano ad ovest, i Monti di Pratella a NE e monte Nicola a SE. Alcuni contatti tra la piana ed i monti sono di tipo tettonico.

ANALISI DI CAMPAGNA

In campagna quello che si osserva è un piccolo lago ubicato in una zona piana ricca di vegetazione con bosco e sottobosco ed anche campi coltivati. Volgendo lo sguardo verso l'orizzonte a 360 gradi non si scorgono rilievi a breve distanza a conferma che la zona pianeggiante è molto vasta e che corrisponde alla piana di espansione del Volturno. In affioramento sono visibili depositi vulcanoclastici. Si riscontra inoltre la presenza di un gradino morfologico intorno all'attuale lago a conferma che rispetto al 1875 (Fig. 5.8a) la superficie dell'acqua si è ridotta.



Fig. 5.9: Dettaglio della Carta Geologica in scala 1:100.000. LEGENDA: a: alluvioni e argille; at: terreni umiferi e sabbie; q: limi e argille di colmata di depressioni bonificate; i: ignimbrite da trachitica a trachifonolitica ("tufo grigio campano" Auct.); dt²: detrito di falda sciolto o debolmente cementato; in verde, in alto a sinistra, i calcari cretatici

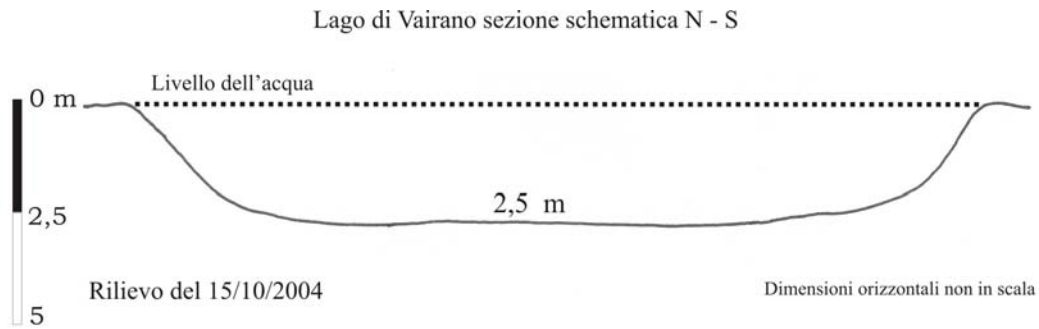


Fig. 5.9 bis: profilo batimetrico del lago di Vairano ricostruito mediante ecoscandaglio (dati APAT – Progetto Sinkhole).

CONSIDERAZIONI

Il lago si trova all'interno di una piana e dalle stratigrafie dei pozzi circostanti il lago (Legge 464/84) emerge che i calcari sono sepolti a diverse profondità andando dai rilievi verso la piana: essi passano dalla superficie, a ben 62 m di profondità nel pozzo n° 6 che dista meno di 5Km dalla dorsale di Presenzano. Nel sondaggio n° 15 (vedi allegato 2), anch'esso ubicato nella piana, dopo i primi metri di depositi vulcanici, sono stati trovati fino a fondo foro 85m di depositi fluvio-lacustri prevalentemente sabbiosi. Questo litotipo ha una granulometria ed una variabilità verticale che consente la circolazione in più falde poste a quote diverse (nel pozzo citato sono stati trovati 3 livelli di falda: una superficiale a quota inferiore a 10m, la seconda poco sotto i 40m e la terza intorno ai 70m. Vedi allegato 2). Purtroppo la mancanza di altre stratigrafie non consente una mappatura completa dei livelli di falda né la ricostruzione dell'assetto geologico profondo del substrato carsificabile. Inoltre, dall'analisi di campagna non è emersa alcuna forma associabile ad un "bordo craterico" o depositi riconducibile a fenomeni esplosivi.

- **5.4 - Agro Falerno (Foto 4 veduta d'insieme)**

L'agro Falerno è quell'area che va da Mondragone a Carinola ed in cui si trovano il lago di Falciano del Massico, le Fosse Barbata, del Ballerino e della Torre qui studiate. Questa zona pianeggiante è bordata da rilievi cartonatici e vulcanici ed è famosa fin dall'epoca dei Romani per la produzione del vino.

Le aree studiate sono evidenziate nella foto 4.

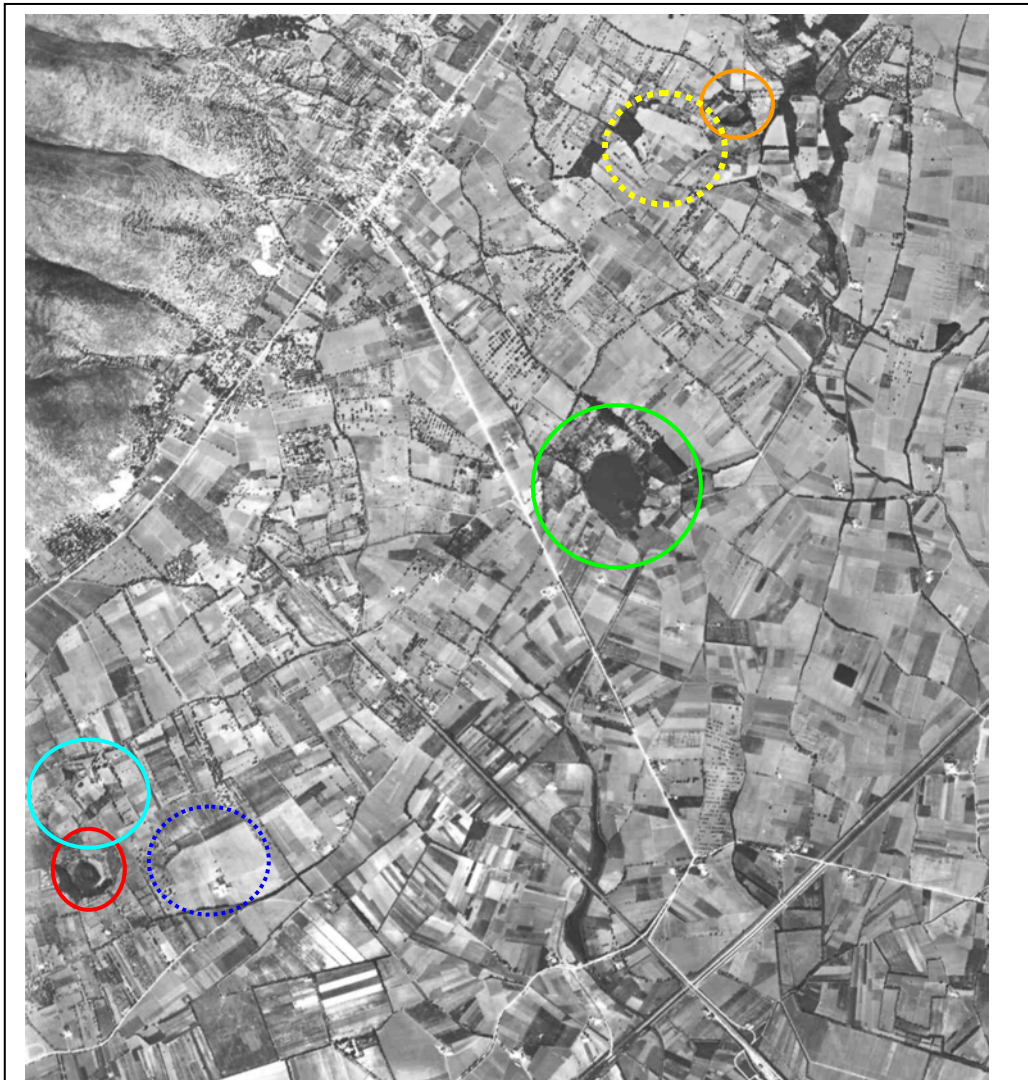


Foto 4: Parziale del fotogramma 2579 del volo Italia dell'IGM del 1954 (striscia 1 Foglio 172). Sono evidenziate il lago di Falciano (in verde), la Fossa Barbata (in rosso), la Fossa del Ballerino (in azzurro), la Fossa della Torre (tratteggio blu), la Fossa Annunziata (in arancio) e La Valla (tratteggio giallo).

• 5.4.1 - Lago di Falciano del Massico, Fossa Annunziata e La Valla

UBICAZIONE

Il Lago di Falciano del Massico, già Lago di Carinola, si trova nell'omonima pianura a sud dell'edificio vulcanico di Roccamonfina. Gli altri rilievi circostanti sono la dorsale di Monte Massico a nord-nordovest e quella di Monte Maggiore ad est (Fig. 5).

Questo lago di circa 96000m² (Foto 4, 5 e 6; Fig. 5.10) ha oggi una forma irregolare dovuta ad opere antropiche e alla creazione di un canale immissario (Rio Fontanelle) ed uno emissario (Rio Forma) già dall'epoca dei Borboni.

Attenendoci alla tavoletta IGM al 25000 chiamiamo Fossa Annunziata posta più a nord la forma circolare (in arancio nella Fig. 5.10) e La Valla quella che oggi è solo una paleoforma relitta (in giallo in Fig. 5.10) con due pareti verticali e le altre due completamente spianate dall'attività antropica come evidente dall'analisi stereoscopica. La Fossa Annunziata, sulla carta topografica al 100000 non compare mentre è presente La Valla. A tale proposito ipotizziamo che i due toponimi indichino in realtà la stessa fossa.

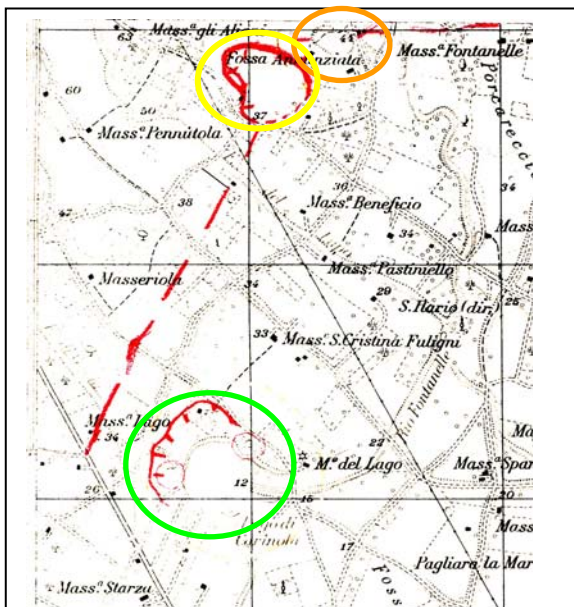


Fig. 5.10: Stralcio dalla tavoletta IGM 172 III NW con ubicazione del Lago di Falciano (in verde) della Fossa Annunziata (in arancio) e di La Valla (in giallo). In rosso si evidenzia la tettonica ricostruita dalle foto aeree del volo IGM del 1954.



Foto 5: Foto area del lago (in basso a destra) e del paese di Falciano Selice. La foto è orientata verso NW. Da Zannini, 2001.

La Annunziata sulla carta geologica al 100.000 appare come uno specchio d'acqua mentre oggi si presenta con una forma di base ancora circolare ma alcune pareti sono state

obliterate dall'azione antropica che le ha livellate portando l'ingresso della cavità a livello di una strada sterrata posta alla stessa quota del fondo della cavità.

Appare difficile ora riconoscere la forma originaria visibile su carte del passato e foto aeree in cui si constata la presenza di pareti subverticali.



Foto 6: Dettaglio del fotogramma 2579 del volo Italia dell'IGM del 1954, il lago di Falciano del Massico è al centro dell'immagine



Foto 7: Dettaglio del fotogramma 2579 del volo Italia dell'IGM del 1954. Nel cerchietto è evidenziata la fossa Annunziata come riferimento; il tratteggio indica La Valla.

ANALISI STORICA

L'analisi storica di quest'area è stata possibile grazie all'esistenza di alcuni lavori di tipo archeologico condotti su questa zona. Alcuni Autori citati in questo capitolo (Scherillo *et alii*, 1965; Zannini, 2001), fanno infatti riferimento allo scrittore latino-cristiano Paolo Orosio che nel 417d.C. scriveva che nel 276 a.C. (quindi circa 600 anni prima) nella zona di Cales (odierna Carinola) si aprì una voragine improvvisa e grandi fiamme arsero per alcuni giorni. L'autore Ugo Zannini (2001), nel suo volume sul Comune di Falciano del Massico, sostiene che la traduzione fedele dal testo originale suddetto pone dubbi sull'ubicazione esatta di questo luogo: pertanto l'evento potrebbe in realtà essere avvenuto un po' più ad ovest dell'attuale Lago, nella Fossa Barbata (o un po' più a nord nella Fossa Annunziata anche considerando le dimensioni cui il testo storico fa riferimento. L'Autore cita anche un'altra fonte per individuare la nascita del lago: nel Grande Archivio di Napoli ci sono sei volumi dal titolo "*Regii Neapolitani Archivi Monumenta*" in cui si parla di un "lago di *Sancte Christine*" nel territorio di Carinola nel 1105.

Zannini nell'analizzare due carte storiche della Provincia di Terra di Lavoro, una del 1613 di Cartaro e l'altra del 1616 eseguita dal Baratta e dal Fontana ha visto che nella prima il

lago non compare nonostante il dettaglio con cui essa è stata disegnata mentre nella seconda, tematica, il lago c'è.

L'assenza di informazioni sul lago da scritti di epoca romana fa presupporre una sua più recente formazione; infatti, questa zona già all'epoca era famosa per i vini pregiati (Zannini, 2001).

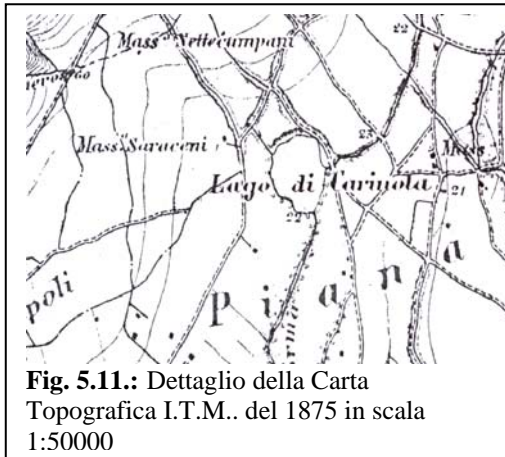


Fig. 5.11.: Dettaglio della Carta Topografica I.T.M. del 1875 in scala 1:50000

La fonte storica più recente è la Carta topografica dell'Istituto Topografico Militare del 1875 che mostra sì il lago, ma con una forma diversa e con un areale maggiore (Fig. 5.11); questo indica che l'immissario attraverso il suo carico solido lo ha parzialmente interrato. In questa carta, inoltre, il toponimo di Santa Cristina non compare. Tale toponimo è invece presente nella tavoletta topografica al 25.000 dell'IGM in cui è visibile una Masseria S. Cristina a NE dell'attuale Lago (cfr. fig. 5.10).

FONTI BIBLIOGRAFICHE

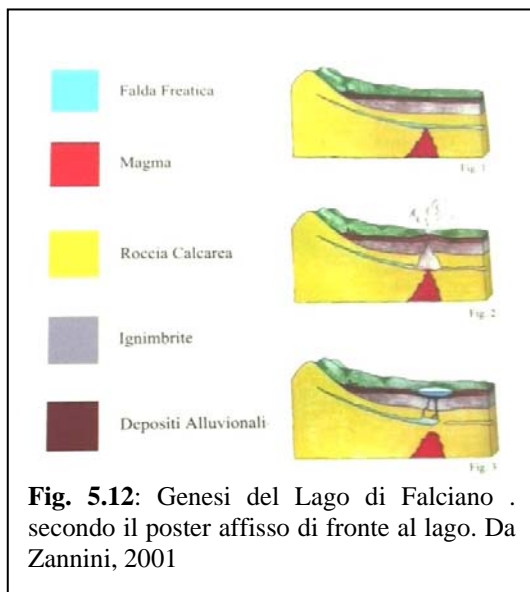


Fig. 5.12: Genesi del Lago di Falciano secondo il poster affisso di fronte al lago. Da Zannini, 2001

Il lago in esame assieme alla Fossa Annunziata segnati con i n° 2 e 3 nella Fig. 5.2, sono evidenziati anche in Fig. 5.10. Secondo Scherillo (1965), Scherillo *et alii* (1966) e Gasparini (1966) il lago in esame, così come le altre cavità illustrate in fig. 5.2, vengono definiti "maaren" ossia "crateri" di esplosione puramente gassosa in cui non si è avuta, o quasi, alcuna emissione di prodotti, e non si ha un anello sopralevato; tale assenza pone comunque il ricercatore in dubbio sulla reale origine del lago di Falciano anche in

considerazione delle sue dimensioni.

Anche Zannini (2001) (Fig. 5.12) propone per il lago di Falciano una analoga origine come visibile sul cartellone presente sul ciglio stradale di fronte al lago e come anche riportato nel volume sopra citato.

Lavori recenti (Del Prete *et alii*, 2004) li interpretano invece il lago come un *sinkhole* in analogia a tutti quelli qui in studio.

Per quanto riguarda la depressione de La Valla essa è solo nominata nel lavoro di Scherillo (1965). La forma che sul 100000 è chiamata così, corrisponde sul 25000 IGM. alla Fossa Annunziata

GEOLOGIA DELL'AREA

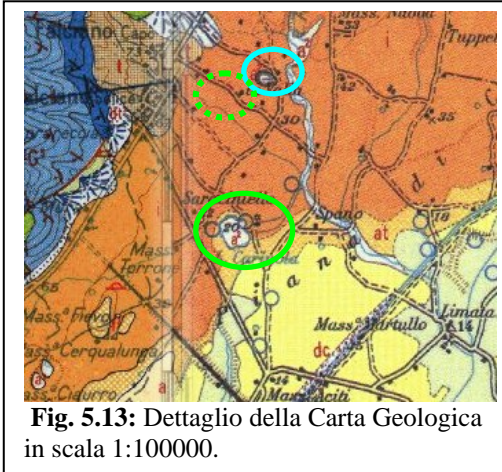


Fig. 5.13: Dettaglio della Carta Geologica in scala 1:100000.

Dallo studio della carta geologica in scala 1:100.000 (Fig. 5.13) emerge che il lago di Falciano si trova in gran parte su depositi di origine vulcanica: nella zona ad est e in quella a nord infatti affiora l'Ignimbrite Campana mentre nel settore meridionale affiorano delle sabbie e limi grigi e giallastri, stratificati, incoerenti. Sulla carta sono segnate anche due sorgenti ad est e ovest del lago di Falciano che però oggi non si

ritrovano più. Anche le depressioni di La Valla e Fossa Annunziata appaiono interamente impostate sull'Ignimbrite Campana

ANALISI DI CAMPAGNA

In situ quello che è stato osservato, relativamente al lago di Falciano, è uno specchio d'acqua abbastanza grande ricco di vegetazione, con una forma irregolare dovuta al "delta" prodotto dall'immissario e che ha rimpicciolito la superficie originaria del lago.



Foto 8: Lago di Falciano: parete subverticale di Ignimbrite Campana presente sul bordo NW lungo la stradina che costeggia il lago.



Foto 9: Lago di Falciano: dettaglio del deposito della foto 9. Il deposito appare di colore grigio, massivo, ricco in grossi cristalli di sanidino e di scorie

La profondità massima, misurata al centro, è di 6.5m, mentre lungo i bordi si hanno pareti subverticali che portano il fondo subito a 3.5m (Fonte APAT- Progetto Sinkhole); questo conferma la freschezza del taglio nonostante l'immissario con i suoi detriti abbia colmato una parte del lago che è purtroppo soggetto ad interrimento.

A poche centinaia di metri dal bordo nord-ovest del lago affiora una parete subverticale alta circa 4m di Ignimbrite Campana (Foto 8 e 9) che si presenta come un deposito massivo, di colore grigio con all'interno abbondanti fenocristalli di sanidino (dimensioni fino a 3-4 mm) e pirosseni, pomice decimetriche e grosse scorie.



Foto 10: Rilievi carbonatici di Monte Massico poco lontani dal lago. La foto è orientata verso NW come la n°7. Foto di Caramanna G, 2004.

I depositi carbonatici affiorano a pochi chilometri con la dorsale del Monte Massico (foto 10) ed infatti dai dati dei pozzi dichiarati con la Legge 464/84 emerge che questi sono presenti a 62m nel n° 30, a 74m nel n° 24 e a 32m nel n° 21 (cfr. allegato 1). La Valla e la Fossa Annunziata si trovano interamente tagliate nell'Ignimbrite Campana, ma a causa dell'azione antropica sono oggi difficilmente riconoscibili;

la prima ha due pareti completamente spianate e nel corso degli anni è divenuta una sorta di piana (Foto 7), la seconda è più piccolina e presenta una forma circolare meglio conservata.

Nei pressi della Fossa Annunziata abbiamo chiesto informazioni ad un residente e questi ci ha raccontato che molti anni fa, in seguito ad opere antropiche, emersero alcuni scheletri umani nelle vicinanze di un antico insediamento romano; questo può farci pensare che l'Annunziata, già esistente naturalmente, grazie alla sua forma perfettamente circolare possa aver avuto la funzione di un'arena o di un anfiteatro pertinente a tale insediamento.

Inoltre, ci ha raccontato che il fondo della cavità è stato via via colmato per aumentare la superficie coltivabile; attualmente i pozzi pescano acqua a circa 12m mentre più a valle la captano a 3m. Grazie agli sbancamenti subiti da quest'area possiamo constatare uno spessore di Ignimbrite Campana superiore ai 5m.

CONSIDERAZIONI

Come già visto per le altre cavità, alcuni Autori le inseriscono nello stesso sistema genetico ossia attribuibili ad attività esplosiva connessa a quella del Roccamonfina, in relazione anche al fatto che esse sarebbero allineate lungo la direttrice del M. Massico (Fig. 5.2)

Se ciò fosse vero, bisognerebbe trovare innanzitutto i prodotti di tali esplosioni o comunque del materiale frammentato disposto radialmente come detto per tutte le altre forme di dubbia genesi. Secondo poi, abbiamo appurato che il deposito piroclastico dell'IC risulta tagliato dalle cavità e questo (per il principio di intersezione) le pone più in alto nella scala temporale; ricordiamo anche che già questo deposito vulcanico (39.000 anni, De Vivo *et alii*, 2001) è più recente dell'ultimo attribuibile al Roccamonfina (53.000 anni, Capelli *et alii*, 1999).

Paolo Orosio colloca qualcosa accaduto in quest'area intorno al 276 a.C. a conferma quindi della totale estraneità dei due eventi.

Del Prete *et alii* (2004) sostengono, per le medesime cavità una possibile genesi da sprofondamento anche se nelle conclusioni le inserisce, assieme a quelle della Media valle del Volturno, in quelle in cui i meccanismi genetici sono poco chiari.

La presenza di importanti elementi tettonici ancora attivi ha favorito la risalita di fluidi ricchi in CO₂ ed H₂S, come evidente dalle molte sorgenti mineralizzate presenti nell'area; tali fluidi hanno probabilmente agito sui livelli carbonatici profondi facilitandone la dissoluzione ed il possibile crollo.

• 5.4.2 - Fossa Barbata, Fossa del Ballerino e Fossa della Torre

UBICAZIONE

La Fossa Barbata e la Fossa del Ballerino si trovano a pochi chilometri sia da Mondragone, a sud-ovest, che da Falciano Selice, a nord-est (Foto 6 e Fig. 5); a circa 2 Km a nord di esse c'è la dorsale carbonatica del Monte Massico.

La Fossa Barbata (Fig. 5.9 e Foto 11) ha una forma circolare con un diametro di circa 200m; dalle foto aeree si vede che la sponda N-NE è franata (come evidenziato nella Fig. 5.9) ed ora c'è un terrazzo.

La fossa del Ballerino (Fig. 5.9 e foto 11) ha una forma ad otto, orientata NE-SW lunga quasi 400m; questa forma è il risultato di due strutture circolari che si compenetrano parzialmente; nella zona di contatto il bordo si trova alla stessa quota del piano campagna (43m) mentre il fondo delle fosse, pianeggiante e coltivato, è più basso di 10-14m; dalle foto aeree si nota che la cavità di NE è meno profonda.

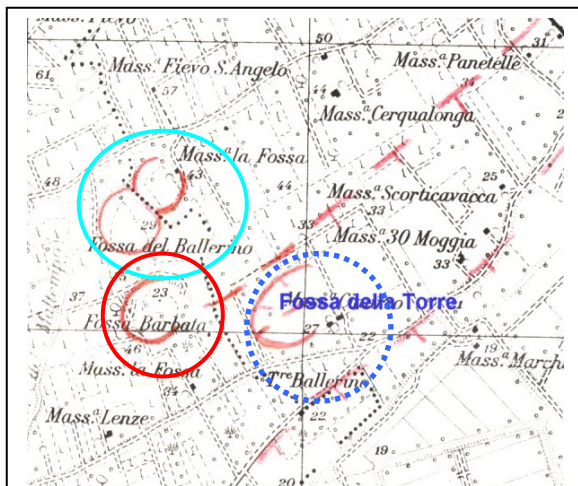


Fig. 5.14: Stralcio della tavoletta Mondragone F. 171 II NE.

Nel cerchio azzurro la Fossa del Ballerino, in quello rosso la Barbata e con il puntinato blu evidenziamo una nuova fossa che abbiamo chiamato Fossa della Torre. In rosso, i lineamenti riconosciuti con la fotointerpretazione. (Alleg. 1).

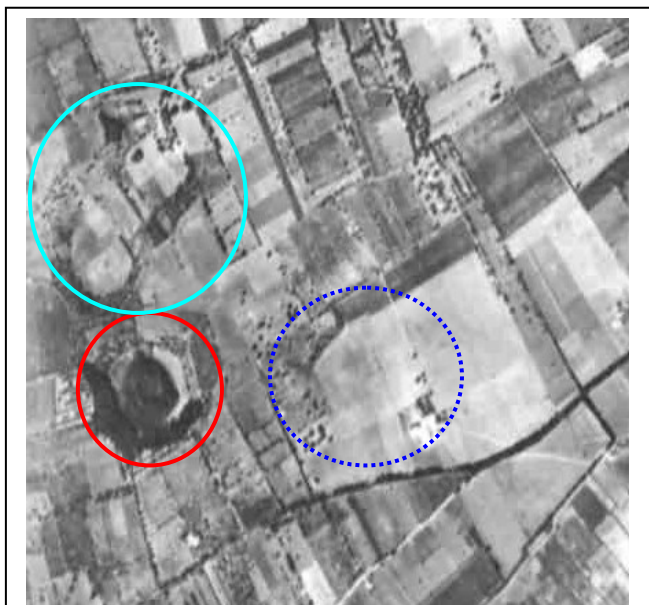


Foto 11: dettaglio del Fotogramma 2579 del volo aereo Italia dell'IGM del 1954. In evidenza le tre fosse come nella Fig. 5.9.

Ad est della Fossa Barbata, secondo i rilievi da noi effettuati, ce ne un'altra che abbiamo chiamato Fossa della Torre perché adiacente alla Torre del Ballerino (Fig. 5.9 e foto 11 e 14). La struttura è visibile anche tramite la fotointerpretazione; dallo studio delle foto aeree emerge che essa è bordata da due faglie parallele orientate NE-SW e che il lato ad est è completamente stato rimodellato dall'attività antropica.

ANALISI DELLA CARTOGRAFIA STORICA

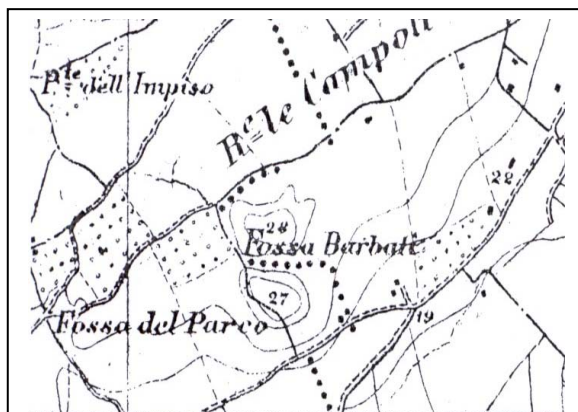


Fig. 5.14a: Dettaglio della Carta Topografica dell'Istituto Topografico-Militare Italiano del 1875 in scala 1:50000

Nella Carta dell'Istituto Topografico-Militare Italiano del 1875 con il nome di Fossa Barbata è indicata quella che oggi è invece quella del Ballerino; la forma di questa non è ancora ad "otto" sembrerebbe quindi che la parte di NE non si fosse ancora formata. Questo smonta l'ipotesi di una contemporaneità con il vulcanismo nord campano.

La Fossa Barbata, sembra che qui si chiami Fossa del Parco; la forma è più o meno come quella attuale ma il fondo della fossa è posto quattro metri più in basso rispetto a quello attuale.

FONTI BIBLIOGRAFICHE

Anche quest'area (n° 1 di Fig. 5.2), come le precedenti sono state studiate da Scherillo *et alii* (1965;1966) e da Gasparini (1965;1966) verso la fine degli anni sessanta ma si trovano per la fossa Barbata annotazioni ben più antiche.

Secondo alcuni Autori, infatti (Scherillo *et alii*, 1965; Zannini, 2002), Paolo Orosio si riferisce proprio alla Barbata quando parla dell'eruzione gassosa avvenuta nel 276 a.C.. Anche P. Moderni (1887) come Scherillo *et alii* (1965) la considerano come una bocca vulcanica nell'ambito del Roccamonfina quindi una vera e propria bocca eruttiva.

La fossa del Ballerino, come pure la Barbata, vengono infatti definite come forme risultanti dalla sola esplosione gassosa spiegandone così la mancanza di prodotti propri ed asserendo che l'unico risultato sarebbe una trapanazione ed un rimaneggiamento del "Cinerazzo" che è la fase poco coerente dell'Ignimbrite Campana (Del Prete *et alii*, 2004).

Nel lavoro di Scherillo *et alii* (1966b) si menziona la stratigrafia di un pozzo ubicato sul fianco esterno meridionale della Fossa Barbata: dopo 60m di Tufo Grigio Campano, si incontra prima una lente di 2m di calcare sabbioso e poi ghiaie e sotto sabbie.

Del Prete *et alii* (2004), pur non chiarendo i meccanismi genetici che hanno portato alle forme dell'Agro Falerno le considerano dei *sinkhole* il cui sprofondamento è avvenuto in più *step* data la presenza di più superfici terrazzate e sostiene anche, in accordo con altri Autori (Corniello & De Riso, 1986; Forti & Perna, 1986; Corniello *et alii*, 1999; Forti, 1991; 2002) che esiste una stretta correlazione tra la tettonica recente, le falde mineralizzate, fenomeni di ipercarsismo e collassi di *sinkhole*.

La presenza di una tettonica anche recente del M. Massico e tutto il sistema di faglie parallelo e ortogonale ad esso, emerso anche da indagini geofisiche (Vallario, 1966) potrebbe quindi aver avuto un ruolo nella formazione delle fosse; un lavoro di Gasparini, (1966) mostra che da analisi gravimetriche emergerebbero dei massimi collegabili a masse calde a poca profondità che avrebbero portato alla risalita di fluidi caldi mineralizzati.

GEOLOGIA DELL'AREA

Dallo studio della carta geologica ufficiale in scala 1:100.000 emerge che tutte le fosse si trovano sull'Ignimbrite Campana e quando gli Autori parlano di Cinerazzo si riferiscono ad una cinerite sanidinica incoerente che comunque rappresenta una facies associata alla I.C.

Come si vede dalla Carta, sul fondo della Fossa del Ballerino ci sono le alluvioni, indizio della presenza di acqua almeno nel passato; la fossa Barbata invece negli anni sessanta

diveniva periodicamente un laghetto. Ciò è visibile sia dalla foto aerea del volo IGM (Foto 11) del 1954 sia da una foto scattata da Scherillo nel 1965 (Foto 12).



Fig. 5.15: Dettaglio della carta di fig.5.8. La Fossa della Torre viene segnata con il cerchietto tratteggiato blu.



Foto 12: Fossa Barbata nel 1965. Da Scherillo *et al*, 1965.

ANALISI DI CAMPAGNA

La fossa Barbata si trova in un terreno privato ed è stato possibile accedervi solo grazie alla gentilezza del proprietario. Questi ha raccontato che prima i pozzi dell'area pescavano acqua ad una profondità minore mentre ora il livello di falda si è abbassato e captano a 35m di profondità; considerato che il piano campagna è a 46m, si ha una quota assoluta per il livello di falda di 11m s.l.m.. Del Prete *et alii* (2004) riferisce per questa fossa la presenza di una falda subaffiorante a circa 29m s.l.m. negli anni sessanta (Foto 12) che rendeva la fossa un laghetto. Da Budetta *et alii* (1994), emerge che la falda era a 15-20m s.l.m. a dimostrazione che il livello sta via via abbassandosi. Il proprietario del terreno, inoltre, ha confermato che le acque sono molto aggressive.



Foto 13: Fossa Barbata: in primo piano il gradino morfologico, il fondo si trova più a valle.



Foto 14: Parete che indica la nicchia di distacco della frana. Il materiale è quello tipico dell'Ignimbrite Campana. Foto Caramanna, 2004.

Il fondo attuale della fossa è posto a 23m s.l.m. ed è per questo che oggi rimane costantemente asciutto.

Scendendo all'interno della Fossa Barbata dal lato sud si osserva una superficie terrazzata costituita da più gradini morfologici riconducibili ad episodi franosi successivi alla formazione della fossa originaria (come verificato anche da Del Prete *et alii*, 2004); il diametro è quindi cresciuto successivamente (Foto 13 e 14).

La Fossa della Torre (Foto 15) si trova proprio di fronte alla Torre del Ballerino guardando verso nord. Attualmente si ha una forma quasi completamente obliterata dall'attività antropica; restano soltanto alcune pareti relitte della fossa come evidente nella fig. 5.14 e dalla fotointerpretazione (Foto 11).

CONSIDERAZIONI

Dall'analisi di tutti i dati raccolti e dalle informazioni storiche emerge che non ci sono fattori che possano ricondurre queste fosse ad attività vulcanica o accomunabile ad essa.

La presenza di acque aggressive e di livelli carbonatici a poca profondità (pozzo n°30, allegato 2) oltre che di una tettonica profonda che ha permesso la risalita di tali acque, ci porta a ritenere probabile che tali forme siano il risultato di una serie di sprofondamenti.



Foto 15: la Fossa della Torre evidenziata dal tratteggio. La forma attuale è stata quasi completamente mascherata dall'azione antropica.

6 – Conclusioni

- Dall'esame multidisciplinare dei laghetti e delle fosse prive d'acqua oggetto dello studio si evince che l'origine genetica può essere comune. Non ci sono evidenze morfologiche né prodotti vulcanici e/o balistici che possano far ricondurre la genesi delle cavità a centri esplosivi primari connessi all'attività vulcanica del Roccamonfina, le cui ultime manifestazioni risalgono a 53.000 anni fa.
- La maggior parte delle cavità tagliano i depositi dell'Ignimbrite Campana, risalente a 39.000 anni fa, o le cineriti ad essa associate e questo ha portato in passato ad una interpretazione poco realista e ancora recentemente le ha poste in casi di dubbia genesi; l'eruzione dell'Ignimbrite Campana è infatti avvenuta successivamente al ciclo finale del Roccamonfina; le cavità sono dunque successive ad essa.
- I testi e le carte storiche documentano un'origine piuttosto recente, epoca romana, medioevale o addirittura centenaria per alcuni di essi. Mostrano anche una evoluzione nel tempo delle forme che non può essere quindi associata ad un evento esplosivo vulcanico ma compatibile piuttosto ad uno sprofondamento, ad opera di un progressivo processo erosivo.
- L'esame della cartografia unita alla fotointerpretazione evidenzia altre forme da sottoporre ad ulteriori indagini (Fossa della Torre e Aia spaccata). Tuttavia, in base agli studi finora effettuati tali forme sembrano associabili a quelle qui studiate in dettaglio anche per quel che riguarda la genesi.
- Le depressioni si trovano in aree di pianura, colmate da potenti spessori di depositi vulcanici e/o fluvio-lacustri a differente granulometria e permeabilità, con reticolo fluviale ben sviluppato, circondate da rilievi carbonatici ribassati tettonicamente. L'area pertanto è sede di elevata circolazione idrica; il vulcano di Roccamonfina rappresenta un'area di ricarica e la piana del Volturno area di emergenza.
- La ricostruzione geologica del substrato carbonatico, ottenuta attraverso le stratigrafie dei pozzi, mostra che questo è molto disarticolato e raggiunge elevate profondità, come mostrato dalla maggior parte dei sondaggi.
- L'analisi dei lineamenti strutturali mostra una serie di faglie, alcune delle quali ancora attive, con direzione appenninica, antiappenninica e meridiana; alcune di queste sono profonde e favoriscono la risalita di fluidi caldi e mineralizzati, come evidente dalle numerose sorgenti termali presenti nell'area.

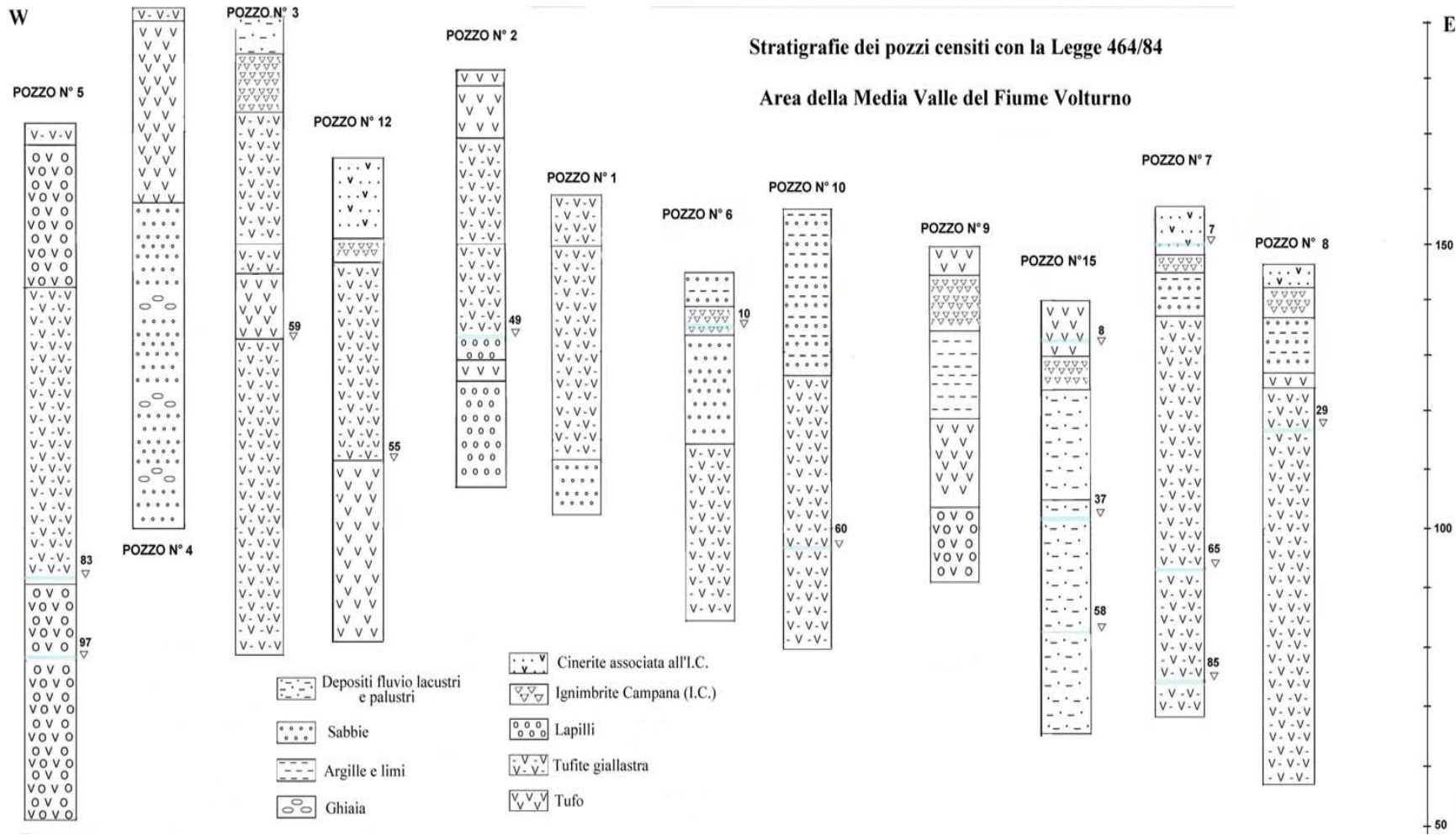
- La presenza di sorgenti minerali con elevate concentrazioni in CO₂ e con la presenza più o meno evidente di H₂S rappresentano la conferma che quest'area è attraversata da faglie profonde che veicolano fluidi mineralizzati e acque calde di origine profonda. L'acidità di tali acque favorisce la dissoluzione e la carsificazione del substrato carbonatico.
- La morfologia delle fosse e dei laghetti, indagata anche nella porzione subacquea mediante ecoscandaglio, mostra pareti verticali e forma complessivamente cilindrica. Tale morfologia risulta compatibile con fenomenologie di sprofondamento.
- Tuttavia le acque all'interno delle cavità che ospitano laghetti (Corrèe, Vairano, Falciano del Massico) mostrano analisi compatibili con acque superficiali o meteoriche. Tali risultati sono in accordo con la presenza di immissari (lago di Falciano) e/o con la presenza di sorgenti, legate a falde superficiali.

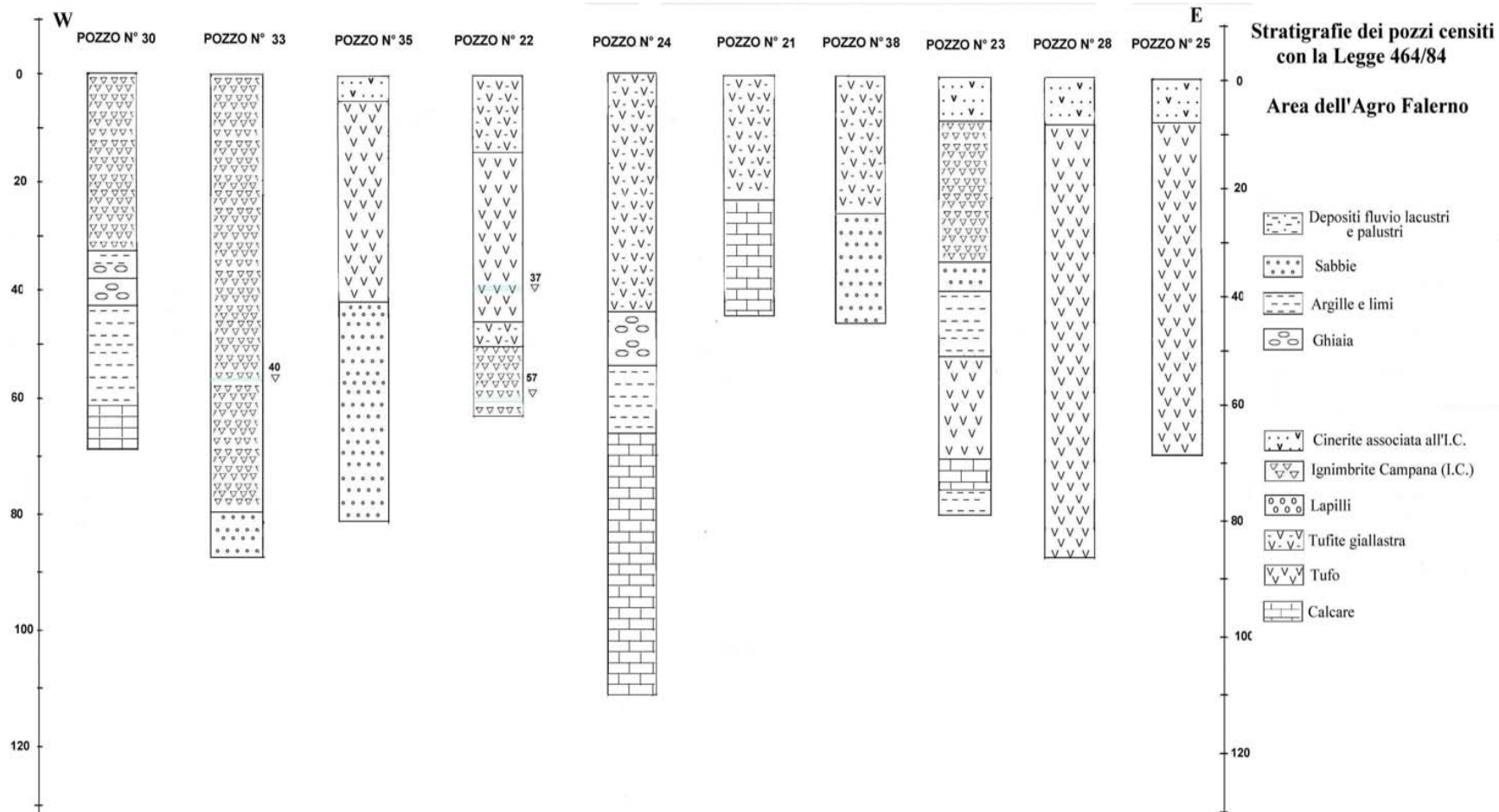
Il contesto geologico-strutturale ed idrogeologico ricostruito attraverso l'analisi in situ, l'analisi fotointerpretativa, lo studio delle stratigrafie, consente di classificare le forme studiate come *sinkholes* ed in particolare come *piping sinkholes*. Si ipotizza infatti una genesi da eventuale, dissoluzione del substrato carbonatico posto a notevole profondità per fenomeni di risalita di acque aggressive, erosione dal basso delle coperture clastiche sedimentarie e piroclastiche continentali e conseguente sprofondamento in superficie

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato nella realizzazione di questo lavoro:

la dott.ssa Stefania Nisio, il dott. Giorgio Caramanna, il dott. Giancarlo Ciotoli, il prof. Francesco Stoppa, la dott.ssa Giulia Ventura.





OME SULLA CARTA (Allegato 1)	Comune	Nome	ph	eh	Cond microS/cm	T	CO2	H2S	bicarb	O2	Li	Na	K	Mg	Ca	Sr	F	Cl	Br	SO4	NO3	NO2	
LC	vairano scalo	Lago di Corree	6,72	202	195	17				0	9,23	9,99	3,97	17,7		0	10,2		0,31	2,08	0	0.8/50	
LV	vairano scalo	lago di Vairano	6,88	218	268	18				0	15,2	4,9	9,36	35,8		0	13,3		4,81	0,5	0	1.52/50	
LF	Caserta	Lago di Falciano	7,49		270	15,3			183			16,8	10,7		5,5	28,5		0	15,2	0,05		5,83	2,9
F	Riardo	Ferrarelle	6		1780	16	1800 (bott. 2290		1433			48	48		20	377		1			4	5	
S	Rocchetta	Santagata	6,1		1450	15	1600 (bott. 1920		1140			49	35		20	280		1			5	7	
A	Sessa Aurunca	S. Anna				51	635	6,5															
Ca	Francolise	Calena				21	600																
M	Vitulazio	S. Michele				16	75																
C	Mondragone	Calda				51	320	70															
P	Pozzo Fioretti	A	6,5		850	15	360					34,5	19,8		6,25	149	0,28					9,8	
P	Pozzo Fioretti	A1	6,7		460	13	25					19,8	8,35		13,3	45,7	0,16					9	
P	Pozzo Fioretti	A2	6,2		1650	13	938					41,8	33		20	324	0,72					6,5	

Riconoscimento e classificazione di alcune depressioni di origine incerta nell'area vulcanica di Roccamonfina

P	Pozzo Di Girolamo	B	6,5	2500	15	919- 1142					62	50	31,23-27,73	5,2	1,1				7,5	
P	Pozzo Di Girolamo	Z	6,5	1500	15,5	450					38	33	20	271	0,7				4,5	

7 - Bibliografia

- A.A.V.V., 2004, *Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo dl territorio*, Atti del 1° seminario, Roma 20 –21 maggio 2004, A.P.A.T, Roma.
- A.P.A.T., *Stratigrafie dei pozzi ubicati nei comuni delle zone in esame ed in quelli attigui, depositate presso il Servizio Geologico d'Italia (ora APAT – Dipartimento Difesa delSuolo) ex Lege 464/1984.*
- Ballini A., Frullani A., Mezzetti F., 1989, *La formazione piroclastica del Tufo Trachitico Bianco del vulcano di Roccamonfina*, Boll. GNV 5, pp. 557-574.
- Barberi F., Innocenti F., Lirer L., Munno R., Pescatore T., Santacroce R., 1978, *The Campanian Ignimbrite: a major prehistoric eruption in the Neapolitan area (Italy)*,Bull. Vulcanol. 41 (1), pp. 1-22.
- Boni C, Bono P. & Capelli G., 1986, *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*, Mem Soc. Geol. It. ,n°35, pp. 991-1012, con tavole.
- Brancaccio L. & Cinque A., 1988, *L'evoluzione geomorfologia dell'Appennino campano-lucano*, Mem. Soc. Geol. It., n° 41, pp. 83-86.
- Budetta P., Celico P., Corniello A., De Riso R., Ducci D. & Nicotera P., 1988, *Carta idrogeologica della Campania 1/250000 - Memoria illustrativa*, Atti del 74° Congresso della Soc. Geol. It., Vol A, pp. 79-81.
- Capelli G., D'Agostino N., Funiciello R., Giordano G., Mazza R. & Trigari A., 1999, *Le valenze geologiche, idrogeologiche e geoambientali del Parco Regionale di Roccamonfina*, Uomo e Natura; trimestrale delle Aree Protette Mediterranee, Electra, Napoli.
- Cas R.A.F .e Wright J.V, 1987,*Volcanic Succession: modern and ancient*. Allen & Unwin Ltd.
- Cassano E., Fichera R., Arisi Rota F., 1986, *Rilievo aeromagnetico d'Italia: alcuni risultati interpretativi*, 5° Convegno CNR Grup Naz Geof. Terra Sol. Roma.
- Castellarin A., Colacicchi R.& Praturlon A., 1978, *Fasi distensive e sovrascorrimenti lungo la linea Ancona-Anzio dal Lias medio al Pliocene*, Geologica Romana, 17, pp. 161-189.

- Celico P., 1983, *Carta dell'unità idrogeologica del Roccamonfina*, Quaderni della Cassa del Mezzogiorno.
- Celico P. & Nicotera, 1974, *Carta idrogeologica della Campania*. Memorie e note dell'Ist. Geol. Appl. Università di Napoli, Vol XIII, 1974-1977.
- Celico P., Civita M. & Corniello A., 1977, *Idrologia del margine nord-orientale della conca campana (Massicci dei Tifatini e del Monte Maggiore)*, Memorie e note dell'Ist. Geol. Appl. Università di Napoli, Vol XIII, 1974-1977.
- Celico P., De Gennaro M., Ferreri M., Ghiara M.R., Russo D., Stanzione D. & Zenone F., 1980, *Il margine orientale della piana campana: indagini idrogeologiche e geochemiche*, Period. di Mineral., Anno 49, pp. 241-270.
- Cocco E. & De Pippo T., 1988, *Tendenze evolutive e dinamica delle spiagge della Campania e della Lucania*, Mem. Soc. Geol. It., n°41, pp. 195-204
- Corniello A., 1988, *Considerazioni idrogeologiche su talune acque minerali e termominerali della Campania*. Atti del 74° congresso della Soc. Geol. It., Vol A pp. 212-215.
- Corniello & De Riso, 1986, *Idrogeologia e idrochimica delle sorgenti dell'Agro Telesino*, Geol. Appl. E Idrogeol., 21, pp. 53-84.
- Corniello A., Ducci D. & Guarino M., 1999, *I rilievi carbonatici del Matese Occidentale e la Piana di Venafro: idrogeologia e idrogeochemica*, Boll. Soc. Geol. It., 118, pp. 523-535.
- D'Argenio B., Pescatore T. 1963, *La tettonica del Monte Maggiore (Caserta)*, Boll. Soc. Naturalisti di Napoli, n° 72, Napoli.
- D'Argenio B., Pescatore T. & Scandone P., 1973, *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*, Acc. Naz. dei Lincei, Atti del Convegno sul tema "Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino", quad. n° 183.
- De Rita D., Girdano G., 1996, *Volcanological and structural evolution of Roccamonfina Volcano (southern Italy) and structural origin of the summit caldera*, In McGuire WJ, Jones AP, Neuberg J (eds) *Volcano Instability on Earth and others planet*. Geol. Soc Spec. Publ. 110, pp. 209-224.
- De Riso R., 1988, *La ricerca idrogeologica nell'appennino campano: risultati e prospettive*, Mem. Soc. Geol. It., n° 41, pp. 205-211.
- De Vivo B., Rolandi G., Gans P.B., Clavert A., Bohron WA., Spera FJ. & Belkin HE., 2001, *New constraints on the pyroclastic eruptive history on the campanian volcanic Plain*, Mineral. Petrol., 73, pp. 47-65.

- Del Prete S., De Riso R. & Santo A., 2004, *Primo contributo sui sinkholes di origine naturale in Campania, Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo dl territorio*, Atti del 1° seminario, Roma 20 –21 maggio 2004, A.P.A.T, Roma.
- Di Girolamo P., 1968, *Rilevamento petrografico nel settore SW, Sessa Aurunca, del vulcano di Roccamonfina*, Rendic. Acc. Scienze Fis e Mat, serie IV vol. 35, pp. 675-722.
- Di Girolamo P., Morra V., Ortolani F. & Pagliuca S., 1988, *Osservazioni metrologiche e geodinamiche sul magmatismo <<orogenico transizionale>> della Campania nell'evoluzione della fascia tirrenica della catena appenninica*, Boll. Soc. Geol. It, 107, pp. 561-578.
- Fedele F.G., Giaccio B., Isaia R., & Orsi G., 2002, *Ecosystem impact of the C.I. eruption in Late Pleistocene Europe*. Quaternary Research, 57,pp 420-424
- Fedele F.G., Giaccio B., Isaia R., & Orsi G., 2003, *Il potenziale impatto dell' Ignimbrite Campana e l'avvicendamento bio-culturale Paleolitico medio/Paleolitico superiore in Europa*, Assemblea Generale del Gruppo Nazionale Vulcanologia, Roma, Luglio 2003.
- Forti P., 1991, *Processi ipercarsici e speleologici*, Speleologia, 24, pp. 42-46.
- Forti P., 2002, *Evoluzione ipercarsica all'interno di acquiferi termali e in rapporto a possibili problemi di soffusione*, Atti Conv. "Le voragini catastrofiche- un nuovo problema per la Toscana, Grosseto, pp. 11-26, Regione Toscana.
- Forti P & Perna G., 1986, *L'ipercarsismo con particolare riguardo all'iglesiente (Sardegna sud-occidentale)*, Atti Museo Sc. Nat. Trento, 34, pp. 85-99.
- Freundt A, Rosi M.(Eds), 2001, *From magma to tefra*, Elsevier.
- Frezzotti M., Molin D. & Narcisi B., 1988, *Correlazione tra caratteri strutturali e di sismicità nell'area di Roccamonfina*, Atti del 74° congresso della Soc. Geol. It., Vol. B, pp. 227-234.
- Gasparini P., 1965 , *Contributo allo studio di alcune forme crateriche in prossimità del M. Massico (caserta) mediante misure di gravità*, Ann. Oss. Ves. Serie 6, 7, pp. 23-43.
- Gasparini P.,1966 , *Indagini gravimetriche su alcune forme crateriche della Campania Settentrionale*, Atti Acc. Pontaniana, nuova serie, 15 pp. 53-55.
- Gasperi G., 1995, *Geologia regionale*, Pitagora edizioni.
- Giannetti B., Luhr JF., 1983, *The White Trachitic Tuff of Roccamonfina Volcano (Roman Region, Italy)*, Contr. Miner. Petrol. 84, pp. 235-252.

- Giordano G., 1993, *Il Vulcano di Roccamonfina*, Guida Geologica del Lazio, pp. 148-149.
- Giordano G., 1998, *Facies Characteristics and magma-water interaction of the White Trachitic Tuffs (Roccamonfina Volcano, southern Italy)*, Bull. Vulcan. 60, pp. 10-26.
- Gussone & Tenore, 1835, *Osservazioni fisicghe e geognostiche fatte in viaggio per diversi luoghi delle province di Terra di Lavoro e di Abruzzo nell'estate del 1834*. Annali Civili del Regno delle Due Sicilie, anno 1835, fascicolo 17, Napoli.,
- Incoronato A., Nardi G., Ortolani F., Pagliuca S., 1985, *The Plio-Quaternary Bagnoli Irpino-Calaggio torrent strikeslip fault. Campania-Lucania (Southern Appennines)*, Boll. Soc. Geol. It, 104.
- Ippolito F., Ortolani F. & Russo M., 1973, *Struttura marginale tirrenica dell'Appennino campano: reinterpretazione dei dati di antiche ricerche di idrocarburi*, Mem. Soc. Geol. It., 12, pp. 227-250.
- Istituto Topografico Militare, 1875, fogli topografici in scala 1:50000 della penisola italiana, fogli n° 35 - Venafro e n° 43 – Teano.
- Locardi E, 1982, *Individuazione di strutture sismogenetiche dall'esame dell'evoluzione vulcano-tettonica dell'Appennino e del Tirreno*, Mem. Soc. Geol. It., n°24, terza parte.
- Locardi E, 1988, *The origin of Appenninic Arcs*, Tectonophysics, 146, pp. 105-123.
- Locardi E. & Nicolich R., 1988, *Geodinamica del Tirreno e dell'Appennino centro-meridionale: la nuova carta della Moho*, Mem. Soc. Geol. It., n° 41, pp. 121-140.
- Luhr JF. & Riannetti B., 1987, *The Brown Leucitic Tuff of Roccamonfina Volcano (Roman Region Italy)*,. Contrib. Miner. Petrol, 95, pp. 420-436.
- Marzolla B., 1850, *Carta della Provincia di Terra di Lavoro*. Società Geografica Italiana, Roma.
- Moderni P., 1887, *Note geologiche sul gruppo vulcanico di Roccamonfina*, Boll. R. Comit. Geol. D'Italia, serie II, anno VII, Roma.
- Nisio S., 2003, *I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia centrale*, Il Quaternario, 16(1), pp. 121-132.
- Orosio P., 417 d.C., *Historiarum advesus paganos libri septem*, Libro IV, "Oscena ed dira prodigia" (riportata sul lavoro di Scherillo (1965) e Zannini (2001)).
- Orsi et al, 1996, *Carta geologica semplificata della Campania*, dal sito internet <http://www.ov.ingv.it/volcanology/vulcani/vulcani.htm>, gennaio 2005.
- Ortolani F., 1988, *Struttura e vulcanismo del margine tirrenico della catena sudappenninica connessi alla tettonica compressive recente*, Atti del 74° congresso della Soc. Geol. It., Vol. A, pp. 425-432.

- Ortolani F. e Pagliuca, 1988, *Struttura e vulcanismo del margine tirrenico della catena sudappenninica connessi a tettonica compressiva recente*, Atti del Congr. Soc. geol. It., A- 425432.
- Patacca e Scandone, 1989, *Post Tortonian mountain building in the Appennines, the role of the passive sinking of a relict lithospheric slab*, In *The Lithosphere in Italy- Advances in Earth Science Research*. Atti dei Convegni Lincei, 80, pp. 157-176.
- Pescatore T. & Sgrosso I., 1973, *I rapporti tra la piattaforma campano-lucana e la piattaforma laziale- abruzzese nel casertano*, Boll. Soc. Geol. It., n°92, pp. 925-938.
- Praturlon A., 1993, *Piattaforme carbonatiche e bacini pelagici*, Guida Geologica del Lazio, pp. 26-31.
- Salvati R. & Sasowsky I. D., 2002, *Development of collapse sinkholes in areas of groundwater discharge*, Journal of Hydrology, n° 264, pp. 1-11.
- Scacchi A., 1885, *La regione vulcanica fluorifera della Campania*, Atti Accademia Sc. Fis. e Mat; serie 2, n° 2, Napoli.
- Scherillo A., Franco E., Di Girolamo P., Stanzione D. & Vallante G., 1965, *Forme crateriche tra Mondragone e Vairano*, Periodico di Mineralogia, 34 (2-3), pp. 497-513.
- Scherillo A., Franco E., Di Girolamo P., Stanzione D., 1966a, *Guida alle forme crateriche della Campania settentrionale*, Atti Acc. Pontaniana, nuova serie, 15 pp.49-52.
- Scherillo A., Franco E., Di Girolamo P., Stanzione D., 1966b, *Precisazione sulle forme crateriche dell'Agro Falerno*, Atti Acc. Pontaniana, nuova serie, 17 pp. 261-278.
- Servizio Geologico d'Italia, 1971, *foglio n° 161 "Isernia", della Cartografia Geografica Italiana, scala 1:100000*, Poligrafico dello Stato, Roma.
- Servizio Geologico d'Italia, 1966, *foglio n° 171 "Caserta", della Cartografia Geografica Italiana, scala 1:100000*, Poligrafico dello Stato, Roma.
- Servizio Geologico d'Italia, 1968, *foglio n° 172 "Gaeta", della Cartografia Geografica Italiana, scala 1:100000*, Poligrafico dello Stato, Roma.
- Sheridan MF., 1979, *Emplacement of pyroclastic flows: a review*, Geol. Soc. Amer. Spec. Paper, 180, pp. 125-136.
- Sparks RSJ, Self S. & Walker GPL., 1973, *Products of ignimbrite eruptions*, Geology, 1, pp. 115-118.
- Sparks RSJ & Walker GPL., 1977, *The significance of vitric enriched air-fall ashes associated with crystal enriched ignimbrite*, Journal Volc. Geoth. Res. 2, pp. 329-341.

- Tozzi M., 1993, *La catena appenninica*, Guida Geologica del Lazio, pp. 15-17.
- Valentine GA e Giannetti B., 1995, *Single pyroclastic beds deposited in by simultaneous fallout and surge process: Roccamonfina Volcano, Italy*, J. Volcan. Geoth. Res., 64, 129-137.
- Vallario A., 1966, *Geologia del Monte Massico (Caserta)*. Boll. Soc. Natur. in Napoli, vol 75.
- Walker GPL., 1977, *Generation and dispersal of fine ash and dust by volcanic eruption*, J. Volcan. Geoth. Res., 11, pp. 81-92.
- Williams H. & McBirney A.R., 1979, *Volcanology*, Freeman, Cooper and Company, S. Francisco, USA.
- Zannini U., 2001, *Indagini storico-archeologiche in Campania settentrionale: il comune di Falciano del Massico*, Istituto Grafico Editoriale Italiano.