

**CONSIDERAZIONI SULL'ASSETTO TETTONICO CROSTALE LUNGO IL PROFILO CROP 03
DA ANALISI DEI LINEAMENTI TELERILEVATI^(*)**

RIASSUNTO

Al fine di caratterizzare tettonicamente la crosta superiore interessata dal profilo sismico profondo CROP 03, sono state analizzate le variazioni negli spettri azimutali dei lineamenti lungo quattro profili regionali M.Tirreno - M.Adriatico, nell'Appennino Centro-Settentrionale. A tale scopo è stato utilizzato il set di lineamenti morfologici prodotti secondo la tecnica "shadow" in WISE *et al.* (1985). L'analisi ha messo in luce la presenza di due settori crostali a comportamento differente, separati da una fascia NW-SE localizzata lungo l'allineamento M.ti del Chianti - Val di Chiana. Il Settore Tirrenico è caratterizzato dalla presenza di numerose fasce di transizione fraposte a zone che mostrano limitate variazioni nello spettro azimutale. Il Settore Appenninico presenta larghe zone di transizione che separano aree con spettri azimutali fortemente differenti. Tali variazioni vengono messe in relazione ad una reologia relativamente più fragile e ad un minore spessore crostale del settore SW rispetto a quello NE. All'altezza della sezione M.Argentario - S.Benedetto del Tronto la zona di separazione si sposta bruscamente verso SW immediatamente ad E dei M.ti Romani (40 km ENE del M.Argentario).

ABSTRACT

In order to characterize the upper crust tectonics in the area of the CROP 03 deep seismic profile, variations in the azimuthal spectra of lineaments were considered. The study was progressed along four regional profiles from Tyrrhenian Sea to Adriatic Sea through Central-Northern Apennines. The set of morphological lineaments produced by WISE *et al.* (1985) with the Shadowed Relief Map techniques was adopted. The analysis showed the presence of two different upper crustal sectors, separated by a NW-SE elongated transitional zone. This is localized along the M.ti del Chianti - Val di Chiana alignment. The Tyrrhenian Sector to the SW is characterized by the presence of several transitions (i.e. narrow zones where we assist to a generally abrupt change in lineament azimuthal spectra) separating zones with partial variations in spectra. The Apenninic Sector presents wider transitions that separate areas with strongly differing azimuthal spectra. These different behaviours are related to a more brittle rheology and to a minor thickness of the upper crust in the SW sector with respect to the NE one. Along the southernmost section (M.Argentario - S.Benedetto del Tronto) the separation zone abruptly moves to the SW and places

(*) - Lavoro realizzato con fondi MURST 40% e con il contributo del C.N.R.- Centro di studio per la geologia strutturale e dinamica dell'Appennino.

(**) - Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, Via S.Maria, 53, PISA.

immediatamente E of M.ti Romani (some 40 km ENE of M.Argentario).

PAROLE CHIAVE: Telerilevamento, Lineamenti, Assetto crostale.

KEY WORDS: Remote sensing, Lineaments, Crustal setting.

INTRODUZIONE

Il presente studio è stato condotto nell'area interessata dal profilo crostale profondo CROP 03 al fine di identificare possibili settori crostali a comportamento strutturale omogeneo e le loro relative zone di transizione. Queste possono essere messe in relazione a cambiamenti nelle sollecitazioni crostali recenti o attuali e/o a variazioni nella reologia della crosta superiore (ad esempio discontinuità). Tali informazioni sono state derivate analizzando le variazioni nella distribuzione dei domini di lineamenti lungo quattro sezioni individuate nell'ambito del rapporto preliminare sul profilo CROP 03 (M.Argentario-S.Benedetto del Tronto, M.ti dell'Uccellina- M.Conero, Punta Ala-Gabicce e Campiglia Marittima-Cervia; vedi Fig.1).

L'assetto strutturale del settore esaminato, che comprende una porzione dell'Appennino Settentrionale, è complicato dalla presenza di due eventi tettonici in sovrapposizione parziale sia areale che temporale, riconducibili alla evoluzione geodinamica recente dell'area peninsulare italiana (FUNICELLO *et al.*, 1981; PATACCA & SCANDONE, 1989; BIGI *et al.*, 1990). Nel settore orientale le sollecitazioni compressive legate all'orogenesi appenninica hanno determinato la sovrapposizione tettonica di una serie di unità, raggruppabili, da W verso E, in 4 falde principali: la Falda Toscana, l'Unità del M.Cervarola, la Falda Umbro-Marchigiana e le unità terrigene mio-plioceniche presenti lungo la costa adriatica ed in *off-shore* al di sotto dei sedimenti attuali (Fig.1). All'interno di queste unità si riconoscono numerosi accavallamenti minori. Le età di messa in posto delle singole falde ed accavallamenti minori (a partire dal Tortonian), progressivamente più giovani procedendo verso E, unite ai rapporti tra le loro deformazioni associate, indicano una generale provenienza delle stesse dal quadrante SW. Nel settore occidentale, viceversa, lo stile tettonico superficiale è dominato dall'apertura del bacino del M.Tirreno, iniziata nel Miocene Superiore, che coinvolge e rideforma le porzioni più occidentali delle unità sopra menzionate, già dislocate in precedenza.

Ciò che ne deriva sono una serie di faglie listriche

NNW-SSE ad immersione tirrenica, con associate numerose faglie antitetiche. Lo sviluppo di tali deformazioni ha portato alla genesi ed evoluzione sequenziale di una serie di bacini asimmetrici al progredire della tettonica distensiva verso oriente.

La presenza di brandelli di unità di bacino oceanico di incerta provenienza e di grossi volumi di depositi terrigeni di età eocenica-oligocenica permettono di ipotizzare l'esistenza di un processo orogenetico appena precedente, a spese del quale si è in parte evoluta l'orogenesi appenninica. Anche l'assetto crostale presenta delle incertezze: calcoli effettuati nelle coperture superficiali sono a favore di un limitato raccorciamento crostale (BALLY *et al.*, 1986). I dati geofisici attualmente non permettono di risolvere questa problematica, evidenziando secondo alcuni Autori indicazioni a favore di un raddoppio crostale, secondo altri di un più semplice passaggio graduale da una crosta in via di oceanizzazione ad una di tipo intermedio (SUHADOLC & PANZA, 1989). La gravimetria regionale giustifica l'assetto superficiale descritto, evidenziando la presenza di un forte massimo relativo in corrispondenza del M. Tirreno e di un minimo relativo in corrispondenza del M. Adriatico (PAROTTO & PRATURLON, 1973).

SIGNIFICATO DEI LINEAMENTI

I lineamenti consistono in allineamenti di morfologie e di variazioni di toni presenti sulla superficie dei pianeti, di lunghezza compresa tra pochi chilometri e diverse centinaia. Essi sono caratterizzati da una definizione troppo limitata per essere osservati alla scala di un normale rilevamento di campagna. Solo l'osservazione di rappresentazioni sintetiche (a scala regionale) della superficie terrestre può viceversa metterle in evidenza.

Dopo i primi studi condotti all'inizio del secolo (HOBBS, 1904) utilizzando carte geografiche "a sfumo", uno studio più sistematico e con migliore risoluzione è stato reso possibile negli ultimi venti anni grazie all'impiego delle immagini fornite dai satelliti artificiali e da quelle SLAR ("immagini radar"). I primi risultati (BODECHTEL *et al.*, 1975), non certo incoraggianti, hanno messo in luce una loro forte dipendenza da fattori esterni quali:

- condizioni di illuminazione
- osservatore

Infatti nel primo caso i lineamenti cambiano di posizione e ruotano di alcuni gradi al variare delle condizioni sia di altezza che di azimut dell'illuminazione (fino a scomparire).

Nel secondo caso, operatori differenti o tentativi ripetuti di osservazione da parte del medesimo operatore presentano lineamenti parzialmente differenti come posizione. In altre parole non è garantita l'oggettività del singolo dato.

WISE (1969), in un approccio analitico, ha eviden-

ziato i problemi relativi alle condizioni di illuminazione e conclude suggerendo di eliminare tale dipendenza attraverso l'analisi complessiva di dati provenienti da una serie di immagini della stessa area ottenute secondo almeno quattro direzioni di illuminazione radente (ogni 45 gradi), condizione tuttavia non ottenibile utilizzando immagini generate da sistemi di telerilevamento passivi (che utilizzano cioè come sorgente e.m. l'energia del Sole).

L'alternativa è quella di utilizzare immagini di sistemi attivi quali quelle SLAR, sfortunatamente di alto costo e non ancora disponibili in maniera sistematica. In attesa che la loro acquisizione e distribuzione sia resa possibile, WISE (1969) e WISE *et al.* (1985) hanno proposto con successo l'utilizzazione di immagini riprese in condizione di luce radente di plastici ad alta risoluzione quali quelli forniti dall'U.S. Army alla scala 1:500.000 (tecnica "Shadow").

Il trattamento in chiave statistica di tali dati ha permesso di risolvere in buona parte il problema della soggettività del dato. Una serie di tests ha permesso di chiarire infatti che, mentre l'identificazione di ciascun singolo lineamento è fortemente influenzata da fattori soggettivi, le direzioni preferenziali presenti ed osservate ("domini di lineamenti") sono le stesse (con scarti inferiori ai 5°) tra tutti gli operatori esperti (cioè non ai primi tentativi). Le analisi infatti hanno mostrato che solo il 30% di lineamenti, osservati alla scala 1:1.000.000, coincidono a meno di 1 km tra due operatori e che tale coincidenza tende a diventare intorno al 10% all'aumentare del numero degli operatori.

Recentemente sono stati messi a punto sistemi automatici di identificazione di lineamenti su immagini satellite che utilizzano un algoritmo numerico derivato dalla trasformata di Hough (HOUGH, 1962; SALVINI, 1985). Le direzioni preferenziali identificate con questa metodologia coincidono perfettamente con i dati ricavati manualmente. L'analisi dei lineamenti è stata inoltre applicata anche su immagini generate da topografia digitale, eliminando in tal modo possibili modificazioni legate alla costruzione dei plastici.

Attualmente l'analisi dei lineamenti in chiave statistica viene condotta con successo anche utilizzando immagini satellite riprese utilizzando l'energia e.m. del Sole, filtrando i risultati secondo quanto evidenziato da WISE (1969).

In WISE *et al.* (1985) sono stati messi in relazione i domini di lineamenti presenti in Italia (utilizzando i plastici del U.S. Army) con l'assetto strutturale della crosta superiore. Alla luce di questo lavoro e di altri analoghi, i lineamenti possono oggi essere considerati come effetti morfologici di debolezze lineari indotte sulla crosta superiore dagli stress regionali agenti o recenti, in analogia con quanto viene evidenziato sulle superfici dei metalli che hanno subito delle sollecitazioni, ed attaccate con acidi deboli (come gli studi condotti sulle meteoriti metalliche).

Il presente studio è stato condotto utilizzando il set di lineamenti preparato da WISE *et al.* (1985). Poiché la zonizzazione per cui sono stati utilizzati i do-

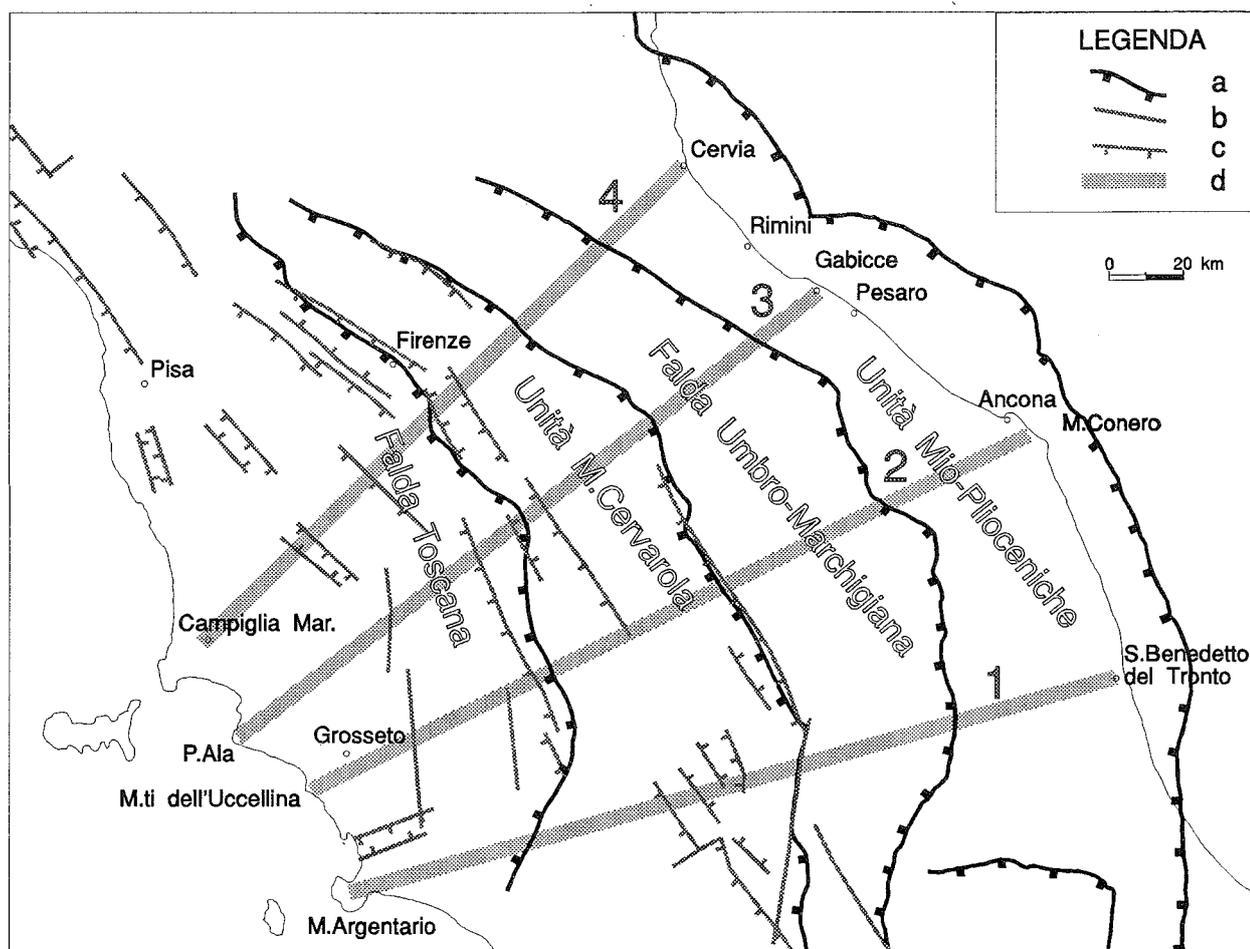


Fig.1 - Schema tettonico semplificato dell'Appennino Centro-Settentrionale. Legenda: a) principali fronti di accavallamento; b) principali faglie subverticali; c) principali faglie listriche normali; d) tracce delle sezioni analizzate (1-4).

mini di lineamenti risulta indipendente dalle direzioni preferenziali presenti, risultati analoghi dovrebbero essere ottenuti impiegando set di lineamenti ottenibili con tecniche diverse, quali le immagini riprese da satellite.

METODOLOGIA

Il metodo impiegato consiste nell'effettuare una serie di analisi degli spettri azimutali dei lineamenti lungo i profili, secondo quanto esposto in WISE *et al.* (1985). Tali indagini sono state ripetute ogni chilometro ed hanno interessato i lineamenti compresi in una fascia di 40 km di lato centrata sui vari profili analizzati. Per ciascuna elaborazione sono stati considerati i lineamenti la cui proiezione del punto medio sulla traccia della sezione distava meno di 10 km dal punto considerato lungo il profilo stesso. Questo ha consentito una sovrapposizione parziale dei dati, per una migliore chiarezza ed attendibilità statistica.

Tutte le analisi prevedono la preparazione di un istogramma azimutale cumulativo delle lunghezze. In altre parole, gli istogrammi cumulativi vengono costruiti sommando le lunghezze dei lineamenti nell'intervallo azimutale corrispondente. In Fig.2 sono riportati esempi dei vari passaggi e dei risultati di questa

operazione: in ascissa è riportata la coordinata distanza lungo il profilo, in ordinata l'azimut; i toni più scuri rappresentano valori relativamente più elevati.

Gli istogrammi prodotti vengono successivamente confrontati con curve teoriche somma di distribuzioni standard indipendenti (curve gaussiane). Si ottengono in questo modo le direzioni preferenziali presenti con i loro valori di azimut, di intensità relativa e di dispersione (spettri azimutali). I picchi principali vengono quindi rappresentati sempre in un diagramma azimut/distanza. L'analisi di questi diagrammi finali permette l'individuazione di zone di transizione come (1) brusche variazioni in azimut dei domini o (2) inizio o fine di un dominio di lineamenti. Ovviamente le zone in cui gli spettri azimutali presentano brusche variazioni generalizzate verranno identificate come le zone di transizione più importanti.

Nel presente studio sono state considerate come appartenenti alla medesima zona di transizione tutte le variazioni spettrali che distavano meno di 5 km (in ascissa). In questo modo sono state riconosciute delle fasce di transizione ampie sino a 20 km. Si è preferito inoltre parlare di rotazioni di domini rispetto a scomparsa e ricomparsa di nuovi domini quando, secondo un criterio di osservazione di primo ordine, è sembrato di osservare una continuità di variazione a scala regionale.

METODOLOGIA

Si assume una distribuzione normale intorno ad una serie di direzioni preferenziali del tipo:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N h_i e^{-4 \ln 2 \left(\frac{x - m_i}{\Delta_i} \right)^2}$$

dove:

x = azimut

h_i = altezza massima

m_i = azimut medio

$\Delta_i \approx \sqrt{2} \sigma_i$

N = n. distribuzioni significative
(con $h_i \geq 0.1 h_{max}$)

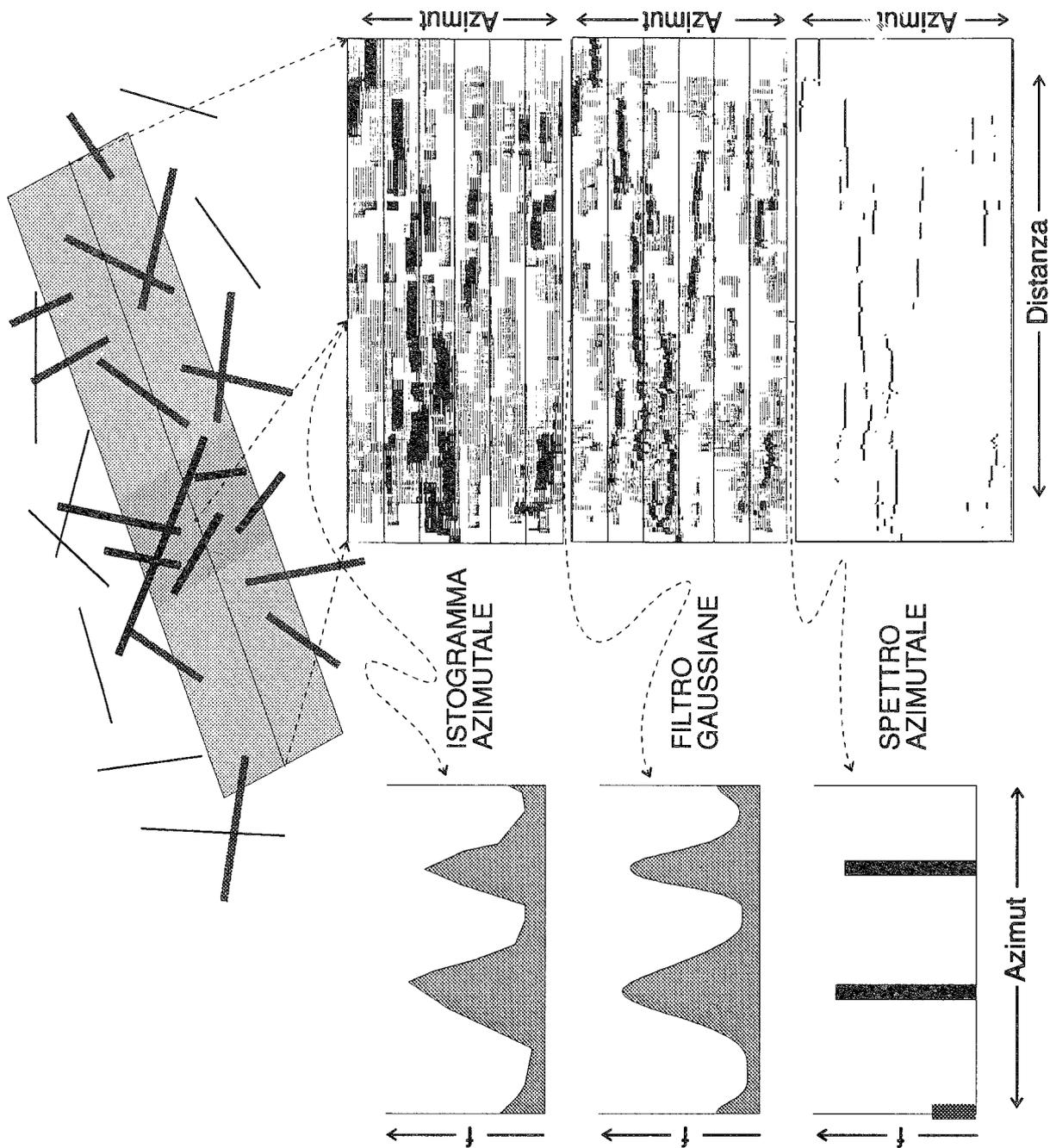


Fig.2 - Schema della metodologia utilizzata

RISULTATI

SEZIONE M.ARGENTARIO-S.BENEDETTO DEL TRONTO

L'analisi spettrale dei lineamenti, condotta secondo quanto esposto in precedenza lungo la sezione M.Argentario - S.Benedetto del Tronto per un totale di 234 km (vedi Fig.3), è caratterizzata dalla presenza costante di un dominio N-S che presenta un azimut leggermente ruotato di una decina di gradi in senso antiorario da W verso E. Infatti, mentre a WSW (M.Argentario, riferimento km 0 della coordinata lineare in ascissa) presenta una direzione media intorno a N10W, in prossimità dell'estremità ENE (S.Benedetto del Tronto, km 230) l'azimut medio è intorno a N20-25W. Tale cambiamento avviene in maniera piuttosto graduale con l'eccezione di una brusca rotazione di 7° presso il km 180 (transizione 1F).

Questo brusco stacco, insieme alla variabilità di distribuzione delle altre direzioni preferenziali presenti, consente l'individuazione di 6 zone di transizione principali. A partire da WSW queste transizioni si osservano al km 15 della coordinata lineare (zona di transizione 1A), tra il km 40 ed il km 50 (Transizione 1B), al km 82 (Transizione 1C), al km 100 (Transizione 1D), intorno al km 132 (Transizione 1E) e tra il km 180 ed il km 198 (Transizione 1F). Esse delimitano 7 blocchi a comportamento omogeneo. Le transizioni identificate presentano in alcuni casi una buona correlazione con la tettonica di superficie (Fig.4). Infatti la 1B coincide con il limite orientale di affioramento delle unità metamorfiche toscane, 1B ed 1D delimitano la depressione tettonica Val di Chiana-Paglia-Tevere e la 1E è localizzata alla terminazione della depressione tettonica della Val Nerina, mentre la transizione 1F, l'unica che sembra influenzare tutti i domini di lineamenti presenti, coincide con il Fronte dei Sibillini.

E' da tenere presente che il tipo particolare di trattazione dei dati fa sì che i risultati relativi alle zone di estremità delle sezioni, poichè in prossimità del mare (e quindi di aree prive di lineamenti), risentano di un effetto bordo che tende a mascherare alcune direzioni a favore di altre di significato più locale.

L'area compresa tra le transizioni 1A ed 1B è caratterizzata da uno spettro azimutale con tre direzioni preferenziali: oltre alla direzione N10W, sono presenti la N20-30W e la N60W. Alla transizione 1B è legata la scomparsa delle direzioni N60W e N30W, e la comparsa della direzione N55E, che caratterizza, sempre insieme al dominio N10W (che passa indisturbato), l'area successiva.

In prossimità della transizione 1C al dominio N55E si sostituisce, fino alla transizione 1D, la direzione N30E. L'area successiva, sempre procedendo da WSW verso ENE, presenta come accennato, oltre al dominio N10W, la ripresa della direzione N55E e la comparsa di un dominio N42W, che peraltro presenta una certa variabilità azimutale (ruota di circa 5° bruscamente al km 116). L'area successiva, compresa tra

le transizioni 1E ed 1F, si presenta ben omogenea, con il dominio intorno a N-S ormai ruotato a N15W e, meno marcati, la direzione preferenziale N45W insieme ad una ripresa del dominio N30E.

Infine, ad E della transizione 1F, si assiste alla rotazione del dominio principale N-S che assume una direzione N20W insieme alla scomparsa dei domini N30E e N45W ed alla ricomparsa di quelli N62E e, più debolmente, N60W.

SEZIONE MONTI DELL'UCCELLINA - M.CONERO

L'analisi spettrale dei lineamenti condotta lungo la sezione Monti dell'Uccellina - M.Conero per un totale di 230km (vedi Fig.3) è caratterizzata, al contrario della sezione precedente, da una forte frammentazione dei domini di lineamenti. Le 5 zone di transizione identificate infatti separano aree con spettri azimutali fortemente differenti e non è presente alcuna direzione preferenziale costante lungo tutta la sezione. Le transizioni sono localizzate al km 45 della coordinata lineare (Transizione 2A), tra il km 96 ed il km 112 (Transizione 2B), tra il km 125 ed il km 134 (Transizione 2C), presso il km 152 (Transizione 2D) e tra il km 175 ed il km 185 (Transizione 2E). Tra queste, due (2C e 2E) sono caratterizzate da una variazione dell'intero spettro di direzioni preferenziali tra le aree contigue. Altre transizioni di importanza minore sono presenti al km 20 (che può essere legata ad un effetto bordo) e nella fascia tra il km 65 ed il km 80.

Le zone di transizione individuate delimitano 6 blocchi a comportamento omogeneo e anche in questa sezione trovano in parte una corrispondenza con elementi tettonici di significato regionale identificati in superficie (Fig.4). La 2A è localizzata in prossimità dell'edificio vulcanico del M.Amiata; quella 2B si trova lungo la struttura distensiva della Val di Chiana; la transizione 2C coincide con il lineamento tettonico regionale che borda ad E l'alta V.Tiberina ed infine la fascia di transizione 2E si localizza sul fronte dei M.ti Sibillini.

Il tratto costiero è caratterizzato dalla presenza delle direzioni N30W e N10W. Gli spettri in prossimità della costa risultano affetti da notevole "effetto bordo". Nel blocco compreso tra la transizione 2A e quella 2B è presente il solo dominio N10W con l'eccezione del tratto tra il km 45 ed il km 50, dove ricompare la direzione N30W.

Nella zona compresa tra le transizioni 2B e 2C si assiste alla graduale rotazione antioraria di 20° del sistema intorno a N-S che passa a N20W. Il campo dei lineamenti è inoltre disperso secondo altre 5 direzioni preferenziali. La zona 2C-2D si presenta meno complessa. Il dominio N20W ruota bruscamente di 10° in senso antiorario sino a N30W. Scompaiono le direzioni intorno a NE e compare al loro posto un dominio azimutale E-W (N80W) che caratterizza, variando di poco il suo azimut in 2E, il tratto di profilo rimanente.

All'altezza di 2D si osserva la brusca rotazione oraria di 15° del dominio N30W che passa a N15W ed antioraria di 5 del sistema E-W che diviene N86W, mentre il dominio N48W resta invariato. La transizione 2E sembra legata ad un brusco cambiamento delle direzioni preferenziali dei lineamenti. Il dominio N-S ruota intorno a N25W; il N48W si interrompe per ri-

prendere al km 190; infine il dominio E-W ruota bruscamente in senso orario ed assume la direzione N70W. Compare inoltre nuovamente una direzione nel quadrante NE con azimut N65E.

SEZIONE P.ALA - GABICCE

Le cinque transizioni principali lungo questo profilo (Fig.3), che si estende da P.Ala a Gabicce, nei pressi di Pesaro per un totale di km 209, sono localizzate tra il km 30 ed il km 36 della coordinata lineare (Transizione 3A), al km 68 (Transizione 3B), tra il km 120 ed il km 127 (Transizione 3C), tra il km 142 ed il km 156 (Transizione 3D) e tra il km 170 ed il km 190 (Transizione 3E). Due transizioni minori sono localizzate al km 87 ed al km 102 (Transizioni 3B' e 3B'').

L'analisi mette in mostra una maggiore frammentazione di questo settore che comprende sino al km 140 l'area interessata in superficie dalla tettonica distensiva legata all'apertura del bacino del M.Tirreno. Quasi in corrispondenza di questo limite è situata la transizione principale 3D, in cui si assiste al completo cambiamento degli spettri azimutali. Questo stesso limite marca il fronte dell'Unità del M.Cervarola, così come il successivo 3E, che è localizzato sul fronte della Falda Umbro- Marchigiana.

La zona costiera è caratterizzata dalla presenza di direzioni di lineamenti N-S e N20W. Al passaggio con la successiva, mentre il N-S passa quasi indisturbato, si assiste alla rotazione antioraria di 10° della direzione preferenziale N20W, che diviene N30W. A questi due domini, l'analisi spettrale azimutale associa anche la direzione N50W. Il tratto 3B-3C è caratterizzato dalla scomparsa iniziale della direzione N50W. Al suo interno si osservano alcuni cambiamenti minori: all'altezza del km 68 scompare il dominio N-S, che viene sostituito, dal km 102, dalla direzione N15E.

La fascia 3C-3D è caratterizzata dalla continuazione indisturbata del N15E, cui si associa la direzione N70E ed il dominio N30W che ruota bruscamente a N23W. Come già ricordato, all'altezza della transizione 3D lo spettro azimutale cambia bruscamente e presenta, nel tratto 3D-3E, due sole direzioni preferenziali: N50W e N60E. La transizione 3E è caratterizzata dalla presenza di una direzione E-W. La sezione termina a NE con una direzione intorno a N70E, che può però essere in parte il risultato di un "effetto bordo" (vedi prima).

SEZIONE CAMPIGLIA MARITTIMA - CERVIA

L'analisi relativa alla sezione Campiglia Marittima - Cervia, per un totale di km 194, si presenta abbastanza simile a quella della sezione precedente (Punta Ala-Gabicce). Sono state osservate 6 zone di transizione principali (Fig.3), che suddividono l'area interessata dal profilo in 7 blocchi omogenei, anche se in

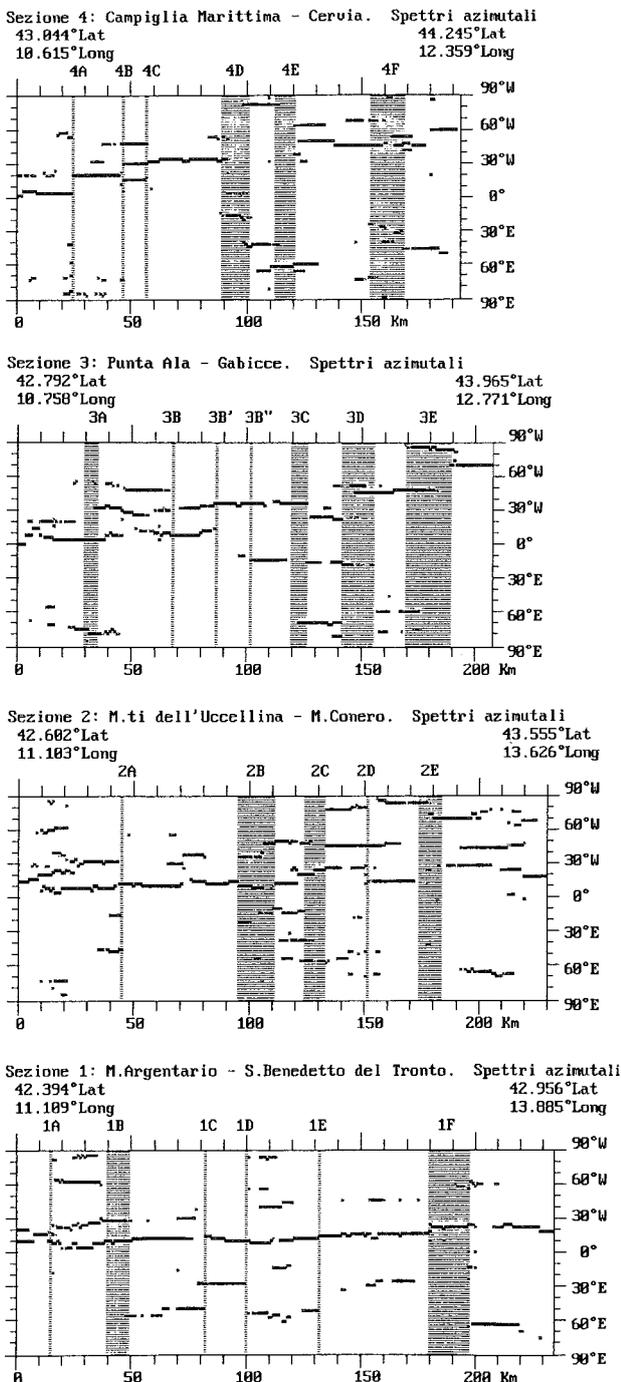


Fig.3 - Spettri azimutali delle sezioni analizzate (1-4). In ascisse sono riportate le distanze lungo le sezioni, in ordinate gli azimut. Il tono è proporzionale al valore h^i riscontrato (il nero indica i valori dei massimi relativi di ciascuna analisi). Lo spettro è relativo alle sole direzioni azimutali preferenziali caratterizzate da una distribuzione con h^i maggiore od uguale ad h^{max} . Sono evidenziate le zone di transizione individuate.

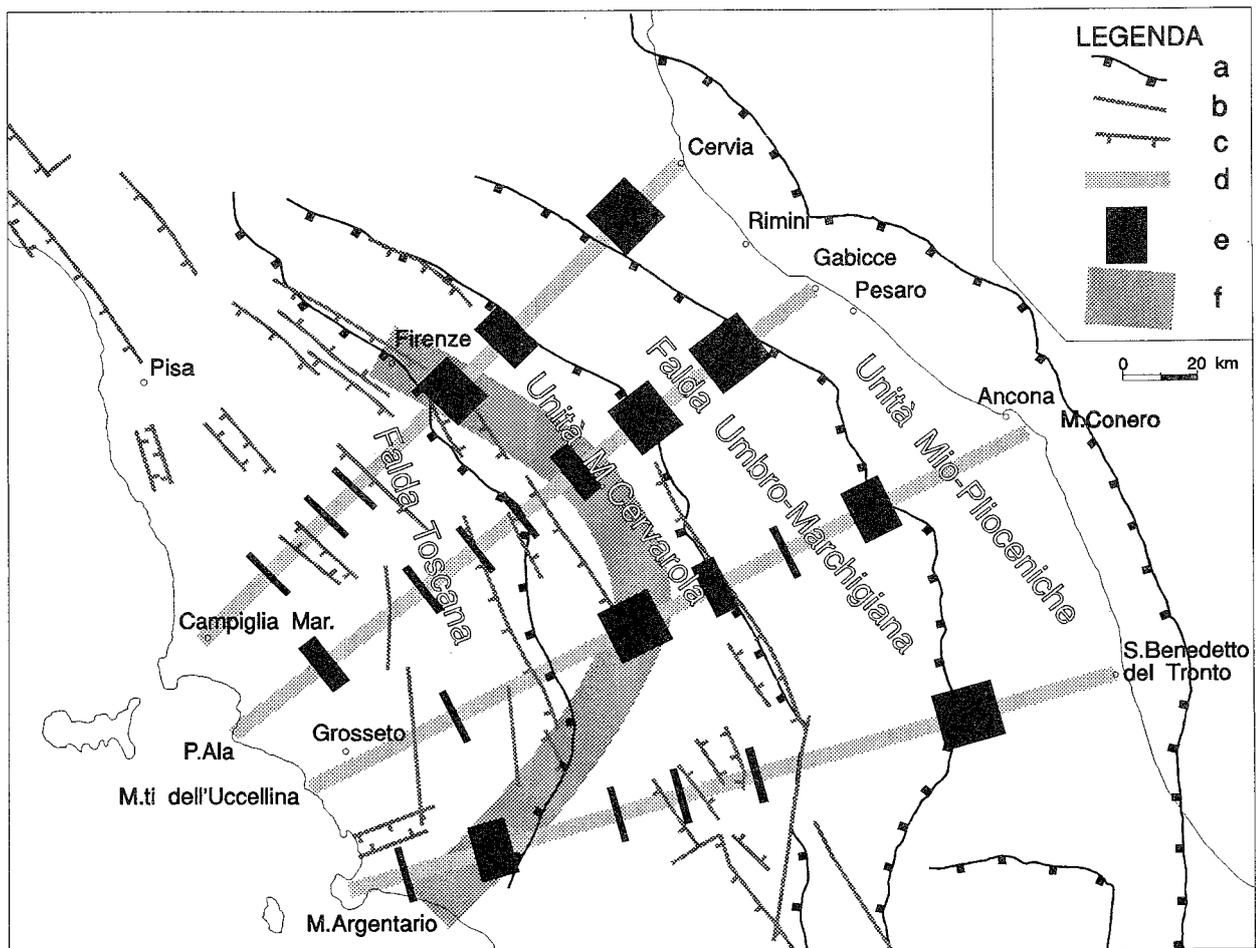


Fig.4 - Distribuzione areale delle zone di transizione. Legenda: a) principali fronti di accavallamento; b) principali faglie subverticali; c) principali faglie listriche normali; d) tracce delle sezioni analizzate (1-4); e) zone di transizione; f) fascia di separazione tra il Settore Tirrenico ed il Settore Appenninico (vedi testo).

alcuni casi le transizioni individuano settori di dimensioni ridotte a una decina di chilometri.

Le transizioni principali sono localizzate al km 25 della coordinata lineare (Transizione 4A), al km 47 (Transizione 4B), al km 57 (Transizione 4C), tra il km 90 ed il km 102 (Transizione 4D), tra il km 113 ed il km 122 (Transizione 4E) e tra il km 155 ed il km 170 (Transizione 4F). Caratteristico dell'analisi di questa sezione è la forte differenza di spettro tra i blocchi adiacenti, differenza che quasi sempre porta alla comparsa, scomparsa o rotazione di tutti i domini di lineamenti presenti.

Anche per questa sezione si osservano corrispondenze con l'assetto superficiale. In particolare le tre zone di transizione 4D, 4E e 4F sono localizzate lungo i fronti dei principali accavallamenti. Si osserva inoltre una generale rotazione antioraria dello spettro azimutale da SW verso NE. Da una direzione principale orientata intorno a N5W in prossimità della costa occidentale, si assiste ad una rotazione a salti bruschi sino ad assumere la direzione N60W sulla costa adriatica. L'unica eccezione è costituita dal blocco compreso tra le transizioni 4D e 4E, dove l'analisi spettrale

azimutale mette in luce due direzioni principali, N85W e N40E. Anche nel settore costiero orientale compaiono due direzioni prevalenti: alla già menzionata N60W si associa la N45E.

A partire dalla transizione 4A la direzione N-S subisce una prima rotazione antioraria di 15° e si porta intorno a N20W nel settore 4A-4B. All'altezza della transizione 4B la direzione principale subisce un'altra brusca rotazione antioraria e si sdoppia assumendo le direzioni N30W e N46W. Questa situazione permane per una decina di chilometri sino alla transizione 4C, dove si interrompe la direzione N46W, mentre l'altra subisce una rotazione di pochi gradi, sempre in senso antiorario.

Tra le transizioni 4D e 4E esiste il settore a comportamento "anomalo" di cui si è già parlato. Nella fascia di transizione 4E è da notare la presenza di una direzione N60E. Nel settore 4E-4F la direzione prevalente, ormai orientata NW-SE, si sdoppia nuovamente, questa volta in un più ampio settore, e presenta due azimut: N50W e N68W, quest'ultimo nettamente più debole dell'altro.

CONCLUSIONI

Il confronto fra le quattro sezioni esaminate permette di trarre alcune considerazioni generali sulla porzione di penisola italiana asaminata (Fig. 4). Il settore occidentale è caratterizzato da una suddivisione in numerosi blocchi minori attraverso una serie di transizioni nette che raramente arrivano a modificare completamente lo spettro azimutale.

Il settore orientale, che corrisponde alla zona di catena in sollevamento ed accavallata sulla microplacca adriatica (PATACCA & SCANDONE, 1989), mostra la presenza di fasce di transizione più ampie e graduali, di larghezza spesso superiore alla decina di chilometri.

Tutti i profili, con forse l'eccezione del più meridionale (M.Argentario-S.Benedetto del Tronto), mostrano una netta suddivisione dell'intera area esaminata in questi due blocchi. Il blocco occidentale presenta uno spettro azimutale dominato da direttrici intorno a N-S, che in quello orientale perdono questo carattere predominante, con la comparsa di direzioni intorno a NE e E-W.

Nei tre profili più settentrionali il passaggio tra i due blocchi è bene evidenziato e si posiziona lungo una fascia grosso modo NW-SE, localizzata in superficie all'altezza della Val di Chiana. Nel profilo più meridionale il passaggio sembra localizzarsi molto più a SW, immediatamente ad E dei M.ti Romani (circa 40 km ad ENE del M.Argentario).

Le osservazioni presentate permettono la formulazione di una ipotesi di suddivisione della crosta superiore nell'area esaminata in due blocchi distinti. A SW si identifica il "Blocco Tirrenico", caratterizzato al suo interno da una frammentazione minore netta e deformato secondo direttrici prevalentemente da N-S a NNW-SSE. Tale blocco trova analogie con l'estensione in superficie dell'area interessata dalla tettonica distensiva legata all'apertura del bacino del M.Tirreno. Il limite a NE di tale blocco è costituito dalla già menzionata linea NW-SE lungo la Val di Chiana.

L'altro settore, il "Blocco Appenninico", si estende dal limite sopradetto verso NE, sino alla costa adriatica. Esso è caratterizzato da uno spettro azimutale più ampio con una frammentazione interna generata da zone di transizioni più graduali (secondo i criteri esposti in precedenza), spesso in grado tuttavia di provocare completi cambiamenti degli spettri azimutali di due settori adiacenti.

Questo differente andamento dei lineamenti può essere legato ad una variazione delle proprietà reologiche della porzione di crosta superiore cui sarebbe legata l'origine dei lineamenti stessi. In questo caso le zone di transizione rappresenterebbero discontinuità crostali. Lo stile del Settore Tirrenico (discontinuità più frequenti e nette) indicherebbe la presenza di una crosta superiore più sottile e, anche come conseguenza di ciò, più fragile. Viceversa, la crosta superiore del Blocco Appenninico risulterebbe costituita da materiale con reologia relativamente più duttile e di maggior

spessore (zone di transizione meno frequenti ma più larghe).

Il comportamento differente del profilo più meridionale può essere interpretato secondo due modelli. Il primo prevede una reologia crostale relativamente più duttile ed inquadra lo spostamento verso SW della transizione secondo una deformazione ad arco con raggio variabile del Blocco Tirrenico. Il secondo consiste nell'identificare uno svincolo tra i due profili più meridionali o addirittura immediatamente a ridosso di quest'ultimo. Tale separazione farebbe arretrare il passaggio tra i due blocchi verso SW di una sessantina di chilometri nel blocco meridionale. Il limite del tipo di dati utilizzato non consente un'analisi a maggiore risoluzione, necessaria per la soluzione di questa ambiguità.

Tra i dati geologici di superficie in accordo con la modellizzazione proposta, si segnala come il limite tra i due blocchi crostali sopra evidenziato circoscriva gli affioramenti delle unità metamorfiche toscane all'interno del Blocco Tirrenico. Un altro motivo di accordo è la generale corrispondenza, lungo tutti i profili, tra le zone di transizione più orientali ed i fronti degli accavallamenti principali.

BIBLIOGRAFIA

- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1986) - *Balanced Sections and Seismic Reflection Profiles across the Central Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **5**, 257-310.
- BIGI G., CASTELLARIN A., CATALANO R., COLI M., COSENTINO D., DAL PIAZ G.V., LENTINI F., PAROTTO M., PATACCA E., PRATURLON A., SALVINI F., SARTORI R., SCANDONE P. & VAI G.B., 1990 - *Synthetic Structural-Kinematic Map of Italy*. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, Stabilimento L.Salomone, Roma.
- BODECHTEL J., NITHACK J. & HAYDN R., 1975 - *Geologic evaluation of Central Italy from ERTS-1 and Skylab data*. Proc. Symposium on European Earth Resource Satellite Exploration, Frascati, Italy, 205-215.
- FUNICIELLO R., PAROTTO M. & PRATURLON A., 1981 - *Carta tettonica d'Italia*. Stabilimento L.Salomone, Roma.
- HOBBS W.H., 1904 - *Lineaments of the Atlantic border region*. Geol. Soc. Am. Bull., **5**, 483-506.
- HOUGH P.V.C., 1962 - *Method and means for recognizing complex patterns*. U.S. Patent 3069654.
- LAVECCHIA G., MINELLI G. & PIALLI P., 1989 - *Contractional and extensional tectonics along the Trasimeno Lake - Pesaro Transect (Central Italy)*. Atti dei Convegni Lincei, **80**, 177-194.
- PAROTTO M. & PRATURLON A., 1973 - *Structural Model of Italy at scale 1:1,000,000*. C.N.R., Stabilimento L.Salomone, Roma.

PATACCA E. & SCANDONE P., 1989 - *Post-Tortonian Mountain Building in the Apennines. The Role of the Passive Sinking of a Relic Lithospheric Slab*. Atti dei Convegni Lincei, **80**, 157-176.

SALVINI F., 1985 - *Slope-Intercept-Density Plots: a new method for line detection in images*. 1985 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'85) Digest, IEEE Catalog 85CH2162-6, U.S.A., 715-720.

SUHADOLC P. & PANZA G.F., 1989 - *Physical Properties of*

the Lithosphere-Asthenosphere System in Europe from Geophysical Data. Atti dei Convegni Lincei, **80**, 15-36.

WISE D.U., 1969 - *Pseudo-radar topographic shadowing for detection of sub-continental sized fracture systems*. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 6th, Proceedings, University of Michigan, U.S.A., 603-615.

WISE D.U., FUNICIELLO R., PAROTTO M. & SALVINI F., 1985 - *Topographic lineament swarms: clues to their origin from domain analysis of Italy*. Geol. Soc. Am. Bull., **96**, 952-967.

