

## PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE DELLE "PSEUDOCARNIOLE" DELL'ALTA VALLE DI SUSÀ (ALPI OCCIDENTALI)

Walter Alberto<sup>1</sup>, Francesco Carraro<sup>1</sup>, Marco Giardino<sup>1</sup> & Davide Tiranti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino. Via Valperga-Caluso, 35 - 10125 Torino

<sup>2</sup>ARPA Piemonte - Area Previsione e Monitoraggio Ambientale. C.so Unione Sovietica, 216 - 10134 Torino

RIASSUNTO: W. Alberto, F. Carraro, M. Giardino, D. Tiranti, *Proposta di classificazione delle "Pseudocarniole" dell'Alta Valle di Susa (Alpi occidentali)*. (IT ISSN 0394-3356, 2005).

Nelle Alpi occidentali, tra le rocce indicate in letteratura come evaporiti triassiche sono presenti litofacies che mostrano marcate differenze di tessitura, composizione, geometria, posizione stratigrafica e strutturale evidenziando quindi probabili differenze di genesi ed età. Tali rocce, definite in via provvisoria "pseudocarniole" a causa dell'apparente convergenza di facies con le carniole autentiche, sono l'oggetto del presente studio.

La ricerca si è sviluppata principalmente sul terreno ed è stata successivamente approfondita avvalendosi di microanalisi (catodoluminescenza e SEM).

In base ai caratteri litologici, tessiturali, strutturali, ai rapporti con altre rocce, alle relazioni con la deformazione, il carsismo e l'alterazione viene proposta una classificazione distinta in diverse facies:

- *pseudocarniole "autoclastiche"* (termine provvisorio): breccie monogeniche dolomitiche o calcaree, in cui è ancora ben distinguibile l'originaria stratificazione della roccia d'origine;
- *pseudocarniole residuali*: breccie monogeniche dolomitiche o calcaree, caotiche e talvolta ricche di matrice;
- *pseudocarniole detritiche*: breccie e conglomerati carbonatici poligenici;
- *pseudocarniole incrostanti*: crostoni superficiali di cemento carbonatico;
- *pseudocarniole tettoniche*: breccie carbonatiche caratterizzate da tessiture variabili ma localizzate in corrispondenza di contatti tettonici.

In base ai dati emersi dalla recente letteratura e dai risultati delle ricerche condotte nell'ambito del presente studio, la genesi delle *pseudocarniole* risulta legata all'interazione e alla sovrapposizione di numerosi processi tra i quali il meccanismo-guida è rappresentato dalla dissoluzione di rocce carbonatiche e gessoso-anidritiche indotta dalla circolazione di fluidi. La diffusa dissoluzione ha instaurato una situazione di generale instabilità dell'ammasso roccioso con conseguente assestamento gravitativo i cui riflessi superficiali hanno attivato processi di deformazione gravitativa di versante.

Alla dissoluzione si accompagnano generalmente altri processi (tettonica distensiva e trascorrente, tettonica gravitativa, idratazione delle anidriti, carsismo, ecc.) che possono agire in momenti diversi e con intensità molto variabile. Ne risultano quindi diversi tipi di *pseudocarniole* che costituiscono corpi di dimensioni, geometria, associazioni assai variabili.

Infine i dati cronologici indiretti ricavati da analisi polliniche e da osservazioni dei rapporti intercorrenti tra le pseudocarniole e gli altri termini geologico-strutturali (es. assenza di evidenze del coinvolgimento di tali rocce da parte della deformazione e del metamorfismo alpino), concorrono nell'indicare che il processo evolutivo di tali rocce appare svolgersi in un intervallo di tempo in genere ampio, diverso a seconda delle facies considerate ed inquadrabile tra un limite massimo rappresentato dal post-Oligocene ed il Presente, in cui la rielaborazione carsica pleistocenica rappresenta molto spesso il processo maggiormente responsabile dell'attuale aspetto.

ABSTRACT: W. Alberto, F. Carraro, M. Giardino, D. Tiranti, Classification proposal of the "Pseudocarniole" of high Susa Valley (Western Alps). (IT ISSN 0394-3356, 2005).

*In the Italian, French, Swiss and German Alpine geological literature, among the lithological terms used to define Triassic formations, it is possible to find a group of rocks called "carniole", "cornieules", "cargneules", "Rauhacken". Normally, they are interpreted as evaporitic Triassic rocks (further on described as "true" carniole) but they can also be described as rocks similar to the evaporites with some differences in their texture, composition, geometry, stratigraphical and structural distribution as well as in their genesis and age (such lithofacies are provisionally known as "pseudocarniole").*

*Particularly, in the sheets of the Geological Map of Italy, 1:100.000 in scale where the Upper Susa Valley is included (Map 66 "Cesana Torinese"), the above rocks are all interpreted as "Triassic evaporites".*

*The main object of the present paper consisted in the acquisition of more data concerning the different classification problems for the pseudocarnioles. Throughout a detailed survey and a precise interpretation, integrated by microanalysis, it was possible to elaborate a genetic model for the pseudocarnioles of the Upper Susa Valley. The study has been formulated modularly so that it could be used in other study-fields.*

*The data collection was mainly developed on the field and subsequently studied by thin section microanalysis, some of which were observed by cathode-luminescence (CL) and by scanning electron microscope (SEM). These close examinations have permitted to specify the relationships among the different types of pseudocarnioles depending on the relationships between the different carbonatic cements found in them. It has also allowed the definition of the fragments nature, the reconstruction of the sedimentary processes that have determined or conditioned their origin, as well as the influences of the deformation processes on their texture and structure.*

*The field data collection, their modular and normalized fill-in forms (information cards) and the analysis of some pre-established situations has led to the individualization of five principal facies to which correspond many other genetic mechanisms:*

- "Autoclastic Pseudocarniole", constituted by monogenetic breccias (calcareous or dolomitic); the fragments are always angular, and do not show any kind of rotation signs, they have varying dimensions from less than a centimetre to more than some meters and a chaotic distribution. Sometimes they preserve stratification traces, more or less disguised by the fractures, inherited by the original "protolite". The possible mud matrix is locally associated to more generations of cement. In some cases the spaces between the fragments are empty.
- Residual Pseudocarniole: they are constituted by monogenetic breccias (calcareous or dolomitic), more rarely polygenetic, with angular not selected fragments always with matrix. Locally they show a weak stratification.
- Detrital Pseudocarniole: constituted both by polygenetic breccias, with varying dimensions, matrix always present and clast- or matrix-supported, or by thin sand-silt sediments. Depending on the texture variability, it is possible to make a further subdivision in sub-facies with different genetic mechanisms (detrital sub-facies without transport, detrital sub-facies with transport, this last one distinguished in detrital sub-facies by channelled water transport, detrital sub-facies by stream water transport, detrital sub-facies by

stream water from fill-in epigeous karst cavities).  
 - Incrustation Pseudocarniole: composed by abundant quantities of carbonatic poligenetic cement, polychrome, with small angular fragments of a different nature; typical vacuolar aspect.  
 - "Tectonic" Pseudocarniole: characteristic varying textures, but all with tabular geometry and distribution along movement planes and shear zones. Inside it is possible to recognize some deformation signs (boudin lithons, movement surfaces) as well as non-deformed portions.

Among the different processes of interaction and/or overlap of the pseudocarnioles, some indicate a predisposing role, some a determinant one and many others a conditioning one.

The main formation mechanism of the pseudocarnioles is represented by chalk and anhydrite dissolution with sulphate-ion rich fluids, that were even able to attack the dolomitic rocks (Fig. 5). The general dissolution and the presence of deep cavities from chalk dissolution have determined the decline of the geo-mechanical characteristics of the rock with the consequent collapse and formation of the "autoclastic pseudocarnioles". Locally, gravity has offered real collapses with the formation of the residual pseudocarnioles. All of this can be followed by one or more cementation phases.

Dissolution can be accompanied by other processes (transcurrent and stretching tectonic, gravitational tectonic, anhydrite hydration, karst, etc.) that can act independently, repeatedly and in different moments, with varying intensity. The rocks resulting from these processes are known as "tectonic" pseudocarnioles and detrital pseudocarnioles, and can also act independently and repeatedly from the processes.

The different types of pseudocarnioles constitute bodies with different dimensions, geometries and associations, each of which with the signs left behind by the conditioning processes.

Along the outcrops, the Ca-carbonate precipitation from the circulating waters and the surface streams has induced the travertines formation with the development of decimetric cemented crusts: the incrustation pseudocarnioles.

The results furnished by the preliminary pollen analysis together with the relationships found among the detrital sub-facies by stream waters and some manufactured objects, indicate that the genetic process of the pseudocarnioles takes place between the post-Oligocene and Today. Thus, it is possible to ascertain that the genesis of the pseudocarnioles does not correspond to the Triassic, but it might start at the very beginning of the recent evolution

Parole chiave: evaporiti, dissoluzione, carsismo, carbonati, Quaternario, Valle di Susa, Piemonte, Italia.

## 1. INTRODUZIONE

Il termine "*pseudocarniola*" viene utilizzato in questo lavoro per indicare quelle rocce della catena alpina occidentale le quali, benché note in letteratura come "evaporiti triassiche" per la natura carbonatica e l'aspetto vacuolare, mostrano di inglobare clasti a metamorfismo alpino e di non essere interessate dalla deformazione "duttile" alpina: per questi motivi viene loro attribuita dagli autori una genesi ed un'età differente dalle "vere" carniole.

Lo scopo delle ricerche delle quali il presente lavoro rende conto è consistito nell'elaborazione di una classificazione delle "*pseudocarniole*" della Valle di Susa. Per mezzo di un rilevamento di dettaglio ed un'interpretazione tramite una procedura, integrata da microanalisi, messa a punto nel corso del lavoro, è stato inoltre elaborato un modello genetico.

Nell'ambiente scientifico alpino, da alcuni decenni, si osserva un certo interesse verso questo tipo di rocce; dall'analisi della letteratura sull'argomento si evince come non vi sia però omogeneità nella terminologia (tra i termini più frequentemente utilizzati, si citano: "carniole", "cornieules", "cargneules", "Rauhacken") e nelle definizioni delle facies. Per questo motivo si è preferito utilizzare il termine "*pseudocarniola*" a indicare tutto l'insieme di rocce che mostra al suo interno forti convergenze di aspetto e per il quale può essere data solamente una definizione di carattere generale: *breccie e conglomerati carbonatici, di aspetto vacuolare e di colore da grigio, a giallo a ocra*.

Molto schematicamente è possibile riunire i diversi modelli interpretativi di queste rocce in tre gruppi principali:

- origine sedimentaria (di età terziaria recente in quanto discordanti su strutture di tettonica terziaria e perché rimaneggiano elementi eocenici superiori o oligocenici) in GRANDJACQUET & HACCARD, 1973, 1975; PATACCA

et alii, 1973; FEDERICI & RAGGI, 1974);

- origine direttamente tettonica (ad es. cataclasi) o in relazione con questa (prodotti di rielaborazione di tettoniti) (es. LEINE, 1968; 1971; MASSON, 1972; FUDRAL, 1998);
- origine per alterazione o per processi estranei e successivi alla sedimentazione e alla tettonica (con geni anche recente, in relazione all'alternata comparsa e scomparsa delle masse glaciali, ad esempio in DEBENEDETTI & TURI, 1975).

Altri lavori inoltre si pongono in posizione intermedia, indicando per le *pseudocarniole* un'origine "mista" sedimentaria e tettonica (WIESENDER, 1971), oppure tettonica e per alterazione (MÜLLER, 1982; RICHARDS & VEARNCOMBE, 1984) di età anche molto recente in quanto sovrapposta alla breccificazione tettonica.

Più di recente si sono andate affermando ipotesi in cui viene sottolineata la complessità e la varietà dei meccanismi genetici, dipendenti anche da fattori locali, il cui risultato sono numerosi tipi di *pseudocarniole* differenti per tessitura, struttura, geometria del corpo e rapporti con le rocce circostanti (CARRARO & MARTINOTTI 1993; GIARDINO, 1995; FUSETTI, 2002; POLINO et alii., 2002).

I meccanismi in grado di trasformare le rocce carbonatiche di partenza in *pseudocarniole* comprendono la dissoluzione (che svolge il ruolo principale e di cui quella carsica sarebbe la più evidente), la dedolomitizzazione, la precipitazione di cementi calcitici e dolomiti. Nei confronti della dissoluzione, la tettonica è considerata come fattore predisponente (BRUCKNER, 1941; ELLENBERGER, 1954; WARRACK, 1974; DEBENEDETTI & TURI, 1975; DEBELMAS et alii, 1980) o come evento successivo (JEANBOURQUIN, 1986, 1988).

Nelle Alpi occidentali le *pseudocarniole* costituiscono numerosi ammassi, di volume da metrico a ettometrico, tipicamente associati a successioni triassiche

di calcari e di dolomie. Con queste mostrano solamente rapporti di sovrapposizione geometrica ma mai stratigrafica originaria: il contatto con il substrato avviene tramite superfici di discontinuità di genesi molto più recenti.

Molto spesso le *pseudocarniole* si trovano associate a evaporiti, in special modo gessi e anidriti (Tav. I foto a); per questo motivo in passato sono state in genere interpretate come autentiche carniole.

Un'altra caratteristica è la loro distribuzione, soprattutto sotto forma di masse allungate e poco potenti, in corrispondenza o in prossimità di importanti contatti tettonici (faglie, sovrascorrimenti) tant'è che in letteratura è stato loro attribuito un significato di "lubrificante tettonico" (analogamente a quello delle carniole triassiche).

## 2. INQUADRAMENTO DELLE AREE IN STUDIO

Oggetto del presente studio sono alcuni ammassi di pseudocarniole affioranti in alta Valle di Susa, all'estremo settentrionale delle Alpi Cozie. Gli ammassi studiati, riportati in Fig. 1, si trovano sulle pendici del M. Segurét, a Sud di Bardonecchia e in Val Thurax.

Nell'alta Valle di Susa affiorano unità appartenenti, nelle interpretazioni classiche, ai "domini paleogeografici" piemontese e brianzonese (Fig. 1).

Seguendo lo schema interpretativo di POLINO *et alii* (2002), proposto in base ai risultati delle indagini effettuate recentemente per la realizzazione del Foglio 132-152-153, "BARDONECCHIA", della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, sono state distinte una serie di unità tettonostratigrafiche (*sensu* DELA PIERRE *et alii*, 1997) definite rispettivamente "di margine continentale", "oceaniche" e "ofiolitiche".

Le "unità di margine continentale" comprendono:

- un basamento cristallino pre-triassico mono- e poli-metamorfico e una successione autoctona di metasedimenti mesozoici di copertura, costituita da calcescisti, marmi e quarziti. Questo insieme viene indicato come Unità tettonostratigrafica dell'Ambin.

- un gruppo di unità di copertura, a prevalenti rocce carbonatiche mesozoiche e a subordinati calcescisti.

Le "unità oceaniche", intese come unità deposte su crosta oceanica, mostrano successioni costituite da prevalenti calcescisti e da subordinati marmi, quarziti e "pietre verdi".

Le "unità ofiolitiche" sono costituite da successioni a prevalenti calcescisti e ofioliti; la loro deposizione su crosta oceanica non è certa.

Il quadro deformativo duttile delle unità a calcescisti del Dominio piemontese è stato analizzato nel dettaglio da ALLENBACH (1982) e ALLENBACH & CARON (1986).

La deformazione duttile polifasica delle unità dell'Ambin è ben espressa nei lavori di LORENZONI, (1965), GAY (1971), CALLEGARI *et alii* (1980), ALLENBACH & CARON (1986), BORGHI & GATTIGLIO (1997).

La successione dei principali eventi deformativi alpini si può sintetizzare nel modo seguente:

- F1 e F2: sviluppo delle prime due fasi deformative sci-stogene di età alpina ad assi tra loro trasversali;
- F3: deformazione alpina a vergenza orientale associata alla traslazione delle falde alloctone sui terreni autoctoni del Massiccio dell'Ambin;
- F4: generazione di pieghe a doppia vergenza centrifuga (verso Nord e verso Sud) associate ad una fase tardiva in cui avviene il sollevamento del Massiccio dell'Ambin.

Per quanto concerne la deformazione fragile, questa è

rappresentata da tre principali sistemi di faglie sub verticali: N60, N100/N140 e submeridiana.

- Il sistema N60, con intervallo di valori compresi tra N40 e N70, presenta sistemi coniugati di tipo distensivo con piani immergenti a NW e SE con marcate evidenze di trascorrenza sinistra.

- Il sistema N100/N140 mostra un debole carattere trascorrente destro ed evidenze di distensione con prevalente ribassamento dei lati meridionali.

- Il sistema submeridiano, con valori di direzione dei piani compresi tra N160 e N10, è caratterizzato da movimenti di tipo distensivo.

Per quanto riguarda i dati di inquadramento delle aree di studio nell'ambito dell'evoluzione neotettonica di questo settore della catena, occorre premettere che l'intervallo di tempo considerato non è strettamente

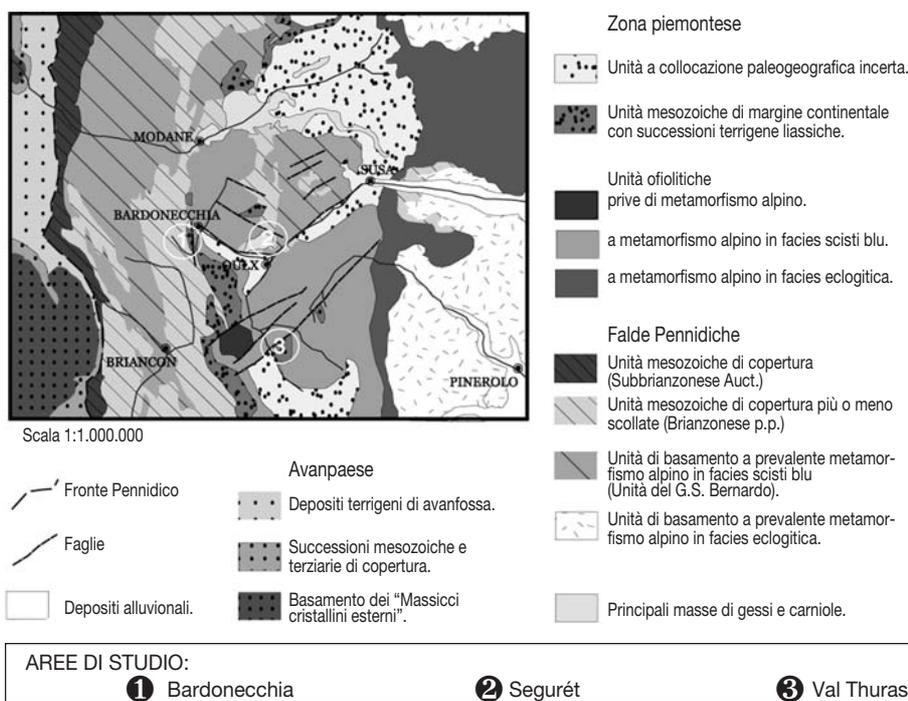


Fig. 1 - Schema geologico-strutturale (da POLINO *et alii*, 2002, modificato)  
Geological-structural outline (from POLINO *et alii*, 2002, modified).

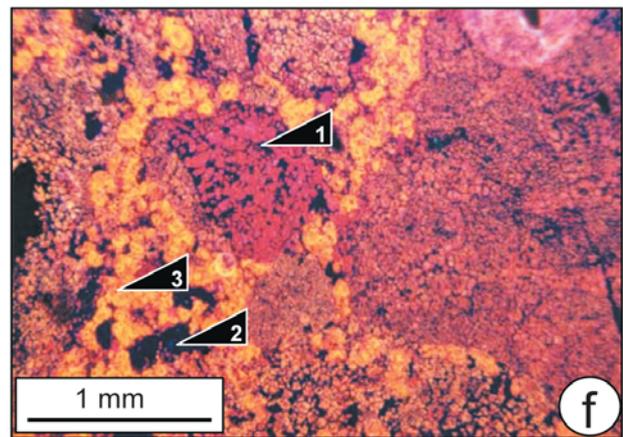
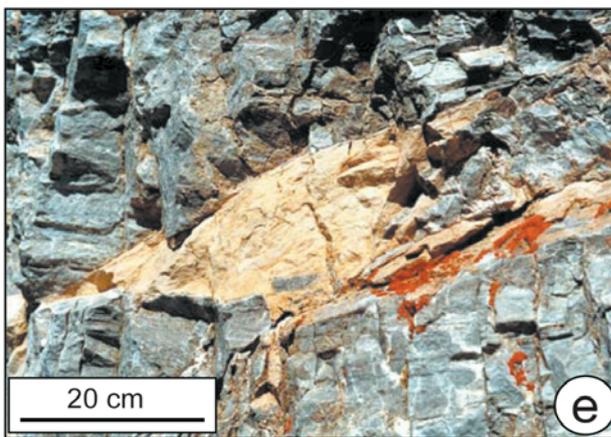
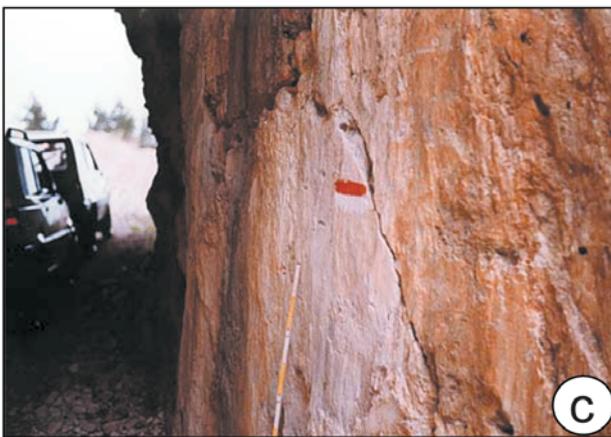
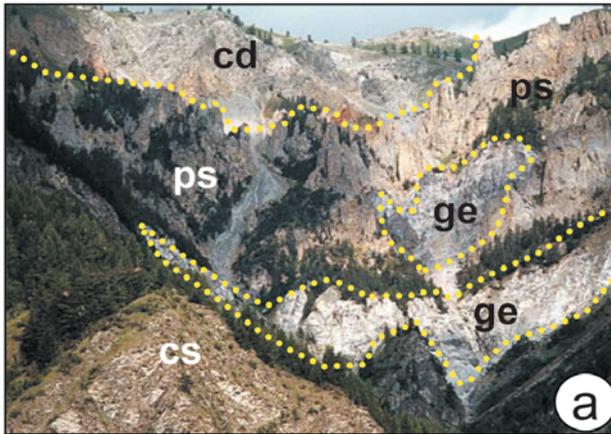


Tavola I – a) Rapporti geometrici tra le *pseudocarniole* ed altri termini litologici: situazione esemplificativa nell'Area di Bardonecchia (ps: *pseudocarniole*; ge: gessi; cs: calcescisti; cd: calcarei dolomiti). b) Contesto geomorfologico di affioramento delle *pseudocarniole*: le cavità carsiche del Segurét (Grotta dei Saraceni). c) Deformazione neotettonica entro le *pseudocarniole*: faglia normale subverticale visibile sulla parete della galleria militare nei pressi del Segurét. d) Fenomeno di inversione del rilievo in corrispondenza degli ammassi domiformi isolati di *pseudocarniole* nell'area del Segurét. e) Dettaglio dei rapporti geometrici tra diverse facies delle *pseudocarniole*: *sub-facies detritica con trasporto* che riempie fratture aperte entro le *pseudocarniole autoclastiche*. f) Diverse generazioni di cemento calcitico entro le *pseudocarniole*, evidenziate in catodoluminescenza: 1 = cemento intragranulare non luminescente, 2 = cemento intergranulare non luminescente, 3 = cemento intergranulare luminescente.

a) Geometrical relationships between the *pseudocarnioles* and other lithological terms: example zone at Bardonecchia (ps: pseudocarnioles; ge: chalks; cs: calc-schists; cd: dolomitic limestones). b) Geomorphological outcrop context of the pseudocarnioles: Segurét's karst cavities (Grotta dei Saraceni). c) Neotectonic deformation within the pseudocarnioles: sub-vertical normal fault visible along the wall of the military gallery near the Segurét. d) Ground inversion phenomenon in correspondence of the isolated dome-like pseudocarnioles in the area of the Segurét. e) Geometrical relationships detail among different facies of the pseudocarnioles: fine detrital sub-facies that fills in open fractures within the "autoclastic" pseudocarnioles. f) Different generations of calcium cement within the pseudocarnioles underlined by cathode luminescence: 1 = intra-granular non luminescent cement, 2 = inter-granular non luminescent cement, 3 = inter-granular luminescent cement.

limitato al Quaternario, ma comprende anche gli episodi deformativi tardo-cenozoici che hanno determinato l'assetto recente della catena e ne condizionano l'attuale evoluzione superficiale.

In letteratura (ENEL, 1981; GIARDINO & POLINO, 1997) e nel corso del rilevamento svolto per il presente lavoro sono stati identificati "indizi morfotettonici" e deformazioni superficiali (trincee, scarpate di linea di faglia) variamente orientati e faglie subverticali di diversa estensione e rigetto con direzioni prevalenti N60 e N120, subordinatamente N20 e N160, che interessano il substrato prequaternario e le formazioni superficiali, ivi comprese le *pseudocarniole* (Tav. I foto c).

### 3. LE PSEUDOCARNIOLE

L'abbondante presenza delle *pseudocarniole* nelle aree scelte per lo studio ne ha consentito un'accurata analisi: in primo luogo sono stati effettuati rilevamenti geologici che hanno portato alla redazione di una cartografia di dettaglio (carte geologiche della media Val Thuras alla scala 1:2.500, del Segurét e della Conca di Bardonecchia alla scala 1:5.000 per una copertura complessiva di 30 km<sup>2</sup>) e alla raccolta di circa 200 campioni. Successivamente sono state preparate una cinquantina di sezioni sottili, ricavate dai campioni più significativi, per le microanalisi al microscopio ottico in luce trasmessa, al SEM e in catodoluminescenza (di seguito CL).

A conclusione del rilevamento è stata messa a punto una classificazione delle *pseudocarniole* (Tab. 1), basata essenzialmente sulle caratteristiche litologiche, tessiturali, strutturali alla meso- e macroscale, dei rapporti con le rocce circostanti, delle relazioni con il carsismo, della deformazione e alterazione.

Questa classificazione è stata successivamente interpretata in chiave genetica, in funzione del fatto che anche minime variazioni nei caratteri tessiturali e strutturali (distinguibili più o meno agevolmente sul terreno) mostrano in qualche caso di essere la risultante di processi genetici differenti; questo passaggio è reso però localmente complicato dalla scarsa accessibilità e/o visibilità degli affioramenti.

In seguito alle osservazioni e alla raccolta dei dati sul terreno e alla loro successiva archiviazione in un *data-base* relazionale, progettato anche per facilitare ed automatizzare i processi dell'analisi statistica degli aspetti legati alle diverse tipologie di situazioni riconosciute, si è giunti all'individuazione di cinque facies principali ulteriormente distinte, ove possibile, in sub-facies.

Di ogni facies o sub-facies è stato indicato, quando identificabile con sufficiente grado di affidabilità, il tipo di roccia da cui ha preso origine, attraverso una serie di processi, la *pseudocarniola* nel suo aspetto attuale.

Viene riportata di seguito la classificazione risultante dall'evidenza di differenze oggettive riscontrate sul terreno fra le diverse facies. Per ognuna di queste viene poi proposta un'interpretazione genetica.

#### 3.1. Pseudocarniole "autoclastiche"

Tutte le *pseudocarniole* attribuite alla facies "*autoclastica*" sono costituite da breccie monogeniche (calcareae o dolomitiche, a seconda del contesto geologico); i clasti sono sempre decisamente angolosi, non classati, mostrano di non aver subito rotazioni e hanno dimensioni variabili da meno di un centimetro a più metri. Talvolta si riconoscono tracce di stratificazione ereditate dall'assetto strutturale originario del "protolite" più o meno mascherate dalla fratturazione (Tav. II foto a); la matrice può essere presente o assente.

Le analisi in CL hanno mostrato per le *pseudocarniole* "*autoclastiche*" la presenza di più fasi di cementazione alternate a fasi di dissoluzione e fratturazione.

Sono presenti cementi sia calcitici (spatici, limpidi o torbidi in luce trasmessa, talvolta zonati in CL a bande sui colori del giallo, senape, marrone), sia dolomitici (spatici, anche in cristalli di dimensioni plurimillimetriche, generalmente torbidi); in alcuni casi entro queste ultime fasi si riconoscono cristalli, anche piccolotopici, di fluorite. I cementi non carbonatici sono costituiti da quarzo di neoformazione in piccoli cristalli non deformati e anche da calcedonio. I rapporti cronologici di crescita dei diversi cementi non sono stati completamente chiariti.

Tali caratteristiche indicano l'assenza di processi

Tab. 1 - Classificazione delle "pseudocarniole" dell'alta Valle di Susa.  
 "Pseudocarniole's" classification of high Susa Valley.

<b>A) Pseudocarniole "autoclastiche"</b>		
<b>B) Pseudocarniole residuali</b>		
<b>C) Pseudocarniole detritiche</b>	1- sub-facies detritica senza trasporto	
	2- sub-facies detritica con trasporto	2A- sub-facies detritica ad opera di acque incanalate
		2B- sub-facies detritica ad opera di acque ruscellanti allo sbocco di circuiti carsici esumati parzialmente attivi sub-facies di colata)
		2C- sub-facies detritica ad opera di acque ruscellanti per riempimento di cavità carsiche epigee
<b>D) Pseudocarniole incrostanti</b>		
<b>E) Pseudocarniole "tettoniche"</b>		

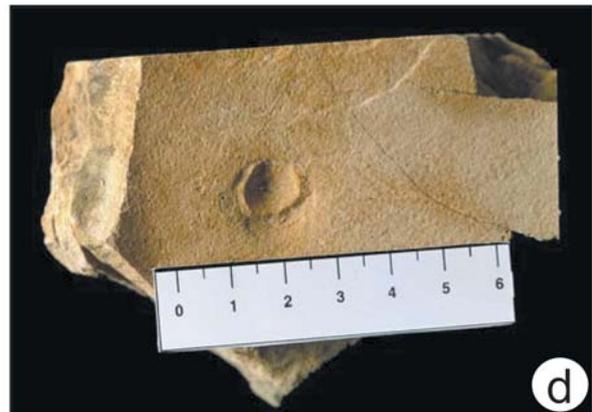


Tavola II – a) *Pseudocarniole "autoclastiche"*: sono visibili le tracce di stratificazione ereditate dal processo di "carniolizzazione", l'aspetto detritico debolmente vacuolare, l'eterogeneità nelle dimensioni dei clasti. b) *Pseudocarniole residuali*: i clasti monogenetici di dolomia, angolosi e non selezionati, sono separati da porzioni discontinue e irregolari di matrice di colore giallo. c) *Pseudocarniole detritiche*: breccia poligenica, stratificata; l'arrotondamento dei clasti varia da sub-angoloso a sub-arrotondato; nel campione il livello superiore è composto da sedimenti attribuiti alla *sub-facies detritica con trasporto*. d) *Pseudocarniole detritiche con trasporto*: sulla superficie di strato è visibile un'impronta da impatto di goccia d'acqua, testimonianza dello stillicidio in ambiente carsico ipogeo. e) *Pseudocarniole incrostanti*: crostoni e fenomeni di travertinizzazione sulle superfici di esposizione subaerea. f) *Pseudocarniole "tettoniche"*: lungo alcuni piani di movimento sono evidenti le locali trasformazioni delle dolomie incassanti per opera dei fluidi circolanti.

a) "Autoclastic" pseudocarnioles: traces of stratification inherited by the "carniolisation" process; the poorly vacuolar detrital aspect, the heterogeneity in the dimensions of the clasts. b) Residual pseudocarnioles: the monogenetic clasts of dolomites, angular and not sorted, are separated by discontinuous and irregular portions of yellow color matrix. c) Detrital pseudocarnioles: stratified polygenetic breccia; the clasts vary from sub-angular to sub-rounded; considering the hand-example the higher level is composed by fine detrital sub-facies sediments. d) Fine detrital pseudocarnioles: a water drop imprint is visible on the surface testifying the dripping process in a karst ipogeous environment. e) Incrust pseudocarnioles: incrustations and travertine phenomena on the aerial exposure surfaces. f) "Tectonic" pseudocarnioles: local transformation of the wall dolomites along some movement planes because of the circulating fluids.

di prelievo, trasporto, selezione, rielaborazione e di deposizione dei clasti. Inoltre, non esistendo prodotti cataclastici né strutture orientate, è possibile escludere fenomeni deformazionali singenetici e quindi una relazione diretta con la tettonica.

Ciononostante la pervasività della fratturazione indica il passaggio dell'ammasso roccioso attraverso una fase di generalizzata instabilità ("gravitativa", nel senso più ampio del termine); in più, il fatto che i clasti non siano ruotati, siano cioè sostanzialmente "in posto", indica che questa instabilità non ha modificato significativamente l'assetto generale dell'ammasso.

### 3.2. Pseudocarniole residuali

In generale la facies *residuale* è composta da breccie monogeniche (calcaree o dolomitiche), a clasti angolosi non classati e con matrice sempre presente (Tav. II foto b). Localmente possono essere debolmente stratificate.

Generalmente includono numerosissimi elementi di *pseudocarniole* in facies "autoclastica" con dimensioni variabili che possono raggiungere anche la decina di metri.

Le analisi in CL hanno mostrato anche in questo caso l'esistenza di più fasi cementizie a chimismo differente. Si riconoscono più fasi dolomitiche a grossi spati torbidi anche in luce trasmessa, cui si aggiungono alcuni cristalli di quarzo di neoformazione e piccole vene di dolomite debolmente zonata in CL; è presente almeno una fase calcitica a spati limpidi in luce trasmessa ma zonati in CL.

La facies residuale presenta caratteri peculiari, oltre a quelli comuni alla facies "autoclastica" (clasti monogenici e mal selezionati): la presenza, a tratti anche abbondante, di matrice indica l'attività di fenomeni deposizionali per circolazione nei vuoti tra i clasti di acque con carico solido fine; la presenza di blocchi e porzioni di dimensioni varie (anche notevoli, decametriche) di rocce della facies "autoclastica" all'interno di ammassi di *pseudocarniole residuali* indica il legame (se non addirittura un rapporto di derivazione diretta) delle seconde nei confronti delle prime.

### 3.3. Pseudocarniole detritiche

La facies *detritica* è costituita sia da breccie o conglomerati a clasti generalmente poligenici, a classazione variabile, matrice sempre presente, tessiture *clast-* o *matrix-supported*, sia da sedimenti fini generalmente sabbioso-siltosi. La distinzione in sub-facies si rende necessaria per discriminare le diverse geometrie, dimensioni e associazioni di queste rocce.

Le *pseudocarniole* detritiche presentano caratteri che permettono di distinguerle, in genere facilmente, da quelle "autoclastiche" e *residuali* e soprattutto ne indicano una genesi differente.

La selezione nella pezzatura dei clasti, cui si aggiunge talvolta la forma da sub-arrotondata ad arrotondata, indica l'azione di fenomeni di rielaborazione, di selezione e di trasporto del materiale poligenico; la presenza costante di matrice, talvolta organizzata in potenti livelli in cui sono visibili varie strutture sedimentarie deposizionali da correnti trattive, indica la presenza di processi sedimentari di ambiente subacqueo (Tav. II

foto c); la posizione marginale, a tetto o entro le *pseudocarniole "autoclastiche"* e *residuali*, indica uno stretto legame genetico tra le diverse facies. La presenza di corpi di *pseudocarniole detritiche* come riempimento di cavità di evidente origine carsica (condotti, imbuti, doline) indica uno stretto rapporto genetico e cronologico tra questo tipo di *pseudocarniole* ed il carsismo.

Entro alla categoria delle *pseudocarniole detritiche* sono state distinte più sub-facies.

#### 3.3.1. Sub-facies detritica senza trasporto:

Breccie a clasti poligenici, prevalentemente angolosi e mal classati, con dimensioni variabili da centimetriche a metriche. La tessitura varia da *clast supported* a più raramente *matrix supported*. La matrice presenta un'alta variabilità granulometrica, passando dai silt alle sabbie ghiaiose; i granuli hanno la stessa composizione dei clasti. Si osservano inoltre rare strutture sedimentarie (es. gradazione); la cementazione e l'addensamento variano notevolmente da zona a zona.

Questo tipo di breccie è caratterizzato da due principali motivi tessiturali: si presentano infatti o massicce ed eterogenee o grossolanamente stratificate.

Nel primo caso ci si trova di fronte ad un deposito caotico in cui da punto a punto variano le caratteristiche sedimentologiche complessive; nel secondo, la breccia si presenta stratificata ma in modo poco evidente: a volte gli unici indizi di stratificazione sono rappresentati dagli allineamenti dei clasti maggiori. In ogni caso, la stratificazione è sempre piano-parallela ed è caratterizzata da inclinazioni modeste ed immersioni che ricalcano quella del versante su cui si sviluppano. Si rinvencono principalmente alla base dei versanti o al passaggio tra le pareti modellate nel substrato e il detrito di falda.

Si tratta di materiale detritico cementato dai carbonati contenuti nelle acque circolanti.

#### 3.3.2. Sub-facies detritica con trasporto

Questa sub-facies è rappresentata da breccie o microbreccie passanti, per termini intermedi, a conglomerati o microconglomerati; i clasti possono essere poligenici o monogenici. Tutte le *pseudocarniole* di questa sub-facies hanno una tessitura *matrix-supported* più raramente *clast-supported*, sono fortemente cementate, presentano strutture sedimentarie deposizionali come *ripple*, laminazioni e isoorientazioni dei clasti la cui pezzatura è relativamente uniforme, con valori che oscillano intorno a pochi centimetri. I sedimenti molto fini e molto selezionati fungono spesso da matrice rispetto ai clasti più grossolani, oppure possono costituire corpi omometrici.

Presentano un'elevata disomogeneità nell'aspetto dovuta alle diverse combinazioni di tutte le caratteristiche sedimentologiche sopra descritte.

Comunemente questa sub-facies costituisce il riempimento di forme di corrosione carsica ipogee esumate dall'erosione: i depositi colmano interamente o parzialmente condotti, fusoidi e cavità; queste sono particolarmente diffuse allo sbocco delle grotte carsiche più imponenti: ad esempio nella zona del Monte Segurét presso le Grotte dei Saraceni.

Le *pseudocarniole* di questa sub-facies presentano alcuni parametri tessiturali caratteristici; la generale classazione della frazione grossolana e la presenza di

elementi arrotondati indicano l'azione di processi di selezione e quindi di trasporto fisico ad opera delle acque.

Questi processi possono essere concentrati oppure costituire masse anche di parecchi metri cubi di depositi: ne risulta una gamma di geometrie e di dimensioni degli accumuli piuttosto varia (lenti di potenza decimetrica ed estensione metrica, bancate potenti fino a qualche metro ed estensione pluridecimetrica, masse irregolari pluridecimetriche come spessore ed estensione).

I depositi possono essere stati ripresi nel circuito carsico e aver subito ulteriore trasporto da parte delle acque incanalate; quindi possono essere stati ridepositati assieme a materiali di primo ciclo (non è raro rinvenire clasti costituiti da *pseudocarniole con trasporto all'interno di facies più recenti*), o essere stati trasportati per tempi più prolungati, fatto che porta ad una progressiva riduzione della pezzatura e ad una maggiore selezione dei litotipi che costituiscono i clasti.

### 3.3.2.1 Sub-facies detritica con trasporto ad opera di acque incanalate

E' rappresentata da sedimenti ben selezionati, con granulometrie che variano dalle ghiaie ai silt argillosi. I depositi più fini, compresi tra i silt ed i silt argillosi, mostrano laminazioni piano-parallele o ondulate parallele le quali costituiscono le uniche strutture sedimentarie deposizionali presenti in questa facies. Con l'aumentare delle dimensioni dei granuli è più facile osservare strutture sedimentarie più complesse: nell'intervallo granulometrico compreso tra i silt e le sabbie fini, compaiono laminazioni inclinate a basso angolo e sono conservati *ripple* asimmetrici o simmetrici. Le sabbie presentano strutture più marcate come laminazioni a festoni e convolute, superfici erosionali concave e gradazioni normali più o meno evidenti.

Questa sub-facies è in assoluto la più diffusa e abbondante tra le *pseudocarniole detritiche*.

I sedimenti fini associati alle altre facies rivestono un'importanza notevole: rappresentano forse l'unica litofacies in cui sono stati registrati e si sono conservati tratti sedimentari indicativi di una lunga fase dell'evoluzione delle *pseudocarniole*. Si rinvengono associati a quasi tutte le sub-facies, mostrando di rappresentare l'ultimo prodotto locale della loro rielaborazione.

La presenza, sebbene rara, di tracce di impatto di gocce d'acqua rilevate sulle superfici di stratificazione dei depositi a sedimenti più fini, suggerisce una genesi in ambiente carsico ipogeo in cui è comune lo stillicidio dalle volte dei condotti e delle sale (Tav. II foto d).

La presenza di geometrie molto diverse sembra indicare una sedimentazione in ambiti pure molto diversi: da un lato, il ritrovamento di diffuse strutture sedimentarie deposizionali da correnti trattive entro i depositi fini isolati o costituenti la matrice di altre sub-facies indica una sedimentazione in ambiente subacqueo ad alta energia; dall'altro, la distribuzione su aree talora anche relativamente estese sembra riconducibile alla deposizione in specchi d'acqua ipogei con superfici fino a centinaia di metri quadrati. Questa sub-facies si ritrova, inoltre, spesso a riempire fratture e piccole cavità di dissoluzione nel substrato o in altre facies di *pseudocarniole* (Tav. I foto e).

La frazione fine è soggetta ad una forte mobilitazione e, grazie alle sue caratteristiche granulometriche, si accumula negli ambiti più disparati. Si ritrova spesso alla sommità delle successioni detritiche di trasporto più grossolane; in questi casi la laminazione piano-parallela indica condizioni di stagnazione, in cui il sedimento fine è decantato indisturbato, sigillando il ciclo sedimentario all'interno del circuito carsico (Tav. II foto c).

### 3.3.2.2 Sub-facies detritica con trasporto ad opera di acque ruscellanti (o per colata)

E' costituita da microbreccie *matrix supported*, scarsamente cementate e addensate, con clasti poligenici, mal selezionati, di dimensioni centimetriche, immersi in una matrice sabbioso-siltosa.

Il deposito è organizzato in lamine di spessore variabile e con andamento irregolare, anche se si mantiene un certo parallelismo delle superfici di laminazione. I clasti di dimensioni più modeste sono subarrotondati e organizzati in *stone line*, mentre i clasti maggiori sono angolosi, hanno una disposizione caotica e costituiscono elementi di disturbo delle superfici di laminazione.

Gli ammassi hanno una geometria irregolare e terminano in una serie di piccoli lobi. I valori d'inclinazione e d'immersione della laminazione sono del tutto paragonabili a quelli del versante su cui poggia il deposito.

Si ritiene che questa sub-facies si origini dalla deposizione di sedimenti tramite meccanismi di colata (trasporto innescato da parte delle acque di ruscellamento diffuso o canalizzato). Il materiale rimobilizzato proviene dallo smantellamento della *sub-facies detritica di trasporto ad opera di acque incanalate* che defluiscono dal circuito carsico; il fenomeno è particolarmente evidente allo sbocco delle principali grotte del Segurét, come la Grotta dei Saraceni. Tali depositi sono tuttora in formazione, com'è indicato dall'appoggio locale di questa sub-facies su manufatti di cemento.

### 3.3.2.3. Sub-facies detritica con trasporto ad opera di acque ruscellanti per riempimento di cavità carsiche epigee

Si tratta di depositi molto mal selezionati e fortemente cementati, caratterizzati da una tessitura *matrix- o clast-supported*. I clasti poligenici variano di dimensioni, forma e grado di arrotondamento. Si passa da grossi blocchi, tabulari e angolosi o sub-sferici ed arrotondati, a ciottoli levigati e smussati o clasti angolosi di forma equidimensionale o prismatica, immersi in una matrice da siltoso-sabbiosa a sabbioso-ghiaiosa. La composizione dei clasti è variabilissima e comprende rocce del substrato, frammenti di altre *pseudocarniole* e materiale proveniente da formazioni superficiali.

Si tratta di sedimenti deposti in tasche imbutiformi riconducibili a piccole forme carsiche epigee modellate nel substrato carbonatico o nelle facies "*autoclastica*" e *residuale* dopo la loro esumazione.

L'addensamento e la cementazione del deposito hanno reso quest'ultimo più resistente allo smantellamento rispetto alle rocce incassanti. Per questo motivo si rinvengono spesso lembi di questa sub-facies isolati e con una morfologia pinnacolare o domiforme. I fenomeni di inversione di rilievo sono facilitati dalle locali scadenti condizioni meccaniche delle rocce interessate dal modellamento carsico.

### 3.4. Pseudocarniole incrostanti

La facies *incrostante* è composta da abbondanti quantità di cemento carbonatico screziato (varie tonalità di giallo, di grigio e bianco) in cui si possono rinvenire piccoli clasti angolosi di diversa natura; tipico è l'aspetto vacuolare. Questa facies è arealmente abbastanza diffusa e forma delle sottili croste (al massimo 30 centimetri di spessore) su superfici esposte di altri tipi di *pseudocarniole*, mascherandone il reale aspetto e rendendole quindi apparentemente del tutto simili tra loro. Le *pseudocarniole incrostanti* possono anche costituire piccole masse, potenti fino a 50 cm, ai piedi di pareti rocciose.

Questa facies sembra prendere origine per fenomeni paragonabili a quelli che danno luogo ai travertini detritici (D'ARGENIO & FERRERI, 1986) in quanto sono il risultato della cementazione di materiale di provenienza diversa per precipitazione di carbonato di calcio contenuto nelle acque ruscellanti superficiali. Lo sviluppo dei crostoni appare legato direttamente al tempo di esposizione delle *pseudocarniole* agli agenti climatici; la genesi di queste rocce abbraccia un intervallo di tempo imprecisabile successivo all'esposizione (Tav. Il foto e).

### 3.5. Pseudocarniole "tettoniche"

Le *pseudocarniole "tettoniche"* presentano caratteristiche tessiturali variabili, ma sono accomunate dalla geometria tabulare e dalla distribuzione lungo piani di movimento e zone di taglio. Al loro interno si riconoscono segni di deformazione (liti "boudinatis", superfici di movimento) ma anche porzioni indeformate.

Il tutto suggerisce che si tratti di rocce formatesi ed evolutesi in un ambiente influenzato (direttamente e indirettamente) dai piani di movimento. Alcune porzioni possono essere considerate rocce di faglia, di genesi pre- e sin-deformazione; mentre altre (non deformate) si sono potute formare in funzione della maggiore circolazione di fluidi lungo i piani senza influenza diretta della deformazione: in questi casi si passa infatti gradualmente da *pseudocarniole* a prodotti idrotermali veri e propri (ematite, albite, solfuri di Pb e Fe) (Tav. Il foto f).

## 4. IL RUOLO DEI FLUIDI

Nella genesi e nell'evoluzione delle *pseudocarniole* mostra di aver svolto un ruolo molto importante la

circolazione di fluidi; questi hanno prodotto più o meno marcate modificazioni chimiche nell'ammasso roccioso, condizionandone il comportamento geomeccanico e la reologia.

Per ricostruire la variazione nel tempo e nello spazio della natura, delle condizioni chimico-fisiche e del percorso dei fluidi (risalenti dal basso all'alto, per *ascensum*, o, viceversa, percolanti per *descensum*), occorre analizzare le loro manifestazioni (chimismo dei cementi, mineralizzazioni, ricristallizzazioni, dissoluzioni dell'ammasso roccioso, precipitazione di concrezioni e chimismo delle acque sorgenti) nelle diverse situazioni. Queste mostrano di essersi succedute nel tempo nei diversi settori in relazione alla riduzione dello spessore dell'ammasso sovrastante conseguente all'erosione fino alla situazione di esumazione attuale.

I sistemi di frattura legati geneticamente all'attività tettonica più recente mostrano di aver interessato gli ammassi di *pseudocarniole* aumentandone la permeabilità: a quella originaria per porosità si è aggiunta quindi una permeabilità per fratturazione.

Al fine di chiarire l'origine e il contributo dei fluidi e per stabilire quindi la presenza o meno di più generazioni di cemento e gli eventuali loro rapporti sono state effettuate analisi in CL di alcune sezioni sottili di *pseudocarniole*.

In Tab. 2 vengono indicati i singoli minerali che costituiscono il cemento delle *pseudocarniole*, la loro natura primaria o secondaria con riferimento al "protolite", il tragitto dei fluidi che hanno dato loro origine e l'ambiente geologico di formazione.

La tecnica della catodoluminescenza si basa sull'analisi della luminescenza emessa da un materiale (un cristallo) in seguito all'eccitamento con un fascio di elettroni; per le generalità si veda MARSHALL (1988).

Nel campo della geologia, la CL permette un'analisi dettagliata delle componenti mineralogiche di una roccia, in particolare trova interessanti campi di applicazione nello studio delle mineralizzazioni e dei cementi. All'interno di questi, i componenti carbonatici mostrano una CL molto sensibile alle variazioni di composizione e di tenore in cationi (Fe<sup>++</sup> e Mn<sup>++</sup>) all'interno del minerale calcitico.

L'analisi in CL dei cementi delle *pseudocarniole* permette da un lato di distinguere cementi carbonatici precipitati in condizioni geochemiche differenti e dall'altro di riconoscere i diversi componenti mineralogici di un cemento (per un esempio di studio approfondito di

Tab. 2 - Caratteristiche dei minerali che costituiscono i cementi delle *pseudocarniole*.

*Minerals characteristics of pseudocarniole's cements.*

minerale	natura	origine	ambiente
calcite	primaria-secondaria	<i>ascensum-descensum</i>	idrotermale-meteorico
dolomite	primaria-secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale
quarzo	secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale
albite	secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale
ankerite	secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale
ematite	secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale
calcedonio	secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale
fluorite	secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale
solfuri di Pb e Fe	secondaria	<i>ascensum</i>	idrotermale

tale campo si veda AMIEUX & JEANBOURQUIN, 1989).

Nelle aree del Segurét e di Bardonecchia l'attività idrotermale è documentata dalla presenza di mineralizzazioni (calcite, ankerite, albite, solfuri di ferro e di piombo, ossidi di ferro) in passato oggetto di coltivazione ("Miniere dei Saraceni" nel versante orientale del Segurét; mineralizzazioni a rame, ferro e galena argentifera sono ospitate nelle rocce del Massiccio d'Ambin e sono state oggetto di limitati sfruttamenti verso la fine del XIX° secolo; cfr. LOMAGNO, 1992).

Dal risultato delle analisi in CL si sono evidenziate varie situazioni: nel caso del Segurét la cementazione da parte della calcite precipitata dai fluidi idrotermali si somma ad una preesistente cementazione dovuta alla precipitazione di calcite meteorica. Questo sta ad indicare che l'ascensum di fluidi idrotermali ha influenzato l'evoluzione delle *pseudocarniole* in un secondo momento, contribuendo di volta in volta alla cementazione, alla dedolomitizzazione e alla dissoluzione dei clasti calcareo-dolomitici.

In Val Thurax è stato invece verificato che la natura (dolomite romboedrica, quarzo, calcedonio, fluorite) e la struttura (grossi spati limpidi, ricristallizzazione pervasiva dei clasti dolomitici) dei cementi indica concordemente una genesi da soli fluidi caldi, quindi in ambiente relativamente profondo e riducente.

L'origine di questi fluidi è complessa da definire: in molti casi (cementi a quarzo o a calcedonio) è possibile escludere un'origine da acque meteoriche infiltratesi per *descensum*, poiché mancano totalmente coperture silicatiche (e se ne può escludere anche la presenza prima del parziale smantellamento dell'edificio strutturale da parte dell'erosione) da cui questi avrebbero potuto prendere origine; in altri numerosi casi (cementi a dolomite e fluorite) l'origine per *ascensum* è indicata dal chimismo.

## 5. CRONOLOGIA

La collocazione cronologica delle *pseudocarniole* rappresenta uno dei temi più dibattuti per quanto riguarda questo tipo di rocce. L'arco temporale in cui, sulla base della letteratura geologica esistente, potrebbe essere avvenuta la formazione di queste rocce copre l'intervallo compreso tra il Trias e l'Olocene. Una spiegazione di ciò può essere ricercata nel fatto che non esiste tuttora una definizione univoca delle *pseudocarniole* e questo è funzione principalmente della convergenza di facies che coinvolge rocce con storie evolutive molto differenti.

Nel campo delle *pseudocarniole*, così come sono state definite nel presente lavoro, esistono delle difficoltà oggettive nell'inquadrarne cronologicamente la genesi.

Un primo approccio alla definizione cronologica delle *pseudocarniole* viene offerto dalle datazioni indirette: queste non forniscono età numeriche ma permettono un inquadramento di massima.

- Un primo elemento è dato dalla presenza di clasti a deformazione e metamorfismo alpini (calcescisti, ad esempio, nelle *pseudocarniole residuali* del Segurét);
- il fatto che alcuni corpi di *pseudocarniole* sigillano strutture alpine (Segurét);

- l'assenza di metamorfismo e di deformazioni alpine (Val Thurax, Segurét).

Questi elementi definiscono un termine *post-quem* e concorrono nell'indicare per gran parte delle *pseudocarniole* alpine un'età almeno post-oligocenica.

In qualche caso il processo evolutivo prosegue tuttora in funzione soprattutto della rielaborazione carsica: una conferma si ha osservando l'appoggio di un corpo della sub-facies detritica di colata su alcune opere antropiche (blocchi di cemento delle strutture di servizio per l'estrazione mineraria, avvenuta tra fine ottocento e il decennio 1960) allo sbocco delle Grotte dei Saraceni, nell'area del Segurét.

Nell'ampio intervallo di tempo compreso tra post-Oligocene e l'Attuale è possibile collocare cronologicamente alcuni elementi caratteristici delle *pseudocarniole* mediante altri tipi di datazione diretta. Gli elementi che si prestano ad essere datati sono i riempimenti sabbioso-limosi del circuito carsico impostato nelle *pseudocarniole* i quali possono aver intrappolato pollini provenienti dalla superficie.

Le analisi palinologiche possono fornire quindi delle indicazioni cronologiche (e anche paleoambientali) di maggior dettaglio; con questa tecnica non si data la parte iniziale dell'evoluzione delle *pseudocarniole* ma si individua il momento in cui l'ammasso viene intercettato dal circuito carsico, a partire dal quale si attivano i processi che portano alla formazione delle *pseudocarniole detritiche*.

Nell'ambito degli studi condotti nell'area del Segurét, l'esame palinologico preliminare di un campione della subfacies detritica fine con trasporto ad opera di acque incanalate, gentilmente effettuato dalla Prof.ssa L. CATTANI dell'Università di Ferrara, ha fornito i seguenti risultati: (i valori numerici non sono stati tradotti in percentuali poiché il totale dei granuli pollinici e la varietà dei *taxa* botanici sono al di sotto della soglia di affidabilità) *Abies* 5, *Cathaya* 1, *Cedrus* 6, *Pinus haploxylo* 11 + 1 tetrade (la presenza di tetradi polliniche viene generalmente interpretata come presenza in loco della pianta), *Pinus dyploxylo* 12, *Taxodium/Sequoia* 2, *Alnus* 1, *Betula* 3, *Carpinus* 4, *Castanea* 1, *Quercus* tipo *caducifolia* 2, *Fagus* 2, *Parrotia* 1, *Iridaceae* 1, *Menyanthes* 1, *Salvinia* 2.

Secondo l'interpretazione effettuata dalla stessa Prof. CATTANI, si riscontra una netta predominanza delle arboree e fra esse delle conifere sulle latifoglie; praticamente assenti risultano le erbacee, limitate a piante legate all'acqua, addirittura natanti quali il trifoglione d'acqua (*Menyanthes*) e la *Salvinia* (felce galleggiante).

Il campione era inoltre molto ricco di residui di materia organica, di protisti ciliati e di ife fungine. Tutto il contenuto microscopico presentava lo stesso, buon grado di conservazione.

L'associazione pollinica appare indicativa di un intervallo di tempo non meglio precisabile, esteso tra il Pliocene superiore ed il Quaternario basale.

Sulla scorta delle osservazioni sopra riportate, il processo evolutivo delle *pseudocarniole* appare svolgersi in un intervallo di tempo in genere ampio, diverso da una facies all'altra; inoltre non presenta limiti cronologici definibili univocamente.

Complessivamente, sulla base dei dati raccolti, il processo genetico delle *pseudocarniole* attualmente affioranti è inquadrabile in un intervallo di tempo compreso tra post-Oligocene e il Presente; in particolare le *pseudocarniole detritiche* sono state datate dal Pliocene superiore al Presente.

## 6. GEOMORFOLOGIA

Le *pseudocarniole* non sono caratterizzate da una propria espressione morfologica specifica in quanto la loro messa in posto è avvenuta per "accomodamento" in spazi resi disponibili a seguito di processi di diversa natura. Nel caso delle *pseudocarniole* che hanno preso origine in profondità, dopo la loro esumazione queste rocce hanno invece dato luogo a situazioni morfologiche tipiche.

I fattori che hanno controllato l'evoluzione geomorfologica sono essenzialmente la circolazione delle acque di origine meteorica e la gravità. Le manifestazioni sono forme di erosione selettiva connesse con il dilavamento dei versanti, forme legate al carsismo e a fenomeni gravitativi. Di notevole importanza appaiono inoltre gli effetti in superficie dell'intensa dissoluzione in profondità dei corpi gessosi e carbonatici; come già da tempo riconosciuto, ad esempio durante lo scavo della traforo del Sempione (SCHARDT, 1906), il volume di roccia asportato per dissoluzione può indurre importanti fenomeni di deformazione della superficie topografica, con formazione di collassi e anche di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV) (ALBERTO *et al.*, 2004).

### 6.1. L'esumazione e l'erosione selettiva

La tipica situazione morfologica delle *pseudocarniole* è caratterizzata da versanti aspri e ripidi, guglie e creste dentellate. Tali forme sono controllate prevalentemente dalle caratteristiche tessiturali (elevata permeabilità e preferenziali deflussi in senso verticale), geomecchaniche (forte disarticolazione) e talvolta anche di cementazione.

Nelle aree studiate si osserva inoltre una situazione di forte incisione dei corpi di *pseudocarniole*, tale da esporre tutta la successione fino al contatto con il substrato. Le *pseudocarniole*, in special modo quelle detritiche, danno spesso luogo a manifestazioni di inversione di rilievo (pinnacoli, guglie e domi): da una originaria giacitura di riempimento di cavità sono giunte a costituire, con l'esumazione, rilievi isolati nell'edificio carbonatico.

Le fratture mostrano di aver facilitato il processo d'incarsimento degli ammassi di *pseudocarniole*; in alcuni casi hanno invece contribuito alla oblitterazione di forme carsiche epigee modellate nel substrato calcareo-dolomitico esumando le sottostanti *pseudocarniole* della sub-facies di riempimento, dando infine luogo ai fenomeni di inversione di rilievo (Tav. I foto d). In particolare l'espressione superficiale delle discontinuità fragili nel settore Segurét - Vallonneto corrisponde talvolta ai limiti di depressioni e di settori collassati, evolutisi anche in relazione a fenomeni di dissoluzione e/o crollo legati al carsismo.

### 6.2. Il modellamento carsico

La presenza e l'evoluzione del fenomeno carsico

in un lungo intervallo di tempo è testimoniata nelle aree rilevate da tipiche forme epigee e dalla presenza di forme ipogee quali fusoidi, condotti, gallerie, pozzi etc. esumate dall'erosione; nell'area di studio sono molto più comuni forme di questo secondo tipo.

La distribuzione dei condotti è pressoché ubiquitaria negli affioramenti di *pseudocarniole* residuali ed è comunque molto abbondante anche nelle altre facies; minore invece nel substrato sia fratturato sia integro.

Il carsismo è il processo esogeno che più ha contribuito alla formazione ed all'evoluzione delle *pseudocarniole*.

Le acque meteoriche di percolazione o quelle iniettate nell'ammasso roccioso in seguito alla fusione delle masse glaciali sono responsabili della dissoluzione degli ammassi gessosi e carbonatici creando cavità ed ampliando quelle già esistenti. Esse hanno operato il prelievo, il trasporto e la deposizione del sedimento che è andato a costituire le sub-facies detritiche con trasporto e la matrice delle altre facies. La grande mobilitazione dei sedimenti ha portato in alcuni casi alla natura poligenica, in senso litologico, dei depositi.

L'evoluzione del carsismo ha condotto ad un progressivo coinvolgimento anche delle facies "autoclastica" e residuale. Gli ammassi appartenenti a tali facies vengono aggrediti dalle acque circolanti e diventano a loro volta sorgenti di sedimenti che andranno a costituire le sub-facies detritiche con trasporto. Ovviamente, per maggior tempo il sedimento è stato coinvolto nel trasporto ad opera delle acque carsiche, più ha subito una selezione granulometrica fino a costituire gli accumuli della sub-facies detritica con trasporto ad opera di acque incanalate.

Le acque carsiche trasportano in soluzione anche grandi quantità di  $\text{CaCO}_3$ , prelevato in profondità dalle porzioni di rocce carbonatiche e destinato a precipitare dando origine al cemento calcitico intergranulare negli ammassi di *pseudocarniole*; più in superficie, lo stesso porta alla formazione delle croste carbonatiche sugli affioramenti e dei riempimenti delle fratture beanti.

## 7. MODELLO INTERPRETATIVO

Il rilevamento e l'analisi sistematica dei dati relativi alle caratteristiche dei diversi tipi di *pseudocarniole* (caratteristiche tessiturali, strutturali, rapporti con altre rocce, rapporti con fenomeni e processi geologici) ha condotto all'inserimento delle facies riconosciute in una proposta di classificazione preliminare; successivamente i diversi tipi di *pseudocarniole* sono stati inquadrati in un modello genetico specifico per le rocce e per la situazione geologico-strutturale della Val Thuràs, di Bardonecchia e del Monte Segurét.

Le complesse variazioni di tutte le caratteristiche (tessiturali, di cementazione, di corrosione, di alterazione) osservabili sia tra *pseudocarniole* di facies differenti, sia entro la stessa facies o addirittura sub-facies, testimoniano una storia evolutiva molto articolata e molto diversa da punto a punto, anche in porzioni dell'ammasso roccioso molto vicine tra loro.

Tale varietà di situazioni deve essere trattata come l'espressione attuale della sovrapposizione e dell'iterazione di un numero imprecisabile di processi che hanno agito in contesti diversi e con modalità diverse

condizionate direttamente dai contesti stessi.

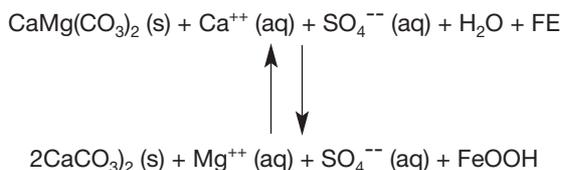
Si è tentato di ricostruire la probabile successione degli eventi responsabili della genesi delle *pseudocarniole*, essendo consapevoli che la successione effettivamente riscontrata sul terreno può essere incompleta e variare da punto a punto.

In un quadro più generale che tenga presente l'insieme delle modificazioni chimiche e fisiche responsabili della trasformazione delle rocce carbonatiche in *pseudocarniole*, i fluidi occupano una posizione di rilievo.

L'origine dei processi di trasformazione può essere ricercata nell'originaria abbondante presenza di gessi (condizione particolarmente frequente anche in altre aree delle Alpi) in seguito alle fasi deformative alpine e nella permeabilità dei "protoliti" carbonatici. La circolazione di fluidi nel sottosuolo può aver portato alla parziale o totale dissoluzione delle rocce evaporitiche (molto solubili); i fluidi, arricchiti in solfati (fluidi selenitosi), hanno permeato e aggredito le rocce carbonatiche ed in particolare anche le dolomie. La dissoluzione generalizzata e la presenza in profondità di cavità occupate originariamente dai gessi contribuiscono alla destabilizzazione generale dell'ammasso roccioso (con formazione di brecce definite in questo lavoro *pseudocarniole "autoclastiche"*) e alla sua locale, successiva scompaginazione in elementi fortemente eterometrici (*pseudocarniole residuali*).

Al variare delle condizioni chimico-fisiche per riduzione di spessore dell'ammasso roccioso dovuto al sollevamento e alla conseguente erosione, nella stessa porzione di ammasso sono precipitate fasi cementizie entro i vuoti, con la contemporanea trasformazione dei clasti preesistenti. Le soluzioni mineralizzate hanno potuto raggiungere la superficie topografica temporanea dando luogo a diverse manifestazioni: travertini, sorgenti calde, ecc.

In bibliografia modelli analoghi a quello qui proposto sono stati descritti da JEANBOURQUIN (1986) nel Vallese e da VEARNCOMBE (1982) nel Gran Paradiso. Entrambi definiscono la seguente reazione di dedolomitizzazione:



La diffusa presenza di depositi compresi tra le *pseudocarniole* come riempimento di forme carsiche

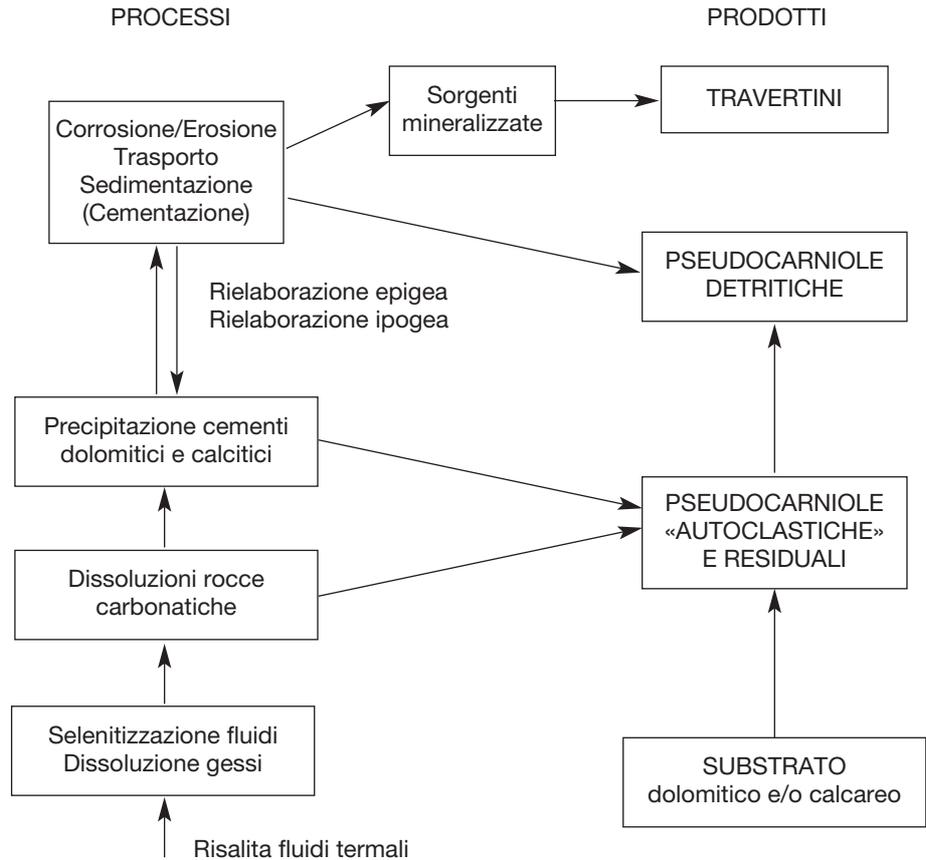


Fig. 2. Modello genetico. Genetic model.

ipogee ed epigee indica poi una stretta relazione tra alcuni tipi di *pseudocarniole* e il carsismo; il fenomeno mostra di aver agito per lungo tempo (numerosi sono i condotti di notevoli dimensioni) e in più cicli (piccoli condotti entro a gallerie occluse; inoltre in alcuni casi si hanno segni di una saltuaria attività di alcuni condotti mentre altri appartengono sicuramente a un paleocarsismo). L'azione del carsismo degli ammassi carbonatici risulta determinante nella genesi delle *pseudocarniole di facies detritica*; per le facies "autoclastica" e "residuale" il suo ruolo è meno evidente e non determinante, poiché sono invece i fenomeni più profondi di dissoluzione che interessano gli ammassi gessosi a rappresentare il principale agente genetico.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E RIASSUNTIVE

Per le brecce carbonatiche, di aspetto vacuolare e di colore da grigio a giallo a ocre, che affiorano nelle Alpi occidentali e che rappresentano un litotipo molto comune, non vi è una terminologia condivisa ("carniole", "cornieules", "cargneules", "Rauhswacken") e al pari vi sono numerose interpretazioni genetiche. Nella letteratura geologica italiana si è manifestato un certo interesse solo nella seconda metà dell'ultimo decennio: le interpretazioni "classiche" (evaporiti triassiche) sono così risultate non coerenti con le nuove osservazioni raccolte. In primo luogo l'età pare essere molto più recente, perché contengono spesso clasti di rocce a

metamorfismo e deformazione di età alpina; la stessa genesi appare poi manifestamente non connessa con i meccanismi di sedimentazione evaporitica marina. Per questi motivi si propone il termine "pseudocarniole" ad indicare delle breccie di aspetto molto simile alle carniole ma dalle quali differiscono per genesi ed età.

Sulla base dei dati emersi dalla recente letteratura e dei risultati delle ricerche condotte nell'ambito del presente studio, si propone inoltre una classificazione delle pseudocarniole della Valle di Susa basata sui caratteri litologici, tessiturali, strutturali, sui rapporti con altre rocce, sulle relazioni con la deformazione, il carsismo e l'alterazione:

- pseudocarniole "autoclastiche": breccie monogeniche dolomitiche o calcaree, in cui sono riconoscibili le tracce dell'originaria stratificazione;
- pseudocarniole residuali: breccie monogeniche dolomitiche o calcaree, caotiche e ricche di matrice;
- pseudocarniole detritiche: breccie, conglomerati, arenarie e siltiti carbonatici per lo più poligenici, distinguibili in - senza trasporto e - con trasporto;
- pseudocarniole incrostanti: crostoni di cemento carbonatico;
- pseudocarniole tettoniche: breccie carbonatiche caratterizzate da tessiture variabili ma localizzate in corrispondenza di piani di faglia.

Il meccanismo-guida che sta alla base della formazione delle pseudocarniole è rappresentato dalla dissoluzione di gessi o anidriti ad opera di fluidi che, arricchendosi in ione solfato, sono in grado di aggredire anche le rocce dolomitiche. L'intensa dissoluzione genera una situazione di generale instabilità con conseguente assestamento gravitativo dell'ammasso (pseudocarniole "autoclastiche") in cui alcune porzioni risultano totalmente scompagnate (pseudocarniole residuali). A questo può seguire una fase o più fasi di cementazione.

Con l'esumazione dell'ammasso roccioso e l'impostazione di un carsismo, parte delle pseudocarniole "autoclastiche" e residuali subisce importanti rielaborazioni in ambiente ipogeo (pseudocarniole detritiche con trasporto) e epigeo (pseudocarniole detritiche senza trasporto).

All'esposizione sub-aerea gli affioramenti di tutte le pseudocarniole vengono coperti da croste carbonatiche centimetriche (pseudocarniole incrostanti) per effetto della grande quantità di carbonati disponibili in superficie e riprecipitati dalle acque di ruscellamento.

Proprio la presenza di tali croste, unitamente alla comune associazione con masse gessose triassiche e alla frequente distribuzione lungo piani di sovrascorrimento ha portato in passato a riunire tutte queste rocce sotto il termine di "evaporiti triassiche".

Infine i dati cronologici diretti (analisi polliniche) e indiretti (presenza di clasti di rocce con metamorfismo alpino, assenza nelle pseudocarniole di deformazione e metamorfismo alpino) raccolti concorrono nell'indicare che il processo evolutivo delle pseudocarniole appare svolgersi in un intervallo di tempo in genere ampio, diverso da una facies all'altra e inquadrabile tra un limite massimo inferiore rappresentato dal post-Oligocene ed il Presente, in cui la rielaborazione carsica pleistocenica rappresenta molto spesso il processo più importante nella impostazione dell'aspetto attuale. La genesi

delle pseudocarniole si colloca quindi in un periodo decisamente recente e assai distante dal Triassico.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- ALBERTO W., CARRARO F., GIARDINO M., MARTINOTTI G., SASSONE P. & TIRANTI D. (2004) - *Segnalazione di sinkholes a vari stadi di evoluzione nelle Alpi Occidentali*. 1° Seminario: Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio, APAT, Roma 20-21 maggio 2004.
- ALLENBACH B. (1982) - *Géologie de la bordure SW du massif d'Ambin (Alpes occidentales). Lithostratigraphie des séries mésozoïques. Analyse tectonique et modélisation de la déformation*. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, pp. 149.
- ALLENBACH B. & CARON J.M. (1986) - *Relations lithostratigraphiques et tectoniques entre les séries mésozoïques de la bordure sud-ouest du massif d'Ambin (Alpes occidentales)*. *Eclogae geol. Helv.*, **79**; 75-116.
- AMIEUX P. & JEANBOURQUIN P. (1989) - *Cathodoluminescence et origine diagénétique tardive des carneules du massif des Aiguilles Rouges (Valais, Suisse)*. *Bull. Soc. géol. France*, **8-1**, 123-132.
- BORGHI A. & GATTIGLIO M. (1997) - *Osservazioni geologico-petrografiche nel settore occidentale del Massiccio d'Ambin*. *Atti Tic. Sc. Terra*, **5**, 64-84.
- BRUCKNER W. (1941) - *Über die Entstehung der Rauhwacken und Zellendolomite*. *Eclogae geol. Helv.*, **34**, 117-134.
- CALLEGARI E., SACCHI R., BOVO S. & TORASSA G. (1980) - *Osservazioni strutturali sul versante italiano del Massiccio d'Ambin (Alpi Graie)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **99**, 395-404.
- CARRARO F. & MARTINOTTI G. (1993) - *"Deformazioni gravitative profonde di versante" indotte da fenomeni di dissoluzione profondi*. IV Seminario del Gruppo informale del CNR "Deformazioni gravitative profonde di versante", Pergola (La Verna), 24-28 maggio 1993.
- D'ARGENIO B. & FERRERI V. (1987) - *A brief outline of sedimentary models for Pleistocene travertine accumulation in Southern Italy*. *Rend. Soc. Geol. It.*, **9**, 167-170.
- DEBELMAS J., GIDON M. & KERCKHOVE C. (1980) - *Idées actuelles sur les carneules alpines*. Livre jubilaire Jacques Flandrin. *Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon. H.S.* **4**, 195-201.
- DEBENEDETTI A. (1988) - *Karstification, glaciation and atmospheric CO<sub>2</sub>*. *Atti Acc. Lincei Rend. fis.*, **(8)**, LXXXII, 313-318.
- DEBENEDETTI A. & TURI B. (1975) - *Carniole della Valle d'Aosta studio isotopico ed ipotesi genetica*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **94**, 1883-1894.
- DELA PIERRE F., LOZAR F. & POLINO R. (1997) - *L'utilizzo della tettonostratigrafia per la rappresentazione cartografica delle successioni metasedimentarie nelle aree di catena*. *Mem. Soc. Geol.*, **49**, 196-206.
- ELLENBERGER F. (1954) - *Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France en Maurienne et Tarentaise (Savoie)*. *C.R. somm. Soc. géol.*

- France, 454-458.
- ENEL (1981) - Elementi di neotettonica del territorio italiano. Carte tematiche e relazione. ALMA, Milano.
- FEDERICI P.R. & RAGGI G. (1974) - *Brecce sedimentarie e rapporti tra le unità tettoniche toscane nel gruppo delle Alpi Apuane*. Boll. Soc. geol. ital., **92**, 435-452.
- FIORASO G. (1993) - *Ricostruzione dell'evoluzione del versante destro della media Valle di Susa nel tratto compreso tra Exilles e Graverè*. Tesi di laurea ined. Univ. Torino, 125 pp.
- FUDRAL S. (1998) - *Etude géologique de la suture téthysienne dans les Alpes franco-italiennes nord occidentales de la Doire Ripaire (Italie) à la région de Bourg Saint-Maurice (France)*. Géol. Alpine, Mémoire HS n° 29, 306 pp.
- FUSETTI E. (2002) - *Studio geologico sulle deformazioni gravitative profonde del settore ossolano tra Crodo, Baceno e Varzo (Verbania, Piemonte, Italia)*. Geol. Insubrica, **6**, 1.
- GAY M. (1971) - *Le massif d'Ambin et son cadre de Schistes Lustrés (Alpes franco-italiennes)*. Thèse, pp. 296.
- GIARDINO M. (1995) - *Analisi di deformazioni superficiali: metodologie di ricerca ed esempi di studio nella media Valle d'Aosta*. Tesi di Dottorato. Consorzio Universitario di Torino-Cagliari, Genova, 236pp.
- GIARDINO M. & POLINO R. (1997) - *Le deformazioni di versante nell'alta Valle di Susa: risposta pellicolare dell'evoluzione tettonica recente*. Il Quaternario, **10** (2), 31-38.
- GRANDJACQUET C. & HACCARD D. (1973) - *Mise en évidence de la nature sédimentaire et de l'âge néogène de certaines séries de "cargneules et gypses" des chaînes subalpines méridionales; implications structurales*. C.R. Acad. Sci. Paris, **276**, 2369-2372.
- GRANDJACQUET C. & HACCARD D. (1975) - *Analyse des sédiments polygéniques néogènes à faciès de cargneules associés à des gypses dans les Alpes du Sud. Extension de ces faciès au pourtour de la Méditerranée occidentale*. Bull. Soc. géol. France (**7**), 17/2, 242-259.
- JEANBOURQUIN P. (1986) - *Les cornieules polymictes des Préalpes internes et de l'Autochtone helvétique en Suisse romande. Thèmes choisis liés aux cornieules en général*. Thèse Univ. Lausanne.
- JEANBOURQUIN P. (1988) - *Nouvelles observations sur les cornieules en Suisse occidentale*. Eclogae geol. Helv., **81-2**, 511-538.
- LEINE L. (1968) - *Rauhewackes in the Betic Cordilleras, Spain*. Thèse Univ. Amsterdam.
- LEINE L. (1971) - *Rauhewacken und ihre Entstehung*. Geol. Rdsch. **60**, 488-524.
- LOMAGNO P. (1992) - *Miniere e cave in Valle di Susa*. Segusium, **33**, 105-118.
- LORENZONI S. (1965) - *Studio geo-petrografico del versante italiano del Massiccio d'Ambin*. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, **25**, 25-88.
- MARSHALL D.J. (1988) - *Cathodoluminescence of geological materials*. Unwin-Hyman, 146 pp., Boston.
- MASSON H. (1972) - *Sur l'origine de la cornieule par fracturation hydraulique*. Eclogae geol. Helv., **65/1**, 27-41.
- MÜLLER W.H. (1982) - *Zur Entstehung der Rauhewacke*. Eclogae geol. Helv., **75/3**, 481-494.
- PATACCA E., RAU A. & TONGIORGI M. (1973) - *Il significato geologico della breccia sedimentaria poligenica al tetto della successione metamorfica dei Monti Pisani*. Atti Soc. tosc. Sci. nat. Mem., **A 80**, 126-161.
- POLINO R., DELA PIERRE F., FIORASO G., GIARDINO M., GATTIGLIO M. (2002) - *Foglio 132-152-153 "Bardonecchia" Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000*. Servizio Geologico d'Italia.
- RICHARDS M.T. & VEARNCOMBE J.R. (1984) - *Sur l'origine des faciès de cargneules et de brèches rencontrés dans une coupe du Trias de la Vésubie, Alpes-Maritimes, France*. Géol. méditerr., **11/3**, 283-286.
- SCHARDT H. (1906) - *Note sur la valeur de l'érosion souterraine par l'action de source*. Bull. Soc. Belge Geol., **20**, pp. 86-94.
- VEARNCOMBE J.R. (1982) - *The tectonic significance of Triassic dolomite and cargneule in the Gran Paradiso region, Western Alps*. Geol. Mag., **119** (3), 49-72.
- WARRACK M. (1974) - *The petrology and origin of dedolomitised, veined or brecciated carbonate rocks, the "cornieules" in the Fréjus region*. French Alps. Quart. J. Geol. Soc. London **130**, 229-247.
- WIESENDER H. (1971) - *Klassifikation und Entstehung terrigener und karbonatischer Sedimentgesteine*. Mitt. geol. Ges. Wien, **64**, 219-236.

Ms. ricevuto il 20 ottobre 2002

Testo definitivo ricevuto il 17 febbraio 2003

Ms. received: October 20, 2002

Final text received: February 17, 2003