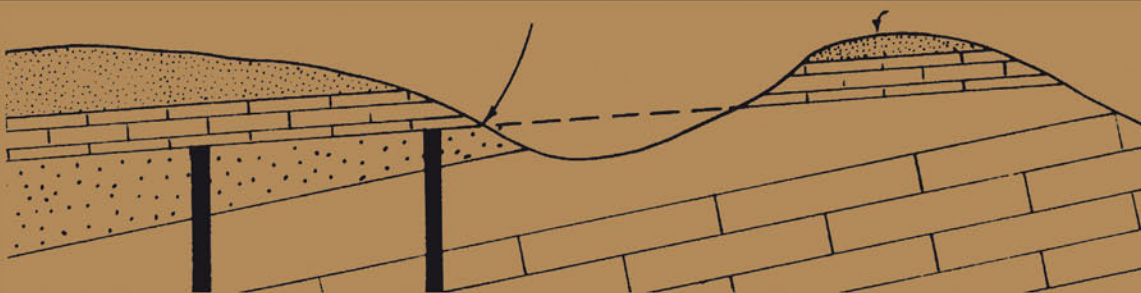
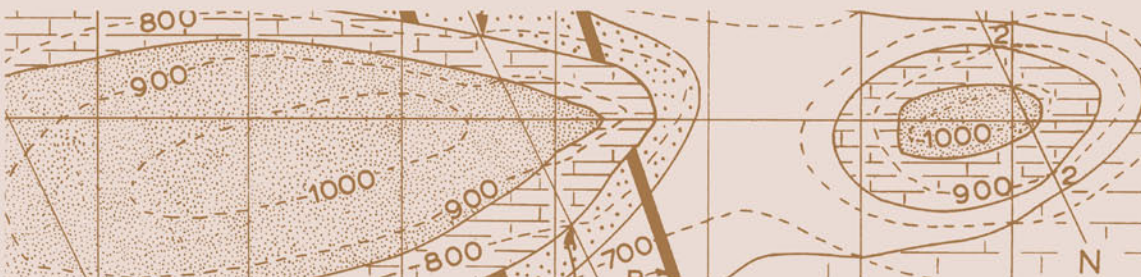
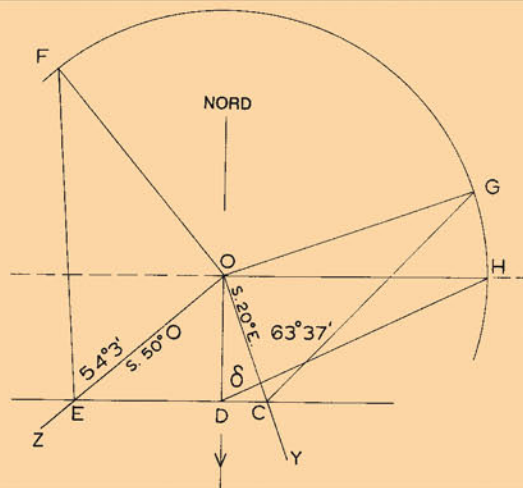
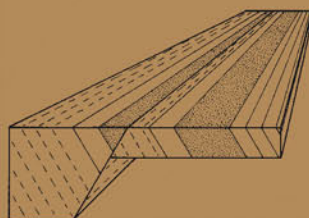
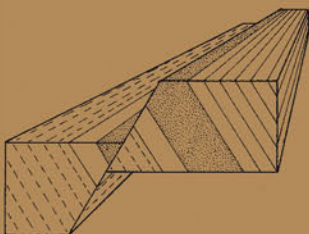
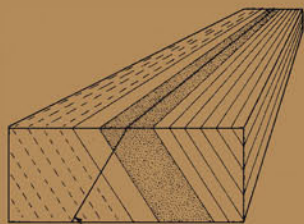


Brian Simpson

# LETTURA DELLE CARTE GEOLOGICHE

Edizione italiana a cura di  
Giacchino Cusimano e Pietro Di Stefano



Brian Simpson

# Lettura delle Carte Geologiche

*Edizione italiana a cura di*  
Giacchino Cusimano e Pietro Di Stefano

 DARIO  
FLACCOVIO  
EDITORE

Titolo originale: *Geological Maps*. Copyright © 1968 Brian Simpson.  
This edition of *SIMPSON: Geological Maps* is published by arrangement with  
Pergamon Press Plc, Headington Hill Hall, Oxford OX3 0BW, England.

Per l'edizione italiana:  
Copyright © 1992 by Dario Flaccovio Editore s.r.l., Palermo  
ISBN-10: 88-7758-147-6  
ISBN-13: 978-88-7758-147-1

*Traduzione:* Bruno Piatti  
*Revisione scientifica e adattamenti all'edizione italiana di:* Gioacchino Cusimano e Pietro Di Stefano  
Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo.

Ristampa: aprile 2013

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati per tutti i paesi. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore.

Stampato dalla Officine Grafiche soc. coop.  
via Prospero Favier, 10 - Palermo  
per ordine e conto di Dario Flaccovio Editore s.r.l.  
via Croce Rossa, 28 - 90144 Palermo  
[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it)

# INDICE

PREFAZIONE		7
LEGENDA DEI SIMBOLI LITOLOGICI UTILIZZATI NEL TESTO		8
<b>CAPITOLO 1.</b>	Carte topografiche	9
	Rappresentazione di semplici morfologie di terreni per mezzo di curve di livello	9
	Direzione, immersione, inclinazione reale e apparente di una unità litologica	11
	Rapporti tra giacitura delle unità litologiche e superficie topografica	11
	Metodi per la determinazione della direzione, immersione ed inclinazione di una successione di unità litologiche	14
	Come determinare sulla carta geologica direzione, immersione ed inclinazione di una successione di unità litologiche dall'andamento degli affioramenti	15
	Andamento e forma degli affioramenti in relazione alla topografia	21
<b>CAPITOLO 2.</b>	Determinazione dello spessore delle unità litologiche	22
<b>CAPITOLO 3.</b>	Pieghe	24
	Tipi di piega e loro individuazione sulle carte geologiche	24
<b>CAPITOLO 4.</b>	Faglie	34
	A. Terminologia descrittiva delle faglie	34
	B. Classificazione generale delle faglie	35
	C. Effetto delle faglie sugli affioramenti di unità litologiche stratificate	41
	D. Due esempi pratici sull'effetto delle faglie	41
	E. Determinazione del rigetto verticale di una faglia di immersione	41
<b>CAPITOLO 5.</b>	Discordanze stratigrafiche	57
	Determinazione dell'andamento dei confini litologici al di sotto di una discordanza	62
<b>CAPITOLO 6.</b>	Outliers e inliers	63
<b>CAPITOLO 7.</b>	Come completare gli affioramenti delle unità litologiche da affioramenti parziali	66
	Come tracciare gli affioramenti dai dati di perforazioni	66
<b>APPENDICE I.</b>	Angolo di inclinazione in sezioni geologiche a diversa scala orizzontale e verticale	76
<b>APPENDICE II.</b>	Alcuni metodi grafici per la determinazione di direzione, immersione ed inclinazione	77

<b>APPENDICE III.</b> Relazioni fra inclinazione reale ed apparente	83
<b>APPENDICE IV.</b> Soluzione di problemi relativi all'inclinazione reale ed apparente mediante proiezione stereografica	85
<b>APPENDICE V.</b> Esercizi	91
TESTI DI RIFERIMENTO	104
INDICE ANALITICO	105

## PREFAZIONE

Il presente volume è rivolto agli studenti che per la prima volta si accostano alla Geologia, in particolare modo a coloro che stanno affrontando i primi anni di università. Non vuole essere un trattato sulle carte geologiche ma piuttosto un'introduzione alla loro lettura e interpretazione. Il libro non deve essere considerato come fine a se stesso e la modalità, in qualche misura rigida e automatica, con cui saranno esposti i vari esempi, rappresenta soltanto un modo per sviluppare la capacità di visualizzare tridimensionalmente le carte geologiche e di interpretare l'assetto strutturale dei corpi rocciosi. Le carte schematiche riportate nel testo devono servire come guida alla lettura ed interpretazione delle carte geologi-

che ufficiali pubblicate dai servizi geologici dei vari paesi: le carte ideali per tale studio sono quelle prodotte dagli Istituti Geologici di paesi quali Inghilterra, Australia e Americhe.

Ritengo opportuno ringraziare il Prof. F.H.T. Rhodes e il Dr. R.L. Austin per la lettura dei manoscritti e per i numerosi e utili suggerimenti. I miei ringraziamenti vanno anche a Geir Lewis per il suo aiuto nella preparazione di alcuni diagrammi e al personale di segreteria dell'Università di Swansea che ha dattiloscritto il testo. Un ringraziamento particolare va a H. McKee per la preparazione dell'indice e a K.G. Stagg per la lettura e la correzione delle bozze.

## BRIAN SIMPSON

Professore Associato presso l'Istituto di Ingegneria Civile, F.G.S. dell'Università di Swansea (Inghilterra).

Brian Simpson nacque nello Yorkshire e frequentò l'Università di Liverpool dove conseguì la laurea in discipline scientifiche per le sue ricerche sulle rocce del Siluriano di Clwyd Range, nel Galles del Nord. Entrato nella Facoltà di Geologia dell'Università di Swansea nel 1933, fece parte di

tale Facoltà per 40 anni, in qualità di professore incaricato. Fu l'autore di numerosi libri e pubblicazioni scientifiche e fu un apprezzato consulente nel campo della Geologia. Le sue capacità di insegnamento furono principalmente rivolte agli studenti di Ingegneria Civile e Metallurgia che lo ricordano con affetto per la sua dedizione e cordialità.

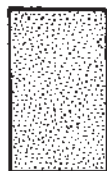
Si ritirò quindi a Spalding, nel Lincolnshire, dove morì nell'Ottobre 1982.

T.R. Owen

LEGENDA DEI SIMBOLI LITOLOGICI UTILIZZATI NEL TESTO



CALCARE



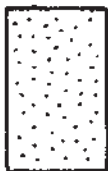
ARENARIA  
FINE



MARNA



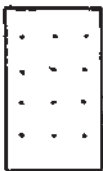
CALCARE O  
CALCARE  
OOLITICO



ARENARIA  
GROSSOLANA



ARGILLITE



ARENARIA  
GROSSOLANA  
BEN STRATIFICATA



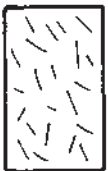
PELITE



CONGLOMERATO



DICCO  
(es. DOLERITE)



ROCCHE IGNEE  
(es. GRANITO)

N.B.: I SIMBOLI SI RIFERISCONO  
ALLE CARTE GEOLOGICHE DEL  
TESTO. PRIVE DI LEGENDA.  
NELLE ALTRE CARTE SONO IN-  
SERITE LEGENDE SPECIFICHE

# CAPITOLO 1

## CARTE TOPOGRAFICHE

La base per la realizzazione di una carta geologica è, generalmente, una carta topografica, nella quale la diversità morfologica dei terreni viene espressa mediante curve di livello, o *isoipse*, che congiungono tutti i punti di eguale altezza sul livello del mare. La scala comunemente utilizzata per le carte di rilevamento geologico è 1:10.660 (6 pollici per miglio); per un maggiore dettaglio si adoperano carte a scala 1:2.500 (25.344 pollici per miglio). Le carte a colori pubblicate dal Servizio Geologico d'Inghilterra sono a scala 1: 63.360 (1 pollice per 1 miglio)\*. La scala più utile per lo studio della morfologia dei terreni è generalmente 1:25.000, poiché a questa scala l'equidistanza relativa delle curve di livello consente un'immediata visione d'insieme, mentre a scale più grandi l'equidistanza fra le curve di livello fornisce una visione meno efficace,

## RAPPRESENTAZIONE DI SEMPLICI MORFOLOGIE DI TERRENI PER MEZZO DI CURVE DI LIVELLO

Rendersi conto del modo con cui le variazioni topografiche sono espresse sulle carte consente di visualizzare con facilità l'andamento del terreno basandosi sulla carta o su uno schizzo morfologico del terreno da una certa visuale. Ciò è importante per i geologi, poiché molto spesso la diversità morfologica del terreno è l'espressione della sua costituzione geologica.

Il metodo usuale per esprimere la morfologia di un terreno è quello delle curve di livello. Alcuni concetti base di tale metodo sono illustrati nelle Figure 1A-G.

Le curve di livello costituiscono un metodo per rappresentare sulla carta la posizione di tutti i punti

con uguale altitudine rispetto al livello medio del mare (abbreviato con l.m.), considerato di quota zero, per cui, ad esempio, la curva di livello di 800 metri indica in una carta topografica la posizione di tutti i punti che si trovano 800 metri al di sopra del livello medio del mare. In generale le curve di livello mostrano la distribuzione altimetrica dei terreni e le loro variazioni di pendenza. Le pendenze stimate risulterebbero differenti su carte topografiche di scala diversa ma con stessa equidistanza fra le curve di livello.

La Figura 1A mostra isoipse uniformemente spaziate nell'intervallo 300-800 metri s.l.m. e la sezione in corrispondenza alla traccia X-Y mostra una pendenza uniforme e un pendio relativamente moderato.

Nella Figura 1B il maggiore addensamento delle isoipse fra 800 e 300 metri s.l.m. evidenzia un cambiamento di pendenza del terreno in corrispondenza di tali curve.

La Figura 1C mostra un brusco cambiamento di pendenza in corrispondenza della curva di livello 800 metri: il notevole accostamento delle curve fra 800 metri e 300 metri s.l.m. indica una ripida scarpata, mentre l'ampia spaziatura delle curve 300 e 200 metri riflette un debole declivio.

La Figura 1D mostra una spianata in pendenza che si raccorda attraverso una scarpata ad una valle anch'essa in pendenza.

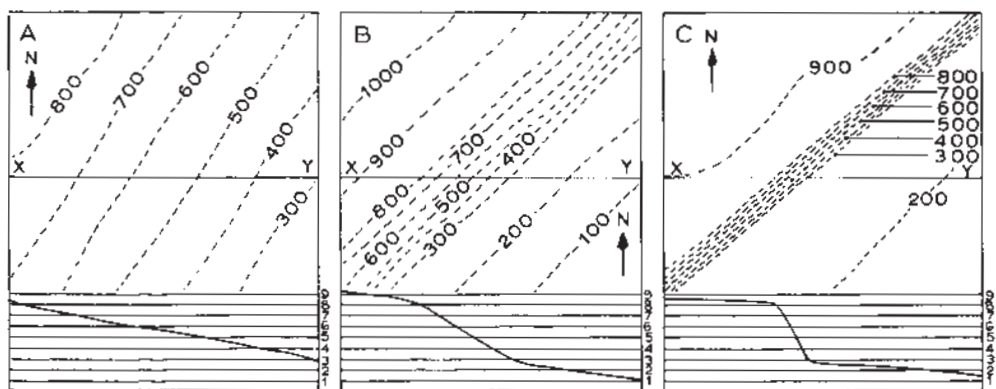
La Figura 1E mostra un paesaggio collinare e vallivo. Si noti che nelle valli le curve di livello con andamento a "V" presentano gli apici rivolti verso le curve di quota superiore, viceversa negli speroni l'apice delle "V" è rivolto verso curve di livello di quota inferiore (si noti anche la disposizione delle curve di livello rispetto al pendio come si osserva nella sezione di Figura 1E).

La Figura 1F mostra una collina dalle forme arrotondate: la parte superiore viene disegnata da curve di livello chiuse. Si noti che il versante occidentale è meno ripido di quello orientale, come risulta dall'andamento delle isoipse.

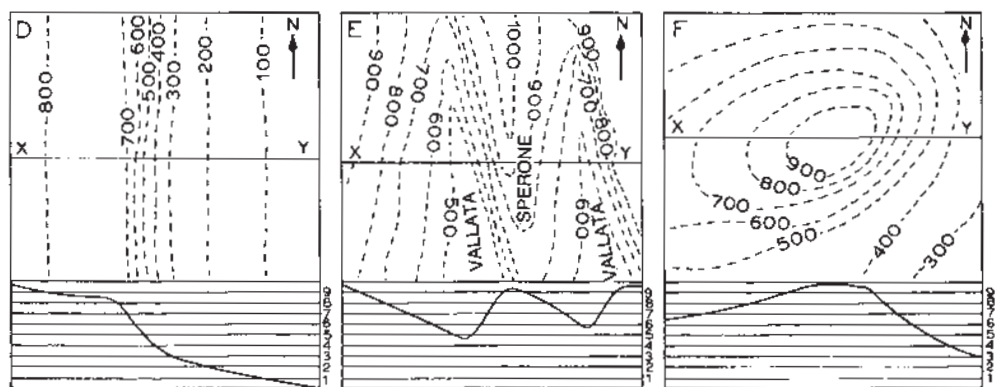
La Figura 1G mostra su una singola carta alcune delle morfologie più comuni. Un geologo deve po-

\* Il Servizio Geologico d'Italia pubblica carte geologiche a scala 1:100.000 o 1:50.000 derivate da rilievi geologici di base a scala 1:10.000 o 1:25.000.





GLI INTERVALLI VERTICALI IN TUTTE LE SEZIONI SONO DI 100 METRI



SCALA ORIZZONTALE E VERTICALE 0 500 1000 2000 m TUTTI I DIAGRAMMI SONO ALLA STESSA SCALA

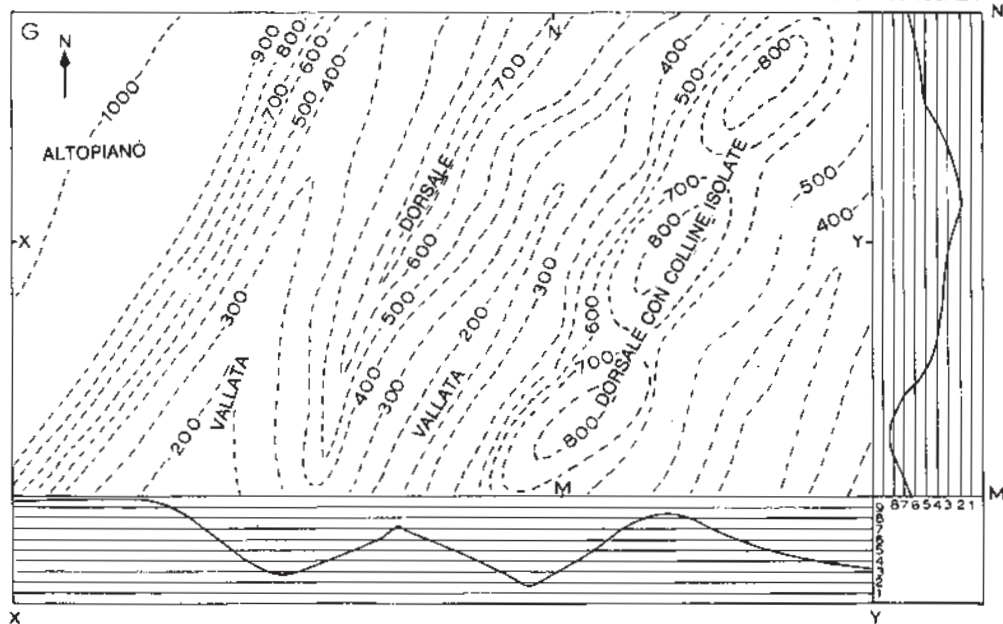


FIG. 1

ter leggere una carta con precisione ed interpretare con facilità l'assetto geologico di un'area. Per diventare esperto in questo campo lo studente dovrebbe esaminare ed interpretare accuratamente le carte topografiche non soltanto in laboratorio ma anche sul terreno.

### DIREZIONE, IMMERSIONE, INCLINAZIONE REALE E APPARENTE DI UNA UNITÀ LITOLOGICA

La maggior parte delle rocce sedimentarie, molte rocce metamorfiche e ignee (ad es. sills e dicchi), costituiscono delle unità litologiche tabulari, o strati, delimitati da superfici parallele. La posizione spaziale, o *giacitura*, di queste unità litologiche o di altri elementi di particolare significato geologico (come i piani di strato delle rocce sedimentarie, i piani di scistosità delle rocce metamorfiche, i contatti fra corpi ignei, le superfici di frattura, le faglie, ecc.) è definita da tre parametri: *direzione*, *immersione* e *inclinazione*.

La *direzione* è la linea immaginaria di intersezione tra la superficie geologica considerata e un piano orizzontale e viene riferita ai punti cardinali (es. NE-SO) o espressa come l'angolo che quella linea forma con la direzione nord-sud.

L'*immersione* è perpendicolare alla direzione ed indica il punto dell'orizzonte verso cui la superficie

immerge (con una direzione NE-SO si potrebbe avere una immersione a SE, o a NO).

L'*inclinazione* è l'angolo che la superficie geologica forma con un piano orizzontale misurato lungo la linea di massima pendenza. Invece dell'angolo di inclinazione può essere considerata la *pendenza* (*gradient*) che corrisponde al valore naturale della tangente dell'angolo di inclinazione.

La Figura 2 illustra uno strato di arenaria inclinato con un angolo  $B\hat{A}C$  rispetto all'orizzontale  $AC$ : l'angolo  $B\hat{A}C$ , che rappresenta la massima inclinazione rispetto all'orizzontale, è l'angolo di *inclinazione reale*. L'intersezione del piano dello strato con un piano orizzontale viene chiamata *direzione dello strato*. L'inclinazione in una direzione diversa da quella dell'immersione viene chiamata *inclinazione apparente*: tali inclinazioni sono sempre inferiori rispetto all'inclinazione reale. Lungo la direzione degli strati non si osserva alcuna inclinazione e gli strati appaiono orizzontali. Per un'analisi delle relazioni fra l'inclinazione apparente e reale si rimanda all'Appendice III.

### RAPPORTI TRA GIACITURA DELLE UNITÀ LITOLOGICHE E SUPERFICIE TOPOGRAFICA

Due caratteristiche influenzano l'affioramento di una unità litologica: la sua inclinazione e l'andamento della topografia.

La Figura 3A mostra l'affioramento di uno strato orizzontale di arenaria, come è possibile evidenziare nella sezione effettuata lungo  $X-Y$ . Dall'esame della carta geologica risulta evidente che uno strato orizzontale avrà affioramenti e quindi confini dei piani di stratificazione, paralleli alle curve di livello. L'andamento morfologico dei versanti di un dato territorio influenza l'estensione degli affioramenti delle unità litologiche; ciò risulta evidente considerando la larghezza dell'affioramento in  $ab$  e  $AB$ : nel primo caso ( $ab$ ), l'affioramento è su un pendio più ripido che nel secondo e la sua proiezione sulla carta è, di conseguenza, più stretta che in  $AB$ .

Nella Figura 3C le strisce nere rappresentano affioramenti di dicchi verticali che sulla carta geologica risultano come strisce ad andamento rettilineo, in quanto non sono influenzate da alcuna diversità topografica. La sezione lungo  $X-Y$  mostra questi dicchi verticali e verifica che il loro spessore in sezione varia in funzione dell'angolo formato dal dicco con la traccia della sezione. Nel punto  $D$  la traccia della sezione è quasi perpendicolare al dicco e quindi evidenzia uno spessore prossimo a quello reale. Nei punti  $A$  e  $B$  l'ampiezza del dicco

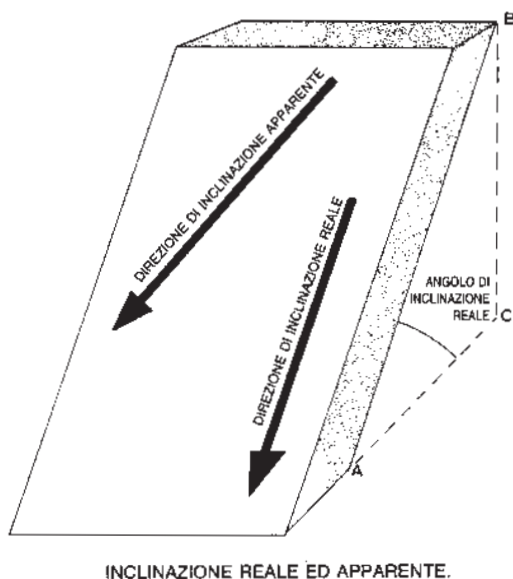
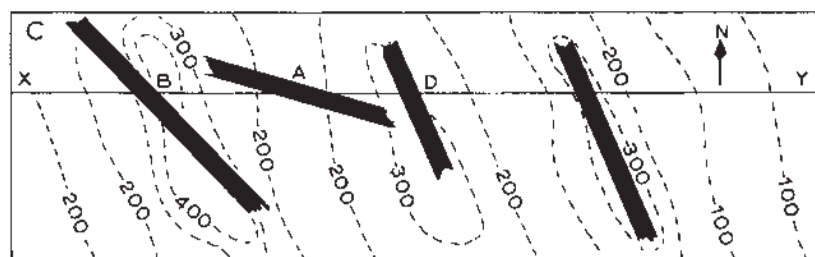
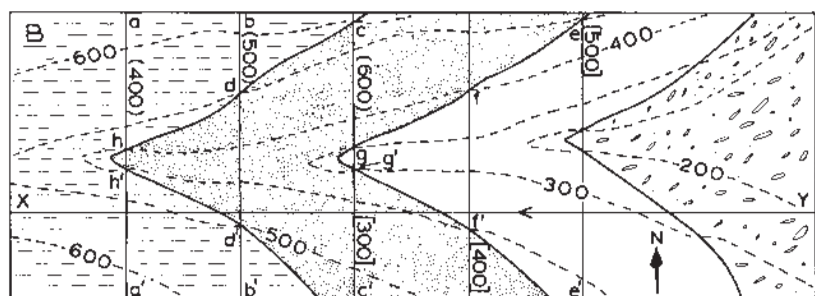
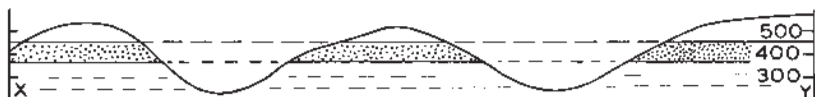
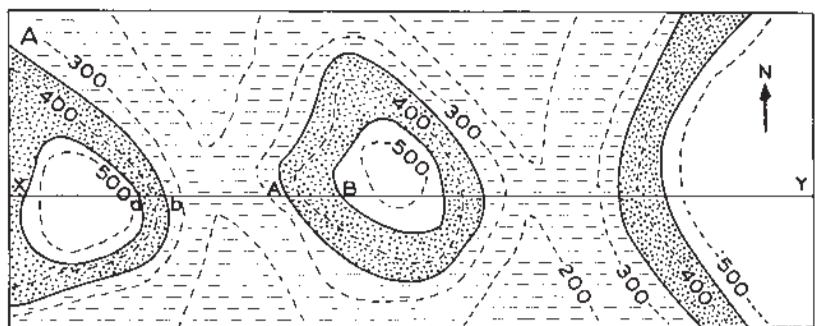


FIG. 2



SCALA ORIZZONTALE E VERTICALE  
IN TUTTI I DIAGRAMMI



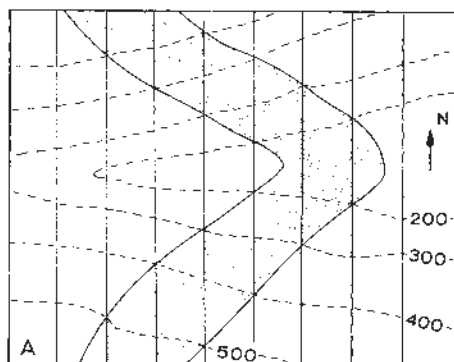
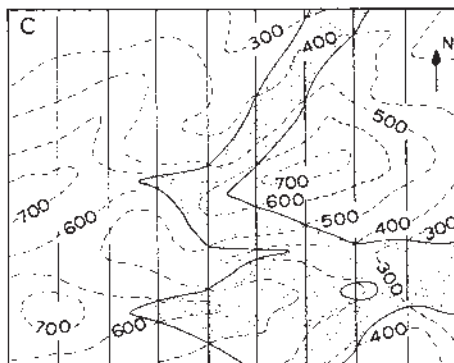
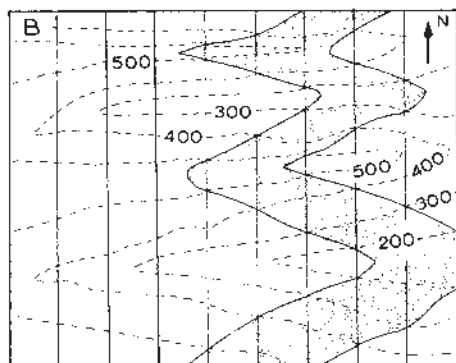
FIG. 3

in sezione è superiore allo spessore reale poiché il dicco e la traccia della sezione risultano quasi paralleli.

Nella Figura 3B lo strato di arenaria presenta un'immersione verso ovest. Ciò può essere verificato esaminando l'affioramento nei punti *e*, *f* e *g* che si trovano rispettivamente a 500, 400 e 300 metri s.l.m., per cui l'inclinazione dello strato è quella risultante da *e* a *g*: lo stesso tipo di ragionamento può essere condotto per il limite superiore dell'arenaria, osservando il dislivello che intercorre da *d* a *h* oppure da *d'* a *h'*. L'importanza delle linee di direzione verrà maggiormente esaminata più avanti; esse sono state introdotte qui per evidenziare l'inclinazione degli strati. La direzione reale dello strato può essere ottenuta congiungendo *ff'* e *gg'* sulla superficie inferiore dell'arenaria, oppure *dd'* o *hh'* sulla superficie superiore, quindi, in realtà, tracciando curve di livello rettilinee sulle superfici di strato. L'incli-

nazione reale è perpendicolare alla direzione *c*, poiché fra le linee di direzione *ff'* e *gg'* esiste un dislivello di 100 metri su una distanza di 500 metri, la pendenza è di 1 a 5, corrispondente ad una inclinazione di 11°20'. I numeri in parentesi quadra si riferiscono al limite inferiore dello strato, mentre quelli in parentesi tonda quello superiore.

Nel caso di Figura 3B l'interrelazione fra lo strato di arenaria inclinato e la topografia provoca lo svilupparsi di sinuosità nell'affioramento. I limiti dell'unità litologica assumono in pianta un caratteristico andamento a "V". In questo caso l'apice della "V" è rivolto verso monte. Se l'arenaria immergesse ad est, l'apice della "V" sarebbe rivolto verso valle. Tale caso viene illustrato nella Figura 4. In particolare in questo esempio, lo stesso strato con la medesima inclinazione presenta affioramenti sempre più articolati all'aumentare della complessità topografica.



LO STRATO DI ARENARIA NELLE TRE CARTE GEOLOGICHE A, B e C (TUTTE ALLA STESSA SCALA) HA UGUALE SPESSORE, DIREZIONE, IMMERSIONE ED INCLINAZIONE. LA CRESCENTE COMPLESSITÀ DEGLI AFFIORAMENTI IN A, B e C DIPENDE ESCLUSIVAMENTE DALLA MORFOLOGIA.

**ESEMPI DI CARTE GEOLOGICHE CHE EVIDENZIANO LA VARIAZIONE NELLA FORMA DEGLI AFFIORAMENTI IN RELAZIONE ALLA COMPLESSITÀ TOPOGRAFICA.**

FIG. 4

## METODI PER LA DETERMINAZIONE DELLA DIREZIONE, IMMERSIONE ED INCLINAZIONE DI UNA SUCCESSIONE DI UNITÀ LITOLOGICHE

### 1. Metodo delle linee di direzione

La Figura 5 mostra gli affioramenti di una successione di unità litologiche in un'area con una morfologia irregolare: poiché gli affioramenti intersecano le curve di livello determinando andamenti sinuosi, essi devono essere inclinati rispetto all'orizzontale.

La direzione può essere determinata nel modo seguente.

Si consideri il limite tra la pelite e il calcare nei punti  $a$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$ ; questi punti si trovano tutti a 300 metri s.l.m.. Una linea che congiunge i quattro

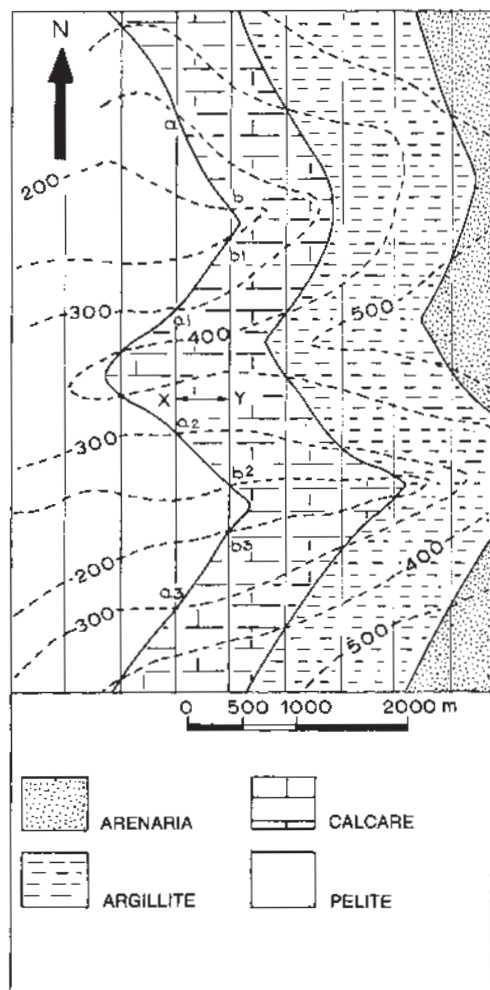


FIG. 5

punti è una *linea di direzione* o *isoipsa di strato*; essa è, in effetti, una curva di livello su una superficie piana ed è quindi rettilinea. Una seconda linea di direzione dello stesso limite, tracciata congiungendo i punti  $b$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$  è parallela alla prima ed è ad un'altitudine di 200 metri s.l.m. sulla superficie inferiore del calcare. Può ora essere determinata l'inclinazione della superficie inferiore del calcare, che è la stessa della superficie superiore della pelite: il punto  $X$  si trova sulla linea di direzione a 300 metri e il punto  $Y$  su quella a 200 metri; quindi la superficie dello strato presenta un dislivello di 100 metri fra  $X$  e  $Y$ , che sono distanti 500 metri in orizzontale, come può essere facilmente rilevato dall'esame della carta geologica. Poiché la superficie presenta un dislivello verso est, l'immersione, che per definizione è normale alla direzione, risulta verso est. L'inclinazione del limite inferiore del calcare sarà di 1 a 5 espressa come pendenza oppure di  $11^{\circ}20'$  espressa come valore angolare\*.

È possibile ora tracciare linee di direzione per ciascun limite litologico unendo i punti di uguale quota del limite considerato. In tutta la carta geologica esaminata le linee di direzione sono equidistanti e può essere utilizzato lo stesso gruppo di linee di direzione (ma con valori diversi) per tutti i limiti. Ciò dipende dal fatto che le unità litologiche presentano uguale spessore e la stessa giacitura (unità litologiche concordanti).

### 2. Da un affioramento parziale che interseca tre o più curve di livello

In Figura 6 lo stesso metodo utilizzato nella Figura 5 consente di determinare la direzione e l'inclinazione degli strati. Tuttavia, in questo caso può essere utilizzato anche un secondo metodo. In questo esempio il limite calcare/argillite interseca le curve di livello a 600, 500, 400, 300 e 200 metri s.l.m. rispettivamente nei punti  $B, C, D, E$  e  $A$ . Per determinare la direzione e l'inclinazione del limite si uniscono i punti  $B$  e  $A$ . Il limite calcare/argillite si assume come superficie piana, quindi esiste una pendenza uniforme fra i punti  $B$  e  $A$  e fra questi due punti la superficie ha un dislivello di 400 metri: se si divide la distanza fra  $B$  e  $A$  in quattro parti uguali, le distanze  $BC'$ ,  $C'D'$ ,  $D'E'$  e  $E'A$  rappresentano ciascuna la distanza orizzontale con dislivello di 100 metri mentre  $C'$ ,  $D'$  e  $E'$  hanno quote rispettivamente di 500, 400 e 300 metri s.l.m. Se si congiunge  $C$  con  $C'$  e si prolunga la linea sulla carta, essa rappresenterà la li-

\* Essendo la pendenza 1:5, data la relazione  $p=tg \theta$ , risulta  $tg \theta=0,2$  da cui mediante l'uso delle tavole dei valori naturali della funzione tangente si ha  $\theta=11^{\circ}20'$ .

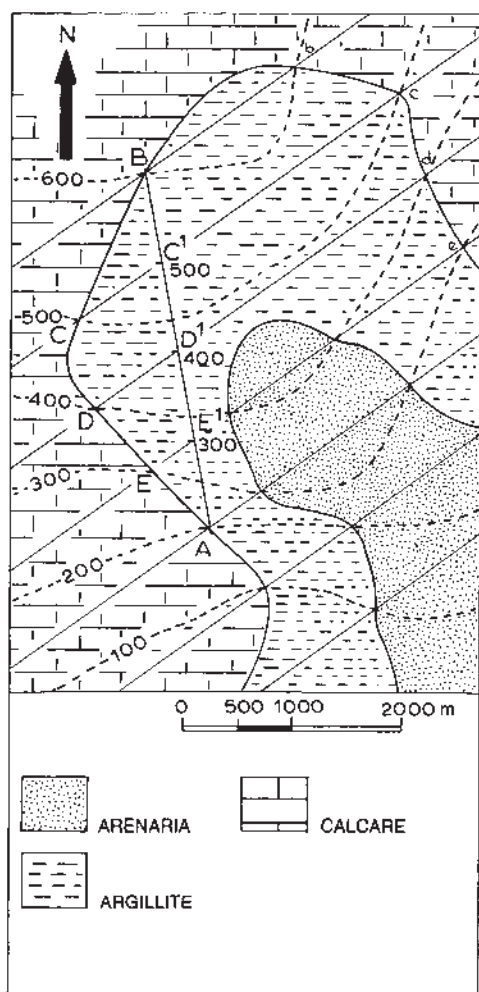


Fig. 6

nea di direzione di 500 metri (*curva di livello dello strato o isoipsa di strato*) del limite calcare/argillite. È possibile costruire altre linee di direzione analoghe a 400 metri e a 300 metri s.l.m. mentre possono essere tracciate sull'intera carta linee parallele ad esse con la stessa spaziatura, per completare le isoipse di strato del limite calcare/argillite.

### 3. Dai dati di perforazione

Nella Figura 7 si supponga che siano stati effettuati tre pozzi nei punti A, B e C rispettivamente alle quote topografiche di 500, 675 e 520 metri s.l.m.

Si supponga che il limite superiore di una unità litologica costituita da arenaria affiori in A e che lo si incontri alla profondità di 675 m e 320 m rispettivamente nei pozzi B e C.

La superficie dell'arenaria avrà quindi il seguente andamento: 500 metri s.l.m. in A; altitudine zero in B e 200 metri s.l.m. in C.

Se si considera la superficie dello strato di arenaria come un piano, esso presenta un dislivello di 300 metri da A a C; di 500 metri da A a B e di 200 metri da C a B.

Se si divide AC in tre parti uguali, AA', A'A'' e A''C, ciascuna parte rappresenta la distanza orizzontale in cui la superficie dello strato di arenaria ha un dislivello di 100 metri nella direzione di C, mentre A, A', A'' e C saranno rispettivamente a 500, 400, 300 e 200 metri di altitudine sulla superficie dell'arenaria.

Se anche AB viene diviso in cinque parti uguali, Aa, aa', a'a'', a''a''', a'''B, allora a, a', a'', a''' e B si trovano a 400, 300, 200, 100 e 0 metri s.l.m. sulla superficie dello strato di arenaria.

Con un procedimento analogo è possibile verificare che C' si trova ad un'altitudine di 100 metri s.l.m. sulla superficie dell'arenaria.

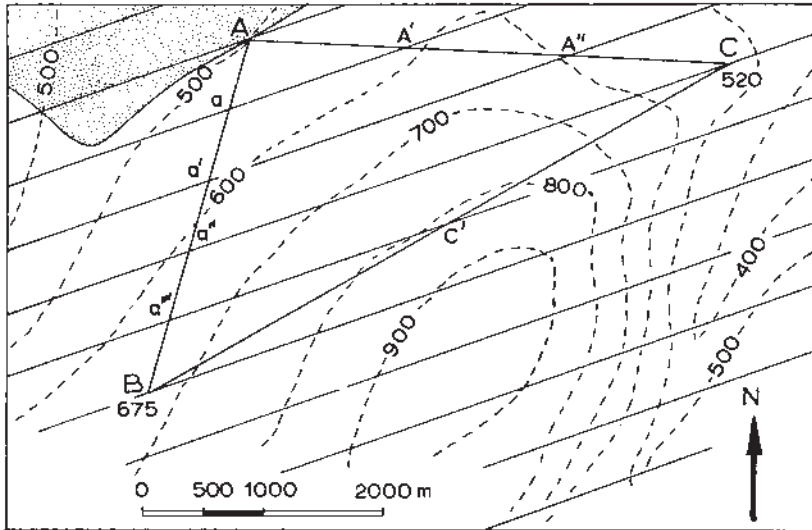
Un'attenta analisi di quanto esposto evidenzia che i punti a e A' si trovano ad un'altitudine di 400 metri s.l.m. sulla stessa superficie dello strato di arenaria e che una curva che li congiunge sarebbe una curva di livello retta o di direzione a 400 metri s.l.m. sulla superficie dell'arenaria; altre linee di direzione possono essere tracciate fra i punti a'A'' a 300 metri s.l.m.; fra a''c a 200 metri s.l.m.; fra a'''C' a 100 metri s.l.m.; le linee fra A e B, parallele a queste linee di direzione, sono linee di direzione rispettivamente a 500 metri e a 0 metri s.l.m.

Nel punto A, attraverso cui passa la linea di direzione a 500 metri, la superficie dell'arenaria affiora e ad essa risulta sovrapposto uno strato di argillite. Il fatto che l'arenaria sia stratigraficamente sottostante all'argillite e non viceversa può essere dimostrato considerando l'inclinazione dello strato di arenaria. Le linee di direzione sulla sua superficie evidenziano un dislivello verso sud-est che indica l'immersione. La distanza orizzontale fra ciascuna linea di direzione è 500 metri, quindi lo strato ha una pendenza di 1 a 5, ovvero una inclinazione di 11°20' verso sud-est.

Altri esempi relativi all'utilizzo di questo metodo vengono riportati nella sezione "Come completare gli affioramenti di unità litologiche da affioramenti parziali".

### COME DETERMINARE SULLA CARTA GEOLOGICA DIREZIONE, IMMERSIONE ED INCLINAZIONE DI UNA SUCCESSIONE DI UNITÀ LITOLOGICHE DALL'ANDAMENTO DEGLI AFFIORAMENTI

La Figura 8 è uno stralcio di carta geologica di una zona dell'Inghilterra del Sud, in cui l'erosione



LA SIMBOLOGIA DELL'ARGILLITE È OMESSA PER EVIDENZIARE LE LINEE DI DIREZIONE

Fig. 7

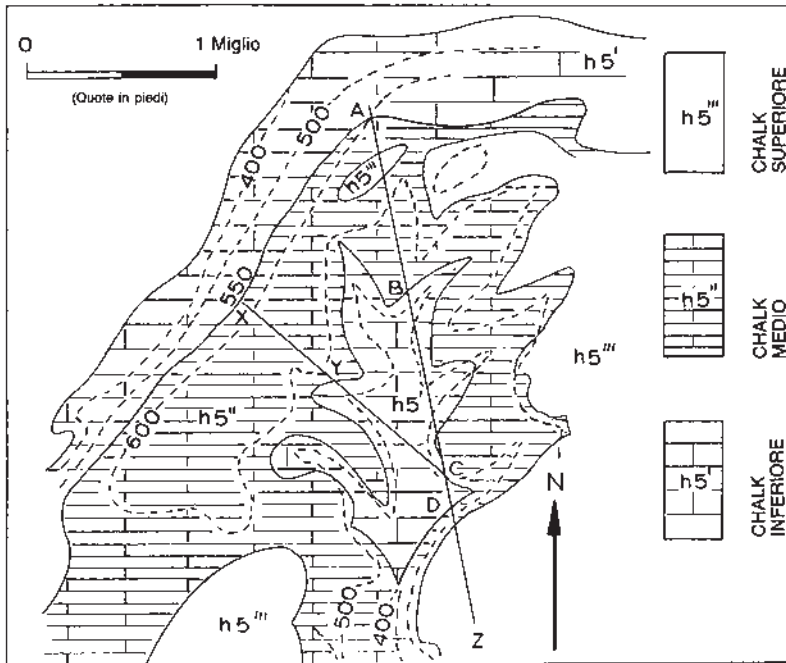


Fig. 8

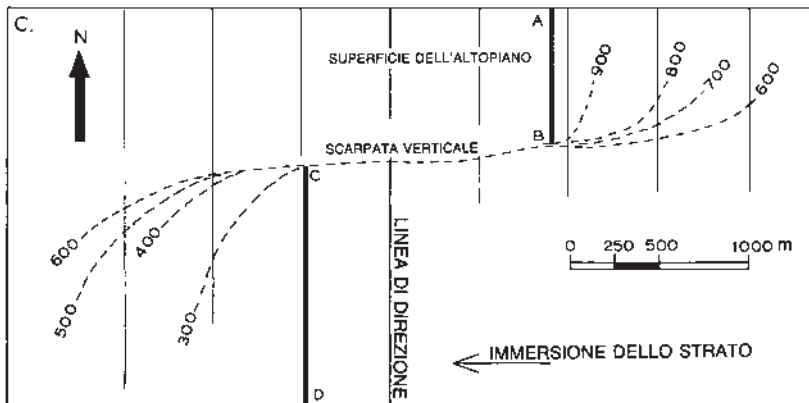
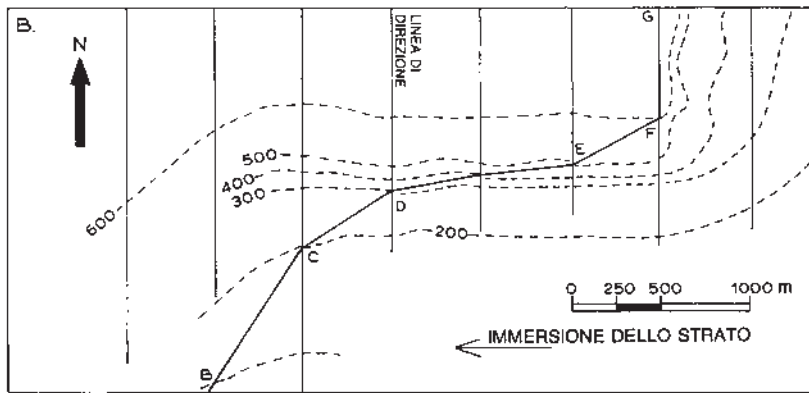
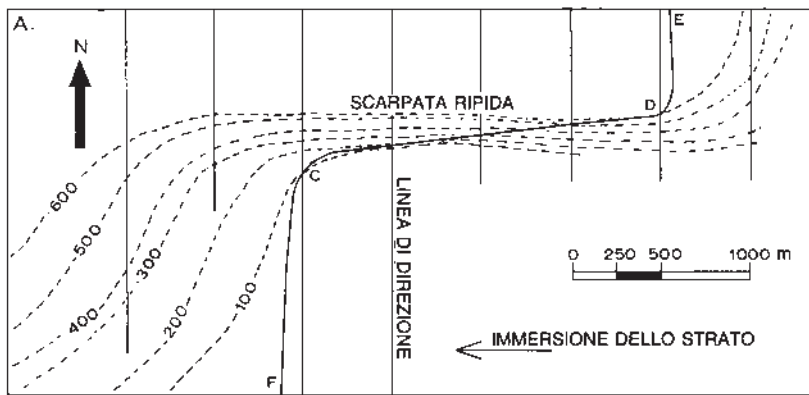


FIG. 9



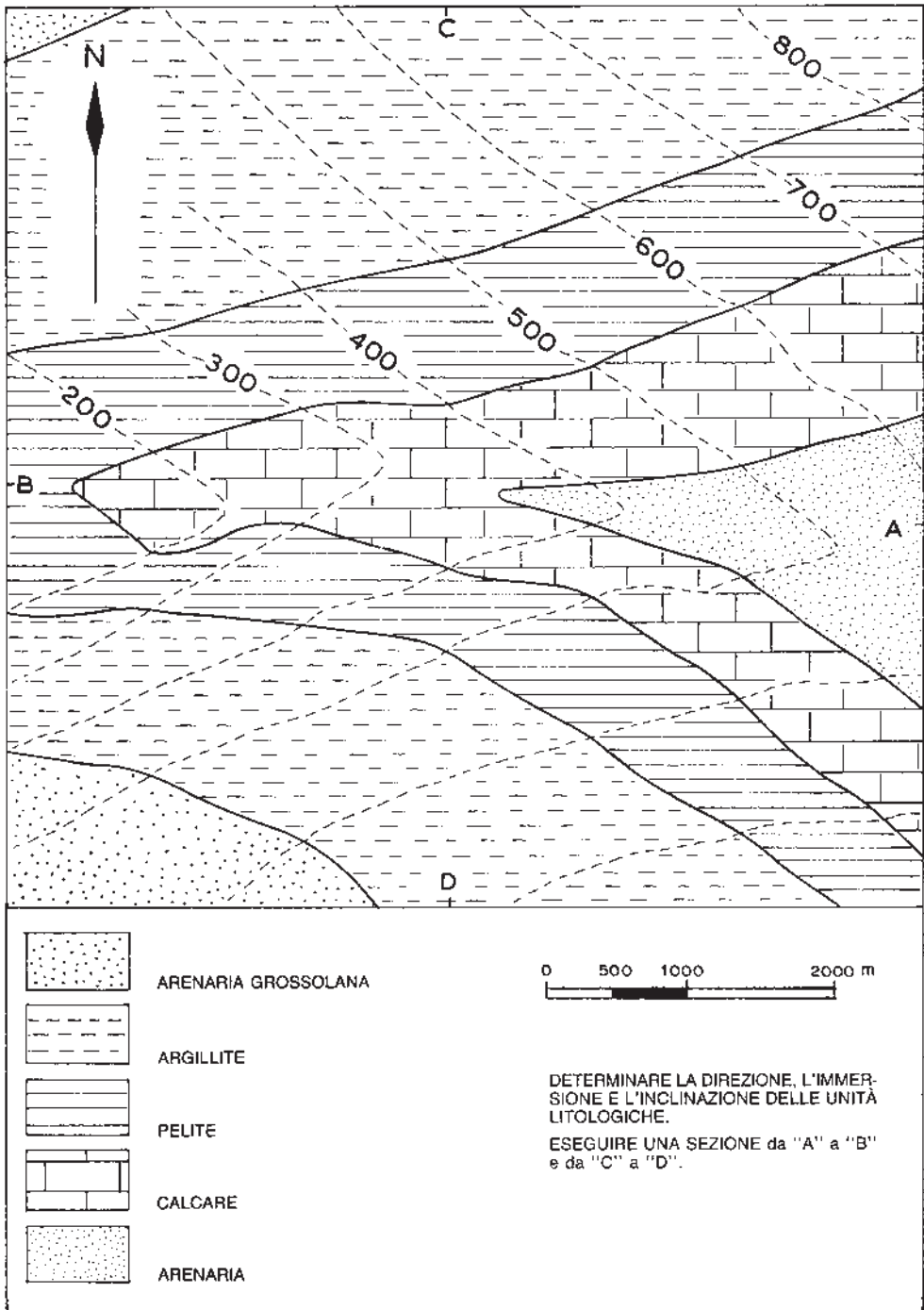


FIG. 10

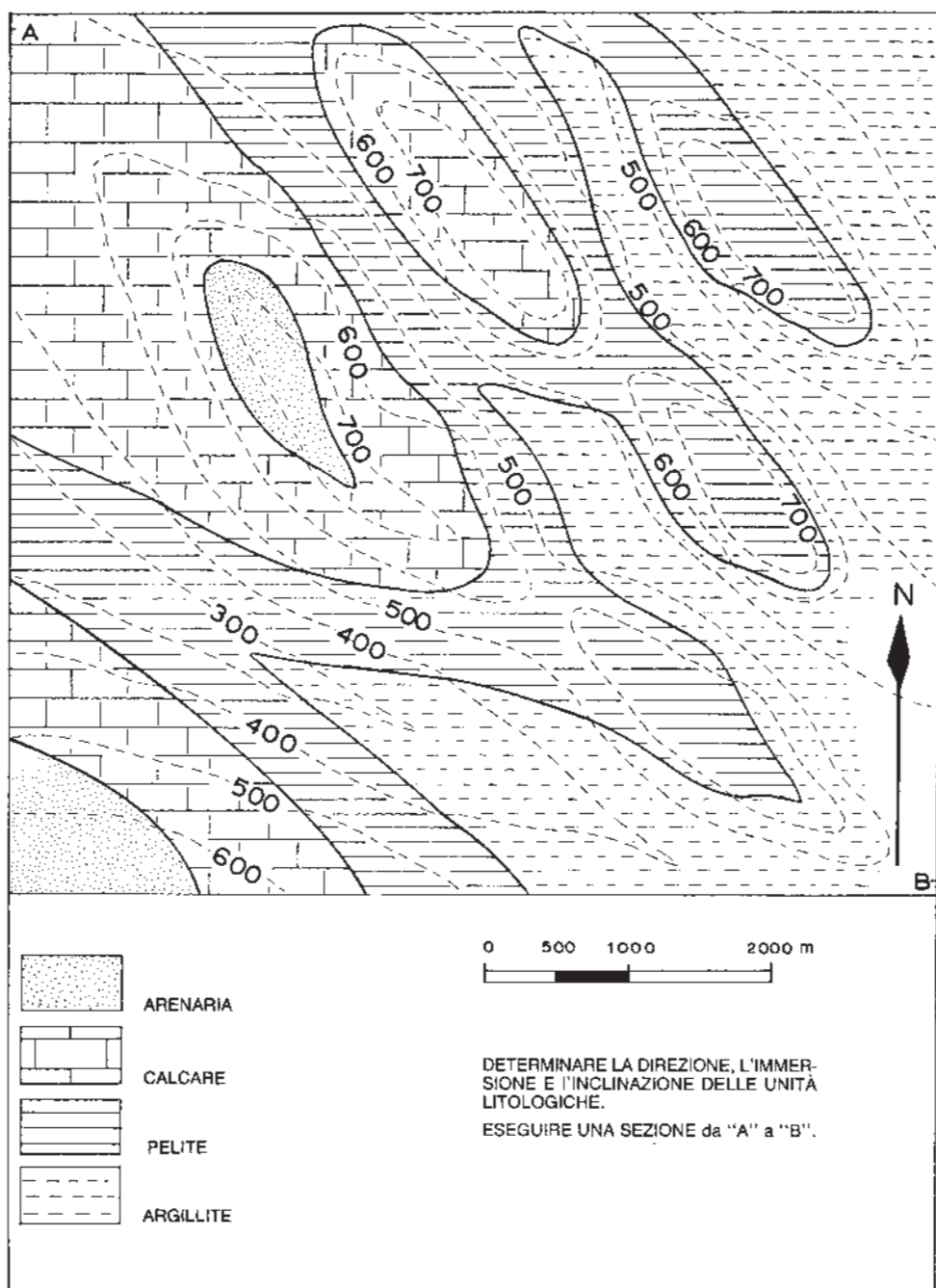


FIG. 11

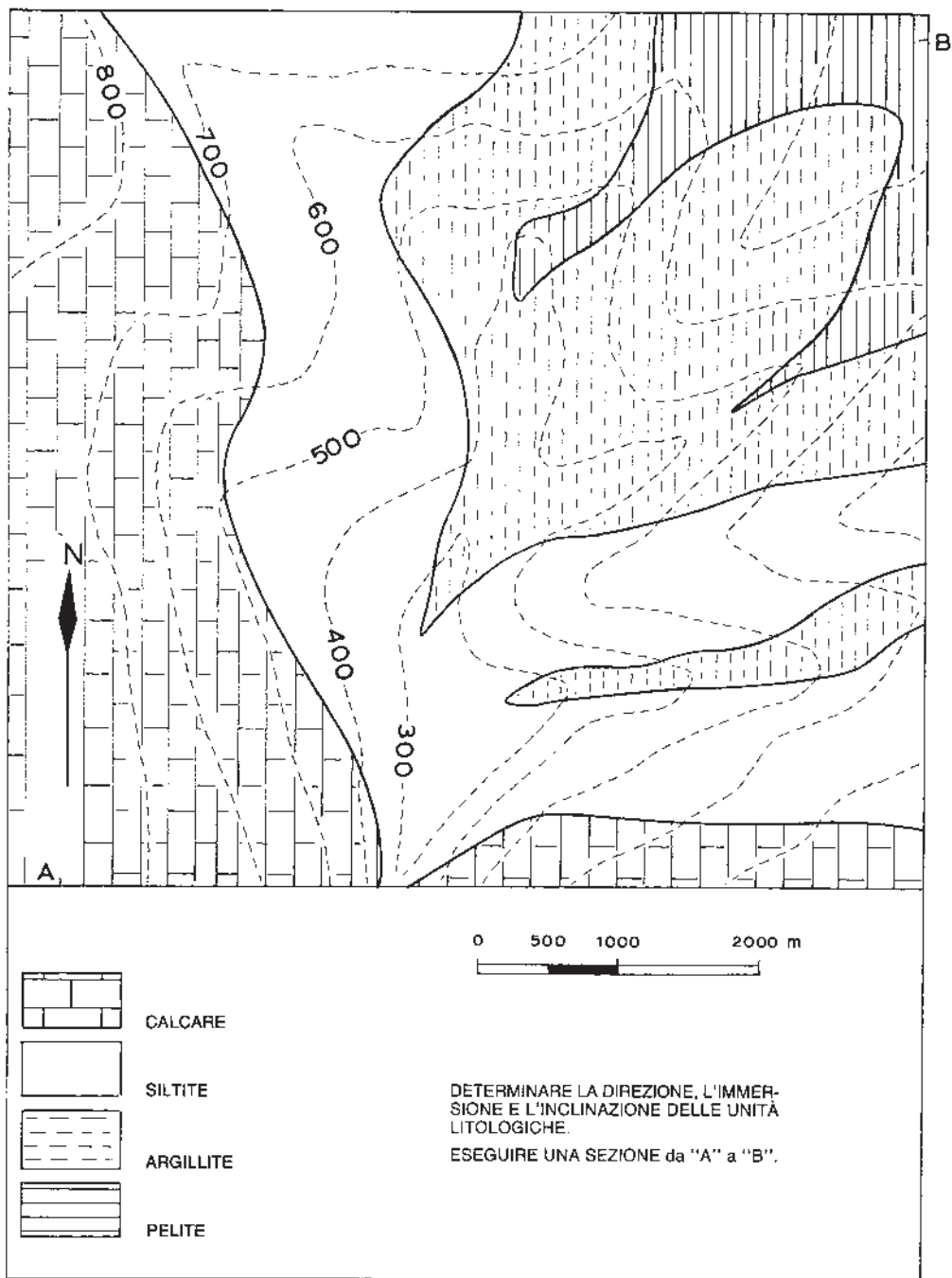


FIG. 12

ha messo in evidenza i rapporti areali fra le tre suddivisioni dello *Chalk* (calcilutite bianca). Lo stralcio cartografico fa parte della Carta del Servizio Geologico, N. 282, *Devizes* scala 1 pollice per 1 miglio. La carta ha una scala tale che i valori di inclinazione, ottenuti con la costruzione riportata di seguito, non risultano molto precisi. Tuttavia il valore dell'inclinazione in una direzione specifica può essere ottenuto graficamente nel modo seguente: *A*, *B* e *C* sono tutti punti sul piano di contatto fra il *Chalk* Inferiore a quello Medio. Se si traccia il profilo topografico passante da *A* e *Z* con scala verticale uguale a quella della carta, e *A*, *B* e *C* vengono riportati su questa sezione e uniti fra di loro, è possibile misurare l'inclinazione del piano direttamente nella direzione da *A* a *Z*. In modo analogo, se si opera per i punti *X*, *Y* e *C* uniti fra di loro, è possibile misurare l'inclinazione anche in questa direzione direttamente dalla sezione. Dai valori di inclinazione ottenuti (inclinazione apparente) si può ottenere la direzione e il valore dell'inclinazione reale con metodo grafico oppure analiticamente, come illustrato nell'Appendice III.

#### **ANDAMENTO E FORMA DEGLI AFFIORAMENTI IN RELAZIONE ALLA TOPOGRAFIA**

Le variazioni topografiche hanno un'influenza profonda sulla forma degli affioramenti rappresentati nelle carte geologiche. Per comprendere questo fatto, vengono esaminate tre figure, in ciascuna delle quali viene descritto l'affioramento dello stesso strato in relazione a morfologie topografiche diverse.

La Figura 9 illustra tre carte (*A*, *B* e *C*) in cui viene evidenziato l'effetto della topografia sull'affioramento di uno strato di carbone. In ciascuna carta l'immersione degli strati viene evidenziata con una freccia. Il valore dell'inclinazione può essere calcolato costruendo le linee di direzione su ciascuna carta. La Figura 9 mostra una scarpata ripida con pendenza uniforme: quest'ultima viene evidenziata da curve di livello equamente spaziate. L'affioramento dello strato di carbone assume l'andamento di una linea retta in direzione *D-E* e *C-F* poiché lo strato affiora in un altopiano. In questi tratti l'affioramento definisce la direzione dello strato. L'affioramento da *D* a *C* è anch'esso una linea retta, che interseca la scarpata da un livello topografico superiore ad uno inferiore, nella direzione generale dell'immersione.

Sulla parete di una scarpata verticale come quella riportata nella Figura 9C, l'affioramento fra *B* e *C* non risulterebbe visibile sulla carta ed esisterebbe una discontinuità apparente fra *B* e *C*. Anche in questa carta gli affioramenti sulle superfici pianeggianti risultano linee rette orientate nel senso della direzione di strato lungo *A-B* e *C-D*.

Nella Figura 9B l'affioramento risulta una linea retta sulle superfici dell'altopiano come in *G-F*. L'affioramento diventa più sinuoso fra *F* e *B* al variare del pendio del terreno, come evidenziato dalle distanze disuguali fra le curve di livello. Si nota come man mano che la spaziatura fra le curve di livello aumenta, l'affioramento tende ad assumere un andamento conforme alla direzione di strato, mentre quando le curve di livello sono molto ravvicinate, l'affioramento ha un andamento orientato nel senso dell'immersione. Le Figure 10, 11 e 12 sono esercizi proposti per la determinazione della direzione, immersione ed inclinazione.

## CAPITOLO 2

### DETERMINAZIONE DELLO SPESSORE DELLE UNITÀ LITOLOGICHE

Nelle Figure 13, 14 e 15 vengono illustrate alcune situazioni ricorrenti che evidenziano le relazioni fra l'inclinazione di uno strato e quella del versante. In ciascun caso sono state inserite le linee di direzione orientate da nord verso sud; l'immersione, in ogni esempio, è verso est.

1. Si consideri la Figura 13, nella quale uno strato di argillite immerge nel verso opposto a quello in cui pende il versante, come evidenziato nella sezione.

$DA$  = distanza reale fra il limite inferiore ( $D$ ) e superiore ( $A$ ) dello strato di argillite.

$DE$  = proiezione in sezione di  $DA$ ,  
 $AB$  = spessore apparente o verticale dello strato di argillite,  
 $BC$  = spessore reale dello strato di argillite,  
 $\theta$  = angolo di inclinazione reale dello strato.

Quindi lo spessore verticale  $AB$  è uguale alla differenza di quota fra  $D$  e  $A$  più  $EB$ ,

cioè  $AB = AE + DE \operatorname{tg} \theta$

Ora, poiché  $E\hat{D}B = C\hat{B}A = \theta$

lo spessore reale viene calcolato con la formula:

$$CB = AB \cos \theta$$

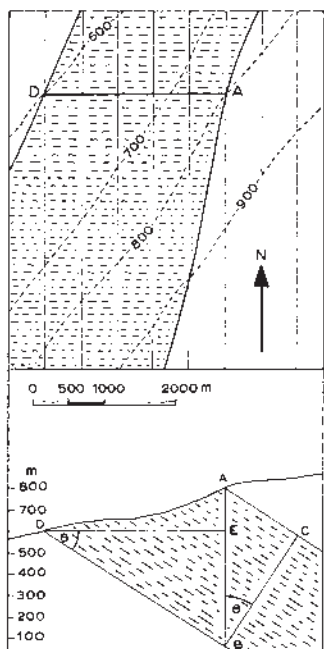


FIG. 13

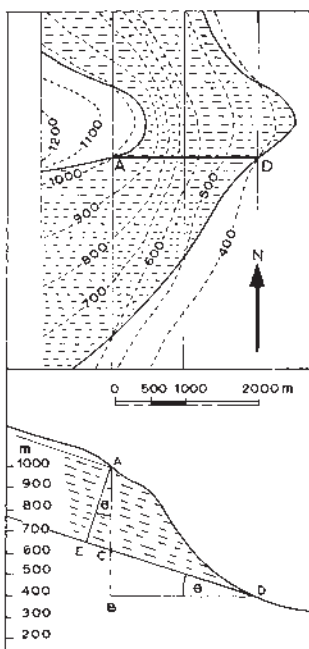


FIG. 14

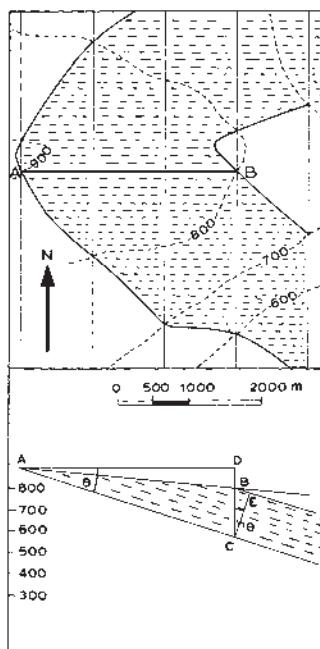


FIG. 15

2. Si consideri la Figura 14, in cui lo strato di argillite immerge nello stesso verso del pendio, ma con inclinazione minore.

$AD$  = distanza reale fra il limite inferiore ( $D$ ) e superiore ( $A$ ) dello strato di argillite,

$BD$  = proiezione in sezione di  $AD$ ,

$AC$  = spessore apparente o verticale dello strato di argillite,

$AE$  = spessore reale dello strato di argillite,

$\theta$  = angolo di inclinazione reale dello strato.

Quindi lo spessore verticale  $AC$  è uguale alla differenza di quota fra  $D$  e  $A$  meno  $CB$ ,

cioè 
$$AC = AB - BD \operatorname{tg} \theta$$

Ora, poiché 
$$\hat{B}DC = \hat{E}AC = \theta$$

lo spessore reale viene calcolato con la formula:

$$AE = AC \cos \theta$$

3. Si consideri la Figura 15, in cui lo strato di argillite è inclinato nello stesso verso del pendio ma con inclinazione maggiore.

$AB$  = distanza reale fra il limite inferiore ( $B$ ) e superiore ( $A$ ) dello strato di argillite,

$AD$  = proiezione in sezione di  $AB$ ,

$CB$  = spessore apparente o verticale dello strato di argillite,

$CE$  = spessore reale dello strato di argillite,

$\theta$  = angolo di inclinazione reale dello strato.

Quindi lo spessore verticale  $BC$  è uguale a  $CD$  meno la differenza di quota fra  $A$  e  $B$ .

cioè 
$$BC = DC - DB$$
  

$$= AD \operatorname{tg} \theta - DB$$

Ora, poiché 
$$\hat{D}AC = \hat{A}CB = \theta$$

lo spessore reale viene calcolato con la formula:

$$EC = CB \cos \theta$$

Nei tre casi in esame risulta evidente che lo spessore può essere ottenuto graficamente eseguendo misurazioni dirette sulla sezione: il metodo analitico è più semplice e non comporta molte costruzioni grafiche.

Gli spessori sono stati calcolati lungo la direzione dell'inclinazione reale; se tali misure fossero effettuate lungo una direzione di inclinazione apparente si dovrebbe calcolare inizialmente l'angolo di inclinazione apparente come riportato in Appendice III.

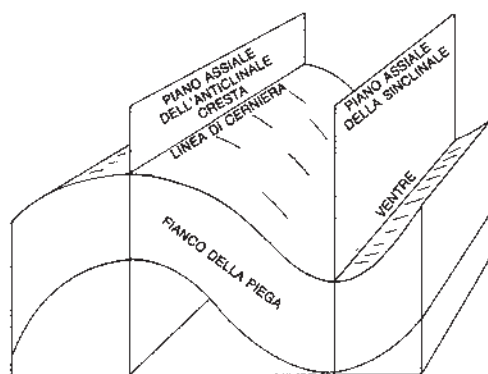
## CAPITOLO 3

### PIEGHE

Le unità litologiche esaminate nelle pagine precedenti presentavano una giacitura costante riconducibile a strutture di tipo monoclinale.

Le forze di compressione agenti all'interno della superficie terrestre hanno deformato le rocce originando strutture piegate verso l'alto e verso il basso, di diversa complessità.

In una piega si definisce *linea di cerniera* il luogo dei punti di massima curvatura di ogni superficie piegata. La superficie sulla quale giacciono le linee di cerniera si chiama *superficie assiale*. In prossimità di questa superficie si ha il cambio di immersione e spesso anche di inclinazione delle superfici



ANTICLINALE E SINCLINALE SIMMETRICHE  
CON PIANI ASSIALI VERTICALI

Fig. 16

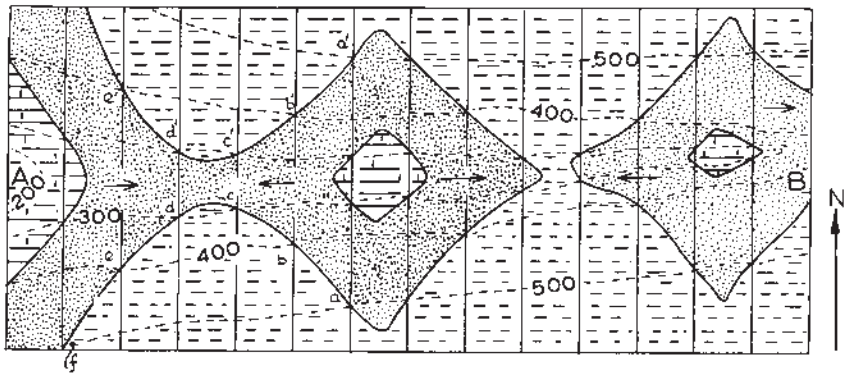
piegate. Nel caso che tale superficie sia planare, prende il nome di *piano assiale*. La *cresta* è il punto più elevato di una superficie piegata, mentre il *ventre* ne rappresenta la massima depressione. Creste e ventri possono non coincidere con la cerniera. I lati di una piega si chiamano *fianchi* o *lombi*. Una piega che presenta la concavità verso il basso viene definita *antiforme*; nel caso in cui la concavità è rivolta verso l'alto la piega è detta *sinforme*. Se la succes-

sione stratigrafica in una antiforme o in una sinforme è in posizione normale la piega viene chiamata rispettivamente *anticlinale* o *sinclinale*. Nell'esempio di Figura 16 le pieghe hanno *piani assiali verticali* e sono *simmetriche*, con fianchi ugualmente distanziati rispetto ai piani assiali. Nelle pieghe simmetriche il piano assiale coincide con la cresta della piega.

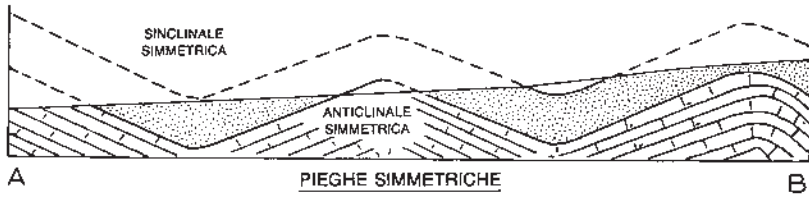
### TIPI DI PIEGA E LORO INDIVIDUAZIONE SULLE CARTE GEOLOGICHE

In Figura 17 sono rappresentate in carta ed in sezione due anticlinali e due sinclinali simmetriche. Le linee di direzione tracciate per *aa'*, *bb'*, *cc'*, *dd'* e *ee'* sul limite argillite/arenaria evidenziano che la parte del limite attraversato dalle linee di direzione *aa'*, *bb'* e *cc'* ha un'immersione verso ovest, mentre quella attraversata da *dd'* e *ee'* ha un'immersione verso est: queste immersioni opposte configurano una sinclinale. Poiché l'immersione è perpendicolare alla direzione, la distanza orizzontale "misurata" fra due di queste linee di direzione rappresenta l'equivalente orizzontale ad un dislivello dello strato di 100 metri. In questo esempio, la distanza orizzontale fra le linee di direzione è di 250 metri, per cui la pendenza è di 1 a 2,5, corrispondente ad un angolo di inclinazione di  $21^{\circ}48'$ . Poiché tutte le linee di direzione sono spaziate in uguale misura in tutta la carta, le pieghe sono simmetriche, come riportato nella sezione A-B.

La Figura 18 mostra pieghe asimmetriche. Le linee di direzione tracciate per *ff'*, *ee'* e *dd'* indicano un'immersione verso ovest con pendenza 1 a 1,25 (corrispondente ad un angolo di inclinazione di  $38^{\circ}44'$ ); quelle tracciate in *gg'*, *hh'* e *kk'* indicano un'immersione verso est con pendenza di 1 a 2,5, corrispondente ad un angolo di inclinazione di  $21^{\circ}48'$ . Quindi la struttura è una sinclinale con il fianco orientale della piega più ripido. Altre sinclinali e anticlinali possono essere riconosciute tracciando le linee di direzione su tutta la carta; la sezione lungo A-B mostra la struttura presente nella carta.

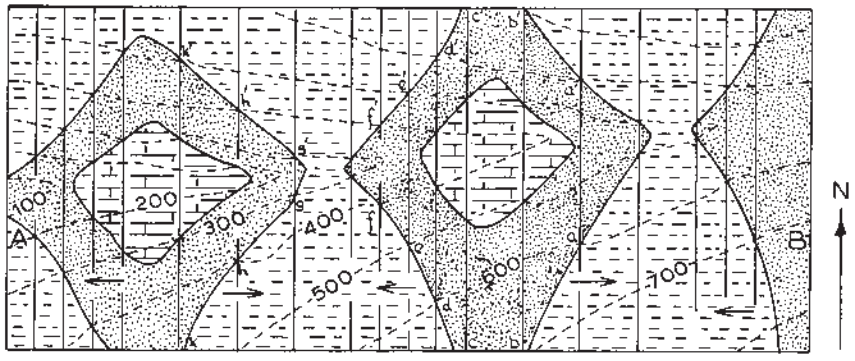


SCALA VERTICALE E ORIZZONTALE 0 250 500 1000 m

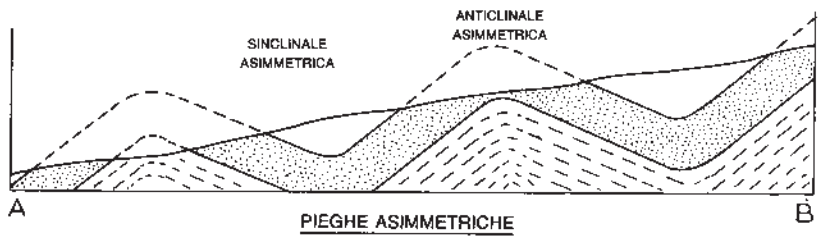


PIEGHE SIMMETRICHE

FIG. 17



SCALA VERTICALE E ORIZZONTALE 0 250 500 1000 m



PIEGHE ASIMMETRICHE

FIG. 18



*Nota:* Nelle figure 17 e 18 potrebbe sorgere un dubbio sull'orientamento lungo il quale devono essere tracciate le linee di direzione. Si prenda come esempio la Figura 17. Una linea di direzione è una linea lungo la quale lo strato mantiene una quota costante; essa, inoltre, congiunge i punti di uguale quota su una stessa superficie di strato. I punti *d* e *c*, *e* e *b*, *f* e *a* corrispondono tutti all'ultima parte di questa definizione e si può immaginare che le linee di direzione possano essere costruite congiungendo coppie di punti analoghi. Qualora si unissero i punti *dc*, *eb* o *fa*, le linee risultanti non rappresenterebbero direzioni di strato poiché congiungenti punti di uguale quota ma appartenenti a strati con opposta giacitura (fianchi della piega). Inoltre, se tali rette fossero selezionate come linee di direzione, non risulterebbero necessariamente parallele fra di loro o equidistanti.

#### *Pieghe rovesciate (Overfolds)*

Nella Figura 19 lungo la traccia X-Y le unità litologiche si ripetono rispetto all'affioramento ad andamento arcuato dell'arenaria. Le linee di direzione tracciate lungo i contatti arenaria/marna evidenziano che la direzione è nord-sud. Le linee di direzione *tt'*, *ss'* e *vv'* mostrano che l'immersione è verso ovest e che la pendenza è di 1 a 5 (angolo di inclinazione di  $11^{\circ}20'$ ); le linee di direzione *lm*, *no* e *pr* invece, pur indicando un'immersione verso ovest, determinano una pendenza di 1 a 2,5 (angolo di inclinazione  $21^{\circ}48'$ ). Tutte le unità litologiche ad ovest dell'affioramento di arenaria hanno quest'ultimo valore di pendenza, mentre quelle ad est mostrano valori di pendenza uguali al primo. Tale costanza nella direzione, ma variazione nel valore dell'inclinazione, è una caratteristica delle unità litologiche nelle pieghe rovesciate. Tale struttura è illustrata nella sezione X-Y.

#### *Pieghe coricate (Recumbent folds)*

Nella Figura 20 l'esame dell'andamento del confine arenaria/grossolana/calcare nella parte centrale ed orientale della carta, mostra che lo stesso limite si trova a due quote diverse, a 1050 metri e a 850 metri; entrambi i confini seguono l'andamento delle curve di livello di tale valore: ciò indica che i limiti litologici sono orizzontali, per cui a 1050 metri il calcare giace al di sopra dell'arenaria grossolana, mentre a 850 metri esso si trova al di sotto. Nella parte occidentale della carta, le linee di direzione *ab* e *cd* lungo questo confine, indicano che il limite di 1050 metri immerge verso ovest con inclinazione di  $21^{\circ}48'$  o pendenza di 1 a 2,5; la continuazione di questo limite va a collegarsi con quello a 850 metri.

Questa struttura, illustrata nella sezione, costituisce un tipico esempio di piega coricata, come quella spettacolare che può essere osservata sul versante del Matterhorn.

#### *Pieghe isoclinali (Isoclinal folds)*

La Figura 21 illustra in carta ed in sezione una serie di pieghe isoclinali (pieghe con fianchi paralleli). Le linee di direzione, come *hh'*, *gg'*, *ff'*, ecc. tracciate sulla carta, indicano che le unità litologiche hanno un'immersione uniforme verso est. Se si può dimostrare che ciascuna unità simile, per esempio l'arenaria, abbia la stessa età, l'interpretazione sarebbe quella riportata nella sezione X-Y, con una serie di pieghe isoclinali i cui piani assiali sono paralleli l'uno all'altro: si noti che in questi tipi di pieghe le creste non coincidono con la traccia del piano assiale. Pieghe di questo tipo sono comuni nei *Southern Uplands* della Scozia.

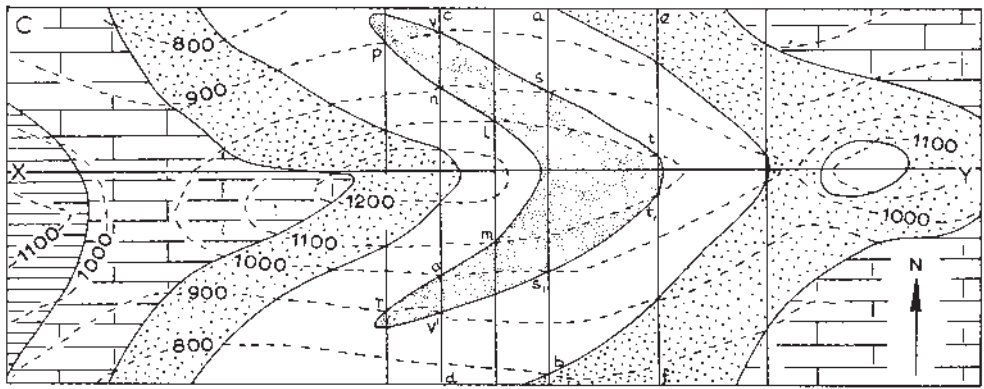
#### *Pieghe immergenti (Plunging folds)*

L'asse di una piega può risultare inclinato rispetto all'orizzontale ed assumere quindi un'immersione (*plunge*). In questo caso le pieghe si dicono ad *asse inclinato* o *immergenti*. Le Figure 23 e 24 illustrano rispettivamente un'anticlinale ed una sinclinale immergenti.

In Figura 22 sono rappresentate una serie di pieghe che immergono verso sud. Il *block diagram* mostra che in una sezione normale all'asse non viene evidenziata la natura immergente delle pieghe. La sezione nord-sud, eseguita lungo l'immersione dell'asse, mostra invece che gli strati sono inclinati e non orizzontali come risulterebbero in una sezione assiale di pieghe non immergenti.

Nella Figura 25 sono rappresentate in carta ed in sezione un gruppo di pieghe ad asse inclinato. Per indicare con chiarezza le caratteristiche di tali pieghe, sono state tracciate le linee di direzione o isopse di strato. Gli affioramenti delle pieghe immergenti sono tipicamente *en échelon* come riportato nella carta, con affioramenti che nelle sinclinali tendono ad allargarsi e nelle anticlinali tendono a restringersi lungo l'immersione dell'asse. In questa ed in altre situazioni analoghe, le linee di direzione non rimangono parallele su vaste arce, ma convergono in relazione alla chiusura delle pieghe. Questa è una considerazione importante per la costruzione delle linee di direzione su questa carta e sulle successive carte simili.

Si consideri il contatto dell'argillite con le marne lungo *AB* e lungo *CD*. Le linee di direzione sono tracciate in corrispondenza del contatto *AB* colle-



PIEGA ROVESCIATA

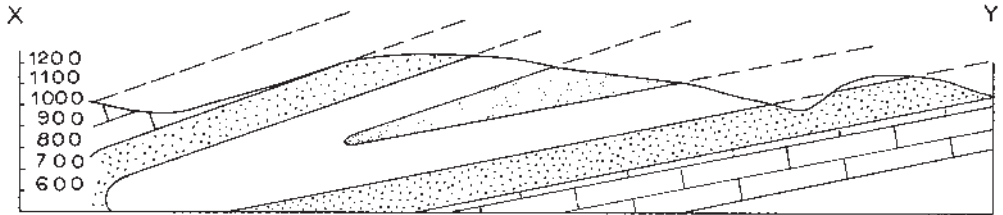
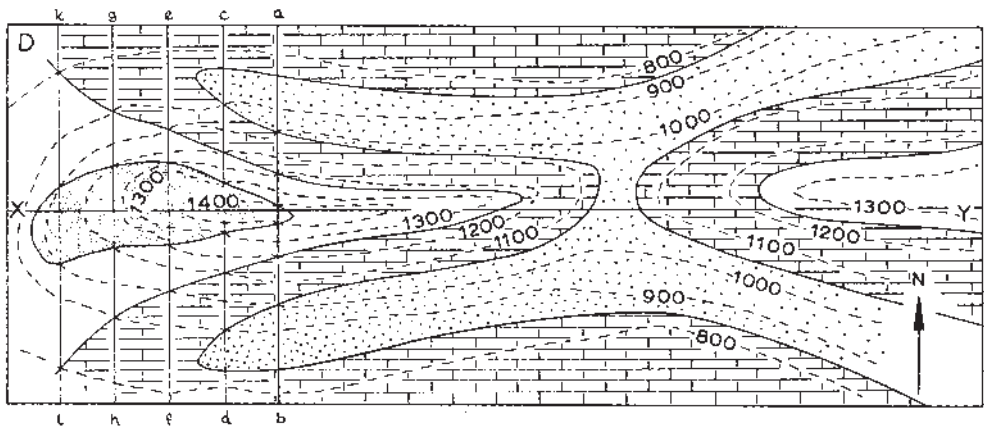
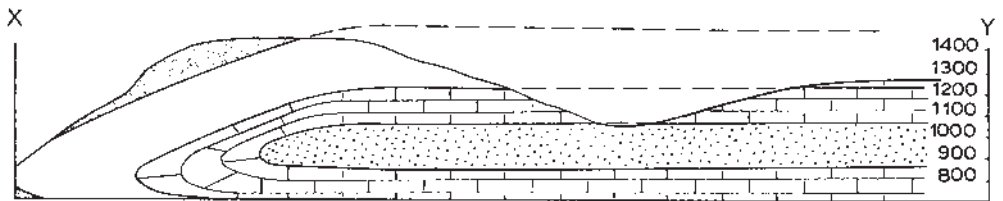


FIG. 19



PIEGA CORICATA



SCALE ORIZZONTALI E VERTICALI



FIG. 20

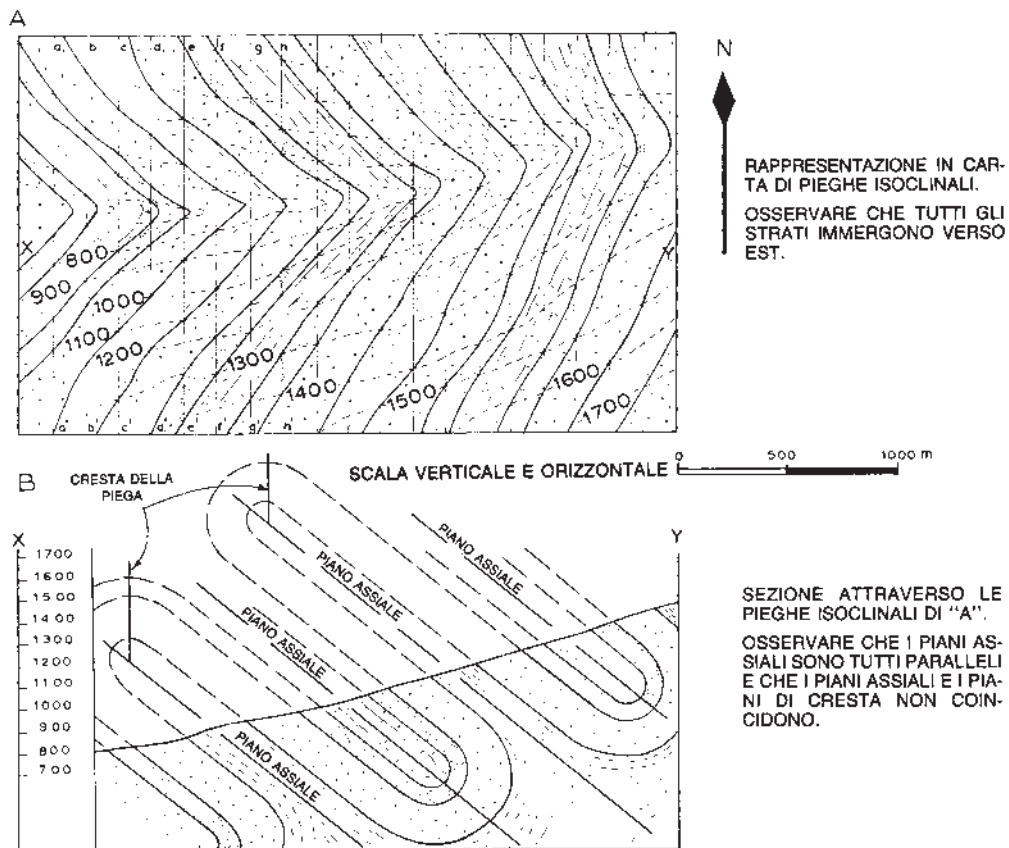


FIG. 21

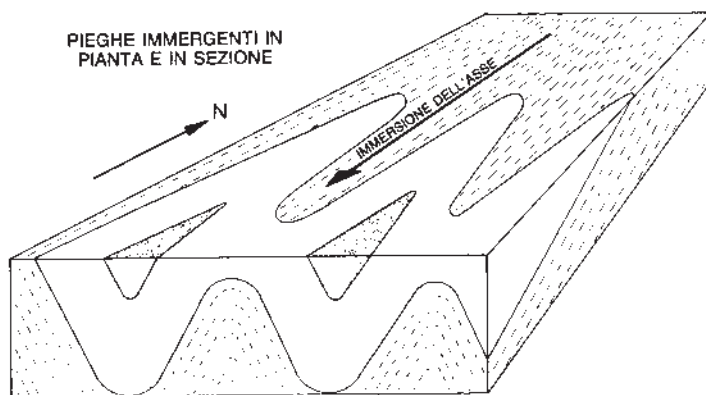
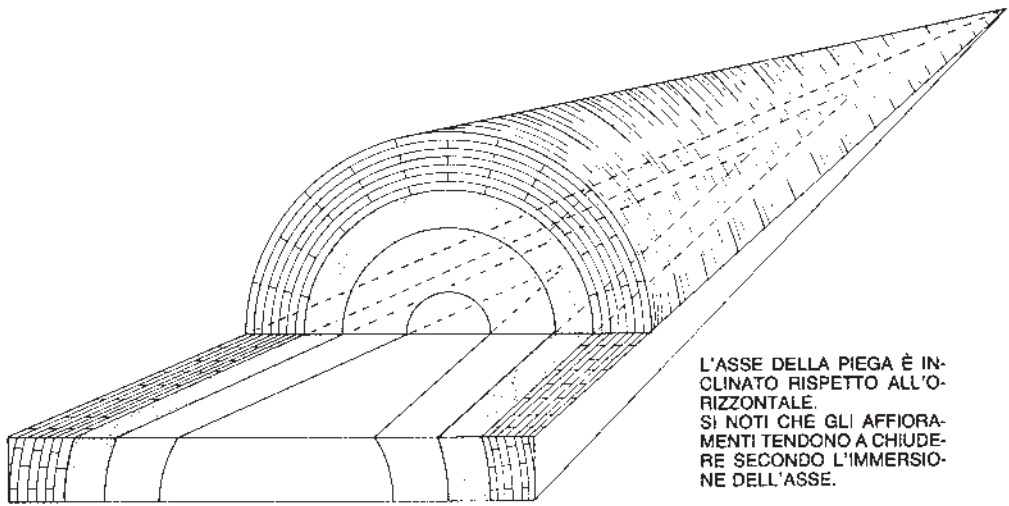


FIG. 22

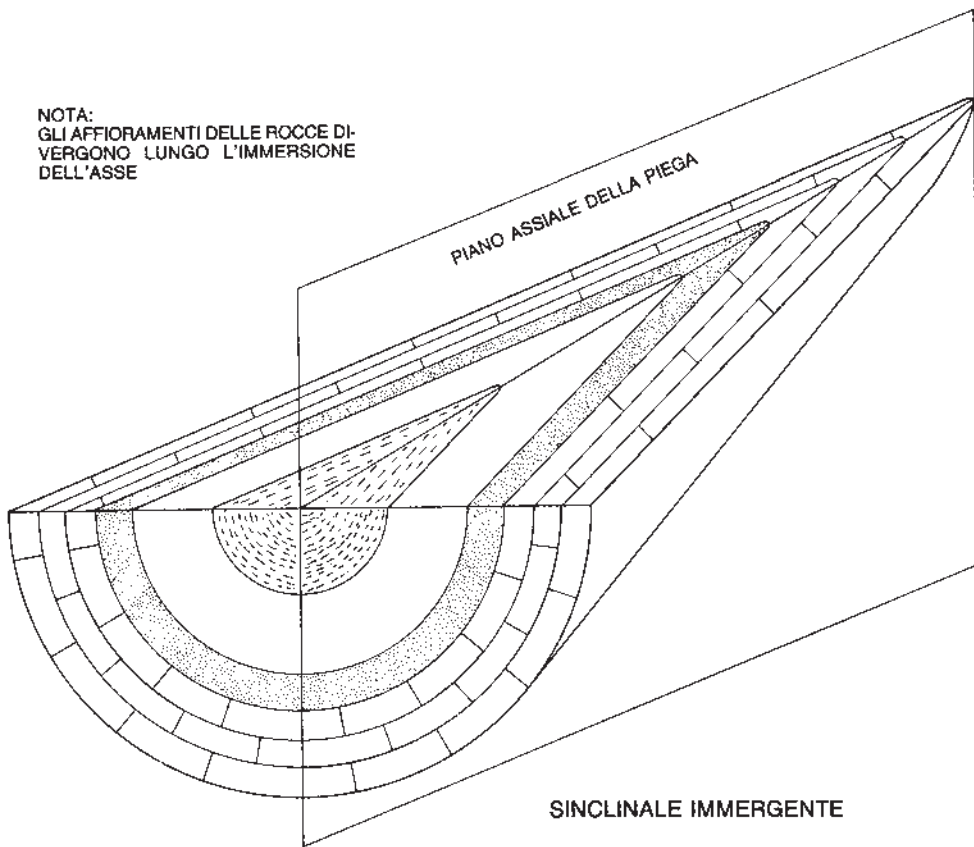


L'ASSE DELLA PIEGA È INCLINATO RISPETTO ALL'ORIZZONTALE. SI NOTI CHE GLI AFFIORAMENTI TENDONO A CHIUDERE SECONDO L'IMMERSIONE DELL'ASSE.

**ANTICLINALE IMMERGENTE**

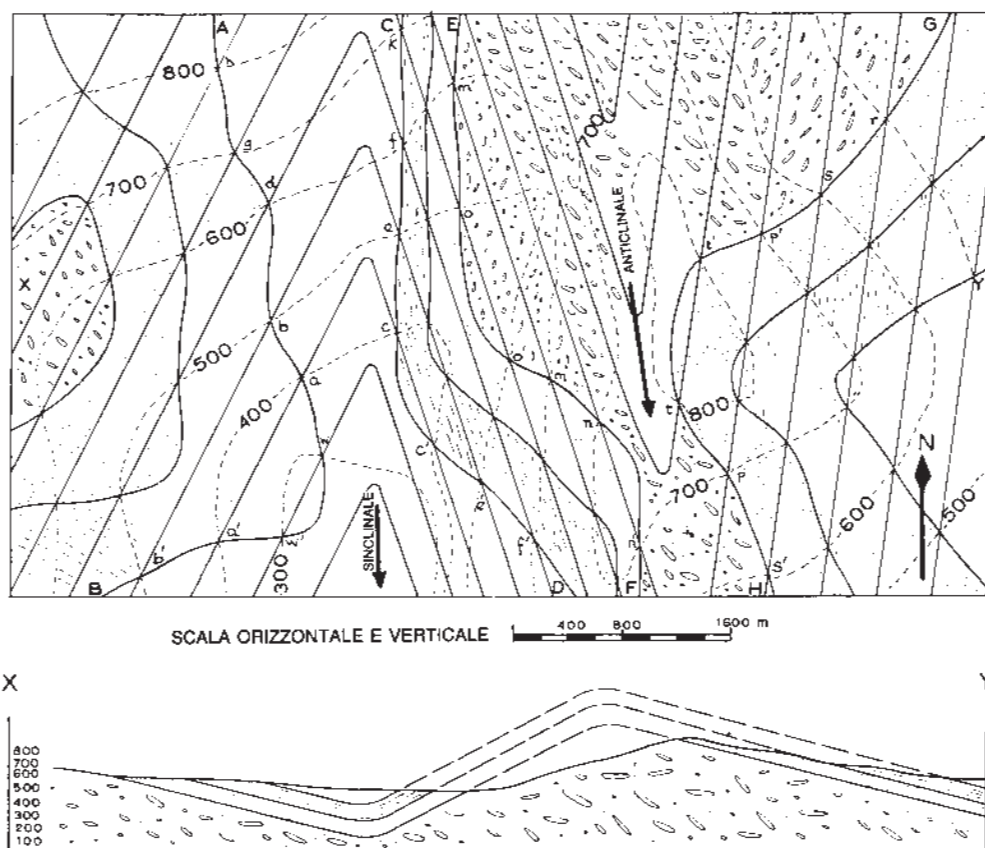
FIG. 23

NOTA:  
GLI AFFIORAMENTI DELLE ROCCE DIVERGONO LUNGO L'IMMERSIONE DELL'ASSE



**SINCLINALE IMMERGENTE**

FIG. 24



CARTA E SEZIONE DI UNA SERIE DI PIEGHE IMMERGENTI

FIG. 25

gando  $bb'$ ,  $aa'$  e  $ww'$  e mostrano che l'immersione degli strati è in direzione sud-est con una pendenza di 1:4. Le linee di direzione tracciate in corrispondenza del contatto  $CD$  congiungendo  $cc'$ ,  $ee'$ ,  $ff'$  e  $k$  mostrano che tale contatto ha un'immersione verso sud-ovest con una pendenza di 1:2. Le linee di direzione  $aa'$  e  $cc'$ , che sono entrambe a 400 metri s.l.m., si intersecano verso nord formando una linea di direzione a cuspid: le altre linee di direzione risultano parallele ad essa nei punti  $b$ ,  $d$ ,  $g$ ,  $h$  e  $k$ ,  $f$  ed  $e$  determinando un andamento *en échelon* nella sinclinale.

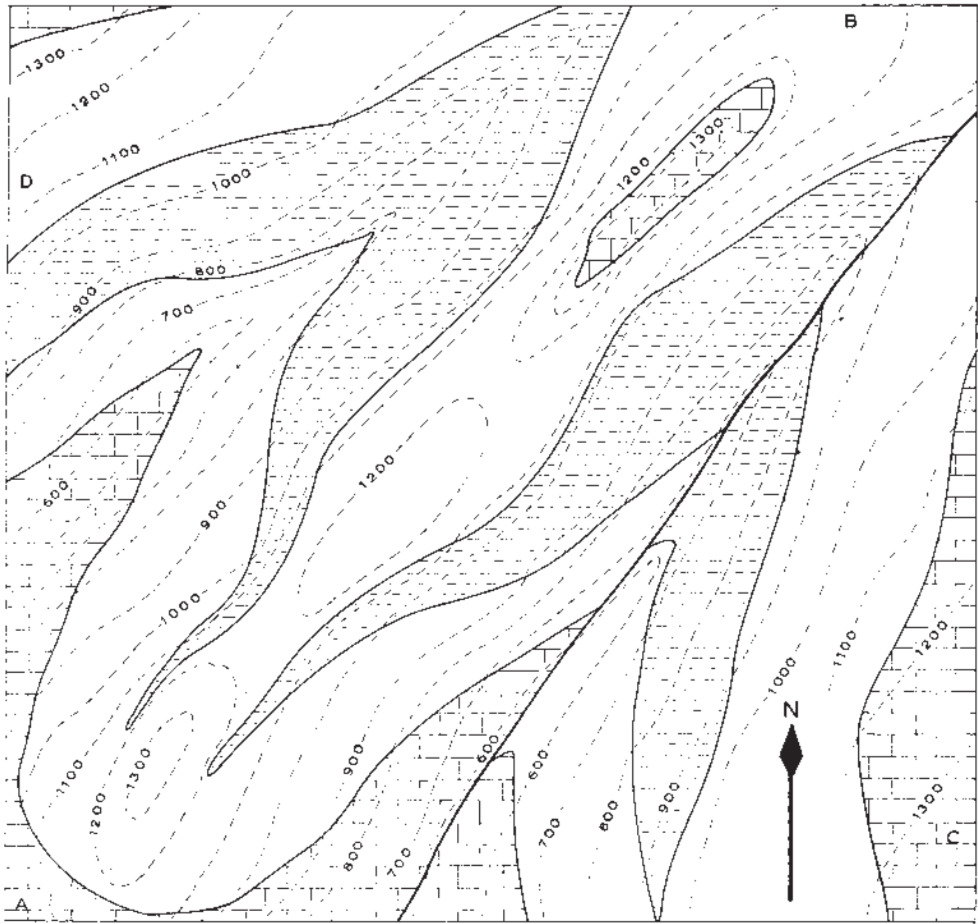
Questi due limiti, quindi, immergono l'uno verso l'altro mentre l'asse che si determina fra di loro

immerge verso sud. Questa struttura viene detta *sinclinale asimmetrica immergente*.

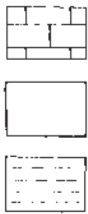
Ulteriori considerazioni riguardo ai contatti  $EF$  e  $GH$  conglomerato/arenaria mostrano che le linee di direzione possono essere tracciate fra  $oo'$ ,  $mm'$  e  $nn'$  nel primo e fra  $tt'$ ,  $pp'$ ,  $ss'$  e  $r$  nel secondo e che esse hanno un andamento *en échelon*, con immersioni che non risultano normali all'asse della piega; si tratta di un' *anticlinale asimmetrica immergente*.

Si noti che la sezione trasversale delle pieghe non fornisce alcuna indicazione sull'eventuale inclinazione dell'asse.

Nelle Figure 26, 27 e 28 sono proposti alcuni esercizi da svolgere.



0 1/2 1 Miglio



CALCARE

PELITE

ARGILLITE

1. DETERMINARE LE ETÀ RELATIVE DELLE UNITÀ LITOLOGICHE RIPORTATE NELLA CARTA.
2. ESEGUIRE LE SEZIONI GEOLOGICHE da "A" a "B" e da "C" a "D".
3. DESCRIVERE LE STRUTTURE PRESENTI NELL'AREA.
4. DISCUTERE LA SEQUENZA DEGLI EVENTI CHE HA DETERMINATO LE STRUTTURE RIPORTATE NELLA CARTA.

(Quote in piedi)

FIG. 26