

DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI IN TRACCIA NEI SUOLI. PEDOLOGIA E GEOCHIMICA DI UNA TOPOSEQUENZA SUL VERSANTE OCCIDENTALE DELLA CIMA VERTANA (GRUPPO DEL CEVEDALE, A. ADIGE)

CLAUDIO BINI

Ist. di Geopedologia e Geologia Appl., Fac. di Agraria dell'Univ., P.le Cascine 15, 50144 Firenze

ENNIO GHIARA, ROBERTO GRAGNANI

ENEA PAS-SCAMB - Laboratorio di Geochimica Ambientale C.R.E., Casaccia, 00060 S. Maria di Galeria (Roma)

RIASSUNTO. — Si riferisce di uno studio pedologico e geochimico effettuato su alcuni profili di suolo prelevati lungo il versante ovest della Cima Vertana (gruppo del Cevedale, Alto Adige).

I suoli, tutti a tendenza podzolica, mostrano gradi di evoluzione diversi in funzione dei vari fattori pedogenetici.

Nella fascia della vegetazione forestale si sviluppa il podzol vero e proprio, nelle radure del bosco ed al margine della fascia boschiva (dominio del rodo-vaccinieto) si formano suoli intergradati fra i podzol ed i suoli bruni acidi, nella fascia di vegetazione erbacea (dominio dei prati-pascoli alpini a prevalenza di graminacee) si trovano suoli bruni acidi e rankers; al di sopra di questa fascia, dove la copertura vegetale si fa discontinua ed aumenta la roccia affiorante, si formano proto-rankers ed infine litosuoli.

A questa sequenza altimetrica fanno riscontro importanti modificazioni geochimico-mineralogiche, che coinvolgono in particolare la sostanza organica, il ferro, l'alluminio e numerosi elementi in traccia quali ad esempio: Zn, Cu, As, Cr, Ni e Co.

In particolare, i tenori degli elementi in traccia e la loro distribuzione lungo i profili rispecchiano lo stadio di evoluzione dei suoli studiati. Nei suoli meno evoluti (profili nn. 1-3) la distribuzione è regolare, mostrando un generale decremento dall'alto verso il basso, ed in particolare una intensa mobilizzazione del Fe. Nei suoli più evoluti (profili nn. 2-4) sono rilevabili intensi processi di lisciviazione degli orizzonti più superficiali, e riprecipitazione nel B, che coinvolgono la quasi totalità degli elementi esaminati.

Il piombo risulta accumulato, anche se in modo non vistoso, alla superficie del suolo: è possibile che ciò sia dovuto ad un apporto antropogenico dall'atmosfera.

Inoltre, sulla base dei risultati ottenuti e di analoghe segnalazioni, viene proposta l'istituzione di un sottogruppo spodico degli incepti-suoli nella Soil Taxonomy.

ABSTRACT. — This paper deals with pedological and geochemical researches carried out on a soil topo-

sequence in the western side of the Cima Vertana (Alto Adige, Italy).

The soils show a podzolic-type evolution, but they are quite different according to the factors influencing the pedogenesis. Under the forestry cover (larch wood with elements of Swiss pine) we found the *podzols s.s.* (SPodosols in the U.S.D.A. Soil Taxonomy). In the clearings and along the upper timber line, where the rhododendron and bilberry are the dominant species, intergrades between *podzols* and *brown acid soils* (INCEPTISOLS) are the most widespread soil types. In the cover-grass belt (alpine pasture) the *rankers* (INCEPTISOLS) are the climax soils, while the upper part of the slope is characterized by *lithosols* and by common rock outcrops.

Important modifications mark the soil evolution both from the geochemical (acid-complexolysis) and from the mineralogical (podzolization-alluminosiallization) point of view: organic matter, Fe, Al are the main constituents that contribute to the podzolic evolution, while Zn, Cu, As, Cr, Ni, Co, are the trace elements mainly involved in the process.

Trace elements distribution along the examined profiles shows with a good approximation the evolutionary trend of these soils. In the profiles nn. 1 and 3 the trace elements distribution is regularly decreasing from the upper to the lower part of the soil; strong mobilization of Fe occurs, but they do not meet the requirements to enter the spodosols. The profiles nn. 2 and 4 show intense leaching processes from the upper to the lower horizons and reprecipitation of most elements in the B horizon. These soils meet the requirements to enter the spodosols.

Pb values are quite high in the surface horizon of all soils; probably, this is due to a weak anthropogenic pollution.

Moreover, as a result of this work, compared with those of others, the AA. suggest the institution, in the Soil Taxonomy, of a new sub-group of those inceptisols having spodic characters: the SPODIC DYSTROCHREPTS.

Introduzione

Per lungo tempo si è ritenuto che l'ambiente di alta montagna fosse poco favorevole allo sviluppo del suolo, e generalmente poco reattivo. Viceversa, la pedogenesi alle alte quote (stadio alpino e subalpino) è piuttosto efficace e selettiva, sia pure per limitati periodi dell'anno (ROBERT et al., 1980). Essa si esplica in modo differenziato sui diversi substrati litologici, sia per effetto delle differenti coperture vegetali (consorzi forestali, radure cespugliate, praterie alpine, vegetazione pioniera) e della morfologia, oltre che per le condizioni climatiche, che giuocano un ruolo fondamentale in questo particolare ambiente.

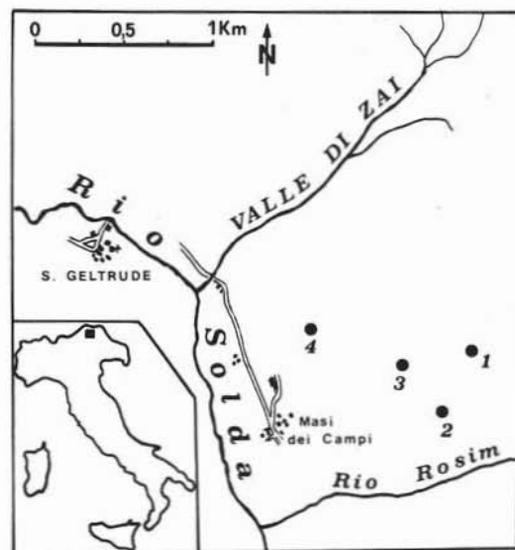


Fig. 1. — Mappa di campionamento.

Abbiamo perciò intrapreso lo studio di una sequenza altimetrica di suoli con caratteristiche morfologiche podzoliche e sviluppati sul cristallino metamorfico, onde verificare quali fossero, in termini di alterazione delle rocce ed evoluzione del suolo, le modificazioni mineralogiche e geochimiche intervenute nel corso della pedogenesi.

In particolare, abbiamo prestato attenzione alla morfologia degli orizzonti (e soprattutto alla presenza o meno di A_2 con caratteri albici) ed alla dinamica della materia organica, del ferro e dell'alluminio, nonché degli elementi in traccia, data la loro impor-

tanza nei fenomeni di pedogenesi, ed in particolare nella podzolizzazione (BLUME e SCHWERTMAN, 1969).

La sequenza in studio è stata osservata e campionata nel gruppo dell'Ortles-Cevedale (Alto Adige, Italia, fig. 1), entro il territorio del Parco Nazionale dello Stelvio, già oggetto di indagini geologiche e pedologiche (ARGENTON et al., 1980; RONCHETTI, 1971).

Tipi pedologici mostranti un'evoluzione ed una morfologia caratteristiche dei podzols sono piuttosto frequenti nell'arco alpino orientale, come segnalato da MANCINI (1959), RONCHETTI (1963, 1971), WOLF (1967), SIEF (1973), e come osservato recentemente da WOLF e BINI in numerose escursioni. Per tale motivo la presente indagine assume significato, oltre che per l'acquisizione di nuovi dati sulla genesi di questi suoli e sulla pedogenesi in alta montagna, anche come modello della distribuzione degli elementi in traccia in quest'ambiente, assai poco conosciuto dal punto di vista geochimico.

Inquadramento geo-litologico e metodi di studio

Litologicamente, il complesso montuoso dell'Ortles-Cevedale è costituito in grande prevalenza (ANDREATTA, 1951; GREGNANIN e PICCIRILLO, 1972) da metamorfiti pelitico-psammitiche comprendenti associazioni di filladi e paragneiss con letti quarzosi (formazione degli scisti austridici), in successione stratigrafica. La composizione mineralogica fondamentale (ARGENTON et al., 1980) è data dall'associazione seguente: muscovite + clorite + quarzo \pm biotite \pm albite + accessori.

Nella tabella 1 è riportata l'analisi di un campione (A) di fillade raccolto alla base del profilo 2 e quello di un litotipo filladico (B) effettuata da GATTO G.O. e SCOLARI A. (1973).

I profili studiati sono stati scavati sul versante ovest del rilievo di Cima Vertana (fig. 2), a monte dell'abitato di Solda, in una posizione morfologica il più possibile omogenea, onde limitare al massimo il numero delle variabili che hanno influenza sulla pedogenesi. Pertanto, tutti i profili erano esposti verso ovest, e la pendenza era superiore al 60 %.

TABELLA 1
Analisi di un litotipo filladico

Campione A		Campione B	
%	ppm	%	
Na 1,10	Cu 18	Si 35,9	
K 2,60	Pb 14	Na 0,07	
Ca 0,43	Zn 67,5	K 2,59	
Mg 0,99	Cd 0,35	Ca 0,272	
Fe 4,51	Cr 70	Mg 0,639	
Al 4	Ni 37,5	Fe ⁺⁺ 1	
Mn 0,066	Co 6	Fe ⁺⁺⁺ 1,68	
	V 60	Al 5,91	
	Mo 0,42	Mn 0,0852	
	As 5	Ti 0,228	
	U 2,80	P 0,039	
		(H ₂ O ⁺) 2,59	

Le variabili che non potevano essere assunte come costanti erano invece la vegetazione, suddivisa in caratteristiche fasce, ed il clima che, per l'elevarsi della quota e per la conformazione dei rilievi circostante, presenta importanti micro-oscillazioni.

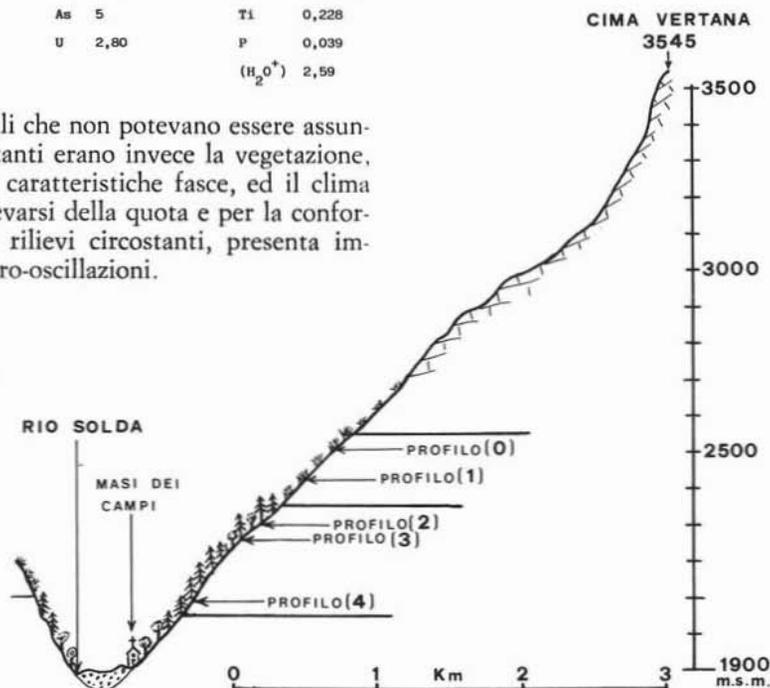


Fig. 2. — Andamento altimetrico del profilo del versante ovest della Cima Vertana.

Per l'inquadramento ambientale, la descrizione completa dei profili e la discussione sulla tassonomia e la genesi di questi suoli, si rimanda alla nota di BINI et al. (1983).

Su ciascun orizzonte sono state eseguite analisi fisiche e chimiche (tessitura, pH, C, N, ioni scambiabili, elementi maggiori, minori ed in traccia), volte da una parte alla caratterizzazione e classificazione dei suoli, dall'altra alla determinazione della dinamica dei processi geochimici in questo particolare ambiente. Per le procedure analitiche sono

stati utilizzati i metodi indicati nel manuale del Soil Conservation Service (U.S.D.A., 1972), con modifiche recenti (BINI et al., 1982, 1983), ed i metodi descritti in BRONDI et al. (1981).

In particolare, data l'importanza della distribuzione di Fe ed Al per la genesi di questo tipo di suoli, e per la loro classificazione, sono state condotte estrazioni di questi due elementi con diversi reattivi⁽¹⁾, per determinare le differenti forme presenti nel suolo, e definire la posizione sistematica secondo la Soil Taxonomy (U.S.D.A., 1975).

Discussione dei risultati

La sequenza esaminata, di cui sono già state accennate le condizioni di giacitura e

(¹) Con Na-pirofosfato 0,1 M a pH 10 si estraggono Fe ed Al nella forma di complessi organici (Fe_p e Al_p).

Con Na-ditionito + Na-citrato si determinano Fe ed Al (Fe_a e Al_a) nelle forme di complessi organici, ossidi amorfi, pseudocristallini ed adsorbiti dalle particelle argillose (l'estrazione però non è totale per lo Al).

TABELLA 2
Analisi fisiche e chimiche del profilo n.º 1

Orizzonte	Profondità iniz. cm.	Granulometria			pH H ₂ O	C%	N%	C/N	Basi di scambio				Acidità di scambio meq/100 gr	Saturazione %
		SS%	LS%	AS%					Ca	Mg	Na	K		
A 11	0	38,6	49,2	12,1	5,0	5,71	0,33	17,1	2,7	0,40	0,09	0,08	31,1	9,8
A 12	8	45,2	42,7	12,1	5,1	3,05	0,17	17,6	1,5	0,13	0,18	0,06	28,9	6,1
A 13	25	46	46,8	7,2	5,5	2,77	0,15	17,9	1	0,06	0,09	0,06	28,9	4,1
C	50	57,5	34,7	7,8	5,4	1,59	-	-	0,75	0,06	0,04	0,05	15,6	5,8

Orizzonte	Profondità media di prelev. cm.	Estratti in						Fe + Al P Fe _d + Al _d	Fe + Al P % argille	Fe + Al P % C
		Na ditionito	Na citrato	Σ	Na pirofosfato	Fe _p %	Al _p %			
A 11	2,5	3,1	0,5	3,6	1,5	0,8	2,3	0,65	0,19	0,41
A 12	10	3,1	0,6	3,7	1,4	1	2,4	0,65	0,2	0,79
A 13	33	3,1	0,9	4	1,5	1,4	2,9	0,74	0,4	1,1
C	55	1,5	0,7	2,2	0,4	0,9	1,3	0,58	0,17	0,84

ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI

Profon. media di prelev.	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	As	Mo	U	Fe Mn Al Na K Ca Mg						
												Fe	Mn	Al	Na	K	Ca	Mg
2,5	20	0,34	82	17	27,5	15	110	110	55	2,1	3,7	4,85	0,05	5,5	0,77	2,48	0,49	0,78
10	17,4	0,30	79	12	27,5	16	109	114	50	2,2	3,5	4,72	0,045	7,6	0,73	2,47	0,56	0,88
33	44,8	0,30	124	14	42	21	122	110	95	2,1	4,4	6,68	0,055	7,6	0,83	2,48	0,54	1,40
55	43	0,40	100	13,8	44	23	100	100	60	1,2	3,7	5,11	0,060	7,5	1,06	2,69	0,96	1,22

stazionali, rappresenta diversi stadi di evoluzione pedologica.

Il suolo campionato alla quota più elevata (profilo n. 1, a m 2360), nella zona dei prati-pascoli alpini, è un RANKER (*Umbric Dystrochrept*)⁽²⁾. Nella tabella 2 sono riportati i risultati delle analisi fisiche e chimiche e quelle dei costituenti maggiori, minori ed in traccia, e nella fig. 3 la loro distribuzione lungo il profilo.

Dall'esame della tabella si nota subito un'elevata omogeneità dei dati analitici che, tradotta in termini di pedogenesi, indica una scarsa differenziazione degli orizzonti, se si eccettua l'orizzonte A₁₁, dove è più attivo il ruolo della sostanza organica e dell'attività biologica in generale. Il decremento di argilla in profondità (orizzonti A₁₃ e C) è ascrivibile alla mancata formazione di minerali argillosi tipici dei processi di pedogenesi, per la mode-

rata aggressività della sostanza organica.

Lungo tutto il profilo, sia per la modesta quantità di argilla che per la forte desaturazione, le basi di scambio sono scarse, mentre l'acidità di scambio è elevata, soprattutto nell'A₁₁, in funzione della maggiore quantità di sostanza organica.

Il ferro e subordinatamente l'alluminio scambiabili (principalmente amorfi o legati ai prodotti della alterazione supergenica) hanno tenori elevati, e ciò indica una intensa mobilizzazione di questi elementi. Il ferro è più abbondante nella forma inorganica rispetto a quello legato alla sostanza organica (Fe_d > Fe_p), mentre lo Al appare in gran parte come complesso organico (Al_p > Al_d).

Il rapporto (Fe + Al_p)/(Fe + Al_d) presenta un incremento dalla superficie verso il basso (A₁₃), denotando una crescente mobilizzazione di questi due elementi sotto forma di complessi organici. Ciò sottolinea l'inizio di un processo di podzolizzazione, anche se non vi sono evidenze morfologiche tipiche di un podzol. D'altra parte, l'humus è ancora

(²) Per la classificazione dei suoli sono state adottate sia la legenda della Carta dei suoli d'Italia (MANCINI, 1966) che la Soil Taxonomy (U.S.D.A., 1975), come riferimento internazionale.

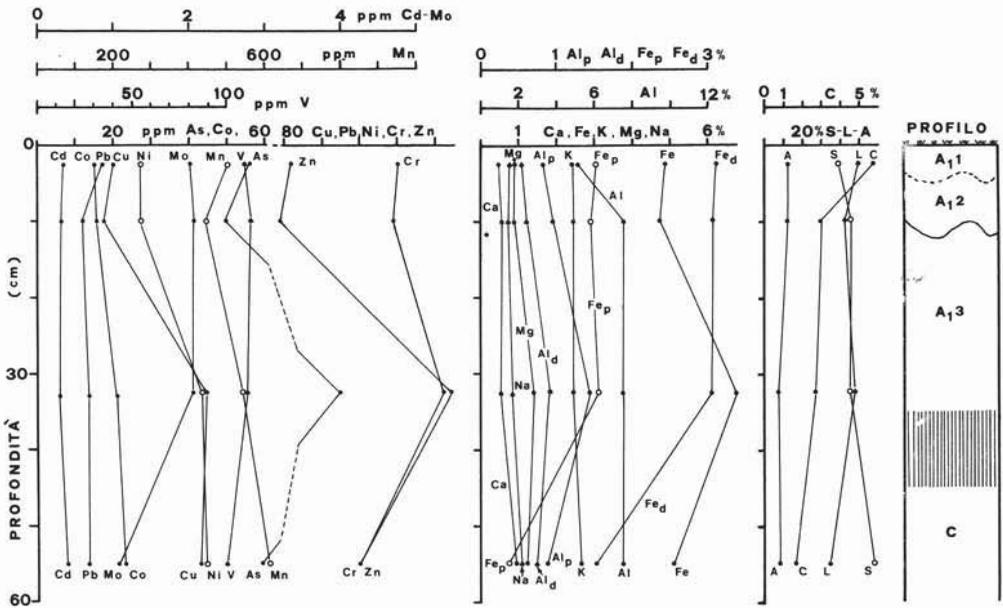


Fig. 3. — Suolo n. 1. - Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, del Fe e Al estraibili della sostanza organica e della frazione granulometrica (sabbia, limo, argilla).

poco evoluto (mull-moder), con un rapporto C/N piuttosto basso (17-18), mentre il pH intorno a 5 è troppo elevato per favorire la mobilitazione completa di Fe ed Al.

Dal punto di vista più strettamente geo-chimico, gli elementi in traccia nel loro insieme (fig. 3) mostrano una leggera diminuzione passando da A₁₁ a A₁₂, per arricchirsi in modo sensibile nel sottostante A₁₃ e decrescere nuovamente nel substrato dove assumono i valori di fondo dei litotipi filladici.

In particolare, al forte incremento di Fe totale nell'A₁₃ corrisponde un marcato aumento di Zn, As, Cu, Mn e Cr. I processi geo-chimici che condizionano la distribuzione del Fe in questo tipo di suoli, regolano anche la migrazione degli elementi sopra citati.

I tenori, in assoluto elevati, in Zn e subordinatamente in Cu sono da ritenere normali per le formazioni filladiche.

Il Pb assume valori più elevati nelle parti più superficiali, in coincidenza con i massimi tenori della sostanza organica, per poi decrescere in profondità. Tali valori tuttavia rientrano nella norma, e potrebbero indicare l'esistenza di un legame Pb-sostanza organica,

anche se non si può escludere del tutto una leggera contaminazione ambientale.

Il profilo n. 2 è rappresentativo di un tipo pedologico abbastanza diffuso verso il limite superiore della fascia boschiva, dove sono comuni le radure cespugliate, come fase di transizione alla prateria alpina. Si tratta di un PODZOL di spessore limitato (*Lithic Cryorthod*), scavato in una radura alla quota di 2250 m. Nella tabella 3 sono riportati i risultati delle analisi chimico-fisiche e dei più importanti costituenti, mentre nella fig. 4 è riportata la distribuzione lungo il profilo.

La differenziazione morfologica fra i diversi orizzonti è piuttosto netta, attestando l'evoluzione spinta di questo suolo, anche se lo A₂ non è molto evidente. La quantità di argilla in tutti gli orizzonti è piuttosto scarsa, soprattutto nel B_{1r}, ove si formano pochi minerali di neogenesi. L'elevata quantità di sabbia determina una notevole permeabilità del suolo, e quindi un forte dilavamento: pertanto, le basi di scambio risultano scarse, e la saturazione ha valori molto bassi, mentre per contro c'è una forte acidità di scambio, e la reazione è decisamente acida. pH = 4,7

TABELLA 3
Analisi fisiche e chimiche del profilo n.º 2

Orizzonte	Profondità iniziale in cm.	Granulometria			pH H_2O	C%	N%	C/N	Basi di scambio				Acidità di scambio	Saturazione %
		S%	L%	AK					meq/100 gr					
									Ca	Mg	Na	K	meq/100 gr	
A ₁	2	47,5	42,3	9,6	4,7	4,6	0,23	20,2	2	0,57	0,43	0,10	20,6	13,1
A ₂	12	45,3	43	11,6	5,1	2,7	0,13	20,1	1,45	0,35	0,09	0,08	17,2	10,4
B _{ir}	28	58,9	34,4	6,7	5,4	2,3	0,11	21,5	1,45	0,20	0,22	0,06	27,1	6,8

Orizzonte	Profondità media di prelev. cm.	Estratti in						Fe + Al $\frac{P}{P}$	Fe + Al $\frac{P}{P}$	Fe + Al $\frac{P}{P}$
		Na ditionito + Na citrato			Na pirofosfato					
		Fe _d %	Al _d %	Σ	Fe _p %	Al _p %	Σ	Fe _d + Al _d	% argille	NC
A ₁	6	1,94	0,17	2,11	0,40	0,36	0,76	0,36	0,08	0,16
A ₂	16	1,50	0,15	1,65	0,27	0,28	0,55	0,33	0,05	0,20
B _{ir}	34	4,40	0,62	5,02	1,55	0,76	2,31	0,46	0,34	1

ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI

Prof. media di prelev.	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	Au	Mo	U	Fe	Mn	Al	Na	K	Ca	Mg
	ppm																	
6	11,5	0,29	55	21	23	13	105	115	11	1,65	2,5	2,4	0,030	4,5	1,1	1,27	0,49	0,55
16	9,4	0,30	47	18,4	18,5	16	109	159	16	1,79	3,4	2,1	0,030	7,4	1,05	3	0,56	0,48
34	37,8	0,36	129	10	35	19	129	134	69	2,08	4,2	8,21	0,050	8,2	0,80	1,84	0,52	0,84

nell'A₁). Il rapporto C/N si mantiene al di sopra del 20 %, denotando una più spinta evoluzione della sostanza organica, ed una maggiore aggressività rispetto al profilo precedente.

Il ferro estraibile è presente in quantità modesta in superficie e accumulato nel B, principalmente nella forma inorganica (Fe_d). Lo Al estraibile è pure accumulato nel B, anche se in quantità minore rispetto al profilo precedente, ed è in larga parte legato ai composti organici (Al_p).

I rapporti fra Fe ed Al estratti in pirofosfato e le percentuali di argilla e di carbonio esprimono valori in accordo con quanto richiesto dalla Soil Taxonomy per definire l'orizzonte spodico, mentre il rapporto $(Fe + Al)_p / (Fe + Al)_d$ vi si approssima. Per tale motivo, e sulla base dell'evidenza morfologica, abbiamo ritenuto di classificare questo suolo come spodosuolo.

Gli elementi in traccia presentano tenori che rientrano nella normalità per suoli che si sviluppano sui litotipi filladici.

Nel passaggio dallo A₁ allo A₂ la distribuzione di molti elementi è pressochè costante, mentre è forte l'incremento nel sottostante

B_{ir}. Ciò indica che la lisciviazione agisce fino dalla superficie, asportando gli elementi minori ed in traccia che vengono successivamente riprecipitati insieme al ferro nel B_{ir}, secondo il classico schema della podzolizzazione.

L'incremento di Al e K nel passaggio A₁-A₂ è da mettere in relazione con una maggiore abbondanza di muscovite residuale e con il leggero aumento di argilla nell'A₂.

Il Cr ed il Mo, elementi notoriamente caratterizzati da una mobilità molto diversa, mostrano entrambi un regolare incremento con la profondità, mettendo in risalto l'elevata intensità del processo di lisciviazione.

Accanto a suoli come il podzol del profilo n. 2, ai margini della fascia boschiva e nelle radure, dove l'erosione e l'azione del gelo sono più efficaci, si formano suoli con caratteri intermedi fra quelli descritti in precedenza. Il profilo n. 3 è appunto rappresentativo di questo tipo pedologico: si tratta di un SUOLO BRUNO PODZOLICO, intergrado fra gli Inceptisuoli e gli Spodosuoli (*Spodic Dystrochrept*), prelevato alla quota di 2200 metri in una radura. Lo sradicamento di alcune conifere, di cui restano tracce visibili

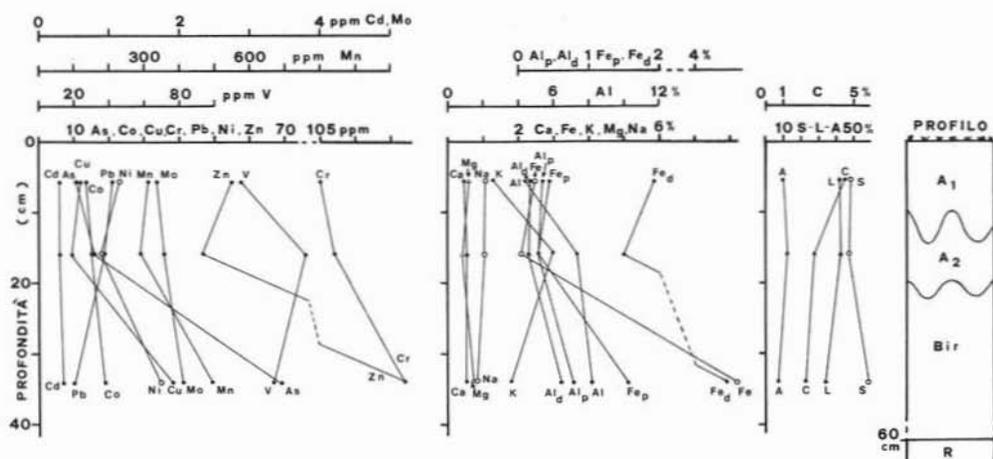


Fig. 4. — Suolo n. 2. - Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, del Fe e Al estraibili della sostanza organica e della frazione granulometrica (sabbia, limo, argilla).

TABELLA 4
Analisi fisiche e chimiche del profilo n.° 3

Orizzonte	Profondità iniz. in cm.	Granulometria			pH H ₂ O	CK	NK	C/N	Basi di scambio				Acidità di scambio	Saturazione
		SK	LK	AK					meq/100 gr					
									Ca	Mg	Na	R	meq/100 gr	%
A ₁	5	40,9	42,9	16,2	5,2	6,01	0,27	22,2	6,9	1,36	0,43	0,08	20,6	29,72
II B ₂	15	69,8	21,7	8,5	5,4	2,37	0,12	19,4	1,3	0,39	0,09	0,01	17,8	9,27
II B ₃	38	63,4	30,3	6,3	5,6	1,07	-	-	1	0,14	0,04	0,05	11,6	9,59
II C	55	55,1	36,1	8,8	5,7	0,73	-	-	0,75	0,09	0,04	0,04	10,9	7,80

Orizzonte	Profondità media di prelev. cm.	Estratti in									Fe + Al P Fe _d + Al _d	Fe + Al P % argille	Fe + Al P %C
		Na ditonito			+ Na citrato			Na pirofosfato					
		Fe _d %	Al _d %	Σ	Fe _p %	Al _p %	Σ	Fe _p %	Al _p %	Σ			
A ₁	7,5	2,19	0,32	2,51	0,75	0,44	1,19	0,47	0,07	0,20			
II B ₂	20	1,81	0,65	2,46	0,50	0,84	1,34	0,54	0,16	0,56			
II B ₃	44	1,36	0,37	1,73	0,30	0,56	0,86	0,50	0,14	0,80			
IIC	62	1,41	0,55	1,96	0,32	0,60	0,92	0,47	0,10	1,26			

ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI

Profon. media di prelev.	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	As	Mo	U	Fe	Mn	Al	Na	K	Ca	Mg
					ppm										%			
7,5	14,9	0,32	98	14	30	13	107	112	32	1,8	3,0	5,2	0,099	7	1,1	1,84	1,37	1,26
20	33,7	0,32	140	10,3	46	23	126	119	45	1,2	3,5	5,7	0,074	7,5	0,83	1,60	1	1,43
44	45	0,30	152	11,2	48	30	129	111	71	0,86	4,3	5,6	0,076	7,1	0,99	2,96	0,83	1,48
62	47,6	0,32	143	9,4	56	29	144	116	69	1,3	4,4	5,5	0,077	8,3	0,73	2,22	0,83	1,57

nella morfologia della pendice, ha interrotto il normale corso della pedogenesi, provocando un ringiovanimento dei processi e determinando una bisequenza pedologica.

Nella tabella 4 sono riportati i risultati analitici relativi al profilo n. 3; nella fig. 5

è riportata la distribuzione dei vari parametri lungo il profilo.

La differenziazione degli orizzonti è netta, con una discontinuità segnata dal forte decremento di argilla e limo, con corrispondente aumento della sabbia dalla superficie in pro-

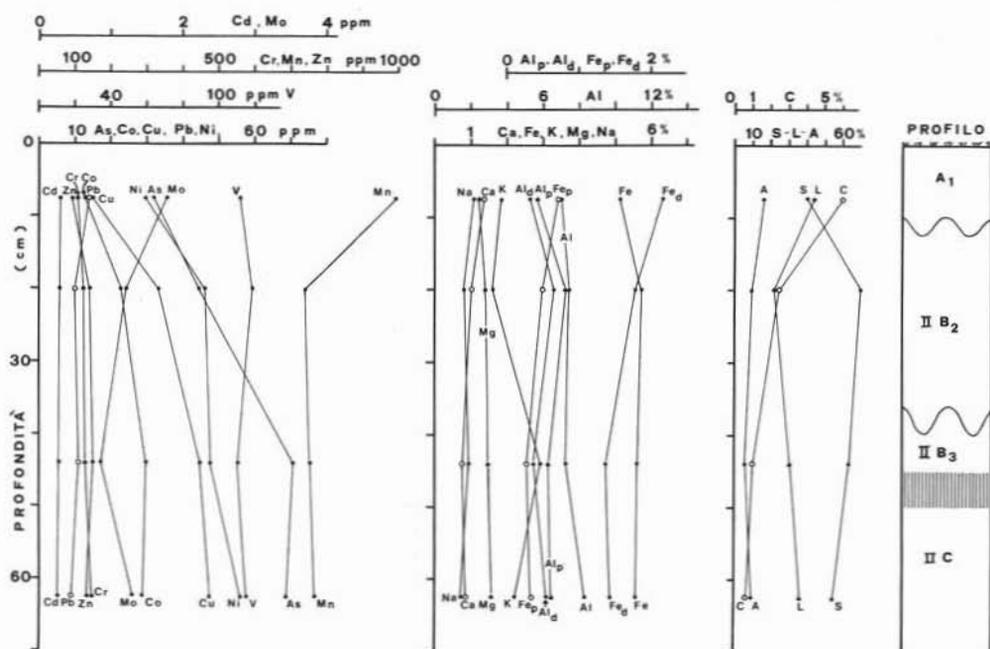


Fig. 5. — Suolo n. 3. - Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, del Fe e Al estraibili della sostanza organica e della frazione granulometrica (sabbia, limo, argilla).

fondità. Ciò è probabilmente causato dalla ripresa della pedogenesi su un orizzonte B di un suolo troncato dall'erosione.

La reazione è acida, ma più debole che nei casi precedenti; la sostanza organica, che in superficie è evoluta ed amalgamata con la frazione minerale (moder), diminuisce bruscamente dall'A₁ al IIB₂, così come diminuiscono il rapporto C/N, le basi di scambio, l'acidità di scambio e la saturazione, in relazione alla diminuzione di sostanza organica e di argilla.

Il ferro estraibile ha una distribuzione decrescente verso il basso, mentre lo Al è distribuito in modo più irregolare, sia in valore assoluto che nelle diverse speciazioni. I composti inorganici (Fe_i) prevalgono sui complessi organici (Fe_p), e ciò potrebbe confermare l'evidenza morfologica che non vi sono in atto processi di podzolizzazione, ma di parziale alluminosiallitizzazione.

Dal punto di vista geochemico, questo profilo si caratterizza per una generale scarsa variabilità nella distribuzione degli elementi maggiori e di una parte di quelli in traccia. Alcuni elementi minori, quali Zn, Cr, Cu, Ni,

As, che nei profili precedenti apparivano in stretta correlazione con la dinamica del ferro (e subordinatamente dell'alluminio), presentano un marcato arricchimento negli orizzonti più profondi rispetto alla superficie, in ciò discostandosi in parte da Fe ed Al, che presentano un andamento pressoché costante, ed anzi inverso sulle frazioni estraibili. In termini di pedogenesi, ciò può significare una incipiente lisciviazione dell'A₁ con mobilizzazione degli elementi citati, ma senza raggiungere l'evidenza di accumulo caratteristica dell'orizzonte B del podzols.

Mn ed Mo invece appaiono essere condizionati nella loro dinamica dalla sostanza organica, essendo arricchiti con quest'ultima nell'orizzonte più superficiale.

Il profilo n. 4 è stato scavato alla quota di 2080 m, nella fascia di vegetazione forestale, caratterizzata qui da un lariceto con elementi di pino cembro. Esso rappresenta la massima espressione dell'evoluzione di tipo podzolico in quest'ambiente (*Typic Cryorthod*), con un episodio di pedogenesi impostatosi sopra un suolo già molto evoluto (bisequenza).

TABELLA 5
Analisi fisiche e chimiche del profilo n.° 4

Orizzonte	Profondità iniziale in cm.	Granulometria			pH H ₂ O	C%	N%	C/N	Basi di scambio meq/100 gr				Acidità di scambio meq/100 gr	Saturazione %
		SK	LK	AK					Ca	Mg	Na	K		
A ₁	5	40,5	43,2	16,2	5,2	4,04	0,22	18,7	4,74	1,03	0,17	0,08	17,5	25,9
I A ₁	10	34,5	55,6	10	5,4	2,36	0,13	18,6	2,74	0,53	0,22	0,06	17,7	16,7
II A ₂	17	37,2	51,8	11	5,2	1,44	0,08	18,7	0,99	0,31	0,04	0,04	16,1	7,9
II B _{ir}	30	59,1	33,9	7	5,5	1,78	0,10	18,3	0,99	0,1	0,04	0,05	25,3	4,5
II C	50	57,4	34,7	7,8	5,6	-	-	-	0,99	0,06	0,04	0,04	8,8	11,4

Orizzonte	Profondità media di prelev.	Estratti in									Fe + Al _p % C	
		Na ditonito + Na citrato			Na pirofosfato			Fe + Al _p Fe _d + Al _d		Fe + Al _p % argille		
		Fe _d %	Al _d %	Σ	Fe _p %	Al _p %	Σ					
A ₁	7,5	1,53	0,22	1,75	0,65	0,36	0,11	0,58		0,062		0,25
I A ₁	13,5	2,53	0,35	2,88	1,05	0,56	1,61	0,56		0,161		0,68
II A ₂	21	0,36	0,12	0,48	0,15	0,28	0,43	0,89		0,039		0,30
II B _{ir}	35	1,69	0,72	2,41	0,63	0,84	1,47	0,61		0,209		0,82
II C	60	1,17	0,45	1,62	0,27	0,44	0,71	0,44		0,090		--

Profon. media di prelev.	ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI																	
	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	As	Mo	U	Fe	Mn	Al %	Na	K	Ca	Mg
7,5	13	0,27	71	16	32	19	128	125	18	1,25	2,5	4,2	0,075	6,4	1,06	2,25	1,54	1,13
13,5	14	0,32	69	12	31	18	134	154	39	1,44	3,4	5,6	0,062	7,6	1,11	2,23	1,53	1,35
21	6,5	0,30	50	11,4	20	11	114	105	8	1,19	2,5	2,1	0,047	8,7	1,34	1,94	1,5	0,76
35	35	0,27	135	7,4	47	22	136	114	29	1,04	3,7	6,2	0,068	7,9	0,96	1,49	1,24	1,54
60	49,8	0,27	120	8,4	57	28	149	107	30	0,90	3,5	6	0,080	8	1,15	2,82	1,43	1,85

La bisequenza pedologica e l'evoluzione assai spinta di questo suolo sono evidenziate dalle variazioni granulometriche fra i vari orizzonti, dalla distribuzione verticale di C ed N, delle basi e della acidità di scambio, e dalla bassa saturazione. Il rapporto C/N è poco elevato, denotando una sostanza organica non molto evoluta. L'incremento di C nell'orizzonte B non è sufficiente per definire un Bh. Ferro ed alluminio estraibili hanno un andamento analogo a quello del carbonio, con un notevole incremento nell'orizzonte B. Le forme inorganiche del ferro (Fe_d) prevalgono su quelle complessate con la sostanza organica. Il rapporto (Fe_p + Al_p)/(Fe_d + Al_d) è particolarmente elevato nel IIA₂ e nel IIB_{ir}, indicando una notevole mobilità dei complessi organici (soprattutto di Al), e raggiungendo i valori richiesti dalla Soil Taxonomy per definire l'orizzonte spodico. Anche il rapporto (Fe + Al)_p/% argilla incontra i requisiti richiesti per il B spodico. È inoltre interessante osservare che lungo il profilo

si registra un incremento di Fe (estraibile e totale) nel IIA₁ rispetto alla superficie, quindi un decremento (IIA₂) ed infine un nuovo incremento (IIB_{ir}): ciò potrebbe indicare che vi è un nuovo episodio di pedogenesi di tipo podzolico impostatosi sopra un precedente suolo podzolico, ed è quindi una conferma dell'esistenza della bisequenza.

La distribuzione degli elementi maggiori, minori e in traccia, conferma la presenza delle discontinuità già rilevate dalle analisi chimico-fisiche (tab. 5 e fig. 6): lisciviazione dell'orizzonte superficiale A₁ e accumulo nel IIA₁.

Questa tendenza generale non è seguita dal Mn e subordinatamente da Zn, Ni e Co. Si può ritenere che la maggiore quantità di Mn in superficie sia in relazione con l'elevato contenuto in sostanza organica (come già rilevato in precedenza), entrando questo elemento nel ciclo metabolico dei vegetali.

La parte più profonda del profilo è caratterizzata da un impoverimento forte di tutti

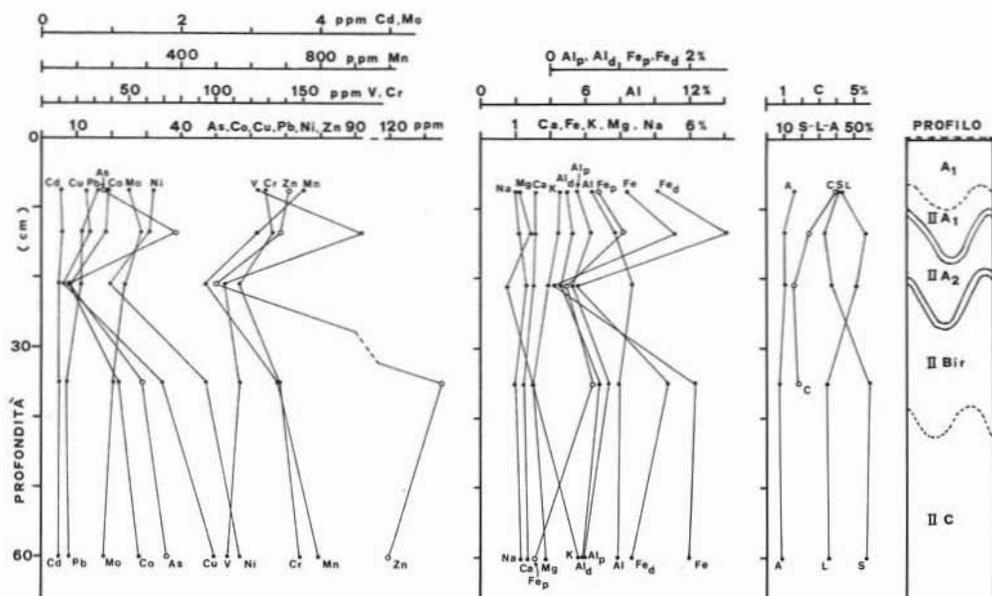


Fig. 6. — Suolo n. 4. - Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, del Fe e Al estraibili della sostanza organica e della frazione granulometrica (sabbia, limo, argilla).

gli elementi per lisciviazione dell'orizzonte II A₂, ed accumulo di questi nel IIB_{1r}, secondo lo schema classico della podzolizzazione.

Nel passaggio dall'orizzonte IIB_{1r} al IIC il contenuto di Al e Fe estraibile subisce una sensibile diminuzione, mentre i tenori di molti elementi in traccia mostrano un ulteriore apprezzabile incremento.

Conclusioni

A partire dallo studio delle condizioni fisiografiche e stazionali dei profili esaminati si possono trarre alcune conclusioni sulla pedogenesi in ambiente alpino, su rocce metamorfiche.

Abbiamo osservato suoli podzolici ad altitudini comprese fra 1900 m e 2400 m, intervallo altimetrico che corrisponde alla fascia climatica e vegetazionale subalpina dominata dalla foresta di resinose (larice, pino cembro) con sottobosco di arbusti (rodovacciniato ad ericacee) e limitata verso l'alto dalla prateria alpina a prevalenza di graminacee (fig. 2).

I suoli che si sviluppano nella fascia di vegetazione delle conifere sono dei *podzols* veri e propri, con netta differenziazione in orizzonti ed evidenti orizzonti spodico ed albico (SPODOSUOLI, U.S.D.A., 1975).

I suoli che si sviluppano ai margini del bosco e nelle radure dominate dal rodovacciniato sono degli intergradi fra *suoli bruni acidi* e *podzols*, caratterizzati da intensa mobilizzazione di Fe ed Al ed assenza o frammentarietà dell'orizzonte eluviale (INCEPTISUOLI-SPODOSUOLI) ⁽³⁾.

⁽³⁾ Nella Soil Taxonomy (U.S.D.A., 1975) non è previsto un intergrado fra gli spodosuoli e gli inceptisuoli. Alla luce dei risultati ottenuti e di altre osservazioni condotte in ambiente alpino (WOLF, comun. pers.) ed appenninico (PANINI e PENZO, 1983) proponiamo la creazione di un sottogruppo spodico degli inceptisuoli, da denominare « spodic dystrochrepts ». La proposta appare giustificata sia dalla difficoltà di classificare come tipici inceptisuoli questi suoli (o pedons) con evidenza di mobilizzazione del ferro e dell'alluminio (pure in mancanza di un orizzonte eluviato, e quindi nell'impossibilità di classificarli come spodosuoli), sia dalla frequenza dei ritrovamenti di questo tipo pedologico nell'arco alpino.

I suoli che si sviluppano sotto la prateria alpina presentano un'evoluzione più limitata, del tipo dei *rankers*. Presentano anche essi mobilizzazione di Fe ed Al, ma mancano l'orizzonte eluviale e — spesso — il B di alterazione (INCEPTISUOLI). La possibile causa della limitata evoluzione è da ricercare nella natura della sostanza organica (mull: C/N = 17-18), e nel tipo di radicali organici che si sviluppano nella decomposizione di questa, nella scarsa attività podzolizzante, nella forte assolazione che favorisce l'attività biologica nel breve periodo estivo (ROBERT et al., 1980; BECH et al., 1981).

Dal punto di vista più strettamente geochimico, lo studio eseguito consente di evidenziare quanto segue:

- I tenori degli elementi in traccia riscontrati nei profili esaminati risultano in genere in buon accordo con il tipo geolitologico di substrato, con le caratteristiche ambientali dell'area e con il modello di evoluzione dei suoli esaminati. Non si notano cioè differenze marcate rispetto a quanto segnalato per suoli di questo tipo e rispetto alla composizione del substrato.

- La distribuzione degli elementi minori ed in traccia lungo i profili studiati mostra in genere un decremento dei tenori dagli orizzonti di superficie verso il basso, con intensità di lisciviazione diversa nelle tre fasce fitogeografiche caratteristiche di quest'ambiente.

- Più in particolare, la distribuzione degli elementi lungo i profili sottolinea lo stadio di evoluzione pedologica riscontrato nelle diverse fasce.

Nei tipi di suolo meno evoluti (inceptisuoli) la distribuzione lungo il profilo è regolare e mostra una intensa mobilizzazione di Fe, Al ed elementi in traccia. Ciò corrisponde ad un processo pedogenetico tendente alla podzolizzazione vera e propria, senza peraltro raggiungere quello stadio (« alluminosiallitizzazione » secondo PEDRO et al., 1978).

In questa fase geochimica, l'ambiente è debolmente acido (pH = 5,5,5) e poco complessante; il trasferimento di elementi (desaluminizzazione parziale → podzolizzazione moderata) viene messo in luce dalle analisi chimiche, ma non si hanno evidenze morfologiche: si formano suoli a tendenza spodica, ma non spodosuoli.

Nei tipi di suolo maggiormente evoluti, la distribuzione degli elementi minori ed in traccia evidenzia intensi processi di lisciviazione dell'orizzonte A₂ e riprecipitazione nel B, caratterizzato particolarmente da accumulo di Fe ed Al ed in misura minore carbonio (« podzolizzazione vera e propria » secondo PEDRO et al., 1978).

La podzolizzazione si traduce soprattutto in una eliminazione preferenziale di sesquiossidi, ed in particolare di alluminio, rispetto alla silice. In questa fase geochimica, l'ambiente è fortemente acido (pH = 4,4,5) e molto complessante; si ha la graduale distruzione dei minerali, con allontanamento di Fe ed Al dagli orizzonti superficiali e subsuperficiali (desaluminizzazione totale → podzolizzazione s.s.) ed accumulo nell'orizzonte B, ove il ferro si trova come ossido libero (FeOOH?), ed Al come interstrato nelle sialiti 2/1 (spodosuoli).

Fra le due forme di evoluzione descritte, esistono una serie di situazioni intermedie, che portano alla formazione di suoli intergradi fra gli inceptisuoli e gli spodosuoli, in funzione di particolari situazioni morfologiche e di occasionali azioni di disturbo del corso normale della pedogenesi (erosione di massa e diffusa, sradicamenti, ecc.).

- Il più avanzato grado di evoluzione di tipo podzolic, nella sequenza esaminata, è rappresentato dal profilo n. 4, anche per la presenza di una discontinuità pedologica (bisequenza). In tali condizioni gli elementi minori ed in traccia evidenziano molto chiaramente una lisciviazione apprezzabile dall'orizzonte A₁ verso il IIA₁ e particolarmente intensa dall'orizzonte IIA₂ verso il IIB_{1r}. Questi processi coinvolgono la quasi totalità degli elementi esaminati.

- Tutti i profili esaminati mostrano per il Pb un andamento in genere decrescente dalla superficie verso gli orizzonti più profondi. Anche se il fenomeno non risulta molto vistoso esso va segnalato per la sua persistenza; l'ipotesi più plausibile è che tale Pb sia dovuto ad un apporto atmosferico di origine antropogenica. Una ulteriore verifica si potrebbe avere studiando in maggior dettaglio la lettiera e le eventuali correlazioni tra Pb e sostanza organica.

L'ambiente alpino e subalpino appare, alla luce delle osservazioni fatte, più reattivo di

quanto comunemente ci si aspetti; certi fenomeni di pedogenesi legati a fattori biogeochimici sono però ancora poco chiari. Indagini mineralogiche, petrografiche e submicroscopiche tuttora in corso potranno chiarire alcuni di questi aspetti ancora non del

tutto conosciuti della genesi di questi suoli di alta montagna.

Ringraziamenti. — Gli autori ringraziano il prof. M. DALL'AGLIO ed il prof. F. MANCINI per i suggerimenti ricevuti nella impostazione di questo studio, e per la lettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREATTA C. (1951) - *Il metamorfismo delle formazioni del gruppo dell'Ortles*. Ric. Scient., XXI, 2, 190-197.
- ARGENTON A. ed altri (1980) - *Osservazioni preliminari sul versante occidentale della dorsale Gran Zebriù-Cevedale-Corno tre Signori (Alpi orientali)*. Rend. SIMP, 36 (1), 65-89.
- BECH J. ed altri (1981) - *Estudio del caracter podzolic en unos suelos acidos de la alta montaña andorrana*. Annales Edaf. y Agrob., XL, 1-2, 119-132.
- BINI C., DALL'AGLIO M., GRAGNANI R., PAPAGNI V. (1982) - *Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Studio di una zona agricola del Chianti*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 38 (2), 803-816.
- BINI C., FERRETTI O., GHIARA E., GRAGNANI R. (1983) - *Distribuzione e circolazione di elementi in traccia nei suoli. Suoli della Regione Puglia*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 39 (1).
- BINI C. ed altri (1983) - *Un esempio di pedogenesi in ambiente alpino: il versante W della cima Vertana (alta Val Solda - BZ)*. (In corso di stampa).
- BLUME H.P., SCHWEDTMAN U. (1969) - *Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe, Mn oxides*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 438-444.
- BONNEAU M., SOUCHIER B. (1979) - *Pedologie*. Tome II, Masson, Paris, pp. 459.
- BRONDI M. ed altri (1981) - *Distribuzione di Pb, Zn, Cu, Cd, Co, As, Se, Fe, Mn, V, Mo, U, Ra nelle acque dei più importanti fiumi italiani*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 37 (2), 967-978.
- GATTO C.O., SCOLARI A. (1973) - *Contributi alla geologia e petrologia dell'Alto Adige occidentale*. Studi Trentini di Scienze Nat., Serie A, L (2), 156-189.
- GRAGNANI A., PICCIRILLO E. (1972) - *Litostratigrafia, tettonica e petrologia negli scisti austriaci di alta e bassa pressione dell'area Passiria-Venosta (A.A.)*. Mem. Ist. Geol. e Min. Padova, 28, 1-55.
- MANCINI F. (1959) - *I terreni della foresta di Paneveggio (TN)*. Ann. Acc. It. Sc. For., VIII, 373-454.
- MANCINI F. e coll. (1966) - *Carta dei suoli d'Italia in scala 1:1.000.000, con nota illustrativa*. Coppini, Firenze, pp. 39.
- PANINI T., PENZO MC. (1983) - *Aspetti pedologici e ambientali delle valli delle Tagliole e delle Pozze (Appennino tosco-emiliano)*. L'Italia For. e Mont., 38 (2), 104-115.
- PEDRO G., JAMAGNE M., BEGON J.C. (1978) - *Two routes in genesis of strongly differentiated acid soils under humid, cool-temperate conditions*. Geoderma, 20, 173-189.
- ROBERT M., CABIDOCHÉ Y.M., BERRIER J. (1980) - *Pedogenèse et mineralogie des sols de haute montagne cristalline*. Science du Sol, 4, 313-336.
- RONCHETTI G. (1963) - *Osservazioni pedologiche nel bacino del torrente Ridanna (BZ)*. Ann. Acc. It. Sc. For., XII, 199-246.
- RONCHETTI G. (1971) - *I suoli del Parco Nazionale dello Stelvio*. Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo, Firenze, I, 105-160.
- SIEF L. (1973) - *Carta dei suoli della provincia di Belluno, con nota illustrativa*. Amm.ne Prov. Belluno.
- U.S.D.A. (1972) - *Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples*. Soil Conserv. Service, Washington, USA.
- U.S.D.A. (1975) - *Soil Taxonomy*. Agriculture Handbook n. 436, Baltimore, USA.
- WOLF U. (1967) - *Rilevamento pedologico nell'alta valle del Fersina (TN)*. Ann. Acc. It. Sc. For., XVI, 407-456.