

CARATTERIZZAZIONE STRUTTURALE DEL RILIEVO DEL M. MASSICO NELL'AMBITO DELL'EVOLUZIONE QUATERNARIA DELLE DEPRESSIONI COSTIERE DEI FIUMI GARIGLIANO E VOLTURNO (CAMPANIA SETTENTRIONALE)

A. Billi⁽¹⁾ - V. Bosi⁽²⁾ - A. De Meo⁽¹⁾

⁽¹⁾Dip.to di Scienze Geologiche, Università di Roma III, Roma

⁽²⁾Servizio Sismico Nazionale, Roma

ABSTRACT - *Structural characterization of Mount Massico in the framework of the Quaternary evolution of the coastal depressions of the Garigliano and Volturno Rivers (northern Campania, Italy)* - *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(1), 1997, 15-26 - The paper reports the results of a structural and geological study of the Mount Massico area in northern Campania carried out to define its recent tectonic evolution. The deformations of the Meso-Cenozoic marine successions and the volcanic deposits of Middle-Late Pleistocene are examined. The results of the structural analysis and data from the geological and geophysical literature indicate that the area has been subjected to predominant extensional mechanisms along NE-SW trending faults since, probably, the Early-Middle Pleistocene. Evidence of sinkhole structures and sunk Roman ruins (subsidence occurred in the last 10 ka) would suggest a recent probably historic tectonic activity along the NE-trending southeastern margin of Mt. Massico.

RIASSUNTO - *Caratterizzazione strutturale del rilievo del M. Massico nell'ambito dell'evoluzione quaternaria delle depressioni costiere dei fiumi Garigliano e Volturno (Campania settentrionale)* - *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(1), 1997, 15-26 - In questo lavoro presentiamo i risultati ottenuti da analisi geologico-strutturali effettuate nell'area del M. Massico (Campania settentrionale), allo scopo di porre alcuni vincoli sulla ricostruzione dell'evoluzione tettonica recente di tale settore. Sono state prese in considerazione le deformazioni che interessano il substrato pre-quaternario e i depositi continentali posti lungo i margini del rilievo. I risultati dell'analisi strutturale e il loro confronto con i dati geologici e geofisici esistenti hanno evidenziato lo sviluppo di una tettonica estensionale attiva almeno dal Pleistocene inferiore-medio, sviluppatasi lungo faglie a direzione NE-SW a prevalente componente normale. Tale estensione, anche se con tassi di deformazione ridotti, potrebbe essere ancora attiva lungo il margine meridionale di M. Massico.

Parole chiave: Analisi strutturale, neotettonica, tettonica estensionale, Monte Massico, margine laziale-campano, Italia
Key words: Structural analysis, neotectonics, extensional tectonics, Mount Massico, Latium-Campania margin, Italy

1. INTRODUZIONE

La differente evoluzione geodinamica tra l'arco appenninico settentrionale e quello meridionale, in termini di direzione e di velocità di migrazione dei sistemi compressivi, rispettivamente verso NE e E-ESE, è rispecchiata dalla differente geometria e cronologia di apertura dei bacini costieri, lungo il margine interno della catena. Dalla Toscana alla Campania si assiste infatti ad un notevole ringiovanimento dell'età dei sistemi distensivi, nel settore peri-tirrenico. L'elemento strutturale che ha svolto il ruolo di svincolo principale tra i due archi appenninici, anche in tempi recenti (Patacca *et al.*, 1990; 1991; Favali *et al.*, 1993) è rappresentato dal lineamento denominato "Ortona-Roccamonfina" (Locardi, 1982) il cui estremo meridionale è situato al confine laziale-campano, nell'area del M. Massico e del vulcano di Roccamonfina. Proprio in questo settore diversi elementi indicano un radicale cambio evolutivo durante il Quaternario: il cambiamento del chimismo nel vulcanismo della Provincia Campana, rispetto a quello conosciuto per la Provincia Comagmatica Romana; l'aumento di un ordine di grandezza dei tassi di subsidenza dei bacini costieri del settore campano (Ippolito *et al.*, 1973); il notevole aumento dei rigetti stratigrafici lungo i sistemi di faglia orientati NE-SW, a prevalente componente normale, almeno durante il Pleistocene medio (Bosi, 1994; Giordano 1995a; Giordano *et al.*, 1995), rispetto a quelli misurati

più a nord, e rispetto ai ben noti rigetti lungo i sistemi a direzione appenninica.

In quest'ambito il rilievo del M. Massico si pone come un'area di notevole interesse ai fini di una ricostruzione dell'evoluzione tettonica quaternaria di tutto il settore. La presenza inoltre di alcuni indizi di un processo di subsidenza tuttora attivo nella fascia costiera campana (Romano *et al.*, 1994), ci hanno indotto ad analizzare con maggiore dettaglio il rilievo di M. Massico (Fig. 1), ponendo particolare attenzione alle strutture bordiere che lo delimitano, in corrispondenza dei versanti nord-occidentale e sud-orientale.

A tal fine è stata effettuata una revisione critica della stratigrafia esistente, integrata da un rilevamento geologico alla scala 1:10.000, ed un'analisi strutturale delle formazioni pre- e post-quaternarie. Sono state inoltre prese in considerazione le deformazioni presenti nelle unità vulcaniche appartenenti al distretto vulcanico di Roccamonfina (630-53 ka; Radicati di Brozolo *et al.*, 1988; Ballini *et al.*, 1989a).

Nei seguenti paragrafi, dopo un breve inquadramento geologico, saranno descritte le caratteristiche stratigrafiche e strutturali dell'area e i risultati delle analisi geologico-strutturali effettuate lungo le principali fasce deformative. La discussione e l'interpretazione dei dati, anche con riferimenti alla letteratura esistente, verrà proposta nel paragrafo finale.

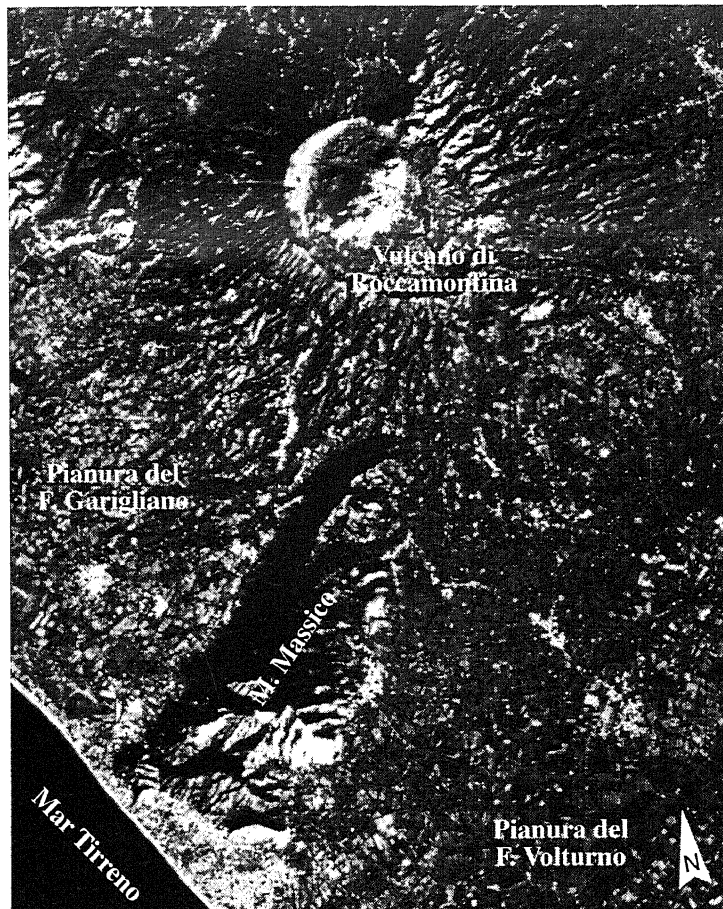


Fig. 1 - Immagine da satellite (Landsat) del M. Massico e delle aree adiacenti.

Mount Massico and adjacent areas: Landsat image.

1988; Ballini *et al.*, 1989a) essenzialmente lungo assi strutturali a direzione NE-SW e N-S con un *climax* nell'intervallo temporale 630-400 ka (Ballini *et al.*, 1989a; De Rita & Giordano, 1996).

Il M. Massico appare delineato come un alto strutturale impostatosi lungo sistemi di faglia a direzione antiappenninica che lo separano dalle due depressioni costiere del F. Garigliano e del F. Volturno (Bartole, 1984; Mariani & Prato, 1988). Le dislocazioni delle strutture bordiere sono evidenti nelle interpretazioni di alcune stese sismiche *on-* e *off-shore* (Figg. 2c, 2d) effettuate da Bartole (1984) e da Mariani & Prato (1988), rispettivamente. L'assetto strutturale delineato dall'analisi di tali sezioni sismiche trova inoltre conferma nelle anomalie gravimetriche riportate nel Foglio 171 (Gaeta) della Carta gravimetrica d'Italia 1:100.000 (Fig. 2b). Le anomalie infatti assumono valori positivi fino a 60 mGal in corrispondenza del M. Massico, mentre nella piana del Garigliano e nella parte settentrionale della Piana Campana si registrano dei minimi gravimetrici con valori pari rispettivamente a 10 e 25 mGal.

La subsidenza dei settori adiacenti il M. Massico,

movimento attivo per gran parte del Quaternario (Ortolani & Aprile, 1979, 1985; Romano *et al.*, 1994), potrebbe inoltre essersi protratta sino a tempi storici (Calderoni *et al.*, 1995); il ritrovamento nel tratto di mare antistante l'abitato di Mondragone, ad una profondità fino a -20 m s.l.m. (Pagano, 1974), dei resti di una città di epoca romana (III sec. a.C. circa) confermerebbe, infatti, l'ipotesi di una subsidenza ancora attiva nel settore costiero campano.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il margine tirrenico campano-laziale è costituito sostanzialmente da alti e bassi strutturali orientati in direzione longitudinale e trasversale rispetto alla catena appenninica, che si sono generati, a partire dal Pliocene inferiore, nel settore laziale a Nord dei M.ti Aurunci, e dal Pliocene superiore-Pleistocene inferiore in quello campano, migrando quindi nel tempo da NW verso SE.

Nella strutturazione del margine, alla differenza temporale nella genesi ed evoluzione delle pianure costiere laziali e campane, si somma una notevole e significativa differenza tra i due settori, relativa all'entità dei rigetti dei sistemi di faglia che hanno controllato l'evoluzione dei bacini costieri principali. Mentre infatti lungo il margine laziale il riempimento plio-quadernario dei bacini costieri assume spessori massimi di qualche centinaio di metri, nelle pianure litorali dei fiumi Garigliano e Volturno (settore meridionale) lo spessore delle unità quadernarie è di 700 m circa e di oltre 3.000 m (Figg. 2c, 3) rispettivamente nelle due depressioni (Ippolito *et al.*, 1973; Mariani & Prato, 1988).

L'area di svincolo tra i settori settentrionale e meridionale è ubicata tra i M.ti Aurunci ed il M. Massico dove, durante il Pleistocene medio, si è sviluppato un intenso vulcanismo (distretto vulcanico di Roccamorfinina, attivo tra 630 e 53 ka; Cortini *et al.*, 1976; Chiesa *et al.*, 1985; Luhr & Giannetti, 1987; Radicati di Brozolo *et al.*,

3. ELEMENTI DI STRATIGRAFIA

Per quanto concerne l'aspetto stratigrafico, in corrispondenza dei settori centrale e nord-orientale del M. Massico (Fig. 4) affiora una successione calcareo-dolomitica depostasi dal Trias superiore al Cretacico superiore, le cui relative facies deposizionali sono legate ad una sedimentazione tipica di piattaforma carbonatica (Valerio, 1964; 1966; Cestari, 1964; 1965) (Fig. 4). Sgrosso (1974) riconosce la presenza di terreni della piattaforma carbonatica campano-lucana in sovrapposizione su termini della piattaforma abruzzese-campana.

Le unità calcareo-dolomitiche, nel settore centrale, sono disposte secondo una monoclinale con direzione circa N-S e immersione ad Ovest. Nell'area centro-meri-

dionale, in corrispondenza di un'ampia zona di taglio caratterizzata da cinematica sia *strike-* che *dip-slip* (Fig. 4) lungo il contatto tra queste unità e quelle terrigene, gli strati ruotano fino ad assumere una direzione N40°W con immersione a SW.

Il Miocene, lungo il rilievo di M. Massico, è rappresentato dalle formazioni dei Calcari a briozoi e litotamni *Auct.*, Calcari mamosi a *Orbulina Auct.* e da più successioni terrigene, caratterizzate da variabilità di facies. Le differenti unità terrigene, distinte da vari autori (Cestari, 1964; 1965; Vallario, 1964; 1966; Sgrosso, 1974), per semplicità di indagine e in base agli obiettivi di questo lavoro, sono state unificate sotto un'unica formazione (Fig. 4).

Lungo la dorsale del M. Massico non sono stati rinvenuti sedimenti ascrivibili al Pliocene; nelle aree circostanti i litotipi pliocenici affiorano nei pressi di Formia dove, depositi conglomeratici di ambiente neritico, poggiati in discordanza sulle precedenti unità, testimoniano un'ingressione marina avvenuta nel Pliocene inferiore (Catenacci & Molinari, 1965). I sedimenti pliocenici sono stati inoltre individuati nel sondaggio Cellole Aurunci-1 (Fig. 3), ad una profondità di oltre 700 m.

I depositi quaternari, affioranti lungo le propaggini della dorsale montuosa e nelle piane adiacenti, sono costituiti essenzialmente da prodotti piroclastici, detriti di falda, ampie conoidi di deiezione, e da depositi fluvio-lacustri; lungo il litorale sono presenti dune e depositi di spiaggia attuale. Le unità vulcaniche quaternarie sono relative prevalentemente al distretto di Roccamonfina (630-50 ka), lungo il versante settentrionale, e al distretto dei Campi Flegrei (33±2 ka), lungo quello meridionale. L'inizio dell'attività del vulcano di Roccamonfina viene fatta risalire a 630 ka sulla base di datazioni radiometriche eseguite sui materiali lavici della parte più profonda del pozzo Gallo-1 (Ballini *et al.*, 1989a), ubicato all'interno della caldera dell'edificio principale. L'attuale edificio vulcanico si estende su di una superficie di 400 km² circa con un volume minimo di 100 km³ (Giannetti & Luhr, 1983). L'evoluzione complessiva del distretto vulcanico di Roccamonfina è stata suddivisa inizialmente in due fasi principali, rispettivamente a basso (*Potassium-Series*; KS) e alto (*High Potassium-Series*; HKS) contenuto in potassio (Giannetti, 1979; Ballini *et al.*, 1989a). Recentemente De Rita & Giordano (1996) hanno riconosciuto l'esistenza di tre fasi di attività (indipendentemente dal contenuto in potassio), cui corrispondono altrettanti supersintemi, ciascuno dei quali è caratterizzato da una differente attività vulcanica. I volumi di prodotti vulcanici eruttati durante queste tre fasi sono profondamente diversi (Fig. 5). Il volume maggiore di prodotti (100-120 km³) (Giannetti, 1979) è riferibile alla prima fase (630-400 ka), all'inizio della quale si ha la formazione dello strato-vulcano; contemporaneamente l'attività tettonica distensiva, che in questa regione si esplica lungo direttrici NE-SW, genera il collasso della sommità del vulcano (~ 400 ka).

La seconda fase (385-230 ka) è caratterizzata da un'intensa attività esplosiva che ha visto la messa in posto di cinque differenti sintemi: il *Brown Leucitic Tuff* (BLT di Luhr & Giannetti, 1987) e la serie dei *White Trachitic Tuff* (WTT di Giannetti & Luhr, 1983; Ballini *et*

al., 1989b). Il volume di prodotti messi in posto durante questa fase è stato stimato tra gli 8,5 e gli 11 km³ (Giordano 1995b).

L'attività dell'apparato centrale termina con la terza fase (230-53 ka), lasciando spazio alla messa in posto di colate laviche e piroclastiti da parte degli apparati eccentrici, per un volume totale di prodotti eruttati pari a circa 1 km³. L'età di messa in posto di alcune di queste colate risulta essere molto recente (53 ka; Radicati di Brozolo *et al.*, 1988).

Particolarmente esteso, nella zona di contatto tra il massiccio e la Piana Campana, è l'accumulo di materiale vulcanico proveniente dall'attività dei Campi Flegrei (Ignimbrite campana o Tufo grigio campano, *Auct.*). Tali depositi presentano caratteristiche tessiturali omogenee e la loro messa in posto è legata ad un'attività di colata piroclastica compresa tra 35 e 28 ka (Capaldi *et al.*, 1985). È stato stimato che, in origine, prima che intervenissero i processi erosivi, tale deposito ricoprì un'area di 30.000 km² con un volume complessivo pari a circa 500 km³ (Fisher *et al.*, 1993).

4. ANALISI GEOLOGICO-STRUTTURALE

Allo scopo di definire la geometria e la cinematica delle principali discontinuità, nonché i rapporti tettonici tra il M. Massico e le pianure circostanti, è stata condotta un'analisi strutturale concentrata prevalentemente lungo i margini del rilievo (Fig. 4), dove sono stati considerati principalmente elementi deformativi di tipo fragile (faglie e fratture).

Sono stati raccolti dati relativi a geometria e cinematica di circa 1.000 strutture alla scala dell'affioramento, comprese tra faglie, fratture estensive, piani di clivaggio e strutture plicative.

L'analisi statistica mesostrutturale, basata sui principi di Anderson (1951), Bott (1959) e Carey (1976), e condotta utilizzando il programma di Angelier & Goguel (1979), con gli aggiornamenti successivi allo stesso, è stata effettuata sia sulle formazioni carbonatiche e terrigene meso-cenozoiche, che sui depositi vulcanici affioranti a NE del M. Massico e relativi alle formazioni del distretto di Roccamonfina (Pleistocene medio-superiore).

Il confronto tra i due gruppi di dati ha infatti permesso una migliore definizione della scansione temporale degli eventi deformativi, necessaria per la comprensione dell'evoluzione tettonica recente della struttura di M. Massico.

Processi di *block rotation*, già ampiamente dimostrati in alcune aree adiacenti a quella del M. Massico (Mattei *et al.*, 1991) potrebbero spiegare la coesistenza di elementi strutturali ad orientazione differente, non solo con il succedersi di fasi tettoniche con diversa orientazione del campo di stress, ma anche e soprattutto, con la rotazione delle faglie in un campo a direzione costante. Ciononostante, si suppone che, dal Pleistocene medio-superiore (età dei depositi del Roccamonfina), eventuali rotazioni di blocchi siano state trascurabili o comunque tali da non inficiare l'indagine e che l'evolu-

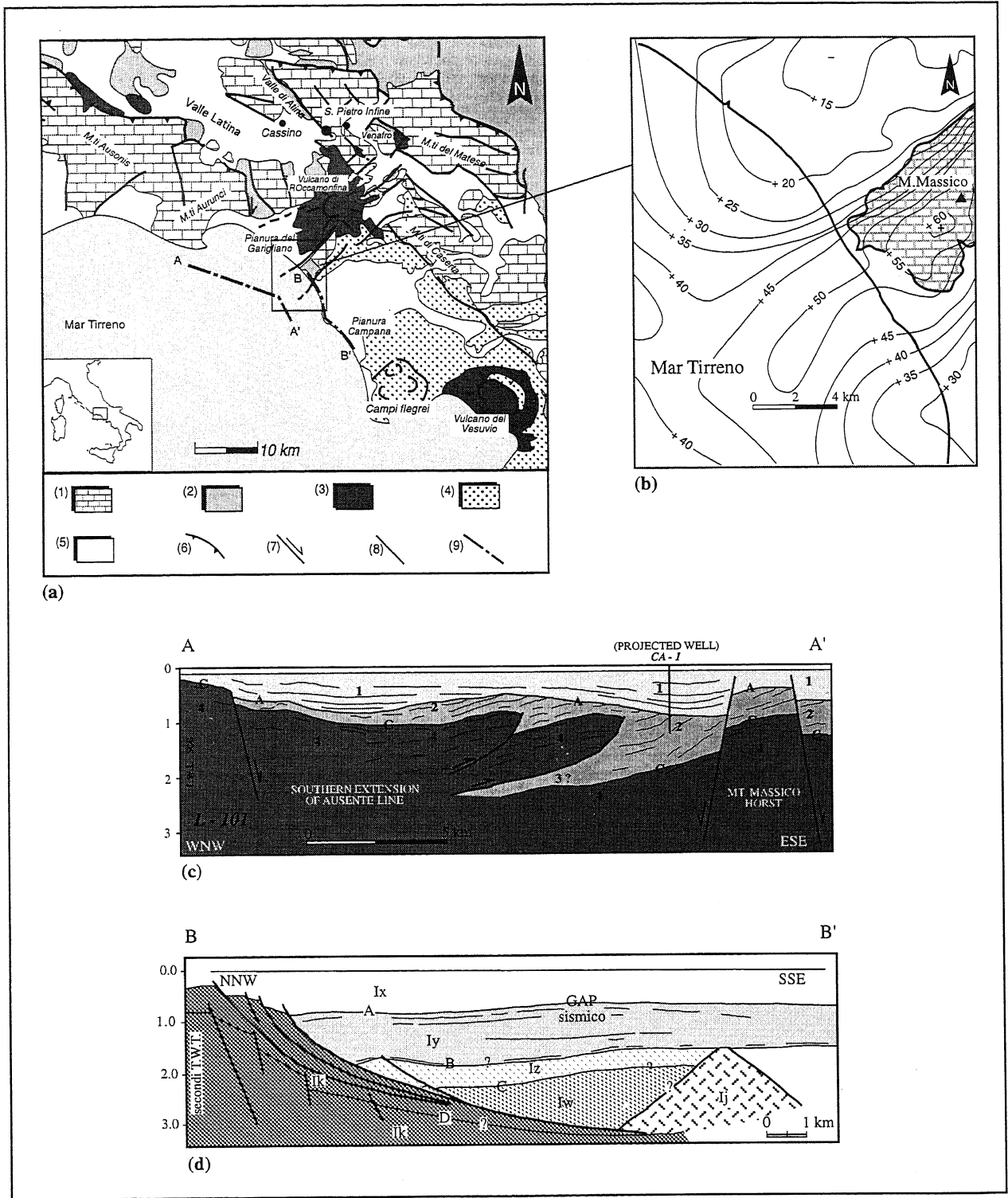


Fig. 2 - (a) Schema geologico-strutturale regionale del M. Massico e dei settori attigui. In legenda: (1) substrato carbonatico mesozoico (Triassico superiore-Miocene inferiore); (2) depositi terrigeni del dominio di piattaforma laziale-abruzzese (Miocene superiore-Messiniano); (3) depositi vulcanici del Vesuvio, del Roccamonfina e della Valle Latina (Pleistocene medio-Attuale); (4) depositi piroclastici dei Campi Flegrei (Pleistocene superiore); (5) unità continentali e marine delle depressioni interne e costiere (Pleistocene medio-Attuale); (6) sovrascorrimenti; (7) faglie trascorrenti; (8) faglie normali; (9) traccia delle sezioni geologiche riportate in Fig. 2c e 2d. Da Mattei *et al.* (1991), ridisegnata e rielaborata. (b) Carta delle anomalie secondo Bouguer ($g = 980.364,4 \text{ mGal}$; $d =$ variabile per settori da $1,8$ a $2,6 \text{ g/cm}^3$) (in carta il rilievo di M. Massico è caratterizzato da un mattonato grigio chiaro). Da: Carta Gravimetrica d'Italia, Foglio 171 (Gaeta), ridisegnata e rielaborata. (c) Interpretazione di un profilo sismico eseguito nell'*off-shore* campano-laziale. Legenda: (1) sequenza plio-quadernaria; (A) superficie di erosione; (2) sequenza mio-pliocenica; (3) sequenze alloctone terziarie; (C) top dell'unità 4; (4) substrato carbonatico; (?) superfici con andamento incerto. Da Bartole (1984), ridisegnata. (d) Interpretazione di un profilo sismico eseguito nella pianura Campana. Legenda: (Ix) argille di ambiente costiero (Pleistocene); (A) superficie di unconformity; (Iy) alternanze di banchi sabbiosi e argille di delta (Pleistocene); (B) superficie di erosione; (Iz) alternanze di sabbie e argille di [cont. p.19] →

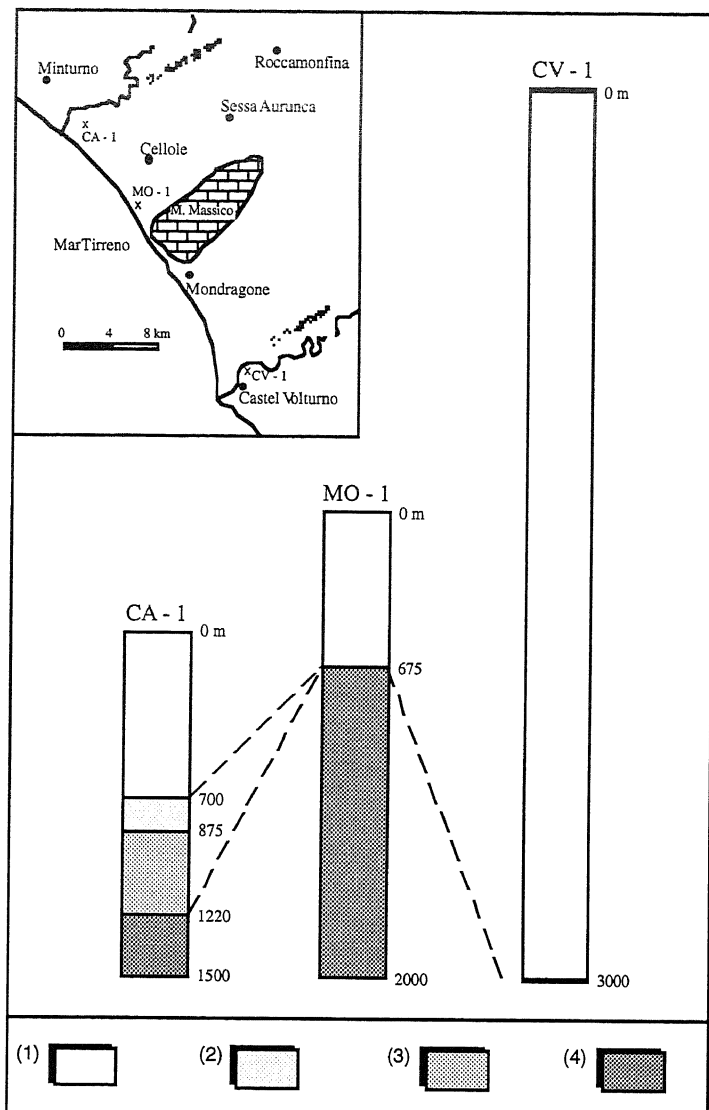


Fig. 3 - Ubicazione e stratigrafia dei sondaggi eseguiti nelle pianure dei fiumi Garigliano (CA-1 e MO-1) e Volturno (CV-1) (nello schema in alto a sinistra il rilievo di M. Massico è caratterizzato da un mattonato grigio chiaro). In legenda: (1) Quaternario; (2) attribuzione incerta tra il Pleistocene e la parte superiore del Pliocene inferiore; (3) Pliocene inferiore; (4) Miocene. Da Ippolito *et al.* (1973) e Bartole (1984), ridisegnata.

*Location and stratigraphic log of boreholes drilled in the plains of the Garigliano (CA-1 and MO-1) and Volturno (CV-1) rivers. Mount Massico is shown by the brick-like shaded area in the inset. Legend: (1) Quaternary; (2) probable Pleistocene or upper part of lower Pliocene; (3) lower Pliocene; (4) Miocene. Redrawn from Ippolito *et al.* (1973) and Bartole (1984).*

considerarsi più attendibili.

Vengono di seguito presentati, per settori differenti e per singole strutture, i risultati ottenuti mediante le analisi geologico-strutturali (Figg. 4, 6).

4.1 Margine sud-orientale

Alla base del versante sud-orientale del M. Massico (Fig. 4), è stato evidenziato un sistema di faglie con direzione variabile da N-S a N30°-40°E, caratterizzate da un'immersione verso E di 70° circa (Fig. 6: diagramma 1, 2, 3, 4). I sistemi di faglia riconosciuti costituiscono l'espressione di un elemento tettonico, a direzione NE-SW nella parte meridionale (Fig. 6: diagrammi 3, 4) e N-S in quella settentrionale (Fig. 6: diagrammi 1, 2), che delimita tutto il versante sud-orientale di M. Massico, mettendo in contatto le unità meso-cenozoiche con i depositi quaternari della Piana Campana (Fig. 4). Gli indizi cinematici sui piani di faglia riconosciuti nelle unità carbonatiche (strie di abrasione meccanica e strie in calcite) indicano una cinematica di tipo normale. L'asse di massima estensione calcolato presenta orientazioni variabili da E-W, nella parte settentrionale (Fig. 6: diagramma 1), a NW-SE nella parte centro-meridionale (Fig. 6: diagrammi 2, 3, 4).

zione tettonica sia stata caratterizzata da un limitato numero di episodi tettonici (1 o al massimo 2). Dunque, proprio in considerazione di tali limitazioni, i risultati dell'analisi effettuata sulle deformazioni più recenti sono da

[cont. da/ from p.18] ambiente deltizio (Pleistocene); (C) top delle sequenze lw e lj; (lw) alternanze di arenarie, conglomerati ed argille con livelli piroclastici (Pleistocene); (D) top della sequenza lk; (lk) argille con rare intercalazioni sabbiose (Pleistocene basale); (lj) vulcaniti in eteropia con lw e lk. Da Mariani & Prato (1988), ridisegnata.

(a) Regional geological-structural scheme of Mount Massico and adjacent areas. Legend: (1) Mesozoic carbonatic bedrock (Upper Trias- lower Miocene); (2) terrigenous deposits of the Latium-Abruzzi platform (upper Miocene-Messinian); (3) volcanic deposits of Vesuvius and Roccamonfina volcanoes, and of the Latina Valley (Mid-Pleistocene-Present); (4) Phlegraean Fields pyroclastic deposits (upper Pleistocene); (5) continental and marine units of internal and coastal depressions (Mid-Pleistocene-Present); (6) overthrusts; (7) strike-slip faults; (8) normal faults; (9) trace of the geological cross-section of Fig. 2c-d. Redrawn and re-elaborated from Mattei *et al.*, 1991. (b) Chart of Bouguer anomalies ($g = 980,364.4 \text{ mGal}$; $d = \text{from } 1.8 \text{ to } 2.6 \text{ g/cm}^3$) (Mount Massico is shown in the chart by the brick-like shaded area. Redrawn and re-elaborated from Carta Gravimetrica d'Italia, Sheet 171 (Gaeta). (c) Interpretation of an off-shore seismic profile located off the Latium-Campanian coast. Legend: (1) Plio-quaternary sequence; (A) erosion surface; (2) Mio-pliocenic sequence; (3) allochthonous sequences of Tertiary age; (C) top of unit 4; (4) carbonate bedrock; (?) surface of dubious pattern. Redrawn from Bartole (1984). (d) Interpretation of a seismic profile located in the Campania plain. Legend: (lx) coastal environment clay (Pleistocene); (A) unconformity; (ly) alternating sand and delta clay layers (Pleistocene); (B) erosion surface; (lz) alternating sand and clay of delta environment (Pleistocene); (C) top of lw and lj sequences; (lw) alternating layers of sandstone, conglomerate and clay with pyroclastic beds (Pleistocene); (D) top of lk sequence; (lk) clay with rare sand intercalations (lower Pleistocene); (lj) volcanic deposits heteropic with lw and lk. Redrawn from Mariani & Prato (1988).

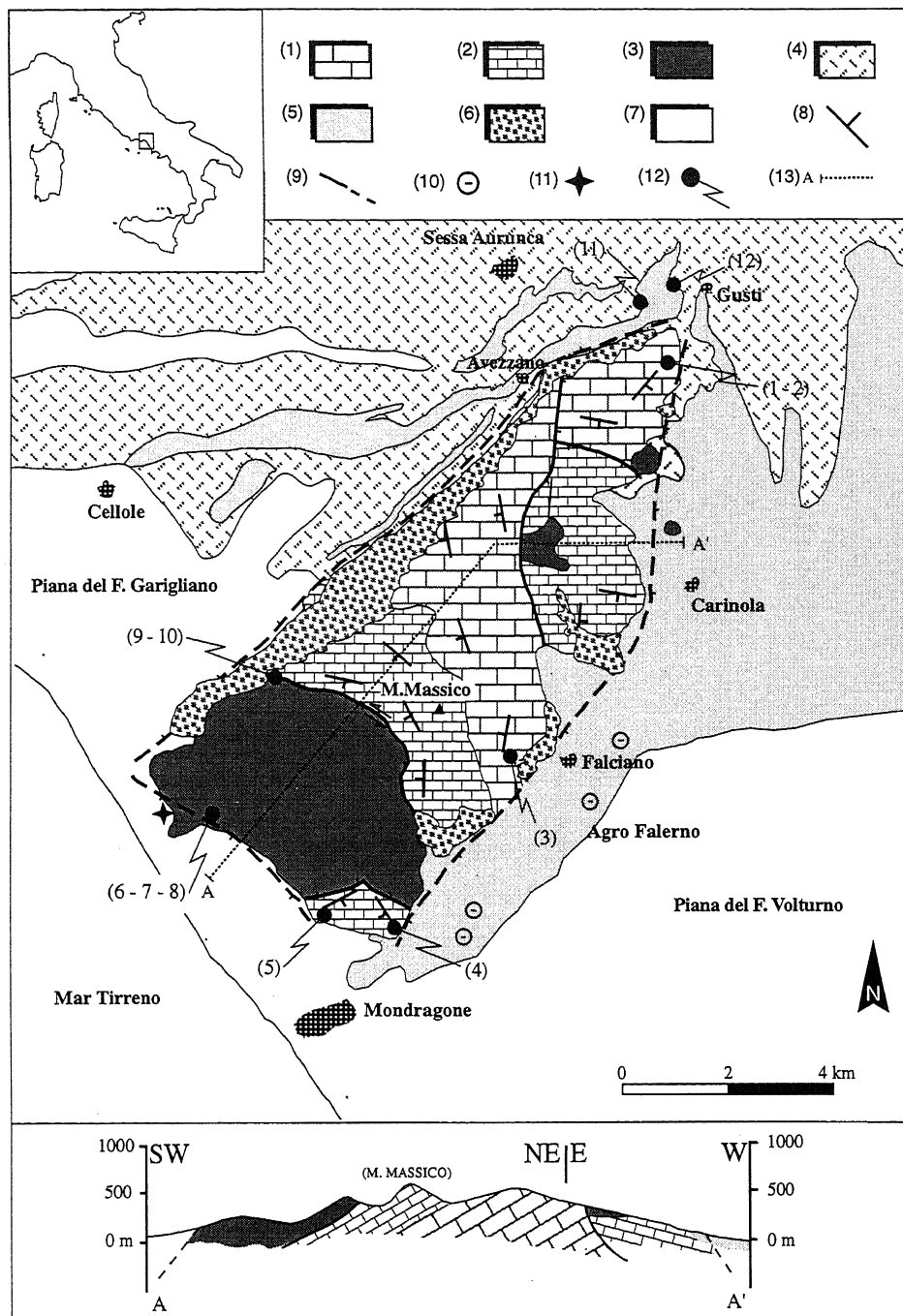


Fig. 4 - Schema geologico-strutturale del gruppo del Monte Massico. In legenda: (1) calcari e dolomie in facies di piattaforma carbonatica (Trias superiore-Giurassico); (2) calcari e dolomie in facies di piattaforma carbonatica (Cretacico e Miocene inferiore); (3) depositi terrigeni (Miocene); (4) depositi piroclastici del Roccamonfina (BLT e WTT) (Pleistocene superiore); (5) depositi piroclastici dei Campi Flegrei (Pleistocene superiore); (6) detrito di falda sciolto o debolmente cementato e coni di deiezione (Olocene); (7) depositi continentali, di transizione e sabbie fini della spiaggia attuale e della duna mobile (Olocene); (8) giacitura degli strati; (9) faglie (i trattini indicano la parte ribassata, le frecce indicano la direzione e il verso dei movimenti trascorrenti); (10) depressioni morfologiche della pianura Campana (sink-holes); (11) sorgenti termali sinuessane; (12) stazioni di rilevamento dei dati mesostrutturali e riferimento numerico ai diagrammi di Fig. 6; i dati di ciascuna stazione sono relativi ad un'unica formazione e ad un'area più ampia di quella sottesa dal simbolo grafico; (13) traccia della sezione geologica riportata nella parte inferiore della figura.

Geo-structural sketch of Mount Massico. Legend: (1) limestone and dolomites of the carbonate platform facies (upper Trias-Jurassic); (2) limestone and dolomites of the carbonate platform facies (Cretaceous-lower Miocene); (3) terrigenous deposits (Miocene); (4) pyroclastic deposits of Roccamonfina volcano (BLT and WTT) (upper Pleistocene); (5) pyroclastic deposits of the Phlegraean Fields (upper Pleistocene); (6) loose or mildly cemented debris deposit and alluvial fans (Holocene); (7) continental transitional deposits and fine-grained sand of present beach and mobile dune (Holocene); (8) attitude of strata; (9) fault (indentation marks the lowered part; arrows show direction and slip of transcurrent movements); (10) morphologic depressions (sink-holes) of the Campania plain; (11) Sinuessa hot springs; (12) surveying stations of mesostructural data and (in brackets) the number of diagrams in Fig. 6; data in each station refer to a single formation and cover an area greater than that subtended by the graphic symbol; (13) trace of the geologic cross-section shown in the lower part of the figure.

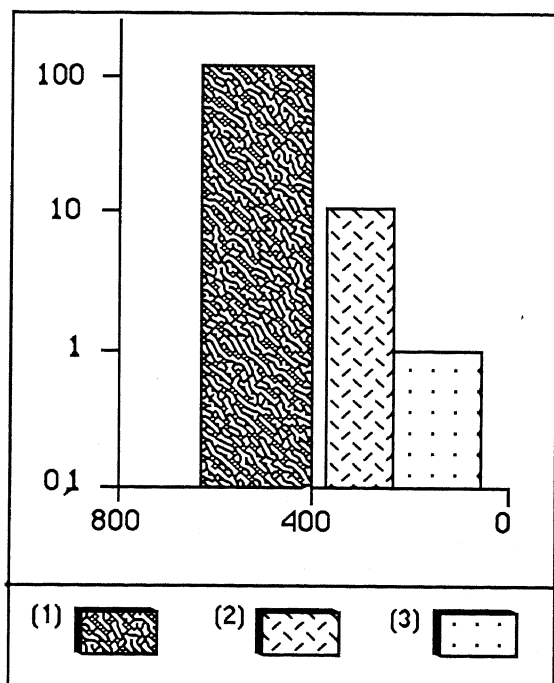
Alcuni dati geofisici (Mariani & Prato, 1988) evidenziano in profondità la continuazione dei sistemi di faglia superficiali sopra descritti. Si tratta di una serie di faglie listriche con disposizione a gradinata e con un rigetto complessivo di alcune migliaia di metri (Fig. 2c), caratterizzate da orientazione analoga a quelle del margine sud-orientale di M. Massico (NE-SW).

Nel settore nord-orientale di M. Massico è inoltre presente un altro evidente lineamento tettonico a direzione N-S, che si estende tra gli abitati di Falciano Selice e Avezano in Campania. Tale elemento, morfologicamente meno evidente del precedente, mette in contatto i calcari del Giurassico ad Ovest con i calcari del Cretacico e i soprastanti depositi terrigeni ad Est (Fig. 4), con un rigetto normale di alcune centinaia di metri. La mancanza di chiari indizi cinematici non ha permesso alcuna stima dell'eventuale componente orizzontale parallela alla direzione del piano di faglia.

4.2 Margine sud-occidentale

Alla base del versante sud-occidentale è stato riconosciuto un sistema di faglie parallelo alla direzione del versante stesso (N45°W) ed immersione variabile da 40° a 70° verso SW (Fig. 6: diagramma 6). Tali strutture sono caratterizzate da una cinematica a componente dip-slip prevalente con direzione di estensione N30°E. In questo settore l'analisi strutturale ha evidenziato la presenza di più sistemi di faglia con orientazioni diverse (Fig. 6: diagrammi 5, 6, 7, 8). Alcuni dei tensori calcolati (Fig. 6: diagrammi 5, 8) concordano con le direzioni di estensione E-W e NW-SE, già osservate lungo il versante sud-orientale.

Nella parte più occidentale del versante è stato riconosciuto un sistema di faglie trascorrenti destre, orientate N60°-70°E con immersione sia a NW che a SE di 70°-80° (Fig. 6: diagramma 7).



4.3 Margine nord-occidentale

Lungo il versante nord-occidentale l'analisi geologico-strutturale, limitata dall'estesa copertura detritica, è stata effettuata solo lungo i margini sud-occidentale e nord-orientale del versante stesso (Fig. 4). I dati acquisiti sono correlabili essenzialmente a due elementi tettonici principali: il primo, a direzione NE-SW coincidente con il versante stesso, definisce il limite tra le unità meso-cenozoiche di M. Massico e i depositi quaternari della piana del F. Garigliano; il secondo, a direzione NW-SE, individua il contatto tettonico tra i calcari di piattaforma e le unità terrigene nel settore sud-occidentale della dorsale.

Al primo elemento sono riconducibili le deformazioni riconosciute all'interno di differenti formazioni vulcaniche del Roccamonfina (*Brown Leucitic Tuff Auct.*, 385 ka; *White Trachytic Tuff Cupa Auct.*, 307 ka), nei pressi dell'abitato di Gusti. Le strutture riconosciute sono fratture subverticali beanti, con aperture fino a 10 cm e direzione preferenziale N50°-60°E e N-S (Fig. 6: diagrammi 11, 12) e, in misura minore, fratture e faglie normali orientate N60°E circa, immergenti di 80° sia a NW che a SE, prive di indizi cinematici e con rigetti verticali fino a 20-30 cm riconosciuti sulla base della dislocazione di paleosuoli o di livelli piroclastici.

I diagrammi 9 e 10 (Fig. 6) si riferiscono alle strutture associate al secondo elemento (contatto tettonico calcari-flysch a direzione NW-SE) (Fig. 4); si tratta della superficie che individua la sovrapposizione delle successioni terrigene mioceniche sui depositi calcareo-dolomiti meso-cenozoici. Tale struttura, affiorante lungo l'intera dorsale montuosa da SE a NW, è orientata N40°W circa ed è caratterizzata da un'immersione verso SW variabile tra i 25° e i 55°. L'analisi strutturale, effettuata sulla base dei dati raccolti in corrispondenza di tale elemento, ha messo in evidenza una cinematica complessa, caratterizzata da almeno due movimenti principali: il primo trascorrente sinistro (Fig. 6: diagramma 9), con direzione di movimento N40°W, il secondo *dip-slip* (Fig. 6: diagramma 10), con direzione di estensione circa N-S. Sulle superfici analizzate è stato possibile definire l'antecedenza della trascorrenza rispetto alla cinematica estensionale.

La presenza di intense e diffuse deformazioni compressive (clivaggi) nei depositi terrigeni affioranti nei pressi di tale struttura e la stessa geometria a basso angolo, poco compatibile con i movimenti trascorrenti riconosciuti lungo di essa, possono essere probabilm-

Fig. 5 - Volumi di prodotti eruttati durante le tre principali fasi di attività del distretto vulcanico di Roccamonfina (sull'asse delle ascisse sono rappresentati i valori temporali espressi in migliaia di anni; sull'asse delle ordinate sono rappresentati, in scala logaritmica, i volumi di prodotti eruttati in chilometri cubi). In legenda: (1) I fase di attività ($V = 100-120 \text{ km}^3$; $t = 630-400 \text{ ka}$); (2) II fase di attività ($V = 8-11 \text{ km}^3$ dry rock equivalent; $t = 385-230 \text{ ka}$); (3) III fase di attività ($V = 1 \text{ km}^3$; $t = 230-53 \text{ ka}$).

Amount of erupted products in the three main phases of activity of the Roccamonfina volcano [abscissas give the time in thousand years; ordinates (log scale) represent the amount of erupted products in cubic kilometres]. Legend: (1) 1st phase of activity ($V = 100-120 \text{ km}^3$; $t = 630-400 \text{ ka}$); (2) 2nd phase of activity ($V = 8-11 \text{ km}^3$ dry rock equivalent; $t = 385-230 \text{ ka}$); (3) 3rd phase of activity ($V = 1 \text{ km}^3$; $t = 230-53 \text{ ka}$).

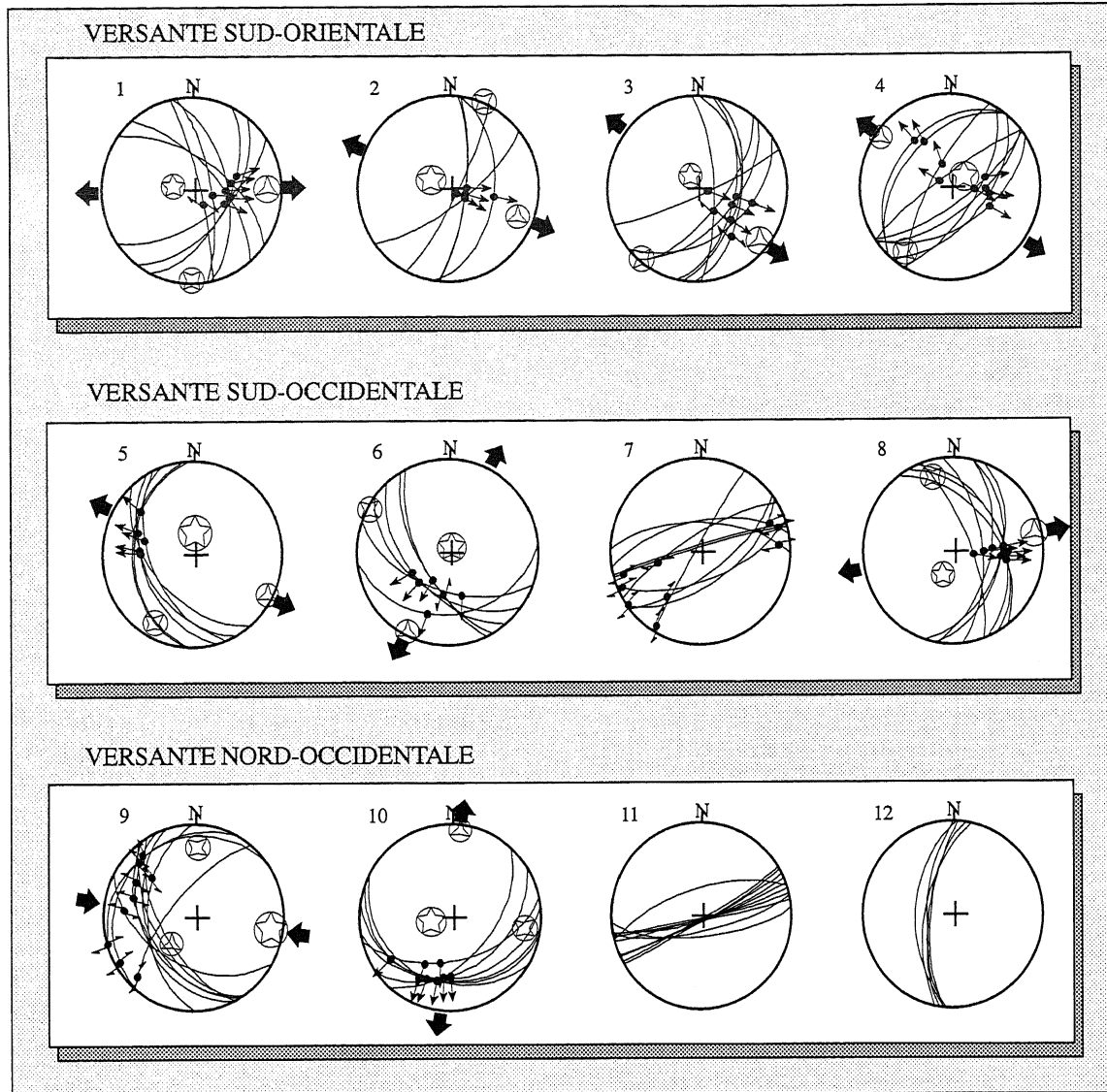


Fig. 6 - Diagrammi di Schmidt (emisfero inferiore) e tensori degli sforzi relativi ai dati mesostrutturali raccolti. Diagrammi da 1 a 10 riferiti a dati provenienti dal basamento pre-Quaternario. Diagrammi 11 e 12 riferiti a dati provenienti dai depositi quaternari. Per la localizzazione dei dati vedere Fig. 4.

Schmidt diagram (lower hemisphere) and measured stress tensors. Diagrams 1 to 10 refer to data from the pre-Quaternary substratum. Diagrams 11 and 12 show data from quaternary deposits. For data location see Fig. 4.

te legati alla tettonica compressiva che ha portato i depositi terrigeni a sovrapporsi alle successioni carbonatiche meso-cenozoiche.

L'indagine svolta sui depositi di Ignimbrite campana, affiorante prevalentemente alla base del versante sud-orientale del M. Massico e in misura minore nei settori posti a Nord e a Nord-Ovest dello stesso (Fig. 4), non ha evidenziato alcuna deformazione di tipo fragile.

5. DISCUSSIONE DEI DATI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nell'area studiata sono stati osservati indizi di una tettonica complessa, caratterizzata dalla sovrapposizione di elementi strutturali legati a processi estensionali di recente attività (Pleistocene) su strutture preesistenti, riconducibili a meccanismi compressivi e transpressivi.

I principali dati presentati possono essere riassunti sinteticamente come segue:

– Gli elementi deformativi più evidenti sono costituiti dai due sistemi di faglia che delimitano rispettivamente i versanti nord-occidentale e sud-orientale di M. Massico. L'analisi eseguita ha evidenziato per tali strutture una orientazione NE-SW e una cinematica caratterizzata da movimenti a prevalente componente normale NW-SE. Nel settore settentrionale, la faglia bordiera sud-orientale assume una direzione circa N-S a cui corrisponde un movimento normale, con direzione di massima estensione E-W.

– Le deformazioni fragili presenti nei litotipi vulcanici del distretto di Roccamonfina presentano orientazioni prevalenti N-S e NE-SW, riconducibili, ipoteticamente (a causa della mancanza di chiari indizi cinematici), ad un regime tettonico con direzione di massima estensione compresa tra E-W e NW-SE.

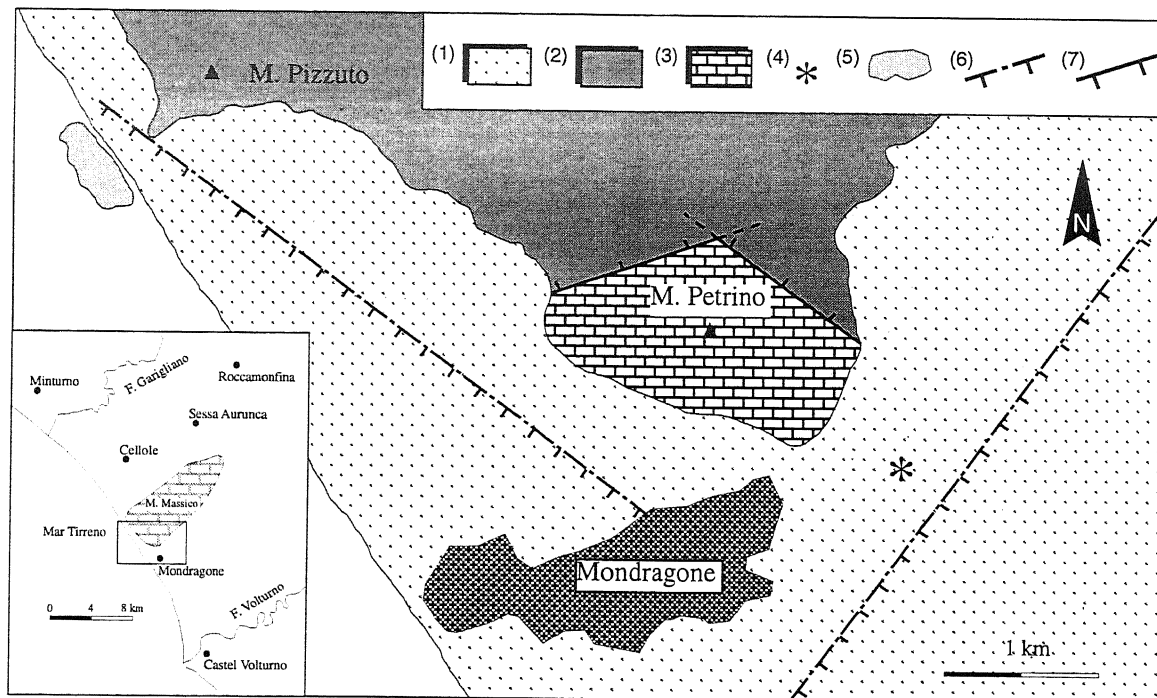


Fig. 7 - Schema geologico del settore meridionale del M. Massico (nello schema in basso a sinistra il rilievo di M. Massico è caratterizzato da un mattonato grigio chiaro). In legenda: (1) depositi vulcanici, continentali, di transizione e sabbie fini della spiaggia attuale e della duna mobile (Quaternario); (2) depositi terrigeni (Miocene); (3) calcari e dolomie in facies di piattaforma carbonatica (Cretacico superiore); (4) affioramento di sabbie e argille quaternarie (50 ka) di Romano *et al.* (1994); (5) area di ritrovamento dei resti del porto di dell'antica città di Sinuessa; (6) faglie (i trattini indicano la parte ribassata); (7) direzione delle principali discontinuità tettoniche (i trattini indicano la parte ribassata). L'area quadrettata in grigio scuro intorno alla scritta "Mondragone" rappresenta l'area abitata di tale comune.

Geological sketch of the southern part of Mount Massico (in the inset, the Mount Massico area is shown by the brick-like shaded area). Legend: (1) continental, transitional, and volcanic deposits and fine-grained sand of present beach and mobile dune (Quaternary); (2) terrigenous deposits (Miocene); (3) carbonate platform limestone and dolomites (upper Cretaceous); (4) sand and clay of Quaternary age (50 ka) (Romano et al., 1994); (5) archeological site of the port of the old town of Sinuessa; (6) faults (indentation shown the lowered part); (7) direction of main tectonic discontinuities (indentation show the lowered part). The dark grey squared area represents the extension of the "Mondragone" inhabited area.

I processi tettonici distensivi quaternari evidenti lungo tutto il margine tirrenico campano laziale, in questa area hanno avuto luogo lungo deformazioni NE-SW in risposta ad una direzione di massima estensione NW-SE.

La presenza di analoghi sistemi di faglia e di frattura con medesime geometrie deformative nelle formazioni vulcaniche del BLT (385 ka) e del WTT Cupa (307 ka), suggerisce che l'attività distensiva lungo i margini di M. Massico sia stata in effetti l'ultimo evento tettonico a cui l'area è stata sottoposta. Come evidenziato da Giordano (1995b) e De Rita & Giordano (1996), l'evoluzione stessa del distretto vulcanico di Roccamonfina, in termini di volumi di roccia eruttati, è da porre in relazione con i processi estensionali lungo direttrici tettoniche N-S e NE-SW. I meccanismi estensionali, iniziati nel Pleistocene inferiore, si sono protratti fino a gran parte del Pleistocene medio, con un acme di deformazione tra 630 e 400 ka e con una successiva graduale diminuzione del tasso di estensione lungo tali direttrici (Fig. 5).

Il limite superiore di questa attività non è facilmente individuabile. Se da un lato infatti l'assenza di deformazioni nell'Ignimbrite Campana (33±2 ka) nei pressi della struttura bordiera meridionale sembra indicare una sostanziale inattività tettonica, indizi della presenza di

strutture attive ad andamento NE-SW, lungo questo stesso margine al di sotto della copertura quaternaria, sono costituiti da alcune depressioni di forma circolare, profonde alcune decine di metri, ubicate nella zona di affioramento dell'Ignimbrite campana (Fossa Barbata, Fossa del Ballerino, Lago di Carinola e Fossa dell'Annunziata) (Fig. 4) e interpretate come sink-holes da Faccenna *et al.* (1992). L'allineamento di queste fosse (NE-SW) evidenzia la presenza nel substrato calcareo di fratture a direzione antiappenninica lungo le quali si è imposta una circolazione di fluidi che è alla base della loro genesi. Infatti, alcune indagini gravimetriche eseguite in corrispondenza di due depressioni (Fossa Barbata e Fossa del Ballerino) (Gasparini, 1966) hanno permesso di individuare una discontinuità tettonica ad una profondità di 90 m circa dal piano campagna, caratterizzata da un rigetto verticale dell'ordine dei 1.500 m.

Ulteriori indizi a supporto dell'attività delle faglie marginali di M. Massico durante il Pleistocene superiore sono stati riconosciuti da Romano *et al.* (1994). Gli Autori hanno infatti individuato nei pressi di Mondragone (Fig. 7) a quote sino a 20 m s.l.m. lungo le pendici meridionali del M. Massico, affioramenti di sabbie e argille, costituenti il substrato dell'Ignimbrite campana, che testi-

monierebbero il sollevamento recente della dorsale. La deposizione di questa unità infatti, in parte in ambiente marino e in parte in ambiente transizionale, risale a 50.000 anni fa (Romano *et al.*, 1994) quando il livello del mare era ad una quota di circa -30 m (Moore, 1982). Dunque, l'attuale quota di affioramento (20 m s.l.m.) di tale unità, sommata a quella di deposizione (-30 m s.l.m. circa) della stessa, sembra indicare un sollevamento complessivo dell'unità di circa 40-50 m (~ 1mm/anno).

Gli stessi Autori inoltre, ipotizzano che la subsidenza delle aree adiacenti il M. Massico sia stata attiva sino a tempi storici. La presenza infatti di resti dell'antico porto della città di Sinuessa (Fig. 7), roccaforte degli Ausoni conquistata dai Romani nel III sec. a.C., sepolti sul fondale marino in corrispondenza di Mondragone ad una profondità compresa tra i -2 e i -20 m sotto il livello del mare, ad una distanza massima dall'attuale linea di costa di 300 m (Pagano, 1974), avvalorano tale ipotesi. A tal proposito inoltre, Calderoni *et al.* (1995) hanno determinato, in base a datazioni radiometriche eseguite su alcuni depositi della pianura del Volturno, la curva di variazione del livello eustatico relativa agli ultimi 8.000 anni. Dalla curva si desume che il livello del mare nel III sec. a.C. era ad una quota di circa -2 m sotto il livello del mare; è dunque plausibile l'ipotesi che l'attuale posizione dei resti del porto dell'antica Sinuessa (tra i -2 e i -20 m sotto il livello del mare) siano almeno in parte attribuibili ad una subsidenza tettonica dell'area campana, attiva in tempi storici.

RINGRAZIAMENTI:

Gli autori ringraziano il Prof. Renato Funicello per l'essenziale contributo scientifico offerto loro durante i diversi momenti della ricerca, il dott. F. Galadini e il Prof. L. Vezzani per la proficua revisione finale del testo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Anderson E.M., 1951 - *The dynamics of faulting*. 2nd ed. Oliver & Boyd, Edimburgh.
- Angelier J. & Goguel J., 1979 - *Sur un méthode simple de détermination des axes principaux des contraintes pour une population de failles*. C.R. Acad. Sc. Paris, (D) **288**, 307-310.
- Ballini A., Barberi F., Laurenzi M.A., Mezzetti F. & Villa I.M., 1989a - *Nuovi dati sulla stratigrafia del vulcano di Roccamonfina*. Bollettino G.N.V., **2**, 533-556.
- Ballini A., Frullani A., & Mezzetti F., 1989b - *La formazione piroclastica del tufo trachitico bianco ("White Trachytic Tuff" - WTT Auct.) del vulcano di Roccamonfina*. Bollettino G.N.V., **2**, 557-574.
- Bartole R., 1984 - *Tectonic structure of the Latian-Campanian shelf (Tyrrhenian Sea)*. Boll. Ocean. Teor. Appl., **II**(3), 197-230.
- Bosi V., 1994 - *Evoluzione neotettonica del Lazio meridionale-Campania settentrionale, in corrispondenza della terminazione meridionale della linea tettonica "Ortona-Roccamonfina"*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- Bott M.H.P., 1959 - *The mechanism of oblique-slip faulting*. Geol. Mag., **96**, 109-117.
- Calderoni G., De Gennaro M., Ortolani F., Pagliuca S. & Toccaceli R.M., 1995 - *Evoluzione geologica e morfologica olocenica di aree costiere della Campania*. Riassunto in: "Geologia delle aree di avampaese". 77° Riunione Estiva - Congr. Naz. Soc. Geol. It., Bari 26-28 Settembre 1994, 167-170.
- Capaldi G., Civetta L. & Gillot P.Y., 1985 - *Geochronology of Plio-Pleistocene volcanic rocks from southern Italy*. Rend. Soc. It. Min. Petr., **40**, 25-44.
- Carey E., 1976 - *Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles*. Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys., **21**, 57-76.
- Catenacci E. & Molinari V., 1965 - *Sull'età dei conglomerati di Minturno (Lazio meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **86**, 27-43.
- Cestari G., 1964 - *Notizie geologiche sul flysch del Monte Massico (Caserta)*. Boll. Soc. Geol. It., **88**, 277-283.
- Cestari G., 1965 - *Descrizione geologica del gruppo del Monte Massico*. Boll. Serv. Geol. d'It., **86**, 45-64.
- Chiesa S., Cornette Y, Gillot P.Y. & Vezzoli L., 1985 - *New interpretation of Roccamonfina volcanic history*. Abstract, IAVCEI Meeting, Naxos, Sept. 1985.
- Cortini M., Roberti N. & Scandone R., 1976 - *Geocronologia e paleomagnetismo del vulcano di Roccamonfina*. Ann. Geof., **28**, 129-138.
- De Rita D. & Giordano G., 1996 - *Vulcanological and structural evolution of Roccamonfina Volcano*. British Geol. Soc. London, Spec. Publ. No. 110, 209-224.
- Faccenna C., Florindo F., Funicello R. & Lombardi S., 1992 - *Tettonic setting and sinkholes feature: case histories from western central Italy*. Quat. Proc., **3**, 47-56.
- Favali P., Funicello R., Mattiotti G., Mele G. & Salvini F., 1993 - *An active margin across the Adriatic Sea (central Mediterranean Sea)*. Tectonophysics, **219**, 109-117.
- Fisher R.W., Orsi G., Ort M. & Heiken G., 1993 - *Mobility of a large-volume pyroclastic flow-emplacment of the Campania ignimbrite (Italy)*. J. Volc. Geoth. Res., **56**, 205-220.
- Gasparini P., 1966 - *Indagini gravimetriche su alcune forme crateriche della Campania settentrionale*. Atti Acc. Pont., nuova serie, **15**, 9-19.
- Giannetti B., 1979 - *The geology of the Roccamonfina caldera (Campanian province, Italy)*. Giorn. Geol., **2** (XLIII), 187-206.
- Giannetti B. & Luhr J.F., 1983 - *The white trachytic tuff of Roccamonfina Volcano (Roman Region, Italy)*. Contrib. Min. Petr., **84**, 235-252.
- Giordano G., 1995a - *Evoluzione vulcanologico-strutturale del vulcano di Roccamonfina, con implicazioni circa l'evoluzione strutturale della depressione sommitale*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- Giordano G., 1995b - *Interpreting the stratigraphy of a volcano: the case of Roccamonfina Volcano (Southern Italy)*. Per. Miner., **64**, 193-195.

- Giordano G., Naso G., Scrocca D., Funicello R. & Catalani F. 1995 - *Processi di estensione e circolazione di fluidi a bassa termalità nella piana di Riardo (Caserta), Appennino centro-meridionale*. Boll. Soc. Geol. It., **114**(2), 361-371.
- Ippolito F., Ortolani F. & Russo M., 1973 - *Struttura marginale tirrenica dell'Appennino Campano: reinterpretazione dei dati di antiche ricerche di idrocarburi*. Mem. Soc. Geol. It., **15**, 227-250.
- Locardi E., 1982 - *Individuazione di strutture sismogenetiche dall'esame dell'evoluzione vulcano-tettonica dell'Appennino e del Tirreno*. Mem. Soc. Geol. It., **34**, 569-596.
- Luhr J.F. & Giannetti B., 1987 - *The Brown Leucitic Tuff of Roccamonfina Volcano (Roman Region, Italy)*. Contrib. Min. Petr., **95**, 420-436.
- Mariani M. & Prato R., 1988 - *I bacini costieri del margine tirrenico: approccio sismico-stratigrafico*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 519-533.
- Mattei M., Funicello R., Kissel C. & Laj C., 1991 - *Rotazioni di blocchi crostali neogenici nell'Appennino centrale: analisi paleomagnetiche e di anisotropia della suscettività magnetica (AMS)*. Studi Geol. Cam., vol. spec. 1991, 221-230.
- Moore W.S., 1982 - *Late Pleistocene sea-level history*. In: Ivanovich M. & Harmon R.S. (eds), *Uranium series Disequilibrium: Application to Environmental Problems*, Claredon Press, Oxford, 481-494.
- Ortolani F. & Aprile F., 1979 - *Nuovi dati sulla struttura della Piana Campana a SE del Fiume Volturno*. Boll. Soc. Geol. It., **97**, 591-608.
- Ortolani F. & Aprile F., 1985 - *Principali caratteristiche stratigrafiche e strutturali dei depositi superficiali della Piana Campana*. Boll. Soc. Geol. It., **104**, 195-206.
- Pagano M., 1974 - *Una città sepolta: Sinuessa*. Tipografia Severini, Napoli, 55 pp.
- Patacca E., Sartori R. & Scandone P., 1990 - *Tyrrhenian basin and apenninic arcs: kinematic relations since Late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, 425-451.
- Patacca E., Scandone P., Bellatalla M., Perilli N. & Santini U., 1991 - *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi Geol. Cam., vol. spec. 1991, 417-441.
- Radicati Di Brozolo F., Di Girolamo P., Turi B. & Oddone M., 1988 - *^{40}Ar - ^{39}Ar e K-Ar dating of K-rich rocks from the Roccamonfina Volcano, Roman Comagmatic Region, Italy*. Geoch. Cosmoch. Acta, **52**, 1435-1441.
- Romano P., Santo A. & Voltaggio M., 1994 - *L'evoluzione geomorfologica della pianura del Fiume Volturno (Campania) durante il tardo Quaternario (Pleistocene medio-superiore-Olocene)*. Il Quaternario It. J. Quat. Sci., **7**(1), 41-56.
- Servizio Geologico d'Italia - *Carta gravimetrica d'Italia 1:100.000, Foglio 171 (Gaeta)*.
- Sgrosso I., 1974 - *I rapporti tra la piattaforma carbonatica campano-lucana e la piattaforma abruzzese-campana al Monte Massico*. Boll. Soc. Geol. It., **93**, 1197-1209.
- Vallario A., 1964 - *Osservazioni geologiche sul gruppo del Monte Massico (Caserta)*. Mem. Soc. Geol. It., **4**.
- Vallario A., 1966 - *Geologia del Monte Massico (Caserta)*. Boll. Soc. Natur. in Napoli, **75**, 41-78.

Ms. ricevuto: 27 marzo 1996
 Inviato all'A. per la revisione: 20 luglio 1996
 Testo definitivo ricevuto: 15 nov. 1996

Ms received: March 27, 1996
 Sent to the A. for a revision: July 20, 1996
 Final text received: Nov. 15, 1996