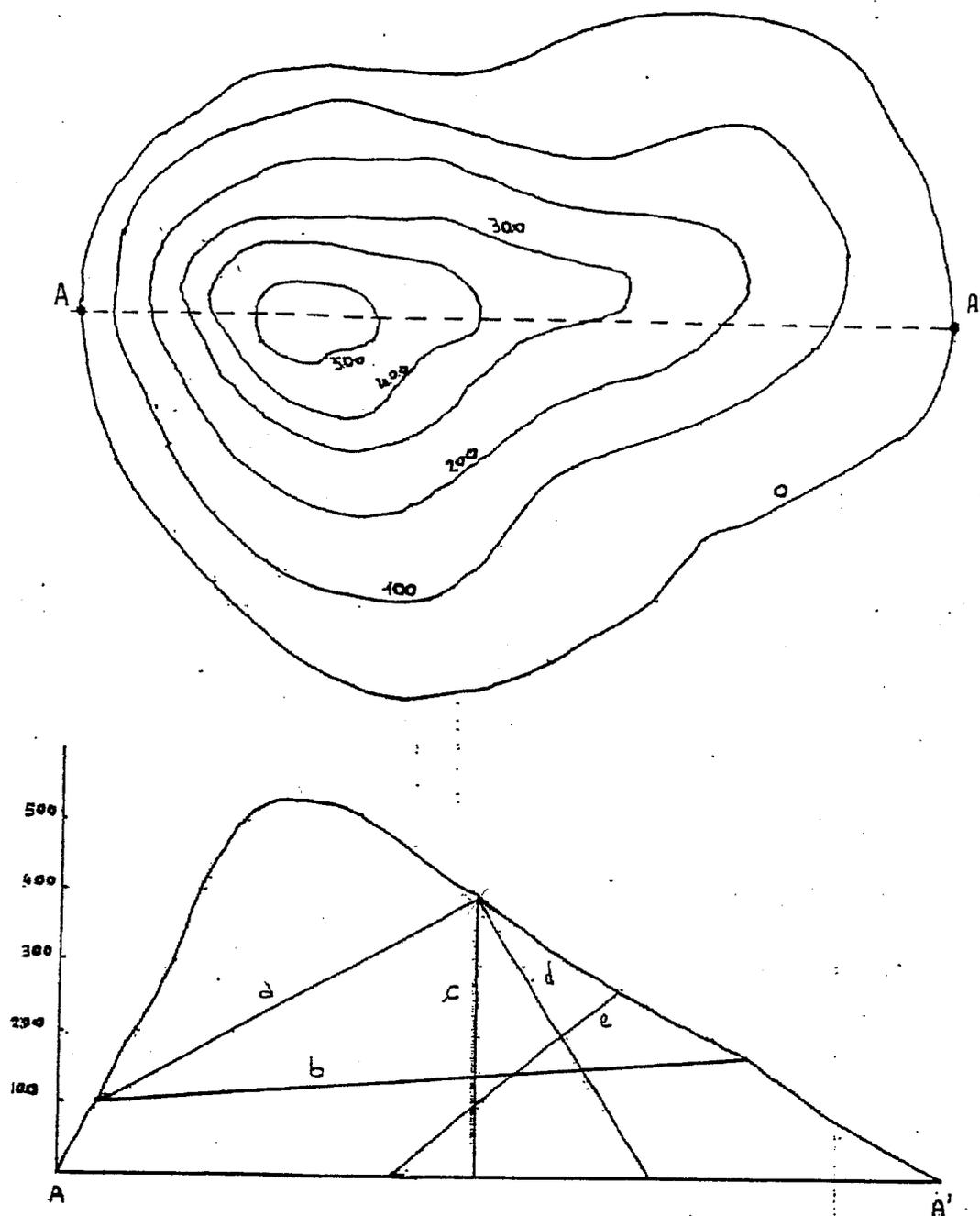


Scala 1:25.000

NORD



Determinare la giacitura del piano la cui linea di affioramento passa per i tre punti A, B, C

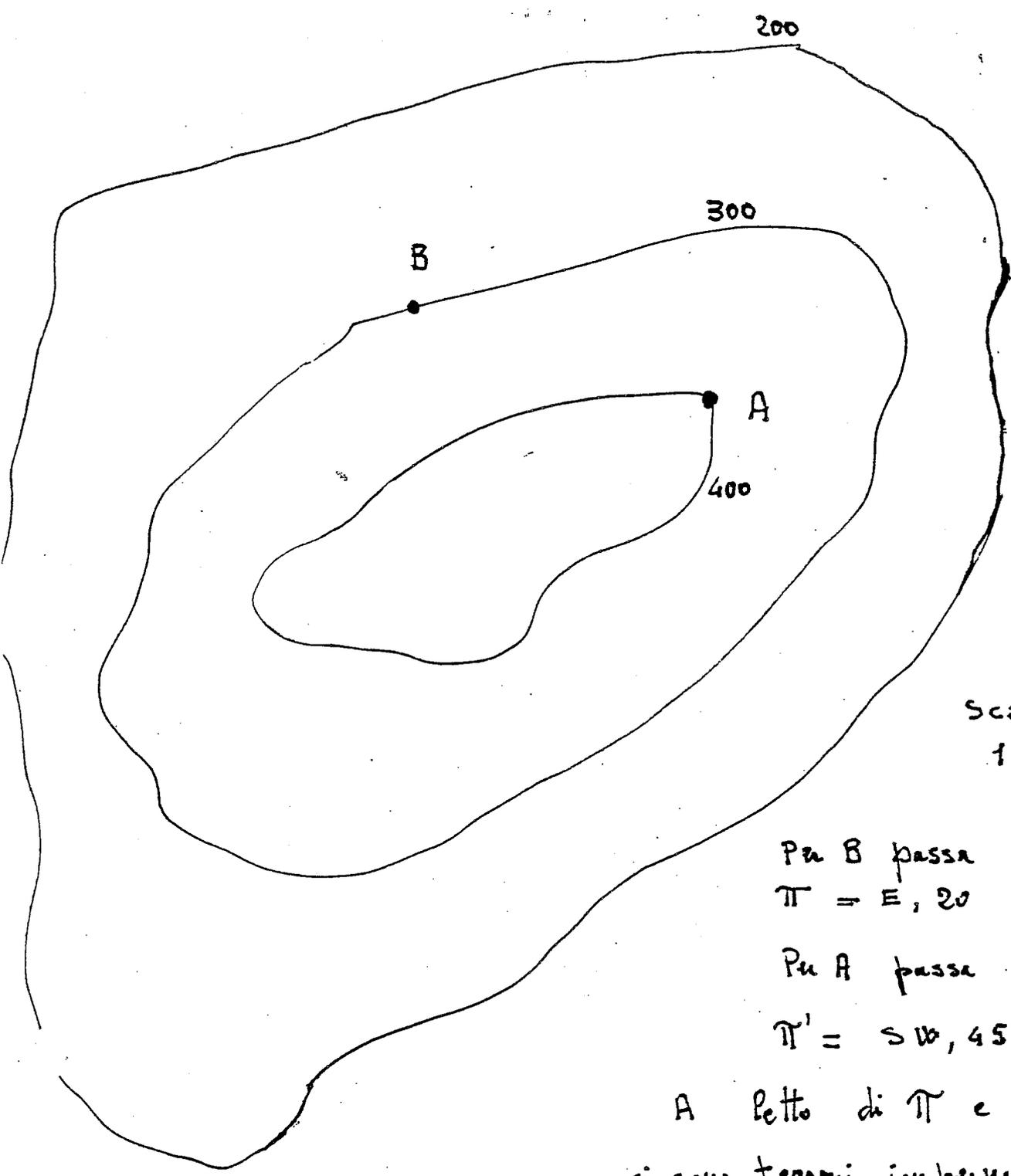


Nella sezione verticale condotta lungo la traccia AA' sono inserite le intersezioni con i piani a, b, c, d, e. Assumendo per semplicità che la direzione dei quattro piani inclinati (a, b, d, e) sia ortogonale alla traccia della sezione:

- disegnare rapidamente sulla carta topografica, in modo approssimato, le linee di affioramento dei cinque piani, facendo riferimento essenzialmente alla regola che governa i rapporti tra tali linee e le isoipse (*V's rule*) e tenendo conto, pur senza eseguire misure, anche di tutte le indicazioni (inclinazioni dei piani, quote delle loro intersezioni) fornite dalla sezione;

- ripetere l'operazione prendendo tutte le misure necessarie onde ottenere un disegno preciso delle linee di affioramento;

- confrontare i due disegni per verificare la propria "abilità".



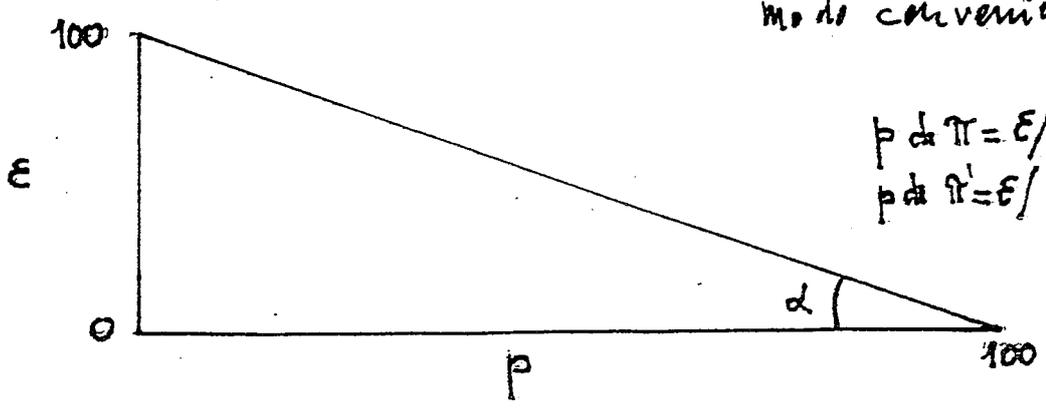
Scala  
1: 2.500

Per B passa  
 $\pi = E, 20$

Per A passa

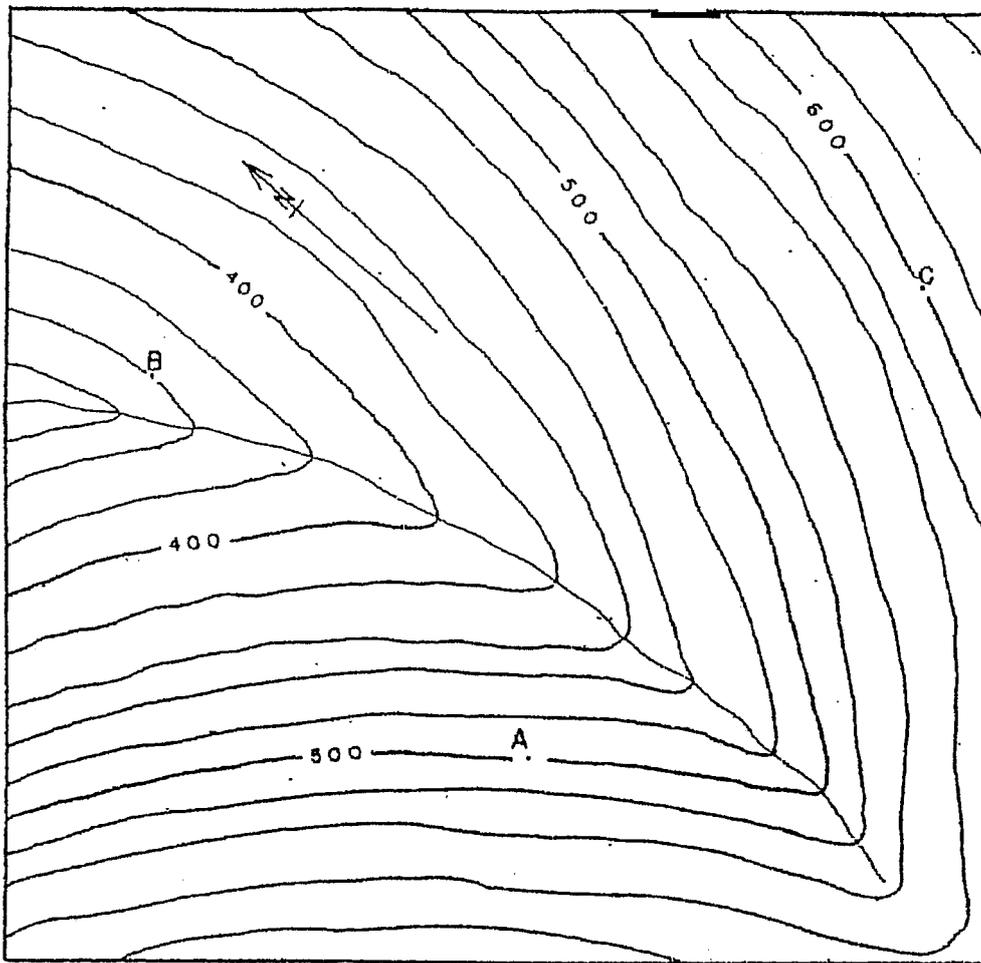
$\pi' = SW, 45^\circ$

A letto di  $\pi$  e di  $\pi'$   
ci sono terreni impermeabili.  
Dove ubicare un pozzo in  
modo conveniente ?



$$p \text{ di } \pi = E / \tan 20^\circ = 11 \text{ cm}$$

$$p \text{ di } \pi' = E / \tan 45^\circ = 4 \text{ cm}$$

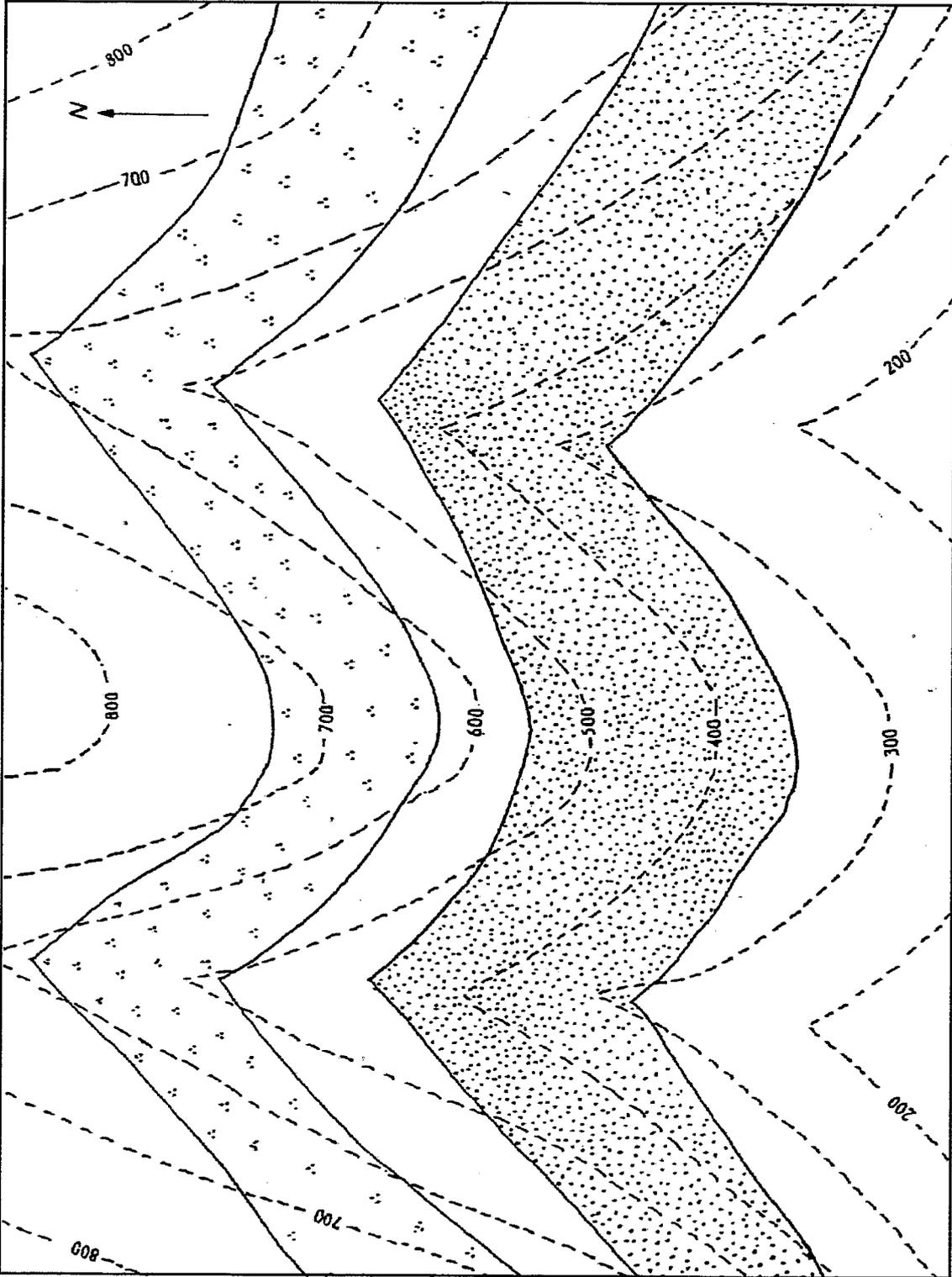


Scala 1:2.000

A, B, C giacciono su un piano che rappresenta il limite superiore di una formazione argillosa.

1. Trovare la giacitura (immersione e inclinazione) del piano.
2. Disegnarne la linea di affioramento.
3. La formazione ha uno spessore verticale di 40m. Disegnare la linea di affioramento del suo limite inferiore.

# Foglio 3

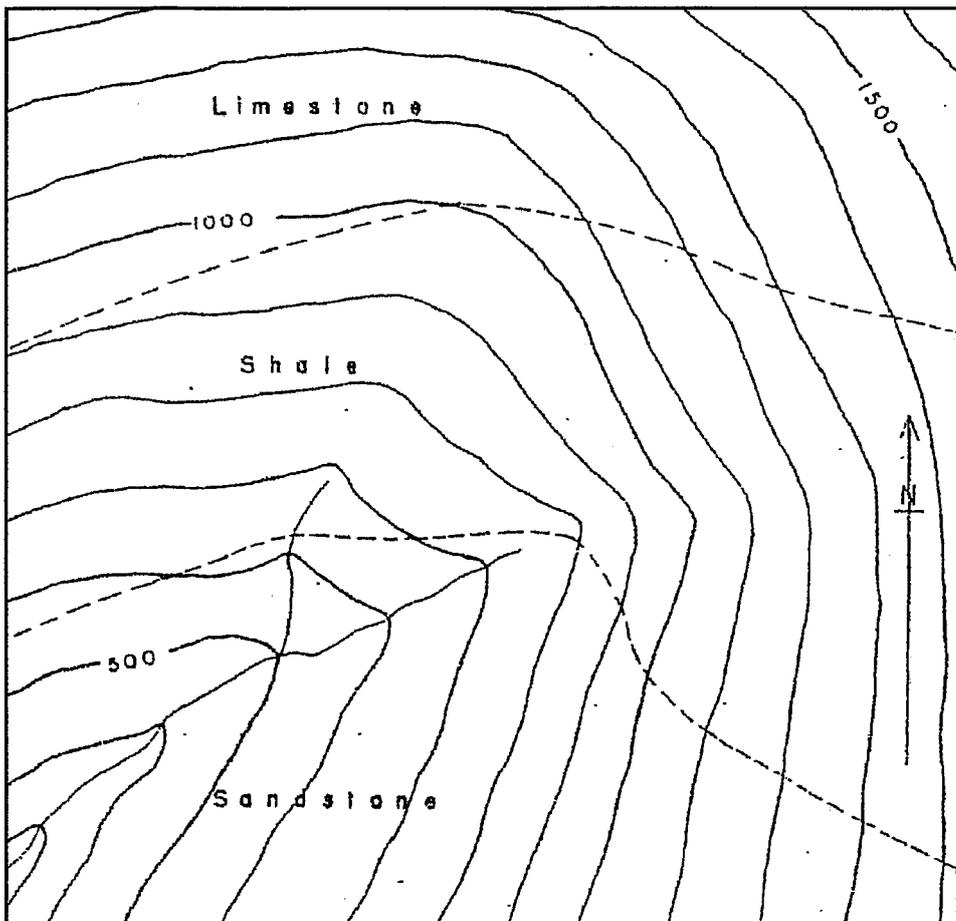


## INDEX

-  UPPER SHALE
-  UPPER SANDSTONE
-  MUDSTONE
-  LOWER SANDSTONE
-  LOWER SHALE

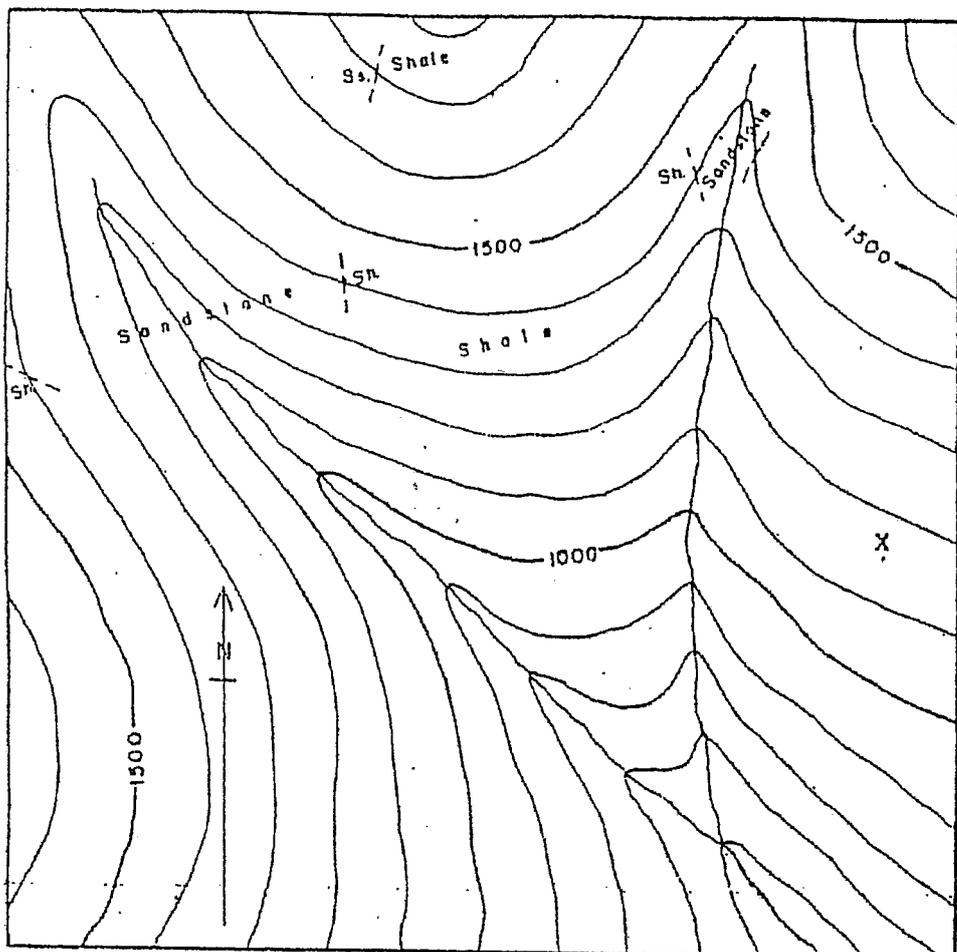
- 1) Trovare la giacitura di tutte le formazioni
- 2) Della formazione "upper sandstone" trovare:
  - a) lo spessore verticale
  - b) lo spessore orizzontale minimo
  - c) lo spessore orizzontale secondo la direzione NW-SE
  - d) lo spessore reale

Scala 1:40.000



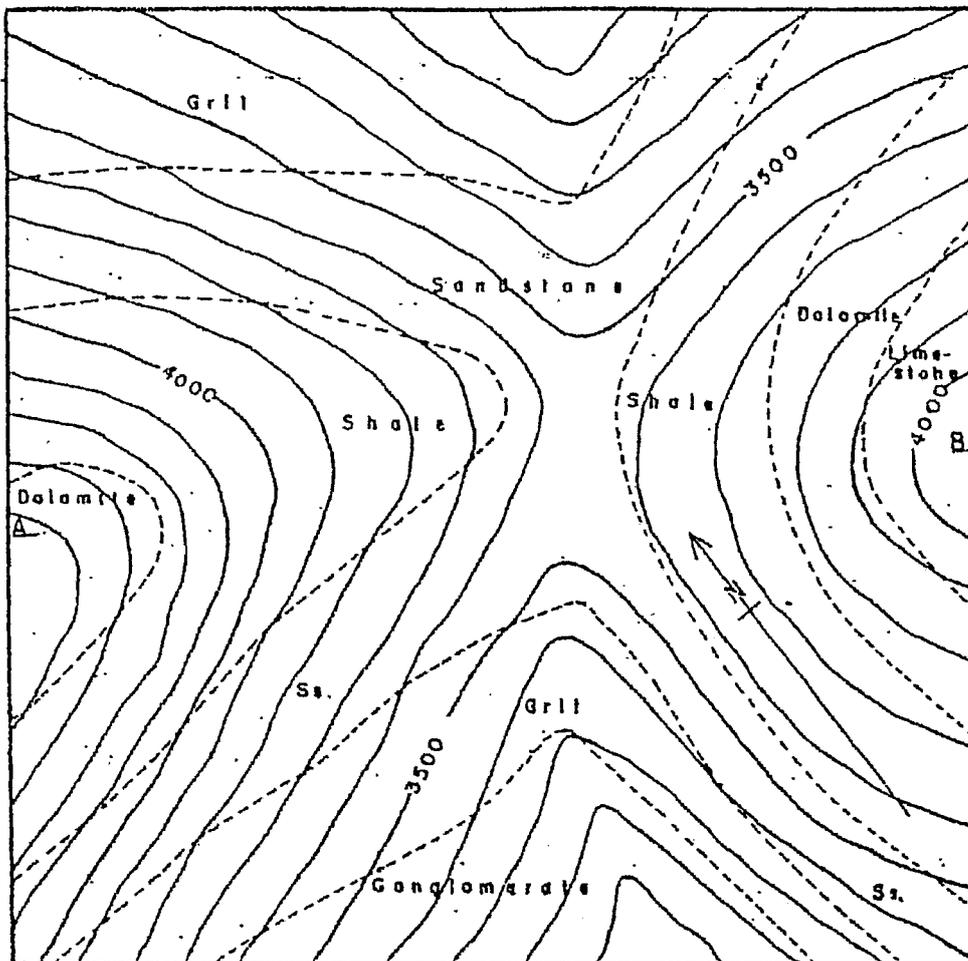
Scala 1:10.000

1. Determinare la giacitura della shale.
2. Trovare l'inclinazione apparente della shale nel piano verticale a direzione N-S.
3. Trovare lo spessore orizzontale della shale.



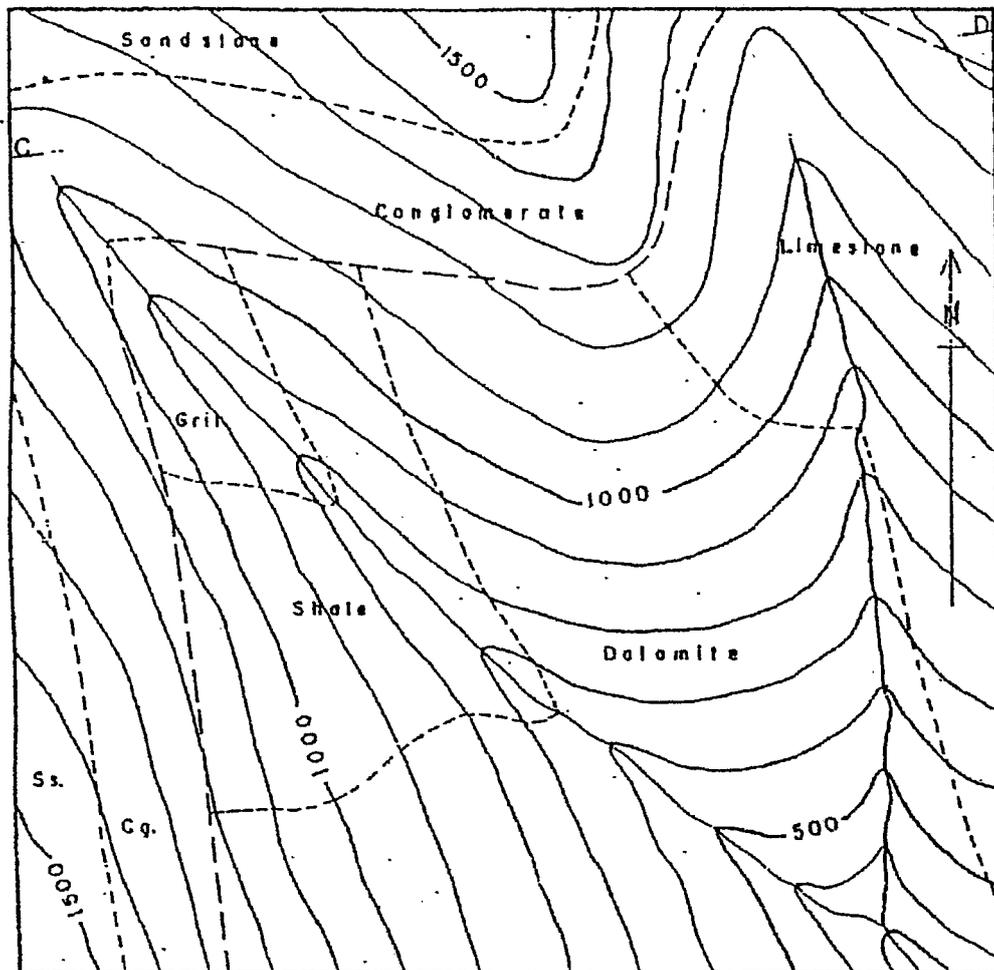
Scala 1:40.000

1. Tracciare integralmente la linea di affioramento del piano separante shale da sandstone.
2. A quale profondità a partire dal punto X occorre spingersi per incontrare il piano predetto?



Scala 1:40.000

1. Determinare la giacitura di tutti i limiti formazionali e accertare se sono tutti concordanti.
2. Eseguire la sezione geologica secondo la traccia A-B, inserendovi tutte le formazioni affioranti sulla carta.
3. Ricostruire la colonna stratigrafica della successione, nell'ipotesi che essa sia diritta.



Scala 1:50.000

1. Determinare la giacitura di tutti i limiti formazionali.
2. Eseguire la sezione geologica secondo la traccia C-D, inserendovi tutte le formazioni affioranti sulla carta.
3. Ricostruire la storia geologica dell'area.
4. Costruire la carta del sottosuolo ("sub-crop map") per l'area occupata da conglomerate e sandstone.

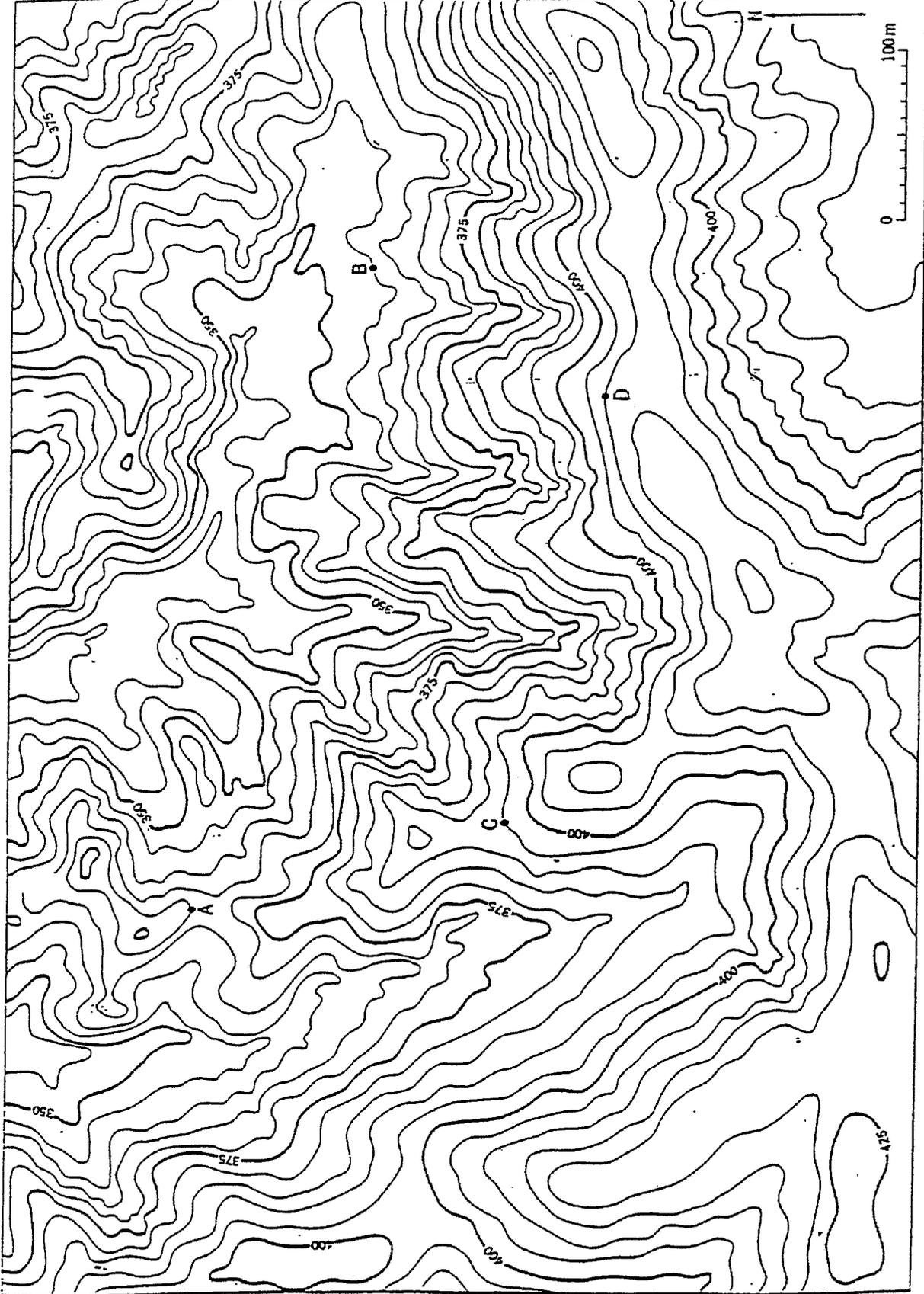
# Foglio 8

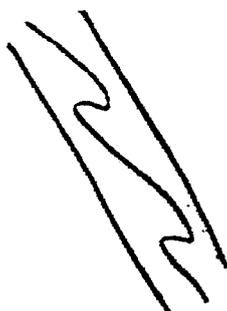
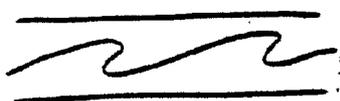
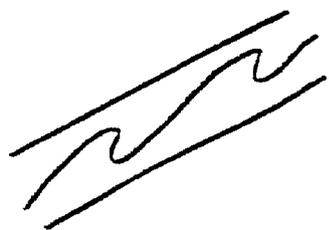
With the following information and the topographic map construct a geological map.

The base of a 100m thick Triassic sandstone unit is exposed at point A; the attitude is  $N70^{\circ}W$ ,  $25^{\circ}S$ .

Point B is located on the west boundary of a vertical diabase dike of Jurassic age 50m thick; its trend is  $N20^{\circ}E$ .

At point C, the base of a horizontal Cretaceous sequence is exposed, and at point D the base of a conformable sequence of Tertiary rocks is present.

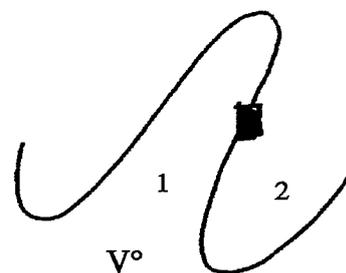
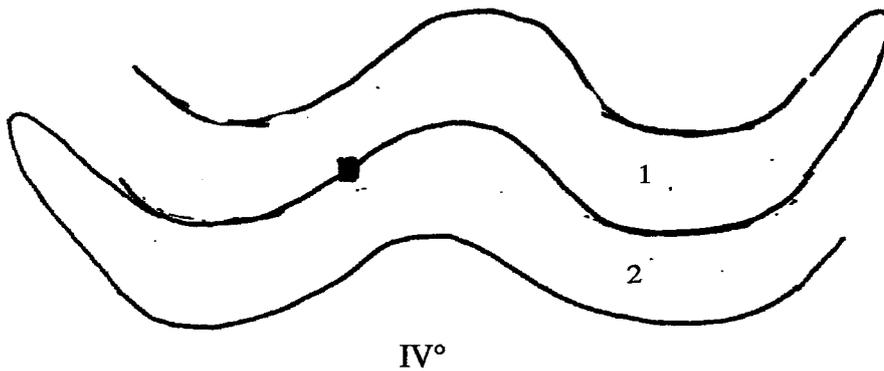
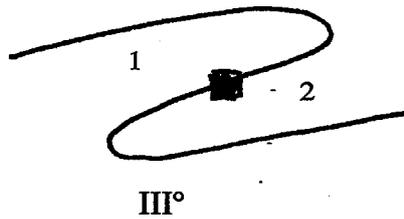
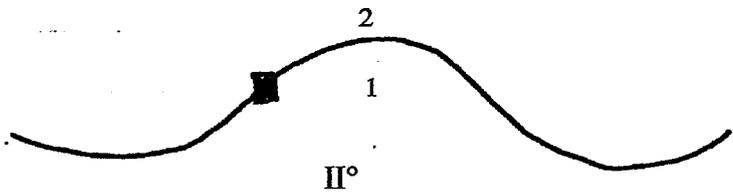
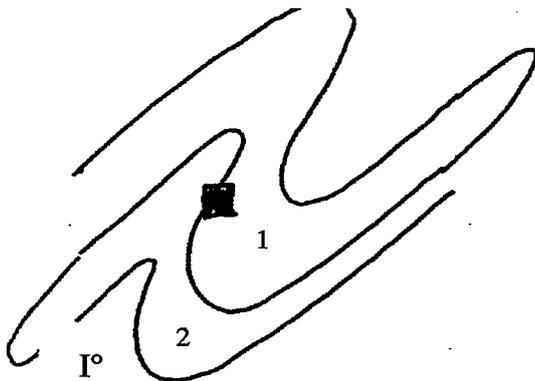
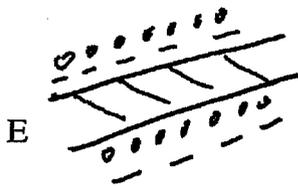
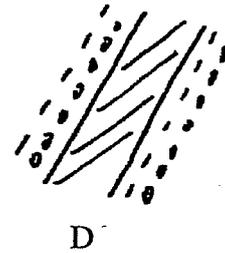
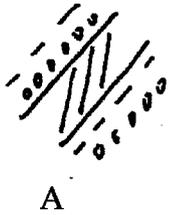
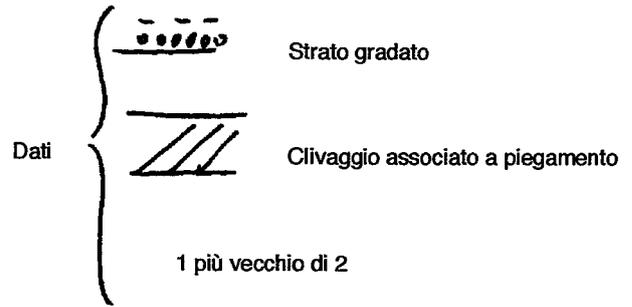


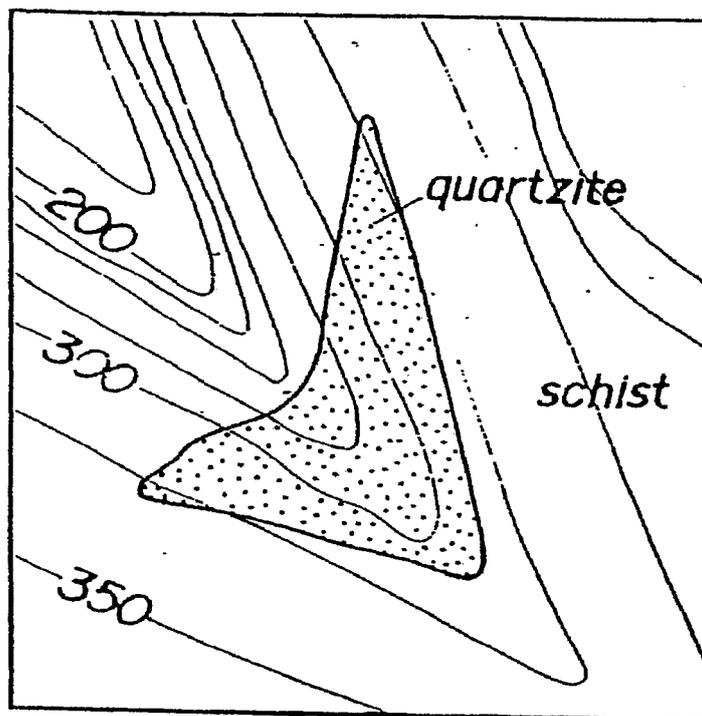


Posizionare le cerniere delle pieghe maggiori coerenti con i drag folds in ciascuno dei sette casi presentati e, di conseguenza, stabilire per ciascuno di essi se ci si trova su un fianco diritto o rovescio.

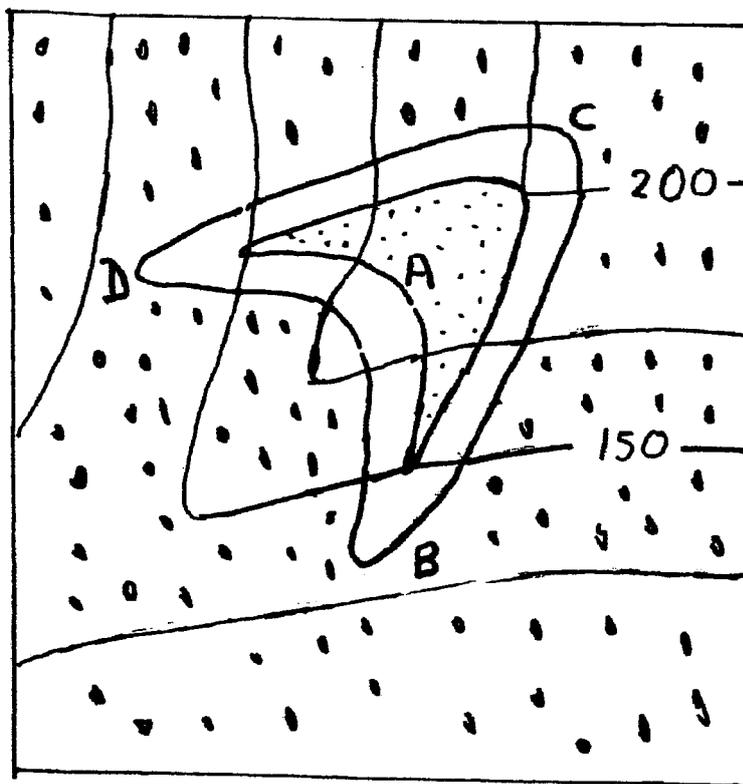
Le figure A ----> E rappresentano ingrandimenti dei quadratini neri inseriti nelle figure I° ----> V°.

Accoppiare correttamente ciascuna lettera al pertinente numero romano.

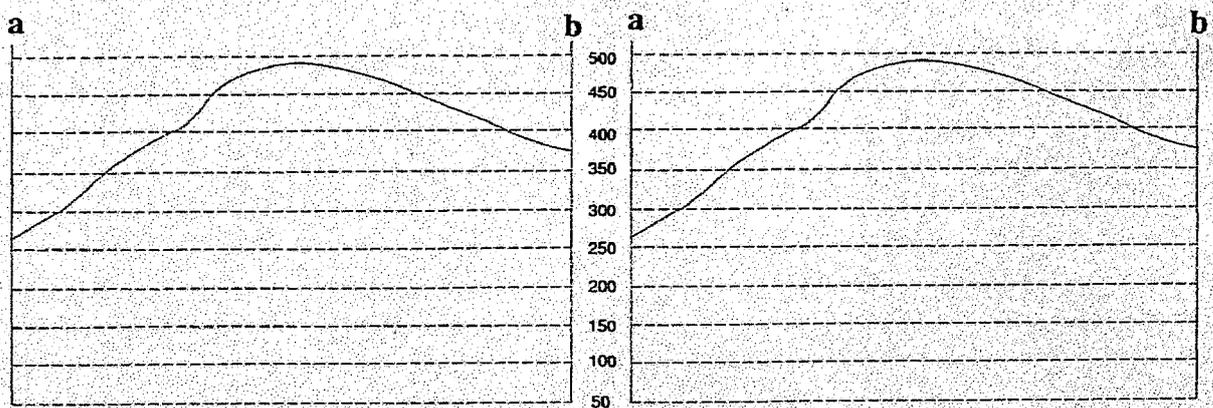
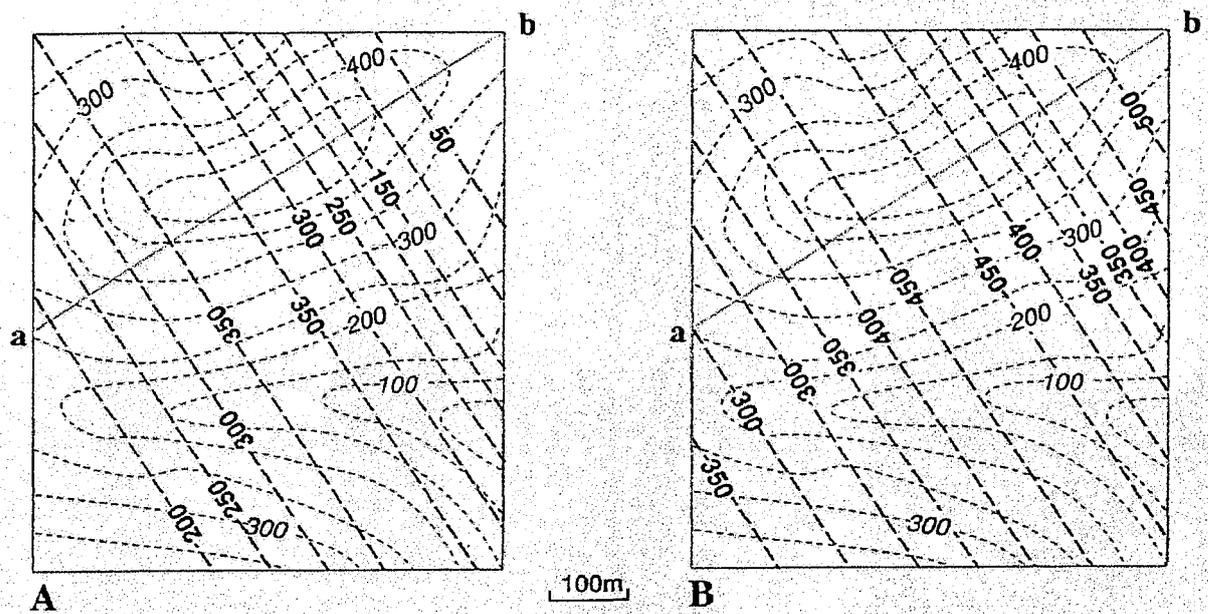




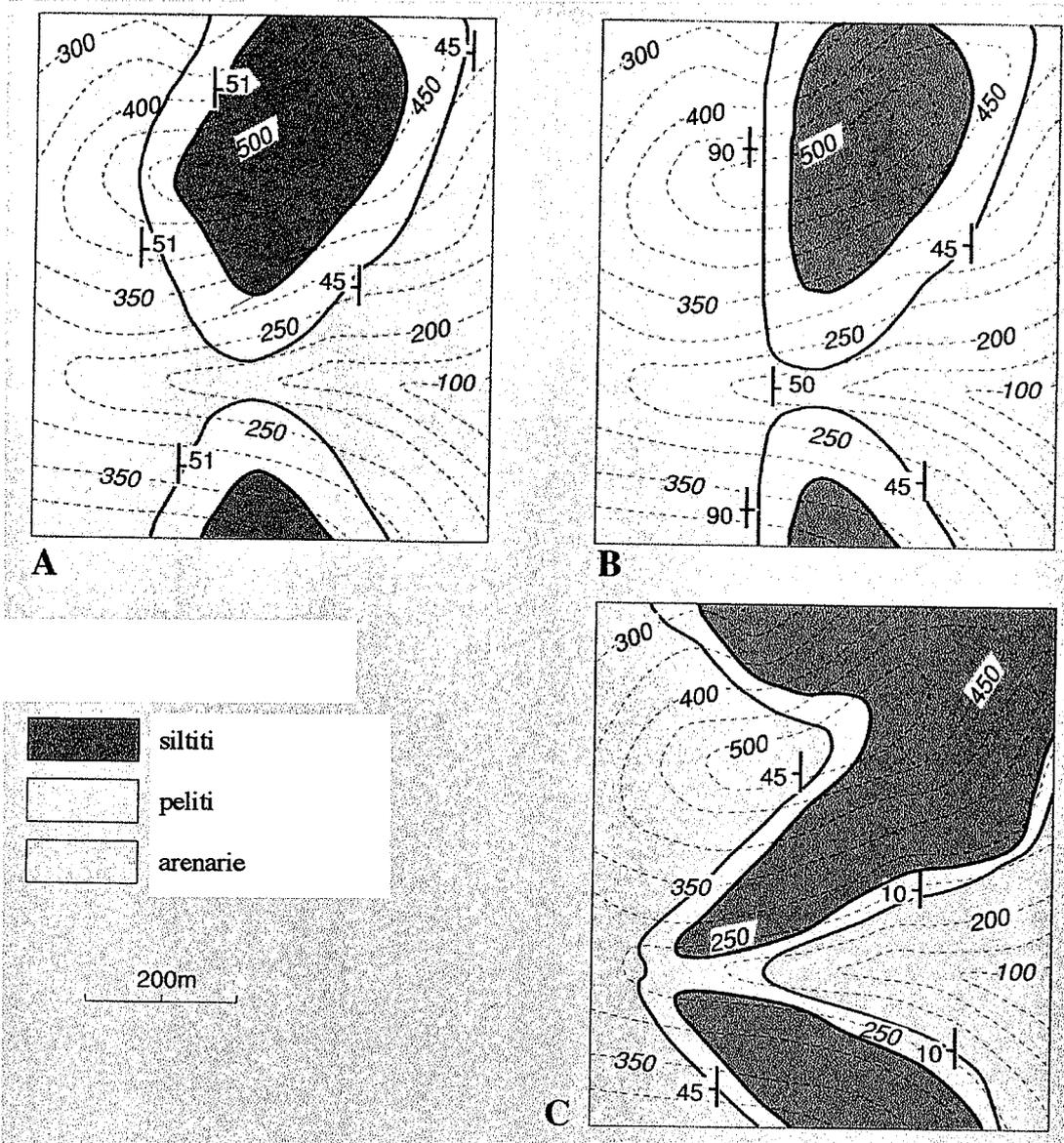
Costruire la linea di cerniera e la traccia della superficie assiale della piega che deforma il limite quartzite/schist. Stabilire se la piega è antiforme o sinforme.



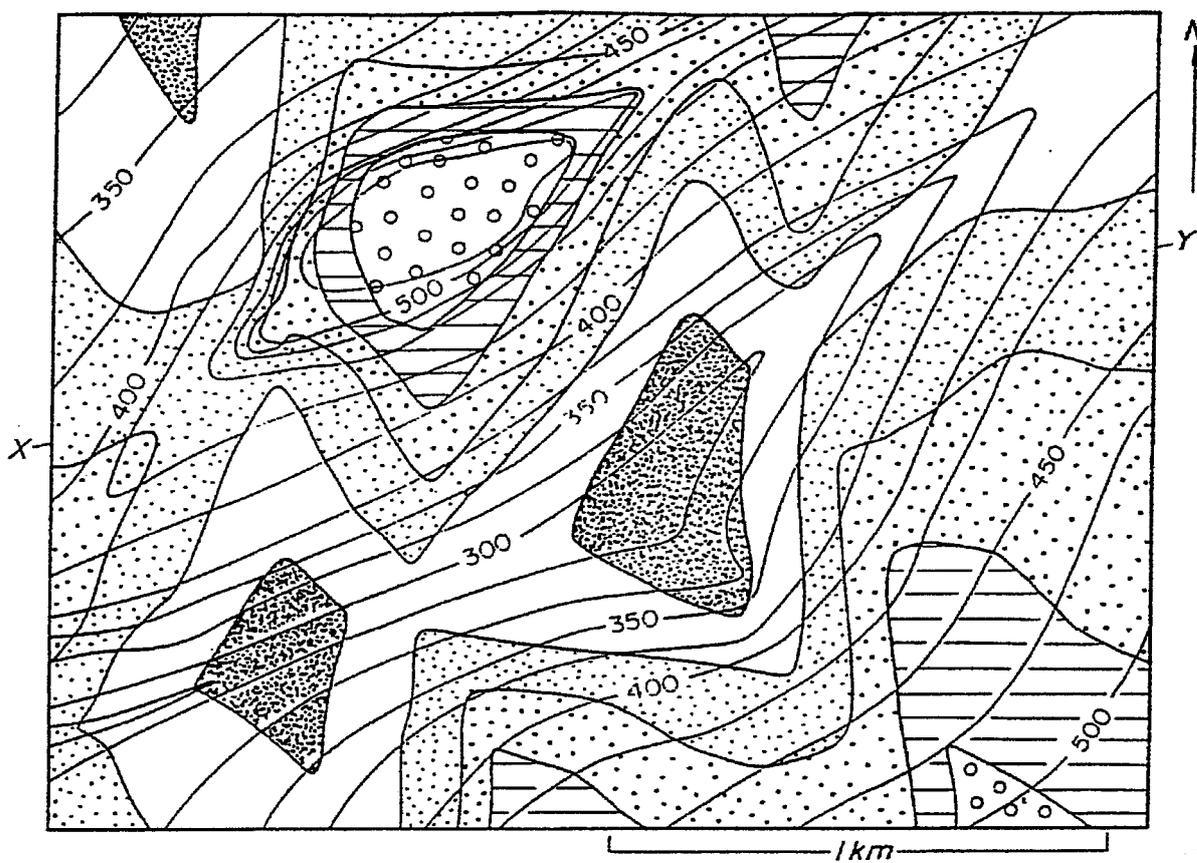
L'affioramento di un sottile livello d'argilla (in bianco) mostra sulla carta un andamento ricurvo, con quattro punti (A, B, C, D) nei quali la curvatura è molto pronunciata. Spiegarne i motivi.



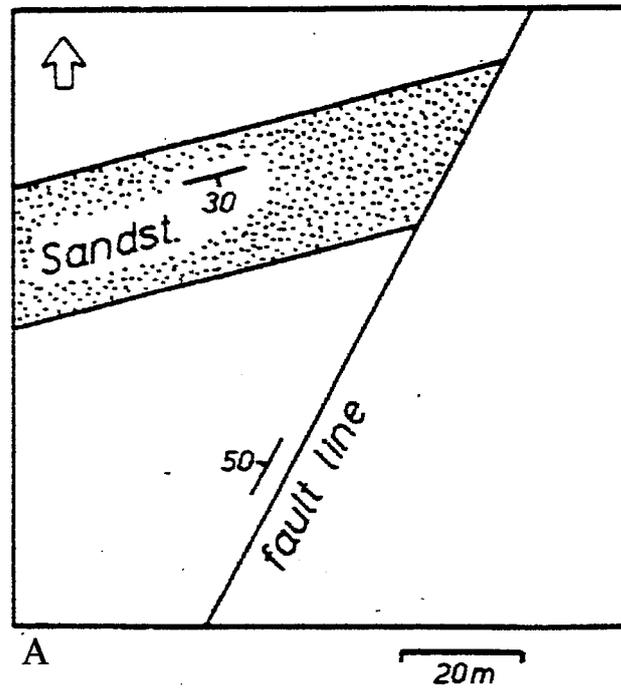
Nella carta **A** le linee tratteggiate e quotate rappresentano le orizzontali (structure contours) di una superficie separante due formazioni sedimentarie.  
 Descrivere la forma di tale superficie, disegnarne la linea di affioramento e costruire la sezione verticale.  
 Ripetere l'esercizio per la carta **B**.



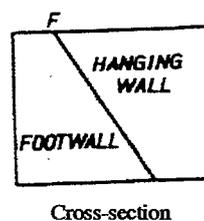
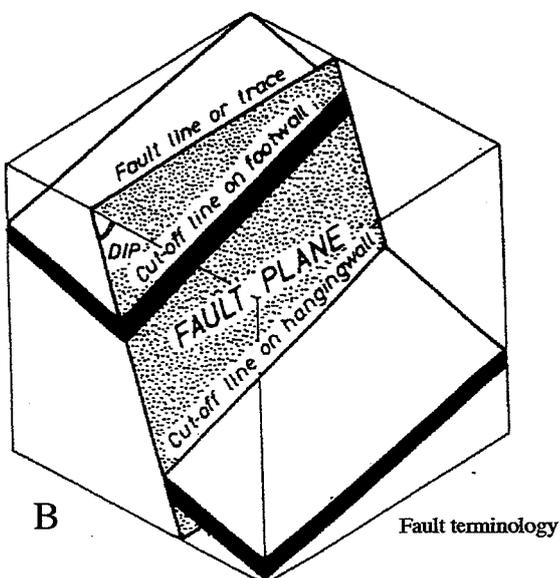
Confrontare le tre strutture cartografate, descriverle brevemente e, per ciascuna di esse, costruire una sezione verticale a direzione E-W, inserendovi i soli limiti geologici e prescindendo dal profilo topografico

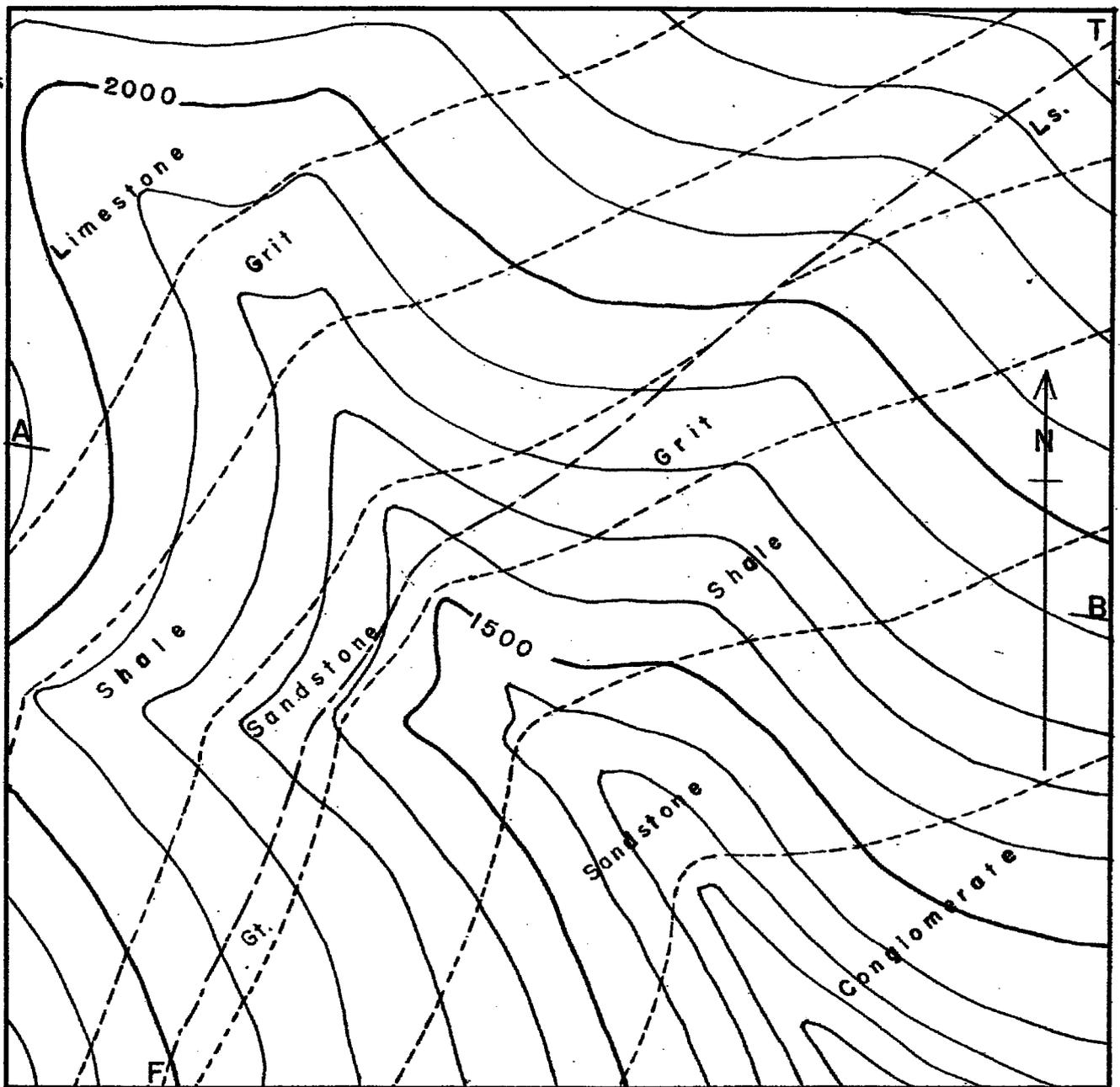


1. Mark hinge points, antiformal and synformal axial traces and hinge lines.
2. Determine the plunge direction of the fold hinge lines.
3. Deduce the general attitude of the fold axial surfaces.
4. Construct a vertical cross-section along the line X-Y
5. Give a full description of the characters of the folds (e.g. tightness, symmetry, bed thickness variations, etc.).



La carta geologica (fig. A) presenta un livello arenaceo (sandst.) permeabile, intercalato a formazioni impermeabili, troncato da una faglia. La superficie topografica è piana e orizzontale. Nell'area a tetto della faglia la base del livello arenaceo rilascia acqua in tutti i punti in cui interseca la faglia. È stato calcolato che per ottenere la quantità d'acqua desiderata è necessario prelevarla da un pozzo verticale che si spinga a 18 metri di profondità. Indicare sulla carta l'ubicazione del pozzo. (La fig. B - ripresa dalla pag. Faglie, 5 - può aiutare a visualizzare il problema).



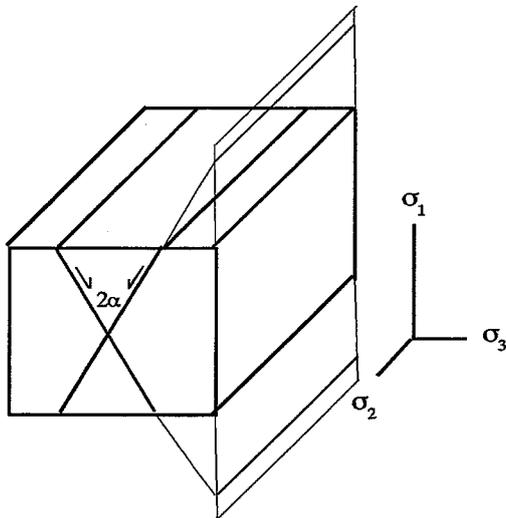


Scala 1:50.000

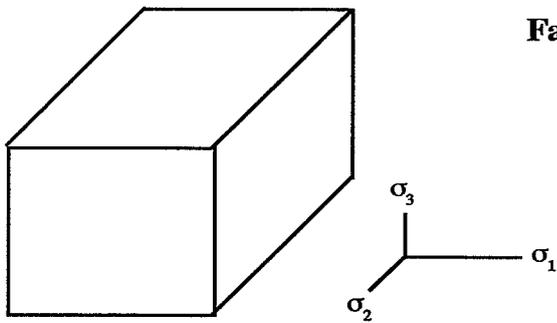
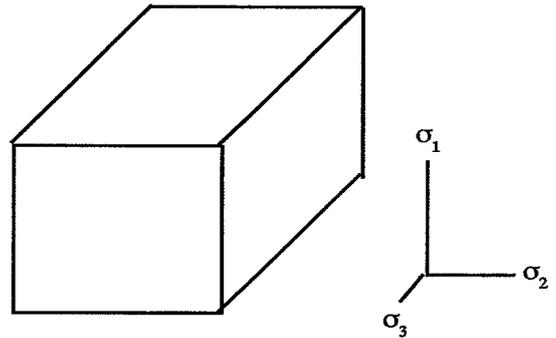
1. Lungo la faglia FT lo scivolamento totale (net slip) è uguale allo scivolamento d'immersione (dip slip).  
Classificare la faglia.
2. Eseguire la sezione geologica lungo la traccia A-B.
3. Calcolare la vertical separation.

**Modello di Anderson** - Inserire le intersezioni tra un sistema coniugato di faglie e ciascuna delle tre facce principali del parallelepipedo, con le frecce di movimento relativo, ma senza spostare materialmente le singole porzioni.

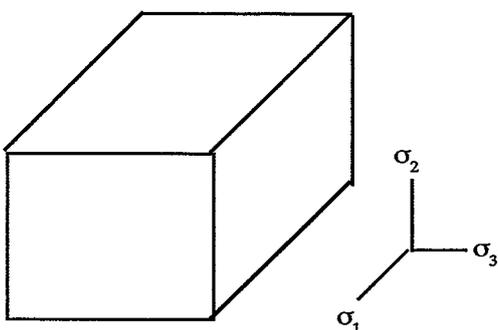
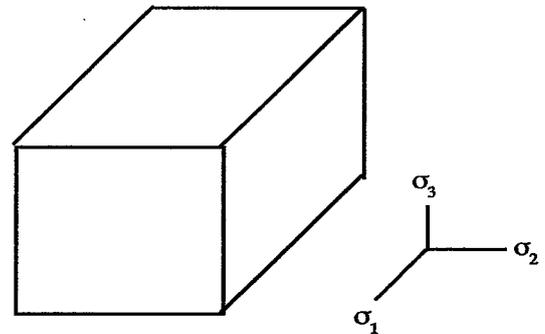
Si prenda come esempio la figura in alto a sinistra, già completata. In essa appare che la sezione "privilegiata" - cioè quella che consente di correlare immediatamente i rapporti tra le faglie coniugate e il campo di stress - è quella del piano parallelo agli assi  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ . Nel disegno è stata anche estesa la faccia del parallelepipedo parallela agli assi  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  al fine di evidenziare che, come accade sulla faccia  $\sigma_2 / \sigma_3$ , le intersezioni con le faglie sono parallele fra loro (e parallele all'asse  $\sigma_2$ ), dunque meno immediatamente correlabili con il campo di stress.



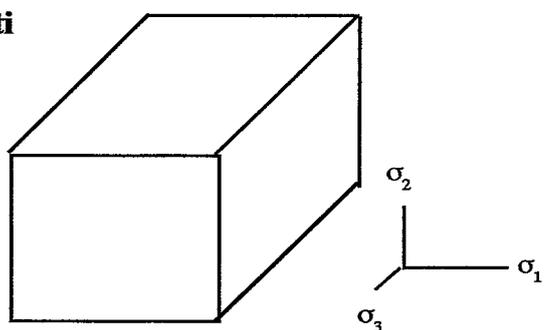
**Faglie normali**

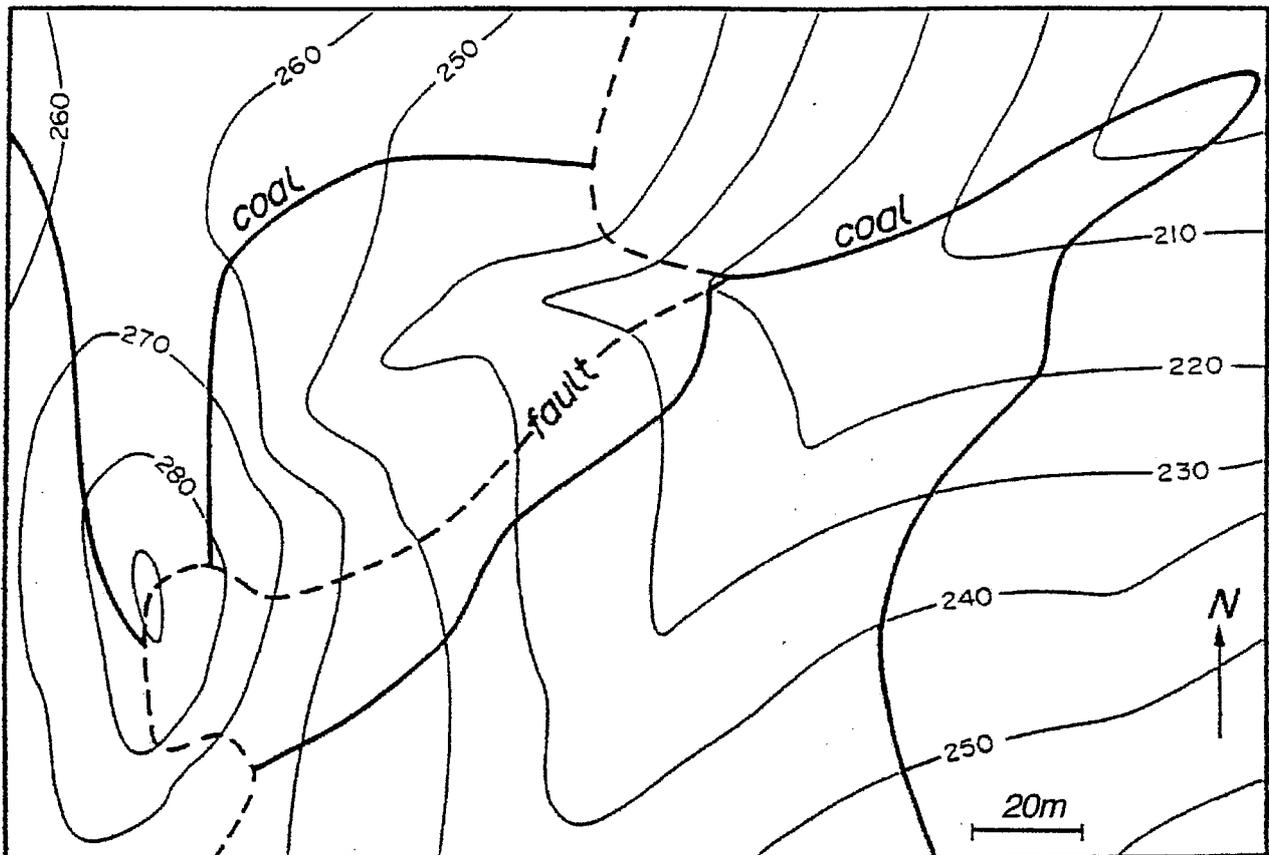


**Faglie inverse**



**Faglie trascorrenti**



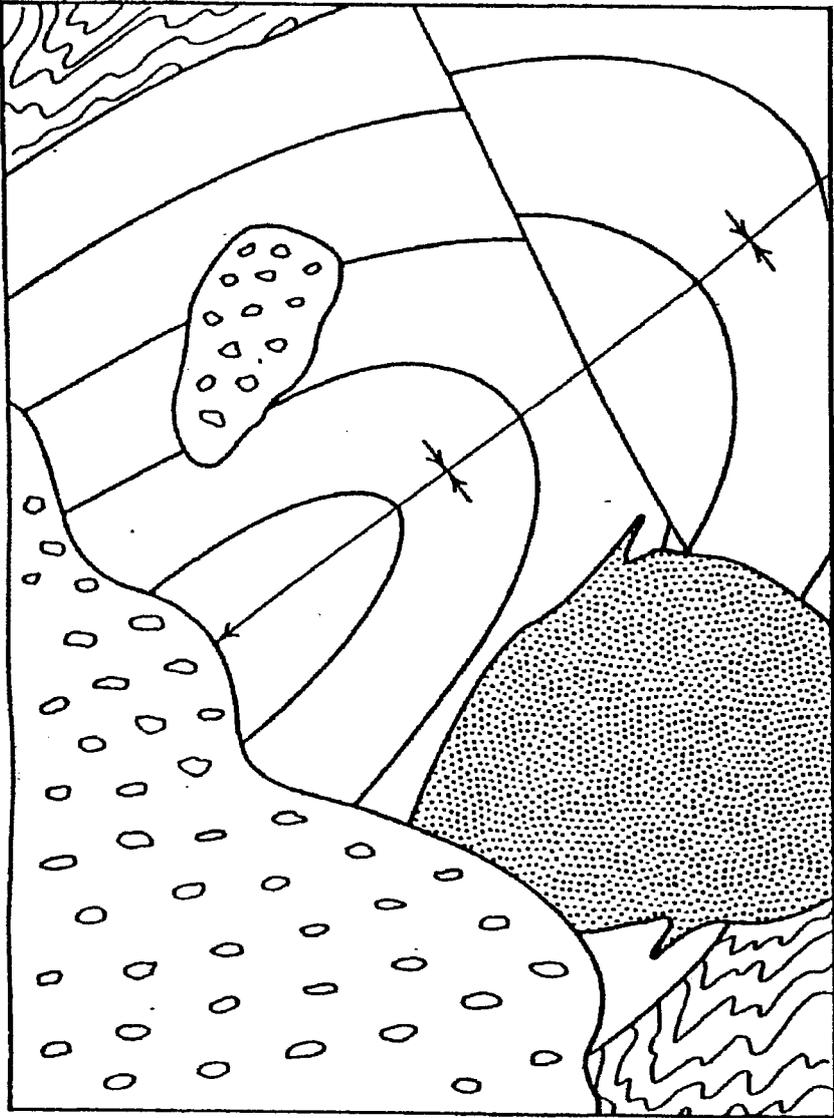


The map shows a fault (dashed line) which displaces a coal seam.

1. Determine the dip of the fault and the coal seam.
2. Construct the hanging wall and foot wall cut-off lines for the coal on the map and determine their plunge.
3. Draw a cross-section along a line at right angles to the strike of the fault.
4. Determine the strike separation, dip separation, throw, heave and the vertical separation of the fault.
5. Shade the parts of the area where coal can be encountered at depth. How is the heave of the fault important with respect to the areas underlain by coal?

History from a geologic map

Description:

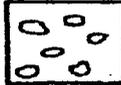
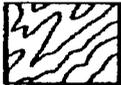


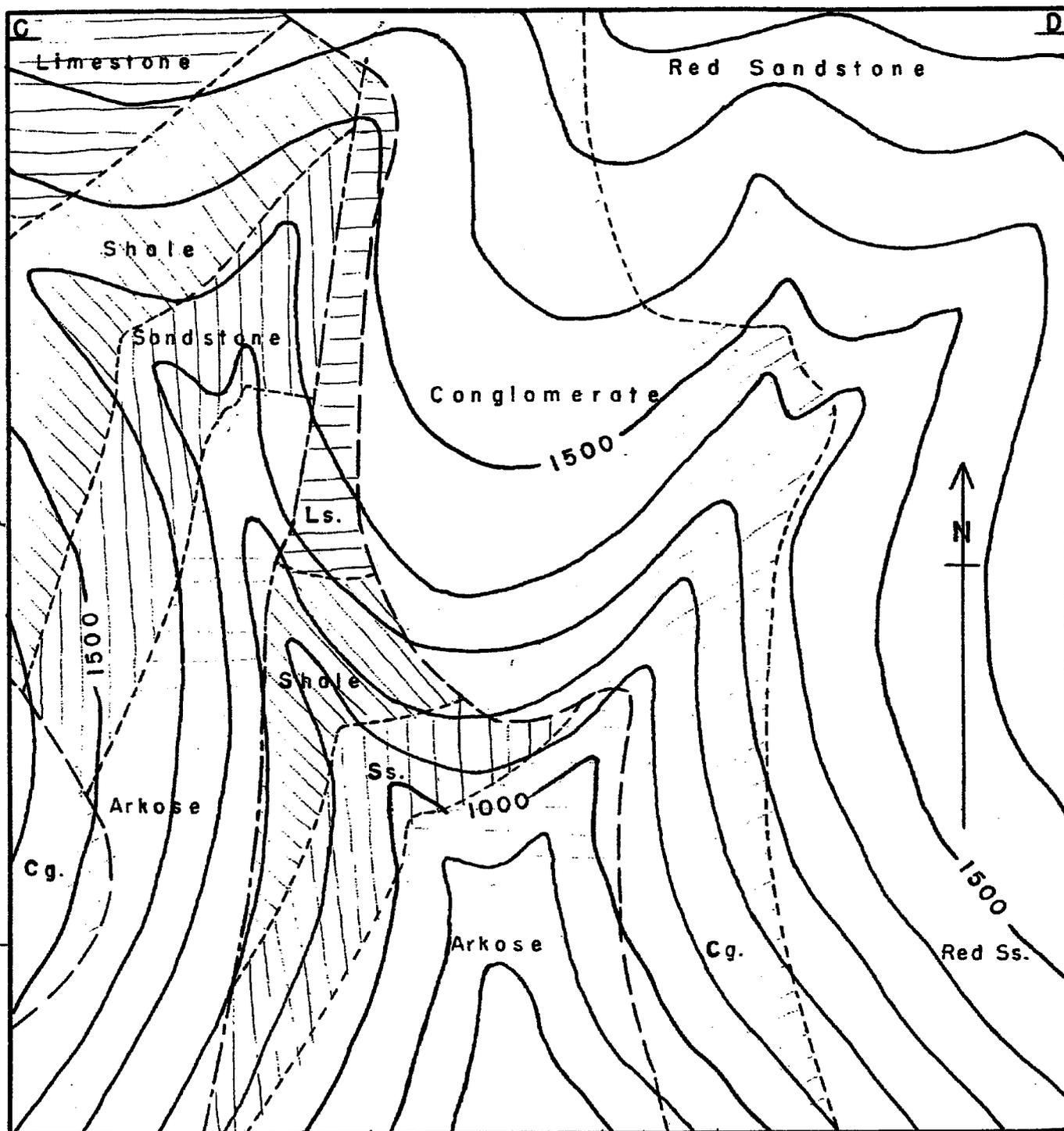
Metamorphic rocks

Sedimentary rocks C

Igneous rocks

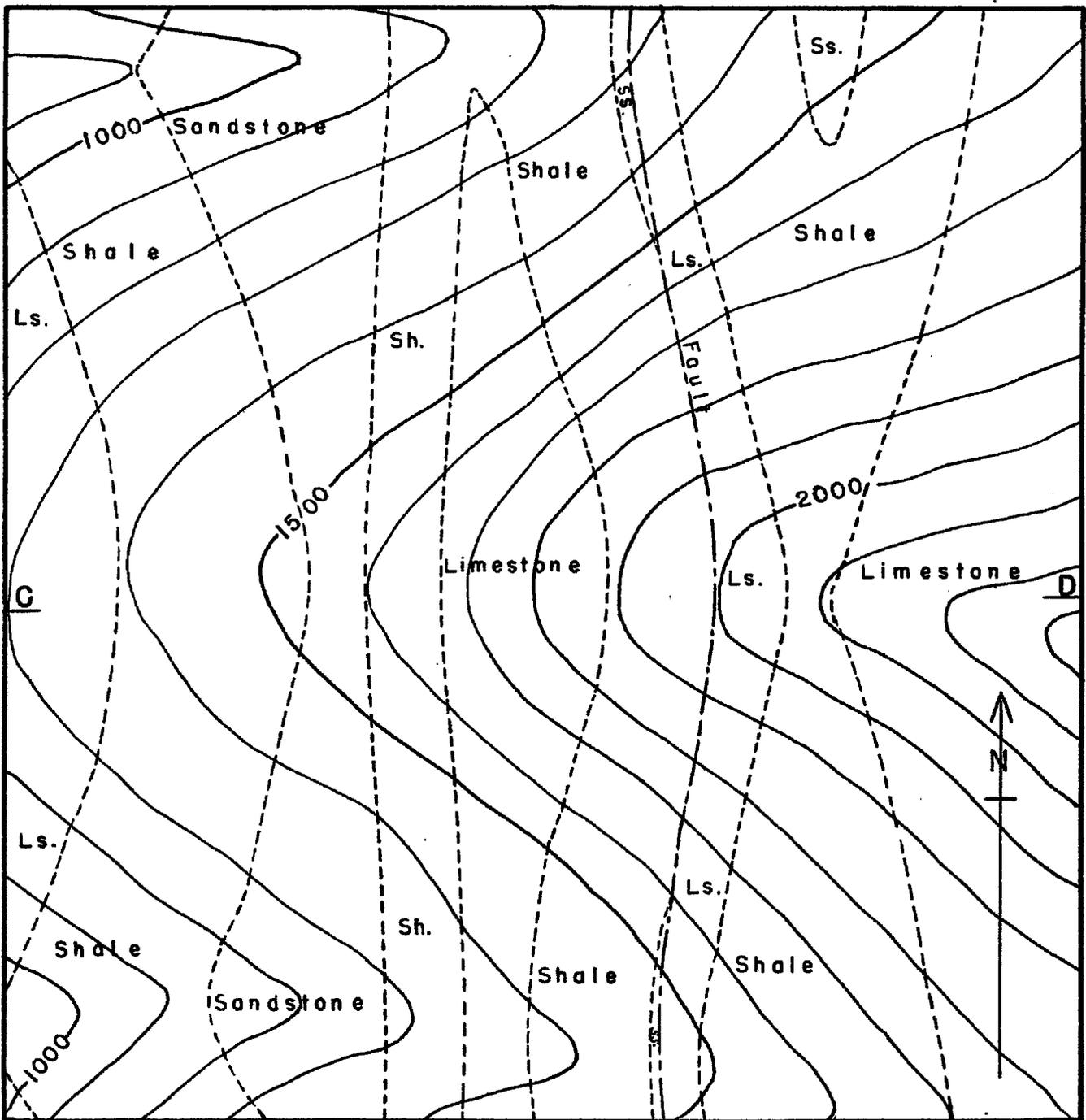
Sedimentary rocks A





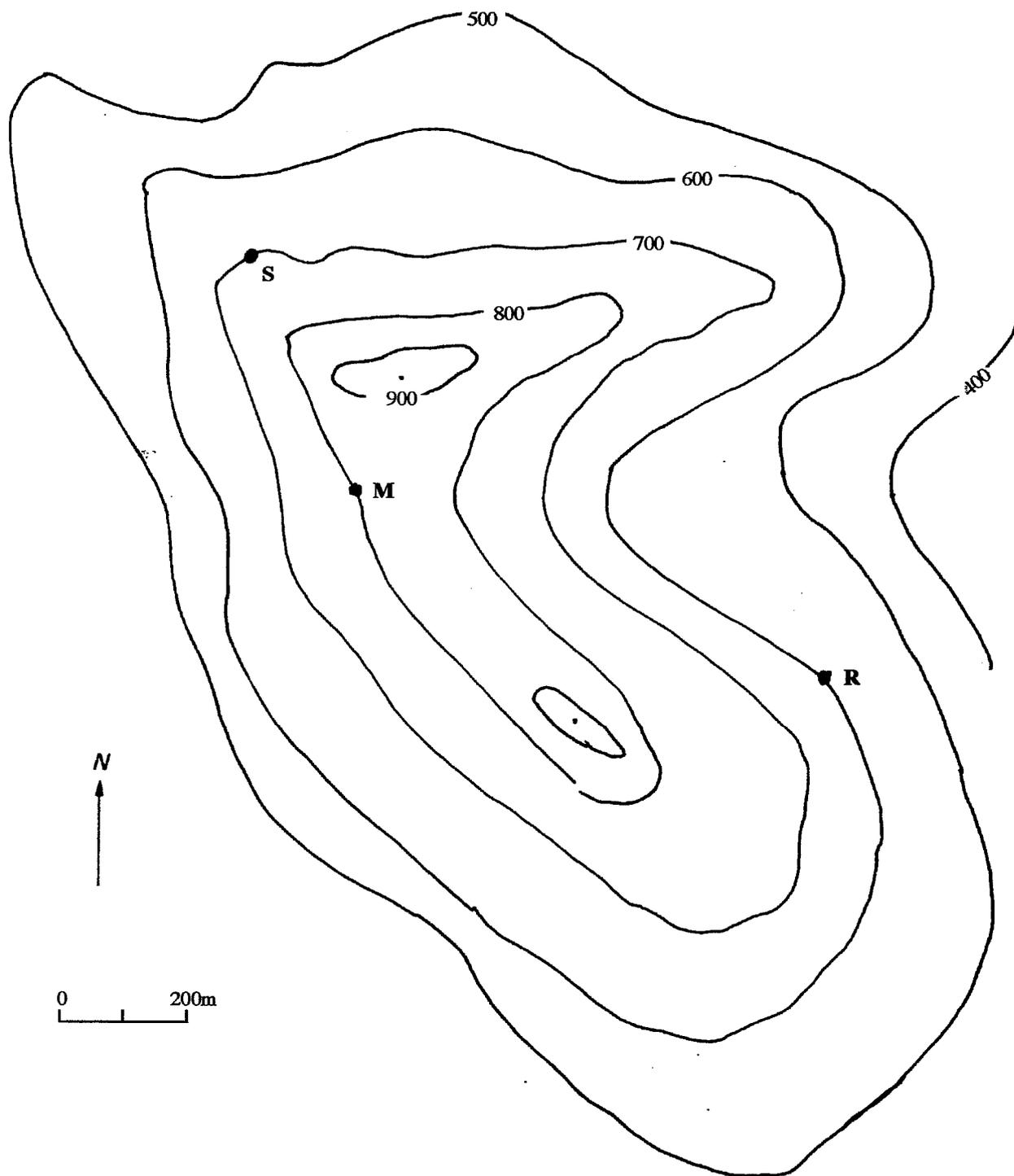
Scala 1:50.000

1. Descrivere le strutture e costruire una sezione verticale schematica secondo CD.



Scala 1:50.000

1. Descrivere le strutture e costruire una sezione verticale schematica secondo CD.



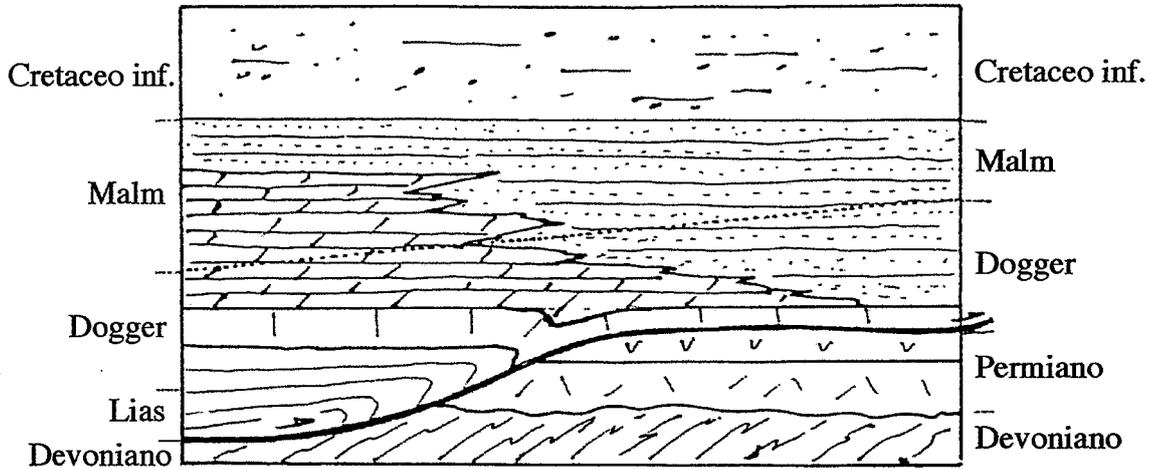
Dal punto **M** passa una faglia avente giacitura  $90^{\circ}\text{N}$ ,  $45^{\circ}$ , che interessa una successione piegata.

La linea di cerniera di una delle superfici piegate è orizzontale, con direzione  $60^{\circ}\text{N}$ . Essa è stata troncata e dislocata dalla faglia e affiora attualmente nei due punti **R** e **S**.

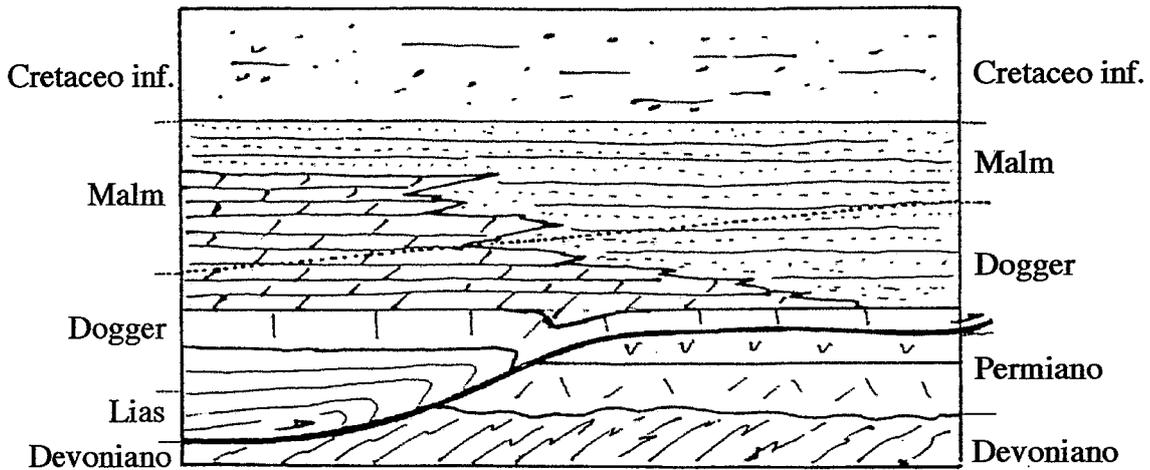
Trovare lo scivolamento totale (net slip) e le sue due componenti (scivolamento di direzione = strike slip e scivolamento d'immersione = dip slip) e definire la faglia.

Assegnare un diverso colore a ciascuna porzione della sezione verticale sotto riportata, onde definire le suddivisioni da utilizzare nell'ipotesi che si vogliono costruire i tre tipi diversi di carte indicati.

**CARTA TETTONICA**

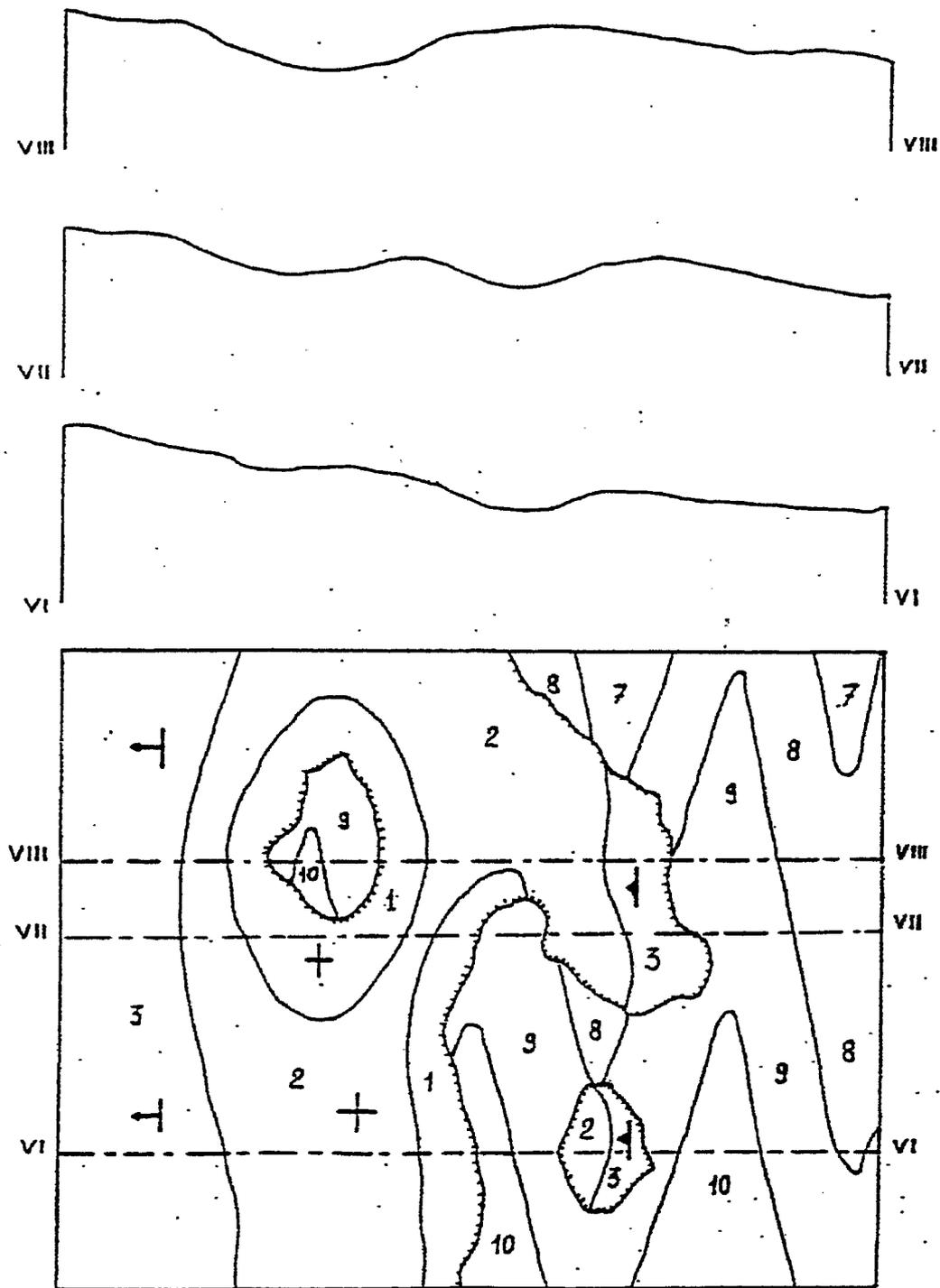


**CARTA CRONOSTRATIGRAFICA**



**CARTA FORMAZIONALE**





Leggere la carta e costruire le sezioni "seriate" in corrispondenza dei profili topografici già tracciati. Le formazioni (tutte sedimentarie) sono numerate progressivamente dalla più antica alla più recente. Le crocette indicano giaciture sub-orizzontali; le frecce "complete" corrispondono a inclinazioni di circa 20°; quelle con la sola punta a inclinazioni di circa 60°.

**SPIEGAZIONE DEGLI ESERCIZI DI  
CARTOGRAFIA GEOLOGICA**

# Riepilogo di alcune delle misure ottenibili da una carta geologica (che abbia base topografica della quale si conosca la scala)

## 0. Premessa

E = "Equidistanza" (differenza di quota tra due isoipse contigue) espressa in metri

1/e = Scala della carta (espressa in metri)

ε = "Equidistanza grafica" (differenza di quota tra due isoipse contigue, alla scala della carta), espressa in millimetri

$$\varepsilon = 1000 E / e \text{ mm}$$

## I - Giaciture di piani e linee; misure di spessori

### 1. Giacitura (attitude) di una superficie piana

- **direzione (strike)**: la congiungente (orizzontale, structure contour) due punti della linea di affioramento situati sulla stessa isoipsa;

- **immersione (dip)**: la retta ortogonale alla direzione; per stabilire da che parte si abbassa si traccia una seconda orizzontale del piano a partire da un punto della linea di affioramento situato sull'isoipsa adiacente a quella considerata in precedenza; le intersezioni delle due orizzontali (quotate) con la retta dell'immersione consentono di identificare l'immersione

- **inclinazione (dip angle)**: detti

p (passo) la lunghezza (espressa in mm) del segmento intercettato sulla retta dell'immersione da due orizzontali contigue

α l'angolo di inclinazione cercato, è:

$$\text{tg } \alpha = \varepsilon / p \quad (1)$$

NOTA - La (1) può ovviamente essere applicata anche nel seguente modo più generale:

- detta p' la lunghezza del segmento che, sulla retta dell'immersione, corrisponde ad una certa differenza di quota e ε' la stessa differenza di quota alla scala della carta, e ricordandosi di esprimere i due valori con la stessa unità di misura, è

$$\text{tg } \alpha = \varepsilon' / p' \quad (1')$$

### 2. Giacitura (plunge) di una linea retta non orizzontale

- **immersione (plunge)**: la congiungente due punti della retta, che si abbassa dal punto di quota più alta verso l'altro;

- **inclinazione (plunge)**: la distanza tra i due punti predetti fornisce il valore di p', utilizzabile nella (1')

### 3. Giacitura (plunge) della retta di intersezione di due superfici piane

Se le linee di affioramento delle due superfici piane si intersecano in almeno due punti, la loro retta di intersezione passa per tali punti; se le linee di affioramento non si intersecano, si costruiscono per ciascuna di esse due orizzontali di quota omologa; queste si intersecano necessariamente in due punti, la cui congiungente è la retta cercata.

Una volta trovata sulla carta la retta di intersezione, la sua giacitura si determina con lo stesso procedimento utilizzato al punto 2.

### 4. Verifica dell'appartenenza ad un dato piano di una retta inclinata e misura del pitch

Anzitutto si quoti la retta (cfr. punto precedente). Essa giace su un dato piano se le orizzontali di quest'ultimo intersecano la retta in punti aventi la stessa quota. In tal caso, il pitch è l'angolo acuto che la retta forma con un'orizzontale del piano.

### 5. Inclinazione apparente della traccia di un piano (π) in una data sezione verticale (π')

α = inclinazione vera di π,

β = inclinazione apparente di π nel piano verticale π',

φ = angolo tra le direzioni di π e π'

$$\text{tg } \beta = \text{tg } \alpha \text{sen } \varphi \quad (2)$$

### 6. Spessore verticale di una formazione delimitata da due superfici piane e parallele

Si traccia un'orizzontale del piano inferiore e si vede a quale quota essa interseca la linea di affioramento del piano superiore; la differenza tra le due quote fornisce il valore cercato

### 7. Spessore orizzontale minimo di una formazione delimitata da due superfici piane e parallele

Si traccia un'orizzontale del piano inferiore e l'orizzontale avente la stessa quota del piano superiore: la distanza minima tra le due orizzontali fornisce il valore cercato

### 8. Spessore reale (ortogonale) di una formazione delimitata da due superfici piane e parallele

Si trova lo spessore verticale ( $v$ ) (v. punto 6); si ricava l'inclinazione  $\alpha$  dei limiti della formazione (v. punto 1).

Lo spessore ortogonale ( $t$ ) è:

$$t = v \cos \alpha$$

In alternativa:

Si trova lo spessore orizzontale minimo ( $h$ ) (v. punto 7); si ricava l'inclinazione  $\alpha$  dei limiti della formazione (v. punto 1).

Lo spessore ortogonale ( $t$ ) è:

$$t = h \sin \alpha$$

Si tenga anche presente che  $t$  corrisponde al valore misurato nel piano verticale parallelo all'immersione dei limiti. In un qualunque altro piano verticale, formante con la direzione dei limiti un angolo  $\varphi$ , i due piani delimitanti la formazione mostrerebbero un'inclinazione apparente  $\beta$  (cfr. punto 5) e lo spessore misurato avrebbe un valore  $t' > t$ , dato dalla formula  $t' = v \cos \beta$ .

In questo caso, è:  $t = t' \cos \alpha / \cos \beta$ , e il valore di  $\alpha$  da inserire nell'equazione è ricavabile dalla (2) indicata al precedente punto 5.

### **II - Giaciture di linee di cerniera e di superfici assiali**

NOTA - Il procedimento si applica a linee di cerniera rette e a superfici assiali piane. Per i casi più complessi esso deve essere applicato ripetutamente ad ogni porzione assimilabile rispettivamente ad una retta o ad un piano.

#### 1. Giacitura (plunge) della linea di cerniera di una superficie piegata

La linea di cerniera si ottiene congiungendo sulla carta i punti di massima curvatura (NON connessi all'andamento della superficie topografica!!) della linea di affioramento della superficie geologica piegata. Una volta ottenuta la linea, la sua giacitura viene individuata con il procedimento del punto I-2.

#### 2. Giacitura (attitude) della superficie assiale di una piega

Si identificano sulla carta, con il procedimento di cui sopra, tutti i punti di cerniera di tutte le superfici geologiche piegate.

La loro congiungente è la linea di affioramento della superficie assiale, la cui giacitura può essere determinata con il procedimento di cui al punto I-1.

### **III - Faglie: misure di spostamenti di limiti (separation)**

Si veda la pag. **Faglie, 7** delle dispense di "strutture tettoniche"

La carta propone l'applicazione pratica del fondamentale «metodo dei tre punti», il cui procedimento generale è illustrato a pag. Costr. - 1°, 2.

Si congiungono i punti A e B, che, tra i tre punti dati, sono i due che hanno la maggior differenza di quota e si divide il segmento AB in tante parti uguali quante sono necessarie per trovarvi un punto «D» situato, sul piano di cui si cerca la giacitura, alla stessa quota (800m) del punto C. Si noti bene che il punto «D» non affiora in superficie, poiché non cade sull'isoipsa di quota 800. È questo il caso assolutamente più frequente. Sarebbe un **grave errore concettuale** cercare il punto «D» come intersezione tra il segmento AB e l'isoipsa di quota 800.

La congiungente i punti D e C rappresenta la direzione del piano ( $170^{\circ}\text{N}-350^{\circ}\text{N}$ ). L'immersione è ortogonale alla direzione e, poiché il segmento AB si abbassa da B verso A, essa risulta  $260^{\circ}\text{N}$ .

Quanto all'inclinazione, si calcola anzitutto l'equidistanza grafica. Poiché le isoipse sono scalate di 20m e la scala della carta è 1:25.000, risulta  $\epsilon = 0,8\text{mm}$ . Per trovare il «passo» (cioè la distanza minima tra due orizzontali contigue del piano passante per i punti dati A, B, C, misurata lungo l'immersione del piano stesso), tenuto conto che la differenza di quota tra i punti A e D è pari a 100m, si deve dividere il segmento AD in cinque parti uguali, in modo che ciascuna di esse rappresenti una differenza di quota pari a 20m; detto «E» il punto che lungo la retta di massima pendenza (retta AD) ha quota 820m, da E si manda una parallela all'orizzontale CD precedentemente costruita. La distanza tra queste due orizzontali, misurata lungo l'immersione del piano, rappresenta il passo cercato, il cui valore è di 8 mm. Pertanto, detto  $\alpha$  l'angolo di inclinazione del piano, dalla relazione  $\text{tg } \alpha = \epsilon/p$  risulta  $0,8/8 = 0,1$  e  $\alpha = 5,7^{\circ}$ .

In conclusione, la giacitura del piano la cui linea di affioramento passa per i tre punti A, B, C è:  $260^{\circ}\text{N}$ ,  $5,7^{\circ}$ .

### Costruzione approssimata

- Piano a: ha giacitura a reggipoggio nella parte orientale della carta e a spianapoggio, con inclinazione minore del pendio, nella parte occidentale. Della sua linea di affioramento sono noti i due punti (B, C) in cui la sua traccia nella sezione AA' incontra il profilo topografico. Perciò la linea stessa deve avere "concavità rivolta dalla stessa parte di quella delle isoipse, ma più aperta" nel tratto in cui il piano è a reggipoggio e "concavità rivolta dalla stessa parte di quella delle isoipse, ma più chiusa" nel tratto in cui il piano è a spianapoggio.

- Piano b: ha giacitura simile a quella del piano a, con inclinazione molto minore. La sua linea di affioramento avrà dunque forma simile alla precedente, tendendo, al tempo stesso, al parallelismo con le isoipse. Anche per questo piano sono noti due punti della linea di affioramento (punti B, E, dei quali il primo appartiene anche alla linea di affioramento di a).

- Piano c: ha giacitura verticale; della sua linea di affioramento è noto il punto C (per il quale passano anche a e d). Per il resto, essa deve corrispondere ad una linea retta. A prima vista, si può pensare che la direzione di tale linea possa essere qualunque, purché diversa dalla direzione AA' (infatti, se fosse parallela ad AA' non esisterebbe la traccia di c della sezione verticale). In realtà, la sezione offre altre informazioni: il piano c interseca tutti gli altri piani, dunque anche la sua linea di affioramento deve intersecare quelle di tutti gli altri piani. In particolare, la linea di affioramento di c deve intersecare sia quella di b che quella di e a quota inferiore a quella del punto C. Conviene pertanto costruire prima le linee di affioramento di tutti gli altri piani, e trovare poi, tra le infinite rette che potrebbero rappresentare la linea di affioramento di c, una che soddisfi le condizioni sopra precisate.

- Piano d: ha giacitura a spianapoggio, con inclinazione maggiore del pendio. La sua linea di affioramento (passante per il punto C) dovrà avere "concavità rivolta dalla parte opposta rispetto a quella delle isoipse". Poiché il piano d è piuttosto fortemente inclinato, la sua linea di affioramento dovrà essere disegnata abbastanza considerevolmente aperta. Nel tracciarla, sia pure qualitativamente, si dovrà tener conto anche delle informazioni ricavabili dalla sezione verticale: tale linea deve intersecare quella del piano e ad una certa quota e quella del piano b a quota inferiore.

- Piano e: ha giacitura a reggipoggio. Pertanto la sua linea di affioramento deve avere "concavità rivolta dalla stessa parte di quella delle isoipse, ma più aperta". Di tale linea si può trovare sulla carta il punto (D) corrispondente a quello in cui, nella sezione verticale AA', la traccia di e interseca il profilo topografico. Poiché il piano e è meno inclinato del piano d, la sua linea di affioramento dovrà essere disegnata un po' meno "aperta" di quella del piano d. Inoltre, si dovrà tener conto, come già detto sopra, che e interseca d ad una certa quota, b a quota inferiore e c a quota ancora più bassa.

### Costruzione precisa

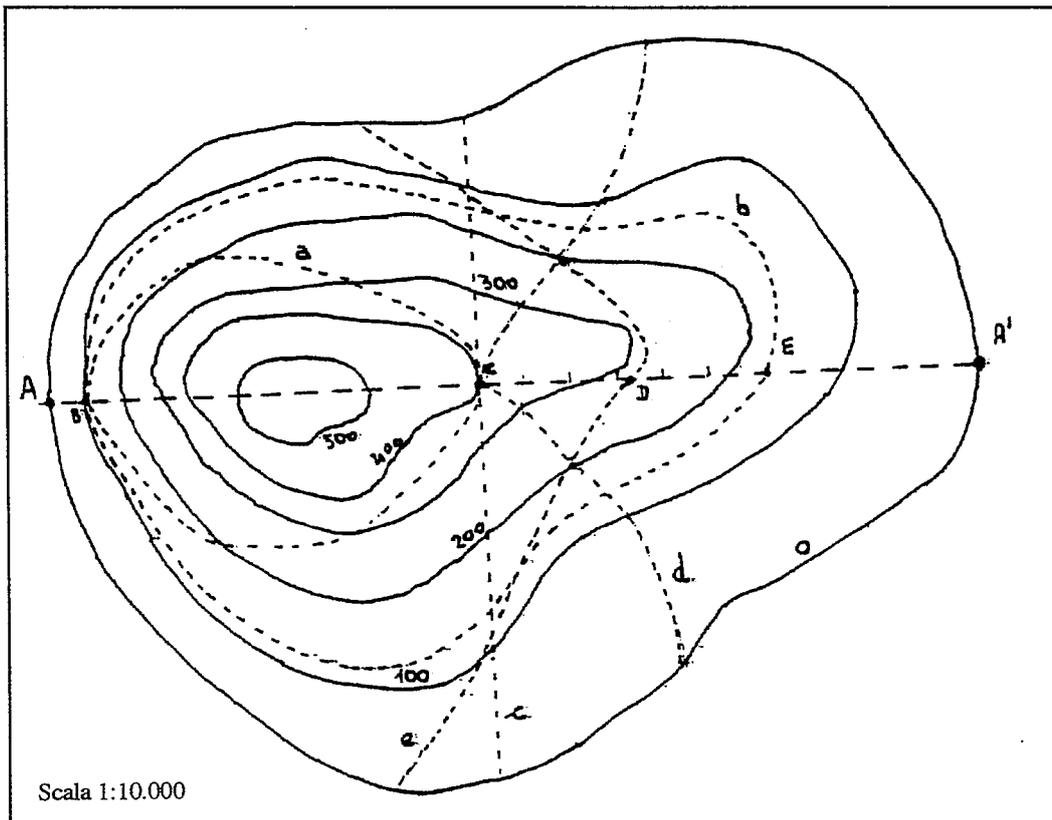
**NOTA - questa parte dell'esercizio deve essere svolta dopo aver risolto l'esercizio del foglio 2**

Per quanto concerne la costruzione precisa delle linee di affioramento, si noti anzitutto che, poiché si è ammesso che i quattro piani inclinati hanno la stessa direzione (N-S), tutte le loro orizzontali sono parallele.

Poiché la sezione è ortogonale alla direzione dei piani, essa fornisce le loro inclinazioni reali, che possono essere misurate con il goniometro. Pertanto, di ciascuno dei quattro piani inclinati si può ricavare il passo e, poiché della linea di affioramento di ciascuno di essi è noto almeno un punto (punti B, C, D, E ricavabili dalla sezione e trasferibili sulla carta), la linea è integralmente costruibile.

Per quanto concerne il piano c, già si è affermato che la sua linea di affioramento deve corrispondere a una linea retta; essa è pertanto tracciabile quando se ne conoscano due punti. Questi sono immediatamente ricavabili dalla sezione: si tratta del punto C e del punto di intersezione tra il piano c e il piano e; tale punto ha quota 100 m e pertanto sulla carta si trova in corrispondenza dell'intersezione tra la linea di affioramento del piano e, precedentemente tracciata, e l'isoipsa di quota 100. Si constata così che

anche il piano c ha la stessa direzione degli altri quattro piani dati.



## Soluzione dell'esercizio del foglio 1 bis

Poiché a letto dei due piani affiorano terreni impermeabili, le acque del sottosuolo tenderanno a concentrarsi al di sopra di essi, in corrispondenza della loro retta d'intersezione. Pertanto il problema si risolve trovando anzitutto quest'ultima.

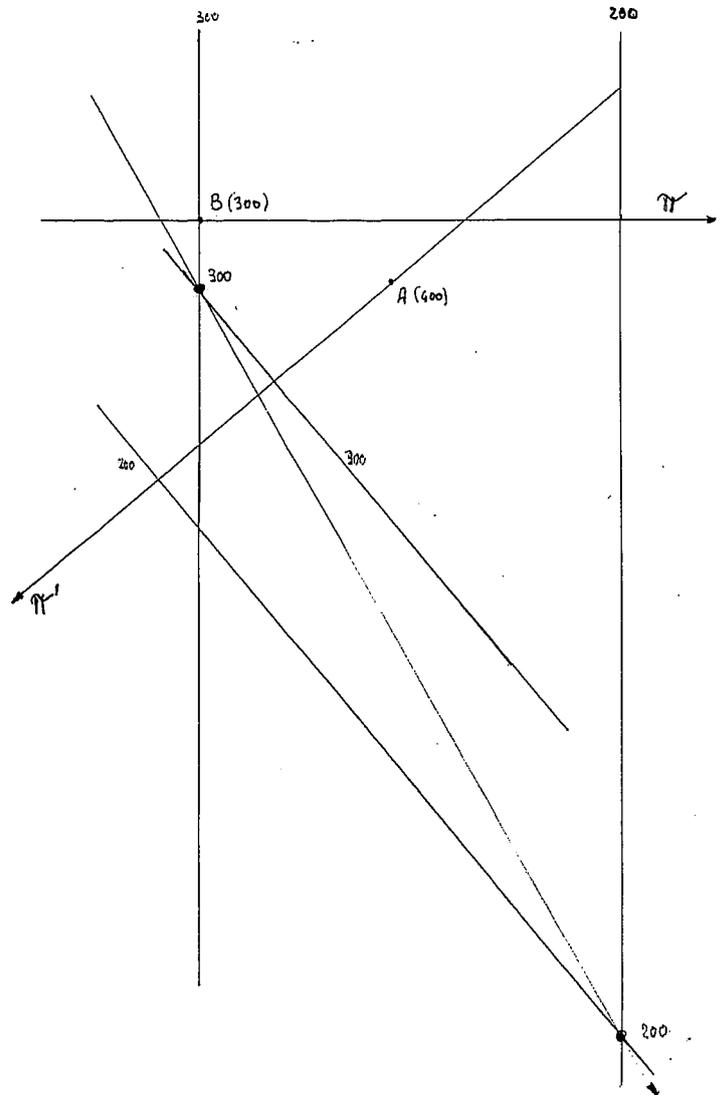
Si noti che, in questo caso, per trovare la retta non è opportuno utilizzare le proiezioni stereografiche (il polo della retta essendo ovviamente dato dal punto d'intersezione delle ciclografiche dei due piani), poiché con questo metodo ricaveremmo soltanto la giacitura della retta, ma non la sua precisa collocazione sulla carta.

Conviene pertanto procedere utilizzando le orizzontali dei due piani, cercando le due intersezioni tra due coppie di orizzontali di quota omologa e congiungendole. Si ottiene una retta che immerge a  $N150^\circ$ , della quale si calcola l'inclinazione misurandone il "passo" (pari a circa 22,7 cm) ed ottenendo un valore di circa  $10^\circ$ .

Il pozzo deve ovviamente essere ubicato sulla verticale della retta trovata, a SSE del punto in cui essa affiora in superficie (circa a quota 310m).

La posizione precisa dipende da diversi parametri, che non sono noti: quantità d'acqua richiesta in un dato intervallo di tempo; quantità media delle precipitazioni nella zona; frazione delle precipitazioni che si raccoglie nel sottosuolo ed è recuperabile dal pozzo (con o senza intervento di pompe)....

In linea generale, si può soltanto affermare che aumentando la profondità del pozzo aumenta da un lato la quantità d'acqua recuperabile, ma, dall'altro lato, aumentano i costi per l'esecuzione dell'opera e per la sua manutenzione.



**Punto 1)**

Si segue il procedimento illustrato in "Costr. - 1°", pagg. 2 e 3.

Sia  $\pi$  il piano contenente i tre punti A, B, C della carta.

Si congiungano i due punti separati dal maggior dislivello: C (quota 600) e B (quota 360). Tenendo presente che l'equidistanza è di 20m, si suddivida il segmento BC in 12 [(600-360)/20] parti uguali e si quotino i punti di suddivisione così trovati (380, 400, 420.....580). Si determinerà in tal modo, su BC, il punto D (500). Si noti che esso NON cade sull'isoipsa di quota 500. La retta AD, contenendo due punti di  $\pi$  situati alla stessa quota 500, è una orizzontale di  $\pi$  e ne indica pertanto la **direzione**.

Ogni retta  $i$  ad essa ortogonale rappresenta (la proiezione ortogonale sul piano orizzontale di) una retta di massima pendenza di  $\pi$ , sulla quale, per definire l'immersione del piano, si deve determinare il verso nel quale la retta stessa si abbassa. L'intersezione tra l'orizzontale AD ed una  $i$  (mandata da un punto qualunque) determina su quest'ultima il punto E di quota 500. L'orizzontale di quota 520, condotta parallelamente ad AD e passante per il punto 520 del segmento BC (si noti, ancora una volta, che tale punto NON giace sull'isoipsa di quota 520), interseca la  $i$  in un punto F, che ha quota 520. La  $i$  si abbassa quindi procedendo da F verso E: l'**immersione** è pertanto determinata.

La lunghezza del segmento EF, intercettato sulla  $i$  da due orizzontali contigue del piano, è detta "**passo**" ( $p$ ) del piano stesso.

In un triangolo rettangolo ("triangolo delle pendenze") avente per cateti  $p$  ed  $\varepsilon$  (equidistanza grafica, ricavabile dalla scala della carta), l'inclinazione ( $\alpha$ ) del piano  $\pi$  è l'angolo formato dall'ipotenusa con  $p$ .

**Risposta** - Il piano contenente A, B, C ha immersione N34°W e inclinazione 50° (la giacitura può anche essere indicata nei modi seguenti: 326°, 50°; oppure: N 56°, 50° W).

(La sottostante fig. 1, riferita ad un piano avente giacitura diversa da quello considerato sulla carta, può aiutare a visualizzare il problema da risolvere).

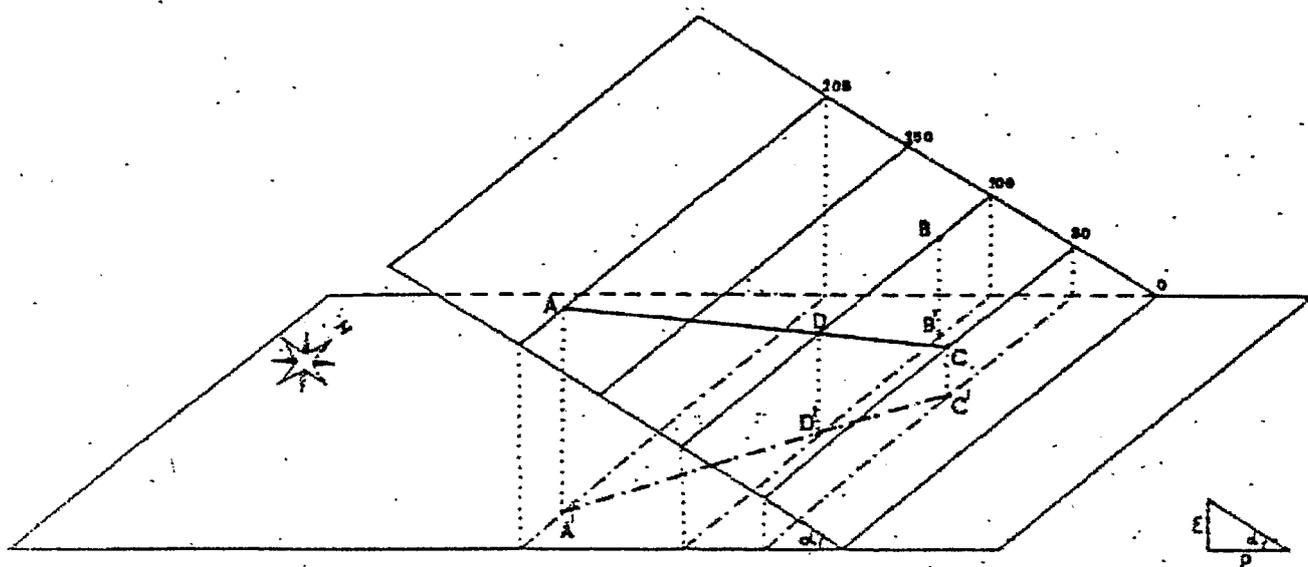
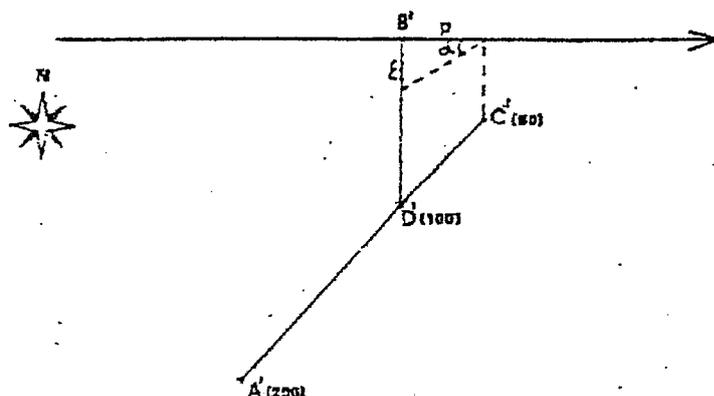


Fig. 1



**Punto 2)**

La **linea di affioramento** è per definizione la linea di intersezione tra il piano  $\pi$  e la superficie topografica (è così chiamata anche la proiezione ortogonale sul piano orizzontale di tale intersezione). Essa si trova congiungendo fra loro i punti di intersezione fra le orizzontali di quota omologa delle due superfici, cioè tra le isoipse e le orizzontali (dette anche "rette quotate", oppure "contour lines") di  $\pi$ .

(Si noti che con lo stesso metodo è possibile trovare la giacitura dell'intersezione tra due piani).

Si quoti la retta  $i$  di massima pendenza, riportando su di essa, a partire da F verso destra ed a partire da E verso sinistra, il passo  $p$ ; si troveranno i punti di quota 540, 560, 580... e quelli di quota 480, 460, 440... Si noti che NESSUNO di essi cade sull'isoipsa avente la stessa quota.

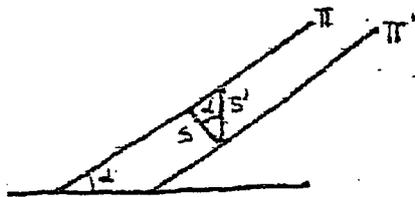
Da ognuno dei punti così quotati su  $i$  si traccino le orizzontali di  $\pi$  (parallele ad AD) e se ne cerchino le intersezioni con le isoipse corrispondenti.

Congiungendo tutte le intersezioni trovate si otterrà la linea di affioramento del piano  $\pi$ .

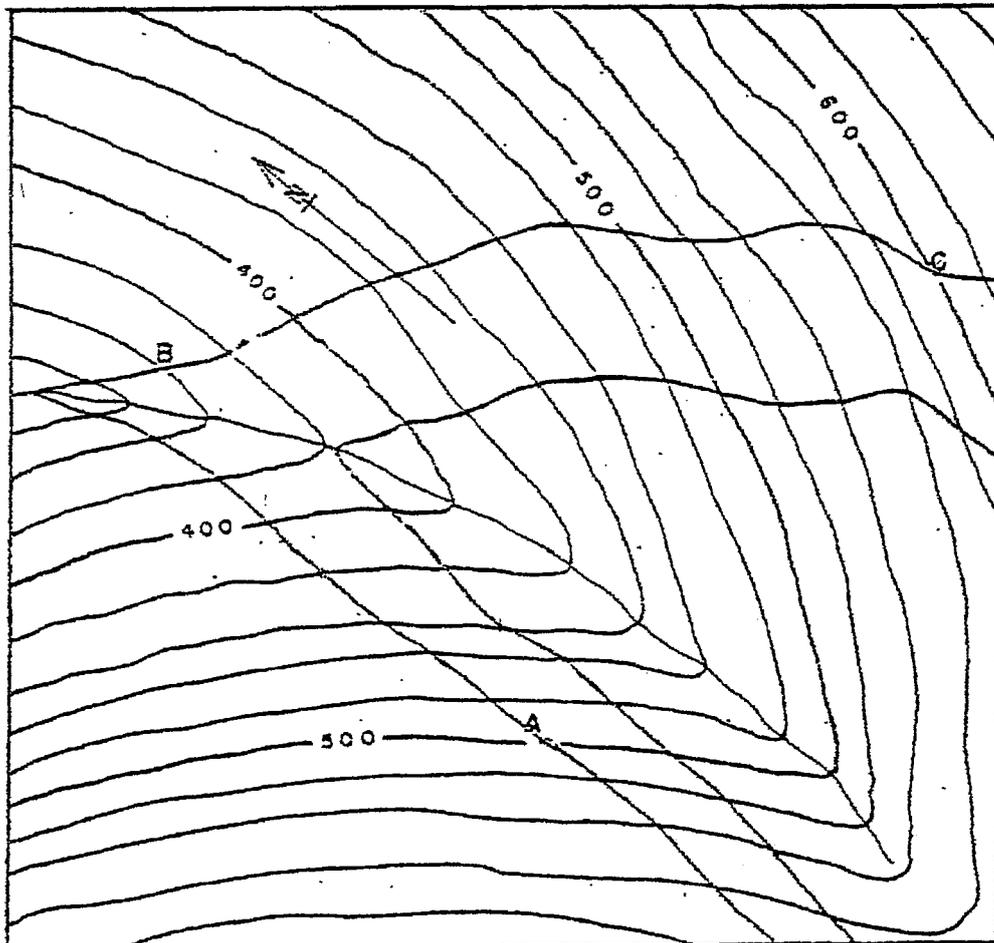
**Punto 3)**

La seconda linea di affioramento cercata corrisponde ad un piano  $\pi'$  parallelo a  $\pi$ , avente quindi la stessa immersione e la stessa inclinazione di quest'ultimo, rappresentate dalla retta  $i$  e dal passo  $p$ , già trovati.

Poiché tutti i punti di  $\pi'$  hanno quota inferiore di 40m rispetto ai corrispondenti punti di  $\pi$ , è sufficiente cambiare le quote delle orizzontali di  $\pi$  (già tracciate nella costruzione precedente), diminuendo ciascuna di esse di 40m. Così, ad esempio, l'orizzontale di quota 500 del piano  $\pi$  diventa l'orizzontale di quota 460 del piano  $\pi'$ . Si cerchino le intersezioni tra le orizzontali "riquotate" e le isoipse di quota omologa; la loro congiungente rappresenta la linea di affioramento cercata.



**NOTA.** La predetta costruzione è possibile poiché ci è stato dato lo spessore verticale  $s'$  del livello argilloso. Di norma, tuttavia, di un livello si fornisce invece lo spessore "reale"  $s$  (ortogonale alle due superfici che lo delimitano). In tal caso, se  $\alpha$  è l'inclinazione del livello, prima di eseguire la costruzione è necessario ricavare  $s'$  dalla relazione:  $s' = s/\cos\alpha$ .

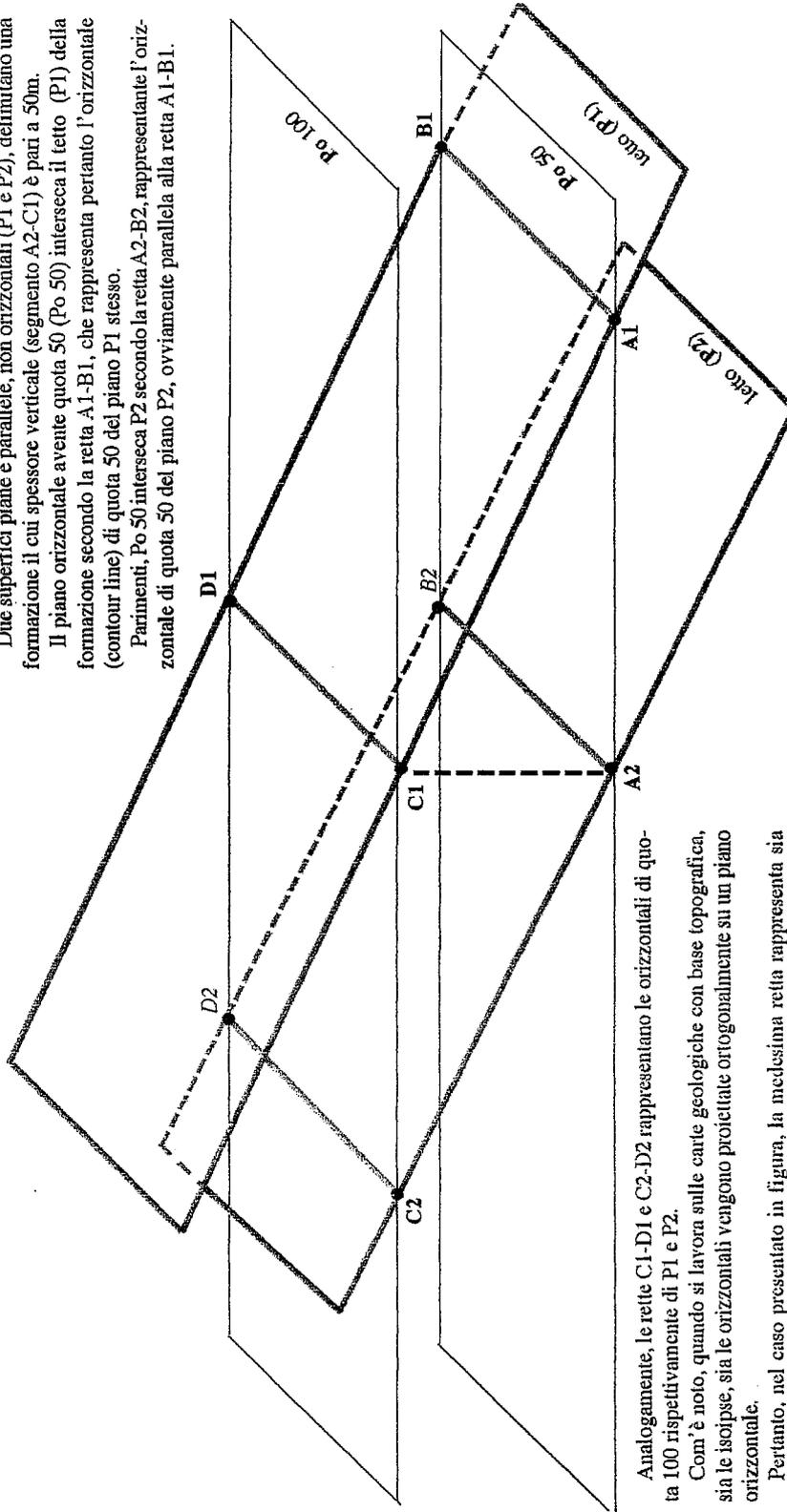


**“RIQUOTARE” LE ORIZZONTALI - COSA VUOL DIRE? PERCHÉ SI FA?**

Due superfici piane e parallele, non orizzontali (P1 e P2), delimitano una formazione il cui spessore verticale (segmento A2-C1) è pari a 50m.

Il piano orizzontale avente quota 50 (Po 50) interseca il tetto (P1) della formazione secondo la retta A1-B1, che rappresenta pertanto l'orizzontale (contour line) di quota 50 del piano P1 stesso.

Parimenti, Po 50 interseca P2 secondo la retta A2-B2, rappresentante l'orizzontale di quota 50 del piano P2, ovviamente parallela alla retta A1-B1.



Analogamente, le rette C1-D1 e C2-D2 rappresentano le orizzontali di quota 100 rispettivamente di P1 e P2.

Com'è noto, quando si lavora sulle carte geologiche con base topografica, sia le isopse, sia le orizzontali vengono proiettate ortogonalmente su un piano orizzontale.

Pertanto, nel caso presentato in figura, la medesima retta rappresenta sia l'orizzontale di quota 100 del tetto, sia l'orizzontale di quota 50 della base.

Si giunge così alla conclusione che, ove la formazione sia delimitata da superfici piane e parallele, se si dispone:

a) della linea di affioramento del tetto (*della base*)

b) dello spessore verticale della formazione per disegnare la linea di affioramento della base (*del tetto*) è sufficiente riquotare le orizzontali del tetto (*della base*) sottraendo (*sommando*) alla quota di ciascuna di esse lo spessore verticale noto.

**Punto 1)**

Sulla linea di affioramento separante shale da limestone si prendano tre punti A, B, C a quote diverse e si proceda come descritto al punto 1) del foglio 2. Si ripeta l'operazione per la linea di affioramento separante shale da sandstone. Si constaterà che i due piani hanno la stessa immersione (N28°W) ed inclinazione (46°) e che sono quindi paralleli.

**Semplificazione del procedimento** (valida soltanto per superfici geologiche piane, cioè non piegate) - Come già precisato a pag. 4 di "Costr. - 1°", si ricordi che, in generale, la prima parte della costruzione relativa alla determinazione della giacitura di un piano partendo da tre punti che gli appartengono consiste nel trovare una orizzontale del piano stesso, cioè una retta che contenga due punti del piano situati alla stessa quota. Perciò, quando si disponga della linea di affioramento (come sempre accade nelle carte geologiche) è conveniente cercare su di essa due punti situati sulla stessa isoipsa, poiché la loro congiungente fornisce immediatamente la direzione del piano. Questa semplificazione, applicabile nella maggior parte dei casi, non è tuttavia possibile nel caso in esame, nel quale nessuna delle due linee di affioramento incontra la stessa isoipsa più di una volta.

**Punto 2)**

Facendo riferimento a quanto descritto a pag. 5 di "Costr. - 1°", per trovare l'inclinazione apparente  $\alpha'$  nel piano verticale avente direzione N-S è sufficiente prendere in considerazione due orizzontali contigue di uno qualunque dei due piani che delimitano la shale e misurare la loro distanza lungo la direzione N-S. Il valore ottenuto ( $p'$ ) deve essere inserito come cateto in un triangolo delle pendenze nel quale l'altro cateto è l'equidistanza grafica  $e$ .

**Risposta** - L'angolo cercato di inclinazione apparente è  $\alpha' = 40^\circ$ .

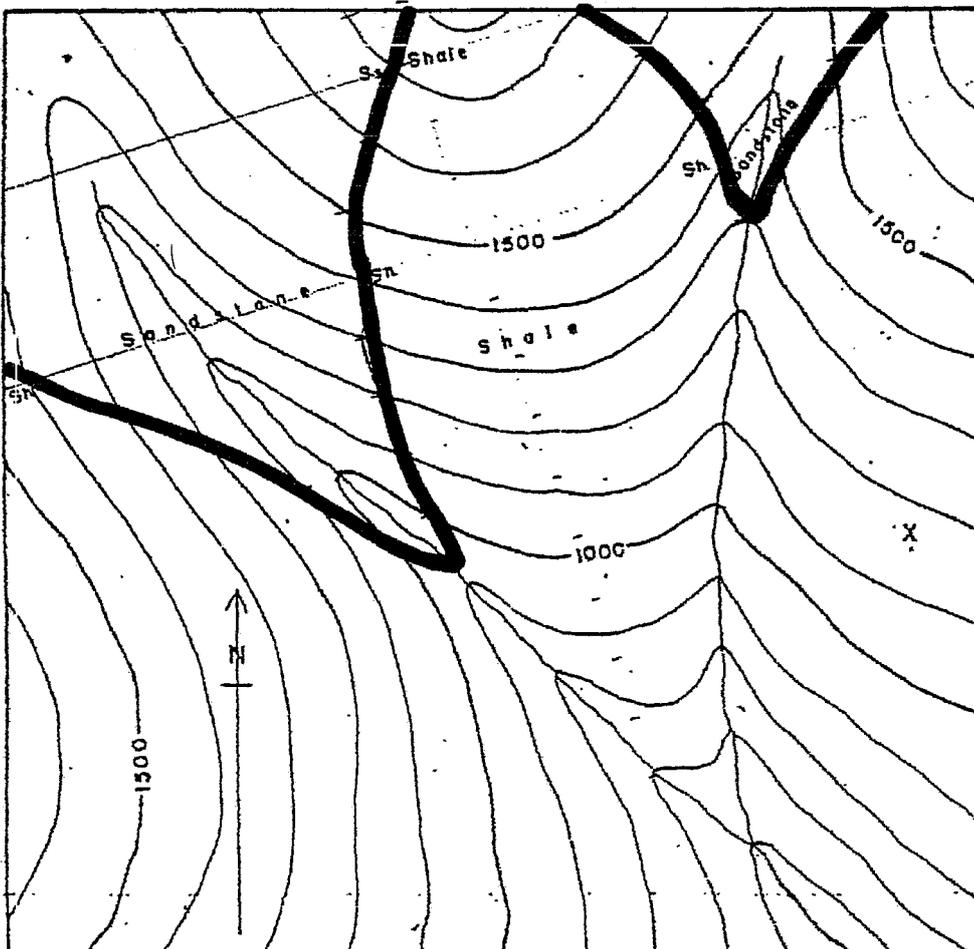
**Punto 3)**

Procedendo come già fatto nel foglio 3 (punto 3), è sufficiente misurare sulla carta, lungo l'immersione, la distanza tra una orizzontale del piano superiore (ad esempio quella di quota 1000) e l'orizzontale del piano inferiore avente la stessa quota.

**Risposta** - Tenuto conto della scala della carta, lo spessore orizzontale cercato è di circa 650m.

**Punto 1)**

Si proceda come per il foglio 2, tenendo presente che, in questo caso, la costruzione è semplificata, poiché un'orizzontale del piano (e quindi la direzione del piano stesso) è immediatamente trovata congiungendo i quattro punti della linea di affioramento situati alla stessa quota (1400 m)



**Punto 2)**

Occorre quotare la retta di massima pendenza, fino a trovare lungo di essa l'orizzontale passante per il punto X. La differenza tra la quota Q di X sulla superficie topografica e quella Q' di X su piano separante sandstone da shale corrisponde alla profondità cercata (circa 400 m).

Per visualizzare la risposta si pensi di tracciare una sezione verticale parallela alla direzione del limite sandstone-shale e passante per X.

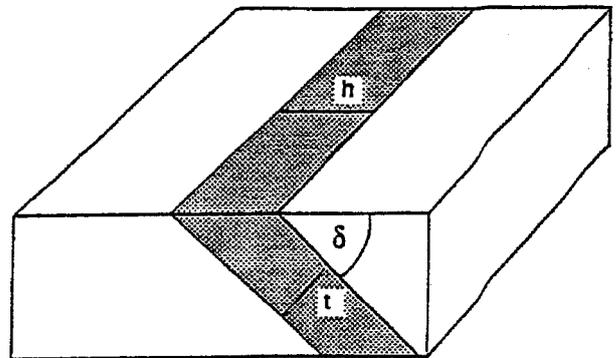
In tale sezione il punto X verrebbe inserito alla sua quota, mentre la traccia del limite sarebbe rappresentata da una sua orizzontale. La quota dell'orizzontale corrisponderebbe a quella del punto in cui la retta di massima pendenza è intersecata dal piano verticale.

- 1) La giacitura di tutte le formazioni è:  $000^\circ$ ;  $05,9^\circ$  (esprimibile anche come "N,  $5,9^\circ$ ")
- 2) Applicando un ragionamento analogo a quello sviluppato per il Foglio 2, per trovare lo spessore verticale di upper sandstone si proceda nel modo seguente:
  - tracciare un'orizzontale del piano inferiore (base di upper sandstone), ad es., quella di quota 500;
  - trovare a quale quota essa interseca la linea di affioramento del piano superiore (tetto di upper sandstone): quota 700;
  - la differenza tra le due quote ( $700 - 500$ ) fornisce lo spessore verticale, pari, nel caso in esame, a 200 metri.
- 3) Per trovare lo spessore orizzontale minimo di upper sandstone si proceda nel modo seguente:
  - si scelga una quota (ad es., quota 600)
  - si tracci l'orizzontale di quota 600 del piano superiore;
  - si tracci l'orizzontale di quota 600 del piano inferiore;
  - si misuri la loro distanza minima; essa risulta pari a circa 5,2 cm, che alla scala della carta corrispondono a circa 2080 m.
- 4) Per trovare lo spessore orizzontale lungo la direzione NW-SE di upper sandstone si proceda nel modo seguente: si misuri la lunghezza del segmento intercettato dalle due orizzontali tracciate al punto precedente sulla retta avente direzione NW-SE. Essa risulta pari a circa 7,6 cm, che alla scala della carta corrispondono a 3040 m.
- 5) Per trovare lo spessore reale (cioè lo spessore misurato perpendicolarmente alle due superfici che delimitano la formazione), è sufficiente (cfr. "Costr. - 1°", pag. 6) applicare la relazione:

$$t = h \operatorname{sen} \delta,$$

nella quale è:  $t$  = spessore reale;  $h$  = spessore orizzontale minimo;  $\delta$  = inclinazione delle due superfici che limitano la formazione.

Nel caso in esame è:  $h = 2080$  m;  $\delta = 5,9^\circ$ . Risulta perciò  $t = 193$  m, valore appena inferiore allo spessore verticale, dal momento che la formazione è sub-orizzontale.



**Punto 1)**

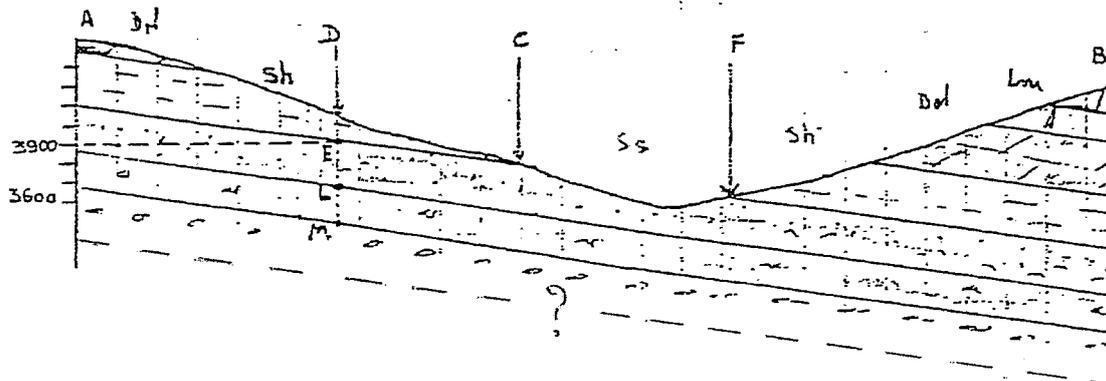
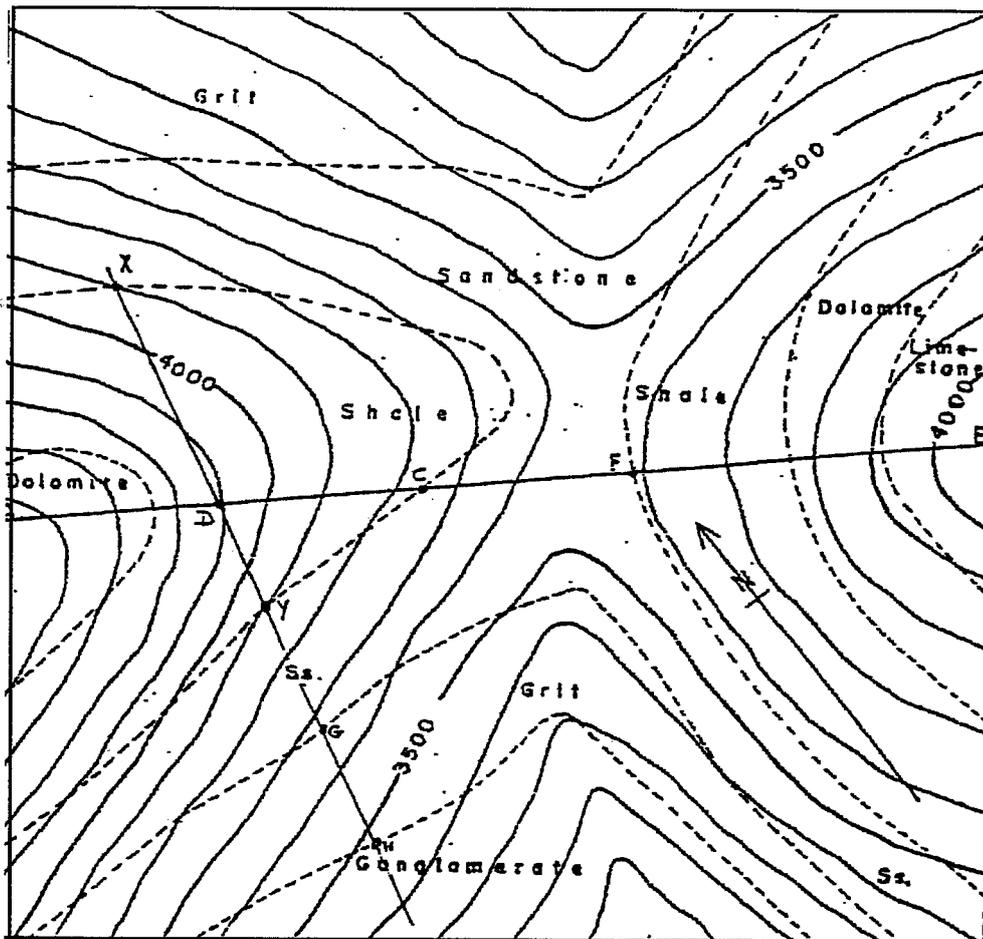
Procedere come negli esercizi precedenti. È facile constatare che tutti i piani hanno la stessa immersione (circa 105°N) ed inclinazione (circa 9°). In particolare, si osservi che, a causa della conformazione della superficie topografica, il limite Sandstone-Grit affiora sia nel settore settentrionale che in quello meridionale; pertanto le sue orizzontali si ottengono congiungendo punti di ugual quota (ad es. 3500 e 3400) situati sull'uno e sull'altro settore della carta.

La successione è quindi concordante; essa inizia con conglomerati e si chiude con calcari.

**Punto 2)**

Si leggano anzitutto con grande attenzione le pagg. 8, 9 di "Costr. - 1°".

La sezione geologica può essere costruita iniziando dal profilo topografico, oppure inserendo quest'ultimo soltanto alla fine. Nella sottostante spiegazione si parte dal metodo più tradizionale, cioè dal profilo topografico; ma si tenga ben presente che ciò non è assolutamente necessario: la struttura geologica esiste prima della superficie topografica ed è pertanto del tutto indipendente da



questa: una serie di strati inclinati, ad esempio, mantiene la propria giacitura sia che affiori in un'area pianeggiante, collinare o montuosa: ciò che cambia è soltanto l'ampiezza dell'affioramento.

Eseguire anzitutto il profilo topografico lungo AB. Si osservi che nel presente esercizio i limiti delle formazioni sono stati disegnati come superfici perfettamente piane (ciò che tuttavia in natura spesso non si riscontra). La sezione geologica si costruisce pertanto trovando per ciascun limite formazionale la sua retta di intersezione con il piano verticale del profilo. Ognuna di tali rette è definita quando se ne siano trovati due punti. Si noti ancora che AB non taglia tutti i limiti, ma solo alcuni di essi.

**Limiti tagliati dal profilo** - Per ognuno di questi, un punto della corrispondente retta cercata è dato dall'intersezione tra il limite (linea di affioramento) ed AB: ad esempio il punto C, situato all'intersezione tra AB ed il limite shale-sandstone.

Riferendoci al piano separante queste due formazioni (che per brevità chiameremo "piano s-s"), per trovare un secondo punto della sua traccia sul piano della sezione si prenda un'orizzontale del piano s-s stesso (per esempio quella di quota 3900, ottenuta congiungendo i due punti X e Y della linea di affioramento situati a tale quota) e se ne trovi l'intersezione D con AB. Si riporti D sul profilo topografico e si trovi, sulla verticale passante per D, il punto E di quota 3900: esso è il secondo punto cercato, per il quale deve passare la traccia del piano s-s, che si ottiene pertanto congiungendo C con E.

Si osserverà che, nel caso particolare della carta in esame, la costruzione sopra descritta è superflua, in quanto AB interseca una seconda volta il piano s-s nel punto F. La traccia del piano s-s sulla sezione verticale si ottiene pertanto immediatamente congiungendo C con F.

Trovata la traccia CF del piano s-s, per gli altri limiti che tagliano AB si procederà nello stesso modo. Nel caso particolare (come quello qui illustrato) in cui tutti i limiti siano paralleli, per determinarne le tracce è sufficiente condurre le parallele a CF passanti dai punti di intersezione, situati sul profilo topografico, tra AB ed i limiti stessi.

**Limiti non tagliati dal profilo.** - Per i limiti sandstone-grit e grit-conglomerate, non tagliati dal profilo, la traccia (parallela a CF) risulta determinata quando se ne trovi un punto. Ciò si ottiene mediante una costruzione analoga a quella illustrata per determinare il punto E. Ad esempio, la stessa orizzontale di quota 3900 del piano s-s già tracciata sulla carta interseca i due predetti limiti rispettivamente nei punti G ed H ed è quindi l'orizzontale di quota 3680 del piano separante sandstone da grit e l'orizzontale di quota 3480 del piano separante grit da conglomerate. Pertanto nel profilo si cerchino, sulla verticale di D, il punto L di quota 3680 ed il punto M di quota 3480, dai quali debbono passare le tracce dei relativi piani, parallele a CF.

### Punto 3)

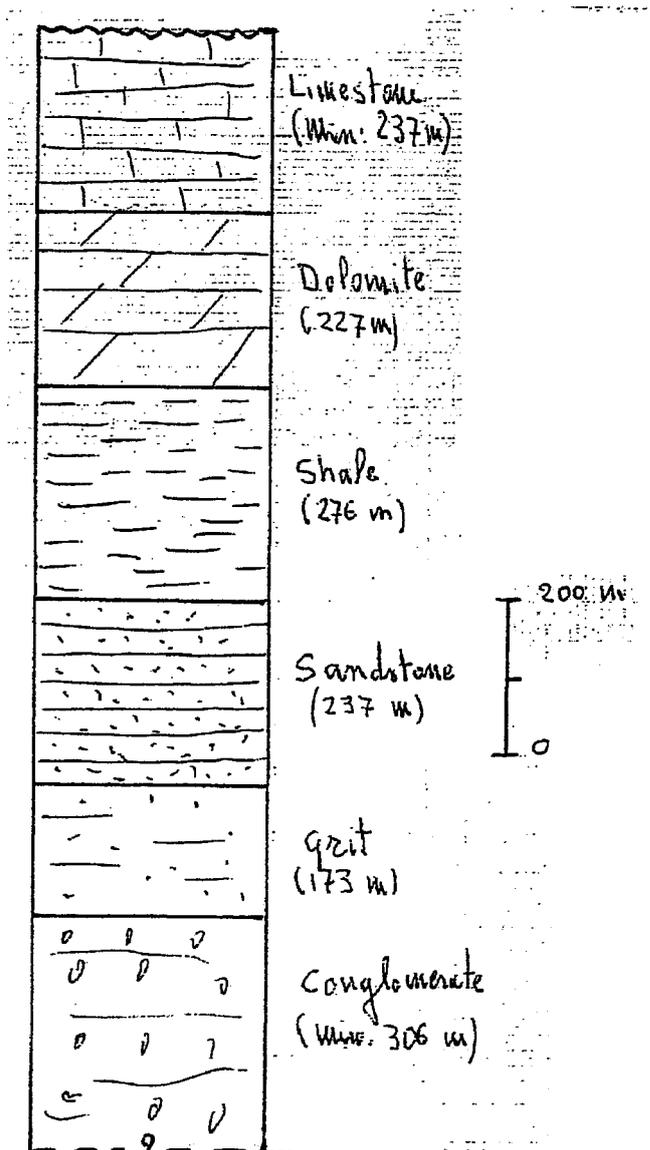
Per costruire la colonna stratigrafica occorre stabilire non solo l'ordine in cui si succedono le formazioni (già individuato ai punti precedenti), ma anche lo spessore reale (s) di ciascuna di esse, che deve essere riportato nella colonna stessa.

Già si è ricavata l'inclinazione vera ( $\alpha$ ) di tutti i limiti tra le formazioni. Rifacendoci a quanto svolto nel foglio 3 e con riferimento alle pagg. 6, 7 di "Costr. - 1°" si può procedere misurando lo spessore verticale  $v$  ed applicando successivamente la relazione:  $s = v \cos \alpha$ .

In particolare, di Limestone (di cui non affiora il tetto) e di Conglomerate (del quale manca la base) si potrà calcolare soltanto lo spessore della parte affiorante, procedendo nel modo seguente.

Per limestone si individui sulla carta il punto di quota più alta al quale la formazione affiora: si tratta, approssimativamente, del punto B, posto a quota 4080 circa, dal quale si mandi un'orizzontale, osservando che essa incontra la base di limestone alla quota 3840 circa. Perciò lo spessore verticale minimo è pari a  $(4080 - 3840) = 240\text{m}$ , e nella colonna stratigrafica si dovrà inserire per i calcari uno spessore reale minimo pari a  $240 \cdot \cos 9^\circ = 237\text{m}$ .

Con analogo procedimento, poiché il punto più basso in cui affiora conglomerate è circa a quota 3020, si può facilmente calcolare che lo spessore minimo da inserire per questa formazione è  $(310 \cdot \cos 9^\circ) = 306\text{m}$ .

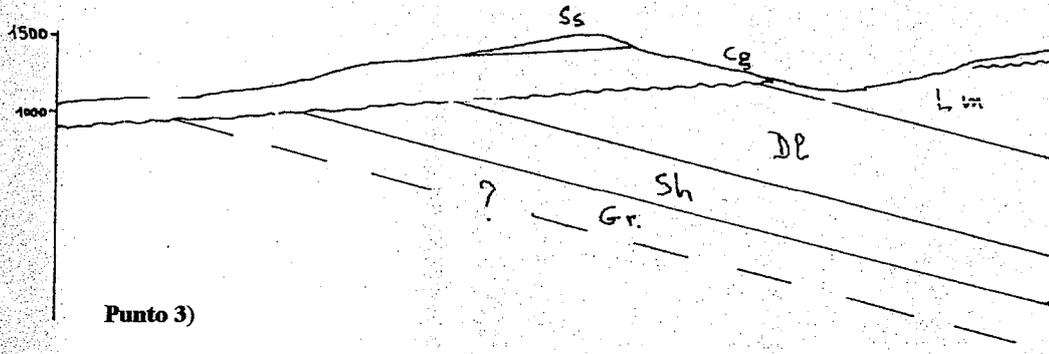


**Punto 1)**

Si procede come negli esercizi dei fogli 2, 4 e 6. È facile constatare che sulla carta affiorano due successioni, di cui quella comprendente conglomerate e sandstone (giacitura 300°N, 5°) riposa in *discordanza angolare* su quella costituita da grit, shale, dolomite, limestone (giacitura 101°N, 16°). Si noti che la base della discordanza (limite inferiore di conglomerate) tronca tutti i limiti della successione che essa ricopre.

**Punto 2)**

Si procede come nell'esercizio del foglio 6, con la precisazione che i limiti della successione inferiore si arrestano contro la base della discordanza; quest'ultima, nel caso in esame, corrisponde evidentemente anche ad una superficie di erosione, ciò che viene schematicamente evidenziato nella sezione mediante una linea debolmente ondulata.



**NOTA IMPORTANTE -**  
Poiché tale superficie separa due successioni aventi diversa giacitura è necessario introdurla per prima nella sezione geologica.

**Punto 3)**

Dalla carta e dalla sezione si ricavano le seguenti tappe della storia geologica:

- 1) deposizione della successione inferiore (grit, poi shale, poi dolomite, poi limestone), presumibilmente con limiti orizzontali;
- 2) probabile leggero basculamento della successione inferiore (l'inclinazione di 16° appare eccessiva per essere primaria);
- 3) erosione della successione inferiore;
- 4) deposizione, al di sopra della superficie di erosione, dapprima di conglomerate, poi di sandstone; il limite tra queste due unità litologiche è parallelo alla superficie di discordanza;
- 5) erosione di entrambe le successioni e contemporanea genesi dell'attuale superficie topografica.

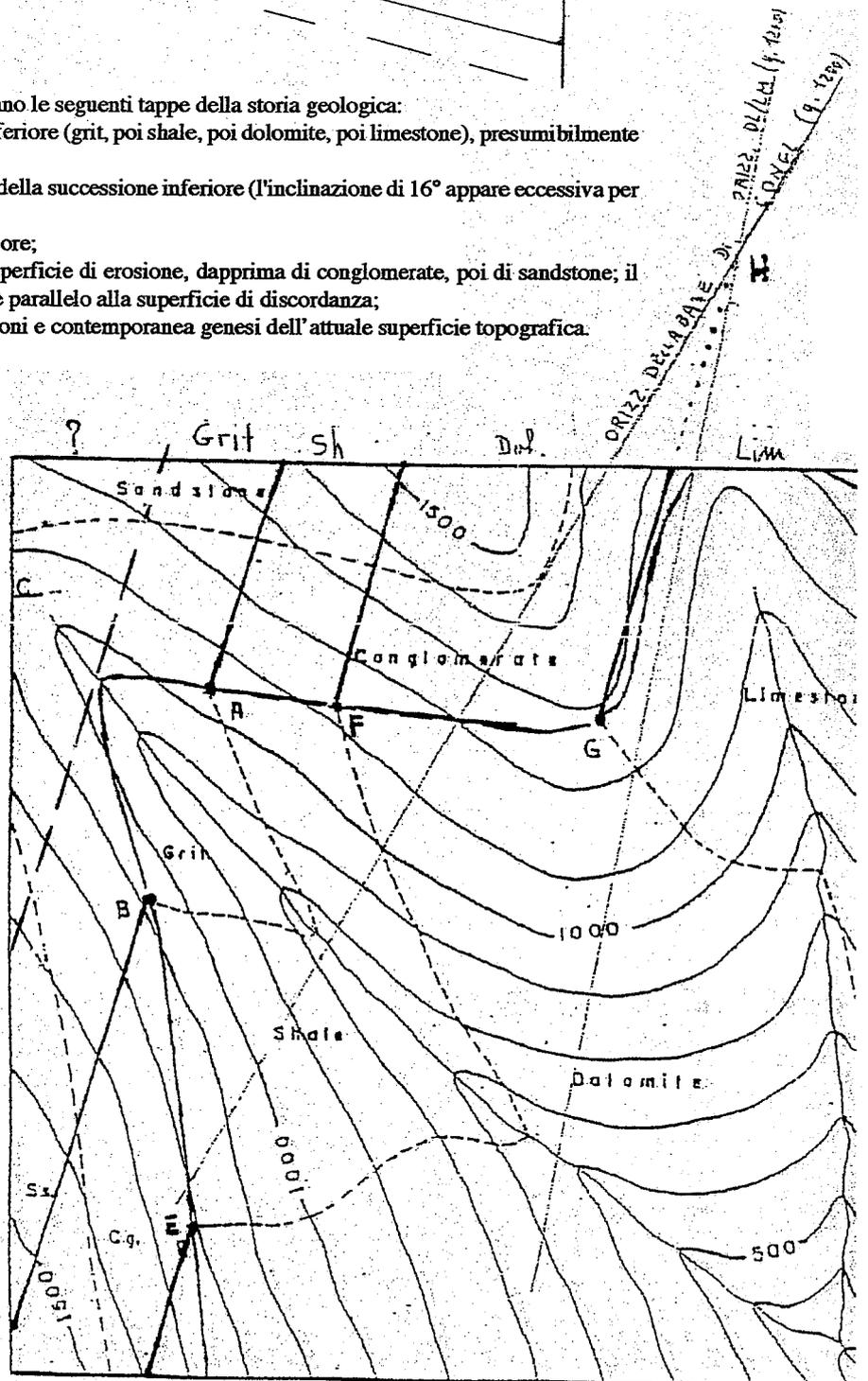
**Punto 4)**

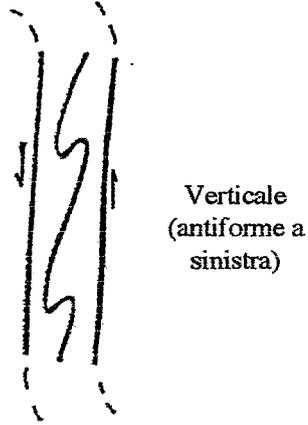
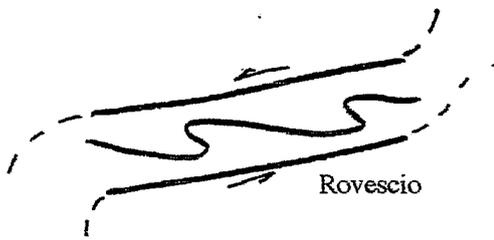
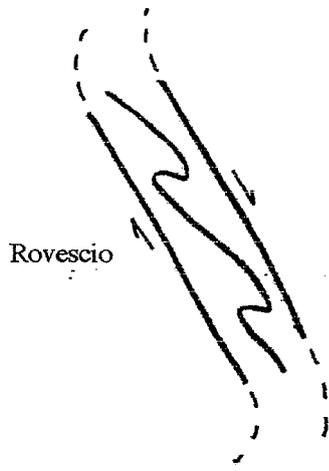
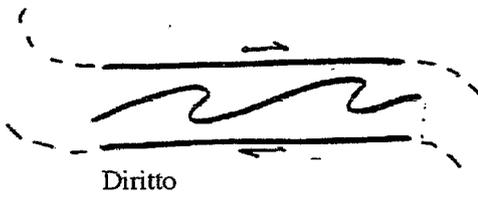
Si voglia ricostruire la carta geologica della regione, così come essa doveva presentarsi alla fine del punto 3. Ciò è evidentemente possibile solo per quei settori in cui la paleosuperficie di erosione (base dei conglomerati) è ancora conservata perché sepolta. Si dovrà pertanto ricostruire una carta del sottosuolo ("subcrop map"); in tale carta dovremo tracciare le intersezioni tra i limiti della successione inferiore e la base dei conglomerati. Poiché si tratta di superfici piane, tutte le loro intersezioni saranno rappresentate da linee rette, che saranno identificate quando se ne siano trovati due punti. Il problema si riduce dunque a cercare, per ogni limite della successione inferiore, due punti che appartengano anche alla base dei conglomerati. Per il limite grit-shale i due punti sono già presenti (A, B) e basta congiungerli. La stessa cosa vale anche per il limite shale-dolomite (punti E, F).

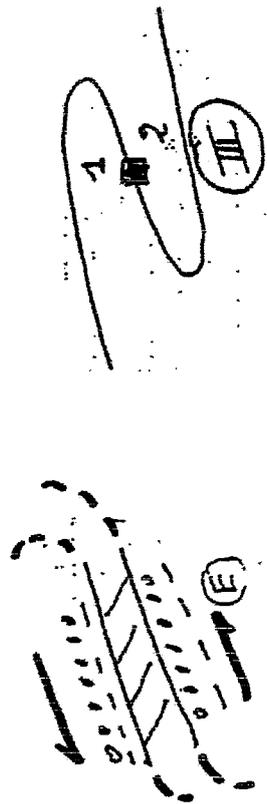
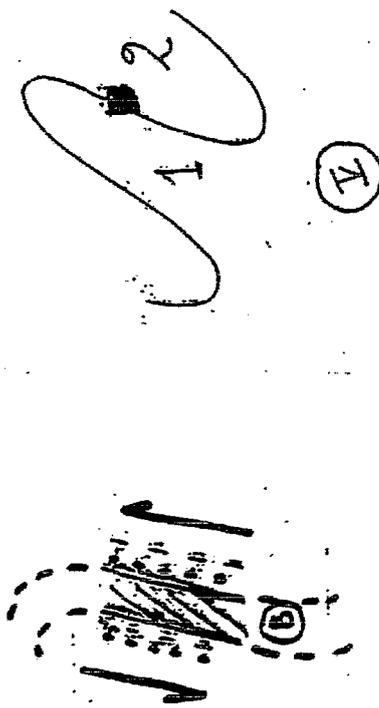
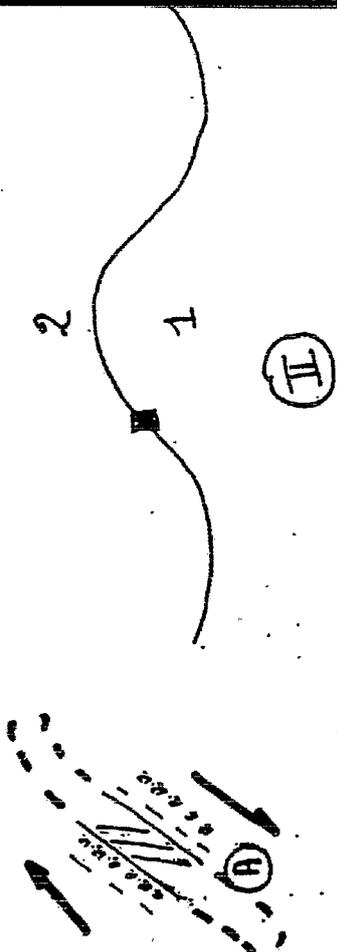
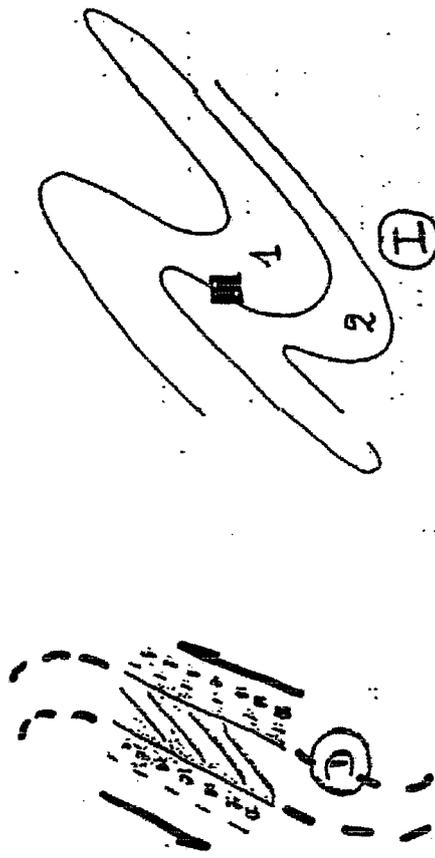
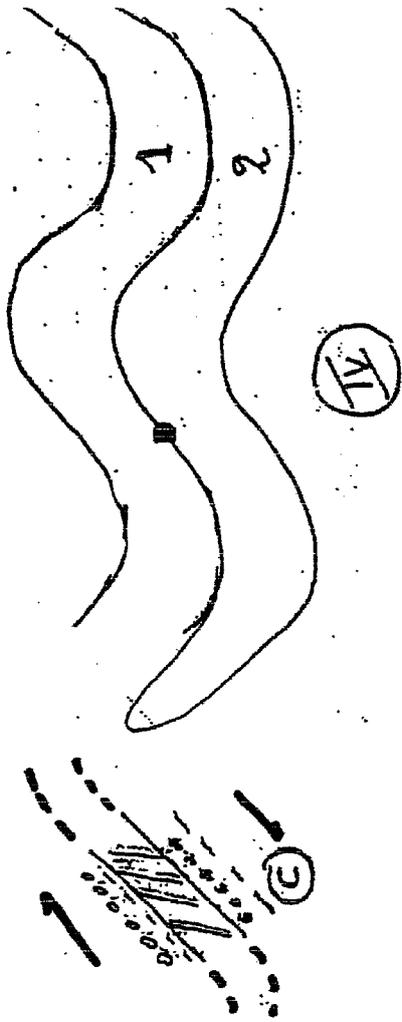
Per il limite dolomite-limestone, di cui affiora un solo punto (punto G) il secondo punto (punto H) può essere trovato cercando l'intersezione tra un'orizzontale della base del conglomerato (ad es. quella di quota 1200) e l'orizzontale di uguale quota del limite dolomite-limestone.

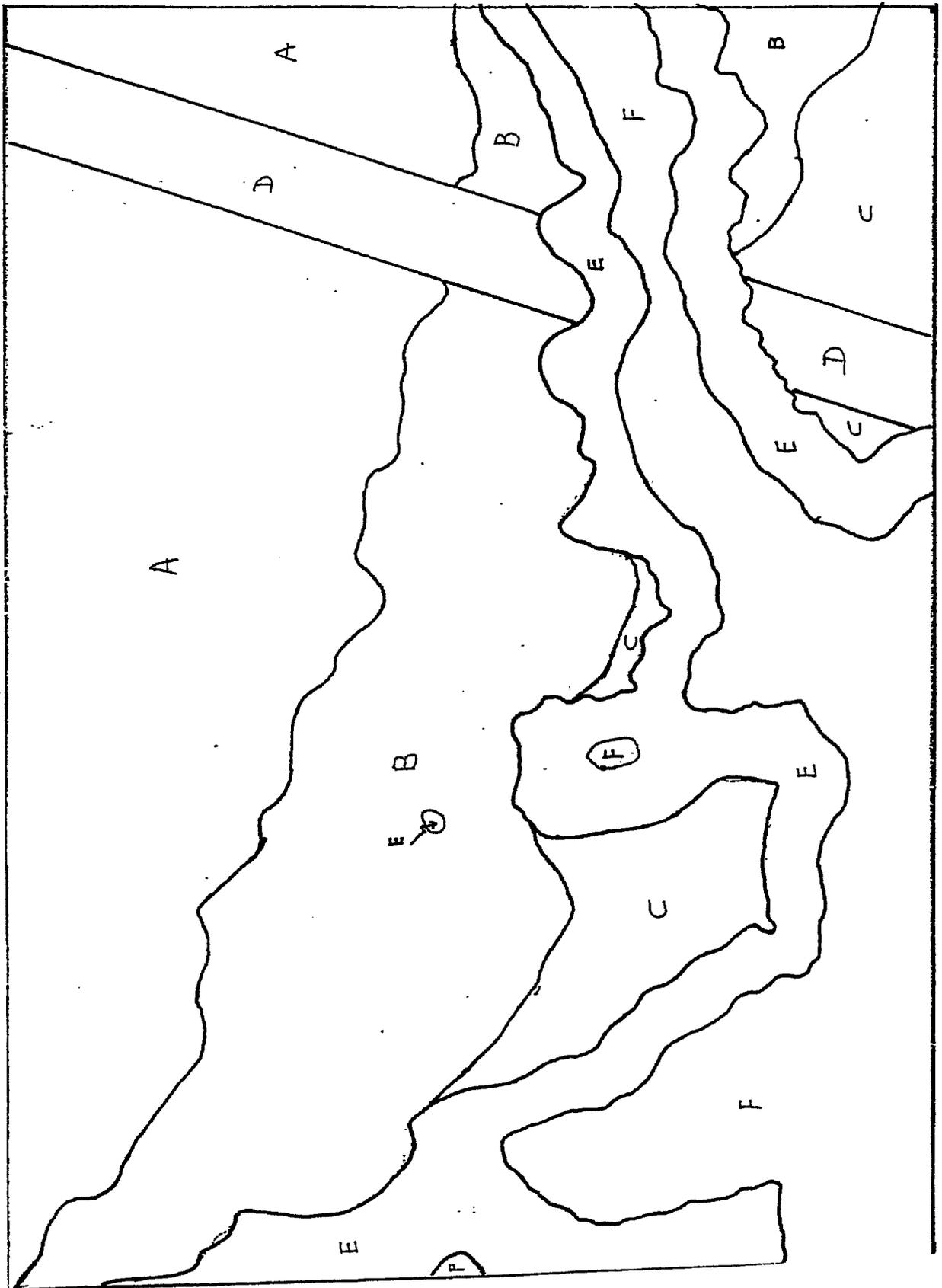
Si noti peraltro che, nel caso in esame, poiché tutti i limiti della successione inferiore hanno la stessa giacitura, è sufficiente tracciare da G la parallela ai limiti della subcrop già trovati.

Infine, si tenga presente che la carta indica che in profondità grit esiste certamente fino alla linea tratteggiata, ad ovest della quale dalla carta non si possono ricavare informazioni. Necessari dati geofisici o trivellazioni.









La base dei terreni cretacei (indicati sulla carta della pagina seguente e nel disegno sottostante con la lettera E), orizzontale, ricopre in discordanza sia le arenarie triassiche (lettera B) che il filone diabasico (lettera D). Perciò la sua linea di affioramento deve essere tracciata per prima. Si traccino poi le linee di affioramento che delimitano il filone diabasico. Poiché quest'ultimo ha età giurassica, più recente di quella delle arenarie, queste ultime debbono essere state attraversate dal filone, contro i cui limiti, pertanto, si arrestano.

Si tracci poi la linea di affioramento della base delle arenarie triassiche (l'equidistanza grafica è misurabile direttamente sulla scala grafica della carta, dalla quale risulta che 5 m corrispondono a circa 1,5 mm; poiché è nota l'inclinazione, pari a  $25^\circ$ , si ricava che il passo è di circa 3 mm).

Poiché le arenarie triassiche hanno spessore ortogonale di 100 m, per disegnare la linea di affioramento del loro tetto si tenga presente che questo è rappresentato da un piano avente la stessa giacitura di quello di base, ma situato a quota più alta. È facile dedurre che lo spessore verticale delle arenarie risulta  $v = 100/\cos 25^\circ = 110$  m circa. Pertanto, per costruire la linea di affioramento del tetto è sufficiente utilizzare le orizzontali già tracciate per la base, assegnando a ciascuna di esse una quota aumentata di 110 m (cioè, ad es., l'orizzontale di quota 100 del piano di base è anche l'orizzontale di quota 210 del piano di tetto, la quale interseca l'isoipsa di quota 210 in punti che appartengono alla linea di affioramento di quest'ultimo).

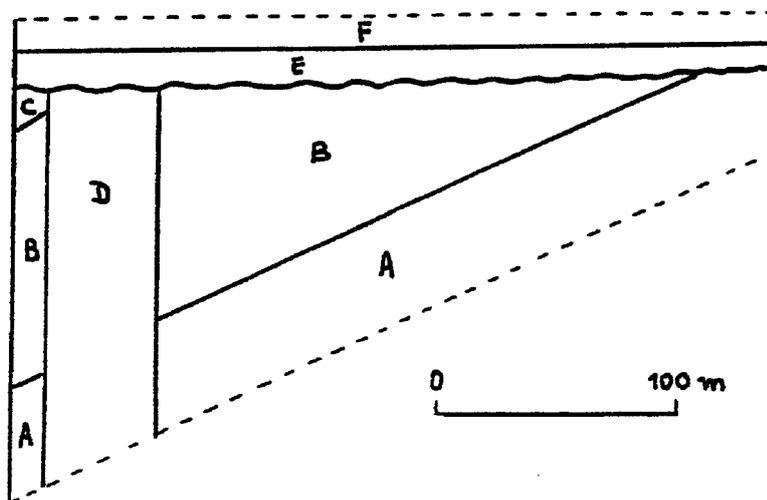
Da ultimo, si può tracciare la linea di affioramento della base della successione terziaria (lettera F). Poiché è concordante con i sottostanti terreni cretacei, orizzontali, essa è a sua volta orizzontale, coincidente con l'isoipsa passante per il punto D.

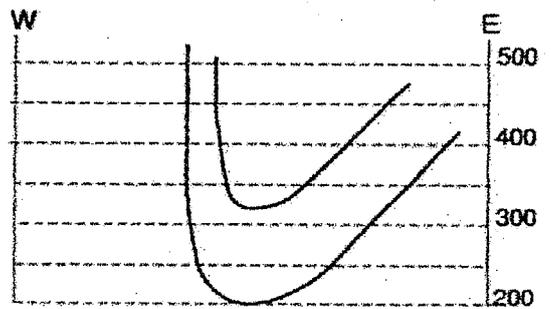
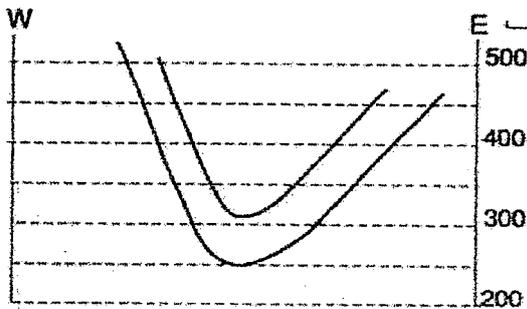
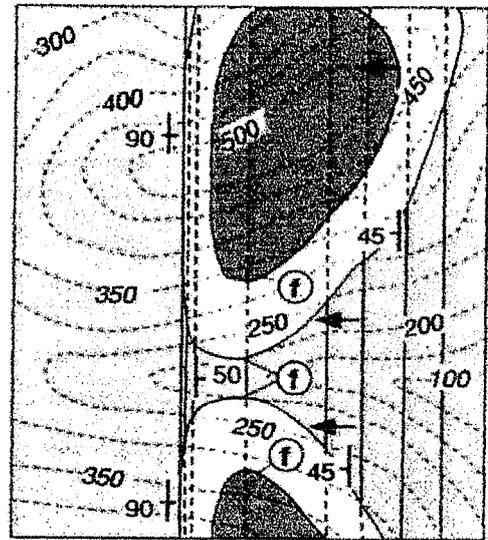
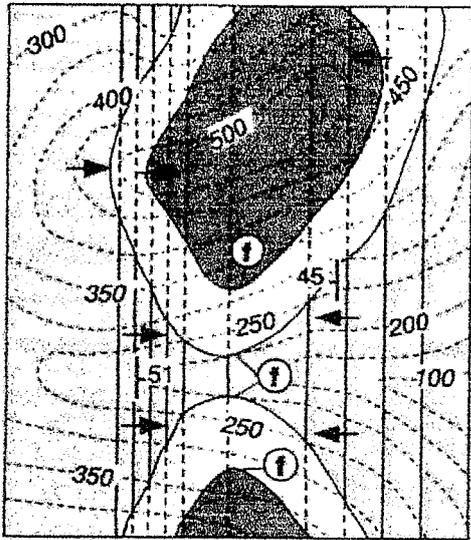
Si noti che, volendo mostrare la struttura con una sezione verticale, ci si troverebbe imbarazzati nella scelta della direzione: per mostrare il filone con il suo spessore reale occorrerebbe scegliere una direzione ortogonale a quella del filone stesso; ma in questa sezione, sub-parallela alla direzione delle arenarie triassiche, la serie inferiore mostrerebbe un'inclinazione apparente assai modesta e la discordanza angolare risulterebbe poco evidenziata. Per contro, una sezione parallela all'immersione delle arenarie triassiche dovrebbe anzitutto essere posizionata solo nel settore est della carta, in modo da attraversare il filone; e quest'ultimo vi comparirebbe con uno spessore apparente molto maggiore di quello reale.

Comunque venga scelta la traccia della sezione (la cui esecuzione non è peraltro richiesta dall'esercizio), è perciò opportuno completarla con uno schema dei rapporti stratigrafici (v. figura qui sotto).

La base della successione, che affiora a letto delle arenarie triassiche, è costituita da una formazione (lettera A) di cui non si conosce nulla; si può semplicemente osservare che nella carta essa affiora con uno spessore verticale massimo di circa 50 metri; si può ipotizzare ragionevolmente che essa abbia un'età più antica delle arenarie triassiche. Analogamente, della formazione (lettera C) situata a tetto delle arenarie, si sa soltanto che: a) affiora nella carta con uno spessore verticale massimo di circa 20 m; b) la sua età deve essere più recente di quella delle arenarie e più antica di quella del filone giurassico, che taglia la formazione C nell'angolo sud-orientale della carta. Lo spessore della formazione cretacea è ricavabile dalla carta (15 m), poiché essa è orizzontale e affiora tra le quote 395 e 410. Parimenti, lo spessore massimo della successione terziaria affiorante -anch'essa orizzontale, in base ai dati del problema- è di poco superiore ai 15 m (rilievo di quota 425 nell'angolo SW della carta).

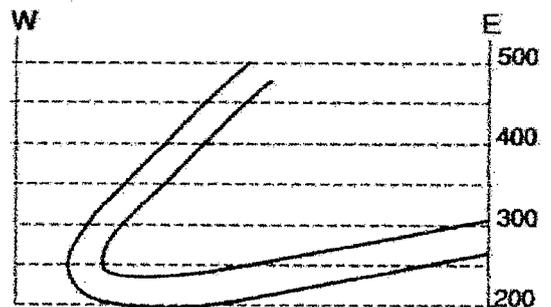
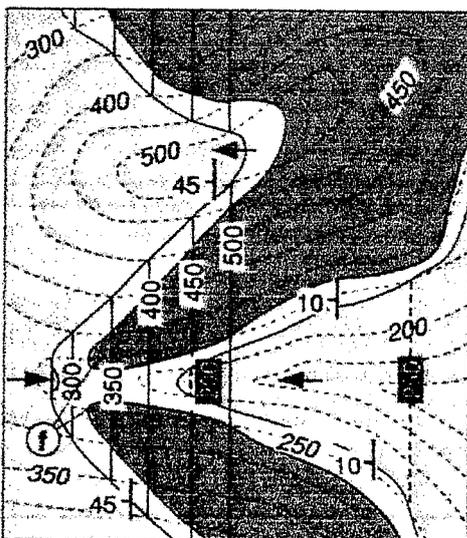
Schema dei rapporti stratigrafici deducibili dalla carta. La scala è utilizzabile *solo* per gli spessori.





A

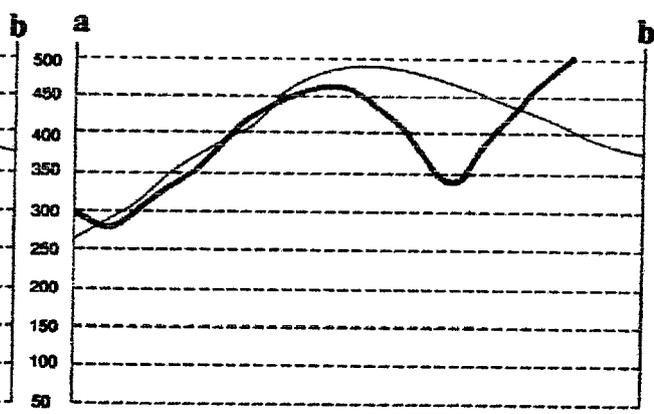
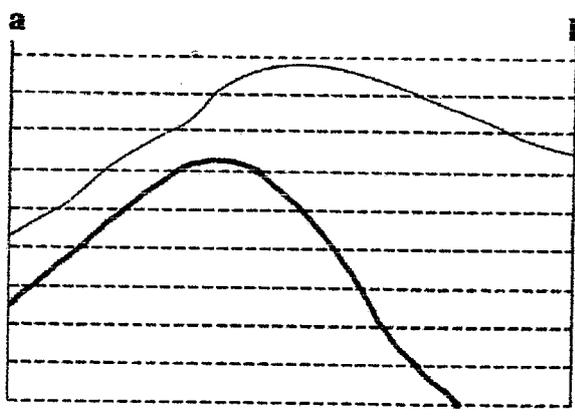
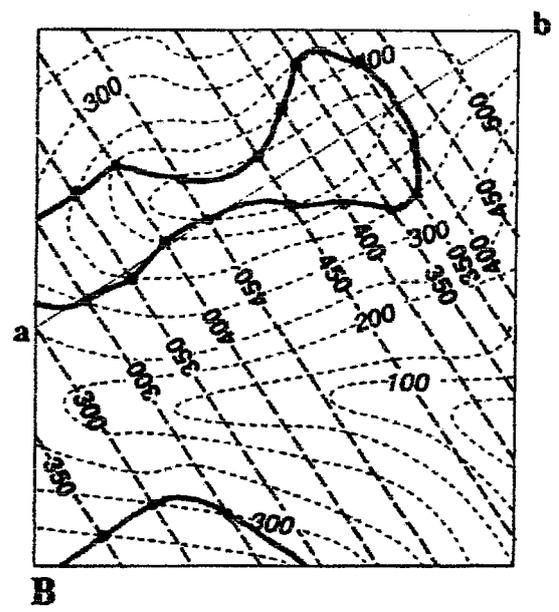
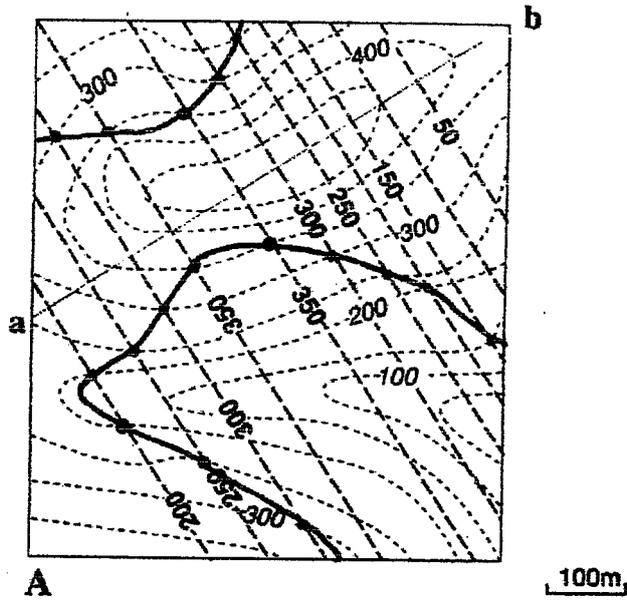
B



C

← curvatura dei limiti dovuta all'intersezione con la superficie topografica

ⓕ curvatura dei limiti dovuta al fatto che corrispondono a superfici piegate



**Punto 1)**

La direzione dei limiti formazionali è all'incirca NW-SE. La ripetizione simmetrica delle formazioni indica la presenza di pieghe aventi tale direzione. Procedendo da A verso B si incontra un primo nucleo in limestone. I rapporti tra limiti ed isoipse indicano che si tratta di una struttura sinforme e poiché la polarità stratigrafica coincide con quella strutturale, la piega può essere definita una sinclinale. Con analogo procedimento si identifica un adiacente nucleo di anticlinale; lungo la traccia AB della sezione esso è occupato da sandstone, ma a quota più bassa, nell'angolo SE della carta, si osserva che il terreno più antico al nucleo dell'anticlinale è Q.tze. Ulteriormente verso NE affiora un secondo nucleo sinclinale in limestone. La buona simmetria dei limiti sui fianchi delle pieghe suggerisce che si tratti di pieghe diritte. L'approfondimento della lettura della carta passa attraverso la risposta al punto seguente.

**Punto 2)**

*a - Identificazione della linea di cerniera.*

Poiché al punto precedente si è già stabilito che i limiti formazionali hanno direzione all'incirca NW-SE, se si prende in considerazione una linea di affioramento chiusa (ad es. la "l-s" separante limestone da shale nella porzione di SW della carta) si può affermare che i due punti dai quali passa la linea di cerniera sono quelli situati lungo tale direzione, in corrispondenza dei quali la linea di affioramento curva bruscamente.

È tuttavia prudente verificare tale conclusione, procedendo come indicato alle pagg. "Pieghe, 9, 10". La linea di affioramento (chiusa) presenta quattro punti di curvatura; due di questi, situati lungo la direzione AB sono dovuti all'intersezione tra il limite e la superficie topografica; gli altri due, situati lungo la direzione NW-SE debbono necessariamente corrispondere alla cerniera della piega, poiché il limite considerato piega bruscamente laddove la superficie topografica è uniforme, senza curvature. Perciò la linea di cerniera cercata si ottiene congiungendo i due punti anzidetti.

Si noti bene l'importanza di identificare con sicurezza la linea di cerniera. Infatti, le orizzontali del limite debbono essere tracciate congiungendo i punti di ugual quota *parallelamente* alla direzione della linea di cerniera.

*b - Inclinazione della linea di cerniera.* Poiché non vi è differenza di quota tra i due punti dai quali passa la linea, questa è orizzontale, con direzione N301° circa.

Si noti che, se i due punti non fossero alla stessa quota la linea avrebbe un'immersione; la sua inclinazione potrebbe facilmente essere trovata misurandone il "passo".

**Punto 3)**

Per ogni piega si trovino sulla carta i punti dai quali passano le linee di cerniera di tutte le superfici piegate (tre punti per la sinclinale sud-occidentale; tre punti per l'anticlinale interposta; due punti per la sinclinale nord-orientale). Congiungendo tali punti si otterranno le tracce delle tre superfici assiali delle tre pieghe affioranti. Poiché esse risultano rettilinee, si può concludere che si tratta di *piani* assiali verticali.

**Punto 4)**

Per il limite indicato, le orizzontali (contour lines) sono relativamente poche; esse sono tutte rettilinee e parallele, ma il loro distanziamento ("passo") non è costante, evidenziando variazioni di inclinazione dei fianchi che la lettura "qualitativa" della carta fatta al punto 1) non aveva consentito di cogliere.

Si noti che questa costruzione è preliminare a quella della sezione (punto 5), poiché in quest'ultima andranno riportate (alla quota corrispondente) tutte le intersezioni tra la traccia della sezione stessa e le orizzontali della superficie piegata che separa limestone da shale.

Ne discende che per costruire correttamente nella sezione verticale la traccia di *tutte* le superfici piegate (cioè dei limiti che separano le diverse formazioni) occorrerà costruire tante structure contour maps quanti sono i limiti formazionali.

**Punto 5)**

Il procedimento è illustrato al punto precedente ed è analogo a quello già impiegato in altri esercizi (Fogli 6 e 7). Si ricordi che la costruzione prescinde dal profilo topografico e che, pertanto, debbono essere riportati ed opportunamente collegati tra loro tutti i punti di intersezione tra la traccia della sezione e le orizzontali di ciascun limite formazionale.

Si tenga presente che è ASSOLUTAMENTE INDISPENSABILE inserire i punti corrispondenti alle cerniere di tutte le superfici piegate.

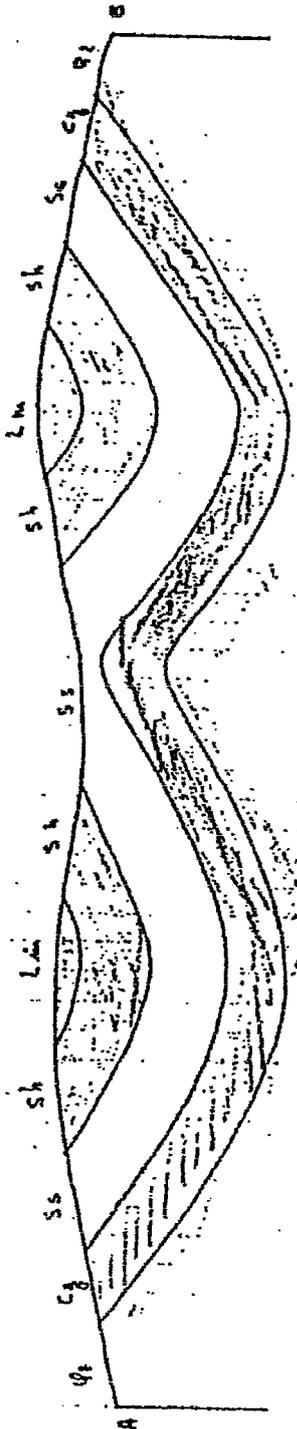
**NOTA MOLTO BENE:**

a) la costruzione proietta ortogonalmente nel piano verticale passante per AB anche punti che si trovano su altri piani verticali, paralleli a quello scelto. Ciò è perfettamente corretto nel caso in esame, poiché le pieghe sono cilindriche (cfr. dispense, Pieghe, pag. 5), e quindi presentano la stessa forma in qualunque sezione che sia ortogonale alle loro linee di cerniera ("assi").

b) che le pieghe siano cilindriche è indicato dal fatto che tutte le *orizzontali* (contour lines) di tutte le superfici piegate sono rette e parallele.

c) per le pieghe cilindriche, la costruzione di sezioni *ortogonali* agli assi (quindi di sezioni verticali, se gli assi sono orizzontali) può essere semplificata nel modo seguente:

- inserire anzitutto nella sezione le cerniere di tutte le superfici piegate;
- verificare l'inclinazione dei fianchi di ciascuna superficie piegata (il "passo" cambia al cambiare dell'inclinazione);
- se l'inclinazione non cambia considerevolmente, si possono inserire (per ciascuna superficie piegata) solo quei punti in cui si verificano i cambiamenti più marcati (si tratta di un procedimento del tutto analogo a quello utilizzato per la costruzione di un profilo topografico "speditivo", per il quale, al limite, si inseriscono solo le vette ed i fondovalle).



**Punto 6)**

Al di sopra del profilo topografico i collegamenti tra i limiti debbono essere tratteggiati; in generale, per non appesantire il disegno, al di sopra della superficie topografica si inseriscono solo i limiti che aiutano a visualizzare una struttura particolarmente complessa (ovviamente, non è il caso in esame!).

### 1) Lettura "qualitativa" della carta (figg. 1 e 2):

- la superficie topografica consta di una valle orientata da NE a SW, che si abbassa verso SW; a SE essa è delimitata da un versante; a NW è delimitata da un crinale culminante in un dosso avente quota di poco superiore a 525m. A NW del crinale la superficie topografica si abbassa nuovamente;

- sulla carta affiorano 5 limiti che separano 6 formazioni. Risalendo la valle a partire da SW si incontra un affioramento "chiuso" costituito dalla formazione indicata dal puntinato fitto (A in fig. 1). Il limite dell'affioramento ha giacitura a spianapoggio (cioè immersione verso WSW), con inclinazione maggiore del pendio, per la sua metà occidentale e giacitura a reggipoggio (cioè immersione verso ENE) nella sua metà orientale. Si configura pertanto una piega antiforme. Ammettendo che la successione stratigrafica non sia rovesciata (ammettendo cioè che polarità stratigrafica e tettonica coincidano), l'affioramento in questione corrisponde al nucleo di un'anticlinale.

- con procedimento analogo, si constata che, risalendo la valle, all'anticlinale segue una sinclinale, poi una seconda anticlinale (B) ed infine una seconda sinclinale;

- i due nuclei delle anticlinali, in corrispondenza dei quali affiorano i terreni geometricamente più profondi (che abbiamo ammesso essere anche i più antichi), si osservano bene lungo il fondovalle (cioè laddove l'erosione è stata maggiore; a questo proposito, si noti che il nucleo dell'anticlinale più occidentale riaffiora in A', dove la superficie topografica si abbassa nuovamente). I nuclei delle sinclinali affiorano invece a quote più alte, cioè su entrambi i versanti: quello della sinclinale più occidentale si osserva sul versante SE (C) e sul versante NW (C'); analogamente, il nucleo della seconda sinclinale (quella più orientale) si trova in corrispondenza dell'affioramento all'estremo sud-est della carta (D) e sul versante opposto (D');

- il fatto che i nuclei delle anticlinali si trovino a quota più bassa di quelli delle sinclinali indica che le linee di cerniera delle pieghe debbono essere sub-orizzontali; questa deduzione è confermata dalla circostanza che la formazione che compare al nucleo delle sinclinali è tanto più recente quanto più elevata è la quota dell'affioramento (si confrontino C con C' e D con D');

- si conclude pertanto che la struttura è costituita da un sistema di pieghe antiformi e sinformi (anticlinali e sinclinali) con linee di cerniera sub-orizzontali e superfici assiali aventi direzione all'incirca N-S;

- è quindi possibile numerare le sei formazioni (fig. 2), da quella geometricamente inferiore (la più antica, nell'ipotesi fatta sopra) alla superiore (la più recente);

- identificati i nuclei delle pieghe, si può procedere al confronto delle inclinazioni dei loro fianchi; iniziando, ad esempio, dalla superficie che limita la formazione 2 rispetto alla 3 e tenendo presente che l'inclinazione è tanto maggiore quanto minore è la distanza tra due orizzontali contigue ("passo") di tale superficie. È facile constatare che nel caso in esame il procedimento consente di accertare che i fianchi immergenti verso W sono meno inclinati di quelli immergenti verso E;

- un'ulteriore informazione che può essere desunta direttamente dalla lettura della carta, ancora prima di costruire la sezione, concerne l'eventuale variazione di spessore delle formazioni affioranti. Presa una qualunque formazione, se il suo spessore fosse costante essa (a parità di conformazione della superficie topografica) dovrebbe affiorare più estesamente nei settori dove è meno inclinata. Applicando questo principio alla carta in esame, si consideri la più occidentale delle due sinclinali e si compiano le osservazioni (ad esempio) sulla formazione 3, che sappiamo essere meno inclinata sul fianco orientale della sinclinale stessa. Poiché in corrispondenza di questo fianco l'ampiezza dell'affioramento è minore di quella osservabile sul fianco occidentale e poiché la conformazione della superficie topografica non cambia in modo sensibile, si conclude che lo spessore della formazione 3 è maggiore nel settore occidentale.

### 2) Traccia delle superfici assiali (fig. 3)

Poiché, per definizione, la superficie assiale di una piega contiene *tutte* le linee di cerniera (cioè di massima curvatura) di *tutte* le superfici piegate, la sua traccia sulla carta si ottiene trovando dapprima i punti di cerniera di ognuna delle cinque superfici piegate (quelle che separano le 6 formazioni) e congiungendo poi tali punti. Alle quattro pieghe individuate corrispondono pertanto le tracce di quattro superfici assiali (fig. 3). Benché la superficie

essere utilizzata come una qualunque linea di affioramento, e quindi confrontata con le isoipse per ricavarne qualitativamente la giacitura (tutte e quattro le superfici risultano immergere all'incirca verso W); oppure, per una lettura più precisa, di ciascuna traccia possono essere costruite le contour lines (orizzontali), dalle quali si ricava che le quattro superfici assiali sono piane, con inclinazione peraltro variabile da una all'altra (cfr. fig. 6).

### 3) Linee di cerniera (figg. 4 e 5)

Ogni linea di cerniera si trova su una superficie piegata e si ottiene congiungendo tutti i punti di cerniera (già trovati) che giacciono su tale superficie. Ad es., la linea di cerniera della superficie piegata che separa le formazioni 1 e 2 in corrispondenza dell'anticlinale più occidentale può essere trovata congiungendo i tre punti di cerniera che le appartengono (fig. 4). Si constata che la linea è retta e (poiché i tre punti sono situati alla stessa quota) orizzontale. Ripetendo il procedimento per tutte le altre linee di cerniera (fig. 5) si constata che tutte sono rette, orizzontali e parallele tra loro. Si noti che l'orizzontalità delle linee di cerniera era già stata ricavata al punto 1, in fase di lettura "qualitativa" della carta.

Inoltre risulta che, poiché le linee di cerniera sono rette e parallele fra loro, esse possono anche essere definite come "assi" delle pieghe, le quali, conseguentemente, sono cilindriche.

### 4) Sezione geologica (fig. 6)

Volendola costruire in modo preciso, poiché le pieghe sono cilindriche ed i loro assi sono orizzontali, si procede (cfr. foglio 10) utilizzando le orizzontali sia dei piani assiali (*da inserire per primi*), sia di ognuna delle superfici piegate. In fig. 6 è riportata la traccia di due sole delle cinque superfici. L'esercizio può essere facilmente completato e infine concluso riportandovi anche il profilo topografico. Si noti che la fig. 6 evidenzia, per la formazione n° 3, le variazioni laterali di spessore che erano già state individuate qualitativamente al punto 1.

### 5) Descrizione conclusiva

La regione è interessata da un sistema di pieghe cilindriche, aperte (angoli apicali attorno a 120°), con assi orizzontali, asimmetriche, con piani assiali moderatamente inclinati verso W, che deformano una successione la quale, almeno per alcune formazioni, presenta variazioni laterali di spessore. Le pieghe hanno lunghezza d'onda di circa 1km ed ampiezza attorno al centinaio di metri.

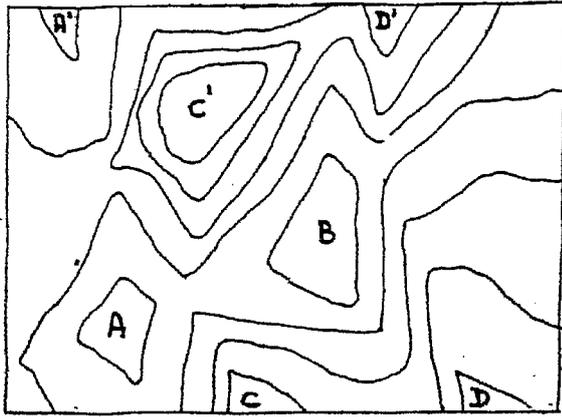


Fig. 1 - Successione geometrica della formazioni:  
da 1 (la più profonda) a 5 (la più superficiale)

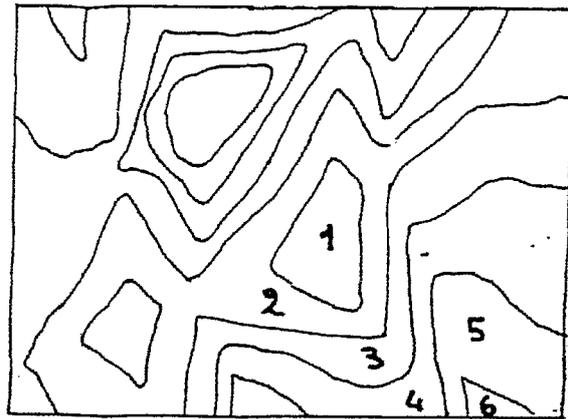


Fig. 2 - Successione geometrica della formazioni:  
da 1 (la più profonda) a 5 (la più superficiale)

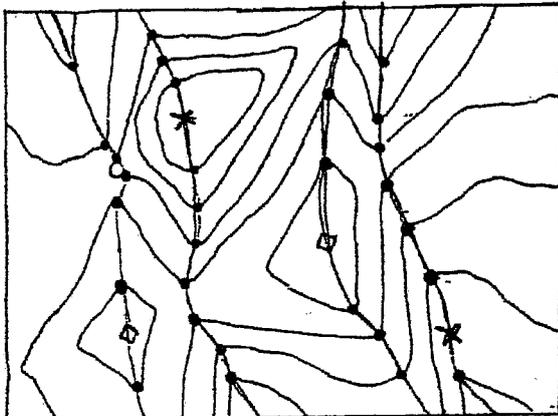


Fig. 3 - Tracce delle superfici assiali

- ◊ Antiformi
- \* Sinformi

- Punti delle linee di cerFig. 3 -
- Tracce delle superfici assiali

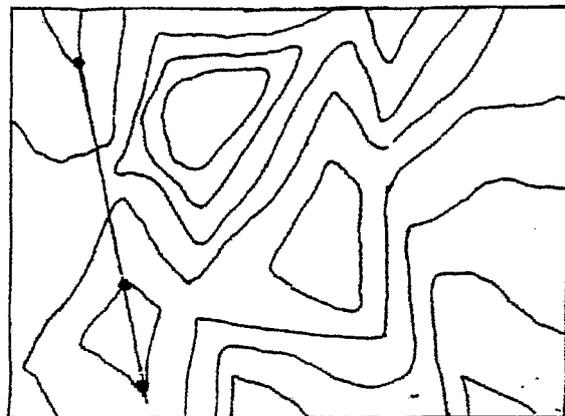


Fig. 4 - Linea di cerniera della superficie piegata  
che separa la formazione 1 dalla 2

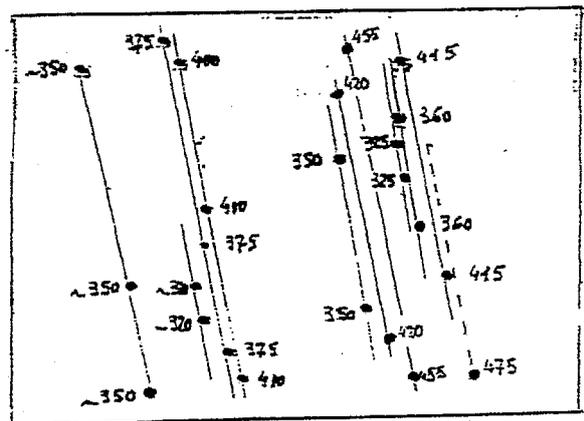


Fig. 5

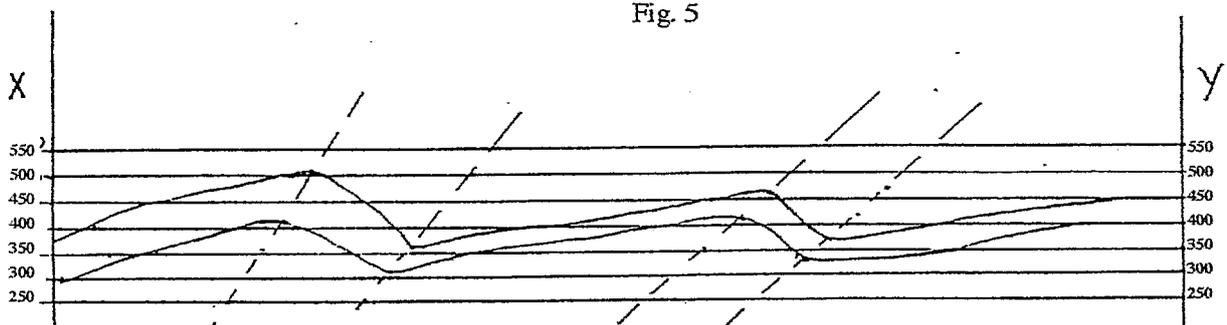
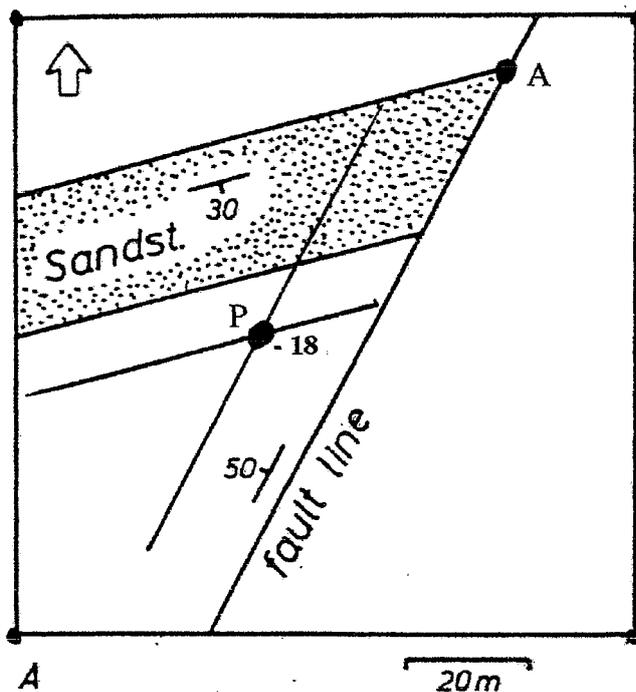


Fig. 6 - Andamento dei piani assiali e dei limiti della formazione n° 3

Poiché la faglia, nonché la base ed il tetto di sandstone sono superfici piane, le loro intersezioni sono linee rette, tracciabili una volta che se ne conoscano due punti.

In particolare, il pozzo deve essere ubicato lungo la linea di intersezione (cut-off line) tra la faccia superiore della faglia e la base di sandstone.

Di tale linea, un punto (A) è già noto; in generale, un altro punto si trova cercando l'intersezione tra un'orizzontale della faglia e l'orizzontale avente la stessa quota della base di sandstone. Poiché, in particolare, si desidera che il pozzo sia ubicato alla quota -18m, il secondo punto (P) si trova cercando l'intersezione tra le orizzontali di faglia e sandstone aventi tale quota.



Dalla scala grafica della carta si ricava che 18 m sono pari a circa 14 mm (cioè:  $\epsilon = 14$  mm).

Pertanto, poiché l'arenaria ha inclinazione di  $30^\circ$ , la distanza di 18 m misurata lungo la sua retta di massima pendenza (cioè il "passo" relativo a 18 m) è pari a  $(\epsilon/\text{tg}30^\circ) = 24$  mm

Analogamente, il "passo" della faglia è  $(\epsilon/\text{tg}50^\circ)$ , pari a circa 12 mm

**Punto 1)**

Dalla carta si deduce subito che la faglia è inclinata e che immerge all'incirca verso NW. Perciò il suo tetto geometrico si trova a NW della linea di affioramento della faglia stessa ed il suo letto (geometrico) a SE della stessa linea. I limiti formazionali immergono anch'essi all'incirca verso NW, ma la loro direzione forma un piccolo angolo con la direzione della faglia, che è pertanto una faglia obliqua, riportabile a una faglia di direzione conforme.

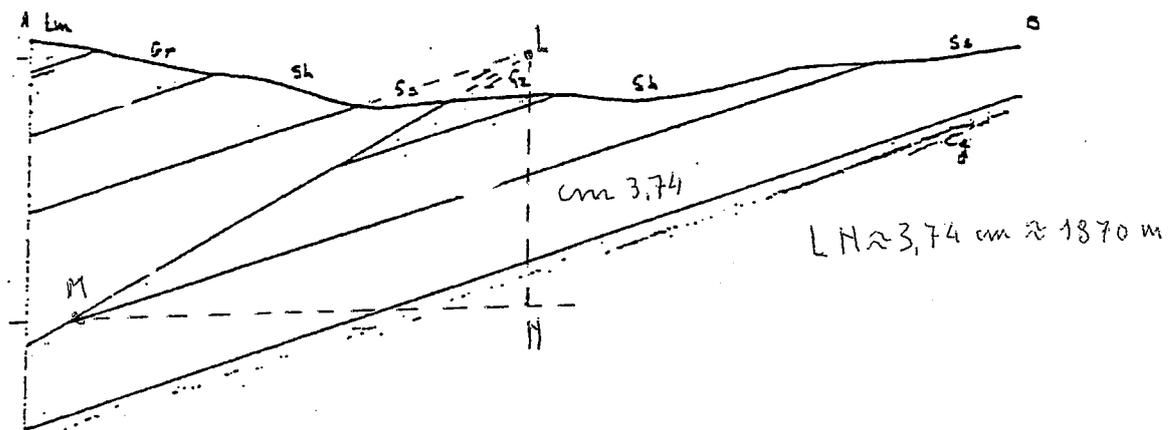
Poiché non esistono componenti trascorrenti di scivolamento (strike slip = 0), la faglia può essere soltanto normale o inversa. Si osservi l'età (relativa) delle due formazioni a contatto lungo la faglia. Se -come accade nel caso in esame- al tetto geometrico affiora la formazione più antica (°), la faglia è inversa.

(°) In generale l'età delle formazioni è riportata nella legenda della carta. Nel caso in esame essa deve invece essere dedotta dalla loro giacitura, partendo dall'ipotesi che la successione sia diritta, cioè che l'ordine di sovrapposizione geometrica coincida con quello di sovrapposizione stratigrafica. Poiché le formazioni immergono tutte all'incirca verso NW, la più antica è conglomerate e la più recente è limestone. Poiché al tetto della faglia affiora sandstone, più antica di grit, la faglia è inversa.

**Punto 2)**

La sezione geologica si può costruire come negli esercizi precedenti. Si disegni dapprima la traccia del piano di faglia, trovando sulla carta le intersezioni tra due orizzontali di tale piano e la traccia AB e riportando detti punti sulla sezione verticale. Si proceda poi in modo analogo anche per i limiti formazionali, arrestandoli, quando sia il caso, contro la faglia, anche al di sopra del profilo topografico. Si scelga, ad esempio, il limite shale/sandstone e se ne trovino i due punti d'intersezione con la faglia (blocco a tetto e blocco a letto).

La distanza verticale tra questi due punti rappresenta il richiesto valore della vertical separation. La sua lunghezza è di circa 3,74 cm. Tenuto conto che il segmento è stato misurato sulla sottostante sezione (che per motivi di spazio stata costruita alla scala 1:75.000), la vertical separation risulta pari a circa 1.870 metri.



**Punto 3)**

Si tenga però presente che l'esecuzione della sezione non è necessaria per ricavare il valore richiesto, che può essere ottenuto tracciando un'orizzontale di un limite su uno dei due blocchi fagliati e osservando a quale quota essa interseca lo stesso limite sull'altro blocco.

Chi lo desiderasse, può applicare questo metodo alternativo e verificare che, compatibilmente con la precisione del disegno costruito, il risultato è sostanzialmente identico.

Tuttavia, nel caso qui preso in esame, qualunque orizzontale si prenda su qualunque limite, la sua intersezione con lo stesso limite dall'altra parte della faglia cade fuori carta.

Occorre allora procedere nel modo seguente. Si consideri, sulla carta, un limite (ad es., il limite ss/sh); se ne tracci un'orizzontale (ad es. quella di quota 1400 nel blocco a letto). Si tracci successivamente una retta parallela all'immersione del limite a tetto della faglia e la si quoti. La quota del punto in cui l'orizzontale di quota 1400 del letto interseca la retta di massima pendenza a tetto può così essere identificata con ragionevole precisione.

La vertical separation risulta di circa 1850 m.

In alternativa al metodo sopra descritto si può anche procedere rapidamente nel modo seguente.

Dalle formule già note:

$$g = o \sin \beta \qquad g = v \cos \beta \qquad \text{si ricava: } v = o \operatorname{tg} \beta$$

(dove  $g$  = stratigraphic sep.;  $o$  = offset;  $v$  = vertical sep.;  $\beta$  = inclinazione vera del limite considerato).

Pertanto, dopo aver trovato  $\beta$  con il triangolo delle pendenze, si può tracciare una qualunque orizzontale di un qualunque limite sia a tetto che a letto della faglia e misurare l'offset.

Si ricordi che la disequaglianza

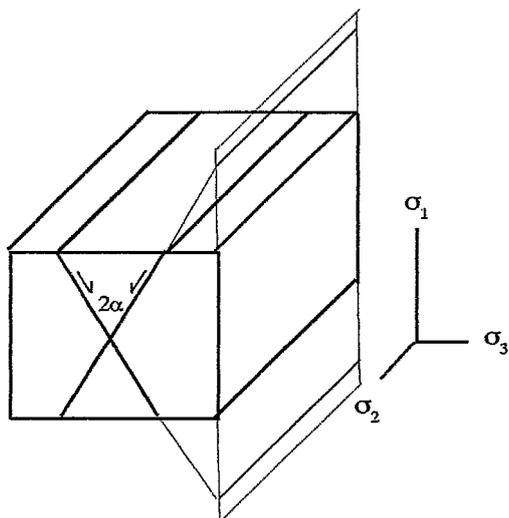
$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

si riferisce ai valori relativi, e non assoluti.

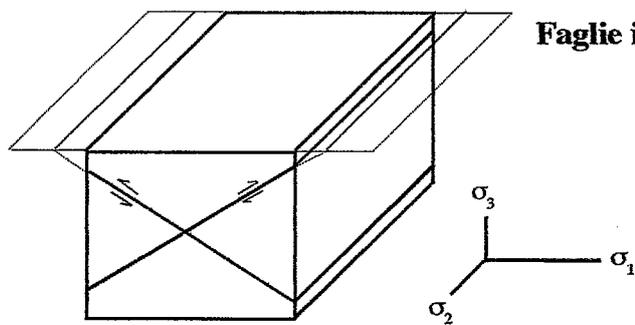
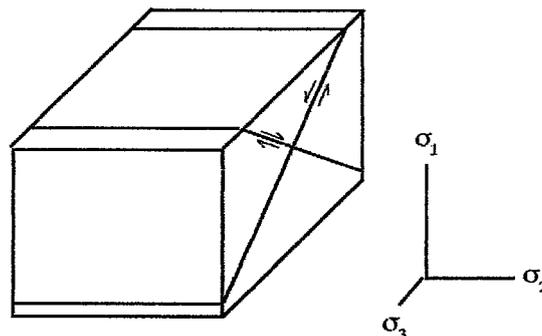
Le faglie normali possono essere generate sia da un  $\sigma_1$  verticale compressivo, sia da un  $\sigma_3$  orizzontale tensile. Quest'ultimo è il caso più frequente in natura.

Le faglie inverse sono per lo più generate da un  $\sigma_1$  orizzontale compressivo.

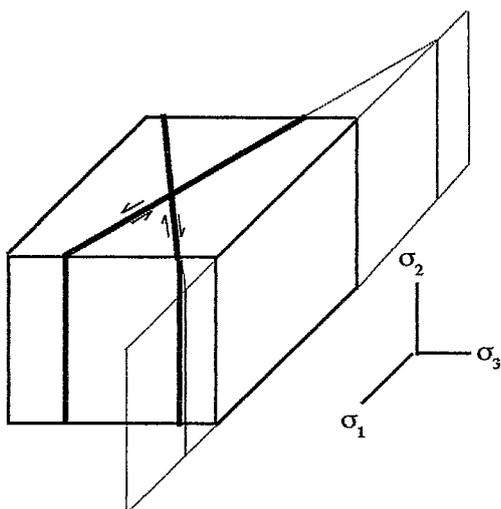
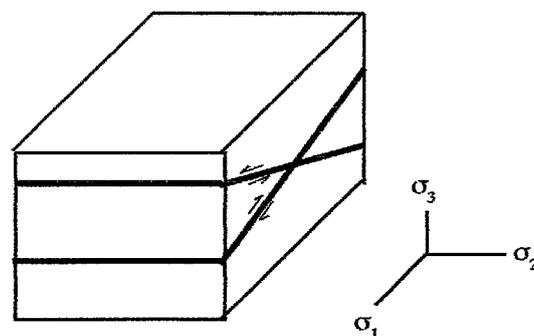
Per le faglie trascorrenti, il caso più frequente è rappresentato da un  $\sigma_1$  compressivo e da un  $\sigma_3$  tensile, entrambi agenti nel piano orizzontale.



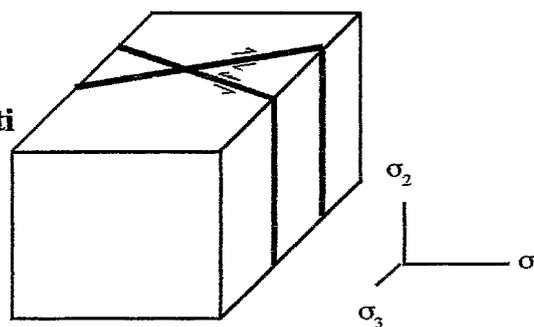
**Faglie normali**



**Faglie inverse**



**Faglie trascorrenti**



*Significato dei termini inglesi:*

**Strike separation** = distanza (misurata in un piano orizzontale, parallelamente alla direzione della faglia) tra le due parti di un limite che è stato spostato

**Dip separation** = distanza (misurata in un piano verticale ortogonale alla direzione della faglia) tra le due parti di un limite che è stato spostato (AA' in fig. 1). Nel piano in cui viene misurato, può essere scomposto in:

**Throw** = componente verticale della dip separation (AB in fig. 1);

**Heave** = componente orizzontale della dip separation (A'B in fig. 1)

**Vertical separation** = distanza verticale tra le due parti di un limite che è stato tagliato e spostato dalla faglia (AD in fig. 1).

### Soluzione

1) La faglia **F** immerge a  $S70^{\circ}E$ , con  $44^{\circ}$  di inclinazione.

2) Il livello di carbone **C** immerge a  $N15^{\circ}E$ , con  $20^{\circ}$  di inclinazione. La faglia è pertanto obliqua.

3) La **cut-off line** a letto della faglia si trova congiungendo due punti appartenenti contemporaneamente alla linea di affioramento di **F** e alla linea di affioramento di **C** a letto di **F**; in modo analogo si trova la cut-off line a tetto di **F**. Le due linee sono parallele, immergendo entrambe verso  $N47^{\circ}E$ , entrambe con  $20^{\circ}$  di inclinazione: ne consegue che lo scivolamento relativo dei due blocchi lungo la faglia non è stato rotazionale.

4) Per la sezione si veda la fig. 1.

5) **Strike separation** - Si tracci una qualunque orizzontale di **C** a tetto di **F** e l'orizzontale di **C** a letto di **F** avente la stessa quota. La loro distanza misurata lungo la direzione di **F** (segmento **HK** in fig. 2) rappresenta la strike separation, pari a circa 88 m.

6) **Heave** (Rigetto orizzontale) - Può essere trovato direttamente sulla carta, come distanza tra le due cut-off lines, misurata parallelamente all'immersione di **F** (fig. 2). In alternativa, si trova costruendo la sezione verticale parallela all'immersione di **F** (fig. 1). Il rigetto orizzontale misura circa 33 m.

7) **Throw** (Rigetto verticale) - Dalla fig. 1 si ricava che la sua misura è di circa 31 m. In alternativa, lo si può ottenere moltiplicando il valore del rigetto orizzontale (heave), per la tangente dell'angolo di inclinazione vera della faglia. In tal caso risulta:  $(33 \cdot \operatorname{tg} 44) = 30,9$  metri, valore ben confrontabile con il precedente

8) **Dip separation** (Rigetto inclinato) - Dalla fig. 1 si ricava che la sua misura è di circa 45 m. In alternativa, lo si può ottenere dividendo il valore del rigetto orizzontale (heave) per il coseno dell'angolo di inclinazione vera della faglia. In tal caso risulta:  $(33 / \cos 44) = 45,8$  metri, valore ben confrontabile con il precedente.

9) **Vertical separation** - Può essere letta direttamente sulla carta, tracciando una orizzontale di **C** e misurando la differenza di quota che essa ha a tetto e a letto di **F**. Ad esempio, nella fig. 2 la retta **c** è l'orizzontale di **C** che ha quota 260 a letto di **F** e 228 circa a tetto di **F**; la vertical separation è perciò  $(260-228) \approx 32$  m. Si noti che questo valore differisce di poco da quello del throw perché, nella sezione verticale perpendicolare alla faglia (fig. 1) l'inclinazione di **C** è molto modesta. La vertical sep. si può evidentemente misurare anche sulla sez. di fig. 1, dove risulta di poco superiore al throw.

10) Per identificare le aree nel cui sottosuolo potrebbe trovarsi **C** (si noti l'interesse pratico della risposta a questa domanda!) occorre evidentemente tener conto anche delle cut-off lines. Si veda la fig. 3 per la risposta (SI = aree nel cui sottosuolo **C** potrebbe trovarsi; NO = aree nel cui sottosuolo **C** non può esistere).

11) Per capire l'importanza del rigetto orizzontale (heave), si osservi la fig. 1, dalla quale appare evidente che l'area nel cui sottosuolo non affiora **C** è tanto più ampia quanto maggiore è il rigetto orizzontale stesso. Anche la strike separation influisce sulla distribuzione di **C** nel sottosuolo: si provi, per esercizio, a ricostruire quale sarebbe stata la distribuzione di **C** in profondità se non vi fosse stata la faglia, nelle due ipotesi alternative che lungo di essa il tetto sia stata ribassato, oppure il letto rialzato.

12) La strike separation osservabile sulla carta è destra. La dip separation osservabile nella sezione verticale è normale. Confrontando questi dati con la fig. 25 a pag. Faglie, 9 si deduce che tali separation sono compatibili sia con una faglia normale, sia con una trascorrente destra, sia con tutti gli altri casi che cadono nel semipiano L.

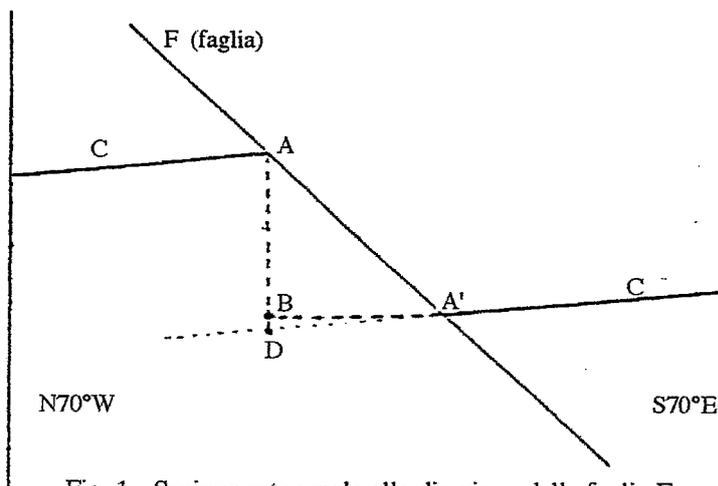
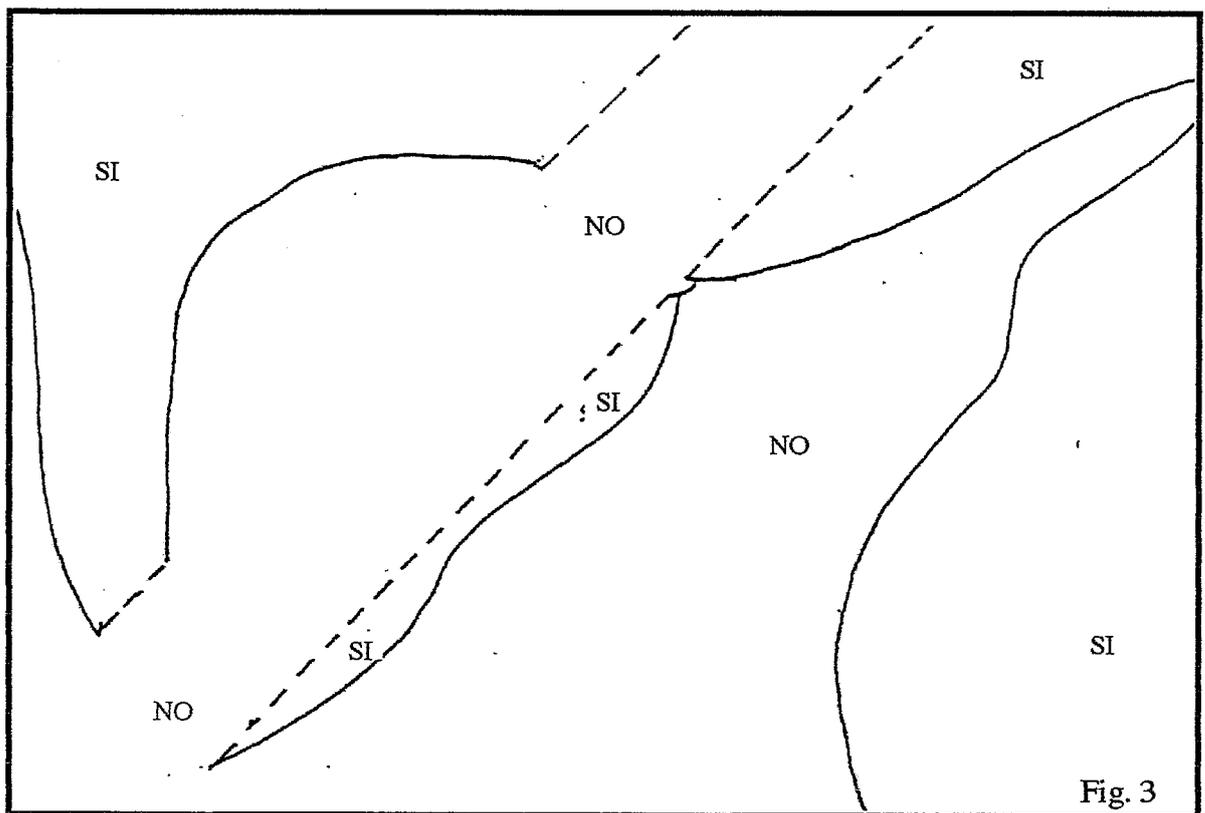
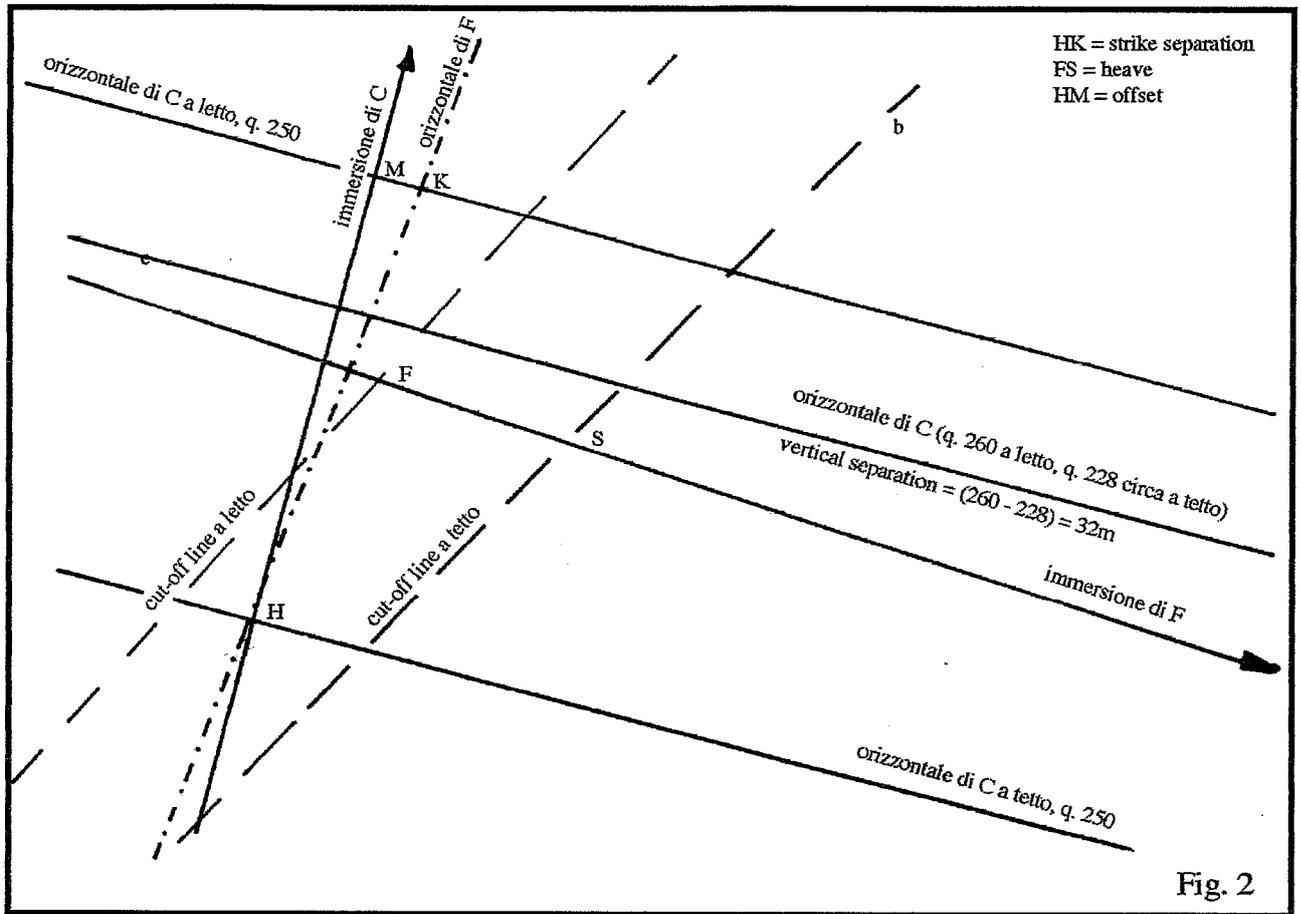
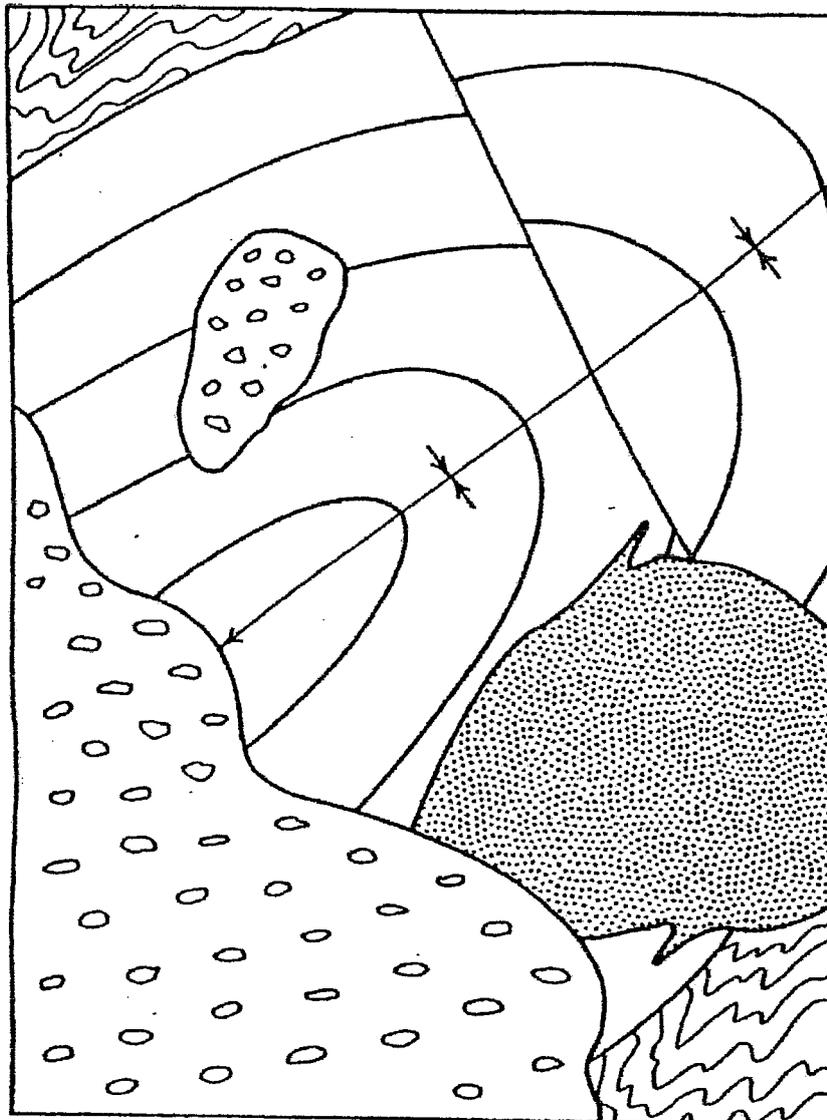


Fig. 1 - Sezione ortogonale alla direzione della faglia F

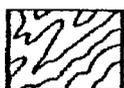


### History from a geologic map

1. Genesis of pre-metamorphic rocks (protolith)
2. Folding and metamorphism of protolith
3. Uplift and erosion
4. Deposition of the sedimentary rocks C
5. Folding
6. Faulting (western block downward displaced)
7. Igneous intrusion
8. Erosion
9. Deposition of the sedimentary rocks A
10. Erosion to present topography



Metamorphic rocks



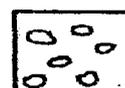
Sedimentary rocks C

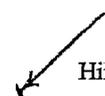


Igneous rocks



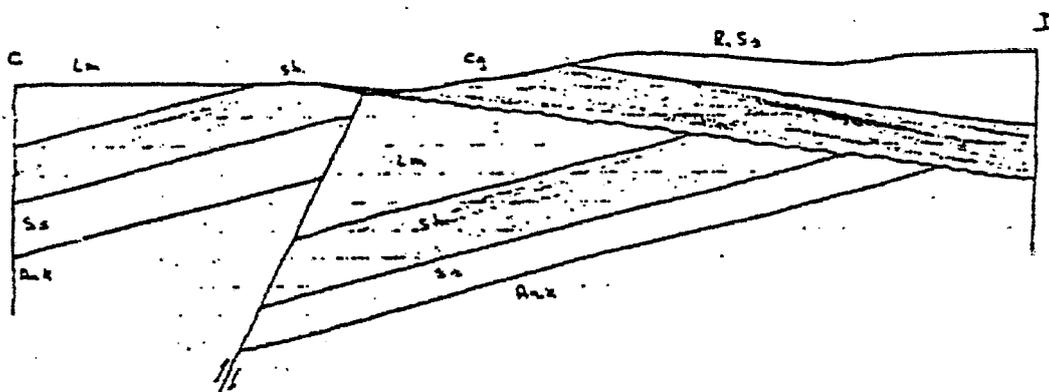
Sedimentary rocks A



 Hinge line plunge

Nella sezione geologica si tracci dapprima la base di conglomerate, poi la faglia (che si arresta contro tale base), poi i limiti delle formazioni della successione inferiore (che si arrestano sia contro la faglia sia contro la base di Conglomerate). Da ultimo si tracci il limite tra Conglomerate e Red sandstone (la carta mostra che esso è parallelo alla base della trasgressione).

NOTA - Per calcolare lo spessore verticale minimo da assegnare ad arkose, si osservi che nel blocco orientale il suo limite superiore (quello con sandstone) è troncato da conglomerate alla quota 1150 circa; il limite inferiore di arkose non affiora; al minimo, esso potrebbe passare fuori carta arrestandosi contro il limite di conglomerate nel punto in cui quest'ultimo ha la quota più bassa (circa 865 m). Pertanto, nella sezione, dal punto di quota 865 situato sulla base del conglomerate (un po' ad Est del punto D, quindi al di fuori della sezione) si può mandare una retta parallela al tetto di arkose: lo spessore verticale minimo di quest'ultima formazione risulta pertanto di circa 500 m.



**La lettura preliminare e qualitativa della carta consente di dedurre:**

- 1) - I limiti formazionali hanno tutti la stessa direzione (N-S);
  - le immersioni e le inclinazioni sono invece differenti, e precisamente, procedendo da W verso E lungo la traccia CD, i primi due limiti immergono verso W, con inclinazione "media"; seguono due limiti sub-verticali; poi un limite immergente a W con inclinazione media; infine, al di là della faglia, due limiti, il primo immergente a W, il secondo a E, con inclinazioni "medie".
- 2) - Gli affioramenti delle formazioni si ripetono simmetricamente più volte, ciò che indica una struttura a pieghe; procedendo da W verso E il primo nucleo è costituito da sandstone, il secondo da limestone, il terzo da shale (nel settore NE della carta si osserva anzi che al nucleo affiora sandstone). Tenuto conto delle giaciture, i tre nuclei corrispondono rispettivamente a un'antiforme, una sinforme, un'antiforme.
  - Non sono identificabili direttamente linee di cerniera, ma si constata agevolmente che le orizzontali di tutte le superfici piegate sono rettilinee e parallele fra loro; se ne deduce che le pieghe sono cilindriche e le linee di cerniera orizzontali (cfr. spiegazione Foglio 10). Pertanto si può affermare che la linea di cerniera della superficie che separa limestone da shale (nucleo della sinforme) si trova a quota 1150 circa, mentre la linea di cerniera della superficie che separa sandstone da shale (nucleo antiforme orientale) si trova a quota 1550 circa.
- 3) - La faglia ha la stessa direzione dei limiti (è dunque una faglia di direzione) ed immerge verso W; sicché da questa parte si trova il suo tetto; essendo una faglia di direzione, non esiste strike separation;
  - a tetto ed a letto della faglia affiorano rispettivamente shale e limestone. Poiché nella successione piegata shale è geometricamente sottostante a limestone, si conclude che lungo la faglia vi è stato certamente uno scivolamento di immersione (dip slip) di tipo inverso; non esistendo strutture lineari spostate, non è vi è la possibilità di accertare se vi sia anche una componente strike slip.

**Misura dell'entità dello scivolamento lungo l'immersione (dip slip)**

Per calcolare il dip slip si può procedere in due modi:

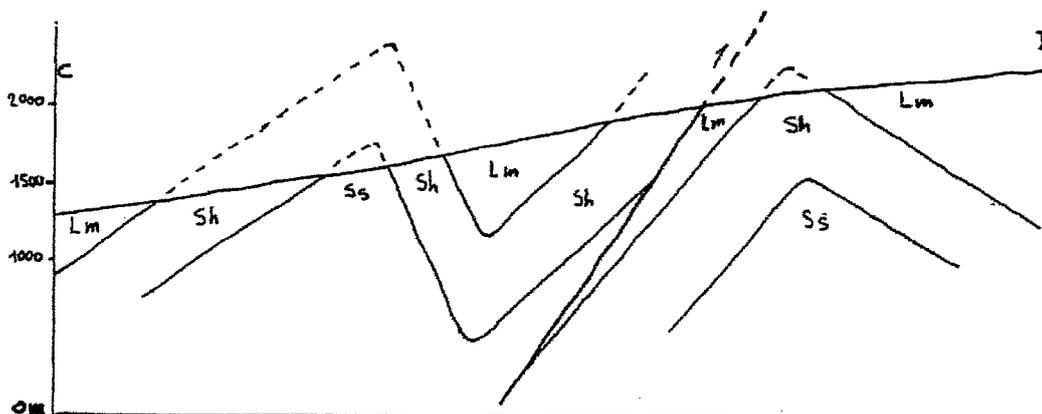
- a) selezionare un limite (ad es. ss/sh), trovarne le due cut-off lines a tetto e a letto della faglia, misurare la loro distanza lungo l'immersione della faglia e dividere il valore trovato per il coseno dell'angolo di inclinazione della faglia stessa (v. spiegazione nel foglio 19). Nel presente caso, sulla carta affiora solo la cut-off a tetto (essa è orizzontale e ha quota 1500); l'altra andrebbe costruita e l'angolo di inclinazione della faglia dovrebbe essere ricavato dal "passo" della faglia stessa;
- b) misurare il valore richiesto direttamente sulla sezione CD, già costruita.

Nel caso in esame, poiché nel tratto in cui la faglia interseca e sposta i limiti, l'una e gli altri hanno la stessa immersione (verso W) e la loro inclinazione differisce di poco, entrambi i procedimenti, sostanzialmente grafici, portano a risultati grandemente imprecisi.

Si provi ad applicarli, per esercizio (utilizzando sempre il limite sh/ss), e a confrontarne i risultati.

Con il 1° metodo, assegnando alla faglia un "passo" di circa 1 mm e al limite sh/ss un "passo" di circa 2 mm, si otterrebbe che la cut-off a letto si trova a quota 0 m e che il dip slip ha un valore di circa 3,3 km.

Con il 2° metodo, è immediatamente disponibile il cut-off point a tetto (q. 1500); per trovare quello a letto occorre inserire il limite, del quale è noto soltanto il punto di cerniera; perciò, partendo da tale punto, lo si tratterà parallelamente al limite sh/lm (costruibile mediante le orizzontali); si constaterà così che il valore del dip slip varia tra 5 km (se la sezione è stata eseguita in modo che l'angolo che vi si misura tra la faglia ed il limite sh/ss è di 7°) e poco più di 3 km (se tale angolo è di 12°).



## Spiegazione del foglio 17

**Esame preliminare della carta** - Vi affiorano due successioni discordanti, di cui quella geometricamente superiore è costituita dalle due formazioni Conglomerate e Red Sandstone. Il limite inferiore del Conglomerate tronca i limiti non solo di tutte le formazioni della successione geometricamente inferiore (costituita, in ordine geometrico ascendente, da: arkose, sandstone, shale, limestone), ma tronca anche la faglia che attraversa queste formazioni.

La successione superiore immerge, con debole inclinazione, verso ESE (circa N114°, 7°). Quella inferiore, più inclinata, immerge verso WNW (circa N306°, 14°).

La faglia, molto inclinata, immerge verso W (N263°, 58° circa). Si tratta pertanto di una faglia obliqua, ciò che comporta necessariamente lo spostamento (separation) dei limiti. La carta mostra che la strike separation è destra e che la dip separation è inversa.

Mancando strutture lineari, lo *scivolamento totale* (net slip) non è determinabile. (Se fosse net slip = dip slip, la faglia sarebbe inversa; con net slip = strike slip si avrebbe una trascorrente destra. Con net slip = oblique slip i movimenti possibili sarebbero numerosi.

**La cronologia degli eventi geologici** è quindi la seguente:

- deposizione della successione inferiore;
- basculamento della successione inferiore: l'inclinazione della successione è infatti troppo considerevole per essere primaria.

S noti che, in alternativa, il basculamento potrebbe essersi verificato dopo la fagliazione; in ogni caso esso ha preceduto la fase erosionale;

- fagliazione della successione inferiore;
- erosione della successione inferiore;
- trasgressione e deposizione della successione superiore;
- erosione fino all'attuale superficie topografica.

**Misura delle separations**

- *strike separation e offset*: si prenda in considerazione un limite, ad esempio quello tra sandstone e shale; si scelga un piano orizzontale con il quale si intende tagliare la struttura (ad es.: quello di quota 1200); si traccino le due orizzontali di quota 1200 del limite ss/sh a tetto e a letto della faglia.

**NOTA** - Mentre l'orizzontale a letto della faglia è immediatamente trovata, poiché il limite ss/sh interseca l'isoipsa di quota 1200 in due punti, l'orizzontale di uguale quota a tetto della faglia deve essere costruita nell'ovvio modo seguente: il limite ss/sh nel blocco a tetto interseca due volte l'isoipsa di quota 1500 e due volte l'isoipsa di quota 1400. La distanza tra le due orizzontali, misurata lungo l'immersione del limite, fornisce il passo; noto quest'ultimo, è facile tracciare anche l'orizzontale di quota 1200.

La distanza minima tra le due orizzontali del limite ss/sh aventi quota 1200 è pari a circa 4250 m: tale misura rappresenta l'offset; si tracci l'orizzontale di quota 1200 della faglia; quest'ultima interseca le due orizzontali precedenti in due punti, la cui distanza, pari a circa 8800 m, rappresenta la strike separation, destra.

- *vertical separation*: si utilizzi, per comodità, sempre il limite ss/sh. La retta della sua immersione nel blocco a tetto è già stata in parte quotata per trovare l'orizzontale di quota 1200; si completi il procedimento, riportando il passo un numero  $n$  di volte in direzione SE, fino a raggiungere l'orizzontale di quota 1200 dello stesso limite nel blocco a letto, anch'essa già costruita. Si constata così che quest'ultima retta, avente quota 1200 nel blocco a letto, avrebbe quota pari a circa 2300 in quello a tetto. Si conclude che la vertical separation ha un valore di circa 1100 metri.

In alternativa, poiché il problema chiede anche di costruire la sezione verticale, la vertical separation può essere direttamente misurata su tale sezione.

- *dip separation* e sue componenti orizzontale (heave) e verticale (throw): possono essere misurate direttamente costruendo una sezione verticale parallela all'immersione della faglia. In alternativa, utilizzando solo la carta:

- si scelga un limite (ad es., come fatto sopra, il limite ss/sh) e se ne traccino le due cut-off lines a letto e a tetto della faglia. Ciò serve anzitutto per verificare che esse sono parallele (entrambe hanno infatti la stessa giacitura: 355°N, 11°) e che pertanto il movimento nel piano di faglia non è stato rotazionale. Inoltre, la loro distanza misurata parallelamente all'immersione della faglia, pari a circa 1000 m, rappresenta il valore di heave. Tale valore, moltiplicato per la tangente dell'angolo d'inclinazione vera della faglia, fornisce il valore di throw (circa 1600 m). Risulta pertanto anche che dip separation = 1900 m circa, inversa.

**Premessa**

Nella fig. 1 è presentata una struttura simile a quella del problema da risolvere: la linea di cerniera di una delle superfici piegate in antiforme è stata troncata e spostata dalla faglia; sulla faccia a letto di quest'ultima giace il punto F, mentre su quella a tetto si osserva il corrispondente punto C.

La fig. 2 mostra il piano di faglia, inclinato, ed i punti F e C, coincidenti prima del movimento. Pertanto, il segmento FC, misurato nel piano di faglia, rappresenta il net slip.

Nel piano di faglia, quest'ultimo può essere scomposto in uno strike slip (segmento CA) ed in un dip slip (segmento FA).

È indispensabile tener presente che, quando si costruiscono gli scivolamenti sulla carta, si lavora su un piano orizzontale, sul quale vengono proiettati verticalmente tutti i segmenti rappresentanti gli slip: il punto F viene proiettato nel punto B, il punto C nel punto E, il punto A nel punto D. Pertanto:

- *strike slip*: la misura effettuata sulla carta (segmento ED) è identica a quella che si dovrebbe effettuare nel piano di faglia (segmento CA);

- *dip slip*: sulla carta si misura il segmento DB, la cui lunghezza è ovviamente identica a quella del segmento AG; per risalire da questo al reale valore del dip slip (segmento FA) è necessario dividere  $DB (= AG)$  per il coseno dell'angolo di inclinazione vera della faglia (angolo  $\alpha$ )

- *net slip*: sulla carta si misurerebbe il segmento EB, ovviamente più corto di CF. Tra i vari metodi possibili per ricavare CF uno dei più rapidi consiste nel ricorrere al teorema di Pitagora: il net slip CF è infatti l'ipotenusa del triangolo rettangolo CAF, del quale sono già state ottenute le misure dei due cateti  $CA (= ED)$  e  $AF (= DB / \cos \alpha)$ .

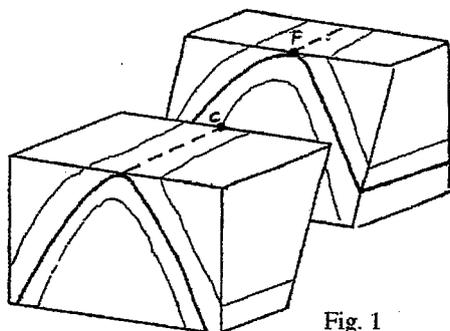


Fig. 1

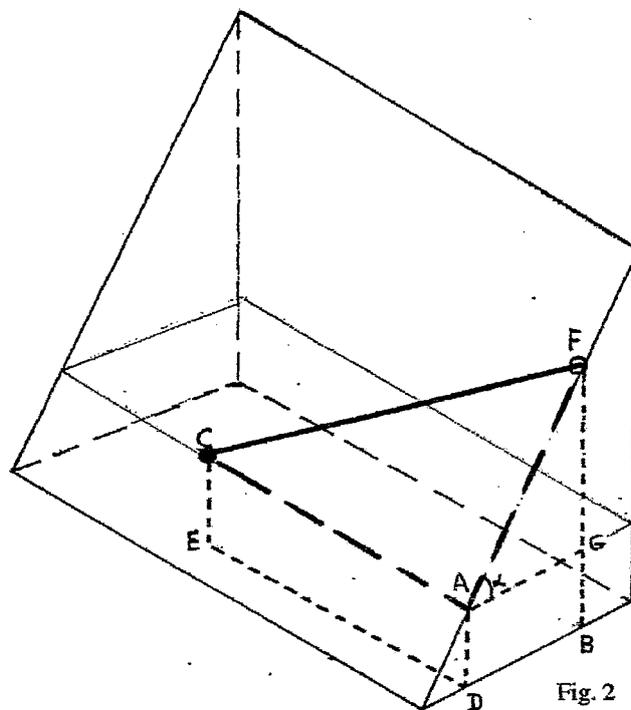


Fig. 2

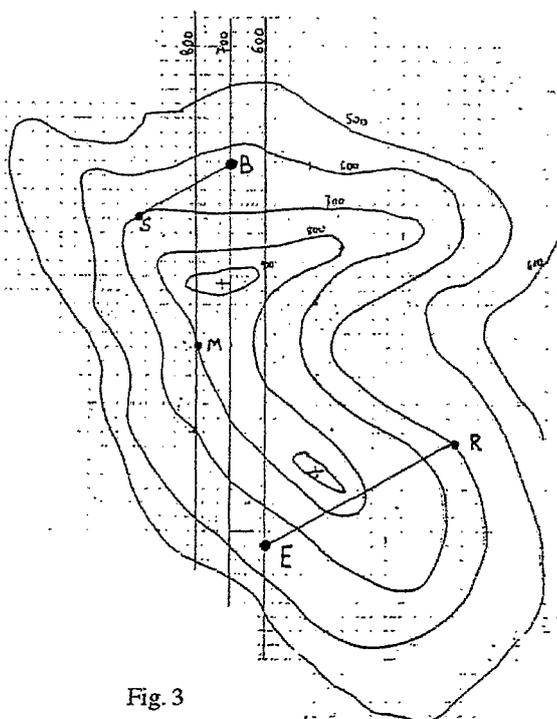


Fig. 3

**Svolgimento**

Il punto R, a tetto della faglia, è situato a quota 600 e, poiché la linea di cerniera è orizzontale, essa deve intersecare la faglia alla stessa quota. Si tracci pertanto da R la retta avente direzione  $N60^\circ$ , fino a farla incontrare con l'orizzontale di quota 600 della faglia: si trova così il punto E (proiezione del punto C sul piano orizzontale) a tetto della faglia (v. le figure 1 e 2).

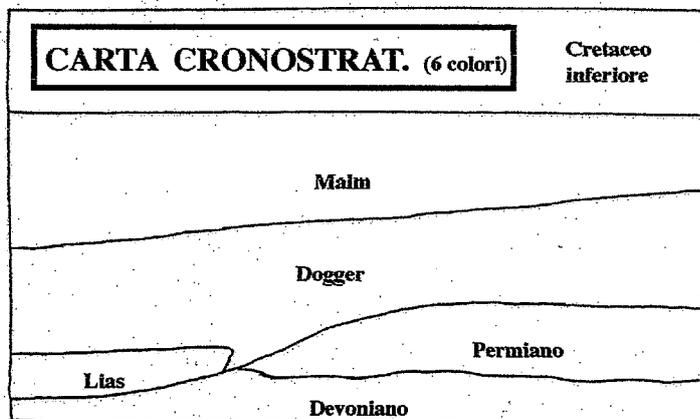
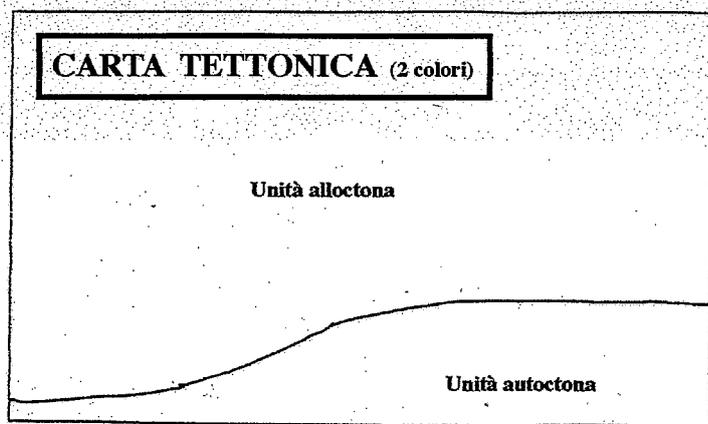
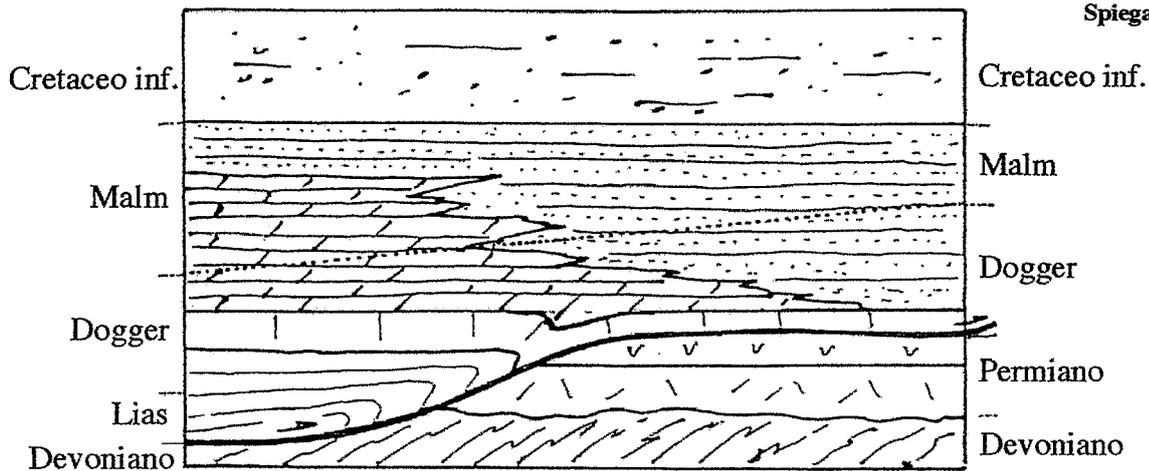
Con analoga operazione, si trova, a quota 700, il punto B a letto della faglia.

La distanza tra E e B misurata parallelamente alla direzione della faglia rappresenta lo strike slip (1080 m).

La distanza tra E e B misurata parallelamente all'immersione della faglia rappresenta la proiezione del dip slip sul piano orizzontale (cioè l'equivalente del segmento  $DB = AG$  della fig. 2); dividendo il valore di tale distanza per  $\cos 45^\circ$  si ottiene: dip slip = 141 m

Risulta pertanto: net slip = 1089 m

Poiché il punto B, a letto della faglia, si trova a quota più alta e spostato verso destra rispetto al punto E, la faglia deve essere definita come una trascorrente destra, con debole componente normale.



Osservazioni:

1) Il limite (ovviamente tettonico) indicato in una carta tettonica compare sempre anche nelle corrispondenti carte formazionale e cronostratigrafica.

2) Un limite stratigrafico corrispondente ad una superficie di erosione (quindi anche ad una lacuna) compare sempre sia nella carta formazionale che in quella cronostratigrafica (v., ad es., il limite tra gneiss devoniani e vulcaniti permiane dell'esercizio a fianco).

3) Un limite formazionale e cronostratigrafico possono coincidere (ad es. il limite tra conglomerati del Cretaceo inferiore ed Areniti del Malm nell'esercizio a fianco); più frequentemente, tuttavia essi sono diversi. Così può accadere che ciò che viene indicato con un unico colore nella carta formazionale (ad es. le Marne del Lias-Dogger) debba essere distinto con due diversi colori nella carta cronostratigrafica e, viceversa, ciò che appare riunito in un unico colore in quest'ultima (ad es., tutte le formazioni del Dogger) debba essere distinto in quella formazionale (4 formazioni nell'esempio proposto).

4) Ovviamente, è più facile rilevare una carta geologica indicandovi i limiti formazionali (corrispondenti a cambiamenti litologici facilmente identificabili sul terreno) piuttosto che una cronostratigrafica, basata sull'età di ciò che deve essere distinto; se -come spesso capita- il limite cronologico è situato all'interno di una formazione litologicamente omogenea, solo accurate e numerosissime datazioni consentono di posizionarlo sulla carta.

5) Si noti ancora che, considerando una sezione verticale, i limiti formazionali possono non corrispondere a superfici originariamente orizzontali (ad es., nel caso di eteropia indicato qui a fianco). Anche le superfici isocrone entro una data sezione possono non essere orizzontali; è quanto accade se la sezione è costruita riportando sull'asse delle ordinate gli spessori e se questi, per una data formazione, non sono costanti in tutta l'area esaminata.

### Letture della carta

1. Anzitutto, i tre profili topografici seriatî mostrano che la superficie topografica è appena leggermente ondulata. Pertanto, la carta può, in prima approssimazione, essere considerata una sezione della struttura geologica con una superficie all'incirca piana ed orizzontale. In altri termini, le curvature dei vari limiti che si osservano in carta non dipendono dalla topografia, ma dalla struttura geologica.

2. Il primo limite da considerare è quello discordante rispetto a tutti gli altri e, dal tipo di simbologia usata per contrassegnarlo (linea con dentini) si deduce che si tratta di una superficie di sovrascorrimento (thrust). Poiché i dentini sono per convenzione sempre rivolti verso la massa rocciosa che sta al di sopra del thrust (e che indicheremo come "falda di ricoprimento" (thrust sheet), o "alloctono"), essa è costituita dalle formazioni 1, 2, 3.

3. Sulla base di quanto sopra, è facile identificare l'esistenza di una finestra tettonica (tagliata dalla traccia del profilo VIII) e di un klippe (affiorante lungo il profilo VI).

4. La massa rocciosa sottostante alla falda ("autoctono") è costituita dalla successione 7, 8, 9, 10, piegata con un sistema di pieghe, mostrandoci terminazioni periclinali. Le cerniere delle sinclinali si chiudono verso N, mentre quelle delle anticlinali si chiudono verso Sud. Se ne deduce che le linee di cerniera dell'intero sistema di pieghe immergono verso S, con un'inclinazione peraltro non calcolabile. Congiungendo le linee di cerniera di pertinenza dei diversi limiti piegati, si constata che le tracce delle superfici assiali sono rettilinee e che, rispetto ad esse, gli affioramenti sono simmetrici. Si tratta dunque di un sistema di pieghe simmetriche, a piano assiale verticale, avente direzione N-S, ed assi immergenti, come già detto, verso Sud.

5. Procedendo da Est verso W affiorano: un'anticlinale (nucleo in 7), una sinclinale (nucleo in 10), una nuova anticlinale (nucleo in 7), una nuova sinclinale (nucleo in 10); poiché nella finestra tettonica affiora un ulteriore nucleo sinclinalico, si deduce che deve esistere un'anticlinale, completamente sepolta sotto l'alloctono, interposta tra le due sinclinali più occidentali. In totale si possono pertanto ricostruire tra anticlinali alternate ad altrettante sinclinali, per il settore più occidentale, completamente coperto, non si hanno dati.

6. La giacitura dei terreni alloctoni, indicata dalle frecce, mostra che, a partire da W, essi sono poco inclinati, poi divengono sub-orizzontali. In particolare, attorno alla finestra l'alloctono sub-orizzontale inizia con la formazione 1, la più antica. Se ne deduce che il settore occidentale della falda è costituito da una successione normale. Viceversa, nel settore orientale l'inclinazione dei terreni alloctoni aumenta considerevolmente e la successione risulta invertita, poiché la formazione 3 affiora al di sotto della formazione 2. Tentando di costruire il raccordo tra il settore orizzontale diritto e quello orientale rovescio viene "spontaneo" disegnare una cerniera di anticlinale Est-vergente, troncata alla base del thrust. La ricostruzione è confermata dalla circostanza che, in effetti, sulla carta affiora la cerniera di tale piega: essa è individuabile seguendo il limite tra la formazione 1 e la formazione 2 nel settore centrale della carta e constatando che il limite piega bruscamente appena a Sud della sua intersezione con il profilo VIII.

7. Poiché la falda tronca le pieghe dell'autoctono, la cronologia delle deformazioni può essere stabilita nel modo seguente:

- piegamento dell'autoctono
- basculamento dell'autoctono, che si abbassa verso Sud (questa fase, in realtà non è dimostrabile, né assolutamente necessaria: un sistema di pieghe può nascere con assi non orizzontali);
- sovrascorrimento dell'alloctono e contestuale nascita di un'anticlinale "frontale".

### Esecuzione delle sezioni

Si veda il foglio alla pagina seguente.

