

Fig. 1.

Schema geologico delle principali linee tettoniche e (in nero) delle Province Vulcaniche della Turchia (arco vulcanico anatolico). WAV) Provincia Vulcanica dell'Anatolia Occidentale. GV) Provincia Vulcanica della Galazia. CAV) Provincia Vulcanica dell'Anatolia Centrale. EAV) Provincia Vulcanica dell'Anatolia Orientale. Le linee continue indicano le faglie trascorrenti e le frecce rappresentano la direzione e il verso di spostamento relativo delle due porzioni crostali. La linea con i triangoli indica la parte della catena del Tauro (area con linee verticali) sovrascorrente verso sud sopra la placca continentale Arabica. L'area con le linee oblique indica la catena montuosa del Ponto. L'area bianca rappresenta il blocco continentale anatolico; la freccia bianca posta al suo interno indica il verso del suo spostamento lungo le faglie Nord-Anatolica e di Ecemis a sud in conseguenza delle spinte compressive verso nord della placca Arabica (da Toprak et al., 1994).

Geological scheme of the main tectonic features of the Turkish and the volcanic provinces of Neoge-Quaternary age (full black) (Anatolian volcanic arc).

di masse granitoidi. Nell'area turca questo magmatismo si sviluppò da ovest a est costituendo l'arco vulcanico anatolico composto dalle Province Vulcaniche dell'Anatolia Occidentale, Centrale, Orientale e dalla Provincia Vulcanica della Galazia (fig.1).

Con la definizione di Provincia Vulcanica della Cappadocia (CVP, fig.2), posta all'interno di quella dell'Anatolia Centrale, si vogliono esprimere i processi geologici circoscritti nell'area corrispondente alla provincia romana dell'età imperiale (17 d.C. - IV sec. d.C.) con capitale Caesareia (Kayseri).

2. Inquadramento regionale

La Provincia Vulcanica della Cappadocia è costituita in gran parte da un altopiano posto a circa 1.200 m di altezza s.l.m. estendentesi da NE a SW per circa 300 Km. La sua superficie di circa 15.000 Km²

(mentre l'intera Provincia Vulcanica dell'Anatolia Centrale ha una superficie complessiva di circa 40.000 km²) è delimitata a ovest dal bacino di Tuz Gölü e dall'omonima linea tettonica di faglia, a nord dai rilievi del massiccio di Kirsehir e dalla zona di faglia del fiume Kizilirmak, ad est dal bacino di Sivas e a sud dalla catena montuosa del Tauro e dal massiccio di Nigde (Fig.2).

Il bacino di Tuz Gölü fa parte di un complesso sistema di depressioni presenti nell'Anatolia Centrale. Si formò nel Cretacico superiore ospitando sedimenti prevalentemente fluviali e lacustri. Attualmente è occupato in minima parte da un lago salato poco profondo da cui prende il nome. Il massiccio di Kirsehir è composto dai sedimenti più antichi presenti nella provincia, costituiti da rocce paleozoiche ad alto grado di metamorfismo con grandi intrusioni di graniti per la risalita profonda di magmi acidi. Il

bacino di Sivas costituisce una depressione allungata verso N-E. È composta da depositi fluvio-lacustri eocenici e miocenici con resti di mammiferi. La catena montuosa del Tauro è costituita da rocce paleozoiche e mesozoiche marine fortemente deformate dalle intense compressioni, che ancora attualmente la placca Arabica sta esercitando verso nord. Il massiccio di Nigde, infine, ha la medesima litologia del massiccio di Kirsehir, formato da rocce metamorfiche interessate, durante il Cretacico inferiore, da basse pressioni e alte temperature.

3. Inquadramento geologico

Rispetto alle altre provincie vulcaniche quella della Cappadocia rappresenta una delle aree geologiche e petrografiche più interessanti. La conservazione e la varietà tipologica delle rocce e delle forme vulcaniche che si sono sviluppate al suo interno, hanno contribuito a costituire uno dei migliori esempi evolutivi di magmatismo orogenico da placche crostali convergenti. L'attuale geomorfologia è costituita da:

1) 19 complessi vulcanici maggiori (o vulcani poligenici) distribuiti obliquamente da N-E di Kayseri a S-W di Karapinar; sono stati formati da un'attività vulcanica ripetuta per un lungo periodo di tempo (in gran parte dal Miocene superiore al Pliocene) con una diversificazione evolutiva dei caratteri chimici ed eruttivi dei prodotti emessi (fig.3).

2) Un'estesa superficie pianeggiante anch'essa estendentesi secondo la direzione dei complessi vulcanici maggiori (fig.3), costituita principalmente da piroclastiti di tipo ignimbrítico formati prevalentemente nel Miocene superiore e nel Pliocene.

3) Diverse centinaia di bocche vulcaniche monogeniche (o vulcani monogenici)(fig.8), prevalentemente quaternarie, prodotte da singole o più eruzioni in un breve arco di tempo; hanno dimensioni molto ridotte rispetto ai complessi vulcanici maggiori e morfologie differenti in funzione del tipo effusivo o esplosivo del meccanismo eruttivo.

4) 6 principali bacini (o depressioni) colmati attualmente da sedimenti lacustri e fluviali quaternari (Fig.3).

3.1 I complessi vulcanici maggiori

Corrispondono ai principali centri eruttivi della Cappadocia. Sono costituiti essenzialmente da strato-vulcani formati dalla sovrapposizione prevalente di ceneri, lapilli e litici prodotti da attività eruttiva di tipo esplosivo alternati a effusioni di colate laviche. Sono associati agli strato-vulcani centinaia di centri vulcanici monogenici composti da coni di scorie, duomi, maare, etc. trattati nel paragrafo 3.3. I mate-

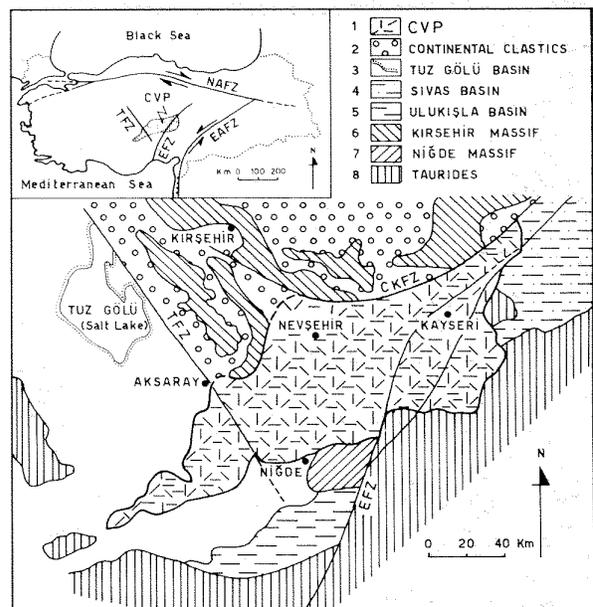


Fig. 2.

Inquadramento regionale della Provincia Vulcanica della Cappadocia. 1) CVP = Provincia Vulcanica della Cappadocia. 2) Depositi continentali. 3) Bacino di Tuz Gölü. 4) Bacino di Sivas. 5) Bacino di Ulukisla. 6) Massiccio di Kirsehir. 7) Massiccio di Nigde. 8) Catena del Tauro. TFZ: zona di faglia di Tuz Gölü. CKFZ: zona di faglia di Kizilirmak. EFZ: zona di faglia di Ecemis.

NAFZ: zona di faglia Nord Anatolica. EAFZ: zona di faglia Est Anatolica (da Toprak et al., 1994).

Regional setting of Cappadocian volcanic province (CVP). TFZ: Tuz Gölü fault zone. CKFZ: Central Kizilirmak fault zone. EFZ: Ecemis fault zone. NAFZ: North Anatolian fault zone. EAFZ: East Anatolian fault zone.

riali eruttati dagli strato-vulcani variano da basici (basalti) a termini intermedi (andesiti) fino ad acidi (daciti e rioliti). I 19 complessi vulcanici sono qui di seguito brevemente descritti (Toprak et al., 1994) in sequenza da ovest ad est come illustrato in Fig.3.

Il complesso vulcanico del Karaca Dag ha una forma ellissoidale fortemente erosa che si estende con una superficie di circa 150 Km² composta prevalentemente da rocce andesitiche e basaltiche della serie calc-alcalina formate nel Miocene superiore-Pliocene.

Il complesso vulcanico del Kötü Dag copre un'area circolare di circa 5 Km di diametro composto da un duomo di età Miocene superiore-Pliocene.

Il complesso vulcanico del Keçikalesi è costituito da una caldera del diametro circa di 3,5 Km. Questo cratere formatosi per sprofondamento della sommità del cono dovuto allo svuotamento della camera magmatica da parte di eruzioni esplosive, è composto da andesiti e andesiti basaltiche. La datazione di

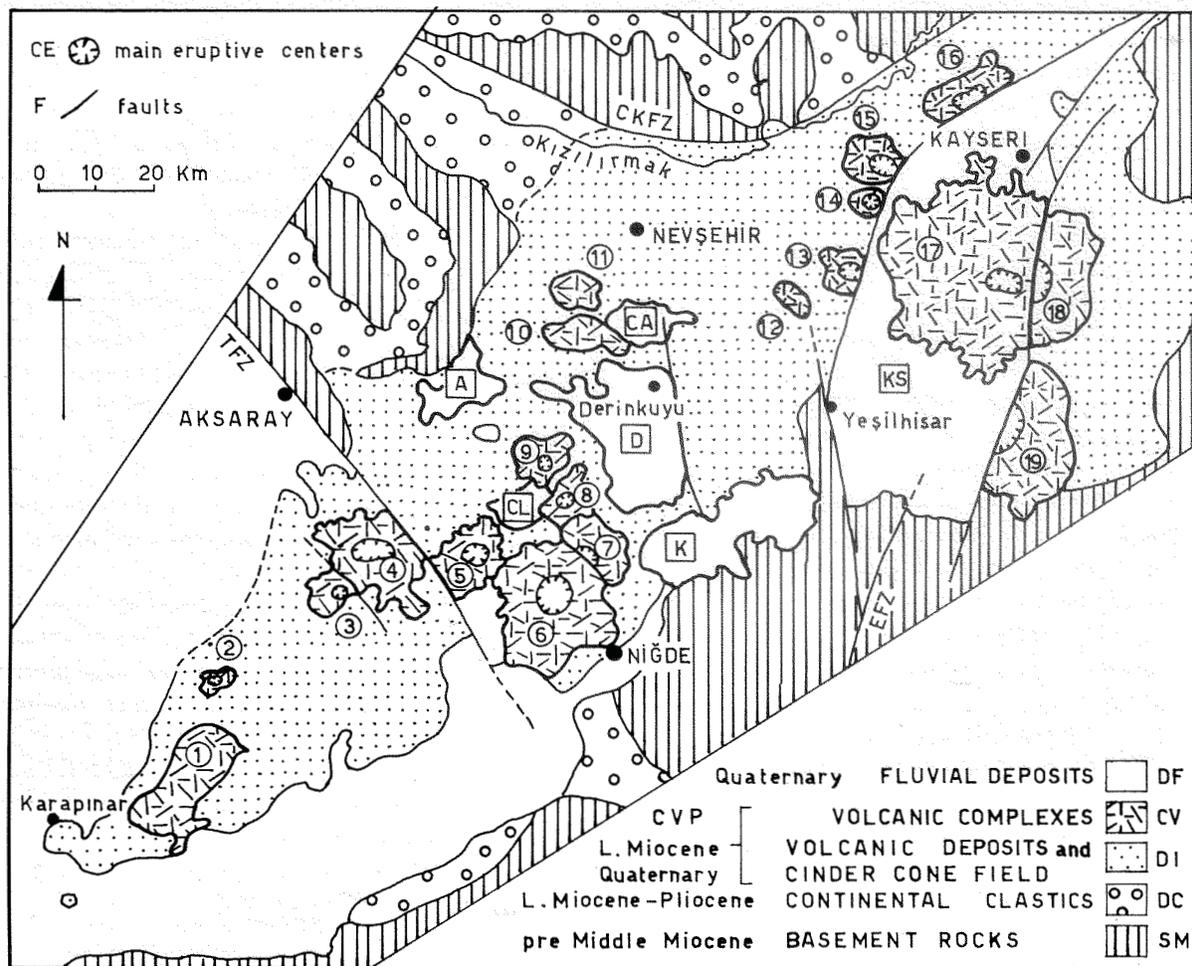


Fig. 3.

Carta Geologica semplificata della Cappadocia. I numeri all'interno della figura indicano i complessi vulcanici maggiori: 1) complesso vulcanico del Karaca dag; 2) c.v. del Kötü Dag; 3) c.v. del Kecikalesi; 4) c.v. dell'Hasan Dag; 5) c.v. del Keçiboyduran; 6) c.v. del Melendiz. 7) c.v. di Tepeköy; 8) c.v. di Cinarli; 9) c.v. del Gollu Dag; 10) c.v. del Kizilcin; 11) c.v. di Acigöl; 12) c.v. di Hodul Dag; 13) c.v. del Tekke Dag; 14) c.v. del Seksenveren; 15) c.v. di Hamurcu; 16) c.v. di Erkilet; 17) c.v. di Erciyes; 18) c.v. del Koc Dag. 19) c.v. del Develi Dag. Le lettere all'interno della figura indicano i bacini quaternari: A) bacino di Agacli; CD) b. di Ciftlik; CA) b. di Cardak. D) b. di Derinkuyu; K) b. di Konakli; KS) bacino di Kayseri-Sultansazligi. Simboli della legenda: DF) depositi fluviali e lacustri dei bacini quaternari; CV) sedimenti dei complessi vulcanici maggiori; DI) depositi ignimbricitici; DC) depositi continentali (mio-pliocenici); SM) substrato pre- miocenico medio; CE) principali centri eruttivi dei complessi vulcanici maggiori; F) faglie trascorrenti e dirette (vedi Fig. 2); (da Toprak et al., 1994).

Simplified geological map of Cappadocia. The numbers inside the figure show the most important volcanic complexes. The letters inside the figure show the quaternary basins.

queste rocce con il metodo del K/Ar a circa 13 milioni di anni fa, ne fa uno dei complessi più antichi della Cappadocia.

Il complesso vulcanico di Hasan Dag è formato da due coni terminali andesitici: il Grande Hasan Dag (3.253 m) e il Piccolo Hasan Dag (3.069 m). Si sono formati nel Quaternario (0,78-0,019 Ma B.P.) (Ercan et al., 1992) in tre fasi (Aydar et al., 1994). La forma del complesso è ellissoidale con l'asse maggiore lungo più di 20 Km. Dopo il vulcano Erciyes, il Grande Hasan Dag è il più grande strato-vulcano dell'Anatolia Centrale.

Il complesso vulcanico del Keçiboyduran è composto da uno strato-vulcano di forma ellittica con l'asse maggiore lungo circa 18 Km per una superficie di 120 Km². Il cratere centrale ha un diametro di 5 Km composto da colate di lava andesitica alternate a tufi piroclastici delle fasi esplosive. L'età è circa di 5,8 Ma.

Il complesso vulcanico del Melendiz è costituito da una superficie circolare di circa 300 Km² con un cratere centrale di 6 Km di diametro ed uno secondario di 1,5 Km. Entrambi sono composti da colate laviche di andesiti basaltiche alternate a tufi,

bombe e blocchi vulcanici. L'età del complesso è di 5,8 Ma.

Il complesso vulcanico di Tepeköy ha una forma sub-circolare di circa 80 Km² tagliata e separata dal complesso precedente da una faglia tettonica passante per il centro eruttivo principale. È composto da lave da andesitiche a dacitiche con intrusioni di dicchi porfirici. È uno dei più antichi centri vulcanici della Cappadocia.

Il complesso vulcanico di Çınarlı ha una forma sub-circolare di circa 50 km² costituita da più bocche vulcaniche composte da colate di lave andesitiche tra le più antiche di tutti i complessi vulcanici. Sono presenti anche materiali piroclastici di composizione da andesitica a dacitica. L'età è Miocene superiore.

Il complesso vulcanico del Göllü Dag raggiunge un'altezza di 2.143 m. La forma circolare ha un'estensione di 90 km² con numerosi duomi riolitici. La parte centrale è costituita da lave acide circondate alla periferia da tufi, ossidiane e rocce vetrose con fratture sferiche. L'età del complesso è di 1,15 - 0,98 Ma (Bigazzi et al., 1993).

Il complesso vulcanico di Acigöl copre un'area ellittica di più di 120 km². E' composto da una immensa caldera di 100 km² con 7 gruppi di duomi di ossidiana (riolite) e circa 100 coni di scorie (da basaltiche ad andesitiche) associati a colate di lava. La sua attività copre un arco di tempo dal Miocene superiore a circa 20.000 anni B.P. (Pasquarè, 1968; Bigazzi et al., 1993).

Il complesso vulcanico di Hodul Dag ha un'altezza di 1.950 m. La sua forma ellittica è costituita da un solo tipo di andesite del Miocene superiore-Pliocene inferiore, circondata dalle unità ignimbritiche del secondo periodo evolutivo della Cappadocia.

Il complesso vulcanico del Tekke Dag ha una forma circolare del diametro di 9-10 km per un'altezza di 1.622 m. L'apparato è troncato ad est dalla ramificazione occidentale della faglia di Ecemis. E' costituito principalmente da colate di lava andesitica e piroclastiti. All'interno del complesso si rinvengono duomi andesitici. L'età è presumibilmente Miocene superiore-Pliocene.

Il complesso vulcanico del Seksenveren ha un diametro di 7 km. E' tagliato nella sua parte orientale dalla faglia di Ecemis. La litologia, così come il periodo di attività sono simili a quelle del complesso del Tekke Dag.

Il complesso vulcanico di Hamurcu è composto da una superficie di 10 km di diametro con più di 20 bocche vulcaniche andesitiche di cui la centrale è localizzata vicino al villaggio da cui prende il nome.

Il complesso vulcanico di Erkiyet presenta la parte est distrutta da movimenti tettonici della faglia di Ecemis. Il complesso è composto da andesiti, ignimbriti e colate basaltiche recenti.

Il complesso vulcanico di Erciyes è il più importante ed imponente dell'Anatolia Centrale. Ha un diametro di 40 km e un'altezza di 3.917 m costituita dal cono del vulcano Erciyes Dag. Le sue pendici sono caratterizzate da circa 70 bocche vulcaniche sussidiarie (duomi esogeni e coni) che si diramano radialmente dal cratere centrale intercalate tra estese colate di lava basaltica e andesitica (Pasquarè, 1968; Ercan et al., 1994). La parte est del complesso è separata dalla faglia tettonica di Ecemis da quello più antico del Koç Dag (fig.3). L'attività iniziata nel Miocene superiore è proseguita fino ai tempi storici con esplosioni piroclastiche ed emissioni di gas.

Il complesso vulcanico del Koç Dag ha un diametro di 20 km e un'altezza di 2.700 m. E' tagliato nella parte occidentale dalla faglia di Ecemis che ne ha distrutto il fianco ovest. E' composto da una bocca centrale con colate di lava basaltica e andesitica. L'età è Miocene superiore-Pliocene.

Anche il complesso vulcanico del Develi Dag è stato distrutto nella sua porzione occidentale dalla faglia di Ecemis. La costituzione geologica e l'età del complesso sono simili a quelle del Koç Dag. La sua altezza raggiunge i 2.000 m.

3.2 I depositi piroclastici di tipo ignimbritico

Coprono un'area di circa 11.000 km² per un volume complessivo di materiale eiettato di 1.400 km³ cubici. Sono stati messi in posto da centri eruttivi distinti, in 2 fasi principali: la neogenica e la quaternaria. La fase neogenica si è sviluppata in un arco di tempo compreso tra 11,6 e 2,7 Ma, con 8 centri di emissione individuati, in base a dati sedimentologici, gravimetrici e dal telerilevamento da satellite (Froger et al., 1994), nell'areale compreso tra Yesilhisar, Nevsehir e Çiftlik (Le Pennec et al., 1994, fig.5). Attualmente non è rimasta alcuna traccia esterna di queste antiche bocche vulcaniche perché distrutte dalla violenza stessa delle eruzioni e dai susseguenti processi tettonici ed erosivi. La fase quaternaria è compresa tra 0,2 e 0,1 Ma circa, con un centro eruttivo posto attualmente all'interno di una caldera a 5 km S-E di Acigöl (fig. 6). In entrambe le fasi, i depositi ignimbritici si formarono da violente eruzioni esplosive composte da flussi gassosi viscosi ad alta concentrazione di materiale solido (pomici, litici e ceneri) scorrenti con elevate velocità (circa 100 km/h) e temperature (500-1.000°C) per decine di chilometri dai centri eruttivi.

I depositi, prevalentemente caotici, si presentano

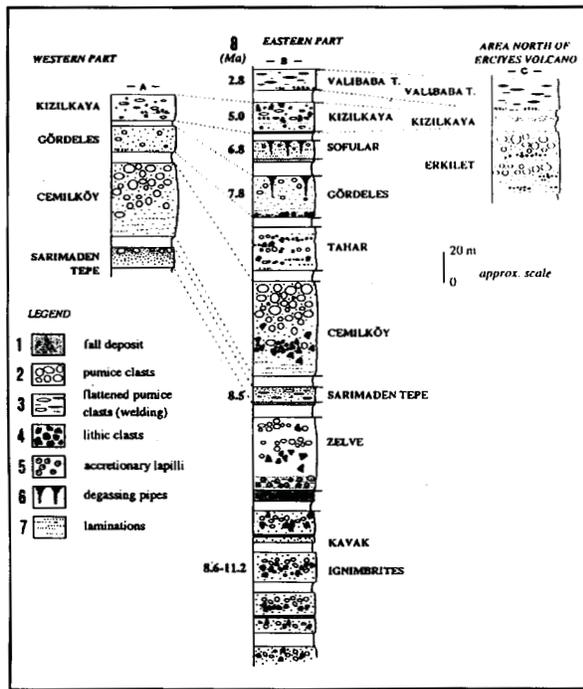


Fig. 4.

Stratigrafie e correlazione della sequenza delle ignimbriti neogeniche della Cappadocia: A) parte occidentale (da Aksaray ad Acigol). B) parte orientale (tra Acigol-Yesilhisar-Nigde ed il fiume Kizilirmak). C) area a Nord del vulcano Erciyes Dag. 1) depositi pliniani di caduta (pomice, litici e ceneri). 2) clasti di pomice. 3) clasti di pomice compressi e saldati. 4) clasti litici eterometrici (breccie e blocchi) di lave e parti dei condotti vulcanici. 5) lapilli accrezionali. 6) canali di degassazione di fumarole. 7) laminazioni. 8) datazioni assolute (K/Ar) in milioni di anni dei depositi ignimbritici. Nei livelli in bianco delle stratigrafie sono rappresentati i sedimenti fluviali e lacustri con resti di mammiferi e vegetali che si sono alternati alle ignimbriti. (da Le Pennec et al., 1994).

Stratigraphies and correlation of the Cappadocian neogene ignimbritic sequences. The white levels show fluvial and lacustrine sediments with mammals and vegetables remains alternate to ignimbrites.

non saldati o saldati in funzione della percentuale di materiale parzialmente fuso su quello solido e della temperatura di sedimentazione. Alternati alle ignimbriti sono presenti sedimenti pliniani di caduta e di surge. Le neogeniche sono interstratificate anche con depositi di lahar, fluviali (ghiaie, sabbie, argille) e lacustri (calcari con molluschi di acqua dolce e ostracoidi, strati dolomitici e diatomici) con resti di mammiferi e di vegetali (Pasquarè, 1968). I depositi pliniani di caduta sono composti anch'essi da pomice, litici e ceneri, ma con deposizione ordinata per gravità, dopo essere stati esplosi e proiettati fuori dal condotto vulcanico da gas ad alta pressione e temperatura, formanti poi una colonna eruttiva ascendente a forma di fungo di altezza variabile da uno a diversi chilometri. I depositi di surge si originarono dal flusso esplosivo di nubi turbolente ad alta

concentrazione di gas, trasportanti il materiale solido con velocità distruttive dell'ordine degli uragani. Sono caratterizzati da stratificazioni e laminazioni incrociate e piano-parallele. I lahar si presentano costituiti da materiale piroclastico prevalentemente fine e incoerente eroso lungo i fianchi dei coni vulcanici dalle piogge torrenziali e depositato a valle attraverso ripetute colate di fango.

Le ignimbriti neogeniche hanno una composizione chimica essenzialmente riolitica (acida) con percentuale di SiO₂ variabile dal 67 al 75% (Schumacher et al., 1992). In funzione dell'età di formazione e delle loro caratteristiche geologiche (Pasquarè, 1968; Innocenti ed al., 1975; Pasquarè ed al., 1988; Schumacher et al., 1990) sono state distinte in 10 unità stratigrafiche sommariamente descritte qui di seguito, dalla più antica alla più recente (Fig. 4 e 5) secondo una revisione generale degli studi precedenti redatta recentemente da Le Pennec et al. (1994).

Ignimbrite di Kavak, fu eruttata in più fasi tra 11,2 Ma (Temel, 1992) e 8,6 Ma (Innocenti et al., 1975), per un volume di materiale di 80 km cubici, che coprì un'area di 2600 kmq, con uno spessore medio di circa 100 m. Il centro eruttivo è posto tra Nevşehir e Derinkuyu, nella depressione di Cardak. Costituisce la rocca di Üçhisar, le piramidi di terra localmente denominate "peri bacalari" (camini delle

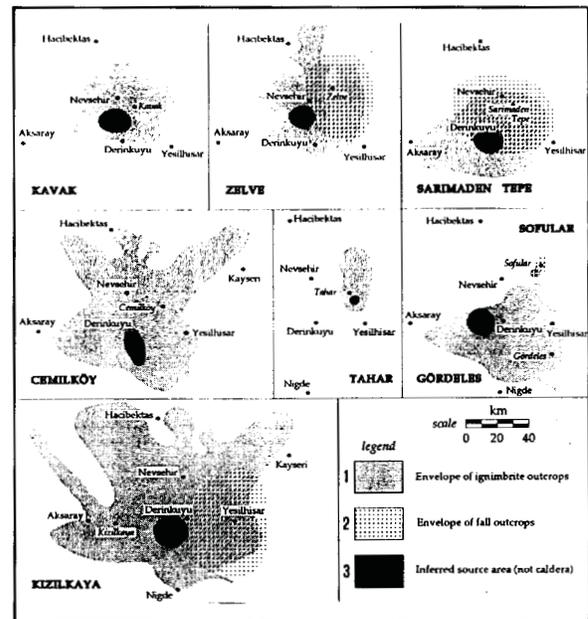


Fig. 5.

Comparazione alla stessa scala delle distribuzioni areali della sequenza delle ignimbriti neogeniche. 1) affioramenti della copertura di ignimbrite. 2) affioramenti dei sedimenti piroclastici pliniani di caduta (ceneri e pomice). 3) presunta area della bocca vulcanica di emissione. (da Le Pennec et al., 1994).

Neogene ignimbritic sequence: comparison, in the same scale, of the distribution of outcrops.

fate), le forme calanchive (badlands) e le chiese ipogee bizantine del museo all'aperto di Göreme e suoi dintorni, nonché, tra l'altro, le valli di Kiliçlar (delle Spade) e Meskendir dove, in epoca storica, furono scavate le canalizzazioni sotterranee di raccolta idrica e difesa idrogeologica (vedi, in questo stesso volume, Bicchi et al.).

Ignimbrite di Zelve, doveva essere costituita da un'eruzione di circa 120 km cubici di materiale disperso su un'area di 4.200 kmq. La sorgente eruttiva è presumibilmente a sud di Nevşehir. Alla sua base è presente un esteso strato compatto di pomice di caduta pliniana dal caratteristico colore variabile dal rosa al biancastro, affiorante nei pressi di Çavusin e sulle pendici dell' Ak Dag. In questa ignimbrite fu scavato l'antico villaggio di Zelve (villaggio a parete: vedi, in questo stesso volume, Bixio e Castellani in "tipologia delle strutture sotterranee della Cappadocia") e costituisce anche le piramidi di terra dei suoi dintorni antropizzate nell'alto medioevo dalle abitazioni ipogee dei monaci eremiti e anacoreti cristiani. Nella parte sovrastante il villaggio, i depositi piroclastici passano a calcari lacustri.

Ignimbrite di Sarimaden Tepe, di età compresa tra 8,6 e 8,0 Ma (Innocenti et al., 1975) ha anch'essa alla sua base un esteso strato di pomice di caduta pliniana. E' ben saldata, di colore variabile dal biancastro della base, al marrone scuro della sua sommità. Il volume eruttato è ipotizzabile in 80 km cubici, disperso su un'area di 3.900 kmq. La sorgente eruttiva è posta ad ovest di Derinkuyu.

Ignimbrite di Cemilköy, è composta localmente da numerosi frammenti eterometrici di rocce laviche e intrusive strappati lungo il condotto vulcanico. Il volume del materiale eiettato fu di circa 300 km cubici distribuito su 8.600 kmq. Il centro eruttivo è ipotizzato poco a sud di Derinkuyu. Gli affioramenti lungo la valle di Soganli costituirono le sedi di numerose chiese rupestri bizantine (X - XI sec.).

Ignimbrite di Tahar, presenta una colorazione rosa e giallo- biancastra. Non è saldata ma ha un certo grado di coesione con fessurazioni colonnari. Il volume eiettato fu di circa 25 km cubici di materiale, disperso su 1.000 kmq. La sorgente eruttiva è ipotizzata in prossimità dell'abitato da cui prende il nome.

Ignimbrite di Gördeles, eruttata intorno ai 7,8 Ma (Innocenti et al., 1975) ha una colorazione grigio scuro con un certo grado di compattezza. Presenta livelli con fumarole di degassazione. Il volume di materiale eiettato fu di circa 110 km cubici per un'estensione di 3.600 kmq. Il centro eruttivo è ipotizzato ad est di Derinkuyu.

Ignimbrite di Sofular, depositatasi intorno a 6,8

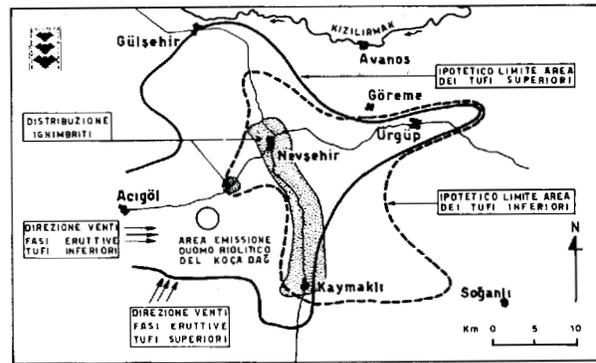


Fig. 6.

Ipotetica distribuzione areale delle ignimbrite e dei tuffi (pomice, ceneri, e litici di ossidiana nera) inferiori e superiori quaternari eiettati dal complesso vulcanico di Acigol.

La loro distribuzione prevalentemente verso E e N-E rispetto alla bocca di emissione suggerisce la rilevante influenza di forti venti occidentali e di S-W durante le fasi eruttive (da Le Pennec J.L., Temel A., et al., 1994, modificato).

Hypothetical surface distribution of the ignimbrites and of the lower and upper quaternary tuffs ejected by Acigol volcanic complex. Their prevalent distribution towards east and north-east with reference to the source area suggests the considerable influence of strong western and south-western winds during the eruptive periods.

Ma (Innocenti et al., 1975) è presente in maniera limitata (con un deposito pliniano di caduta alla base) presso il centro abitato da cui prende il nome e dove si presume vi sia stato il suo centro eruttivo. Ha una granulometria fine non saldata. Il volume di circa 1 km cubico è disperso su 100 kmq.

Ignimbrite di Erkilet, è ristretta nell'area a nord e N-E del vulcano Erciyes Dag dove è ipotizzabile il suo centro eruttivo. E' costituita da numerosi flussi piroclastici per uno spessore complessivo variabile da diverse centinaia di metri a circa 10 m nelle parti più distali dal centro di emissione. Presenta abbondanti clasti eterometrici di pomice e lava.

Ignimbrite di Kizilkaya, di età compresa tra 5,5 Ma (Besang et al., 1977) e 4,4 Ma (Innocenti et al., 1975) presenta alla sua base un'estesa coltre di depositi pliniani di caduta. Con i suoi 180 km cubici di materiale distribuito su ben 10.600 kmq è la più estesa. Ben saldata con numerosi clasti litici, ha una colorazione rossastra e scura. Presenta una fessurazione colonnare dovuta al raffreddamento dopo la deposizione. Nei suoi affioramenti di N-W fu interessata durante le epoche storiche dalla escavazione delle strutture sotterranee presenti presso Ovaören e dintorni (Aga dam, Filiktepe, Topak kaya, Selveroglu tepe, Gökçetoprak e Kirgoz) (vedi, in questo stesso volume, Castellani in "Human underground settlements [...] e Castellani e Pani in "Filiktepe: a step toward underground towns"). Costituisce inoltre la valle di Ihlara dove, lungo i suoi fianchi incisi dal

fiume Melendiz, furono scavate durante il periodo bizantino numerose chiese arricchite da affreschi policromi.

Ignimbrite di Valibaba Tepe, eruttata tra 3,0 e 2,7 Ma (Innocenti et al., 1975) è costituita da flussi di cenere ben saldati con fiamme di vetro ossidiano. Ha una colorazione variabile dal grigio al rossastro e marrone. Presenta una fessurazione colonnare. Il volume eruttato è stato ipotizzato di 100 km cubici distribuito su 5.200 kmq, nella parte nord del vulcano Erciyes. Pasquare et al. (1988) ipotizzano la sorgente eruttiva nella provincia di Kayseri.

Le ignimbrite della fase quaternaria di composizione riodacitica e riolitica (SiO₂ 75-76%) sono state depositate in 4 tempi differenti con spessori variabili da poco meno di 1 m a circa 6-7 m. Sono alternate a tufi pliniani di caduta (pomici e ceneri) e di surge in 2 fasi denominate tufi inferiori di Acigöl (0,2 Ma circa) e tufi superiori (0,15 Ma circa) distinguibili dai precedenti per la presenza di litici di ossidiana nera. Il loro centro eruttivo è posto presso il duomo riolitico di Koça Dag all'interno di una caldera poco profonda di 9 km di diametro e 100 kmq di superficie, 5 km a S-E di Acigöl, nel complesso vulcanico omonimo (vedi Fig. 6).

3.3 Le bocche vulcaniche monogeniche

I centri monogenici si sono sviluppati in ogni parte della Cappadocia, in particolar modo nei complessi vulcanici maggiori o disseminati nei loro dintorni (fig.8). Di dimensioni variabili da una decina di metri a 2-3 Km di diametro hanno costituito le eruzioni quaternarie del terzo periodo evolutivo 4 con duomi, conici di scorie, conici parassiti e maare.

I duomi sono costituiti da cupole prive di cratere, formate per estrusione di lava viscosa (da basaltica a riodacitica) dal condotto sottostante con accrescimento per espansione dall'interno (duomo endogeno) o per effusioni successive e sovrapposte aperte a ventaglio (duomo esogeno).

I conici di scorie (andesitici e basaltici) si formarono da eruzioni esplosive con lanci balistici, sia di lave bollose in brandelli fusi (fontane di lava) che in frammenti solidi di varie dimensioni. Sono accompagnati da pomici, ceneri e subordinatamente da calme colate effusive con rapida degassazione dei vapori durante il raffreddamento.

I conici parassiti (o sussidiari) si originarono per diramazioni laterali secondarie dal condotto principale di una bocca vulcanica centrale.

I maare sono crateri originati dall'esplosione freatica del gas accumulato ad elevate pressioni critiche formatosi lungo il condotto vulcanico per interazione tra il magma e acque meteoriche in risalita

lungo faglie tettoniche.

La distribuzione di questi centri monogenici si può circoscrivere in 5 regioni principali (Toprak et al., 1994) brevemente descritte qui di seguito.

Regione di Karapinar, posta a S-W del complesso vulcanico del Karaca Dag ospita 4 maare, 5 conici di scorie basaltiche e numerosi conici parassiti. Sono distribuiti lungo segmenti di faglie aventi direzioni NE-SW.

Regione di Karaca Dag-Hasan Dag, l'area compresa tra questi due complessi vulcanici è composta da più di 200 bocche vulcaniche monogeniche disposte in 3 gruppi lungo le 3 direzioni dei sistemi di faglia principali: NE-SW, N-S e NW-SE. Il primo gruppo si è formato lungo faglie parallele all'asse della Provincia Vulcanica della Cappadocia con un maar, diversi conici di scorie associati a conici parassiti. Il secondo gruppo è costituito da 60 conici di scorie e il terzo, anch'esso di conici di scorie, è disposto lungo le direzioni parallele alla faglia di Tuz Gölü (TFZ, fig.2 e 3).

Regione di Keçiboyduran-Melendiz, è composta esclusivamente da conici di scorie basaltiche originatesi nel Pleistocene medio- superiore in 3 gruppi, lungo linee tettoniche della faglia di Tuz Gölü.

Regione di Gölü Dag-Acigöl, comprende più di 100 bocche vulcaniche che rispetto alle regioni precedenti sono di diversa natura: duomi andesitici e riolitici, conici di scorie basaltiche e andesitiche, maare. I diametri variano da poche decine di metri a circa 3 Km. Sono distribuiti preferibilmente lungo il trend di faglia N-S (fig. 7).

Regione di Erciyes, è composta da circa 170 centri monogenici costituiti da duomi endogeni ed esogeni di lava andesitica, riodacitica, dacitica e basaltica con conici parassiti. Sono disposti lungo un sistema di fratture che dalla sommità del cratere centrale del vulcano Erciyes Dag, si diramano radialmente ed a ventaglio lungo le pendici di tutto il complesso vulcanico. I loro diametri variano da 650 m a 3 Km.

3.4 I bacini quaternari

Accanto alle strutture precedenti sono presenti all'interno della Cappadocia 6 bacini (o depressioni) principali (fig.3) composti in ordine di grandezza (dal meno esteso) dal: bacino di Çiftlik, di Cardak, di Agacli, di Konakli, di Derinkuyu e di Kayseri-Sultansazligi (quest'ultimo, denominato anche bacino di Yesilhisar, è anche il più esteso).

Costituiscono vie preferenziali per il drenaggio delle acque e del materiale vulcanico eroso dai rilievi circostanti. Attualmente sono colmati da sedimenti lacustri e fluviali quaternari. Si sono originati per la

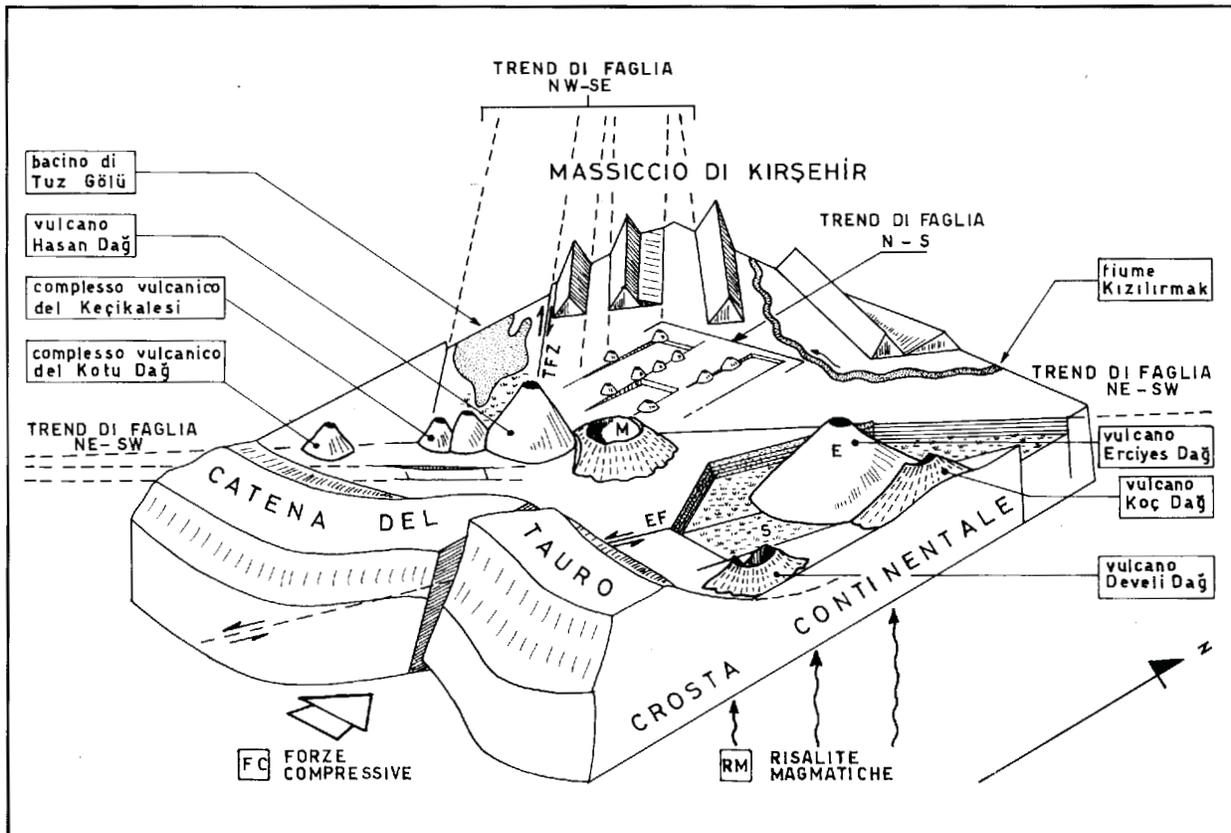


Fig. 7.

Bloccodiagramma mostrante il collegamento tra i principali trend di faglie distensive e trascorrenti con lo sviluppo dell'attività vulcanica della Cappadocia (per la descrizione evolutiva, vedi cap. 4).

TFZ) zona di faglia di Tuz Gölü (trend NW-SE). EF) zona di faglia di Ecemis. M) vulcano Melendiz Dağ.

S) bacino di Kayseri- Sultansazlığı. FC) forze compressive vergenti verso Nord della placca continentale Arabica, causanti l'orogenesi della catena del Tauro e del massiccio di Kirsehir, con la creazione di 3 trend principali di faglie NE-SW, NW-SE, N-S. RM) risalite magmatiche, sia dai fusi profondi, sia dalla fusione della placca oceanica Arabica sottocorrente al blocco Anatolico.

(da Pasquarè et al., 1988, modificato).

This blockdiagram shows the connection between the main normal and transcurrent faults and the development of the Cappadocian volcanic activity. TFZ) Tuz Gölü fault zone. EF) Ecemis fault zone. M) Melendiz Dağ volcano. S) Kayseri-Sultansazlığı basin.

FC) Northward compression forces of Arabian continental plate: they are responsible of the Taurides and Kirsehir massif orogenesis, creating three main trends of faults (NE-SW, NW-SE, N-S). RM) Rise of magma from subcrustal zones and from fusion of subduction of Arabian oceanic plate underlying the Anatolian continental block.

combinazione di cause vulcaniche e tettoniche. Le prime sono dovute allo sprofondamento di apparati vulcanici (le bocche vulcaniche delle ignimbriti neogeniche) in seguito allo svuotamento delle sottostanti camere magmatiche, sia per le violente eruzioni esplosive che per l'esaurirsi dell'afflusso di magma. Le seconde invece sono da ricercarsi nei complessi dislocamenti a livello regionale (subsidenze e sollevamenti) di porzioni crostali da parte di estese forze compressive e distensive ancora attive collegate con le spinte vergenti verso nord da parte della placca Arabica.

4. Evoluzione vulcanica

Come visto nell'introduzione, la collisione tra la placca Afro- Arabica e quella Eurasiatica condusse alla formazione di numerosi bacini continentali di

cui quello dell'Anatolia centrale, chiuso tra le varie unità montuose in accrescimento, ospitò al suo interno la formazione della Provincia Vulcanica della Cappadocia (Neogene-Quaternario). La sua evoluzione vulcanica può essere suddivisa in 3 periodi principali, separati da eventi tettonici che ne hanno condizionato lo sviluppo successivo, costituiti dai trend di faglia NW-SE, NE-SW e N-S (Pasquarè et al., 1988, Fig. 7).

Durante il primo periodo, compreso tra 13,7 e 8,5 Ma (Miocene superiore), lo sviluppo della tettonica distensiva attraverso 2 importanti sistemi di faglia trascorrenti, di Ecemis e Tuz Gölü (fig. 2 e 3), produsse nell'area cappadoce un progressivo e lento collasso gravitativo crostale con la formazione di una vasta area depressa. All'interno del bacino gli stress

di trazione con andamento NW-SE favorirono la risalita di magmi profondi a bassa densità provenienti dalla fusione della placca Afro-Arabica sottocorrente quella Eurasiatica. Si originarono le prime manifestazioni magmatiche effusive di lave basaltiche con la formazione dei complessi vulcanici del Keçikalesi (13,0 Ma) e Tepeköy. Successivamente imponenti colate laviche basaltiche e andesitiche (con duomi endogeni) vennero eruttate lungo una fascia che da N-E di Kayseri a S-W di Karamar taglia obliquamente l'intero bacino cappadoce. Si originarono i

complessi del Karaca Dag, Kötü Dag, Cinarly, Kizilçin, Acigöl, Hodul Dag, Tekke Dag, Seksenveren, Hamurcu, Erkiyet, Erciyes, Koç Dag e Develi Dag. Contemporaneamente, nell'areale tra Nevsehir e Derinkuyu, magmi acidi ad alta concentrazione di gas vennero eiettati da violente esplosioni, depositando nelle aree circostanti particelle fini di magma solido frammentato (pomici e ceneri) e liquido, accompagnati da breccie e blocchi (litici) strappati lungo i condotti vulcanici. Si formarono così i depositi ignimbrici di Kavak (11,2 - 8,6 Ma), Zelve

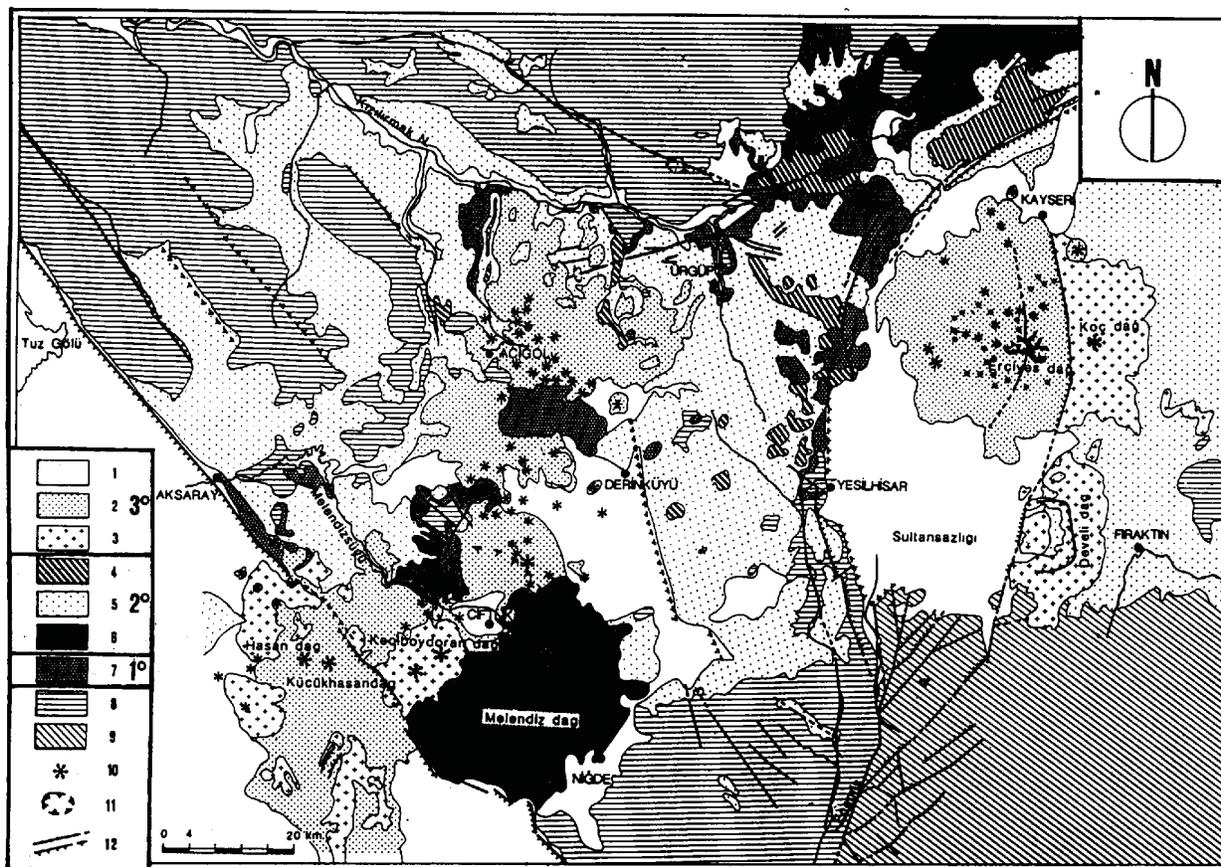


Fig. 8.

Carta geologica della Cappadocia suddivisa nella legenda nei 3 periodi evolutivi.

Terzo periodo (più recente, Quaternario): 1) depositi fluviali e lacustri dei bacini quaternari; 2) stratovulcani e prodotti piroclastici; 3) stratovulcani fagliati.

Secondo periodo (Pliocene): 4) colate di lava; 5) depositi ignimbrici; 6) complesso vulcanico del Melendiz Dag.

Primo periodo (Miocene superiore): 7) duomi e colate di lava. 8) Massiccio di Kirsehir (zona Nord) e Massiccio di Nigde (zona sud). 9) Catena del Tauro. 10) principali vulcani quaternari (terzo periodo): gli asterischi grandi indicano i crateri centrali dei complessi da cui prendono il nome; gli asterischi piccoli rappresentano i centri monogenici (duomi, coni di scorie, maare e coni parassiti). 11) orli di cratere e caldera. 12) faglie trascorrenti e dirette: i trattini indicano la parte ribassata. (da Pasquarè et al., 1988).

Geological map of Cappadocia shared in three evolutive periods.

Third period (Quaternary): 1) Fluvial and lacustrine sediments of quaternary basins; 2) Strato-volcanoes and pyroclastic products; 3) Faulted strato-volcanoes.

Second period (Pliocene): 4) Lava flows; 5) Ignimbrite deposits; 6) Melendiz Dag volcanic complex.

First period (Upper Miocene): 7) Domes and lava flows.

8) Kirsehir massif (north side) and Nigde massif (south side). 9) Taurus belt. 10) Main quaternary volcanoes (third period): big asterisks show the central craters. Small asterisks show monogenic center (domes, cinder cones, maars and parasitic cones). 11) Crater and caldera rims. 12) Transcurrent and normal faults, the hatches show the lowerside.

e Sarimaden Tepe (8,5 Ma). Durante i periodi di calma eruttiva si svilupparono estesi ambienti lacustri e fluviali (con sedimentazione di calcari, arenarie, argille) colonizzati da flora e mammiferi (Pasquarè, 1968).

Durante il secondo periodo, compreso tra 8 e 2,7 Ma (Miocene superiore - Pliocene), l'attivazione del trend di faglia NW-SE e in particolar modo della zona di faglia di Tuz Gölü causarono la risalita di magma nella parte S-W della Cappadocia con la formazione dei complessi vulcanici del Melendiz e Keçiboydurun, mentre a N e N-E di Ürgüp colate di lava basaltica scesero ripetutamente dai complessi di Erkilet e Hamurcu (fig. 8). Nell'area centrale, tra Nevşehir e Derinkuyu, continuò il processo eruttivo intermittente di tipo esplosivo iniziato nel periodo precedente. Si ebbe la messa in posto su circa 11000 km² di superficie dei depositi ignimbrici di Cemilköy, Tahar, Gördeles (7,8 Ma), Sofular (6,8 Ma), Erkilet, Kizilkaya (5 Ma) e Valibaba Tepe (2,8 Ma) con eiezione basaltica (per quelli più estesi) di breccie, litici e ceneri a più di 100 km di distanza dalle corrispondenti bocche eruttive. Durante i lunghi periodi di quiescenza eruttiva, che si alternarono alle catastrofiche eruzioni esplosive, il clima tropicale dell'epoca favorì la formazione di distese vegetazionali alternate ad ambienti aperti con laghi, fiumi, paludi e savane che ospitarono l'arrivo di giraffe, antilopi, proboscidi, rinoceronti, suini e cavalli (Pasquarè, 1968). Depositi residuali lateritici (Pasquarè, 1968), ricchi in ossidi idrati di ferro derivati dalla degradazione e dalla liscivazione delle rocce basiche del complesso ofiolitico posto ad ovest di Yesilhisar, sottolineano un clima tropicale caldo dove le stagioni marcatamente piovose si alternarono a quelle fortemente aride.

Tra la fine del secondo e l'inizio del terzo periodo, compreso tra 2,5 Ma e il I secolo d.C. circa, i progressivi movimenti compressivi della placca crostale Arabica sottostante quella Eurasiatica produssero l'inizio di una nuova fase deformativa. Questi nuovi movimenti tettonici interessarono di riflesso la Cappadocia attraverso la riattivazione delle zone di faglia distensive e trascorrenti di Tuz Gölü ed Ecemis (fig. 7), accompagnati dalla nascita di un nuovo trend tettonico: il sistema N-S (Borgia et al., 1994). Gli effetti combinati di queste 3 linee tensionali portarono nel settore centrale allo sprofondamento di larghe porzioni crostali con la scomparsa delle bocche vulcaniche delle ignimbriti neogeniche e la formazione dei bacini di Agacli, Çiftlik, Cardak, Derinkuyu e Konakli. Ampi movimenti verticali crostali prodotti da stress di trazione della zona di faglia di Ecemis condussero alla costi-

tuzione del grande bacino di Kayseri con conseguente taglio, smembramento e seppellimento parziale di centinaia di metri dei complessi vulcanici limitrofi del Tekke Dag, Seksenveren, Hamurcu ed Erkilet ad Ovest e Koç Dag, Develi Dag ed Erciyes ad Est. Risalite di magma basaltico e andesitico al suo interno, alternate ad esplosioni piroclastiche, svilupparono intorno a 1,0 Ma la formazione del più grande strato-vulcano dell'Anatolia Centrale con la costruzione di un imponente cono centrale, l'Erciyes Dag, accompagnato da duomi e coni parassiti preesistenti e successivi, formati tra 2,5 e 0,08 Ma (Ercan et al., 1994). La zona di faglia di Tuz Gölü causò l'estesa depressione da cui prende il nome e, intersecando la Cappadocia, propiziò per risalita di magmi acidi (rioliti, ossidiane e tufi) la nascita del complesso vulcanico del Göllü Dag (1,15 - 0,98 Ma) e successivamente, in tre fasi tra 0,678 e 0,277 Ma, la formazione del vulcano andesitico Hasan Dag (Aydar et al., 1994). L'attivazione del sistema di faglie N-S che attraversarono anche il blocco Anatolico e la catena del Tauro, portarono allo sviluppo di numerosi piccoli vulcani monogenici (coni di scorie, duomi, maare) distribuiti specialmente tra Acigöl, Çiftlik e Nigde (Fig. 8) con estrusione ed eruzione di materiali prevalentemente acidi (daciti e rioliti) (Borgia et al., 1994).

Tra 0,2 e 0,02 Ma abbiamo la fase finale dell'evoluzione del complesso vulcanico di Acigöl, con eruzioni esplosive ed effusive acide, rispettivamente di tufi pomicei e cineritici (depositi di caduta, surge e ignimbriti) e colate di ossidiana rossa e nera con sferule feldspatiche (ossidiana di Bogazköy, 0,165 Ma circa) (Bigazzi et al., 1993). Susseguentemente, la formazione della imponente caldera di Acigöl (circa 100 km²), in seguito allo svuotamento esplosivo della sottostante camera magmatica e l'eruzione di due maare accompagnati dall'estrusione intorno ai 20.000 anni B.P. di tre gruppi di duomi riolitici con ossidiana, costituirono gli eventi principali dell'attività finale del complesso (Bigazzi et al., 1993).

Fonti scritte, numismatiche e testimonianze archeologiche indicano il perdurare nei tempi storici di un'attività eruttiva terminale nei C.V. di Erciyes e Acigöl. Le prime consistono nella descrizione del geografo Strabone (63 a.C. - ? 25 d.C.) di fenomeni eruttivi di coni sussidiari nella zona a nord dell'Erciyes Dag (Blumenthal e van Kaaden, 1964) e dal rinvenimento di una sua raffigurazione in eruzione su monete romane di conio cappadoce. Le testimonianze archeologiche sono date dai rinvenimenti tra Acigöl e Nevşehir di ceramica romana ascrivibile al I sec. d.C. associata con resti umani e di *Antilope*, *Sus*, *Cervus*, *Camelus* ed *Equus* all'interno di strati

di cenere del centro eruttivo del Koça Dag (Pasquarè, 1968).

I fenomeni post-vulcanici attualmente sono rappresentati, nell'area di Acigöl, da sorgenti termali di acqua calda (22-42 °C) prodotte da un campo geotermico di circa 80-160 °C (Terzioglu, 1994), e presso il vulcano Erciyes Dag, da blande emissioni di gas e vapori (fumarole). L'attività erosiva ha messo in luce i giacimenti di lignite, sale e quelli originati dai passati processi magmatici e metamorfici di perlite, onice, barite, ferro, rame e piombo (Maden Tetkik ve Arama, M.T.A., 1989).

5. Conclusioni

I movimenti di vergenza verso Nord della placca continentale Afro-Arabica, con la collisione e penetrazione all'interno di quella Eurasiatica, produssero la formazione delle zone di faglia trascorrenti Nord Anatolica e di Ecmis lungo le quali il blocco Anatolico venne estruso verso est contemporaneamente allo sviluppo degli estesi stress crostali distensivi e compressivi. Questi movimenti interessarono la Cappadocia attraverso la creazione di allineamenti di faglie distensive e trascorrenti, raggruppabili in 3 trend NE-SW, NW-SE e N-S, che propiziarono la risalita magmatica e ne guidarono successivamente la disposizione dei centri eruttivi.

Il trend NE-SW produsse l'estesa fossa tettonica che, durante il Miocene superiore-Pliocene, da Kayseri a Karapinar diede origine, insieme con il trend NW-SE, allo sviluppo dei complessi vulcanici maggiori e alla messa in posto dell'estesa coltre ignimbritica.

Il sistema N-S si attivò nel Quaternario per il perdurare dei movimenti crostali compressivi tra il blocco anatolico e la catena del Tauro, producendo la formazione di centinaia di centri vulcanici monogenici. I magmi in risalita, essenzialmente

basaltici, si originarono principalmente dalla fusione profonda della placca oceanica Afro-Arabica sottocorrente quella Eurasiatica, causando un vulcanismo di tipo calc-alkalino con evoluzione dei prodotti eiettati dalle rocce basiche, ricche di calcio, dei basalti (SiO₂ 45-52%) per passare a quelle acide delle daciti, riodaciti e rioliti (più evolute, con SiO₂ > 63%) attraverso i termini intermedi delle andesiti basaltiche e andesiti. Le andesiti e le daciti costituiscono i tipi litologici predominanti che, insieme agli altri termini, vennero messe in posto attraverso eruzioni effusive (colate laviche, estrusioni domiche) ed esplosive (ignimbriti, depositi pliniani di caduta e di surge).

La differenziazione magmatica dei prodotti eiettati è da ascrivere alle variazioni termiche e bariche che durante la risalita dei fusi accompagnarono e guidarono i processi geochimici e petrogenetici di cristallizzazione frazionata e di assimilazione. I primi avrebbero agito attraverso una segregazione solida preferenziale di determinati elementi con conseguente impoverimento progressivo di Mg, Ca e Fe, e arricchimento in Na, K e Si del liquido residuale eruttato rispetto a quello profondo di origine. I secondi avrebbero dato origine a fenomeni di interazione e digestione ignea di Si, Mg e Fe da parte dei liquidi magmatici di risalita, per fusione delle rocce incassanti della crosta inferiore. Recenti analisi isotopiche della concentrazione degli elementi in traccia (143/144 Nd e 87/86 Sr) sulle ignimbriti neogeniche e quaternarie (Temel et al., 1994) e sulle lave dei vulcani Erciyes Dag (Kürkçüoğlu et al., 1994) e Hasan Dag (Deniel et al., 1994) confermerebbero la marcata preponderanza di questi due processi nell'ambito della differenziazione magmatica evolutiva della Provincia Vulcanica della Cappadocia.

- Aydar E., Gündoğdu N., Bayhan H. and Gourgaud A., 1994, "Kapadokya Bölgesinin Kuvaterner yaşlı volkanizmasının volkanik-yapısal ve petrolojik incelenmesi", tr. *Yerbilimleri Dergisi*, 3, 25-42.
- Besang C., Eckhardt F.J., Harre W., Kreuzer G. and Muller P., 1977, "Radiometrische Alterbestimmungen an neogenen Eruptivgesteinen der Türkei", *Geol. Jh.*, 25: 3-36.
- Bigazzi G., Yegingil Z., Ercan T., Odone M. and Özdoğan M., 1993, "Fission track dating obsidians in Central and Northern Anatolia", *Bull. Volcanol.* 55, 588-595.
- Blumenthal M.M. and Kaaden Van G., 1964, "Catalogue of the active volcanoes of the world, XVII, Turkey", IAV Roma, p.23.

- Borgia A., Ferrari L. and Pasquarè G., 1994, "Rifting and spreading of the Cappadocian volcanic plateau, Turkey", in "abstracts of Int. Vol. Cong. of IAVCEI", 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ.
- Cortini M. e Scandone R., 1987, "Un'introduzione alla vulcanologia. Magmi, eruzioni e vulcani", Liguori Editore, Napoli, pp. 1-212.
- D'Amico C., Innocenti F. and Sassi F.P., 1987, "Magmatismo e metamorfismo", pp 1-536, UTET, Torino.
- Daniel C., Aydar E., and Gourgaud A., 1994, "The Hasan dagi stratovolcano: an example of associated calc-alkaline and alkaline series in a collision zone", in "abstracts of Int. Vol. Cong. of IAVCEI", 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ.

- Ercan T., Tokel S., Matsuda J., Uj T., Notsu K. and Fujitani T., 1994, "New geochemical isotopic and radiometric data related to Plio-Quaternary volcanism of Erciyes Mountain of Central Anatolia", in "abstracts of Int. Vol. Cong. of IAVCEI", 12-16 september 1994, Ankara, spec. publ.
- Ercan T., Türkekan A. and Karabiyikoglu M., 1994, "Neogene and Quaternary volcanism of Cappadocia", Excursion guide of Int. Vol. Congr. of IAVCEI, 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ., pp 1-29.
- Froger J.L., Le Penneç J.L., Lenat J.F., Bourdier J.L. and Kose O., 1994, "The missing calderas of Cappadocia", in "abstracts of Int. Volc. Cong. of IAVCEI", 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ.
- Innocenti F., Mazzuoli R., Pasquarè G., Radicati di Brozolo F. and Villari L., 1975, "The Neogene calc-alkaline volcanism of Central Anatolia: geochronological data of Kayseri-Nigde area", Geol. Mag. 112: 349-360.
- Kürkçüoğlu B., Gündoğdu M.N., Vidal P., Gourgaud A. and Aydar E., 1994, "Preliminary geochemical results on Erciyes strato-volcano", in "abstracts of Int. Vol. Con. of IAVCEI, 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ.
- Le Penneç J.L., Bourdier J.L., Froger J.L., Temel A., Camus G., Gourgaud A., 1994, "Neogene ignimbrites of the Nevşehir plateau (Central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints", J. Volcanol. Geotherm. Res., 63: 59-87.
- Le Penneç J.L., Temel A., Druitt T., Froger J.L., Aydar E., Bourdier J.L., Camus G. and Gündoğdu M.N., 1994, "The Neogene to Quaternary ignimbritic field of Cappadocia", Excursion guide of Int. Vol. Cong. of IAVCEI, 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ. no: 3, pp 1-29.
- Maden Tetkik ve Arama (M.T.A.), 1989, "Geological map of - Kayseri H19 (compiled by E. Atabey) -Aksaray H18 (compiled by E. Atabey) quadrangles 1/100.000", Ankara.
- Pasquarè G., 1968, "Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia", in "atti Accad. Naz. Lincei", 9: 53-204.
- Pasquarè G., Poli S., Vezzoli L. and Zanchi A., 1988, "Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey", in "The Origin and Evolution of Arcs", Tectonophysics, 146: 217-230, F.C. Wezel (Editor).
- Schumacher R., Keller J. and Bayhan H., 1990. "Depositional characteristics of ignimbrites in Central Anatolia, Turkey", Proc. Int. Earth Sci. Cong. on Aegean Regions (Eds. Savascin and Eronat), 2: 435-449.
- Schumacher R., Mues U. and Koberski U., 1992, "Petrographical and Geochemical aspects and K/Ar - dating of ignimbrites in Cappadocia, Turkey", in "Abstract of the 6th Cong. of the Geol. Soc.", Athens.
- Temel A., 1992, "Kapadokya eksplosif volkanizmasının: petrolojik ve jeokimyasal özellikleri", PhD-thesis, p. 209, Hacettepe Univ., Ankara.
- Temel A., Gündoğdu M.N., Gourgaud A. and Le Penneç J.L., 1994, "Ignimbrites of Cappadocia: petrology and geochemistry", in "abstracts of Int. Vol. Con. of IAVCEI", 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ.
- Terzioğlu N., Yazman M., Namoğlu C. and Pinçe A., 1994, "The geology, volcanology, geochemistry, geophysics and geothermal energy potential of Acigöl (Nevşehir) area, Central Anatolia, Turkey", in "abstracts of Int. Vol. Congr. of IAVCEI", 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ.
- Toprak V., Keller J. and Schumacher R., 1994, "Volcano-tectonic features of the Cappadocian Volcanic Province", Excursion guide of Int. Vol. Cong. of IAVCEI, 12-16 september 1994, Ankara, Turkey, spec. publ. no: 7, 1-58.
- Whitten D.G.A. and Brooks J.R.V., 1972, "A dictionary of geology", trad. it. 1978, pp 1-392, Mondadori Editore, Milano.