

GIAN CAMILLO CORTEMIGLIA (*)

MORFOMETRIA DI CLASTI CALCAREI APPARTENENTI A DETRITI DI FALDA ED A DEPOSITI GLACIALI

Abstract: CORTEMIGLIA G.C., *Morphometry of limestone clasts belonging to slope debris and glacial deposits.* (IT ISSN 0391-9838, 1992).

Experimental tests were performed upon slope debris and moraine deposits in order to probe into morphometric features of environments having a low mobilisation energy. Limestone facies were singled out for investigation, so that research returns could be compared with those obtained in previous laboratory and field investigations on fluvial and marine environments by CORTEMIGLIA (1985, 1989a, 1989b).

Operating on dimensional populations of clasts whose lengths ranged between 40 and 60 mm, made up of 120 individuals for each sample, a number of parameters were measured by means of a «CDB Storm» electronic digital calibre, whose resolution power and accuracy fell within the $\pm 0,01$ mm range. These parameters were: the aerodynamic lift index (Ω) by ROSFELDER (1961), the first order rounding index (E) by CAILLEUX & TRICART (1963), the rounding index (R) by KUENEN (1956), the flattening index (AP) by CAILLEUX & TRICART (1963), the sphericity index (SF) by KRUMBEIN (1941), the OP index by Dobkins & FOLK (1970), the shape index (CFR) by WINKELMOLEN (1982) and the simplified shape index (CFS) by CORTEMIGLIA (1989 b).

Data analysis has yielded, for slope debris, an overall trend of the median of rounding indices E and R towards rising values with decreasing height. This suggests therefore that it might be advisable to verify the working hypothesis whether the linear correlation between height and median values of rounding indices can be extended to the universe of limestone clasts from slope debris.

As to the morphometric differences between slope debris and moraine deposits, the latter appear to be more worn out above the height of 1 500 metres ($43 \leq E \leq 85$ for debris and $70 \leq E \leq 125$ for moraines), have higher shape coefficients (CFR $\leq 3,75$ and CFS $\leq 11,2$ for debris; CFR $\geq 3,99$ and CFS $\geq 11,5$ for moraines), and clast frequencies with $V_R < V_E$ far higher than those of slope debris ($> 97\%$ for debris and $< 85\%$ for moraines).

KEY WORDS: Morphometry, Glacial deposits, Slope debris, Shape index of clasts.

Riassunto: CORTEMIGLIA G.C.; *Morfometria di clasti calcarei appartenenti a detriti di falda ed a depositi glaciali.* (IT ISSN 0391-9838, 1992).

(*) *Università di Genova: Sezione Geologica, Dipartimento di Scienze della Terra, Corso Europa 26 - 16132 Genova (Italia). Lavoro eseguito con il contributo del M.U.R.S.T., fondi 60%. Comunicazione presentata al VI Convegno Glaciologico Italiano, Gressoney, 26-28 Settembre 1991. (Communication presented at the 6th Italian Glaciological Meeting, Gressoney, 26-28 September, 1991).*

Al fine di investigare sulle caratteristiche morfometriche di ambienti a bassa energia di mobilizzazione si è svolta una ricerca sui detriti di falda e sui depositi morenici attuali, sviluppandola su litofacies calcarea per la possibilità di correlazione con i risultati, precedentemente acquisiti nella sperimentazione di laboratorio e negli ambienti fluviali e marino, da CORTEMIGLIA (1985, 1989a, 1989b).

Operando su popolazioni dimensionali di clasti appartenenti a classi di lunghezza a limiti tra 40 e 60 mm, costituite da 120 individui per campione raccolto, sono stati determinati, con misurazioni eseguite con calibre elettronico digitale «CDB Storm» a risoluzione e precisione di $\pm 0,01$ mm, l'indice di portanza (Ω) di ROSFELDER (1961), l'indice di smussamento di 1° ordine (E) di CAILLEUX & TRICART (1963), l'indice di smussamento (R) di KUENEN (1956), l'indice di appiattimento (AP) di CAILLEUX & TRICART (1963), l'indice di sfericità (SF) di KRUMBEIN (1941), l'indice OP di Dobkins & FOLK (1970), il coefficiente di forma (CFR) di WINKELMOLEN (1982) ed il coefficiente di forma semplificata (CFS) di CORTEMIGLIA (1989 b).

In particolare, dai risultati dell'elaborazione di tali dati, si è riscontrata, per i detriti di falda, una generale tendenza della mediana degli indici di smussamento E ed R, ad aumentare con la diminuzione della quota. Tale circostanza suggerisce pertanto l'ipotesi di verificare se si può estendere all'universo dei clasti calcarei dei detriti di falda la correlazione lineare tra quota altimetrica e valori delle mediane degli indici di smussamento.

Relativamente invece ai caratteri morfometrici distintivi dei detriti di falda dai depositi glaciali emerge che, al di sopra del limite altimetrico dei 1 500 m, il morenico, rispetto al detrito di falda, presenta un maggior grado di elaborazione ($43 \leq E \leq 85$ per il detrito e $70 \leq E \leq 125$ per il morenico), più elevati coefficienti di forma (CFR $\leq 3,75$ and CFS $\leq 11,2$ per il detrito e CFR $\geq 3,99$ e CFS $\geq 11,5$ per il morenico) nonché frequenze di clasti con $V_R < V_E$ di gran lunga più elevate ($> 97\%$ per il detrito ed $< 85\%$ per il morenico).

TERMINI CHIAVE: Morfometria dei ciottoli, Depositii glaciali, Detriti di falda.

INTRODUZIONE

L'analisi morfometrica dei ciottoli tende a determinare, attraverso la misurazione di opportuni parametri, alcuni indici che possano fornire valutazioni sul grado di elaborazione provocato dal mezzo di trasporto e sulla forma assunta in funzione della mobilizzazione subita. I risultati ottenuti al riguardo da CAILLEUX & TRICART (1963) indicano che la classe dimensionale più significativa e probante su cui sviluppare l'analisi morfometrica risulta quella a

limiti di lunghezza compresa tra 40 e 60 millimetri. Inoltre, il numero di clasti statisticamente significativo da prendere in esame per campione risulta, secondo le valutazioni di THÉBAULT (1969) di 120.

Poiché uno dei principali fattori che influenzano il grado di elaborazione e la forma assunti dai clasti nella mobilizzazione risulta la litofacies, è necessario altresì sviluppare l'analisi morfometrica per singole specifiche litologie.

Tenendo conto di siffatte risultanze, prove pratiche di laboratorio ed applicazioni dell'analisi morfometrica su ciottoli fluviali e marini condotte da CORTEMIGLIA (1985, 1989a, 1989b) hanno evidenziato che la loro mobilizzazione produce un grado di elaborazione che, direttamente dipendente dall'energia del mezzo, cresce, nella trasformazione da clasto (pietrisco) a ciottolo, secondo un andamento di tipo logaritmico.

Scopo del presente lavoro è di estendere i citati risultati ottenuti nel mezzo fluviale e marino anche ai mezzi di più bassa energia di mobilizzazione come il detrito di falda ed i depositi glaciali.

TIPOLOGIA DI CAMPIONAMENTO

L'analisi morfometrica è stata svolta su litofacies calcaree utilizzando campioni di popolazioni, a classe di lunghezza (A) compresa tra 40 e 60 mm, costituiti da 120 clasti per singolo campione. I campioni sono stati raccolti in detriti di falda ed in depositi morenici distribuiti nelle Alpi Retiche e nelle Alpi delle Dolomiti secondo i seguenti punti di prelevamento:

Campione 62: clasti di detrito di falda raccolti a quota 2 045 m sul l.m.m. alla base del Ciaval (Sasso della Croce) nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 63: clasti di detrito di falda raccolti a quota 2 708 m sul l.m.m. presso la croce del Rifugio Lagazuoli nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 64: clasti di detrito di falda raccolti a quota 1 750 m sul l.m.m. alla base del Piz delle Conturine presso la Casa Alpina nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 65: clasti di detrito di falda raccolti a quota 2 150 m sul l.m.m. alla base della Cengia Martini (Tra i Sass) nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 66: clasti di detrito di falda raccolti a quota 2 000 m sul l.m.m. alla base del Campanile Campidel (Passo Gardena) nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 67: clasti di detrito di falda raccolti a quota 1 525 m sul l.m.m. alla base della Croda di Becco (Lago di Braies) nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 82: clasti raccolti a quota 2 550 m sul l.m.m. nella morena mediana della Vedretta di Solda nelle Alpi Retiche;

Campione 83: clasti raccolti a quota 2 525 m sul l.m.m. nella morena laterale destra della Vedretta di Solda nelle Alpi Retiche;

Campione 84: clasti raccolti a quota 2 725 m sul l.m.m. nella morena laterale del Ghiacciaio della Marmolada, ad W del Sasso delle Dodici, nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 85: clasti raccolti a quota 2 725 m sul l.m.m. nella morena laterale del Ghiacciaio della Marmolada, ad E del Sasso delle Dodici, nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 86: clasti raccolti a quota 2 750 m sul l.m.m. nella morena laterale del Ghiacciaio della Marmolada, al Pian dei Fiacconi, nelle Alpi delle Dolomiti;

Campione 87: clasti di detrito di falda raccolti a quota 1 350 m sul l.m.m. alla Costa Fedara (Val d'Oten) nelle Alpi delle Dolomiti;

Su tali campioni si sono ricavate, per ogni ciottolo, le misure in millimetri della lunghezza (A), larghezza (B), e spessore (C), utilizzando un calibro elettronico digitale CDB STORM con risoluzione e precisione di $\pm 0,01$ mm, nonché la misura in millimetri del raggio di curvatura (r), relativo al più piccolo cerchio osculatore ritrovabile sulla sezione di massima proiezione, utilizzando i cerchi concentrici (cible) di CALLEUX & TRICART (1963, pag. 264), ed, infine, la misura del volume (V_R) in mm^3 per mezzo della bilancia idrostatica.

Al fine di verificare che la raccolta dei 120 clasti per campione dalla lunghezza A contenuta nella classe $40 \div 60$ mm sia avvenuta in modo casuale, e quindi statisticamente da considerarsi quale popolazione rappresentativa del relativo universo, sono stati elaborati, per ciascun campione, gli istogrammi di frequenza delle lunghezze A con intervallo di classe di 2 mm.

Le figg. 1 e 2 mostrano come i prelevamenti effettuati in base alla lunghezza A risultino non solo plurimodali, ma soprattutto rivelino l'esistenza di una distribuzione uniforme in tutte le classi, senza cioè la sistematica presenza di una classe modale principale nettamente dominante sulle altre.

Inoltre, dall'esame complessivo delle figg. 1 e 2, risulta altresì evidente che i clasti di ciascun campione esaminato, mentre rivelano una distribuzione plurimodale delle loro lunghezze A, presentano invece distribuzioni tendenzialmente unimodali per tutti gli altri loro parametri dimensionali. Tale risultanza non può ritenersi casuale, ma piuttosto di ordine generale, in quanto già riscontrata anche nei ciottoli calcarei di elaborazione fluviale e marina (CORTEMIGLIA, 1989a, 1989b), per cui si può supporre che rappresenti una condizione propria della classe dimensionale $40 \div 60$ mm nell'ambito del suo trasporto solido.

Le principali caratteristiche del campionamento si possono dedurre dalla tab. 1, che, in particolare, evidenzia come il volume dei clasti (V_R) dominante (classe modale principale) risulti compreso tra $10.000 \div 15.000 \text{ mm}^3$, con frequenze percentuali tra 28% e 47% per il detrito di falda e tra 22% e 38%, per il deposito glaciale.

L'insieme complessivo dei risultati non evidenziando la presenza di sistematiche e specifiche distorsioni consente quindi di ritenere il campionamento di tipo casuale e sufficientemente rappresentativo. Pertanto i cinque parametri di base (A, B, C, r , V_R) rilevati dai clasti di questo campionamento sono stati utilizzati, in un apposito programma per elaboratore Olivetti M380/C, per calcolare gli indici morfometrici di valutazione sia del grado di elabo-

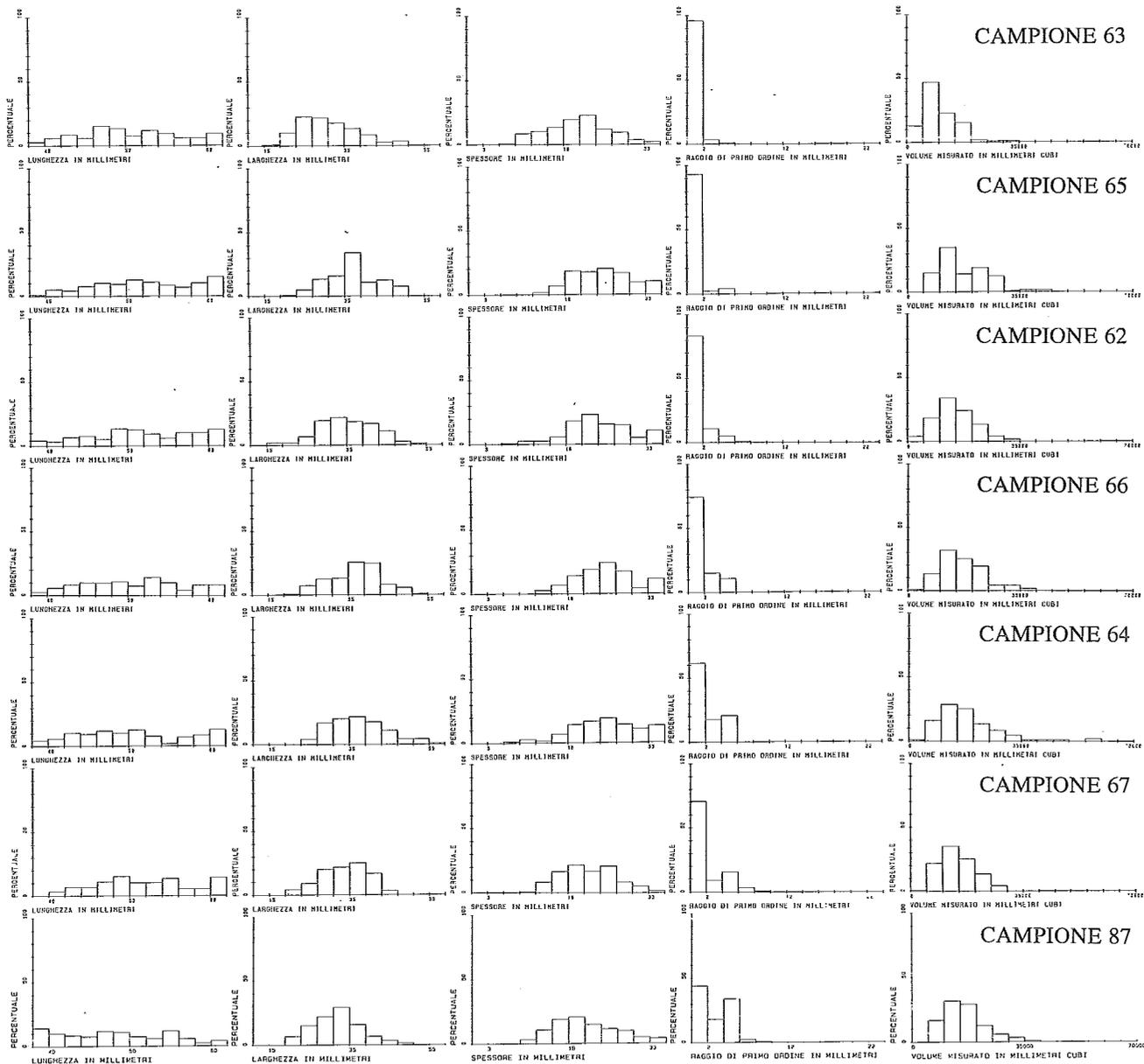


FIG. 1 - In orizzontale vengono riportati, per i vari campioni di detrito di falda raccolti e di cui alla tab. 1, gli istogrammi di ogni parametro morfologico (A, B, C, r, V_R) ricavati dalla diretta misurazione dei 120 clasti calcarei di cui è costituito ciascun campione.

FIG. 1 - In the abscissa of the figure are shown, for the various samples of conoid debris whose data are in Table 1, the histograms for every morphological parameter (A, B, C, r, V_R) obtained by means of direct measurements of the 120 limestone clasts making up the sample.

razione, sia della distribuzione delle forme, per cercare di qualificare così il mezzo detritico e morenico.

Tra i vari indici morfometrici proposti in letteratura sono stati scelti, per la determinazione del grado di usura e di elaborazione, l'indice di smussamento di 1° ordine (E) di CALLEUX & TRICART (1963) e l'indice di smussamento (R) di KUENEN (1956), per la loro comprovata generale affidabilità dei risultati. Sono stati invece utilizzati, per la caratterizzazione della forma, l'indice di appiattimento (A) di CALLEUX & TRICART (1963), i mo-

duli di allungamento (QF) e di appiattimento (PF) di ROSFELDER (1961), per il loro elevato potere di discriminare la forma nell'ambito di popolazioni sottoposte ad elaborazione (BARRET, 1980), nonché l'indice di sfericità (SF) di KRUMBEIN (1941), l'indice di portanza (Ω) di ROSFELDER (1961), l'indice OP di DOBKINS & FOLK (1970), il coefficiente di forma (CFR) di WINKELMOLEN (1982) ed il coefficiente di forma semplificato (CFS) di CORTEMIGLIA (1989b), per la capacità di fornire informazioni tra loro correlative ed integrative.

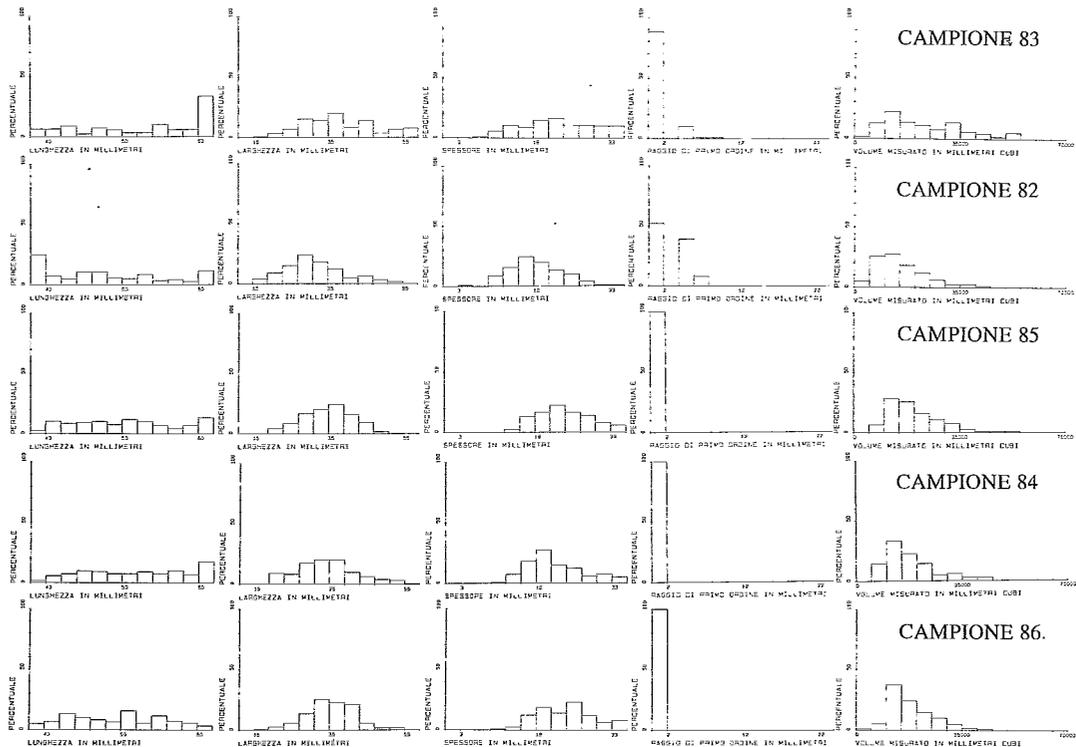


Fig. 2 - Istogrammi dei parametri morfometrici relativi ai clasti calcarei provenienti dai depositi glaciali di cui alla tab. 1.

FIG. 2 - Histograms of morphometric parameters of limestone clasts from morainic deposits. See Table 1.

Tipologia del deposito	Campioni	Quota sul l.m.m.	Classi modali principali e frequenze dei parametri morfometrici										
			Volume V_R		Lunghezza A		Larghezza B		Spessore C		Raggio di 1° ordine r		
			Classe modale	%	Classe modale	%	Classe modale	%	Classe modale	%	Classe modale	%	
Detrito di falda	63	2708	5.000-10.000	46,67	46-48	15	23-27	23,33	21-24	21,67	1-2	95,83	
	65	2150	10.000-15.000	34,17	50-52	11,67	35-39	34,17	24-27	20	1-2	93,33	
	62	2045	10.000-15.000	34,17	48-50	12,5	31-35	21,57	21-24	22,5	1-2	83,33	
	66	2000	10.000-15.000	30,83	52-54	14,17	35-39	25,83	24-27	23,33	1-2	74,17	
	64	1750	10.000-15.000	28,33	50-52	13,33	35-39	20,83	24-27	19,17	1-2	61,67	
	67	1525	10.000-15.000	35	48-50	15	35-39	25,83	18-21	21,67	1-2	70,83	
	87	1350	10.000-15.000	31,67	54-56	11,67	31-35	29,17	18-21	20,83	1-2	44,17	
Morena	Laterale	86	2750	10.000-15.000	37,5	50-52	15,83	31-35	25	24-27	22,5	1-2	100
	Laterale	84	2725	10.000-15.000	33,33	44-46	10	31-35	20	18-21	26,67	1-2	100
	Laterale	85	2725	10.000-15.000	27,5	50-52	11,67	35-39	22,5	21-24	22,5	1-2	100
	Mediana	82	2550	10.000-15.000	27,5	44-46	10	27-31	24,17	15-18	25	1-2	52,5
	Laterale	83	2525	10.000-15.000	22,5	54-56	10	35-39	20	21-24	16,67	1-2	88,33

TABELLA 1 - Frequenze percentuali delle classi modali principali, relative ai parametri morfologici rilevati sui vari campioni esaminati, i cui istogrammi sono riprodotti nelle figg. 1 e 2.

TABLE 1 - Percent frequencies of main modal classes of morphological parameters of the samples investigated, whose histograms are shown in figs. 1 and 2.

TABELLA 2 - Mediane degli indici morfometrici assunti come indicativi del grado di elaborazione e della selezione delle forme, ricavate, per ciascun campione, sulla base delle indicazioni e della simbologia riportate nel testo.

TABLE 2 - Medians of morphometric indices assumed as significant indicators of levels of wearing out and form selection, measured, for each sample, on the basis of criteria and symbols described in the text.

Tipologia del deposito	Campioni	Quota sul l.m.m.	Mediane degli indici di								
			Elaborazione		Forma						
			E	R	SF	Ω	OP	AP	CFS	CFR	
Detrito di falda	63	2708	43,440	0,084	0,619	1,510	4,887	1,952	7,679	2,674	
	65	2150	45,310	0,072	0,686	1,427	1,764	1,741	10,497	3,617	
	62	2045	68,283	0,099	0,672	1,437	2,351	1,742	9,265	3,180	
	66	2000	76,467	0,118	0,713	1,429	0,575	1,747	11,138	3,733	
	64	1750	84,854	0,114	0,715	1,407	1,203	1,687	10,889	3,685	
	67	1525	77,474	0,121	0,648	1,533	2,603	1,969	10,061	3,501	
	87	1350	124,018	0,180	0,668	1,532	2,620	1,929	12,667	4,461	
Morena	Laterale	86	2750	79,808	0,113	0,705	1,470	1,053	1,806	12,644	4,191
	Laterale	84	2725	76,717	0,118	0,623	1,560	1,566	1,989	11,650	3,996
	Laterale	85	2725	79,051	0,113	0,684	1,448	2,833	1,794	13,422	4,622
	Mediana	82	2550	122,587	0,183	0,638	1,633	1,367	2,151	11,826	4,296
	Laterale	83	2525	72,833	0,122	0,651	1,546	0,345	1,972	13,054	4,659

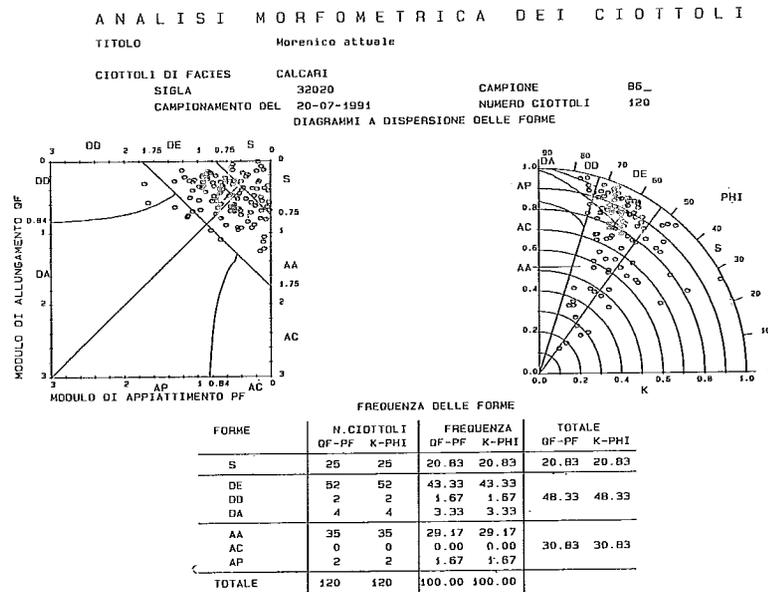


FIG. 3 - La caratterizzazione della forma dei clasti è stata ottenuta applicando, per ciascun campione, di cui alla Tabella 1, sia il diagramma cartesiano a moduli logaritmici di ROSFELDER (1961), sia introducendo il nuovo diagramma polare a coordinate Φ e K . La figura riproduce esemplificativamente i risultati relativi al solo campione 86, dove, a sinistra, è riprodotto il diagramma a dispersione di ROSFELDER a moduli logaritmici di allungamento (QF) e di appiattimento (PF), mentre, a destra, figura il nuovo diagramma polare. In questo caso, come indica la tabella sinottica, i due diagrammi forniscono uguali risultati nella frequenza delle varie forme presenti, in quanto piuttosto limitate risultano le forme intermedie, mentre, in caso contrario, si possono ottenere frequenze, anche significativamente diversificate, per il miglior grado di apprezzamento di tali forme dovuto al diagramma polare.

FIG. 3 - The form of clasts has been defined by applying to every sample of Table 1 both the Cartesian diagram with logarithmic modules by ROSFELDER (1961) and introducing the new polar diagram with coordinates Φ and K . The Figure shows, by way of example, the results from sample 86. On the left is shown the dispersion diagram by ROSFELDER with lengthening (QF) and flattening (PF) logarithmic modules, while on the right the new polar diagram is shown. In this case, as indicated by the synoptic table, the two diagrams provide the same results as far as form frequency is concerned, since intermediate forms are rather few. If this were not the case, we could get diversified frequencies, even to a considerable extent, due to the opportunity of better demonstrating such forms offered by the polar diagram.

Nella rappresentazione poi delle forme, oltre al diagramma cartesiano di ROSFELDER (1961) a moduli logaritmici di allungamento ($-\log_2 QF$) in ordinata e di appiattimento ($-\log_2 PF$) in ascissa, si è ritenuto opportuno introdurre anche un nuovo diagramma polare (fig. 3) basato sul calcolo di φ e K , due grandezze presenti negli integrali ellittici di 1° e 2° genere delle formule di SPENCELY & SPENCELY (1947) e di BYRD & FRIEDMAN (1954) con cui si determina l'area della superficie laterale di un ellissoide non di rotazione, avente gli assi $2a = A$, $2b = B$, $2c = C$, cioè coincidente con lunghezza (A), larghezza (B) e spessore (C) del clasto (CORTEMIGLIA, 1989b).

Siffatta rappresentazione polare delle forme dei clasti sulla base dei precipitati parametri $\varphi = \arccos c/a$, espresso in gradi, e $K = a \sqrt{b^2 - c^2}/b \sqrt{a^2 - c^2}$ è stata adottata in quanto discrimina meglio le forme intermedie di popolazioni al limite tra forme fondamentali (sferoidale, discoidale, acicolare e lamellare), in modo che ciascuna di queste, presa in ogni campione come base di riferimento per la stima della loro frequenza percentuale, risulti in realtà costituita dalle seguenti associazioni:

forme sferoidali (S);

forme discoidali (D) = Ellissoide appiattita (DE) + Lamellare discoidale (DD);

forme acicolari (A) = Ellissoide allungata (AA) + Aghiforme cilindrica (AC);

forme lamellari (L) = Lamellare allungata (DA) + Aghiforme piatta (AP).

Le valutazioni, pertanto, sulla frequenza percentuale delle precipitate quattro forme fondamentali sono quindi riferite tenendo conto sia del diagramma di ROSFELDER (1961), sia del diagramma polare (φ , K).

CARATTERI MORFOMETRICI DEL DETRITO DI FALDA

Le valutazioni morfometriche sono state stimate sulla base della determinazione, per ciascun campione, delle mediane dell'indice di smussamento di 1° ordine (E) di CAILLEUX & TRICART (1963) e dell'indice di smussamento (R) di KUENEN (1956), che hanno rivelato valori sostanzialmente compresi tra 43 e 85 per E e tra 0,07 e 0,12 per R.

I risultati ottenuti, ed esposti nella tab. 2, rivelano però come le mediane di E e di R, in realtà, presentino una chiara tendenza a crescere con il diminuire della quota di campionamento, ed, in particolare, dal grafico di fig. 4, che riporta l'andamento degli indici di smussamento E ed R con la quota Q, si evince la presenza di un chiaro rapporto lineare per tutti i campioni posti al di sopra del limite di 1 500 m di quota. Tale risultanza sembra pertanto potersi far rientrare nel concetto, espresso da CORTEMIGLIA (1985), della diretta dipendenza del grado di elaborazione dei clasti dall'energia del mezzo.

Infatti, nei detriti di falda, posizionati al di sopra di 1 500 m di quota, potrebbe risultare dominante la mobilitazione dei clasti dovuta alla degradazione, alla nivazione,

alla gelività ed alla gravità, mentre, in quelli posizionati al di sotto di 1 500 m di quota, potrebbe significativamente aggiungersi anche l'effetto sensibile dell'acqua di scorrimento superficiale dovuta alla fusione della neve ed alle precipitazioni, in quanto queste altimetrie risultano dotate di un più elevato coefficiente pluviometrico e di una più elevata gerarchizzazione del reticolo idrografico. In tal senso, quindi, le mediane degli indici di smussamento E e R, indicando la presenza di un più elevato grado di elaborazione nei detriti di falda con la diminuzione della quota, segnalano, conseguentemente, che l'energia a disposizione del mezzo aumenta con il diminuire dell'altimetria.

Tenendo conto di queste considerazioni generali, risulta pertanto opportuno, nello sviluppo dell'analisi morfometrica dei clasti detritici, prendere quindi in considerazione soprattutto i campionamenti (tab. 2) effettuati al di sopra di 1 500 m di quota. In tal modo, infatti, le condizioni ambientali di formazione dei detriti di falda, non solo risultano così tra loro più congruenti, ma soprattutto vengono anche rese più equiparabili con quelle di formazione dei depositi glaciali, che, come indica la tab. 2, sono posizionati al di sopra di 2 000 m di quota.

Volendo pertanto con questi intendimenti quantificare, per i campioni di cui alla fig. 4 raccolti al di sopra della quota di 1 500 m, la loro precipitata tendenza all'aumento degli indici di smussamento (E e R) con la diminuzione della quota, si ricava che tale incremento risulta lineare e che può essere stimato di larga massima con le seguenti rette di regressione.

$E = 139,09 - 0,03503 Q$ ed $R = 0,17 - 0,00004 Q$
a coefficiente di correlazione rispettivamente di 0,826 e di 0,730.

Inoltre, riportando in tab. 3, per i singoli ciottoli di ogni campione, il campo di variabilità dei loro volumi misurati (V_R), si evince che risultano compresi tra 3 100 mm³ e 57 200 mm³.

Se, assimilando ciascun clasto ad un ellissoide ad assi coincidenti con le sue misure di lunghezza A, larghezza B e spessore C, si calcola il relativo volume V_E , si può, per confronto con il volume misurato V_R , stabilire quanto se ne discosta, nel senso di verificare se risulta maggiore o minore.

Tale valutazione indica, in senso orientativo generale, se nella forma dei clasti prevalgono le originarie caratterizzazioni primarie dovute alla genesi del clasto ($V_R < V_E$) o se queste invece si sono per elaborazione via via annullate subentrando dimensionalità piuttosto condizionate e governate dall'energia di mobilitazione ($V_R > V_E$).

La tab. 3 indica chiaramente che i clasti dei campioni di detrito di falda presentano, al diminuire della quota sino al limite altimetrico di 1 500 m, valori di $V_R < V_E$ in frequenza costantemente superiore al 97%, mentre al di sotto di 1 500 m di quota il campione 87 evidenzia come i clasti $V_R < V_E$ non superino il 70%.

Più specificatamente confrontando nella tab. 2 le mediane degli indici di sfericità SF e di portanza Ω , che in un ellissoide triassiale ($a > b > c \neq 0$) possono ritenersi approssimativamente legati dalla relazione $\Omega = 1/SF$ (ROSFEL-

TABELLA 3 - Valori, per ciascun campione esaminato, del campo di variabilità del volume (V_R) dei clasti, della percentuale di clasti presente con $V_R < V_E$ e della percentuale, valutata con il diagramma dei moduli logaritmici di ROSFELDER e con il diagramma polare Φ, K , di CORTEMI-GLIA, delle varie forme principali presenti.

TABLE 3 - Values, for each sample, of the variations fields of the volume (V_R) of clasts, of the percentage of clasts present with $V_R < V_E$ and of the percentage, evaluated by means of the logarithmic modules by ROSFELDER as well as by means of the polar diagram Φ, K , by CORTEMI-GLIA, of the various main forms present.

Tipologia del deposito	Campioni	Quota sul l.m.m.	Valutazioni morfometriche							
			Volume reale in mm ³		Frequenza clasti con $V_R < V_E$	Percentuale di distribuzione delle forme				
			minimo	massimo		Sferoidali S	Discoidali DE + DD	Acicolari AA + AC	Lamellari DA + AP	
Detrito di falda	63	2708	3.100	33.900	100	5	28 ÷ 30	48 ÷ 50	15 ÷ 18	
	65	2150	7.500	41.200	99,17	12	45 ÷ 46	39 ÷ 40	2 ÷ 3	
	62	2045	3.500	31.200	99,17	17	35 ÷ 37	45 ÷ 46	1 ÷ 2	
	66	2000	4.600	39.600	97,50	18	49 ÷ 50	29 ÷ 30	2	
	64	1750	3.500	57.200	98,38	25	43 ÷ 45	30 ÷ 31	1	
	67	1525	4.200	29.300	99,17	8	40 ÷ 44	39 ÷ 42	8	
	87	1350	5.960	37.690	70	16	40 ÷ 41	34 ÷ 35	9 ÷ 10	
Morena	Laterale	86	2750	3.520	43.390	80	20 ÷ 21	45	29 ÷ 30	5
	Laterale	84	2725	5.070	43.490	84,17	13 ÷ 14	44 ÷ 45	32 ÷ 33	10
	Laterale	85	2725	7.320	43.080	78,33	15 ÷ 16	39 ÷ 40	40	5
	Mediana	82	2550	3.070	42.460	56,67	3 ÷ 4	59 ÷ 60	25	10 ÷ 13
	Laterale	83	2525	4.740	69.720	70	10	44 ÷ 45	35 ÷ 37	10

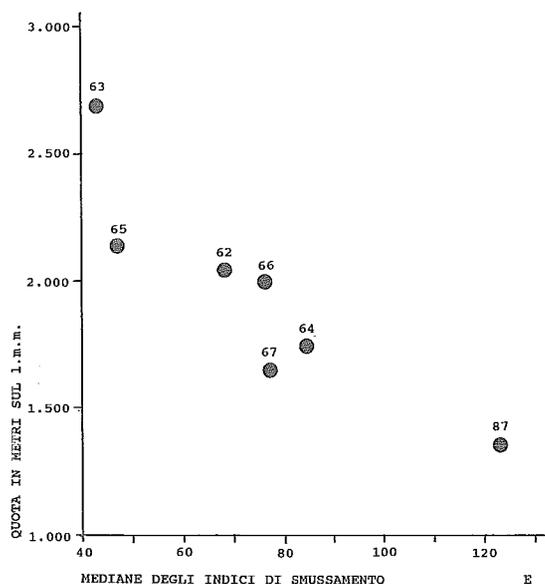


FIG. 4 - Diagrammi a dispersione con la quota delle mediane degli indici di smussamento E, a sinistra, ed R, a destra, relative ai clasti calcarei dei campioni di detrito di falda indicati in tab. 2.

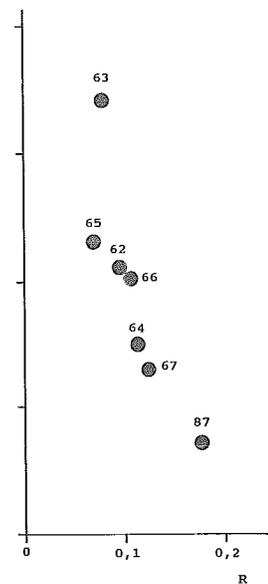


FIG. 4 - Dispersion diagrams with the height of the medians of rounding indices E to the left and R to the right, concerning limestone clasts from conoid debris. See Table 1.

DER, 1961, pag. 224), si ricava che il reciproco delle mediane dell'indice di sfericità risulta tendenzialmente superiore al corrispondente valore della mediana dell'indice di portanza, confermando così indirettamente la prevalente presenza nei campioni di clasti con $V_R < V_E$.

I valori delle mediane di SF e di Ω , risultando rispetti-

vamente $>0,6$ e $<1,6$, indicano che la forma del clasto è globalmente tendente ad un aspetto dove lo spessore C non risulta nettamente subordinato ad A e B.

Le mediane dell'indice di appiattimento AP, riportate in tab. 2, con il loro valore compreso tra 1,69 e 1,97 specificano tuttavia che mediamente tale spessore C è comun-

que tuttavia visibilmente inferiore ad A e B, per cui l'aspetto generale nel complesso risulta tendenzialmente allungato.

Le mediane dell'indice OP, in grado di discriminare forme diverse nell'ambito di uguali valori di sfericità SF, rivelano, come indicato nella tab. 2, valori compresi tra 0,575 e 4,887, per cui confermano la generale tendenza della popolazione ad assumere una forma allungata.

In particolare, dalla distribuzione delle forme riportata nella tab. 3, si evince che il detrito di falda presenta forme sferoidali comprese tra 5% e 25%, forme discoidali comprese tra 28% e 50%, forme acicolari comprese tra 29% e 50% e forme lamellari comprese tra 1% e 18%, da cui si può concludere per una generale equivalenza nella frequenza tra forme discoidali ed acicolari.

Le mediane del coefficiente di forma semplificato CFS riportate nella tab. 2 evidenziano, al di sopra del limite altimetrico di 1 500 m, valori inferiori a 11,2, in quanto compresi tra 7,679 e 11,138, mentre con il campione 87 la mediana di CFS si eleva a 12,667.

Parimenti analoga conferma si ottiene dal coefficiente di forma CFR che, al di sopra di 1 500 m di quota, evidenzia valori inferiori a 3,75 mentre, al di sotto, con il campione 87, presenta valore di 4,461. Eseguendo, per tutti i campioni esaminati, la correlazione tra mediane di CFS e di CFR, che rappresenta l'indice di forma di WINKEL-

MOLEN (1982), sulla base del diagramma di dispersione della fig. 5, si ottiene la relazione lineare

$$CFR = -0,03 + 0,34682 CFS$$

che, con un coefficiente di correlazione di 0,992, lega tra loro, nel detrito di falda, i due precitati coefficienti di forma.

CARATTERI MORFOMETRICI DEI CLASTI GLACIALI

Le mediane degli indici di smussamento E ed R relativi ai campioni di clasti glaciali denotano come nella morena mediana si raggiunga un più elevato grado di elaborazione rispetto alla morena laterale. Infatti, come si evince dalla tab. 2, mentre nella morena laterale le mediane risultano contenute in valori compresi tra 72,833 e 79,808 per E e tra 0,122 e 0,113 per R, nella morena mediana (campione 82) si raggiungono valori di 122,587 per E e di 0,183 per R, cioè poco discosti da quelli dei detriti di falda posti al di sotto del limite altimetrico di 1 500 metri.

Anche in questo caso il maggior aumento di energia potrebbe essere fornito da effetti indotti dall'acqua di scorrimento sopragliaciale che, con più facilità, può interessare le morene mediane rispetto a quelle laterali.

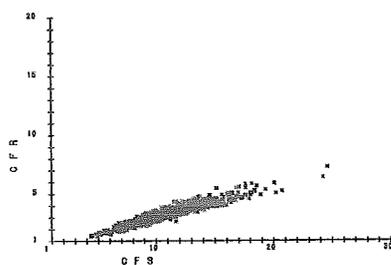


FIG. 5 - Diagramma a dispersione, a sinistra, tra i valori di CFR e di CFS relativi agli 840 clasti calcarei appartenenti ai campioni di detrito di falda di cui alla tab. 1. A destra, analogo diagramma ottenuto però con le mediane degli indici di forma CFR e CFS degli stessi campioni riportati in tab. 2, da cui si è ricavata l'equazione della retta di regressione riportata nel testo.

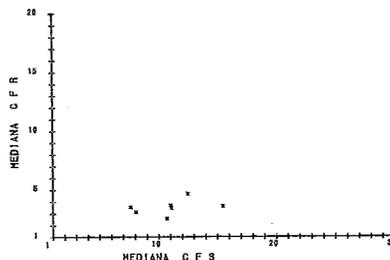


FIG. 5 - Dispersion diagram, to the left, between the values of CFR and CFS concerning the 840 limestone clasts belonging to the conoid debris of Table 1. To the right, a similar diagrams from the medians of shape indices CFR and CFS from the same samples of Table 2, from which the regression equation shown in the text has been the calculated.

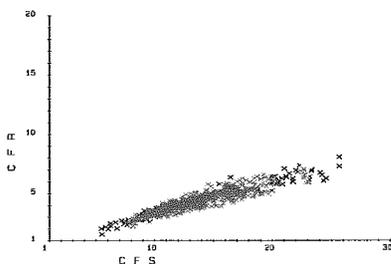


FIG. 6 - Rappresentazione, per i depositi glaciali, di diagrammi a dispersione analoghi a quelli di fig. 5, dove, a sinistra, figurano i valori di CFR e CFS relativi ai 600 clasti calcarei di cui ai campioni della tab. 1, ed, a destra, i valori delle mediane CFR e CFS, riportate nella tab. 2, degli stessi campioni.

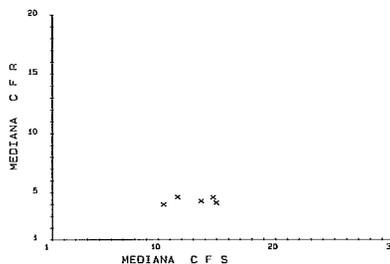


FIG. 6 - Dispersion diagrams for morainic deposits, similar to those of fig. 5. On the left are the values of CFR and CFS for the 600 limestone clasts, whose samples are in Table 1. On the right the values of the medians of CFR and CFS, shown in Table 2, for the same samples.

Analizzando i volumi misurati (V_R) risulta (tab. 3) che i clasti presentano un campo di variabilità compreso tra $3\,070\text{ mm}^3$ e $69\,720\text{ mm}^3$, quindi praticamente conforme a quello del detrito di falda, mentre la valutazione dimensionale tra V_R e V_E , come riportato in tab. 3, indica chiaramente frequenze percentuali di clasti con $V_R < V_E$ tra 70% e 85% nei campioni provenienti da morena laterale, ed un valore di gran lunga ridotto, del 56,67%, per quello proveniente dalla morena mediana. Tale situazione rappresenta una ulteriore conferma della presenza nella morena mediana, rispetto a quella laterale, di un più elevato fattore energetico di mobilitazione, che tende a cancellare con la sua più significativa elaborazione i caratteri genetici primari del clasto.

Le mediane degli indici di sfericità e di portanza non forniscono chiare valutazioni sulla tendenza del reciproco di SF a risultare maggiore o minore di Ω , però, mostrando valori di $SF > 0,6$ e di $\Omega < 1,6$, indicano che nel clasto lo spessore C non risulta nettamente subordinato ad A e B, anche se, con valori dell'indice di appiattimento $AP \geq 1,8$, l'aspetto prevalente si presenta allungato.

In particolare, la distribuzione delle forme, riportata in tab. 3, evidenzia che il deposito glaciale presenta forme sferoidali comprese tra 3% e 21%, forme discoidali comprese tra 39% e 60%, forme acicolari comprese tra il 25% ed il 40% e forme lamellari comprese tra il 5% ed il 13%, per cui complessivamente si verifica una presenza di forme discoidali percentualmente superiori a quelle acicolari, mentre le restanti forme sferoidali e lamellari risultano piuttosto subordinate.

La morena mediana rivela, poi, rispetto a quella laterale, una netta dominanza delle forme discoidali (60%) rispetto a quelle acicolari (25%). Si può quindi complessivamente affermare che la presenza dominante delle forme discoidali rispetto a quelle acicolari rappresenta il carattere peculiare dei depositi glaciali.

Le mediane dell'indice di forma semplificato CFS mostrano (tab. 2) valori costantemente superiori ad 11,6, presentando un campo di variabilità a limiti tra 11,65 e 13,4, mentre le mediane dell'indice di forma CFR di WINKELMOLEN (1982) evidenziano valori ≥ 4 , presentando un campo di variabilità contenuto tra 3,996 e 4,659. La correlazione tra le mediane di CFS e CFR, calcolata sul diagramma a dispersione della fig. 6, presenta, con coefficiente di correlazione 0,845, la relazione lineare

$$CFR = 0,44 + 0,31289\ CFS$$

che può così, indiziariamente, essere assunta come rappresentativa per i depositi glaciali.

CONCLUSIONI

Le illustrate risultanze emerse dall'analisi morfometrica dei clasti, raccolti nel detrito di falda e nei depositi morenici di zone distribuite in varie parti delle Alpi Retiche e delle Alpi delle Dolomiti, sebbene statisticamente rap-

presentative del loro universo, non possono però essere assunte in assoluto come compiutamente ed esaustivamente estrapolabili all'intera casistica esistente, risultando l'area di estrazione dei campioni delimitata planaltimetricamente rispetto all'effettivo areale di distribuzione. Pur tuttavia sono però già in grado di fornire ragguagli tali da consentire una preliminare discriminazione propositiva tra i due tipi di deposito su base morfometrica.

A tal fine però, è necessario, che, innanzitutto, tale discriminazione risulti chiaramente correlata con l'energia del mezzo, da cui dipendono, com'è stato ricordato, gli effetti, provocati dalla mobilitazione del materiale, sul grado di elaborazione e sulla selezione delle forme.

Infatti, dai dati esposti nelle tabb. 1, 2, 3, risulta evidente che, allorché in entrambi i depositi, alla loro specifica caratterizzazione di mobilitazione, si aggiungono effetti significativi provocati da acque di scorrimento superficiale, la conseguente maggior energia di mobilitazione a disposizione del mezzo procura un più elevato grado di elaborazione ed una maggior efficace selezione delle forme. In tal caso le risultanze morfometriche tra i due diversi tipi di depositi presentano così caratteri meno distintivi, in quanto i vari campi di variabilità dei diversi parametri ed indici morfometrici paragonati tra loro presentano intervalli di sovrapposizione troppo ampi.

Se però si considerano le sole condizioni ambientali di formazione del detrito di falda al di sopra del limite altimetrico di 1 500 m, allora, rispetto ai depositi morenici, si possono evidenziare parametri ed indici morfometrici chiaramente discriminanti i due mezzi di mobilitazione.

Prendendo in considerazione clasti calcarei, con lunghezza A compresa tra 40 mm e 60 mm, si possono pertanto sintetizzare le seguenti mediane e frequenze di parametri ed indici morfometrici complessivamente in grado di discriminare l'attuale ambiente di mobilitazione di pertinenza del detrito di falda da quello di competenza del deposito morenico:

Parametri ed indici morfometrici	Detrito di falda	Deposito glaciale
Clasti con $V_R < V_E$	>97%	<85%
Forme sferoidali (S)	5% < S < 25%	3% ≤ S < 21%
Forme discoidali (D)	28% ≤ D ≤ 50%	39% ≤ D ≤ 60%
Forme acicolari (A)	29% ≤ A ≤ 50%	25% ≤ A ≤ 40%
Forme lamellari (L)	1% ≤ L ≤ 18%	5% ≤ L ≤ 13%
Indice di smussamento (E)	43 ≤ E ≤ 85	70 ≤ E ≤ 125
Indice di smussamento (R)	0,07 ≤ R ≤ 0,12	0,11 ≤ R ≤ 0,18
Coefficiente di forma (CFR)	CFR ≤ 3,75	CFR ≥ 3,99
Coefficiente di forma (CFS)	CFS ≤ 11,2	CFS ≥ 11,5

Sostanzialmente, quindi, si può riconoscere che, al di sopra del limite altimetrico dei 1 500 m, il glaciale, rispetto al detrito di falda, presenta un maggior grado di elaborazione (mediane di E e R), più elevati coefficienti di forma (mediane di CFR e CFS) e frequenze di clasti con $V_R < V_E$ di gran lunga più ridotte.

BIBLIOGRAFIA

- BARRET P.J. (1980) - *The shape of rock particles, a critical review*. Sedimentology, 27, 291-303.
- BYRD P.F. & FRIEDMAN M.D. (1954) - *Handbook of elliptic integrals for engineers and physicists*, Springer-Verlag, Berlin, 355 pp.
- CAILLEUX A. & TRICART J. (1963) - *Initiation à l'étude des sables et des galets*. Centre Doc. Univ., Paris, 1, 369 pp.
- CORTEMIGLIA G.C. (1985) - *Valutazione sperimentale del grado di elaborazione dei ciottoli in ambiente marino*. Boll. Soc. Geol. It., 104, 429-443.
- CORTEMIGLIA G.C. (1989a) - *Determinazione delle caratteristiche granulometriche dei depositi alluvionali dell'Entella valutate con il tracciamento della curva dei centili*. Mem. Acc. Lunig. Sc., 57-58 (1987-1988), 123-133.
- CORTEMIGLIA G.C. (1989b) - *Modalità di determinazione pratica del coefficiente di forma nello studio della morfometria dei ciottoli di depositi olocenici*. Mem. Soc. Geol. It., 42, 109-117.
- DOBKINS J.E. & FOLK R.E. (1970) - *Shape development Tabiti-Nui*, Journ. Sed. Petr., 40, 1167-1203.
- KRUMBEIN W.C. (1941) - *Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles*. Journ. Sed. Petr., 11 (2), 64-72.
- KUENEN PH.D. (1956) - *Experimental abrasion of pebbles, 2 Rolling by current*, Journ. Geol., 64, 336-368.
- ROSFELDER A. (1961) - *Contributions à l'analyse texturale des sédiments*. Serv. Carte Géol. Algérie, Bull, 29, no. sér., 310 pp.
- SPENCELEY G.W. & SPECELEY R.M. (1947) - *Smithsonian elliptic functions tables*. Smith. Miscel. Collections, 109 (3863), 366 pp.
- THÉBAULT J.Y. (1969) - *Contribution à l'étude des formes des galets*. Bull. Bureau Rech. Géol. Minières, 2, 1-104.
- WINKELMOLEN A.M. (1982) - *Critical remarks on grain parameters with special emphasis on shape*. Sedimentology, 29, 255-265.