

MICROSTRUTTURE DELLA CROSTA CALCAREA LAMINARE (ORIZZONTE PETROCALCICO) DI DUE PALEOSUOLI PLEISTOCENICI NELL'AGRO DI CERIGNOLA (FOGGIA)

Donatello Magaldi¹ & Maria Giammatteo²

¹Dipartimento di Scienza del Suolo e Nutrizione della Pianta, Università di Firenze,
Piazzale delle Cascine, 50 144 Firenze, donatello.magaldi@unifi.it

²Centro di Microscopia Elettronica dell'Università di L'Aquila, Monteluco di Roio, 67040 L'Aquila

RIASSUNTO: D. Magaldi & G. Giammatteo, *Microstrutture della crosta calcarea laminare (orizzonte petrocalcico) di due paleosuoli Pleistocenici nell'agro di Cerignola (Foggia)*. (IT ISSN 0394-3356, 2008).

L'orizzonte petrocalcico (crosta calcarea, caliche, calccrete) è un orizzonte calcico indurito di origine pedogenetica, particolarmente diffuso nelle zone aride e semiaride. Questa ricerca si è indirizzata alla descrizione dei livelli micro-laminari di crosta calcarea (*laminar crust*) osservati al microscopio elettronico a scansione (SEM), provenienti da due suoli dell'agro di Cerignola, in Provincia di Foggia e al loro significato paleo- ambientale. Sono stati prelevati 8 frammenti della crosta calcarea laminare appartenente all'orizzonte petrocalcico di due paleo- suoli su depositi marini sabbiosi terrazzati del Pleistocene Inferiore. I due suoli appartengono a superfici poste a diversa altezza, rispettivamente a 100 m e a 80 m s.l.m.

Le osservazioni al SEM evidenziano l'esistenza di due differenti microstrutture (alfa e beta secondo Wright) che indicano un processo di formazione dell'orizzonte petrocalcico in ambiente rispettivamente, "inorganico" e "organico". La prima prevale nel suolo situato a quota più elevata (QS), la seconda in quello situato più in basso (VM). Queste strutture sono in ottimo accordo con un ambiente di clima mediterraneo e un *parent material* calcareo. I risultati, confrontati con la numerosa documentazione proveniente dalla letteratura internazionale, portano a concludere che il suolo a quota maggiore ha una crosta sub-superficiale prevalentemente di origine inorganica, dovuta a forte evapotraspirazione e alla circolazione di acque vadose in condizioni climatiche da aride a semiaride, mentre in quello a quota minore (VM), la crosta, sub-superficiale, appare più decisamente di origine biologica (vegetazione presente sul suolo e microrganismi), in condizioni climatiche variabili da semiaride a sub umide. Queste condizioni diverse da quelle attuali, testimoniano che i due profili sono geneticamente differenti e forse di diversa età e sviluppo e al tempo stesso confermano ancora una volta il significato e l'importanza della crosta calcarea nelle ricostruzioni paleo climatiche del Quaternario.

ABSTRACT: D. Magaldi & M. Giammatteo, *Laminar crust microstructures of 2 Pleistocene palaeosols with petrocalcic horizons from Cerignola (Foggia Province, Southern Italy)*. (IT ISSN 0394-3356, 2008).

The petrocalcic horizon (caliche, calcareous crust) is a cemented or indurated calcic horizon largely occurring in arid, semiarid and Mediterranean zones worldwide. Palaeosols with petrocalcic horizons which formed on the Early Pleistocene marine sediments are common in the Capitanata plain of the Foggia Province, Southern Italy.

This paper reports results of SEM –EDX observation carried out on the laminar crust or platy horizon collected from two Petrocalcic Calcixerepts (QS and VM) which formed on terraced sandy sediments in the countryside near Cerignola (Capitanata plain) at 100 and 80 m a.s.l. respectively. The soils differentiate for texture and profile development: being coarse and well developed QS, moderately fine and less developed, VM. Results revealed in all samples the occurrence of features related to calcite micro features (the α and β fabric after Wright) which are differently spread in the samples of each crust. QS crust possesses features mainly related to a fabric (inorganic origin) which is characterised by common crystallisation of large scalenohedral and rhombohedral calcite individuals, being scarce calcite features of biologic origin. On the contrary features as needle-shaped crystals, rice-grains crystals, tubules and rhizolites which are attributed to β fabric (biologic origin) are dominant in VM samples together with some silica substitution for calcium carbonate in organic structures. Formation of these crust appears to be controlled by palaeoenvironmental factors. According to information coming from international references, it was assumed that inorganic process as evapotranspiration and vadose water movement mainly acted on the QS crust formation so producing the randomly arranged large crystals and the Ca and Mg enrichment during some arid or semiarid climatic conditions. Instead the VM crust shows more expressed biologic features which are commonly related to be acquired in semi-arid to sub-humid climatic conditions by the action of both soil vegetation and micro-organisms. Moreover, the occurrence of silica mobilisation and precipitation let us to assume that a strong soil pH variation during past time has happened. The two profiles were considered genetically different on the basis of microscopic features of the laminar crust. This fact also suggests that QS profile is older than VM and nearly confirms the significance of laminar crust in the Quaternary palaeoclimatic reconstruction.

Parole chiave: crosta calcarea, orizzonte petrocalcico laminare, microscopia elettronica a scansione, paleosuoli, Pleistocene, significato paleoclimatico.

Key words: calccrete, laminar petrocalcic horizon, scanning electron microscopy, palaeosols Pleistocene, palaeoclimatic significance.

INTRODUZIONE

I suoli con orizzonte calcico e petrocalcico sono largamente diffusi nelle regioni a clima semiarido e mediterraneo; si stima che questi suoli coprano circa il 13% delle terre emerse (YAALON, 1988). L'orizzonte petrocalcico viene comunemente indicato con i termini generici di crosta calcarea, caliche, calccrete ecc. che indicano, non solo un orizzonte calcico indurito di origine pedogenetica ma anche accumuli carbonatici di origine sedimentaria, idrogeologica e diagenetica, che si localizzano tuttavia a profondità superiori a quelle della

crosta pedogenetica e sono generalmente abbastanza distinguibili da quest'ultima.

I petrocalcici sono di norma relativamente antichi e secondo la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999 e 2006) gli orizzonti maggiormente induriti e più spessi non sarebbero posteriori al Pleistocene Superiore: orizzonti petrocalcici sono stati tuttavia individuati inoltre in sequenze sedimentarie molto antiche, a partire dal Precambriaco (CHOWN & CADY, 1983 citato da WRIGHT & TUCKER, 1991).

Da un punto di vista tecnico la crosta ha un comportamento antitetico. Infatti se da una parte limita la

profondità di radicazione, la circolazione e a volte lo smaltimento delle acque vadose ed infine la lavorabilità meccanizzata del suolo, dall'altra può costituire una materia prima economica di facile reperibilità per piccole costruzioni e strade rurali, specialmente nei Paesi in via di sviluppo (DINCER *et al.*, 2007; IFG, 2006).

In Puglia i suoli con crosta sono relativamente comuni specie nella Capitanata e sui rilievi immediatamente circostanti dove, accanto a suoli di antica pedogenesi, si trovano suoli con crosta in formazione, processo favorito dalle attuali condizioni di piovosità pari a 500-600 mm annui compatibili con l'instaurarsi di questo processo (GOUDIE, 1983; BIRKELAND, 1984).

Alcune relazioni tra caratteristiche dei suoli con orizzonte calcico e petrocalcico dell'Italia Mediterranea e aspetti del paesaggio sono stati oggetto di una nota di alcuni anni fa (CARNICELLI *et al.*, 1989). Questo studio intende portare un contributo alla conoscenza delle microstruttura osservata al microscopio elettronico a scansione (SEM) su livelli micro-laminari di crosta calcarea (*laminar crust*, *platy horizon*, *croute zonaire (fr)*) provenienti da due paleosuoli dell'agro di Cerignola, in Provincia di Foggia e al suo significato paleoambientale (Fig.1).

MATERIALI E METODI

Sono stati prelevati 8 frammenti della crosta calcarea laminare (laminar crust) appartenente all'orizzonte petrocalcico di due Petric Calcisol (FAO, 2006) o Petrocalcic Calcixerept (USDA, 2006) sui depositi marini del Pleistocene Inferiore (*Sabbie straterellate giallastre pulverulente con intercalazioni argillose, ciottolose e concrezioni calcaree con molluschi litorali, Foglio 175, Cerignola*), situati a Nord di Cerignola alle seguenti coordinate geografiche:

profilo "Tenuta il Quarto" (QS), Lat. N 41°17', Long. E 15°55', quota di circa 100 m; profilo "Via del Mare" (VM), Lat. N 41°18', Long. E 15° 54', quota di circa 80 m, Fig. 2.

Il *parent material* dei due suoli è costituito da sabbie con intercalazioni limo-argillose, oggetto in passato di uno studio

sedimentologico e paleoecologico da parte di CALDARA *et al.*, 1979.

All'interno dei sedimenti e dei suoli si trovano casualmente granuli di silicati di origine vulcanica (clino- pirosseni, principalmente) aventi le dimensioni

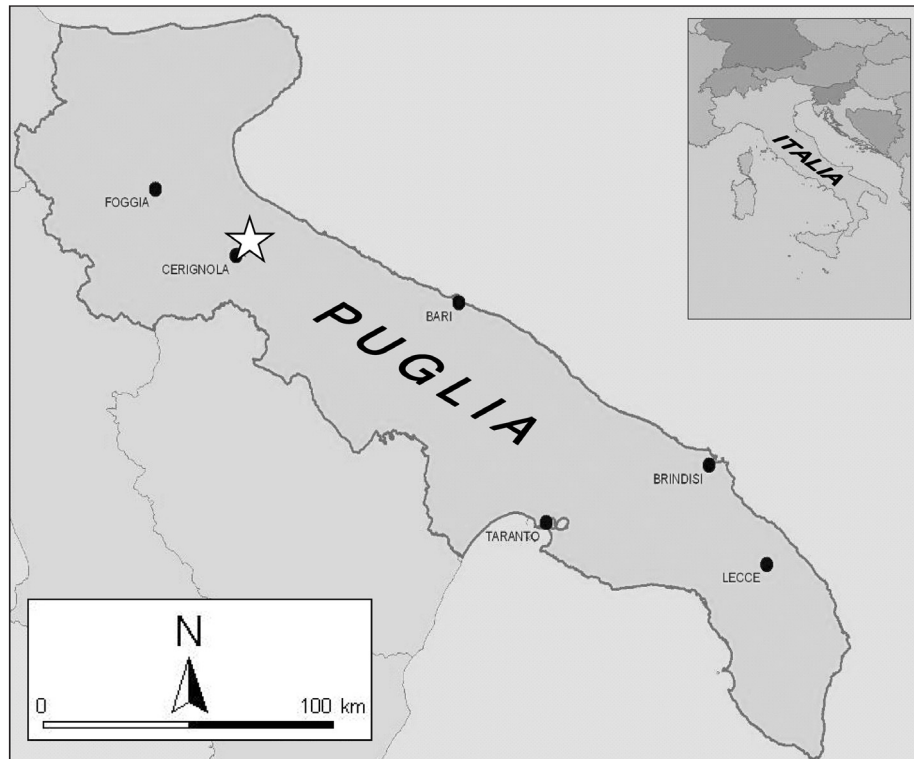


Fig. 1- Localizzazione della zona di campionamento (immediatamente a NNE di Cerignola, indicata con asterisco).

Location of sampling area near Cerignola, Foggia Province, Apulia.

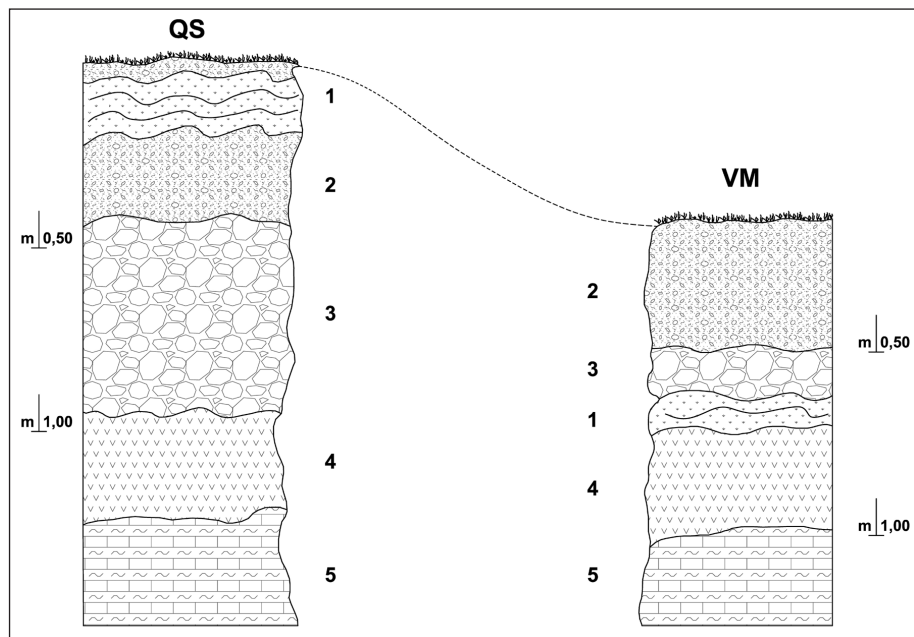


Fig. 2 - Profili schematici dei suoli campionati. I numeri hanno il significato seguente: 1, crosta laminare; 2, orizzonte pedogenetico; 3, crosta nodulare; 4, concrezioni a sviluppo verticale; 5, sabbie e argille del substrato.

Outlines of sampled soil profiles. Numbers relate to following meanings: 1, laminar crust; 2, soil horizon; 3, nodular crust; 4, vertical carbonate concretions; 5, sands and clays of the parent material.

della sabbia fine, presumibilmente facenti parte di materiali piroclastici emessi dal non lontano Vulture, secondo quanto osservato da uno di noi (DM) nel corso di un rilevamento pedologico non pubblicato.

I due profili fanno parte dell'Unità tassonomica SPA 1/SP2 secondo la Cartografia Pedologica Ufficiale della Regione Puglia, che si estende quasi interamente sulla formazione geologica Qm2 ed è costituita principalmente da Calcisols, con vari gradi d'espressione dell'orizzonte calcico.

Il profilo QS è stato descritto alla sommità di una scarpata artificiale nei pressi della Tenuta Il Quarto. Presenta, al di sotto di un orizzonte A scuro (10 YR 3/3) di circa 15 - 20 cm, un orizzonte petrocalcico costituito da una crosta laminare ondulata di qualche decimetro, al di sotto della quale il suolo è incrostato, prima da accumuli nodulari di carbonato di calcio e più in profondità, da concrezioni a sviluppo verticale, poco cementate, che arrivano fino al contatto con le sabbie del substrato. Il profilo VM è sostanzialmente simile, anche se la crosta laminare compare entro l'orizzonte di accumulo dei carbonati a circa 50 cm di profondità e il profilo pedologico è meno sviluppato. (Fig. 2). In entrambi i suoli, la reazione è sempre alcalina e l'orizzonte superficiale appare ben umificato ed è in genere lavorato fino al limite superiore del petrocalcico, mentre la tessitura è franco-gros-solana nel suolo QS e franco-fine nel suolo VM.

L'indagine micromorfologica (microscopia ottica) e la microscopia elettronica sono state da moltissimo tempo applicate allo studio delle croste carbonatiche da parte sia di pedologi (da BAL., 1975 a OULD MOHAMED & BRUAND, 1994) che di geologi e petrografi del sedimentario (da JAMES, 1972 a WRIGHT, 1990 a ALONSO ZARZA, 2002 e a SHANKAR N., ACHYUTHAN H., 2007). La crosta calcarea presente in Puglia è stata studiata da MAGALDI, 1983; da Carnicelli et al., 1989, e più di recente, da CLIMACO et al., 1992, che hanno eseguito uno studio sulla morfologia e sulla distribuzione del calcare nella Capitanata tra i fiumi Fortore e Ofanto.

In precedenza MAGALDI (1983) aveva eseguito una serie di osservazioni in sezione sottile su questi e altri profili della Puglia, riscontrando che la crosta laminare a livello microscopico si presenta, sia in forma nodulare che in forma fogliettata, la prima costituita da calcite micritica con zone a *lubinite* (Stoops, 1976), la seconda da calcite micro-sparitica in lamine compatte e ondulate. Questo studio si è quindi avvalso delle sole tecniche di microscopia elettronica a scansione (SEM) condotte, sia su frammenti di crosta nodulare, che fogliettata. I frammenti, opportunamente trattati, sono stati esaminati al microscopio elettronico a scansione, presso il Centro di Microscopia Elettronica dell'Università di L'Aquila. Ad integrazione delle osservazioni SEM, sono state eseguite analisi "elementali" per mezzo dei raggi X prodotti con la stessa strumentazione (SEM-EDX).

RISULTATI

Un'approfondita analisi al SEM, ha permesso di riconoscere in tutti i campioni esaminati (4 campioni in più repliche per ciascuno dei due profili) la contemporanea presenza, anche se con differente intensità, delle due microstrutture proposte alcuni anni fa da Wright (1990): la *fabric* α o *fabric* inorganica, che corrisponde alla struttura macroscopica K di GILE 1961 e di GILE et

al., 1966 ed è caratterizzata da una massa di fondo microsparitica o sparitica, con grandi cristalli scalenoedrici e romboedrici di calcite e noduli carbonatici, ecc., e la *fabric* β o *fabric* organica, microstruttura dominata da forme di origine biologica come la calcite aciculare, i rizoliti ed altre.

Le forme della calcite secondaria riscontrate al SEM sono qui di seguito descritte e interpretate, sulla base della letteratura internazionale e della esperienza diretta in campagna, distinte sulla base del profilo dove sono più frequenti o addirittura esclusive. Si è preferito usare la terminologia inglese, seguita dalla traduzione italiana, per facilitare il riferimento con la letteratura scientifica internazionale più recente.

Crosta del profilo VM. Presenta il maggior numero di morfologie, proprie della *fabric* β e in minor grado quelle della *fabric* α .

Rhombohedral crystals (cristalli romboedrici) - Rappresentano la forma più comune della calcite presente nel petrocalcico. Sono cristalli con poche facce romboedriche in genere allungate ma anche equidimensionali con dimensioni comprese tra 2-3 e 10 μm . Secondo COURTY et al., (1989) la neoformazione di grandi cristalli di questa forma è determinata da soluzioni contenenti solo bicarbonato, che precipita in assenza d'ostacoli all'accrescimento cristallino. CHADWICK et al., 1989 citati da WRIGHT & TUCKER, 1991, ritengono che questi cristalli siano più comuni in suoli con elevato contenuto salino, scarsa quantità di sostanza organica e breve durata dei periodi umidi. In accordo con l'interpretazione di WRIGHT (1990) questi cristalli sono tipici della *fabric* α . KAPUR et al., (1993) suggeriscono che cristalli di questa morfologia si siano formati, in un paleosuolo del Quaternario della Turchia, in seguito alla deposizione da soluzioni concentrate, durante uno stadio "interpluviale di disseccamento" (Fig. 3 A).

Needle-shaped crystals (cristalli aciculari) - Corrispondono alla *lubinite*; (Stoops, 1976). Sono cristalli aghiformi lunghi circa 10 μm in media, a volte con forme cilindriche molto strette (*microrods?*). Secondo JAMES (1972) e FOLK, (1976) sarebbero il risultato di una cristallizzazione rapida da soluzioni sovrassature ricche in Mg, che inibirebbe la crescita di grossi cristalli. Si ritiene che questa calcite sia dovuta al metabolismo di alghe e funghi (KRUMBEIN, 1968; WRIGHT & TUCKER, 1991; WRIGHT, 1990 e 1991). Altri autori attribuiscono la formazione di questi cristalli ad una azione congiunta delle ife fungine e di batteri viventi su di esse (ESTEBAN, 1973; CALLOT 1985; OULD MOHAMED & BRUAND, 1994). Diversa l'opinione di KNOX (1977), e STOOPS (1990), che interpretano questi cristalli come una fase primitiva della cristallizzazione della calcite. Da questi cristalli secondo DUCLOUX et al., (1984) si formerebbero in seguito cristalli scalenoedrici e successivamente, romboedrici. L'ipotesi d'altra parte non è in contrasto con un'origine biologica (prodotta dal metabolismo dei funghi) di questa morfologia come sembra ormai internazionalmente accettato (ALONSO ZARZA, 2002). Questa forma, costituita da calcite a basso contenuto in Mg, è presente in tutti i campioni. (Fig. 3 B e C).

Rice-grains crystals (cristalli a forma di grani di riso) - Lunghi una decina di micron e larghi la metà, sono cristalli affusolati con facce romboedriche allungate e tracce di dissoluzione. Sono stati descritti da Wright, 1990 come appartenenti alla *fabric* α (facies inorganica) ma non ne viene fornita l'interpretazione (Fig. 3 D).

Tubules (tubicini) - Tubicini a sezione cilindrica, superficie rugosa, spesso biforcata e lunghi fino a 100 μ ; sembrano radici calcificate e potrebbero rappresentare una varietà a maggiori dimensioni dei *Needle shaped crystals* secondo quanto si deduce dalla figura 2 di

Fig.3 - Microfotografie SEM di vari frammenti di crosta laminare carbonatica con indicazione del profilo di provenienza.

SEM micrographs of some laminar crust fragments obtained from indicated soil profile

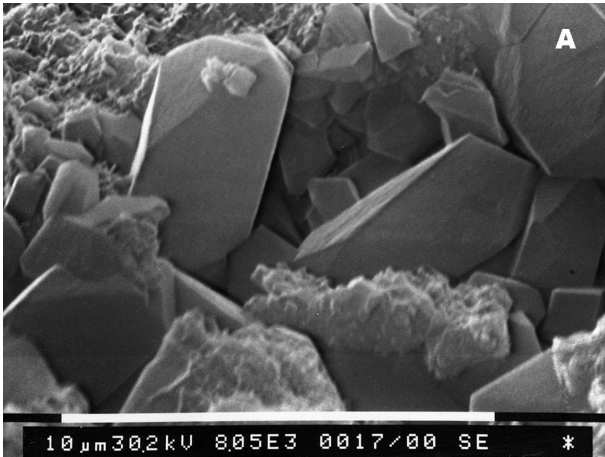


Fig. 3 A - Cristalli romboedrici di calcite (VM e VS).
Rhombohedral crystals of calcite (VM e VS).

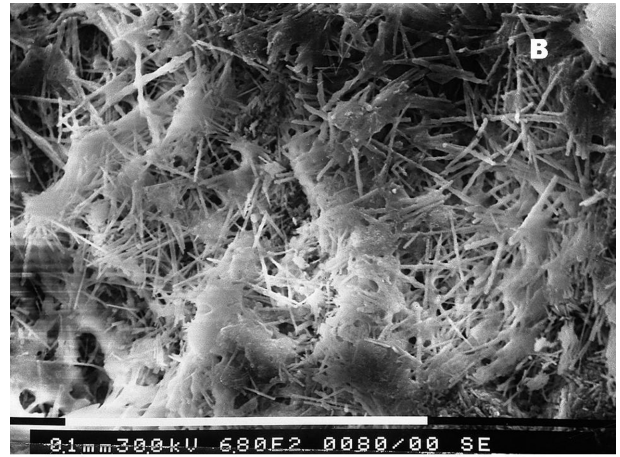


Fig. 3 B - Intreccio di cristalli aciculari di calcite (VM).
Network of needle-shaped calcite crystals (VM).

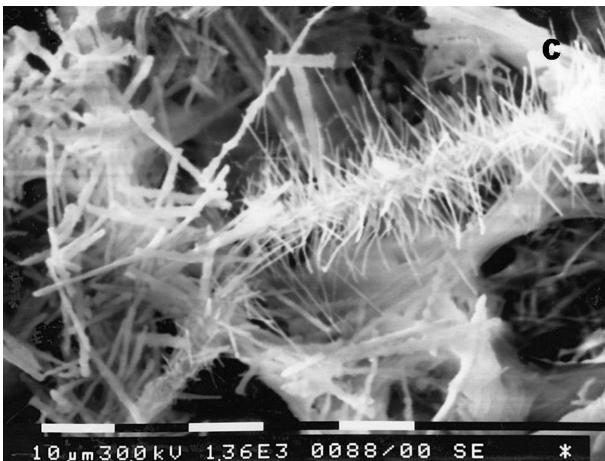


Fig. 3 C - Cristalli aciculari di due generazioni (VM).
Two generations of needle shaped calcite crystals (VM).

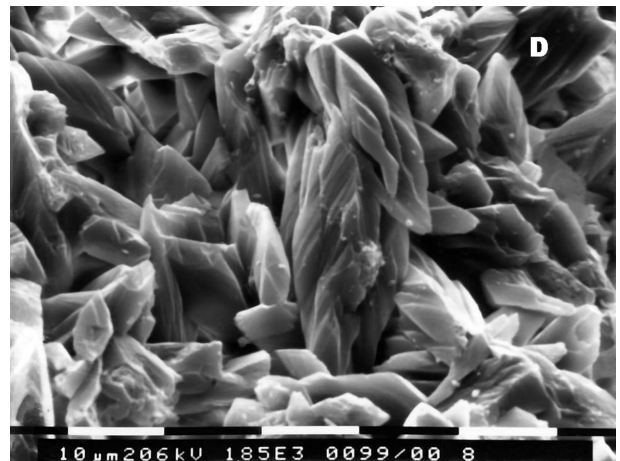


Fig. 3 D - Aggregato di cristalli a forma di "grani di riso" (VM).
Rice-grain crystals aggregate.

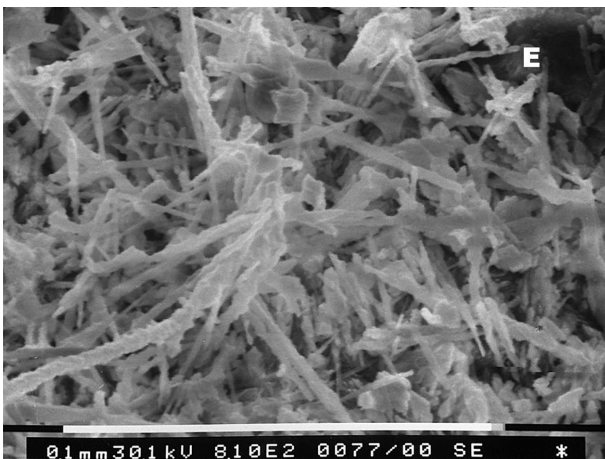


Fig. 3 E - Intreccio di tubicini calcitici (VM).
Calcite tubules network (VM).

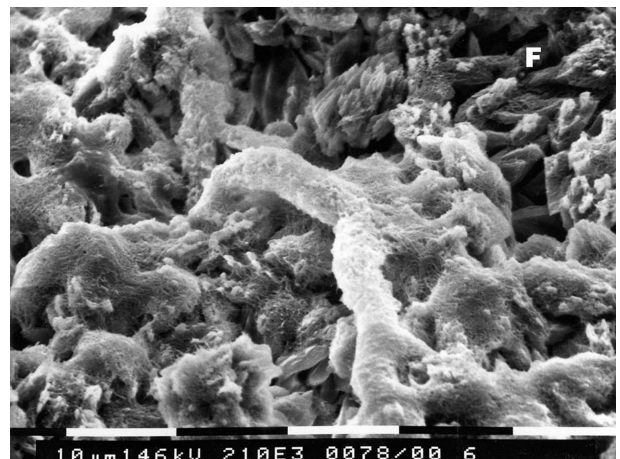


Fig. 3 F - Aggregato di radici calcificate (VM).
Rhizolites aggregate (VM).

OULD MOHAMED & BRUAND (1994) (Fig. 3 E).

Rhizolites (radici calcificate) - Tubi contorti e irregolari che rappresentano intrecci radicali calcificati e sono tipici delle *fabric* di tipo β (WRIGHT, 1990). Compaiono solo in un campione del profilo VM (Fig. 3 F).

Oltre alle precedenti morfologie della calcite, sono state osservate in un solo campione particolari morfologie di accumulo della silice amorfa, non riscontrate in letteratura, secondo quanto segue.

Sponges (spugne) - Accumuli spugnosi di silice con micro-forme di corrosione regolari successive, forse d'origine animale e /o radicale (Fig. 4 A e Fig. 4 B). I forellini potrebbero essere stati causati dall'uscita di

Fig. 4 - Microfotografie SEM di frammenti di crosta a composizione silicea e carbonatica con indicazione del profilo d'appartenenza. SEM micrographs of siliceous and carbonate laminar crust fragments with indication of related soil profile.

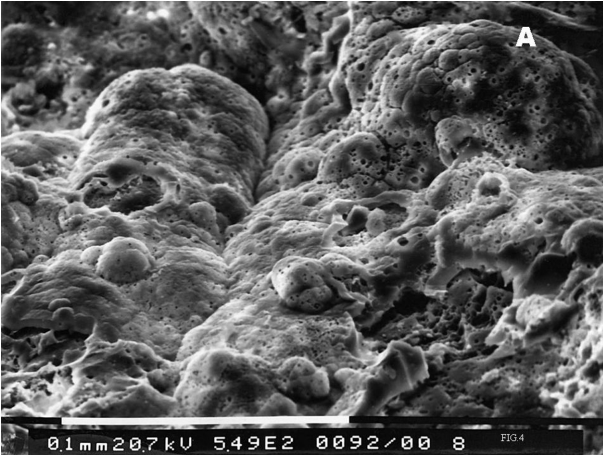


Fig. 4 A - Accumulo spugnoso di silice colloidale con vacuoli dovuti a perdita di fluidi (VM).

Spongy heap of colloidal silica with small holes determined by fluids expulsion.

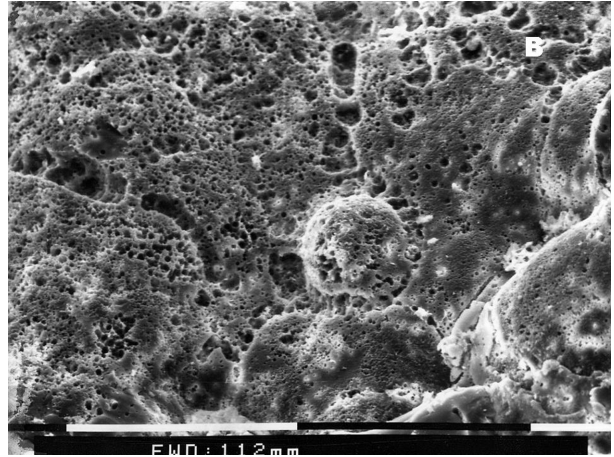


Fig. 4 B - Come la precedente. Si notino i solchi "vermiformi" di origine sconosciuta (VM).

As the previous one. Note the worms-like furrows whose origin is unknown.



Fig. 4 C - Accumulo sferoidale di silice probabilmente in sostituzione di strutture organiche (VM).

Spherical silica heap perhaps as replacement of some organic structure (VM).

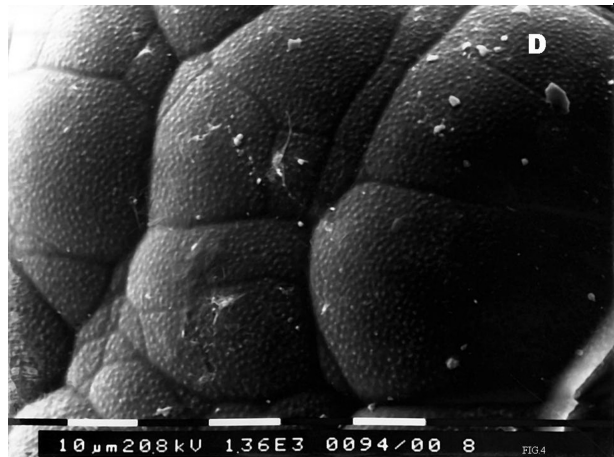


Fig. 4 D - Particolare della precedente (VM).

Particular of the previous one (VM).

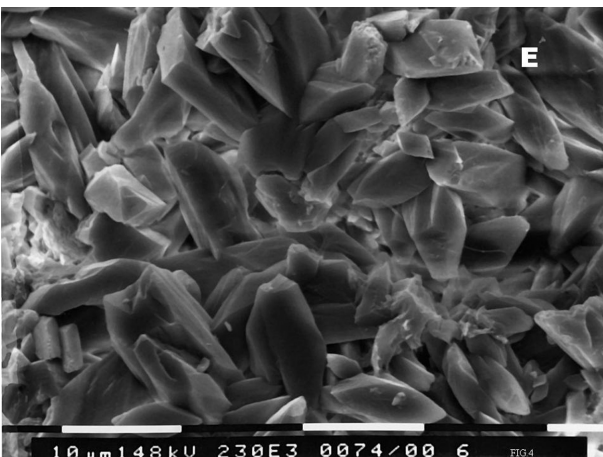


Fig. 4 E - Cristalli scalenoedrici di calcite in distribuzione disordinata (QS).

Random arrangement of calcite scalenohedral crystals (QS).

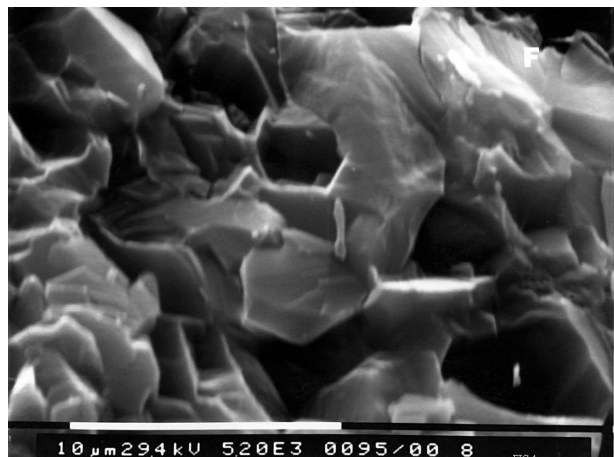


Fig. 4 F - Distribuzione a nido d'ape dei cristalli di calcite(QS).

Honeycomb fabric of calcite crystals (QS).

fluidi, analogamente a quanto riferito da Smart e Tovey, 1981, pag.106, foto 11.23.

Spheroids (sferoidi)- Accumuli sferoidali schiacciati di silice in sostituzione di strutture organiche (spore?) (Fig. 4 C e Fig. 4 D).

La silice colloidale sostituisce il carbonato di calcio probabilmente in conseguenza di variazioni di pH. Secondo COURTY *et al.*, 1989, la silice di neoformazione nel suolo proviene di norma dall'alterazione dei silicati e il processo responsabile del suo arricchimento nell'orizzonte sarebbe proprio di ambiente aridi a pH elevato. Concentrazioni di silice colloidale sia in forma laminare che sferoidale, sono ricordate peraltro da BOETTINGER & SOUTHWARD (1990) in un Typic Durorthid del Mojave Desert della California. Anche la Soil Taxonomy (1999) riferisce che alla cementazione dell'orizzonte petrocalcico contribuisce una certa percentuale di silice.

Crosta del profilo QS. Vi si osserva una minore varietà di forme, la maggior parte delle quali appartengono alla *fabric* β , sia pure con frequenza minore rispetto al precedente crosta: *rhomboidal crystals*, *needle-shaped crystals* e, molto raramente i *tubules*. Sono sempre assenti i *rizolithes*. La forma che invece sembra essere esclusiva del profilo, appartenente alla *fabric* di tipo α e presente in tutti i campioni esaminati, è qui di seguito descritta.

Scalenoedral crystals (cristalli scalenoedrici). Cristalli allungati fino a circa 10 -20 μm , con bordi sia regolari che irregolari (Fig. 4 E). Forse corrispondono agli *spindle calcite crystals* di OULD MOHAMED & BRUAND (1994). Come ricordato in precedenza (DUCLoux *et al.*, 1984) rappresenterebbero una forma cristallina intermedia tra i cristalli aciculari e la calcite romboedrica. KOSTOV & KOSTOV (1999) nel loro fondamentale trattato sulla forma dei minerali in rapporto al microambiente di formazione, riferiscono una morfosequenza della calcite, dove i cristalli scalenoedrici e romboedrici acuti sarebbero propri di un ambiente ossidante con bassa disponibilità di CO_2 e di ioni OH. La maggior parte dei campioni è caratterizzata da una distribuzione disordinata dei cristalli di calcite con poche cavità che tuttavia, a volte si dispongono a formare una struttura a nido d'ape (Fig. 4 F).

Composizione chimica. Si noti la scarsità del magnesio nelle 2 croste e la presenza del cloro e dello zolfo nei campioni provenienti dalla crosta situata a quota minore (VM), dovuta forse alla circolazione di acque contaminate da sali marini all'interno del profilo pedologico oppure alla originaria composizione del *parent material* che come ricordato in precedenza, è un sedimento di ambiente marino. Insieme al fosforo, que-

sti elementi potrebbero inoltre indicare la presenza di sostanza organica entro la crosta. Sempre nella VM, si osserva un valore piuttosto elevato di silicio che dovrebbe corrispondere ad un 5% di silice. La crosta QS appare invece sensibilmente impoverita di silicio e arricchita in calcio e magnesio, mentre si trovano al disotto delle possibilità di misura il potassio, il cloro e il fosforo. Si noti il valore del calcio superiore di 6,8 unità a quello stechiometrico del carbonato puro (40%) dovuto all'errore della metodologia.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Le osservazioni al SEM evidenziano l'esistenza delle due microstrutture α e β in tutti i campioni con la prevalenza di quella α nei campioni del petrocalcico QS dove la *laminar crust* appare quasi in superficie, e di quella β nel petrocalcico con *laminar crust* più profonda (VM). Ancora una volta viene riscontrato che gli orizzonti petrocalcici non possiedono esclusivamente un solo tipo di *fabric* ma quasi sempre una combinazione delle due secondo, quanto già osservato in precedenti ricerche (WRIGHT, 1990; ACHYUTHAN, 2003; SHANKAR & ACHYUTHAN, 2007).

Queste strutture sono in ottimo accordo con un ambiente di clima mediterraneo semiarido e una sufficiente disponibilità di carbonato di calcio nel parent material (WRIGHT (1990) anche se in altre località della Terra si è rivelato predominante l'apporto eolico (GILE *et al.*, 1966).

A conclusioni simili giungono anche CLIMACO *et al.*, 1992, che parlano di clima "arido-semiarido tendente al pre-desertico", proprio per i suoli della Capitanata.

La diversa frequenza delle morfologie della calcite suggerisce tuttavia ulteriori considerazioni sul microambiente di formazione dei 2 orizzonti petrocalcici.

La crosta QS sembra caratterizzata da una più intensa evapotraspirazione con una lenta ma continua deposizione di carbonato di calcio, in condizioni tali da dare origine a cristalli euedrali romboedrici e scalenoedrici, quest'ultimi assenti nella *fabric* β ; l'azione biologica è trascurabile e la composizione chimica rivela bassi contenuti in silice e un certo arricchimento in calcio e magnesio, che testimonierebbero condizioni di formazione in ambiente arido o semiarido a pH elevato e con scarso drenaggio, forse paragonabili a quelle degli attuali *Aridisols* della classificazione USDA (*Calciorthids* o *Paleorthids*). Secondo quanto risulta dallo studio di alcuni orizzonti petrocalcici della parte meridionale dell'India (SHANKAR & ACHYUTHAN, 2007), gli orizzonti petrocalcici laminari si sarebbero formati in un ambiente morfologicamente stabile, moderatamente vicino alla superficie del suolo, in condizioni climatiche semi-aride, in seguito a processi pedogenetici e in parte idrogeologici. Al contrario la crosta del profilo VM appare più fortemente modellata dalla azione radicale e da quella dei microrganismi e infine da oscillazioni di pH e presumibilmente di umidità, che tendono a mobilizzare la silice

Tab.1 - Composizione "elementale" media (11 campioni in totale) delle due croste calcaree; tr = trascurabile. Considerando che la tecnica di misura analizza frammenti piccolissimi e irregolari e l'errore (intorno al 15 %) che questa comporta, si è preferito lasciare i valori espressi come percentuale del singolo elemento sul totale anziché presentarli come ossidi.

	Si	Al	Mg	Ca	K	S	Cl	P	Altri
VM	2,36	0,44	0,18	34,43	0,48	0,67	0,68	0,04	60,72
QS	0,76	0,35	0,33	46,80	tr	0,29	tr	tr	51,47

dai minerali primari (silicati delle sabbie e delle ceneri vulcaniche) e a determinarne la deposizione sui granuli calcitici ed entro strutture organiche (quali probabilmente gli sponge e gli sferoid) in un ambiente climatico da semi-arido a sub-umido con vegetazione prevalentemente arbustiva e erbacea (ALONSO ZARZA, 2003), non molto diverso da quello attuale, dove l'orizzonte di accumulo dei carbonati, secondo i risultati di rilevamenti pedologici non pubblicati di uno degli Autori (DM), sembra formarsi anche attualmente, specialmente nei suoli su substrati a tessitura sabbiosa medio-fine ed anche in alcune tipologie dei *Vertisols* dei dintorni di Foggia.

CONCLUSIONI

È ormai comunemente accettato che le microstrutture della crosta calcarea e in particolare la morfologia dei cristalli di calcite può essere messa in relazione con fattori climatici, biologici e morfologici. La *laminar crust*, che corrisponde alla croute zonaire degli AA. Francesi (VOGT, 1984; VERRECCHIA, 1994) può formarsi secondo quanto risulta dalla letteratura scientifica in seguito a due differenti, anche se non antitetiche, modalità: in un caso si attribuisce la formazione del petrocalcico all'azione congiunta di processi prevalentemente abiologici superficiali dovuti al ristagno e/o al lento scorrimento di una falda idrica su una superficie poco permeabile ("stage" 4 dell'evoluzione della crosta calcarea secondo WRIGHT & TUCKER, 1991), che danno origine alla precipitazione/ cristallizzazione della calcite all'interfaccia crosta - atmosfera, in condizioni di clima arido e semiarido (WIEDER *et al.*, 1994; DURAND *et al.*, 2006); nell'altro caso il processo sarebbe principalmente determinato a maggiore profondità, dalla attività biologica di numerosi organismi vegetali quali funghi, batteri, i licheni, le alghe e le radici di alcune piante (freatofite), quest'ultime attraverso la costruzione di un intreccio a tappeto (WRIGHT *et al.*, 1988; WRIGHT & ALONSO-ZARZA, 1992; ALONSO-ZARZA, 1999). È logico quindi aspettarsi che la *fabric* alfa sia più frequente nella *laminar crust* abiologica che in quella biologica. In realtà, come è apparso anche in questo studio, le 2 *fabric* coesistono, anche se tendono ad essere predominanti in un gruppo di campioni rispetto all'altro.

Si può allora concludere che il profilo QS, situato a quota più elevata, possiede una crosta laminare superficiale prevalentemente di origine inorganica, dovuta alla forte evapotraspirazione e alla circolazione di acque vadose, in condizioni climatiche aride o semiaride, mentre la crosta laminare entro il profilo VM, posto a quota più bassa, appare più decisamente di origine biologica in condizioni climatiche tali da favorire l'instaurarsi di una vegetazione stabile e quindi variabili tra semiaride e sub umide.

Secondo la Carta Ecopedologica d'Italia in scala 1:250.000 (European Communities, 2003), la zona di provenienza dei campioni, caratterizzata da terrazzi sabbioso-conglomeratici inclinati verso il mare, ha un clima da mediterraneo oceanico a mediterraneo suboceanico, in definitiva più umido di quanto risulti dallo studio delle 2 *laminar crust*.

Alla luce di quanto si evince dalla abbondante letteratura al riguardo (RUELLAN, 1971; FEDOROFF *et al.*,

1990, KAEMMERER *et al.*, 1991; WIEDER *et al.*; 1994; TANDON & KUMAR, 1999; ACHYUTHAN, 2003; ALONSO-ZARZA, 2003; SHANKAR & ACHYUTHAN, 2007) la crosta laminare può essere presa in considerazione come un discreto indicatore delle condizioni climatiche del passato

Ne segue che le 2 *laminar crust* sono testimonianze di 2 differenti momenti climatici del Pleistocene, più aridi rispetto al clima attuale. Al contrario, anche se la loro formazione in Puglia ha richiesto probabilmente tempi relativamente lunghi, non vi sono attualmente indicazioni che ne suggeriscano l'età, salvo i criteri geomorfo-stratigrafici. Si può tuttavia ipotizzare che i due suoli, leggermente differenti come evoluzione pedogenetica, siano anche differenti non solo per ambiente di formazione, ma anche cronologicamente: QS, posto a quota più elevata e maggiormente evoluto, potrebbe quindi essere più vecchio di VM.

RINGRAZIAMENTI

L'interpretazione delle morfologie mostrate nelle figure 4 A, 4 B, 4 C e 4 D, forse segnalate per la prima volta, si basa su ipotesi e suggerimenti gentilmente forniti alcuni anni fa dai seguenti Colleghi stranieri: Mc Hardy di Aberden, Scotland; P. Smart di Glasgow, Scotland; D. Yaalon di Jerusalem, Israel; L. Wilding di College Station, Texas, che qui vogliamo sentitamente ringraziare insieme ai Colleghi S. Carnicelli e G. Ferrari dell'Università di Firenze riguardo alle utili informazioni fornite sul sito di campionamento e a D. Ranalli dell'Università dell'Aquila per l'elaborazione grafica.

BIBLIOGRAFIA

- ACHYUTHAN H., 2003 - *Petrologic analysis and geochemistry of the Late Neogene-Early Quaternary hardpan calcretes of Western Rajasthan, India*. Quaternary International **106-107**, pp. 3-10.
- ALONSO-ZARZA A.M., 1999 - *Initial stages of laminar calcrete formation by roots: examples from Neogene of central Spain*. Sedimentary Geology **126**, pp. 177-191.
- ALONSO-ZARZA A.M. 2003 - *Paleoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record*. Earth Science Reviews **60**, pp.261-298.
- BAL L., 1975 - *Carbonate in soil: a theoretical consideration, and proposal for its fabric analysis, I and II*. Neth.J.Agric.Sci., **23**; pp.18-35; pp. 163-176.
- BIRKELAND P.W., 1984 - *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press, New York, 372 pp.
- BOETTINGER J., L. & SOUTHARD M., 1990 - *Micromorphology and mineralogy of a calcareous duripan formed on granite residuum, Mojave Desert, California, USA*. In L.A. Douglas (Ed.): Soil micromorphology: a basic and applied science. Developments in Soil Science, **19**, 409-416, Elsevier.
- CALDARA M., COLELLA A., & D'ALESSANDRO A., 1979 - *Studio sedimentologico e paleoecologico di alcune sezioni pleistoceniche affioranti presso Cerignola (FG)*. Riv. Ital. Paleont. **85** (1), pp.173-242.
- CALLOT G., GUYON, A. & MOUSAIN, D., 1985 - *Interrelations entre aiguilles de calcite et hyphes myceliens*. Agronomie **5**, pp.209-216.

- CLIMACO A., DANIELE M.C., DI NOCERA S. & ZAMPARELLI V., 1992 - *Studio preliminare delle croste calcaree (caliche) della Capitanata (Puglia)*. Soc. Naz. di Sc., Let. e Art. in Napoli; Rend. Acc. Sc. Mat. Fis., pp.165-183.
- CARNICELLI S., FERRARI G.A. & MAGALDI D., avec la collaboration de BILLWILLER G., DI NOCERA S., PALMENTOLA G., PENNETTA G. & ZAMPARELLI V., 1989 - *Les accumulations carbonatées du type "calcrete" dans les sols et formations superficielles d'Italie méridionale*. Méditerranée, 23, 51-59.
- COURTY M.A., GOLDBERG P., & MACPHAIL R., 1989 - *Soils and Micromorphology in Archaeology*. Cambridge University Press.
- DINÇER, I., ALTAY A. & MAGALDI D., 2007 - *Relationship between micromorphological characteristics and engineering parameters of caliche (calcrete)*. II Quaternario, 20 (2), pp.137-150.
- DUCLoux J., BUTEL P. & DUPUIS T., 1984 - *Microsequence mineralogique des carbonates de calcium dans une accumulation carbonate sous galets calcaires, dans l'ouest de la France*. Pedologie 34, pp.161-177.
- DURAND N., GUNNELL Y., CURMI P. & AHMAD S.M., 2006 - *Pathways of calcrete development on weathered silicate rocks in Tamil Nadu, India: Mineralogy, chemistry and paleoenvironmental implications*. Sedimentary Geology, 192, pp.1-18.
- ESTEBAN M. & KLAPPA C.F., 1983 - *Subaerial exposure environments*. In: Scholle P.A., Bebout D.G., Moore C.H. (Eds): Carbonate Depositional Environments. Am.Assoc.Petr.Geol.Mem., 33, pp. 1-96.
- EUROPEAN COMMUNITIES, 2003 - *Carta Ecopedologica d'Italia in scala 1:250.000. Relazione divulgativa a cura di E. RUSCO, N. FILIPPI, M. MARCHETTI, L. MONTANARELLA*. ES, EUR 20774 IT.
- FEDOROFF N., COURTY M.A. & THOMPSON M.L., 1990 - *Micromorphological evidence of palaeoenvironmental change in Pleistocene and Holocene paleosols*. In L.A. Douglas (ed.): Soil micromorphology: a basic and applied science. Developments in Soil Science, 19, pp. 653-665.
- FAO, 2006 - *World reference base for soil resources: A framework for international classification, correlation and communication*. World Soil Resources Reports 103, Rome.
- FOLK R.L., 1974 - *The natural history of crystalline calcium carbonate :effect of magnesium content and salinity*. J.sedim.Petrol., 44, pp. 40-53.
- GILE L.H., 1961 - *A classification of Ca horizons in soils a desert region, Dona Ana Country, New Mexico*. Soil Sci.Soc.Am.Proc., 25, pp.52-61.
- GILE L.H., PETERSON F.F. & GROSSMAN R.B., 1965 - *The K horizon: a master horizon of carbonate accumulation*. Soil.Sci., 97, pp.74- 82.
- GILE L.H., PETERSON F.F. & GROSSMAN R.B., 1966 - *Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils*. Soil Science 101, pp. 347-360.
- GOUDIE A.S., 1983 - *Calcrete*. In: Goudie A.S. & Pye F. (Eds.), Chemical Sediments and Geomorphology., Academic Press, London, pp. 93 -131.
- I.F.G.- INTERNATIONAL FOCUS GROUP ON RURAL ROAD ENGINEERING, 2006 - *Calcrete. Technical Information*. <http://www.ifgworld.org>.
- JAMES N.P., 1972 - *Holocene and Pleistocene calcareous crust (caliche) profiles :criteria for sub aerial exposure*. Jour.Sed.Petr. 42 (4) pp. 817-836.
- KAEMMERER M., REVEL J.C., BERRIER J., BRUAND A., LEFEVRE D., 1991 - *Dissolution et Précipitation des Carbonates dans des Sols (Calcretes) en Zone Aride, Bassin de Ksabi, moyenne Moulouya, Maroc: Conséquence sur la Désertification*. Arid Soil Research and Rehabilitation, 5, pp.105-126.
- KAPUR S., YAMAN S., GOKÇEN & YETIS C., 1993 - *Soil Stratigraphy and Quaternary Caliche in the Misis Area of the Adana Basin, Southern Turkey*. CATE-NA, 20, pp.431-445.
- KNOX G.J., 1977 - *Caliche profile formation, Saldanha Bay (South Africa)*. Sedimentology, 24, pp. 657- 674.
- KOSTOW I. & KOSTOW R.I., 1999 - *Crystal Habits of Minerals*. Pensoft, 415 pp.
- KRUMBEIN, 1968 - *Geo-microbiology and geochemistry of the "Nari-lime-Crust" (Israel)*. In G. Muller & G.M. Friedman (Eds.) Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe. Springer-Verlag, Berlin, pp. 138-147.
- MAGALDI D., 1983 - *Calcareous crust (caliche) genesis in some Mollisols and Alfisols from Southern Italy :a micromorphological approach*. In P.Bullock & C.P.Murphy (Eds.): Soil micromorphology, vol. 2.A B Academic Press, UK, pp. 623-636.
- OULD MOHAMED S., BRUAND A., 1994 - *Morphology and origin of secondary calcite in soils from Beauce, France*. In A.J. Ringose-Voase and G.S. Humphreys (Eds.): Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis. Developments in Soil Science 22, Elsevier, Amsterdam, pp. 27-36.
- RUPELLAN, 1971 - *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: les sols à profile calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc oriental)*. Mémoire ORSTOM, 54, Paris.
- SHANKAR N. & ACHYUTHAN H., 2007 - *Genesis of calcic and petrocalcic horizons from Coimbatore, Tamil Nadu: Micromorphology and geochemical studies*. Quaternary International, 175, pp. 140-154.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999 - *Soil Taxonomy*. USDA, Agriculture Handbook 436, USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- SOIL SURVEY STAFF, 2006 - *Keys to Soil Taxonomy*. 10th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- STOOPS G., 1976 - *On the nature of "lublinite" form Hollanta (Turkey)*. American Mineralogist, pp. 61-172.
- STOOPS G. & DELVIGNE J., 1990 - *Morphology of Mineral Weathering and Neof ormation. II Neof ormations*. In L.A.Douglas (Ed.): Soil Micromorphology:a basic and applied science. Developments in Soil Science 19, 483-492.
- TANDON S.K. & KUMAR S., 1999 - *Semiarid/Arid Zone Calcretes: a review*. In: A.K.Singhvi & E. Derbyshire (Eds.): Paleoenvironmental Reconstruction in Arid Lands. Balkema; 109-152.
- VERRECCHIA E., 1994 - *L'origine biologique et superficielle des croutes zonaires*. Bull.Soc Geol.Fr., 165; 583-592.
- WIEDER M., SHARABANI M. & SINGER A., 1994 - *Phases of*

- calcrete (Nari) development as indicated by micromorphology*. In A.J. Ringose-Voase & G.S. Humphreys (Eds.): *Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis*. Developments in Soil Science **22**, Elsevier, Amsterdam, pp. 27-36.
- WRIGHT V.P., 1990 - *A micromorphological classification of fossil and recent calcic and petrocalcic microstructures*. In L.A. Douglas (ed.): *Soil micromorphology: a basic and applied science*. Developments in Soil Science, Elsevier, Amsterdam, pp. 401-407.
- WRIGHT V.P., 1991 - *Calcretes: an introduction*. In : V.P. Wright & M.E. Tucker (Eds.), *Calcretes*. IAS Reprint Series, **2**, Blackwell, Oxford, pp.1-22.
- WRIGHT V.P., PLATT N.H. & WIMBLEDON, W., 1988 - *Biogenic laminar calcretes: evidences of calcified root mat in paleosols*. *Sedimentology*, **35**, pp. 603-620.
- WRIGHT V.P. & ALONSO-ZARZA A.M., 1992 - *Significado de la composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) en paleosuelos carbonatados, Mioceno de la Cuenca de Madrid*. *Geogaceta*, **11**, 61-13.
- WRIGHT V.P & TUCKER M.E (Eds.), 1991 - *Calcretes*. IAS Reprint Series, **2**, Blackwell, Oxford, pp.1-22.
- YAALON D.H., 1988 - *Calcic horizon and calcrete in aridic soils and paleosols: progress in the last twenty years*. *Soil Sci. Ame. Agron. Abstracts*

Ms. ricevuto il 2 marzo 2008
Testo definitivo ricevuto il 19 giugno 2008

Ms. received: March 2, 2008
Final text received: June 19, 2008

