

ELVIDIO LUPIA PALMIERI, ERNESTO CENTAMORE, SIRIO CICCACCI,
LEANDRO D'ALESSANDRO, MAURIZIO DEL MONTE, PAOLA FREDI
& FRANCESCO PUGLIESE (*)

GEOMORFOLOGIA QUANTITATIVA E MORFODINAMICA DEL TERRITORIO ABRUZZESE: II - IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME TORDINO

SUMMARY: LUPIA PALMIERI E., CENTAMORE E., CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F., *Quantitative Geomorphology and morphodynamics of the Abruzzo, Italy: II - The drainage basin of the River Tordino*. (IT ISSN 0391-9838, 1998).

This second work carries on the publication of results obtained through a wide and articulate geothematic researches focussed on the contribution of quantitative geomorphology to the morphogenetic and morphostructural characterization of the Abruzzo region.

Particularly, the Fiume Tordino drainage basin is here considered; it is located in the northernmost part of this region, in the area between the eastern border of the Apennine (Gran Sasso) and the Adriatic shore.

Morphographic and morphometric analyses, supported by a basic geological study, allowed the morpho-structural assessment of the drainage basin and the typology and intensity of the acting denudational processes to be defined in a satisfactory way.

The Fiume Tordino drainage basin is emplaced on foredeep terrigenous deposits, from Miocene to Pleistocene in age; locally the Mesozoic-Paleogene carbonatic units of the «Abruzzo sedimentary basin» crop out. The study basin shows the effects of recent tectonic activity which controlled mainly the drainage network emplacement and evolution. The whole of the surveyed morphological evidence allowed the identification of some tectonic lines of regional importance NW-SE, NNW-SSE, NE-SW and ENE-WSW oriented which played a primary role in the definition of the drainage basin morphological aspect.

The azimuthal distribution of each stream order, defined after Strahler, evidenced the control on the drainage network of tectonic lines N-S and E-W trending that the morphological evidence of tectonics failed in singling out; moreover this analysis made it possible to delineate a possible sequence of the tectonic line activities. In particular, the NE-SW, N-S and E-W lines seem to have acted in recent times as they clearly controlled the emplacement of the lower stream order and, therefore, the recent evolution of the drainage network.

The study basin is affected by widespread denudational processes which are particularly intense in the upper and middle portions, because of the peculiar lithological and tectonic conditions. The tectonic control on denudation intensity is evident at the basin headwater where a strongly tectonized area is present in correspondence to the thrust of arenaceous lithologies on the pelitic-arenaceous ones. Moreover, the tectonic lines conditioning the main watercourses (Fiume Tordino and Fiume Vezzola) favour their deepening which, in its turn, is responsible for slope instability conditions.

In the basin middle portion some areas affected by intense morphogenetic processes are discernable; particularly, large landslides and creep phenomena are present between Campli and Teramo, also due to the structural arrangement of this area. In the lower portion, from the Torrente Fiumicino junction to the Fiume Tordino mouth, creep, sheet, rill and gully erosion prevail; badlands are often found where clay and marls crop out. All of these processes are widespread especially on the right slope of the main valley which is likely to have been uplifted as suggested by the morphological evidence for tectonics.

The distribution and intensity of denudational processes within the study basin is confirmed also by the results of quantitative geomorphic analyses. Areas characterized by fast morphological evolution are drained by poorly organized networks and show high values of «Denudation index», calculated in indirect ways.

Hypsometric analysis allowed a more precise characterization of the areas affected by intense morphogenesis; in fact a close relation has been found between the plano-altimetric configurations of the different partial basins and the type and intensity of denudational processes acting within the study basin.

KEY WORDS: Quantitative Geomorphology, Morphodynamics, Morphotectonics, Denudation processes, Abruzzo (Italy).

RIASSUNTO: LUPIA PALMIERI E., CENTAMORE E., CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F., *Geomorfologia quantitativa e morfodinamica del territorio abruzzese: II - Il bacino idrografico del Fiume Tordino*. (IT ISSN 0391-9838, 1998).

Con questa seconda nota prosegue la pubblicazione dei risultati più significativi di un'ampia e articolata serie di ricerche geotematiche incentrate sul contributo della geomorfologia quantitativa alla caratterizzazione morfogenetica e morfostutturale del territorio abruzzese.

Nel presente lavoro viene preso in esame il bacino idrografico del Fiume Tordino, che è situato nella porzione più settentrionale dell'A-

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma «La Sapienza».

Lavoro eseguito con fondi Enea (Contratto di ricerca «Analisi geomorfologica quantitativa di alcuni bacini idrografici dell'area abruzzese»), Cnr (Contributi per la ricerca «Geomorfologia quantitativa dei bacini idrografici italiani») e Murst 40% (Progetto di ricerca «Catene montuose e pianure: Geomorfologia strutturale ed evoluzione in Italia e in Aree mediterranee»).

bruzzo, nell'area compresa tra il bordo orientale della catena appenninica e la costa adriatica.

Le indagini morfografiche e le analisi morfometriche, integrate da un accurato studio geologico di base, hanno permesso di giungere a una soddisfacente definizione sia dell'assetto morfologico-strutturale del bacino, sia della tipologia e della rapidità dei processi di denudazione che in esso attualmente si esplicano.

Il bacino del Fiume Tordino è impostato su litotipi costituiti prevalentemente da depositi terrigeni d'avanssola mio-plio-pleistocenici e localmente da Unità carbonatiche mesozoico-paleogeniche («bacino abruzzese»). Esso appare interessato da un marcato controllo tettonico, che ha condizionato in larga misura l'impostazione e lo sviluppo del reticolo idrografico.

L'insieme degli indizi morfotettonici rilevati ha permesso di evidenziare alcune direzioni tettoniche di importanza regionale (NW-SE, NNW-SSE, NE-SW e ENE-WSW), che hanno senza dubbio giocato un ruolo significativo nella determinazione della configurazione morfologica del bacino. I risultati dell'analisi azimutale dei vari tratti del reticolo idrografico hanno confermato quanto emerso dagli indizi morfologici di tettonica e hanno permesso, inoltre, di tracciare uno schema di probabile successione dell'attività tettonica. In particolare, l'attività tettonica più giovane si sarebbe esplicata secondo le direttrici N-S, E-W e NE-SW, lungo le quali sono impostati soprattutto i segmenti idrografici di primo e secondo ordine.

Il bacino è interessato diffusamente da vivaci processi di denudazione, che risultano particolarmente intensi nella sua porzione medio-alta. Il marcato stato di dissesto che caratterizza questa parte appare legato, oltre alle peculiari condizioni litologiche, anche all'assetto tettonico. Ciò è particolarmente evidente nella zona di testata, dove il «fronte di accavallamento» dei litotipi arenacei su quelli pelitico-arenacei determina un forte grado di tettonizzazione e, di conseguenza, favorisce il verificarsi di intensi processi erosivi. Inoltre, alcune linee tettoniche, che condizionano l'andamento dei principali corsi d'acqua (Fiume Tordino, Fiume Vezzo-la), favoriscono l'incisione fluviale e così determinano condizioni di instabilità sui versanti.

Anche nella porzione mediana del bacino possono essere individuate alcune aree soggette a intensi processi morfogenetici. Numerosi fenomeni franosi, talvolta notevolmente estesi, e intensi fenomeni di *creep* caratterizzano l'area compresa fra Campi e Teramo. Anche per quest'area la vivacità e la diffusione dei processi di denudazione appaiono strettamente legate alla peculiare natura litologica e all'intenso grado di tettonizzazione delle rocce.

Nel settore inferiore, che si estende dalla confluenza del Torrente Fiumicino fino alla foce, il versante destro della valle del Fiume Tordino è caratterizzato dalla presenza di movimenti lenti e da fenomeni di dilavamento che si traducono talora in erosione calanchiva, soprattutto laddove affiorano litotipi marnosi e argillosi. Anche per questo settore appare notevole il ruolo esercitato dall'assetto tettonico. Dall'analisi degli indizi morfotettonici si desume, infatti, che il versante destro, sul quale i fenomeni di dissesto sono più diffusi, è sollevato rispetto al versante sinistro.

La distribuzione e l'intensità dei processi di denudazione nel bacino del Fiume Tordino trovano un chiaro riscontro nei dati dell'analisi geomorfica quantitativa. Difatti, nelle aree maggiormente soggette a rapida evoluzione morfologica risultano sempre molto elevati sia i valori dei parametri che esprimono la gerarchizzazione della rete idrografica, sia i valori dell'«indice di erosione» (calcolati con un metodo indiretto).

L'analisi ipsometrica ha consentito, infine, una più precisa caratterizzazione delle aree di intensa morfogenesi. È emersa, infatti, una netta rispondenza tra l'andamento delle curve ipsografiche e la tipologia ed intensità dei processi morfogenetici in atto nel bacino.

TERMINI CHIAVE: Geomorfologia quantitativa, Morfodinamica, Morfotettonica, Processi di denudazione, Abruzzo.

PREMESSA

Questo lavoro fa parte di una articolata serie di ricerche il cui obiettivo fondamentale consiste nella caratterizzazione morfodinamica di vaste aree della regione abruzzese.

Come nella prima pubblicazione, relativa al bacino idrografico del Fiume Sinello (Lupia Palmieri & *alii*, 1995), anche in questa seconda nota, che ha per oggetto il bacino del Fiume Tordino, vengono esposti i risultati conseguiti principalmente mediante l'analisi geomorfica quantitativa; ma, allo stesso modo del lavoro precedente, ampio spazio viene dedicato pure agli esiti dello studio geologico di base e del rilevamento geomorfologico. Difatti, è proprio dall'integrazione delle indicazioni e dei dati ottenuti attraverso queste diverse vie che è stato possibile giungere non solo a una migliore determinazione della tipologia e della intensità dei processi di denudazione in atto nel bacino di drenaggio considerato, ma anche alla più precisa definizione dell'assetto morfologico-strutturale di questa porzione del territorio di Abruzzo.

Nello svolgimento delle indagini si è ritenuto necessario procedere preliminarmente a un approfondimento delle conoscenze geologiche, tenendo conto delle finalità morfogenetiche e morfostrutturali della ricerca programmata. E a tale scopo è stato effettuato un rilevamento di dettaglio, incentrato soprattutto sulle caratteristiche litologiche e tettoniche del bacino in esame.

Il rilevamento geomorfologico, condotto direttamente sul terreno e con l'ausilio di fotografie aeree, è stato orientato verso due tematiche, entrambe di grande interesse morfodinamico nel territorio abruzzese. Il primo tema è stato identificato nei processi di denudazione che caratterizzano le diverse parti del bacino in studio, con speciale riguardo per i fenomeni di dissesto: una accurata indagine ha permesso di evidenziare il tipo e la distribuzione di tali processi e delle forme da essi derivanti. Un secondo tema è stato identificato nell'attività neotettonica; e in questo ambito l'indagine si è rivolta principalmente alla individuazione degli elementi tettonici lineari presenti nel territorio in studio. A tal fine è stato eseguito un attento esame di tutti gli aspetti morfologici che possono essere considerati come espressione superficiale di controlli tettonici; gli allineamenti più significativi di questi «indizi morfologici» sono stati interpretati come lineazioni tettoniche.

L'indagine morfometrica è stata condotta secondo metodologie che, ampiamente sperimentate anche in altre regioni dell'Italia centro-meridionale, hanno fornito risultati apprezzabili nella trattazione di diversi temi. In particolare, la Geomorfologia quantitativa ha apportato un sostanziale contributo allo studio delle complesse relazioni esistenti tra elementi geomorfici e caratteristiche geologiche; tale studio è stato finalizzato soprattutto alla valutazione indiretta dell'entità del trasporto solido e dell'erosione nel bacino considerato. Risultati altrettanto soddisfacenti sono stati ottenuti nello studio morfotettonico, nell'ambito del quale è apparsa di grande interesse l'analisi degli orientamenti dei vari tratti del reticolo idrografico; tale analisi, infatti, ha fornito utili informazioni in merito agli effetti della tettonica, in particolare di quella recente, sulla configurazione del reticolo idrografico e ha anche consentito l'identificazione di sistemi di fratture e di faglie a modesto rigetto, di difficile osservazione diretta.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino idrografico del Fiume Tordino ha una estensione areale di circa 446 km², con una forma stretta e allungata in direzione W-E. Il suo collettore principale ha origine nella zona di Monte Gorzano (la vetta più elevata dei Monti della Laga) e sfocia, dopo un percorso di circa 55 km, nel Mare Adriatico presso l'abitato di Giulianova. Fra gli affluenti di sinistra fanno spicco il Fiume Vezzola e il Torrente Fiumicino, ciascuno con un'area di drenaggio di circa 70 km²; tra quelli di destra il più importante è senza dubbio il Fosso Fiumicello, con un bacino di drenaggio di circa 31 km².

Il crinale che costituisce lo spartiacque del bacino raggiunge le quote maggiori nella parte occidentale, in corrispondenza della zona di testata (Monte Gorzano, 2458 m s.l.m.; Monte Pelone, 2411 m s.l.m.). La quota dei rilievi che costituiscono lo spartiacque meridionale decresce quasi regolarmente da Ovest verso Est; lungo lo spartiacque settentrionale, invece, la progressiva diminuzione di quota verso Est si interrompe bruscamente in corrispondenza del rilievo di Monte Foltrone (1718 m s.l.m.), per poi riprendere regolarmente fino alla zona costiera.

Dal punto di vista orografico il bacino appare assai vario: dalla fascia costiera pianeggiante si passa a una zona a debole energia di rilievo, caratterizzata dalla presenza di terrazzi alluvionali; segue quindi una fascia collinare, il cui paesaggio ondulato è contraddistinto dalla presenza di forme calanchive, e infine una zona montana ad elevata acclività, nella quale prevalgono valli strette e profondamente incise.

I principali processi morfogenetici che modellano il rilievo sono quelli dovuti all'azione delle acque correnti superficiali e alla gravità. Le forme che ne derivano risultano strettamente legate alle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti; ma su tali forme influisce in maniera notevole anche l'intervento antropico, il cui effetto più evidente è la forte riduzione della copertura vegetale.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Le caratteristiche litologiche e i principali elementi tettonici del bacino idrografico del Fiume Tordino sono state rappresentate cartograficamente alla scala 1:100.000. La «Carta geolitologica» (f.t.) è in gran parte frutto di rilevamenti inediti alla scala 1:25.000; soltanto per alcune aree e, in genere, limitatamente ai terreni plio-pleistocenici, ci si è basati sulla cartografia ufficiale esistente (Serv. Geol. It., 1955; 1963), opportunamente controllata con osservazioni puntuali sugli affioramenti più significativi.

Litologia

Il criterio che ha guidato la definizione delle varie unità litostratigrafiche affioranti è stato improntato alla finalizzazione geomorfologico-applicativa della ricerca. Nella rappresentazione cartografica sono stati operati accorpamenti di litofacies simili, anche se eterocrone, e divisioni tra fa-

cies coeve aventi però differenze litologiche significative in relazione ai processi morfogenetici. Secondo tale criterio, non sono state operate distinzioni tra le varie facies alluvionali, pleistoceniche e attuali. Analogamente sono state riunite in una sola unità le facies detritiche di falda e di frana e i depositi sabbioso-limosi di copertura, dal Pleistocene all'attuale; e ciò tenendo conto anche del fatto che i movimenti franosi sono stati adeguatamente rappresentati nella «Carta dei dissesti» (f.t.).

Il bacino idrografico del Fiume Tordino è ubicato nell'area compresa tra il bordo orientale della catena appenninica e la costa adriatica; esso fa parte del cosiddetto «bacino abruzzese», caratterizzato da una successione prepliocenica rappresentata dalla Formazione messiniana della Laga, poggiante in continuità sulle Marne a Pteropodi del Tortoniano superiore, a loro volta sovrastanti le Marne con Cerrognana langhiano-tortoniane.

La Formazione della Laga, che costituisce una buona parte dei terreni su cui è impostata la porzione alta del bacino idrografico del fiume Tordino costituisce un imponente corpo sedimentario che affiora tra i Monti Sibillini a Ovest e il Gran Sasso e la Maiella a Sud e Sud-Est; verso Est essa è in parte sovrascorsa sulla più esterna e più recente Formazione del Cellino. Si tratta di una potente successione torbiditica terrigena, di spessore superiore ai 3000 metri. La successione verticale è costituita da un complesso di sequenze torbiditiche nelle quali sono rappresentati tutti i depositi connessi con la sedimentazione e l'evoluzione di una conoide torbiditica «affogata» (Centamore & alii, 1978, 1979).

La fase di sovralimentazione torbiditica, che caratterizza la Formazione della Laga, si esaurisce progressivamente e il Pliocene inferiore inizia con depositi argilloso-marnosi emipelagici. Questo intervallo precede una nuova fase tettonica che articola il «bacino abruzzese» in tre bacini principali, che si succedono nel tempo verso Est. Uno di questi, il «bacino teramano» (conoide del Cellino), rappresenta la progressiva migrazione verso Est del dominio di avanfossa ed è sede, nel Pliocene inferiore, di una nuova intensa fase di sedimentazione torbiditica. Alle facies torbiditiche seguono facies marnoso-argillose in prevalenza emipelagiche e, successivamente, depositi argillosi con limitati episodi di sabbie grossolane forse connessi a locali regressioni.

Nel settore considerato il Pliocene inferiore è troncato dalla trasgressione medio-pliocenica, caratterizzata da depositi basali sabbioso-conglomeratici di ambiente neritico cui seguono depositi marnoso-argillosi, in cui si intercalano a diversi livelli stratigrafici orizzonti clastici sabbioso-conglomeratici. Tale tipo di successione continua nel Pleistocene.

In sintesi, il Plio-Pleistocene del «bacino abruzzese» è suddivisibile in una fase pre-torbiditica, una torbiditica e una post-torbiditica.

Nel settore del «bacino abruzzese» che comprende il bacino idrografico del Fiume Tordino, oltre ai depositi terrigeni d'avanfossa mio-plio-pleistocenici, affiorano localmente anche Unità carbonatiche mesozoico-paleogene e Unità calcareo-marnose mioceniche (porzione meridionale

della Montagna dei Fiori, Montagnone), che costituiscono, dal basso verso l'alto, la seguente successione: Maiolica, Marne a Fucoidi, Scaglia (bianca, rosata e variegata), Scaglia cinerea, Bisciario, Marne con Cerrognia, Marne a Pteroidi, Formazione della Laga, Marne del Vomano, depositi del ciclo Pliocene medio-Pleistocene, depositi continentali quaternari.

La successione mesozoico-paleogenica (*Maiolica-Scaglia Cinerea*), con a tetto il Bisciario, affiora solamente nella estrema punta meridionale della Montagna dei Fiori (Monticchio). Essa è pressoché analoga alla classica successione pelagica umbro-marchigiana; se ne discosta soltanto per un maggior contenuto in detrito carbonatico (calcareniti e, in minor misura, calciruditi) proveniente dall'erosione di un dominio neritico di piattaforma (piattaforma adriatica? o laziale-abruzzese?).

Superiormente seguono le *Marne con Cerrognia* che affiorano ai lati della Montagna dei Fiori, al nucleo dell'anticlinale di M. delle Tre Croci-S. Stefano-Valle S. Giovanni e nelle incisioni del Fiume Tordino, del Fiume Vezzola e del Torrente Rimaiano. Questa unità è costituita da marne e marne calcaree con, alternate a varie altezze stratigrafiche, torbiditi carbonatiche anche grossolane. Lo spessore degli strati marnosi è da sottile a medio, mentre gli strati calcarenitici sono in genere spessi o molto spessi, a luoghi amalgamati, e con geometrie lenticolari. Nell'area in esame la parte superiore dell'unità è caratterizzata dalla presenza di tre orizzonti calcarenitici, molto spessi, che possono essere raggruppati in un unico «orizzonte guida». La formazione, il cui spessore varia da 300 a 600/700 metri, è notevolmente disturbata; essa presenta un diffuso clivaggio, che spesso oblitera la originaria stratificazione, e numerose pieghe, sia a scala mesoscopica che megascopica, accompagnate o dissecate da piani di taglio. L'età della formazione si estende dal Burdigaliano al Tortonian medio basale.

Superiormente alle Marne con Cerrognia, e a luoghi anche in parziale eteropia con la loro parte superiore, si rinvengono le *Marne a Pteropodi*, costituite da alternanze di marne e marne argillose grigio-verdoline e bioturbate, oppure scure e laminate; le prime prevalgono nella parte inferiore dell'unità, le seconde in quella superiore, dove affiorano a luoghi anche intercalazioni, in strati sottili o medi, di arenarie a granulometria fine. Queste rappresentano i depositi più distali delle torbiditi silico-clastiche che andavano depositandosi nelle depressioni (depositi di «overbank»); perciò anche a tetto delle Marne con Pteropodi si osservano parziali eteropie tra questa unità e la soprastante Formazione della Laga. Le Marne a Pteropodi, che sono esposte nelle stesse aree di affioramento delle Marne con Cerrognia, con spessori di 40-50 metri, si estendono dal Tortonian medio basale al Messiniano basale.

La *Formazione della Laga* affiora ampiamente nell'area in esame; essa si è depositata in un ampio bacino di sedimentazione, articolato in dorsali e depressioni longitudinali, spesso accompagnate da faglie trasversali, che hanno favorito tra l'altro la formazione di canali strutturali trasversali, attraverso i quali si sono convogliati nel bacino i flussi torbiditici provenienti dalle aree occidentali e sudoccidentali. Tra le dorsali assume una notevole importanza la dor-

sale Montagna dei Fiori-Montagnone, che divide il «bacino della Laga» in due sub-bacini minori, ciascuno con proprie successioni sedimentarie caratteristiche in relazione alla fisiografia del bacino, mutevole nel tempo a causa della intensa tettonica sinsedimentaria.

All'interno della formazione in esame, che rappresenta un ciclo sedimentario del primo ordine, di tipo regressivo, sono stati comunque distinti tre membri principali: l'inferiore «pre-evaporitico», il medio «evaporitico» e il superiore «post-evaporitico»; ciascuno di essi presenta poi, al suo interno, numerose variazioni di facies, per cui occorre fare ulteriori suddivisioni in unità minori (Centamore & alii, 1978, 1979).

Nella parte più interna del bacino torbiditico, a Ovest della dorsale Montagna dei Fiori-Montagnone, affiorano solo i due membri più antichi, il pre-evaporitico e quello evaporitico.

Il membro pre-evaporitico è caratterizzato, nella sua porzione basale, da una associazione arenacea in strati spessi o molto spessi, con frequenti fenomeni di amalgamazione, nella quale si intercalano a varie altezze stratigrafiche orizzonti arenaceo-pelitici di limitato spessore, in strati medi e, a luoghi, sottili. Questa associazione mostra spessori rilevanti (fino a 1200-1400 m) nel gruppo montuoso M. Gorzano-Pizzo di Meta, e un appoggio «onlap», con vistosi «pinch out» sia sulla Dorsale Montagna dei Fiori-Montagnone che sul versante settentrionale del Gran Sasso (Prati di Tivo, Prati di Selva) dove presenta spessori di pochi metri.

A tale associazione segue superiormente, sul versante orientale del Monte Gorzano, un'altra associazione arenacea (associazione arenacea II) dello spessore di 100-200 metri, nella quale prevalgono le litofacies arenacee laminate in strati spessi e massicci e sono più frequenti le intercalazioni marnose (con un rapporto sabbia/argilla minore che nella prima associazione). Ambedue queste associazioni rappresentano depositi canalizzati di apparati deposizionali ad alta efficienza. Superiormente il membro pre-evaporitico è rappresentato da depositi non canalizzati, tipici di apparati deposizionali a bassa efficienza, costituiti da una associazione pelitico-arenacea, in strati sottili, cui si intercalano, a diverse altezze stratigrafiche, orizzonti di un'associazione arenaceo-pelitica, con strati da spessi e molto spessi, frequentemente amalgamati, a medi e sottili. Tali orizzonti, in cui il rapporto sabbia/argilla è alto, hanno in genere spessori notevoli, a luoghi oltre 100 metri, e rappresentano depositi di lobo o di passaggio canale distributore-lobo; notevole per la sua continuità areale e per il suo spessore è l'orizzonte del M. Bilanciere. Le facies pelitico-arenacee rappresentano invece depositi di piana sottomarina e di frangia di conoide.

Anche il membro evaporitico, di cui nell'area in esame affiora solo la parte basale (dintorni di Paranesi), è rappresentato da depositi non canalizzati (apparati a bassa efficienza) di piana sottomarina e di frangia (con facies pelitico-arenacee) e di lobo di conoide (con facies arenaceo-pelitiche); esso è caratterizzato dalla presenza di marne euxiniche bituminose e, nella sua porzione basale, da un livello guida di gessareniti torbiditiche. Nel membro in esame,

inoltre, lo spessore degli orizzonti arenaceo-pelitici e il loro rapporto sabbia/argilla è minore che nella parte superiore del membro sottostante.

Nel sub-bacino più orientale, a Est della dorsale Montagna dei Fiori-Montagnone, sono invece presenti tutti e tre i membri principali della Formazione della Laga; a parte un orizzonte arenaceo basale dello spessore di poche decine di metri, il resto della locale successione torbiditica è caratterizzato interamente da depositi non canalizzati di apparati a bassa efficienza, per uno spessore complessivo di oltre 2500 metri. Si nota però che nella parte inferiore e media della successione gli orizzonti arenaceo-pelitici sono più frequenti, presentano spessori maggiori e hanno un rapporto sabbia/argilla abbastanza elevato; verso l'alto in genere diminuiscono gradualmente sia la frequenza e lo spessore che il rapporto sabbia/argilla.

Il membro evaporitico è caratterizzato dalla presenza di marne euxiniche bituminose e dell'orizzonte guida gessarenitico, mentre nella parte superiore del membro post-evaporitico si rinvengono prima l'orizzonte guida vulcanoclastico e successivamente, nell'estrema porzione superiore dell'unità, livelli di calcari sterili correlabili con i «Colombacci» *Auct.*.

La Formazione della Laga si è depositata quasi interamente nel Messiniano.

Nella parte più orientale del bacino della Laga la successione neogenica si chiude con la deposizione delle *Marne del Vomano* (correlabili con le «Marne di Campili» o con le «Marne di Villa Camera» o le «Marne di Sardinara»). Esse sono costituite da marne e marne argilloso-siltose emipelagiche, tipiche di un ambiente di scarpata, con rare intercalazioni di orizzonti pelitico-arenacei. Nei pressi di Villa Boceto, nella parte medio-superiore dell'unità, si intercalano conglomerati poligenici a geometria lenticolare, i quali rappresentano il riempimento di canali ad andamento trasversale che hanno inciso la scarpata stessa.

L'età di questa unità, dello spessore complessivo di 500-600 metri, è riferibile al Pliocene inferiore.

Superiormente ai depositi più antichi, piegati ed erosi durante la fase tetto-genetica della parte alta del Pliocene inferiore, poggiano in discordanza i *depositi del ciclo marino del Pliocene medio-Pleistocene*. Alla base essi sono costituiti da conglomerati e arenarie, in eteropia tra loro, che rappresentano depositi di acque poco profonde e di riempimento di canali. A questi segue una potente sequenza pelitica (circa 2000 metri) di ambiente non molto profondo (di piattaforma) in cui sono intercalati, a varie altezze stratigrafiche, corpi grossolani arenacei e/o conglomeratici, singoli o composti; essi rappresentano o il riempimento di canali che incidevano la piattaforma (come a Bellante e Ripattoni-Castellalto) o depositi di tempesta. In tali depositi si osservano spesso rimaneggiamenti da onde e, poco più a Nord di Bellante, si hanno addirittura depositi di spiaggia o di battigia a testimonianza di una fisiografia abbastanza mutevole, in relazione alla tettonica sinsedimentaria.

A metà circa della successione si rinviene un livello guida vulcanoclastico (dintorni di Bellante e di Castellalto).

L'età dei depositi in esame si estende dal Pliocene medio p.p. al Pleistocene inferiore (Emiliano).

Depositi continentali. Sono rappresentati da: depositi fluviali e fluvio-lacustri antichi e recenti, disposti in vari ordini di terrazzi, e conoidi antichi e recenti; detriti di falda e accumuli di frana, a granulometria assai variabile; depositi eluvio-colluviali, in genere sabbioso-limosi o limosi, che ricoprono talora interi versanti (in specie quelli a dolce franapoggio); alluvioni attuali.

Tettonica

Il bacino idrografico del Fiume Tordino appare interessato dagli effetti di una tettonica compressiva, attiva dal Miocene alla parte più recente del Pliocene inferiore e con qualche riacutizzazione anche nel Pliocene superiore-Pleistocene basale, e di una tettonica distensiva che ha agito dal Pliocene superiore al Pleistocene.

Alla prima fase sono da assegnare i motivi plicativi, i sovrascorrimenti, le faglie inverse e le faglie trasversali che dislocano gli altri elementi strutturali e che in questa fase hanno avuto generalmente carattere trascorrente.

Procedendo da Ovest verso Est, si osserva dapprima un'ampia sinclinale, con debole curvatura, che si sviluppa dal crinale dei monti della Laga fino all'allineamento M. della Pietra-Villa S. Giovanni. Il nucleo di tale sinclinale è dislocato da una faglia inversa, a direttrice N-S, che si prolunga da M. Cesare, a Nord, sino a Valle Vaccaro, ove essa termina bruscamente contro una faglia con direzione E-W; si tratta probabilmente di una «scaglia di copertura», sviluppata particolarmente nelle zone più settentrionali. La sinclinale in esame passa poi, verso Est, a una stretta anticlinale asimmetrica e con vergenza verso Est; il fianco orientale di questa struttura è ampiamente sovrascorso verso Est, tra il Fiume Vezzola e Roiano, mentre tra il F. Vezzola e Valle S. Giovanni esso sembra più radicato. Ancora più a Est si possono osservare altri sovrascorrimenti, paralleli tra loro e a direttrice N-S, che dislocano la porzione medio superiore della Formazione della Laga; essi potrebbero rappresentare sia singoli piani di accavallamento, sia, più verosimilmente, «splays» che si dipartono da un unico piano di sovrascorrimento al fronte della anticlinale Montagna dei Fiori Montagnone.

L'assetto strutturale dei depositi neogenici nell'area di affioramento più orientale non è omogeneo. A nord del Fiume Tordino le Marne del Vomano sono disposte in una blanda monoclinale immergente a Est o Nord-Est, mentre a Sud dello stesso corso d'acqua, si osserva un motivo plicativo, piuttosto articolato, rappresentato da una sinclinale debolmente piegata, con al nucleo le Marne del Vomano. Tale sinclinale è localizzata a SE di Teramo e si raccorda, più a Est, a una anticlinale asimmetrica, con vergenza a Est, dislocata sul fianco occidentale da alcuni retroscorrimenti con vergenza verso Ovest; al nucleo di questa anticlinale (Poggio S. Vittorino-Poggio Cono) affiora la porzione superiore della Formazione della Laga.

I depositi del ciclo del Pliocene medio-Emiliano, sono ordinati in una monoclinale con deboli immersioni a Est o Nord-Est. Questa monoclinale è dislocata da una serie di faglie, a direttrice N20W, N60W e, subordinatamente SW-NE; esse hanno tutte carattere distensivo, con movi-

menti prevalentemente verticali, che hanno caratterizzato l'attuale assetto a blocchi con sollevamento differenziato. In quest'ultima fase tettonica, si sono riattivate, con caratteristiche distensive, parecchie delle dislocazioni più antiche.

Lungo le dislocazioni più recenti si osservano allineamenti di sorgenti di acque sulfuree o salate oppure di vulcanelli di fango.

FORME E PROCESSI DI DENUDAZIONE

Le indagini sulle forme e sui processi di denudazione nel bacino del Fiume Tordino sono state condotte attraverso un organico rilevamento geomorfologico, preceduto e affiancato dai rilievi geologici di base, i cui risultati sono stati descritti nel capitolo precedente.

Lo studio morfodinamico è stato eseguito, dopo aver acquisito tutti i dati bibliografici di interesse, sia mediante rilievi di campagna che attraverso l'aerofotointerpretazione. Sono state utilizzate, a tal fine, le coperture aeree disponibili, realizzate in scala 1:33.000 dalla Regione Abruzzo, nonché coperture a scala più grande; queste ultime sono state, tra l'altro, estremamente utili per approfondire particolari aspetti del dinamismo geomorfico di alcune aree. Comunque, i rilevamenti diretti hanno avuto ampio sviluppo, come è nella tradizione della più corretta metodica geomorfologica.

I criteri adottati per definire ed evidenziare le varie forme di modellamento derivano da quelli proposti dal Gruppo Nazionale Cnr «Geografia fisica e Geomorfologia», che la scuola romana ha già sperimentato nello studio di diversi bacini idrografici dell'Appennino centrale e meridionale, come, per esempio, in un esteso lavoro sul bacino del Fiume Paglia (Ciccacci & *alii*, 1988) e, più recentemente, nell'indagine condotta sul bacino del Fiume Sinello (Lupia Palmieri & *alii*, 1995). Nel presente lavoro, quindi, sono stati presi in esame, accanto ai processi morfogenetici la cui attività è realmente continua, anche i fenomeni che si manifestano in modo periodico; sono stati considerati, inoltre, i processi che si realizzano solo occasionalmente in concomitanza di condizioni particolari o a seguito di eventi critici. Le principali forme e i processi individuati sono stati raggruppati in categorie, sulla base della prevalenza dell'agente ritenuto primo responsabile del fenomeno: gravità, acque dilavanti, acque incanalate.

Sono state quindi individuate, dopo aver definito le principali tipologie di dissesto, le aree soggette a profonde modificazioni geomorfiche e di esse è stata redatta una rappresentazione di sintesi («Carta dei dissesti» f.t.) in scala 1:100.000; il prodotto finale è basato però su elaborazioni cartografiche eseguite a scala di dettaglio molto maggiore: 1:25.000 e, per talune aree, 1:10.000. I risultati ottenuti dalle indagini condotte secondo le suddette metodologie sono stati poi sottoposti a un attento esame analitico. Da tale esame sono stati enucleati, quindi, gli elementi e i fattori più caratterizzanti, allo scopo di inserirli successivamente in un quadro finale, organico e completo, di significative correlazioni.

Vengono qui di seguito descritti i risultati acquisiti, attraverso il rilevamento geomorfologico, e relativi alla distribuzione dei dissesti nel bacino esaminato.

Il bacino idrografico del Fiume Tordino è caratterizzato da processi di denudazione che non sono, in genere, particolarmente accentuati; essi sono dovuti prevalentemente all'azione delle acque superficiali, dilavanti e incanalate, e alla gravità. In funzione della tipologia e della intensità dei processi di denudazione, è possibile suddividere il bacino in cinque settori principali.

Il *primo settore* comprende la porzione di testata del bacino idrografico fino all'allineamento (orientato in direzione NNW-SSE) di Fosso Ciarelli Rivoletto-Monte Bilanciere-Cortino; esso corrisponde all'area di affioramento del membro pre-evaporitico della Formazione della Laga, del quale sono presenti tutte e tre le associazioni. I processi denudazionali che caratterizzano questo settore sono piuttosto marcati, in dipendenza sia dei tipi litologici, sia delle acclività generalmente accentuate.

Nella parte più occidentale di questo settore, ove affiora l'associazione arenacea più antica del membro pre-evaporitico, i fenomeni più diffusi ed efficaci sono rappresentati dai movimenti lenti sui versanti; tali fenomeni sono favoriti, fra l'altro, dalla giacitura degli strati a franapoggio e sono spesso associati a un marcato approfondimento fluviale. I processi di dilavamento, meno estesi dei precedenti, appaiono accentrati nella parte alta del versante orientale di Monte Gorzano, dove è del tutto assente la copertura vegetale; tra tali processi, i più rappresentati sono quelli dovuti al ruscellamento diffuso, embrionale e concentrato, con forme di erosione areale, a rivoli (*rill*) e a solchi (*gully*).

Tanto i fenomeni di movimento lento che quelli dovuti al dilavamento interessano diffusamente i versanti orientali della dorsale M. Gorzano-Pizzo di Moscio e si concentrano, in particolare, su antichi corpi di frana di dimensioni considerevoli. A tale proposito va sottolineato che in questa zona sono state segnalate numerose forme interpretate come effetto di «deformazioni gravitative profonde di versante» (Dramis & *alii*, 1987). È verosimile che i movimenti osservabili attualmente rappresentino l'espressione attuale, più superficiale, di movimenti profondi ora inattivi; tuttavia, sono stati evidenziati dagli stessi Autori numerosi indizi morfologici che testimoniano un'attività piuttosto recente di tali deformazioni profonde e una loro possibile e improvvisa ripresa a seguito di eventi meteorici estremi o di fenomeni sismici, capaci di determinare l'instaurarsi di condizioni particolarmente destabilizzanti.

Nella parte più orientale di questo stesso settore prevalgono nettamente i processi di dilavamento, che appaiono concentrati e particolarmente vivaci in corrispondenza dell'affioramento delle associazioni arenacee e arenaceo-pelitiche a giacitura subverticale e intensamente tettonizzate. È da segnalare, inoltre, sul versante nord-occidentale di M. Bilanciere una ristretta fascia interessata da evidenti fenomeni di crollo; tali fenomeni, dovuti alla alternanza di litotipi arenaceo-pelitici e pelitico-arenacei, sono senza dubbio favoriti anche dal notevole approfondimento operato dal Fiume Tordino e dai suoi principali affluenti di destra.

Il *secondo settore* si estende fino all'allineamento (orientato in direzione NNW-SSE) M. Ciccone-Colle dell'Asino. Esso è quasi interamente interessato dall'affioramento della terza associazione del membro pre-evaporitico della Formazione della Laga; subordinatamente, lungo le incisioni vallive del Fiume Tordino e del Fosso Fiumicello, affiorano l'associazione più antica dello stesso membro e le sottostanti Marne a Pteropodi e Marne con Cerrognana.

I processi di denudazione in questo settore sono di estensione e di intensità limitate; essi sono operati prevalentemente dalle acque incanalate. Particolarmente evidenti appaiono le incisioni del Fiume Tordino, del Fiume Vezzola e di alcuni loro affluenti di sinistra. Subordinatamente, laddove affiorano (lungo le incisioni fluviali) i litotipi marnosi si osserva anche una certa diffusione delle deformazioni lente nel regolite (del tipo *creep*).

Il *terzo settore* si estende fino all'allineamento (NW-SE) di Monte Foltrone-Teramo; si tratta di un'area intensamente tettonizzata ove affiorano prevalentemente le Marne con Cerrognana, che nella zona orientale appaiono sovrascorse sulla associazione più antica del membro evaporitico della Formazione della Laga. Infine, in corrispondenza del rilievo di Monte Foltrone affiora il nucleo carbonatico dell'anticlinale della Montagna di Campoli. La varietà litologica e l'intensa tettonizzazione, soprattutto della porzione più orientale, fanno sì che questo settore risulti interessato da vari e intensi processi denudazionali. I movimenti lenti sui versanti (*creep*) caratterizzano gli affioramenti delle Marne con Cerrognana nella zona settentrionale del settore; essi sono particolarmente marcati sul versante sinistro del Fiume Vezzola, ove, in corrispondenza di antichi corpi di frana, sono frequentemente associati ad intensi processi di dilavamento. Una certa concentrazione dei fenomeni di *creep* si rinviene anche più a Sud, sul versante sinistro del Fiume Tordino; anche in questo caso tali fenomeni si riscontrano prevalentemente in corrispondenza degli affioramenti delle Marne con Cerrognana e delle sovrastanti Marne a Pteropodi. Questi litotipi sono interessati da frane di limitata estensione del tipo dello scorrimento e del colamento che spesso rappresentano l'effetto della riattivazione di movimenti franosi più antichi e di maggiore entità. È da segnalare, inoltre, la presenza di alcune frane di crollo, ubicate prevalentemente al contatto tra litotipi a diversa resistenza meccanica.

L'approfondimento operato dai corsi d'acqua appare evidente soprattutto in prossimità dello spartiacque settentrionale del bacino, sugli acclivi pendii dei rilievi più elevati, quali il Monte delle Tre Croci (1258 m), il Colle La Ciuffa (1303 m) e il Monte della Farina (1572 m).

Estesi processi di dilavamento caratterizzano la parte alta dei versanti dei rilievi carbonatici di Monte Foltrone e di Monticchio. Sul versante occidentale di questi rilievi si rinvencono anche «frane di crollo», certamente legate alle alte acclività dei versanti.

Il *quarto settore* è limitato a Est dal corso del Torrente Fiumicino. In questo settore gli affioramenti più estesi sono quelli della associazione arenaceo-pelitica e pelitico-arenacea del membro post-evaporitico della Formazione della Laga; subordinatamente si rinvencono le Marne del Voma-

no, che affiorano sul ristretto versante destro del Fiume Tordino, a valle di Teramo.

I fenomeni franosi caratterizzano il settore in esame e consistono soprattutto in scorrimenti e in colamenti. Essi sono particolarmente concentrati nella zona compresa tra Campoli e Teramo, la più acclive e la più tettonizzata di questo settore. Le deformazioni lente sono molto diffuse sul versante destro della valle del Tordino, a bassa energia di rilievo; esse, tuttavia, sono presenti anche in sinistra, soprattutto in corrispondenza di vecchi corpi di frana o di estesi depositi detritici. L'approfondimento fluviale assume un ruolo di secondo piano; e tuttavia conserva ancora una certa efficacia, soprattutto in sinistra del Fiume Tordino e nelle zone di testata degli affluenti, ove rappresenta spesso un fattore determinante per il verificarsi dei fenomeni franosi prima citati.

Il *quinto settore* comprende tutta la rimanente parte del bacino, fino alla foce del Fiume Tordino; esso corrisponde prevalentemente all'area di affioramento dei litotipi pelitici e conglomeratici pleistocenici e di estese coperture detritiche eluviali e colluviali.

La bassa acclività di questo settore non favorisce certo lo sviluppo di intensi processi denudazionali. Tuttavia, nella zona più occidentale si osservano fenomeni di *creep* che sono particolarmente concentrati in destra del Fiume Tordino e comunque in corrispondenza dei limitati affioramenti delle Marne del Vomano e della associazione pelitica pleistocenica. In corrispondenza di questa sequenza, nella parte più bassa del bacino, si osservano processi di dilavamento talora intensi; in particolare, laddove l'approfondimento fluviale appare più accentuato, tali processi tendono ad assumere le caratteristiche dell'erosione calanchiva.

ANALISI DEL DRENAGGIO SUPERFICIALE

Al fine di giungere ad una più precisa caratterizzazione morfologica dell'area esaminata è stato eseguito uno studio dettagliato del drenaggio superficiale, al cui sviluppo e alla cui geometria sono strettamente correlati i processi di erosione, trasporto e sedimentazione dovuti alla dinamica fluviale.

Utilizzando le tavolette dell'IGM (scala 1:25.000), opportunamente integrate mediante l'osservazione delle fotografie aeree (scala 1:33.000 circa) e il rilevamento di campagna, è stata realizzata la «Carta del reticolo idrografico» (f.t.), sulla quale sono state riportate tutte le possibili vie di drenaggio superficiale presenti nel bacino del Fiume Tordino.

L'intero bacino è stato suddiviso, data la sua notevole estensione areale, in bacini parziali relativi ad aste direttamente influenti nel collettore principale, considerati come entità geomorfiche individuali. Inoltre, due bacini parziali, arealmente molto estesi e le cui aste fluviali presentano una distribuzione disomogenea, sono stati ulteriormente suddivisi in sottobacini minori. I vari bacini parziali sono stati indicati con un numero progressivo, mentre i sottobacini sono stati contrassegnati da una lettera (tab. 1). Ad ogni bacino, inoltre, è stato assegnato l'ordine relativo al seg-

mento fluviale di grado più elevato in esso compreso, adottando per tale classificazione il sistema proposto da Strahler (1954).

La suddetta carta, redatta in scala 1:25.000 e ridotta alla scala 1:100.000 per motivi editoriali, è stata utilizzata per definire le principali caratteristiche morfometriche della rete idrografica del bacino del Fiume Tordino. A tali caratteristiche, che si riferiscono allo sviluppo e al grado di organizzazione del drenaggio superficiale, e sono esprimibili mediante opportuni parametri, appaiono maggiormente legati i processi erosivi in atto nei bacini idrografici.

Densità di drenaggio

Per esprimere in termini quantitativi lo sviluppo del drenaggio superficiale nel bacino idrografico del Fiume Tordino è stato calcolato il parametro *densità di drenaggio* (D) (Horton, 1945).

Com'è noto, il valore di tale parametro dipende dalle principali caratteristiche geologiche dell'area presa in esame. In particolare, essendo funzione della permeabilità e dell'erosibilità delle rocce affioranti, la densità di drenaggio può essere considerata espressiva delle caratteristiche litologiche e del grado di tettonizzazione del bacino esaminato. Altri fattori che influenzano tale parametro sono, inoltre, le condizioni climatiche, la copertura vegetale e l'acclività dei versanti.

Dall'esame dei valori della densità di drenaggio (tab. 1) si può osservare come il bacino del Fiume Tordino si presenti mediamente disseccato ($D = 3,89$) e come per i bacini parziali D vari tra un massimo di 15,73 (per il bacino parziale n. 49) e un minimo di 1,82 (per il bacino parziale n. 1). Si può affermare che i valori più elevati del parametro ($D > 9$) si registrano in bacini di piccole dimensioni impostati interamente sui litotipi argillosi. Valori leggermente meno elevati si riscontrano nelle zone di affioramento del flysch, soprattutto dove la copertura vegetale è limitata e le pendenze dei versanti sono accentuate. I valori più bassi della densità di drenaggio caratterizzano bacini con scarse pendenze e coperture alluvionali molto estese.

Gerarchizzazione del reticolo idrografico

L'esame della disposizione geometrica e dell'organizzazione dei reticoli idrografici può apportare un valido contributo alla individuazione delle tendenze evolutive dei bacini fluviali e alla determinazione delle modalità e della velocità dei processi erosivi che in essi hanno luogo.

Lo studio dello stato di organizzazione e quindi di evoluzione della rete idrografica del bacino idrografico del Fiume Tordino è stato eseguito mediante il calcolo di alcuni parametri che esprimono il grado di gerarchizzazione delle aste fluviali presenti nelle diverse aree del bacino stesso. Tutti i canali fluviali sono stati innanzitutto classificati seguendo il metodo proposto da Strahler (1954); successivamente si è proceduto al calcolo del *rapporto di biforcazione* (Rb), del *rapporto di biforcazione diretto* (Rbd) e dell'*indice di biforcazione* (R) (Horton, 1945; Avena & alii, 1967). Inoltre, per definire più compiutamente il grado di gerar-

chizzazione della rete idrografica in esame, sono stati calcolati anche i seguenti parametri: *numero* (Ga), *indice* (Δa) e *densità di anomalia gerarchica* (ga) (Avena & alii, 1967).

L'analisi dei valori di questi parametri, riportati in tabella 1, mette in evidenza come la rete idrografica del Fiume Tordino risulti nel complesso fortemente disorganizzata e in stato di marcato inequilibrio. Tale condizione è testimoniata dai valori elevati sia dei rapporti e dell'indice di biforcazione sia della densità e dell'indice di anomalia gerarchica.

Esaminando i valori relativi ai singoli bacini parziali si osserva come essi risultino estremamente variabili (tab. 1). Si passa infatti da valori uguali ai minimi teorici, espressivi del massimo grado di organizzazione (bacini n. 11g, 33 e 37, tutti di modestissime dimensioni), a valori notevolmente elevati, caratteristici di reti idrografiche in fase di marcato inequilibrio (ad esempio, i bacini n. 7, 27, 40, 52). In generale si può dire che il drenaggio superficiale si presenta particolarmente disorganizzato in corrispondenza di litotipi argillosi o di litotipi flyschoidi a marcata componente argillosa, oppure in aree fortemente controllate dalla tettonica.

ANALISI IPSOMETRICA

Accanto alle indagini quantitative sulla rete idrografica è stata eseguita l'analisi ipsometrica del Fiume Tordino con l'intento di ricavare informazioni utili per la caratterizzazione morfodinamica del territorio in esame. A tal fine sono state analizzate le curve ipsografiche dell'intero bacino del Fiume Tordino e dei suoi bacini parziali, costruite secondo il metodo di Strahler (1952); tali curve sono rappresentate a margine della «Carta dell'indice di erosione» (f.r.).

Osservando la curva ipsografica relativa all'intero bacino si può notare come essa presenti una generale concavità verso l'alto. Tale andamento, indicativo di uno stadio evolutivo piuttosto avanzato, sembra contrastare con lo stato di disorganizzazione osservato per la rete idrografica.

Questa discordanza si può spiegare considerando che eventi di tettonica recente fanno risentire i loro effetti più velocemente sulla rete idrografica, la cui disorganizzazione tende ad aumentare, e più lentamente sull'intero bacino che conserva la sua configurazione plano-altimetrica per periodi assai più lunghi. Il controllo tettonico che ha condizionato l'impostazione e lo sviluppo del reticolo idrografico del Fiume Tordino sarà ampiamente discusso, più avanti, nel capitolo riguardante gli indizi morfologici di tettonica.

Prendendo in esame le curve ipsografiche relative ai singoli bacini parziali è possibile individuare tre famiglie principali, ciascuna caratterizzata da un andamento particolare. Alla prima famiglia appartengono le curve che mostrano una marcata concavità verso l'alto, con valori dell'integrale ipsometrico relativamente bassi. La seconda famiglia di curve è caratterizzata da una prevalente concavità verso il basso e quindi da elevati valori dell'integrale ipsometrico. Le curve della terza famiglia presentano andamenti intermedi ai due precedenti e il valore dell'integrale ipsometrico è prossimo a 0,5.

TABELLA 1 - Parametri morfometrici relativi ai bacini parziali e all'intero bacino idrografico del Fiume Tordino
 TABLE 1 - Morphometric parameters relevant to partial basin and to the whole Fiume Tordino drainage basin

Bacino	Area km ²	D km/km ²	Rb	Rbd	R	Ga	ga	Δa
1	11,76	1,82	4,7	3,2	1,5	14	1,19	0,63
2	8,66	2,19	4,3	4,1	0,2	3	0,34	0,16
3	6,49	2,37	4,3	3,5	0,8	7	1,07	0,36
4	15,70	3,37	4,7	3,6	1,1	294	18,72	0,84
5	7,27	3,56	5,8	3,3	2,5	135	18,59	0,91
6	3,78	3,02	7,8	5,0	2,8	23	6,08	0,48
7	12,92	4,44	4,6	3,8	0,8	267	20,66	0,81
8	8,29	4,74	6,3	4,8	1,5	138	16,66	0,57
9	68,97	3,95	4,0	3,1	0,9	1375	19,93	1,31
9a	1,41	4,33	3,6	3,5	0,1	6	4,62	0,21
9b	1,97	3,60	3,4	2,8	0,6	18	9,14	0,47
9c	10,97	3,93	4,1	3,1	1,0	176	16,04	0,88
9d	20,19	3,92	4,0	3,3	0,7	326	76,14	1,28
9e	3,44	4,55	3,9	3,2	0,7	23	6,69	0,47
9f	9,28	4,95	6,1	4,7	1,4	120	12,92	0,51
9g	8,88	3,65	3,5	2,8	0,7	164	18,47	1,29
10	6,45	3,85	4,9	3,5	1,4	78	12,09	0,77
11	70,66	4,13	4,0	3,1	0,9	1239	17,53	1,48
11a	1,97	3,31	4,5	3,8	0,7	5	2,54	0,25
11b	11,19	4,20	4,1	3,0	1,1	163	14,57	0,74
11c	7,66	3,94	4,4	3,0	1,4	89	11,62	1,11
11d	0,31	4,77	2,7	2,7	0,0	0	0,00	0,00
11e	2,00	3,30	2,5	2,5	0,0	0	0,00	0,00
11f	1,44	4,40	4,7	2,0	2,7	11	7,65	0,73
11g	0,63	5,74	2,0	2,0	0,0	0	0,00	0,00
11h	1,13	5,24	3,5	2,5	1,0	20	17,77	0,76
11i	14,63	4,54	3,9	3,2	0,7	228	15,58	1,80
11l	11,50	4,73	5,1	3,9	1,2	124	10,78	0,94
12	0,51	3,93	3,5	2,2	1,3	5	9,80	0,50
13	1,39	4,14	4,7	2,7	2,0	8	5,79	0,53
14	2,49	3,44	5,0	3,9	1,1	11	4,43	0,44
15	6,17	3,65	6,6	5,8	0,8	13	2,10	0,30
16	1,90	5,29	3,2	2,3	0,9	27	14,21	1,17
17	0,58	5,57	3,0	3,0	0,0	0	0,00	0,00
18	4,42	3,76	3,4	2,8	0,6	14	3,16	0,42
19	0,36	5,48	2,2	2,0	0,2	1	2,77	0,20
20	1,38	4,94	4,3	3,8	0,5	5	3,62	0,28
21	1,82	3,75	2,6	2,0	0,6	11	6,07	0,68
22	3,13	4,37	3,8	2,7	1,1	29	9,26	0,72
23	6,18	4,56	4,2	3,3	0,9	43	6,95	0,63
24	9,02	4,77	3,3	2,3	1,0	139	15,42	1,39
25	0,24	6,82	2,5	2,5	0,0	0	0,00	0,00
26	4,74	4,27	3,7	3,2	0,5	22	4,64	0,43
27	8,40	5,77	4,0	3,2	0,8	168	20,00	0,92
28	6,44	7,68	5,8	4,6	1,2	121	18,78	0,63
29	6,43	5,46	3,0	2,5	0,5	65	10,12	0,80
30	1,19	5,61	5,5	5,0	0,5	5	4,20	0,16
31	1,09	4,14	2,6	2,6	0,0	0	0,00	0,00
32	0,75	5,92	2,8	2,6	0,2	1	1,35	0,12
33	0,52	5,01	2,0	2,0	0,0	0	0,00	0,00
34	1,51	4,08	3,3	2,8	0,5	3	1,98	0,27
35	1,23	4,56	4,7	3,7	1,0	4	3,25	0,26
36	2,73	4,65	4,7	4,1	0,6	20	7,32	0,71
37	0,18	6,47	2,0	2,0	0,0	0	0,00	0,00
38	1,87	4,23	4,1	3,5	0,6	4	2,13	0,25
39	1,16	4,10	3,2	3,1	0,1	1	0,86	0,10
40	31,26	4,20	3,3	2,5	0,8	824	24,35	2,48
41	0,32	5,05	3,0	3,0	0,0	0	0,00	0,00
42	2,50	5,22	4,3	4,1	0,2	16	6,40	0,19
43	0,19	5,46	3,0	3,0	0,0	0	0,00	0,00
44	0,10	7,57	3,0	3,0	0,0	0	0,00	0,00
45	0,15	4,68	3,0	3,0	0,0	0	0,00	0,00
46	0,47	3,74	3,3	3,3	0,0	0	0,00	0,00
47	0,78	5,45	6,0	5,0	1,0	14	17,94	0,40
48	0,06	9,90	2,5	2,5	0,0	0	0,00	0,00
49	0,10	15,73	3,2	3,2	0,0	1	11,11	0,03
50	1,23	4,29	5,8	3,1	2,7	16	13,00	0,61
51	3,00	4,94	4,3	3,6	0,7	51	17,05	0,67
52	4,63	6,97	3,9	3,3	0,6	162	35,06	0,71
53	1,08	5,68	3,8	3,3	0,5	20	18,69	0,43
54	4,56	3,47	4,3	3,5	0,8	19	4,16	0,33
55	6,58	4,57	3,6	3,0	0,6	103	15,67	0,62
56	4,69	3,61	3,7	3,0	0,7	28	5,97	0,66
57	3,43	3,61	4,1	3,2	0,9	28	8,16	0,48
58	2,66	3,35	5,0	3,8	1,2	7	2,63	0,33
59	1,81	4,15	3,0	2,9	0,1	3	1,65	0,15
intero bacino	446,00	3,89	4,3	3,2	1,1	11275	25,28	1,93

Le curve della prima famiglia si riferiscono a sottobacini ubicati nella parte bassa e collinare ove affiorano prevalentemente i litotipi argillosi (ad esempio, i bacini n. 1, 7, 8, 9, 52, 55, 57). Curve caratteristiche della seconda famiglia si osservano invece per i sottobacini della zona mediana e di testata, dove affiora generalmente il Flysch della Laga (ad esempio, i bacini n. 18, 21, 25, 27, 28, 38, 39). Le curve della terza famiglia si riferiscono generalmente a bacini parziali di piccole dimensioni localizzati nella parte media e bassa del bacino (ad esempio, i bacini n. 3, 12, 13, 17, 45, 46, 47, 59). Infine, talune curve sono contraddistinte dalla presenza di uno o più flessi che separano tratti ad andamento nettamente diverso; esse si riferiscono a sottobacini caratterizzati da marcata disomogeneità litologica e strutturale (ad esempio, i bacini n. 5, 6, 14, 16, 36, 40).

Nell'interpretazione classica data da Strahler (1952) le curve del primo gruppo dovrebbero riferirsi a bacini idrografici nella «fase di monadnock», quelle del secondo a bacini in «condizione di inequilibrio» o «stadio giovanile» e quelle del terzo gruppo a bacini «in equilibrio» o «maturi».

È noto, tuttavia, che ricerche condotte di recente su vari bacini dell'Italia centrale (Ciccacci & alii, 1988; 1992; Lupia Palmieri & alii, 1995) hanno evidenziato come le curve ipsografiche esprimano non solo i vari stadi del «ciclo geomorfico», ma anche le modalità e la intensità con le quali hanno luogo i fenomeni di denudazione nei bacini idrografici. Secondo quest'ultima interpretazione, le curve della prima famiglia non corrispondono semplicemente a bacini in «fase di monadnock», e quindi sottoposti a processi erosivi poco attivi, ma più precisamente a bacini in cui l'azione morfogenetica dominante va attribuita ai processi di erosione sui versanti. Analogamente, le curve della seconda famiglia non identificano tanto i bacini in condizioni di «inequilibrio», ma piuttosto i bacini nei quali il processo di denudazione di maggior efficacia consiste nell'erosione verticale operata dai corsi d'acqua. Le curve della terza famiglia, infine, non indicano semplicemente «bacini in equilibrio», bensì bacini nei quali l'erosione lineare e quella sui versanti tendono a bilanciarsi.

Lo studio delle caratteristiche ipsometriche ha evidenziato che anche per il bacino idrografico del Fiume Tordino sono valide le modalità interpretative sopra esposte; v'è, infatti, rispondenza tra andamento delle curve ipsografiche e tipologia ed intensità dei processi morfogenetici, già trattati nel capitolo «Forme e processi di denudazione». Questo argomento verrà ripreso, in maniera più approfondita, nelle «Considerazioni conclusive».

VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DELL'EROSIONE

L'entità dei processi di denudazione in atto nel bacino del Fiume Tordino è stata determinata per via indiretta, facendo ricorso a una metodologia già applicata in modo soddisfacente a molti altri bacini di drenaggio italiani (Ciccacci & alii, 1981; Ciccacci & alii, 1983; Ciccacci & alii, 1987; Ciccacci & alii, 1988; 1992; Lupia Palmieri & alii, 1995). Utilizzando, infatti, relazioni matematiche che legano il valore di alcuni parametri morfometrici con quello

del deflusso torbido unitario medio annuo, è possibile ricavare il parametro *indice di erosione* (Tu), il cui valore può essere considerato un valido indicatore dell'entità dei processi denudazionali.

Il calcolo dell'indice di erosione per il bacino in esame è stato effettuato tramite la seguente equazione:

$$(1) \log Tu = 1,44780 + 0,32619 D + 0,10247 \Delta a,$$

che ha coefficiente di determinazione $r^2 = 0,963$. Il valore di tale indice relativo all'intero bacino del Fiume Tordino è pari a 821 tonn/km²/anno (tab. 2) ed è indicativo di processi erosivi non particolarmente intensi.

Le variazioni dell'entità dell'erosione nelle diverse parti del bacino sono state evidenziate determinando i valori del parametro Tu per ciascuno dei bacini parziali considerati (tab. 2). Per eseguire questo calcolo, oltre l'equazione (1) già citata, è stata utilizzata, per i bacini in cui il valore di D è maggiore di 6, anche l'equazione bilogaritmica

$$(2) \log Tu = 1,05954 + 2,79687 \log D + 0,13985 \Delta a$$

che ha coefficiente di determinazione $r^2 = 0,961$ (Ciccacci & alii, 1981, 1987).

Infine, per le aree direttamente drenate dal Fiume Tordino e dai suoi affluenti di primo e secondo ordine, le indicazioni sull'entità dei processi erosivi sono state ricavate calcolando l'indice di erosione per porzioni omogenee di fondovalle. In questo caso sono stati utilizzati i valori della densità di drenaggio propria di ciascuna porzione e quelli dell'indice di anomalia gerarchica, espresso come contributo fornito da tali porzioni al Δa totale del bacino che le comprende (Ciccacci & alii, 1985).

Carta dell'indice di erosione

Le variazioni areali del parametro Tu nell'ambito del bacino idrografico del Fiume Tordino sono state evidenziate graficamente in una *Carta dell'indice di erosione* (f.t.), sulla quale i valori del parametro sono stati raggruppati in nove classi.

Esaminando la carta dell'indice di erosione emerge chiaramente una certa variabilità del parametro procedendo dall'area di foce verso la testata del bacino. In particolare, nella zona bassa collinare predominano nettamente i valori della prima ($0 < Tu \leq 300$) e seconda classe ($300 < Tu \leq 600$). Tali valori si riferiscono a bacini parziali impostati prevalentemente sui litotipi sabbioso-conglomeratici del Pleistocene e subordinatamente sulle sottostanti argille plioceniche; nonostante i litotipi affioranti non offrano una particolare resistenza all'erosione, i processi erosivi nell'ambito di questi bacini non sono molto intensi. Ciò si può spiegare tenendo conto delle pendenze assai modeste presenti in quest'area, che conferiscono alle acque correnti scarsa capacità erosiva.

Procedendo verso la testata del bacino i valori del Tu aumentano sensibilmente in corrispondenza delle zone di affioramento delle Argille azzurre plioceniche. È interessante notare che in questa area i bacini parziali del versante sinistro (ad esempio, i bacini n. 6, 7, 8) presentano valori di Tu mediamente più bassi di quelli riscontrati per i bacini

TABELLA 2 - Valori della densità di drenaggio, dell'indice di anomalia gerarchica e del deflusso torbido unitario medio annuo relativi ai bacini parziali e all'intero bacino idrografico del Fiume Tordino

TABLE 2 - Drainage density, hierarchical anomaly index and mean annual unitary suspended sediment yield values for the whole Fiume Tordino drainage basin and for the partial basins

Bacino	D km/km ²	Δa	Tu t/km ² /anno
1	1,82	0,63	128
2	2,19	0,16	151
3	2,37	0,36	181
4	3,37	0,84	514
5	3,56	0,91	504
6	3,02	0,48	303
7	4,44	0,81	953
8	4,74	0,57	1128
9	3,95	1,31	742
9a	4,33	0,21	762
9b	3,60	0,47	468
9c	3,93	0,88	660
9d	3,92	1,28	720
9e	4,55	0,47	955
9f	4,95	0,51	1302
9g	3,65	1,29	590
10	3,85	0,77	606
11	4,13	1,48	884
11a	3,31	0,25	357
11b	4,20	0,74	783
11c	3,94	1,11	703
11d	4,77	0,00	1008
11e	3,30	0,00	334
11f	4,40	0,73	907
11g	5,74	0,00	2090
11h	5,24	0,76	1718
11i	4,54	1,80	1121
11l	4,73	0,94	1222
12	3,93	0,50	604
13	4,14	0,53	712
14	3,44	0,44	412
15	3,65	0,30	467
16	5,29	1,17	1964
17	5,57	0,00	1839
18	3,76	0,42	522
19	5,48	0,20	1802
20	4,94	0,28	1221
21	3,75	0,68	550
22	4,37	0,72	885
23	4,56	0,63	999
24	4,77	1,39	1400
25	6,82	0,00	2463
26	4,27	0,43	767
27	5,77	0,92	2655
28	7,68	0,63	4206
29	5,46	0,80	2045
30	5,61	0,16	1968
31	4,14	0,00	628
32	5,92	0,12	2461
33	5,01	0,00	1208
34	4,08	0,27	640
35	4,56	0,26	916
36	4,65	0,71	1090
37	6,47	0,00	2125
38	4,23	0,25	713
39	4,10	0,10	624
40	4,20	2,48	1180
41	5,05	0,00	1245
42	5,22	0,19	1479
43	5,46	0,00	1694
44	7,57	0,00	3298
45	4,68	0,00	943
46	3,74	0,00	465
47	5,45	0,40	1847
48	9,90	0,00	6985
49	15,73	0,03	25298
50	4,29	0,61	812
51	4,94	0,67	1342
52	6,97	0,71	3290
53	5,68	0,43	2211
54	3,47	0,33	411
55	4,57	0,62	1005
56	3,61	0,66	493
57	3,61	0,48	473
58	3,35	0,33	375
59	4,15	0,15	656
intero bacino	3,89	1,93	821

del versante destro (ad esempio, i bacini n. 51, 52, 53, 55), dove si raggiunge il valore di Tu più elevato (bacino n. 49). Questa situazione può essere spiegata con una maggiore acclività del versante destro -verosimilmente legata a cause neotettoniche - che favorisce lo sviluppo dei fenomeni erosivi, soprattutto di tipo calanchivo.

A monte di queste zone inizia una vasta area a maggiore acclività, impostata prevalentemente sulla Formazione della Laga e subordinatamente sui litotipi marnosi e carbonatici. Data la disomogeneità litologica di quest'area, che si accompagna alla già citata variabilità nell'andamento della rete idrografica, i valori dell'indice di erosione variano ampiamente. Pur predominando i valori della II ($300 < Tu \leq 600$) e della III classe ($600 < Tu \leq 900$), riscontrati per i bacini nn. 10, 12, 13, 14, 15, 18, 21, 38, 39 e per taluni sottobacini degli ampi bacini parziali 9 e 11, si osservano anche valori maggiori che raggiungono quelli della VI ($1500 < Tu \leq 2000$) e quelli della VII classe ($2000 < Tu \leq 4000$).

Infine, i bacini parziali della zona di testata presentano tutti valori piuttosto elevati dell'indice di erosione; sono rappresentate soprattutto la IV ($900 < Tu \leq 1200$), la V ($1200 < Tu \leq 1500$), la VII classe ($2000 < Tu \leq 4000$). La vivacità dei processi erosivi in questa zona va attribuita alle forti pendenze dei versanti, e quindi alla marcata capacità erosiva delle acque correnti, piuttosto che alle caratteristiche litologiche. In questa parte del bacino, infatti, affiora prevalentemente il membro pre-evaporitico della Formazione della Laga, il quale presenta una maggiore resistenza alla erosione rispetto agli altri membri della stessa Formazione.

INDIZI MORFOLOGICI DI TETTONICA

Al fine di giungere a una soddisfacente definizione dell'assetto morfo-strutturale del bacino idrografico del Fiume Tordino è stata condotta un'analisi degli indizi morfologici di tettonica, mediante l'interpretazione di fotografie aeree (a scala 1:33.000 e 1:20.000 circa), opportunamente integrata da numerosi e accurati controlli sul terreno. Seguendo nella sostanza le indicazioni contenute nella «Proposta per un progetto operativo per la Carta Neotettonica d'Italia» (C.N.R., 1976; 1978), sono stati identificati tutti gli elementi morfologici che possono essere considerati indicativi di un controllo tettonico, quali, ad esempio, crinali rettilinei, discontinuità planimetriche e altimetriche dei crinali, selle, scarpate, segmenti fluviali rettilinei ecc.. Quando ritenuti significativi, gli allineamenti di tali indizi sono stati considerati come faglie, faglie presunte e fratture; quindi sono stati cartografati assieme agli elementi morfologici che ne hanno consentito l'individuazione (Lupia Palmieri & alii, 1995).

È stata così realizzata la «Carta degli indizi morfotettonici» (f.t.) che, già ad un primo esame, mette chiaramente in luce l'esistenza, nel bacino esaminato, di controlli tettonici alquanto marcati, che hanno condizionato soprattutto l'impostazione e lo sviluppo del reticolo idrografico.

In particolare, l'insieme degli indizi individuati consente di evidenziare alcune direzioni tettoniche di importanza regionale, che hanno senza dubbio giocato un ruolo signifi-

cativo nella determinazione della configurazione morfologica attuale del bacino: sono le direzioni NW-SE, NNW-SSE, NE-SW e ENE-WSW. Le prime due controllano in maniera decisamente palese il decorso dei collettori più importanti della intera rete idrografica.

Nella zona di testata del bacino seguono la direzione di scorrimento NW-SE la valle principale del Fiume Tordino, nel tratto compreso tra la confluenza con il Fosso dell'Acquanera e le pendici meridionali di Poggio Rattieri, la valle del Fosso Riello a Nord-Est dell'abitato di Cortino e la valle del Fiume Vezzola nel suo tratto più montano e in quello impostato alle pendici sudoccidentali del Monte delle Tre Croci. Più a Est, nella zona medio-bassa del bacino, presenta un'andamento analogo la valle del Torrente Fiumicino; infine, ancora più a Est presenta la stessa orientazione la maggior parte dei collettori del versante sinistro del bacino.

Se si eccettua la zona di testata e quella bassa collinare del versante sinistro, nelle quali si rinvengono con una certa frequenza, la direzione tettonica NNW-SSE si osserva più raramente di quella precedentemente esaminata e interessa di solito elementi morfologici di rilevanza ed estensione minori; essa, pertanto, sembra aver giocato un ruolo meno importante della precedente nella determinazione dell'assetto morfostrutturale dell'area studiata.

Si deve osservare, inoltre, che le dislocazioni orientate nelle direzioni NW-SE e NNW-SSE sembrano spesso interrotte dalle direttrici tettoniche NE-SW e ENE-WSW; di conseguenza l'attività delle prime potrebbe essere stata precedente all'attività di queste ultime.

Gli effetti del controllo esercitato sulla morfologia dalla direttrice tettonica NE-SW sono evidenti soprattutto nella zona alta e in quella bassa del bacino, mentre non si osservano in quella intermedia. Nella zona di testata, in corrispondenza degli affioramenti del membro pre-evaporitico della Formazione della Laga, la direttrice suddetta condiziona l'andamento di numerose valli e determina la presenza di molti segmenti fluviali rettilinei. È questo il caso del tratto montano del Fiume Tordino, subito a valle di Macchiatornella, e del tratto dello stesso fiume immediatamente a monte di Teramo. La stessa direzione NE-SW caratterizza la parte iniziale del Fosso Riello e si individua facilmente nell'allineamento di alcuni affluenti rettilinei del Fiume Tordino, poco a valle dell'abitato di Elce. Praticamente assente nella zona intermedia del bacino, la direttrice NE-SW torna a essere evidente nella parte più bassa e in particolare sul versante sinistro, ove condiziona il tracciato di alcuni corsi d'acqua impostati sui litotipi plio-pleistocenici.

La direttrice tettonica ENE-WSW è resa manifesta da una serie di allineamenti morfologici molto estesi che caratterizzano soprattutto la zona media e quella bassa del bacino esaminato. Secondo questa direzione è impostato il corso del Fiume Tordino nel tratto compreso fra Teramo e S. Nicolò a Tordino; più a Nord seguono la stessa direzione la valle del Fosso Grande (denominazione del T. Fiumicino nel tratto a monte di Campli) e quella del Fosso Ingrasso, affluente di destra del Torrente Fiumicino. Va segnalato che la maggior parte delle valli impostate secondo

questa direttrice tettonica, ivi compresa quella del Fiume Tordino, presenta una spiccata asimmetria, con minore estensione e maggiore acclività del versante destro. Ancora nella parte bassa del bacino un vistoso allineamento di indizi morfologici, con direzione ENE-WSW, si estende poco a Sud di quelli precedentemente descritti, fino a raggiungere il Fosso Ceco.

Nella zona alta del bacino la direttrice ENE-WSW è più difficilmente osservabile, e tuttavia essa appare controllare brusche variazioni dello scorrimento di taluni corsi d'acqua; ne sono esempi i tratti del Fiume Vezzola posti a monte della confluenza con il Rio Valle e a Nord dell'abitato di Torricella Sicura e il tratto del Torrente Rimaiano impostato sul membro evaporitico della Formazione della Laga.

Anche se in via del tutto preliminare, sembra lecito ipotizzare che l'attività, o la riattivazione, di questa direttrice tettonica sia piuttosto recente. Tale ipotesi scaturisce da considerazioni di diverso tipo: innanzitutto gli elementi morfologici che segnalano l'esistenza della direzione suddetta sono assai numerosi e presentano le caratteristiche tipiche di una fase evolutiva poco avanzata; in secondo luogo la direttrice ENE-WSW interseca, almeno in alcuni casi, le altre direzioni tettoniche individuate.

Infine, anche se subordinatamente, compaiono nel bacino allineamenti morfologici orientati nelle direzioni N-S ed E-W.

Tra i primi è molto evidente quello corrispondente alla faglia inversa che si prolunga nella zona di testata, da M. Cesare a Nord fino a Valle Vaccaro, e altri sono ben osservabili nella parte bassa del bacino, in corrispondenza degli affluenti di sinistra; i secondi si riscontrano soprattutto nella zona di testata del bacino.

La tettonica distensiva e il sollevamento che hanno interessato il bacino in esame dal Pliocene superiore fino al Pleistocene sono testimoniati dalla presenza di vari ordini di terrazzi fluviali che si rinvengono sia lungo la valle principale del Fiume Tordino che lungo le valli dei suoi principali affluenti (T. Fiumicino, F. Vezzola). I terrazzi meglio conservati sono naturalmente quelli del Tordino; essi mostrano uno sviluppo fortemente asimmetrico, con estensione areale assai ampia sul versante sinistro e notevolmente ridotta su quello destro. Infatti, mentre in sinistra idrografica le superfici terrazzate si rinvengono quasi senza soluzione di continuità dalla foce fino a Teramo, in destra idrografica tali superfici si presentano discontinue e in lembi meno estesi. Una situazione del tutto analoga si osserva sia nel caso del Fosso Grande, a monte di Campli, che lungo il Fiume Vezzola nel tratto di valle orientato in direzione ENE-WSW.

La distribuzione disarmonica delle superfici terrazzate, assieme alla nettissima asimmetria di molti bacini parziali, nonchè dell'intero bacino del Fiume Tordino, induce a ipotizzare che l'area in esame sia stata interessata in tempi recenti da movimenti differenziali che possono aver determinato una «migrazione» dei corsi d'acqua verso i rispettivi versanti meridionali. Poiché i bacini idrografici a più spiccata asimmetria, come già sottolineato, sono relativi a corsi d'acqua impostati secondo la direzione ENE-WSW,

è verosimile supporre che i movimenti differenziali ipotizzati siano avvenuti secondo un asse orientato più o meno in questa direzione.

Distribuzione azimutale delle aste fluviali

A completamento degli studi di morfotettonica si è ritenuto opportuno eseguire una analisi statistica della distribuzione azimutale dei segmenti rettilinei in cui è possibile scomporre tutte le vie di drenaggio superficiale del bacino idrografico considerato. Tale analisi, infatti, può fornire utili informazioni in merito agli effetti della tettonica, in particolare di quella recente, sulla configurazione del reticolo idrografico (Ciccacci & *alii*, 1986; Ciccacci & *alii*, 1988; Caputo & *alii*, 1993; Buonasorte & *alii*, 1991; Lupia Palmieri & *alii*, 1995).

La rete idrografica del bacino, riportata sulla «Carta del reticolo idrografico» (f.t.), è stata ricostruita utilizzando le tavolette dell'IGM (scala 1:25.000), fotografie aeree e opportuni controlli sul terreno; tale rete, ordinata gerarchicamente secondo il metodo di Strahler (1954), è stata successivamente rettificata mediante un procedimento semiautomatico. Quindi è stata eseguita l'analisi della distribuzione azimutale dei segmenti rettilinei per lunghezza cumulata; i relativi risultati sono rappresentati graficamente tramite una serie di diagrammi a rosa dei venti, nei quali i picchi principali indicano le orientazioni preferenziali, o «domini», delle linee di drenaggio superficiale.

Questo tipo di analisi è stata eseguita sia per l'intera rete idrografica del bacino che per i singoli ordini gerarchici, in quanto le aste fluviali di ordine diverso possono essere controllate dalla tettonica in modo e in tempi differenti. Anche sulla base di quanto emerso da ricerche condotte precedentemente (vedi lavori sopra citati), è verosimile che le aste fluviali di ordine più basso, impostatesi in momenti successivi rispetto a quelli di ordine superiore, siano controllate dalle direzioni tettoniche attive nei tempi più recenti.

L'analisi della distribuzione azimutale dei segmenti fluviali rettilinei nel bacino del Fiume Tordino evidenzia l'esistenza di alcune direzioni preferenziali di deflusso presumibilmente influenzate dall'assetto tettonico.

Il diagramma a rosa dei venti relativo all'intera rete idrografica mostra la presenza di tre domini azimutali: N-S, E-W e NE-SW, con una netta prevalenza del primo di essi (fig. 1).

I risultati dell'analisi eseguita per i vari ordini mettono in luce una situazione piuttosto interessante: con l'aumentare dell'ordine diminuisce l'importanza dei domini N-S, E-W e NE-SW, mentre già a partire dall'analisi relativa alle aste di terzo ordine divengono prevalenti i domini con direzione variabile dalla WNW-ESE alla NNW-SSE (fig. 1). Fa eccezione l'analisi relativa alle aste di settimo ordine che mostra invece una netta prevalenza del dominio ENE-WSW.

Va sottolineato innanzitutto che le direzioni preferenziali di scorrimento identificate mediante l'analisi della distribuzione azimutale dei segmenti fluviali rettilinei ricalcano spesso e in modo evidente le direttrici tettoniche indivi-

duate mediante gli indizi morfologici di tettonica, i quali solo in parte si identificano con elementi idrografici. La differente prevalenza dei vari domini nei diversi ordini gerarchici consente, inoltre, di proporre ipotesi più specifiche sulla probabile successione dell'attività lungo le varie direttrici tettoniche, rispetto alle ipotesi che era stato possibile avanzare in base all'esame dei soli indizi morfologici di tettonica. Se si ammette, infatti, che nello sviluppo di un reticolo idrografico le aste di ordine più basso si originano per ultime, le direzioni preferenziali da esse seguite possono corrispondere a direttrici con attività o riattivazione tettonica più recente.

Considerando quanto emerso dall'analisi statistica in merito alle direzioni preferenziali di scorrimento, è possibile ipotizzare che l'attività tettonica più giovane nel bacino del Fiume Tordino si sia esplicata secondo le direttrici N-S, E-W e NE-SW, secondo le quali sono impostati soprattutto i segmenti idrografici di primo e secondo ordine. Sempre in quest'ottica, le direzioni comprese tra la WNW-ESE e la NNW-SSE, che controllano l'andamento dei segmenti di ordine gerarchico più alto (a partire dal terzo), dovrebbero corrispondere invece a linee tettoniche attive in tempi più antichi.

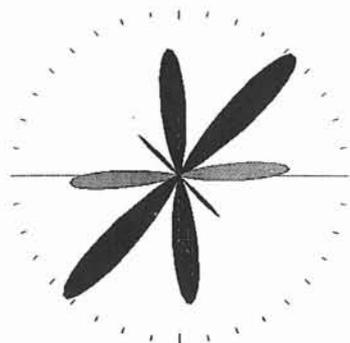
Queste osservazioni confermano in buona parte quanto già emerso dall'esame degli indizi morfologici di tettonica, in base al quale era stato possibile ipotizzare che l'attività tettonica lungo le direzioni NNW-SSE e NW-SE potesse essere precedente a quella delle direttrici orientate NE-SW e ENE-WSW. Dallo stesso esame non era emersa, invece, alcuna indicazione particolare riguardo le linee tettoniche con direzioni N-S ed E-W.

Come già segnalato, i segmenti fluviali rettilinei del settimo ordine presentano una evidente direzione preferenziale di scorrimento orientata intorno ENE-WSW; questa direzione, che coincide probabilmente con quella di linee tettoniche di importanza regionale, è seguita però anche da segmenti di ordine gerarchico più basso. In base a questa osservazione e alle considerazioni fatte in precedenza, è possibile ricostruire per la direttrice tettonica ENE-WSW diverse fasi di attività: una fase piuttosto antica avrebbe concorso a determinare l'intero assetto morfostrutturale del bacino, che si presenta in effetti di forma assai allungata e con asse principale orientato appunto in direzione ENE-WSW; successivamente la riattivazione della stessa direttrice tettonica avrebbe favorito lo sviluppo secondo questa orientazione delle aste fluviali di ordine più basso. Questa riattivazione sarebbe stata accompagnata da fenomeni di basculamento ai quali, come già visto, è da attribuire la disposizione asimmetrica delle superfici terrazzate.

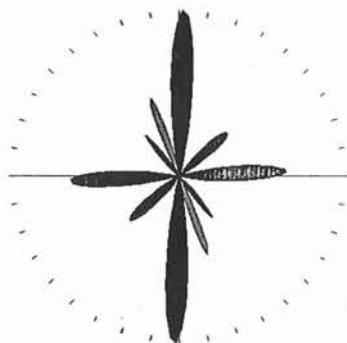
ENERGIA DEL RILIEVO

Il parametro *energia di rilievo* (E_r), inteso come il dislivello massimo nell'ambito di una determinata area, consente di trarre utili informazioni sintetiche sulla configurazione orografica dei bacini idrografici. Inoltre, se calcolato per aree unitarie, questo parametro permette di individuare zone potenzialmente caratterizzate da approfondimento

ASTE I ORDINE F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 948,10 km



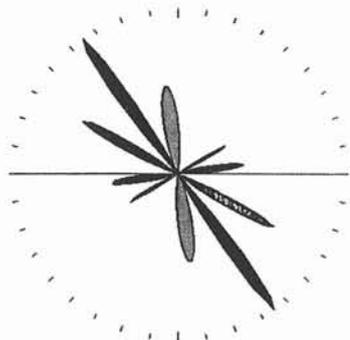
ASTE II ORDINE F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 277,12 km



ASTE III ORDINE F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 145,60 km



ASTE IV ORDINE F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 101,45 km



ASTE V ORDINE F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 37,54 km



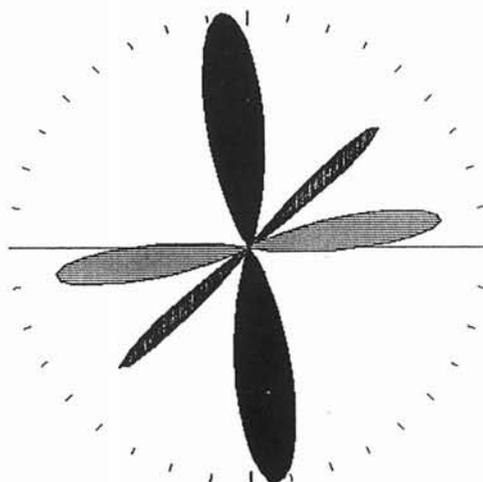
ASTE VI ORDINE F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 36,99 km



ASTE VII ORDINE F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 31,46 km



ASTE FLUVIALI F. TORDINO
ANALISI PER LUNGHEZZA
Lunghezza cumulata: 1578,26 km



#	alt.	azim.	sd
1	1.6	-6.8	19.2
2	1.2	47.0	0.3
3	1.3	81.6	13.9

FIG. 1 - Diagrammi a rosa dei venti della distribuzione azimutale delle aste fluviali di ciascun ordine e dell'intero reticolo del bacino del Fiume Tordino. Nella tabella sono riportati i parametri delle singole gaussiane (altezza, azimut, deviazione standard) relative all'analisi dell'intera rete idrografica.

FIG. 1 - Rose-diagrams of azimuthal distribution of stream channels of each order and of the whole Fiume Tordino network. The table shows the parameters (height, azimuth, standard deviation) of the single gaussian curves drawn from the analysis of the whole network.

fluviale più o meno marcato. E a tale riguardo è da ricordare che ricerche condotte in precedenti lavori hanno evidenziato come, a parità di altre condizioni, la diversa intensità dell'erosione fluviale possa essere indicativa di sollevamenti o abbassamenti differenziali recenti o ancora in atto, cioè di elementi tettonici areali (D'Alessandro & Pantaleone, 1987; Ciccacci & *alii*, 1988; Centamore & *alii*, 1996; Lupia Palmieri & *alii*, 1995).

Per esaminare le variazioni areali dell'energia di rilievo, la superficie del bacino del Fiume Tordino è stata suddivisa in aree unitarie (1 km di lato), per ciascuna delle quali è stato calcolato il suddetto parametro, espresso in metri. I valori ottenuti, suddivisi in otto classi, sono stati riportati su una rappresentazione a mosaico che mette in risalto l'andamento del parametro nell'ambito del bacino («Carta dell'energia del rilievo», f.t.).

Esaminando la «Carta dell'energia del rilievo» si osserva, come è ovvio, una generale diminuzione dei valori del parametro procedendo da monte a valle. L'energia di rilievo più elevata, con valori compresi nelle ultime tre classi del cartogramma, si riscontra nella zona di testata, a monte della faglia inversa che interessa il membro pre-evaporitico della Formazione della Laga.

Procedendo verso valle si individua la presenza discontinua di zone caratterizzate da valori dell'energia di rilievo mediamente più elevati rispetto a quelli osservati nelle immediate vicinanze. Una prima zona con tale caratteristica si individua nella parte medio-alta del bacino e corrisponde ai rilievi di Monte Foltrone - Monte delle Tre Croci, tettonicamente sollevati rispetto alle zone adiacenti; nell'ambito di questa zona i valori più elevati di Er si rinvengono in corrispondenza del rilievo carbonatico di Monte Foltrone, a Nord della linea tettonica su cui è impostato il Fosso Grande.

Poco a Est della suddetta zona se ne individua un'altra con valori del parametro superiori alla media; essa corrisponde all'affioramento del membro post-evaporitico della Formazione della Laga ed è limitata verso Est dalla valle rettilinea del Fosso Fiumicino. A tale riguardo è da segnalare che lo studio dei processi di denudazione ha messo in luce l'esistenza in questa zona di numerosi fenomeni franosi, consentendo di classificare la zona stessa come una di quelle sottoposte a intense modificazioni morfologiche.

Ancora più a valle, ove affiorano i litotipi del Plio-Pleistocene, su entrambi i versanti del bacino si nota una successione di bande caratterizzata da valori di Er alternativamente più bassi e più alti, separate tra loro da dislocazioni tettoniche presunte, orientate intorno NW-SE; inoltre si osserva come, nell'ambito di una stessa banda, a una zona di valori di Er più bassi sul versante sinistro – cioè a Nord della linea tettonica su cui è impostato il basso corso del Fiume Tordino – corrisponda generalmente una zona con valori più elevati sul versante destro, a Sud della linea tettonica suddetta.

La distribuzione dei valori dell'energia di rilievo riscontrata nella parte media e bassa del bacino permette di avanzare l'ipotesi che l'assetto morfotettonico di tutto questo settore sia caratterizzato dalla presenza di blocchi disarticolati secondo la direttrice tettonica NW-SE, mentre

l'asimmetria, sia pure debole, delle valli nello stesso settore può essere connessa a un basculamento dei suddetti blocchi verso mare. Inoltre i valori mediamente più elevati riscontrati sul versante destro fanno supporre che questo risultato sollevato rispetto al versante sinistro.

Infine, anche se a livello puramente ipotetico, si segnala che la distribuzione anomala dei valori di Er rispetto alla linea tettonica con direzione WSW-ENE, lungo la quale è impostato il basso corso del Fiume Tordino, potrebbe testimoniare l'esistenza di una componente trascorrente nella relativa dislocazione.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le informazioni e i dati acquisiti nel corso delle indagini geologiche e morfologiche condotte sul bacino del Fiume Tordino forniscono un valido contributo per una corretta identificazione e una soddisfacente caratterizzazione delle aree maggiormente soggette a intensa morfogenesi.

Nel bacino è possibile individuare alcune aree abbastanza estese per le quali tanto i risultati dei rilevamenti diretti quanto quelli ottenuti dall'analisi quantitativa indicano l'esistenza di marcate modificazioni geomorfiche, che si realizzano tramite fenomeni diversi e con differente intensità.

La prima area corrisponde all'intero *primo settore* del bacino, comprendente la porzione di testata fino all'allineamento Fosso Ciarelli-Rivoletto-Monte Bilanciere-Cortino. Tale area è interessata da vivaci processi di denudazione. Essa raggruppa bacini idrografici con reticoli generalmente disorganizzati e valori elevati dell'indice di erosione (bacini dal n. 23 al n. 35 e testata del bacino n. 40, nella Carta dell'indice di erosione); questo indice (Tu , in $\text{tonn}/\text{km}^2/\text{anno}$) nel bacino impostato sulle pendici di Monte Gorzano raggiunge uno dei valori più elevati tra quelli calcolati per l'intero bacino del Fiume Tordino ($Tu = 4206$). Anche le curve ipsografiche relative ai bacini parziali di quest'area, pur presentando andamenti differenti, a seconda del processo di denudazione dominante, sono indicative di rapide modificazioni geomorfiche.

Il marcato stato di dissesto riscontrato in questo settore appare legato, oltreché alle peculiari condizioni litologiche, anche all'assetto tettonico. In questa parte del bacino, infatti, è presente il «fronte di accavallamento» dei litotipi arenacei su quelli pelitico-arenacei del membro pre-evaporitico, che determina un forte grado di tettonizzazione e di conseguenza favorisce il verificarsi di intensi processi erosivi. Inoltre il corso d'acqua principale risulta impostato lungo una linea tettonica orientata circa in direzione SW-NE; ne deriva un marcato approfondimento del Fiume Tordino che produce anche condizioni di instabilità sui versanti.

Nel *secondo settore*, che si estende fino all'allineamento Monte Ciccone-Colle dell'Esino, è possibile individuare due aree soggette a intensa morfogenesi. La prima area corrisponde alla testata del Fiume Vezzola (bacino n. 111); la seconda è ubicata sul versante sinistro del Fiume Tordino, in prossimità dell'abitato di Poggio Rattieri, ed è compresa in gran parte nei bacini n. 16 e n. 17. Il rilevamento

geomorfologico ha messo in luce l'esistenza, in certe zone, di processi di denudazione particolarmente vivaci, rappresentati sia da marcati approfondimenti fluviali che da processi sui versanti. Le reti idrografiche di queste aree si presentano generalmente disorganizzate e i valori dell'indice di erosione risultano piuttosto elevati (Tu compreso tra i valori della V e della VI classe).

Come per il settore precedentemente esaminato, anche in questo secondo settore è possibile riconoscere il ruolo esercitato dalle condizioni geologiche sulla velocità dei processi morfogenetici: alla forte erodibilità dei litotipi affioranti (litotipi pelitico-arenacei del membro pre-evaporitico della Formazione della Laga, Marne a Pteropodi e Marne con Cerrognà) si somma l'effetto prodotto da linee tettoniche orientate NW-SE, che condizionano tanto lo scorrimento del Fiume Vezzola che quello del Fiume Tordino, favorendone l'approfondimento verticale.

Nel *terzo settore*, che si estende fino all'allineamento Monte Foltrone-Teramo, è certamente in rapida evoluzione morfologica tutta l'area del Monte delle Tre Croci, sul versante sinistro del Fiume Vezzola (bacino n. 11i), come pure la testata del Torrente Rimaiano (bacino n. 11c) e quella del Torrente Fiumicino (bacino n. 9d). I processi di denudazione dominanti sono rappresentati da intensa erosione areale, diffusi movimenti in massa e marcati approfondimenti fluviali. Anche in questa area l'analisi geomorfica quantitativa ha evidenziato come i bacini idrografici presentino reticoli fortemente disorganizzati ed elevati valori dell'indice di erosione (Tu compreso tra i valori della III e della IV classe). L'andamento delle curve ipsografiche conferma l'esistenza, in questi bacini, di accentuate condizioni di disequilibrio, tipiche di aree soggette a rapida e intensa morfogenesi.

Il forte grado di dissesto di tutta quest'area può essere spiegato soprattutto in funzione delle particolari condizioni geologiche esistenti. Innanzi tutto va messa in evidenza la particolare natura delle rocce affioranti, rappresentate da marne fortemente erodibili (Marne a Pteropodi) e intensamente tettonizzate. Queste, infatti, affiorano in un'area che, come risulta anche dall'analisi del parametro «energia di rilievo», è tettonicamente sollevata rispetto a quelle circostanti e, sul lato orientale, è sovrascorsa sul membro evaporitico della Formazione della Laga. Inoltre numerose faglie, orientate soprattutto nelle direzioni NW-SE e ENE-WSW, bordano tutta l'area in questione e guidano l'impostazione dei corsi d'acqua principali, favorendo il rapido approfondimento della rete idrografica e la conseguente instabilità dei versanti.

Nel *quarto settore*, limitato verso Est dal tratto a decorso NW-SE del Torrente Fiumicino, possono essere individuate due ampie aree soggette a intensi processi morfogenetici: la prima, compresa fra Campli e Teramo, in sinistra del Fiume Tordino, è drenata dai corsi d'acqua dei bacini parziali n. 9g, 9f, 9e e 11b; la seconda, ubicata in destra orografica del Fiume Tordino, a valle di Teramo, ricade nei bacini parziali dal n. 43 al n. 50.

La prima di queste due aree è interessata da marcati approfondimenti fluviali che innescano sui versanti intensi

processi di *creep* e numerosi fenomeni franosi, che talvolta interessano anche superfici molto ampie. I valori dell'indice e della densità di anomalia gerarchica evidenziano per i bacini precedentemente citati reti idrografiche molto disorganizzate (Δa e $g a$ compresi rispettivamente tra 0,5 e 1,29 e tra 12,92 e 18,47) e valori dell'indice di erosione indicativi di processi erosivi molto accentuati (Tu compreso fra i valori della IV e della V classe).

Anche per quest'area la vivacità e la diffusione dei processi di denudazione appaiono strettamente legate alla peculiare natura litologica e all'intenso grado di tettonizzazione delle rocce. Vi affiorano, infatti, litotipi pelitico-arenacei del membro post-evaporitico della Formazione della Laga, tettonicamente sollevati rispetto a quelli circostanti, come è testimoniato anche dall'analisi della «Carta dell'energia del rilievo». Quest'area inoltre è interessata da numerose faglie dirette ENE-WSW, che dall'analisi morfotettonica risultano aver svolto un ruolo di primaria importanza in epoca molto recente; lungo queste faglie sono impostati i corsi d'acqua principali che drenano l'area, come ad esempio il Fosso Ingrassò (bacino n. 9), la cui zona di testata è completamente interessata da fenomeni franosi favoriti dalla forte incisione verticale del fosso stesso.

Considerazioni del tutto analoghe si possono fare per la seconda area segnalata, impostata principalmente sulle Marne del Vomano, fortemente erodibili. Sia le osservazioni dirette che i dati dell'indagine morfometrica concordano nell'indicare come questa area sia in rapida evoluzione morfologica; anche in questo caso si può dire che i processi di denudazione, consistenti prevalentemente in fenomeni di *creep*, siano favoriti dall'approfondimento operato dal Fiume Tordino che qui scorre a ridosso dello spartiacque destro, lungo una dislocazione tettonica orientata in direzione ENE-WSW.

Nell'ambito del *quinto settore*, che si estende fino alla foce, si segnala come prima area fortemente instabile quella che copre tutto il versante destro della valle del Fiume Tordino, soprattutto laddove affiorano le Marne del Vomano (o Marne di Campli) e le argille plioceniche. I bacini impostati prevalentemente su questi litotipi sono caratterizzati da movimenti lenti e da fenomeni di dilavamento che talora si traducono in erosione calanchiva. La maggiore diffusione di tali processi si riscontra nella zona di Castellalto, nell'ambito del bacino parziale del Rio Canale; anche per questo bacino i dati della geomorfologia quantitativa indicano l'esistenza di processi denudazionali piuttosto intensi: la rete idrografica è infatti la più disorganizzata ($g a = 35,06$) e l'indice di erosione calcolato rientra nella settima classe ($2000 < Tu \leq 4000$).

Corrispondenze dello stesso tipo tra osservazioni dirette e dati quantitativi si riscontrano per il bacino del Fosso Cordesco e per il bacino impostato sul versante settentrionale del Poggio S. Vittorino. La considerazione che i bacini di questa seconda area sono sottoposti a modificazioni geomorfiche assai vivaci, prodotte dai già citati processi di denudazione, è confermata anche in questi casi dall'andamento delle rispettive curve ipsografiche.

Anche in quest'ultimo settore esaminato è possibile individuare il ruolo esercitato dall'assetto tettonico nello sviluppo degli intensi processi di denudazione osservati. Difatti, la maggior parte dei fenomeni di dissesto si concentra sul versante destro, il quale, sulla base dell'analisi degli indizi morfotettonici, è da considerare come sollevato rispetto al versante sinistro.

BIBLIOGRAFIA

- AVENA G.C., GIULIANO G. & LUPIA PALMIERI E. (1967) - *Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 86, 781-796.
- BUONASORTE G., CICCACCI S., DE RITA D., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1991) - *Some relations between morphological characteristics and geological structure in the Vulsini Volcanic Complex (Northern Latium, Italy)*. Zeit. Geomorph., Suppl. Bd. 82, 59-71.
- CAPUTO C., CICCACCI S., DE RITA D., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & SALVINI F. (1993) - *Drainage pattern and tectonics in some volcanic areas of Latium (Central Italy)*. Geol. Romana, 29, 1-13.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N., DEIANA G. & MICARELLI A. (1978) - *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei «bacini minori» torbiditici del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese. 5) Risultati degli studi in corso*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 135-170.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N., DEIANA G. & MICARELLI A. (1979) - *The «Minor basins» in the context of the umbro-marchean region tectonic-sedimentary evolution during middle-upper Miocene*. Ann. Geol. Pays. Hellen., Tome Hors ser., 1979, Fasc. 1, 247-251.
- CENTAMORE E., CICCACCI S., DEL MONTE M., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1996) - *Morphological and structural arrangement of north-eastern Abruzzo (central Italy)*. Geomorphology, 16, 127-137.
- CICCACCI S., D'ALESSANDRO L. & FREDI P. (1983) - *Sulla valutazione indiretta dell'interrimento nei bacini lacustri: il lago artificiale di Scandarello (Rieti)*. Atti XXIII Congr. Geogr. It., Catania, 2 (3), 37-52.
- CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1988) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa allo studio dei processi di denudazione del bacino idrografico del Torrente Paglia (Toscana meridionale - Lazio settentrionale)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., Suppl. I, 171-188.
- CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1992) - *Relation between morphometric characteristics and denudation processes in some drainage basins of Italy*. Zeit. Geomorph., N.F. 36, 1, 53-67.
- CICCACCI S., DE RITA D. & FREDI P. (1988) - *Geomorfologia quantitativa e morfoneotettonica dell'area di Morlupo-Castelnuovo di Porto nei Monti Sabatini (Lazio)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., Suppl. 1, 197-206.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1981) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 99, (1980), 455-516.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1987) - *Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters*. International Geomorphology, II, Wiley & Sons, Chichester, 33-48.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & SALVINI F. (1986) - *An approach to the quantitative analysis of the relations between drainage pattern and fracture trend*. International Geomorphology, II, Wiley & Sons, Chichester, 49-68.
- CICCACCI S., FREDI P. & RAFFI R. (1985) - *Caratteristiche climatiche e geomorfologiche del bacino del Fiume Mignone*. In: Atti del Convegno «Esperienze di analisi e gestione di bacini idrografici». Provincia di Roma-Provincia di Viterbo-Università di Roma «La Sapienza», 24-77.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1976) - *Proposta di un progetto operativo per l'elaborazione della Carta Neotettonica d'Italia*. Progetto Final. Geodinamica - Sub-progetto Neotettonica, Roma 30 novembre 1976.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1976) - *Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia*. Progetto Final. Geodinamica, Pubbl. n. 155, 397 pp. Roma.
- D'ALESSANDRO L. & PANTALEONE A. (1987) - *Caratteristiche geomorfologiche e dissesti nell'Abruzzo sud-orientale*. Mem. Soc. Geol. It., 37, 805-821.
- DRAMIS F., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - *Deformazioni gravitative profonde nell'area di Monte Gorzano (Monti della Laga, Appennino centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., 106, 265-271.
- HORTON R.E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull., 56, 275-370.
- LUPIA PALMIERI E., CICCACCI S., CIVITELLI G., CORDA L., D'ALESSANDRO L., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F. (1995) - *Geomorfologia quantitativa e morfodinamica del Territorio abruzzese: I - Il bacino idrografico del Fiume Sinello*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 18, 31-46.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1955) - *Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000, F. 139 «L'Aquila»*, Firenze.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1963) - *Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000, F. 140 «Teramo»*, Firenze.
- STRAHLER A.N. (1952) - *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. Geol. Soc. Am. Bull., 63, 1117-1142.
- STRAHLER A.N. (1954) - *Quantitative geomorphology of erosional landscapes*. C.R. 19th Intern. Geol. Cong., Algiers, Sect. 13, part 3, 341-354.