

THE CONNECTION BETWEEN THE APULIA AND SAHARA CONTINENTAL MARGINS IN THE SOUTHERN APENNINES AND IN SICILY

Memoria di PAOLO SCANDONE (*), GIUSEPPE GIUNTA (**), & VINCENZO LIGUORI (***)

(presentata al 67° Congresso della Società Geologica Italiana. Parma 27-31 ottobre 1974).

Sicily, Calabria and the Southern Apennines form a very interesting portion of the Maghrebide-Apennine-Dinaride system, in which the W-E Maghrebide strike of the main units becomes S-N in Central Calabria, and finally SE-NW in the Southern Apennines.

The direction of the orogenic transport is southwards in Tunisia and Sicily, eastwards in Central Calabria, northeastwards in the Southern Apennines (fig. 1).

In Tunisia the pile of the Maghrebide nappes overthrusts the Northern Atlas mountains. The latter are a fold system, similar to the well known Jura mountain system, separated from the Sahara plate by the South Atlas fault. The role of this fault is not yet clear: it could represent a line of lateral displacement, separating a mobile Atlas sub-plate from the stable Sahara plate.

The so-called Ragusa platform⁽¹⁾ has been classically considered the African foreland of the Sicily nappes, but in reality the palinspastic connections between this belt and the more internal zones affected by tectogenesis, as well as the connections with the Atlas sub-plate are not yet completely clarified. It is probable, in any case, that the Ragusa zone is connected with Sahel and Northern Libya through Malta and the Sicily Channel. All these areas should belong to a less stable, marginal belt of the Sahara plate, the Pelagian sub-plate, separated from the Atlas sub-plate by the Zaghuan fault system. Moving southwards the Pelagian sub-plate becomes more and more stable, gradually passing into the Sahara plate *sensu stricto*.

The Apulia platform is the foreland of the Apennines. The original connections between this belt and the more internal zones affected by tectogenesis are well known.

Many Authors, following ARGAND, assume a continuous single foreland element from the Maghreb to

the Apennines, through the Apulia « nose ». Seismic profiles in the Ionian area, on the contrary, distinctly show that the Apulia platform bends towards Greece, and disappears, plunging beneath Peloponnese. Moreover, several geophysical data suggest a crustal composition of the Ionian area quite different from that of the Adriatic zone. The history of the Ionian area before Messinian is hardly known but, though scarce, the available data allow the possibility that an autonomous evolution, different from the evolution of the Sahara and the Apulia margins, occurred. We must not exclude the possibility that the Ionian area was a belt characterized by thinned crust during the whole Alpine cycle.

In conclusion, the foreland of the Maghrebide-Apennine system may be divided into three elements:

- the African element *sensu stricto*, at present moving northwards, as shown by compressional features at the foot of the Algerian continental slope (AUZENDE et al., 1972);
- the Ionian element, at present moving in a NW direction and subducting beneath the Calabria-Peloritani arc, with consequent calc-alkaline volcanism in the Aeolian Islands (BARBERI et al., 1973);
- the Apulia element, at present tectonically inactive.

To outline the evolution of these plate margins during the Alpine cycle, from Triassic until today, what

(*) Istituto di Geologia dell'Università. Largo S. Marcellino 10, Napoli, Italy.

(**) Servizio Geologico della Sicilia. Via M. G. Pernice 3, Palermo, Italy.

(***) Istituto di Geologia dell'Università. Corso Tukory 131, Palermo, Italy.

(¹) The Ragusa « platform » has been in reality an active basin from Late Triassic-Early Jurassic until Paleogene. It becomes a stable platform area only from Miocene times. An important mafic magmatic activity occurred here from Triassic to Cretaceous, and then from Miocene to Quaternary.

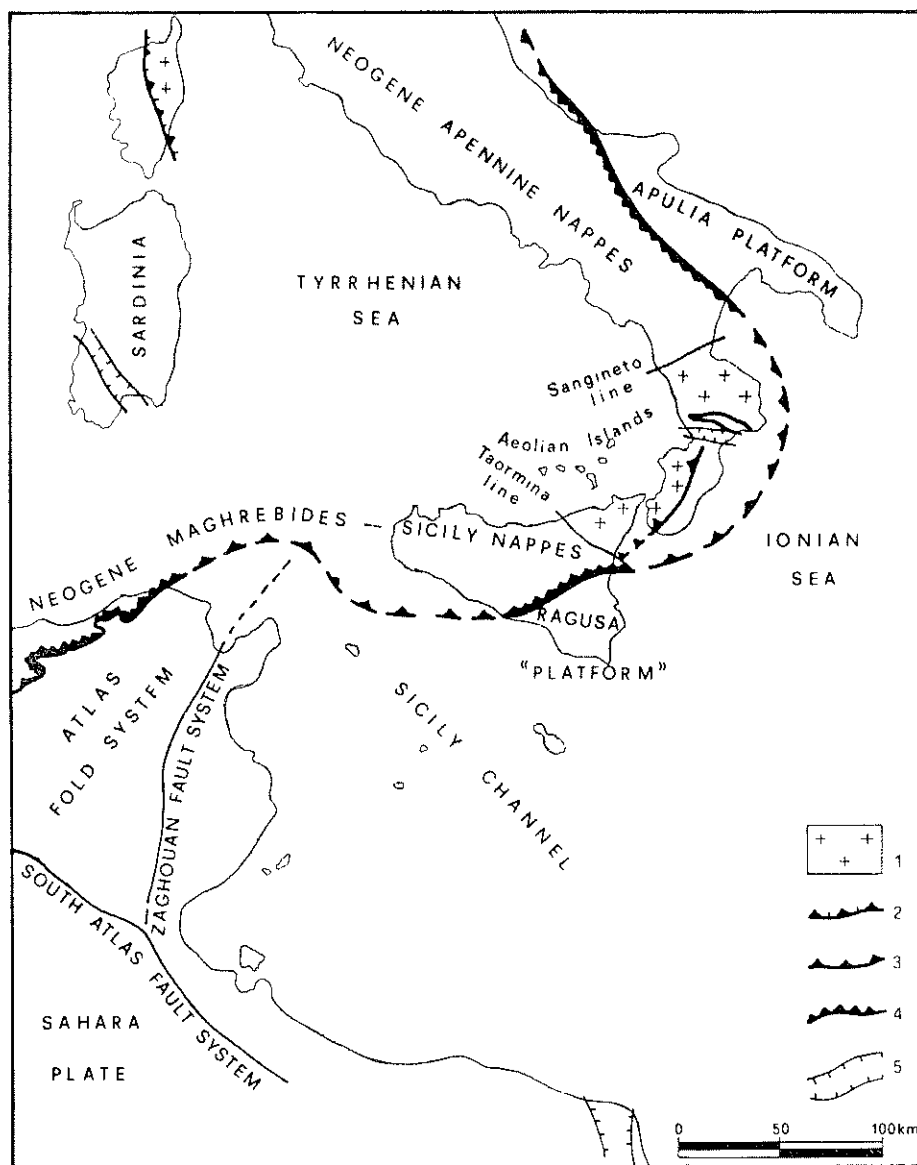


fig. 1 — Tectonic sketch of the Maghrebide-Apennine system in the area under discussion.

1. North-vergent (that is Europe-vergent) Paleogene Alpine nappes and south-vergent (that is Africa-vergent) Paleogene « South-alpine » nappes, overthrust upon the south-vergent Neogene Sicily-Apennine nappes.
2. Overthrust of the north-vergent Paleogene Alpine nappes upon Europe (Corsica-Sardinia microplate).
3. Overthrust of the Calabria-Peloritani belt upon the south-vergent Neogene Sicily-Apennine nappes.
4. Front of the south-vergent Maghrebide-Apennine chain.
5. Graben.

we first need is a sequence of palinspastic reconstructions. Fig. 2 shows a restoration of the Late Triassic paleogeography in the whole Mediterranean area. Fig. 3 is a more detailed reconstruction of the Upper Jurassic isopic zones in the area described in this paper. The original position of the paleogeographic units has been obtained fixing « stable » Europe and the Atlas subplate, smoothing out folds and nappes, removing the main lateral displacements and connecting those belts which are common to the Sahara and to the Apulia margins.

In table 1 the sequences relative to the single isopic zones are given.

Let us now briefly examine the evolution of these

isopic zones, that is the evolution of these plate margins, from Late Triassic till Quaternary.

Late Triassic. A remarkable seaway (Lagonegro seaway) penetrates deeply among shallow water carbonate platforms, and in Sicily it separates into two branches: the Imerese and the Sicani seaways. In Southern Sicily the Ragusa basin is in the process of being formed, but the connections with the other basins are unknown. West of Sicily the Triassic sedimentation has prevalent Germano-Andalusian facies.

Liassic. During Middle Liassic a widespread tectonic phase intersects the carbonate platforms: new subsident basins are created, large platform fragments sink below the photic zone and become places of con-

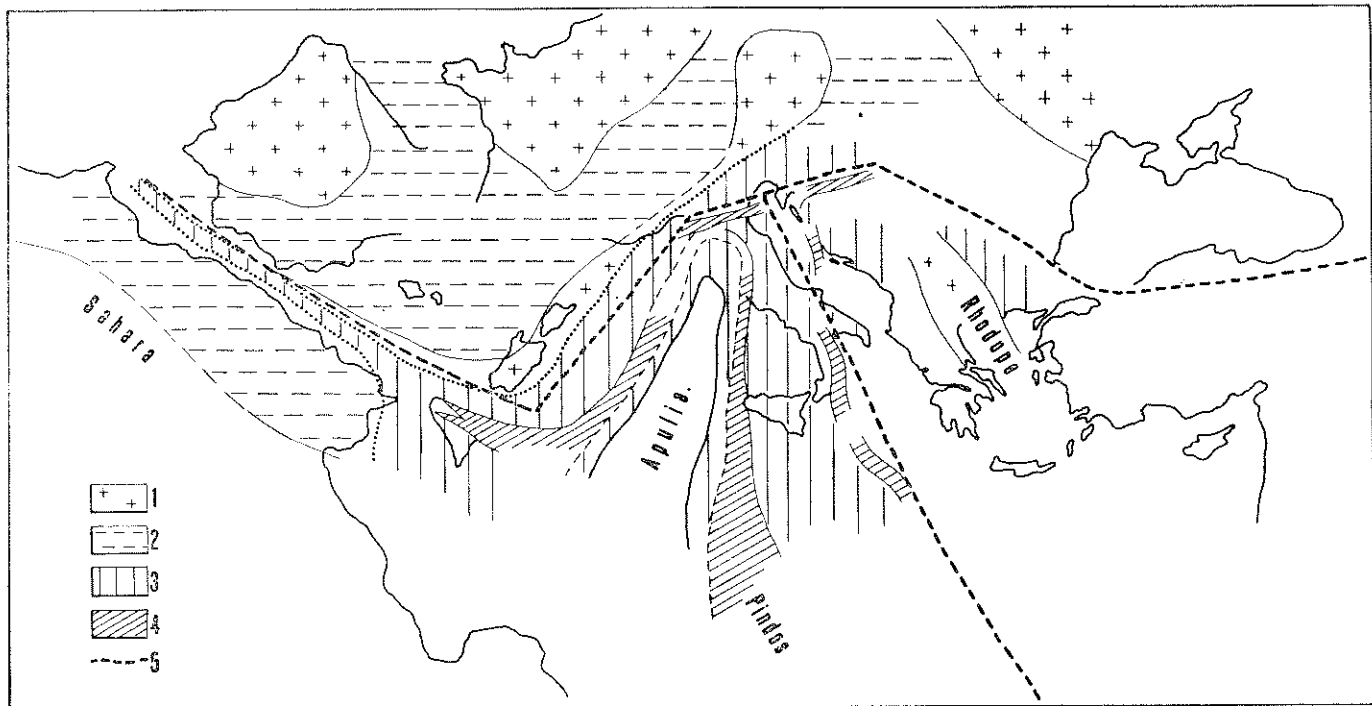


fig. 2 — Palinspastic restoration of the Late Triassic (Norian) paleogeography of the Central Mediterranean area (after SCANDONE, 1974).

1. Stable areas with slight subsidence.
2. Subsident basins with Germano-Andalusian facies.

3. Shallow water carbonates with Alpine facies.
4. « Seaways ».
5. Future lines of opening of the Tethys ocean.

densed pelagic sedimentation; in the uncollapsed areas which remain in the photic zone, high production of carbonates continues. The Imerse basin lengthens westwards, in the Maghreb direction. The dissection of the platforms and the deepening of the basins are accompanied in Sicily (Late Liassic-Early Dogger) by volcanic activity (tuffites in the platform areas, basalts and hyaloclastites in the basins). The paleogeography is now extremely more complicated than in Triassic times.

Dogger-Malm. The outlines sketched by the Middle Liassic tectonics become sharper; in the basins the sea floor generally exceeds the compensation depth of the carbonates, and the deposition is prevalently siliceous.

Cretaceous. The characters are slightly different; the margins of the basins are more active, and the deep sea conditions are generally less pronounced. In the platform areas local emersions occur (bauxites in the Abruzzi-Campania platform).

Paleogene. A lot of the carbonate platform areas emerges, while in the basins pelagic sedimentation, often interrupted by turbidite transport, continues. At the boundary Oligocene-Miocene terrigenous turbidite deposition begins in the Imerese-Lagonegro basin. The

corresponding flysch deposits (Numidian Flysch) extend today along the whole Maghreb and go on in the Southern Apennines as far as Abruzzi.

Miocene. The tectogenesis reaches now our isopic zones, the subduction of the African continental crust producing the peeling off and the tectonic imbrication of the sedimentary nappes. In this way the first nappes of the Maghrebide-Apennine system are piled up, and contemporaneously the « north-vergent » (that is Europe-vergent) Paleogene Alps partially overthrust the « south-vergent » (that is Africa-vergent) Neogene Maghrebide-Apennine nappes⁽²⁾. In the most curved part of the arc, the Maghrebide-Apennine nappes together with a large fragment of the adjacent — and partially overlying — Paleogene Alps are thrust towards the foreland more than the other parts of the chain. Two preferential lines of lateral displacement are recogni-

(2) The greatest part of the Calabria-Peloritani crystalline nappes belongs to a Paleogene mountain system originally continuing into the Alps, having vergence opposite to the vergence of the Maghrebide-Apennine system. This part of the Alps overthrust *in toto* upon the Apennines during Early Miocene. In the Alpine nappes in Calabria the oldest compressive phases which are known, are Cretaceous in age (glaucophane schists).

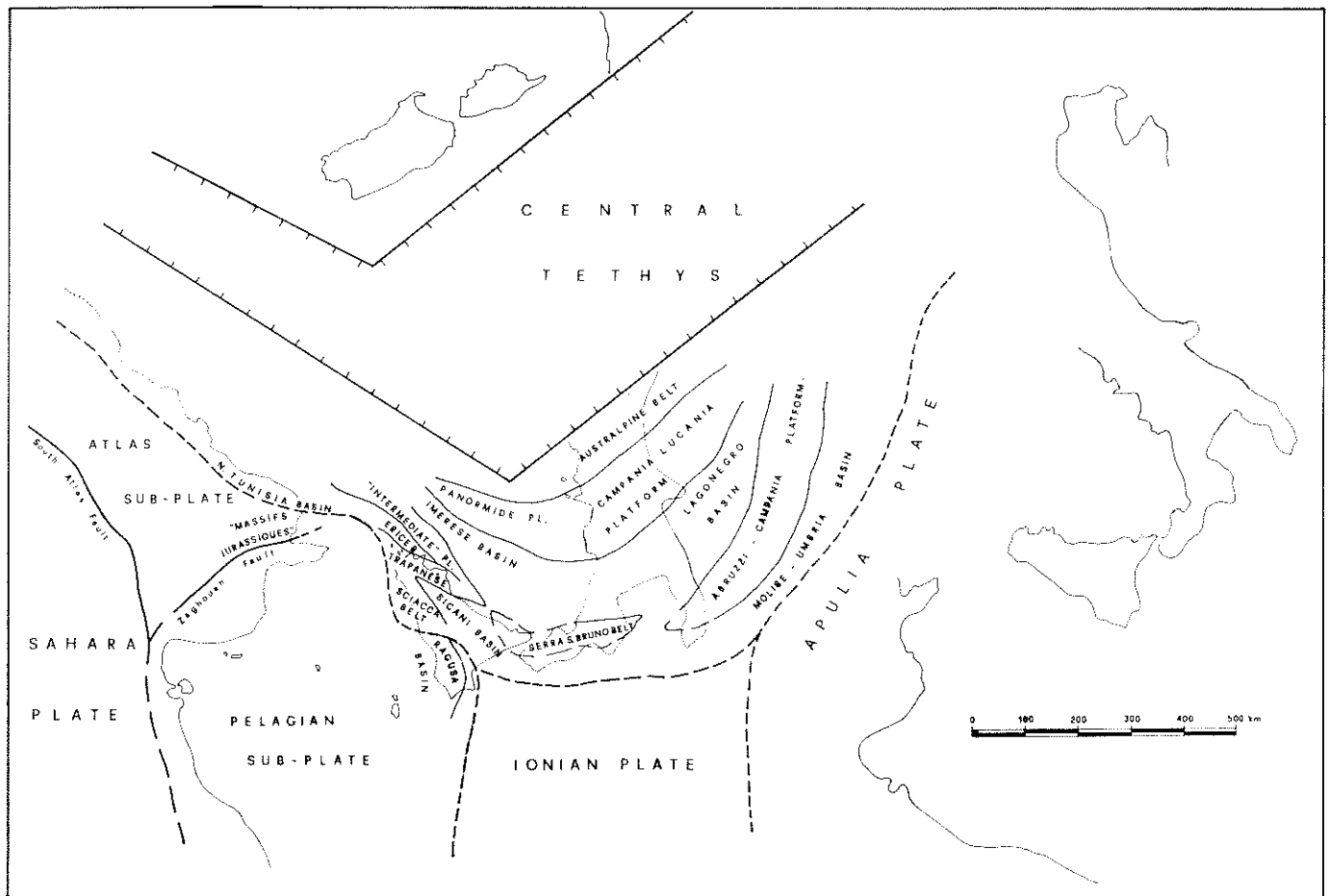


fig. 3 — The isopic zones of the southern continental margin of the Tethys, connecting the Sahara and the Apulia plates during Late Jurassic times. The position of the Serra S. Bruno belt is highly uncertain.

zable: the sinistral Sangineto line in Calabria and the dextral Taormina line in Sicily. The Calabria-Peloritani arc is thus clearly drawn. In Late Miocene the Maghrebide-Apennine chain is constructed on the main lines.

Pliocene. Continuing the subduction, the chain as a whole is thrust upon the foreland for at least 30 kilometres: the Calabria-Peloritani arc is, of course, strongly emphasized. In this time the most internal parts of the Maghrebide-Apennine system and the greatest part of the system Alps collapse in the present Tyrrhenian Sea area.

Quaternary. The Apulia margin becomes inactive, while the Sahara and mainly the Ionian margins are still active. The calc-alkaline volcanism of the Aeolian Islands and the deep focus earthquakes below the Tyrrhenian Sea witness the present compression along the Ionian margin.

Contemporaneous tensional processes -younger th-

an the main compressive tectonic phases (Middle-Upper Pliocene) are, on the contrary, responsible for all other Quaternary volcanism (BARBERI et al., 1973).

In conclusion, looking at the palinspastic map of fig. 3, we see that the sector under discussion, about 1000 kilometres long, of the southern continental margin of the Tethys has been affected by compression for 250-400 kilometres in width from Burdigalian up to the present time (18 MY). This corresponds to an average subduction rate of about 1, 4-2, 2 cm/year. But the nappes which make up the Maghrebide-Apennine system represent only the skin of the corresponding lithospheric plates: a lot of crust disappeared in the asthenosphere. This is a general fact in mountain building, as LAUBSCHER (1970, 1971, 1974) has clearly demonstrated.

In a two-dimensional calculation, assuming a continental margin affected by compression for an average

of 300 kilometres, we obtain in our area 300.000 square kilometres of paleogeographic realms which took part in the deformation. If we average the width of the chain at 130 kilometres, we can deduce that 170.000 square kilometres — that is, more than half of the original surface — have been subtracted from the system.

In a three-dimensional calculation, assuming at the beginning of the Alpine cycle an average thickness of continental crust of 30 kilometres, we obtain 9 million cubic kilometres of continental crust affected by deformation. Seeing that the present width of the chain is 130 kilometres, and assuming here an average depth of the Moho at 40 kilometres, we can calculate a volume of 5,2 million cubic kilometres. More than the third of the original volume of crust is lost, having been subtracted from the system. In effect, the denser, lower continental crust takes part in the subduction with the mantle, and only the upper crust is packed into the roots of the chain.

We must bear in mind these considerations, when we play with plate motion in the Mediterranean area, and realize that our chess-board is not a closed kinematic system.

ACKNOWLEDGMENTS. The writers are grateful to P. GASPARINI and to H. P. LAUBSCHER for many stimulating discussions, and to F. IPPOLITO for his critical reading of this manuscript. This work was partially supported by the Consiglio Nazionale delle Ricerche of Italy, grants n. 730029.05 and n. 730055.05.

Manoscritto ricevuto il 29 dicembre 1975.

BIBLIOGRAPHY

- ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI (1973) - Atti del Convegno sul tema « *Moderne vedute sulla Geologia dell'Appennino* ». Roma, 16-18 febbraio 1972.
- ALVAREZ W. & GOHRBANDT K. H. A., Editors (1970) - *Geology and history of Sicily*. Petr. Expl. Soc. of Libya.
- AUZENDE J. M. (1971) - *La marge continentale tunisienne: résultats d'une étude par séismique réflexion, sa place dans le cadre tectonique de la Méditerranée occidentale*. Mar. Geophys. Res., **1**, 162-177.
- AUZENDE J. M., OLIVET J. L. & BONNIN J. (1972) - *Une structure compressive au nord de l'Algérie*. Deep-Sea Res., **19**, 2, 149-155.
- BARBERI F., CIVETTA L., GASPARINI P., INNOCENTI F., SCANDONE R. & VILLARI L. (1974) - *Evolution of a section of the Africa-Europe plate boundary: paleomagnetic and volcanological evidence from Sicily*. Earth and Plan. Sc. Lett., **22**, 123-132.
- BARBERI F., GASPARINI P., INNOCENTI F. & VILLARI L. (1973) - *Volcanism of the Southern Tyrrhenian Sea and its geodynamic implications*. Journ. Geophys. Res., **78**, 5221-5232.
- BOCCALETTI M. & GUAZZONE G. (1972) - *Gli archi appenninici, il Mar Ligure e il Tirreno nel quadro della tettonica dei bacini retro-arco*. Mem. Soc. Geol. It., **11**, 201-216.
- BONARDI G., PESCATORE T., SCANDONE P. & TORRE M. (1971) - *Problemi paleogeografici connessi con la successione mesozoico-terziaria di Stilo (Calabria meridionale)*. Boll. Soc. dei Natur. in Napoli, **80**, 147-159.
- BUROLLET P. F. (1971) - *La Tunisie*. In Tectonique de l'Afrique. Unesco, Paris.
- COLOMBI B., GIESE P., LUONGO G., MORELLI C., RIUSCETTI M., SCARASCIA S., SCHUTTE K. G., STROWALD J. & VISENTINI G. (1973) - *Preliminary report of the seismic refraction profile Gargano-Salerno-Palermo-Pantelleria (1971)*. Boll. Geof. Teor. e Appl., **15**, 225-254.
- DEWEY J. F., PITMAN W. C., RYAN W. B. F. & BONNIN J. (1973) - *Plate tectonics and evolution of the Alpine system*. Geol. Soc. Am. Bull., **84**, 3137-3180.
- DIETRICH D. & SCANDONE P. (1972) - *The position of the basic and ultrabasic rocks in the tectonic units of the Southern Apennines*. Atti Acc. Pontan., n.s. **21**, 61-75.
- FINETTI I. & MORELLI C. (1972) - *Wide scale digital seismic exploration of the Mediterranean Sea*. Boll. Geof. Teor. ed Appl., **14**, 291-342.
- GIUNTA G. & LIGUORI V. (1972) - *La geologia dell'estremità nord-occidentale della Sicilia*. Riv. Min. Sicil., **23**, 165-226.
- GIUNTA G. & LIGUORI V. (1973) - *Evoluzione paleotettonica della Sicilia nord-occidentale*. Boll. Soc. Ital., **92**, 943-924.
- HACCARD D., LORENZ C., GRANDJACQUET C. (1972) - *Essai sur l'évolution tectogénétique de la liaison Alpes-Apennines (de la Ligurie à la Calabre)*. Mem. Soc. Geol. Ital., **11**, 309-341.
- IPPOLITO F., D'ARGENIO B., PESCATORE T. & SCANDONE P. (1973) - *Unità stratigrafico-strutturali e schema tettonico dell'Appennino meridionale*. Petr. Expl. Soc. of Libya, Geol. and history of Italy. Pre-print.
- LAUBSCHER H. P. (1970) - *Bewegung und Wärme in der Alpenen Orogenese*. Schw. Min. Petr. Mitt., **50**, 565-596.
- LAUBSCHER H. P. (1971) - *The large-scale kinematics of the Western Alps and the Northern Apennines and its palinspastic implications*. Am. Journ. of Sc., **271**, 193-226.
- LAUBSCHER H. P. (1974) - *Evoluzione e struttura delle Alpi*. Le Scienze, **72**, 48-59.
- MARTIN L., Editor (1967) - *Geology and History of Libya*. Petr. Expl. Soc. of Libya.
- SCANDONE P. (1972) - *Studi di geologia lucana: carta dei terreni della serie calcareo-silico-marnosa e note illustrative*. Boll. Soc. dei Natur. in Napoli, **81**, 225-300.
- SCANDONE P. (1975) - *Triassic seaways and the Jurassic Tethys*

Ocean in the Central Mediterranean area. Nature, **256**, 117-119.

WEZEL F.C. (1973) - *Diacronismo degli eventi geologici oligo-*

miocenici nelle Maghrebidi. Riv. Min. Sicil., **24**, 219-232.

WEZEL F.C. & RYAN W.B. (1971) - *Flysch, margini continen-*
tali e zolle litosferiche. Boll. Soc. Geol. Ital., **90**, 249-268.

DISCUSSIONE

Intervento di S. CUCUZZA SILVESTRI - Nello schema illustrato è stato preso in considerazione il *vulcanismo* siciliano (e specialmente quello eoliano)? Nel caso che questo problema non sia stato sufficientemente affrontato, ci si può attendere che esso possa servire eventualmente da *conferma*, o comunque da « *controllo* », tenendo conto soprattutto dei diversi tipi di vulcanismo che si manifestano nell'area presa in considerazione?

Risposta di P. SCANDONE - L'intervento del prof. CUCUZZA SILVESTRI mi offre l'opportunità di tornare su di una serie di punti che ho trattato di sfuggita per mancanza di tempo.

L'Italia meridionale, e la Sicilia in particolare, offrono un magnifico campionario di tipi di vulcanismo, lungo un arco di tempo di oltre 200 milioni di anni, legati a fenomeni tettonici di diversa natura e significato.

Le manifestazioni più antiche del ciclo alpino sono da mettere in relazione al tentativo di rifting mediotriassico, che interessò tutte le aree prospicenti l'attuale Mediterraneo. Si tratta di lave basiche e iacolastiti che nel Lagonegrese e nei Sicani sono intercalate entro i depositi terrigeni della formazione di M. Facito (pseudo-flysch di età anisico-ladinica). Nel Trias superiore si registra ancora vulcanismo basico in aree di piattaforma in via di dissezione (es. isola di Marettimo), mentre in bacini precoci (M. Iudica in Sicilia, Lagonegrese) si depositano tufiti, il cui chimismo, però, è ancora mal conosciuto.

Al Lias superiore-Dogger spettano le vulcaniti basiche del bacino imerese e di quello sicano, nonché quelle incontrate in perforazioni profonde nel bacino molisano. Sempre nel Giurassico medio manifestazioni vulcaniche accompagnano la tettonica sinsedimentaria distensiva nei seamounds trapanesi.

Significato analogo hanno le lave e le iacolastiti cretatiche della « piattaforma intermedia » siciliana e del bacino di Erice.

Il vulcanismo basico dell'avampese ragusano-ibleo mi sembra un caso estremamente particolare, data la persistenza dell'attività dal Trias al Quaternario, con interruzione solo nel Paleogene.

Fin qui il vulcanismo può essere messo in relazione a fatti tensivi che hanno variamente interessato il margine continentale africano. A partire dal Miocene inferiore le zone oggetto di questo studio sono sottoposte a compressione, e di conseguenza il quadro del vulcanismo cambia radicalmente. Nel Miocene medio e superiore sono note tufiti e cineriti di probabile natura calc-alcalina, ma sono ancora sconosciute le aree di provenienza del materiale.

Le ben note tufiti di Tusa non rientrano nel nostro lavoro, che abbraccia solo le zone esterne della catena.

Per il vulcanismo recente (compreso il vulcanismo calc-alcalino delle Eolie) rimandiamo all'interpretazione di BARBERI e altri, 1973.

Intervento di P. CASERO - Prendendo spunto dalla relazione del prof. SCANDONE e con riferimento a precedenti, vorrei notare come sia stato indicato un margine della catena Telliana-Siculo-Appenninica che a mio avviso è in realtà la componente di due ordini di deformazioni successive: il primo, ad andamento parallelo alle zone isopiche mesozoiche, il secondo successivo, diagonale alle stesse. Il secondo ordine di margini inizia ad individuarsi probabilmente dal Miocene medio, nelle aree immediatamente interne alla catena appenninica a probabile crosta oceanica.

In Sardegna esiste una fase distensiva miocenica inferiore responsabile dell'apertura del Graben del Campidano e delle emissioni laviche « oligo »-mioceniche.

Al largo delle Baleari è stato perforato un pozzo del DSDP che penetra evaporiti miocenico-superiori e sedimenti del Miocene medio sovrastanti a vulcaniti. Analoghi risultati stratigrafici sono stati raggiunti dai pozzi per ricerca di idrocarburi perforati nel Campidano.

Tra il massiccio sardo-corso e le Baleari si hanno forti sospetti dell'esistenza di una crosta di spessore molto ridotto.

L'insieme di queste evidenze fa sospettare un ruolo molto importante delle fasi orogeniche post-Miocene inferiore nel raggiungimento dell'attuale assetto strutturale. Si prospetta la ipotesi che tali fasi siano connesse con una traslazione relativa della zolla africana verso oriente rispetto all'Europa, iniziata nel Miocene inferiore.

Risposta di P. SCANDONE - CASERO parla, nell'evoluzione di questo settore del Mediterraneo, di due ordini di deformazioni successive. Non vi è dubbio che la storia è molto complessa.

Innanzitutto è da dire che le zone isopiche giurassiche spesso non coincidono con quelle triassiche, dal momento che l'apertura della Tetide Centrale non ha seguito le vie del tentato rifting mediotriassico. Nel Cretacico-Paleogene lungo tutto il margine settentrionale del continente africano (Sahara e « naso » apulo-australpino) si costruisce la catena eo-Alpina (falde penniniche, liguridi p.p. e australpine), e la Tetide Centrale viene completamente chiusa. I margini di zolla e i fronti di movimento, quindi, cambiano fortemente nel tempo, soprattutto dopo la saldatura (Cretacico-Eocene) tra Europa e Africa e la attivazione della trascorrente destra insubrica.

Nell'esame dell'evoluzione tettonica del Mediterraneo Centrale non possiamo trascurare le condizioni al contorno, e in particolare la storia dell'Atlantico che indirettamente ci fornisce indicazioni sui movimenti relativi tra Europa e Africa. Da quello che attualmente si conosce si deve dedurre che, a partire dal Cretacico superiore, i movimenti relativi tra Europa e Africa sono stati essenzialmente *destri*, e di conseguenza la zolla africana si è spostata rispetto all'Europa verso occidente, e non verso oriente. Io ritengo che la costruzione degli

edifici Appenninico e Maghrebide sia da mettere in relazione ad un movimento relativo dell'Africa rispetto all'Europa verso occidente (subduzione della zona apula verso ovest, sotto il blocco sardo-corso) e verso settentrione (subduzione del margine sahariano verso nord, sotto il blocco iberico). Con questo, però, non intendo assolutamente escludere che possano essersi verificate in certi momenti rotazioni antiorarie anche di notevole entità, soprattutto nel Miocene medio, in parte responsabili dell'apertura del Tirreno.

