

MOBILITÀ DEL ^{137}Cs IN ALCUNI SUOLI DELL'ITALIA SETTENTRIONALE

In 9 suoli dell'Italia settentrionale, contraddistinti da specifiche caratteristiche chimiche, fisiche, morfologiche e di collocazione ambientale, dopo un anno di lisciviazione idrometeorica viene analizzata la mobilità del Cs-137 depositatosi a seguito dell'incidente nucleare di Chernobyl.

Il diverso grado di contaminazione iniziale e soprattutto la complessa interazione tra i vari fattori pedologici ed ambientali determinano una mobilità verticale significativamente differenziata.

DANILO PERSICANI

Nei confronti delle ricadute atmosferiche contaminate di origine accidentale o periodica, il suolo svolge il ruolo fondamentale di filtro naturale tra la deposizione dei vari radionuclidi e la loro diffusione nella falda freatica e più in generale nell'ambito della catena alimentare. Sebbene l'inquinamento dei corpi acquiferi profondi possa avvenire anche in relazione ad una trasmissibilità dei poluanti per erosione del suolo e successiva percolazione attraverso la falda di subalveo, la forma diretta di lisciviazione verticale lungo il profilo del suolo occupa certamente una posizione di primo piano in questo tipo di dinamica ambientale. Ovviamente perché si possa parlare di contaminazione della falda freatica è assolutamente necessaria un'interferenza diretta tra questa e la struttura geopedologica del suolo. Sovente si tende invece ad esagerare ed a generalizzare le proprietà chimico-fisiche relative alla capacità di adsorbimento dell'epiedon o di permeabilità idrogeologica dell'intero suolo e del sotto-suolo. Per chiarezza concettuale possiamo pertanto individuare tre forme principali di interazione suolo-acqua di falda nell'ambito delle quali più frequentemente si riscontrano tutte le possibili situazioni intermedie:

a - falda freatica molto superficiale interna al profilo del suolo (profondità inferiore ad 1-2 m dal piano campagna);
b - suolo estremamente permeabile fino al contatto con la falda freatica;
c - interconnessione locale o periodica tra suolo e acque sotterranee poco profonde.

Per quanto riguarda i casi più frequenti di radiocontaminazione dell'acqua di falda, non per diluizione diretta, ma per diffusione attraverso le soluzioni circolanti nel suolo, occorre precisare che essi si sviluppano in tempi variabili mediante rotture di equilibrio delle concentrazioni interne che possono essere, sia di minima entità ma protratte nel tempo, che relativamente intense ma del tutto

occasionali e circoscritte (Klechkovskii et al., 1973). Questi delicati equilibri sono governati da numerosi fattori tra i quali possono essere evidenziati: la natura chimica del complesso adsorbente e dei vari radionuclidi, la struttura fisico-morfologica del suolo, le condizioni climatiche locali, l'attività biologica terricola e l'attività umana.

L'incidente nucleare di Chernobyl, attraverso una deposizione di radionuclidi estremamente irregolare sulla maggior parte del territorio nazionale (ENEA-DISP, 1986) e nell'ambito del bacino padano in particolare (Capra et al., 1987; Queirazza e Guzzi, 1987), sottolinea la necessità di inquadrare attentamente la problematica relativa alla contaminazione a lungo periodo delle matrici ambientali ad elevata interconnessione reciproca come sono appunto quella pedologica e quella idrologica.

In tale contesto vengono quindi esaminati a scala naturale i rapporti intercorrenti tra caratteristiche chimico-fisiche del suolo e mobilità del Cs-137 dopo un anno di percolazione idrometeorica lungo il profilo. I suoli esaminati sono caratterizzati da connotazioni pedologiche particolari inserite in unità geografiche e geologiche importanti nell'alimentazione idrogeologica dell'Italia settentrionale.

Caratteristiche ambientali dei suoli esaminati

A compimento del primo ciclo annuale di lisciviazione idrometeorica successivo alla deposizione della nube radioattiva di Chernobyl (aprile-maggio 1986) sono stati selezionati ed esaminati i profili di 9 suoli dislocati nell'Italia settentrionale. La scelta, compatibilmente con le conoscenze generali acquisite in precedenti studi di carattere chimico-pedologico (Persicani, 1987; 1988) ha tenuto conto di alcuni requisiti specifici relativi ad una discreta differenziazione chimica tra i vari suoli, ad un sufficiente sviluppo fisico-morfologico dei profili, alla presenza di substrati geologici complessivamente permeabili, o ubicati in zona di ricarica idrogeologica o di interferenza tra la falda freatica ed il suolo e relativi infine alla presenza di condizioni climatiche di elevata piovosità annuale.

I 9 suoli esaminati provengono dalla catena alpina (A-Haplumbrept Tipico; B-Cryohumod Tipico; C-Haploboroll Aquico), dalla catena appenninica (D-Hapludalf Ultico; E-Eutrochrept Dystroco; F-Haplaquept Aerico) e dalla fascia pedecollinare nord-occidentale (G-Fragiudalf Tipico; H-Dystrochrept Tipico; I-Fragiudalf Glossico) (figura 1).

I suoli dell'arco alpino sono localizzati a quote comprese tra i 1500 m e i 2100 m

D. Persicani, C.R.G.A. - Centro di Ricerca sulla Geopedologia Ambientale, Piacenza.

s.l.m., caratterizzati da una copertura erbacea e da precipitazioni annue comprese tra i 1400 mm e i 1800 mm (Tonini, 1959; Cati, 1981). L'assetto geomorfologico varia da discretamente a debol-

1. Ubicazione dei suoli esaminati e corrispondenti valori di precipitazione media annua.



mente acclive, con un tipico frazionamento del pedon in porzioni superficiali dissestate (scorrimenti ed accavallamenti soprattutto della cotica erbosa); i substrati sono costituiti da micascisti muscovitici-cloritici (A), da porfidi quarziferi (B) e da alternanze argillitico-biocalcarenitico-arenacee (C).

I suoli dell'arco appenninico sono localizzati a quote comprese tra i 600 m e i 1000 m s.l.m., la distribuzione annua delle precipitazioni varia però in misura non esattamente proporzionale all'altitudine (1100-1900 mm). La copertura vegetale è altrettanto diversificata con un tipo a bosco di faggio (F), una macchia mediterranea a pino marittimo (D) ed un tipo essenzialmente erbaceo (E). La morfologia della superficie è moderatamente acclive nei luoghi di campionamento e molto acclive nel complesso dei versanti. Il substrato geologico varia da un tipo arenaceo-marnoso (E; F) ad un tipo calcareo (D).

I suoli della fascia pedecollinare sono distribuiti tra le altitudini 250 e 350 m s.l.m.; le precipitazioni sono complessivamente omogenee e comprese tra i 1300 ed i 1500 mm/anno. La copertura vegetale è erbacea per il suolo (G) e boschiva per i suoli (H; I). L'assetto geomorfologico è assolutamente pianeggiante, mentre i substrati sono costituiti da depositi fluvio-glaciali pleistocenici a ghiaie alterate (G; I) o a sabbie rossastre (H).

Metodologia di analisi

Nell'ambito dei profili esaminati è stato prelevato un campione di ogni orizzonte principale; i campioni sono stati successivamente seccati, macinati, setacciati ed analizzati (SISS, 1985) per determinare i parametri chimico-fisici più importanti nella interazione suolo-radio-nuclidi (Carini et al., 1985 e 1988; Silva et al., 1987) e per definire la classificazione dei suoli a livello di bassa categoria tassonomica (Soil Survey Staff;

1975). I risultati complessivi sono riportati in tabella 1.

Campioni dei vari orizzonti, posti in appositi contenitori, sono stati utilizzati anche per l'analisi spettrometrica delle radiazioni gamma i cui risultati sono diagrammati in figura 2 rispetto alla profondità del profilo medio-superiore. Maggiore dettaglio è stato posto nella suddivisione dell'orizzonte A di ogni suolo sezionato ogni 5 cm per consentire una migliore rilevazione della lisciviazione del Cs-137 in rapporto alla capacità di adsorbimento e ritenzione dell'orizzonte superiore umificato.

In considerazione dell'elevata eterogeneità del fall-out e del wash-out radioattivo della nube di Chernobyl, dell'elevata incidenza dell'interazione precipitazioni-geomorfologia e soprattutto di alcune tipiche anomalie di diffusione del Cs-137 nel suolo (Klechkovskii et al., 1973), in questa fase preliminare sono stati ritenuti accettabili tutti i valori di spettrometria gamma rilevati nei vari orizzonti pedologici.

Risultati

I suoli naturali esaminati presentano tutti un discreto approfondimento del profilo con una successione di orizzonti ben individuabile ed una strutturazione fisico-morfologica in taluni casi molto accentuata.

Il substrato geologico è generalmente caratterizzato da un grado di permeabilità sufficientemente elevato per fessurazione e fratturazione (suoli A, B e D), o per porosità (suoli G, H e I); localmente meno permeabili si presentano invece i substrati dei suoli (C, E ed F). Tra questi ultimi l'Haplaquept Aerico (F) e l'Haploboroll Aquico (C) hanno mostrato un'interferenza diretta e tangibile con la locale falda freatica.

Dal punto di vista fisico questi suoli possono essere riuniti in 3 gruppi principali:

1 - suoli sabbioso-frammentali ad eleva-

to drenaggio interno (A, B e H);
2 - suoli con un epipedon sciolto sovrapposto ad un orizzonte argillico compatto (D, G ed I) con un buon drenaggio superficiale che diminuisce bruscamente con la profondità;

3 - suoli fortemente argillosi (C, E ed F).
Le caratteristiche chimiche seguono solo parzialmente l'andamento delineato per le caratteristiche fisiche, risentendo significativamente delle interferenze esercitate dal substrato geologico e dal clima (tabella 1).

Complessivamente si tratta di suoli ben dotati di sostanza organica in cui però la stessa varia in grado di umificazione e localizzazione nell'ambito del profilo; questa caratteristica eterogeneità incide moltissimo sulla capacità di scambio cationico anche se in alcuni suoli un peso determinante è esercitato dalla frazione colloidale argillosa. Il pH è ovviamente influenzato dal substrato, dalla piovosità e dal grado di avanzamento pedogenetico. Risultano quindi fortemente acidi i suoli A, B, G, H ed I, tendenzialmente acido il suolo E, subacido il suolo C e tendenzialmente neutri i suoli D ed F.

Accanto alla tradizionale caratterizzazione pedologica è stata analizzata la spettrometria gamma di ogni orizzonte medio-superiore dei 9 suoli considerati. I risultati sono diagrammati nella figura 2. In primo luogo occorre riconoscere una diversa ricaduta atmosferica di Cs-137 nelle varie zone esaminate, a cui si associa una diversa capacità di protezione della vegetazione (arborea o erbacea) ed un diverso dilavamento diretto delle precipitazioni immediatamente seguenti la deposizione principale, sicuramente maggiore sulle superfici acclive e minore sulle superfici subpianeggianti.

In linea del tutto generale emerge una deposizione di Cs-137 nella zona settentrionale alpina che è da 2 a 3 volte superiore a quella meridionale appenninica.

Per quanto riguarda i valori di contaminazione dei vari orizzonti esaminati, i quali indicano direttamente il grado di mobilità del Cs-137 lungo il profilo, si può affermare che in rapporto al solo anno di lisciviazione idrometeorica intercorsa tra la ricaduta radioattiva ed il periodo di prelievo, la caratterizzazione pedologica accentuata dei suoli presi come riferimento, consente di esprimere alcune valutazioni preliminari di un certo interesse specifico.

1) La concentrazione iniziale di Cs-137 depositato al suolo sembra avere un ruolo importante ma non esclusivo, come testimoniano i raffronti tra la mobilità dei suoli C, D ed E.

2) Il decremento lungo il profilo della concentrazione di Cs-137 è molto marcato nei primi 5-10 cm, con la sola eccezione dei suoli A e B nei quali si evidenzia una diminuzione molto meno accentuata. Questa particolare circostanza può essere in parte posta in relazione all'assetto geomorfologico dei luoghi di

ubicazione dei suoli stessi interessati da dissesti della cotica superficiale umificata che tende a scivolare verso il basso (soliflusso), scoprendo lungo il versante numerose porzioni inferiori di suolo (orizzonti B e C) meno organiche ed argillose e molto più permeabili. In queste fessure possono infiltrarsi quantità notevoli di acque di scorrimento, creando un flusso sotterraneo (al contatto tra roccia più compatta e suolo frammentale) che contamina gli orizzonti inferiori non sufficientemente protetti dall'epipedon superficiale.

3) Una significativa mobilità verticale si rileva nei suoli molto acidi e dotati di un sufficiente drenaggio interno, parziale, per i suoli G ed I, o totale per il suolo H.

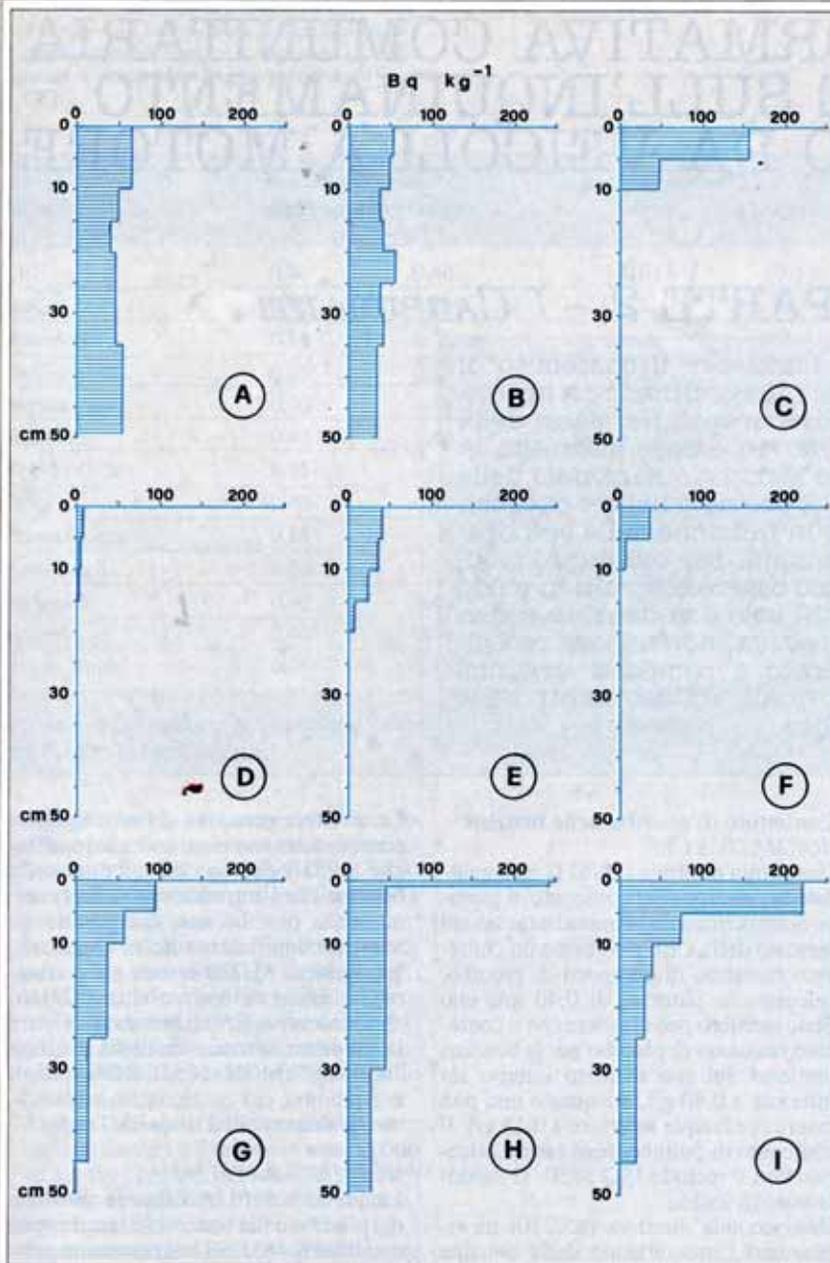
4) Nei suoli acidi sembra avere un ruolo determinante anche la sola componente pluviometrica come starebbe ad indicare quella minima lisciviazione di Cs-137 riscontrata a piccola profondità nel suolo E.

5) Nei suoli fortemente argillosi, indipendentemente dal pH e soprattutto dal contenuto di carbonio organico (suoli C ed F), la mobilità verticale del Cs-137 è praticamente inesistente, risultando totalmente adsorbito nei primi 5-10 cm di suolo.

6) A parità di condizioni pedo-climatiche, oltre alla componente umica, sembra particolarmente importante il ruolo svolto dalla frazione argillosa nella capacità di adsorbimento del Cs-137.

Tabella 1 - Dati chimico-fisici dei suoli analizzati.

SUOLI	Orizzonte	Profondità cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	C organico %	C.S.C. meq/100g	Saturazione basica %	pH (in acqua)
A) Haplumbrept Tipico, franco-grossolano, micaceo, acido, frigido (Passo Croce Domini - BS)	A ₁	0-20	44	38	18	4,1	29,2	3	4,3
	B ₂	20-38	55	30	15	1,2	15,5	5	4,4
	C	38-60	66	22	12	0,1	4,6	4	4,7
B) Cryohumod Tipico, franco-grossolano su scheletrico- sabbioso, misto, acido frigido (Passo Manghen - TN)	A ₁	0-19	65	19	16	8,7	35,3	9	5,5
	II O ₂	19-25	=	=	=	35,8	69,2	=	5,0
	II A ₂	25-29	57	26	17	6,8	27,2	3	4,7
	II B _{21h}	29-34	67	23	10	9,6	57,6	2	4,7
	II B _{22ir}	34-54	80	12	8	4,2	32,4	7	4,9
II B ₃	54-60	85	10	5	2,2	20,4	8	5,0	
C) Haploboroll Aquico, argilloso-fine, misto, frigido (Passo Sella-BZ)	A ₁₁	0-10	5	53	42	4,5	45,0	63	6,4
	A ₁₂	10-30	8	47	45	3,3	42,3	69	6,8
	A ₁₃	30-40	6	47	47	2,9	47,1	75	7,0
	A ₃	40-50	8	40	52	1,2	46,0	77	7,4
	II B ₂	50-65	9	31	60	0,5	51,2	73	7,1
D) Hapludalf Ultico, limoso-fine, misto, mesico (Magliolo - SV)	A ₁	0-18	20	62	18	2,3	14,1	76	7,3
	B ₁₁	18-29	14	62	24	0,5	12,9	56	7,5
	B ₂₁	29-49	11	63	26	0,2	11,5	51	7,4
	C ₁	49-70	19	61	20	=	7,1	42	7,2
E) Eutrochrept Dystrico, limoso-fine, misto, mesico (Montebruno - GE)	A ₁	0-16	14	57	29	2,7	24,2	35	5,6
	A ₃	16-28	15	59	26	1,1	18,7	38	5,9
	B ₁	28-45	18	54	28	0,5	20,0	56	6,2
	B ₂	45-78	22	54	24	0,1	18,2	64	6,5
F) Haplaquept Aerico, argilloso-fine, misto, mesico (Bobbio - PC)	A ₁₁	0-10	8	49	43	2,7	40,8	75	7,2
	A ₁₂	10-20	6	53	41	1,7	35,0	78	7,3
	B ₂	20-55	13	42	45	0,2	33,8	85	7,6
G) Fragiudalf Tipico, limoso-fine, misto, acido, mesico (Leini - TO)	A ₁	0-10	13	76	11	2,2	7,0	39	4,9
	A ₂	10-25	18	67	15	0,5	5,2	38	5,4
	B ₁₁	25-40	10	65	25	0,1	18,8	68	5,9
	B _{2s}	40-65	11	61	28	=	17,6	58	6,5
H) Dystrochrept Tipico, franco-grossolano, misto, acido, mesico (Appiano Gentile - CO)	O ₁	5-0	=	=	=	23,2	=	=	3,6
	B ₁	0-30	68	20	12	0,7	13,0	5	4,0
	B ₂	30-80	76	14	10	0,1	9,3	7	4,2
I) Fragiudult Glossico, limoso-fine, misto, acido, mesico (Appiano Gentile - CO)	A ₁	0-15	18	51	31	3,6	18,5	5	3,9
	A ₂	15-25	19	56	25	0,8	11,2	3	4,1
	A&B	25-39	16	62	22	0,2	7,5	2	4,3
	B _{1s}	39-80	11	56	33	=	12,0	8	4,8



2. Distribuzione del Cs-137 lungo il profilo dei suoli esaminati.

7) In queste condizioni di analisi non è possibile discernere opportunamente il contributo di Cs-137 recente da quello derivante dal fall-out degli anni '60. Tenuto conto dei vari fattori chimico-fisici e climatici prima enunciati, è plausibile l'ipotesi che quote rilevanti del Cs-137 riscontrato negli orizzonti più profondi dei suoli acidi e permeabili siano di accumulo precedente all'evento di Chernobyl.

Conclusioni

La mobilità verticale del Cs-137 nel suolo è governata da numerosi fattori di natura chimica, fisica, biologica, climatica ed umana, difficilmente misurabili nelle ricostruzioni sperimentali di laboratorio. Per questa ragione si è voluto indagare a livello preliminare la possibi-

lità di migrazione lungo il profilo del Cs-137 in suoli estremamente differenziati e caratterizzati da accentuate connotazioni chimico-fisico-morfologiche.

I risultati ottenuti indicano una scarsa mobilità generale lungo il profilo con l'eccezione dell'Haplumbrept Tipico (A) e del Cryohumod Tipico (B) molto acidi, ad elevato drenaggio interno e contraddistinti da un assetto geomorfologico di elevato dissesto della porzione superiore del profilo. Gli elementi geoidrologici addotti per spiegare il fenomeno, a prescindere da considerazioni attinenti l'incidenza degli accumuli precedenti (fall-out degli anni '60), fanno dunque ritenere possibile una locale contaminazione della falda freatica attraverso frequenti scambi idrici tra scorrimenti superficiali ed infiltrazioni profonde che avrebbero maggiore possibilità di successo proprio in corrispondenza delle aree altimetricamente elevate, dissestate e piovose, dove il suolo risulta essere caratterizzato da minimi spessori, alta permeabilità e bassa capacità di adsorbimento colloidale.

Più in generale, come è già stato accennato, si è rilevato un grado di protezione del sistema idrogeologico superficiale complessivamente elevato, soprattutto nei suoli a maggiore componente argillosa dove la lisciviazione del radiocesio non è stata praticamente riscontrata.

Tra le due situazioni geopedologiche estreme, può essere comunque evidenziata una minima mobilità del Cs-137 nei suoli fortemente acidi e scarsamente argillosi, di cui però, rispetto alla somma delle contaminazioni passate e recenti, non è facile prevedere a lungo periodo l'esatta incidenza ambientale.

Ringraziamenti

Si ringrazia il prof. S. Silva, direttore del Laboratorio Radioisotopi dell'Università Cattolica di Piacenza, per la collaborazione nella fase analitica.

Bibliografia

Carini F., Silva S., Fontana P.: *Impiego dei coefficienti di distribuzione per la valutazione dei terreni in relazione al rischio radiologico* - Ann. Fac. Agr. U.C.S.C., 1, 79-96, 1985.
 Carini F., Silva S., Persicani D., Fontana P.: *Utilizzo dei coefficienti di distribuzione per l'individuazione di aree a diverso rischio radiologico* - Atti del III Congresso Nazionale S.I.T.E., Siena, 21-24 ottobre 1987 (in stampa).
 Capra D., Facchini U., Gianelle V., Ravasini G., Bacci P., Pizzala A.: *Incidente di Chernobyl: la contaminazione radioattiva delle zone comasche e in altri siti dell'Italia settentrionale* - Atti del Convegno Chernobyl Ambiente Alimenti, Parma, 2-3 aprile 1987, 131-146, 1987.
 Cati L.: *Idrografia e idrologia del Po* - Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico, Ufficio Idrografico del Po, Pubbl. 19, 310 pp., 1981.
 ENEA-DISP.: *Incidente di Chernobyl: conseguenze radiologiche in Italia* - Roma, 9 giugno 1986.
 Klechkovskii V.M., Polikarpov G.G., Aleksakhin R.M., *Radioecology* - John Wiley & Sons, New York, 1973.

Persicani D.: *Valutazione dell'idoneità geochimica di alcuni materiali limoso-argillosi utilizzati come substrato nelle discariche controllate per lo smaltimento dei rifiuti* - Atti del VI Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi, Venezia 25-27 settembre 1987, 349-356, 1987.
 Persicani D.: *Dotazione unica del suolo e correlazione tra le sue frazioni* - Genio Rurale, 2, 47-51, 1988.
 Queirazza G., Guzzi L.: *Radioattività nell'ambiente terrestre* - Acqua-Aria, 7, 863-872, 1987.
 Silva S., Persicani D., Carini F., Fontana P.: *Studio pedologico-ambientale finalizzato all'individuazione di aree a diverso rischio radiologico nella provincia di Piacenza* - Ann. Fac. Agr. U.C.S.C., 1, 97-121, 1987.
 SISS (Società Italiana della Scienza del Suolo): *Metodi normalizzati di analisi del suolo* - Edagricole, 95 pp., 1985.
 Soil Survey Staff: *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey* - Agriculture Handbook n. 436, 855 pp., 1975.
 Tonini D.: *Elementi di Idrografia ed Idrologia* - Vol. I, Istituto di Idraulica dell'Università di Padova, 603 pp., 1959.