

M. PAPPALARDO (\*), P.P. PUTZOLU (\*\*)

## LE "SASSAIE" DEI MONTI PISANI: "COLATE DI PIETRE" TIPICHE DELL'AMBIENTE PERIGLACIALE (\*\*\*)

**Riassunto** - Alcuni versanti dei Monti Pisani sono interessati dalla presenza di imponenti accumuli di massi angolosi ed eterometrici, localmente noti come "sassaie". I loro caratteri principali sono stati studiati dagli autori attraverso l'analisi di alcuni parametri. La forma tipica dei corpi è quella allungata e la litologia dei blocchi è prevalentemente quarzatica, con elementi filladici sino ad un massimo del 25% in volume. La pendenza dei depositi si aggira attorno al valore di 27° e l'esposizione prevalente è sudoccidentale. La stratigrafia di questi corpi, dove osservata, mostra una netta tripartizione con un livello superiore grossolano a blocchi, privo di matrice e spesso alcuni metri, quindi un livello di transizione nel quale i blocchi sono supportati da una matrice limosa e si rinvencono tasche di materiale ciottoloso. Fra questo livello e la roccia in posto si trova uno strato basale di materiale fine, rubefatto ed assai compatto; l'analisi in diffrattometria a raggi x di un campione tratto da questo livello basale ha mostrato un contenuto mineralogico identico a quello del litotipo quarzatico del quale sono costituiti i blocchi.

Il confronto delle caratteristiche di questi corpi con quelle di depositi simili descritti da vari autori in molte parti del mondo, ha condotto ad interpretare le "sassaie" dei Monti Pisani come "colate di pietre" (*block stream*) inattive.

I processi responsabili della formazione di tali depositi sono stati il crioclastismo ed il soliflusso. Il primo ha fornito il materiale che poi è sceso giù per il pendio per scivolamento dei cuscinetti di ghiaccio formati sulle superfici dei blocchi, e grazie al soliflusso differenziale al quale è stato soggetto lo strato limoso basale.

Le colate di pietre dei Monti Pisani si sarebbero formate durante la fase più fredda dell'ultima glaciazione, quando i rilievi ai margini della catena appenninica erano soggetti a condizioni di ambiente periglaciale.

**Abstract** - *The "sassaie" of Monti Pisani: block streams typical of a periglacial environment.* Huge accumulations of coarse rock fragments, ranging in size from gravels to boulders and known with the local name of "sassaie", can be found on some Monti Pisani slopes. Their main characteristics are evaluated by the authors through the analysis of some parameters. The prevailing shape is the elongated one, and the lithology of blocks is mainly quartzitic, with slate elements to a maximum of 25% of the total volume.

---

(\*) Istituto di Geografia dell'Università di Genova. Scuola di Dottorato in "Scienze Geografico-ambientali e Cartografiche".

(\*\*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa. Scuola di Dottorato in "Scienze della Terra".

(\*\*\*) Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto Murst (Fondi 40%): "Montagne e Pianure: Geomorfologia Strutturale ed evoluzione del rilievo in Italia e in aree mediterranee" (Resp. P.R. Federici).

The dip of the deposits is around the value of  $27^\circ$  and their prevailing exposure is southwest. The stratigraphy of these bodies, where observed, shows a marked tripartition with an upper layer of coarse angular blocks without a matrix, few meters thick, then a transitional layer where blocks are supported by a silt matrix and where pebble pockets can be found; between this layer and the basal rock a bottom layer can be seen. It is made of fine compact reddish material, whose x rays spectroscopic analysis showed it contains the same minerals as the quartzitic formation blocks are made of. The comparison of the features of these bodies with those of similar deposits described by many authors all over the world, led to interpretate the "sassaie" of Monti Pisani as unactive block streams. The processes responsible for the formation of such deposits must have been frost wedging and solifluction. The first one has provided the material which has been transported downslope by the slipping of ice covers wrapping up the blocks, and by the bottom layer differential solifluction. The genesis of Monti Pisani block streams should have taken place during the last glacial maximum, when the foothills of the Apennines were subdue to conditions of periglacial environment.

**Key words:** block stream, periglacial environment, Monti Pisani (Tuscany).

#### PREMESSA

Le forme e i depositi tipici del dominio morfoclimatico periglaciale, diffusi in tutto il mondo, sono assai poco noti nell'Appennino settentrionale, e in particolare sulle Alpi Apuane e sul loro prolungamento, i Monti Pisani. FEDERICI è stato il primo a segnalare un caso nelle Alpi Apuane (1981), ove una falda detritica stratificata (*éboulis ordonné*) si trova a bassa quota nel bacino del Frigido. Un rilancio degli studi sulla morfologia periglaciale ci ha indotto a compiere una indagine sulle cosiddette "sassaie" dei Monti Pisani

L'interesse di uno studio sistematico di questi depositi detritici grossolani risiede principalmente in due motivi: in primo luogo essi costituiscono uno degli elementi tipici del paesaggio di questo modesto complesso montuoso che raggiunge, nel Monte Serra, la sua massima altitudine di 917 m s.l.m., e in secondo luogo permettono di portare un contributo alla conoscenza geomorfologica di questi rilievi per ora praticamente minima. Sulle "sassaie" non è mai stato compiuto alcuno studio geomorfologico particolareggiato, ma agli autori della Carta Geologica dei Monti Pisani (RAU e TONGIORGI, 1974) va comunque il merito di non aver tralasciato la descrizione ed il rilievo cartografico delle "sassaie", e di aver anche avanzato un'ipotesi sulla loro origine.

Questi corpi occupano la porzione medio-bassa dei versanti esposti a mezzogiorno fra i 150 e gli 800 m s.l.m., ed hanno per lo più forma allungata secondo la massima pendenza. Sono costituiti da accumuli sostanzialmente eterometrici di blocchi quarziticci di dimensioni attor-

no al  $1/2 \text{ m}^3$  e, in quantità volumetricamente minore, da elementi filladici di più piccole dimensioni. Pur non essendo in alcun modo cementati, questi ammassi risultano piuttosto stabili, e vengono solo sporadicamente colonizzati dalla vegetazione. Pertanto sono ben visibili anche dalla pianura e non appaiono in contrasto morfologico con la regolarità dei versanti dei rilievi che li ospitano.

Con il presente lavoro gli autori si propongono di esporre una serie di osservazioni da loro compiute nel corso di una campagna di studio delle "sassaie", al fine di tentare l'inquadramento di queste ultime in uno schema classificativo e l'interpretazione della loro origine nell'ambito della morfogenesi dei Monti Pisani.

#### CARATTERIZZAZIONE DEI DEPOSITI

Nel corso della campagna di rilevamento delle "sassaie" dei Monti Pisani sono stati visitati ventinove corpi detritici, quelli di dimensioni maggiori. La loro distribuzione mostra, già ad un primo sguardo, una maggiore frequenza ed estensione sul versante sudoccidentale del rilievo (Fig 1). A ciascun deposito è stata attribuita una sigla composta da una o due lettere che fanno riferimento al toponimo significativo più prossimo, e da un numero d'ordine, che distingue fra di loro i corpi indicati con la medesima lettera, e quindi contigui.

Sebbene i corpi osservati presentino un'apparente omogeneità di caratteri, numerose sono in realtà le differenze. Sono stati così individuati sei parametri (Tab. 1) allo scopo di istituire delle correlazioni utili all'interpretazione della dinamica di formazione delle "sassaie". Di seguito esamineremo ad uno ad uno i parametri scelti:

##### *1. Forma dei corpi*

Sono stati distinti in prima approssimazione i corpi di forma longitudinale, ovvero con l'asse di allungamento disposto parallelamente alla direzione di massima pendenza del versante, da quelli di forma espansa, senza un asse di allungamento preferenziale.

La prima classe è di gran lunga più numerosa della seconda, e comprende corpi con l'aspetto di colate, ove il dislivello fra la quota massima e la minima del deposito è in media attorno ai 100 m, ed il rapporto fra la dimensione trasversale e quella longitudinale si aggira su  $1/6$  (Fig. 2).

La seconda classe comprende cinque depositi tre dei quali appar-

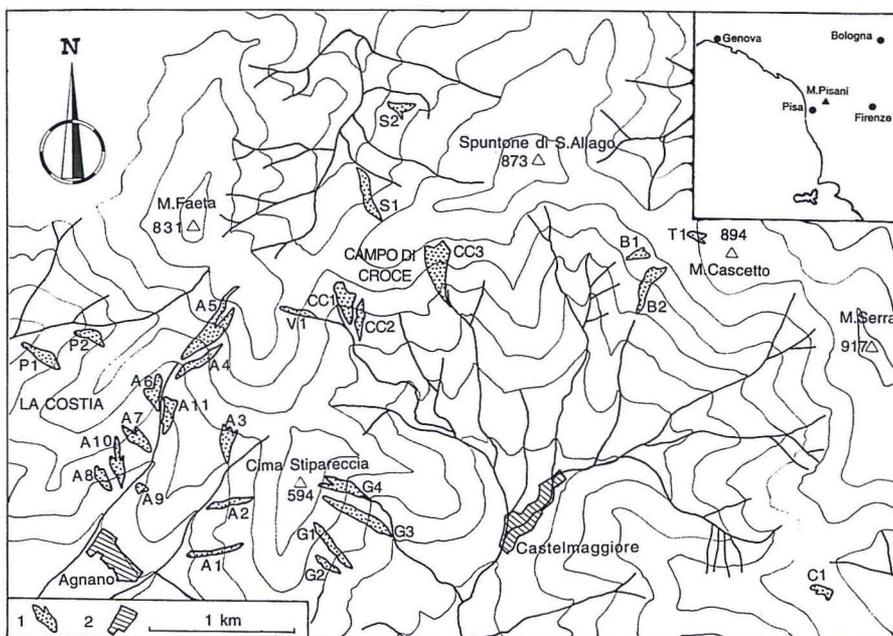


Fig. 1 - Ubicazione delle principali "sassaie" nell'area sudoccidentale dei Monti Pisani. 1 - estensione del deposito; 2 - centro abitato.

tengono al gruppo di "sassaie" della Valle di Agnano. Una di esse (A6) è più singolare, ha forma digitata, con due colate principali che convergono e si fondono.

Un po' anomalo è il corpo indicato con la sigla C1, che si estende in maniera irregolare a ridosso della cresta del M. Cimone, dal cui smantellamento, senza importante trasporto, esso deriva.

La forma a colata costituisce tuttavia la norma ed è ad essa che occorre sostanzialmente riferirsi nel tentativo di un'interpretazione geomorfologica di questi corpi, dal momento che le forme espanse, ad eccezione della C1, sembrano derivare dalla coalescenza di più colate.

## 2. Morfologia superficiale

Le "sassaie" risultano debolmente sopraelevate (1-2 m) rispetto al pendio, ma hanno generalmente la stessa pendenza del versante e si assottigliano gradualmente all'interno della fascia boscata che le circonda.

La superficie dei corpi può apparire uniforme o presentare ondulazioni, le quali possono svilupparsi parallelamente all'asse della colata,

TAB. 1 - Tabella dei parametri classificativi delle ventinove "sassaie" studiate. L: forme allungate; E: forme espanse; morf.: morfologia superficiale; lt: presenza di dossi longitudinali; tv: presenza di dossi trasversali; cn: concavità semicircolari; u: uniforme; dim.: dimensioni dei blocchi; MG: taglia medio grande dei blocchi (0,3-1,5 m); F: taglia fine dei blocchi (4-30 cm); ET: taglia eterometrica dei blocchi; QZ: prevalentemente quarzosi; FL: elementi filladici fino al 25%; litol. versante: litologia del substrato roccioso del versante a quote superiori al deposito; S1: Scisti verdi; S2: Quarziti verdi; S3: Quarziti bianco-rosa; S4: Quarziti viola zonate.

sigla dep.	quota mas.	quota min.	incl. media	espos.	forma	morf.	dim.	litol. blocchi	litol. versante
V1	670	525	29°	E	L	lt	MG	QZ	S3
B1	680	610	24°	WSW	L	lt	ET	FL	S2
B2	675	500	27°	SSW	L	tv	ET	QZ	S2-S3
T1	805	775	16°	W	L	u	F	FL	S3-S2
C1	675	610	22°	NE	E	cn	F	FL	S3
D1	575	465	27°	ENE	E	cn	MG	QZ	S2-S3
G1	450	230	28°	SE	L	tv	ET	FL	S1-S2
G2	365	260	27°	SE	L	tv	ET	FL	S1-S2
G3	480	205	25°	ESE	L	u	ET	FL	S1-S2
G4	500	305	29°	ESE	L	u	ET	FL	S1-S2-S3
A1	375	175	27°	W	L	lt	MG	QZ	S3
A2	400	230	30°	W	L	lt	MG	QZ	S3
A3	410	295	25°	S	L	lt	MG	QZ	S3
A4	570	370	30°	SW	L	lt	MG	QZ	S3
A5	740	400	31°	SW	L	u	ET	FL	S3-S4
A6	375	285	32°	SE	E	u	MG	QZ	S3
A7	325	215	25°	SE	L	u	ET	FL	S3-S4
A8	255	155	21°	SE	L	tv	F	FL	S3-S4
A9	175	150	23°	WNW	E	tv	F	QZ	S3
A10	305	150	26°	SSW	L	cn	ET	FL	S3-S4
A11	340	245	29°	SW	L	lt	MG	QZ	S3
CC1	585	450	27°	SSW	L	tv	ET	QZ	S4-S3
CC2	550	405	27°	SSW	L	tv	ET	QZ	S3
CC3	675	550	32°	SSE	L	u	MG	QZ	S1-S2
P1	300	180	25°	NW	L	cn	MG	QZ	S3
P2	420	285	29°	NW	L	lt	MG	QZ	S3
S1	705	510	25°	NNW	L	cn	ET	QZ	S3
S2	565	505	21°	NW	E	cn-tv	ET	QZ	S2-S3
SB	425	290	28°	NW	L	cn	ET	QZ	S3

trasversalmente ad esso, oppure apparire come un'alternanza di concavità e dossi ad ampio raggio (dell'ordine di qualche metro). Si tratta di ondulazioni irregolari, che non si seguono in maniera continua lungo tutto il corpo, con dislivelli fra la cresta e il cavo di un metro al massimo. Spesso in corrispondenza delle creste dei dossi si collocano i massi di dimensioni maggiori, (2-4 m<sup>3</sup>), mentre nei solchi si trova materiale



Fig. 2 - Colate di pietre ad est di Cima Stipareccia (G3 e G4).

di pezzatura medio-fine, dell'ordine di pochi centimetri, che si può ritenere prodotto di ruscellamento attuale. A testimonianza di ciò è l'assenza, nei cavi dei solchi, della copertura di licheni che, generalmente, risulta ben sviluppata sulla superficie dei blocchi. Visivamente, questo aspetto produce una marcata differenza cromatica che enfatizza l'andamento ondulato delle superfici.

In corrispondenza dei solchi che seguono la linea di massima pendenza il dilavamento è intenso, mentre nelle piccole conche e nel cavo dei solchi trasversali si verifica un accumulo di prodotti di ruscellamento sui quali si riesce talvolta ad impiantare in modo sporadico la vegetazione.

### *3. Taglia dei blocchi e aspetti granulometrici*

Tutti i depositi osservati sono apparsi sostanzialmente eterometrici,

ma per alcuni di essi tale caratteristica risulta particolarmente spiccata (quelli contassegnati dalla sigla ET in tabella), mentre per altri le dimensioni dei blocchi si distribuiscono all'interno di ben precisi intervalli di variabilità. Questi ultimi sono stati suddivisi in due categorie: l'una che annovera depositi di taglia medio-grande (in tabella sigla MG), con blocchi di diametro compreso all'incirca fra 30 cm e 1,5 m (Fig. 3) e rari massi di maggiori dimensioni, e l'altra che include quelli di taglia fine, da massi con un diametro di 30 cm circa fino a clasti di 4-5 cm, anche se verso il limite inferiore siamo spesso in presenza dei prodotti di ruscellamento.

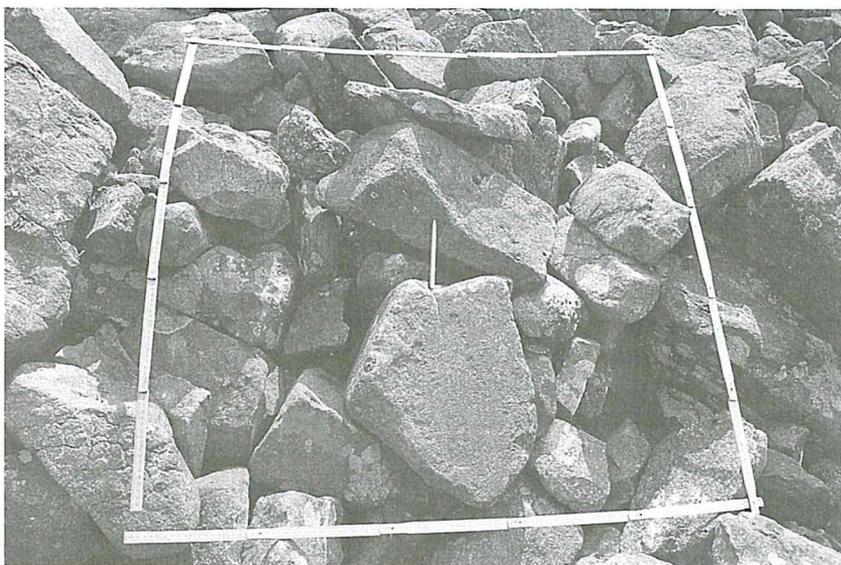


Fig. 3 - Dettaglio del deposito A12 (Valle di Agnano); la superficie delimitata misura 1 m<sup>2</sup>.

Quanto alle differenze di taglia nella distribuzione superficiale dei blocchi, si è già osservato che si rileva una diminuzione delle dimensioni in corrispondenza delle depressioni. Inoltre il limite fra il corpo detritico ed il versante sul quale esso poggia lateralmente non è netto, ma una fascia a granulometria più fine si estende radialmente ancora per qualche metro all'interno della boscaglia che circonda la sassaia, tanto da far pensare ad un'incipiente colonizzazione del deposito da parte della vegetazione. Questa talora si insinua all'interno del corpo

detritico con strette digitazioni o con isolette boscosi, nelle quali si ritrovano anche castagni con tronco di mezzo metro o più di diametro. Questo processo di colonizzazione, evidenziabile anche da un confronto fra l'estensione delle "sassaie" all'epoca dell'esecuzione della Carta Geologica dei Monti Pisani (1974) ed oggi, è da ritenersi comunque limitato alle fasce di materiale più fine che bordano i corpi.

#### 4. *Litologia dei blocchi*

I blocchi che compongono le "sassaie" sono costituiti prevalentemente da clasti quarzatici appartenenti alla formazione delle Quarziti di Monte Serra (RAU e TONGIORGI, 1974). La sezione tipo della formazione è stata rilevata sul versante occidentale del M. Cimone ed è stata suddivisa in quattro membri (S1, S2, S3, S4). Il primo membro è rappresentato dagli Scisti verdi (S1), che sono diffusi sull'intero rilievo e risultano costituiti da una fitta alternanza di filladi più o meno quarzatiche ed arenarie quarzoso-micacee. Si presentano sempre molto ben stratificati con un rapporto variabile tra la componente quarzatica e filladica, che risulta proporzionale allo spessore degli strati a grana più grossolana. Petrograficamente sono definiti come filladi sericitiche e soprattutto cloritiche, a grana molto fine e con un certo contenuto in albite. Le intercalazioni più grossolane sono costituite da una quarzite a grana relativamente fine a cemento cloritico.

Le Quarziti verdi (S2), che costituiscono il secondo membro della formazione, sono il tipo litologico riscontrato più frequentemente tra gli elementi quarzatici delle "sassaie". Presentano un maggior sviluppo sul rilievo sudoccidentale dei Monti Pisani con uno spessore intorno al centinaio di metri, ma si riducono progressivamente spostandosi verso Nord. Sono caratterizzate da una sottile stratificazione, per lo più incrociata di tipo cuneiforme ed all'interno dei singoli strati è presente una fitta laminazione, marcata da sottili livelli filladici. Il colore della roccia è grigio verdastro o verde chiaro, talora grigio violaceo molto scuro, con spalmature filladiche verdi sulle superfici di strato. La fratturazione, sempre estremamente netta ed angolosa, dà luogo alla formazione di blocchetti regolari con un colore verde o grigio violaceo scuro con patine verdi. Petrograficamente sono definite come quarziti filladiche con notevole sviluppo di clorite, ma nelle facies con alternanze fillosilicatiche più scarse diventano vere e proprie quarziti con cemento quarzatico-micaceo scarsissimo. In alcuni orizzonti sono relativamente abbondanti i feldspati e tra questi l'ortose, quasi sempre fortemente alterata.

Le Quarziti bianco-rosa (S3) del terzo membro sono relativamente

costanti in tutta l'area dei Monti Pisani con uno spessore medio di 150 m. Sono caratterizzate da una regolare stratificazione con una potenza variabile tra 10-20 cm e poco più di un metro. All'interno di esse si possono distinguere più facies, delle quali la più tipica è costituita da quarziti a grana media, compatte e ben stratificate, di colore chiaro, bianco rosato, tendente al bruno nelle parti più alterate. Al tetto delle singole bancate la quarzite passa a vere e proprie filladi sericitico-cloritiche di color verde. Dal punto di vista petrografico si differenziano dalle Quarziti verdi perchè la clorite è quasi assente nella parte quarziticca e risulta invece concentrata nelle lamine e nelle lenti filladiche.

Le Quarziti viola zonate (S4) dell'ultimo membro si sviluppano soprattutto sul versante sudoccidentale ed in particolare tra le Valli di Calci ed Asciano, dove mostrano grana finissima e sono caratterizzate dal colore violaceo e dall'aspetto finemente zonato.

I corpi detritici da noi esaminati sono stati suddivisi in due gruppi sulla base di una presenza sporadica o consistente degli elementi filladici, che possono contribuire per un massimo del 20-25% al volume totale dei blocchi. Le "sassaie" esaminate si distribuiscono quasi equamente nelle due classi istituite in base alla natura litologica dei blocchi. A causa della natura stessa dei litotipi, là dove le quarziti sono prevalenti, la taglia mediamente risulta più grossolana. Questo perchè gli elementi filladici, maggiormente sfaldabili per la scistosità e la stratificazione più fitta, sono generalmente di dimensioni minori di quelli in quarzite, essendo questa una roccia più massiva e resistente. Rigorosamente quarziticci sono ad esempio i blocchi di dimensioni superiori al metro, i quali non rientrano però nell'intervallo di grandezze utilizzato per la definizione granulometrica, essendo delle presenze eccezionali rilevabili esclusivamente nelle "sassaie" di taglia medio-grande.

Il materiale filladico risulta più facilmente mobilizzabile, e costituisce in gran parte il prodotto del ruscellamento superficiale attivo sul deposito. Valutazioni attendibili in merito al grado di rimaneggiamento di singole porzioni del deposito possono essere compiute grazie alla presenza dei licheni, i quali, ricoprendo di norma le facce superiori dei blocchi, si ritrovano sulle facce inferiori o, addirittura, risultano assenti, là dove il deposito è stato alterato per cause naturali o per l'intervento antropico.

### *5. Inclinazione*

La superficie dei corpi risulta priva di brusche variazioni di pendenza, ed il suo andamento rispecchia quello del substrato. Con maggiore

frequenza si rinvencono corpi dal profilo caratteristicamente concavo ed ubicati negli impluvi. Le uniche eccezioni ad un profilo linearmente continuo sono costituite, come già osservato, dalle eventuali ondulazioni.

È stato effettuato un calcolo dell'inclinazione media di ciascun corpo, e i valori ottenuti si distribuiscono ordinatamente attorno a quello più frequentemente ricorrente di 27°. In un unico caso il dato risulta disomogeneo: si tratta del corpo T1, situato a nord-ovest del M.Cascetto, che poggia su di un versante notevolmente meno acclive degli altri.

## 6. Esposizione

L'orientazione dei versanti sui quali si rinvencono le "sassae" è variabile, ma prevale, anche sulla base dell'estensione, l'esposizione meridionale. Il dato risulta fortemente condizionato dalla maggiore estensione e concentrazione dei corpi detritici nella Valle di Agnano, in cui prevale un'esposizione sudoccidentale ed inoltre dai maggiori spessori di affioramento delle quarziti sul versante occidentale dell'intero rilievo dei Monti Pisani.

### *Aree di alimentazione*

Nessuno dei corpi osservati risulta sovrastato da un'evidente scarpata che abbia potuto produrre il materiale che costituisce il deposito. Tuttavia in molti casi le sommità dei versanti sui quali si appoggiano le "sassae" sono costituite da creste ben nette, che possono rappresentare i residui di una degradazione intensa e prolungata.

Il membro della formazione interessata che più di frequente costituisce queste creste è quello delle Quarziti bianco-rosa (S3). Esse risultano più resistenti alle azioni di smantellamento rispetto agli altri membri della formazione, grazie alla prevalenza dei litotipi quarziticci al loro interno. Frequentemente al di sotto delle Quarziti bianco-rosa affiorano le Quarziti verdi (S2), più filladiche ed aventi uno spessore assai minore della S3.

### *Stratigrafia dei depositi*

Non è stato semplice compiere osservazioni dirette sulla stratigrafia dei depositi esaminati, in quanto, a causa della natura stessa dei materiali, risulta impossibile ottenere una sezione all'interno dei corpi senza l'ausilio di un potente mezzo meccanico. D'altro canto, là dove

alcune "sassaie" vengono attraversate da strade carrozzabili la visione della sezione è spesso impedita o dalla costruzione di un muro di contenimento, oppure dai crolli massicci di blocchi sulla medesima.

Alcune rare sezioni esposte ci hanno permesso di stimare che lo spessore delle colate nella loro porzione centrale sia di almeno 3 m. Inoltre si rileva in tutti i casi l'assenza di matrice fine nella porzione più superficiale del deposito (1-2 m), che si presenta costituita da un accatastamento di grossi blocchi squadrati, con disposizione puramente casuale (ad eccezione di una blanda isorientazione degli elementi più appiattiti), e con una progressiva e leggera diminuzione della taglia in profondità.

In due casi le sezioni ci permettono di osservare il passaggio dalla superficie del deposito al substrato. Nel primo di essi (CC1), presso Campo di Croce (Fig. 4), al di sotto di 70 cm di livello a blocchi si osserva un graduale passaggio ad un livello inferiore nel quale la frequenza dei blocchi diminuisce e compare una frazione di clasti di dimensioni centimetriche immersi in una matrice limosa che diventa prevalente a partire da 130 cm di profondità. Il livello inferiore, costituito da un limo molto compatto e rubefatto ed osservabile per uno spessore di una trentina di centimetri, si presuppone costituisca la base del deposito, in conformità con la situazione osservata presso Costa Moriglione. Infatti nei pressi di questa località, un taglio per la costruzione di una rotabile ha messo in luce la stratigrafia del deposito CC3, dove al di sotto di un livello a blocchi spesso circa 4 m se ne individua un secondo, basale, nel quale i blocchi stessi e tasche di ciottoli sono immersi in una matrice limosa. In posizione più distale la medesima sezione presenta un'assottigliamento del livello superficiale a blocchi, che va riducendosi sino ad un metro circa di spessore, e prima della sottostante roccia in posto si osserva uno strato intermedio in cui sono presenti anche clasti di dimensioni centimetriche e un materiale interstiziale limoso, fino ad un livello basale interamente limoso e rubefatto, potente pochi centimetri, che costituisce un probabile suolo sepolto giacente sulla roccia in posto.

Una situazione simile, in proporzioni più ridotte, si può osservare a ridosso della cresta del M. Cimone, dove una sezione del deposito C1 mostra al di sotto del livello detritico grossolano, potente da 70 cm al metro e mezzo, uno strato di clasti centimetrici appiattiti supportati da una matrice rossastra con uno spessore di circa un metro, che giace sul substrato.

Si può pertanto ipotizzare che tutti i depositi presentino alla base un substrato fine di modesto spessore e che la vegetazione non riesca

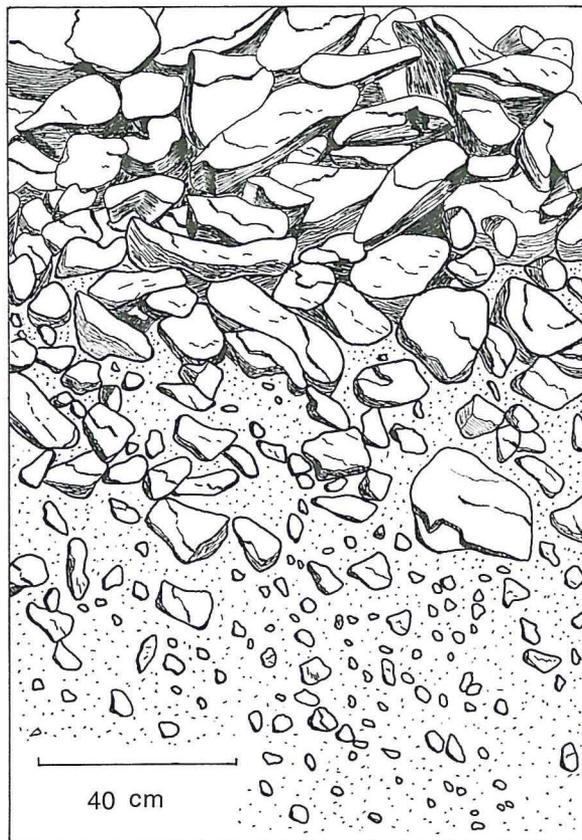


Fig. 4 - Sezione del deposito CC1 (Località Campo di Croce).

ad instaurarsi là dove esso è troppo profondo. In questo modo anche le isole sporadiche colonizzate nel corpo delle "sassaie", essendo ubicate in corrispondenza di blande depressioni, possono formarsi per l'azione del ruscellamento superficiale che accumula e smista i prodotti più minuti, ma anche grazie alla minor profondità dello strato costituito dal materiale interstiziale fine.

#### CONFRONTO CON I DATI BIBLIOGRAFICI

Le caratteristiche morfologiche, tessiturali e granulometriche delle "sassaie" dei Monti Pisani mostrano molte analogie con depositi già noti in letteratura e generalmente definiti nella ricerca in Italia come

"colate di pietre". Questo termine fu introdotto da CAPELLO (1960) nella sua accurata analisi sistematica dei fenomeni crionivali, nella quale descriveva le colate di pietre come "depositi di pietre senza terra, isolate, mobili, aventi un contorno ben definito, ma abbastanza uniformi, simili a lingue scorrenti che si sviluppano sia su pendii, sia nei solchi che li incidono, sia nei solchi di impluvio dei valloncelli". Capello si basò, nella sua descrizione, non soltanto sulle sue osservazioni personali ma anche sulle definizioni date precedentemente da Troll, Tricart, Cailleux e Nangeroni. L'origine delle colate di pietre è attribuita da Capello al disfacimento criergico e all'ammasso per soliflusso, mentre lo scorrimento potrebbe essere causato e favorito sia dalla copertura discontinua della neve sia dalle alterne azioni di gelo e disgelo. La descrizione di Capello può essere ritenuta valida per una prima caratterizzazione della forma e dell'origine delle colate di pietre e per una loro precisa distinzione dai campi di pietre e dalle pietraie semoventi (*rock glacier*).

Il termine anglosassone corrispondente all'italiano colate di pietre è *block stream*, usato per la prima volta nel 1906 da Andersson, il quale osservò depositi di questo tipo nelle Isole Falkland (WASHBURN, 1973). Per Washburn i *block stream* sono depositi costituiti da materiali grossolani e angolosi, confinati nelle valli oppure con forma stretta e lineare su pendii più ripidi di 5°, derivati da crioclastismo ed evoluti per fenomeni di *frost-creep* e geliflusso. Depositati analoghi vengono denominati da Tricart e dai geomorfologi francesi come *coulées de bloc o coulées de blocailles sans limon* (TRICART, 1981).

Molti autori concordano nelle descrizioni degli aspetti granulometrici e tessiturali della superficie delle colate di pietre, riscontrando una pezzatura grossolana con blocchi anche di alcuni metri cubi ed una totale assenza di materiale interstiziale (Martin in: WASHBURN, 1973; Caine, in: WASHBURN, 1973; TRICART, 1981; CLARK e CIOLKOSZ, 1988; GINESU, 1990). La difficoltà di avere informazioni dalle sezioni in profondità dei depositi non ci consente di confrontarci con molti esempi, ma la divisione operata da Caine sui depositi della Tasmania presenta, a parte gli spessori, una buona similitudine con le "sassaie": Egli distinse, partendo dalla superficie, un livello di blocchi con tessitura *open-work* fino ad una profondità di oltre 3 m, poi un livello intermedio di 10-30 cm caratterizzato da fango umido interstiziale tra i blocchi ed infine un livello basale giacente sul substrato e costituito da blocchi con un riempimento interstiziale di sabbia siltosa oppure da sabbia siltosa senza blocchi. Inoltre Caine riscontra come il progressivo aumento in profondità del materiale

fine interstiziale sia osservabile anche spostandosi lateralmente in superficie verso i bordi del deposito, dove la vegetazione va a ricoprire il *block-stream* proprio in corrispondenza dell'affioramento del livello con il riempimento interstiziale. Osservazioni simili sono state fatte sugli Appalachi da POTTER e MOSS (1968) sul *block stream* di The Blue Rock e da Martin (in: WASHBURN, 1973) sul *block stream* di Devil's Racecourse.

Una tessitura parzialmente imbricata e una orientazione degli assi maggiori dei blocchi lungo la direzione di massima pendenza è stata osservata in particolare solo da alcuni autori come Cailleux e Klatka (in: WASHBURN, 1973) che dalle osservazioni in Polonia ritenne che questa imbricazione fosse più evidente alla base dei pendii e Caine (in: WASHBURN, 1973) che notò come al piede dei versanti l'orientazione degli assi maggiori cambiava e diventava trasversale al gradiente. Molto ridotte sono le descrizioni fatte da alcuni Autori sulla morfologia specifica delle colate di pietre e sulla eventuale presenza di cordoni laterali e trasversali o depressioni semi circolari (CAPELLO, 1960; DERRUAU, 1988; Martin in: CLARK e CIOLKOSZ, 1988; GINESU, 1990; HARRIS, 1982).

Sulla forma del deposito prevale, nelle descrizioni dei *block stream*, quella allungata, tipo colata, disposta con maggiore frequenza in vallette o leggeri impluvi, ma, come ha riscontrato anche GINESU (1990) nel Logudoro, possono coesistere anche forme estese che tendono a coprire uniformemente l'intero versante. I *block stream* studiati da Ginesu sono costituiti da blocchi di basalto di grossa taglia (diametri anche superiori a 1,5 m) e la loro esposizione è prevalentemente settentrionale, mentre le eccezioni sono compensate da una maggiore altitudine. La pendenza risulta di circa il 20-30% ed assume valori superiori solo quando intervengono processi gravitativi e di ruscellamento. A parte questi dati, sulle esposizioni prevalenti così come sulle pendenze, non ci sono in letteratura informazioni che consentano di definire valori o caratteristiche prevalenti, utili per una migliore comprensione morfogenetica delle colate di pietre.

Le litologie, pur rimanendo nell'ambito dei tipi più gelivi e resistenti ai processi erosivi, sono molto diverse. Questo aspetto risulta evidente ad esempio sugli Appalachi ove possiamo osservare *block stream* costituiti da ortoquarziti, arenarie, conglomerati, metabasalti e da un'ampia varietà di rocce ignee e metamorfiche ove prevale la componente quarzosa.

#### GENESI AD ETÀ DI FORMAZIONE

Dal confronto bibliografico emergono non soltanto differenze ine-

renti alla forma e alle caratteristiche tessiturali dei *block-stream* osservati nelle diverse parti del mondo, ma anche differenze tra gli Autori sull'interpretazione degli agenti morfogenetici e dei meccanismi di movimento delle colate.

La difficoltà di determinare in modo univoco gli agenti morfogenetici dominanti e le condizioni climatiche, morfologiche e litologiche che favoriscono l'origine dei *block stream* impongono anche per le "sassaie" una serie di valutazioni specifiche, che diano il giusto peso ai singoli fattori locali che hanno originato e predisposto il fenomeno. Un dato sicuro di partenza è il crioclastismo, indicato da tutti gli autori come il solo processo di disgregazione fisica capace di produrre per un lungo periodo di tempo la grandi quantità di detriti che costituiscono i *block stream*. Nell'ambito delle formazioni che affiorano sui versanti dei Monti Pisani, possiamo ritenere i membri S2 (Quarziti verdi) ed S3 (Quarziti bianco-rosa) delle Quarziti di M. Serra come i litotipi più gelivi per le caratteristiche petrografiche e per le condizioni di stratificazione e fratturazione descritte nel paragrafo sulla litologia. Tuttavia nella composizione dei blocchi che costituiscono i depositi, si osserva una leggera prevalenza delle Quarziti verdi in contrasto con la maggiore estensione degli affioramenti di Quarziti bianco-rosa a monte delle colate, soprattutto in prossimità delle creste. Inoltre, il carattere più massivo e di minore erodibilità delle Quarziti bianco-rosa, legato probabilmente alla minore componente argillosa, si riscontra anche nelle maggiori dimensioni e nella forma meno appiattita dei blocchi. Riteniamo che là dove affioravano entrambi i litotipi, l'azione crioclastica sia stata più intensa sulle Quarziti verdi, di cui non si rinvengono più le scarpate di alimentazione e i cui affioramenti a monte si presentano molto ridotti e difficilmente cartografabili. Solo per alcuni depositi prevalentemente costituiti dalle Quarziti bianco-rosa è ancora possibile individuare in alcune creste come quelle della Cima Stipareccia (G1, G2, G3, G4, A1, A2), de La Costia (A6, A7, A10, P1, P2) o del M. Faeta-Verruchino (A4, A5, V1) le aree di alimentazione originarie. Se a queste osservazioni aggiungiamo il fatto che le "sassaie" sono per lo più situate nella parte intermedia dei versanti e senza forti contrasti con l'uniformità del pendio, ne deriva già un quadro morfologico e litologico che indica come questi corpi detritici appartengano all'evoluzione dei versanti dei Monti Pisani da molto tempo e per lo meno da quando è risultata molto marcata l'azione morfoselettiva sui due litotipi quarziticci.

La forma prevalentemente a colata delle "sassaie" con sviluppi longitudinali medi di 150-200 m e la presenza di elementi quarziticci nel detrito provenienti da affioramenti posti a quote di dislivello anche di

350 m sono due elementi già determinanti per affermare che sia avvenuta un'azione di trasporto rilevante lungo i pendii. Ad esempio le colate che sono scese nella Valle di Agnano fino a 150 m di quota, alimentate dalla cresta di Quarziti bianco-rosa de La Costia, hanno percorso il versante per almeno 350 m.

La presenza di materiale interstiziale fine tra i blocchi al di sotto di un metro e mezzo circa nelle sezioni esposte ed ai margini delle colate sembrano indicare che al movimento e alla formazione del deposito abbia contribuito anche una matrice limosa, difficilmente attribuibile alla sola azione del ruscellamento secondario, dal momento che il livello intermedio non presenta una tessitura granulo sostenuta come nella parte superiore. Sulla base delle nostre osservazioni le ipotesi espresse da DERRUAU (1988) sulla genesi dei *block stream* ci appaiono come le più congruenti. Secondo Derruau una volta che i detriti sono messi in posto sui versanti per azione del crioclastismo e vengono successivamente ricoperti dalla neve, il ghiaccio sciogliendosi parzialmente penetra tra i blocchi così da infiltrarsi fino alla base del detrito e ricongelarsi. I blocchi vengono avvolti da cuscinetti di ghiaccio, mentre la frazione fine scende alla base del detrito per ruscellamento ed occupa il fondo. Il suolo sottostante può essere interessato da cicli di gelo e disgelo e da fenomeni di soliflusso. I cuscinetti di ghiaccio e le parti fini in soliflusso sono perfettamente capaci di trasportare i blocchi e, dentro la massa del detrito, il ghiaccio negli interstizi sposta ciascun blocco componendo un puzzle che fa sì che la disposizione non presenti più classazione. In sintesi, all'azione della disgregazione crioclastica sugli affioramenti rocciosi si associerebbe la presenza periodica di un manto nevoso, mentre il soliflusso, favorito dalla pendenza, agirebbe sulla porzione inferiore limosa del deposito.

Questa interpretazione non esclude la presenza di un suolo originario sepolto dalla colata di pietre e interessato anch'esso dal soliflusso. Inoltre si può concordare con Derruau su altri due aspetti che caratterizzano la morfologia del deposito e la granulometria dei blocchi. I cordoni longitudinali e laterali e le piccole concavità presenti soprattutto sulle "sassaie" che hanno una minore acclività (T1, P1, A10) o sono situate sui versanti più settentrionali (C1, S1, S2, SB1) possono derivare da una maggiore crioturbazione sulle pietre del deposito la quale agisce in modo disuguale a seconda dei punti; le condizioni locali come la differente quantità di clasti più fini in aree diverse o la variabilità del livello intermedio con la matrice interstiziale avrebbero esercitato un'azione differenziale che si traduce sulla

morfologia superficiale in cordoni, convessità e piccole concavità. Il secondo aspetto meno rilevante è il fatto che il gelo agisce sui blocchi anche posteriormente alla caduta (Fig. 5) operando una riframmentazione, ma questa azione tuttavia risulterebbe limitata solo in superficie. Grazie a questo soliflusso differenziale i blocchi, staccatisi per gelifrazione dalle pareti rocciose e adagiati sul versante, sarebbero stati convogliati in corrispondenza di vecchi impluvi o deboli concavità, stabilizzandosi là dove la pendenza era appena inferiore all'angolo di riposo dei materiali.



Fig. 5 - Particolare del deposito S1 (a nord-ovest dello Spuntone di Sant'Allago). Blocco di Quarzite verde riframmentato dal crioclastismo.

Abbiamo già osservato nella descrizione sulla litologia dei blocchi che i depositi composti prevalentemente da Quarziti verdi si estendono sul versante tirrenico dei Monti Pisani, in stretta relazione con i più frequenti e potenti affioramenti di questo membro quarzítico. A parte l'influenza litologica, concordiamo con le osservazioni di Potts (in: THORN, 1979) sulla stima delle esposizioni più favorevoli per la produzione crioclastica dei materiali dei *block stream*. Infatti, i siti migliori risulteranno quelli con una copertura nevosa mediamente spessa, che si scioglie abbastanza presto in primavera tanto da essere esposti

quando il raffreddamento giornaliero al di sotto del punto di congelamento è ancora frequente. Studi compiuti da Mathis (in: CARTON e PELFINI, 1988) circa l'andamento delle temperature sulle superfici rocciose diversamente orientate hanno evidenziato che quelle esposte ad est, ovest e sud beneficiano di un ciclo efficace di gelo e disgelo, ma l'intensità del ciclo risulta più proficua per le superfici esposte ad ovest che risentono di una temperatura minima più bassa delle altre. Tali condizioni possiamo individuarle più facilmente proprio sui versanti sud-occidentali della Valle di Agnano o della Val Graziosa in cui troviamo le "sassaie" più estese. Le condizioni climatiche tipiche di un ambiente periglaciale in cui hanno agito il crioclastismo ed i processi crionivali possiamo ritrovarle attualmente sui *block stream* attivi della Norvegia (HARRIS, 1982). Qui rilevazioni termiche accurate hanno valutato che la temperatura media annua in corrispondenza del limite inferiore della zona interessata dal fenomeno delle colate di pietre è pari a  $-3,1^{\circ} \pm 1,9^{\circ}\text{C}$ .

Le ricostruzioni del limite delle nevi permanenti sulle Alpi Apuane nell'acme glaciale würmiano compiute da BRASCHI, DEL FREO e TREVISAN (1986) forniscono un valore di 1250 m circa per il versante tirrenico della catena. Attualmente nelle località alpine, situate a 2800-3000 m, in corrispondenza del limite delle nevi, si registra una temperatura media annua di circa  $-6^{\circ}\text{C}$ , con un'escursione termica media annua di  $12^{\circ}\text{-}13^{\circ}\text{C}$ . Collocando nel Würm a 1250 m un valore di temperatura media annua di  $-6,0^{\circ}\text{C}$  e tenendo conto del gradiente adiabatico dell'aria umida, si ottiene che in una fascia altimetrica compresa tra 100 e 750 m, si ritrovano i medesimi valori termici misurati nel limite inferiore della zona a *block stream* della Norvegia. Si può obiettare che sui Monti Pisani l'escursione termica media annua potrebbe essere stata inferiore a  $12^{\circ}\text{-}13^{\circ}\text{C}$ , date le quote inferiori rispetto alle Alpi e l'azione mitigatrice del mare, ma anche alzando il limite delle nevi würmiano a 1300 m e abbassando la temperatura media annua a  $-5^{\circ}\text{C}$ , si ottiene comunque una fascia altimetrica che comprende interamente le quote minime e massime delle "sassaie".

Le osservazioni sul glacialismo apuano non hanno ancora individuato con precisione i limiti delle nevi permanenti per gli stadi di ritiro tardiglaciali, ma dall'insieme delle considerazioni precedenti appare evidente che le condizioni periglaciali del Würm Principale fossero le più favorevoli per la formazione delle colate di pietre. Ovviamente non si può escludere a priori che soprattutto per i depositi posti a 700-800 m, nei periodi più freddi e umidi del Tardiglaciale si sia avuta una ripresa dei processi crioclastici e crionivali.

## CONCLUSIONI

L'interpretazione delle "sassaie" come depositi di origine periglaciale (colate di pietre o *block stream*) appare, alla luce di quanto fin qui esposto, supportata da sufficienti evidenze. Quanto ai meccanismi genetici, si riconosce l'importanza dei processi crioclastici nella formazione di gelifratti e di quelli di soliflusso per la loro messa in posto. Disponendo di sezioni fresche e sufficientemente estese dei corpi si indagherebbe meglio sulla natura del substrato fine che, come accennato, potrebbe presentare a livello basale i caratteri di un suolo sepolto.

Il contesto paleogeografico nel quale il processo si deve essere svolto risulta abbastanza ben delineato, grazie agli studi disponibili su *block stream* attivi (HARRIS, 1982). Nel precedente capitolo si sono illustrate le caratteristiche dell'ambiente di formazione delle colate di pietre, che corrispondono a quelle di un ambiente periglaciale umido, tipico dei margini di un'area glacializzata a forte energia di rilievo e non lontana dal mare. Tale situazione morfoclimatica può avere caratterizzato i Monti Pisani durante la fase di massima espansione dell'ultimo glaciale, che si ritiene essersi verificata attorno a 18-20.000 anni fa, quando il limite delle nevi sul contiguo massiccio delle Apuane era sceso sino a 1250 m.

Quanto alla riattivazione dei depositi tipo colate di pietre documentata in altre parti del mondo (HUPP, 1983) non si sono osservati qui i fenomeni descritti dall'Autore citato sui *block stream* degli Appalachi, quali l'uncinatura della base degli alberi cresciuti sui depositi e l'abbondanza di massi privi di copertura lichenica sulla faccia superiore. Il ruscellamento interessa le "sassaie" solo nella loro porzione superficiale, e limitatamente ai clasti di dimensioni minori, mentre il corpo del deposito risulta sostanzialmente stabile, e là dove i blocchi appaiono rimossi si riconosce facilmente la mano dell'uomo.

## RINGRAZIAMENTI

Dobbiamo un vivo ringraziamento al Prof. P.R. Federici per aver richiamato alla nostra attenzione le peculiarità delle "sassaie" dei Monti Pisani e per la lettura critica del manoscritto.

## BIBLIOGRAFIA

BRASCHI S., DEL FREO P., TREVISAN L. (1986) - Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem.*, **93**, serie A, 203-219.

- CAPELLO C.F. (1960) - Terminologia e sistematica dei fenomeni dovuti al gelo discontinuo. 128-141, G. Chiappichelli, Torino.
- CARTON A., PELFIN M. (1988) - Forme del paesaggio d'alta montagna. Zanichelli, Bologna.
- CLARK G.M., CIOLKOSZ E.J. (1988) - Periglacial geomorphology of the Appalachian Highlands and the Interior Highlands south of the glacial border - A review. *Geomorphology*, **1**, 191-220.
- DERRUAU M. (1988) - *Precis de Géomorphologie*, 211-212, Masson, Paris.
- FEDERICI P.R. (1981) - The quaternary glaciation on the seaward side of the Apuan Alps. *Riv. Geogr. Ital.*, **88**, 183-199.
- GINESU S. (1990) - Periglacial deposits in Sardinia: the blokstreams near Pranu Mannu. *Geogr. Fis. Dinam Quat.*, **13**, 179-181.
- HARRIS C. (1982) - The distribution and altitudinal zonation of periglacial landforms, Okstindan, Norway. *Z. Geomorph.*, **26/3**, 283-304.
- HUPP C.R. (1983) - Geo-botanical evidences of late quaternary mass wasting in block field areas of Virginia. *Earth Surf. Proc. and Landf.*, **8**, 439-450.
- RAU A., TONGIORGI M. (1974) - Geologia dei Monti Pisani a sud-est della Valle del Guappero. *Mem. Soc. Geol. It.*, **13**, 227-408.
- THORN C.E. (1979) - Bedrock freeze-thaw weathering regime in an alpine environment, Colorado Front Range. *Earth Surf. Proc. and Landf.*, **4**, 211-288.
- TRICART J. (1981) - *Géomorphologie Climatique. III*, Société d'édition d'enseignement supérieur, Parigi.
- WASHBURN A.L. (1973) - Periglacial processes and environments. 191-193, Edward Arnold, Londra.

(ms. pres. il 20 marzo 1995; ult. bozze il 14 giugno 1995)