

DISTRIBUZIONE E CIRCOLAZIONE DEGLI ELEMENTI IN TRACCIA NEI SUOLI. SUOLI DELLA REGIONE PUGLIA

CLAUDIO BINI

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

ORNELLA FERRETTI, ENNIO GHIARA, ROBERTO GRAGNANI
E.N.E.A. - PAS - SCAMB, Casaccia, 00060 S. Maria di Galeria (Roma)

RIASSUNTO. — Continuando un programma di ricerca comune fra ENEA ed Istituto di Geopedologia e Geologia applicata della Università di Firenze, viene studiata la distribuzione di elementi in traccia nei suoli di alcune aree campione della regione pugliese. Queste aree sono state scelte come rappresentative di paesaggi pedologici aventi grande diffusione nella Puglia, con notevole interesse agronomico ed elevata omogeneità dei caratteri distributivi dei suoli.

In particolare, sono presi in considerazione:

a) suoli sviluppatasi su rocce calcaree mesozoiche delle Murge (terre rosse);

b) suoli sviluppatasi su sedimenti sabbioso-argillosi pleistocenici del Salento (terre brune);

c) suoli sviluppatasi su sedimenti argillosi olocenici della Capitanata (terre nere).

Su profili-tipo sono state eseguite analisi fisiche, chimiche e mineralogiche. In particolare, sono stati determinati i tenori dei costituenti maggiori, minori ed in traccia (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Co, Cr, V, As).

La mineralogia della frazione argillosa ha rivelato la presenza di caolinite nelle terre rosse e di minerali smectitici e illitici nelle terre brune e nere, come era da attendersi dalla morfologia e dal comportamento dei suoli.

La distribuzione di elementi in traccia nei diversi orizzonti dei suoli analizzati rispecchia strettamente il modello di evoluzione proposto, con un generale impoverimento nell'orizzonte eluviale (A_2) ed accumulo nell'orizzonte illuviale (B).

Nelle terre nere la distribuzione è invece più omogenea, in correlazione con la minore evoluzione del suolo.

Nell'orizzonte più superficiale dei suoli arabili si osserva un elevato tenore di Cu e Cd, attribuibile all'azione dell'uomo (utilizzo dei prodotti per l'agricoltura).

L'arsenico mostra invece un arricchimento a livello dell'orizzonte B dei suoli lisciviati.

ABSTRACT. — In the research program dealing with the study of trace elements distribution in Italian soils, held by ENEA and the « Istituto di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università di Firenze », some areas of Puglia Region have been studied. These areas have been selected as they represent pedological landscapes with great agronomic interest and high homogeneity, and because they are widespread in Puglia.

We have particularly considered:

a) soils developed on Mesozoic carbonate rocks of Murgia (« terre rosse »);

b) soils developed on Pleistocenic sandy-clayey sediments of Salento (« terre brune »);

c) soils developed on Olocenic clay sediments of Capitanata (« terre nere »).

Physical, chemical and mineralogical analyses have been carried out on type-profiles. Major, minor constituents and Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Co, V, As, U have been analysed from the pedo-geochemical point of view.

The mineralogical composition of clay fraction is characterized by kaolinite and illite in the « terre rosse », kaolinite, illite and smectite in the « terre brune » and « terre nere », according to the pedogenetic evolution of these soils in Puglia Region.

The distribution of trace elements in the different horizons of analyzed soils strictly reflect the model of suggested evolution, showing a general impoverishment in the eluviated horizon (A_2), and a heap in the illuvial horizon (B). In the « terre nere » the distribution is more homogeneous because of a minor evolution of the soil.

Arable soils show a high content in Cu and are enriched with Cd in their upper part. This is attributed to the human activities (use of pesticides and fertilizers). Moreover, leached soils are enriched in As within the B horizon.

1. Introduzione

Solo da pochi anni la *geologia ambientale* in generale e la *geochimica ambientale* in particolare, pur con diverse accezioni da Paese a Paese e da scuola a scuola, hanno visto una notevole crescita di interesse, da parte di studiosi di discipline differenti e con finalità diverse, a livello mondiale.

Ricordiamo a tale proposito i fondamentali lavori delle scuole sovietica e francese nel campo della geochimica del paesaggio e dell'ambiente supergenico (VINOGRADOV, 1959; PEREL'MAN, 1966, 1967; SOKOLOV, 1977; PEDRO, 1966, 1968; PEDRO e DELMAS, 1970; AUTORI VARI, 1979) ed i recenti contributi allo studio degli elementi in traccia in natura (FULLER, 1976; ACADEMIA SINICA, 1979; MC KEAGUE e WOLYNETZ, 1980), della contaminazione ambientale (STHR e ZOTTLE, 1980; COTTENIE, 1981; POLEMIO, SENESSI e BUFO, 1982), delle ricerche nutrizionali e tossicologiche (FORTESCUE, 1974, 1980; LAG e STEINNES, 1978; LAG, 1980; WILLIAMS, 1980; SILLANPAA, 1982).

Abbiamo già segnalato in altra occasione (BINI ed altri, 1982) la carenza di queste ricerche nel nostro Paese; per alcune considerazioni di carattere generale su quest'argomento rimandiamo pertanto a quella nota.

Il Laboratorio di Geochimica Ambientale dell'ENEA e l'Istituto di Geopedologia e Geologia applicata dell'Università di Firenze hanno avviato da tempo una collaborazione scientifica in tema di geochimica dei suoli, con lo scopo di contribuire a colmare le accennate lacune conoscitive nel nostro Paese, seguendo anche le indicazioni del Piano Energetico Nazionale recentemente approvato dal CIPE, onde valutare l'impatto ambientale delle fonti energetiche. Tale collaborazione ha condotto nella prima fase allo studio di un'area del Chianti soggetta ad intensa attività agricola (BINI ed altri, 1982).

In questa sede vengono presentati e discussi i dati relativi alla seconda fase del programma avviato. L'area prescelta è la regione della Puglia, sia per i suoi caratteri di sufficiente omogeneità del paesaggio geopedologico, sia per avere in Brindisi un importante polo di sviluppo previsto dal Piano Energetico Nazionale, con la presunta installazione di una centrale a carbone da 2650 MW.

Precedenti studi in questa regione hanno

affrontato temi di agronomia (COLAMONICO, 1960), mineralogia (CECCONI, 1955; CORTESI, 1958; DELL'ANNA, 1967), chimica del suolo (CECCONI e RADAELLI, 1958, 1959; DELLA GATTA, 1953).

Un esame dettagliato della zona ha consentito di distinguere, anche sulla base degli elaborati cartografici esistenti (MANCINI, 1966; ARU, BALDACCINI e FIEROTTI, 1979; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, fogli 164, 175, 176, 177, 190, 191, 203, 204) tre principali unità di paesaggio, corrispondenti ad altrettante aree omogenee dal punto di vista litologico e geo-pedologico:

- suoli sviluppatasi su rocce calcaree mesozoiche delle Murge (« terre rosse »);
- suoli sviluppatasi su sedimenti sabbioso-argillosi pleistocenici del Salento (« terre brune »);
- suoli sviluppatasi su sedimenti argillosi olocenici della Capitanata (« terre nere »).

Per ciascuna di queste aree sono stati scavati ed esaminati profili di suolo rappresentativi del paesaggio pedologico in questione (fig. 1).

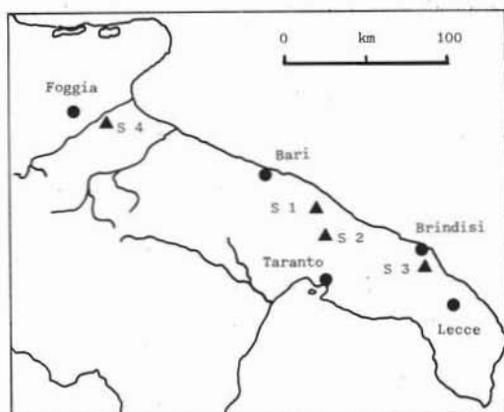


Fig. 1. — Mappa di campionamento.

2. Inquadramento geo-pedologico

A) IL PAESAGGIO DELLE « TERRE ROSSE » NELLE MURGE

L'ambiente - Questi classici suoli di ambiente mediterraneo sono distribuiti nella Puglia su ampie superfici subpianeggianti o

lievemente ondulate, talora con morfologia più acclive e con frequenti affioramenti rocciosi.

Dal punto di vista geo-litologico, si riscontrano calcari detritici, calcari dolomitici e dolomie associati a calcari massicci, tutti di età cretacea.

Nelle aree a morfologia più acclive, dove si rinvencono spesso stazioni rupestri, il suolo ha spessore molto ridotto o è addirittura assente, a causa di diffusi fenomeni erosivi legati al regime delle precipitazioni (1).

Nelle aree dove la morfologia è più dolce, nelle cavità carsiche o dove la copertura vegetale esercita un'efficace protezione, il suolo si approfondisce; difficilmente però si superano i 100 cm di profondità.

La vegetazione naturale che domina in tutta l'area delle terre rosse è di tipo schiettamente mediterraneo; si tratta di solito di una macchia degradata, con lembi di leccete pure. Nelle stazioni più fresche si possono avere boschi di tipo submediterraneo, con prevalenza di querce caducifoglie. Dove la morfologia è più dolce, questi suoli sono coltivati da lungo tempo. L'indirizzo colturale prevalente è la coltura della vite, l'olivo, il mandorlo; le colture ortive sono diffuse nelle aree che consentono le pratiche irrigue.

I suoli - Le terre rosse sono suoli studiati da tempo, anche per confronto con simili tipi pedologici diffusi nel bacino mediterraneo. Unico documento di sintesi cartografica rimane tuttavia la Carta dei suoli d'Italia di MANCINI (1966). Si tratta di suoli con un elevato grado di evoluzione; la pedogenesi è riferibile a climi più caldi ed umidi di quello attuale, e pertanto possono essere definiti *paleosuoli*.

Recentemente, POLEMIO, SENESI e BUFO (1982) hanno studiato la distribuzione di elementi in traccia nel comprensorio barese, limitando però le loro osservazioni ai primi 25 cm di suolo. Considerando che le informazioni esistenti sulla dinamica degli elementi in traccia nel suolo sono ancora scarse, si è ritenuto utile procedere all'analisi di

profili completi. Dopo una ricognizione sul territorio delle Murge (che ha permesso di acquisire informazioni sull'ambiente ecologico e pedologico), sono stati scelti due profili-tipo, uno su morfologia acclive ed ospitante vegetazione spontanea (profilo S1), uno in zona subpianeggiante e coltivato a vigneto (profilo S2).

B) IL PAESAGGIO DEL SALENTO

L'ambiente - La parte più meridionale della regione pugliese è caratterizzata da una morfologia subpianeggiante, con ampie ondulazioni interrotte da blande incisioni fluviali. Le formazioni geologiche della fascia costiera, depositatesi prevalentemente durante il Quaternario, sono costituite da sabbie argillose ed argille con intercalazioni di arenarie e calcareniti, di età pleistocenica (formazione di Gallipoli). Le zone interne, che presentano una accentuata acclività, sono costituite da formazioni più antiche del Quaternario: calcare cretatico, calcareniti mioceniche (« pietra leccese »), calcari e sabbie argillose debolmente cementate del Pliocene (« calcareniti del Salento »).

A causa della morfologia pianeggiante, a volte depressa, e della scarsa permeabilità del substrato e dei suoli, gran parte del territorio risulta generalmente poco drenata, e non presenta vistosi fenomeni di erosione.

L'utilizzazione del suolo è simile a quella delle Murge, con colture arboree tradizionali (vite, olivo), colture ortive di pieno campo (pomodoro, carciofo) e cerealicole.

I suoli - Se gli effetti del clima attuale sulla pedogenesi sono relativamente modesti (considerata soprattutto la scarsa quantità delle precipitazioni ed il lungo periodo di marcata aridità estiva), il clima di precedenti periodi ha svolto un ruolo determinante sull'evoluzione del suolo, ed in particolare sulla forte argillificazione dei materiali originali (2). Il drenaggio è rallentato o addirittura impedito in seguito alla formazione di uno spesso orizzonte argillico (Bt) al di sotto

(1) A Bari nel decennio 1957-1966 le precipitazioni annue erano di 590 mm, con marcata aridità estiva e deficit idrico da maggio a settembre (ARU, BALDACCINI e FIEROTTI, 1979).

(2) Migrazione delle particelle argillose dalla superficie verso le parti più profonde del suolo, fino a provocare un vero e proprio « intasamento » dei pori e delle fessure, e la formazione di un orizzonte ad elevata impermeabilità (Bt).

della superficie arata. Inoltre, poichè il substrato è ricco di carbonati, si formano sovente croste più o meno compatte, che influiscono sensibilmente sulla proprietà dei suoli e sul loro uso attuale. Pertanto, lisciviazione e difficoltà di drenaggio sono i due processi che principalmente caratterizzano il paesaggio pedologico del Salento. Per questo ambiente, MANCINI (1966) segnala un'associazione di suoli bruni mediterranei, suoli lisciviati e lito-suoli nella parte settentrionale, e suoli bruni calcarei e bruni lisciviati nella parte meridionale e nelle zone interne. Più recentemente, sono stati identificati (ARU, BALDACCINI e FIEROTTI, 1979), oltre ai più diffusi suoli lisciviati (*Alfisuoli*), anche altri tipi pedologici meno evoluti (*Vertisuoli* ed *Entisuoli*).

Abbiamo ritenuto che un solo profilo, che compendiasse entrambi i processi genetici sopra descritti, fosse sufficientemente rappresentativo del paesaggio pedologico e di ampie superfici agricole del Salento (profilo S3).

C) IL PAESAGGIO DEL TAVOLIERE FOGGIANO

L'ambiente - Il tavoliere foggiano è occupato in gran parte da sedimenti pliocenico-quadernari, che hanno colmato la fossa compresa fra l'Appennino daunio ed il Gargano. Si tratta in prevalenza di argille azzurre, sabbie argillose e sabbie giallastre di ambiente litorale, e di alluvioni terrazzate, con frequenti affioramenti di terre nere ed incrostazioni calcaree. Ne risulta pertanto una morfologia caratterizzata da vaste spianate inclinate debolmente verso il mare, e interrotte da valli ampie ma con fianchi assai ripidi, per la protezione esercitata dal crostone calcareo sui pendii. Conseguentemente alla situazione morfologica, l'azione erosiva delle acque risulta modesta, anche per la permeabilità abbastanza elevata (pori e fessure abbondanti) del substrato, e l'utilizzazione del suolo è prevalentemente agronomica. Da tempo infatti questi suoli sono stati messi a coltura, abbandonandone l'antico sfruttamento come pascoli sia bovini che ovini: accanto alle colture tradizionali promiscue (olivo, mandorlo, vite, cereali) si stanno diffondendo le colture industriali ed ortive, specie nelle zone dove è possibile praticare l'irrigazione.

I suoli - Il paesaggio pedologico del tavo-

liere foggiano è abbastanza semplice ed omogeneo. Nelle condizioni climatiche attuali, la morfologia leggermente ondulata favorisce il deflusso e diminuisce le riserve idriche del suolo, rallentandone il processo evolutivo: i tipi pedologici distribuiti su tutta l'area devono dunque considerarsi come prodotto di una pedogenesi recente, limitatamente attiva anche oggi. In termini di pedogenesi, si ha infatti un lungo periodo di ridotta attività, a causa della mancanza di umidità (estate) o della temperatura poco elevata (inverno).

MANCINI segnala per questa zona un'associazione di vertisuoli e suoli alluvionali, ovvero suoli a profilo poco differenziato, tipo A-C, di evoluzione recente (le famose « terre nere »).

Suoli con maggiore differenziazione nel profilo (*Inceptisuoli*) sono stati recentemente segnalati in quest'area da ARU (1979).

In questa sede, abbiamo ritenuto sufficientemente rappresentativo di questo paesaggio pedologico un suolo sviluppatosi sulle argille sabbiose oloceniche. Esso rappresenta infatti, in quest'ambiente e nelle condizioni climatiche attuali, il massimo grado di evoluzione pedologica (profilo S4).

3. Metodi analitici impiegati

Preparazione del campione - Per le analisi mineralogiche del campione medio e quelle dei caratteri fisico-chimici, i campioni di suolo sono stati essiccati a 40° e quindi setacciati con un setaccio a maglie di 2 mm. Il passante è stato macinato in molino a palle di agata a meno di 200 mesh. L'analisi degli elementi minori ed in traccia è stata eseguita sulla frazione inferiore a 0,1 mm.

Analisi granulometrica - Metodo della pipetta. Campione medio disperso con soluzione di esametfosfato e carbonato di sodio (36 gr esametfosfato + 8 gr carbonato portati ad 1 l con H₂O dist.) ed agitato per tre ore previa eliminazione della sostanza organica con H₂O₂ a 30 volumi.

I limiti dimensionali adottati sono (U.S. D.A., 1975):

sabbia	da 2	a 0,05	mm
limo	da 0,05	a 0,002	mm
argilla	inferiore	a 0,002	mm

pH - Misura potenziometrica della sospensione suolo-acqua e suolo-KCl 1N in rapporto 1:1; potenziometro Metrohom, sensibilità 0,05 unità di pH.

Carbonio organico e sostanza organica - Metodo Walkley-Black. Attacco con potassio bicromato ed H_2SO_4 conc.; titolazione potenziometrica con Titroprocessor E 636 Metrohom.

Basi di scambio (Ca, Mg, Na, K) - Estrazione con ammonio acetato a pH 7 e determinazione per spettrofotometria di AA (Perkin Elmes, mod. 372).

Acidità di scambio - Metodo Peech ed altri. Estrazione con soluzione di bario cloruro e trietanolamina a pH 8; titolazione con HCl 0,2 N.

Capacità di scambio cationico - Per somma delle basi e dell'acidità di scambio.

Percentuale di saturazione in basi - Viene calcolata tramite il rapporto fra la somma delle basi di scambio e la capacità di scambio totale:

$$\% \text{ saturazione} = \frac{\text{basi di scambio}}{\text{capacità di scambio}} \cdot 100.$$

Carbonati - Metodo gasvolumetrico con HCl 10 N. Calcimetro di Scheibler.

Determinazione degli elementi maggiori, minori ed in traccia (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn, Ni, Co, Cr, V, As) - 200 mg di campione sono stati attaccati in bomba di teflon con HNO_3 conc. ed HF, e ripresi a secco con HNO_3 c.. Il campione è stato quindi ripreso con 2 ml di HNO_3 conc. e 8 ml di acqua ultrapura. Dopo opportune diluizioni le analisi sono state eseguite in spettrometria AA mediante fiamma o fornace di grafite (modelli HGA 500 e 5000 P.E.). Per le procedure si rimanda a BRONDI ed altri, 1982 e FERRETTI ed altri, 1981.

Analisi mineralogiche - Sono state effettuate analisi diffrattometriche del campione medio per la determinazione della composizione della frazione scheletrica (contenuto in quarzo, K-feldspato, Na-feldspato e calcite).

Per la determinazione della composizione della frazione argillosa, il campione è stato trattato con H_2O_2 per eliminare la sostanza

organica, quindi con HCl a debole concentrazione per l'asportazione dei carbonati ed infine con ossalato per l'eliminazione degli ossidi di ferro. Dopo ripetuti lavaggi con H_2O dist., i campioni sono stati sottoposti ad agitazione e dispersione mediante ultrasuoni e quindi fatti sedimentare in H_2O ed esametrafosfato. La frazione argillosa ($< 2 \mu m$) ricavata per prelevamento dalla sospensione dei primi 5 cm dopo 4 ore di sedimentazione, è stata analizzata per via diffrattometrica sia allo stato naturale sia dopo i trattamenti standard (riscaldamento a 550° e glycolazione).

4. Discussione dei risultati

A) SUOLI SUI CALCARI MESOZOICI DELLE MURGE

Il primo suolo studiato (S1) è un *Cumulic Rhodoxeralf* localizzato in un bosco di leccio su morfologia acclive. La descrizione del profilo è riportata nella tab. 1; la composizione mineralogica, granulometrica, i risultati analitici relativi alle caratteristiche fisiche e chimiche sono riportati nella tab. 2.

Nella fig. 2 è riportato in forma schematica il profilo del suolo con l'andamento degli elementi esaminati e delle caratteristiche granulometriche.

Le analisi mineralogiche hanno dato risultati abbastanza uniformi lungo tutto il profilo. Il contenuto in quarzo e feldspati aumenta leggermente negli orizzonti più profondi, mentre la calcite è sempre presente in tracce. La frazione argillosa (minore di $2 \mu m$) è costituita essenzialmente da caolinite con subordinata illite, mentre i tipi smectitici risultano assenti. Negli orizzonti più profondi si ha un incremento in illite rispetto a quelli più superficiali.

La granulometria presenta una diminuzione di argilla nell' A_2 (dove è più abbondante la sabbia), chiaramente allontanata in sospensione verso gli orizzonti più profondi, ed accumulata nel B_{2t} .

I valori del pH e le percentuali degli elementi scambiabili si accordano bene con la composizione mineralogica dei diversi orizzonti ed in particolare con la presenza di abbondante caolinite nella frazione argillosa: la forte lisciviazione subita da questo suolo

TABELLA 1
Descrizione del profilo S1

Località: Selva di Fasano (Bari); *Quota:* m 310; *Esp.:* E; *Pend.:* 60°; *Fisiografia:* pendio ciglionato; *Vegetazione:* macchia poco degradata, con leccio, cipresso, pino, corbezzolo, vitalba, graminacee; *Substrato:* calcareo cretatico; *Erosione:* idrica moderata con fenomeni di colluvium; *Pietrosità:* abbondante; *Roccosità:* comune; *Classificazione genetica USDA:* CUMULIC RHODOXERALEF.

Orizzonte O₁ + O₂: cm 1-0; lettiera poco decomposta, con foglie di leccio ed aghi di pino.

Orizzonte A₁: cm 0-8/10; limite inferiore chiaro, ondulato; colore umido bruno rossastro scuro (2,5 YR 3/4 e 2,5 YR 3/3); argilloso; aggregazione poliedrica subangolare media e grumosa fine (la prima da elementi dell'A₁, la seconda da elementi dell'A₂); pori comuni, medi e grossi; friabile da asciutto; scheletro scarso, medio, calcareo, a spigoli vivi; concrezioni assenti; drenaggio normale; subacido; radici comuni, fini, sub-verticali; materiali di accumulo.

Orizzonte A₂: cm 8/10-30; limite inferiore chiaro, lineare; colore umido bruno rossastro scuro (2,5 YR 3/3); argilloso-limoso; aggregazione grumosa fine e media evidente; pori comuni, medi e grossi; friabile da asciutto; scheletro scarso, medio, calcareo. Concrezioni assenti; drenaggio normale; subcalicino; radici comuni, fini, sub-verticali.

Orizzonte A₃: cm 30-55/60; limite inferiore chiaro, ondulato; colore umido bruno rossastro scuro (3,75 YR 3/2); argilloso; aggregazione poliedrica angolare fine e media, evidente; pori comuni; plastico da umido, friabile da asciutto; scheletro scarso, medio, calcareo; concrezioni assenti; drenaggio normale; neutro; radici comuni, fini, sub-verticali.

Orizzonte B_{2t}: cm 55/60-75/90; limite inferiore netto, discontinuo; colore rosso giallastro (3,75 YR 4/6); argilloso tendente ad argilloso-limoso; aggregazione poliedrica angolare media tendente a prismatica poco evidente; pori scarsi, piccoli, plastico da umido; scheletro molto scarso, medio, calcareo; concrezioni assenti; rivestimenti di argilla comuni sugli aggregati; drenaggio normale; sub-acido; radici scarse.

Orizzonte R: cm 75/90-100 ed oltre. Calcareo bianco poco alterato in superficie.

TABELLA 2
Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo n. 1

Orizzonte	Profondità iniz. cm	ANALISI FISICHE E CHIMICHE													
		Granulometria			pH	pH	C%	S.O.S	Basi di scambio meq/100 gr				Acidità di scambio		Satura- zione
		S%	L%	A%	H ₂ O	KCl			Ca	Mg	Na	K	meq/100 gr	%	
A ₁	0	9.4	34.8	55.7	6.7	5.7	1.41	2.43	27.1	3.4	0.59	1.28	10.72	75.13	
A ₂	8	11.3	44.7	44.0	7.0	6.1	1.91	3.29	29.3	3.2	0.49	0.61	11.68	74.11	
A ₃	30	9.0	39.0	52.0	6.9	5.9	1.03	1.77	28.7	3.0	0.87	0.61	11.35	74.49	
B _{2t}	55	7.5	34.5	58.0	7.0	5.0	0.85	1.46	24.3	1.7	0.49	0.48	8.04	77.08	

Profon. media di prelev.	ELEMENTI IN TRACCIA MINORI E MAGGIORI																
	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	As	U	Fe	Mn	Al	Na	K	Ca	Mg
+1	35	0,47	97	52	44	25	96	116	126	6,4	4,39	0,12	13,3	0,86	1,87	0,97	0,70
5	30	0,41	111	40	55	25	102	172	51	4,5	5,25	0,09	14	1,52	2,09	1,20	1,13
20	35	0,35	92	46	37	22	96	168	83	4,0	4,40	0,12	15,3	0,88	1,78	1,11	0,66
40	36	0,30	91	45	48	23	101	165	95	5,2	4,65	0,12	13,3	0,86	1,87	0,94	1,50
65	34	0,37	107	43	55	20	105	155	41	4,9	4,79	0,12	13,7	1,72	2,27	1,07	1,07

Orizzonte	ANALISI MINERALOGICHE								
	Campioni medio				Frazione < 0,002 mm				
	Quarzo	K-Feldspato	Na-Feldspato		Calcite	Illite	Caolinite	Smeectite	
A ₁	10	p		p	%	<2	30	70	-
A ₂	10	p		p		<2	30	70	-
A ₃	15	p		p		<2	40	60	-
B _{2t}	15	<5		<5		<2	40	60	-

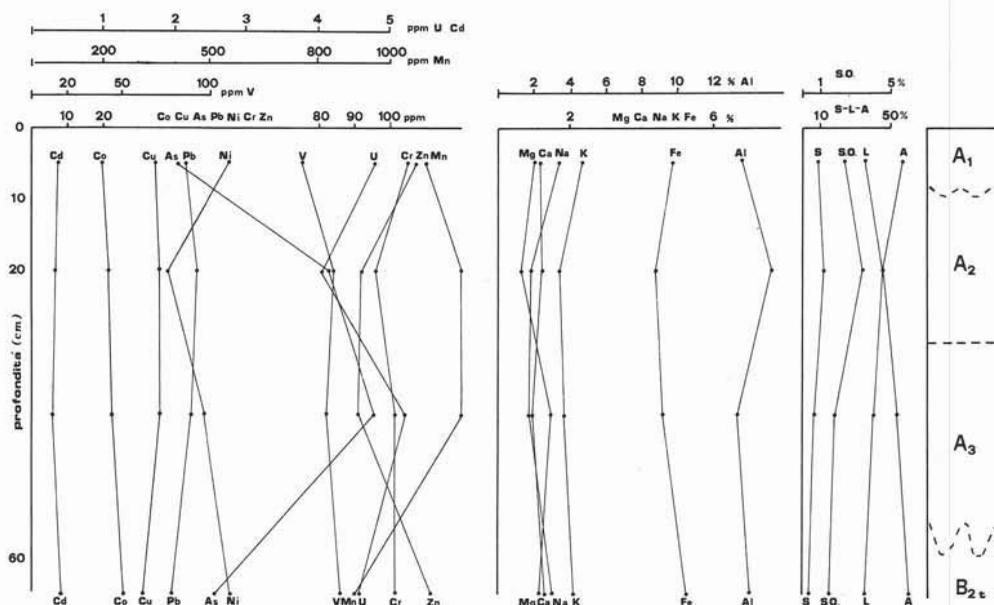


Fig. 2. — Suolo n.° 1. Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, minori e maggiori, della sostanza organica e delle frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla).

ha condotto ad un impoverimento generale in elementi, ed alla trasformazione delle sialiti a tre strati in due strati (*monosialitizzazione* secondo PEDRO, 1966), come conferma anche la distribuzione percentuale dell'alluminio. La capacità di scambio cationico, abbastanza elevata per quest'ambiente, è da porre in relazione con la presenza di illite. La presenza di quarzo si può correlare invece con la persistenza di elementi cristallini derivati da noduli e liste di selce della roccia originaria, ed in parte con fenomeni di trasporto eolico (VIOLANTE ed altri, 1981).

La distribuzione verticale degli elementi analizzati mostra variazioni abbastanza contenute fra i vari orizzonti, con un generale decremento nell'orizzonte A₂ (che, come è noto, è un livello eluviato) a vantaggio degli orizzonti sottostanti ed in particolare del B_{2t}; l'accumulo di argilla riscontrato nella analisi granulometrica per gli orizzonti più profondi conferma quanto rilevato nelle analisi chimiche e quanto osservato nella descrizione di campagna.

Fanno eccezione allo schema classico dei suoli lisciviabili le distribuzioni di As ed Mn.

L'As nell'ambiente superficiale è abbastanza mobile: può essere precipitato insie-

me ai solfuri, coprecipitato da Fe, è stato riscontrato associato alla sostanza organica (LAG e STEINNES, 1978).

Nel caso in esame, la distribuzione verticale di As e di Fe è di segno opposto, e pertanto si può escludere una coprecipitazione di As legato al ferro totale. Se passiamo ad esaminare le relazioni fra sostanza organica ed As notiamo tenori elevati di questo elemento (120 ppm) nella lettiera privata della frazione meno umificata.

Esaminando gli orizzonti minerali, si osserva che ad un leggero incremento di sostanza organica nel passaggio dall'A₁ all'A₂ (dovuto alla presenza di materiali di accumulo poco mineralizzati in questo orizzonte) corrisponde un sensibile incremento di As, che si conserva nel passaggio all'A₃, probabilmente associato ancora con sostanza organica non totalmente mineralizzata.

Nel passaggio all'orizzonte più profondo, ad un ovvio decremento di sostanza organica corrisponde un brusco decremento di As, poichè a questo livello la sostanza organica è scarsa ed intimamente commista alla frazione minerale. Il tenore di As in questo orizzonte dovrebbe pertanto corrispondere al livello naturale di questo elemento. Va tuttavia sottolineato che i tenori di As totale risul-

TABELLA 3
Descrizione del profilo S2

Località: Locorotondo (Bari); *Quota:* m 390; *Esp.:* N; *Pend.:* 2-5°; *Fisiografia:* superficie sub-pianeggiante; *Usa del suolo:* vigneto specializzato; *Substrato:* calcareo cretacico (formazione del calcare di Bari); *Erosione:* assente; *Roccosità:* assente; *Pietrosità:* comune, ad elementi piccoli, calcarei; *Classificazione genetica USDA:* LITHIC RODOXERALE.

Orizzonte Ap: cm 0-25/30; limite inferiore chiaro, ondulato; colore umido fra bruno rossastro scuro e rosso scuro (2,5 YR 3/5); argilloso; aggregazione poliedrica subangolare fine e media, evidente; pori comuni; friabile da asciutto; scheletro comune, medio e piccolo, calcareo; concrezioni assenti, rivestimenti assenti; drenaggio normale; subalcalino; reazione HCl violenta; radici scarse.

Orizzonte B_{2t}: cm 25/30 - 45/60; limite inferiore irregolare; colore umido rosso scuro (2,5 YR 3/6) argilloso; aggregazione poliedrica angolare fine e media, evidente; pori scarsi; umido, plastico, adesivo; scheletro scarso, piccolo e medio, calcareo; concrezioni assenti; rivestimenti di argilla abbondanti sugli aggregati; drenaggio normale; subalcalino, reazione debole; radici scarse.

Orizzonte R: cm 45/60 ed oltre; calcare compatto bianco, leggermente alterato in superficie.

TABELLA 4
Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo n. 2

Orizzonte	Profondità iniz.cm	ANALISI FISICHE E CHIMICHE													Acidità di scambio meq/100 gr	Satura- zione %
		Granulometria			pH H ₂ O	pH KCl	C%	S.O.%	Basi di scambio meq/100 gr							
		S%	L%	A%					Ca	Mg	Na	K				
A _p	0	7.5	32.2	60.2	7.9	7.0	1.36	2.34	45.5	1.5	0.22	0.76	--	--		
B _{2t}	25	1.8	4.4	93.7	7.3	6.7	0.53	0.91	27.1	1.1	0.27	0.70	--	--		

ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI

Profon. media di prelev.	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	As	U	%						
											Fe	Mn	Al	Na	K	Ca	Mg
15	131,7	0,43	93	35,4	44	19	98	159	128	3,6	3,93	0,08	11,8	0,76	1,5	11,79	0,75
40	24,1	0,28	128	32,9	67	11	119	169	117	4,1	5,20	0,04	14,0	0,62	1,5	0,69	0,56

ANALISI MINERALOGICHE

Orizzonte	Quarzo	Campione medio				Frazione <0,002 mm		
		K-Feldspato	Na-Feldspato	Calcite	Illite	Caolinite	Smectite	
A _p	5+10	p	-	20	30	70	-	
B _{2t}	<5	-	-	<2	40	60	-	

tano più elevati (da 5 a 10 volte) rispetto ai valori riportati in letteratura.

Il Mn presenta nell'ambiente supergenico (soprattutto in corrispondenza di condizioni di sottosaturazione in ossigeno atmosferico e per valori di pH inferiori ad 8) una buona mobilità geochemica. I minerali frequenti nell'ambiente superficiale sono gli ossidi e gli idrossidi nei quali spesso Mn è associato ad Fe. Nei suoli sono frequenti i livelli con patine e concrezioni di questi ossidi. Esiste tuttavia una fascia di condizioni pH-Eh in cui Mn ed Fe possono migrare in maniera differenziata (BINI ed al., 1982), in ambiente

non sufficientemente riducente per consentire la mobilizzazione del ferro. Le piante possono contribuire ad arricchire il Mn nelle parti più superficiali del suolo, per estrazione selettiva ad opera delle radici.

Nel profilo in esame i valori più elevati in Mn sono riscontrati negli orizzonti più superficiali, più ricchi in sostanza organica; una parte del Mn presente a livello degli orizzonti A potrebbe perciò essere dovuta ad un processo di arricchimento selettivo operato dalla vegetazione, l'altra parte a migrazione differenziale nelle condizioni di pH-Eh del mezzo.

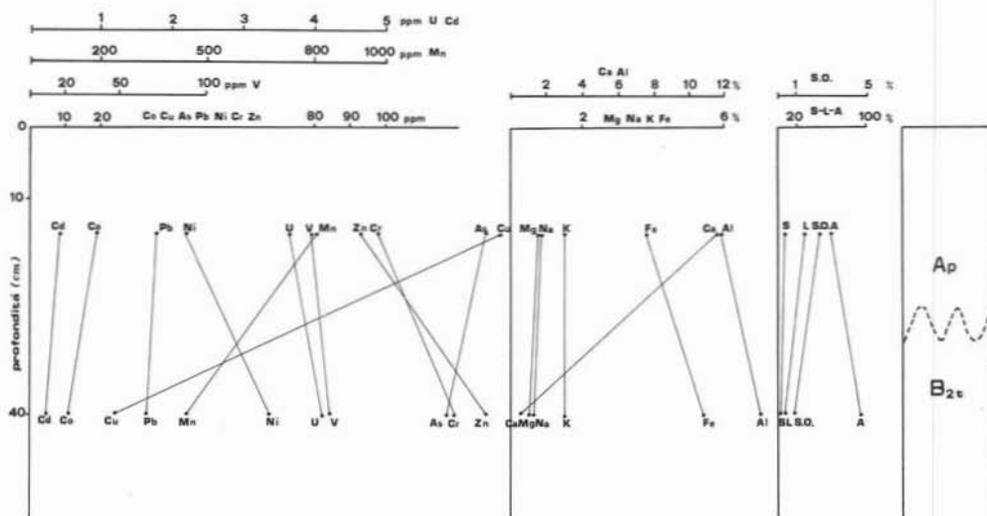


Fig. 3. — Suolo n.° 2. Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, maggiori, della sostanza organica e delle frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla).

Il secondo campione delle « terre rosse » (S2) è un *Litic Rhodoxeralf* prelevato in un vigneto. La descrizione del profilo è riportata nella tab. 3; la composizione mineralogica e granulometrica, le caratteristiche fisiche e chimiche (compresi gli elementi in traccia) sono riportati nella tab. 4.

Nella fig. 3 è riportato il diagramma della distribuzione degli elementi analizzati e della granulometria in funzione della profondità e lo schema del profilo.

L'analisi mineralogica ha rivelato la presenza di quarzo e di elevati contenuti di calcite nell'orizzonte superiore, mentre nell'orizzonte profondo sia lo scheletro siliceo che il carbonato sono pressochè assenti. Il quarzo può considerarsi residuale dalla selce presente nella roccia ed in parte di origine eolica. La grande quantità di calcite è invece ascrivibile a frammenti di calcare portati in superficie durante le pratiche agricole, e parzialmente solubilizzati.

Nella frazione argillosa sono presenti caolinite ed illite, con un incremento di quest'ultima nell'orizzonte profondo. Pur trattandosi di due orizzonti « argillosi » (contenuto di argilla maggiore del 30 %), la granulometria li differenzia per un forte incremento di argilla nell'orizzonte B a causa dell'intenso dilavamento. La bassa capacità di scambio conferma che si tratta di un suolo fortemente desaturato. Come era da atten-

dersi, anche la sostanza organica subisce un sensibile decremento con la profondità.

La quasi totalità degli elementi analizzati presenta un incremento nel passaggio dall'orizzonte arato (Ap) a quello indisturbato (B_{2t}), analogamente al passaggio fra gli orizzonti A₃ e B_{2t} del profilo precedente, per i già accennati fenomeni di lisciviazione. In particolare, l'incremento di Al parrebbe indicare un processo di *siallitizzazione* di questo suolo, già suggerito dalla abbondanza di caolinite.

Andamento decrescente, come nel profilo S1, presentano invece As, Mn, sostanza organica. Del tutto diversi viceversa sono gli andamenti di Ca, Cu e subordinatamente Cd, che presentano tenori elevati nell'orizzonte Ap ed un forte decremento nel B_{2t}. Per il calcio si tratta chiaramente di apporti di calcite dalla roccia in dissoluzione. Per il rame ed il cadmio si può verosimilmente ipotizzare un accumulo legato al vasto uso di prodotti chimici nella viticoltura.

B) SUOLI SU SEDIMENTI PLEISTOCENICI DEL SALENTO (« TERRE BRUNE »)

Un suolo rappresentativo di quest'area, localizzato a sud-est di Brindisi e raccolto in un vigneto, è stato classificato come *Aquic Palexeralf*. La descrizione del profilo è riportata nella tab. 5; la composizione granulometrica e mineralogica ed i risultati delle

TABELLA 5
Descrizione del profilo S3

Località: Masseria Tramazzone (Vercelli); **Quota:** m 30; **Esp.:** N-NW; **Pend.:** 0°; **Fisiografia:** superficie pianeggiante; **Uso del suolo:** vigneto specializzato; **Substrato:** sabbie e argille pleistoceniche (formazione di Gallipoli); **Erosione:** assente; **Roccosità:** assente; **Pietrosità:** assente; **Classificazione genetica USDA:** AQUIC PALEXERALF.

Orizzonte Ap: cm 0-25/30; limite inferiore netto, ondulato; colore umido bruno giallastro (10 YR 5/4); sabbioso franco; aggregazione assente; pori abbondanti; sciolto; scheletro assente; concrezioni assenti; rivestimenti assenti; drenaggio rapido; subalcalino; reazione HCl debole; radici scarse, fini, verticali; attività biologica scarsa.

Orizzonte B_{21R}: cm 25/30-50/55; limite inferiore graduale; colore umido bruno forte (7,5 YR 5/6) con screziature di colore bruno (7,5 YR 5/2) e rosso (2,5 YR 4/6) comuni, evidenti; sabbioso-argilloso; aggregazione poliedrica angolare media debole; poco plastico, poco adesivo; scheletro assente; concrezioni assenti; rivestimenti di argilla scarsi; facce di pressione comuni; drenaggio rallentato; subacido; radici scarse, fini, verticali; pori scarsi.

Orizzonte B_{22R}: cm 50/55-85/90; limite inferiore graduale; colore umido fra rosso giallastro e bruno forte (6,75 YR 5/6) con screziature di colore bruno (7,5 YR 5/2) e rosso giallastro (3,75 YR 4/5) grosse, evidenti, abbondanti; argilloso sabbioso; aggregazione poliedrica angolare debole tendente a prismatica fine; poco plastico, adesivo; scheletro assente; concrezioni assenti; rivestimenti di argille abbondanti; facce di pressione comuni; drenaggio lento; neutro; radici molto scarse, pori scarsi.

Orizzonte B_{23R}: cm 85/90-110 ed oltre; colore umido bruno forte (7,5 YR 5/6); screziature comuni evidenti di colore rosso giallastro (3,75 YR 4/5) e bruno (7,5 YR 5/2); franco sabbioso argilloso; aggregazione poliedrica angolare grossolana, evidente, tendente a prismatica; poco plastico, poco adesivo; scheletro assente; concrezioni assenti; rivestimenti di argilla comuni, facce di pressione scarse; spalmature nere sulle facce degli aggregati; drenaggio lento, neutro; radici molto scarse, finissime; pori molto scarsi.

TABELLA 6
Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo n. 3

ANALISI FISICHE E CHIMICHE																	
Orizzonte	Profondità iniz. cm	Granulometria			pH	pH	CE	S.O. %	Basi di scambio				Acidità di	Satura- zione			
		S %	L %	A %	H ₂ O	KCl			meq/100 gr			scambio					
								Ca	Mg	Na	K	meq/100 gr					
A _p	0	88.9	1.4	9.7	7.5	6.1	0.27	0.47	2.6	0.3	0.06	0.16	0.30	91.3			
B ₂₁ tg	25	48.2	3.3	48.5	6.6	5.5	0.27	0.46	14.0	4.3	0.27	0.73	5.72	77.1			
B ₂₂ tg	50	60.7	2.3	37.0	7.2	6.0	0.10	0.17	10.3	4.1	0.33	0.57	2.65	85.2			
B ₂₃ tg	85	59.2	4.0	36.7	7.1	5.9	0.01	0.02	9.7	4.3	0.49	0.61	4.41	77.4			
ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI																	
Profon. media di preval.	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	As	U	Fe	Mn	Al	Na	K	Ca	Mg
	ppm										%						
10	128,9	0,30	20	20,3	5	3,8	31	33	20	4,8	0,96	0,02	3,4	0,93	1,93	0,38	0,14
40	19,8	0,10	72	23,6	37	5,0	88	146	38	7,1	4,68	0,06	13,0	0,62	1,94	0,52	0,74
70	21,2	0,13	74	26,2	53	15,5	87	142	30	5,2	4,51	0,06	15,0	1,11	2,31	0,77	0,80
95	20,0	0,09	73	28,1	47	14,0	84	139	61	6,5	4,92	0,06	11,7	0,95	2,10	0,77	0,83
ANALISI MINERALOGICHE																	
Orizzonte	Campione medio				Frazione <0,002 mm												
	Quarzo	K-Feldspato	Na-Feldspato	Calcite	Illite	Caolinite	Smectite										
A _p	50	5 + 10	5	5	<2	30	70	-									
B ₂₁ tg	40	<5	<5	<2	30	70	P										
B ₂₂ tg	40	5	<5	<2	30	70	P										
B ₂₃ tg	40	5	<5	<2	50	50	P										

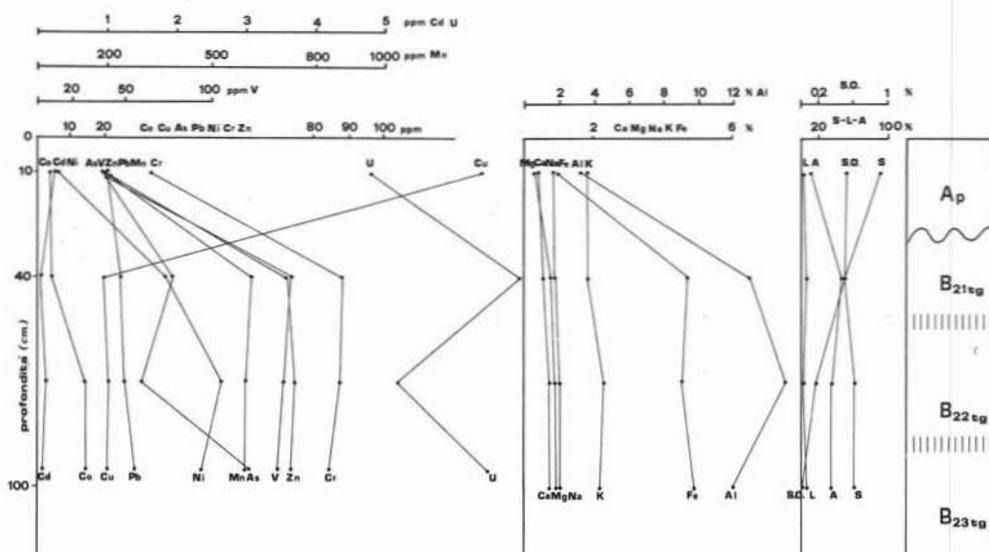


Fig. 4. — Suolo n.° 3. Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla).

determinazioni fisiche e chimiche sono riportati nella tab. 6.

Nella fig. 4 sono riportati in diagramma l'andamento del contenuto degli elementi studiati e della granulometria in funzione della profondità, e lo schema del profilo.

L'analisi granulometrica evidenzia un passaggio molto netto fra lo Ap e gli orizzonti sottostanti, con mancata diminuzione del contenuto di sabbia e forte incremento della frazione argillosa per effetto della lisciviazione, mentre il limo rimane pressochè costante. Le analisi mineralogiche indicano, in concordanza con l'accennata discontinuità, una prevalenza di minerali detritici (soprattutto quarzo) nell'Ap rispetto agli orizzonti B. In tutti gli orizzonti mancano invece i carbonati, a conferma dell'avvenuto dilavamento. La frazione argillosa risulta costituita da caolinite ed illite, con scarsa presenza di smectite; il tenore di illite aumenta nell'orizzonte B_{23tg}.

Il marcato passaggio tra l'orizzonte arato e quelli sottostanti è segnato anche dall'incremento nel tenore di molti degli elementi analizzati. Fanno eccezione a questa tendenza (che rispecchia il modello di evoluzione di un suolo lisciviato) Cu e subordinatamente Cd: il decremento in questo caso è la chiara conseguenza dell'effetto inquinante dei prodotti usati in agricoltura, che si manifesta

proprio nei primi cm del terreno. All'interno degli orizzonti illuviali, l'andamento dei vari parametri analizzati diviene abbastanza uniforme, a conferma che la pedogenesi si è sviluppata in passato, anche se può essere in parte attiva ancora oggi (come rilevato da BINI ed altri, 1976). Per questi orizzonti segnaliamo l'andamento anomalo di U ed As, che presentano un decremento nel passaggio dall'orizzonte B₂₁ al B₂₂, per poi incrementare il loro tenore nel B₂₃. Considerata la bassa mobilità di U⁺⁶ rispetto a quella di U⁺⁴, si può ipotizzare che qui abbiano giocato un ruolo determinante le condizioni alternativamente ossidanti e riducenti che hanno portato alla formazione di questi orizzonti idromorfi, come sembrerebbe indicare la distribuzione differenziale delle screziature (tab. 5) all'interno degli orizzonti B.

Un discorso a parte merita l'alluminio. Questo elemento presenta un incremento nel B₂₂ per poi decrescere nel passaggio al B₂₃. Tale andamento può forse attribuirsi ad un diverso assetto mineralogico dei due orizzonti. Infatti, nel B₂₂ sono presenti una certa quantità di feldspati ed abbondante caolinite, mentre nel B₂₃ la caolinite diminuisce a vantaggio dell'illite: si tratterebbe allora del passaggio dalla fase di *monosiallitizzazione* (or. B₂₂) a quella di *bisiallitizzazione* (or. B₂₃), con sialliti organizzate su reticoli 2:1,

TABELLA 7
Descrizione del profilo S4

Località: Carapelle (Foggia); Quota: m 60; Esp. —; Pendenza: 0°; Fisiografia: superficie pianeggiante; Uso del suolo: incolto produttivo; Substrato: alluvioni recenti argilloso-sabbiose (Quaternario); Erosione: assente; Roccosità: assente; Pietrosità: assente; Classificazione genetica USDA: TYPIC CHROMOXERERT.

Orizzonte Ap: cm 0-35; limite inferiore chiaro, lineare; colore umido bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3/2); argilloso; aggregazione poliedrica angolare fine e media, evidente; pori comuni piccoli; plastico, adesivo; scheletro molto scarso, piccolo; calcareo; concrezioni assenti; rivestimenti assenti; facce di pressione e scivolamento scarse; fenditure abbondanti, larghe da 1 a 2,5 cm; drenaggio normale; subcalcalino; reazione HCl forte; radici erbacee fini, verticali, abbondanti, medie e grosse, sub-orizzontali, scarse.

Orizzonte A₁₂: cm 35-65/75; limite inferiore graduale; colore umido grigio molto scuro (10 YR 3/1,5); argilloso; aggregazione poliedrica subangolare fine e media evidente; pori scarsi, piccoli; plastico, adesivo; scheletro molto scarso, piccolo; concrezioni assenti; rivestimenti assenti; facce di pressione e scivolamento comuni; fenditure abbondanti, larghe 1-2 cm; drenaggio normale; subcalcalino; reazione HCl forte; radici erbacee scarse.

Orizzonte C: cm 65/75-100 ed oltre; colore umido bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3/2); argilloso; aggregazione prismatica media, moderata; pori scarsi; plastico, adesivo; scheletro assente; concrezioni assenti; rivestimenti assenti; facce di pressione e scivolamento comuni; fenditure abbondanti, larghe 1 cm ed oltre; drenaggio normale; subcalcalino; reazione HCl forte; radici molto scarse.

TABELLA 8
Analisi fisiche, chimiche e mineralogiche del profilo n. 4

Orizzonte	Profondità iniz. cm	ANALISI FISICHE E CHIMICHE												
		Granulometria			pH	pH	CS	S.O.S	Basi di scambio			Acidità di scambio		Satura- zione
		S%	L%	A%	H ₂ O	KCl			Ca	Mg	Na	K	meq/100 gr	%
A _p	0	7,2	26,0	66,7	6,9	6,6	1,18	2,03	45,5	4,9	0,98	2,81	0,38	99,3
A ₁₂	20	6,8	30,7	62,5	7,5	7,2	1,59	2,74	44,3	5,1	1,85	2,30	0,26	99,5
C	55	6,2	29,0	64,7	7,7	7,3	0,90	1,54	43,0	6,7	2,93	1,53	0,17	99,7

Profond. media di prelev.	ELEMENTI IN TRACCIA, MINORI E MAGGIORI																
	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	As	U	Fe	Mn	Al	Na	K	Ca	Mg
20	47,2	0,17	101	20,7	37	15	87	131	101	3,4	3,91	0,12	6,7	0,86	2,06	5,15	1,09
55	40,2	0,19	98	17,7	32	19	88	125	108	4,0	3,91	0,12	7,0	0,46	2,05	5,10	1,09
85	40,3	0,13	102	21,5	29	19	89	99	116	4,0	4,27	0,12	6,3	1,11	1,80	5,63	1,24

Orizzonte	ANALISI MINERALOGICHE									
	Campione medio					Frazione < 0,002 mm				
	Quarzo	K-Feldspato	Na-Feldspato	Calcite	Illite	Caolinite	Smectite			
A _p	20	p	p	15	20 (aperta)	80	p (interstr.)			
A ₁₂	20	p	p	15	20 "	75	5 "			
C	20	p	p	15	25 "	65	10 "			

come parrebbero indicare anche il contenuto in potassio e la capacità di scambio più elevata.

C) SUOLI SU SEDIMENTI OLOCENICI DEL TAVOLIERE DI FOGGIA (« TERRE NERE »)

Il suolo studiato è un *Typic Chromoxerert* sviluppatosi su depositi alluvionali argilloso-

sabbiosi recenti. La descrizione del profilo è riportata nella tabella 7; nella tabella 8 sono riportati tutti i parametri misurati. Nella figura 5 è riportata in diagramma la distribuzione degli elementi esaminati e delle caratteristiche granulometriche lungo il profilo.

Le analisi granulometriche e mineralogiche indicano per questo suolo un'elevata omoge-

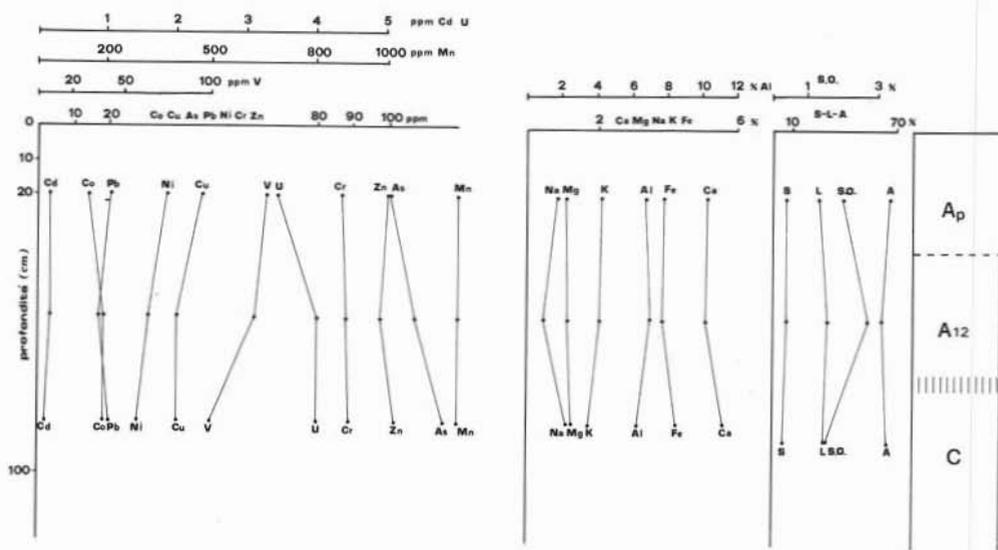


Fig. 5. — Suolo n.° 4. Andamento schematico del profilo con distribuzione degli elementi in traccia, frazioni granulometriche (sabbia, limo, argilla).

neità lungo tutto il profilo, come era da attendersi da alcuni caratteri morfologici tipici di una moderata evoluzione. Si tratta di un suolo fortemente argilloso, subalcalino, ricco di sostanza organica. La frazione scheletrica è costituita da quarzo e calcite. Mentre il quarzo è certamente detritico, la calcite è verosimilmente ricristallizzata da soluzioni circolanti ricche in carbonati (sono infatti frequenti in quest'ambiente concrezioni e croste calcaree di origine pedologica).

La frazione fine ($< 2 \mu\text{m}$) è invece costituita da caolinite ed illite « aperta » e subordinatamente da minerali smectitici ed interstratificati, che in profondità tendono ad aumentare ⁽³⁾.

L'elevata capacità di scambio (e segnatamente i valori di Mg, K, Na) è pertanto correlabile con la presenza di questi minerali a reticolo espandibile, ed il potassio in particolare con l'illite presente lungo tutto il profilo.

Per gli elementi analizzati, le variazioni verticali sono molto contenute e confermano una modesta dinamica geochemica, correlata con la scarsa attività pedogenetica che carat

terizza questo tipo di suolo a basso grado di evoluzione.

Esaminando in dettaglio la distribuzione degli elementi, si nota che calcio e sodio presentano un leggero incremento verso il basso, da correlare con la circolazione di acqua e la accennata formazione di croste calcaree.

Il leggero incremento di Fe è probabilmente da correlare con la presenza di minerali interstratificati in profondità; al contrario, il decremento in Al appare invece legato alla minore disponibilità di minerali 1:1 nella parte più profonda del profilo.

5. Conclusioni

Il paesaggio pedogeochimico della Puglia, come emerge dall'analisi dei risultati sperimentali, è riassunto nella tab. 9. In particolare, dai dati analizzati si possono desumere le osservazioni seguenti:

- Le terre rosse sono suoli con elevato grado di evoluzione; la loro pedogenesi è riferibile a climi più caldi ed umidi di quello attuale (interglaciale Mindel-Riss?), che hanno determinato fenomeni di rubefazione e monosiallitizzazione. La caolinite è il minerale argilloso predominante in questi suoli. Essa è nota da tempo (DELL'ANNA, 1967) come costituente delle terre rosse, dove si

⁽³⁾ Questo dato è in parziale contraddizione con i dati della letteratura (CECCONI e RADAELLI, 1959), che indicano per questi suoli prevalenza di sialliti 2:1 ed interstratificate sulle sialliti 1:1.

TABELLA 9

Correlazione fra unità di paesaggio, caratteri ed evoluzione del suolo

Unità di paesaggio	Caratteri del profilo di interesse pedologico		Conclusioni pedogenetiche
	morfologici	analitici	
Terre rosse	Sviluppo evidente di un B con accumulo di argilla eluvata dagli orizzonti superiori. Intensa rubefazione legata alla frazione pelitica.	Reazione subacida; buona capacità di scambio; notevole desaturazione; generale impoverimento superficiale in elementi e concentrazione nel B. Monosiallitizzazione prevalente.	Lunga evoluzione del suolo in clima più caldo ed umido dell'attuale (Intensi fenomeni di movimento dell'argilla favoriti la formazione di un orizzonte a drenaggio impedito). Suolo di probabile evoluzione in interglaciale Mindel-Riss (Rhodoxeralf).
Terre brune	Sviluppo evidente di un B con accumulo di argilla eluvata dagli orizzonti superiori. Evidenza di fenomeni di riduzione del ferro e del manganese in screziature nella parte inferiore del profilo (pseudogley).	Reazione subacida; bassa capacità di scambio; media saturazione; incremento di elementi chimici con la profondità; bisiallitizzazione antica e monosiallitizzazione pressochè equivalenti.	Fenomeni di alterazione molto intensi, in condizioni climatiche più umide delle attuali. Evoluzione in presenza di falde idriche a lungo persistenti nel suolo. Suolo di probabile evoluzione in interglaciale Riss-Wurm (Palexeralf).
Terre nere	Sviluppo di un profilo poco differenziato, con caratteristiche figure pedologiche legate alla componente argillosa	Reazione subalcalina; buona capacità di scambio; alta saturazione; elevata omogeneità chimica e fisica lungo tutto il profilo; bisiallitizzazione recente.	Condizioni climatiche come le attuali. Evoluzione post-wurmiana. Suolo a tendenza verticale.

origina per evoluzione delle fasi colloidali o poco cristalline, in condizioni di pH basso e di intenso dilavamento. La presenza di elevate quantità di questo minerale determina la scarsa capacità di scambio cationico, e testimonia la desaturazione subita da questi suoli. L'azione dilavante è confermata sia dal generale incremento degli elementi analizzati negli orizzonti profondi di questi suoli, sia dall'accumulo di argilla nel B.

Gli elevati tenori di As ed Mn negli orizzonti più ricchi di sostanza organica delle terre rosse sono correlabili rispettivamente con l'azione chelante dei composti organici (As), con le condizioni di pH-Eh del mezzo e con il processo di arricchimento selettivo operato dalla vegetazione (Mn).

L'incremento di Al ed Fe rilevato nell'orizzonte B nel profilo S2, unito alla bassa saturazione in basi, indica un processo di ulteriore evoluzione di questo suolo, verso tipi fersiallitici oggi comuni nei paesi di clima tropicale o subtropicale.

• Al pari delle terre rosse, anche la terra bruna appare essere il risultato di un intenso dilavamento avvenuto in clima più umido di quello attuale, come indicano l'accumulo di

argilla e la formazione di screziature nell'orizzonte B. Il processo di evoluzione sembra però meno pronunciato rispetto alle terre rosse: nella frazione argillosa infatti alla caolinite si associa abbondante illite, che come è noto si forma in presenza di ioni K^+ , a pH debolmente alcalino.

L'insieme dei dati relativi a questo pedotipo sembra escludere la tendenza alla formazione di suoli fersiallitici, limitando l'evoluzione ad una bisiallitizzazione antica (PEDRO, 1966, 1968). Non è da escludere anzi una pedogenesi « retrograda » per effetto dell'irrigazione di soccorso che interessa spesso il vigneto, e contribuisce a risaturare il terreno, percolando l'orizzonte sabbioso A_p . Questo si può interpretare in tal caso come il limite di una discontinuità che porrebbe questo suolo come un paleosuolo sepolto, sotto una copertura recente.

• La terra nera (profilo S4) mostra un grado di evoluzione piuttosto limitato: il tempo trascorso dalla fine delle glaciazioni ad oggi è troppo breve, in queste condizioni climatiche, per favorire la pedogenesi dei sedimenti olocenici. I parametri analizzati confermano le osservazioni di campagna. Occorre tuttavia

sottolineare che, mentre in letteratura questi tipi di suolo risultano ricchi in smectite, il nostro campione presenta tale minerale nel substrato, ma appare ricco di illite e caolinite negli strati più superficiali.

Anche se l'evidenza morfologica e le condizioni al contorno non forniscono prove in tal senso, la presenza di caolinite potrebbe indicare un'attività pedogenetica volta verso tipi di suolo con orizzonti ben differenziati, come quello precedentemente descritto.

• I tenori di V, Ni, Zn, Pb, Co, Cr, U sono da considerarsi normali per i tipi di suolo presi in esame: la loro distribuzione lungo il profilo (che rispecchia il modello di evoluzione del suolo) indica che non vi sono stati marcati apporti antropogenici.

• Infine ci preme sottolineare come gli elevati tenori di Cu e subordinatamente di Cd dei suoli coltivati siano conseguenza diretta del largo uso di prodotti contenenti questi elementi nell'agricoltura. Il suolo è un sistema naturale con notevoli capacità di

« cattura » degli elementi tossici per gli animali e per l'uomo. Il rischio di contaminazione ambientale è in continua, irreversibile ascesa: Se, As ed altri elementi in traccia, se da una parte sono essenziali per la biosfera, risultano tossici se introdotti nell'ambiente e quindi nella catena alimentare in concentrazioni elevate: i risultati degli studi più recenti, ed anche di questo lavoro, dimostrano che per alcuni elementi sono già apprezzabili le contaminazioni indotte dalle attività antropiche.

Sarà interessante, a tale proposito, seguire quello che accadrà nei prossimi anni nel comprensorio di Brindisi, quando la produzione di energia di questo « polo » sarà incrementata.

Ringraziamenti. — Gli autori ringraziano vivamente il Prof. F. MANCINI ed il Prof. M. DALL'AGLIO per l'incoraggiamento ed i preziosi consigli avuti nel portare avanti questo lavoro, e per la lettura critica del manoscritto.

Publicazione n. 78 del Centro di Studio per la genesi, classificazione e cartografia del suolo del C.N.R. - Firenze.

BIBLIOGRAFIA

- ACADEMIA SINICA edit. (1979) - *The natural background values of some trace elements in the important soil types of Nanjing area*. Acta Pedologica Sinica, 16, 4, 319-328 (abstract in English).
- AA.VV. (1979) - *Alteration des roches cristallines en milieu superficial*. Seminaire de l'Ass. Fr. Et. Sol. Science du Sol, fasc. 8-3, 83-305.
- ARU A., BALDACCINI P., FIEROTTI G. (1979) - *Studio pedologico per scopi irrigui in tre aree campione della Puglia*. Pubbl. del P.S. 14 della Cassa per il Mezzogiorno, Roma, pp. 115.
- BINI C., BUSONI E., FERRARI G.A. (1976) - *Figure pedologiche nei paleosuoli: orizzonti a pseudogley in un suolo della Valdichina (Arezzo)*. Boll. Soc. Geol. It., 95, pp. 169-186.
- 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., XXXVIII (2) (in stampa).
- BRONDI M. ed altri (1981) - *Distribuzione di Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, As, Se, Fe, Mn, V, Mo, U, Ra nelle acque dei più importanti fiumi italiani*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 37, 2, 967-978.
- CECCONI S. (1955) - *Minerali argillosi della terra rossa mediterranea*. Ann. Sper. Agr., LXXVII, 9.
- CECCONI S. e RADAELLI L. (1958) - *Minerali argillosi e sostanza organica di terre nere mediterranee. II - Puglia*. Agrochimica, II, 3, pp. 236-242.
- CECCONI S., RADAELLI L. (1959) - *Ricerche sulle terre nere mediterranee. III - Minerali argillosi e sostanza organica di terre nere della Sardegna e caratteristiche generali delle terre nere italiane*. Agrochimica, III, 3, pp. 211-221.
- COLAMONICO C. (1960) - *Memoria illustrativa della carta dell'utilizzazione del suolo della Puglia*. C.N.R., Roma.
- CORTESI C. (1958) - *Studio sedimentologico e geochimico comparativo fra la terra rossa pleistocenica di Grotta Romanelli e la locale terra rossa attuale*. Per. Miner., XXVII, pp. 353-405.
- COTTENIE A. (1981) - *Trace elements in agriculture and the environment*. Lab. Anal. and Agroch., State Univ. Chent, Belgium, pp. 73.
- DELLA GATTA L. (1953) - *Ulteriori ricerche sulle terre rosse pugliesi. Nota II - Il contenuto in Mn*. Ann. Sper. Agr., nuova serie, VII, 2, pp. 439-459.
- DELL'ANNA L. (1967) - *Ricerche su alcune terre rosse della regione pugliese*. Per. Miner., 2, pp. 539-592.
- FERRETTI O., GRAGNANI R., PAPUCCI C. (1982) - *Distribuzione di Zn, Pb, Cu, Cd, Hg, Ni, Co, V, Cr, U, Cs e caratterizzazione mineralogica e granulometrica dei sedimenti del fiume Magra*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 38, 1, 435-449.
- FORTESCUE J.A.C. (1974) - *Landscape geochemistry and geoepidemiology*. Proc. VII conf. on trace substance in environmental health, Univ. Missouri Press, pp. 119-126.
- FORTESCUE J.A.C. (1980) - *Environmental Geochemistry*. Springer-Verlag, New York, pp. 331.

- FULLER W.H. (1976) - *Contribution of the soil to the migration of certain common and trace elements*. Soil Science, 122, 4, pp. 223-235.
- LAG J. editor (1980) - *Geomedical aspects in present and future research*. Universitetsforlaget, Oslo, pp. 225.
- LAG J., STEINNES E. (1978) - *Regional distribution of Se and As in humus layers of Norwegian forest soils*. Geoderma, 20, pp. 3-14.
- MANCINI F. e coll. (1966) - *Carta dei suoli d'Italia in scala 1:1.000.000 con nota illustrativa*. Cop-pini, Firenze, pp. 39.
- MC KEAGUE J.A., WOLYNETZ M.S. (1980) - *Back-ground levels of minor elements in some canadian soils*. Geoderma, 24, pp. 299-307.
- PEDRO G. (1966) - *Essai sur la caracterisation geo-chimique des differents processus zonaux resultant de l'alteration des roches superficielles*. C.te R. du Ac. Sci. Paris, 262D, pp. 1828-1831.
- PEDRO G. (1968) - *Distribution des principaux types d'alteration chimique à la surface du globe: presentation d'une esquisse geographique*. Rev. Geogr. Phys. et Geo. Dyn., 10, 457-470.
- PEDRO G., DELMAS A.B. (1970) - *Les principes geo-chimiques de la distribution des elements-traces dans les sols*. Ann. Agron., 21, 5, pp. 483-519.
- PEREL'MAN A.I. (1966) - *Landscape geochemistry*. Mosca, pp. 388 (transl. n. 676 Geol. Surv. Ca-nada, 1972).
- PEREL'MAN A.I. (1967) - *Geochemistry of epigenesis*. Consult. Bureau, New York, pp. 266.
- POLEMIO M., SENESI N., BUFO S.A. (1982) - *Soil contamination by metals. A survey in industrial and rural areas of Southern Italy*. The Sci. of Total Envir., 25, pp. 71-79.
- SILLANPAA M. (1982) - *Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study*. FAO soils Bulletin, Roma, 48, pp. 444.
- SOKOLOV I.A. (1977) - *Geochemistry of soil intra-horizon weathering*. In « Problems of soil science », Mosca, pp. 415-430.
- STAHR K., ZOTTL H.W. (1980) - *Transport of trace elements in ecosystems of the Barbalde watershed in the southern Black Forest*. Soil Sci., 130, 4, pp. 217-224.
- VIOLANTE A., VIOLANTE P., JACKSON M. L., CLAYTON R.N. (1981) - *Eolian influence on terra rossa soils of Italy traced by quartz oxigen isotopic ratio*. Proc. VII Int. Clay Conf., Bologna.
- VINOGRADOV A.P. (1959) - *The geochemistry of rare and disperded chemical elements in soils*. Consult. Bureau, New York, 2^a ediz.
- WILLIAMS D.E. ed altri (1980) - *Trace elements accumulation, movement and distribution in the soil profile from massive application of sewage-sludge*. Soil Sci., 129, 2, pp. 119-131.