

Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Una sequenza altimetrica di suoli su rocce carbonatiche del M.te Terminillo (Rieti)

CLAUDIO BINI

Istituto di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università, Piazza Cascine 15, 50144 Firenze

ORNELLA FERRETTI, CARLO ORLANDI, SANDRO TORCINI

ENEA-PAS-SCAMB - Laboratorio di Geochimica Ambientale, Roma

RIASSUNTO. — L'Appennino centro-meridionale è caratterizzato da estesi affioramenti di rocce calcaree. Il complesso montuoso del Terminillo, per la sua posizione al centro della catena appenninica e per le condizioni morfologiche, climatiche e vegetazionali, è sufficientemente rappresentativo per illustrare i processi pedogenetici che si verificano sui massicci calcarei interni.

Tali processi possono essere schematizzati, in funzione dei differenti fattori di pedogenesi, in una intensa brunificazione ed umificazione dell'orizzonte A, ed una decarbonatazione del profilo. Non si ha tuttavia, in generale, una marcata differenziazione in orizzonti.

L'evoluzione del suolo in quest'ambiente segue abbastanza strettamente l'andamento altimetrico e le fasce vegetazionali. Alle quote più elevate (fascia della prateria alpina) dominano i *rendzina* (mollisuoli); alle quote intermedie (fascia della faggeta) si incontrano i *rendzina bruni* (intergradi mollisuoli-inceptisuoli); scendendo verso le quote più basse (fascia del bosco misto) dominano i *suoli bruni* (inceptisuoli), con fenomeni di lisciviazione e ristagni d'acqua nelle zone più depresse.

Fra i componenti mineralogici fondamentali si evidenzia un diverso comportamento dei termini carbonatici nei suoli prevalentemente calcitici o dolomitici. La frazione argillosa risulta sempre molto uniforme nei profili esaminati.

La distribuzione di Ni, V, Co, Mo e Cr è piuttosto uniforme lungo i profili esaminati, in accordo con la scarsa evoluzione pedogenetica di questi suoli.

I contenuti di Zn e Pb sono in generale maggiori negli orizzonti superficiali dove raggiungono tenori assoluti piuttosto elevati, che sono tuttavia da mettere in relazione ai processi naturali.

Parole chiave: rocce calcaree, evoluzione dei suoli, elementi in traccia, composizione chimica, composizione mineralogica.

DISTRIBUTION AND CIRCULATION OF TRACE ELEMENTS IN SOILS. A TOPO- SEQUENCE OF SOILS ON CARBONATIC ROCKS AT THE TERMINILLO MOUNT (RIETI)

ABSTRACT. — The calcareous complex of M.t Terminillo, in central Apennines, has been selected as a representative area of soil genesis and evolution and trace elements dynamics, from calcareous rocks in « internal » climatic conditions.

The pedogenetic processes which take place in that area can be summarized as follows:

- a strong humification (mull type) of the surface horizon (mollic epipedon);
- a marked brunification of the same horizon, and formation of a weakly developed B horizon below the A;
- a slight leaching process which leads to a de-carbonatation and acidification of the soil profile, without any migration of clay particles.

The « natural » soil evolution seems to be strictly related to the morphological (elevation, climate) and vegetational conditions. At higher elevation, under grass cover, the *mollisols* (*rendzinas*) are the dominant soil types. At minor elevation, under the beechwood, *inceptisols* (acid brown soils) are met as « climax » soils, while under the mixed mesophile wood intergrades between mollisols and inceptisols (calcium-saturated brown soils) are the dominant ones.

A « regressive » evolution may take place sometimes, owing to accumulation or erosion phenomena, or to antropic activities. In such cases, an important leaching process may lead to the formation of leached or podzolic soils.

The mineralogical analyses show different behaviour of calcite and dolomite in soil profiles developed on mainly calcareous or dolomitic parent materials. The fine fraction (mainly illite-chlorite) has a very regular distribution in all the studied profiles, as

it is inherited by insoluble residues of rocks. Trace elements distribution is rather uniform along the soil profiles, confirming the general slight evolution of these soils.

Zn, Cu and Pb show quite high levels in the surface horizons, due to mineral associations (Zn) and to bondings with organic matter (Cu and Pb). Nevertheless, the « natural » origin of such levels is stated.

Key words: calcareous rocks, soil evolution, trace elements, chemical composition, mineralogical composition.

1. Introduzione

Nell'ambito degli studi sulla protezione ambientale e la circolazione degli elementi in traccia nei suoli, da tempo intrapresi dall'ENEA in collaborazione con ricercatori dell'Università di Firenze, sono state condotte finora indagini pedogeochimiche su suoli evolutisi da differenti rocce, in diversi ambienti climatici e morfologici della penisola (neo-autoctono toscano, piattaforma carbonatica pugliese, quaternario padano, vulcaniti laziali, formazioni arenacee ed argillose dell'Appennino. I risultati di tali indagini in parte sono stati già pubblicati (BINI et al., 1982, 1984) ed in parte sono in corso di stampa.

Non erano state affrontate invece, finora, indagini sui suoli evolutisi da rocce carbonatiche, nelle zone interne dell'Appennino centro-meridionale. In questa sede si riferiscono i risultati di uno studio compiuto appunto in tale ambiente, con lo scopo di fornire ulteriori dati sulla distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nella pedosfera e contribuire alla conoscenza dei processi che avvengono in questa sfera geochimica, non sufficientemente conosciuta né adeguatamente considerata nel nostro Paese.

I complessi calcarei « interni » caratterizzano, come accennato, gran parte dell'Appennino centro-meridionale formando estese dorsali spesso culminanti in grandiosi massicci (Gran Sasso, Maiella). Ci riferiamo in particolare a quella serie di rilievi medio-alti (800-1600 m ed oltre) costituiti da rocce prevalentemente calcaree, di età compresa fra il Trias e l'Eocene, la cui serie inizia con il calcare massiccio e termina — nell'Appennino centrale — con la « scaglia rossa ». Si tratta dunque di calcari bianchi ceroidi, cal-

cari dolomitici, calcari marnosi con liste di selce, calcari detritico-organogeni ed oolitici, in giacitura massiccia o più o meno stratificati, talora con intercalazioni marnose e selciose.

Nonostante la notevole variabilità della litologia, e l'intensa tettonizzazione che spesso caratterizza queste formazioni di natura rigida, dal punto di vista pedologico questi litotipi si possono considerare sufficientemente omogenei per quanto riguarda la genesi e l'evoluzione del suolo. Nella stessa ottica, li abbiamo definiti « complessi calcarei interni » per distinguerli dalle formazioni calcaree affioranti in prossimità della costa, sulle quali hanno giuocato e giuocano tutt'ora un ruolo importante le condizioni climatiche, che indirizzano la pedogenesi verso la formazione della « terra rossa »; al contrario, nelle zone interne la temperatura e soprattutto le precipitazioni favoriscono la formazione delle « terre brune » (MANCINI, 1955). Rileviamo infatti che nell'interno le precipitazioni medie annue sono molto più elevate che presso la costa (ad esempio, a Rieti — m 402 — piovono in media 1180 mm/a; al Terminillo — m 1750 — 1500 mm/a; a Grosseto, 660 mm/a) (BINI, 1978). Al contrario, le temperature risultano più basse: a Rieti, la media annua è di 12,5° C, al Terminillo 5,6° C rispetto ai 16° C di Grosseto).

Inquadrata la problematica in oggetto, si trattava di scegliere un'area interna sufficientemente rappresentativa quale modello di evoluzione del suolo e di distribuzione degli elementi in traccia in tale ambiente.

La pedogenesi su rocce carbonatiche è stata affrontata da numerosi Autori (MANCINI, 1955, 1956; MANCINI et al., 1964, 1966; FERRARI, 1965; SANESI, 1968; PEDROTTI e SANESI, 1969; PEDROTTI et al., 1976). Sulla base degli studi precedenti, e di una serie di ricognizioni in campagna, è stata scelta come area campione il complesso del M.te Terminillo, poiché si trova in posizione centrale nella catena appenninica (FF. 138-139 della C.G. d'Italia) e presenta, insieme con una discreta omogeneità litologica, condizioni morfologiche, climatiche e vegetazionali sufficientemente differenziate da poter estendere i risultati ottenuti anche alle altre aree interne.

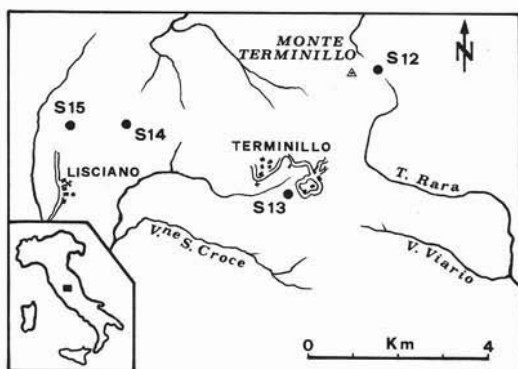


Fig. 1. — Mappa di campionamento. — Sampling map.

TABELLA 1

Descrizione del profilo di un rendzina di alta quota — Description of the profile of a high quota rendzina

Località: Valico di Leonessa;
Quota: m 1950; esposizione: S; pendenza: 16-18°;
Fisiografia: parte alta di versante;
Rocciosità: comune; pietrosità: comune;
Substrato pedogenetico: calcari compatti bianchi, tipo corniola;
Vegetazione: copertura erbacea discontinua, con specie rupicole;
Descrizione: F. MANCINI, 1966.
Classificazione genetica: LITHIC RENDOLL.

Orizzonte A_{11} : cm 0-12/16. Limite inferiore graduale. Colore grigio molto scuro (10 YR 3/1); sabbioso franco; struttura grumosa fine; umido, non plastico né adesivo; scheletro abbondante; drenaggio libero; attività biologica abbondante, radici abbondanti. Reazione neutra. Saturazione in Ca elevata.

Orizzonte A_{12} : cm 12/16-35. Limite inferiore chiaro. Colore bruno grigio molto scuro (10 YR 3/2); franco sabbioso; struttura grumosa media; non plastico, non adesivo; scheletro abbondante; drenaggio libero; attività biologica alta; radici abbondanti. Reazione sub-alcalina. Saturazione in Ca elevata.

Orizzonte R: calcare compatto bianco, tipo corniola.

2. Materiali e metodi di studio

Dopo una serie di osservazioni preliminari compiute in campagna con una trivella manuale di tipo «olandese», volte a chiarire il grado di variabilità pedologica del complesso, sono stati aperti, descritti e campionati profili-tipo a varia quota (fig. 1), sotto differente copertura vegetale e con diversa morfologia, onde avere assicurata la massima

TABELLA 2

Descrizione del profilo S12
Description of the profile S12

Località: valico di Leonessa (50 m al di sotto);
Quota: m 1900; esposizione: NW; pendenza: 20°;
Fisiografia: parte alta di versante, con pendio irregolare;
Drenaggio: rapido; erosione: idrica moderata;
Rocciosità: comune; pietrosità: comune;
Substrato pedogenetico: calcari compatti bianchi;
Vegetazione: prateria alpina a *Festuca*, *Bromus*, *Brachypodium*;
Descrizione: C. BINI, 26-9-1983.
Classificazione genetica U.S.D.A. (1975): LITHIC HAPLUMBREPT.

Orizzonte 0_1+0_2 : cm 2-0. Lettieria a prevalenza di graminacee, poco decomposte.

Orizzonte A_{11} : cm 0-18/21. Limite inferiore ondulato, chiaro; colore bruno rossastro scuro (5 YR 2,5/2); franco sabbioso; scheletro molto scarso, calcareo; umido, friabile; struttura grumosa, a feltro; porosità elevata; reazione acida; attività biologica molto abbondante; radici abbondanti, erbacee.

Orizzonte A_{12} : cm 18/21-31/40. Limite inferiore abrupto, irregolare; colore bruno rossastro scuro (5 YR 3/2); franco sabbioso; scheletro abbondante, piccolo e medio, calcareo; umido, friabile; struttura grumosa fine e media, evidente; porosità elevata; radici erbacee, abbondanti.

Orizzonte R: cm 31/40 ed oltre. Calcare bianco, compatto, con crosta di alterazione superficiale.

rappresentatività di ciascun tipo pedologico nell'area in studio. Fra questi profili, ne sono stati scelti cinque, rappresentativi delle tendenze evolutive del suolo sui calcari, prescindendo da locali situazioni che, possono influenzare diversamente l'evoluzione stessa.

Successivamente, in laboratorio, sono state eseguite le consuete analisi pedologiche, volte all'inquadramento ed alla classificazione dei profili, e le analisi mineralogiche e geochimiche. I metodi analitici impiegati sono riportati in BINI et al., 1982.

3. Risultati

Per seguire meglio la tendenza evolutiva dei suoli sul M.te Terminillo, abbiamo ritenuto utile eseguire una campionatura in senso inverso alla quota, ovvero dalla stazione più elevata (Valico di Leonessa, m 1950) verso la conca di Rieti (m 402), da cui si stacca il complesso montuoso. Abbiamo altresì trascurato la parte culminante del rilievo, carat-

TABELLA 3
Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo S12
Physical, chemical and mineralogical analyses of the profile S12

ANALISI CHIMICHE E FISICHE														
Orizzonte	Profondità Iniziale cm.	Granulometria	pH	CK	Sost. %	C.S.C.	Basi di scambio	Acidità di	Saturazione					
		SK	LK	AK	H ₂ O	Organ.	Organ.	meq/100gr	meq/100gr	Na	K	meq/100gr	%	
A ₁₁	0	72,4	19,5	8,1	5,35	6,71	11,57	43,39	7,48	0,77	1,08	0,32	33,74	22,24
A ₁₂	18/21	64,2	22,7	13,1	4,82	8,27	14,26	47,52	5,30	1,23	1,06	0,48	39,43	17,02
ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI														
Orizzonte	Profondità media cm.	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Co	V	Mn	Mo	As	Na	K
A ₁₁	10	36	32	240	1,3	100	54	20	85	1297	0,56	11,4	0,63	2,92
A ₁₂	26	33	38	230	1,2	95	44	15	90	688	0,75	8,6	0,61	2,64
R		4	2,5	4	0,33	5	3,5	2,5	45	86	0,24	21	0,49	0,09
ANALISI MINERALOGICA														
Campione medio					Frazione <0,002 mm									
Orizzonte	Quarzo*	K-Feldspato	Na-Feldspato	Calcite	Dolomite	Smectite	Vermiculite	Clorite	Intergrado	Illite	Caolinite			
A ₁₁	30	< 5	< 5	--	--	p	--	20	20	25	30			
A ₁₂	25	< 5	< 5	--	--	--	--	15-20	20	30	30			

* - Quarzo microcristallino.

terizzata da una morfologia molto acclive e pressoché priva di copertura pedologica: vi si trovano infatti affioramenti rocciosi e litosuoli con stazioni di vegetazione rupicola, quali *Dryas octopetala*, *Scabiosa graminifolia* (VISONÀ, 1968).

Un esempio di un giovane rendzina di alta quota (LITHIC RENDOLL) è riportato in tabella 1. Per informazioni più approfondite su questo suolo si rimanda a MANCINI (1966).

Immediatamente sotto il valico di Leonessa, dove la morfologia si fa più dolce per la presenza di detriti calcarei e materiale morenico, abbiamo osservato un profilo sotto prateria alpina a *Festuca*, *Bromus*, *Brachypodium* (VISONÀ, 1968). Si tratta di un suolo relativamente poco differenziato, ma con evidenti segni di evoluzione rispetto ai primissimi stadi delle stazioni rupestri sopra citate. Nella tabella 2 è riportata la de-

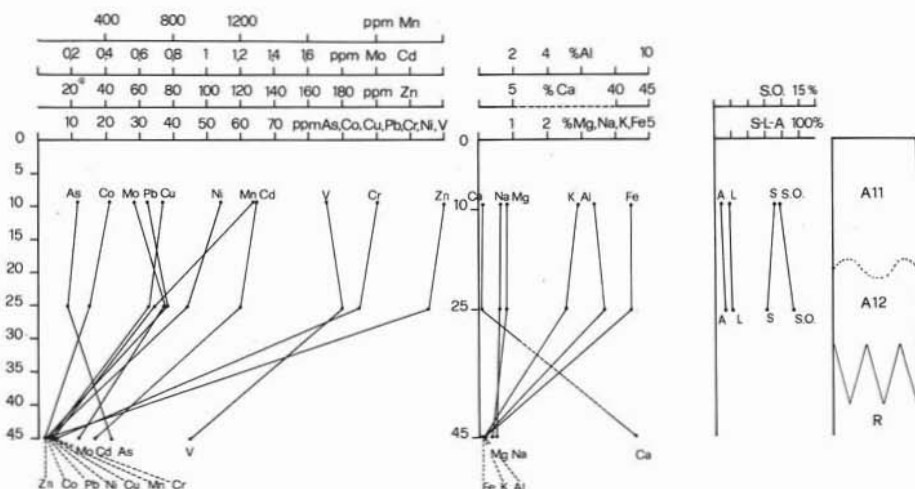


Fig. 2. — Suolo S12, andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, della sostanza organica e delle frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla). — Soil S12, distribution of major, minor and trace elements, organic matter and granulometric fractions (sand, silt, clay) along the profile.

scrizione del profilo S 12; nella tabella 3 sono riportati i risultati delle analisi chimico-fisiche, mineralogiche e geochimiche. Nella figura 2 è riportata la distribuzione lungo il profilo dei costituenti determinati e dei caratteri granulometrici.

I caratteri morfologici più salienti sono la presenza di un orizzonte A profondo, soffice, permeabile, ben strutturato, ricco di humus di tipo mull, che contrasta vivamente con il bianco della roccia sottostante. I caratteri analitici più significativi sono la marcata acidità del profilo e la forte desaturazione. L'attività biologica particolarmente intensa determina l'umificazione della sostanza organica, che si accumula in superficie e contribuisce all'abbassamento del pH. La tessitura grossolana (franco sabbiosa) favorisce inoltre la percolazione dell'acqua e l'allontanamento dei carbonati verso il substrato.

Questo allontanamento è confermato dall'analisi mineralogica; negli orizzonti superficiali la calcite è assente mentre raggiunge valori elevati nel substrato. Negli orizzonti A i feldspati sono presenti in quantità modesta mentre è abbondante il quarzo (in forma microcristallina), dovuto prevalentemente alla presenza di frammenti di selce.

Fra i minerali argillosi sono presenti illite, kaolinite, clorite ed intergrado che non presentano variazioni quantitative apprezzabili lungo il profilo.

Fra gli elementi maggiori il Ca ha valori molto bassi negli orizzonti A (dissoluzione della calcite); il K, legato prevalentemente ai minerali argillosi e al K-feldspato, mostra modeste variazioni negli orizzonti A, in accordo con la distribuzione dei minerali nel profilo. Fe ed Al, poco mobili sono arricchiti in A rispetto alla roccia madre.

Gli elementi in traccia mostrano variazioni modeste in A e risultano arricchiti rispetto alla roccia. I tenori relativamente elevati di Zn in A sono attribuibili a processi naturali, come sarà meglio sottolineato in seguito.

A livello tassonomico questo suolo rientra nella famiglia franco grossolana mista, frigida dei LITHIC HAPLUMBREPTS della Soil Taxonomy, ovvero tra i rendzina brunificati (MANCINI, 1956).

Scendendo di quota, al di sotto dei 1700 m, si entra nella fascia di vegetazione caratterizzata dalla faggeta. Per effetto della copertura vegetale diversa e della morfologia più

TABELLA 4
Descrizione del profilo S13
Description of the profile S13

Località: Campoforogna.
Quota: m 1700; esposizione: W; pendenza: 15°;
Fisiografia: parte media di versante, con pendio uniforme;
Drenaggio: rapido; erosione: idrica moderata;
Rocciosità: scarsa; pietrosità: scarsa;
Substrato pedogenetico: calcare selcifero bianco grigiastro, con stratificazione suborizzontale;
Vegetazione: fustaia di faggio, disetanea;
Descrizione: C. BINI, 27-9-1983.
Classificazione genetica U.S.D.A. (1975): TYPIC HAPLUMBREPT.

Orizzonte O_1+O_2 : cm. 2-0. Lettieria di foglie di faggio, poco decomposte.

Orizzonte A_{11} : cm 0-8/11. Limite inferiore chiaro, ondulato; colore bruno rossastro scuro (5 YR 2,5/2); franco sabbioso; scheletro comune, piccolo e medio, selcioso; umido, friabile; struttura grumosa debole, poco evidente; porosità elevata; reazione subacida; attività biologica abbondante; radici molto abbondanti, fini, suborizzontali.

Orizzonte A_{12} : cm 8/11-34/42. Limite inferiore chiaro, ondulato; colore bruno scuro (8,75 YR 3/3); franco sabbioso; scheletro comune, selcioso; poco umido, friabile; struttura poliedrica angolare fine, debole, poco evidente; porosità media; reazione subacida; attività biologica comune; radici abbondanti, fini e grosse.

Orizzonte B: cm 34/42-59/65. Limite inferiore netto, ondulato; colore bruno scuro (7,5 YR 4/4); franco argilloso; scheletro scarso, selcioso; poco umido, moderatamente adesivo; struttura poliedrica angolare fine e media, debole; porosità media; reazione subacida; attività biologica comune; radici scarse, grosse.

Orizzonte C: cm 59/65-100/110. Limite inferiore irregolare; colore bruno giallastro scuro (10 YR 4,5/4); franco; scheletro molto abbondante; poco umido, poco adesivo; sciolto; porosità media; reazione subalcalina; attività biologica e radici scarse.

Orizzonte R: cm 100/110 ed oltre. Calcare selcifero bianco-grigio, stratificato suborizzontale.

dolce, il suolo in tutta la fascia si approfondisce, ed inizia a differenziarsi un orizzonte B, che talora viene obliterato dall'intensa attività biologica (micromammiferi, artropodi, anellidi); molti rilevatori, per la sua scarsa evidenza, possono indicare tale orizzonte come un A13.

Nella tabella 4 è riportata la descrizione di un profilo-tipo (S13), mentre nella tabella 5 sono riportati i risultati delle analisi pedologiche, mineralogiche e geochimiche. Nella figura 3 è riportata la distribuzione

TABELLA 5

Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo S13
Physical, chemical and mineralogical analyses of the profile S13

ANALISI FISICHE E CHIMICHE															
Orizzonte	Profondità Iniziale cm.	S%	Granulometria			pH H ₂ O	C% Organ.	Sost.% Organ.	C.S.C. meq/100gr	Basi di scambio meq/100gr				Acidità di scambio meq/100gr	Saturazione %
			L%	A%						Ca	Mg	Na	K		
A ₁₁	0	68,7	24,8	6,5	4,80	8,13	14,02	36,35	4,37	1,34	1,08	0,64	28,92	20,44	
A ₁₂	8/11	54,2	32,2	13,6	4,60	3,94	6,79	32,01	2,18	0,67	0,86	0,32	27,98	15,59	
B	34/42	39,0	32,5	28,5	5,05	1,53	2,64	21,41	2,81	0,72	0,88	0,48	16,52	22,84	
C	59/65	38,05	37,09	23,6	6,48	0,89	1,53	15,28	7,17	0,87	0,96	0,48	5,80	62,04	

ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI

Orizzonte	Profondità media cm.	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr ppm	Ni	Co	V	Mn	Mo	As	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al
A ₁₁	5	47	58	150	0,55	65	37	15	90	1522	0,50	10,2	0,41	1,68	0,38	0,35	2,55	3,24
A ₁₂	25	55	21	150	0,70	74	44	17	95	1679	0,60	9,8	0,49	2,22	0,19	0,48	2,93	4,24
B	50	71	26	140	0,92	70	62	23	75	1750	0,75	11,4	0,53	2,89	0,23	0,68	3,41	5,74
C	80	71	21	120	1,2	65	57	23	75	1656	0,55	10,4	0,39	1,96	1,72	0,67	2,99	5,10

ANALISI MINERALOGICA

Campione medio						%		Frazione 0,002 mm				
Orizzonte	Quarzo*	K-Feldspato	Na-Feldspato	Calcite	Dolomite	Smettite	Vermiculite	Clorite	Intergrado	Illite	Caolinite	
A ₁₁	50	5-10	5	--	--	15	--	20	10	30	25	
A ₁₂	50	5-10	5	--	--	15	--	20	20	30	15	
B	45-50	5	5	--	--	--	20	--	20	40	20	
C	45-50	5	5	5	--	20	10	--	20	35	10	

* - Quarzo microcristallino.

lungo il profilo dei costituenti determinati e dei caratteri granulometrici.

I principali caratteri sono ancora un orizzonte A potente, scuro, permeabile e ben strutturato, la presenza di un orizzonte B debolmente espresso ed inoltre la decarbonatazione di tutto il profilo, la forte acidi-

ficazione e la notevole desaturazione in basi. Le differenze di tessitura mettono in luce la presenza di una netta discontinuità fra la parte superiore del profilo, più grossolana (franco sabbiosa), e quella inferiore, nettamente argillosa, a struttura poliedrica angolare « tipica delle argille di decalcificazione

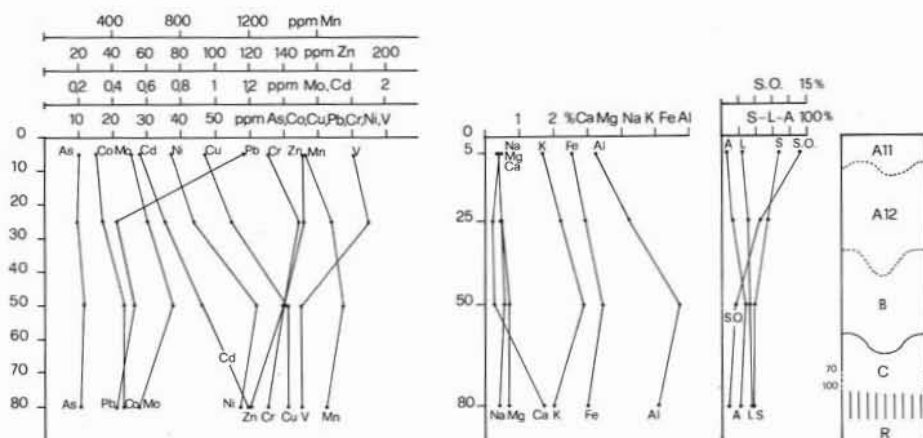


Fig. 3. — Suolo S13, andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, della sostanza organica e delle frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla). — Soil S13, distribution of major, minor and trace elements, organic matter and granulometric fractions (sand, silt, clay) along the profile.

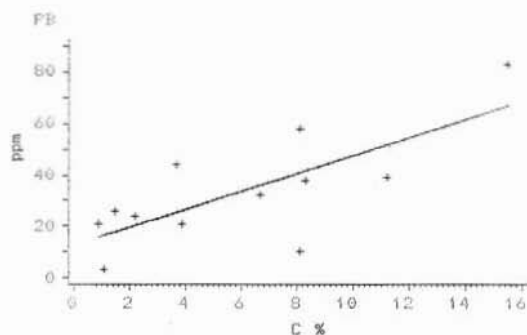


Fig. 4. — Diagramma di correlazione sostanza organica-Pb. — Organic matter-Pb correlation.

dei calcari dell'Appennino » (SANESI, 1968).

Nella zona occupata dalla faggeta, Magaldi (in SANESI, 1968) segnala l'esistenza di livelli piroclastici a sanidino, pirosseno e vetro vulcanico: è probabile che l'evoluzione differenziale del profilo sia dovuta ad un mescolamento fra i prodotti della decalcificazione ed i materiali vulcanici, più alterabili della selce, in particolare nell'orizzonte A. L'analisi mineralogica della frazione pesante eseguita su S12, S13 e S15 ha mostrato la presenza di pirosseno in tutti i campioni, a conferma di apporti di origine vulcanica.

Le differenze tra gli orizzonti superficiali e quelli profondi sono evidenziate anche dalla composizione mineralogica. La calcite è presente in piccole quantità solo nell'orizzonte C, mentre i feldspati sono più abbondanti in A11 e A12 che in B e in C. Il tenore di quarzo (microcristallino) raggiunge valori elevati (circa 50 %) in tutti gli orizzonti.

Tra i minerali argillosi l'illite domina su kaolinite, intergrado, clorite e smectite. Da rilevare che la clorite è in tenori apprezzabili solo negli orizzonti A, mentre al contrario la vermiculite, che si forma nel suolo a spese della clorite, è presente in B e C.

La distribuzione di K, Fe, Al e di molti elementi in traccia lungo il profilo mostra un arricchimento passando dall'orizzonte A al B, rimarcando l'accennata discontinuità tra i due orizzonti.

Il contenuto di Pb è elevato in A11 in coincidenza con i tenori più alti di sostanza organica. La figura 4, che riporta il diagramma di correlazione tra Pb e sostanza organica per tutti i suoli qui esaminati, mostra infatti un legame significativo tra questi due

parametri. L'associazione del Pb alla sostanza organica era già stata messa in evidenza da vari Autori (NRIAGU, 1978; REAVES e BERROW, 1984), ma le scarse informazioni sia sui cicli biogeochimici del Pb sia sul comportamento del Pb durante la trasformazione della sostanza organica non permettono di spiegare in modo esauriente l'associazione di questo elemento con la sostanza organica. Data l'importanza dell'atmosfera nel trasferimento della contaminazione connessa alle attività antropiche (fonti energetiche, prodotti di combustione etc.) dovrebbero essere verificati gli apporti di Pb dovuti a fall-out. Infatti, a causa della bassa mobilità geochimica del Pb, la contaminazione interessa soprattutto la lettiera e gli orizzonti più superficiali dei suoli.

A livello tassonomico, questo suolo rientra

TABELLA 6

Descrizione del profilo S14 Description of the profile S14

Località: Km 12 S.S. del Terminillo;
Quota: m 1130; esposizione E/NE; pendenza 10°;
Fisiografia: pendio ciglionato per rimboscimento;
Drenaggio: rapido; erosione idrica forte;
Rocciosità: comune; pietrosità comune;
Substrato pedogenetico: dolomia;
Vegetazione: bosco misto con elementi di faggio, pino nero, acero, ginepro, graminacee;
Descrizione: C. BINI, 27-9-1983.
Classificazione genetica U.S.D.A. (1975): TYPIC
RENDOLL.

Orizzonte O_1+O_2 : cm 2-0. Lettiera a prevalenza di graminacee poco decomposte.

Orizzonte A_{11} : cm 0-2/6. Limite inferiore chiaro, ondulato; colore bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3/2); franco sabbioso; scheletro molto scarso, calcareo; poco umido, friabile; struttura grumosa debole, a feltro; porosità elevata; reazione subalcalina; attività biologica abbondante; radici abbondanti, fini, subverticali.

Orizzonte A_{12} : cm 2/6-24/29. Limite inferiore netto, ondulato; colore bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3,5/2); franco; scheletro molto scarso, calcareo; poco umido, poco adesivo; struttura poliedrica subangolare fine, molto debole; porosità media; reazione subalcalina; attività biologica abbondante; radici comuni, fini.

Orizzonte C: cm 24/29-43/46. Limite inferiore netto, ondulato; colore bianco (5 YR 8/1); franco; scheletro molto scarso, calcareo; asciutto, friabile; struttura poliedrica angolare molto fine, molto debole; porosità media; reazione subalcalina; attività biologica scarsa, radici scarse.

Orizzonte R: cm 43/46 ed oltre. Dolomia bianca in elevato stato di alterazione, sfarinata.

TABELLA 7
Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo S14
Physical, chemical and mineralogical analyses of the profile S14

ANALISI CHIMICHE E FISICHE

Orizzonte	Profondità Iniziale cm.	S%	Granulometria			pH H ₂ O	C% Organ.	Sost.% Organ.	C.S.C. meq/100gr	Basi di scambio meq/100gr			Acidità di scambio meq/100gr	Saturazione %
			L%	A%						Ca	Mg	Na	K	
A ₁₁	0	61,1	25,7	13,2	7,00	11,19	19,29	52,61	30,25	10,28	1,36	0,64	10,08	80,84
A ₁₂	2/6	42,6	31,7	25,7	7,35	8,01	13,81	38,17	21,20	8,74	1,08	0,48	6,67	82,52
C	24/29	46,1	32,1	21,8	7,90	1,12	1,93	12,91	5,30	6,48	0,81	0,32	—	100

ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI

Orizzonte	Profondità media cm.	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Co	V	Mn	Mo	As	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al
		ppm																
A ₁₁	4	13	39	60	0,76	25	1,5	5	55	340	1,60	12,5	0,54	0,64	17,45	10,29	1,28	2,37
A ₁₂	15	9	10	25	0,36	22	1,5	5	52	298	1,92	11,2	0,53	0,56	19,48	11,33	1,13	2,07
C	35	8,5	3,4	7	0,59	5,5	4	2	12	41	1,80	4,3	0,52	0,24	23,36	13,68	0,15	0,43

ANALISI MINERALOGICA

Orizzonte	Quarzo*	Campione medio				Frazione <0,002 mm									
		K-Feldspato	Na-Feldspato	Calcite	Dolomite	%	Smectite	Vermiculite	Clorite	Intergrado	Illite	Caolinite			
A ₁₁	5-10	—	—	<5	—	80	—	—	35	20	25	25			
A ₁₂	5	p	—	<5	—	80	—	—	25	20	35	15			
C	—	—	—	<5	—	80	10	—	25	20	40	—			

* - Quarzo microcristallino.

fra le tipiche « terre brune forestali » indicate da MANCINI (1955) come suoli « climax », ovvero in equilibrio con le caratteristiche climatiche e vegetazionali. Questo tipo pedologico copre infatti gran parte dell'areale del faggio del nostro Appennino, sia arenaceo che calcareo (PEDROTTI et al., 1976). Per la Soil Taxonomy, questo suolo rientra nella famiglia franco grossolana, mista, mesica dei TYPIC HAPLUMBREPT.

Ad un ulteriore abbassamento della quota, al di sotto di 1400 m, corrisponde una fascia vegetazionale di transizione a quella più francamente mesofila sottostante (« Faggeta mista della zona inferiore », VISONÀ, 1968), con giovani popolazioni di faggio associate con pino nero, abete bianco (introdotti), acero, nocciolo e ginepro. Lo stadio evolutivo del suolo in questa fascia è ancora quello della terra bruna, ovvero di un suolo

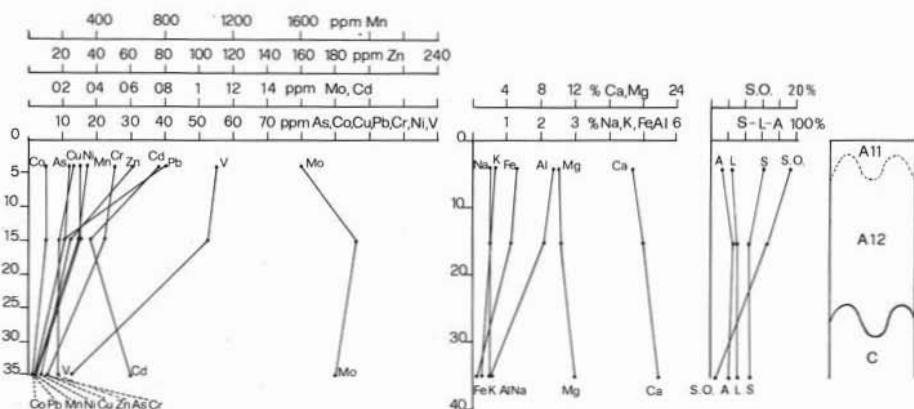


Fig. 5. — Suolo S14, andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, della sostanza organica e delle frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla). — Soil S14, distribution of major, minor and trace elements, organic matter and granulometric fractions (sand, silt, clay) along the profile.

decalcificato, con tendenza alla acidificazione ed alla formazione di un orizzonte B strutturale. Quando i fenomeni di erosione sono più intensi si instaura un processo di pedogenesi « regressiva » e il suolo è continuamente soggetto a ringiovanimento.

Nella tabella 6 è riportata la descrizione di un profilo di erosione sviluppatosi su dolomia cataclastica (S14), mentre nella tabella 7 sono riportati i risultati delle analisi pedologiche, mineralogiche e geochimiche. Nella figura 5 è riportata la distribuzione lungo il profilo dei costituenti determinati e dei caratteri granulometrici.

Si tratta di un suolo sottile, eroso, scarsamente differenziato. L'orizzonte A è ben umificato ed in parte decarbonatato, ma il pH è ancora subalcalino, ed il complesso di scambio vicino alla saturazione.

La mineralogia di questo profilo si caratterizza per l'abbondanza di dolomite (80-90 %) per tutta la sua profondità, mentre quarzo (microcristallino) e feldspato sono presenti solo in superficie, in piccole quantità.

Tra i minerali argillosi sono più abbondanti illite e clorite con kaolinite e intergrado subordinati. In questo suolo è stata osservata la presenza di minerali a strati misti regolari in tutti gli orizzonti.

Tra gli elementi maggiori, Ca e Mg aumentano verso il basso con l'aumentare della dolomite. Viceversa, l'arricchimento di elementi in traccia in superficie può essere attribuito sia all'elevato tenore di sostanza organica (con cui essi appaiono in stretta correlazione), sia alla minore quantità di dolomite.

Si tratta pertanto di un suolo ai primi gradini dell'evoluzione, un rendzina secondo MANCINI (1955), ovvero un TYPIC RENDOLL franco, misto, mesico della Soil Taxonomy.

Accanto al tipo precedente, ma in situazioni morfologiche più favorevoli, come sul fondo di piccole vallecicole o in depressioni dei piani carsici, si possono trovare tipi pedologici di gran lunga più evoluti, risultanti da una pedogenesi, per « degradazione » del suolo climax, come segnalato da MANCINI (1964). Si tratta di suoli sviluppatisi in mezzo idromorfo per difficoltà di drenaggio, profondi, subacidi ma con elevata saturazione in basi e molto argillosi, soprattutto in profondità, per fenomeni di lisciviazione ed accu-

TABELLA 8

Descrizione del profilo S15

Description of the profile S15

Località: S.S. del Terminillo, Km 7+500;
Quota: m 750; esposizione: W; pendenza: 20°;
Fisiografia: parte bassa di versante, con pendio regolare;
Drenaggio: moderato; erosione: idrica moderata;
Rocciosità: comune; pietrosità: comune;
Substrato pedogenetico: calcare massiccio, spatico;
Vegetazione: bosco misto mesofilo, con quercia, acero, olmo, ginepro, ciclamino, graminacee, leguminose;
Descrizione: C. BINI, 27-9-1983.
Classificazione genetica U.S.D.A. (1975): TYPIC HAPLUDOLL.

Orizzonte 0_1+0_2 : cm 1-0. Lettieria con prevalenza di foglie di quercia.

Orizzonte A_{11} : cm 0-2/4 (eroso). Limite inferiore chiaro, ondulato; colore bruno rossastro scuro (3.75 YR 3/2); franco sabbioso argilloso; scheletro scarso, grossolano, calcareo; poco umido, poco adesivo; struttura grumosa fine, debole; porosità elevata; reazione neutra; attività biologica abbondante; radici abbondanti, fini, subverticali.

Orizzonte A_{12} : cm 2/4-19/32. Limite inferiore irregolare; colore bruno rossastro scuro (3.75 YR 3/3); franco; scheletro comune, grossolano, calcareo; poco umido, poco adesivo; struttura poliedrica subangolare fine, evidente e media debole; porosità comune; reazione neutra; attività biologica abbondante e radici abbondanti, fini e medie.

Orizzonte B_w : cm 19/32-65/70. Limite inferiore netto, irregolare; colore bruno rossastro (5 YR 4/5); franco; scheletro abbondante, grossolano, calcareo; poco umido, poco adesivo; struttura poliedrica angolare media, debole, poco evidente; porosità comune; reazione neutra; attività biologica e radici scarse.

Orizzonte R: cm 65/70 ed oltre, calcare massiccio bianco, spatico, in giacitura suborizzontale.

mulo di argilla nell'orizzonte B (s. bruni lisciviati). Trattandosi di casi particolari di evoluzione del suolo, su materiale colluviale o di sedimentazione palustre, non abbiamo ritenuto di eseguirne il campionamento e lo studio, limitandoci a segnalarne l'esistenza.

Un altro aspetto di pedogenesi regressiva per « degradazione » con formazione di suoli bruni podzolici è stato segnalato da FER-RARI (1965) nel parco nazionale d'Abruzzo; al Terminillo non abbiamo trovato simili tipi pedologici.

La fascia di vegetazione più francamente mesofila (quercia, olmo, carpino, acero con associati rari elementi di faggio: VISONÀ,

1968), posta al piede del rilievo del Terminillo, è caratterizzata da una situazione pedologica leggermente diversa. La minore piovosità, a questa quota, limita il fenomeno della lisciviazione e pertanto la pedogenesi procede per linee diverse rispetto alle alte quote. Il suolo climax di questo ambiente, sui calcari, è una terra bruna eutrofica (MANCINI, 1955), ovvero un suolo con elevata saturazione in basi, neutro in superficie e subalcalino in profondità, notevolmente argilloso per l'accumulo di argilla ereditata dal residuo insolubile della roccia.

A livello tassonomico, questo suolo si inserisce nella famiglia franca fine, mista dei TYPIC HAPLUDOLL.

L'analisi mineralogica mostra abbondante calcite nell'orizzonte B e scarse quantità nell'orizzonte A; viceversa, il quarzo microcristallino è più abbondante in A che in B, mentre i feldspati sono scarsi o assenti.

Fra i minerali argillosi prevalgono illite, vermiculite, kaolinite su integrato e smectite, mentre è assente la clorite, a testimonianza dei processi di pedogenesi che segnano l'evoluzione di questo suolo.

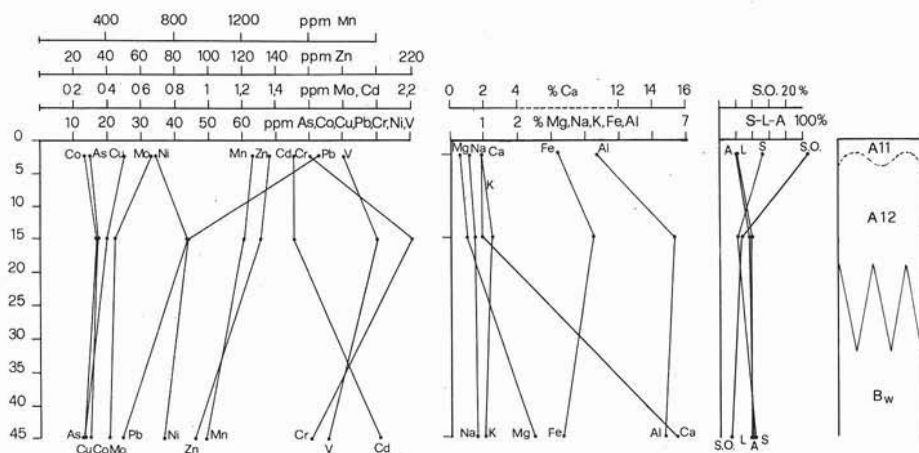


Fig. 6. — Suolo S15, andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, della sostanza organica e delle frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla). — Soil S15, distribution of major, minor and trace elements, organic matter and granulometric fractions (sand, silt, clay) along the profile.

Nella tabella 8 è riportata la descrizione di un profilo-tipo (S15); nella tabella 9 sono riportate le analisi chimico-fisiche, mineralogiche e geochimiche. Nella figura 6 è riportata la distribuzione lungo il profilo dei costituenti determinati e dei caratteri granulometrici.

Questo suolo si caratterizza per avere un orizzonte A poco profondo (in parte asportato dall'erosione) ed un debole orizzonte B che si forma nelle intercapedini fra blocchi calcarei pressoché inalterati. I caratteri fisico-chimici peculiari, come sopra accennato, sono il pH attorno alla neutralità, la saturazione in basi del complesso di scambio (assicurata da un'elevata percentuale di argilla), la presenza di abbondante scheletro, una buona strutturazione.

L'analisi geochimica mostra un forte impoverimento di Ca e Mg nell'orizzonte superficiale rispetto a quello profondo, in relazione alla scomparsa della calcite, conseguente alla leggera lisciviazione, mentre l'incremento di Al ed in misura minore Fe, Na e K nell'orizzonte A₁₂ è legato all'aumento di argilla. Gli elementi in traccia presentano invece andamenti differenziati. Cu, Pb, Zn, Mn ed Mo, accumulati nell'orizzonte A possono essere, in alcune situazioni, associati alla sostanza organica; tuttavia solo il Pb mostra un legame significativo con la componente organica (fig. 4). Cr, Ni e Co seguono l'andamento del Fe, cui sono geochimicamente affini, mentre V ed As hanno una distribuzione pressoché costante lungo il profilo, e Cd si accumula in profondità.

Una considerazione a parte meritano i tenori di Pb, Zn e Cd che in tutti i suoli qui studiati risultano in genere piuttosto elevati rispetto al loro contenuto medio nelle rocce carbonatiche nelle quali Pb = 7-10 ppm, Zn = 20-30 ppm e Cd = 0,3-0,5 ppm. Tali tenori appaiono notevolmente elevati anche in confronto con le loro concentrazioni nelle bauxiti italiane (BARDOSSY et al., 1977), che risultano formate da materiali residuali della dissoluzione dei carbonati e di origine eolica (polveri di origine continentale e cenneri vulcaniche). Anche nelle terre rosse che si sviluppano sulle formazioni carbonatiche della Puglia (POLEMIO et al., 1982; BINI et al., 1984) i tenori di Pb, Zn e Cd sono normalmente inferiori a quelli osservati al Monte Terminillo.

Lo studio eseguito non permette di identificare con precisione i vari processi che hanno determinato l'accumulo di questi elementi nel suolo. Possiamo tuttavia ritenere, sulla base della elevata correlazione Pb-S.O. (fig. 4), che il piombo, essendo un elemento particolarmente attivo del ciclo biogeochimico, si accumuli nel suolo laddove c'è maggiore quantità di sostanza organica (lettiera ed orizzonte A), soprattutto se questa è di tipo mull, cioè molto reattiva.

Per lo Zn si può ipotizzare un accumulo legato in parte alla coprecipitazione con gli

idrossidi di Mn, ed in parte alla dinamica dei minerali argillosi, come sembrerebbe indicare l'elevata correlazione Zn-Al (fig. 7), mentre sono poco probabili, nell'ambiente in studio, inquinamenti di origine antropica (agricoltura, industria), già ipotizzati in altre occasioni (BINI et al., 1982). È viceversa da escludere una correlazione Cd-S.O., poiché

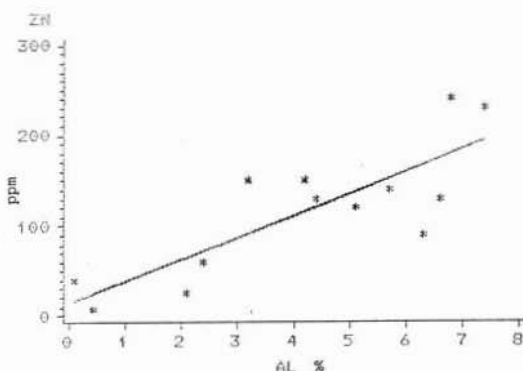


Fig. 7. — Diagramma di correlazione Al-Zn. — Al-Zn correlation.

i valori più elevati di Cd sono presenti generalmente negli orizzonti più profondi: è probabile che questo elemento partecipi ai processi naturali, muovendosi nel profilo associato ai minerali di neogenesi.

TABELLA 9

Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo S15
Physical, chemical and mineralogical analyses of the profile S15

ANALISI FISICHE E CHIMICHE																			
Orizzonte	Profondità		Granulometria			pH	CK	Sost.%	C.S.C.	Basi di scambio			Acidità di	Saturazione					
	Iniziale	cm.	SK	LK	AK	H ₂ O	Organ.	Organ.	meq/100gr	Ca	Mg	Na	K		scambio				
A ₁₁	0	53,5	23,6	22,9	6,30	15,53	26,77	68,16	37,42	4,37	1,63	0,64	24,10	64,64					
A ₁₂	2/4	22,6	40,0	37,4	6,95	3,74	6,45	43,35	26,19	1,90	1,63	0,48	13,15	69,66					
B _w	19/32	24,1	37,1	38,8	7,70	2,24	3,86	41,86	34,31	1,39	1,36	0,32	4,46	89,34					
ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI																			
Orizzonte	Profondità	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Co	V	Mn	Mo	As				Ca	Mg	Fe	Al
													Na	K	%				
A ₁₁	2	25	83	135	1,5	80	34	13	90	1257	0,66	14,5	0,60	0,92	1,92	0,35	3,18	4,36	
A ₁₂	15	20	44	130	1,5	110	44	16	100	1212	0,44	16,8	0,73	1,21	1,86	0,45	4,26	6,64	
B _w	45	13	24	90	2,0	80	36	15	85	965	0,40	13,0	0,73	0,93	15,30	2,43	3,26	6,27	
ANALISI MINERALOGICA																			
Campione medio						% Frazione <0,002 mm													
Orizzonte	Quarzo*	K-Feldspato	Na-Feldspato	Calcite	Dolomite	Smeectite	Vermiculite	Clorite	Intergrado	Illite	Caolinite								
A ₁₁	25-30	<5	<5	—	—	15	20	—	15	20	30								
A ₁₂	25-30	<5	<5	5	—	15	20	—	15	20	30								
B _w	15	—	<5	30	—	20	20	10	10	20	20								

*- Quarzo microcristallino.

Conclusioni

Abbiamo cercato di delineare in questo lavoro i grandi tratti dell'evoluzione pedologica su rocce calcaree a M.te Terminillo, e di seguire la distribuzione degli elementi in traccia in quest'ambiente, da prendere come modello per le aree calcaree interne.

I risultati ottenuti consentono di fare le seguenti considerazioni:

— la pedogenesi in quest'ambiente è strettamente correlata con le condizioni climatiche e la vegetazione;

— vi sono due tendenze evolutive del suolo:

a) la pedogenesi progressiva, che possiamo definire ad evoluzione naturale verso il suolo climax, è espressa chiaramente dalla seguente «catena» di suoli, sviluppatasi a quote diverse e sotto fasce vegetazionali differenti:

roccia affiorante → litosuoli → rendzina → suoli bruni.

In particolare, alle quote più elevate, sotto vegetazione erbacea (prateria alpina) si formano litosuoli e *rendzina*; alle quote intermedie, sotto la foresta di faggio, si ha la formazione di *suoli bruni acidi*; alle quote inferiori (dominio del bosco misto mesofilo) il suolo climax è la *terra bruna eutrofica*;

b) la pedogenesi regressiva è dovuta sia alla degradazione (in senso pedologico) sia all'erosione. Quella per degradazione è legata a particolari condizioni morfologiche e di drenaggio, e conduce a tipi di suolo più evoluti del suolo climax in equilibrio con l'ambiente, come i *suoli bruni lisciviati* segnalati al Terminillo da MANCINI (1964) ed i *suoli bruni podzolici*, segnalati da FERRARI (1965) nella Val Fondillo (AQ). La pedogenesi regressiva per erosione, legata sia a morfologie acclivi, sia all'opera di disboscamento e taglio, porta all'asportazione dell'orizzonte superficiale del suolo, con ringiovanimento del profilo e formazione di suoli ai primi gradini dell'evoluzione (litosuoli e rendzina iniziali).

Dal punto di vista mineralogico la calcite è assente in tutti gli orizzonti pedologici, a conferma del processo di debole lisciviazione già accennato. Il profilo su dolomia (S14) conserva inalterata la dolomite in tutti gli orizzonti indicando un fenomeno di scarsa

pedogenesi, o meglio di «pedogenesi retrograda» per erosione.

La mineralogia della frazione argillosa appare piuttosto uniforme, con illite, clorite, kaolinite, intergradi e rara smectite. Solo nei suoli più evoluti compare la vermiculite, in sostituzione della clorite.

La distribuzione geochemica degli elementi appare in generale congruente con lo schema di evoluzione proposto. In particolare, Ca mostra un decremento negli orizzonti più superficiali rispetto al substrato. Fe, Al ed elementi in traccia, risultano in genere arricchiti in superficie rispetto ai livelli più profondi. Ciò è dovuto in parte ad un arricchimento indiretto legato all'aumento della frazione residuale, col procedere della dissoluzione dei carbonati, ed in parte ai cicli biogeochimici. Il Pb appare legato in modo significativo con la sostanza organica. Le lacune conoscitive esistenti sul ciclo biogeochimico del Pb e sui processi che avvengono durante la degradazione della sostanza organica non permettono, tuttavia, di discriminare eventuali apporti atmosferici di origine antropica.

Anche gli elevati tenori di Zn e di Cd possono essere attribuiti a processi naturali quali la dinamica dei minerali nel suolo e la coprecipitazione con gli idrossidi di Fe ed Mn, pur non escludendo la possibilità di un inquinamento da parte dell'uomo, come segnalato in altre occasioni.

BIBLIOGRAFIA

- BARDOSY GY., BONO M., DALL'AGLIO M., PANTO GY. (1977) - *Bauxites of peninsular Italy composition, origin and geotectonic significance*. Monograph Series on Mineral Deposits, n. 15, Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- BINI C. (1978) - *Aspetti pedologici della Maremma: la media valle del f. Bruna e l'antico tenimento di Castel di Pietra (GR)*. Atti Acc. Econ. Agr. Georgofili, XXV, ser. 7.
- BINI C., DALL'AGLIO M., GRAGNANI R., PAPAGNI V. (1982) - *Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Suoli di una zona agricola del Chianti*. Rend. SIMP, 38/2, 803-816.
- BINI C., FERRETTI O., GHIARA E., GRAGNANI R. (1984) - *Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Suoli della regione Puglia*. Rend. SIMP, 39/1, 281-302.
- BRUNO F., GRATANI L., MANES F. (1973) - *Availability and cycling of N, P, K, Ca and Mg in the beechwood ecosystem at M.t Terminillo (Central Italy)*. Ann. Botanica, XXXII, 1-36.

- BRUNO F., MANES F., GRATANI L. (1973) - *Retention and litter restitution of micronutrients Fe, Mn, Zn, Cu, Na in the Terminillo beechwood ecosystem (Central Italy)*. Ann. Bot., XXXII, 71-83.
- FERRARI G. (1965) - *Note pedologiche preliminari sul Parco Nazionale d'Abruzzo*. Italia For. e Montana, II, 2.
- MANCINI F. (1955) - *Delle terre brune d'Italia*. Atti Acc. It. Sci. For., III.
- MANCINI F. (1956) - *Observation sur l'evolution des sols calcaires en Val di Lima (LU)*. C.R. VI Congres Int. de la Science du Sol, Paris, V, 63, 381-386.
- MANCINI F. (1964) - *Study tour through Central Italy*. Ist. Geol. Appl. Univ. Firenze edit., Firenze, pp. 94.
- MANCINI F., FERRARI G., GIOVAGNOTTI C., LIPPI BONCAMPI C. (1966) - *Guida all'escursione in Abruzzo, Lazio e Umbria*. Tip. Coppini, Firenze, pp. 150.
- NRIAGU J.O. (1978) - *Properties and the biogeochemistry of Lead in the Environment*. Nriagu editor, Elsevier, North Holland.
- PEDROTTI F., SANESI G. (1969) - *Resoconto delle escursioni sull'Appennino umbro-marchigiano (Monti Sibillini)*. Mitt. Ostalp-din. pflanz. Arbeit., 9, 365-388.
- PEDROTTI F., SANESI G., BALLELLI S., CORTINI PEDROTTI C., ORSOMANDO E. (1976) - *Il piano di Rascino (Rieti): note fitogeografiche*. Lavori Soc. Ital. Biogeogr., n.s., IV.
- POLEMIO M., SENESI N., RUFO S.A. (1982) - *Soil contamination by metals. A survey in industrial and rural areas of Southern Italy*. The Sci. of Total Envir., 25, 71-79.
- REAVES G.A., BERROW M.L. (1984) - *Total lead concentration in Scottish Soils*. Geoderma, 32, 1-8.
- SANESI G. (1968) - *Soil description and profile characteristics in the IBP experimental area*. C.N.R., I.B.P.-PT report n. 2, 49-58.
- VISONÀ L. (1968) - *The vegetation of the immediate surroundings of the IBP research station, with reference to the vegetation map*. C.N.R., I.B.P.-PT report n. 2, 37-39.