

CESARE R. PEROTTI (*), GIOVANNI SAVAZZI (**), & PIER LUIGI VERCESI (*)

EVOLUZIONE MORFOTETTONICA RECENTE DELLA ZONA COMPRESA TRA LA TESTATA DEL T. NURE E LA VAL D'AVETO (Appennino piacentino) (***)

Abstract: PEROTTI C. R., SAVAZZI G. & VERCESI P. L. - *Recent morphotectonic evolution of the zone between T. Nure valley and Aveto valley (Piacenza Apennine).*

The neotectonic features of a zone between the high Nure valley and the Aveto valley (Piacenza Apennine) are here analyzed.

The study involved the following researches: a geological survey at the scale 1:5000; a morphometrical analysis of the drainage network with definition of some significant parameters; a mesostructural detailed analysis on the fracture domains in the examined zone; a geomorphological analysis (carried out by photo-interpretation) to determine the morphostructural elements.

In particular, the structural analysis makes possible to define the presence of three main phases of deformation; two of them are trascurrent with a maximum compression axis with a direction respectively NE and NNW and the other, more recent, is normal.

The drainage pattern and the morphologic frame have generally suffered from the different strain fields which have successively interested the zone.

In particular, the study of the fluvial drainage network, using morphometric parameters already known in literature and with the introduction of other ones, is useful to establish the possible correlation between the development of the surface drainage and the structural elements. The comparative analysis of the achieved results allows to define a plan of the recent morphostructural evolution of the zone and to date the observed structural elements.

Some of the determined tectonic lines are probably active also in the periods following the last Würm glaciation.

Finally, the geodynamic meaning of the normal regime is briefly discussed: it is possible associate it to the marked phenomenon of uplift which is in progress today.

KEY-WORDS: Morphotectonics, Quantitative geomorphology, Structural geology, Northern Apennines.

Riassunto: PEROTTI C. R., SAVAZZI G. & VERCESI P. L. - *Evoluzione morfotettonica recente della zona compresa tra la testata del T. Nure e la Val d'Aveto (Appennino piacentino).*

Vengono analizzate e descritte le caratteristiche neotettoniche di un settore dell'Appennino piacentino compreso fra l'alta Val Nure e

la Val d'Aveto. Lo studio si è svolto attraverso le seguenti indagini: rilevamento geologico di dettaglio alla scala 1:5000; analisi morfometrica del reticolato idrografico con definizione di alcuni parametri significativi dal punto di vista morfostrutturale; analisi morfologica (condotta con l'ausilio della fotointerpretazione) finalizzata soprattutto all'individuazione degli elementi morfostrutturali; analisi mesostrutturale di dettaglio sui campi di frattura presenti in zona.

Mediante l'analisi strutturale sono state identificate tre principali fasi di deformazione di cui due di carattere trascorrente aventi asse di massima compressione a direzione rispettivamente NE e NNW e l'altra, più recente, di carattere distensivo, connessa ad un fenomeno di sollevamento.

Il reticolato idrografico e l'assetto morfologico hanno risentito, in generale, dei diversi campi di sforzi che hanno successivamente interessato la zona. In particolare, lo studio del reticolato fluviale, utilizzando parametri morfometrici già noti in letteratura e introducendone ulteriori, è servito per puntualizzare le possibili correlazioni tra lo sviluppo del drenaggio superficiale e gli elementi strutturali presenti.

L'analisi comparata dei risultati conseguiti ha consentito di valutare l'età e la cronologia delle deformazioni osservate e ha permesso di definire uno schema dell'evoluzione morfostrutturale recente dell'area. È infine brevemente discusso il significato geodinamico del regime distensivo, ricollegabile ai marcati fenomeni di sollevamento oggi in atto. Alcune delle linee tettoniche individuate risultano probabilmente attive anche in periodi successivi all'ultima glaciazione würmiana.

TERMINI CHIAVE: Morfotettonica, Geomorfologia Quantitativa, Geologia strutturale, Appennino settentrionale.

1. INTRODUZIONE

È stata eseguita l'analisi morfostrutturale di una zona dell'Appennino piacentino compresa tra la testata del Torrente Nure e la Val d'Aveto. L'area studiata è delimitata a settentrione dal parallelo di M. Carevolo, a meridione dal gruppo del M. Bue, a oriente e ad occidente rispettivamente dall'allineamento M. Nero - Pertuso e dal T. Aveto (fig. 1).

Sulla base dei risultati ottenuti è stato messo a punto un modello dell'evoluzione geomorfologica e tettonica recente dell'area. Nel corso della ricerca è stata inoltre verificata la validità di una metodologia che prevede l'impie-

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Pavia.

(**) Collaboratore esterno.

(***) Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto Nazionale di Ricerca «Morfotettonica». (Fondi 40%) e M.P.I. 60% «Paleostress» (Resp. P.L. Vercesi). Si ringraziano i Proff. A. Jacobacci, G. B. Pellegrini e M. Vanossi per la lettura critica del manoscritto e per i suggerimenti forniti.

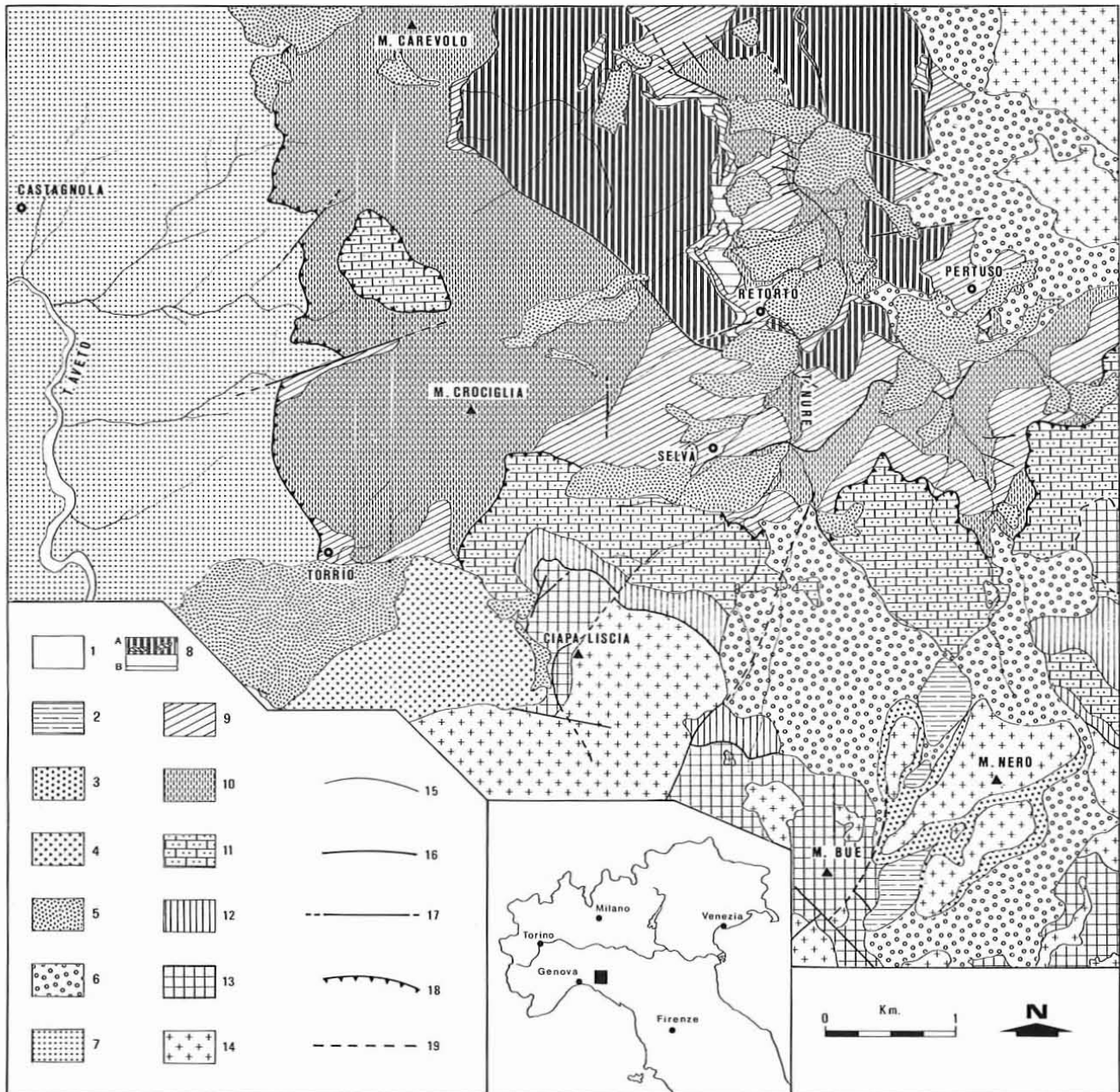


Fig. 1 - CARTA GEOLOGICA - 1 = deposito alluvionale; 2 = deposito palustre; 3 = detrito di falda; 4 = accumulo di frana di crollo; 5 = corpo di frana eterogeneo; 6 = deposito morenico; 7 = Arenarie dell'Aveto; 8 = Complesso di Coli - Sanguineto (a = facies tipica; b = facies di transizione); 9 = calcare e argilla di S. Maria; 10 = Alberese del Penice; 11 = Calcari di M. Caio; 12 = Argille a palombini di M. Veri; 13 = Complesso di Casanova; 14 = Complesso ofiolitico; 15 = contatto stratigrafico; 16 = contatto stratigrafico tettonizzato; 17 = faglia; 18 = sovrascorrimento; 19 = contatto di natura incerta.

go di analisi di carattere geomorfologico e strutturale ed il confronto dei risultati ottenuti.

La ricerca si è sviluppata nelle seguenti fasi:

- rilevamento geologico di dettaglio con definizione dell'assetto stratigrafico-strutturale dell'area;
- analisi morfometrica del reticolato idrografico con calcolo e valutazione di alcuni parametri particolarmente significativi dal punto di vista strutturale, concernenti la direzione dei corsi d'acqua, l'organizzazione gerarchica del reticolato, ecc.;

- analisi mesostrutturale eseguita su alcune unità (Arenarie dell'Aveto, Complesso di Coli-Sanguineto) con dettagliato rilevamento dei campi di frattura. Le misure eseguite, successivamente elaborate con l'ausilio di un calcolatore, hanno consentito di evidenziare alcuni momenti diversi nella deformazione, stabilendone, dove possibile, la cronologia relativa e definendo l'evento deformativo più recente;
- analisi geomorfologica di dettaglio eseguita con l'ausilio della fotointerpretazione che ha consentito di evi-

- denziare alcuni lineamenti morfologici;
- esame comparato dei risultati ottenuti con le diverse metodologie;
- proposta di un modello morfotettonico evolutivo dell'area.

Un limite alla ricerca è consistito nella carenza di termini litologici recenti di riferimento (depositi quaternari), che potessero consentire una sicura datazione degli eventi neotettonici. Tali termini infatti, anche laddove presenti, a causa della loro natura prevalentemente morenica o comunque incoerente, sono risultati in genere poco sensibili alle deformazioni fragili.

Lo studio delle relazioni intercorrenti fra anomalie del reticolo idrografico e tettonica è stato condotto utilizzando i parametri morfometrici relativi alla gerarchizzazione dei reticoli idrografici ed alla evoluzione dei bacini di drenaggio; è stato inoltre introdotto l'uso di nuovi parametri inerenti, in modo specifico, alla direzione dei corsi d'acqua. La validità di questi nuovi parametri in campo morfotettonico potrà essere ulteriormente verificata in seguito, allorché si disporrà di una casistica più ampia.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area studiata costituisce la propaggine sud-orientale della Finestra tettonica di Bobbio (BELLINZONA & *alii*, 1968), una delle zone più interessanti, dal punto di vista strutturale, dell'Appennino settentrionale, in quanto, come è ben noto, localmente si ha l'evidenza diretta dei considerevoli fenomeni di sovrapposizione tettonica e di raccorciamento di questo settore della catena (BOCCALETTI & *alii*, 1980; BOCCALETTI & COLI, 1982). In essa affiorano unità strutturali riferibili alle liguridi s.l., tettonicamente sovrapposte a terreni di appartenenza subliguride (BOCCALETTI & COLI, 1982).

Le indagini svolte hanno comportato il preliminare rilevamento geologico alla scala 1:5000, utilizzando la Carta Tecnica della Regione Emilia Romagna. Nel corso del rilevamento sono state riconosciute dall'alto al basso, in ordine di sovrapposizione tettonica, le seguenti unità strutturali (fig. 1):

I) Unità di Casanova:

Complesso ofiolitico. È costituito prevalentemente da serpentiniti e peridotiti (M. Nero, Groppo di Pertuso), basalti a pillows fortemente brecciati (Monte Bue), con diabasi subordinati talora spilitizzati. Sono anche presenti, associati ai pillows, lembi di tettoniti e graniti, talora di grandi dimensioni.

Le ofioliti sono concentrate sullo spartiacque meridionale della Val Nure, al tetto geometrico del Complesso di Casanova. Esse costituiscono probabilmente l'originario substrato del Complesso di Casanova. L'età delle ofioliti è riferibile al Giurassico medio-superiore.

Complesso di Casanova. Comprende le seguenti facies:

brecce monogeniche e poligeniche (TERRANOVA & DRAGO, 1975); arenarie ofiolitiche con elementi da grossolani a fini e siltiti bruno verdastre (Arenarie di Casanova s.l.); argilliti marnose e argilliti talora varicolori. Nei membri argillitici possono essere intercalati livelli calcarei. Sono presenti inoltre elementi di granito, gneiss e micascisti (rari), talora di notevoli dimensioni, intercalati nelle brecce poligeniche.

L'età del Complesso di Casanova, che affiora nei quadranti meridionali della zona rilevata, è problematica: MARINI & TERRANOVA (1980) l'attribuiscono al Cretaceo inferiore, ZANZUCCHI (1980) genericamente al Cretaceo, mentre ELTER & *alii* (1987) l'attribuiscono al Coniaciano - Campaniano(?). Il Complesso di Casanova è considerato come base stratigrafica dei Calcari di M. Caio (= flysch ad Elmintoidi), (v. anche ELTER & *alii*, 1987). CASNEDI (1982) e GALBIATI (1985) propendono invece per l'ipotesi che costituisca un'unità indipendente.

II) Unità di M. Caio:

Argille a palombini di M. Veri. Sono costituite da argilliti nere fogliettate con intercalazioni di strati calcareo-silicei tipo palombino ed arenarie silicee. I calcari risultano fortemente scompaginati e dispersi nella massa argillitica, conferendo alla formazione un aspetto caotico. Verso l'alto geometrico sono presenti argilliti ricche di clasti con spigoli male o poco arrotondati ed olistotromi a clasti calcarei e ofiolitici.

Le Argille a palombini di M. Veri, mentre per BONI & *alii* (1969) costituiscono la base stratigrafica dei Calcari di M. Caio, per ELTER & *alii* (1987) sono il corrispondente laterale, eteropico (e talora intercalato) del Flysch ad Elmintoidi.

Calcari di M. Caio. Sono costituiti da alternanze flyschoidi di calcari marnosi scuri, calcari compatti grigiastri (tipo palombino), arenarie ed argilliti nerastre. L'età è riferita, più o meno unanimemente dagli Autori, al Paleocene basale-Cretaceo superiore (Campaniano inf.-medio).

La formazione in parola è interessata da numerose pieghe decametriche e pluridecametriche, solo localmente (generalmente dove la componente calcarea è subordinata alla componente argillitica) accompagnate da piegamenti più minuti. Numerose sono le deformazioni di tipo fragile con diffusa presenza di litoclasti.

III) Unità di Canetolo (subliguridi):

Formazione di M. Penice. Questa formazione ascrivibile all'Eocene medio-Paleocene (BELLINZONA & *alii*, 1968) affiora nei settori centro settentrionali dell'area studiata al tetto geometrico del Complesso di Coli-Sanguinetto (FINOTELLI & *alii*, 1987).

Essa è costituita dai seguenti membri:

a) Calcare e argilla di S. Maria: alternanze di strati calcarenitici e calcarei, con argille nerastre. Localmente sono

presenti corpi canalizzati lenticolari di calcare tipo «Alberese» (località Flagello, Rio Crosio).

b) Alberese del Penice: è costituito da calcari e calcari marnosi in banchi e strati, con intercalazioni marnose e argillo-marnose grigiastre. Nella parte alta sono presenti intercalazioni di Calcare e argilla.

Complesso di Coli-Sanguinetto. È costituito da siltiti ed arenarie siltose, con cemento calcareo, che inglobano olistostromi di Calcare e argilla e, talora, olistoliti di Alberese.

Il complesso di Coli-Sanguinetto affiora in Val Nure, nei settori centro orientali dell'area al nucleo della struttura. L'età è considerata Miocene prelanghiano-Oligocene (BONI & *alii*, 1968). Durante l'analisi di campagna è stata osservata un'elevata tettonizzazione, al punto che nelle litofacies più pelitiche si ha un accenno di metamorfismo di basso e bassissimo grado accompagnato da numerose superfici di clivaggio. Anche in questa formazione sono presenti sia deformazioni fragili che duttili. Una peculiare caratteristica del Complesso di Coli-Sanguinetto è la costante presenza di piani striati di frattura, talora anche piegati, che pervadono diffusamente la massa rocciosa.

Arenarie dell'Aveto. Comprendono le seguenti facies: arenarie da grossolane a fini con cemento siliceo (più raramente calcareo), di colore da grigio verdastro a verde, stratificate o in banchi di qualche metro di spessore; conglomerati costituiti da clasti di graniti, micascisti, quarziti, anfiboliti, serpentiniti e calcari, immersi in una matrice grossolana; siltiti con subordinate intercalazioni argillitico-siltose. Sono state attribuite al Langhiano (BONI & *alii*, 1968) e sono sormontate tettonicamente dalla Formazione di M. Penice. Essendo fortemente competenti, le Arenarie dell'Aveto hanno reagito in modo prevalentemente fragile alle sollecitazioni subite e costituiscono una grossa monoclinale immergente mediamente a SW. I rapporti tra le Arenarie dell'Aveto e il Complesso di Coli-Sanguinetto, originariamente sedimentatisi in un unico bacino separato da una soglia (PLESI, 1975), sono attualmente di natura tettonica.

Dal punto di vista strutturale l'area è caratterizzata, come gran parte dell'Appennino Settentrionale, dall'alloctonia delle unità liguridi, sovrascorse sulle Unità più esterne. I principali sovrascorrimenti presenti sono quello dell'Unità di M. Caio (con al tetto l'Unità di Casanova) sull'Unità di Canetolo e quello della Formazione di M. Penice sulla Formazione delle Arenarie dell'Aveto. Il primo, che avviene fra i Calcari di M. Caio e il Calcare e argilla di S. Maria, è individuato da una superficie tettonica blandamente ondulata, immergente mediamente fra SW e SE.

3. ANALISI MORFOMETRICA DEL RETICOLO FLUVIALE

3.1 GENERALITÀ E PARAMETRI CONSIDERATI

Il reticolo fluviale è stato studiato da un punto di vista quantitativo al fine di ottenere elementi di valutazio-

ne sulle caratteristiche strutturali e sull'evoluzione tettonica recente dell'area. In particolare, sono stati calcolati ed analizzati criticamente alcuni parametri morfometrici. L'insieme degli indici considerati presuppone che, in genere, una scarsa organizzazione gerarchica del sistema di drenaggio superficiale indichi la presenza di fenomeni tettonici. Grande importanza viene generalmente attribuita alle anomalie nella gerarchizzazione del sistema di drenaggio superficiale (AVENA & *alii*, 1967; AVENA & LUPA PALMIERI, 1969).

Nella presente ricerca è stato adottato il sistema di classificazione dei corsi d'acqua proposto da STRAHLER (1957). I parametri considerati sono stati quelli che hanno fornito risultati significativi o che consentono di delineare compiutamente le condizioni di evoluzione del reticolo (per una loro definizione più completa si vedano oltre agli autori già citati SCHUMM, 1956; MORISAWA, 1959; AVENA & GIULIANO, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1969, 1970; CLERICI & ROSSETTI, 1977; ZAVOIANU, 1985). In particolare, si sono utilizzati i seguenti:

I) Parametri relativi alla gerarchizzazione del reticolo

- a) rapporto di biforcazione Rb (STRAHLER, 1957)
- b) rapporto di biforcazione diretto Rbd (AVENA & *alii*, 1967)
- c) indice di biforcazione R (AVENA & *alii*, 1967)
- d) numero di anomalia gerarchica Ga (AVENA & *alii*, 1967)
- e) densità di anomalia gerarchica ga (AVENA & *alii*, 1967)
- f) indice di anomalia gerarchica Δa (AVENA & *alii*, 1967)

II) Leggi sulla composizione del drenaggio (HORTON, 1945; SCHUMM, 1956)

- a) legge del numero dei corsi d'acqua (*stream numbers*)
 - b) legge della lunghezza dei corsi d'acqua (*stream length*).
- Densità di drenaggio D.

Tali parametri e leggi non hanno un significato univoco, in quanto eventuali anomalie possono trovare giustificazione sia nella presenza di attività tettonica recente o pregressa, sia in differenze litologiche e morfologiche nell'ambito di una bacino. Per quanto riguarda gli indici relativi alla gerarchizzazione del reticolo, si ritiene che il reticolo fluviale tenda naturalmente, in aree non soggette a deformazioni, ad assumere uno sviluppo conservativo (per reticolo a sviluppo conservativo si intende quello che ha il numero minimo di canali dei vari ordini necessari per costruire l'ordine massimo).

Vengono pertanto considerate anomale le confluenze di canali di un certo ordine in canali di ordine non immediatamente superiore. Il rapporto di biforcazione in situazioni normali assume un valore compreso tra 3 e 5, mentre l'indice di biforcazione risulta mediamente compreso tra 0,2 e 2; le anomalie più frequenti si riscontrano generalmente in corrispondenza dei corsi d'acqua di ordine minore.

3.2 L'ANDAMENTO PLANIMETRICO DEI CORSI D'ACQUA: GLI INDICI DI SEGMENTAZIONE

Unitamente ai parametri esposti nel precedente paragrafo, è stato studiato in dettaglio l'andamento planimetrico del locale reticolo idrografico e sono stati definiti alcuni nuovi indici che ne permettessero una descrizione di tipo quantitativo, al fine di verificare l'influenza esercitata dalla tettonica sulla morfologia. L'analisi strutturale di dettaglio ha infatti consentito di caratterizzare con una certa precisione la geometria della fratturazione ed i campi di sforzi che hanno agito nell'area in tempi recenti, rendendo così possibile un raffronto quantitativo fra l'orientazione delle fratture e quella del reticolo idrografico. Tale operazione nasce dal presupposto che la geometria di un bacino fluviale possa essere condizionata dalle caratteristiche strutturali di una certa zona. La nascita o lo sviluppo di un corso d'acqua seguono infatti determinate leggi fisiche che prevedono, in sintesi, che il flusso delle acque superficiali si imponga secondo la via di minor resistenza. In particolare, le condizioni principali che regolano l'andamento delle acque superficiali sono:

- la direzione di massima pendenza del versante;
- le caratteristiche litologiche del substrato e in particolare la presenza di disomogeneità litostratigrafiche;
- le anisotropie della roccia, che possono essere di natura sedimentaria (stratificazione, alternanze litologiche ad es. in terreni flyschoidi) o di natura tettonica (faglie, discontinuità meccaniche s.l.).

Verificata l'influenza degli altri fattori, l'analisi di dettaglio della geometria del reticolo idrografico ed in particolare della direzione dei corsi d'acqua, può dare preziose informazioni circa le direttrici meccaniche che hanno condizionato l'impostazione e l'evoluzione del reticolo stesso. A tal fine è risultato utile definire alcuni indici in grado di quantificare le caratteristiche dell'andamento planimetrico dei corsi d'acqua dei vari ordini.

I parametri presi in considerazione sono stati:

- u = numero d'ordine dei corsi d'acqua;
- Nu = numero di corsi d'acqua di ordine u ;
- Γu = numero di segmenti fluviali di ordine u ;
- Lu = lunghezza media dei corsi d'acqua di ordine u .

(Col termine di segmento fluviale si indica, in questo lavoro, un tratto di corso d'acqua con andamento assimilabile ad un segmento rettilineo).

La grandezza Γu , definita nel corso della presente ricerca, indica il numero di segmenti fluviali di ordine u di un corso d'acqua o di un determinato bacino. L'andamento di un corso d'acqua deve perciò essere schematizzato con una spezzata costituita da segmenti aventi direzione variabile. Ciascun elemento della spezzata costituisce un segmento fluviale.

Il parametro Γu risente logicamente della scala di osservazione ed è possibile operare confronti fra corsi d'acqua diversi soltanto utilizzando carte alla medesima scala.

È stato inoltre definito il rapporto di segmentazione $\delta u = \Gamma u / Nu$ come il rapporto fra il numero dei segmenti rettilinei dei corsi d'acqua di un certo ordine ed il numero

dei corsi d'acqua del medesimo ordine. Tale indice consente di quantificare il grado di segmentazione dei vari corsi d'acqua componenti un bacino.

Il campo di esistenza teorico di δu è compreso fra uno e infinito ($1 < \delta u < \infty$); per $\delta u = 1$ i corsi d'acqua sono rettilinei, δu tende a valori maggiori dell'unità quanto più il corso d'acqua è sinuoso. Questo indice risulta particolarmente significativo da un punto di vista morfostrutturale se applicato ai corsi d'acqua di basso ordine, in particolare ai canali di primo, secondo e terzo ordine in cui l'influenza della dinamica idraulica sulla direzione di deflusso è minore. Se il bacino è impostato su litotipi sufficientemente omogenei, elevati valori di δu indicano la presenza di anisotropie della roccia imputabili a direzioni di debolezza meccanica (quali ad esempio fratture, faglie o superfici di strato) che l'analisi strutturale consentirà quindi di individuare.

A proposito del parametro Γu e dell'indice δu valgono le seguenti considerazioni:

- l'indice δu cresce progressivamente con l'aumento dell'ordine dei corsi d'acqua a cui si riferisce in quanto nella normale evoluzione di un bacino idrografico i corsi d'acqua di ordine più elevato risultano generalmente costituiti da numerosi segmenti a direzione variabile. Ciò è dovuto, almeno in parte, a meccanismi insiti nella dinamica fluviale (cfr. il fenomeno dei meandri). Per questo motivo δu è significativo solo per corsi d'acqua di basso ordine e in bacini montani o collinari;
- l'indice δu è in grado, in alcuni casi, di individuare indicativamente anche il periodo in cui si è manifestata una certa famiglia di strutture tettoniche in quanto, essendo i corsi d'acqua di primo ordine particolarmente sensibili alle discontinuità meccaniche, essi registrano la nascita di tali strutture ed in seguito, nel corso del normale ciclo evolutivo che prevede la crescita dell'ordine gerarchico dei vari corsi d'acqua, essi manterranno l'anomalia e costituiranno pertanto elementi indiretti di datazione dell'attività tettonica. Naturalmente sarà in ogni caso opportuno operare dei raffronti geometrici con tutti i corsi d'acqua degli altri ordini;
- la rappresentazione di un corso d'acqua mediante una spezzata costituita da una serie di segmenti rettilinei (fig. 2) presenta margini di discrezionalità dovuti in parte alla scala di osservazione e in parte alle inevitabili approssimazioni. Per ovviare a tali inconvenienti CICCACCI & *alii*, 1987, hanno recentemente proposto un metodo per la rettificazione automatica del reticolo fluviale, attraverso l'uso del calcolatore e di una tavola grafica. I dati relativi alle orientazioni dei vari segmenti sono successivamente sottoposti ad una serie di analisi statistiche (si vedano inoltre BANNISTER & ARBOR, 1980; SCHEIDEGGER, 1980; LANZHOU & SCHEIDEGGER 1981 e PHON, 1983).

È stata inoltre definita come lunghezza media dei segmenti di ordine u il parametro $\lambda u = Lu / \delta u$ in cui Lu = lunghezza media dei corsi d'acqua di ordine u . Tale indice può fornire ulteriori informazioni sulla geometria di segmentazione del reticolo idrografico. Definite queste gran-

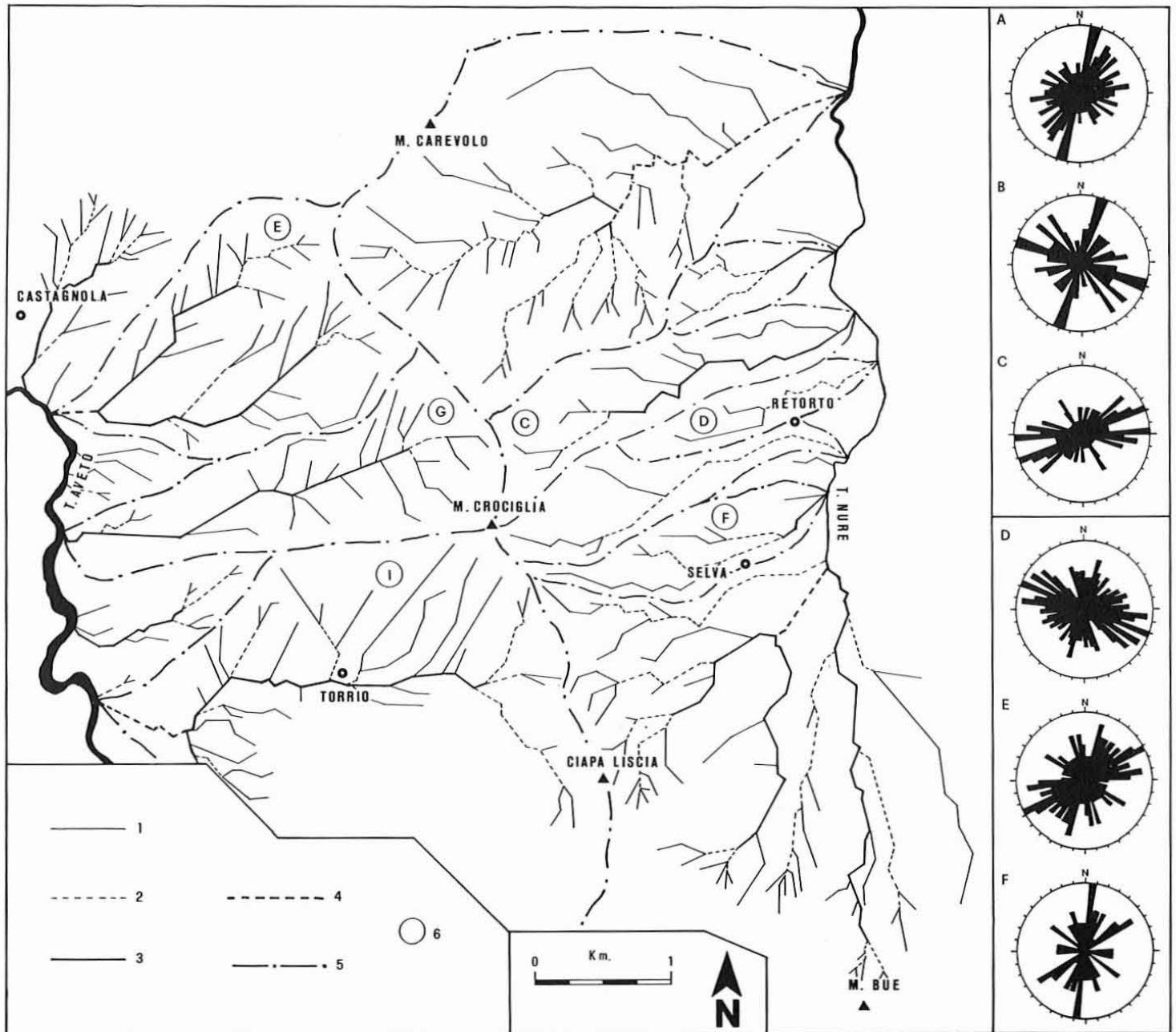


FIG. 2 - CARTA DEL RETICOLATO IDROGRAFICO RETTIFICATO - 1 = corso d'acqua di I ordine; 2 = corso d'acqua di II ordine; 3 = corso d'acqua di III ordine; 4 = corso d'acqua di IV ordine; 5 = linea di spartiacque; 6 = identificatore di bacino (le lettere indicano i bacini tributari del T. Aveto e del T. Nure di cui alle tabelle a-d di figg. 3 e 4.

I diagrammi rappresentano le frequenze delle direzioni dei segmenti rettilinei (v. testo). A = segmenti di I ordine della Val d'Aveto; B = segmenti di II ordine della Val d'Aveto; C = segmenti di III ordine della Val d'Aveto; D = segmenti di I ordine della Val Nure; E = segmenti di II ordine della Val Nure; F = segmenti di III ordine della Val Nure.

dezze sono stati successivamente confrontati i diagrammi di frequenza delle direzioni dei segmenti di ciascun ordine con i diagrammi di frequenza delle direzioni delle faglie e dei lineamenti.

3.3 I RISULTATI CONSEGUITI

Nelle pagine che seguono vengono riportate in grafici e tabelle i dati e i risultati dell'analisi morfometrica ese-

guita in Val d'Aveto e in Val Nure. Viene esposta dapprima la tabella complessiva in cui sono riassunte le caratteristiche d'insieme della porzione di bacino considerato; infine le tabelle relative a ciascun bacino tributario individuato in fig. 2 con una lettera alfabetica.

Val d'Aveto - I parametri inerenti alla gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali non sono risultati particolarmente significativi (fig. 3).

Alcuni di questi parametri sono rappresentati nelle varie tabelle; i valori ottenuti non indicano, dal punto di vista

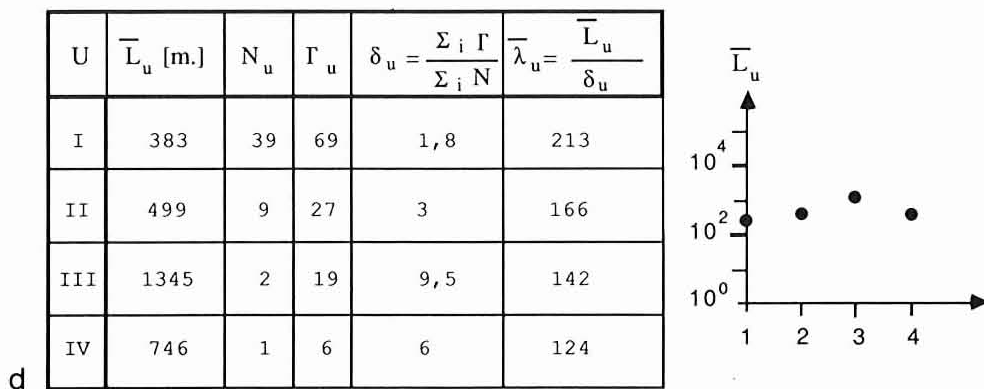
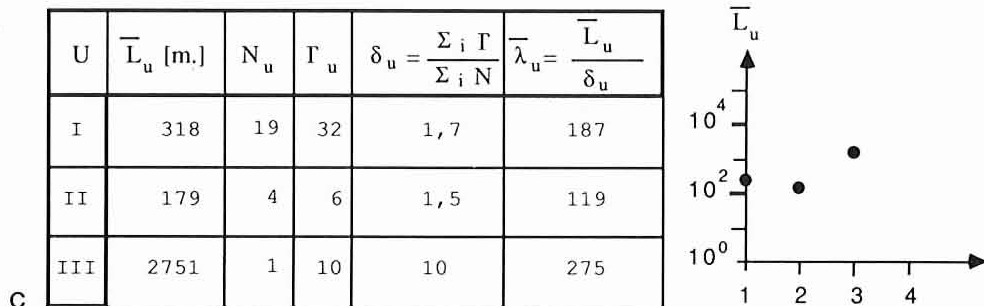
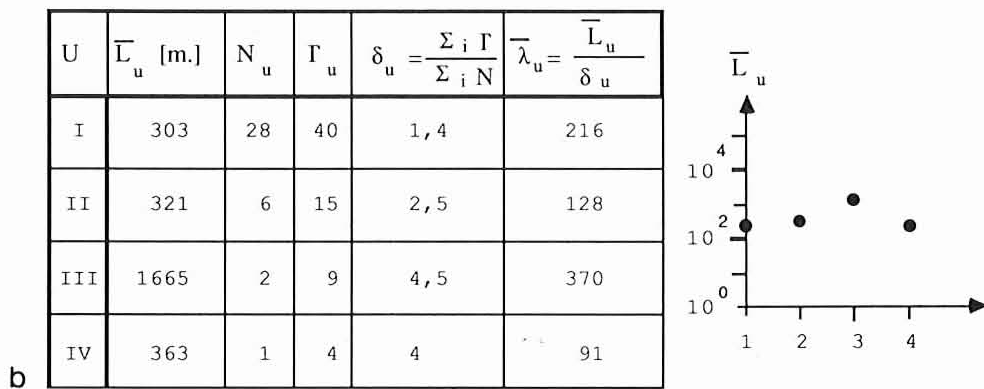
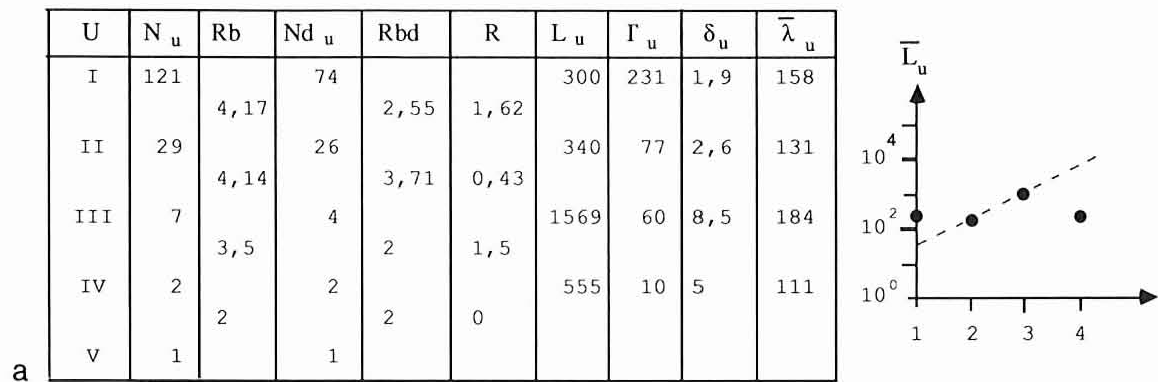


FIG. 3 - Parametri morfometrici del reticolato fluviale relativo alla Val d'Aveto (per il significato dei simboli si veda il testo); a = tabella riassuntiva delle caratteristiche generali della porzione del bacino considerato (la curva $L_u = f(U)$ è stata interpolata utilizzando i punti relativi ai corsi d'acqua di II e III ordine perché presentano un valore del rapporto di lunghezza prossimo a valori normali); b = tabella del bacino tributario E (IV ordine); c = tabella del bacino tributario G (III ordine); d = tabella del bacino tributario I (IV ordine).

della gerarchizzazione, particolari irregolarità. Al contrario, i valori della lunghezza media dei corsi d'acqua e i valori dei rapporti di segmentazione indicano la presenza di un controllo della fratturazione sul reticolo idrografico.

Dallo studio degli indici di segmentazione e dalla verifica di alcune delle leggi di Horton è emerso quanto segue:

a) dal grafico che esprime la lunghezza media in funzione dell'ordine di appartenenza, si può ricavare che, in tutti i bacini tributari, i canali di primo ordine presentano una lunghezza sistematicamente maggiore di quanto previsto;

b) i corsi d'acqua di primo ordine presentano un valore medio del rapporto di segmentazione pari a 1,9. La massima segmentazione si ha comunque nei corsi d'acqua di terzo ordine con δu pari a 8,5;

c) ciascun corso d'acqua è segmentato in tratti la cui lunghezza sembra non essere influenzata dall'ordine di appartenenza.

Questo risultato è particolarmente significativo poiché, se il valore di λu è indipendente (per i bacini considerati) dall'ordine dei corsi d'acqua, significa che esso dipende da fattori svincolati dalla normale evoluzione del reticolo idrografico. È possibile allora immaginare che la segmentazione dei corsi d'acqua sia dovuta a campi di frattura relativamente ordinati da un punto di vista geometrico;

d) la densità di drenaggio calcolata per la porzione di bacino considerata è relativamente bassa.

Val Nure - Anche in questo caso, i valori dei parametri relativi alla gerarchizzazione ed evoluzione dei bacini di drenaggio rientrano nella norma come i valori di λu , mentre il rapporto di segmentazione risulta alquanto elevato (fig. 4).

Analizzando in dettaglio ciascun bacino tributario, e tenuto conto della forte disomogeneità litologica della *Val Nure*, si osserva la presenza di una sistematica anomalia nella lunghezza media dei corsi d'acqua di terzo ordine, che sono in genere più corti del «normale». Il bacino (C) presenta invece tale anomalia nei corsi d'acqua di secondo ordine la cui lunghezza media è circa pari a quella dei corsi d'acqua di primo ordine. Nella zona di testata del T. *Nure* si hanno invece anomalie nelle lunghezze medie dei corsi d'acqua.

In sintesi le caratteristiche principali emerse in *Val Nure* sono le seguenti:

a) la lunghezza media dei corsi d'acqua di terzo ordine si discosta sensibilmente dalla «legge delle lunghezze» in alcuni bacini tributari;

b) il rapporto di segmentazione medio per i corsi d'acqua di primo ordine è pari a 1,8. Questo valore è dello stesso ordine di grandezza di quello calcolato in *Val d'Aveto*;

c) complessivamente δu aumenta progressivamente procedendo verso gli ordini più elevati; tuttavia la lunghezza media di ciascun segmento fluviale è più o meno costante in ciascun ordine. Ciò suggerisce, analogamente alla *Val d'Aveto*, che la segmentazione dei corsi d'acqua sia dovuta a discontinuità meccaniche della roccia;

d) anche in *Val Nure* modesta risulta la densità di drenaggio nonostante la presenza di rocce relativamente più erodibili rispetto alla *Val d'Aveto*.

4. ANALISI STRUTTURALE

4.1 METODOLOGIA

L'analisi strutturale ha avuto come finalità la ricostruzione delle deformazioni subite dall'area in studio nei tempi più recenti. Per questo motivo sono state studiate essenzialmente le strutture di carattere fragile (in primo luogo superfici striate di faglia e subordinatamente giunti, fratture di estensione, superfici stilolitiche, ecc.) e, solo occasionalmente le deformazioni duttili. Allo scopo si è proceduto a sistematiche analisi e misure in aree campione all'interno delle diverse unità strutturali e litologiche. Ciascun piano di faglia è stato definito mediante la direzione, l'immersione, l'inclinazione, il *pitch* delle strie ed il senso di movimento. I tettoglifi utilizzati per stabilire quest'ultima caratteristica sono numerosi e diversi, in funzione della natura litologica della roccia (VIALON & *alii*, 1976; PETT & *alii*, 1983). Particolare attenzione è stata, inoltre, rivolta alla determinazione della successione cronologica dei diversi movimenti, soprattutto quando su uno stesso piano di frattura sono state rinvenute più generazioni di striature meccaniche.

I dati raccolti, raggruppati in diverse stazioni di misura e suddivisi in funzione dell'unità affiorante, sono stati sottoposti successivamente ad elaborazioni eseguite con l'ausilio del calcolatore che hanno consentito la ricostruzione della geometria e della dinamica deformazionale, nonché dei campi di sforzi responsabili delle strutture osservate.

Fra i diversi metodi di analisi oggi a disposizione (ARTHAUD, 1969; CAREY, 1976; ANGELIER & MECHLER, 1977; ANGELIER, 1979; ANGELIER, 1983) è stato utilizzato quello dei *diedres droits* (ANGELIER & MECHLER, 1977 e ANGELIER, 1979) che, analogamente alle procedure adottate per l'interpretazione dei meccanismi focali dei terremoti, prevede la suddivisione dello spazio circostante ciascuna faglia in quattro diedri, di cui due in compressione e due in estensione. Attraverso l'iterazione di questo procedimento, vengono trovati i campi di compressione e di estensione comuni a tutta la popolazione di fratture e conseguentemente vengono determinati i principali assi degli sforzi.

La notevole complessità della geometria di fratturazione dovuta alla presenza di più sistemi di faglie, connessi a differenti ellissoidi degli sforzi, ed il conseguente rilevante numero di dati, hanno inoltre richiesto verifiche di tipo statistico per la determinazione della validità del raggruppamento dei vari sistemi. È stato impiegato allo scopo il metodo del tensore orientazione (SCHEIDEGGER, 1965; WATSON, 1966; WOODCOOK, 1977; WOODCOOK & NAYLOR, 1983) che permette il calcolo degli autovalori e degli autovettori, una volta definita la matrice del tensore dei poli dei piani considerati. Gli autovalori definiscono l'ampiezza

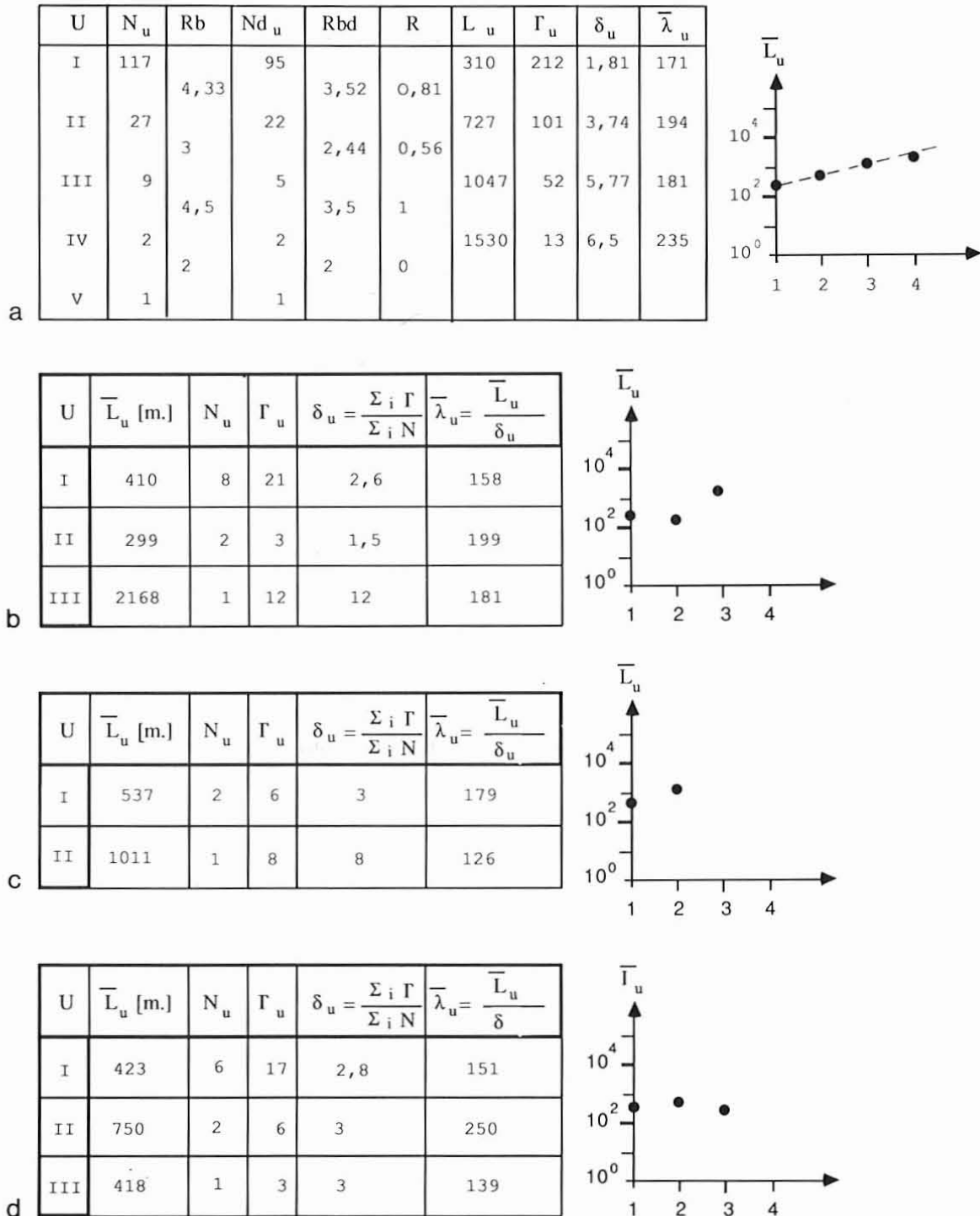


FIG. 4 - Parametri morfometrici del reticolato fluviale relativo alla Val Nure (per il significato dei simboli si veda il testo); a = tabella riassuntiva delle caratteristiche generali della porzione del bacino considerato; b = tabella del bacino tributario C (III ordine); c = tabella del bacino tributario D (II ordine); d = tabella del bacino tributario F (III ordine).

za di tre assi ortogonali di un ellissoide rappresentativo del *fabric* dei poli, gli autovettori definiscono le componenti degli assi nel sistema di riferimento assunto.

Per i piani striati di ciascuna stazione si sono potuti inoltre calcolare alcuni parametri statistici come la loro tendenza a raggrupparsi in modo *cluster*, *girdle* o *random* e l'ac-

centramento, verificandone al contempo il livello di confidenza con distribuzioni teoriche (metodo Montecarlo). È stata così ottenuta in alcuni casi la giacitura media dei diversi sistemi di faglie e ne sono state quindi verificate le relazioni reciproche e la compatibilità con gli ellissoidi degli sforzi ricavati.

4.2 SINTESI DEI RISULTATI

Le analisi eseguite hanno consentito l'individuazione e la misura di alcune centinaia di superfici di faglia. Circa il 60% di esse è risultato a movimento trascorrente (con valori del *pitch* mediamente compresi tra 15° e 18°); il 38% presenta un movimento prevalentemente normale, con *pitch* medio pari a circa 75° e solo il 2% ha un movimento con componente inversa. Tra i piani trascorrenti, il 53% hanno movimento prevalentemente destro; i restanti sinistro.

L'analisi di terreno ha permesso il riconoscimento di diverse fasi di deformazioni, ciascuna delle quali evidenziata da distinti sistemi di faglie. In particolare, sono stati rilevati piani con giacitura analoga e senso di trascorrenza opposta e in alcuni casi superfici con chiari tettofoli indicati una trascorrenza destra e una sinistra. Le faglie normali mostrano inoltre di essere geneticamente successive alle trascorrenti in quanto intersecano e localmente dislocano queste ultime ed in alcuni casi, nell'ambito di una stessa superficie, sono state rilevate strie trascorrenti in-

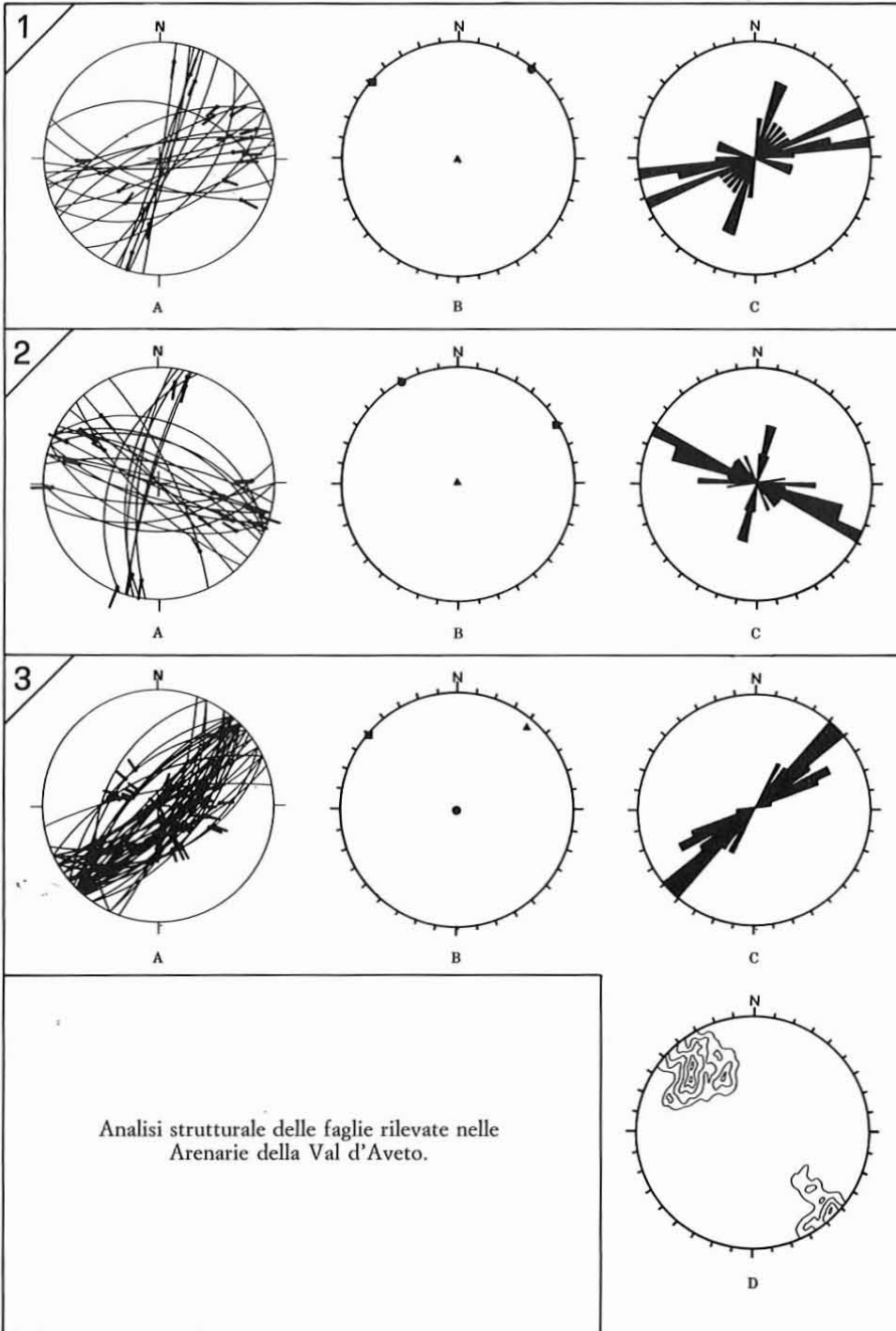


FIG. 5 - Analisi strutturale delle faglie rilevate nelle Arenarie della Val d'Aveto. 1 = Faglie trascorrenti con massima compressione a direzione NE; 2 = faglie trascorrenti con massima compressione a direzione NNW; 3 = faglie normali; A = proiezioni stereografiche dei piani di faglia e delle relative strie; B = ellissoide degli sforzi relativo (cerchio = massima compressione; quadrato = minima compressione; triangolo = compressione intermedia); C = diagrammi di frequenza delle direzioni dei piani di faglia (classi con intervallo di 5°); D = isodense dei poli delle faglie normali (equidistanza = 3%). I reticoli dei diagrammi A e B sono di Wulff (emisfero inf.); quello del diagramma D è di Schmidt (emisfero inf.).

terrotte da strie indicanti movimento normale.

In fig. 5 viene sinteticamente illustrata l'analisi della fratturazione concernente le Arenarie dell'Aveto, mentre in fig. 6 sono riportati, come esempio, i dati relativi ad una stazione di misura nel Complesso di Coli-Sanguineto, rappresentativa della situazione generale in tale unità. Le faglie normali, riferibili come già rilevato alla fase tettonica più recente, sono state raggruppate in un unico diagramma.

I raggruppamenti della popolazione di faglie in diversi

sistemi associabili a differenti fasi di deformazione ha trovato comunque una buona conferma nelle analisi di carattere statistico eseguite. Tutte le famiglie di faglie considerate evidenziano infatti, in genere, un buon grado di accentramento ed i livelli di confidenza con alcune distribuzioni teoriche, calcolati con il test di WOODCOCK & NAYLOR (1983), presentano valori significativi, sempre maggiori del 95% (figg. 7a, 7b e 8).

I vari sistemi di faglie individuati presentano a volte una certa dispersione nella giacitura e valore angolare del

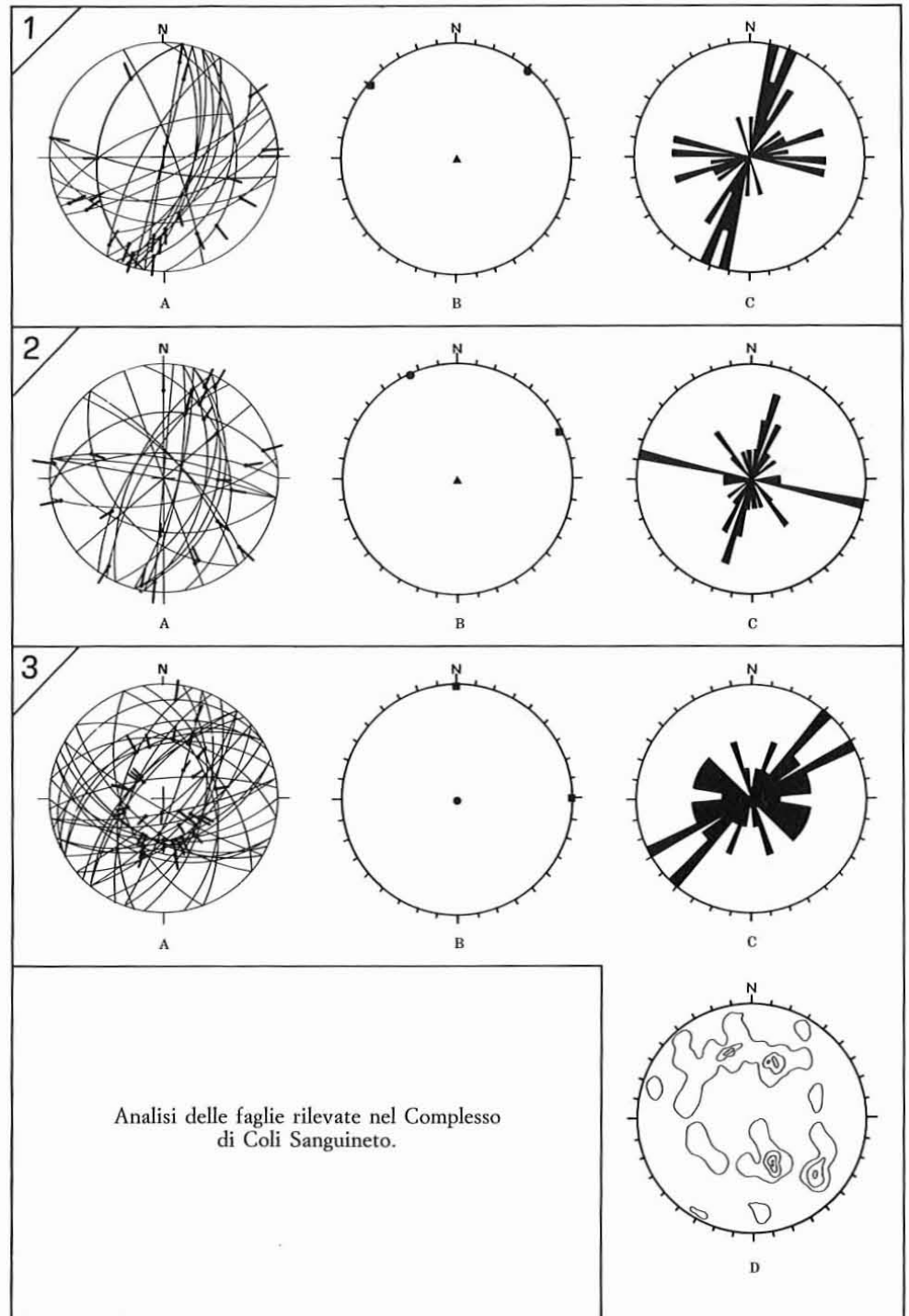


FIG. 6 - Analisi delle faglie rilevate nel Complesso di Coli-Sanguineto. 1 = faglie trascorrenti con massima compressione a direzione NE; 2 = faglie trascorrenti con massima compressione a direzione NNW; 3 = faglie normali.

A = proiezioni stereografiche dei piani di faglia e delle relative strie; B = ellissoide degli sforzi relativo (cerchio = massima compressione; quadrato = minima compressione; triangolo = compressione intermedia). Nel caso delle faglie normali si ha un'estensione pluridirezionale ($\sigma_2 = \sigma_3$); C = diagrammi di frequenza delle direzioni dei piani di faglia (classi con intervallo di 5°); D = isodense dei poli delle faglie (equidistanza = 2,5%). I reticoli dei diagrammi A e B sono di Wulff (emisfero inf.); quello del diagramma D è di Schmidt (emisfero inf.).

Analisi delle faglie rilevate nel Complesso di Coli Sanguineto.

AUTOVETTORI					ELLISSOIDE DEL FABBRIC	
					imm.	incl.
A U T O V A L O R I	λ_1	10,875	0,956	-0,247	346	9
	λ_2	3,028	-0,161	-0,002	181	81
	λ_3	1,097	0,244	0,969	76	2

AUTOVALORI NORMALIZZATI				PARAMETRI DEL DIAGRAMMA DI FLINN					
$S_1 = \frac{\lambda_1}{N}$	$S_2 = \frac{\lambda_2}{N}$	$S_3 = \frac{\lambda_3}{N}$		$\ln(S_1/S_2)$	$\ln(S_2/S_3)$	(S_1/S_3)	C	K	
0,725	0,202	0,073		1,279	1,015	9,914	2,294	1,259	
LIVELLO DI CONFIDENZA TEORICO				LIVELLO DI CONFIDENZA CALCOLATO >99%					
N	90%	95%	97,5%	99%	N = 15				
14	3,95	4,71	5,5	6,5					
16	3,56	4,17	4,75	5,55					

AUTOVETTORI					ELLISSOIDE DEL FABBRIC	
					imm.	incl.
A U T O V A L O R I	λ_1	5,875	-0,316	0,941	289	7
	λ_2	0,104	0,770	0,327	23	33
	λ_3	0,021	-0,544	-0,084	189	56

AUTOVALORI NORMALIZZATI				PARAMETRI DEL DIAGRAMMA DI FLINN					
$S_1 = \frac{\lambda_1}{N}$	$S_2 = \frac{\lambda_2}{N}$	$S_3 = \frac{\lambda_3}{N}$		$\ln(S_1/S_2)$	$\ln(S_2/S_3)$	(S_1/S_3)	C	K	
0,979	0,017	0,003		4,031	1,612	282,427	5,643	2,5	
LIVELLO DI CONFIDENZA TEORICO				LIVELLO DI CONFIDENZA CALCOLATO >99%					
N	90%	95%	97,5%	99%	N = 6				
6	12,01	18,5	27,5	45,01					

Fig. 7 - Esempio di analisi statistica di una popolazione di faglie nelle Arenarie della Val d'Aveto col metodo degli autovettori e degli autovalori (a = faglie sinistre della fase trascorrente con massima compressione a direzione NE; b = faglie destre della stessa fase).

pitch delle strie alquanto variabili. Ciò indica la presenza di fenomeni di riattivazione di piani di frattura e di discontinuità preesistenti ad orientazione non ottimale rispetto al nuovo ellissoide degli sforzi (PEROTTI & VANOSI, 1987). In altri termini le varie fasi tettoniche individuate avrebbero causato, oltre che la genesi di nuovi piani di faglia, anche la rimobilizzazione di superfici preesistenti, provocando quindi una certa dispersione nella geometria e nelle caratteristiche delle faglie. Ad esempio, le faglie normali, relative al Complesso di Coli-Sanguinetto, risultano disperse più o meno in tutte le direzioni, mentre nelle Arenarie dell'Aveto si concentrano secondo una direzione NE-SW. In Val d'Aveto, tale fenomeno potrebbe trovare giustificazione nella riattivazione, nel corso del sollevamento, delle fratture preesistenti subverticali e a direzione NE-SW, come confermato dall'osservazione, sul ter-

reno, di alcuni piani striati sui quali sono presenti più famiglie di strie con diverso *pitch* e dalla loro elevata inclinazione. L'ultimo movimento è determinato dalle strie con *pitch* subverticale che intersecano ed interrompono le strie orizzontali.

Al contrario, la notevole dispersione delle faglie normali nel Complesso di Coli-Sanguinetto potrebbe essere messa in relazione alla forte anisotropia della roccia e al particolare comportamento rigido-plastico della formazione stessa. Tuttavia oltre a quanto sopra illustrato non si esclude la locale presenza di fenomeni di rotazione dovuti a basculamenti o a piegamenti che avrebbero interessato i piani di frattura successivamente al loro movimento (PEROTTI, 1987).

In conclusione, i risultati conseguiti attraverso l'analisi strutturale possono essere così sintetizzati:

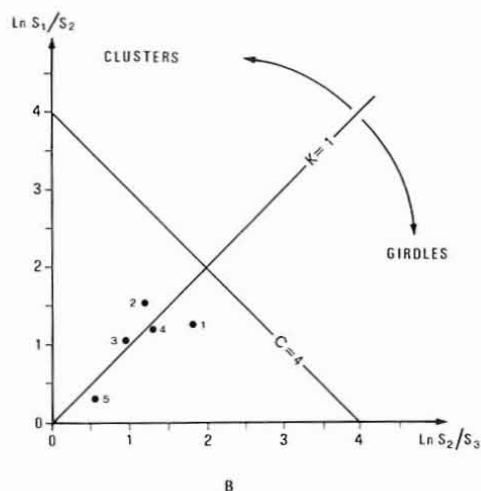
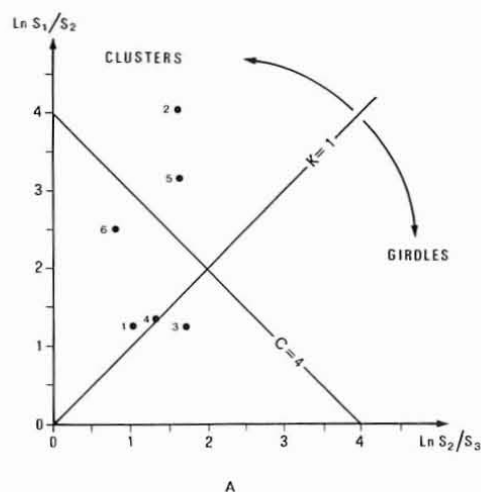


Fig. 8 - Diagrammi di Flinn relativi alle faglie misurate nelle Arenarie dell'Aveto (A) e nel Complesso di Coli-Sanguinetto (B). 1 = faglie trascorrenti sinistre con massima compressione a direzione NE; 2 = faglie trascorrenti destre con massima compressione a direzione NE; 3 = faglie trascorrenti sinistre con massima compressione a direzione NNW; 4 = faglie trascorrenti destre con massima compressione a direzione NNW; 5 = faglie normali con immersione verso NE; 6 = faglie normali con immersione verso NW; (nel diagramma B, 5 = tutte faglie normali).

- in tutte le formazioni studiate (liguri e sub-liguri) sono state riconosciute tre fasi deformative principali, di cui due con regime trascorrente ed una con regime distensivo;
- le due fasi compressive con regime trascorrente sono caratterizzate da un ellissoide di stress avente asse di massima compressione sub-orizzontale ed orientato rispettivamente NE-SW e NNW-SSE. L'asse intermedio è, in entrambi i casi, subverticale;
- la fase distensiva che in tutte le formazioni esaminate è nel complesso risultata essere la più recente, ha generato, nelle Arenarie dell'Aveto, faglie normali aventi direzione antiappenninica. In tutte le altre formazioni si è invece notato una certa dispersione nelle direzioni (fig. 9), con un massimo addensamento relativo comunque sempre ad andamento antiappenninico. L'ellissoide degli sforzi relativo a questa fase ha un σ_1 verticale ed un σ_3 orizzontale a direzione NW-SE nelle Arenarie dell'Aveto, mentre nelle altre unità esso giace ancora sul piano orizzontale, ma risulta di entità pari al σ_2 ;
- non è stato possibile definire sulla base delle osservazioni di terreno la cronologia relativa dei due eventi deformativi trascorrenti;
- esistono concreti elementi che fanno ritenere le fasi deformative fragili trascorrenti coeve o parzialmente coeve

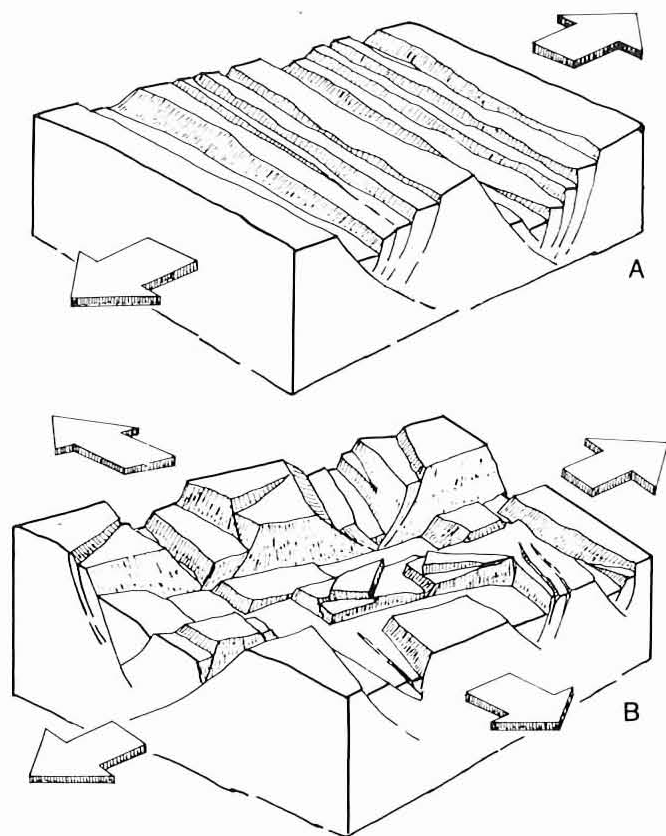


FIG. 9 - Blocchi diagrammi schematici illustranti differenti modalità di estensione (A = estensione monodirezionale; B = estensione pluridirezionale).

con eventi deformativi duttili e in particolare con quelli responsabili dell'ultima fase di sovrapposizione tettonica delle diverse unità strutturali. Al proposito si sottolinea il fatto che nel Complesso di Coli sono stati rilevati diversi piani di faglia interessati da pieghe vergenti verso NE in accordo con la direzione di massima compressione indicata dalle deformazioni fragili;

- sono stati notati indizi che fanno ritenere come localmente la fase distensiva finale sia parzialmente associata ad eventi compressivi trascorrenti.

5. ANALISI GEOMORFOLOGICA

5.1 METODOLOGIA

L'analisi geomorfologica ha avuto lo scopo di riconoscere gli elementi morfologici e i lineamenti di possibile significato tettonico e neotettonico. L'indagine ⁽¹⁾ si è articolata nelle seguenti fasi:

- analisi fotointerpretativa (con foto aeree alla scala 1:66.000, 1:33.000 e 1:14.000);
- confronto tra i risultati ottenuti mediante la fotointerpretazione e quelli emersi dal rilevamento geologico. In questo modo è stato possibile operare una prima distinzione fra i lineamenti dovuti a situazioni litologiche o morfologiche particolari e quelli di più probabile significato tettonico;
- controllo sul terreno per accertare la reale coincidenza tra lineamenti e faglie;
- elaborazione statistica con l'ausilio del calcolatore delle caratteristiche geometriche dei lineamenti individuati e determinazione del loro possibile significato cinematico;
- allestimento di una carta morfotettonica (fig. 10).

La fig. 11 illustra gli elementi morfotettonici riscontrati nell'area ed il loro probabile significato visto in chiave tettonica. Fra gli elementi utilizzati sono risultati particolarmente significativi, ai fini di questa ricerca, quelli relativi ai corsi d'acqua ed ai versanti, con particolare riguardo alle scarpate (v. anche BRANCACCIO & *alii*, 1978).

Sulla base dei risultati ottenuti, attraverso le varie fasi di lavoro, è stata proposta un'interpretazione della possibile evoluzione morfotettonica recente dell'area.

5.2 LE CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA

Questo settore dell'Appennino settentrionale presenta caratteristiche forme di origine glaciale, attribuibili alla glaciazione würmiana (DE STEFANI, 1874; LOSACCO, 1949, 1982). Delle due principali vallate comprese nell'area, la Val d'Aveto e la Val Nure, la prima mantiene all'incirca

⁽¹⁾ Per quanto attiene i concetti generali di geomorfologia strutturale e di morfotettonica si veda l'estesa bibliografia e in particolare CARRARO (1976); PANIZZA & PIACENTE (1976, 1978); BOSI (1978).

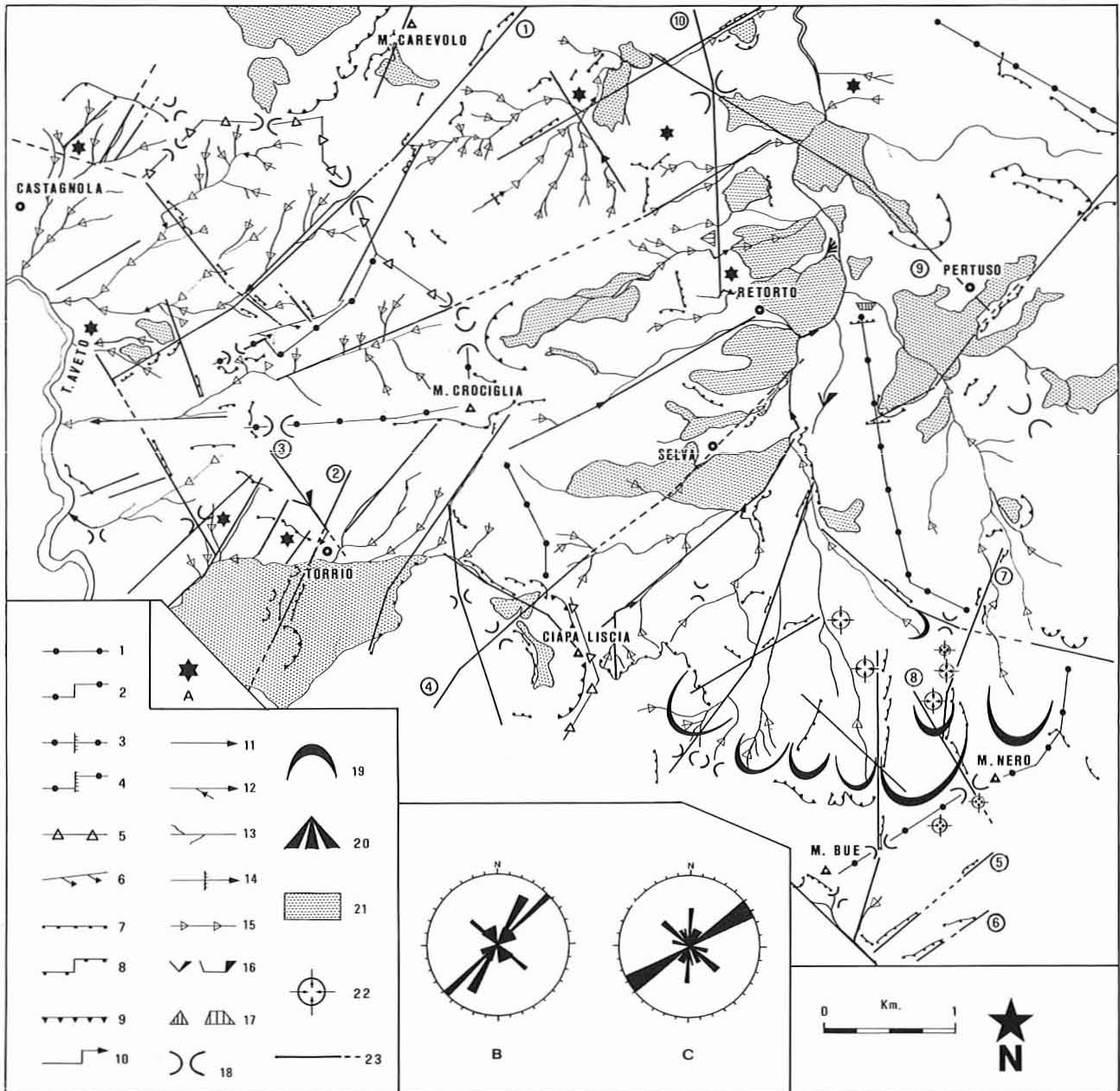


Fig. 10 - CARTA MORFOTETTONICA - *Forme relative a crinali*: 1 = creste a sviluppo rettilineo; 2 = discontinuità planimetrica di un crinale; 3 = discontinuità altimetrica di un crinale; 4 = discontinuità planoaltimetrica di un crinale; 5 = allineamento di vette; 6 = non coincidenza tra l'allineamento delle massime vette e la linea di spartiacque. - *Forme relative alle scarpate*: 7 = orlo di scarpata; 8 = discontinuità di scarpata; 9 = orlo di scarpata modellata da processi di degradazione o di frana. *Forme relative a corsi d'acqua*: 10 = gomito fluviale; 11 = valle rettilinea; 12 = confluenza controcorrente; 13 = tratto di corso d'acqua rettilineo; 14 = gradino o anomalia del profilo longitudinale di un corso d'acqua; 15 = forra, canale inciso o in erosione accelerata. *Simboli di carattere generale*: 16 = asimmetria dei versanti di una valle; 17 = faccette triangolari o trapezoidali; 18 = sella; 19 = circo glaciale; 20 = conoide di deiezione; 21 = corpo di frana; 22 = depressione idrograficamente centripeta; 23 = lineamento morfotettonico. A = stazione di misura mesostrutturale; B = diagramma di frequenza delle direzioni dei lineamenti morfostrutturali relativi alla Val Nure (intervallo delle classi = 5°); C = diagramma di frequenza delle direzioni dei lineamenti morfostrutturali relativi alla Val d'Aveto (intervallo delle classi = 5°).

le stesse caratteristiche morfologiche (valle giovanile) fino alla confluenza con la Val Trebbia, la seconda invece presenta un accentuato contrasto morfologico tra la zona di testata, impostata su rocce ofiolitiche e caratterizzata da rilievi piuttosto aspri e accentuati, ed il suo tratto mediano, modellato in rocce calcareo-argillose a morfologia più dolce.

Lungo lo spartiacque meridionale della Val Nure è collocato il gruppo montuoso del M. Bue (1.800 m), attorniato da numerosi circhi glaciali ormai in fase di avanzata erosione e da un'estesa copertura detritico-morenica (Lo-sacco, 1982). Date le ridotte dimensioni degli antichi ghiacciai appenninici, raramente sono riconoscibili cerchie moreniche vere e proprie; si rinvencono invece modesti cor-

ELEMENTO MORFOLOGICO		POSSIBILE SIGNIFICATO TETTONICO
CRINALE	- cresta a sviluppo rettilineo	- scarpata di faglia - sollevamento regionale
	- discontinuità piano-altimetrica e altimetrica di crinale	- faglia trasversale con rigetto verticale e/o orizzontale
	- allineamento di selle	- faglia trasversale ai crinali
VERSANTE	- scarpata	- faglia a rigetto verticale o sollevamento areale
	- versante convesso / concavo	- sollevamento (se su entrambi i fianchi della valle): faglia ; (se su un solo fianco): flessura
	- asimmetria	- faglia parallela alla valle o basculamento
	- frane ricorrenti o allineate	- faglia o sollevamento areale
VALLE	- forra	- faglia trascorrente o sollevamento areale
	- gomito	- semplice : faglia o basculamento - doppio : faglia con componente orizzontale
	- confluenza controcorrente	- faglia trascorrente parallela alla valle
	- gradino nel profilo longitudinale	- faglia o piega trasversale alla valle

Fig. 11 - Elementi morfologici di possibile significato tettonico utilizzati nello studio.

doni morenici in corrispondenza dei quali sono presenti piccoli laghi di sbarramento e/o di sovraescavazione glaciale; alcuni di essi sono in fase di avanzato colmamento.

Al margine occidentale dell'area è presente il T. Aveto, che scorre in direzione NNW-SSE, all'incirca secondo la direzione degli strati. Il T. Nure ha un andamento caratterizzato da numerose irregolarità planimetriche dovute alle frane che interessano i versanti della valle e che deviano localmente il corso d'acqua. La Val d'Aveto ha un profilo trasversale tipicamente a V. È presente una paleosuperficie sommitale che evidenzia la fase di ringiovanimento (tuttora probabilmente in corso) subita dall'intera area, come testimoniato anche dalla marcata erosione operata dai corsi d'acqua. (MARCHETTI & *alii*, 1979b).

In generale quasi tutti i corsi d'acqua risultano in forte erosione verticale, provocando vistosi fenomeni di scalzamento al piede dei versanti: le numerose paleofrane sono probabilmente connesse a questo fatto oltretutto all'attività sismica e tettonica dell'area (BRAGA & MARCHETTI, 1978; MARCHETTI & *alii*, 1979a).

5.3 I LINEAMENTI MORFOTETTONICI

I lineamenti morfotettonici risultano particolarmente evidenti nei settori meridionali dell'area studiata, nei pressi di Torrio, Ciapa Liscia e nel gruppo del M. Bue-M. Nero (fig. 10). Essi sono stati numerati, in senso antiorario e in ordine progressivo, dalla Val d'Aveto alla Val Nure, al fine di renderne più agevole lo studio. I più significativi risultano i seguenti:

Lineamento 1 - Posto al limite settentrionale dell'area, presenta un notevole sviluppo lineare in quanto si estende dal T. Aveto fino in Val Nure. Questo lineamento, che prosegue verso NE anche fuori dall'area studiata, è definito da una serie di scarpate in corrispondenza delle quali si osservano numerose piccole frane e, per un certo tratto, dalla coincidenza con un corso d'acqua ad andamento rettilineo.

Il lineamento in parola interseca il limite tettonico fra le Arenarie dell'Aveto e la Formazione di M. Penice provocandone una dislocazione sul piano orizzontale di circa 100 metri. Il lineamento è pertanto sicuramente successivo al sovrascorrimento della Formazione di M. Penice sulle Arenarie dell'Aveto ed ha un'età almeno postserravalliana.

Lineamento 2 - È ben evidenziato da una scarpata nel corpo della paleofrana di Torrio, all'interno della quale si osserva una serie allineata di piccoli smottamenti attivi; corre inoltre in corrispondenza della deviazione a gomito che subisce un piccolo rio presente in zona.

All'analisi fotointerpretativa tale lineamento è ben riconoscibile, oltre che nel corpo della paleofrana, anche nelle Arenarie dell'Aveto e, per un certo tratto, nell'Alberese del Penice. Lungo questo lineamento, a nord di Torrio, sono stati osservati numerosi piani di frattura striati, la maggior parte dei quali aventi direzione NE e movimento prevalentemente normale. La presenza di numerose superfici striate lungo il lineamento ne conferma la natura tettonica. Poiché interseca la citata paleofrana costituita in parte da materiale morenico riconducibile all'ultima glaciazione würmiana, è probabile che esso abbia agito anche durante l'Olocene.

Lineamento 4 - Dalle fotografie aeree è visibile chiaramente solo per un tratto limitato, coincidente con alcune scarpate e con la locale deviazione verso NE del rio presente a sud di Selva.

Lineamenti 5-6-7-8-9 - In Val Nure assumono particolare interesse i lineamenti presenti in corrispondenza del gruppo del M. Bue-M. Nero, dove le numerose forme di origine glaciale consentono di fare valutazioni di carattere cronologico. In questo settore i lineamenti a direzione antiappenninica sono il 5, il 6 e il 7. Quest'ultimo sembra interessare l'ala di un piccolo circo glaciale in località «Tagliata dei Marani». Fra quelli a direzione appenninica particolare importanza assume il lineamento 8 che interessa l'ala del circo glaciale del Lago Nero.

Infine si ritiene utile sottolineare l'esistenza, anche in quest'area, del lineamento 9, la cui natura tettonica è stata accertata da BARBANO & *alii* (1984).

Con l'ausilio del calcolatore e di una tavola grafica di ciascun lineamento individuato, è stata misurata la direzione e ne sono stati costruiti i diagrammi di frequenza (fig. 10, diagrammi B e C).

5.4 SINTESI DEI RISULTATI

Gli elementi salienti emersi dall'analisi geomorfologica possono essere così sintetizzati (fig. 10):

a) stato di generale erosione operata dai corsi d'acqua con fenomeni di scalzamento al piede dei versanti;

b) franosità piuttosto elevata;

c) forti anomalie nei profili longitudinali dei corsi d'acqua e confluenza controcorrente di alcuni affluenti di destra del T. Aveto;

d) ringiovanimento nel profilo trasversale del T. Aveto con incisione ed erosione di una paleosuperficie sommitale;

e) presenza di lineamenti orientati in modo costante NE-SW, NW-SE e localmente in Val Nure, NNE-SSW; il minimo addensamento si ha sempre in direzione circa E-W;

f) probabile natura tettonica di alcuni lineamenti ed età dei loro ultimi movimenti particolarmente recente;

g) maggiore densità dei lineamenti e delle irregolarità morfologiche nei settori meridionali dell'area.

Questi dati suggeriscono che l'area in parola è stata interessata da fenomeni tettonici recenti, che avrebbero condizionato l'andamento di alcuni corsi d'acqua e le forme del paesaggio in generale. Tali eventi deformativi si sarebbero manifestati, come suggerito dai lineamenti, anche attraverso faglie orientate prevalentemente NE-SW e subordinatamente NW-SE, sia in Val d'Aveto che in Val Nure.

In considerazione del generale stato di marcata erosione fluviale e del ringiovanimento riscontrato nel profilo trasversale della Val d'Aveto e di altri corsi d'acqua, è probabile che l'area possa essere stata interessata da un generale sollevamento e che pertanto i lineamenti descritti possano coincidere, almeno in parte, con faglie a componente normale. Le cospicue paleofrane presenti sono connesse a questo evento che avrebbe indotto una generale ed accelerata erosione degli alvei fluviali, con conseguente scalzamento al piede dei versanti. È significativo sottolineare che localmente le paleofrane sono terrazzate; ciò indica, unitamente al ringiovanimento della Val d'Aveto e all'esistenza di una paleosuperficie sommitale, la presenza nell'area studiata di almeno due cicli morfogenetici principali (MARCHETTI & *alii*, 1979 a, b).

Il primo avrebbe avuto come risultato del suo stato evolutivo avanzato una morfologia matura, subpianeggiante, successivamente dislocata da faglie ed incisa dall'azione di corsi d'acqua, nel corso di una fase di marcato sollevamento. Le paleosuperfici sommitali oggi presenti e largamente diffuse in tutto l'Appennino (BERNINI & *alii*, 1977) rappresenterebbero appunto i resti di questa morfologia. Il sollevamento sarebbe continuato localmente anche dopo la glaciazione würmiana, in quanto sono stati osservati alcuni lineamenti morfotettonici connessi ad esso, successivi ai fenomeni glaciali presenti. La maggiore densità dei lineamenti e delle irregolarità morfologiche nei settori meridionali della zona considerata potrebbe indicare un sollevamento maggiore dei settori meridionali rispetto a quelli settentrionali. Esistono tuttavia elementi che fanno ipotizzare un'età anche più antica di tali fenomeni.

6. ANALISI COMPARATA

Il confronto fra le direzioni delle faglie, dei lineamenti morfotettonici e dei segmenti fluviali di ciascun ordine suggerisce le seguenti indicazioni (cfr. i diagrammi di frequenza delle figg. 5 e 6 e delle figg. 2 e 10).

a) i segmenti fluviali dei vari ordini risultano complessivamente orientati in direzione NE-SW e NW-SE; in particolare, sono presenti in Val d'Aveto alcuni massimi relativi compresi fra 5°N e 150°N (fig. 2). Anche in Val Nure i segmenti fluviali mostrano complessivamente le stesse caratteristiche;

b) le classi di massimo addensamento sopra citate trovano una buona corrispondenza con le classi di massima frequenza delle direzioni di tutte le faglie, prevalentemente comprese fra i 10°N e i 140°N (figg. 5 e 6);

c) nel bacino della Val d'Aveto i segmenti fluviali di primo ordine presentano un massimo addensamento relativo a direzione NNE-NE, mentre in Val Nure, pur essendovi un picco nella stessa direzione, il massimo addensamento ha una direzione ESE;

d) i segmenti di secondo ordine manifestano nel complesso una distribuzione abbastanza simile: in Val d'Aveto, al massimo con direzione NNE se ne aggiunge un altro con direzione ESE, mentre in Val Nure si hanno picchi con direzione NNE, NE e SE;

e) per i segmenti sia di primo che di secondo ordine si nota una maggiore dispersione nel bacino del Nure rispetto a quello della Val d'Aveto;

f) i segmenti fluviali di terzo ordine hanno massimi, in Val d'Aveto, con direzione NE, ENE e SW, mentre in Val Nure le direzioni sono NNE, NE e SW;

g) i lineamenti morfotettonici nella Val d'Aveto sviluppano i massimi addensamenti in direzione NE e in direzione NW (fig. 10);

h) in Val Nure i lineamenti morfotettonici, oltre ai due massimi riscontrati per la Val d'Aveto presentano un picco avente direzione circa NNE;

i) le faglie normali hanno, in Val d'Aveto, un massimo addensamento in direzione NE, mentre in Val Nure sono più disperse, ma con picchi in direzione NE e SE (figg. 5 e 6);

l) le faglie trascorrenti con massima compressione a direzione NW presentano una tipica distribuzione in due sistemi coniugati con massimi in direzione NNE e SE-ESE;

m) analogamente, le faglie trascorrenti con massima compressione a direzione NE hanno massimi con direzione circa NNE e NE-ENE;

n) nei due sistemi coniugati di faglie trascorrenti di cui al punto l, le faglie destre a direzione SE-ESE risultano più numerose di quelle sinistre a direzione NNE;

o) nei due sistemi coniugati trascorrenti di cui al punto m le faglie sinistre a direzione NE-ENE sono più numerose delle destre a direzione NNE.

Da quanto sopra (v. in particolare i punti a e b) si può notare come l'andamento del reticolo idrografico sia stato con ogni probabilità fortemente condizionato dall'assetto strutturale della regione ed in particolare dalla geometria

della fratturazione. Più in dettaglio è possibile ipotizzare come i corsi d'acqua di primo ordine risentano prevalentemente delle faglie dirette (punti *c*, *e* ed *i*); quelli di secondo ordine sia delle faglie dirette sia delle trascorrenti destre a direzione ESE associate alla compressione a direzione NNW (punti *d*, *i*, *l* e *n*); quelli di terzo ordine di tutti i sistemi di faglie e in particolare delle trascorrenti con direzione di massima compressione NE (punti *f*, *i*, *l*, *m* e *o*). Tali osservazioni sembrano particolarmente significative in Val d'Aveto, probabilmente a causa della omogeneità litologica presente.

Sembra inoltre confermato come, nel complesso, quello distensivo rappresenti l'evento tettonico più recente nell'area studiata; esso probabilmente cominciò a manifestarsi al momento della formazione degli attuali corsi d'acqua di secondo ordine i quali potevano impostarsi secondo discontinuità meccaniche legate alla fase compressiva NNW; gli attuali corsi d'acqua di terzo ordine invece si erano probabilmente già impostati secondo le discontinuità meccaniche legate prevalentemente ad un regime trascorrente avente asse di massima compressione NE.

Si può inoltre ipotizzare come la fase compressiva NE sia anteriore alla fase di massima compressione NNW. Questo fatto sembrerebbe avvalorato dal confronto tra le direzioni delle faglie e le direzioni dei lineamenti morfotettonici: questi ultimi, logicamente relativamente recenti, infatti sembrano corrispondere sia alle faglie normali sia alle trascorrenti destre associate ad una massima compressione a direzione NNW (punti *g*, *i*, *l* e *n*). In Val Nure è presente anche un picco nelle direzioni dei lineamenti morfotettonici associabile forse al sistema di faglie sinistre coniugate alle precedenti (punti *b* e *h*).

Si ricorda inoltre come studi morfotettonici eseguiti più a est dell'area in esame, sempre in Val Nure (BARBANO & *alii*, 1984) segnalino alcuni lineamenti compatibili con un campo di stress avente asse di massima compressione NNW, evidenziati, fra l'altro, da faccette triangolari, gomiti fluviali, ecc. Inoltre, la tettonica recente presente al margine appenninico padano è stata ultimamente interpretata, come l'effetto di una compressione orizzontale anche a direzione NNW (BERNINI & CLERICI, 1983; PEROTTI, 1985; BERNINI & *alii*, 1986).

Il fatto che l'evoluzione del reticolato fluviale sia stata sensibilmente condizionata dalla tettonica è confermato anche dall'analisi morfometrica, che ha evidenziato la frequente coincidenza tra bacini tributari fortemente anomali ed aree sedi di numerosi lineamenti morfotettonici e dall'analisi morfologica (v. capp. 3 e 5).

Per quanto riguarda l'età dei movimenti tettonici connessi alle varie fasi ed in particolare a quella distensiva, ulteriori informazioni sono state ottenute attraverso lo studio dei lineamenti morfotettonici. Un'età probabilmente post-würmiana di alcune faglie normali è testimoniata dai lineamenti morfotettonici 2, 4, 7 e 8, alcuni dei quali, come è stato illustrato precedentemente, sembrano interrompere circhi glaciali di età würmiana. In particolare, il lineamento 2 interessa l'accumulo della imponente paleofrana di Torrio costituita da materiale morenico rimaneggiato.

Le caratteristiche geomorfologiche generali dell'area studiata inoltre, sembrano confermare come attualmente sia in atto nell'area una chiara fase di sollevamento, già evidenziata in molti settori appenninici (AMBROSETTI & *alii*, 1982; BARTOLINI & *alii*, 1983).

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PROPOSTA DI UN MODELLO MORFOTETTONICO EVOLUTIVO DELL'AREA

Sulla base del confronto fra i risultati delle indagini svolte è possibile delineare il quadro dell'evoluzione morfotettonica dell'area.

La fase tettonica con asse di massima compressione a direzione NE-SW potrebbe essere posta in relazione ai principali sovrascorrimenti delle Liguridi sulle Unità subliguri e toscandidi; essa è considerata da vari Autori di età tortoniana (fase toscana) (BOCCALETTI & GUAZZONE, 1970; ELTER, 1972 e 1973; CARMIGNANI & GIGLIA, 1975; BOCCALETTI & *alii*, 1980 e 1985; CARMIGNANI & *alii*, 1981) ed è probabilmente perdurata anche nel corso del Pliocene inferiore. Durante tale fase si sarebbe verificata la messa in posto della Unità di M. Caio, con al tetto l'Unità di Casanova, sull'Unità di Canetolo.

Per quanto riguarda l'assetto geomorfologico superficiale, si è osservato che i corsi d'acqua oggi di terzo ordine o di ordine maggiore, si sono impostati secondo direzioni di faglie (a prevalente movimento trascorrente), associate alla compressione con direzione appenninica. Ciò sembra essere giustificato dal fatto che, in epoca immediatamente successiva al Tortoniano, questo settore dell'Appennino settentrionale doveva essere già in parte emerso ed il reticolato idrografico in fase di formazione.

Successivamente si ha una variazione nell'orientazione dell'asse di massima compressione, che assume una direzione NNW-SSE (CARMIGNANI & GIGLIA, 1975; PERTUSATI & *alii*, 1977; CARMIGNANI & *alii*, 1978; BARBANO & *alii*, 1984; BERTELLI & *alii*, 1984).

Nella zona del margine appenninico, recenti studi hanno mostrato come tale campo di stress sia probabilmente ancora attivo (BERNINI & CLERICI, 1983; PAPANI, 1983; PEROTTI, 1985; BERNINI & *alii*, 1986) in accordo con quanto rilevabile in corrispondenza del fronte appenninico sepolto al di sotto della pianura (PIERI & GROPPI, 1981; CASTELLARIN & *alii*, 1985; CASSANO & *alii*, 1986). Le discontinuità generatesi nel corso di questa fase tettonica sembrano condizionare l'andamento planimetrico dei corsi d'acqua di più recente formazione (di secondo ordine ed in parte di primo).

L'ultima fase deformativa individuata è di carattere distensivo ed è connessa ad un generale sollevamento della zona. Tuttavia esistono problemi connessi alla sua genesi ed al suo significato strutturale (ELTER & *alii*, 1975). Da un punto di vista generale, nell'ambito dell'assetto strutturale dell'Appennino settentrionale, essa potrebbe essere connessa con il *rifting* e l'assottigliamento crostale in atto nel Mar Tirreno settentrionale. Tale fenomeno infatti in-

fluenzerebbe tutta la porzione interna della catena appenninica (BOCCALETTI & *alii*, 1985). Resta tuttavia da verificare la collocazione della zona studiata in rapporto all'estensione del fenomeno e da chiedersi se l'assottigliamento e l'estensione crostale eventualmente indotti siano o meno compatibili con il marcato innalzamento verificatosi nell'area e chiaramente evidenziato da vistosi fenomeni morfologici.

In alternativa o a complemento di quanto sopra, possono essere invocate le due seguenti cause come responsabili della genesi delle faglie normali osservate:

1) fenomeni di natura isostatica dovuti sia a spinte verso l'alto in conseguenza dell'asportazione di materiale ad opera dell'erosione o del trasporto tettonico verso l'esterno, sia a spinte verso il basso in seguito all'appilamento tettonico di materiale appartenente alle varie unità strutturali;

2) fenomeni di inarcamento connessi a compressione orizzontale.

Non esistono, allo stato attuale delle conoscenze, elementi decisivi per stabilire quale di queste ipotesi sia la più attendibile. I dati geofisici, infatti, risultano piuttosto scarsi ed incerti, a scala limitata e spesso si prestano ad interpretazioni ambigue. Le indagini gravimetriche mostrano comunque in questa fascia appenninica la presenza di squilibri isostatici (BALLARIN & *alii*, 1972; MORELLI, 1973; CASSANO & *alii*, 1986), mentre la risoluzione dei meccanismi focali dei terremoti non risulta particolarmente significativa (BOSSOLASCO & *alii*, 1974; BOCCALETTI & *alii*, 1985).

Per quanto riguarda l'importanza da attribuire al fenomeno dell'inarcamento causato da compressione orizzontale, si tenga presente che, anche se, in una zona differente (geotraversa alpina Basilea-Chiasso) NEUGEBAUER & *alii*, 1980 valutano come limitata l'influenza esercitata dalle spinte tangenziali in rapporto al sollevamento isostatico.

In conclusione, tenendo conto di come l'evoluzione geomorfologica sia strettamente legata all'evoluzione tettonica, è possibile delineare, sia pure in via ipotetica, uno schema dell'evoluzione morfostrutturale dell'area.

I PERIODO (Tortoniano-Pliocene medio?)

Si completa la messa in posto tettonica delle varie unità strutturali, secondo un regime compressivo con asse di massimo sforzo suborizzontale e a direzione NE.

Verso la fine del periodo si ha un cambiamento nel campo di sforzi con una direzione di massima compressione NNW-SSE. L'appilamento delle varie coltri sovrascorse ed accavallate l'una sull'altra provoca tensioni verticali e fenomeni distensivi locali, parzialmente sovrapposti nel tempo e nello spazio ai fenomeni compressivi orizzontali. Successivamente al Tortoniano si ha l'emersione dell'area ed inizia a svilupparsi il reticolo idrografico il cui andamento planimetrico sembra, almeno in parte, controllato dalle discontinuità presenti e/o in formazione. Si ha erosione accelerata come d'altra parte è testimoniato dalla diffusa presenza, in corrispondenza del margine appenninico, di

depositi conglomeratici riferibili al Messiniano o al Pliocene inferiore.

II PERIODO (Pliocene superiore-inizio Quaternario?)

Si completa il primo ciclo morfogenetico con formazione di morfologia matura, oggi testimoniata dalla presenza di una «paleosuperficie sommitale» (MARCHETTI & *alii*, 1979 a-b). Prosegue, anche se in fase attenuata, lo stesso regime deformativo della fine del periodo precedente.

III PERIODO (Quaternario - attuale)

Inizia un secondo ciclo morfogenetico principale (probabilmente ancora in atto) con l'innescio di un'energica fase di sollevamento dovuta probabilmente alla concomitanza dei diversi fattori ricordati in precedenza. In particolare, sembra ipotizzabile un ruolo predominante dell'isostasia per compensare l'energica erosione avvenuta al termine del precedente periodo. Sono comunque possibili effetti dovuti al rifting dell'alto Tirreno e alla compressione esercitata in particolare lungo il fronte appenninico più esterno.

Durante il Würm si formano i ghiacciai nel gruppo del M. Bue - M. Nero.

Il ravvivarsi dei fenomeni erosivi provoca l'incisione verticale ed accelerata degli alvei dei corsi d'acqua ed il distacco di grosse frane; gli affluenti dei corsi d'acqua principali (specialmente quelli di primo ordine) si impostano prevalentemente secondo direzioni controllate dalle faglie normali dovute al regime distensivo indotto dal sollevamento che continua localmente anche dopo la glaciazione würmiana (lineamenti morfotettonici 2, 4 e 8).

I depositi morenici vengono coinvolti dai fenomeni franosi successivi, dispersi nell'area e localmente dislocati da faglie normali (frana di Torrio, lineamento 2).

BIBLIOGRAFIA

- AMBROSETTI P., CARRARO F., DEIANA G. & DRAMIS F. (1982) - *Il sollevamento dell'Italia centrale tra il Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio*. C.N.R. Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl. 513, 219-223.
- ANGELIER J. (1979) - *Determination of the mean principal direction of stress for a given fault population*. Tectonophysics, 56, 17-26.
- ANGELIER J. (1983) - *Analyses qualitative et quantitative des populations de jeux de failles*. Bull. Soc. Géol. France, 25, 661-672.
- ANGELIER J. & MECHLER P. (1977) - *Sur une méthode graphique de recherche des contraintes également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droites*. Bull. Soc. Géol. France, 19, 1309-1318.
- ARTHAUD F. (1969) - *Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles*. Bull. Soc. Géol. France, 11, 729-737.
- AVENA G.C. & GIULIANO G. (1967) - *Considerazioni teorico pratiche sulla applicazione dell'analisi geomorfica quantitativa ai reticoli fluviali*. L'Universo, 47, 341-358.
- AVENA G.C., GIULIANO G. & LUPA PALMIERI E. (1967) - *Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 86, 729-737.
- AVENA G.C. & LUPA PALMIERI E. (1969) - *Analisi geomorfica quantitativa*. In: «AA.VV. - Idrogeologia dell'alto bacino del fiume Liri». Geol. Romana, 8, 319-377.

- BALLARIN S., PALLA B. & TROMBETTI C. (1972) - *La gravità in Italia. Carta delle anomalie topografiche e topografico-isostatiche*. Boll. Geod. Sc. Af., 31, 461-489.
- BANNISTER E. & ARBOR N. (1980) - *Joint and drainage orientation of SW Pennsylvania*. Zeit. Geom., N.F. Bd, 24, 273-286.
- BARBANO D., PEROTTI C.R. & VERCESI P.L., (1984) - *La tettonica recente dell'Alta Val Nure (PC)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 30, 221-233.
- BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G.C., CASTALDINI P., COSTANTINI A., FEDERICI P.R., FRANCAVILLA F., GASPERI G., LAZZAROTTO G., MAZZANTI G., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F. & VERCESI P.L. (1983) - *Carta neotettonica dell'Appennino settentrionale 1:400 000. Note illustrative*, Boll. Soc. Geol. It. 101, 523-549.
- BELLINZONA G., BONI A., BRAGA G., CASNEDI R. & MARCHETTI G. (1968) - *Carta geologica della «finestra» di Bobbio*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 19, 1 Tav.
- BERNINI M. & CLERICI A. (1983) - *Individuazione di un campo di sforzi compressivo in alcuni affioramenti del Pleistocene continentale del margine appenninico presso Collecchio (PR)*. Boll. Soc. Geol. It., 102, 369-384.
- BERNINI M., CLERICI A., PAPANI G. & SGAVETTI M. (1977) - *Analisi della distribuzione planoaltimetrica delle paleosuperfici nell'Appennino emiliano occidentale*. Ateneo Parmense, Acta Naturalia, 13, 645-656.
- BERNINI M., PAPANI G. & VESCOVI P. (1986) - *Guida all'escursione del 18/4/86 da Pontremoli (Massa) a Fornovo (Parma)*. Ist. Geol. Univ. Parma.
- BERTELLI V., CERRINA FERONI A., PLESI G. & FONTANESI G. (1984) - *Deformazioni semiduttili nelle Arenarie di Ranzano della media Val d'Enza (Appennino reggiano); un tentativo di analisi della fratturazione associata al piegamento concentrato*. Boll. Soc. Geol. It., 103, 601-613.
- BOCCALETTI M. & COLI M. (Editors) (1982) - *Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale (Scala 1:250 000)*. C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl. 429.
- BOCCALETTI M., COLI M., DEGANDIA F.A., GIANNINI E. & LAZZAROTTO A. (1980) - *Evoluzione dell'Appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 21, 359-373.
- BOCCALETTI M., COLI M., EVA C., FERRARI G., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., MERLANTI F., NICOLIC R., PAPANI G. & POSTPISCHL D. (1985) - *Consideration on the seismotectonics of the Northern Apennines*. Tectonophysics, 117, 7-38.
- BOCCALETTI M. & GUAZZONE G. (1970) - *La migrazione terziaria dei bacini toscani e la rotazione dell'Appennino settentrionale in una «zona di torsione» per deriva continentale*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 201-216.
- BONI A., BRAGA G. & MARCHETTI G. (1968) - *Nuovi dati sull'età della «Formazione di Val d'Aveto» (Appennino ligure-emiliano)*. Rend. Sc. Ist. Lomb. Sc. Lett., 102, 737-743.
- BONI A., BRAGA G., CONTI S., GELATI R., MARCHETTI G. & PASSERI L.D. (1969) - *Note illustrative dei Fogli 83 Rapallo e 94 Chiavari della Carta Geologica d'Italia*. Serv. Geol. It.
- BOSI C. (1978) - *Relazione introduttiva al tema «Neotettonica»*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 521-534.
- BOSSOLASCO M., EVA C. & PASQUALE V. (1974) - *On seismotectonics of the Alps and Northern Apennines*. Riv. It. Geof., 23, 56-63.
- BRAGA G. & MARCHETTI G. (1978) - *Incidenza delle faglie sulla franosità dei pendii: esempi nell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 11-18.
- BRANCACCIO L., CINQUE A. & SGROSSO I. (1978) - *L'analisi morfologica dei versanti come strumento per la ricostruzione degli eventi neotettonici*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 621-626.
- CAREY E. (1976) - *Analyse numérique d'une modèlle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles.: calcul d'un tensor moyen des contraintes à partir des stries de glissement*. Tesi di dottorato, inedita.
- CARMIGNANI L. & GIGLIA G. (1975) - *Le fasi tettoniche terziarie dell'autoctono delle Alpi Apuane: studio delle strutture minori della zona centro-meridionale*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 1957-1981.
- CARMIGNANI L., GIGLIA G. & KLIGFIELD R. (1978) - *Structural evolution of the Apuane Alps: an example of continental margin deformation*. Journ. Geol., 86, 487-504.
- CARMIGNANI L., GIGLIA G. & KLIGFIELD R. (1981) - *Nuovi dati sulla zona di taglio ensialica delle Alpi Apuane*. Mem. Soc. Geol. It., 21, 93-100.
- CARRARO F. (1976) - *Appunti sulla tettonica quaternaria*. Quad. Gr. St. Quat. Pad., 3, 1-19.
- CASNEDI R. (1982) - *Sedimentazione e tettonica delle Unità Liguridi dell'Appennino nord-occidentale (V. Lavagna-Sturla-Trebbia e Aveto)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 30, 42-66.
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) - *Pianura padana: interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. AGIP, LXXIII Congr., Soc. Geol. It.
- CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (1985) - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giorn. Geolog., 47, 47-76.
- CHRISTOFOLETTI A. (1969) - *Analise morfometrica das bacias hidrograficas*. Not. Geomorf. 8 (16), 3-97.
- CHRISTOFOLETTI A. (1970) - *Analise morfometrica das bacias hidrograficas do planalto de Poços de Caldas*. Mimeo, Rio Claro.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPA PALMIERI E. & SALVINI F. (1987) - *An approach to the quantitative analysis of the relations between drainage pattern and fracture trend*. Intern. Geomorph. 1986, Part II, Wiley & S. Ltd., 49-68.
- CLERICI A. & ROSSETTI G. (1977) - *La qualificazione dei caratteri geomorfologici dei bacini idrologici mediante elaboratore elettronico*. Ist. Geol. Parma.
- DE STEFANI C. (1874) - *Gli antichi ghiacciai dell'Alpe di Corfino ed altri dell'Appennino settentrionale e delle Alpi Apuane*. Boll. R. Comit. Geol. It., 5, 86-94.
- ELTER P. (1972) - *La zona ofiolitica del Bracco nel quadro dell'Appennino settentrionale. Introduzione alla geologia delle Liguridi. Guida alle escursioni*. LXVI Cong. Soc. Geol. It.
- ELTER P. (1973) - *Lineamenti tettonici ed evolutivi dell'Appennino settentrionale*. In: «*Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*» Acc. Naz. Lincei, Quad. 183, 97-109.
- ELTER P., GIGLIA G., TONGIORGI M. & TREVISAN L. (1975) - *Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the Northern Apennines*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 17, 3-18.
- ELTER P., MARRONI M. & MECCHERI M. (1987) - *Libretto guida dell'escursione sull'unità del flysch ad elmintoidi dell'Appennino ligure-emiliano*. Pubbl. n. 50 del Centro di studio per la geologia strutturale e dinamica dell'Appennino, C.N.R., Pisa.
- FINOTELLI F., MARCHETTI G. & VERCESI P.L. (1987) - *Osservazioni geologico-strutturali sulla finestra di Bobbio (Appennino piacentino)*. Atti Tic. Sc. Terra, 31, 22-36.
- GALBIATI B. (1985) - *L'Unità del Bracco e il suo ruolo nella paleogeografia ligure cretacea*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 30, 316-336.
- HORTON R.E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull., 56, 275-370.
- LANZHOU N.S. & SCHEIDEGGER A.E. (1981) - *Valley trends in Tibet*. Zeit. Geom. N.F. Bd., 25, 203-212.
- LOSACCO U. (1949) - *La glaciazione quaternaria dell'Appennino settentrionale*. Riv. Geogr. It., 55, 91-152, 196-272.
- LOSACCO U. (1982) - *Gli antichi ghiacciai dell'Appennino settentrionale*. Atti Soc. Nat. Mat. Modena, 113, 1-224.
- MARCHETTI G., PELLEGRINI L., PEROTTI C.R. & VERCESI P.L. (1979a) - *L'evoluzione morfostutturale dell'Appennino piacentino: proposta di uno schema interpretativo*. C.N.R. Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl. 251, 449-461.
- MARCHETTI G., PEROTTI C.R. & VERCESI P.L. (1979b) - *Possible significance of the paleosurface with reference to the geomorphological plio-quaternary evolution of the Piacenza Apennine*. Proc. 15th Meeting «Geomorphological Survey & Mapping», Modena (Italy), 151-164.
- MARINI M. & TERRANOVA R. (1980) - *Evoluzione paleogeografica del paleoceano ligure fra l'Aptiano ed il Paleocene*. Mem. Soc. Geol. It., 21, 143-149.
- MORELLI C. (1973) - *La gravimetria dell'area italiana, in Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Acc. Naz. Lincei, Quad. 183, 397-313.
- MORISAWA M.E. (1959) - *Relation of quantitative geomorphology to stream flow in representative watersheds of the Appalachian Plateau Province*. Off. Na. res. (U.S.), Geogr. Branch., Project 389-042, Tech. rep., 20.

- NEUGEBAUER H.J., BROTZ R. & RYBACH L. (1980) - *Recent crustal uplift and the present stress field of the Alps along the Swiss Geotraverse Basel - Chiasso*. *Ecl. Geol. Helv.*, 73, 489-500.
- PANIZZA M. & PIACENTE S. (1976) - *Convergenza geomorfologica di morfosculture eterogenetiche. Messa a punto per ricerche di neotettonica*. *Quad. Gr. St. Quat. Pad.*, 3, 39-44.
- PANIZZA M. & PIACENTE S. (1978) - *Rapporti fra geomorfologia e neotettonica. Messa a punto concettuale*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 1, 138-140.
- PAPANI G. (1983) - *Stato di avanzamento delle ricerche mesostrutturali sulla tettonica fragile nell'Appennino parmense e zone limitrofe*. Atti riun. «Meccanismi deformativi nelle catene perimediteranee: stato di avanzamento delle ricerche e problematiche emerse». 27-34.
- PEROTTI C.R. (1985) - *Analisi mesostrutturale della formazione delle Marne di Rigoroso fra il T. Lemme e il T. Scrivia (margine sud-orientale del Bacino Terziario ligure-piemontese)*. *Rend. Soc. Geol. It.*, 8, 53-56.
- PEROTTI C.R. (1987) - *Risoluzione analitica di problemi rotazionali*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 106, 737-743.
- PEROTTI C.R. & VANOSI M. (1987) - *Sistemi coniugati di faglie ed ellissoidi degli sforzi. Contributo all'analisi e all'interpretazione dei casi anomali*. *Atti Tic. Sc. Terra*, 31, 108-124.
- PERTUSATI P., PLESI G. & CERRINA FERONI A. (1977) - *Alcuni esempi di tettonica polifasata nella falda toscana*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 96, 587-605.
- PETT J.P., PROUST F. & TAPPONIER P. (1983) - *Critères de sens de mouvement sur le miroirs de failles en roches non calcaires*. *Bull. Soc. Géol. France*, 25, 589-608.
- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface Geological Structure of the Po Plain, Italy*. C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica. Pubbl. 414, 1-13.
- PLESI G. (1975) - *La nappe de Canetolo*. *Bull. Soc. Geol. France*, 17, (6), 979-983.
- POHN H.A. (1983) - *The relationship of joints and stream drainage in flat laying rocks of south-central New York and northern Pennsylvania*. *Zeit. Geom.*, 27, 375-384.
- SCHUMM S.A. (1956) - *Evolution of drainage basins and slope in badlands at Perth - Amboy - New Jersey*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 67, 597-646.
- SCHEIDEGGER A.E. (1965) - *On the statistics of the orientation of bedding planes grain axes, and similar sedimentological data*. *U.S. Geol. Survey Prof.*, 5, 164-167.
- SCHEIDEGGER A.E. (1980) - *The orientations of Valleys trends in Ontario*. *Zeit. Geom. N.F. Bd.*, 24, 19-30.
- STRAHLER A.N. (1957) - *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. *Am. Geoph. Trans. Union*, 38, 913-920.
- TERRANOVA R. & DRAGO C. (1975) - *Le brecce ofiolitiche e poligeniche e i loro rapporti con le rocce verdi e la serie sedimentaria del gruppo del M. Maggioreasca (Appennino ligure-emiliano)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 94, 1905-1927.
- VIALON P., RUHLAND M. & GROLIER J. (1976) - *Eléments de tectonique analytique*. Masson, Paris, 118 pp.
- WATSON G.S. (1966) - *The statistic of orientation data*. *Journ. Geol.*, 74, 786-797.
- WOODCOCK N.H. (1977) - *Specification of fabric shapes using an eigenvalue method*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88, 1231-1236.
- WOODCOCK N.H. & NAYLOR M.A. (1983) - *Randomness testing in three dimensional orientation data*. *Journ. Struct. Geol.*, 5, 539-548.
- ZANZUCCHI G. (1980) - *I lineamenti geologici dell'Appennino parmense. Note illustrative alla Carta e alle Sezioni geologiche della Provincia di Parma e Zone limitrofe (1:100 000)*. In: Vol. dedicato a Sergio Venzo, Univ. Studi Parma, 201-226.
- ZAVOIANU I. (1985) - *Morphometry of drainage basins*. Elsevier, New York, 238 pp.