

**VULCANISMO CARBONATITICO MEDIO-PLEISTOCENICO IN ITALIA:
ATTIVITA' ERUTTIVA E DEPOSITI PIROCLASTICI(***)**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 439
ABSTRACT	" 439
INTRODUZIONE	" 439
LAVORI PRECEDENTI E NOMENCLATURA	" 440
EVIDENZE DI CAMPAGNA	" 441
<i>Polino</i>	" 441
<i>Cupaello</i>	" 441
<i>San Venanzo</i>	" 441
<i>Monticchio</i>	" 442
TESSITURE E STRUTTURE CARATTERIZZANTI	" 443
<i>Sferule e lapilli carbonatitici</i>	" 444
<i>Matrici micritiche con grani sospesi</i>	" 444
<i>Plaghe ameboidali di calcite</i>	" 444
<i>Lapilli concentrici</i>	" 444
ATTIVITA' ERUTTIVA E DEPOSITI PIROCLASTICI	" 445
DISCUSSIONE	" 445
<i>Modelli genetici e di risalita del magma</i>	" 445
<i>Contesto magmatologico e implicazioni geodinamiche</i>	" 446
BIBLIOGRAFIA	" 447

RIASSUNTO

A partire dal 1990 sono stati segnalati in Italia quattro affioramenti calcite-carbonatitici. Il primo, identificato nei pressi di Polino (TR), è una piccola intrusione subvulcanica mentre quelli identificati successivamente a San Venanzo (TR), Cupaello (RI) e Monticchio (PZ) sono tutti estrusivi. In genere, in questi affioramenti, tufi carbonatitici sono associati o commisti a tufi melilititici e fonolitici e nel caso di San Venanzo e Cupaello essi sono anche strettamente correlati a lave kamafugitiche.

L'interesse fondamentale di questi affioramenti risiede, oltre che nell'estrema rarità delle rocce che li costituiscono, anche nel fatto che essi rappresentano sequenze coeruttive e comagmatiche relazionabili a eventi isolati nel tempo e nello spazio. L'unica eccezione è costituita dai tufi carbonatitici di Monticchio che costituiscono l'evento conclusivo, benché preceduto da una lunga stasi, dell'attività di uno strato vulcano relativamente voluminoso, il Vulture.

La litologia, gli aspetti tessiturali delle rocce carbonatitiche italiane, brevemente descritte in questo lavoro, ed in particolare la presenza di lapilli, matrici e mesostasi di calcite ignea primaria costituiscono un elemento fondamentale per la ricostruzione dei loro peculiari meccanismi petrogenetici.

L'attività vulcanica associata alla messa in posto di questi prodotti è di tipo fortemente esplosivo e ha, tipicamente, prodotto strutture tipo maar e anelli di tufo. Tale esplosività viene considerata connata e spiegata nell'ambito di un modello di

propagazione diatremica del magma durante la quale il liquido carbonatitico si separa da quello silicatico a partire da profondità sub-croscali in condizioni di flusso laminare. A livelli croscali il flusso diviene turbolento emulsionando meccanicamente le due fasi immiscibili. L'eruzione in sequenza dei vari stadi di segregazione della porzione carbonatitica e silicatica corrisponde alle sequenze stratigrafiche composizionalmente zonate e bimodali osservate in affioramento.

Le rocce carbonatitiche italiane e i numerosi altri centri ignei regionalmente associabili, definiscono una nuova Provincia magmatica, chiamata "Intra-montane Ultra-alkaline Province" (IUP), che decorre parallelamente a est della Provincia Romano Campana (PRC). Le numerose differenze geologiche, vulcanologiche e mineralogiche tra le due Province indicano che esse non sono comagmatiche e che derivino da differenti condizioni magmatogenetiche.

ABSTRACT

Four carbonatite occurrences are now known in Italy. The Polino occurrence, discovered in 1990, is a small, high-level intrusion, but the occurrences discovered subsequently are all extrusive. At San Venanzo and Cupaello carbonatitic tuffs are intimately involved with phonolitic and melilitic tuffs and closely related to kamafugite lavas in monogenetic volcanic centres. In contrast, the Monticchio carbonatitic tuffs form the last phase of the relatively voluminous Vulture volcano, but are similar in being closely associated with melilitic tuffs. The carbonatitic rocks are briefly described and the unusual structures of certain concentric carbonatitic and melilitic lapilli are emphasised and their origin discussed. The amoeboid forms of some calcite concentrations in carbonatites and melilitites are interpreted as representing blebs of carbonatite liquid. Three of the occurrences are characterised by explosive activity and maar formation and a model is proposed in which, in a diatremic conduit carbonate- and melilitic-rich phases separated at depth under conditions of laminar flow. At higher levels the flow became turbulent and produced a two phase emulsion which was erupted. The carbonatite occurrences, and numerous associated igneous centres, define a distinct province, called the "Intra-montane Ultra-alkaline Province" (IUP), which lies to the east, and parallel with, the Roman Province. Differences between the two provinces, notably the presence of carbonatitic and melilitic rocks in the IUP, are discussed and taken to indicate that they are not co-magmatic, reflecting different conditions of magma generation.

PAROLE CHIAVE: Vulcanismo, Diatrema, Carbonatiti, Pleistocene medio, Provincia Ultra-alkalina Intramontana.

KEY WORDS: Volcanism, Diatreme, Carbonatites, Pleistocene, Intramontane Ultra-alkaline Province.

INTRODUZIONE

Nel 1990 è stata identificata, per la prima volta in Italia, una piccola intrusione carbonatitica a Polino in provincia di Terni (STOPPA & LUPINI, 1993). Da allora

(*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Perugia.

(**)Department of Mineralogy - Natural History Museum, London.

(***)Lavoro finanziato con fondi C.N.R. contr. n. 95.00419.Ct.05, progetto bilaterale Italia/Gran Bretagna, Stoppa/Woolley.

altri affioramenti, medio pleistocenici, di carbonatiti sono stati scoperti a San Venanzo, Terni, (STOPPA, 1995), Cupaello, Rieti (STOPPA & CUNDARI, 1995) e Monticchio, Potenza (PRINCIPE & STOPPA, 1994).

Questi ultimi ritrovamenti sono particolarmente importanti per tre motivi fondamentali. In primo luogo, in tutti e tre i casi si tratta di carbonatiti estrusive e quindi relativamente rare dato che delle oltre 300 carbonatiti conosciute al mondo, solo una ventina sono di questo tipo mentre tutte le altre sono intrusive. In secondo luogo, le carbonatiti di San Venanzo, Cupaello e Polino hanno una distribuzione ben distinta rispetto alla Provincia Laziale-Campana che è posta più a ovest, mentre l'affioramento di Monticchio indica un possibile prolungamento fino all'Italia meridionale di tale tipo di magmatismo (Fig. 1). In terzo luogo, tutte le carbonatiti italiane, con la sola eccezione di quella di Polino, sono strettamente associate con melilititi e in particolare, nel caso di San Venanzo e Cupaello, con le "kamafugiti", che sono rarissime melilititi a kalsilite.

L'identificazione delle carbonatiti intrusive, sebbene esse siano spesso profondamente metasomatizzate, è solitamente immediata, per esempio i contatti con le rocce incassanti e le caratteristiche aureole di contatto (feniti) forniscono un'evidenza incontrovertibile della loro origine ignea. Nel caso delle carbonatiti estrusive queste caratteristiche identificative mancano e quindi bisogna utilizzare altri criteri per accertarne l'origine ignea primaria. In questo lavoro vengono analizzate le relazioni giaciture e stratigrafiche delle rocce carbonatiche italiane oltre che alcuni dettagli tessiturali che testimoniano una loro chiara origine ignea primaria.

Lo studio petrografico e geochimico delle carbonatiti italiane esula dagli intenti di questo lavoro ed è oggetto di pubblicazioni specifiche cui si rimanda il lettore interessato a questi aspetti (STOPPA & LUPINI, 1993; STOPPA, 1995; STOPPA & CUNDARI, 1995; STOPPA & WOOLLEY, 1996).

Inoltre le condizioni genetiche necessarie alla formazione delle carbonatiti permettono alcune considerazioni generali sul contesto tettonico del vulcanismo recente italiano.

LAVORI PRECEDENTI E NOMENCLATURA

La letteratura concernente le carbonatiti estrusive, a prescindere quella riguardante le natro-carbonatiti, rocce più uniche che rare, prodotte dal vulcano Oldoinyo Lengai, in Tanzania (DAWSON, 1989), è alquanto limitata e per lo più riguarda aspetti interpretativi tessiturali. I dati mineralogici, la petrologia e in particolare gli studi vulcanologici di questi prodotti sono molto scarsi. Ciò nonostante sta diventando sempre più evidente che esistono delle differenze mineralogiche e chimiche tra carbonatiti intrusive e carbonatiti estrusive che possono in parte rispecchiare processi magmatici profondi.

A parte le natro-carbonatiti dell'Oldoinyo Lengai, tutte le altre carbonatiti effusive finora descritte sono calcite-carbonatiti con la sola eccezione di quelle dalla località di Rufunsa in Zambia, che sono dolomitiche (BAILEY, 1989). Invece le carbonatiti intrusive sono molto spesso magnesio-carbonatiti. Caratteristicamente le carbonatiti intrusive hanno tenori molto elevati degli elementi del gruppo dello stronzio, in modo particolare le terre rare leggere e il niobio, mentre i sia pur limitati dati sulle carbonatiti estrusive, indicano che queste contengono concentrazioni minori di questi elementi. Anche le carbonatiti italiane mostrano tenori relativamente poco elevati confermando che i processi petrogenetici relativi alle carbonatiti estrusive italiane sono gli stessi delle carbonatiti estrusive a scala mondiale (CHURCH & WOOLLEY, in prep.).

La nomenclatura adottata per le carbonatiti in questo lavoro è conforme a quella proposta da LE MAITRE

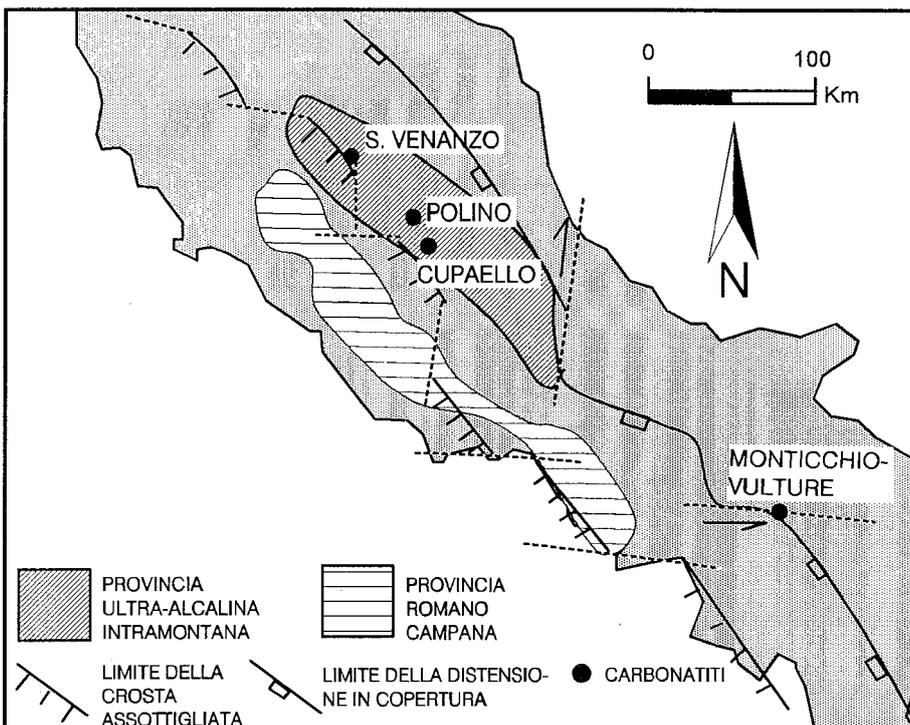


Fig. 1 - Distribuzione schematica del magmatismo e delle strutture distensive del Pleistocene medio-superiore nell'Italia centro-meridionale.

et alii, 1989. Vengono quindi chiamate calcite-carbonatiti quelle rocce che contengono più del 50% in volume di calcite ignea primaria mentre l'aggettivo calcitico viene usato per indicare una roccia che ne contenga tra il 10-50%. Il carbonato drusiforme, in cavità amigdalari è generalmente escluso ai fini della classificazione insieme ai cementi. Negli affioramenti calcite-carbonatitici italiani il carbonato primario si ritrova in brecce e tufi sotto forma di lapilli, di fenocristalli, plaghe ameboidali, massa di fondo a grana finissima e di matrice.

EVIDENZE DI CAMPAGNA

I quattro centri carbonatitici finora identificati in Italia (Polino, San Venanzo, Cupaello e Monticchio) sono dislocati lungo una fascia ad andamento NNW-SSE di circa 350 Km di lunghezza per 50 Km di larghezza (Fig. 1). Tale fascia localizzata ad est dell'area di affioramento dei prodotti della Provincia Romano Campana (PRC) decorre parallelamente e internamente alla Catena Appenninica. Essa si trova grosso modo compresa tra il limite esterno dell'area toscana a crosta assottigliata e il limite esterno raggiunto dalle strutture distensive in copertura nel Pleistocene medio-superiore (Fig. 1). Comparata con il resto della area tirrenica, l'area di affioramento delle carbonatiti italiane è caratterizzata da un più basso flusso di calore (< 40 mW/m²), da una litosfera molto più spessa (> 80Km) e da una sismicità crostale, di tipo distensivo, molto intensa (LAVECCHIA *et alii*, 1995).

Polino, Cupaello e San Venanzo sono compresi all'interno di un provincia magmatica di nuova definizione denominata P. Ultracalina Intramontana (IUP) che comprende il Distretto Ultra-alcino Umbro-laziale (ULUD: STOPPA & LAVECCHIA, 1991, 1992) e il Distretto Abruzzese (BOSI & LOCARDI, 1991) entrambi costellati da molti piccoli centri eruttivi, per lo più monogenici e caratterizzati da rocce che presentano una tipica "segnatura" geochemica di tipo carbonatitico e contengono noduli o detrito minerale mantellico. Il centro di Monticchio si trova in posizione più isolata ed è associato al complesso vulcanico del Vulture.

E' probabile che in futuro si trovino altri affioramenti carbonatitici nell'area appenninica in conformità con lo stile di sciame regionale di piccoli centri monogenici tipici di questo tipo di magmatismo. I centri finora identificati sono comunque associati a manifestazioni piuttosto evidenti mentre lembi isolati di piroclastiti carbonatitiche, strutture diatremiche, intrusioni subvulcaniche ecc. potrebbero ancora rimanere misconosciute o facilmente confuse con depositi sedimentari così come in passato è avvenuto in altre aree carbonatitiche (BARKER, 1993).

Polino

Il centro è costituito da due piccoli diatremi, riempiti da una breccia carbonatitica, il cui apparato vulcanico è stato presumibilmente eroso dato che affiorano in una incisione torrentizia (Fig. 2 A). Si tratta di condotti di poche decine di metri di diametro la cui sezione verticale è esposta per una decina di metri, incassati nel *Calcere massiccio* il quale presenta al contatto solo modestissimi cenni di alterazione. Tuttavia l'area circostante è interessata da mineralizzazioni filoniane e depositi piroclastici fonolitici che coprono

un'area di circa 1 Km². L'età di formazione dei diatremi risale a circa 250.000 anni ed è stata determinata mediante datazione ³⁹Ar/⁴⁰Ar della flogopite nella carbonatite (LAURENZI *et alii*, 1994).

La breccia carbonatitica di Polino consiste di blocchi di calcite-carbonatite ipoabissale, massiva e a tessitura inequigranulare, inglobati in un "tufo intrusivo" (i.e. tuffisite) costituito da lapilli carbonatitici, xenoliti sedimentari e cristallini in una matrice di calcite microcristallina torbida (Tav. IA). La carbonatite massiva contiene xenocristalli fino a 0.5 cm di lunghezza di forsterite spesso con bordi di reazione monticellitici, sono inoltre presenti flogopite e microfenocristalli di Th-perovskite, Zr-schorlomite e apatite immersi in una matrice di calcite a grana finissima (STOPPA & LUPINI, 1993). Quest'ultima forma più della metà della roccia e contiene anche monticellite e Ti-magnetite. I lapilli hanno una struttura concentrica e essenzialmente la stessa composizione della carbonatite massiva. La matrice della facies massiva è costellata da vescicole di forma plastica, ameboidale riempite da calcite. Nella braccia tuffisitica è da notare la presenza di noduli dunitici e glimmeritici fino a 2-3 cm di diametro.

Cupaello

Si tratta di una piccola bocca eruttiva posta su un sistema di faglie dirette che borda la conca di Rieti a est (Fig. 2 B). Intorno alla bocca si ritrovano i residui di un piccolo anello di tufi fonolitici che domina una conoide piroclastica costituita da tufi carbonatitici, agglomerati carbonatitico-melilititici sormontati da una sottile colata lavica kamafugitica (kalsilite melilitite o kalsilitite). I depositi coprono un area di circa 0.1 Km² mentre lembi di piroclastiti fonolitiche si trovano qua e là dispersi nell'area circostante. L'età di queste rocce non è determinata con sicurezza ma non dovrebbe essere più vecchia di 500.000 - 600.000 anni (LAURENZI *et alii*, 1994).

Una descrizione completa delle carbonatiti di questa località è riportata da STOPPA & CUNDARI (1995). Si tratta di rocce piroclastiche che comprendono brecce carbonatitiche e tufi cineritici a lapilli. Le brecce contengono blocchi e lapilli melilititici, di natura kamafugitica (coppaellite) che contengono abbondanti vescicole ameboidali riempite di carbonato. I tufi contengono sferule o piccoli lapilli carbonatitici immersi in una massa di fondo di calcite a grana finissima e frammenti di cenere silicatica. Sono anche presenti megacristalli arrotondati di calcite, xenocristalli di flogopite e clinopirosseno, microcristalli di apatite, schorlomite, Ti-magnetite e perovskite. I lapilli hanno spesso un nucleo xenocristallino e mostrano una tessitura microporfirica con fenocristalli euedrali o subedrali di calcite in una massa di fondo carbonatitica finissima con microliti di apatite, Ti-magnetite, perovskite e schorlomite. Più raramente i lapilli sono di composizione kamafugitica.

San Venanzo

Si tratta di un piccolo vulcano che comprende tre anelli di tufo asimmetrici disposti intorno a crateri più o meno incassati nel substrato sedimentario (maar) e distribuiti su un'area di meno di 0.2 Km² (Fig. 3A e B). Da uno di essi (Pian di Celle) sono scaturite due colate di lava. Dove l'erosione ha esposto i condotti eruttivi si è constatato che essi sono riempiti da una breccia strutturalmente identica a quella di Polino

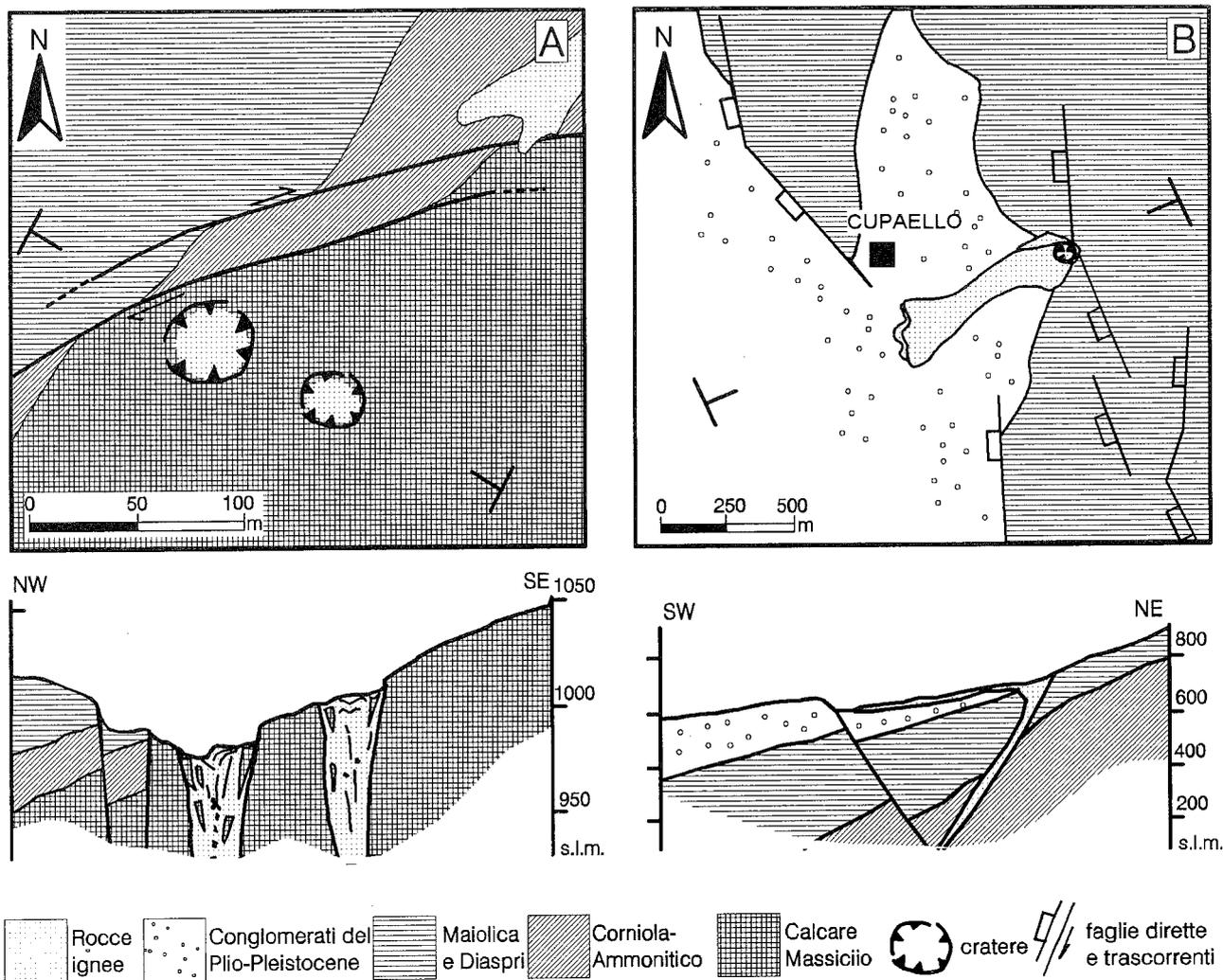


Fig. 2 - Schema e sezione geologica dell'affioramento di Polino (A) e Cupaello (B)

(Tav. IB). Le rocce presenti nel vulcano variano da fonolitiche a kamafugitiche (kalsilite leucite olivin melilitite) a calcite-carbonatite. L'attività vulcanica di San Venanzo è stata datata con precisione a 265.000 anni fa (LAURENZI *et alii*, 1994).

Nelle varie unità formazionali del vulcano di San Venanzo (STOPPA, 1995) si ritrovano tufi carbonatitici costituiti da livelli più o meno saldati di lapilli sferoidali o di forma plastica (Tav. IB). Tali lapilli, o anche le bombe associate, possono contenere fino al 50% di calcite a grana fine in plaghe ameboidali e sono costituiti per il resto da melilitite, leucite e olivina immersi in una massa di fondo vetrosa. Spesso sono evidenti gusci porfirici, concentrici intorno a frammenti dunitici o xenoliti cristalline di composizione granitica o quarzatica (Tav. IID). I lapilli sono inglobati in una matrice carbonatitica torbida che varia da micritica a finemente sparitica e contiene cristalli e frammenti vetrosi silicatici e isolati fenocristalli arrotondati di calcite. Sono anche presenti livelli carbonatitici spessi pochi centimetri costituiti da calcite a grana molto fine, in cui sono sospesi frammenti di cenere e lapilli melilititici (Tav. IC).

Al microscopio i frammenti melilititici mostrano un contenuto variabile di carbonato in plaghe ameboidali che varia dal 30 al 50%. Essi mostrano general-

mente tracce di margini di forma cuspidale e appaiono in stato di incipiente disgregazione. La matrice ha una grana molto fine e comprende listarelle euedrali di calcite e sporadici fenocristalli di calcite, così come di minerali silicatici e in modo particolare di olivina. Questo tipo di tessitura viene considerato come una evidenza della coesistenza di un liquido carbonatitico e uno silicatico (HAY & O'NEIL, 1983).

Monticchio

Il centro eruttivo di Monticchio rappresenta un evento recente e isolato nella zona vulcanica del Vulture vecchio circa di 130.000 anni (PRINCIPE & STOPPA, 1994). Due crateri del tipo *maar* si sono impiantati in una depressione vulcano-tettonica posta a ovest dello strato-vulcano persistente e più vecchio di alcune centinaia di migliaia di anni (Fig. 4). Ai *maar* è associata una copertura piroclastica spessa pochi metri e dispersa su una superficie di circa 10 Km². Questa formazione piroclastica consiste di una alternanza di tufi a lapillo e tufi cineritici.

I tufi a lapillo consistono di strutture dunari di lapilli grossolani perfettamente sferici generalmente a contatto tra loro e cementati da sparite (Tav. IIA). Sono comunque presenti livelli in cui i lapilli sono supportati da una matrice cineritica. I lapilli hanno al nu-

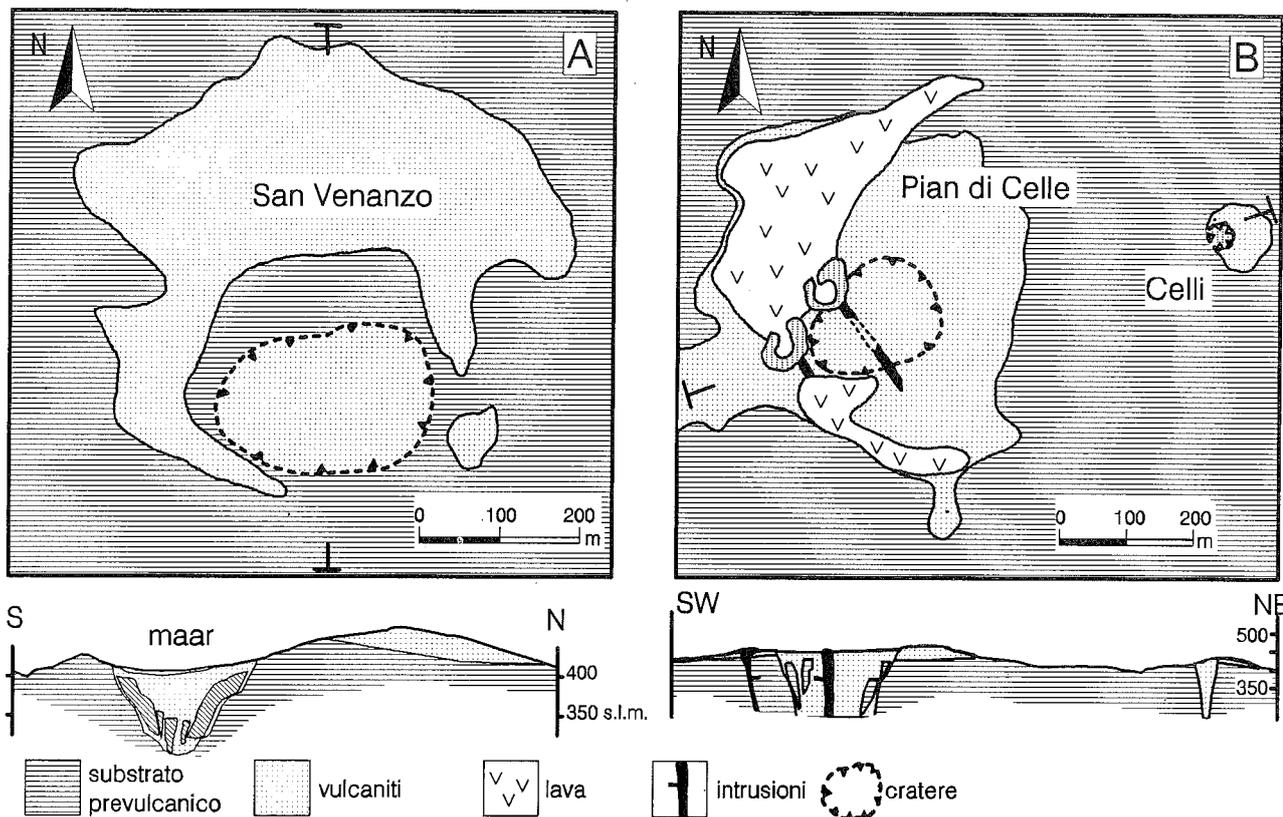


Fig. 3 - Schema e sezione degli apparati di San Venanzo (A) e Pian di Celle-Celli (B).

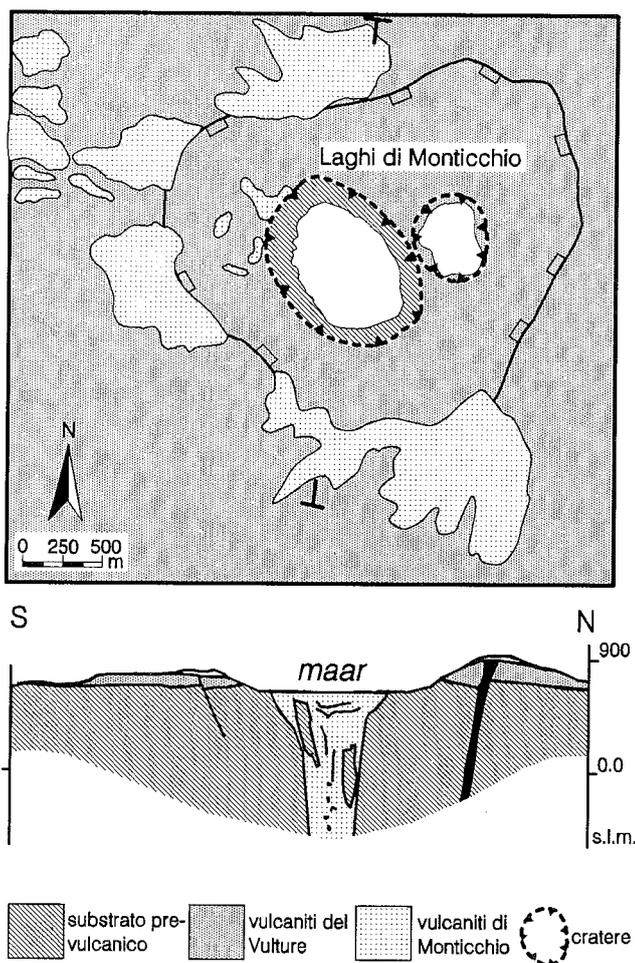


Fig. 4 - Schema dell'affioramento di Monticchio e relativa sezione geologica.

cleo noduli di wehrlite a spinello o megacrystalli di clinopirosseno e anfibolo e sono formati da gusci microporfirici concentrici (Tav. IIC). I minerali essenziali presenti sono melilite, flogopite, calcite, apatite, perovskite e hauyna in una matrice che varia da calcitica a schiettamente carbonatitica. Questi lapilli sono strutturalmente molto simili e composizionalmente intermedi rispetto a quelli che si ritrovano nella tuffisite di Polino e nei tufi di San Venanzo.

In sezione sottile i tufi cineritici hanno l'aspetto di una micro breccia laminata immersa in una matrice calcitica variabile in abbondanza e in granulometria. I frammenti juvenili sono melilitici e contengono abbondanti palghie ameboidali di calcite a grana fine. A forti ingrandimenti si nota che la matrice contiene numerosissime sferule di calcite micritica fortemente compattata circondate da calcite sparitica grana fine e frammenti di cristalli e cenere silicatica. Questi tufi sono molto simili a quelli a microlapilli carbonatitici osservati a Cupaello.

TESSITURE E STRUTTURE CARATTERISTICHE

L'origine ignea primaria della calcite che si osserva nei tufi carbonatitici italiani può essere definita sulla base di quattro tipi di strutture o tessiture cruciali. Le prime tre sono state descritte in ordine di frequenza anche in molti altre vulcaniti carbonatitiche nel resto del mondo. In particolare le caratteristiche tessiture delle sferule, dei lapilli microporfirici e delle matrici a grana fine sono stati efficacemente riepilogate illustrate e interpretate da KELLER (1989). La primarietà della calcite nelle varie evenienze tessiture deve essere in genere valutata contestualmente alla sua composizione

chimica. Tuttavia, data la reattività della calcite ignea, la facilità di scambi deuterici e tendenza alla ricristallizzazione della micrite delle matrici, la perdita della segnatura geochemica primaria può essere molto precoce rispetto all'obliterazione delle strutture e tessiture primarie. In ogni caso, l'analisi microanalitica di tutte queste evenienze tessiturali, riportata in altri lavori (STOPPA & LUPINI, 1993; PRINCIPE & STOPPA, 1994; STOPPA & CUNDARI, 1995; STOPPA & WOOLLEY, 1996), dimostra che questa calcite può contenere elevati tenori di terre rare leggere e di stronzio, spesso simili a quello osservabili nelle carbonatiti intrusive.

Sferule micritiche e lapilli microporfirici carbonatitici

Tutti i tufi carbonatitici italiani contengono sferule micritiche massive e dense. Tali sferule hanno lo stesso significato delle cosiddette 'lacrime di Peleè' e si formano per soffiatura di getti di liquido carbonatitico estremamente fluido che formano aerosol di goccioline rapidamente raffreddate al momento dell'eruzione. Questo tipo di tessitura è stata riprodotta sperimentalmente immerdendo acqua in fusi carbonatitici il che ne provoca la rapida espulsione e "congelamento" in forma di vetri carbonatitici (ZIMANOWSHY *et alii*, 1987).

I piccoli lapilli microporfirici con fenocristalli e microcliti di calcite nella massa di fondo hanno un significato analogo a quelle delle sferule ma non è ben chiarito se si formino in condizioni estrusive o intrusive dato che sono stati segnalati anche come componente essenziale di riempimenti diatremici oltre che nei depositi vulcanici (KELLER, 1989). Di fatto essi sono una caratteristica ricorrente in molti altri affioramenti di tufi carbonatitici (SILVA *et alii*, 1981; HAY & O'NEIL, Sutherland, 1980; 1983, KELLER, 1989, WOOLLEY *et alii*, 1991). Questo tipo di lapillo è esemplarmente rappresentato nei tufi carbonatitici di Cupaello (STOPPA & CUNDARI, 1995; STOPPA & WOOLLEY, 1996). Qui come in altri affioramenti la calcite nei fenocristalli ha una composizione diversa da quella nella massa di fondo indicando diverse condizioni di cristallizzazione e una probabile origine intratellurica dei fenocristalli (STOPPA & WOOLLEY, 1996).

Matrici micritiche con grani sospesi

La grana in genere finissima di queste matrici e il fatto che esse inglobino frammenti cristallini, piroclasti melilititici-carbonatitici e altri tipi di litici non tangenti tra di loro indicano che si tratta di una tessitura primaria. Questo tipo di tessitura è l'esatto contrario di quella in cui si osservano piroclasti tangenti tra di loro con gli interspazi riempiti da matrice percolata che presenta tasche riempite da calcite sparitica. Nel primo caso si tratta di matrici primarie, rapidamente saldate o compattate, nel secondo di matrici e cementi secondari o "brine" deposte da una fase vapore. Entrambe queste tessiture si ritrovano nelle rocce carbonatitiche italiane in dipendenza dei meccanismi di deposizione vulcanica.

Le matrici primarie verosimilmente derivano da una estrema frammentazione del liquido carbonatitico o carbonatitico melilititico durante fasi violente di degassamento di CO₂ o dalla diretta effervescenza di goccioline di liquido carbonatitico disperse nel liquido melilititico a alta temperatura a livelli superficiali. Il

carbonato a grana finissima rappresenta quindi una vera e propria cenere carbonatitica la cui eruzione è stata peraltro spesso osservata all'Oldoinyo Lengay (DAWSON *et alii*, 1992).

Plaghe ameboidali di calcite

Un'altra evenienza tessiturale che viene frequentemente osservata nei piroclasti melilititici associati ai tufi carbonatitici italiani, e che ne sembra una caratteristica, è la calcite ameboidale. Questo tipo di calcite è stata descritta da altri autori ma in genere viene interpretata come secondaria e, in questo caso, probabilmente rappresenta un prodotto di deposizione della fase vapore in frammenti vescicolati o della ricristallizzazione in situ di un carbonato primario. Tuttavia, nelle carbonatiti italiane di frequente si è osservato che il riempimento è costituito da calcite con grana molto fine e compatta, contenente concentrazioni notevoli di Sr, Ce e La, e a volte Ba (STOPPA & WOOLLEY, 1996). In questo caso tali strutture ameboidali possono più facilmente rappresentare una mesostasi di liquido carbonatitico separatosi per immiscibilità dal liquido melilititico e deformate plasticamente durante la messa in posto e il raffreddamento di quest'ultimo (KJARSGAARD & HAMILTON, 1989).

Lapilli concentrici

Essi sembrano apparentemente rappresentare una peculiarità delle rocce carbonatitiche italiane dove sono stati descritti con dettaglio (STOPPA & LUPINI, 1993; PRINCIPE & STOPPA, 1994; STOPPA, 1995) ma è probabile che siano molto più diffusi di quanto non si creda anche in altri affioramenti carbonatitici associati a diatremi. I lapilli hanno una struttura formata da vari gusci concentrici e possono avere un nucleo costituito da un nodulo mantellico o crostale o un megacristallo di alta pressione (Tav. IIC e D). Di solito non sono vescicolati. I gusci sono microporfirici e formati da xenocristalli silicatici immersi in una matrice, spesso irrisolvibile, di carbonato di calcio. La composizione dei gusci può essere puramente carbonatitica (Polino), oscillatoria con strati di melilitite alternantisi a strati di carbonatite (San Venanzo) o passare gradualmente da melilititica a carbonatitica (Monticchio). Queste strutture concentriche sono state probabilmente prodotte per rapida solidificazione di goccioline di liquido magmatico sovraraffreddato al contatto con i frammenti solidi che costituiscono i nuclei. Questo processo sarebbe avvenuto in condizioni intrusive durante la rapida risalita e la rotazione dei lapilli nel condotto diatremico (KELLER, 1989; STOPPA & LUPINI, 1993; STOPPA, 1995). Infatti tali lapilli formano il grosso della tuffisite (breccia diatremica) che riempie il condotto di Polino e i crateri di San Venanzo e sono stati trovati in altri diatremi carbonatitici nell'Hegau, Germania (BRAY & KELLER, 1984) e in Zambia (BAILEY, 1966).

Questi lapilli concentrici intrusivi differiscono totalmente dai più noti lapilli d'accrezione (*accretionary lapilli*) che sono prodotti dell'aggregazione di cenere umida intorno a frammenti solidi nelle colonne eruttive delle eruzioni freatomagmatiche. Lapilli "d'accrezione" sono stati segnalati in diversi affioramenti carbonatitici della Tanzania (DAWSON *et alii*, 1992) ma mai in quelli italiani.

ATTIVITA' ERUTTIVA E DEPOSITI PIROCLASTICI

L'attività vulcanica carbonatitica italiana è caratterizzata dall'eruzione rapida ed altamente esplosiva di piccoli volumi magmatici (da 10^6 m³ a 100^6 m³). L'elevata esplosività è responsabile della formazione di crateri di tipo *maar*, cioè profondamente scavati nel substrato pre vulcanico, cui sono associati depositi piroclastici che formano anelli di tufo fortemente asimmetrici. I condotti magmatici che si trovano sotto ai *maar* sono probabilmente di tipo diatremico. Per diatrema si intende un condotto eruttivo in cui i fenomeni esplosivi hanno luogo già a grande profondità producendo la mobilitazione e infine anche l'eruzione di breccie costituite da frammenti solidi, semi-solidi e goccioline di liquido magmatico che vengono velocemente propulse da un getto violento di gas in risalita. Tali tipologie vulcaniche sono molto caratteristiche delle aree con attività carbonatitica come la zona di Fort Portal in Uganda; Rufunsa in Zambia; Kerimasi e Lashaine in Tanzania; Tinderet in Kenya; Hegau in Germania.

I prodotti dei vulcani carbonatitici italiani consistono di alternanze di banchi di agglomerati o breccie massive, letti ben stratificati o dunari di tufo a lapilli e straterelli laminati di cineriti. I depositi stratificati mostrano spesso tasche da impatti di blocchi balistici (Tav. IC e D). Fenomeni di reomorfismo, strati saldati, lapilli deformati plasticamente, matrici compatte e indurite costituite da frammenti carbonatitici e melilititici interdigitati indicano che la temperatura di messa in posto poteva essere anche molto elevata (Tav. IA, B, C).

Il tipo di meccanismo deposizionale prevalente è quello dell'ondata piroclastica secca (*dry pyroclastic surge*) ad alta concentrazione e di granulometria grossolana (banchi di lapilli e breccie) seguita da ricaduta di "code" di materiali più sottili (tufi cineritici sottilmente stratificati) nettamente predominante sul trasporto balistico (impatto di blocchi) (Tav. IC e D). L'assenza di strutture indicanti interazione tra acque esterne e magma, l'elevato grado di vescicolazione dei frammenti juvenili, la presenza di sferule e lapilli la cui forma appare modellata dalla tensione superficiale e rapida rotazione di goccioline di lava estremamente fluida, la temperatura elevata di messa in posto indica una frammentazione puramente magmatica e che l'attività esplosiva è sostenuta da fluidi giovanili (STOPPA, 1995). Questo contrasta con un'origine di tipo freatomagmatico accettata per gli altri *maar* e diatremi carbonatitici presenti in altre parti del mondo (LORENZ, 1985; KELLER, 1989).

In alcuni casi (Polino, San Venanzo) si è potuto osservare che i condotti eruttivi sono riempiti da un particolare tipo di breccia intrusiva (tuffisite) costituita da frammenti juvenili arrotondati e clasti accessori strappati alle pareti del condotto e provenienti anche da livelli crostali profondi oltre che da frammenti cristallini e noduli mantellici (Tav. IA e B, Tav. IIC e D). L'elevata capacità di trasporto di litici abissali fanno pensare a condizioni di esplosività profonda tipiche della propagazione in condotti vulcanici di tipo diatremico.

DISCUSSIONE

Modelli genetici e di risalita del magma carbonatitico

Sulla base dei modelli che riguardano la genesi dei magmi carbonatitici nell'astenosfera e la loro propa-

gazione attraverso la litosfera fino all'eruzione in superficie è possibile interpretare coerentemente l'assie-me delle caratteristiche stratigrafiche, vulcanologiche e litologiche delle carbonatiti italiane.

La petrologia sperimentale ha parametrizzato i fattori che regolano la formazione dei magmi carbonatitici a profondità di circa 80-100 km e le condizioni di risalita (p.e. MCKENZIE & BICKLE, 1988; EGGLE, 1989; WILLEY, 1989; DALTON & WOOD, 1993; BAILEY, 1993). I magmi carbonatitici si formano per piccoli gradi di fusione parziale di un solido peridotitico a flogopite e carbonato e risalgono lungo una traiettoria adiabatrica corrispondente a una temperatura di eruzione piuttosto elevata (*liquidus* melilititico circa 1250°C). La bassa densità di questo tipo di magma fa sì che esso possa separarsi dalla roccia madre per i piccolissimi gradi di fusione parziale che sono tipici del magmatismo nelle aree cratoniche con una litosfera molto poco assottigliata (MCKENZIE, 1988). La rapida risalita attraverso la litosfera è sostenuta dalla essoluzione di CO₂ di cui questi magmi sono molto ricchi (BAILEY, 1990). A pressioni relativamente basse (10-20kb) il liquido carbonatitico e quello melilititico diventano immiscibili e tendono a separarsi (KJARSGAARD & HAMILTON, 1989). Ciò spiega perché i due litotipi vengano eruttati dallo stesso condotto e del perché si formino le vescicole ameboidali di carbonato nei frammenti melilititici. L'insieme di goccioline di liquido carbonatitico o melilititico, frammenti cristallini, xenoliti e gas (CO₂) viene violentemente propulso all'interno dei condotti cilindrici detti diatremi.

Le modalità di propagazione dei due liquidi ormai separati è stato ricostruita sperimentalmente e può essere schematizzata con tre fasi a diversa composizione e reologia (FREUNDT & TAIT, 1986) che possono coesistere a profondità decrescente nel diatrema e che corrispondono a una successione di eventi eruttivi allorché il condotto stesso si svuota.

In una prima fase si ha la separazione del liquido melilititico da quello carbonatitico che essendo più fluido e meno denso forma al centro della colonna magmatica un flusso che risale più rapidamente (Fig. 5 A). In queste condizioni la frazione carbonatitica si accumula in testa alla colonna stessa, eventualmente associata a una frazione silicatica più evoluta (fonolite) ed erutta in maniera altamente esplosiva formando depositi a grana fine di tufi e cineriti carbonatitiche.

In una seconda fase l'instabilità dovuta all'allargamento del condotto e alla diminuzione della pressione trasforma il regime di flusso da laminare a turbolento, con moto elicoidale prima e quindi convettivo (Fig. 5 C). Questo corrisponde nel diatrema alla formazione di piroclasti a composizione bimodale come i lapilli concentrici o i frammenti a vescicolazione ameboidale. Tali piroclasti corrispondono all'eruzione di carbonatiti-melilititi e breccie tuffisitiche.

In una terza fase la parte più densa e pesante dell'originario magma costituita dal liquido melilititico impoverito di gas e carbonato raggiunge la superficie dando luogo a effusioni laviche che chiudono il ciclo eruttivo.

Questo modello ricalca le osservazioni stratigrafiche e spiega la composizione e il comportamento eruttivo dei vulcani carbonatitici italiani e può essere osservato completamente sia a San Venanzo che a Cuopello dove i prodotti di tutti e tre gli stadi descritti sono osservabili in sequenza stratigrafica (Fig. 5 D ed E).

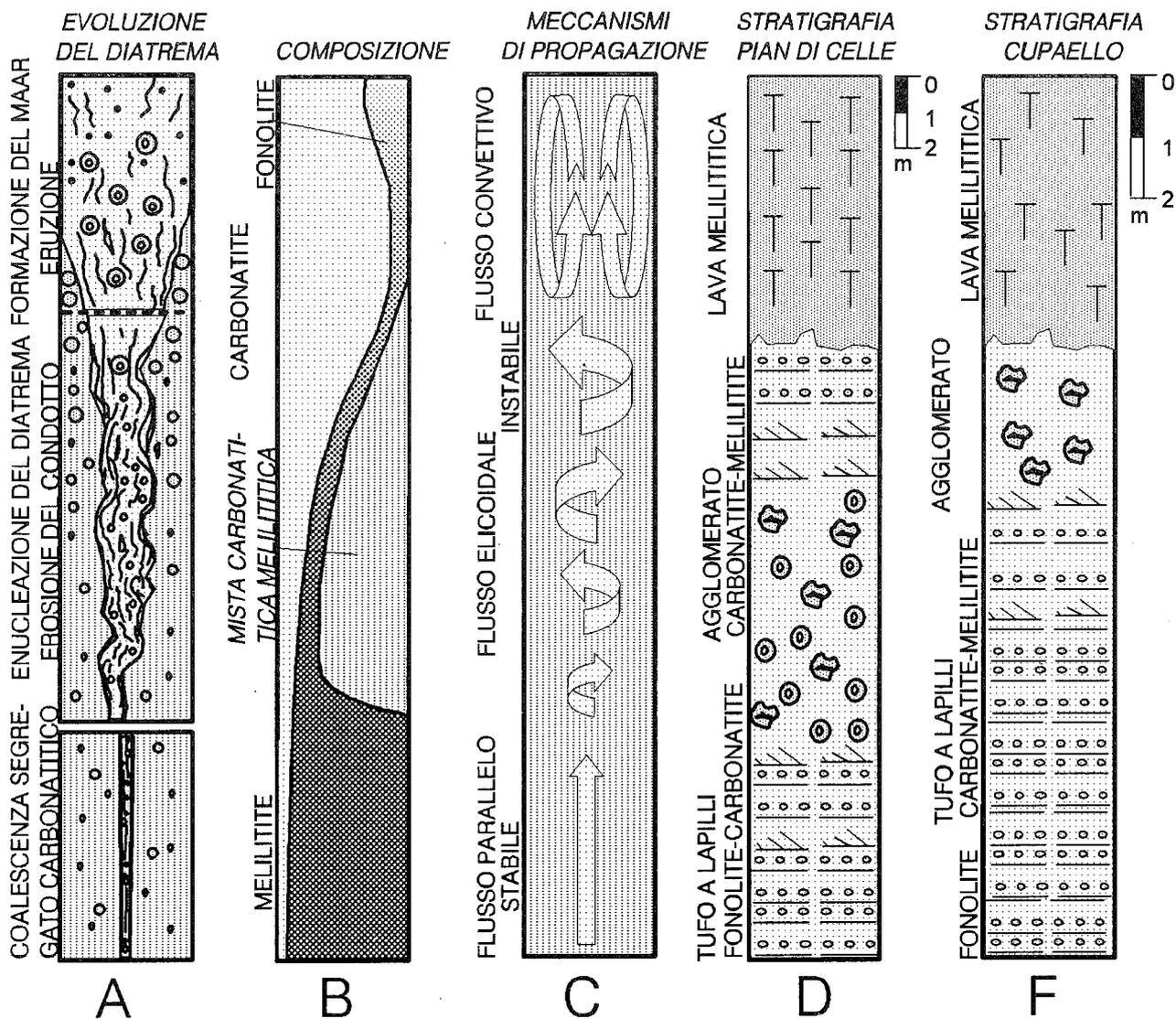


Fig. 5 - Modalità di propagazione diatremica a livelli crostali superficiali, zonazione composizionale e schema delle sequenze eruttive di Pian di Celle e Cupaello.

Contesto magmatologico e implicazioni geodinamiche

Sebbene l'attività magmatica della Provincia Ultra-alkalina Intramontana (IUP) sia coeva con quella della Provincia Romano-Campana (PRC) essa occupa una zona geograficamente distinta, posta più a est. Il Vulture è piuttosto isolato rispetto ai centri della provincia Ultra-alkalina Intramontana ma chiaramente appartiene al prolungamento della stessa fascia di attività ignea. Esiste tutta una serie di differenze petrologiche tra le rocce IUP e quelle della PRC che suggeriscono fenomeni petrogenetici distinti. In primo luogo tutti gli eventi eruttivi IUP sono monogenici e si verificano isolatamente con la sola eccezione di Monticchio in cui però l'evento carbonatitico è cronologicamente e vulcanologicamente poco correlabile con il precedente strato vulcano (Vulture). I volumi emessi sono sempre estremamente piccoli specie se paragonati a quelli delle eruzioni che hanno formato i complessi vulcanici della PRC. In secondo luogo, le piroclastiti IUP, a differenza di quelle della PRC contengono melilite in quantità essenziale mentre il plagioclasio è assente, inoltre le lave sono kamafugitiche. In terzo luogo, nelle rocce IUP è sempre presente del detrito man-

tellico sotto forma di cromite, Cr-diopside, Cr-flogopite e forsterite che sono invece generalmente assenti nelle rocce dei grandi vulcani della PRC. Infine nessuna roccia carbonatitica è mai stata ritrovata nella PRC.

Le differenze petrologiche tra le rocce IUP e quelle della PRC evidenziano che esse non sono comagmatiche. La presenza nelle rocce IUP di rocce carbonatitico-melilitiche contenenti quantità più o meno abbondanti di detrito mantellico sono una forte evidenza di un'origine più profonda e di un diverso meccanismo di risalita del magma rispetto alla PRC. Una forte componente carbonatitica, la natura peralkalina e l'estrema sottosaturazione in silice della magma capositipite IUP è un inequivocabile indizio di un grado di fusione parziale molto basso cui non è venuto a sovrapporsi nessun pesante effetto differenziativo.

Le caratteristiche della IUP e della RCP sono state illustrate nel contesto di un modello geodinamico che prevede una loro diversa collocazione tettonica, una diversa profondità della sorgente mantellica e un diverso grado di fusione parziale da LAVECCHIA & STOPPA (1990; 1996). Con tale modello generalmente concordiamo e quindi questo aspetto non viene qui ulteriormente discusso.

Nelle associazioni vulcaniche che comprendono melilititi e carbonatiti come quelle Ugandesi o quelle della Tanzania settentrionale (DAWSON, 1970) le rocce melilititiche sono sempre quelle meno evolute e cioè hanno il Mg# più alto. Tuttavia in queste e in altre province si ritrovano anche grossi volumi di rocce più evolute, come le nefeliniti e le fonoliti mentre all'eruzione delle melilititi e carbonatiti IUP sono strettamente associati volumi molto subordinati di fonoliti che rappresentano il litotipo più evoluto. Quindi, nella IUP i fenomeni differenziali sembrano aver giocato un ruolo molto limitato dato che la maggior parte di queste rocce hanno un carattere molto primitivo se non primario. La ragione di ciò va ricercata nella capacità dei magmi IUP di separarsi dalla sorgente mantellica anche in volumi estremamente piccoli e inusitati per magmi di altra composizione. La mancanza di effetti notevoli di differenziazione a bassa pressione deriva dai particolari modalità di propagazione del magma verso la superficie che implicano una grande velocità durante la risalita e condizioni avverse alla formazione di camere magmatiche.

Sebbene sia stato spesso affermato che le rocce della PRC possano essere state generate in una zona di subduzione (p.e. SERRI, 1993) un processo magmatogenetico correlabile a un simile ambiente geodinamico sembra poco plausibile per le rocce IUP (LAVECCHIA *et alii*, 1995; LAVECCHIA & STOPPA, 1996). In nessun caso sono note associazioni di carbonatiti e melilititi direttamente correlabili a un ambiente subduzione. La distribuzione spaziale e temporale delle carbonatiti e il loro contesto tettonico sono stati passati in rassegna da WOOLLEY (1989) che ha evidenziato che le carbonatiti possono avere una qualche relazione temporale con fasi orogeniche, ma che esse solo raramente si ritrovano in zone tettonicamente attive. Inoltre, la possibilità della formazione di una frazione magmatica carbonatitica in ambienti di tipo subduzione è puramente teorica. Il bassissimo grado di fusione parziale necessario alla genesi e alla sopravvivenza di questi magmi è in netto contrasto con la voluminosa produzione di magmi subcalcinici caratteristici di questo ambiente. Questo argomento è egualmente applicabile anche alle melilititi che si ritrovano, infatti, nello stesso ambiente tettonico caratteristico delle carbonatiti. Tipicamente entrambe le rocce si ritrovano in aree stabili di intra-placca o in aree di crosta continentale stabile eventualmente adiacenti ad aree tettonicamente attive. Una litosfera stabile o in incipiente assottigliamento sembra un requisito essenziale per la generazione, la sopravvivenza e l'eruzione di magmi la cui composizione così estrema certamente richiede un concorso di cause geologiche specifiche e coerenti.

BIBLIOGRAFIA

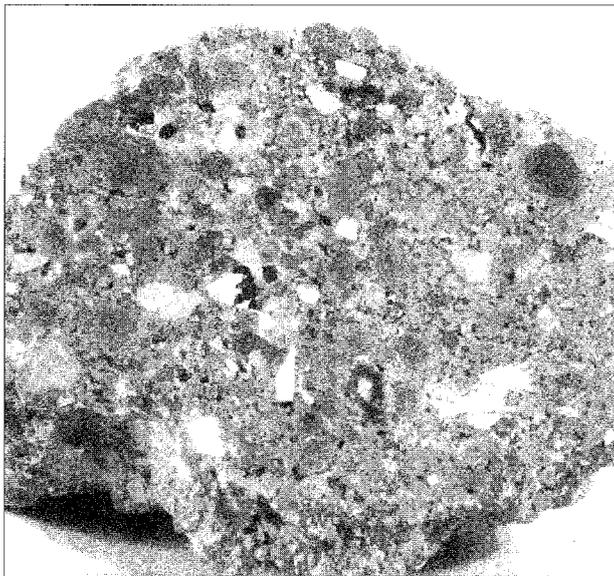
- BAILEY D.K. (1966) - *Carbonatite volcanoes and shallow intrusions in Zambia*. In TUTTLE & GITTINS (eds.) "Carbonatites", Interscience, N.Y., 127-154.
- BAILEY D.K. (1990) - *Mantle carbonatite eruptions, crustal context and implications*. *Lithos*, **26**, 37-42.
- BAILEY D.K. (1993) - *Carbonate magmas*. *Journal of the Geological Society*, London, **150**, 637-651.
- BARKER D.S. (1989) - *Field relations of carbonatites*. In K. BELL (ed.) *Carbonatites: genesis and evolution*. Unwin Hyman Ltd, London, 38-69.
- BARKER D.K. (1993) - *Diagnostic magmatic features in carbonatites: implications for the origin of dolomite- and ankerite-rich carbonatites*. *S. Afr. J. Geol.*, **96**, 131-138.
- BARKER D.S. & NIXON P.H. (1989) - *High-Ca, low-alkali carbonatite volcanism at Fort Portal, Uganda*. *Contrib. Min. Petrol.*, **103**, 166-177.
- BOSI C. & LOCARDI E. (1991) - *Vulcanismo meso-pleistocenico nell'Appennino Laziale-Abruzzese*. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1991/2, 319-325.
- BRAY G. & KELLER J. (1984) - *Petrologische Charakterisierung des Deckentuff-Magmas im Hegau*. *Fortschr. Miner.*, **62**, 1-77.
- CUNDARI A. & FERGUSON A.K. (1991) - *Petrogenetic relationships between melilitite and lamproite in the Roman Comagmatic Region: the lavas of S. Venanzo and Cupaello*. *Contrib. Min. Petrol.*, **107**, 353-357.
- DALTON J.A. & WOOD B.J. (1993) - *The composition of primary carbonate melts and their evolution through wallrock reaction in the mantle*. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **119**, 511-525.
- DAWSON J.B. (1989) - *Sodium carbonatite extrusions from Oldoinyo Lengai, Tanzania: implication for carbonatite complex genesis*. In BELL K. (Ed) op. cit., 255-277.
- DAWSON J.B., SMITH J.V. & STEELE I.M. (1992) - *1966 ash eruption of the carbonatite volcano Oldoinyo Lengai: mineralogy of lapilli and mixing of silicate and carbonate magmas*. *Mineral. Mag.*, **56**, 1-16.
- FREUNDT A. & TAIT S.R. (1986) - *The entrainment of high-viscosity magma into low-viscosity magma in eruptive conduits*. *Bull. Volcanol.*, **48**, 325-339.
- HAY R.L. & O'NEIL J.R. (1983) - *Carbonatite tuffs in the Laetoli beds of Tanzania and the Kaiserstuhl in Germany*. *Mineral. Petrol.*, **82**, 403-406.
- KELLER J. (1989) - *Extrusive carbonatites and their significance*. In BELL K. (ed.) op. cit., 70-88.
- KJARSGAARD B.A. & HAMILTON D.L. (1989) - *The genesis of carbonatites by immiscibility*. In: BELL K. (ed.) op. cit., 388-404.
- LAURENZI M., STOPPA F. & VILLA I. (1994) - *Eventi ignei monogenici e depositi piroclastici nel Distretto Ultra-alcalino Umbro-laziale (ULUD): revisione, aggiornamento e comparazione dei dati cronologici*. *Plinius*, **12**, 61-65.
- LAVECCHIA G. & STOPPA F. (1990) - *The Tyrrhenian zone: a case of lithosphere extensional tectonic control of intra-continental magmatism*. *Earth Plan. Sci. Letters*, **99**, 336-350.
- LAVECCHIA G., FEDERICO C., STOPPA F., KARNER G.D. (1995) - *La distensione toscotirrenica come possibile motore della compressione appenninica*. Questo volume.
- LAVECCHIA G. STOPPA F. (1996) - *The tectonic significance of Italian magmatism: an alternative view to the popular interpretation*. Terra Nova, in stampa.
- LE MAITRE R.W. (ed.), BATEMAN P., DUDEK A., KELLER J., LAMEYRE J., LE BAS M.J., SABINE P.A., SCHMID R., SORENSEN H., STRECKEISEN A., WOOLLEY A.R. & ZANETTIN B. (1989) - *A classification of igneous rock and glossary of terms*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1-193.
- LORENZ V. (1985) - *Maars and diatremes of phreatomagmatic origin: a review*. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, **88**, 459-470.
- MCKENZIE D. & BICKLE M.J. (1988) - *The volume and composition of melt generated by extension of the Lithosphere*. *J. Petrol.*, **29**, 625-679.
- PRINCIPE C. & STOPPA F. (1994) - *Caratteristiche litologiche delle piroclastiti associate alla genesi dei maar di Monticchio: prima segnalazione di depositi carbonatitico-melilititici al Mt. Vulturne (Basilicata)*. *Plinius*, **12**, 86-90.
- SERRI G., INNOCENTI F. & MANETTI P. (1993) - *Geochemical and petrological evidence of the subduction of delaminated adriatic continental lithosphere and the genesis of the Neogene Quaternary magmatism of Central Italy*. *Tectonophysics*, **223**, 117-147.
- SILVA L.C., LE BAS M.J. & ROBERTSON A.H.F. (1981) - *An oceanic carbonatite volcano on Santiago, Cape Verde Islands*. *Nature*, **294**, 644-645.
- STOPPA F. (1996) - *The San Venanzo maar and tuff ring, Umbria, Italy: eruptive behaviour of a carbonatite-melilitite volcano*. *Bull. Volcanol.*, **57**, 563-577.
- STOPPA F. & LAVECCHIA G. (1992) - *Late Pleistocene ultra-alkaline magmatic activity in the Umbria-Latium region (Italy): An overview*. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, **52**, 277-293.
- STOPPA F. & LUPINI L. (1993) - *Mineralogy and petrology of the Polino monticellite calcite carbonatite (Central Italy)*. *Mineral. Petrol.*, **49**, 213-231.

- STOPPA F. & CUNDARI A. (1995) - *A new italian carbonatite occurrence at Cupaello (Rieti) and its genetic significance*. Contrib. Mineral. Petrol., **122**, 275-288.
- STOPPA F. & WOOLLEY A.R. (1996) - *The Italian carbonatites: field occurrence, petrology and regional significance*. Miner. Petrol., in stampa.
- WOOLLEY A.R. (1989) - *The spatial and temporal distribution of carbonatites*. In: K. BELL (ed.) op. cit., 15-37.
- WOOLLEY A.R. & KEMPE D.R.C. (1989) - *Carbonatites: nomenclature, average chemical composition, and element distribution*. In K. BELL (Ed) op. cit., 1-14.
- WOOLLEY A.R., BARR M.W.C., DIN V.K., JONES G.C., WALL F. & WILLIAMS C.T. (1991) - *Extrusive carbonatites from the Uyaynah area, United Arab Emirates*. Journ. Petrol., **32**, 1143-1167.
- ZIMANOWSKY B., LORENZ V, FRODLICH G. (1987) - *Experiments on phreatomagmatic explosions with silicate and carbonatitic melts*. J. Volcanol. Gettherm. Res., **30**, 149-153.

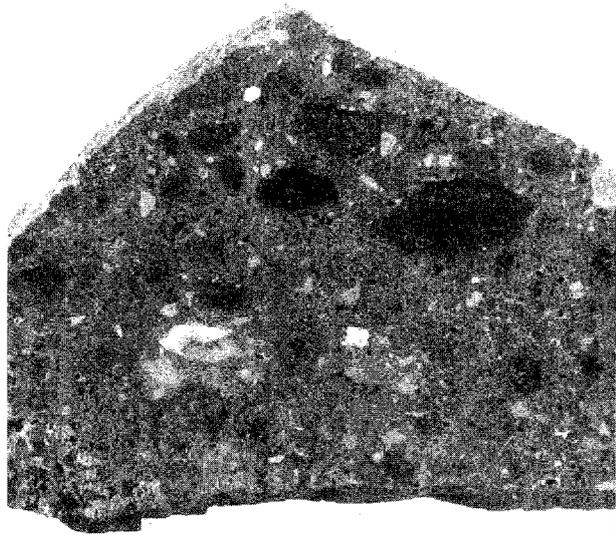
TAVOLE

TAVOLA 1

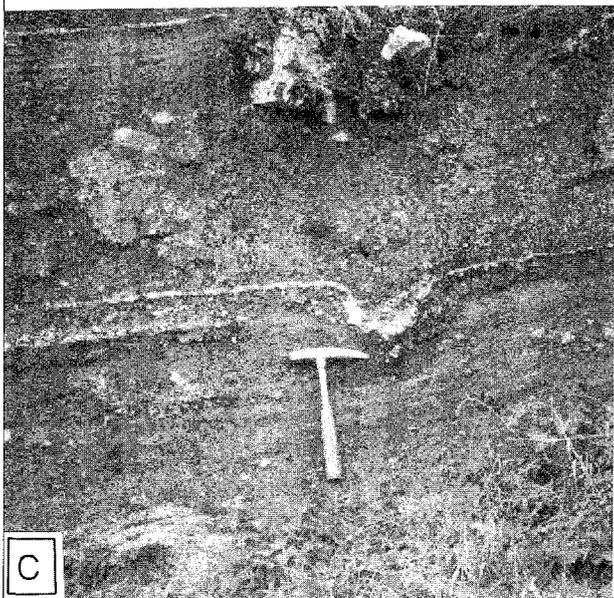
- A: breccia tuffistica saldata dal diatrema carbonatico di Polino (Terni), notare i lapilli concentrici arrotondati o di forma "plastica" e i litici accessori a spigoli vivi.
- B: breccia tuffistica saldata dal cratere dell'anello di tufo di Pian di Celle (San Venanzo, Terni), si notino i lapilli melilititici "schiacciati" e i litici accessori a spigoli vivi immersi in una matrice carbonatitica.
- C: sottili livelli di cenere carbonatitica mostranti fenomeni di riflusso plastico a vale (da destra a sinistra) nella buca provocata dal rimbalzo di un blocco balistico a Pian di Celle.
- D: depositi da ricaduta e ondata piroclastica diluita di cenere carbonatitica mostranti deformazioni "plastiche" da impatto balistico, Monticchio (M. Vulture, Potenza).



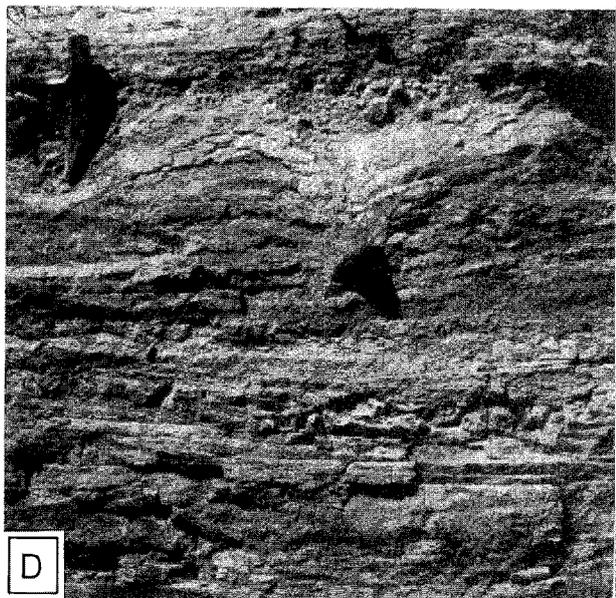
A 0 1 2 3 4 5 cm



B 0 1 2 3 4 5 cm



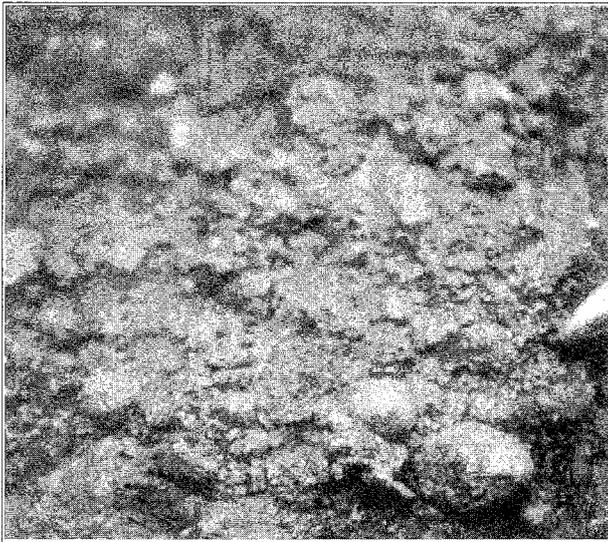
C



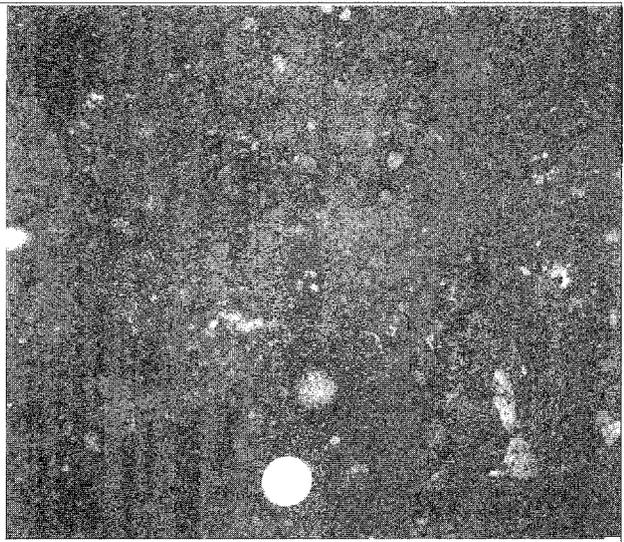
D

TAVOLA 2

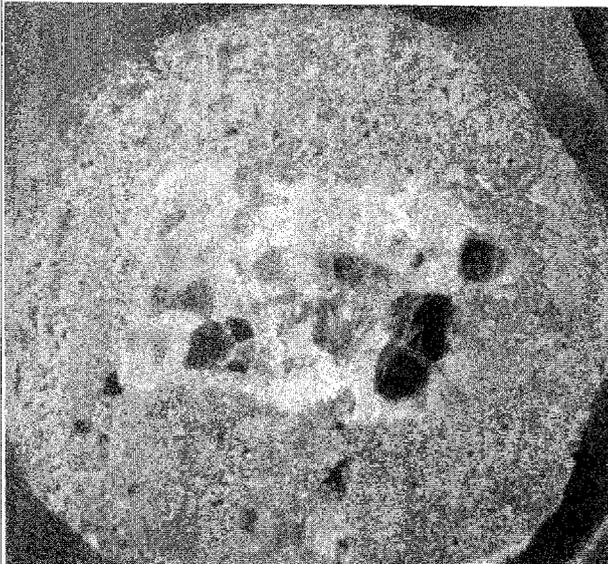
- A — Lapilli sferici carbonatitico-melilititici da Monticchio (M. Vulture, Potenza).
- B — Lapilli sferici melilititici nella tuffisite nel condotto dell'anello di tufo di Celli (San Venanzo, Terni).
- C — Sezione di uno dei lapilli a struttura concentrica della foto A mostrante al nucleo un nodulo leherzolitico a spinello.
- D — Sezione di un lapillo dalla foto B mostrante al centro un litico accidentale.



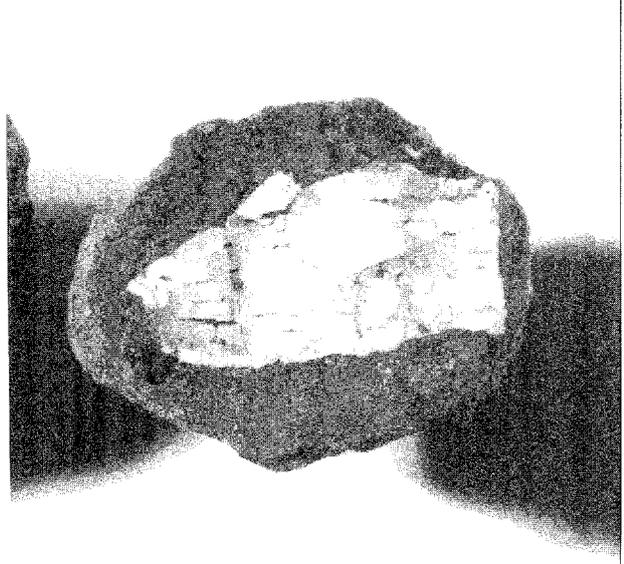
A 0 1 2 3 4 5 cm



B 0 10 cm



C 0 0.5 cm



D 0 1 2 cm

