

**STRUTTURE DEL SETTORE ORIENTALE DELL'ARCIPELAGO EOLIANO:  
INTERPRETAZIONE TETTONICA E MODELLIZZAZIONE NUMERICA(\*\*\*\*)**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 455
ABSTRACT	” 455
INTRODUZIONE	” 455
INQUADRAMENTO GEOLOGICO E VULCANOLOGICO	”
<i>Stromboli</i>	” 457
<i>Panarea</i>	” 457
<i>Salina</i>	” 457
<i>Lipari</i>	” 459
<i>Vulcano</i>	” 459
DATI STRUTTURALI	” 459
<i>Stromboli</i>	” 459
<i>Panarea</i>	” 460
<i>Salina</i>	” 460
<i>Lipari</i>	” 460
<i>Vulcano</i>	” 461
INTERPRETAZIONE STRUTTURALE	” 462
MODELLIZZAZIONE NUMERICA	” 462
CONCLUSIONI	” 463
BIBLIOGRAFIA	” 465

RIASSUNTO

Lo studio strutturale di dettaglio condotto sulle isole più orientali dell'arcipelago eoliano (Vulcano, Lipari, Salina, Panarea e Stromboli), che costituiscono il settore più attivo dell'intero sistema, ha evidenziato come esse rappresentino l'espressione superficiale di discontinuità crostali ad andamento NE-SW e NW-SE. Queste rispondono cinematicamente ad una tettonica estensionale caratterizzata da una direzione di massima estensione orientata circa N 100°E che agisce uniformemente su tutta la regione dell'Arco Calabro e della Sicilia orientale.

L'estensione sarebbe accomodata da strutture puramente estensionali (faglie normali e fessure) lungo le direzioni NE-SW (allineamento Salina-Stromboli) e da movimenti obliquodestri lungo la direttrice NW-SE (Salina-Vulcano). Lungo questa direttrice movimenti puramente estensionali, che danno luogo anche allo sviluppo delle maggiori fessure eruttive, si sviluppano prevalentemente all'interno delle aree di sovrapposizione tra i differenti segmenti trascorrenti disposti en-echelon, dove danno luogo a strutture tipo *pull-apart*, o ancora alla loro terminazione dove definiscono geometrie tipo *fan* estensionali.

L'interpretazione cinematica è stata verificata attraverso una modellizzazione matematica la quale ne ha messo in evidenza la validità solo per un'applicazione asimmetrica degli sforzi tensionali, ubicati nei settori orientali dell'area investigata. I risultati dell'analisi strutturale unitamente alle caratteristiche dei prodotti vulcanici affioranti nelle isole esaminate hanno inoltre permesso di puntualizzare le relazioni

(\*)Istituto di Geologia e Geofisica - Università di Catania.

(\*\*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Cosenza.

(\*\*\*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa.

(\*\*\*\*)Lavoro eseguito con il contributo finanziario del CNR (contributo n. 94.00184.05).

esistenti tra tettonica e magmatismo e di ipotizzare, per questo settore dell'arcipelago eoliano, un modello tettonico riferibile a processi di *rifting*.

ABSTRACT

A structural analysis carried out on the easternmost islands of the Aeolian Archipelago (Vulcano, Lipari, Salina, Panarea and Stromboli), the most active of the whole system, has shown that they represent the surface expression of NE-SW and NW-SE trending crustal discontinuities. All the structures are kinematically compatible with a N 100° E extension direction related to a rifting process occurring in the Calabrian Arc and Eastern Sicily.

The extension is accommodated by purely extensional structures (normal faults and cracks) along the NE-SW directions (Salina-Stromboli line) and by right-lateral extensional strike-slip faults along the NW-SE trends (Salina-Vulcano). Along the latter fault system, the extensional structures are mainly located within pull-aparts developing between right-hand overlapping en-echelon segments of the strike-slip system or at the tip of the strike-slip master faults, where they define extensional fan geometries.

The kinematic interpretation has been verified by means of a mathematic modelling that pointed out its validity only for an asymmetrical application of the minimum stress, located in the eastern sector of the investigated area. The results of the structural analysis, together with the features of the volcanic products of the islands, allowed us also to define the relationships between tectonics and magmatism and to propose a rifting-related model for the eastern sector of the Aeolian Archipelago.

PAROLE CHIAVE: Geologia Strutturale, Tettonica, Vulcanesimo, Eolie, Tirreno meridionale.

KEY WORDS: Structural geology, Tectonics, Volcanism, Aeolian islands, Southern Tyrrhenian Sea.

INTRODUZIONE

Le isole Eolie (Fig. 1) sono ubicate nell'estremità sud orientale del Tirreno meridionale dove, insieme a numerosi *seamounts*, formano una struttura arcuata che si estende lungo la porzione interna dell'Arco Calabro. L'arcipelago è rappresentato da sette isole vulcaniche maggiori (Alicudi, Filicudi, Salina, Lipari, Vulcano, Panarea e Stromboli) cui si associano sei centri vulcanici sottomarini (*seamounts* Glauco, Sisifo, Enarete, Eolo, Lametini ed Alcione).

I prodotti di questi apparati vulcanici, i quali si sviluppano sulla crosta continentale assottigliata dell'Arco Calabro avente spessori di circa 15-20 km (Boccaletti *et alii*, 1990), sono costituiti da associazioni di rocce ad affinità calcoalcalina, calcoalcalina alta in K<sub>2</sub>O, shoshonitica e alcalino-potassica (Barberi *et alii*, 1974; Keller, 1980a; 1980b; Gabbianelli *et alii*,

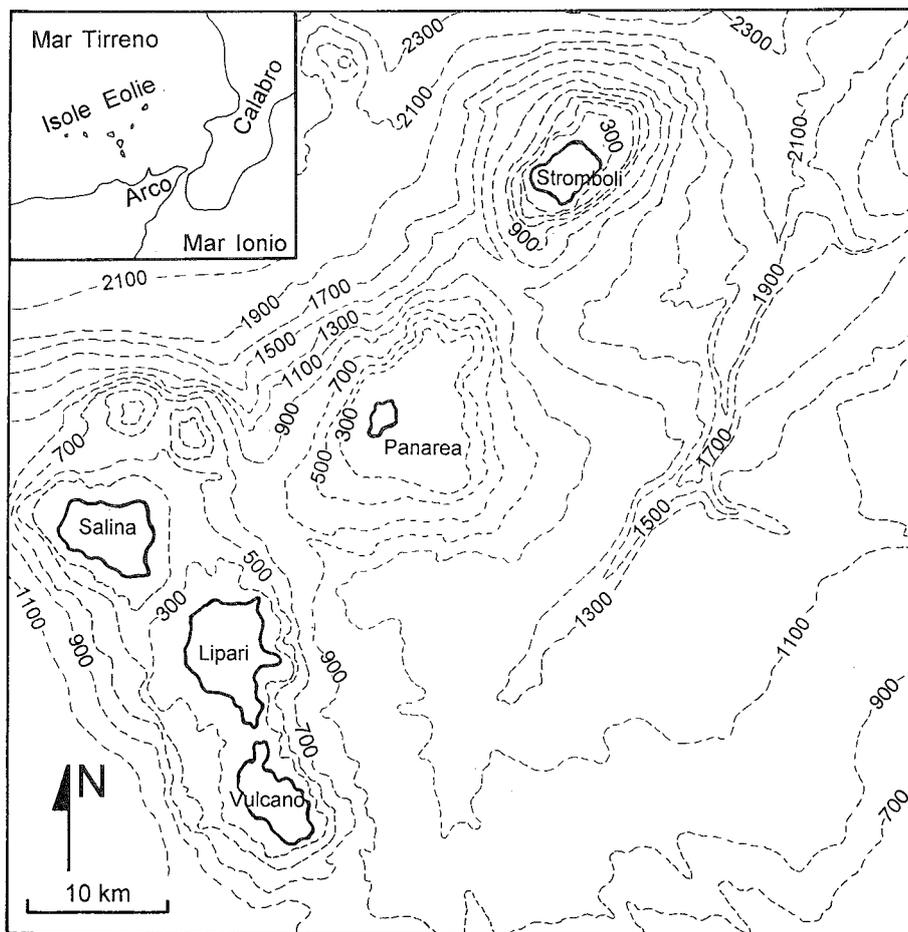


Fig. 1 - Localizzazione e schema morfologico del settore orientale dell'arcipelago eoliano (batimetria da ROMAGNOLI *et alii*, 1989 e GABBIANELLI *et alii*, 1993).

1990; ELLAM *et alii*, 1989; FRANCALANCI *et alii*, 1989; CRISCI *et alii*, 1991).

Datazioni radiometriche effettuate sia su rocce affioranti sulle isole che su campioni dragati lungo i fianchi dei maggiori apparati sommersi (KELLER, 1980a; 1980b; BECCALUVA *et alii*, 1985; GILLOT, 1987; GILLOT *et alii*, 1990; CRISCI *et alii*, 1991) indicano come l'attività magmatica dell'intero arcipelago eoliano abbia avuto una complessa evoluzione temporale compresa tra circa 1.3 Ma e l'attuale. L'attività vulcanica mostra infatti una generale migrazione nel tempo da ovest verso est (da Filicudi a Stromboli) e da nord verso sud (da Salina a Vulcano).

I caratteri geochimici dei prodotti vulcanici e la posizione strutturale dell'arcipelago, insieme alla presenza di terremoti profondi localizzati nel Tirreno meridionale che definiscono un piano inclinato verso ovest (MCKENZIE, 1972; GASPARINI *et alii*, 1982), hanno portato numerosi Autori ad interpretare l'arcipelago eoliano come un arco vulcanico collegato alla subduzione della litosfera del dominio ionico al di sotto dell'Arco Calabro (BARBERI *et alii*, 1974; KELLER, 1982; BECCALUVA *et alii*, 1985).

Il vulcanesimo eoliano è stato inoltre interpretato come legato a processi di risalita di duomi del mantello astenosferico legati al *rifting* del Tirreno meridionale (WANG *et alii*, 1989; CRISCI *et alii*, 1991). Secondo questi modelli il processo di assottigliamento e di lacerazione crostale indurrebbe decompressioni ed anomalie termiche positive (LAVECCHIA & STOPPA,

1990; BOCCALETTI *et alii*, 1990), accompagnate da fusioni delle porzioni via via più superficiali del mantello e probabilmente di parti della crosta inferiore (CRISCI *et alii*, 1991; ESPERANZA *et alii*, 1992).

Le ipotesi sull'evoluzione geodinamica e sul significato del vulcanesimo eoliano sono essenzialmente basate sull'analisi dei dati geochimici e geofisici e sull'assetto tettonico generale del Tirreno meridionale, mancando dati geologici e strutturali sufficientemente dettagliati. Al fine di fornire nuovi vincoli per la formulazione delle differenti ipotesi di evoluzione geodinamica dell'arcipelago eoliano, è stato condotto uno studio strutturale di dettaglio sulle sue isole più orientali le quali costituiscono il settore più attivo dell'intero sistema. Lo studio è stato condotto sulle isole di Vulcano, Lipari, Salina, Panarea e Stromboli ed è stato basato su rilievi dettagliati che hanno permesso di definire l'assetto strutturale delle singole isole. Ciò ha messo in evidenza la cinematica delle maggiori strutture e ha contribuito a chiarire le relazioni tra queste ed i processi vulcanici. L'affidabilità dell'interpretazione strutturale è stata inoltre verificata mediante la formulazione di un modello ad elementi finiti che, simulando differenti condizioni relative alle caratteristiche proprie del campo degli sforzi agenti, ha permesso di puntualizzare le condizioni al limite necessarie per una più corretta interpretazione dell'evoluzione geodinamica di questo settore del Tirreno meridionale.

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO E VULCANOLOGICO

Le isole del settore orientale dell'arcipelago eoliano definiscono due allineamenti principali orientati rispettivamente lungo direttrici NE-SW (Salina, Panarea e Stromboli) e NW-SE (Salina, Lipari e Vulcano). I prodotti vulcanici che costituiscono queste isole hanno età comprese tra 430 ka e l'attuale e sono rappresentati da diverse sequenze aventi distinte caratteristiche petrochimiche risultato di complesse interazioni (*mixing*) tra differenti magmi (CRISCI *et alii*, 1991; ESPERANÇA *et alii*, 1992). In generale queste sequenze sono costituite da rocce appartenenti alle serie calcoalcalina, calcoalcalina alta in  $K_2O$ , shoshonitica ed alcalino-potassica, con i prodotti shoshonitici presenti a Stromboli, Lipari e Vulcano e con quelli alcalino-potassici affioranti esclusivamente a Stromboli e Vulcano.

Di seguito verranno descritte brevemente le differenti sequenze affioranti nelle diverse isole esaminate dal presente studio al fine di poter fornire una serie di elementi utili per una ricostruzione dell'attività eruttiva da poter correlare con le maggiori strutture tettoniche presenti nell'area.

### Stromboli

L'isola di Stromboli rappresenta la porzione emersa di una struttura vulcanica complessa (Fig. 1), allungata in direzione NE-SW, che poggia, a circa 1500 m di profondità, sul basamento cristallino dell'Arco Calabro (GABBIANELLI *et alii*, 1993). Caratterizzata da attività persistente è costituita da rocce effuse negli ultimi 200 ka (GILLOT & KELLER, 1993) che hanno determinato una morfologia caratterizzata da un imponente cono sommitale sul cui fianco occidentale si è imposta un'ampia zona di collasso (Sciara del Fuoco) che si estende lungo tutto il fianco sommerso del vulcano (ROMAGNOLI *et alii*, 1993).

I prodotti più antichi sono rappresentati dai basalti ad affinità calcoalcalina del neck di Strombolicchio (204 ka) i quali sono seguiti, tra 85 e 35 ka (GILLOT & KELLER, 1993) dal Ciclo di Paleostromboli costituito da colate laviche di andesiti ed andesiti basaltiche e da piroclastiti di caduta e subordinatamente di flusso, riconducibili ad un'attività stromboliana, effusiva ed idromagmatica (HORNIG-KJARSGAARD *et alii*, 1993). Successivamente il Ciclo dei Vancori è rappresentato da prodotti appartenenti alla serie shoshonitica costituiti da colate laviche a composizione da basaltica a trachitica, accompagnate da breccie piroclastiche e da depositi di flusso, legati ad un'attività effusiva e di fontana di lava sviluppatasi tra 26 e 13 ka (GILLOT & KELLER, 1993; HORNIG-KJARSGAARD *et alii*, 1993). I prodotti più recenti (tra 13 ka e l'attuale) sono invece costituiti dalle colate di shoshoniti leucitiche ed andesiti basaltiche ricche in  $K_2O$  dell'apparato di Neostromboli e dai basalti shoshonitici e piroclastiti associate, legati all'attività della Sciara del Fuoco.

### Panarea

Rappresenta la porzione emersa (Fig. 1) di una struttura vulcanica estremamente complessa caratterizzata da una depressione di forma ellissoidale che si estende fino ad una profondità di circa 1000 m al di sotto del livello del mare (GABBIANELLI *et alii*, 1986). E' caratterizzata dalla presenza di numerosi centri eruttivi a struttura subcircolare allungati lungo direzioni

NE-SW i cui prodotti, aventi età comprese tra 211 e 10 ka (GABBIANELLI *et alii*, 1990), appartengono prevalentemente alla serie calcoalcalina alta in  $K_2O$ .

I prodotti più antichi (tra 211 e 181 ka) sono rappresentati da colate laviche a composizione da andesitica a dacitica e da piroclastiti generalmente di caduta e più subordinatamente di flusso, legati all'attività effusiva e stromboliana di numerosi centri (P.ta del Corvo, P.ta Cardosi, Calcara, Ditella, Costa del Capraio, La Loca). Le rocce più recenti (tra 143-138 e 10 ka) sono invece costituite da colate altamente viscosse a composizione riolitica legate ad un'attività marcata estrusiva (P.ta Falcone, La Fossa, Basiluzzo).

Nell'isola non sono stati riscontrati prodotti più recenti di 10 ka anche se la presenza di una notevole attività fumarolica, localizzata nella depressione sottomarina che si sviluppa ad oriente dell'isola, suggerisce una prosecuzione dell'attività vulcanica di questo settore fino all'attuale.

### Salina

L'isola di Salina rappresenta la parte emersa dell'estremità nord-occidentale di una dorsale vulcanica (Fig. 1) che si estende lungo una direzione NW-SE, raggiungendo una profondità di circa 1100 m (ROMAGNOLI *et alii*, 1989), su cui si sviluppano anche le isole di Lipari e Vulcano. L'assetto morfologico dell'isola è definito dalla presenza di due imponenti edifici vulcanici di forma conica rappresentati dal M.te Fossa delle Felci e dal M.te dei Porri che, separati da una valle ad andamento N-S, raggiungono rispettivamente un'altitudine di 962 m e di 860 m s.l.m. L'isola è anche caratterizzata dalla presenza di collassi vulcano-tettonici i più evidenti dei quali di riscontrano lungo il settore settentrionale, in località Rivi-Capo, e lungo la costa occidentale dove, in località Pollara, una morfologia ad anfiteatro incide il versante di M.te dei Porri.

Le lave e le piroclastiti affioranti nell'isola si sono messe in posto in un periodo compreso tra 430 e 13 ka (KELLER, 1980a; GILLOT, 1987) e rientrano nel campo delle rocce calcoalcaline e calcoalcaline ricche in  $K_2O$ .

I prodotti più antichi sono costituiti da colate laviche di basalti calcoalcalini e da piroclastiti di caduta legati ad un'attività effusiva e stromboliana, emessi tra 430 e 127 ka dagli apparati del Corvo e di Fossa delle Felci primordiale e dalle fessure eruttive ad andamento NE-SW di Rivi-Capo (KELLER, 1980a).

I prodotti legati all'attività dei due maggiori edifici vulcanici che caratterizzano l'isola (Fossa delle Felci e M.te dei Porri), presentano un'età compresa tra 100 e 66 ka e sono costituiti da colate di lava di andesiti basaltiche, andesiti e daciti e da depositi piroclastici di caduta e di flusso.

Le rocce più recenti affioranti nell'isola hanno un'età compresa tra 30 e 13 ka e sono rappresentate da prevalenti depositi piroclastici di caduta e di flusso a composizione da andesitica a riolitica e da subordinate colate di lave andesitiche legate all'attività dei centri di Fossa delle Felci e di Pollara. In particolare quest'ultimo centro è caratterizzato da una potente sequenza di piroclastiti a composizione variabile da basaltica a riolitica contenenti xenoliti di rocce granitoidi e gneissiche del basamento metamorfico e delle relative coperture sedimentarie (KELLER, 1980a), legate a magmi prodotti da processi di mescolamento tra fusi basaltici e liquidi derivanti dalla fusione di rocce cristalline (ESPERANÇA *et alii*, 1992).

## Lipari

L'isola di Lipari è la più estesa dell'arcipelago eoliano e rappresenta la porzione emersa della dorsale vulcanica ad andamento NW-SE (Fig. 1) che comprende anche le isole di Salina e Vulcano (ROMAGNOLI *et alii*, 1989). Le rocce affioranti nell'isola rientrano prevalentemente nel campo composizionale delle serie calcoalcalina e calcoalcalina alta in  $K_2O$  e presentano un'età compresa tra 223 Ka e il 580 d.C. (CRISCI *et alii*, 1991) mentre le manifestazioni vulcaniche attuali sono rappresentate da attività fumaroliche segnalate nelle zone *off-shore* antistanti sia la costa occidentale che orientale (ROMAGNOLI *et alii*, 1989). L'assetto morfologico dell'isola è condizionato dalla presenza dei coni di M.te S. Angelo, che raggiunge nel settore centrale i 594 m s.l.m., e di M.te Pilato che si eleva nel settore nord-orientale fino a 476 m s.l.m., e dalle strutture cupoliformi di M.te Guardia-M.te Giardina nel settore meridionale. Le morfologie riconducibili a depressioni vulcano-tettoniche sono ben riconoscibili a M.te Pilato, M.te S. Angelo e M.te Giardina.

I prodotti più antichi affioranti nell'isola (tra 223 e 150 ka) sono costituiti da prevalenti colate sottomarine (CRISCI *et alii*, 1991) a composizione basaltica con associate ialoclastiti, emesse da fessure eruttive ad orientazione circa N-S localizzate nei settori occidentali dell'isola, e da andesiti basaltiche e piroclastiti di caduta (scorie saldate), legate ad un'attività prevalentemente effusiva e stromboliana di numerosi centri (M.te Chirica, M.te Rosa, Costa d'Agosto, Chiesa Vecchia) ubicati nei settori settentrionali ed orientali dell'isola (PICHLER, 1980; CRISCI *et alii*, 1991).

Tra i 127 ka e circa i 92 ka l'attività vulcanica è caratterizzata dall'emissione dei prodotti di M.te S. Angelo e dai depositi lacustri (RICCI LUCCHI *et alii*, 1988) che riempiono la larga depressione che si estende nelle porzioni centrali dell'isola. I prodotti vulcanici, riconducibili ad una prevalente attività idromagmatica accompagnata da minori effusioni laviche, sono costituiti da piroclastiti di flusso e da subordinate colate laviche a composizione andesitica contenenti xenocristalli di cordierite, sillimanite e granato (PICHLER, 1980).

I prodotti più recenti, legati ad un'attività sviluppata tra 42 ka ed il 580 d.C., affiorano prevalentemente lungo una direttrice ad andamento N-S localizzata lungo le porzioni più orientali dell'isola. Essi sono costituiti da duomi lavici a composizione riolitica nei settori più meridionali (M.te Guardia e M.te Giardina) e da piroclastiti di caduta e di flusso, accompagnate da colate ossidiane dai centri di Gabellotto, Forgia Vecchia e M.te Pilato, nei settori più settentrionali. Questi prodotti, legati prevalentemente ad un'attività idromagmatica ed estrusiva, deriverebbero da sorgenti connesse con processi di fusione parziale della crosta continentale (ESPERANÇA *et alii*, 1992).

## Vulcano

Quest'isola rappresenta la porzione più meridionale (Fig. 1) della dorsale sommersa Salina-Lipari (ROMAGNOLI *et alii*, 1989) e da un punto di vista morfologico è dominata da due depressioni vulcano-tettoniche di forma subcircolare rappresentate dalla Caldera del Piano e dalla Caldera della Fossa. All'interno di quest'ultima depressione si erge il Cono della Fossa la cui ultima eruzione si è verificata nel 1888-1890 (MERCALLI & SILVESTRI, 1891) e su cui è attualmente presente un'intensa attività fumarolica.

I prodotti affioranti nell'isola presentano un'età compresa tra i 120 ka (GILLOT *et alii*, 1990) e l'attuale e rientrano nei campi delle serie calcoalcalina alta in  $K_2O$ , shoshonitica ed alcalino-potassica. Quelli più antichi (tra 120 e 98 ka) sono costituiti da prevalenti colate di trachibasalti e trachandesiti ad affinità shoshonitica e da subordinati livelli piroclastici di caduta legati ad un'attività effusiva e stromboliana dell'apparato di Vulcano Vecchio (South Vulcano di KELLER, 1980b).

Tra i 98 ed i 50 ka si hanno i prodotti legati ad un'attività sia effusiva che idromagmatica dei centri eruttivi della Caldera del Piano. Questi sono costituiti da colate laviche di basalti shoshonitici e di tefriti a leucite cui si associano piroclastiti di caduta e di flusso (DE ASTIS *et alii*, 1989).

Le rocce più recenti dell'isola, emesse tra 15 ka e l'attuale, sono rappresentate da prodotti che iniziano con l'effusione dei duomi lavici a composizione riolitica e trachitica del Complesso di Lentia e delle lave trachandesitiche di M.te Saraceno, la cui messa in posto sarebbe legata all'attività lungo fessure eruttive ad andamento N-S. Anche questi magmi sarebbero il risultato di processi di *mixing* tra fusi mantellici e liquidi derivanti dalla fusione parziale di porzioni della crosta continentale (ESPERANÇA *et alii*, 1992). I prodotti più giovani di questa sequenza sono costituiti invece dalle colate di trachiti ricche in  $K_2O$  e latiti a leucite emesse tra il 183 a C ed il XVI secolo (KELLER, 1980b), insieme a depositi piroclastici di caduta e di flusso, dai centri di Vulcanello, e dai prodotti, sia lavici che piroclastici, a composizione da trachitica a riolitica legati all'attività dell'apparato del Cono della Fossa la cui ultima eruzione risale al periodo compreso tra il 1888 ed il 1890 (MERCALLI & SILVESTRI, 1891).

## DATI STRUTTURALI

Il *pattern* strutturale delle isole di Stromboli, Panarea, Salina, Lipari e Vulcano (Fig. 2) è definito da numerosi segmenti di faglie che possono essere raggruppate in due sistemi principali, orientati rispettivamente lungo direzioni NW-SE e da N-S a NE-SW. Queste due direzioni prevalenti sono quelle che tra l'altro definiscono l'assetto generale delle isole considerate, le quali sono infatti allineate lungo direttrici NW-SE (Vulcano, Lipari e Salina) e NE-SW (Salina, Panarea e Stromboli).

Le strutture a direzione NW-SE sono principalmente sviluppate lungo le coste occidentali delle isole di Vulcano e Lipari e comprendono faglie caratterizzate da movimenti obliquo-destri. Le strutture a direzione variabile da N-S a NE-SW sono invece costituite prevalentemente da faglie normali e da fratture di estensione (VENTURA, 1994; MAZZUOLI *et alii*, 1995). Queste si sviluppano all'interno delle zone di sovrapposizione tra diversi segmenti di faglie oblique (Vulcano e Lipari) o alle terminazioni delle stesse (Salina) o ancora lungo la direttrice che congiunge Salina a Panarea e quindi a Stromboli. Le maggiori strutture estensionali generalmente definiscono larghe depressioni riempite da depositi lacustri e dai prodotti sia piroclastici che lavici e corrispondono alle maggiori strutture vulcano-tettoniche quali collassi e fessure eruttive.

Di seguito verranno descritte le principali strutture delle isole esaminate fornendo anche i risultati di una

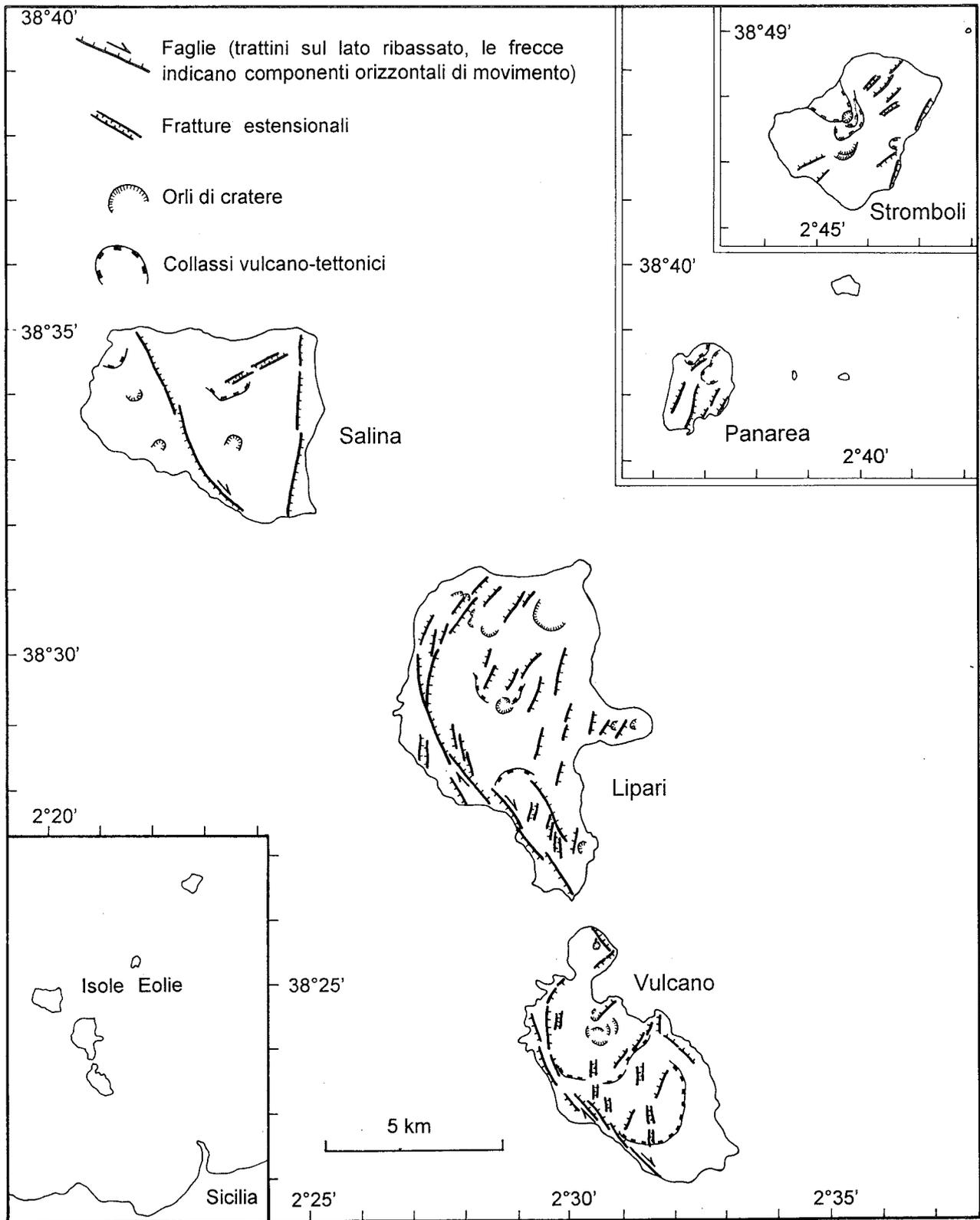


Fig. 2 - Schema strutturale delle isole di Vulcano, Lipari, Salina, Panarea e Stromboli (modificato da MAZZUOLI *et alii*, 1995).

serie di osservazioni mesostrutturali condotte lungo le strutture maggiori al fine di definirne la cinematica. I dati sono stati selezionati con particolare attenzione al fine di eliminare tutte quelle mesostrutture legate a fenomenologie vulcaniche quali fratture di raffreddamento o superfici di flusso.

#### *Stromboli*

Quest'isola è caratterizzata esclusivamente da strutture ad andamento NE-SW rappresentate da faglie normali cui si associano sistemi ben sviluppati di fratture (Fig. 2). Le faglie principali si riscontrano lungo la costa orientale dell'isola e lungo il Vallone di

Rina, poco a est di Ginostra. Si tratta di faglie poco evidenti caratterizzate da rigetti decimetrici che presentano direzioni dei piani comprese tra N 10°E e N 50°E che presuppongono una direzione di massima estensione orientata circa NW-SE. Tale direzione è peraltro confermata dalla presenza delle fratture eruttive presenti in località S. Bartolo le quali, estendendosi per lunghezze di circa 500 m, sono orientate lungo direzioni NE-SW (circa N 40°E). Anche l'analisi statistica eseguita sulle direzioni dei dicchi presenti nell'isola (ZANCHI & FRANCALANCI, 1989) mostra una loro direttrice prevalente orientata lungo una direzione NE-SW compatibile con estensioni NW-SE.

#### Panarea

Anche quest'isola è interessata esclusivamente da strutture ad andamento da NNE-SSW a NE-SW (LANZAFAME & ROSSI, 1984). Queste (Fig. 2) sono rappresentate da faglie normali che mostrano piani a direzione variabile tra N 10°E e N 60°E caratterizzati da striature subverticali ed oblique (*pitch*s variabili tra 50° e 90°), indicativi (Fig. 3f) di una direzione di massima estensione orientata N 100°E  $\pm$  5°. Alle strutture maggiori di accompagnano una serie di fratture di estensione riempite da mineralizzazioni secondarie a gesso e calcite.

#### Salina

In quest'isola le maggiori strutture possono essere raggruppate in due sistemi orientati rispettivamente lungo direzioni NW-SE e circa N-S (Fig. 2). Il primo sistema si estende dalla base del versante meridionale dell'apparato di Fossa delle Felci fino alla parte nord-occidentale dell'isola dove interessa i depositi di Polara (13 Ka), mentre il sistema ad andamento N-S si estende lungo la costa orientale dell'isola. Entrambe le strutture sono definite morfologicamente da scarpate ben sviluppate caratterizzate dalla presenza di faccette triangolari e trapezoidali. Lungo la porzione più settentrionale della scarpata di faglia ad andamento NW-SE, marcata dallo sviluppo di una serie di conoidi alluvionali, il reticolo idrografico sembra essere sistematicamente deflesso da movimenti destri con rigetti di circa 20 metri.

Sia le strutture ad andamento NW-SE (direzioni dei piani di faglia variabili tra N 125°E e N 160°E) che quelle a direzione N-S (direzioni dei piani circa N 10°E) presentano piani immergenti verso est caratterizzati da striature da suborizzontali ad oblique (*pitch*s variabili tra 20° e 30°) che indicano componenti di movimento orizzontale destri connessi con una direzione d'estensione orientata N 140°E  $\pm$  5° (Fig. 3a). Lungo la struttura a direzione NW-SE questi movimenti orizzontali sono tra l'altro messi in evidenza dallo sviluppo, lungo il piano di faglia principale, di una serie di fratture *en-échelon* a direzione circa N-S che possono essere interpretate come fratture T.

Nella parte nord dell'isola, all'interno del blocco limitato dalle due strutture maggiori, si sviluppa una serie di fratture eruttive orientate N 50°E le quali, accompagnate da dicchi e faglie normali ad andamento variabile da N-S a NE-SW, hanno dato luogo alle effusioni basaltiche del sistema Rivi-Capo.

Le strutture trascorrenti e quelle estensionali rilevate nell'isola di Salina mostrano di essere cinematicamente compatibili. Le fratture eruttive, i dicchi e le faglie normali si sviluppano infatti in risposta ad una

estensione orientata NW-SE alla quale sono legati anche i movimenti orizzontali che si sviluppano lungo le principali strutture trascorrenti.

#### Lipari

L'assetto strutturale di quest'isola (Fig. 2) è definito dal sistema ad andamento NW-SE da cui si dipartono numerose faglie normali ad andamento variabile da N-S a NE-SW che delimitano la maggiore depressione di Lipari (MAZZUOLI *et alii*, 1995).

Il sistema NW-SE si estende lungo la parte occidentale dell'isola da T.ne Ricotta, a nord, fino alla faglia che delimita l'asse M.te Guardia-M.te Giardina, a sud, per poi proseguire in mare fino a raggiungere, attraverso lo Stretto delle Bocche di Vulcano, la costa orientale della penisola di Vulcanello. Morfologicamente i vari segmenti di faglia sono caratterizzati da scarpate ben sviluppate le quali, lungo la parte più meridionale, controllano l'andamento della linea di costa dando luogo ad una scogliera rettilinea alta fino a circa 100 m. Questo sistema è caratterizzato dalla presenza di una fascia cataclastica larga 200-300 m nella quale le più giovani rocce coinvolte sono costituite dalle rioliti dei duomi di M.te Guardia che presentano un'età di 42 ka. Lungo questa fascia cataclastica i maggiori segmenti di faglia sono marcati da corpi lenticolari, lunghi fino a 500 m, costituiti da cataclasi a granulometria pelitica (*gouge*) fortemente fumarolizzate e trasformate in caolino. Questi prodotti mineralizzati si presentano di colore variabile dal rosso al biancastro e sono interessati da un fitto sistema di fratture subverticali aventi andamenti paralleli alla faglia principale. All'interno della fascia cataclastica si sviluppa un fitto reticolato di fratture secondarie (fratture tipo T, R, R' e P) tipiche delle zone trascorrenti, le cui orientazioni sono compatibili con movimenti di tipo destro. Le rocce di faglia sono inoltre caratterizzate dalla presenza di un denso reticolo di fratture riempite da minerali secondari i quali generalmente cristallizzano all'interno delle fratture tipo T (fratture di estensione) o sui piani delle fratture di taglio costituendo una sottile pellicola di rivestimento. Localmente queste fratture secondarie danno luogo a piccole strutture di *pull-apart* che si sviluppano nelle zone di sovrapposizione tra differenti segmenti caratterizzati da movimenti destri. Lo sviluppo di questi fenomeni di ricristallizzazione secondaria, unitamente alla presenza di sorgenti termali calde ubicate lungo questa fascia cataclastica sia in terra (Terme di S. Calogero) che in mare (Bocche di Vulcano) (GABBIANELLI *et alii*, 1991), suggerisce come l'intero fascio deformativo sia stato fratturato tettonicamente sotto condizioni di alta pressione dei fluidi e temperature relativamente basse.

Osservazioni strutturali condotte sia lungo i piani di faglia principali che all'interno delle rocce cataclastiche hanno mostrato piani di faglia orientati tra N 130°E e N 150°E, caratterizzati dalla presenza di strie suborizzontali (*pitch*s variabili tra 15° e 30°) indicativi di movimenti destri connessi con una direzione di massima estensione orientata N 105°E  $\pm$  5° (Fig. 3b).

Il sistema di faglie a direzione variabile da N-S a NE-SW si diparte dalla zona trascorrente formando due direttrici, localizzate l'una nel settore settentrionale dell'isola, l'altra a meridione. Queste due direttrici delimitano nella parte centrale dell'isola una depressione tettonica riempita dai sedimenti lacustri e dalle piroclastiti di M.te S. Angelo. Questo sistema controlla an-

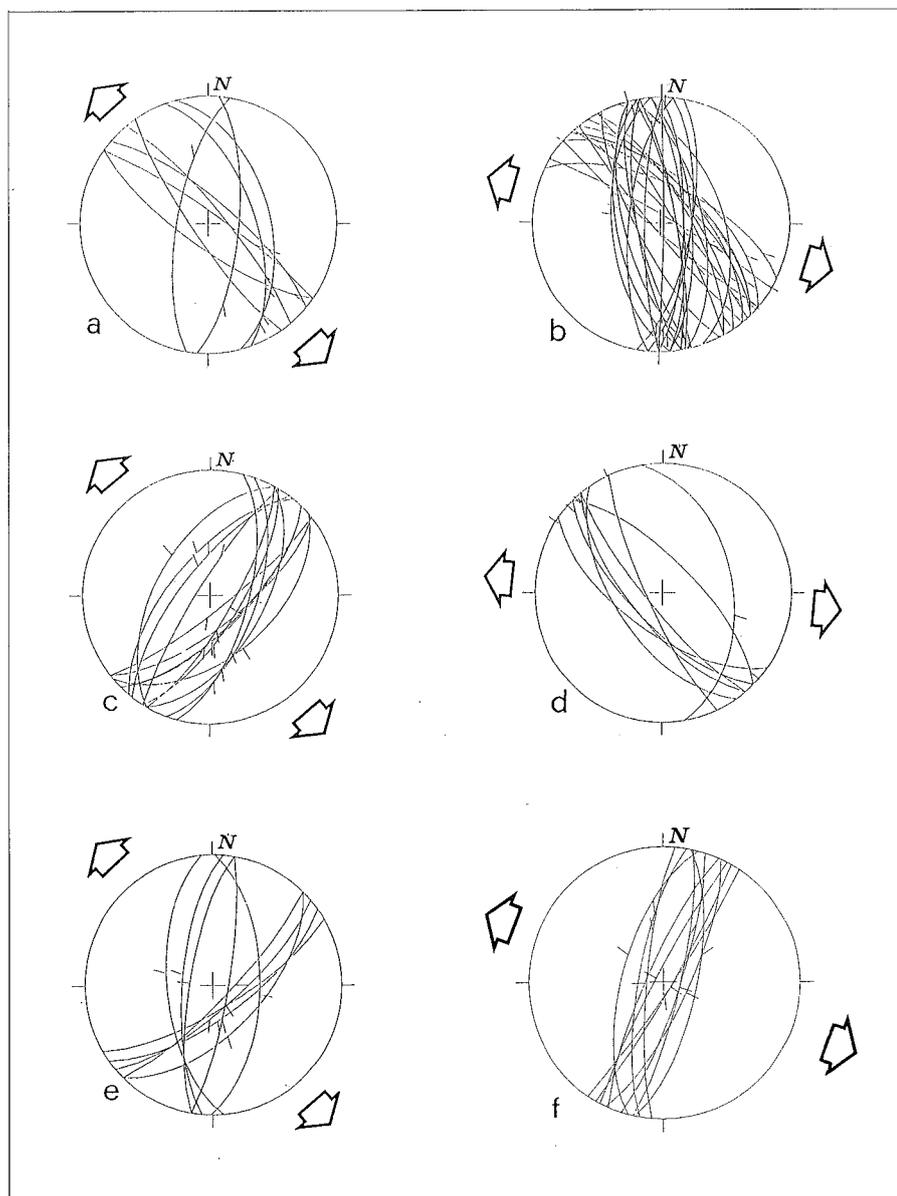


Fig. 3 - Proiezioni stereografiche (diagramma di Schmidt, emisfero inferiore) dei piani di faglia rilevati nelle isole del settore orientale dell'arcipelago eoliano. Le linee sottili ubicate sulle ciclografiche indicano la direzione delle strie mentre le frecce mostrano la direzione di estensione massima (modificato da MAZZUOLI *et alii*, 1995).

che le maggiori strutture vulcaniche come le fratture eruttive ed i collassi vulcano-tettonici. Piccoli *graben* ad andamento NE-SW caratterizzano infatti la sommità dei duomi di M.te Guradia-M.te Giardina, mostrando un andamento *en-échelon* con sovrapposizione sinistra, e la sommità di M.te Pilato, da cui furono effusi i magmi riolitici. Le strutture appartenenti a questo sistema presentano direzioni variabili tra N 30°E e N 50°E e mostrano sui loro piani striature oblique o subverticali (*pitches* variabili tra 65° e 80°) indicativi di movimenti normali legati a direzioni di massima estensione orientate N 145°E ± 10° (Fig. 3c).

L'analisi strutturale dell'isola di Lipari mostra come entrambi i sistemi di faglie presenti siano cinematicamente compatibili, in quanto sia le strutture normali ad andamento da N-S a NE-SW che i movimenti orizzontali caratterizzanti le strutture a direzione NW-SE risultano attivati dalla medesima direzione d'estensione.

#### Vulcano

In quest'isola le principali strutture (Fig. 2) sono

orientate sia lungo direzioni NW-SE che NNE-SSW (VENTURA, 1994; MAZZUOLI *et alii*, 1995).

Il primo sistema è ben sviluppato lungo la parte occidentale dell'isola dove è rappresentato da numerosi segmenti disposti *en-échelon*, e lungo la costa orientale della penisola di Vulcanello da dove proseguirebbe, in mare, fino a raggiungere la costa sud-occidentale dell'isola di Lipari. I differenti segmenti di faglia interessano l'intera successione vulcanica affiorante a Vulcano e sono marcati dallo sviluppo di una serie di scarpate rettilinee le quali mostrano talora la presenza di faccette triangolari. Lungo la parte occidentale dell'isola queste faglie mostrano sui piani strie sub-orizzontali (*pitches* compresi tra 5° e 20°) che indicano componenti orizzontali destri di movimento, connessi con una direzione di estensione massima orientata circa N 95°E ± 10° (Fig. 3d). Nella penisola di Vulcanello questo sistema controlla la costa orientale e interessa le lave e le piroclastiti emesse nel 183 a.C. le quali sono rigetate sia verticalmente che orizzontalmente di 2 m e di 1.3 m.

In prossimità di M.te Saraceno, le porzioni più meridionali del sistema NW-SE sono state rimobilizzate durante il terremoto del 15/4/1978 ( $M = 5.6$ ) il cui meccanismo focale indica movimenti trascorrenti destri lungo piani orientati NW-SE (CELLO *et alii*, 1982). Durante tale evento si sono sviluppate una serie di rotture per una lunghezza totale di circa 3 km che hanno dato luogo ad associazioni strutturali tipo *pull-apart* legati a movimenti destri lungo strutture a direzione NW-SE (Figg. 7 e 9 in BARBANO *et alii*, 1979).

Le faglie a componente orizzontale sono in genere accompagnate dallo sviluppo di fasce cataclastiche all'interno delle quali si formano associazioni di fratture secondarie (fratture T, R ed R') tipiche delle zone trascorrenti, le cui orientazioni sono compatibili con movimenti di tipo destro. All'interno di questi livelli cataclastici sono concentrate le manifestazioni fumaroliche e lungo le fratture tensionali si sviluppano riempimenti di minerali secondari quali gesso e/o calcite.

Le faglie normali a direzione variabile da N-S a NNE-SSW si dipartono dalle terminazioni delle faglie trascorrenti destre e, definite da scarpate rettilinee ben sviluppate, delimitano le principali depressioni vulcano-tettoniche di Vulcano quali la Caldera del Piano e la Caldera della Fossa. Queste strutture controllano inoltre le principali fratture effusive dell'isola come testimoniato dagli allineamenti in direzione N-S dei vari apparati eruttivi. Le faglie normali mostrano sui loro piani strie subverticali (*itches* di circa  $80^\circ$ ) indicative di una direzione di massima estensione orientata  $N 140^\circ E \pm 15^\circ$  (Fig. 3e).

#### INTERPRETAZIONE STRUTTURALE

I dati strutturali raccolti lungo il settore orientale dell'arcipelago eoliano, unitamente alla storia eruttiva di ogni singola isola, hanno permesso di tracciare la storia deformativa di questo settore e di definire le relazioni esistenti tra le strutture tettoniche ed il vulcanesimo.

Dal punto di vista strutturale le isole si sviluppano lungo due direttrici orientate rispettivamente NE-SW e NW-SE le quali rispecchiano le maggiori strutture tettoniche rilevate. Lungo la prima direttrice (Salina-Stromboli) le strutture sono costituite esclusivamente da faglie normali e fratture estensionali le quali controllano i sistemi di alimentazione superficiale (dichi e fratture eruttive) dei vari centri vulcanici. Le strutture che caratterizzano la direttrice ad andamento NW-SE (Salina-Vulcano) presentano invece una distribuzione più complessa essendo costituite da faglie ad andamento NW-SE caratterizzate da movimenti obliquo-destri e da faglie normali ad andamento da N-S a NE-SW, lungo cui si verificano movimenti puramente estensionali che danno luogo anche allo sviluppo delle maggiori fessure eruttive. Queste strutture si sviluppano all'interno delle aree di sovrapposizione tra i differenti segmenti trascorrenti disposti *en-échelon*, dove danno luogo a strutture tipo *pull-apart*, o ancora alla loro terminazione dove definiscono geometrie tipo *fan* estensionali (WOODCOCK & FISCHER, 1986), accomodando la componente orizzontale di movimento delle strutture ad andamento NW-SE. All'interno di queste aree, caratterizzate da geometrie puramente estensionali, si localizzano inoltre le maggiori depressioni presenti nelle isole di Lipari e Vulcano quali la depressione di M.te

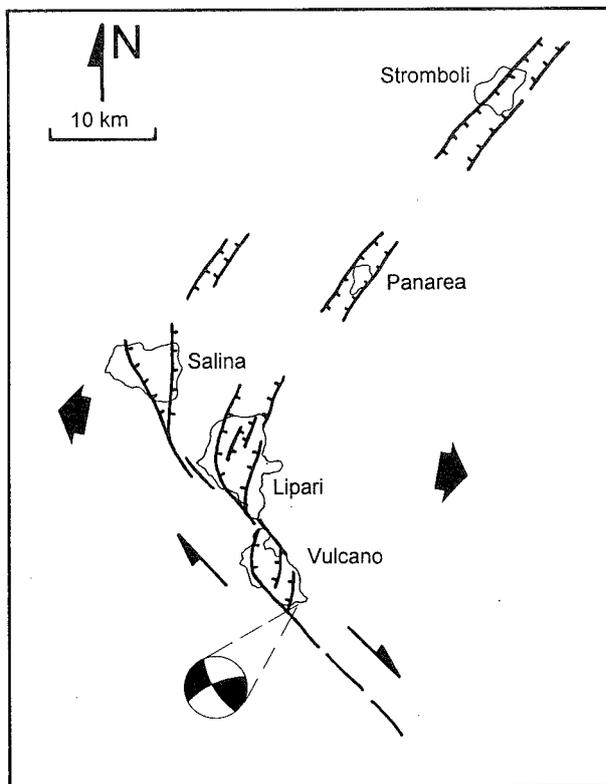


Fig. 4 - Interpretazione cinematica delle maggiori strutture del settore orientale dell'arcipelago eoliano. Le frecce indicano la direzione di estensione massima così come dedotta dai dati strutturali e dal meccanismo focale del terremoto del 15 Aprile 1978 (da CELLO *et alii*, 1982).

S. Angelo e le Caldere del Piano e della Fossa. Questi collassi, all'interno dei quali si sviluppa un'intensa attività vulcanica, potrebbero quindi rappresentare depressioni tipo *pull-apart* legate all'attività tettonica delle strutture trascorrenti, così come rilevato anche in altri sistemi vulcanici quali quelli che caratterizzano la provincia del Basin and Range (AYDIN *et alii*, 1990) o l'isola di Sumatra (BELLIER & SEBRIER, 1994).

Dal punto di vista cinematico (Fig. 4) ambedue i sistemi strutturali, che possono essere considerati coevi, sono compatibili con un'unica direzione di estensione massima orientata circa WNW-ESE ( $\sim N100^\circ E$ ) la quale corrisponde anche al campo tensionale registrato dall'analisi del meccanismo focale del terremoto del 15/4/1978 (CELLO *et alii*, 1982).

Questi dati permettono di affermare che il vulcanesimo del settore orientale dell'arcipelago eoliano è fortemente controllato dalle strutture tettoniche che determinano anche la distribuzione areale delle singole isole. Queste rappresentano infatti l'espressione superficiale di discontinuità crostali, probabilmente preesistenti, ad andamento NE-SW e NW-SE le quali rispondono cinematicamente ad una tettonica estensionale caratterizzata da una direzione di massima estensione orientata circa  $N 100^\circ E$  che agisce uniformemente su tutta la regione dell'Arco Calabro e della Sicilia orientale (TORTORICI *et alii*, 1986; 1995; MAZZUOLI *et alii*, 1995; MONACO & TORTORICI, questo vol.). In quest'ottica l'estensione sarebbe accomodata da faglie normali lungo le direzioni NE-SW (allineamento Salina-Stromboli) e da movimenti obliquo-destri lungo la direttrice NW-SE (Salina-Vulcano). Quest'ultima potreb-

be rappresentare una zona di trasferimento dei processi estensionali dalle aree eoliane alle zone della Sicilia orientale (MAZZUOLI *et alii*, 1995).

## MODELLIZZAZIONE NUMERICA

Al fine di verificare la compatibilità cinematica e meccanica del modello strutturale proposto sono state effettuate alcune modellizzazioni numeriche sviluppando un programma di calcolo ad elementi finiti basato su quelli proposti da CROUCH & STARFIELD (1983) e da XIAHOAN (1983), successivamente modificati da GOMBERG & ELLIS (1994). Il modello numerico proposto consente di verificare lo stato tensionale di un corpo elastico già fratturato secondo uno schema predefinito, sottoposto ad un campo degli sforzi avente geometria data. Lo scopo del modello è quindi quello di trovare il valore massimo della tensione ideale ( $\tau_m$ ) che corrisponde al massimo valore della deformazione per cui sono verificate le condizioni di rottura del materiale. Mantenendo costante la geometria delle fratture e variando le condizioni del campo degli sforzi è possibile localizzare le aree sottoposte alla massima tensione (tensione ideale  $\tau_m$ ) nonché le variazioni della direzione degli sforzi indotti all'interno del sistema modellizzato.

Assumendo che sia la crosta continentale che la crosta oceanica possono essere considerati come corpi elastici semi isotropi a densità e modulo di elasticità variabile (GOMBERG & ELLIS, 1994) il loro stato tensionale caratteristico può essere definito dalla seguente condizione:

$$T = \begin{matrix} sx & txy & txz \\ txy & sy & tyz \\ txz & tyz & sz \end{matrix}$$

dove T è il tensore simmetrico e s e t sono le componenti normali e tangenziali relative ai tre piani normali coincidenti con gli assi di riferimento cartesiano ortogonale (x, y e z) di un parallelepipedo trirettangolo avente lati di dimensioni infinitesime.

Al fine di definire in ogni punto i valori della tensione ideale  $\tau_m$  devono essere determinati inoltre i valori delle componenti principali di tensione  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$  i quali sono definiti dalle radici dell'equazione cubica nell'incognita  $\sigma$ :

$$\begin{matrix} sx-\sigma & txy & txz \\ txy & sy-\sigma & tyz \\ txz & tyz & sz-\sigma \end{matrix}$$

La tensione ideale  $\tau_m$  è quindi ottenibile dalla relazione:

$$\tau_m = 1/\sqrt{15} \sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_3-\sigma_1)^2}$$

Le leggi di variazione della direzione degli sforzi indotti all'interno del sistema modellato sono regolate dal vettore tensione t il quale può essere scomposto in due componenti: una normale ( $\sigma_n$ ) ed una tangenziale ( $\tau_n$ ) con:

$$\begin{matrix} \sigma_n = sx \cos^2 \phi + sy \sin^2 \phi + txy \sin 2\phi \\ \tau_n = (sx - sy) \sin \phi \cos \phi - txy \cos 2\phi \end{matrix}$$

Le direzioni principali del vettore tensione sul piano x-y sono pertanto rappresentate da tutti i valori di  $\phi$  per cui la componente tangenziale  $\tau_n$  si annulla.

Le equazioni descritte sono state applicate ad una griglia nella quale si è riprodotto il sistema da modellizzare riportando in essa le maggiori discontinuità così come evidenziate dal rilevamento strutturale. La griglia è costituita da elementi a tre e a quattro nodi liberi di muoversi lungo gli assi x e y, essendo vincolati con  $x = y = 0$  solo lungo le discontinuità (GOMBERG & ELLIS, 1994).

Il modello prevede una crosta continentale avente spessore di 20 km con una densità di 2,7 gr/cm<sup>3</sup>, un modulo di elasticità  $E = 6 \cdot 10^{10}$  Pa, un coefficiente di Poisson  $\nu = 0,25$  ed un modulo di elasticità tangenziale  $G = E/2,5$ . Considerato che la resistenza al taglio delle rocce cristalline varia tra 80 e 500 MPa è stato scelto come criterio di rottura una resistenza media di 160 MPa (resistenza media in rocce calcaree e granitiche) ponendo quindi come condizione  $\tau_m > 160$  Mpa.

Una prima simulazione è stata effettuata applicando alla griglia (Fig. 5a) un campo degli sforzi agente in modo simmetrico lungo una direzione N 100°E e caratterizzato da valori di  $10^3$  MPa. I risultati di questo esperimento mostrano (Fig. 5b) che le aree nelle quali  $\tau_m$  assume i valori massimi, corrispondenti ai massimi valori di  $\sigma_3$  pari a 100 MPa, sono localizzate nei settori di Stromboli-Panarea, di Salina-Lipari-Vulcano e poco a ovest di Salina in corrispondenza dell'isola di Filicudi. Questi risultati risultano in contrasto con i dati geologici che individuano le zone di massima apertura localizzate solamente a Stromboli, Lipari e Vulcano, le sole isole caratterizzate da attività vulcanica recente. Anche le variazioni della direzione degli sforzi all'interno del sistema sono in contrasto con i dati strutturali. In particolare, in corrispondenza del sistema di discontinuità Salina-Vulcano gli sforzi si dispongono perpendicolarmente alle strutture rilevando un'incompatibilità con i movimenti trascorrenti osservati.

E' stata pertanto effettuata una seconda simulazione con un campo degli sforzi asimmetrico, avente le stesse caratteristiche in valore e direzione, applicato solo nei settori orientali del modello con il lato occidentale della griglia vincolato lungo x e y. I risultati (Fig. 5c) mostrano i valori massimi di  $\tau_m$  localizzati solamente in corrispondenza dell'isola di Stromboli e delle isole di Vulcano e Lipari mentre massimi relativi si osservano a Salina e a SW di Stromboli. Questa distribuzione è in buon accordo con i dati geologici che suggeriscono massima lacerazione crostale in corrispondenza delle isole caratterizzate da attività vulcanica storica (Stromboli, Vulcano e Lipari) e minori valori di deformazione nelle aree interessate solo da intensa attività fumarolica (Salina e Panarea). Anche l'andamento del campo degli sforzi è in ottimo accordo con i dati strutturali mostrando, in corrispondenza delle discontinuità ad andamento NW-SE, direzioni oblique che giustificano componenti orizzontali di movimento lungo le strutture.

## CONCLUSIONI

I risultati degli studi effettuati nelle isole orientali dell'arcipelago eoliano hanno evidenziato come l'evoluzione geodinamica di questo settore sia stata e sia controllata da una tettonica estensionale caratterizzata da

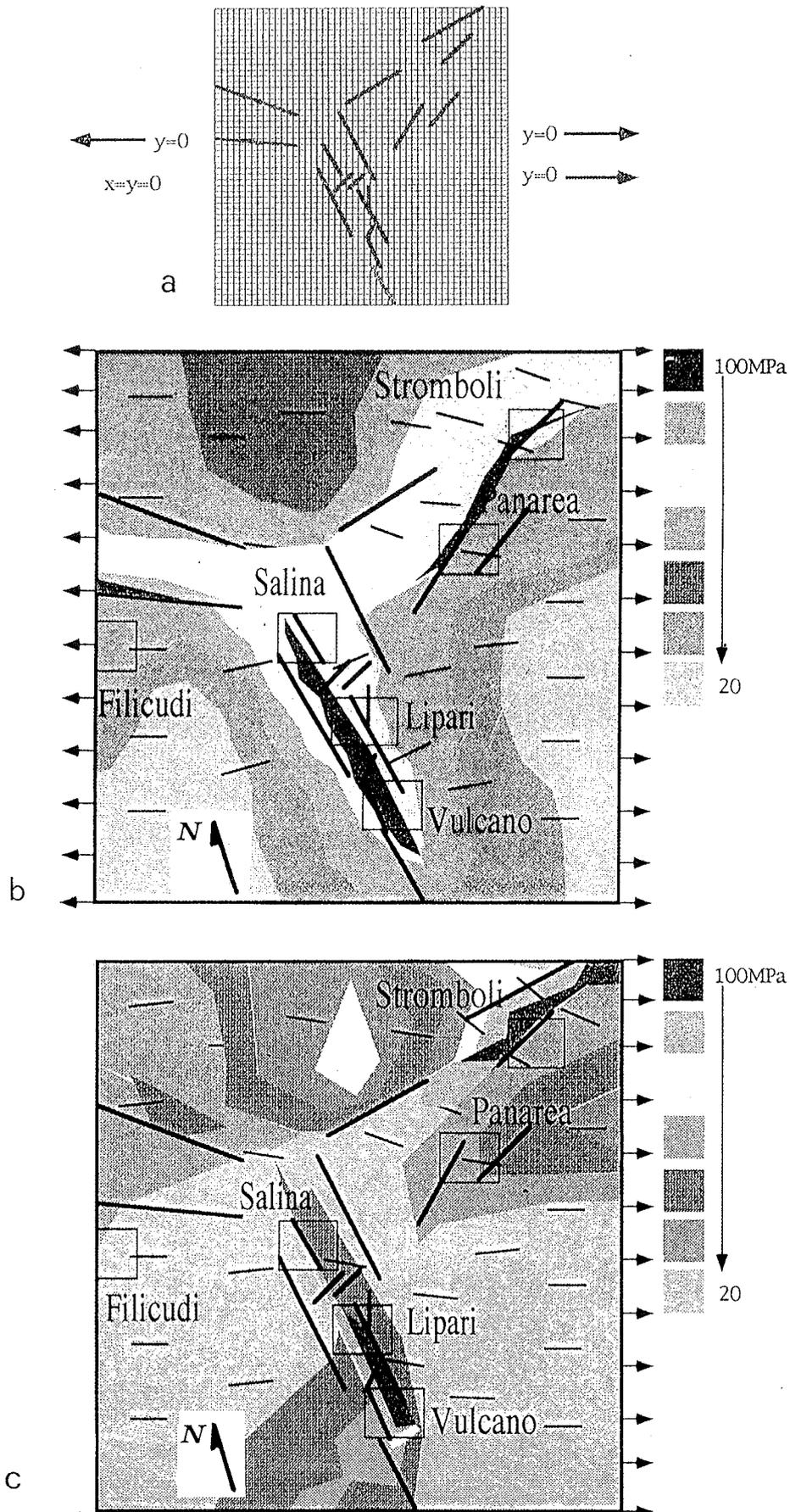


Fig. 5 - Risultati del modello matematico ad elementi finiti del settore orientale dell'arcipelago eoliano, ottenuto applicando uno sforzo di  $10^3$  Mpa. a) Geometria della griglia e distribuzione delle dislocazioni tettoniche (linee a tratto continuo) usate per le simulazioni; b) simulazione con sforzo simmetrico; c) simulazione con sforzo asimmetrico applicato lungo il lato orientale della griglia. La scala laterale indica i valori del  $\sigma_3$ .

direzioni di estensione massima orientate circa N 100°E. Questa estensione verrebbe accomodata dalle strutture puramente estensionali ad andamento NE-SW che si sviluppano lungo l'asse Salina-Stromboli, mentre lungo la direttrice Salina-Vulcano, orientata NW-SE, essa darebbe luogo a sforzi prevalentemente di taglio responsabili della complessità strutturale di questa discontinuità.

Ambedue i sistemi strutturali mostrano di essere coevi e cinematicamente compatibili con una direzione di estensione massima orientata circa WNW-ESE responsabile della tettonica recente ed attiva che caratterizza l'intera regione dell'Arco Calabro e della Sicilia orientale (TORTORICI *et alii*, 1986; 1995; MAZZUOLI *et alii*, 1995; MONACO & TORTORICI, questo vol.). Questa configurazione cinematica, verificata anche attraverso una modellizzazione matematica che ne ha messo in evidenza la validità solo per un'applicazione asimmetrica degli sforzi tensionali ubicati nei settori orientali dell'area investigata, è responsabile dello sviluppo delle strutture tettoniche e conseguentemente del vulcanesimo che caratterizza l'intero settore orientale dell'arcipelago.

Il magmatismo di queste isole sarebbe pertanto strettamente controllato, nelle sue variazioni sia spaziali che temporali, dalle modalità di deformazione sviluppatesi nei vari settori. Strutture puramente estensionali avrebbero caratterizzato l'intera direttrice Salina-Stromboli con lo sviluppo di *crack* estensionali che, attraversando l'intera crosta continentale, avrebbero raggiunto porzioni differenti del mantello. Nei settori di massima deformazione (Stromboli) lungo queste strutture magmi incontaminati avrebbero raggiunto direttamente, o con fasi di stazionamento poco significative, la superficie dando luogo ad un vulcanesimo caratterizzato da prodotti relativamente poco differenziati. Nelle aree interessate da minore deformazione (Salina, Panarea), una minore diffusione delle fessure estensionali all'interno della crosta continentale avrebbe invece facilitato la possibilità di stazionamento dei magmi di origine mantellica all'interno di camere magmatiche con l'avvio dei conseguenti processi di differenziazione.

Lungo la direttrice NW-SE (Salina-Vulcano) si è avuta invece un'evoluzione del magmatismo più complessa, essendo strettamente condizionata alla storia deformativa tipica di una zona trascorrente (MAZZUOLI *et alii*, 1995). Durante un primo stadio deformativo lungo l'intera fascia trascorrente si sarebbero individuate una serie di fratture estensionali disposte *en-échelon* con orientazioni da N-S a NE-SW. Lungo queste fratture il magma del mantello avrebbe raggiunto la superficie dando luogo ad un vulcanesimo prevalentemente effusivo caratterizzato da prodotti a composizione basaltica. Durante questo stadio grandi quantità di magma si sarebbero intruse lungo le maggiori discontinuità esistenti all'interno della crosta continentale (ad es. limite crosta superiore-crosta inferiore) o al limite crosta-mantello. Queste intrusioni, assumendo il ruolo di sorgenti calde, avrebbero innescato fenomeni di fusione parziale all'interno della crosta continentale (HUPPERT & SPARKS, 1985) con la creazione di magmi più silicatici, più leggeri e viscosi, che avrebbero intrappolato l'originario magma basaltico impedendogli di raggiungere la superficie e favorendo fenomeni di mescolamento tra i differenti fusi (*mixing*).

Durante un secondo stadio deformativo in cui i

movimenti trascorrenti lungo le strutture ad andamento NW-SE diventano prevalenti, le zone di apertura iniziano ad essere localizzate solo nelle zone di sovrapposizione tra i diversi segmenti trascorrenti disposti *en-échelon* (bacini *pull-apart*) o alle loro terminazioni, nelle zone di sviluppo di *fan* estensionali. In queste aree localizzate si sviluppano le fratture estensionali le quali, in funzione della loro profondità di propagazione, permettono la risalita di magmi profondi provenienti direttamente dal mantello (Vulcano) o di magmi più evoluti provenienti sia da porzioni profonde della crosta continentale che da camere magmatiche più o meno superficiali. In queste aree sono anche localizzate le maggiori depressioni vulcano-tettoniche presenti nelle isole il cui sviluppo può essere pertanto interpretato come legato prevalentemente a collassi tettonici e solo subordinatamente a processi di tipo magmatico.

L'insieme dei risultati ottenuti mostra pertanto l'esistenza, negli ultimi 500 ka (età più antica documentabile in affioramento), di una stretta relazione tra l'evoluzione magmatica e l'evoluzione strutturale di questo settore dell'arcipelago eoliano il quale costituirebbe quindi il risultato della deformazione delle porzioni più occidentali della crosta continentale dell'Arco Calabro, al limite con i settori oceanizzati del bacino del Marsili.

Considerando che il bacino del Marsili, formatosi al limite tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene inferiore (1.67- 1.87 Ma), è attualmente in subsidenza (KASTEN *et alii*, 1988) e che l'intera crosta continentale dell'Arco Calabro a partire dal Pleistocene medio (~ 700 ka) è in forte sollevamento a causa della fine dei processi di *underplating* del dominio ionico al di sotto dell'arco e del conseguente distacco dello *slab* subdotto (WESTAWAY, 1993; WORTEL & SPACKMAN, 1993; TORTORICI *et alii*, 1995), la tettonica estensionale ed il conseguente magmatismo di questo settore delle isole Eolie rappresenterebbero il risultato di un processo di *rifting* continentale sviluppatosi successivamente alla subduzione della litosfera ionica al di sotto dell'Arco Calabro (TORTORICI *et alii*, 1986; 1995; MAZZUOLI *et alii*, 1995; MONACO & TORTORICI, questo vol.). Questo processo di *rifting*, iniziato a partire dal Pleistocene medio, provocherebbe la rottura della crosta continentale calabrese con la formazione di strutture che raggiungerebbero un mantello litosferico in condizioni di produrre fusi a profondità relativamente basse (interfaccia crosta-mantello) a causa di risalite di materiale del sottostante mantello astenosferico (HOERNLE *et alii*, 1995). In quest'ottica l'affinità calcoalcalina dei prodotti eoliani sarebbe da ricondurre alla presenza di un mantello fortemente modificato sia dai precedenti processi collisionali che dagli attuali processi di risalita delle isoterme.

#### BIBLIOGRAFIA

- AYDIN A., SHULTZ R.A. & CAMPAGNA D. (1990) - *Fault-normal dilatation in pull-apart basins: implications for the relationships between strike-slip faults and volcanic activity*. *Annales Tectonicae*, **4**, 45-52.
- BARBANO M.S., BOTTARI A., CARVENI P., COSENTINO M., FEDERICO B., FONTE G., LO GIUDICE E., LOMBARDO G. & PATANÈ G. (1979) - *Macroscopic study of the Gulf of Patti earthquake in the geostructural frame of the north eastern Sicily*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **98**, 155-174.

- BARBERI F., INNOCENTI F., FERRARA G., KELLER J. & VILLARI L. (1974) - *Evolution of Eolian Arc volcanism (Southern Tyrrhenian Sea)*. Earth Pl. Sc. Lett., **21**, 269-276.
- BECCALUVA L., GABBIANELLI G., LUCCHINI F., ROSSI P.L. & SAVELLI C. (1985) - *Petrology and K/Ar ages of volcanics dredged from the Eolian seamounts: implications for geodynamic evolution of the Southern Tyrrhenian basin*. Earth Pl. Sc. Lett., **74**, 187-208.
- BELLIER O. & SEBRIER M. (1994) - *Relationship between tectonism and volcanism along the Great Sumatran Fault Zone deduced by SPOT image analysis*. Tectonophysics, **233**, 215-231.
- BOCCALETTI M., NICOLICH L. & TORTORICI L. (1990) - *New data and hypothesis on the development of the Tyrrhenian basin*. Paleogeogr., Paleoclim., Paleoecol., **77**, 15-40.
- CELLO G., GUERRA I., TORTORICI L., TURCO E. & SCARPA R. (1982) - *Geometry of the neotectonic stress field in Southern Italy: geological and seismological evidence*. J. Struct. Geol., **4**, 385-393.
- CRISCI G.M., DE ROSA R., ESPERANÇA S., MAZZUOLI R. & SONNINO M. (1991) - *Temporal evolution of a three component system: the Island of Lipari (Aeolian Arc, southern Italy)*. Bull. of Volcanol., **53**, 207-221.
- CROUCH L. & STARFIELD J. (1983) - *Boundary element methods in Solid Mechanics*. ALLEN & UNWIN Ed., Winchester, 465 pp.
- DE ASTIS G., FRAZZETTA G. & LA VOLPE L. (1989) - *I depositi di riempimento della Caldera del Piano e i depositi del Lentia*. Boll. GNV, **2**, 763-778.
- ELLAM R.M., HAWKESWORTH C.J., MENZIES M.A., & ROGERS N.W. (1989) - *The volcanism of Southern Italy: role of subduction and relationships between potassic and sodic alkaline magmatism*. J. Geophys. Res., **94**, 4589-4601.
- ESPERANÇA S., CRISCI G.M., DE ROSA R. & MAZZUOLI R. (1992) - *The role of the crust in the magmatic evolution of the island of Lipari*. Contrib. Mineralia Petrol., **112**, 450-462.
- FRANCALANCI L., MANETTI P. & PECCERILLO A. (1989) - *Volcanological and magmatological evolution of Stromboli volcano (Aeolian islands): the roles of fractional crystallization magma mixing, crustal contamination and source heterogeneity*. Bull. of Volcanol., **51**, 355-378.
- GABBIANELLI G., GILLOT P.Y., LANZAFAME G., LIGI M., POSTPISCHL D. & ROSSI P.L. (1986) - *Controllo strutturale nell'evoluzione vulcanica di Panarea (Isole Eolie)*. C.N.R.-I.I.V., Open File Report, **4/86**, 27 pp.
- GABBIANELLI G., GILLOT P.Y., LANZAFAME G., ROMAGNOLI C. & ROSSI P.L. (1990) - *Tectonic and volcanic evolution of Panarea (Aeolian Islands, Italy)*. Marine Geol., **92**, 313-326.
- GABBIANELLI G., ROMAGNOLI C., ROSSI P.L., CALANCHI N., LUCCHINI F. (1991) - *Submarine morphology and tectonics of Vulcano (Aeolian Islands, Southeastern Tyrrhenian Sea)*. Acta Vulcanologica, **1**, 135-142.
- GABBIANELLI G., ROMAGNOLI C., ROSSI P.L. & CALANCHI N. (1993) - *Marine geology of the Panarea-Stromboli area (Aeolian Archipelago, Southeastern Tyrrhenian Sea)*. Acta Vulcanologica, **3**, 11-20.
- GASPARINI G., IANACCONE G., SCANDONE P. & SCARPA R. (1982) - *Seismotectonics of the Calabrian Arc*. Tectonophysics, **84**, 267-286.
- GILLOT P.Y. (1987) - *Histoire volcanique des Iles Eoliennes: arc insulaire or complexe orogenique anulaire?* D.T. IGAL, **11**, 35-42.
- GILLOT P.Y., FRAZZETTA G., LA VOLPE L. (1990) - *Volcano-tectonic evolution of Vulcano (Aeolian Islands, Southern Tyrrhenian Sea) from geochronological (K-Ar) study*. IAVCEI - Mainz 1990, Abstracts Volume.
- GILLOT P.Y. & KELLER J. (1993) - *Radiochronological dating of Stromboli*. Acta Vulcanologica, **3**, 60-78.
- GOMBERG J. & ELLIS M. (1994) - *Topography and tectonics of the central New Madrid seismic zone: results and numerical experiments using a three-dimensional boundary element program*. J. Geophys. Res., **99**, 20299-20310.
- HOERNLE K., ZHANG Y.S. & GRAHAM D. (1995) - *Seismic and geochemical evidence for large-scale mantle upwelling beneath the eastern Atlantic and western and central Europe*. Nature, **374**, 34-38.
- HORNIG-KJARSGAARD J., KELLER J., KOBERSKI U., STADLBAUER E., FRANCALANCI L. & LENHART R. (1993) - *Geology, stratigraphy and volcanological evolution of the island of Stromboli, Aeolian arc, Italy*. Acta Vulcanologica, **3**, 21-68.
- HUPPERT H.E. & SPARKS R.S.J. (1985) - *Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust*. Earth Pl. Sc. Lett., **74**, 371-386.
- KASTEN, K., MASCLE J. & ODP LEG 107 SCIENTIFIC PARTY (1988) - *ODP Leg 107 in the Tyrrhenian Sea: Insights into passive margin and back-arc basin evolution*. Geol. Soc. Am. Bull., **100**, 1140-1156.
- KELLER J. (1980a) - *The island of Salina*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., **36**, 489-524.
- KELLER J. (1980b) - *The island of Vulcano*. Rend. Soc. It. Min. e Petr., **36**, 369-414.
- KELLER J. (1982) - *Mediterranean island arcs*. In: THORPE R.S. Ed. "Andesites", Wiley, Chichester, 307-325.
- LANZAFAME G. & ROSSI P.L. (1984) - *Evidenze di attività tettonica recente a Panarea (Eolie): implicazioni vulcanologiche*. Geol. Romana, **23**, 131-140.
- LAVECCHIA G. & STOPPA F. (1990) - *The Tyrrhenian zone: a case of lithosphere extension control of intracontinental magmatism*. Earth Pl. Sc. Lett., **99**, 336-350.
- MAZZUOLI R., TORTORICI L. & VENTURA G. (1995) - *Oblique rifting in the Aeolian islands: structural and volcanological evidences from the islands of Salina, Lipari and Vulcano (Southern Italy)*. Terra Nova, **7**, 444-452.
- MCKENZIE D. (1972) - *Active tectonics in the Mediterranean region*. Geophys. J. R. Astr. Soc., **30**, 109-185.
- MERCALLI G. & SILVESTRI O. (1891) - *Le eruzioni dell'isola di Vulcano incominciate il 3 Agosto 1888 e terminate il 22 Marzo 1890*. Uff. Meteor. Geodin., **10**, 213 pp.
- MONACO C. & TORTORICI L. (1995) - *Tettonica estensionale quaternaria nell'Arco Calabro e in Sicilia orientale*. Studi Geol. Camerti, questo volume.
- PICHLER H. (1980) - *The island of Lipari*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., **36**, 415-440.
- RICCI LUCCHI F., CALANCHI N., LANZAFAME G. & ROSSI P.L. (1988) - *Plant rich pyroclastic deposits of M.te S. Angelo (Lipari, Aeolian Islands)*. Rend. Soc. It. Min. Petr., **43**, 1227-1239.
- ROMAGNOLI C., CALANCHI N., GABBIANELLI G., LANZAFAME G. & ROSSI P.L. (1989) - *Contributi delle ricerche di geologia marina alla caratterizzazione morfostrutturale ed evolutiva dei complessi vulcanici di Salina, Lipari e Vulcano (isole Eolie)*. Boll. GNV, **2**, 971-978.
- ROMAGNOLI C., KOKELAAR P., ROSSI P.L. & SODI A. (1993) - *The submarine extension of Sciara del Fuoco feature (Stromboli Is.): morphological characterization*. Acta Vulcanologica, **3**, 91-98.
- TORTORICI L., TAPPONNIER P. & WINTER T. (1986) - *Faulting during the 1783 Calabria earthquakes and tectonics of the Strait of Messina*. EOS Trans. AGU, **67**, 1188.
- TORTORICI L., MONACO C., TANSI C. & COCINA O. (1995) - *Recent and active tectonics of the Calabrian Arc*. Tectonophysics, **243**, 37-55.
- VENTURA G. (1994) - *Tectonics, structural evolution and caldera formation on Vulcano island (Aeolian Archipelago, Southern Tyrrhenian Sea)*. J. Volcan. Geotherm. Res., **60**, 207-224.
- WANG C.Y., HWANG W.T., SHI Y. (1989) - *Thermal evolution of a rift basin: the Tyrrhenian Sea*. J. Geophys. Res., **94**, 3991-4006.
- WESTAWAY R. (1993) - *Quaternary uplift of Southern Italy*. J. Geophys. Res., **98**, 21741-21722.
- WOODCOCK N.H. & FISCHER M. (1986) - *Strike-slip duplex*. J. Struct. Geol., **8**, 725-735.
- WORTEL M.J.R. & SPACKMAN W. (1993) - *The dynamic evolution of the Apenninic-Calabrian, Hellenic and Carpathian arcs: a unifying approach*. Terra Nova Abstr., **1**(5), 97.
- XIAHOAN L. (1983) - *Perturbation de contraintes liées aux structures cassantes dans calcaires fins du Languedoc. Observations et simulations mathématiques*. Tesi di Dottorato, Univ. di Montpellier.
- ZANCI A. & FRANCALANCI L. (1989) - *Analisi geologico-strutturale dell'Isola di Stromboli: alcune considerazioni preliminari*. Boll. G.N.V., **2**, 1027-1044.