

ANNALI

DELLA FACOLTÀ DI AGRARIA DELL'UNIVERSITÀ

_____ SASSARI _____

DIRETTORE: P. BULLITTA

COMITATO DI REDAZIONE: P. BRANDANO - P. BULLITTA - P. DEIDDA
M. GREPPI - L. IDDA - F. MARRAS - G. PALMIERI - A. VODRET

S.I.T.E.

Società Italiana di Ecologia

S.I.S.S.

Società Italiana della Scienza del Suolo

ATTI DEL CONVEGNO DI STUDI SUL

CICLO BIOGEOCHIMICO DEI METALLI NEL SUOLO

SASSARI 1 - 2 Aprile 1993 • Aula Magna - Facoltà di Agraria

Comitato organizzativo:

P. MELIS - Università di Sassari
P. NANNIPERI - Università di Firenze
G. SANESI - Università di Firenze

Segreteria organizzativa:

G. PILO - Dipartimento di Scienze Ambientali
Agrarie e Biotecnologie Agroalimentari
Viale Italia, 39 - 07100 SASSARI

studi sassaresi

ORGANO UFFICIALE
DELLA SOCIETÀ SASSARESE DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI



SULL'ORIGINE DELLE TERRE ROSSE IN SARDEGNA. I - GLI ELEMENTI IN TRACCIA NELLA CARATTERIZZAZIONE DI SUOLI E ROCCE MADRI

Pietro MELIS⁽¹⁾, Massimo ODDONE⁽²⁾, Sandro MELONI⁽³⁾

RIASSUNTO

Fra i suoli che si sono evoluti su materiale calcareo e dolomitico le Terre Rosse risultano particolarmente interessanti per la loro genesi. Infatti una delle teorie più accreditate considera questi suoli come la conseguenza di un intenso processo di decarbonatazione della roccia madre, e successiva evoluzione dei materiali contenuti nel residuo insolubile con formazione di ossidi di ferro e minerali argillosi.

Nel presente lavoro ci si propone di acquisire informazioni sulla presenza e distribuzione di elementi in traccia, prevalentemente metalli di transizione, in alcuni suoli della Sardegna (Terre Rosse) e relative rocce madri, mediante analisi per attivazione neutronica strumentale, effettuando irraggiamenti differenziati nel reattore nucleare Triga Mark II dell'Università di Pavia. La misura della radioattività indotta è stata effettuata mediante spettrometria gamma utilizzando un rivelatore al Ge iperpuro. È stata inoltre eseguita la determinazione degli stessi elementi in rocce standard (U.S.G.S) al fine di valutare l'accuratezza del metodo analitico impiegato.

Vengono presentati i valori medi delle concentrazioni degli elementi considerati nei suoli e nelle rocce madri, relativi a tre o più determinazioni indipendenti. Vengono anche discusse la precisione e l'accuratezza dei dati riportati ed inoltre la distribuzione degli elementi in traccia nei vari orizzonti e viene eseguito il confronto con il tenore degli stessi nelle roccia madre.

Parole chiave: Suoli, Elementi in traccia, analisi per attivazione neutronica.

SUMMARY

The trace elements in the characterization of red soils and parent rocks

The genesis of red soils (Terre Rosse) formed on limestone or dolomite rock bed is yet an unsolved question. A theory suggests that these soils are the final step of an intense decarbonation process of the parent rock followed by the change of the materials in the insoluble residue into iron oxides and clay minerals.

A number of trace elements, mostly transition metals, was determined in sardinian Terre Rosse and parent rocks by instrumental neutron activation analysis performing different irradiations in the TRIGA Mark II nuclear reactor of the University of Pavia. Induced radioactivity measurement was carried out by gamma-ray spectrometry using a High Purity germanium detector coupled to an analyzer-computer system. The same elements were also determined in some standard reference rocks, released by United States Geological Survey, in order to evaluate the accuracy of the employed analytical method.

Average values of the trace element content in the Terre Rosse and in the parent rocks are presented and discussed, together with the evaluation of precision and accuracy. Trace element profiles at different horizons are reported as well. A comparison of trace element distribution among soils belonging to the same geological era is also presented.

Key words: Soils, trace elements, neutron activation analysis

⁽¹⁾ Dipartimento di Scienze Ambientali, Agrarie e Biotecnologie Agroalimentari, Università di Sassari, Sassari.

⁽²⁾ Dipartimento di Chimica Generale, Università di Pavia, Pavia.

⁽³⁾ Centro CNR per la Radiochimica e l'Analisi per Attivazione, Dipartimento di Chimica Generale, Università di Pavia, Pavia.

INTRODUZIONE

Fra i suoli che si sono evoluti su materiale calcareo e dolomitico le Terre Rosse risultano particolarmente interessanti per la loro genesi. Infatti una delle teorie più accreditate considera questi suoli come la conseguenza di un intenso processo di decarbonatazione della roccia madre, e successiva evoluzione dei materiali contenuti nel residuo insolubile con formazione di ossidi di ferro e minerali argillosi (1).

Questa ipotesi acquista consistenza se l'evoluzione è ambientata in condizioni climatiche tropicali o subtropicali, e conseguentemente le Terre Rosse europee dovrebbero essere considerati dei paleosuoli. Indagini più recenti sembrano tuttavia consentire la formazione di Terre Rosse anche nei climi più temperati a seguito di particolari condizioni microambientali nelle rocce madri (2).

Nel presente lavoro ci si propone di acquisire informazioni sulla presenza e distribuzione di elementi in traccia, prevalentemente metalli di transizione, in alcuni suoli della Sardegna (Terre Rosse) e relative rocce madri, mediante analisi per attivazione neutronica strumentale, al fine di studiare l'influenza di queste ultime nei processi pedogenetici e ricavare degli indici di uniformità fra i suoli evolutisi su materiale calcareo e dolomitico.

PARTE SPERIMENTALE

Materiale analizzato

Sono stati analizzati 36 suoli e 8 rocce provenienti dalla Sardegna nord - occidentale, centrale e sud - occidentale, riportati in Tabella 1. Aliquote di 0,1 - 1,0 g di campioni di suolo e roccia sono stati finemente macinati (<100 mesh), omogeneizzati e sottoposti a test di omogeneità. Campioni di 0.30 g sono stati trovati rappresentativi per l'analisi delle matrici studiate.

Materiale di riferimento

Come materiale di riferimento è stato utilizzato uno standard sintetico preparato aggiungendo quantità note degli elementi determinati su una matrice di silice pura e le rocce standard BCR-1 (Basalto) e AGV-1 (Andesite) fornite dall'U.S.G.S. (USA). Aliquote di 0.30 - 0.40 g di tali materiali venivano irraggiate insieme ai campioni.

Irraggiamenti e tempo di decadimento

Gli irraggiamenti sono stati effettuati nel reattore nucleare TRIGA MARK II da 250 Kw a regime stazionario, dell'Università di Pavia, ad un flusso neutronico termico di 1×10^{12} n cm⁻² s⁻¹. Sono stati eseguiti irraggiamenti di 5 e 30 ore rispettivamente. Dopo il primo irraggiamento i campioni ed il materiale di riferimento venivano lasciati decadere per 2 giorni prima di essere sottoposti alla spettrometria delle radiazioni gamma; dopo il secondo irraggiamento venivano lasciati decadere per 7 giorni.

I radionuclidi formati e alcuni parametri nucleari sono riportati in Tabella 2.

Tab. 1 - Località di campionamento.

Località	Periodo	Profondità	Campione
SANTADI (CA)	Cambriano medio	0-18	5A
		18-55	5B
		55-75	5C
		75-100	5D
		100-130	5E
Calcare dolomitica			5R
IGLESIAS (CA)	Cambriano	0-12	13A
		12-40	13B1
		40-70	13B2
		70-100	13B3
IGLESIAS (CA)	Cambriano	0-10	14A
		10-30	14B1
		30-50	14B2
		50-80	14B3
SADALI (NU)	Cambriano	0-30	16A
		30-55	16B
BUGERRU (CA)	Cambriano	0-20	19A
		20-40	19B
CAPO CACCIA (SS)	Cretaceo	0-40	2B
SANT' ANTIOCO (CA)	Giurassico	0-20	1A
SANT' ANTIOCO (CA)	Giurassico	0-30	4A
		30-52	4B
SEUI (NU)	Giurassico	0-40	15
Calcare dolomitica			15R
ALGHERO-PUNTA GIGLIO	Giurassico	0-30	17
ALGHERO-MONTE ROSÈ	Triassico	0-40	3B
MONTE FENOSU (SS)	Terziario	0-25	6A
		25-70	6B
Calcare			6R
S. GIOVANNI (SS)	Terziario	0-20	7A
		20-40	7B
Calcare			7R
S. GIOVANNI-CAVA (SS)	Terziario	0-25	8
Calcare			8R
OTTAVA (SS)	Terziario	25-40	9
			9R
ARGENTIERA (SS)	Terziario	0-20	10A
		20-40	10B
Calcare			10R
ARGENTIERA (SS)	Terziario	0-30	11
			11R
MONTE URPINU (CA)	Terziario	0-15	12A
		15-30	12B
CABRAS	Terziario	0-20	18

Tab. 2 - Dati nucleari degli elementi determinati.

Elemento formato	Radionuclide	Semivita	Energia γ misurata, KeV
Fe	59 - Fe	45,1 g	1099,1292
Sc	46 - Sc	83,9 g	889,1120
Cr	51 - Cr	27,8 g	320
Co	60 - Co	5,24 a	1173,1332
Ni	58 - Ni	71,3 g	810
Zn	65 - Zn	245 g	1115
As	76 - As	1,09 g	559
Rb	86 - Rb	18,6 g	1077
Zr	95 - Zr	65,5 g	723,756
Sb	124 - Sb	60,9 g	603
Cs	134 - Cs	2,07 a	796
Ba	131 - Ba	11,5 g	216,496
La	140 - La	1,68 g	487,1595
Ce	141 - Ce	33 g	145
Nd	147 - Nd	10,9 g	91,531
Sm	153 - Sm	1,96 g	103
Eu	152 - Eu	12,2 g	344,1408
Gd	153 - Gd	242 g	98
Tb	161 - Tb	73 g	879
Ho	166m - Ho	30 g	80,811
Tm	170 - Tm	129 g	84
Yb	169 - Yb	30,6 g	198
Lu	177 - Lu	6,75 g	208
Hf	181 - Hf	44,6 g	482
Au	198 - Au	2,97 g	411
Ta	182 - Ta	115,1 g	1221
Th	233 - Pa	27 g	321
U	239 - Np	2,35 g	278

Misura della radioattività

L'attività indotta è stata misurata mediante spettrometria delle radiazioni gamma usando un rivelatore al Ge iperpuro collegato ad un sistema di acquisizione degli spettri e loro analisi gestito da PC. Con il primo irraggiamento sono stati determinati As, La, Sm, U e Au con misure ripetute dopo 2 e 6 giorni dalla fine dell'irraggiamento. Con il secondo irraggiamento sono stati misurati tutti gli altri elementi, con misure ripetute dopo 7, 14, 24, 48 e 56 giorni dalla fine dell'irraggiamento.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Le concentrazioni degli elementi determinati nei suoli e nelle rocce sono riportate nelle Tabelle 3a, 3b, 3c.

La precisione media è del 13%; variandi tra 4% e 19%, in accordo con l'abbondanza degli elementi determinati.

L'accuratezza delle misure è stata ottenuta confrontando i dati ottenuti nel rocce standard BCR-1 e AGV-1 con quelli esistenti in letteratura (Govindaraju,1992). I dati riportati in Tabella 4; mostrano un sostanziale accordo e quindi confermano l'attendibilità del procedimento analitico impiegato.

Una prima domanda che ci si pone è quella che se tutti gli elementi chimici determinati hanno lo stesso comportamento nella roccia madre e nel suolo. In letteratura (5) viene riportato che lo zirconio è un minerale che possiede un eccezionale stabilità alle alterazioni ed una bassa solubilità in soluzioni acquose, tale per cui lo Zr è considerato un'elemento immobile e si può ritenere che nei processi di degrado della roccia madre venga trasferito totalmente nel suolo.

Per misurare la variazione di concentrazione degli elementi in un suolo relativamente alla roccia madre si può utilizzare la seguente relazione:

$$\% \text{ CAMBIO} = \left[\frac{\frac{X \text{ suolo}}{Zr \text{ suolo}}}{\frac{X \text{ roccia}}{Zr \text{ roccia}}} \right] * 100$$

dove con x viene indicata la concentrazione dell'elemento di cui si vuole studiare il comportamento e con Zr la concentrazione dello zirconio. L'applicazione di tale relazione ai dati riportati in Tab. 3a,b,c consente di suddividere gli elementi considerati in diverse classi di mobilità, come mostrato in Tabella 5.

La mobilità relativa degli elementi nei suoli studiati, caratterizzati da una reazione neutra o sub-alcalina (3), dipende dalla loro natura chimica. La più alta mobilità è presentata dagli elementi delle terre rare. torio ed uranio: tale comportamento, già segnalato da altri autori (6), è spiegabile considerando che questi elementi hanno valori molto simili di molte proprietà chimico-fisiche che condizionano la mobilità ionica (stati di ossidazione, raggi ionici, costanti di idrolisi, prodotti solubilità).

La concentrazione degli elementi delle terre rare determinate nelle rocce e nei suoli, è stata normalizzata rispetto ai valori dei corrispondenti elementi nei suoli australiani, considerati rappresentativi di suoli primordiali (PAAS - Post Archean Australian Soils,(7)). Per quegli elementi delle terre rare che non sono stati determinati, il loro tenore è stato ricavato mediante interpolazione tra i due elementi immediatamente vicini. I risultati ottenuti sono stati suddivisi in relazione all'era geologica dei campioni da cui derivano e sono presentati in funzione del numero atomico. Nei diagrammi (Fig.1) sono riportati i valori massimi e minimi del valor medio delle concentrazioni normalizzate delle terre rare, per suoli appartenenti ad una stessa era geologica. Questo è stato possibile in quanto si è notato che i suoli che si sono originati nello stesso periodo danno origine a valori medi delle concentrazioni degli elementi considerati, il cui coefficiente di variazione non supera mai il 25%. Per le rocce è stato riportato il valore medio.

In tutte le distribuzioni si nota che suoli e roccia madre presentano lo stesso andamento; in entrambi i casi sono presenti le anomalie negative in Ce ed Eu e mostrano una lieve tendenza ad un frazionamento delle terre rare pesanti. Questo può essere indicativo del fatto che, i suoli si sono formati direttamente per disgregazione delle rocce madri, senza apporti di altri costituenti esterni.

Tab. 3a - Contenuto di elementi in tracce (ppm) ad eccezione del Fe (%) e dell'Au (ppb) nei suoli e rocce dell'Era Paleozoica.

Campione	5A	5B	5C	5D	5E	5R	13A	13B1	13B2
Fe	0,47	0,64	0,81	1,37	1,51	1,12	1,46	1,99	1,30
Sc	23,4	21,2	30,4	32,7	29,6	4,98	13,1	9,2	10,1
Cr	35,1	44,0	42,9	38,0	39,1	10,2	40,1	36,2	34,9
Co	27,3	25,8	24,2	24,2	24,6	20,6	54,8	71,2	66,7
Ni	9,1	12,1	9,2	8,2	10,1	121,2	11,1	12,2	9,0
Zn	98,8	90,2	91,1	86,5	87,9	9,00	29,1	25,3	28,1
As	32,2	29,3	30,3	49,1	54,0	3,60	159,3	134,2	100,2
Rb	123,4	230,1	122,9	84,6	110,9	14,90	89,7	71,2	69,9
Zr	423,1	447,3	382,0	320,1	256,1	12,33	276,2	213,2	196,4
Sb	8,77	7,12	1,41	2,80	4,34	3,60	4,68	6,99	6,42
Cs	9,11	8,47	7,19	7,02	6,46	1,00	5,23	7,12	4,99
Ba	60,1	45,7	123,5	144,1	123,5	9,43	129,2	193,2	189,5
La	40,1	75,0	46,0	46,1	43,2	3,67	44,3	45,5	46,6
Ce	132,7	99,3	79,6	78,3	78,2	5,79	78,2	86,2	78,3
Nd	31,6	66,8	34,0	37,3	38,2	3,00	43,2	41,2	46,1
Sm	9,57	6,60	6,79	6,70	6,95	0,38	5,91	7,02	7,57
Eu	2,10	0,94	0,72	1,41	1,12	0,035	1,21	1,78	1,35
Gd	7,99	6,23	6,11	6,12	6,00	0,30	5,12	6,46	7,00
Tb	0,28	0,25	0,27	1,07	1,01	0,18	1,02	2,45	2,28
Ho	2,77	2,27	2,23	0,83	0,79	0,043	0,80	7,33	7,11
Tm	0,34	0,38	0,34	0,32	0,29	0,079	0,30	0,89	1,01
Yb	2,87	3,00	2,98	3,33	3,11	0,11	3,23	4,04	3,71
Lu	0,57	0,55	0,50	0,51	0,46	0,061	0,46	0,73	0,68
Hf	2,01	1,84	6,31	8,96	7,46	3,42	8,01	11,92	10,12
Ta	18,11	16,70	7,34	4,68	5,01	0,12	5,23	5,82	5,12
Au	2,01	1,94	2,11	2,77	3,01	346,2	4,11	4,00	4,07
Th	7,34	7,27	12,94	14,95	14,00	4,56	12,53	12,70	12,00
U	2,90	2,79	2,96	3,11	2,99	1,18	2,88	3,90	3,70

Segue Tab. 3a

Campione	13B3	14A	14B1	14B2	14B3	16A	16B	19A	19B
Fe	2,35	1,12	1,32	1,29	1,23	1,61	1,67	1,12	1,99
Sc	12,1	12,0	12,1	12,5	12,5	19,88	18,88	12,3	12,0
Cr	38,9	42,3	44,3	45,7	46,8	52,3	51,2	47,1	51,2
Co	54,5	55,8	58,0	54,2	53,3	6,23	6,23	54,2	56,7
Ni	11,1	12,0	11,1	12,3	13,1	18,5	21,1	12,2	10,9
Zn	25,0	28,0	24,5	26,8	23,6	18,21	17,23	23,0	23,1
As	90,2	89,0	93,0	99,1	97,3	27,69	24,57	98,3	99,3
Rb	69,1	71,2	71,1	78,0	89,0	86,8	91,3	98,0	96,1
Zr	172,2	198,0	191,0	198,2	199,9	501,0	498,8	201,1	205,8
Sb	8,33	4,58	5,01	5,60	5,12	7,23	6,46	5,34	5,09
Cs	13,99	10,10	11,09	12,23	11,10	5,44	5,11	9,12	10,54
Ba	193,1	197,9	198,5	199,2	201,0	144,7	141,2	196,0	198,7
La	44,6	56,8	61,2	56,2	58,1	64,6	66,1	56,9	59,2
Ce	80,1	81,2	86,8	82,6	83,5	94,2	93,2	82,3	84,2
Nd	42,1	53,5	59,2	51,1	55,0	59,3	61,2	56,2	56,1
Sm	7,34	8,46	8,01	7,88	8,11	9,98	9,46	8,35	9,01
Eu	1,53	1,12	1,23	1,10	1,24	1,12	1,23	1,19	1,08
Gd	6,57	7,83	7,34	7,01	7,34	9,08	8,92	7,95	7,99
Tb	2,12	2,10	2,09	2,00	1,76	1,65	1,71	1,88	1,79
Ho	7,00	0,79	0,88	0,79	0,76	0,99	1,01	0,77	0,75
Tm	0,79	0,66	0,70	0,67	0,70	0,46	0,43	0,67	0,68
Yb	3,82	3,23	3,09	3,01	3,46	5,11	5,00	3,35	3,45
Lu	0,71	0,57	0,50	0,50	0,51	0,82	0,81	0,52	0,50
Hf	12,11	12,12	12,09	12,10	12,34	8,11	7,45	10,88	11,99
Ta	5,34	5,01	5,23	5,79	5,34	8,93	9,57	5,32	5,31
Au	5,34	5,02	5,12	5,98	5,16	1,12	1,76	5,89	5,99
Th	11,99	12,31	11,01	10,99	11,88	13,46	14,10	12,35	12,00
U	3,73	3,99	3,46	3,55	3,57N	3,01	2,99	3,11	3,21

Tab. 3b - Contenuto di elementi in tracce (ppm) ad eccezione del Fe (%) e dell' Au (ppb) nei suoli e rocce dell' Era Mesozoica.

Campione	2B	1A	4A	4B	15	15R	17	3B
Fe	3,76	2,33	2,97	3,01	1,30	0,88	3,64	2,35
Sc	22,92	21,37	12,89	14,23	21,97	5,21	12,35	19,32
Cr	61,3	59,9	41,3	39,1	54,1	4,53	42,6	63,5
Co	6,23	6,11	6,22	6,79	6,21	1,01	6,44	6,34
Ni	34,1	34,2	31,0	42,5	23,5	189,1	10,6	27,9
Zn	21,57	23,46	29,88	21,34	23,46	11,23	15,51	25,34
As	22,31	24,57	13,88	14,57	34,66	3,21	20,56	25,12
Rb	157,2	161,2	151,7	145,7	121,4	12,35	84,6	168,5
Zr	492,3	512,1	498,1	478,3	510,2	16,34	456,8	511,2
Sb	18,34	17,90	17,31	16,12	10,23	3,77	1,56	19,21
Cs	8,23	9,11	6,06	5,23	5,09	1,23	5,00	7,01
Ba	119,3	134,6	142,2	145,7	139,2	13,01	139,5	102,5
La	59,6	61,2	50,7	51,2	79,6	34,7	65,1	57,9
Ce	79,4	81,2	77,4	80,1	117,2	67,8	90,4	76,2
Nd	50,5	57,9	46,9	47,3	60,9	31,2	54,5	51,4
Sm	7,32	7,57	7,99	8,01	10,11	6,46	9,35	7,12
Eu	1,41	1,23	1,32	1,55	1,97	1,99	2,21	1,23
Gd	7,03	7,34	6,99	7,79	9,79	6,12	8,72	6,99
Tb	2,53	2,57	2,41	2,35	2,37	3,01	1,76	2,47
Ho	0,93	0,93	0,99	1,00	1,00	0,99	1,18	0,79
Tm	0,42	0,46	0,43	0,45	0,53	1,01	0,48	0,46
Yb	3,85	3,99	4,41	3,91	5,39	2,12	4,87	3,79
Lu	0,63	0,63	0,37	0,61	0,88	0,23	0,78	0,54
Hf	6,11	7,12	7,34	8,91	7,34	1,23	8,56	5,99
Ta	5,99	6,11	6,21	7,65	6,23	2,49	11,17	5,23
Au	5,52	6,57	1,46	1,31	1,21	195,2	1,82	4,99
Th	14,98	16,23	13,11	12,01	17,80	4,00	14,87	13,99
U	2,85	2,77	2,24	2,57	4,77	1,62	2,94	2,98

Questo potrebbe essere spiegabile con fenomeni di metasomatosi diagenetica, ossia mediante un parziale processo di dolomitizzazione del carbonato di calcio, dovuto alla evaporazione dell'acqua marina prima della sua deposizione: fenomeno favorito da un aumento di temperatura e dalla salinità (5).

I suoli presentano un arricchimento di terre rare rispetto le rocce madri ed una tendenza ad attenuare gli effetti di alcune anomalie. Ad esempio si veda il caso dell'eurobio nei suoli del Cambriano e del Miocene.

Alcuni parametri, quali il contenuto totale di elementi delle terre rare e il rapporto tra le concentrazioni delle terre rare leggere (La-Sm) e quelle pesanti (Eu-Lu), potenzialmente utilizzabile per mettere in evidenza differenze tra i diversi suoli, non presentano variazioni significative.

In Tabella 7 è riportato il contenuto di medio Th e U nei suoli e il loro rapporto. Va messo in evidenza il basso tenore di U e Th nei suoli del Cambriano, pur essendo il loro rapporto allineato con i valori ottenuti per gli altri suoli. Questo rapporto presenta una distribuzione omogenea, anche se è meritevole di ulteriori indagini il valore relativamente più basso ottenuto per i suoli del Cambriano medio.

Tab. 3c - Contenuto di elementi in tracce (ppm) ad eccezione del Fe (%) e dell' Au (ppb) nei suoli e rocce dell' Era Cenozoica.

Campione	6A	6B	6R	7A	7B	7R	8	8R	9
Fe	1,78	1,32	1,12	1,39	1,76	1,32	2,16	0,99	1,88
Sc	15,00	14,98	5,01	14,35	14,23	3,00	15,32	3,43	9,63
Cr	32,2	33,9	42,3	35,7	33,5	67,3	32,1	54,7	38,2
Co	3,12	2,99	20,1	3,12	3,59	34,2	63,15	62,2	21,11
Ni	12,85	8,22	128,9	11,62	11,97	131,4	9,79	233,1	10,99
Zn	123,2	128,4	8,11	146,8	134,6	4,67	146,8	4,92	123,5
As	15,87	14,23	9,50	14,67	16,30	12,32	16,23	5,50	13,59
Rb	128,3	131,4	16,11	117,2	114,8	19,12	131,2	22,23	120,3
Zr	234,6	212,4	11,08	251,8	263,5	22,14	234,6	12,98	213,4
Sb	5,11	4,99	9,05	4,88	4,88	12,35	3,99	59,3	3,88
Cs	1,23	1,29	2,12	1,26	1,42	3,01	8,67	5,23	6,37
Ba	121,3	134,6	10,11	112,3	119,2	12,35	90,2	13,02	103,5
La	49,1	48,7	54,1	47,8	45,6	56,8	39,1	49,9	49,2
Ce	64,6	75,7	101,93	79,5	76,1	121,3	69,4	123,1	81,6
Nd	47,3	45,7	51,21	43,1	41,0	53,3	36,3	45,1	47,0
Sm	6,02	7,12	5,68	7,29	6,34	8,35	6,11	7,01	7,00
Eu	1,07	1,14	1,23	1,32	1,26	1,00	1,17	1,01	1,83
Gd	5,97	6,93	5,11	6,99	6,39	8,00	5,95	6,98	6,98
Tb	0,99	1,00	1,87	1,00	1,18	2,11	1,84	4,90	1,99
Ho	0,33	0,33	0,58	0,78	1,02	0,77	3,06	0,84	3,34
Tm	0,30	0,31	0,98	0,43	1,22	1,00	0,77	1,28	0,43
Yb	3,55	3,84	0,11	4,00	3,85	0,11	3,58	2,12	3,94
Lu	0,59	0,53	0,13	0,60	0,64	0,43	0,54	0,34	0,68
Hf	9,88	10,23	1,65	11,23	8,29	1,34	6,91	1,35	7,82
Ta	9,03	9,35	0,011	6,86	10,18	0,12	11,21	0,87	10,98
Au	1,95	1,91	198,1	1,14	1,23	345,6	1,25	342,1	1,73
Th	11,51	14,13	5,58	13,86	13,32	1,01	12,13	3,00	15,03
U	2,10	2,14	1,39	2,79	2,75	0,99	2,12	0,92	2,78

Campione	9R	10A	10B	10R	11	11R	12A	12B	18
Fe	1,11	2,56	3,01	1,21	1,43	1,12	1,43	1,46	1,61
Sc	15,32	16,40	23,84	3,04	11,43	5,12	24,11	18,51	23,46
Cr	287,2	40,9	52,3	13,2	32,7	321,8	33,4	28,5	50,2
Co	21,1	7,36	7,63	3,46	3,94	35,3	3,21	3,01	3,13
Ni	226,9	43,3	41,1	101,2	28,3	169,8	11,61	12,35	20,01
Zn	4,28	20,27	16,34	12,12	17,46	10,77	115,0	143,6	160,4
As	11,31	21,43	27,95	33,8	53,65	9,02	13,32	13,46	20,54
Rb	19,21	181,2	186,4	26,28	78,4	10,35	122,0	123,5	143,4
Zr	19,16	431,2	429,3	17,90	428,7	12,35	245,7	249,4	308,6
Sb	25,00	16,55	23,53	11,38	7,17	1,23	2,92	3,96	1,19
Cs	6,73	5,74	9,71	2,00	5,97	0,69	1,32	1,23	3,65
Ba	14,02	143,2	213,5	15,98	151,1	12,24	89,3	79,5	92,3
La	116,6	71,3	61,3	6,83	53,5	150,0	41,2	55,8	56,2
Ce	250,4	83,4	91,4	9,36	84,1	207,0	66,7	67,9	68,3
Nd	81,4	49,6	57,7	2,92	51,0	73,3	40,1	44,3	45,5
Sm	3,35	8,57	8,35	0,80	8,01	10,12	6,79	6,01	7,02
Eu	0,41	1,74	1,67	0,033	1,58	5,57	1,18	1,20	1,32
Gd	3,01	8,23	7,99	0,80	7,34	9,71	6,01	6,00	6,99
Tb	3,53	2,36	2,20	0,12	1,41	4,90	0,99	1,70	1,46
Ho	0,55	1,23	1,01	0,22	1,08	0,88	0,77	0,80	0,45
Tm	1,71	0,32	0,52	0,17	0,34	1,23	0,39	0,57	0,42
Yb	2,15	4,71	4,25	0,12	4,06	2,10	3,47	3,54	3,35
Lu	0,26	0,73	0,67	0,051	0,66	0,46	0,56	0,57	0,95
Hf	4,12	9,34	16,55	4,23	9,52	1,00	5,05	4,66	6,98
Ta	1,01	7,77	9,34	0,30	7,56	0,12	14,57	10,67	14,62
Au	123,1	1,22	1,62	98,1	1,13	123,6	1,95	2,14	2,29
Th	18,08	11,13	14,72	1,02	12,10	4,72	12,25	9,30	14,04
U	2,91	3,27	2,44	0,49	2,46	2,05	2,24	3,65	1,86

Tab. 4 - Contenuto di elementi in tracce (ppm) ad eccezione del Fe (%) e dell'Au (ppb) nel Andesite AGV-1 e Basalto BCR-1 (U.S.G.S).

Elemento	Roccia standard			
	AGV-1		BCR-1	
	<i>Determinato</i>	<i>Letteratura</i>	<i>Determinato</i>	<i>Letteratura</i>
Fe	4,74	4,73	9,39	9,38
Sc	12,6	12,6	36,5	32,6
Cr	109	101	17	16
Co	38	37	139	137
Ni	17	16	14	13
Zn	90	88	132,5	129,5
As	887	886	656	650
Rb	63,1	63,7	49,2	47,2
Zr	232	227	197	190
Sb	0,65	0,62	0,51	0,50
Cs	1,34	1,28	0,98	0,96
Ba	1234	1226	689	681
La	37	38	27	24
Ce	69	67	58,3	53,7
Sm	6,1	5,9	6,73	6,59
Eu	1,67	1,64	1,89	1,95
Gd	5,1	5,0	6,9	6,6
Tb	0,75	0,70	1,08	1,05
Ho	0,69	0,67	1,42	1,26
Tm	0,36	0,34	0,63	0,56
Yb	1,75	1,72	3,41	3,38
Lu	0,29	0,27	0,58	0,51
Hf	5,6	5,1	5,09	4,95
Ta	0,99	0,90	0,87	0,81
Th	6,56	6,58	6,23	5,98
U	1,96	1,92	1,76	1,75
Au	0,75	0,62	0,71	0,66

Tab. 5 - Mobilità degli elementi nel suolo rispetto alla roccia madre.

Mobilità relativa (%)	Ambiente neutro - alcalino
Molto alta (≥ 95)	REE,Th,U
Alta (94 - 80)	Sc,Cs,Rb,As
Media (70 - 30)	Zn,Ni
Bassa (≤ 29)	Cr,Co,Sb,Hf,Fe

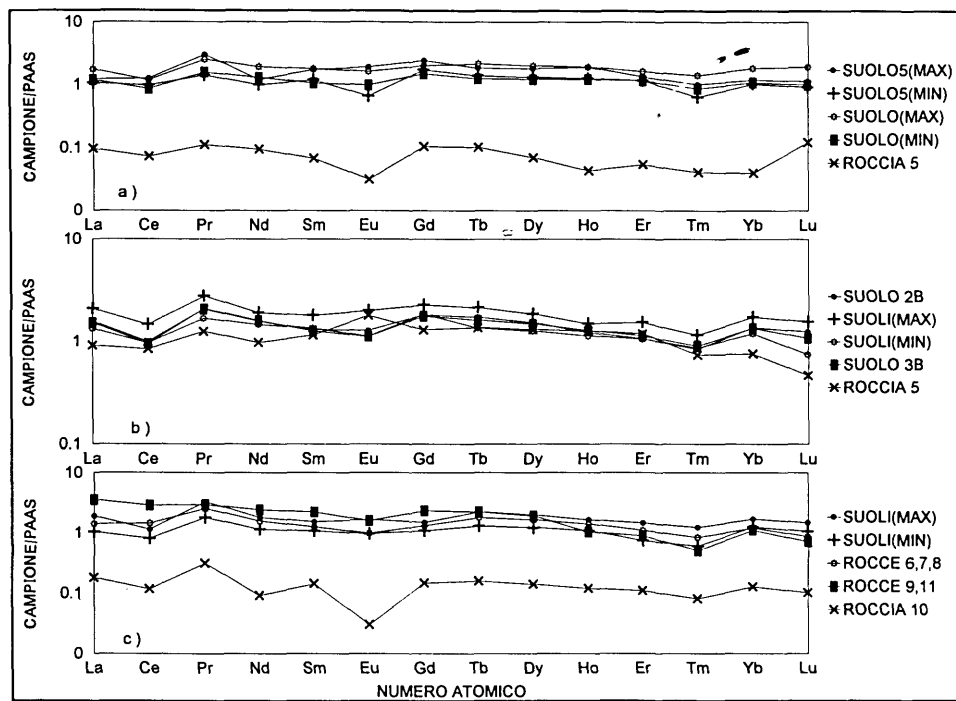


Figura 1 - Distribuzione delle terre rare normalizzate:

Era	Periodo	Epoca
a) Paleozoica	Cambriano	
b) Mesozoica	Cretaceo	
	Giurassico	
	Triassico	
c) Cenozoica	Terziario	Miocene

Tab. 6 - Parametri degli elementi delle terre rare nei suoli.

Era	Periodo	Epoca	$\frac{LREE}{HREE}$	ΣREE (ppm)
Paleozoica	Cambriano		4,97	256,89
	Cambriano Medio		5,09	252,60
Mesozoica	Cretaceo		5,66	253,48
	Giurassico		5,98	269,84
	Triassico		5,92	246,90
Cenozoica	Terziario	Miocene	4,92	235,87

Tab. 7 - Contenuto medio di Th (ppm) e U (ppm) nei suoli.

Era	Periodo	Epoca	Th (ppm)	U (ppm)	<u>Th</u>
					U
Paleozoica	Cambriano		3,20	0,5	5,71
	Cambriano Medio		11,20	2,95	3,83
	Cretaceo		14,98	2,85	5,25
Mesozoica	Giurassico		14,90	3,06	4,86
	Triassico		13,99	2,98	4,96
Cenozoica	Terziario	Miocene	12,68	2,61	4,85

BIBLIOGRAFIA

- 1) BRONGER W., ENSLING J., GUTLICH. P. (1983) - Rubification of Terra Rossas in Slovakia: a Mössbauer effect study. *Clays and Clay Mineral* 31: 269-275.
- 2) BOERO W., PREMOLI A., MELIS P., BARBERIS E. ARDUINO E. (1992) - Influence of climate on the iron oxide mineralogy of Terre Rossa. *Clays and Clay Mineral* 40: 8-13.
- 3) MELIS P., PREMOLI A., BALDACCINI P. (1988.92) - Morphological, chemical and mineralogical characterization of some soils developed on hard carbonates rocks in Sardinia. *Studi Sass.* XXXIV: 151-168.
- 4) GOVINDARAJU K. (1989) - 1989 Compilation of working values and sample description for 272 geostandars. *Geostandard Newsletter, Special Issue XIII*: 1-113.
- 5) NESBITT H.B. (1979) - Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. *Nature* 279: 206-210
- 6) McLENNAN S.M., TAYLOR S.L. (1979) - Rare earth mobility associated with uranium mineralisation. *Nature* 282: 247-250.
- 7) NANCE W.B., TAYLOR S.L. (1976) - Rare earth elements patterns and crustal evolution-II. Australian post-Archean sedimentary rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 40: 1539-1551.