

LE CROSTE CALCAREE:

nuove ipotesi sull'ambiente di genesi

Per evitare di dare al termine di crosta calcarea un qualsiasi significato interpretativo, esso verrà usato qui nel suo senso più largo, e cioè quello di « accumulo di calcare in strati individuati nei depositi continentali non lacustri ». La tipologia è stata descritta con grande precisione dai pedologi, soprattutto americani e francesi (L. H. Gile, F. F. Peterson e R. B. Grosman; A. Ruellan). Le croste calcaree possono presentarsi sotto forma di ammassi di noduli, di strati friabili o polverulenti, di banchi di conglomerato a cemento spesso tenacissimo: questi tre tipi principali sono spesso sovrapposti e la parte più dura è sempre quella superiore. In buona parte dei casi, esse sono ricoperte da una zona lamellare, costituita da pellicole di calcite durissime e impermeabili. Lo spessore delle croste può essere notevole, di parecchi metri; a volte l'aumento di volume dovuto all'accumularsi del calcare finisce con il deformare gli strati incassanti fino a produrre delle pseudo-anticlinali (W. Price).

L'importanza di queste formazioni dal punto di vista geomorfologico, pedologico, agronomico è evidente: esse ricoprono infatti vaste superficie nelle regioni attualmente semiaride. Se da una parte proteggono dall'erosione i depositi sottostanti, fossilizzando così una morfologia che permette di ricostituire l'evoluzione del paesaggio, dall'altra rendono difficile, se non impossibile, l'agricoltura. Una bibliografia regionale, assai completa, e che permette di rendersi conto dell'importanza di questi problemi è stata pubblicata di recente a cura di A. S. Goudie.

Nonostante l'interesse che da oltre un secolo gli specialisti di varie discipline hanno dimostrato per le croste calcaree, la genesi di queste non è stata ancora spiegata in modo soddisfacente.

Cercheremo qui di esporre le diverse ipotesi e i risultati di nuove osservazioni.

Un secolo di ricerche: evoluzione delle ipotesi. — Le prime descrizioni di croste calcaree risalgono alla seconda metà del XIX secolo, con l'inizio della prospezione geologica nell'Africa settentrionale e nel Vicino Oriente. Le croste venivano spiegate come un effetto dell'evaporazione che, sotto clima arido, avrebbe fatto risalire verso la superficie le soluzioni capillari del suolo e precipitare i sali in esse contenuti (genesì *per ascensum*). Ma già nel 1911 un geologo americano, J. C. Branner, interpretava la formazione degli enormi crostoni del Nord-est del Brasile in modo tutto diverso: erosione del calcare a monte in seguito a piogge abbondanti, trasporto e deposito dei carbonati lungo i corsi d'acqua. Questa nuova ipotesi, della precipitazione superficiale dei carbonati contenuti nelle acque di ruscellamento, fu ripresa più volte da geologi, da pedologi e, in seguito, da geomorfologi.

Con il rapido sviluppo della pedologia, le croste calcaree vengono viste sotto una nuova luce, come orizzonti di illuviazione dei carbonati nei suoli delle zone semiaride (genesì *per descensum*). I progressi della geochimica, dovuti in gran parte all'evoluzione delle tecniche, hanno fornito un sostegno analitico potente all'ipotesi pedogenetica. La formazione delle croste sarebbe dovuta alla precipitazione in un orizzonte (orizzonte BCa o K) dei carbonati lisciviati dagli orizzonti superiori verticalmente od obliquamente lungo il versante. L'orizzonte si impregna di calcare fino a impermeabilizzarsi; a questo punto, le soluzioni non riescono più a infiltrarsi e scorrono alla superficie dell'accumulo calcareo, depositando le pellicole di calcite (crosta lamellare).

Negli ultimi dieci anni di predominio dell'ipotesi pedogenetica, ci si è chiesti se il problema non sia da riprendere su nuove basi. Quell'ipotesi si fonda infatti essenzialmente sull'esistenza frequente, nelle regioni mediterranee, di orizzonti decarbonatati di colore rossastro, argillosi alla base, sovrastanti le croste calcaree. Quando tali orizzonti mancano, l'assenza viene imputata all'erosione, che avrebbe asportato la parte più fragile del suolo, lasciando allo scoperto la crosta. Nelle regioni più aride l'apporto dei carbonati sarebbe dovuto al vento (polveri eoliche) e la sua

fissazione e concentrazione alla percolazione delle acque meteoriche.

Ma talvolta gli orizzonti decarbonatati e la crosta calcarea sono separati da uno strato di alluvioni intatto, altre volte il suolo penetra in sacche nella crosta; quanto alla crosta lamellare, essa è presente sulle rocce calcaree, anche le più compatte, in assenza di suolo, e la petrografia sedimentaria dei calcari, litorali o lacustri, descrive rocce talvolta identiche alle croste, ma formatesi in ambienti in cui la pedogenesi è da escludere.

La microstruttura delle croste calcaree: i tipi principali. — Alla fine del 1969 la Sezione di Geografia del Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S.) mi affidava l'incarico di studiare l'ambiente di genesi delle croste calcaree nella Francia mediterranea. In questa regione, di fronte alla varietà di struttura di tali formazioni, era difficile ammettere gli stessi processi genetici; bisognava quindi riprendere l'analisi dei diversi tipi. La micromorfologia dei suoli, codificata da R. Brewer, che non era mai stata applicata sistematicamente allo studio delle croste calcaree, sembrava un metodo adatto a definire una tipologia. Ma esso si è rivelato insoddisfacente, perché poteva adattarsi soltanto ad alcuni tipi, mentre la maggior parte di essi sfuggiva a una descrizione secondo il lessico del Brewer: segno che l'oggetto di studio era estraneo alle definizioni pedologiche. Le croste calcaree potevano invece esser più facilmente assimilate a calcari sedimentari e rientravano quindi nel campo della petrografia sedimentaria.

I risultati qui presentati si fondano sullo studio di circa 200 sezioni sottili, provenienti da croste calcaree della Francia mediterranea e inoltre, per confronto, del Maghreb e del Sahara.

I tipi principali di struttura messi in evidenza da queste osservazioni sono cinque:

1) Il cemento è costituito da cristalli di calcite limpida, che formano frange intorno agli elementi detritici o si ingranano a mosaico nei vuoti intergranulari. Tali forme richiedono una circolazione lenta di acque sature di bicarbonati e sembrano ca-

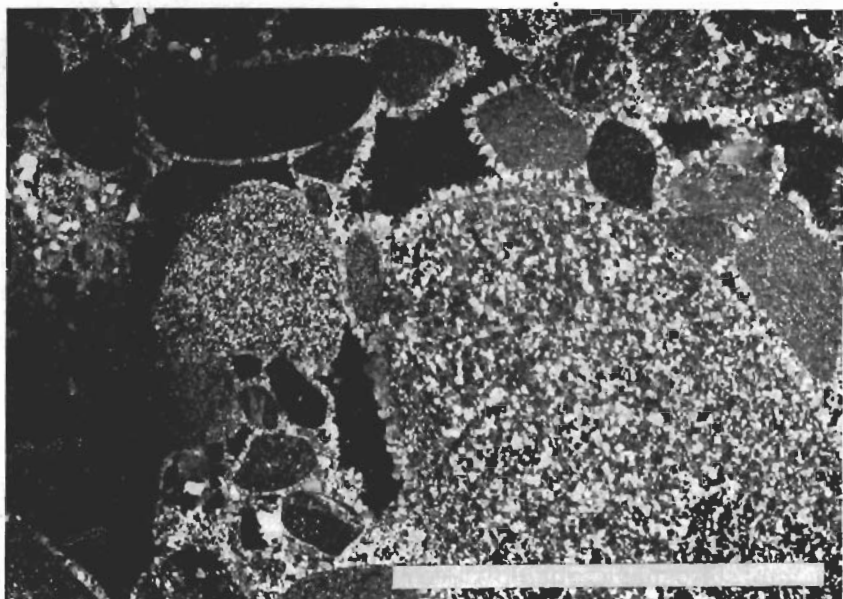


FIG. 1 — CEMENTO DA FALDA FREATICA.

La calcite macrocristallina avvolge completamente gli elementi detritici.
(Il tratto bianco corrisponde a 1 cm).

ratteristiche delle zone di falda freatica, più o meno profonda; la loro genesi è quindi di natura idrogeologica (fig. 1).

2) Gli elementi detritici di diametro superiore a 1 mm si presentano rivestiti di pellicole concentriche, alternativamente di calcite microcristallina e idrossidi di ferro. Alla base dei ciottoli possono svilupparsi frange di cristalli di calcite fibrosa il cui spessore raggiunge qualche millimetro. I cristalli sono attraversati da profili di idrossidi di ferro (fig. 2). Questa forma di cristallizzazione è stata ottenuta sperimentalmente da J.-P. Adolphe sottomettendo a una serie di alternanze gelo-disgelo (gelo a -25°) un campione di sabbia quarzosa contenente un ciottolo calcareo e impregnata di acqua calcarea. Le esperienze erano suggerite dalle ipotesi che spiegavano gli accumuli di calcite nei sedimenti periglaciali come risultato del congelamento delle soluzioni (F. Kriván; A. Cailleux). Le croste calcaree in cui il ce-

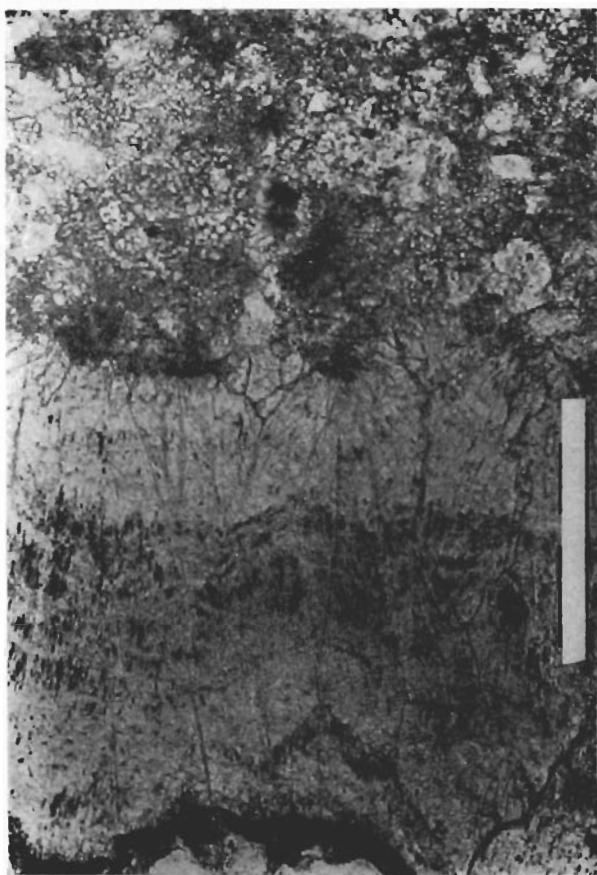


FIG. 2 — CEMENTO DA CONGLOMERATO.

Si notano macrocristalli di calcite orientati verso il basso, i quali hanno origine alla base del ciottolo che si decalcifica. Le zone scure che attraversano i cristalli sono costituite da idrossidi di ferro.

(Il tratto bianco corrisponde a 1 mm).

mento prende questa forma sono caratteristiche di molti depositi alluviali o di versante di fase periglaciale quaternaria, e si rivelano quindi sinsedimentarie.

3) I grani detritici sono cementati da calcite criptocristallina colorata di rosa dagli ossidi di ferro, che si individuano talvolta in dendriti. Vi si osservano spesso filamenti e granuli di

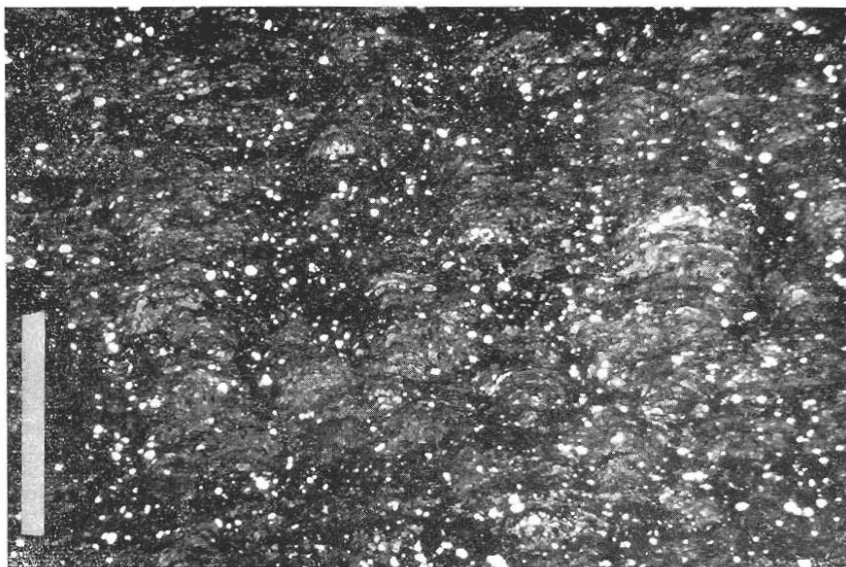


FIG. 3 — CROSTA LAMELLARE PROVENIENTE DA STEPPE TUNISINE.

Si notano cuscinetti di cianoficee tra i quali precipitano i grani di sabbia (puntini bianchi). I filamenti sono ricoperti da calcite criptocristallina.

(Il tratto bianco corrisponde a 1 mm).

origine biologica. La struttura d'insieme è microstratificata. Questa forma di precipitazione della calcite implica variazioni fisico-chimiche brusche (ad es., un'evaporazione rapida di acque superficiali); ma quando vi è presenza di materia organica si può anche pensare all'attività di microrganismi (Batteri, Cianoficee) (K.H. Wolf). La seconda ipotesi sembra indiscutibile nel caso di croste calcaree provenienti da zone subdesertiche dell'Africa settentrionale (fig. 3). In genere, questo tipo si osserva nella parte superiore delle coperture sedimentarie dei versanti a rampa (*glacis*, *Fussfläche*) quaternari e suggerisce un ambiente in cui acque ricche di bicarbonato di calcio (acque di fusione delle nevi?) scorrevano in superficie evaporando rapidamente. L'attività della microflora avrebbe contribuito a far precipitare e a fissare il calcare. La crosta lamellare rientra in questa categoria.

4) La crosta è costituita da una trama di filamenti di origine vegetale, sui quali il calcare è precipitato in forma cripto-

cristallina. Simile a un travertino, questo tipo si ritrova nella parte superiore di parecchi depositi quaternari e indica probabilmente un addolcimento del clima, come i travertini dell'Europa temperata. La *croûte feuilletée* di vari autori probabilmente non è altro.

5) I quattro tipi descritti sembrano dunque di origine sedimentaria e non pedologica; ne è prova principale il fatto che

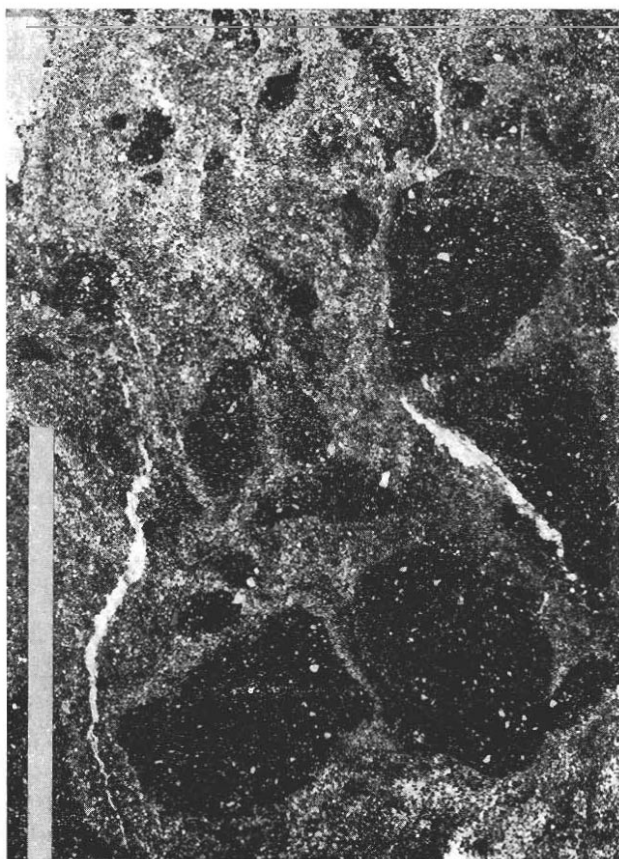


FIG. 4 — CROSTA PEDOLOGICA (orizzonte BCa di un suolo fersiallitico).

Il sedimento si frammenta (placche scure) e le fessure sono invase dalla calcite microcristallina (in grigio). Le nuove fessure (bianche) sono ancora vuote.

(Il tratto bianco corrisponde a 1 cm).

l'accumulo di carbonato non disturba le microstrutture sedimentarie, e quindi deve essere contemporaneo a esse.

Il quinto tipo si distingue dagli altri, invece, perché le strutture sedimentarie, ancora riconoscibili, sono distrutte e sostituite da strutture pedologiche, in cui la direzione verticale è dominante. La calcite è criptocristallina, diffusa, e impregna gradualmente il materiale; nei vuoti o nelle fessure si formano segregazioni di calcite micro- e macrocristallina (« calcitani » di R. Brewer) (fig. 4). Questa forma è tipica degli orizzonti BCa a noduli friabili o coerenti; è l'unica forma indiscutibilmente pedologica, ed è la meno frequente nella Francia mediterranea.

I cinque tipi fondamentali possono coesistere e determinare strutture complesse, in cui è difficile ricostituire un'evoluzione: ad es., la calcite criogenica si trova spesso in alternanza con zone costituite da filamenti organici.

L'alterazione delle croste calcaree: orizzonti pedologici o rocce madri? — I crostoni compatti, protetti dalla zona lamellare, sono praticamente insensibili all'erosione e si comportano come conglomerati resistenti; fenomeni di ricristallizzazione del cemento li rendono ancora più coerenti. Ma, come in genere per le rocce calcaree, i fenomeni di alterazione sono frequenti; ci si deve quindi chiedere se i suoli rossastri, decarbonatati, che spesso ricoprono i crostoni, siano gli orizzonti superiori di un profilo in cui la crosta rappresenterebbe la zona di illuviazione, o non piuttosto suoli derivati dall'alterazione della crosta, che ne sarebbe la roccia madre.

Nel caso di suoli con orizzonti BCa a noduli, l'origine pedogenetica dell'insieme sembra indiscutibile e confermata dalla micromorfologia. Ma quando l'orizzonte calcareo è costituito da un crostone compatto la seconda ipotesi sembra più probabile. Un'attenzione particolare è quindi stata rivolta nella presente ricerca alla zona di contatto tra la crosta e l'orizzonte B del suolo sovrastante, che contiene spesso tracce di accumuli di carbonati in forma di noduli friabili e coerenti.

L'analisi micromorfologica ha reso evidente il fatto che nella maggioranza dei casi il suolo si sviluppa a spese della crosta calcarea e che i noduli presenti nell'orizzonte B sono in genere

residui di crosta che le soluzioni acide del suolo attaccano e distruggono. Nell'orizzonte C si possono osservare precipitazioni secondarie di calcite, proveniente dalla decarbonatazione degli orizzonti superiori. Nelle regioni in cui le condizioni climatiche troppo secche non favoriscono la pedogenesi (ad es. la Provenza interna) i crostoni sono inalterati, compatti, senza copertura di suolo; nelle regioni in cui l'umidità atmosferica è più grande e l'alterazione più intensa, i suoli rossastri si sviluppano (Linguadoca, valle del Rodano, o anche Alsazia meridionale).

Conclusioni. — E' evidente che un orizzonte BCa o un accumulo calcareo di origine sedimentaria non si formano nelle stesse condizioni di ambiente. A seconda dell'interpretazione genetica, il significato di una crosta calcarea ai fini della ricostituzione geomorfologica e dell'evoluzione pedologica è diverso.

Nella Francia mediterranea, nelle regioni in cui i fenomeni periglaciali quaternari sono stati intensi e ancor oggi le temperature invernali risentono del *mistral* frequente (Linguadoca, basso bacino e delta del Rodano), le croste calcaree sono soprattutto di fase fredda (da congelamento, tipo 2); alla fine di queste fasi si sono formati accumuli simili a travertini (tipo 4). Ma negli interglaciali caldi e probabilmente umidi la pedogenesi è stata intensa con sviluppo di suoli rossastri a orizzonte B argilloso, in cui le croste servono da roccia madre.

Nella Bassa Provenza interna, regione dal clima più asciutto e al riparo dai venti settentrionali, le croste calcaree si sono formate in genere per ruscellamento ed evaporazione di acque fredde e cariche di bicarbonati (probabilmente acque di fusione delle nevi) (tipo 3). L'alterazione durante gli interglaciali è meno intensa e l'evoluzione pedologica resta limitata.

Nei due casi, l'indipendenza genetica tra le croste e i suoli sovrastanti sembra chiara. Esistono però nelle stesse regioni suoli ad accumuli calcarei, sviluppatisi durante gli interglaciali. La distinzione, talvolta difficile sul terreno, diviene possibile grazie all'analisi micromorfologica.

Sarebbe interessante poter estendere queste ricerche all'Italia centrale e meridionale: ciò permetterebbe di osservare la transizione fra l'Africa settentrionale e la Francia mediterranea.

BIBLIOGRAFIA

- ADOLPHE J.-P., *Obtention d'encroûtements carbonatés par gel expérimental*, in « C. R. Acad. des Sciences », Parigi, 1972, 274, D, pp. 1139-1142.
- BATHURST R. G. C., *Carbonate Sediments and their Diagenesis. Developments in Sedimentology*, Amsterdam, Elsevier, 1971, pp. 620.
- BRANNER J. C., *Aggraded limestone plains of the interior of Bahia and the climatic changes suggested by them*, in « Bull. Geol. Soc. of America », New York, 1911, 22, pp. 187-206.
- BREWER R., *Fabric and mineral analysis of soils*, New York, J. Wiley and Sons, 1964, pp. 470.
- CAILLEUX A., *Genèse possible de dépôts chimiques par congélation*, in « C. R. Sommaires des Séances de la Soc. Géol. de France », Parigi, 1964, pp. 11-12.
- GILE L. H., PETERSON F. F. e GROSSMAN R. B., *The K horizon: A master horizon of carbonate accumulation*, in « Soil Science », Baltimore, 1965, pp. 74-82.
- GOUDIE A. S., *A regional bibliography of calcrete*, nel vol. *Food, Fiber and Arid Lands*, coordinato da W. G. MCGINNIES, B. J. GOLDMAN e P. PAYLORE, Tucson, The Univ. of Arizona Press, 1971, pp. 421-437.
- KRIVÁN P., *Trundverscheinungen mit Eislinsen in Ungarn*, in « Földtani Közlöny », Budapest, 1958, pp. 201-209.
- LAND L. S., *Phreatic versus meteoric diagenesis of limestones: Evidence from a fossil water table in Bermuda*, nel vol. *Carbonate Cements*, coordinato da O. P. BRICKER, Londra, J. Hopkins, 1971, pp. 133-136.
- MERCIER J.-L. e VOGT T., *Étude d'un encroûtement calcaire des environs de Narbonne: signification génétique et géomorphologique*, in « Bull. de l'AFEQ », Parigi, 1974, 2, pp. 73-79.
- PRICE W., *Caliche and pseudo-anticlines*, in « Bull. of Amer. Ass. Petroleum Geologists », Tulsa, 1925, pp. 1009-1017.
- RUELLAN A., *Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc*, in « Cahiers ORSTOM », série pédologique, Parigi, 1967, pp. 421-462.
- VOGT T., *Étude en lame mince d'un dépôt périglaciaire à encroûtement calcaire*, in « C. R. Acad. des Sciences », Parigi, 1974, 279 D, pp. 1099-2002.
- WOLF K. H., *« Grain-diminution » of Algal colonies to micrite*, in « Journ. of Sedimentary Petrology », Tulsa, 1965, pp. 420-427.

SUMMARY. — In Mediterranean France, calcareous crusts may have various origins, which can be distinguished by petrographic analysis. Five main types are described: hydrogeological, cryogenic, detritic, biogenic, and pedological.