

LUCIO BELLEMO, FRANCO VAIA (*)

MORFOGENESI CARSIKA E IMPLICAZIONI GEOSTRUTTURALI NEL CARSO ISONTINO (°)

RIASSUNTO

Analizzando la struttura del Carso occidentale (Goriziano e Monfalconese), rilevandovi andamenti discordi, ma omogenei per fasce, delle forme carsiche epigee, in particolare delle doline, se ne pongono in relazione i caratteri morfologici con gli effetti dello schema deformativo che ha coinvolto il blocco.

ABSTRACT

Because some clear variations, somehow homogeneous, we can observe step by step on the western side of the Carso structure, with reference to the surface karstic phorms, it is tried here to relate this fact to the geometric properties of the deformative scheme, which originally imprinted a micro and mesoscopic fanning structure in the macro one of the Carso itself.

Introduzione

Nell'area studiata, che costituisce una parte del fianco settentrionale dell'anticlinale del Carso Isontino, prolungamento a NW dell'ampia piega del Carso Triestino (la cerniera dell'anticlinale, generalmente orientata NW-SE, subisce qui una deviazione secondo E-W), si deve dedurre un marginale coinvolgimento della massa rocciosa da parte degli eventi strettamente alpini: dal punto di vista cinematico l'area fa dunque parte della zona dinarica esterna (DE SITTER, 1964; COUSIN, 1981).

Il sistema dinarico di deformazione è attribuibile a due momenti: l'uno oligo-miocenico, che determinò anche la grande piega del Carso; il secondo di età mio-plio-quadernaria, con gioco di faglie trascorrenti destre con direzioni comprese tra NW-SE a NNW-SSE prolungate sotto la pianura friulana (AUBOIN, 1970).

I piani tettonici più importanti determinano la separazione di blocchi con caratteri diversi.

La "linea di Palmanova" delimita ad Est l'altopiano carsico sollevato e ad Ovest la piana monfalconese, relativamente ribassata.

La "linea di Sagrado-Gradisca" divide il Carso goriziano sollevato da un'area settentrionale probabilmente abbassata.

La "linea Udine-Buttrio" separa la bassa piana del Vipacco, in abbassamento relativo rispetto al Carso goriziano ora definito in sollevamento (CARULLI & CAROBENE, 1981). Secondo CARULLI ET AL. (1980) il movimento dell'altopiano continua per tutto il Quaternario, Olocene compreso.

(*) Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste.

(°) Lavoro eseguito con il contributo finanziario del M.P.I., fondi 60%, resp. F.Vaia.

Le unità litologiche

Durante il Giurassico ed il Cretacico l'area studiata era collocata al margine settentrionale della piattaforma carbonatica adriatica, delimitata ad Ovest dal bacino bellunese, a Nord dal bacino carnico e ad Est dal bacino di Tolmino. CAVALLIN & MARTINIS (1982) riconoscono nelle facies giurassico-cretaciche la transizione verso N e NE da facies di piattaforma a facies di scarpata e infine di altofondo.

Tra il Cretacico superiore e il Paleogene si imposta la frammentazione della piattaforma, testimoniata dalle variazioni di facies riscontrabili nell'attuale Carso. La parte orientale di questa struttura fu a sedimentazione neritica (MARTINIS, 1962). I calcari ivi esistenti sono di acque basse, calde e turbolente. Il Carso goriziano propriamente detto risulta dalla sedimentazione di abbondante detrito fornito dallo smaltimento delle scogliere occidentali. Al passaggio Mesozoico-Cenozoico la comunicazione con il mare aperto sembra più agevole e prossima, con formazione di calcari a grana fine e faune planctoniche. Nel Paleocene si verificò un'emersione testimoniata da bauxiti e facies continentali (sedimentazione terrigena); nell'Eocene l'ingressione non fu estesa, poichè i sedimenti carbonatici con Alveoline e Nummuliti suggeriscono la prossimità della linea di costa. Chiude la successione marina il Flysch, cui segue l'emersione del bacino con formazione di breccie calcaree discordanti e innesco dell'attività erosiva (BONNES, MASOLI & ULCIGRAI, 1977).

Nell'insieme ne risulta dunque una notevole dinamicità in tutto l'arco di tempo rappresentato dalla successione affiorante, con notevole varietà di litotipi e frequenti eteropie, pur rimanendo per lo più nel campo delle rocce carbonatiche vere e proprie, come è stato confermato dal rilevamento di dettaglio eseguito dell'area, con l'ausilio del controllo microscopico in alcuni casi.

Suddividendo le unità litologiche, si è tenuto conto di tali mutamenti, ponendo i limiti tra esse in funzione della spiccata omogeneità: localmente il passaggio avviene in un'ampia fascia di transizione e in tali casi il limite è stato tracciato arbitrariamente tra i due litotipi contigui.

Per i nostri scopi è stata adottata la terminologia a suo tempo proposta da MARTINIS (1962), modificata là dove essa non corrisponde più ai criteri di classificazione usualmente adottati, soprattutto per quanto attiene ai caratteri della massa carbonatica.

Presupposti morfogenetici e tipologie morfologiche

Per quanto detto in precedenza il processo carsico non si presenta ovunque, nell'area in esame, con le stesse caratteristiche. Ciò che più colpisce, anzi, è il fatto che addirittura in corrispondenza dello stesso litotipo variano la distribuzione, la frequenza e le modalità evolutive delle forme carsiche per lo meno epigee, pur dovendosi attribuire all'unico agente (l'acqua meteorica) proprietà omogenee nel luogo.

Si deve pertanto ritenere che le cause delle differenziazioni più che nella diversità litologica di base siano da ricercarsi negli elementi strutturali, peraltro legati tra loro da relazioni complesse (D'AMBROSI, 1960; CUCCHI, FORTI & ULCIGRAI, 1975).

Poichè lo scopo di questo lavoro è la classificazione delle doline secondo quest'ottica, l'analisi eseguita è stata basata sulla frequenza, geometria (diametro maggiore e diametro minore, dislivello tra fondo e bordo superiore) e grado di approfondimento. Al proposito si osserva che per diametri si intendono le due dimensioni grosso modo ortogonali tra loro, quindi la maggiore lunghezza massima e la maggiore larghezza massima, il più possibile orizzontali, misurate sul terreno in funzione della forma della dolina. Ai fini del lavoro nessun altro criterio doveva influenzare le scelte in maniera preconcetta.

Abbiamo raggruppato le doline in 7 classi, con approfondimenti rispettivamente di 2, 3, 4-5, 6, 7, 8-9, 10 e più metri, distribuite nei 6 litotipi di base (nell'ordine, secondo le figure 1-6, calcare subcristallino, calcare più o meno marnoso, calcare cristallino, calcare bituminoso, calcare microcristallino e calcare dolomitico) in funzione della frequenza significativa di tale parametro, rielaborato in classi dopo la raccolta di tutte le misure.

I diagrammi delle figure 1-6 rappresentano i rapporti tra i due diametri (D_m e d_m), le frequenze delle doline con diverso grado di approfondimento e le variazioni di lunghezza dei diametri maggiori (D) nelle diverse classi di profondità in ciascuno dei tipi litologici distinti.

Risulta che nel calcare cristallino il rapporto D/d è compreso tra 1 e 1.35, variando D da 30 m a 150 m e d da 25 m a 110 m, con forme poco profonde (80% ≤ 6 m). Le dimensioni maggiori infatti appartengono alle doline con approfondimenti compresi nelle prime tre classi.

Nel calcare marnoso D/d varia da 1 a 1.2, essendo D compreso tra 170 m e 35 m e d tra 110 m e 30 m. Anche in questo caso prevalgono forme poco approfondite (85%).

Il calcare subcristallino presenta un rapporto D/d massimo pari a 1.6 mentre in media si aggira attorno a 1: molte sono infatti le doline che giacciono sulla retta $D=d$. I due parametri variano rispettivamente da 100 m (raro 150 m) a 25 m e da 100 m (talora 120 m) a 20 m. I valori più frequenti sono però attorno ai 55-60 m per D e 45-50 m per d . Aumenta la percentuale di doline più approfondite, per incremento della terza classe; il 20% appartiene alle classi con l'approfondimento maggiore, concentrate però nella 4.a e 5.a classe. Con l'aumentare delle classi si nota un incremento dei valori minori di D ; comunque i diametri maggiori appartengono a doline con scarsa o media profondità (fino alla 5.a classe).

Il valore prevalente di D/d nel calcare bituminoso è 1, essendo tra l'altro più lineari e meno dispersive le dimensioni: esse variano da $D=d=20$ m a $D=d=110$ m; una certa frequenza si rileva attorno ai valori $D=d=50-55$ m. In questo litotipo si riconosce l'incremento della dissoluzione verticale, poichè, pur essendo dominante la classe di approfondimento 3 (30%), quelle superiori dimostrano un discreto incremento rispetto alle precedenti situazioni, pur non riscontrandosi dislivelli superiori ai 10 m. Si rileva anche una certa proporzionalità tra aumento della profondità e dimensioni: nelle prime tre classi D non supera i 70 m, in quelle successive D raggiunge i 100 m.

Una notevole dispersione dei diametri si rileva nel calcare microcristallino. I punti dei rapporti D/d si distribuiscono su una vasta area del diagramma di fig. 5 con valori che variano da 1 a 2.4 per una media di 1.3; infatti D è compreso tra 350 m e 40 m e d tra 200 m e 25 m senza proporzionalità. I valori massimi corrispondono spesso a uvala, quindi a strutture in qualche modo più evolute, ma non al di fuori del campo di quest'analisi, mentre le dimensioni medie, con elevata concentrazione dei poli, stanno tra 80 m e 120 m per D e 60 m e 85 m per d . Le classi di approfondimento minore sono poco rappresentate (10%) mentre le successive compaiono ciascuna con una media di circa il 20%, con punte nella 3.a e nella 5.a. Ancora una volta si rileva una certa proporzionalità fra approfondimento e dimensioni, fino all'ultima classe in cui si superano i 300 m per D .

L'unico caso di netta concentrazione dei punti che rappresentano il rapporto D/d compare in corrispondenza del calcare dolomitico. D in media è compreso tra 40 m e 65 m e d varia da 30 m a 60 m, rare le dimensioni maggiori (100 m per D e 85 m per d). Si tratta dunque di forme subcircolari con valore medio del rapporto pari a 1.1. Il valore percentuale massimo secondo cui compaiono le classi di approfondimento appartiene alla classe 5.a (25%), mentre quelli delle altre sono simili. Si rileva proporzionalità tra approfondimento e dimensioni, pur con le limitazioni di sviluppo sopra rilevate, attribuibili alla componente magnesiaca.

I diagrammi, dunque, evidenziano bene lo stretto rapporto che intercorre tra i caratteri geometrici delle forme epigee analizzate e i requisiti petrologici delle litofacies presenti in zona. Tuttavia, in base al rilevamento geomorfologico ed alle strutture che contraddistinguono la massa rocciosa, è stato possibile riordinare la serie delle sette classi di approfondimento in

quattro unità morfologiche, anche in funzione dell'andamento e dello sviluppo delle diverse doline. Le unità comprendono pertanto affioramenti con diverso grado di carsificabilità, esplicitato dal tipo e dalla frequenza di specifiche forme carsiche.

Nella prima unità sono inserite le classi 1 e 2, nella seconda compare la classe 3, nella terza la 4 e la 5, nella quarta la 6 e la 7.

Unità morfologica A

Le doline, profonde 2 o 3 m, sono rare, molto svasate, di aspetto largo e appiattito, su affioramenti poco estesi di rocce terziarie carbonatiche impure fittamente stratificate (versante settentrionale del Carso) e dei litotipi meno puri del Cenomaniano-Turoniano inferiore. Abbondante la terra rossa, che impone una sorta di autoregolazione al processo carsico. La fitta rete di discontinuità tettoniche favorisce la dispersione dello stesso; tuttavia gli orizzonti cretaci, con strati più potenti di quelli terziari, consentono forme più evolute pur essendo comunque da considerarsi assai scarso il potenziale carsogenetico.

Unità morfologica B

Interessa in maniera caratteristica, assieme all'unità D, le facies calcaree s.s. del Cenomaniano-Turoniano inferiore. La potenza degli strati e la frequenza delle fratture, meno accentuata, consentono le forme carsiche più evolute senza però che il paesaggio assuma ancora l'aspetto più esasperato. Le doline hanno forma intermedia tra il piatto e l'imbuto.

Unità morfologica C

Con essa si entra nell'ambiente tipicamente carsico, attenuato localmente dall'alternanza con la unità B. Non è molto frequente ed infatti rappresenta il passaggio tra la B e la D, insieme dei morfotipi più evoluti rilevabili nell'area.

Le doline sono alquanto frequenti, con forma ad imbuto e profondità di 6 e 7 metri. Le prime, tuttavia, situate in una fascia distinta rispetto alle altre, hanno il fondo più subpianeggiante per effetto di riempimenti, localmente rimaneggiati anche dall'uomo.

Ne sono interessati i livelli carbonatici più puri del Cretacico, relativamente compatti, con ritmo di stratificazione medio di 40-50 cm, ma localmente di 100 cm. La frequenza delle fessurazione è variabile. Il potenziale carsogenetico è dunque da considerarsi generalmente elevato.

Unità morfologica D

Interessa calcari s.s. molto compatti cretaci, affioranti su vaste aree, con giaciture per lo più suborizzontali.

Talora le numerose doline, di tipo imbutiforme, tendono a fondersi; in tali casi l'asse maggiore coincide con i piani di discontinuità orientati secondo NE SW.

Il corredo di microforme di dissoluzione che si accompagna alle doline in questa unità è assai ricco, mentre la frequenza regredisce retrocedendo verso l'unità A.

Quanto rilevato consente di definire aree in cui il processo carsico è accentuato e altre in cui esso è molto blando, essendo le forme epigee distribuite secondo un ordine che appare piuttosto preciso. L'energia del rilievo mostra una chiara influenza sulla localizzazione delle forme stesse, in quanto nelle zone depresse la funzione drenante è ben definita, con ampio sviluppo di doline mentre le quote elevate con pendii acclivi e linee di impluvio marcate e convergenti verso le bassure presentano doline disordinate, almeno in apparenza. Si è però osservato che il rilievo è connesso con la litologia, che a sua volta ha condizionato l'effetto delle sollecitazioni tettoniche e dunque si ripresenta l'elemento strutturale come presupposto

fondamentale del grado di potenziale incarsimento. Solo a parità di condizioni della rete di discontinuità, la scarsità o l'accentuazione del processo carsico mostra di dipendere dagli altri fattori.

Carsismo epigeo e struttura della massa rocciosa

Dal rilevamento risulta che l'allineamento e l'asse di sviluppo delle fasce in cui si distribuiscono e si differenziano le forme descritte ricalcano le principali direzioni di massima frequenza degli elementi tettonici riconosciuti in zona (VENZO & FUGANTI, 1965). Così la direzione di massima carsificazione si identifica con l'asse NW-SE e prevale nettamente sulle altre; quella di bassa carsificazione segue in prevalenza l'andamento NE-SW. Tuttavia localmente altri lineamenti assumono ruolo principale. Ad esempio, nella parte più occidentale del Carso prevalgono allineamenti secondo NE-SW e ENE-WSW e verso Est, presso il Vallone di Doberdò, allineamenti in subordine compaiono secondo NNE-SSW. Dove sembra prevalere direzione diversa dalla NW-SE si è osservato che, mentre secondo questa comunque si aprono le forme più significative, forme minori più abbondanti in aree limitate si sono impostate sui lineamenti trasversali. La più importante informazione desunta dai rilevamenti è però quella secondo cui fasce con forme molto sviluppate in profondità si alternano a fasce con doline meno approfondite, prescindendo dalla composizione litologica degli affioramenti, quindi nell'ambito dello stesso litotipo. Solo la fascia più settentrionale dell'area studiata presenta morfologia priva di particolari orientazioni con doline poco profonde in calcari impuri. L'alternanza delle fasce si verifica dunque proprio nel complesso dei calcari più omogenei.

In altre parole, nell'ambito dello stesso litotipo si riscontra differente intensità del fenomeno carsico, quindi una diversa predisposizione, che si esplica con forme carsiche diverse.

Lo stesso litotipo, di norma considerato molto solubile, è caratterizzato da forme classificabili come espressione di basso e medio grado di carsificabilità. Poiché tutto ciò non è riconducibile a diverso comportamento delle acque meteoriche né alla giacitura degli strati (che qui appare sostanzialmente omogenea), si ritiene di poter individuare il comportamento differenziato sopra citato nei caratteri strutturali della massa carsificata.

Risultati dell'analisi strutturale

Nell'ambito delle fasce suddette, considerando che gli elementi lineari principali già descritti non consentono una chiara interpretazione del fenomeno delle alternanze, è stata eseguita l'analisi strutturale della massa rocciosa (BADGLEY, 1959). L'area campione prescelta è posta a Nord e a Ovest di Doberdò; le sette stazioni sono state collocate su un tracciato il più possibile trasversale agli assi strutturali. Ogni stazione corrisponde ad una fascia morfologica. Si osserva che le misure sono state eseguite in aree ristrette e ripetute nella stessa fascia per verificarne le eventuali disomogeneità. La fig. 7 illustra i risultati (proiezione di poli di fratture sulla rete di Schmidt, emisfero inferiore) ottenuti nelle stazioni base, nelle fasce con doline di tipo più o meno profondo. A partire dal diagramma D1 alternativamente si prospettano situazioni in aree del primo tipo (D3, D5 e D7) e quindi del secondo (D2, D4 e D6). Si osserva globalmente che nelle prime i volumi unitari sono maggiori e quindi la frequenza delle fratture è minore. Le fratture NW-SE sono più aperte di quelle NE-SW.

Dall'analisi strutturale, con il supporto del rilevamento morfologico, si può dedurre che il ruolo carsogenetico di ciascuna famiglia cambi dall'una all'altra pur dipendendo, all'interno di ciascuna, dall'apertura, dall'inclinazione e dall'orientazione rispetto al verso di drenaggio (CA-SALE & VAIA, 1972).

Nelle fasce a morfologia approfondita i poli delle fratture sono concentrati in aree ben delimitate e su valori di inclinazione subverticali: non c'è dispersione.

Nelle fasce ad approfondimento scarso i poli appaiono generalmente più dispersi (ad esempio le aree del 3% non corrispondono solo alle due direzioni ortogonali citate, ma sono distribuite in tutto il diagramma). Le inclinazioni variano con le stesse percentuali. Inoltre, le discontinuità NW-SE in queste fasce sono meno aperte e talora addirittura chiuse. Le acque tendono a fossilizzare le fratture, specie le meno inclinate, con riempimenti o incrostazioni.

La giacitura dei piani di strato a sua volta presenta variazioni che sono state ritenute significative. La dispersione di poli avviene, nell'insieme dei diagrammi ottenuti, in un campo compreso all'incirca tra 40° e 130° di azimut, quindi con una variazione di 90° del verso di immersione. Localmente le immersioni sono orientate a 220° (complementari di quelle a 40°), mentre in qualche caso la dispersione è decisamente caotica.

Procedendo da occidente a oriente, si rileva inoltre che esistono alternanze di zone dove l'immersione è a NW o talora a W e zone dove essa è a NE; quindi sussistono situazioni di convergenza delle immersioni, che risultano coincidere con le fasce morfogenetiche delle classi di minor approfondimento, e di divergenza, coincidenti con le fasce delle classi di maggior approfondimento delle forme carsiche epigee. Sul terreno le variazioni della curvatura, a questo livello, cioè in questi calcari rigidi e quindi con ampi raggi, non sono riscontrabili con immediatezza de visu. La deformazione in tal senso è stata dunque resa poco appariscente dalla rigidità della massa rocciosa, che per contro appare più chiaramente interessata da deformazione di tipo disgiuntivo. Tuttavia il sistema di fratture così come è stato rilevato nelle diverse situazioni descritte indica di essersi impresso nella massa stessa in condizioni alternate di prevalente compressione e prevalente distensione, quindi, in realtà, subendo fortemente l'effetto plicativo (BADGLEY, 1959; TURNER & WEISS, 1963).

Pertanto la dissoluzione è massima in corrispondenza delle probabili cerniere di anticlinale dove è massima la trazione e numerose sono le fratture importanti di tensione parallele agli assi (fasce con le forme appartenenti alle classi di maggiore approfondimento); il processo viene invece rallentato nei ventri del sistema plicativo, con massima compressione e chiusura delle discontinuità, anche in posizione 'bc'. Qui l'intensa fratturazione ha contribuito alla dispersione della carsificazione, rilevandosi le fasce delle classi di minor approfondimento (FORTI, 1968).

Il modello deformativo e le direttrici del processo carsico

Per quanto detto si può ricostruire la successione di eventi di seguito discussa.

Una prima fase di piegamento in grande ha originato l'anticlinale del Carso isontino, mentre la successiva fase ha determinato le mesopieghie con assi distanti circa 600 m l'uno dall'altro, che nell'area studiata giacciono sulla gamba settentrionale della grande anticlinale, con immersione dei fianchi verso i quadranti settentrionali, per lo più non presentando immersioni supplementari delle singole coppie di superfici. In questa dinamica il piano assiale della prima struttura (l'anticlinale "portante") viene ondulato con dispersione dell'originaria giacitura. La ripresa delle sollecitazioni con orientazione dinarica ha determinato infine ondulazioni di minor entità, quali strutture di accomodamento nell'ambito della sequenza piegata, quindi elementi tardivi di trascinamento che accompagnano il corpo anticlinalico principale.

Anche l'analisi microstrutturale (TURNER & WEISS, 1963) eseguita su alcuni campioni orientati, rivela questa successione temporale di deformazioni, con dominanza della fase dinarica su quella alpina anche per recente riattivazione.

L'analisi statistica sulle direzioni di maggior sviluppo degli assi delle doline conferma le ipotesi avanzate in precedenza. Al fine pratico dell'indagine, le misure sono state raggruppate

in intervalli di 10° e riportate su diagrammi stellari in proiezione polare come segmenti percentuali (fig. 8). Dai diagrammi appare chiara la suddivisione del territorio in due fasce in cui le direzioni carsogenetiche sono distinte.

La prima a settentrione (diagrammi A1 - A3), rivela lineazioni prevalenti secondo NE-SW; la seconda, più a Sud (diagrammi B1 - B4), mostra la prevalenza di direzioni NW-SE. Per entrambe, tuttavia, esistono direzioni secondo le quali il processo carsico appare accentuato e altre secondo le quali esso appare invece disperso. Si osserva che le due serie di diagrammi coprono le due aree procedendo da occidentale a orientale.

Prescindendo da quanto immediatamente rappresentato dai diagrammi, anche in quest'analisi si è potuto riscontrare come in tutta l'area la densità delle manifestazioni carsiche epigee sia strettamente collegata ai rapporti che si stabiliscono tra le serie di discontinuità esistenti nella massa rocciosa fascia per fascia. Sembra pertanto lecito confermare l'influenza della deformazione che ha indotto variazioni ondulatorie delle proprietà meccaniche e quindi delle conseguenze in senso carsogenetico nella massa stessa, al di là dei fatti petrologici ed eventualmente climatici.

BIBLIOGRAFIA

- AUBOINI J. ET AL., 1970 - *Essai sur la géologie des Dinarides*. Bull. Soc. Geol. Fr., 12, p. 1060-1093, Paris.
- BADGELEY P.C., 1959 - *Structural methods for exploration geologist*. Harper & br. pubbl., pp. 245, New York.
- BONNES R., MASOLI M. & ULCIGRAI F., 1977, - *Il Terziario carbonatico del Carso*. Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", 16, p. 53-93, Trieste.
- CARULLI ET AL., 1980 - *Evoluzione strutturale plio-quadernaria del Friuli e della Venezia Giulia*. C.N.R. P.F. Geodinamica, pubbl. 356, p. 489-545, Napoli.
- CARULLI G.B. & CARBONE L., 1981 - *Fogli Gorizia 40A e Trieste 53A*. In: *Carta tettonica delle Alpi Meridionali* (a cura di A. Castellarin). C.N.R. P.F. Geodinamica, pubbl. 441, p. 8-13, Bologna.
- CASALE A. & VAIA F., 1972 - *Relazione fra schema deformativo e cavità carsiche nell'Abisso "Michele Gortani" (Monte Canin - Alpi Giulie)*. Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", 11, p. 67-94, Trieste.
- CAVALLIN & MARTINIS, 1982 - *Gli scorrimenti del margine settentrionale della piattaforma carbonatica adriatica*. In: *Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale* (a cura di Castellarin & Vai). Soc. Geol. It., Guide Geol. Reg., p. 349-360, Bologna.
- COUSIN M., 1981 - *Les rapports Alpes-Dinarides. Les Confins de l'Italie et de la Yougoslavie*. Soc. Geol. du Nord, pubbl. 5, 2 voll., pp. 1042, Villeneuve d'Ascq.
- CUCCHI F., FORTI F. & ULCIGRAI F., 1975 - *Relazione tra tettonica e morfogenesi di doline del Carso triestino e monfalconese*. Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", 15, p. 57-71, Trieste.
- D'AMBROSI C., 1960 - *Sull'origine delle doline carsiche nel quadro genetico del carsismo in generale*. Boll. Soc. Adr. Sc., 51, p. 205-232, Trieste.
- DE SITTER L.U., 1964 - *Structural geology*. Intern. Series in Earth Sc., pp. 552, Mc Graw Hill, New York.
- FORTI F., 1968 - *Proposta di una scala di carsificabilità epigea nelle carbonatiti del Carso triestino*. Atti Mus. Civ. St. Nat. Triest., 28(1), 3, p. 69-96, Trieste.
- MARTINIS B., 1962 - *Ricerche geologiche e paleontologiche sulla regione compresa tra il T. Iudrio e il F. Timavo (Friuli orientale)*. Riv. It. Paleont. e Stratig., mem. 18, p. 1-246, Milano.
- TURNER F.I. & WEISS L.E., 1963 - *Structural Analysis of Metamorphic Tectonites*. Mc Graw-Hill Book Comp., Inc., pp. 545, New York.
- VENZO G.A. & FUGANTI A., 1965 - *Analisi strutturale delle deformazioni tettoniche del Carso goriziano (Gorizia)*. St. Trent. Sc. Nat., 42, 2, p. 335-366, Trento.

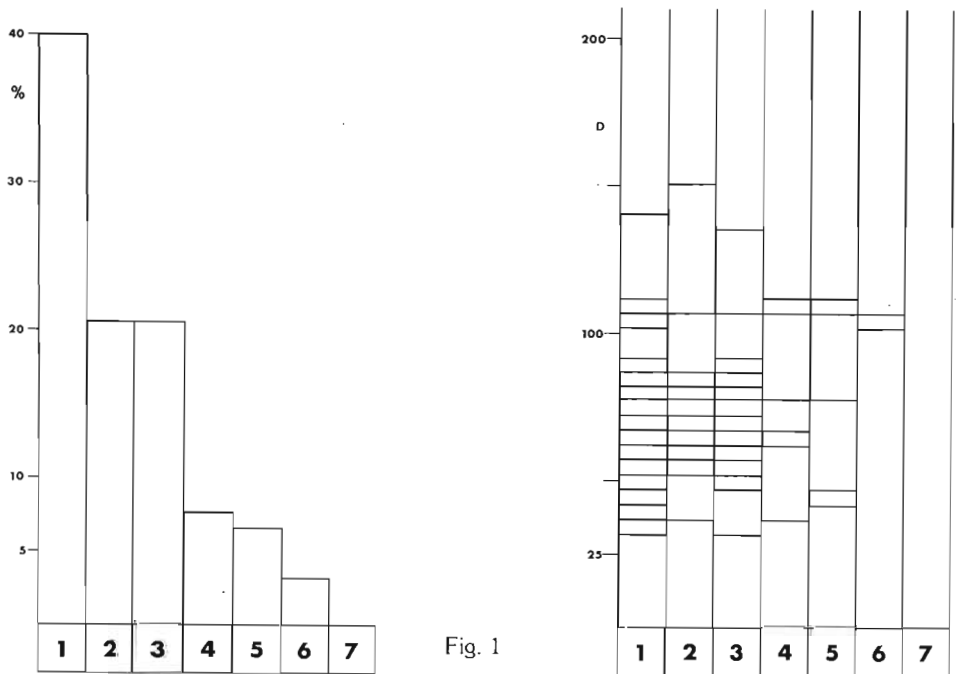
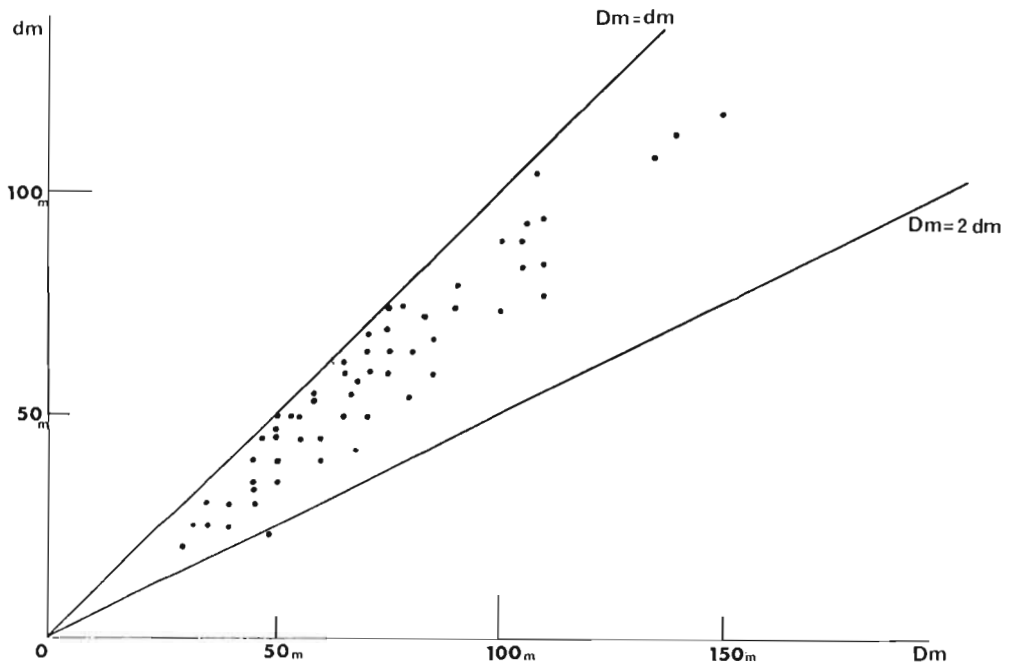


Fig. 1

Figg. 1-6 - Diagrammi che illustrano (dal basso in alto e da sinistra a destra) la frequenza di doline per le diverse classi di profondità, la variazione di D nelle stesse classi e i rapporti D/d per ciascuno dei sei litotipi base (cfr testo).

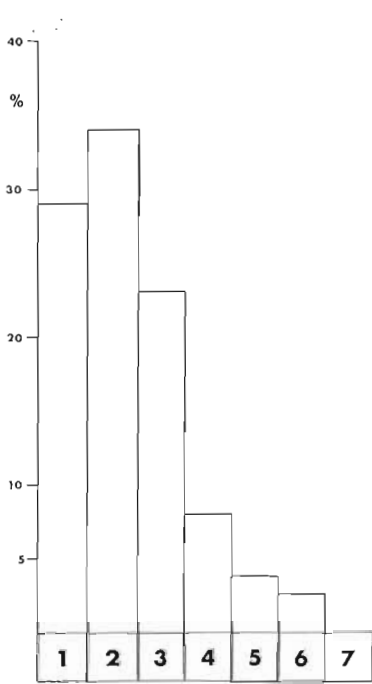
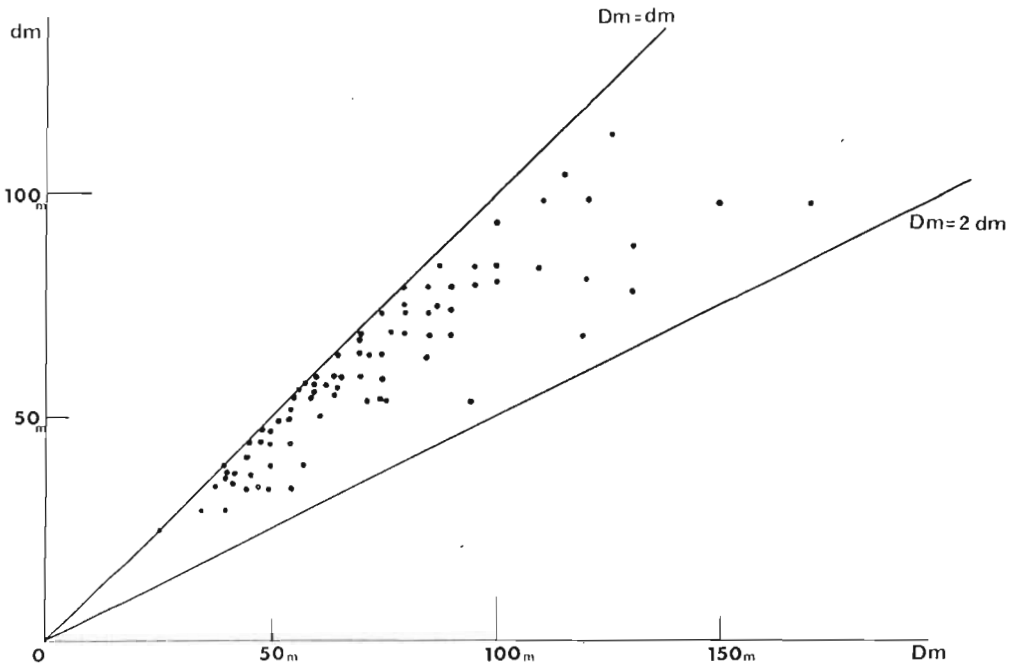
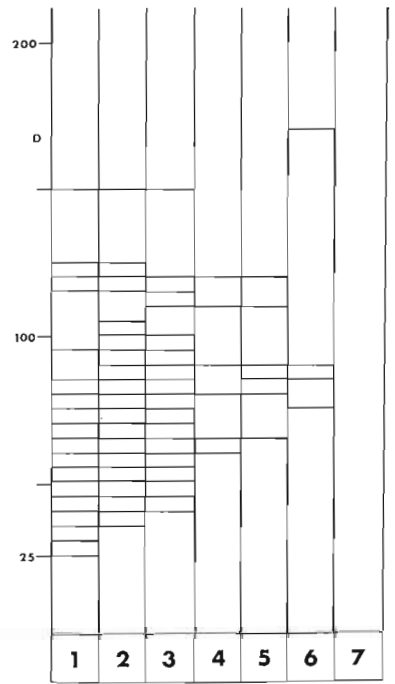


Fig. 2



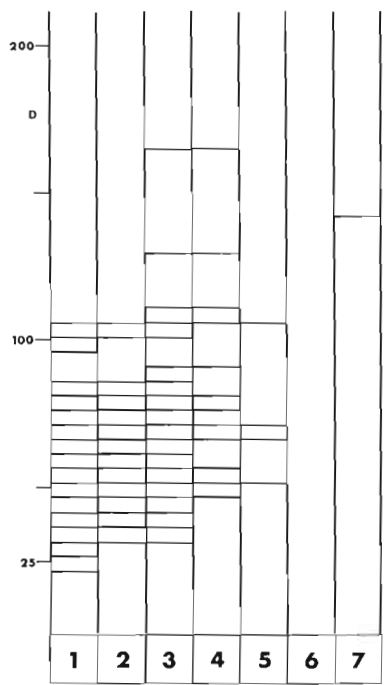
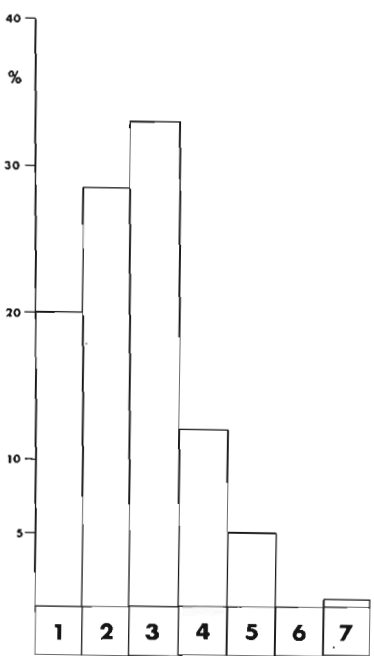
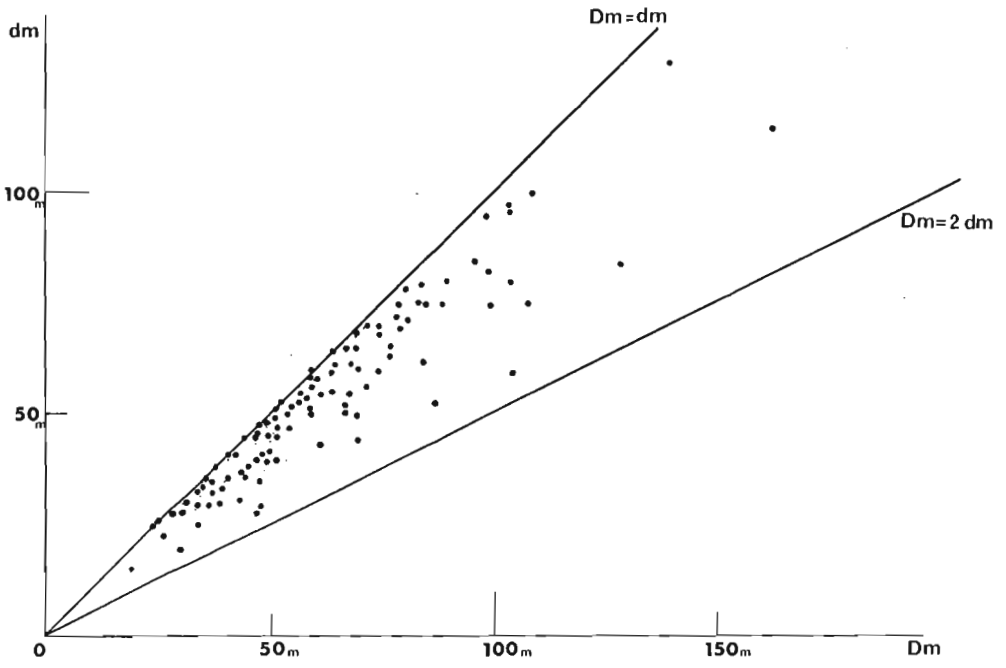


Fig.3

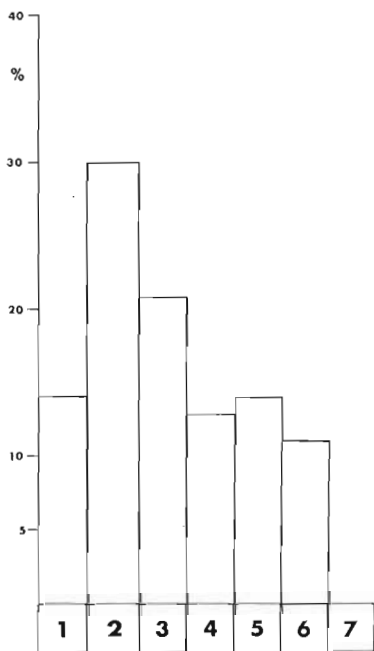
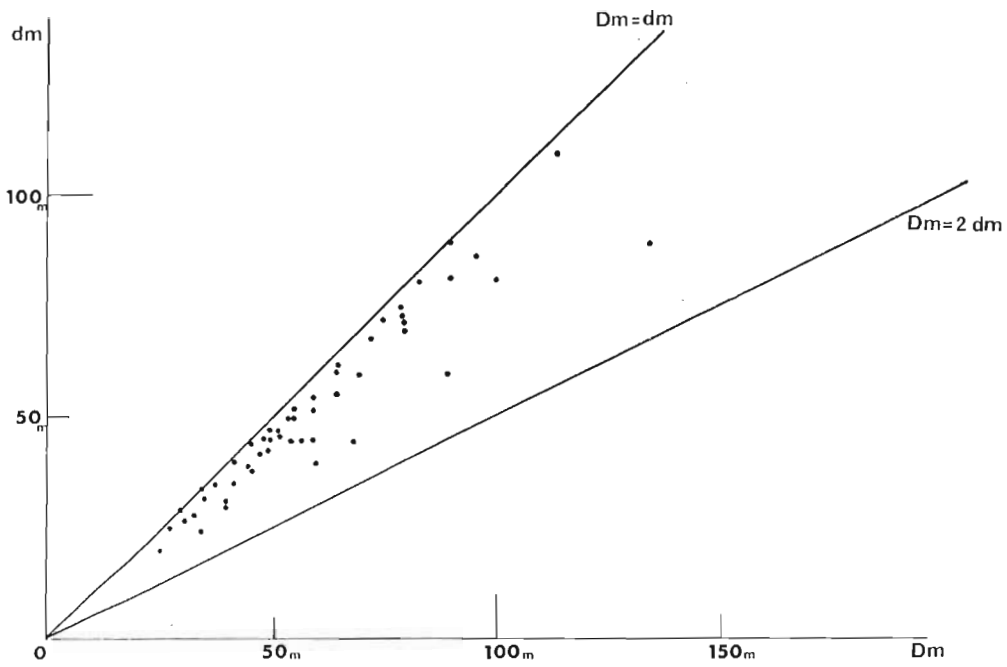
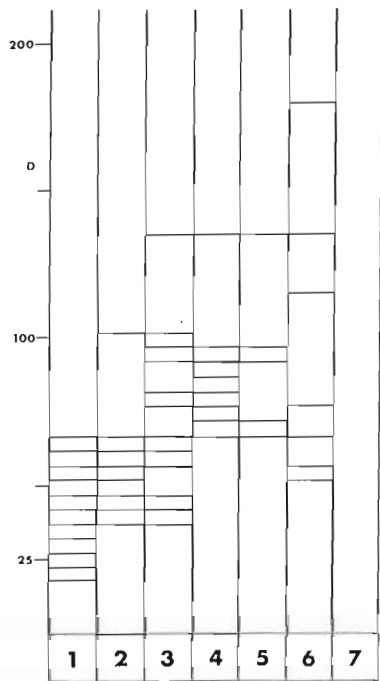


Fig 4



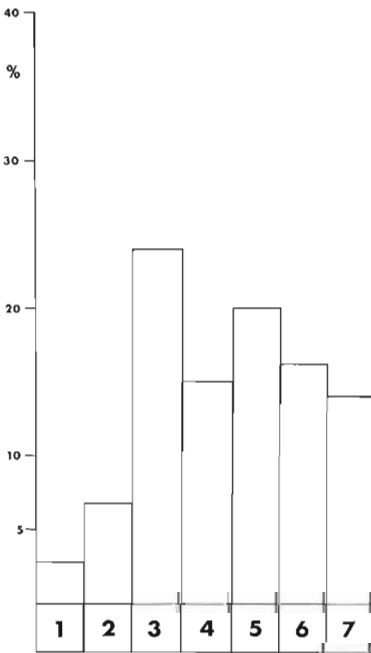
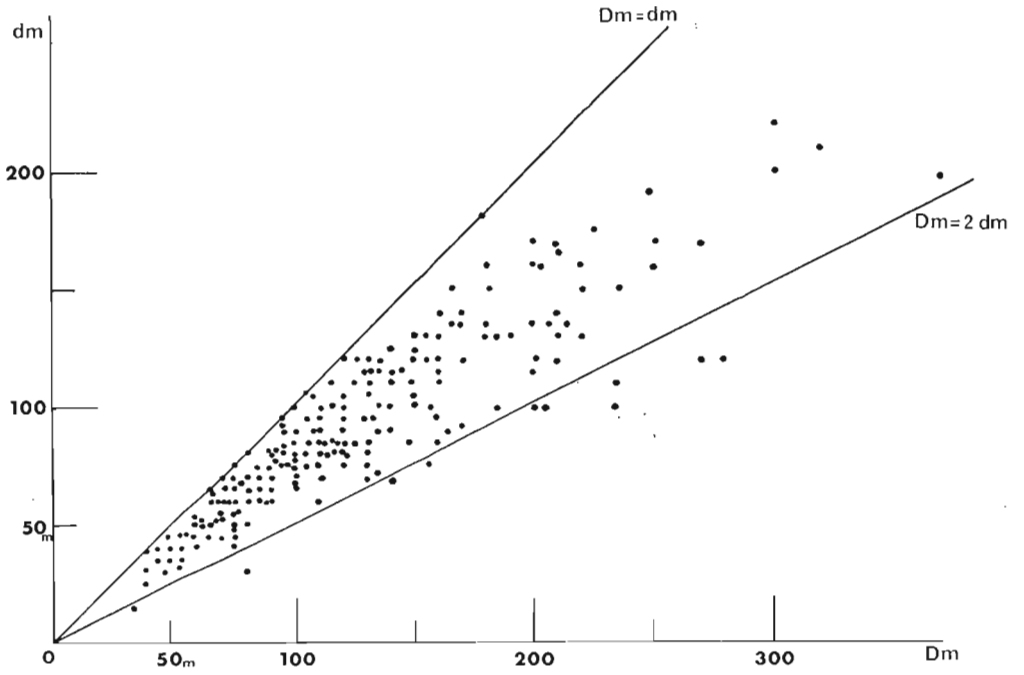
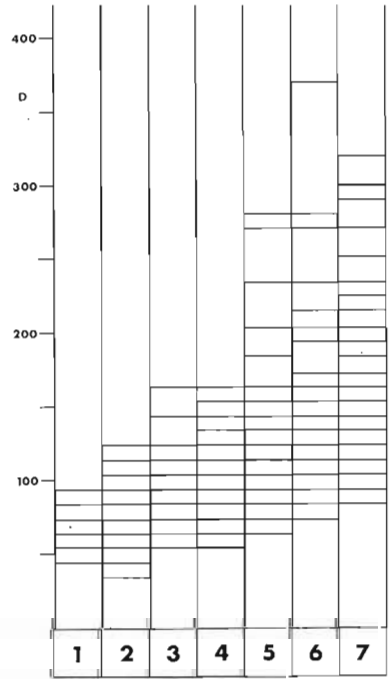


Fig.5



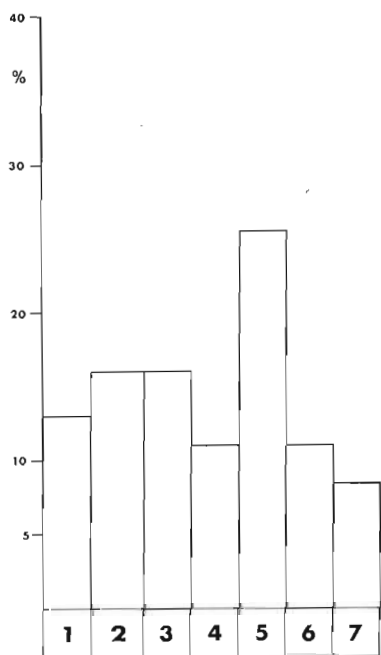
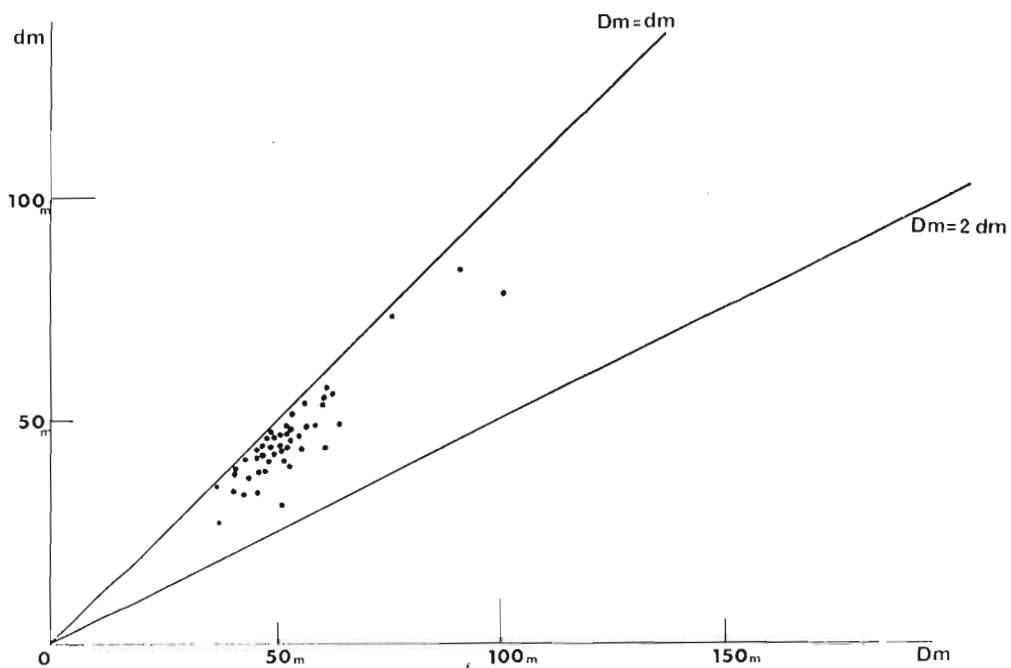
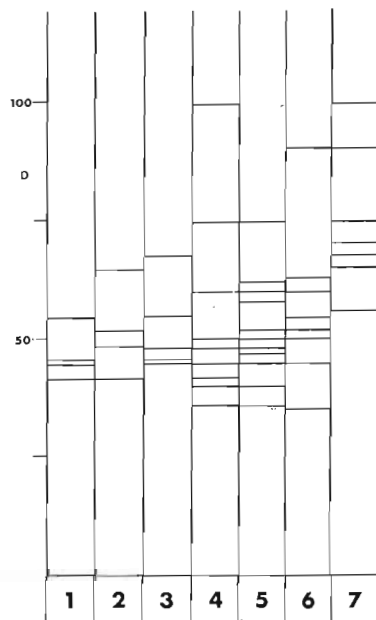


Fig 6



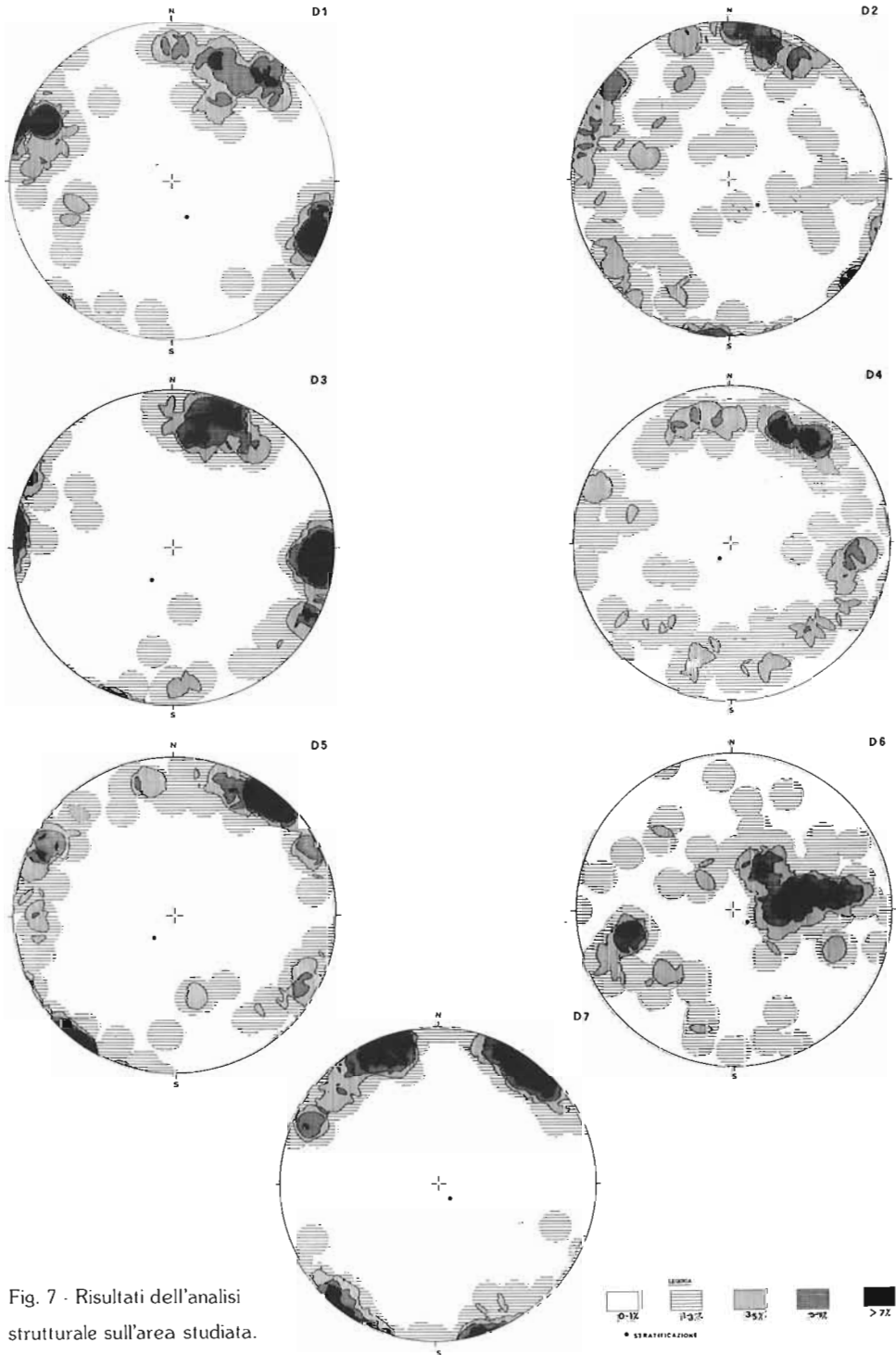


Fig. 7 - Risultati dell'analisi strutturale sull'area studiata.

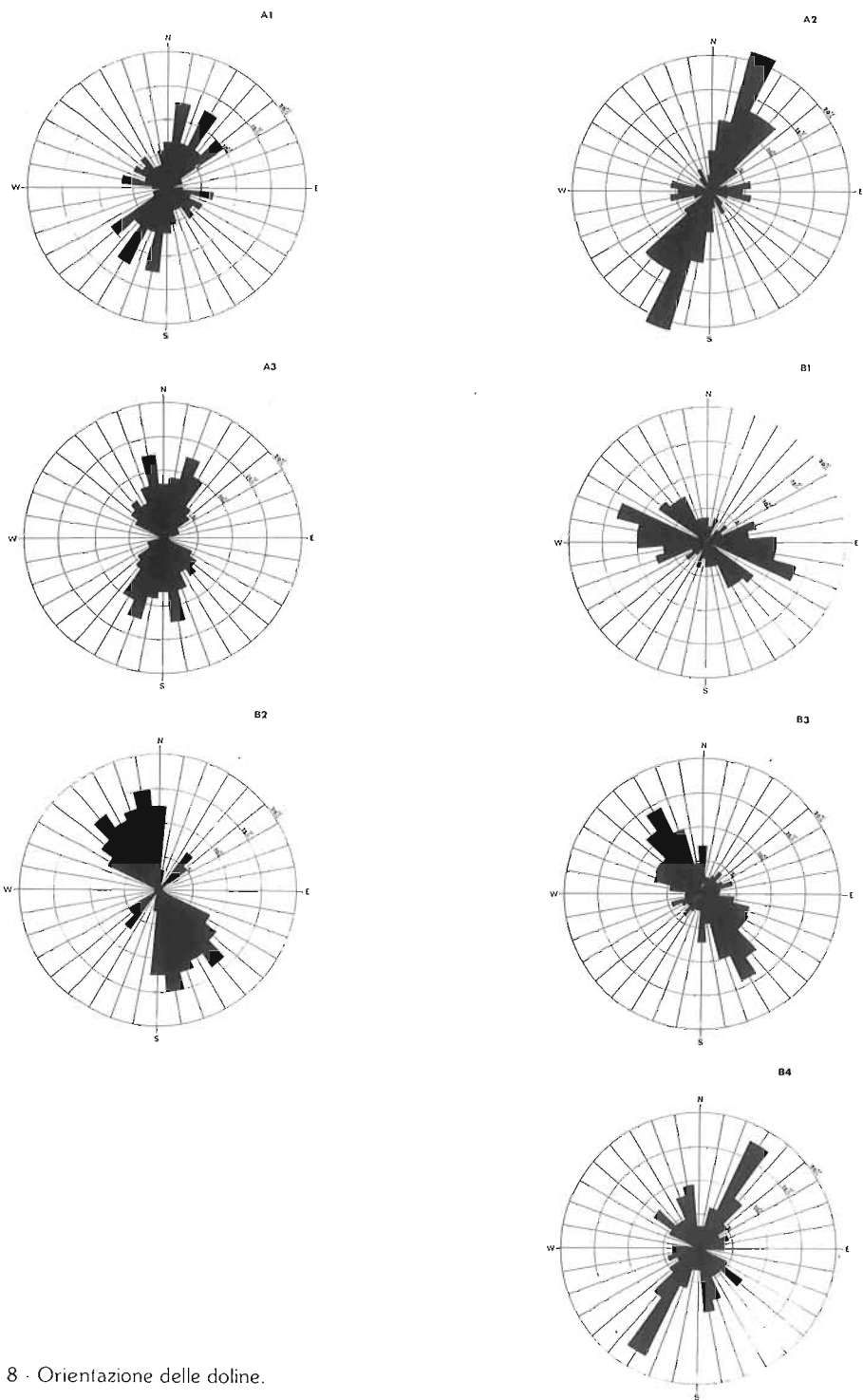


Fig. 8 · Orientazione delle doline.

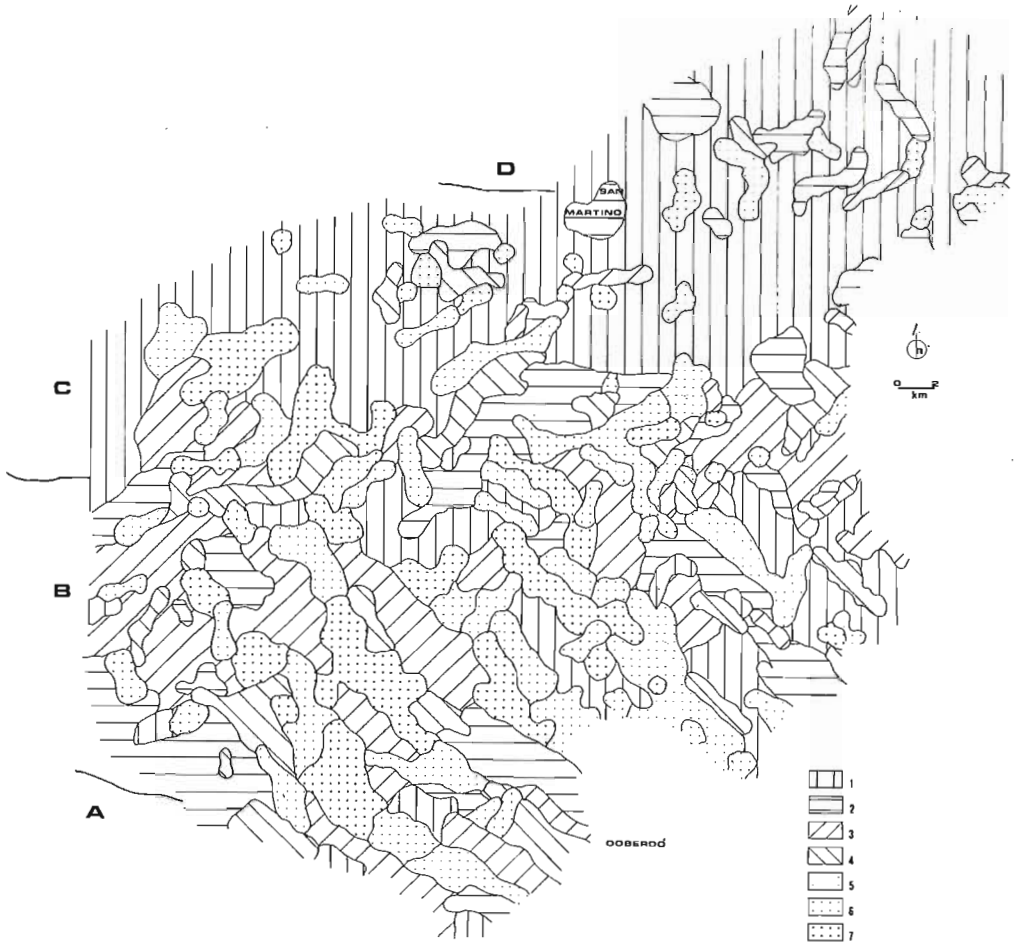


Fig. 9 - Carta delle classi di approfondimento delle doline; la numerazione segue l'ordine del testo. Le lettere A-D contrassegnano la successione carbonatica cenomaniano-senoniana secondo la suddivisione di Martinis (1962).