

# NUOVE TECNICHE DI FOTOINTERPRETAZIONE GEOLOGICA

Dr. ENRICO BARBIER  
Ente Italiano Rilievi Aerofotogrammetrici - Firenze

*Comunicazione presentata al X Congresso nazionale SIFET  
Varese, Aprile 1965*

Nel 1963 lo scrivente ha eseguito uno studio di fotointerpretazione geologica per il Consiglio Nazionale delle Ricerche applicando dei particolari metodi fotogeologici per un'indagine strutturale su una vasta area dell'Appennino settentrionale. In questa comunicazione si riferisce sulle tecniche fotogeologiche impiegate.

L'oggetto particolare della ricerca era costituito dal riconoscimento delle linee di frattura della crosta terrestre nella zona in esame e delle direzioni degli strati geologici che possono essere rilevate in gran numero sulle foto aeree. Sono stati così realizzati due documenti complementari della cartografia geologica tradizionale, una carta delle direzioni ed inclinazioni degli strati ed una carta delle fratture e lineazioni, la cui interpretazione è stata condotta confrontandoli con la distribuzione nell'area delle unità stratigrafiche e con le anomalie della gravità secondo Bouguer.

Lo studio è stato condotto su fotografie aeree stereoscopiche a scala 1:67.000.

Il primo approccio con la geologia della regione ha rivelato la necessità di possedere un quadro attendibile della giacitura delle diverse formazioni affioranti. D'altro canto gli studiosi dell'Appennino conoscono ormai bene le difficoltà connesse a tale problema. Per la realizzazione di un tale documento e con la speranza di un risultato positivo si è allora tentato una nuova via. Sono state innanzi tutto utilizzate tutte le osservazioni degli Autori precedenti, aggiungendo ad esse le poche osservazioni nuove fatte in campagna ed un grande numero di dati ottenuti dalla fotointerpretazione. Questa, per mezzo della visione stereoscopica delle fotografie, consente di ottenere in breve tempo numerosissime determinazioni relative alla direzione ed all'inclinazione degli strati.

In particolare la direzione si ricava sempre con ottima approssimazione mentre la valutazione dell'inclinazione può essere sovente meno precisa che a terra ed anzi, talora, sono necessarie considerazioni geomorfologiche per stabilirne il verso. In altri termini, se per esempio si riconosce che un pacco di strati ha direzione Nord-Sud, non è altrettanto agevole e certo stabilire su foto aeree se è inclinato verso Est o verso Ovest.

L'accuratezza della misura dell'inclinazione dipende molto dall'abilità del fotointerprete e dall'assetto dell'affioramento roccioso. Pendenze deboli sono difficili a determinarsi e lo stesso si può dire per strati inclinati più di 45°. In genere, in terreni con pendenza tra i 20° ed i 45°, queste possono venire apprezzate allo stereoscopio con errori non superiori ai 5°. A questo proposito è da tener presente

che l'esagerazione del rilievo nelle foto aeree è utile in regioni ove le inclinazioni degli strati sono deboli mentre induce sovente in errore allorché queste superano la cinquantina di gradi. Per misurazioni più accurate ci si può servire di semplici strumenti fotogrammetrici quali ad esempio le barre di parallasse o ricorrere a metodi speciali.

Annotate quindi le fotografie allo stereoscopio, una semplice operazione di raddrizzamento con un opportuno apparecchio consente di riportare i dati su una carta topografica, nel caso attuale con foto a scala 1:67.000 e per un lavoro a carattere regionale serve ottimamente il 100.000 dell'IGM.

Riportate le osservazioni su carta, nell'ambito di ciascuna formazione geologica i vari simboli che le definiscono esprimeranno l'andamento della medesima nei punti ove sono state effettuate le misure. Se queste risultano sufficientemente vicine, si potrà stimare di conoscere con buona approssimazione l'aspetto dell'affioramento dal quale provengono. In genere, ad una minore distanza tra i simboli consegue un'approssimazione minore nella definizione dell'assetto degli strati. La condizione necessaria per una rappresentazione esatta dell'andamento di una formazione risiede quindi nella possibilità di effettuare una misura di direzione in ogni punto nel quale si manifesta una variazione dal valore precedentemente determinato. Evidentemente ciò non è spesso attuabile e di conseguenza si è costretti ad un'interpretazione geometrica che stabilisce il valore possibile da attribuire ad un punto compreso tra due già determinati. Le linee che uniscono i simboli della fig. 1 hanno la proprietà che la tangente ad esse in ogni punto fornisce la direzione dello strato in quel punto. Si chiarisce tuttavia che ogni linea non giace sempre sulla superficie di un singolo strato, ma per evidenti necessità cartografiche inerenti ad un rapporto di riduzione più o meno notevole, può unire simboli localizzati su livelli geologici differenti che però appaiono come contigui.

L'elaborazione nella maniera sopra descritta delle misure di direzione ed immersione degli strati conduce alla realizzazione di una carta (carta delle direzioni di strato) che rappresenta una descrizione approssimativa dell'assetto delle formazioni geologiche stratificate. È da osservare ancora che questo particolare modo di interpolare ed estrapolare le singole informazioni per costituire un quadro di insieme rappresenta uno strumento di lavoro assai valido, sempreché venga preso nel suo vero significato. Il suo valore non risiede nell'accuratezza con la quale si esprime il reale assetto in un punto determinato, ma nella possibilità di visualizzare, sia pure nelle linee generali, i rapporti di giacitura di elementi tettonici differenti.

La realizzazione di una carta come questa descritta è eccezionalmente rapida ed accurata qualora si usino fotografie aeree e particolarmente indicata per aree estese, ove si può affidare lo studio particolare di un affioramento a dirette osservazioni di campagna, mentre è indispensabile per l'interpretazione strutturale avere un quadro d'insieme reale, completo e realizzato per quanto possibile in maniera economica.

Di notevole interesse per l'interpretazione strutturale è il secondo documento geologico realizzato e di cui si è accennato all'inizio, la carta delle « fratture » e delle « lineazioni » della superficie terrestre compresa nell'area in esame, rappre-

sentando esso una delle prime applicazioni di tecniche fotogeologiche moderne al suolo italiano.

Il Cloos, nel 1946, ha dato una definizione completa e documentata del termine « lineazione » già largamente usato in precedenza in vari modi. Tale definizione, estremamente generale, raccoglie le forme lineari riconoscibili in un corpo di rocce, prescindendo dalla genesi ed includendovi tutte le classi di dimensioni dalla scala microscopica a quella regionale. Rientrano pertanto nel piú ampio significato del termine gli assi delle pieghe, la stratificazione, le faglie, le diaclasi e tutti gli effetti di orientazione che si riscontrano in una roccia, siano essi di origine sedimentaria o tettonica.

La crosta terrestre, è noto, soggiace continuamente o ritmicamente per lunghi periodi di tempo a diverse sollecitazioni che traggono la loro origine dal moto di rotazione, dagli effetti gravitazionali della Luna, del Sole e dei pianeti, da variazioni di massa nella litosfera e sulla sua superficie e da quell'insieme di forze non ancora sufficientemente conosciute alle quali sono da ascrivere le deformazioni tettoniche.

Tali sollecitazioni hanno determinato una fratturazione della crosta terrestre secondo direzioni preferenziali all'origine delle quali va ascritta anche, secondo il Nishimura, una variazione in una caratteristica fisica della crosta, presentando questa un'elasticità nella direzione Nord-Sud minore di circa il 30% della medesima nella direzione Est-Ovest.

È con l'affermarsi delle fotografie aeree che l'indagine su tali particolarità della superficie terrestre riceve un grandissimo impulso.

Risulta così possibile discernere non solo gli allineamenti che si manifestano con una espressione topografica, riconoscibili talora anche sul terreno, ma numerose altre linee diritte che si evidenziano come sottili bande chiare o scure e possono significare caratteristiche lineari della vegetazione, o della distribuzione del colore del suolo, ovvero esprimere attraverso la successione di minimi particolari un allineamento nel reticolo idrografico o nella topografia della zona esaminata.

La lunghezza di tali segmenti è evidentemente assai variabile. Sulle foto aeree non è possibile ovviamente scendere al di sotto di una dimensione minima. Volendo dare un ordine di grandezza si può fare riferimento a lunghezze minime delle decine di metri con dei massimi, su foto a piccolissima scala, di alcune migliaia di chilometri come appaiono le lineazioni a carattere continentale sulla Terra e quelle riconosciute sulla Luna e su Marte.

Le fratture e le lineazioni evidenziano dunque sulla superficie terrestre delle zone di minore resistenza della crosta.

Ogni struttura geologica espressa in termini stratimetrici mostra associato anche un sistema di lineazioni che, oltre a rappresentare un aspetto complementare della stratimetria nella descrizione della struttura stessa può, in certi casi, costituirne l'elemento piú caratteristico.

L'esperienza in proposito indica, ad esempio, una densità assai maggiore di fratture riconoscibili in fotografia su aree sottoposte a sforzi di tensione rispetto a zone della superficie terrestre soggette a subsidenza o costituenti ampie sinclinali. Sui fianchi di larghe pieghe e sulle grandi flessure si localizzano i fasci piú densi di lineazioni. Da notare, ancora, che fitti sistemi di fratture accompagnano

usualmente forti variazioni del gradiente della gravità. La conoscenza dell'andamento di tali sistemi, in quanto aiutano a scoprire e descrivere forme tettoniche, ha determinato l'accresciuto interesse dei geologi verso questo nuovo campo d'indagine particolarmente in quelle aree nelle quali la scarsità di affioramenti rende estremamente incerta qualunque interpretazione strutturale.

Alcune centinaia di ricerche pubblicate sull'argomento illustrano e sviluppano tecniche intese ad utilizzare l'informazione espressa in termini di lineazione nella ricostruzione della storia geologica del campione considerato. Inoltre, un numero ormai rilevante di studi è stato specificamente dedicato alla valutazione del mezzo fotogeologico applicato alla raccolta di questo tipo d'informazione, per gli ordini di grandezza da macroscopico a regionale.

È probabile che un certo numero di lineazioni annotate possa avere un significato diverso da quello attribuito con il termine di « fratture » all'insieme qui considerato. È però anche assai bene stabilito, dai lavori citati sopra, che tale numero è abbastanza basso da non influire sensibilmente sulle grandezze utilizzate. In quest'ordine di idee si è aggiunto il termine « lineazione » di seguito a quello di « fratture » onde tener presente la possibile inclusione di una piccola minoranza di elementi il cui significato fisico non è sicuramente accertato.

L'annotazione delle fotografie allo stereoscopio e la susseguente cartografia delle lineazioni secondo il loro orientamento, produce documenti contenenti un gran numero di dati (Fig. 2). La tecnica statistica diviene quindi un mezzo praticamente indispensabile per l'ordinamento e la coordinazione dei medesimi, rendendo così possibile un'interpretazione secondo uno schema razionale.

Le due dimensioni prese comunemente in considerazione per tale studio sono la lunghezza della lineazione ed il suo azimuth, oltre ad una serie di caratteristiche morfologiche espresse in forma puramente qualitativa. Generalmente si usa computare la lunghezza totale delle lineazioni entro classi di azimuth di ampiezza definita. Nel presente caso si è ritenuta sufficiente un'ampiezza di 20°. Il totale di chilometri entro ciascuna classe viene espresso in percentuale della somma totale delle lunghezze di tutte le lineazioni dell'area. I valori risultanti da questo procedimento vengono riportati in diagrammi polari (Fig. 3) che offrono inoltre il vantaggio di mantenere gli azimuth e consentono così un comodo confronto con altre possibili informazioni a carattere direzionale quali ad esempio quelle provenienti dalla stratimetria o dalla geofisica.

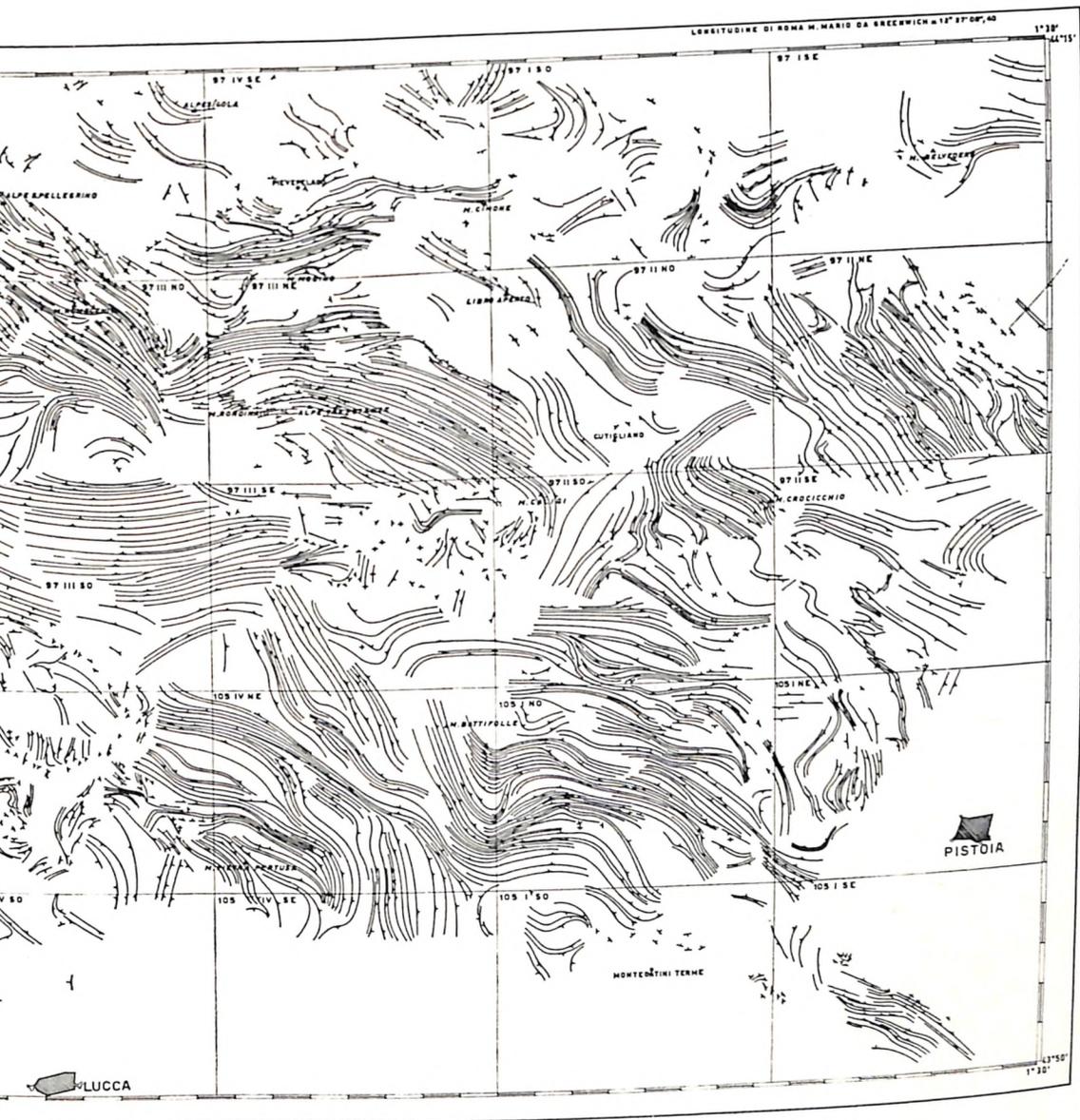


Fig. 1 - Carta delle direzioni di strato, scala 1:333.000 circa.



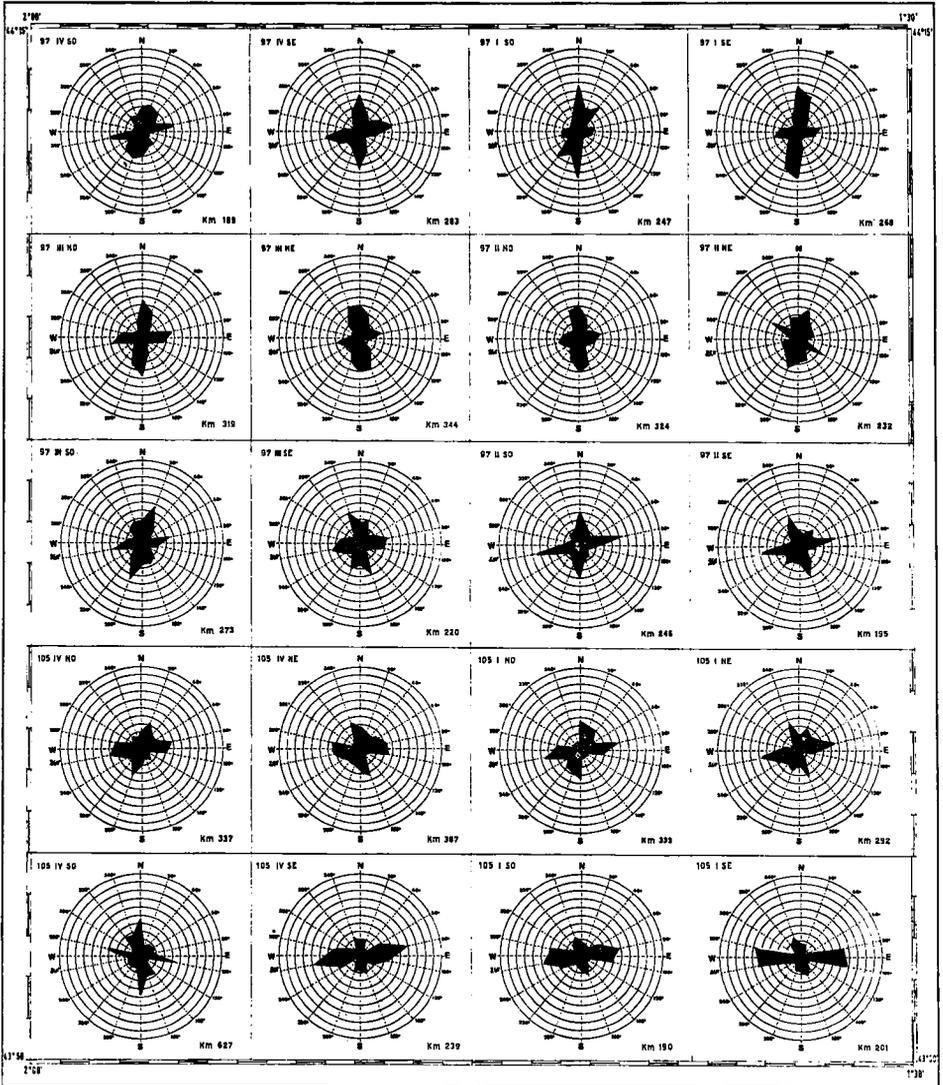


Fig. 3 - Diagrammi polari: distribuzione statistica delle fratture e delle lineazioni per unità di superficie di  $0^{\circ}5'$  lat -  $0^{\circ}7'30''$  long. Km. 239: chilometri di fratture e lineazioni per unità di superficie corrispondente ad una tavoletta IGM (una maglia del reticolo). Scala del reticolo 1:333.000 circa.