

## CRITERI PER EVIDENZIARE L'EVOLUZIONE RECENTE DI FAGLIE(\*)

F. Carraro

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino e  
Centro di Studio sulla Dinamica delle Catene Collisionali del C.N.R., Torino

**RIASSUNTO** - *Criteri per evidenziare l'evoluzione recente di faglie.* Il Quaternario, 6(1), 1993, p. 15-26. Vengono dapprima analizzati i rapporti semplici tra una faglia e, rispettivamente, la superficie topografica che rappresenta l'espressione morfologica di una formazione di copertura superficiale, il corpo sedimentario costituente la formazione stessa e la sua superficie di appoggio basale. Se ne deduce che l'esame dell'espressione morfologica di una faglia non risulta interpretabile univocamente, che i rapporti tra faglia e corpo sedimentario forniscono informazioni solo in casi particolari e che le informazioni più significative possono invece essere ricavate dai rapporti tra faglia e superficie di appoggio basale delle formazioni superficiali di copertura. Si analizzano poi le possibili interazioni tra evoluzione di una faglia ed evoluzione di un corso d'acqua in rapporto con essa illustrando due esempi particolarmente significativi. Passando quindi ad analizzare la geometria complessiva di faglie in rapporto con formazioni superficiali, si sottolinea l'importanza di distinguere le faglie "rimobilizzate" dalle faglie di neoformazione. Viene quindi fornita un'analisi dettagliata dei diversi tipi di rapporti della superficie di faglia con il substrato e con le formazioni superficiali di copertura presenti in una faglia "rimobilizzata"-tipo. Si conclude constatando l'impossibilità obiettiva di evidenziare tutte le faglie ad evoluzione recente di una determinata regione, sia per la probabile assenza materiale di evidenze sia/o per l'impossibilità di metterle in luce. Si auspica che nel nuovo progetto di cartografia geologica al 50.000 del nostro Paese si prevedano simbologie atte a distinguere le faglie "riattivate" e le faglie di neoformazione.

**ABSTRACT** - *Criteria to demonstrate fault recent evolution.* Il Quaternario, 6(1), 1993, p. 15-26. The first part of the paper critically examines the relationships between a fault and the topographic surface, intended as the morphological expression of cover formations, the sedimentary body of these formations, their bedrock surface. It is concluded that: a) the morphological expression of a fault cannot be univocally interpreted; b) only in specific cases the relationships between faults and sedimentary body give significant information; and c) more reliable information can instead be deduced from the relationships between faults and bedrock surface on which cover formations lie. With the aid of two particularly significant examples the second part of the paper examines the possible reciprocal interactions between fault and water course evolution, the latter affected by the fault itself. The importance of distinguishing between "rejuvenated" and new faults in the analysis of fault geometry in relation to cover formations is emphasised. The various links between fault surface and either bedrock or cover formations in the area of a rejuvenated type fault are also considered. In conclusion it appears to be objectively impossible to identify all the faults of recent evolution that are present in a given area either because of a lack of evidence or because this cannot be highlighted. It is hoped that the new cartographic project in the scale 1:50,000 of Italy will adopt a symbolism which will aid distinction between "rejuvenated" and new faults.

Parole chiave: Neotettonica, faglie, metodologia  
Key words: Neotectonics, faults, methodology.

Il contenuto di questo articolo rappresenta il tentativo di riunire in forma organica le esperienze relative al riconoscimento dell'evoluzione recente di faglie, raccolte nel corso del P.F. Geodinamica e sviluppate in seguito nell'ambito di ricerche sia di base che applicate.

### 1. PREMESSA

E' innanzitutto opportuno sottolineare che i criteri che di seguito verranno proposti per evidenziare l'evoluzione<sup>(1)</sup> recente di una faglia non vanno intesi come criteri idonei a mettere in luce l'esistenza stessa delle faglie ma vanno applicati a faglie di cui si sia rilevata la presenza con i normali criteri di rilevamento geologico, ivi compresi quelli della teledetezione. Tale precisazione

si rende necessaria per evitare quella sorta di corto circuito metodologico che è stato talora effettuato agli inizi degli studi di neotettonica: identificato un determinato "lineamento" mediante la sola teledetezione, si passava direttamente alla ricerca degli elementi morfologici indicativi di un'evoluzione neotettonica della presunta faglia, giungendo talora alla conclusione che si aveva a che fare con una faglia ad evoluzione recente; ricerche successive provavano invece che, non solo che non si trattava di una faglia ad evoluzione recente, ma addirittura che la faglia non esisteva<sup>(2)</sup>.

(1) Si preferisce il termine "evoluzione" a quello di "attività" in quanto una struttura, essendo il prodotto di un campo di stress, non può di per sé stessa essere "attiva".

(2) Per un'analisi più esauriente di questo aspetto metodologico si rinvia all'articolo: Carraro, Martinotti & Polino, 1978 - "Lineamenti e faglie: analisi delle possibilità di corrispondenza tra i due fenomeni". Gruppo di Studio del Quaternario Padano, Quad. n. 4, pp. 1-14, 2 ff., Litostep, Parma 1978.

(\*) Lavoro in parte presentato alle Giornate di studio dell'AIQUA sul tema: "La Neotettonica in Italia a dieci anni dalla fine del P.F. Geodinamica", Roma, 2-3 marzo 1992.

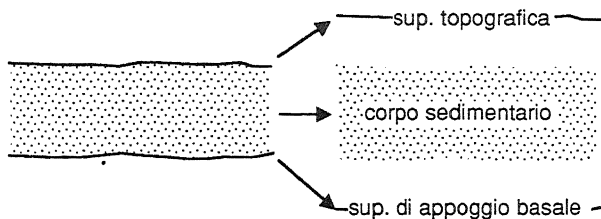


Fig. 1 - Elementi morfologici e litostratigrafici che definiscono una formazione superficiale.

*Morphological and lithostratigraphic elements typical of superficial formations.*

L'accertamento dell'esistenza di una faglia, com'è ben noto al geologo rilevatore, è problema non sempre facile e spesso non è risolvibile con i soli mezzi ordinari di rilevamento. La verifica di una eventuale evoluzione recente della struttura, come si vedrà, è inoltre possibile solo se questa evoluzione ha comportato la genesi di elementi specifici e se questi elementi sono direttamente rilevabili. Ad esempio per una faglia che si sia evoluta anche in tempi recenti, in rapporto unicamente con un substrato antico, e che non abbia prodotto evidenze particolari, si potrà solo riconoscere che la sua evoluzione è in parte avvenuta in condizioni genericamente superficiali (campo fragile) senza però poter precisare direttamente nè quanta parte di questa evoluzione è avvenuta

in queste condizioni nè per quanto tempo si è protratta.

Per giungere ad un giudizio sull'esistenza di una faglia e sulla sua eventuale evoluzione recente si rendono perciò necessarie normalmente indagini integrative al rilevamento geologico, che producano dati di sottosuolo; questo tipo di accertamento è evidentemente possibile di norma solo nel caso di ricerche di carattere applicato nelle quali l'evidenziazione di faglie ad evoluzione recente rappresenti un obiettivo specifico. Come già anticipato, è però possibile che, anche conoscendo l'intera geometria della faglia, non si possa giungere a formulare un giudizio risolutivo.

Anticipando quindi le conclusioni, è oggettivamente certo che nell'ambito un rilevamento geologico ordinario, se non è di norma possibile evidenziare tutte le faglie esistenti nell'area non è a maggior ragione possibile verificare se tutte le faglie evidenziate abbiano avuto o meno un'evoluzione recente.

Nel tentativo di dare una forma organica all'analisi che ci si accinge a fare, verranno dapprima esaminati i possibili rapporti tra una faglia e i singoli elementi morfologici e litostratigrafici in cui può essere idealmente scomposta una formazione superficiale, e cioè la superficie topografica che ne rappresenta l'espressione morfologica, il corpo sedimentario e la superficie di appoggio basale (cfr. Fig. 1). L'analisi verrà effettuata dapprima

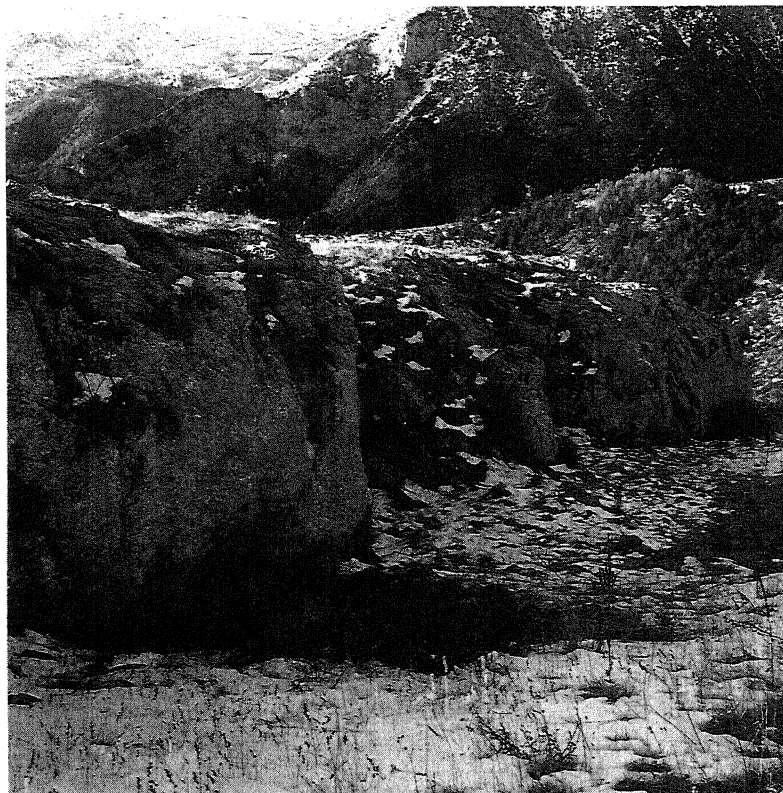


Fig. 2 - Scarpata di faglia in calcari "riesumata". La forma era originariamente sepolta da depositi glaciali di fondo, conservati, indisturbati, sulla sua prosecuzione. Si notino le tracce del modellamento glaciale sulla scarpata stessa (Massiccio del M. Mongioie, Cuneo).

*Exhumed fault scarp in limestone. The form was buried under lodgment till deposits, which are preserved as undisturbed deposits over the fault scarp prosecution. On the fault scarp, there are well preserved traces of glacial modelling (Massif of Mt. Mongioie near Cuneo).*

singolarmente per i diversi elementi e in casi semplici; verrà poi affrontato il problema dei rapporti di interazione tra l'evoluzione di una faglia e l'evoluzione di un corso d'acqua. Si passerà infine all'analisi della geometria complessiva di una faglia in rapporto con formazioni superficiali, facendo riferimento a casi ad evoluzione più lunga e più complessa.

## 2. ANALISI DEI RAPPORTI TRA FAGLIA E SINGOLI ELEMENTI MORFOLOGICI E LITOSTRATIGRAFICI

### 2.1. Rapporti tra faglia e superficie topografica

Questo aspetto riguarda, oltre alle faglie che in superficie vengono in rapporto con la copertura quaternaria, anche quelle che interessano il solo substrato pre-quaternario.

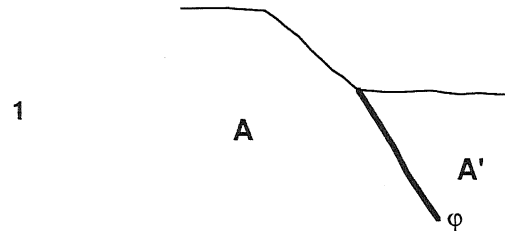
Quando, negli anni '70, hanno preso avvio in maniera sistematica le ricerche di neotettonica, si accettava il postulato che "una faglia ad evoluzione recente *deve* avere evidenza morfologica". Gli studi di dettaglio, dedicati successivamente a singole strutture, soprattutto nell'ambito del progetto nucleare dell'ENEL, hanno portato però ad individuare, da un lato faglie a sicura evoluzione recente prive di evidenza morfologica, dall'altro di faglie, che altrettanto sicuramente non avevano subito evoluzione recente, caratterizzate invece da evidenza morfologica (cfr. Figg. 2, 3 e 4).

Analizzando in termini logici la questione, si può constatare che l'espressione morfologica di una faglia ad evoluzione recente è controllata in maniera dinamica dalla differenza tra la velocità con cui il movimento della faglia tende a modificare la superficie topografica e la velocità con cui l'erosione tende a annullare questo effetto. La velocità dell'erosione in un determinato punto della superficie topografica è controllata da quello che si potrebbe indicare come il "potenziale erosivo" locale (definito dal numero e dall'entità degli eventi piovosi e dalla pendenza della superficie topografica nel punto stesso) e dalla "durezza"<sup>(3)</sup> delle formazioni in cui è modellata in quel tratto la superficie topografica.

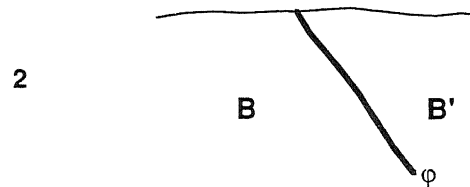
Ma è altrettanto palese che una faglia che metta a contatto in superficie litotipi con "durezza" apprezzabilmente diversa e che venga esumata dall'erosione, staticamente, può dar luogo ad una scarpata. In questo caso ("faglia esumata"; cfr. nota 6) la faglia ha evidenza morfologica pur non avendo avuto una evoluzione recente (cfr. Fig. 2).

Tentando un approccio quantitativo al problema, per quel che riguarda la velocità di movimento delle faglie, si dispone attualmente di una gamma di valori ricavati da misurazioni geodetiche. Esistono pure molti

(3) In una relazione di questo tipo, risulta preferibile far riferimento alla "durezza" anziché all'"erodibilità", suo reciproco usato invece più comunemente.



1  
Faglia ad evoluzione recente ("durezza" di A = "durezza" di A';  
velocità di rimodellamento < velocità di movimento)  
Faglia che non ha subito evoluzione recente ("durezza" di A > "durezza" di A')  
"esumata" o "riesumata" (vedi testo)



2  
Faglia ad evoluzione recente ("durezza" di B e di B' molto basse;  
velocità di rimodellamento > velocità di movimento)  
Faglia che non ha subito evoluzione recente ("durezza" di B = "durezza" di B')

Fig. 3 - Non correlabilità tra l'evoluzione di una faglia e la sua espressione morfologica: esempi di faglie ad evoluzione recente e di faglie prive di evoluzione recente nei vari casi caratterizzate da evidenza morfologica (1) o prive di evidenza morfologica (2).

*Impossible correlation between evolution of a fault and its morphological expression: examples of faults of recent evolution and faults of past evolution with morphological evidence (1) or with lack of morphological evidence (2).*

dati sperimentali relativi a quello che è stato indicato come "potenziale erosivo". Non esistono invece dati quantitativi, almeno per quanto ci è dato sapere, relativi alla "durezza" delle diverse litologie: per spiegarci meglio con un esempio, se è chiaro che un granito è più "duro" di un marmo, non si sa però se lo sia 5, 10, 100 o quante volte. Per valutare questo parametro si potrebbe forse fare riferimento ad una delle scale empiriche in uso in meccanica delle rocce, che attribuiscono ai diversi litotipi specifici "coefficienti di resistenza" in base alla diversa entità dell'usura di campioni sottoposti a prove standard. Ma è evidente come la "durezza" di un litotipo sia condizionata da tutta una serie di fattori locali (stato di fratturazione, grado di alterazione, ecc.): non sarebbe perciò in alcun caso possibile, per tentare un bilancio quantitativo, far riferimento a delle tabelle ma si renderebbe necessario effettuare delle misure dirette sul litotipo in questione.

Va poi ricordato che, essendo l'espressione morfologica di una faglia frutto di un rapporto dinamico tra due velocità, una valutazione appare comunque estremamente complessa, non essendo noto a quanto tempo risalga l'attuale configurazione della scarpata di faglia. E' infine da sottolineare che è comunque impossibile una qualsiasi valutazione in tutti quei casi, e sono

i più numerosi, nei quali la velocità dell'erosione è superiore a quella del movimento della faglia, per cui non si origina la scarpata di faglia.

Si può quindi concludere che *l'evoluzione recente di una faglia non può di norma essere desunta dall'espressione morfologica della faglia stessa.*<sup>(4)</sup>

## 2.2. Rapporti tra faglia e corpo sedimentario

Il problema è riconducibile teoricamente a quello più generale dei rapporti tra una faglia ed una formazione sedimentaria. Com'è noto, tuttavia, la natura prevalentemente incoerente delle formazioni superficiali determina un diverso stile di deformazione che, salvo casi particolari, non è leggibile; è questo forse l'aspetto più specifico della neotettonica.

Tra i casi particolari si può citare quello nel quale, in presenza di clasti carbonatici e in regime compressivo, si formano strutture stilolitiche: in situazioni come queste è possibile ricavare alcune indicazioni cinematiche della sola fase compressiva ma non dei parametri quantitativi né meno che meno, la storia complessiva della struttura.

Nei casi in cui invece le caratteristiche del corpo sedimentario e quelle al contorno siano idonee, si determinano deformazioni del tutto confrontabili con quelle delle formazioni non superficiali. Esse sono interpretabili secondo l'usuale approccio della geologia strutturale. In questi casi è tuttavia frequente osservare delle strutture discontinue, caratterizzate cioè da salti bruschi nel grado di deformazione passando da un livello all'altro (per un esempio si rinvia alla Figura 12 del lavoro Carraro & Giardino<sup>(5)</sup>). Tale situazione sembrerebbe suggerire che la struttura sia il prodotto di una deformazione discontinua; tenendo però presente l'estrema discontinuità della sedimentazione in ambiente continentale e la sistemica interposizione di episodi di erosione tra gli estemporanei e brevi episodi sedimentari, si può ritenere più probabile che in realtà la deformazione sia stata continua e che nel deposito siano state registrate solo alcune fasi di questa.

In conclusione *il rapporto tra una faglia ed una formazione superficiale è significativo, per quel che concerne*

(4) Accettando quanto fino qui esposto, la distinzione tra "scarpata di faglia" e "scarpata di linea di faglia" in uso in Geomorfologia, oltre a indicare solo due diversi possibili rapporti tra una faglia e la propria espressione morfologica (in particolare nessuno dei due termini si presta a indicare forme che siano in continua evoluzione erosionale sotto il controllo di una faglia pure in continua evoluzione), appare difficilmente utilizzabile nel rilevamento di carte geomorfologiche perché questa distinzione parte evidentemente dal presupposto che sia noto se la faglia in questione sia stata o meno caratterizzata da evoluzione recente, mentre le carte vengono realizzate sulla base dei soli dati morfologici che, come si è appena visto, da soli non consentono di definire se una faglia sia stata caratterizzata o meno da evoluzione recente.

(5) Carraro F. & Giardino M. (1992) - *Geological evidence of recent fault evolution. Examples from Campo Imperatore (L'Aquila - Central Apennines)*. Il Quaternario, 5(2), 181-200.

*la ricostruzione dell'evoluzione recente della struttura, solo nei casi (non comuni) in cui le caratteristiche del corpo sedimentario e quelle al contorno abbiano consentito la formazione di strutture confrontabili con quelle delle formazioni non superficiali.* Nell'interpretazione risulta tuttavia di fondamentale importanza tenere ben presente il significato strettamente episodico delle formazioni superficiali stesse.

## 2.3. Rapporti tra faglia e superficie di appoggio basale del corpo sedimentario

A differenza della superficie topografica attuale (cfr. quanto detto al § 1.1.), la superficie di appoggio basale di una formazione superficiale, essendo protetta dal corpo sedimentario, non è soggetta alla modificazione continua da parte dell'erosione<sup>(6)</sup>. In quanto tale, essa registra interamente la deformazione successiva al seppellimento: quindi, se la superficie di appoggio basale di una formazione superficiale è in rapporto con una faglia ad evoluzione recente, essa ne sarà dislocata e la dislocazione conserverà tutta la propria entità. Il problema che si pone è quello di discriminare, nella forma di una superficie sepolta, le componenti di genesi primaria da quelle di origine secondaria, appunto deformazionale. Nella casistica che abbiamo avuto finora l'opportunità di esaminare, il problema si è dimostrato in genere di non difficile soluzione: nella maggior parte dei casi le formazioni superficiali erano di natura ghiaiosa ed i gradini che si osservavano all'intersezione con la superficie di faglia apparivano visibilmente incompatibili con la originaria superficie erosionale di appoggio basale e quindi sicuramente formati dopo il seppellimento, in conseguenza al movimento della faglia (cfr. Fig. 4).

In altri casi è stato invece possibile stabilire che il gradino di faglia preesisteva al seppellimento: ad indicarlo erano soprattutto la giacitura indisturbata dei sedimenti costituenti la formazione superficiale, da un lato, e la particolare "durezza" del substrato nel quale era modellato il gradino, la quale spiegava la conservatività della forma. Nei tratti in cui l'erosione ha asportato completamente la formazione superficiale originariamente sovrastante si può parlare in questi casi di una "scarpata di faglia riesumata"<sup>(7)</sup> (cfr. Fig. 2). Ci si può porre allora il problema se la scarpata "riesumata" corrisponda ad una faglia che si è o meno evoluta immediatamente prima del seppellimento: questo problema rientra però in quello più generale esaminato al § 2.1.

Tornando ai casi in cui invece la formazione del gradino sia provatamente posteriore al seppellimento,

(6) Per questo motivo sarebbe opportuno riservare la denominazione di "paleosuperfici" unicamente alle superfici sepolte come questa.

(7) Si preferisce il termine "riesumata" a "esumata" perché quest'ultimo termine può essere letteralmente utilizzato per indicare una qualsiasi faglia che interessi il substrato e che affiora perché viene progressivamente "esumata" dall'erosione.

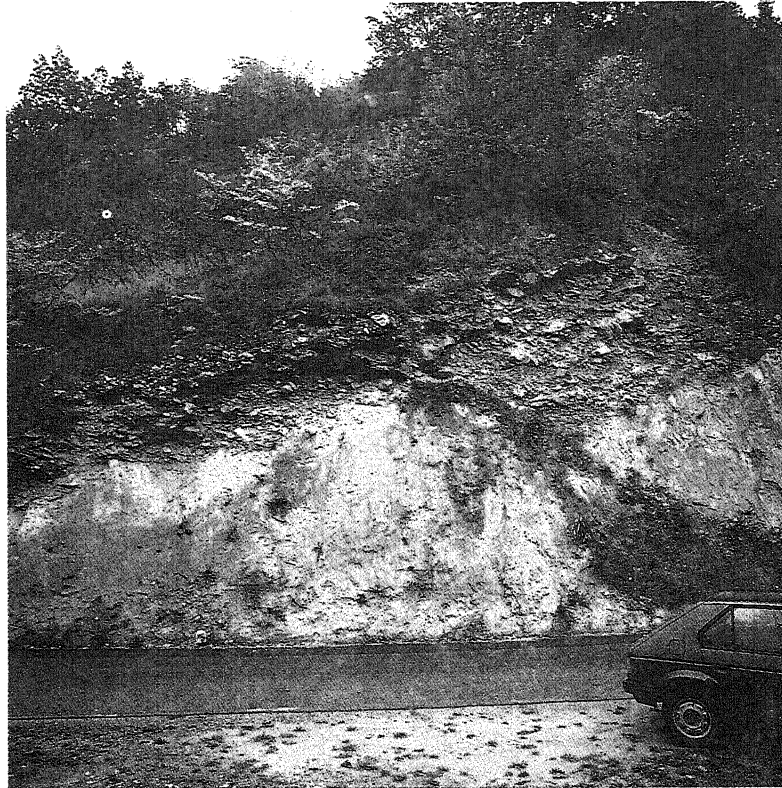


Fig. 4 - Superficie di appoggio basale di una formazione superficiale (nel caso specifico un conoide alluvionale) dislocata da una faglia ad evoluzione recente. Si noti l'assenza di ogni attuale evidenza morfologica (Valle Maira, Cuneo).

*Bedrock surface of a superficial formation (an alluvial fan, in this case) dislocated by a recent fault. The lack of any morphological evidence is worth noting (Maira Valley, province of Cuneo).*

si sottolinea che la dislocazione della superficie di appoggio basale di una formazione superficiale consente una valutazione quantitativa dell'evoluzione della faglia stessa successiva al seppellimento e come tale risulta di fondamentale importanza per riconoscere le faglie "riattivate" da quelle di neoformazione (cfr. § 4).

A conclusione di questo punto, si fa osservare come, *l'esame dei rapporti di una faglia con la superficie di appoggio basale di formazioni superficiali risulta particolarmente significativo per verificare l'evoluzione recente della faglia stessa.*

La probabilità che gli affioramenti esistenti mettano in luce il punto esatto in cui avviene questa intersezione è naturalmente molto bassa: poiché, come anticipato in premessa, risulta inevitabile, se si vuol pervenire ad un giudizio valido sull'evoluzione, o meno, recente della faglia, ricorrere ad indagini di sottosuolo, è proprio questo il settore che bisogna tentare di mettere in luce; allo scopo si è rivelato utile, negli studi finora eseguiti, il ricorso ad escavatore meccanico.

### 3. RAPPORTI TRA EVOLUZIONE DI UNA FAGLIA ED EVOLUZIONE DI UN CORSO D'ACQUA

Elementi utili ad evidenziare l'evoluzione recente di una faglia possono essere raccolti anche dai rapporti che la faglia può avere con un corso d'acqua. La casistica possibile può essere ricondotta a due situazioni elementari:

quella di un corso d'acqua impostato lungo una faglia e quella di corsi d'acqua con andamento trasversale o comunque obliquo a faglie. In base all'esperienza finora raccolta si è constatato che nelle situazioni del primo tipo non è possibile raccogliere elementi che comprovino l'evoluzione o meno della faglia lungo la quale è evoluto l'alveo, o il tratto di alveo preso in esame: accertato infatti che il corso d'acqua in corrispondenza alla faglia ha approfondito in maniera consistente il proprio alveo, non è possibile stabilire se il fenomeno sia imputabile semplicemente alla bassa "durezza" delle rocce di faglia che sottolineano la struttura, con ruolo quindi statico di quest'ultima, oppure se l'approfondimento erosionale è stato controllato in qualche misura anche dall'evoluzione stessa della faglia (Fig. 5).

Significative possono risultare per contro le situazioni che si determinano per l'interferenza tra l'evoluzione di una faglia e quella di un corso d'acqua ad andamento trasversale o comunque obliquo rispetto alla faglia stessa. Emblematici a riguardo appaiono i due esempi riportati nelle Figure 6 e 7. La Figura 6 riproduce, schematizzata, la situazione che si osserva nel punto in cui il Fiume Sesia intercetta la Linea Insubrica (f): *la scarpata (F) che rappresenta l'espressione morfologica di quest'ultima, segna un limite netto tra un segmento fluviale, a monte, in cui in tempi recenti si sono registrati ripetuti fenomeni di sedimentazione ed un*



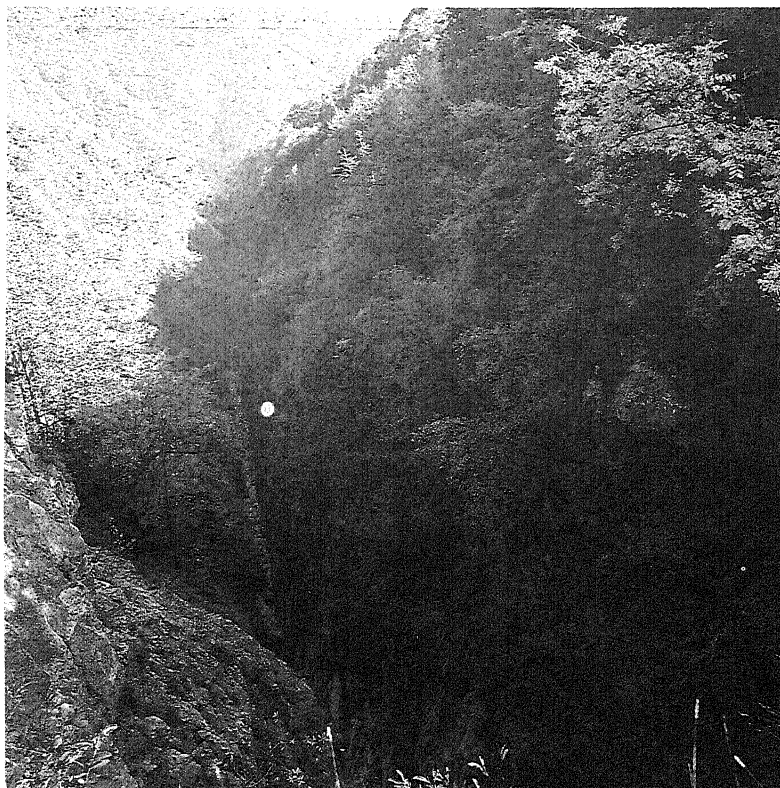


Fig. 5 - Problematività del ruolo (statico o dinamico?) di una faglia nell'evoluzione di un corso d'acqua con andamento coincidente con la faglia stessa: le incisioni di due affluenti di sinistra (sullo sfondo) e di destra (in primo piano) del T. Livo, in corrispondenza alla Linea del Tonale (loc. Peglio, Sondrio).

*Uncertain (static or dynamic?) control of a fault over the evolution of a water course stretching in the same direction as the fault: the valleys of the left (in the background) and right (in the foreground) tributaries of River Livo near the Tonale line (at Peglio, near Sondrio).*

*segmento, a valle, in cui invece l'evoluzione è stata unicamente erosionale.*

Analizzando separatamente l'evoluzione dei due settori, nel tratto in erosione ipotetiche linee che riuniscano punti del substrato roccioso esumati in uno stesso episodio di erosione si disporrebbero a dare una successione con i termini (a, b) via via più recenti verso il basso, fino all'alveo attuale (c). Viceversa, le corrispondenti isocrone nel tratto in sedimentazione a monte della scarpata formerebbero una successione di termini (a', b') progressivamente più recenti verso l'alto fino all'alveo attuale (c). Le isocrone apparirebbero quindi per così dire dislocate all'intersezione con la faglia e l'entità della dislocazione risulterebbe tanto maggiore quanto più lungo è l'intervallo di tempo corrispondente alla loro età: solo l'isocrona attuale, rappresentata materialmente dai due tratti di alveo a monte e a valle della scarpata non risulta dislocata.

Un esempio analogo, nel quale però sono presenti depositi anche nel tratto a valle della scarpata di faglia, viene illustrato nel lavoro, in cui vengono descritte strutture ad evoluzione recente rilevate presso Campo Imperatore<sup>(8)</sup>.

Interessante è anche la situazione<sup>(9)</sup> che si rileva due chilometri più a NNE dell'esempio illustrato in Figura 6, all'intersezione del T. Sermenza, affluente di sinistra del F. Sesia, con la stessa Linea Insubrica. Anche qui la faglia dà origine ad una scarpata in roccia rivolta verso monte, che taglia diagonalmente il corso d'acqua. Come si può osservare in Figura 7, nel tratto a monte della scarpata, esiste una serie di terrazzi alluvionali che terminano bruscamente verso valle contro la scarpata stessa: questo ripetuto motivo morfologico non appare ragionevolmente riconducibile ad altrettanti andamenti originari del corso d'acqua, ma piuttosto il prodotto di un movimento trascorrente sinistro che ha allontanato verso SW i depositi e le scarpate di erosione abbandonate progressivamente dal corso d'acqua in destra idrografica, rispetto alla prosecuzione dello stesso corso d'acqua a valle della scarpata. Non si può evidentemente pensare che questa situazione si formi sempre all'intersezione di un corso d'acqua con una faglia trascorrente ad evoluzione recente, ma solo nei casi nei quali l'evoluzione del corso d'acqua consente la formazione e la conservazione

<sup>(8)</sup> Cfr. Fig. 19 in Carraro & Giardino (op. cit.).

<sup>(9)</sup> Entrambe le situazioni di Figure 6 e 7 sono state visitate e discusse in un'escursione preliminare del Progetto Finalizzato Geodinamica, il 17 giugno 1977.

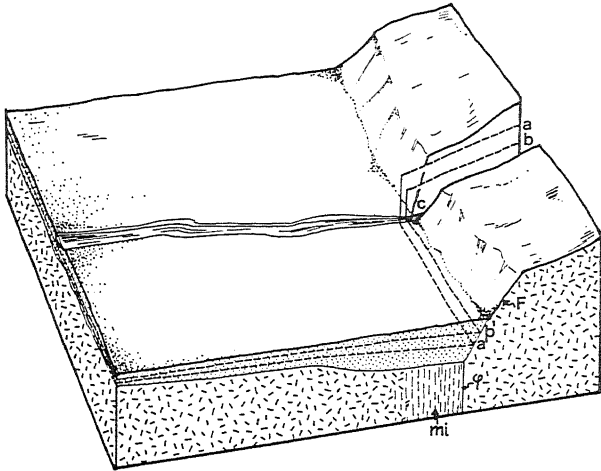


Fig. 6 - Stereogramma illustrante l'interazione tra l'evoluzione di una faglia e l'evoluzione di un corso d'acqua: il modello riproduce, schematizzato, l'affioramento della Linea Insubrica in rapporto con il Fiume Sesia all'altezza di Balmuccia (VC): f: faglia; F: scarpata di faglia; a, b: isocrone; c: alveo attuale; mi: miloniti.

*Stereogram showing the relationship between fault and water course evolution: the model schematically represents the relationship between the "Insubric" Line and River Sesia near Balmuccia (Vercelli prov.). f = fault; F = fault scarp; a, b = isochrones; c = present riverbed; mi = mylonite.*

di una serie di terrazzi, come quello in esame: questo motivo non si osserva infatti all'intersezione tra Sesia e Linea Insubrica, già descritto, dove l'eventuale successione di terrazzi o non si è mai formata, o è stata sepolta o obliterata da eventi alluvionali successivi. Il Fiume Sesia nel tratto a monte della scarpata di faglia, corre attualmente entro una estesa piana alluvionale.

In tutti i casi illustrati in questo paragrafo, gli effetti dell'evoluzione tettonica si manifestano su forme o su depositi che non sono più in rapporto diretto con il corso d'acqua. Si è già osservato, a proposito dell'esempio di Figura 6, come nel caso di forme e depositi in attuale rapporto con il corso d'acqua, non si osservi alcuna dislocazione; questa stessa circostanza può essere verificata anche nella situazione rappresentata in Figura 7. Essa è evidentemente da porre in relazione con il fatto che tra corso d'acqua e faglia in diretto rapporto tra loro, si realizzano condizioni di equilibrio dinamico; quindi (analogamente a quanto osservato per altri agenti di erosione nel caso dei rapporti tra faglia e superficie topografica, cfr. § 1.12.), in forme e depositi fluviali in evoluzione una faglia può indurre dislocazioni solo se la sua velocità di movimento è superiore a quella di erosione o di sedimentazione (estemporanea quest'ultima) del corso d'acqua stesso. In un corso d'acqua permanente questa è una circostanza che si verifica assai di rado e in pratica sempre e solo con faglie ad evoluzione istantanea (*surface faults* connesse con eventi sismici di elevata energia). Dunque, una faglia è in grado di "dislocare un corso d'acqua", cioè le forme ed i depositi più recenti in rapporto con il corso d'acqua stesso, solo se dotata di movimento molto veloce, istantaneo, oppure, nel caso di movimento relativamente meno veloce, se temporaneamente non

si abbia un deflusso d'acqua in grado di compensare la dislocazione. È questo il motivo per cui i noti esempi di "fiumi dislocati" riguardano corsi d'acqua di modeste dimensioni situati in regioni aride (es. California, Spagna, Cina; cfr. Fig. 8).

Da tutto quanto sopra esposto, si deduce che, in un contesto morfoclimatico come quello del nostro Paese, le evidenze dell'evoluzione recente di una faglia vanno ricercate di norma nei rapporti tra faglia e forme e depositi alluvionali non più in rapporto diretto con il corso d'acqua stesso.

#### 4. ANALISI DELLA GEOMETRIA COMPLESSIVA DI UNA FAGLIA IN RAPPORTO CON FORMAZIONI SUPERFICIALI

Tra le faglie per le quali è stato possibile verificare un'evoluzione recente, confrontando tra loro tutti i dati disponibili, si può stabilire una suddivisione in due gruppi: faglie la cui evoluzione recente rappresenta il prolungamento di una storia precedente (faglie "riattivate" o "rimobilizzate" della letteratura) e le faglie di neoformazione. A distinguere i due tipi vale il confronto tra l'entità complessiva del rigetto (rilevabile a livello del substrato)

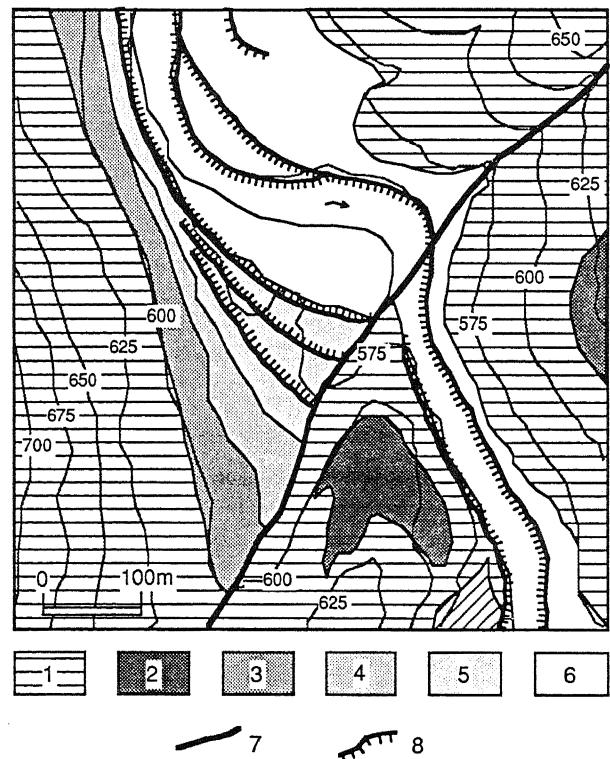


Fig. 7 - Carta dei terrazzi fluviali all'intersezione della Linea Insubrica con il T. Sermenza (Balmuccia, VC). 1: substrato pre-quaternario; 2, 3, 4, 5 e 6: generazioni successive di depositi alluvionali terrazzati; 7: linea di faglia; 8: scarpate dei terrazzi.

*Map of the river terraces in the site where Insubric Line crosses River Sermenza (near Balmuccia, Vercelli prov.). 1 = Pre-quaternary bedrock; 2 to 6 = subsequent families of terraced alluvial deposits; 7 = fault; 8 = terrace scarp.*



Fig. 8 - Dislocazione di due alvei torrentizi asciutti prodotti da una *surface fault* (Valle del Shikaguangou, Haiyuan, Cina settentrionale).  
*Two dry riverbeds displaced by a surface fault (Shikaguangou Valley, Haiyuan, northern China).*

e l'entità del rigetto recente (che si rileva più facilmente in corrispondenza alla superficie di appoggio della formazione superficiale)(cfr. Fig. 9).

Le faglie del primo tipo sono certamente le più comuni; anzi, si può dire che in tutti i casi, in cui, sia nelle Alpi che negli Appennini, è stato possibile raccogliere elementi sufficienti per giungere ad una verifica dell'evoluzione recente, la maggior parte delle faglie esistenti hanno mostrato di appartenere a questa categoria. Del resto è facilmente comprensibile: le soluzioni di continuità presenti in una massa rocciosa, se orientate compatibilmente con il campo di stress in atto, a meno che non siano cicatrizzate sono soggette ad evoluzione.

Nella Figura 10 viene presentato uno stereogramma nel quale vengono messe insieme le situazioni puntuali osservate studiando diverse faglie. Esso intende rappresentare i rapporti tra una faglia "rimobilizzata", il substrato e più termini di copertura; in base a quanto appena ricordato, questo schema rappresenta quindi la situazione più probabilmente diffusa nelle Alpi e negli Appennini. Per la spiegazione ed il commento delle singole situazioni si rinvia al disegno. A commento generale si sottolineano i seguenti punti:

- l'evoluzione della faglia a livello del corpo sedimentario A si è in gran parte espressa sottoforma di

deformazione continua e solo in parte minore in forma fragile, con piccole faglie che non rappresentano però fisicamente la stessa faglia principale;

- la faglia "rimobilizzata" non ha attualmente alcuna evidenza morfologica;

- il punto più significativo dell'intera evoluzione recente appare l'intersezione tra la faglia e la superficie di appoggio basale "a" del corpo sedimentario "A";

- anche in questo caso, come già ricordato a proposito dei rapporti tra faglia e corpo sedimentario, la geometria del rapporto tra faglia e corpo sedimentario "A" dà

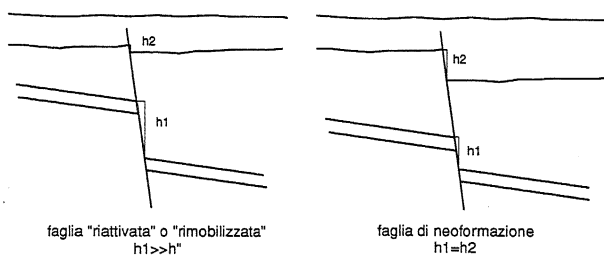


Fig. 9 - Confronto tra l'entità complessiva del rigetto e l'entità del rigetto recente in faglie "riattivate" ed in faglie di neoformazione.  
*Comparison between displacement total amount and recent displacement amount in "rejuvenated" and "new" faults.*



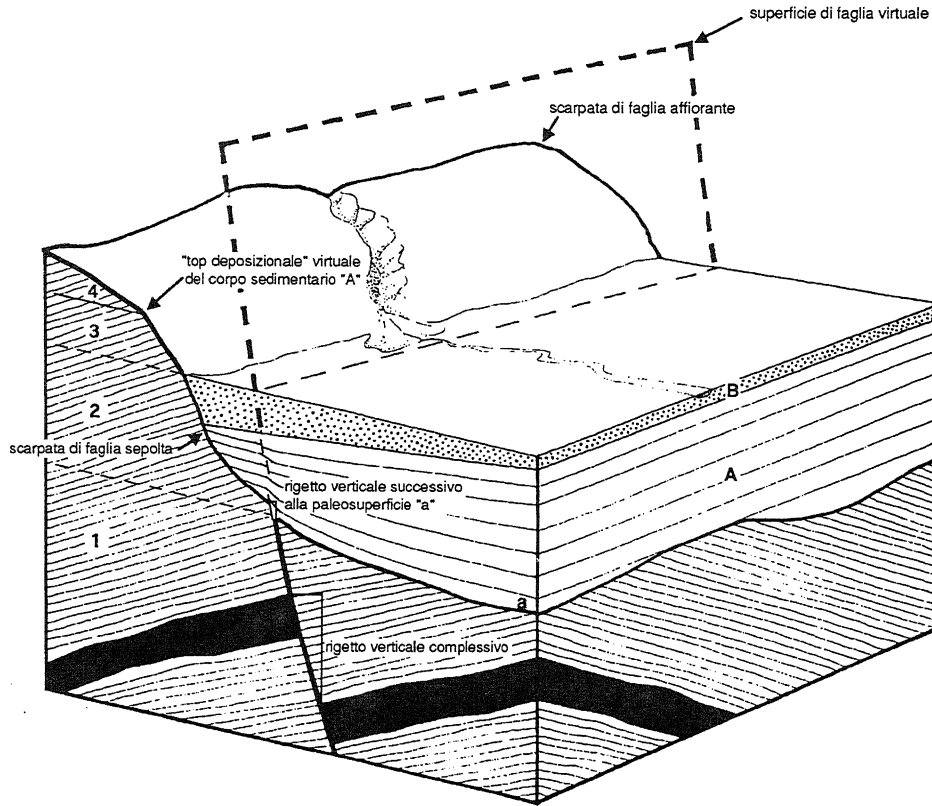


Fig. 10 - Stereogramma illustrante i rapporti di una faglia "riattivata" con il substrato e con due formazioni superficiali di copertura. 1) Tratto in cui la superficie di faglia, in continua evoluzione, non è ancora mai stata esumata. 2) Tratto in cui la scarpata di faglia, modellata in momenti successivi dall'alto al basso, è stata in seguito progressivamente fossilizzata dalla sedimentazione: la superficie di appoggio basale sepolta ("a") del corpo sedimentario "A" ha così potuto registrare la dislocazione successiva al proprio modellamento. In questo tratto gli strati del corpo sedimentario mostrano un'uncinatura progressivamente meno accentuata dal basso all'alto in conseguenza alla deformazione intercorsa dopo la loro sedimentazione. L'evoluzione della faglia si è tradotta, in questo caso, in una deformazione di tipo continuo tra il blocco di destra ed il blocco di sinistra. L'uncinatura non è rigorosamente progressiva in relazione sia alle variazioni della velocità di evoluzione della faglia, sia alle variazioni delle modalità di sedimentazione, sia all'interposizione di episodi erosionali. Le piccole faglie a rigetto progressivamente minore dal basso all'alto rappresentano la conseguenza diretta dell'evoluzione della faglia nei sedimenti dopo la sedimentazione. Il corpo "B", costituito da prodotti colluviali recenti e la sua superficie di appoggio basale non risultano dislocati dalla faglia perché la velocità di evoluzione di quest'ultima è troppo bassa per poter essere registrata da forme e da depositi così giovani. 3) Tratto in cui i sedimenti costituenti il corpo sedimentario "A" poggiavano precedentemente contro un settore della scarpata di faglia analogo a quello del tratto 2. Questi sono stati asportati dall'erosione e la scarpata è stata "riesumata" e rimodellata: è questa la causa della sua inclinazione minore che nel tratto 2. 4) Tratto in cui la scarpata di faglia presenta la pendenza minima perché il suo rimodellamento è iniziato prima della formazione del corpo sedimentario. Che si tratti di una scarpata di faglia è documentato dal rigetto verticale complessivo della faglia stessa, rilevabile nel tratto 1: questo risulta superiore a quello misurabile alla base del corpo sedimentario, attestando quindi un'evoluzione della faglia precedente la formazione del corpo sedimentario stesso "A".

*Stereogram showing the relationships between a "rejuvenated" fault and the bedrock, and superficial formations. 1) Not yet exhumed portion of an evolving fault surface. 2) Portion of fault surface, shaped from top to bottom during the course of time, which has progressively been fossilized by younger deposits: the buried basal surface ("a") of the sedimentary body "A" has thus recorded dislocations occurred after it had been modelled. Along this portion, sedimentary layers are hooked, hooking being less evident from bottom to top of the portion because of deformations occurred after deposition of sediments. In this case, fault evolution is expressed by a continuous deformation between the block on the right and that on the left. Hooking is not in a strict relation to either variations in the evolution rate of the fault, or variations of the way sedimentation occurred, or interposed erosive episodes. The small faults with a throw progressively smaller from bottom to top are the direct effect of fault evolution within sediments. Body "B" formed of recent colluvial deposits, and its basal surface have not been displaced by the fault because the evolution rate of the latter is too low as to be recorded by so young forms and deposits. 3) Portion where "A" sediments leaned against a portion of the fault scarp that is analogous to that of portion 2. The sediments have been eroded and the fault scarp was "exhumed" and re-modelled: consequently, inclination is smaller than in portion 2. 4) Portion of minimum dip of the fault scarp because its re-modelling started before the deposition of the sedimentary body. The assumption of fault scarp is proved by the fault total vertical displacement as seen on portion 1: there, the displacement is higher than that which can be measured at the base of the sedimentary body evidencing a fault evolution preceding the deposition of sediments "A".*

la sensazione di una faglia ad evoluzione discontinua: se si tiene però presente quanto già osservato (cfr. § 2.2.), appare più probabile che l'evoluzione sia stata continua e che discontinua sia solo la sua registrazione. Ciò vale

soprattutto per il forte divario tra il rigetto verticale complessivo ed il rigetto verticale successivo alla paleosuperficie "a": questo è correlabile con il lunghissimo intervallo di tempo, non noto, corrispondente all'asportazione



Fig. 11 - Contatto tettonico tra substrato e formazioni superficiali di copertura prodotto da una faglia di neoformazione (Valle dello Jogajji, Giappone).

*Tectonic contact between bedrock and cover formations due to a "new" fault (Jogajji Valley, Japan).*

per erosione della massa rocciosa fino al modellamento della paleosuperficie "a", durante il quale la faglia molto probabilmente continuava ad evolversi. Termini come "riattivata" e "rimobilizzata" esprimono invece implicitamente proprio la presunta discontinuità cui si è fatto cenno, per cui sarebbe opportuno accantonarli e sostituirli con altro più idoneo.

Si noti come il tratto in cui avviene il contatto diretto tra la superficie di faglia principale ed i sedimenti di copertura è molto limitato e corrisponde al gradino prodotto dall'evoluzione della faglia stessa nella superficie di appoggio basale dopo il seppellimento di quest'ultima: si tratta quindi di un contatto non primario, ma che si è venuto creando successivamente.

Le faglie di neoformazione sono decisamente meno comuni: esse rappresentano l'espressione diretta del campo di stress più recente ed in atto. Sulla scorta dei casi finora esaminati si è constatato che l'entità dei rigetti di depositi o di forme recenti legati a faglie di neoformazione sono sensibilmente maggiori di quelli che si misurano, sempre in depositi e forme di pari età, legati a faglie "rimobilizzate". In conseguenza di ciò, i tratti in cui la superficie di faglia porta a contatto diretto le formazioni del substrato con quelle delle formazioni superficiali di copertura possono essere molto sviluppati (cfr. Fig. 11).

Nella maggior parte dei casi non sono solo le faglie

di neoformazione a determinare contatti diretti, subverticali, tra substrato e formazioni superficiali di copertura: in termini statistici questi contatti corrispondono in prevalenza a scarpate non controllate da strutture tettoniche, secondariamente a scarpate di faglia (cfr. Fig. 10) e solo eccezionalmente a superfici di faglia.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla scorta di tutte le considerazioni esposte nei paragrafi precedenti, appare opportuno ribadire quanto anticipato in premessa e cioè che l'accertamento dell'evoluzione recente di faglie è un'operazione che richiede l'esistenza di evidenze obiettive del fenomeno, che non sempre esistono, nonché la possibilità di osservarle. Pertanto, come la carta geologica di una qualsiasi porzione di rilievo del nostro Paese, caratterizzato sempre da estese coperture di formazioni superficiali e da diffuse coltri di vegetazione, non può rappresentare che una parte, maggiore o minore, delle faglie realmente esistenti, così è possibile pensare di riuscire a riconoscere solo una minima parte delle faglie ad evoluzione recente di una determinata area.

L'accertamento dell'evoluzione recente di faglie riveste tuttavia una notevole importanza sotto il profilo

sia teorico che pratico: l'aspetto teorico riguarda la conoscenza del campo di stress recente ed in atto, con tutte le implicazioni che ciò comporta; l'importanza pratica risiede ovviamente nelle ricadute in opere di pianificazione e nella progettazione di grandi opere di ingegneria. Appare però evidente l'opportunità di tenere distinte le faglie "riattivate" da quelle di neoformazione per le diverse implicazioni che comportano sotto entrambi gli aspetti. E' sulla scorta di quanto finora

esposto che, nell'imminenza dell'avvio del nuovo progetto di cartografia al 50.000 del territorio italiano, si sottolinea l'opportunità di prevedere una simbologia apposita per contraddistinguere le faglie "rimobilizzate" e quelle di neoformazione.

*Testo definitivo ricevuto il 17. 10. 1992*