

PEDOLOGIA E SUE APPLICAZIONI PRATICHE

1. INTRODUZIONE

La pedologia, come si preciserà meglio in seguito, studia il suolo come risultato della integrazione dei diversi fattori che concorrono alla sua formazione (clima, litologia, geomorfologia, idrologia, vegetazione, biologia): tale disciplina è particolarmente qualificata per candidarsi come una delle scienze chiave per lo studio dell'ambiente e per la formulazione di piani integrati di sviluppo del territorio.

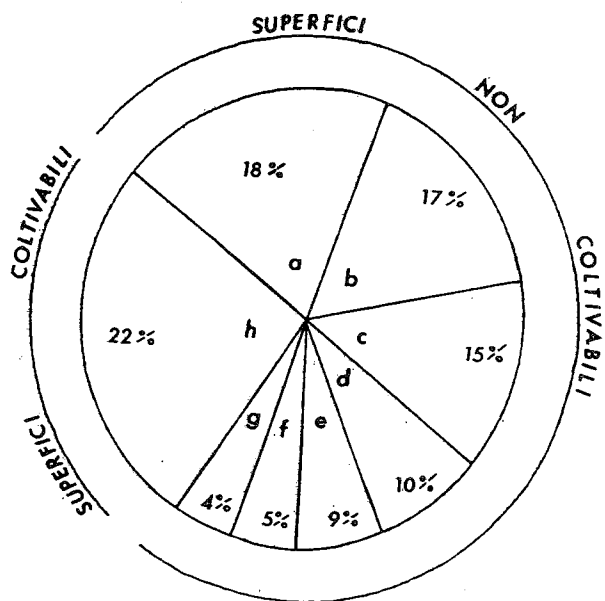
Lo studio dei suoli è, al giorno d'oggi, indispensabile per corrispondere alle esigenze di una società in continuo sviluppo tecnologico e aumento demografico. Il suolo è infatti il supporto di tutte le produzioni rinnovabili ed è la sede di tutte le attività umane. Alla fig. 1.1 viene presentato il quadro sintetico dei suoli che possono o no essere coltivati. La non conoscenza delle caratteristiche e del comportamento dei suoli porta spesso a disastri irreparabili. La casistica in questo campo è vastissima.

Il Consiglio d'Europa 1972, avendo pienamente valutato l'importanza della risorsa naturale "suolo"

ha promulgato la "Carta dei suoli" che viene riportata alla tav. 1.1.

Tav.1.1 - Carta dei suoli del Consiglio d'Europa

- I - Il suolo è uno dei beni più preziosi dell'umanità. Consente la vita dei vegetali, degli animali e dell'uomo sulla superficie della terra.
- II - Il suolo è una risorsa limitata che si distrugge facilmente.
- III - La società industriale usa i suoli sia a fini agricoli che a fini industriali o d'altra natura. Qualsiasi politica di pianificazione territoriale deve essere concepita in funzione delle proprietà dei suoli e dei bisogni della società di oggi e di domani.
- IV - Gli agricoltori ed i forestali devono applicare metodi che preservino le qualità del suolo.
- V - I suoli devono essere protetti dall'erosione.
- VI - I suoli devono essere protetti dagli inquinamenti.
- VII - Ogni impianto urbano deve essere organizzato in modo tale che siano ridotte al minimo le ripercussioni sfavorevoli sulle zone circostanti.
- VIII - Nei progetti di ingegneria civile si deve tener conto di ogni loro ripercussione sui terreni circostanti e nel costo devono essere previsti e valutati adeguati provvedimenti di protezione.
- IX - E' indispensabile l'inventario delle risorse del suolo.
- X - Per realizzare l'utilizzazione razionale e la conservazione dei suoli sono necessari l'incremento della ricerca scientifica e la collaborazione interdisciplinare.
- XI - La conservazione dei suoli deve essere oggetto di insegnamento a tutti i livelli e di informazione pubblica sempre maggiore.
- XII - I governi e le autorità amministrative devono pianificare e gestire razionalmente le risorse rappresentate dal suolo.



- a-Pendenza troppo forte
- b-Clima troppo secco.
- c-Clima troppo freddo.
- d-Coperte di ghiaccio.
- e-Suoli troppo superficiali.
- f-Suoli troppo poveri.
- g-Suoli troppo umidi.
- h-Senza eccessive limitazioni

Fig. 1.1 - Distribuzione della risorsa suolo nel mondo.

Documento di base per ogni pianificazione agricola e forestale dovrebbe essere pertanto la carta dei suoli, da interpretare come un'indicazione sufficientemente precisa dell'attitudine dei diversi terreni a determinate colture. Purtroppo al giorno di oggi si assiste troppo spesso a pianificazioni che tengono conto soltanto della convenienza a sfruttare un dato ambiente con una certa coltura e magari in determinate condizioni di mercato, che non è detto che siano permanenti. E' questo il caso di molti Paesi a monocultura, dove la fertilità del suolo appare compromessa: dopo un benessere momentaneo seguono condizioni di vita più misere di quelle iniziali.

Non basta perciò trovare nuove terre o sfruttare più a fondo quelle coltivate, se non se ne mantiene la loro fertilità, intesa come capacità del suolo di soddisfare a lungo termine, esigenze delle piante simultaneamente in acqua ed elementi nutritivi, senza peraltro incorrere nella sua degradazione.

La fertilità del suolo è qualcosa che ha richiesto

(*) Università di Torino.

un tempo lunghissimo alla sua formazione: ma l'uomo ha purtroppo la possibilità di distruggerla in pochi anni. Nella maggior parte dei casi per ignoranza, più raramente per malafede, l'uomo non ha saputo o voluto capire tempestivamente che la natura ha operato già delle scelte remotissime nel tempo, e che vi sono profonde ragioni se un dato suolo appare coperto da un manto forestale oppure da una semplice prateria.

Il suolo è certamente una risorsa rinnovabile in quanto, anche assumendo che esso sia stato completamente asportato, non si può impedire alla roccia di alterarsi, alla vegetazione di colonizzare il prodotto di alterazione ed al clima di avviare i processi tipici della pedogenesi. Questa rinnovazione avviene però in tempi di lunghezza variabile, talora essi sono sorprendentemente veloci ma altre volte essi sono così lunghi che sovente essa diviene un'astratta teoria per l'uomo che si muove spinto da immediate necessità di procacciarsi alimenti e benefici per se stesso e per la comunità a cui appartiene. Da un punto di vista pratico si può ben affermare allora che in molti casi il suolo è una risorsa che si rinnova con estrema lentezza e che nel mondo esistono numerosissime zone in cui la terra una volta perduta è persa per sempre.

Il suolo è definito da Soil Conservation Service (1975) come un corpo naturale della superficie terrestre costituito da una parte minerale e da una parte organica, capace di ospitare vita vegetale ed animale. Risalta molto evidente da questa definizione la vastità e la complessità del concetto di suolo: si passa dalla climatologia alla fisica, dalla geologia alla selvicoltura, dalla chimica alla botanica e così dicendo si sono citate soltanto le discipline principali.

Questo quadro di orizzonti così estesi e di implicazioni tanto eterogenee hanno portato Buol et al. (1980) a dipingere il suolo come un "sintografo" ovvero come un apparecchio naturale che registra la sintesi di tutto quello che è accaduto o sta accadendo in un punto della superficie terrestre.

"Un suolo può contenere granuli di quarzo riferibili ad un miliardo di anni fa, cristalli freschi di calcite, frammenti di vasellame vecchi di mille anni, materia organica ereditata da piante vissute 5.000 anni fa, e la lettiera forestale che data soltanto da alcune settimane. In questo senso un suolo può essere davvero un sintografo. La prova alla quale lo studioso del suolo è sottoposto è quella di imparare a leggere i grafici di questo apparecchio".

1.1. AMBITI DI RIFERIMENTO DEL SUOLO

Con lo sviluppo delle scienze applicate ai problemi ambientali il suolo entra a far parte di numerosi ambiti di studio quali le terre, l'ambiente, l'ecosistema, il territorio, ecc. A questo punto sarà bene fornire in via preliminare alcune spiegazioni e definizioni.

1.1.1. Terre (Land)

"Land comprende tutti gli elementi per quanto essi influenzano l'uso potenziale del land. Quindi land non si riferisce soltanto al suolo ma include anche le principali caratteristiche della geologia, della morfologia, del clima e della idrologia, la vegetazione e la fauna comprendendo gli insetti e la microfauna, con le loro malattie. I risultati fisici della passata attività umana, come l'asportazione della vegetazione o la bonifica, sono inclusi nel significato di land. Conseguenze sfavorevoli derivanti dall'uso passato, come l'erosione dei

suoli o il degrado della vegetazione, devono anche essere incluse.

Le caratteristiche economiche e sociali, tuttavia, sebbene prese in considerazione nelle procedure di valutazione, non fanno parte dei land".

Da questa definizione e dalle ricerche sui dizionari e sulle enciclopedie italiane emergono le seguenti conclusioni (Giordano A., 1983):

- il termine inglese "land" non trova soddisfacente traduzione con la parola "territorio", almeno secondo i significati riportati dei più conosciuti dizionari italiani e dal lessico della enciclopedia Treccani;
- esiste però, definitivamente consacrata dall'uso, l'espressione "pianificazione del territorio" inteso come una parte del contesto più ampio di "politica del territorio";
- parole italiane che hanno un significato vicino a "land" e che figurano sui più noti dizionari italiani sono "terre" e "terreni". Tra i due termini sembrerebbe migliore il primo per i seguenti motivi:
 - è più comprensivo che non "terreni" i quali vengono menzionati soprattutto nelle accezioni "terreni agricoli ed edificabili";
 - quando la "terra" relativamente indefinita viene meglio valutata oggettivamente o soggettivamente in base alle sue caratteristiche, usualmente si impiega il plurale "terre selvagge, terre fertili, ecc.";
 - i francesi e gli spagnoli usano rispettivamente i termini "terres" e "tierras" nel significato di "land";
 - la Direzione Generale XI della CEE "Ambiente e protezione del consumatore" 1982 ha adottato i termini "terres", "tierras" e "terre" per la traduzione francese, spagnola ed italiana della parola "land" (vedi fig. 1.2).

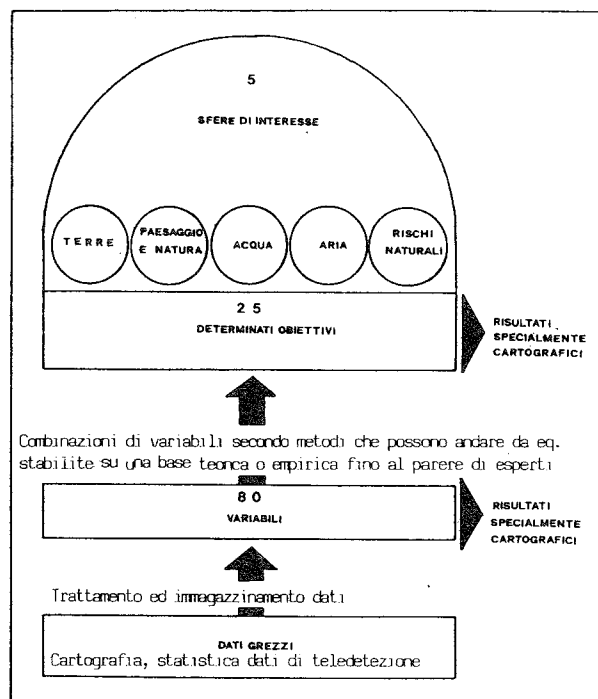


Fig. 1.2 - Schema del sistema di informazione sul sistema dell'ambiente e delle risorse naturali della Comunità europea. (Programma CORINE* della D.G. XI - Ambiente e Protezione del Consumatore).

* CORINE = Coordination of the Information on the Environment.

Come conseguenza dei punti a) b) c) ne deriva che, da un lato, "land" dovrebbe essere tradotto come "terre" mentre da un lato "land planning" avrebbe come traduzione "pianificazione del territorio".

Si può ora cercare di sintetizzare quanto detto ricorrendo allo schema della fig. 1.3: "Pianificazione integrata del territorio: rapporti tra suolo, terre e territorio".

1.1.2. Territorio

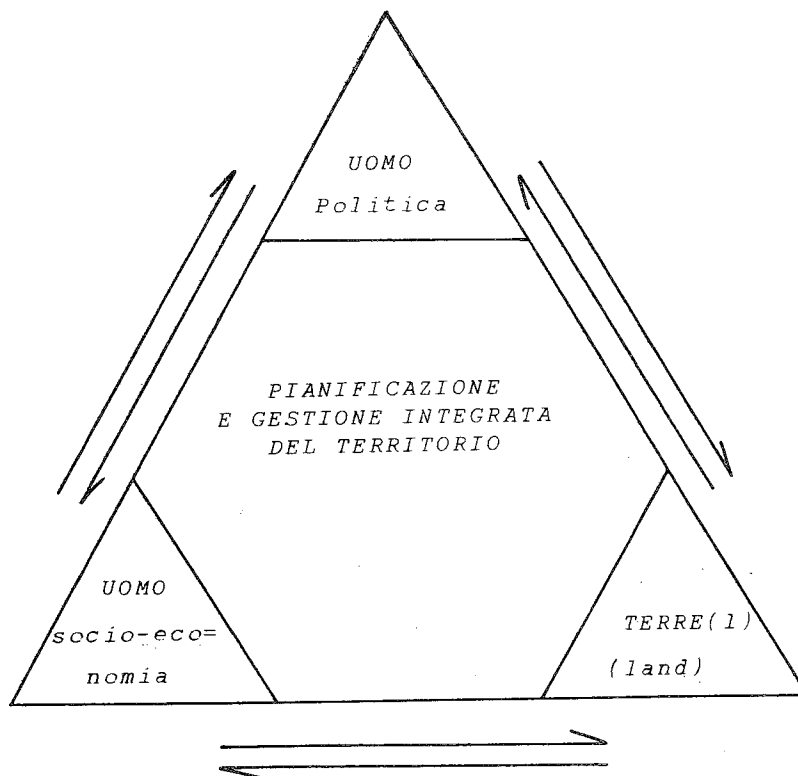
Abbiamo visto che per far scattare il significato di "territorio" è necessario l'intervento dell'uomo che opera "una suddivisione della terra - convenzionalmente politico/amministrativa - in cui si svolgono o pos-

sono essere svolte attività umane". (Treccani, anni diversi; Treccani, 1979).

Il territorio rappresenta (Gottman, 1975) "il legame ideale tra spazio e politica", intendendo che esso viene ad identificarsi con uno spazio sul quale esiste una volontà politica di apportare, mediante la pianificazione, il più confacente assetto territoriale.

1.1.3. Utilizzazione delle terre (land use)

Vink (1975) fornisce questa definizione: "è l'applicazione del controllo umano, in modo relativamente sistematico, sugli elementi chiave esistenti all'interno di ogni ecosistema, al fine di derivarne dei benefici. L'uomo pur essendo una parte inerente all'ecosistema".



(1) SUOLO
CLIMA
GEO-MORFOLOGIA
VEGETAZIONE
UOMO (modificazio=
ne della su=
perficie ter=
restre che in=
fluenzano la po=
tenzialità e l'uso
delle terre)

TERRE

Al fine di conseguire l'obiettivo indicato vi deve essere un flusso continuo di informazioni da un settore all'altro senza che nessuno prevalga sugli altri

Fig. 1.3 - Pianificazione integrata del territorio: rapporti tra suolo, terre e territorio.

stema nel quale vive, in qualche modo si colloca al di fuori del sistema e cerca di modificarlo.

Secondo tale definizione i veri nomadi senza abitazioni fisse non esercitano utilizzazione delle terre. Essi infatti non applicano sistematicamente le loro energie a nessuna porzione della superficie terrestre, ma essi stessi sono una parte naturale di un ecosistema, così come lo sono altri esseri animali viventi”.

1.1.4. Ecosistema

Avendo introdotto nella definizione di utilizzazione delle terre il termine “ecosistema” sarà opportuno cercare di definirlo. Tra le molte definizioni si è scelta quella di Odum (1971): “l’ecosistema è l’unità basilica funzionale con la quale l’uomo deve operare poiché essa include organismi ed ambiente non vivente, ognuno influenzante le proprietà dell’altro e tutti e due necessari per il mantenimento della vita quale noi l’abbiamo sulla terra”.

Si è cercato di sintetizzare l’essenza dell’ecosistema dicendo che esso è uguale a “biocenosi + biotopo”. Con il primo termine si dice che l’oggetto in questione è una comunità vivente mentre il secondo si riferisce ad una precisa delimitazione dello spazio dove tale comunità vive.

Anche nel caso dell’ecosistema si possono mettere in luce i rapporti tra le terre e l’uomo attraverso lo schema della fig. 1.4.

1.1.5. Ambiente

Per la definizione di ambiente si è scelta tra le tante quella proposta dal Forest Service USA (1971): “Per ambiente si intende l’insieme di tutte le condizioni, cir-

costanze ed influenze che circondano ed influenzano lo sviluppo di un organismo o di un gruppo di organismi”.

Secondo la CEE (1976) “per ambiente si intende l’insieme degli elementi che, nella complessità dei loro rapporti, costituiscono la cornice, l’ambito e le condizioni di vita dell’uomo, quali sono o quali vengono avvertite”.

Sarà bene notare a questo punto che ambiente ed ecosistema sono due concetti che si sovrappongono: il primo ha un significato più pratico ed umano, il secondo più scientifico. Si potrebbe dire, d’accordo con il Centre de Recherche Forestière des Laurentides (1972) che “l’ecosistema costituisce un ambiente che può essere delimitato spazialmente e riportato su carta”.

1.1.6. Habitat

Stamp (1961) attribuisce ad habitat il significato di “posto naturale di dimora di una pianta o di un altro organismo. E’ la località dove un organismo può generalmente essere trovato e dove sono presenti tutte le condizioni necessarie per il suo sviluppo e per la sua esistenza così da poter essere anche definito come una nicchia geografica. Gli habitats sono descritti in base ai loro confini geografici o con termini quali ‘boschi ombrosi’, ‘sponde dei corsi d’acqua’, ‘versanti siccitosi dei rilievi’, ecc.”

Il concetto di habitat si sovrappone largamente a quello di stazione avendo il primo un significato più rivolto all’indagine naturalistica mentre per la seconda prevalgono gli aspetti pratici (cfr. capitolo “la stazione forestale”).

1.1.7. Paesaggio

Secondo Kalesnik (1962) è “un complesso di peculiarità possedute da un certo territorio, che lo delimitano e lo distinguono da altri territori sulla superficie del nostro pianeta”. Per Laureti (1979) è “l’aspetto sensibile (percettibile) che assume l’insieme degli elementi naturali ed umani, tra loro variamente correlati, che caratterizzano la struttura di un determinato territorio”.

Il Forest Service USA (1963) precisa che il paesaggio è la “somma totale di caratteristiche che distinguono una certa area della superficie terrestre da un’altra. Queste caratteristiche sono il risultato non soltanto di forze naturali ma anche dell’occupazione da parte dell’uomo e dell’utilizzazione delle terre”.

E’ indubbio che la definizione di paesaggio sia alquanto vaga perché molto concede all’apprezzamento visivo di per se stesso soggettivo. Per superare, almeno in parte questo scoglio, Biasutti (1962) introduce la nozione di “paesaggio geografico” il quale secondo l’autore “è una sintesi astratta dei paesaggi visibili (costituito da ciò che l’occhio può abbracciare in un giro d’orizzonte), in quanto tende a rilevare gli elementi o caratteri che presentano le più frequenti ripetizioni sopra uno spazio più o meno grande, superiore in ogni caso a quello compreso da un solo orizzonte”.

1.2. LINEE DIRETTRICI PER LO STUDIO DEL SUOLO E DELLE TERRE

Ci si potrà forse chiedere a questo punto perché ci siamo soffermati su queste definizioni.

Con lo sviluppo delle scienze ambientali è naturale che si assista ad un considerevole aumento di termini tecnici. Talora le parole usate per indicare concetti

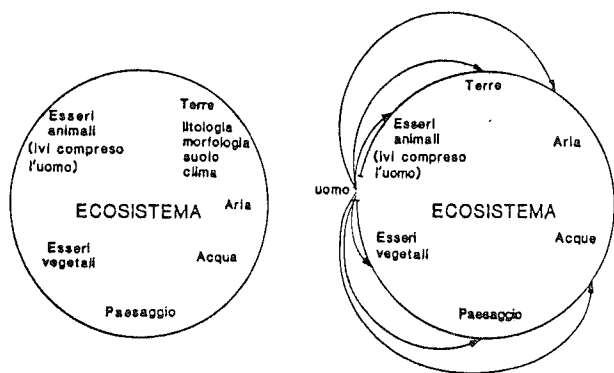


Fig. 1.4 - Rapporti tra suolo, terre, ecosistema e uomo. Queste due visioni si differenziano tra loro perché nella prima l’uomo è una componente della biosfera, mentre nella seconda l’uomo costruisce artificialmente l’antroposfera in cui gli equilibri non sono quasi mai raggiunti. Il 1° disegno è legato alla condizione primitiva dell’uomo, il 2° ad una situazione tecnologicamente progredita (1). Chiaramente si tratterà di trovare un compromesso tra le due alternative.

(1) L’uomo moderno, sia che esprima una sua volontà sia che subisca l’inconscio collettivo, ha sviluppato la tendenza a considerare se stesso al centro degli ecosistemi. Vink (1975) ha fatto osservare che l’uomo è il solo animale capace di uscire in qualche modo dall’ecosistema in cui egli abita e di modificarlo dall’esterno. Seguendo questa linea Postiglione (1982) afferma che l’uomo è parte della natura, non fuori o sopra di essa, per cui l’ambiente non può essere configurato come una relazione esteriore di dominio, essendo un valore interiorizzato della personalità umana.

sono univoche in partenza ma poi acquistano sfumature di significato diverso con il progredire delle conoscenze. Ma è anche possibile il cammino inverso: quello cioè di una parola che ha significato piuttosto ampio che viene successivamente ristretto per far fronte a sovrappiutte esigenze di lessico scientifico.

Inoltre la tendenza moderna verso specializzazioni sempre più spinte può far perdere di vista i rapporti che collegano una scienza con le altre o un oggetto di indagine con altri oggetti. Ci piace qui riportare un passo illuminante dell'opera "Il paesaggio agrario italiano" di Sereni (1976): "Per lo studioso di ogni singola disciplina che abbia viva la conoscenza dell'unitarietà del processo storico, è sempre presente il disagio di una pur necessaria specializzazione della ricerca, che rischia, tuttavia, di frantumare quell'unitarietà in tanti distinti filoni: paralleli, certo, ma per ciò stesso solo all'infinito destinati a ricongiungersi in quel processo unitario".

Se questi rapporti sono sempre necessari, lo sono ancor di più per lo studio delle terre e del suolo, quest'ultimo essendo stato definito come un registratore di tutto quello che è successo e succede sulla superficie terrestre. Ci è apparso opportuno quindi fare un pò di ordine per avere nelle parole dei comodi strumenti e non dei generatori di confusione.

Con lo schema presentato alle fig. 1.5 e 1.6 si è cercato di mettere in chiaro i rapporti esistenti tra suolo, terre, territorio ed ecosistema, così come sono stati precisati i limiti di significato di alcune parole (ambiente, habitat e paesaggio).

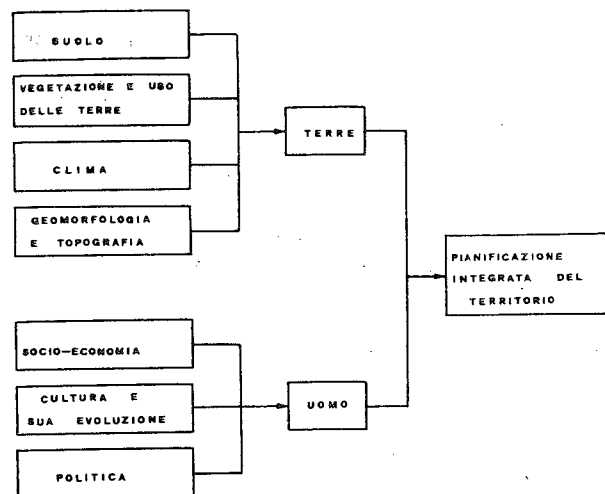


Fig. 1.5 - Elementi base coinvolti nella pianificazione integrata del territorio.

Occorre ricordare che nessuno degli elementi sopra riportati è isolato. E' infatti intrinseco al concetto di terre e di uomo che ogni realtà ambientale ed umana influenzi le altre.

Veniamo adesso a come affrontare lo studio delle terre e del suolo, cercando di non perdere mai di vista i rapporti con le altre discipline e le integrazioni per accedere a sfere di conoscenze più ampie. Lo studio delle realtà e dei fenomeni naturali viene da noi intrapreso necessariamente con la mentalità propria del nostro tempo e della nostra cultura la quale è una eredità del pensiero aristotelico che nella logica vedeva una conoscenza intuitiva ed una deduttiva. Il conflitto tra que-

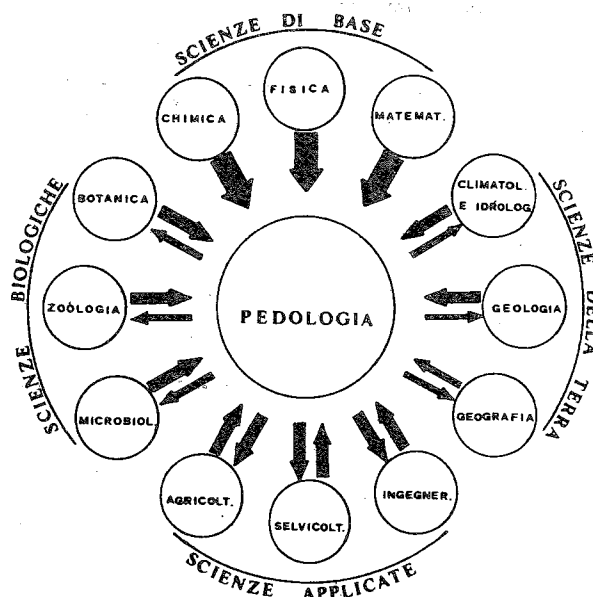


Fig. 1.6 - Relazioni tra pedologia ed alcune altre scienze.

ste due forme di conoscenze non fu da lui completamente risolto ed ora, a distanza di altri 2000 anni possiamo dire di non essere andati molto più avanti. Eppure sarebbe per noi molto importante riuscire ad operare questa sintesi perché la realtà, oggetto del nostro studio è di tipo olistico (1).

Per il rilevamento delle terre e del suolo abbiamo dinanzi a noi due strade:

- metodo che cerca di affrontare i problemi secondo una visione olistica, ovvero secondo l'ipotesi che le terre, di cui il suolo fa parte, sono delle entità totalmente integrate che possono essere studiate soltanto come un tutto;
- metodo analitico e separazionista che non considera le terre come una realtà comprensiva ma piuttosto come qualcosa che si presta a studi indipendenti nei campi della geomorfologia, della pedologia, della botanica, della climatologia, ecc.

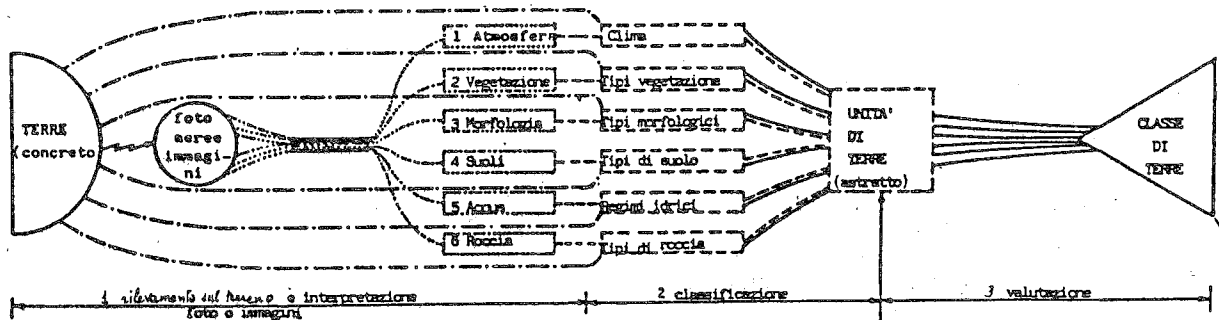
Tra questi due estremi vi è una estesa gamma di metodi intermedi: un rilevamento del suolo studia qualcosa di più che non soltanto il suolo e si avvicina in un certo modo al concetto delle terre e del paesaggio.

Allo scopo di meglio chiarire l'applicazione pratica di questi due tipi di rilevamento si presenta alla fig. 1.7 uno schema di rilevamento olistico e di rilevamento per singoli attributi. In questo schema le terre passano da un concetto concreto ad un concetto astratto. Ciò potrebbe apparire privo di senso, in realtà permette invece l'inserimento della fase di classificazione che pur con il limite di non rappresentare nessuna verità assoluta, come si dirà meglio in seguito, permette però all'uomo di accedere alla fase successiva della valutazione e da questa alla decisione.

Prima di terminare questo capitolo introduttivo si vogliono sottolineare due aspetti: il primo riguarda il significato di interdisciplinarietà, il secondo quello di

(1) Il termine olistico, che è usato in filosofia, indica la tendenza che ha la natura a formare, per evoluzione creativa, dei tutti che sono di più che non la somma delle parti.

A. RILEVAMENTO OLISTICO



B. RILEVAMENTO PER SINGOLI ATTRIBUTI

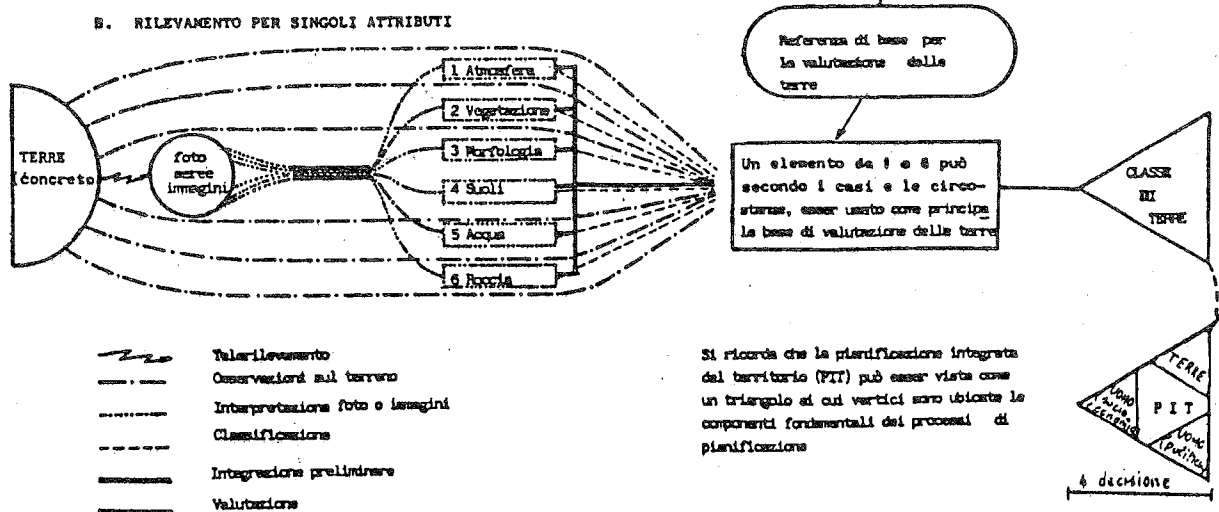


Fig. 1.7 - Confronto tra rilevamento olistico e per singoli attributi in vista della valutazione delle terre e della pianificazione del territorio. (Da Zonneveld, 1972; modificato da Giordano).

generalizzazione.

Se lo studio interdisciplinare è una necessità fuori discussione è però anche vero che occorre cautelarsi contro l'illusione che sia possibile sempre e comunque ricostruire in laboratorio l'unità delle terre partendo da una miriade di dati analitici, raccolti dai tecnici dei diversi settori. Lo studio delle terre e dell'ambiente sarà tanto più attendibile ed efficace quanto più la loro unità sarà stata ricercata dai vari specialisti insieme sul terreno e quanto meno sarà invece stata ottenuta a posteriori per semplice sovrapposizione di documenti prodotti dai singoli specialisti individualmente e senza scambio di idee tra di loro, forse anche in tempi diversi.

Venendo al processo di generalizzazione a cui la nostra mentalità è portata per natura, occorre tenere sempre sotto controllo critico questa attività mentale e cioè ricordarsi come nelle indagini sulle terre, sul suolo e sull'ambiente più in generale, ogni situazione è un caso a sé e come tale va studiato nel suo contesto, le estrapolazioni essendo quasi sempre arbitrarie, soprattutto se non sono state precedute da una opportuna stratificazione (vedi capitolo rilevamento dei suoli). Questo rischio di facili ma erronee generalizzazioni diviene ancor più grave quando si passa ad interpretare i fatti ed a ordinarli secondo una logica presunta.

1.3. LA PEDOLOGIA COME STUDIO DEL SUOLO

1.3.1. Significati dei termini pedologia, edafologia, geologia ed ecologia

La *pedologia*, dal greco *πεδον* = suolo e *λογος* = discorso, è la scienza che studia il suolo inteso come risorsa naturale della superficie terrestre. Tale scienza include lo studio della genesi, delle caratteristiche e della classificazione del suolo nonché della relativa cartografia.

Nei paesi anglosassoni si preferisce a "pedologia" il termine molto più semplice e comprensibile di "scienza del suolo". Però, come fa osservare il SOIL CONSERVATION SERVICE (1951), la parola "scienziato" (scientist) ha in Europa un significato troppo impegnativo per definire chi si occupa di scienza del suolo, per cui la gente coinvolta nello studio del suolo preferisce chiamare se stessa "pedologi".

La pedologia si occupa perciò delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei suoli sia per sé stesse, sia in relazione alla loro gestione per utilizzazioni produttive.

L'Enciclopedia Agraria REDA (1975) indicando la pedologia come "la scienza che studia l'origine, l'evoluzione, la distribuzione e la classificazione dei suoli", fornisce queste ulteriori precisazioni: "inizialmente subordinata ad esigenze ed interessi d'ordine agronomico, la pedologia si è progressivamente sviluppata e differenziata come scienza autonoma anche se permangono numerosissimi collegamenti con materie propedeutiche ed insostituibili ... Una disciplina che utilizza la conoscenza e le metodologie di numerose scienze, a volte tra loro molto lontane, comporta la necessità di specializzazioni e di indirizzi di ricerca, diversi a se-

conda degli interessi e della specifica preparazione di base degli studiosi che ad essa si dedicano”.

La lingua greca ha pure un'altra parola per indicare il suolo da cui prende origine il termine italiano di "edafologia" che Treccani (1970) indica come "scienza del suolo" attribuendo ad essa lo stesso significato di "pedologia".

La distinzione tra pedologia e geologia è più concettuale che distributiva poiché molte formazioni geologiche si trovano esposte alla luce del sole e, d'altro lato, molte formazioni pedologiche sono ricoperte da formazioni geologiche venute a trovarsi superposte al suolo per particolari fenomeni quali il vulcanismo, la coluviazione, la deposizione fluviale, quella eolica ecc.

1.3.2. Alcune definizioni di suoli e relativi commenti

Il *suolo* che ha come sinonimo il "terreno" significa cose diverse a seconda delle differenti persone ad esso interessate. Per un agricoltore il suolo è una porzione più o meno grande di superficie terrestre suscettibile di sfruttamento in vista di una produzione vegetale e/o animale. Per un geologo esso è una serie di strati o di rocce databili ad un determinato periodo dell'esistenza del nostro pianeta. Per un ingegnere il suolo è una roccia o un sedimento dei quali occorre tener conto per le operazioni di movimento terra, di fondazioni e di costruzioni. Per un botanico e per un naturalista costituisce il supporto della vita vegetale ed animale. Per un cavatore di ghiaia esso rappresenta il diaframma da levare per poter iniziare a sfruttare il materiale litoide. Come si può constatare queste definizioni sono troppo soggettive in quanto ognuna esamina solo un aspetto funzionale per un determinato uso e/o interesse da parte dell'uomo.

Per il pedologo che studia il suolo sia come scienza pura, sia come scienza applicata, sotto tutti i suoi aspetti: fisici, chimici, mineralogici, biologici, morfologici, evolutivi, tassonomici e cartografici, la definizione che forse più si adatta al suo concetto di suolo è quella fornita dal SOIL CONSERVATION SERVICE (1975).

"Il suolo è la collezione di corpi naturali sulla superficie della terra, in località modificate o addirittura create dall'uomo usando materiale terroso, contenente materia vivente e facente vivere, o capace di far vivere, piante all'aperto.

Il suo limite superiore è l'aria o l'acqua poco profonda. Ai suoi confini il suolo degrada verso l'acqua profonda, aree rocciose o ghiacciate prive di suolo. Il suo limite inferiore che passa al sottostante non-suolo è forse il più difficile da definire. Il suolo include gli orizzonti vicino alla superficie che differiscono dal materiale roccioso sottostante come risultato delle interazioni, attraverso il tempo, del clima, degli organismi viventi, della roccia madre e della topografia. In quelle rare località dove il suolo contiene sottili orizzonti cementati che sono impermeabili alle radici, il suolo ha uno spessore che arriva al più profondo orizzonte. Più comunemente il suolo passa gradualmente con il suo limite inferiore alla roccia dura o a materiale terroso virtualmente privo di radici, di animali o di segni di altre attività biologiche. Il limite inferiore del suolo, quindi, è normalmente il limite inferiore dell'attività biologica, che in linea di larga massima coincide con la profondità alla quale arrivano comunemente le radici delle piante spontanee perenni. Cionondimeno nel definire le unità cartografiche per i rilevamenti di dettaglio del suolo, devono essere considerati anche

quegli strati più profondi che influenzano il movimento ed il contenuto di acqua ed aria nella parte di suolo dove si trovano le radici".

2. FONDAMENTI DELLA PEDOLOGIA

Nella trattazione del suolo si possono seguire fondamentalmente due strade. Una è quella che identifica i componenti del terreno e poi li aggrega secondo diverse modalità per fornire un quadro unitario di proprietà e di comportamento del corpo naturale "suolo". L'altra strada invece esamina separatamente la parte fisica, chimica ed idrica del suolo.

Noi seguiremo la seconda strada che è più semplice e schematica ma cogliendo tutte le occasioni possibili per integrare tra loro i diversi aspetti. Siamo infatti ben consapevoli che la suddivisione degli argomenti che riguardano il suolo è più una necessità di schematizzazione che non una verità in sé, né potrebbe essere diversamente visto che il suolo è un sistema aperto.

Prima di iniziare a parlare delle caratteristiche fisiche del suolo occorre ricordare che il suolo può considerarsi costituito da tre fasi: solida, liquida e gassosa. La fase solida include una parte inorganica rappresentata da frammenti di roccia, granuli minerali e dai loro prodotti di alterazione, e da una parte organica proveniente dalla decomposizione degli organismi animali e vegetali che vivono in superficie e in profondità nel suolo.

La fase liquida del terreno è sempre l'acqua che, secondo circostanze diverse, può contenere sciolte in essa quantità variabili di sali e di acidi. La fase gassosa è costituita dall'aria la cui composizione è all'incirca uguale a quella dell'aria atmosferica con l'eccezione dell'anidride carbonica che nel suolo ha tassi da 10 a 30 volte superiori.

Alla fig. 2.1 le tre fasi vengono presentate con le loro principali suddivisioni senza tener conto delle loro percentuali in peso o in volume. La composizione

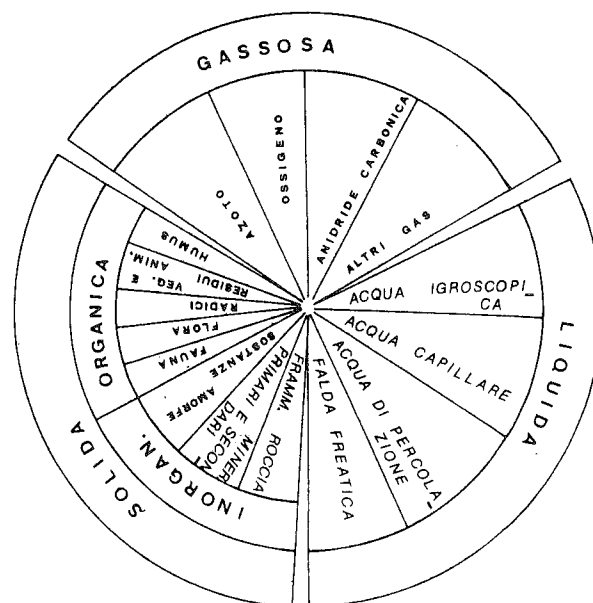


Fig. 2.1 - Il suolo è un sistema composto da tre fasi.

dei diversi suoli è estremamente variabile come risulta dalla fig. 2.2 nella quale le linee che separano le tre fasi sono ondulate per indicare appunto la loro estrema variabilità percentuale.

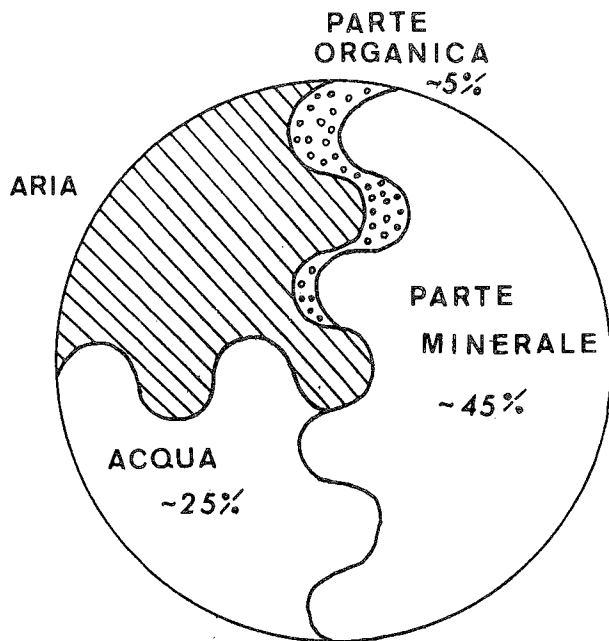


Fig. 2.2 - Possibile composizione di un suolo forestale.

I processi di alterazione possono essere intesi come forme di nuovi equilibri raggiunti dai materiali quando vengono ad essere modificate le condizioni ambientali. Nel suolo sarebbe limitativo vedere soltanto un'alterazione fisica legata alla parte minerale, in effetti si tratta di una integrazione completa tra parte organica e parte minerale.

A mano a mano che si forma il suolo questo interagisce con la parte minerale e con quella organica secondo modalità che sono proprie di quella porzione di superficie terrestre dove il processo di formazione del suolo ha luogo. In certi ambienti la presenza di suolo favorisce l'alterazione della roccia in quanto una certa quantità di acqua viene immagazzinata nel terreno favorendo così quei processi di alterazione per i quali l'acqua è appunto necessaria.

Uno spessore troppo forte di suolo può però far perdere il contatto con la roccia e quindi rallentare i processi.

2.1. COSTITUENTI SOLIDI DEL SUOLO

Come abbiamo detto il suolo prende origine dalla roccia madre e dalla materia organica.

La prima, chiamata "parent material" dai pedologi anglosassoni è definita dal Soil Conservation Service come: "il materiale non formante una massa coerente unica, minerale o organico da cui si sviluppa il solum (1)".

Esso include l'orizzonte C ed altri materiali sopra il C da cui il suolo si sviluppa". A sua volta la roccia madre deriva dalla roccia non alterata, la quale è formata dai diversi minerali. Alla fig. 2.3 è rappresentato ciò che si intende per "solum", per "C" e per roccia inalterata.

La parte organica è invece costituita dai resti vegetali ed animali che giungono o già si trovano più o

meno alterati nel suolo. Questi resti vengono poi trasformati ad opera dei microorganismi originando quanto si è soliti chiamare "humus".

Per illustrare la parte minerale partiremo dai minerali, passando alle rocce, alla roccia madre ed infine al suolo. Per la parte organica si darà uno sguardo d'insieme sul ciclo della materia organica. Si tratta certamente di un percorso molto lungo e complesso che noi invece restringeremo a poche pagine, rimandando ad altri capitoli o paragrafi del presente libro oppure a testi specializzati.

(1) Il "solum" può essere definito (cfr. Soil Conservation Service 1951) semplicemente come il suolo genetico sviluppato dalle forze dei fattori che costruiscono il suolo. Come si dirà meglio in seguito, nei suoli normali il "solum" comprende gli orizzonti A e B oppure la parte del profilo che sta sopra alla roccia madre. Questo concetto è molto semplice ma origina talora delle delusioni; soprattutto nei suoli intrazonali, ad esempio in quelli alluvionali dove non essendo facile definire fin dove arriva il "solum" questo lo si fa arrivare arbitrariamente al limite a cui arrivano le radici oppure a due metri di profondità.

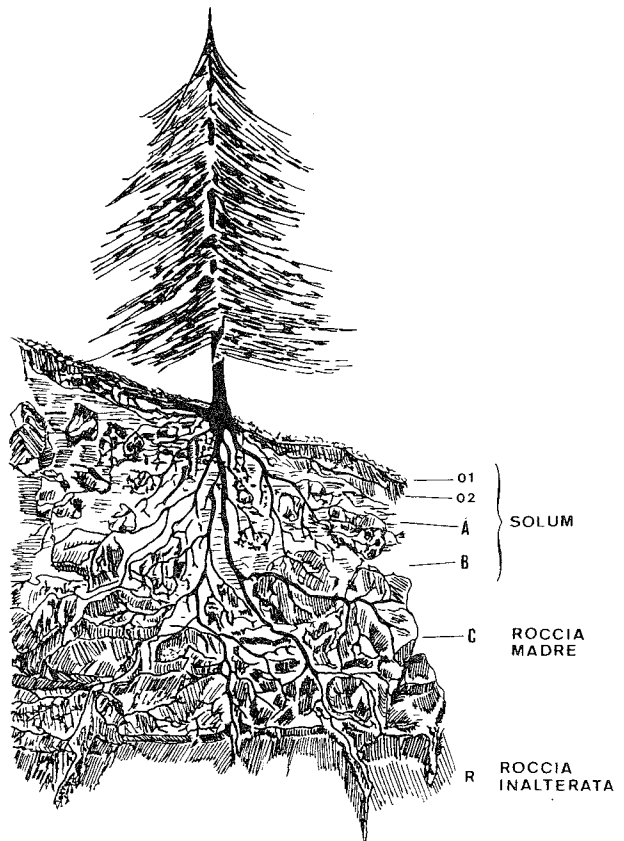


Fig. 2.3 - Relazioni tra roccia inalterata, roccia madre e solum.

2.1.1. Minerali e rocce presenti nel suolo

La crosta della superficie terrestre è composta di oltre 90 elementi ma soltanto 14 formano la maggior parte dei suoli e dei materiali rocciosi (vedi tav. 2.1).

Gli elementi presenti nella crosta della terra combinandosi variamente tra loro originano i minerali i quali, a seconda della loro struttura fisico-ottica, possono presentarsi in forma cristallina (ad es. l'ortocla-

sio), in forma amorfa o vetrosa (ad es. le ossidiane che pur avendo l'aspetto esterno dei corpi solidi, hanno in realtà un reticolo disordinato, proprio delle particelle dei liquidi). Un ultimo gruppo è infine quello dei minerali argillosi che presentano una forma colloidale nella quale i cristalli sono così finemente suddivisi da dar luogo, quando immessi in un mezzo disperdente, non ad una soluzione ma ad una dispersione. Questo fenomeno è dovuto alla differenza di potenziale elettrico che si determina tra le fasi della dispersione. L'importanza dei minerali argillosi nel suolo è grandissima, come sarà illustrato nel capitolo della pedogenesi.

Tav. 2.1 - Elementi comunemente presenti nei minerali e nei suoli

Ossigeno	O	Alluminio	Al
Idrogeno	H	Ferro	Fe
Carbonio	C	Manganese	Mn
Fosforo	P	Calcio	Ca
Zolfo	S	Magnesio	Mg
Cloro	Cl	Potassio	K
Silice	Si	Sodio	Na

Una classificazione dei minerali da un punto di vista della loro composizione chimica può essere sintetizzata nella tav. 2.2.

Alcuni dei minerali esistenti nelle rocce possono rimanere inalterati nei suoli (minerali primari). Essi sono costituiti per lo più da silicati particolarmente resistenti all'alterazione. Altri minerali molto interessanti per la pedogenesi (vedi capitolo pedogenesi) sono quelli di neoformazione (minerali secondari), rappresentati soprattutto dal calcare e dalla maggior parte della grande famiglia delle argille. Queste ultime hanno perlopiù un reticolo cristallino ma alcune di esse ne sono sprovviste (allofane ed ossidi di ferro ed alluminio).

Per la descrizione delle principali rocce si rimanda alla descrizione sintetica riportata nella "Guida alla descrizione del suolo" di Sanesi et al. (1977).

2.1.2. Materia organica

In assenza totale di materia organica, come succede nel vero deserto sabbioso, non esiste un suolo ma solo un sedimento non consolidato. Si intuisce quindi l'importanza enorme che esercita la materia organica nel suolo se, infatti, è necessaria la sua presenza per dare corpo alla nozione di suolo. La materia organica a sua volta deriva da una trasformazione per effetto dell'energia sviluppata dalla luce solare, di sostanze minerali variamente combinate.

Il ciclo della materia organica in natura è assai complesso perché esso è formato da un insieme di vari cicli più semplici. In prima posizione vi è il ciclo del carbonio che vede l'utilizzazione da parte della vegetazione dell'energia solare e della CO₂ presente nell'atmosfera. Concorrono inoltre a formare materia organica il ciclo dell'ossigeno, dell'acqua (cfr. capitolo suolo-acqua-pianta) dell'azoto, dello zolfo, del fosfato e infine dei cationi necessari alla vita vegetale e dei metalli pesanti.

Il risultato naturale di questo concatenarsi e susseguirsi di cicli è l'insieme dei residui organici vegetali e/o animali presenti sopra o dentro il terreno. Essi ven-

Tav. 2.2 - Ripartizione chimica dei principali minerali presenti sulla superficie terrestre.

(1) La loro struttura è un tetraedro formato da un atomo di silicio circondato da quattro atomi di ossigeno. La suddivisione in nesosilicati, sorosilicati, inosilicati, fillosilicati e tectosilicati avviene in base al modo in cui i tetraedri si concatenano tra loro.

ALOIDI		alite, silvite, carnallite	
SOLFURI		pirite, marcassite	
OSSIDI	del silicio	quarzo	
	del ferro	ematite, goethite, limonite, lepidocrocite, magnetite	
	dell'alluminio	diaspore, idrargillite, gibbsite, allumogelio	
	del titanio	ilmeneite, rutilo, anatasio	
CARBONATI		calcite, aragonite, magnesite, dolomite, siderite, soda	
SOLFATI		gesso, anidrite	
FOSFATI		apatite, vivianite, collofanite	
SILICATI ¹	nesosilicati	olivina, zircone, titanite	
	sorosilicati	wallastonite, torwalina, epidoti	
	inosilicati	pirosseni	sistema rombico: enstatite, bronzite, iperstene sistema monoclinico: diopside, augite, diallagio
		anfibioli	orneblenda
	fillosilicati	niche	muscovite, biotite
		vermiculiti	
		cloriti	amesite, antigirite, pirofillite, talco, crisotilo, glauconite
		minerali argillosi	gruppo caolino: caolinite, dickite, nacrite, halloysite gruppo montmorillonite: nontronite, saponite gruppo illite o idromiche gruppo allofane
		tectosilicati	
		feldspati	ortoclasio
		plagioclasti (albite, oligoclasio, andesite, labradorite, bitovnite, anortite)	
	feldspatoidi	leucite, nefelina	
	zeoliti	natrolite, stilbite, cabasite	

gono trasformati in un materiale più o meno eterogeneo (1), con velocità ed intensità variabili a seconda del clima e del tipo di gestione antropica delle terre.

Pertanto sul, o nel, suolo si troverà della sostanza organica fresca (foglie, rami, ramoscelli, escrementi di animali, ecc.); di questa saranno contemporaneamente presenti anche i prodotti di alterazione. Ad un certo punto non sarà più possibile riconoscere i materiali di partenza ma ci si troverà di fronte ad un nuovo composto, generalmente di colore scuro, di odore caratteristico e pullulante di vita microbica: l'*humus*.

Si può allora sintetizzare questo ciclo dicendo che i residui vegetali servono come continuo rifornimento per la formazione dell'*humus*, il quale a sua volta viene continuamente utilizzato dalle piante per la loro crescita.

L'*humus* è ricco di sostanze colloidali ed è soprattutto per questo motivo che esso è importante per caratterizzare le proprietà fisiche dei suoli.

(1) L'eterogeneità dell'*humus* è di tipo relativo. Considerando infatti l'estrema variabilità di residui vegetali ed animali di partenza, si sarebbe tentati di definire l'*humus* come una sostanza di carattere prevalentemente omogeneo.

2.2. PRINCIPALI PROPRIETÀ FISICHE DEL SUOLO

2.2.1. Tessitura

La tessitura, o composizione granulometrica, è definita in base alla proporzione degli elementi della "terra fine" del suolo, raggruppati in classi diametriche, dopo rottura degli aggregati. Con la dicitura "terra fine" si intendono tutti gli elementi di diametro inferiore ai 2 mm.

Il limite di 2μ per l'argilla fu stabilito osservando che le particelle di 0 uguale o inferiore a questa dimensione presentano un moto browniano quando si trovano in sospensione acquosa.

Le classi diametriche secondo USDA sono le seguenti:

— argille	< 2 μ	
— limo	2-50 μ	
— sabbia	50-100 μ	molto fine
	100-250 μ	fine
	250-500 μ	media
	500-1000 μ	grossolana
	1000-2000 μ	molto grossolana

E' da notare che per il sistema internazionale il limo va da 2 a 20 μ e la sabbia fine da 20 a 200 μ .

Il concetto di tessitura riguarda la proporzione tra le diverse classi granulometriche in quanto è quasi impossibile che esistano dei suoli costituiti per il 100% da una sola classe granulometrica. Il triangolo della tessitura presentato alla fig. 2.4 fornisce i nomi delle diverse classi di tessitura.

Queste classi corrispondono a dei concetti pratici elaborati già da tempo sulla base dell'esperienza degli agricoltori. Esiste una parte centrale del triangolo per la quale si può dire che i suoli che vi rientrano hanno una tessitura favorevole (1).

Per mettere bene in evidenza questo aspetto si fa riferimento al termine "suolo franco o equilibrato" che corrisponde al "loam" inglese (2). Una volta venivano da noi definiti come "suoli di medio impasto".

Alla tav. 2.3 vengono indicate le sigle e le diciture in italiano ed in inglese delle classi tessiturali.

Tav. 2.3 - Sigle e diciture delle classi di tessitura (italiano ed inglese)

CLASSI DI TESSITURA			
ITALIANO		INGLESE	
SIGLA	DICITURA	SIGLA	DICITURA
S	SABBIOSO	S	SAND
SF	SABBIOSO - FRANCO	LS	LOAMY SAND
FS	FRANCO - SABBIOSO	SL	SANDY LOAM
F	FRANCO	L	LOAM
FSA	FRANCO - SABBIOSO - ARGILLOSO	SL	SANDY - CLAY - LOAM
FA	FRANCO - ARGILLOSO	CL	CLAY - LOAM
FL	FRANCO - LIMOSO	SIL	SILTY - LOAM
L	LIMOSO	SI	SILT
FLA	FRANCO - LIMOSO - ARGILLOSO	SILCL	SILTY - CLAY - LOAM
AS	ARGILLOSO - SABBIOSO	SC	SANDY - CLAY
AL	ARGILLOSO - LIMOSO	SIC	SILTY - CLAY
A	ARGILLOSO	C	CLAY

SUOLI SABBIOSI - SUOLI A TESSITURA GROSSOLANA

Suoli a tessitura moderatamente grossolana
Suoli a tessitura media

SUOLI FRANCHI

Suoli a tessitura moderat. fine

SUOLI ARGILLOSI - SUOLI A TESSITURA FINE

FS
FL
FA
FSA
FL
AS
AL
A

- | | |
|-------------------|-----------------------------|
| 1 Sabbioso | Franco sabbioso argilloso 7 |
| 2 Sabbioso franco | Franco argilloso 8 |
| 3 Limoso | Franco limoso argilloso 9 |
| 4 Franco sabbioso | Argilloso sabbioso 10 |
| 5 Franco | Argilloso limoso 11 |
| 6 Franco limoso | Argilloso 12 |

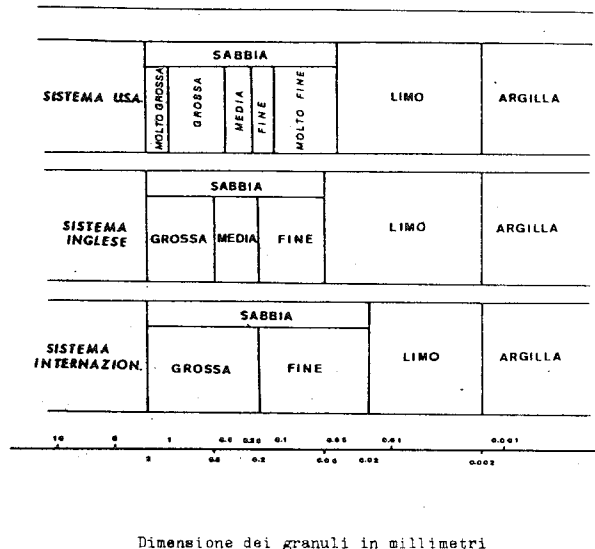
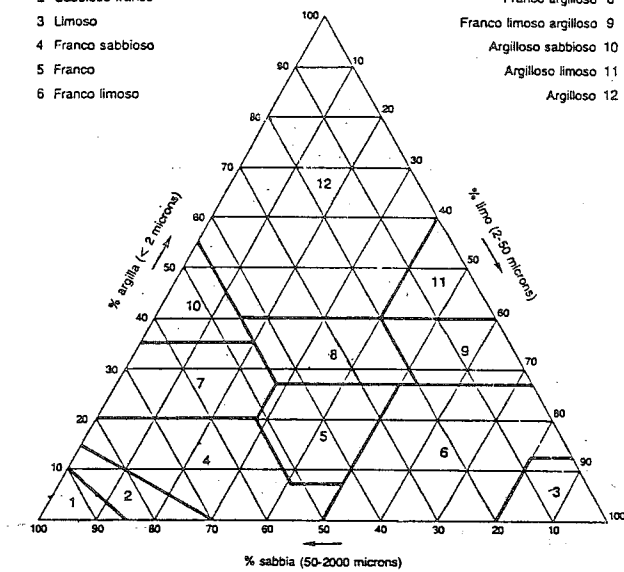


Fig. 2.4 - Triangolo della tessitura e corrispondenza delle classi nei diversi sistemi.

L'importanza pratica della tessitura è grandissima in quanto tutte le proprietà funzionali del suolo (aerazione, regime idrico del suolo, permeabilità, complesso assorbente, ecc.) dipendono strettamente dalla tessitura. Pertanto, unitamente alla struttura (vedi paragrafo 2.2) la tessitura è il fatto chiave della fertilità.

La tessitura viene determinata in laboratorio sia per sedimentazione sia per densitometria. Con i setacci si può separare molto bene la ghiaia dalla terra fine e le diverse frazioni della sabbia ma non è possibile separare il limo dall'argilla. Queste due ultime componenti, nel caso di impiego di setacci, dovranno essere date insieme.

Risulta evidente che questo modo di analizzare la tessitura non entra nel merito della intrinseca costituzione mineralogica delle particelle. Se questo può risultare di secondaria importanza per la sabbia ed il limo non così è invece per l'argilla, esistendo infatti differenze fondamentali di comportamento tra un'argilla caolinittica ed una montmorillonittica.

La valutazione della tessitura viene comunemente eseguita anche in campagna manipolando tra le dita la terra inumidita e rilevando sensazioni caratteristiche di plasticità, di adesività e di smerigliatura (cfr. Sanesi, 1979). Ilaco (1981) propone un metodo di campagna abbastanza interessante. Formare una palla di circa 2.5 cm partendo da una quantità di terra fine pari, all'incirca, ad un cucchiaino, aggiungere acqua a poco a poco fino a quando, raggiunto il punto di adesività, la palla inizia ad aderire alla mano. A questo punto il modo con cui la palla di suolo può essere modificata a mano è indicativo della tessitura del suolo:

- sabbia
 - il suolo rimane sciolto ed a granuli separati. Con esso si può formare soltanto una piramide.
- sabbioso franco
 - il suolo contiene abbastanza limo ed argilla da divenire in qualche modo coesivo e può ricevere la forma di una palla che può facilmente dividersi.
- franco sabbioso
 - come per il sabbioso ma può assumere la forma di un corto cilindro.
- franco
 - come per il franco sabbioso si può formare un cilindro lungo fino a 15 cm che si spezza quando viene piegato.
- franco argilloso
 - come per il franco, il cilindro può essere piegato ad U ma non oltre.
- argilloso (leggero)
 - il cilindro di suolo può essere piegato fino a formare un anello, potendo però presentare fessure radiali.
- argilloso (pesante)
 - il cilindro di suolo, piegato ad anello, non presenta fessure.

Alla fig. 2.5 sono illustrate queste diverse prove manuali.

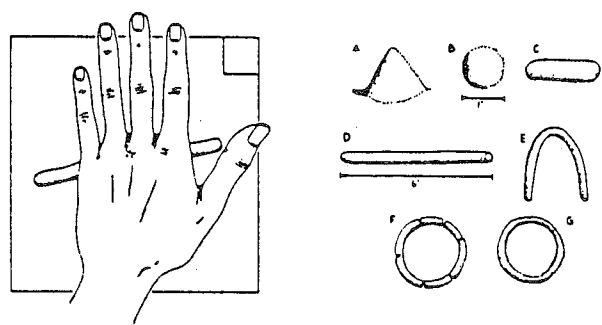


Fig. 2.5 - Test manuale per stimare le classi di tessitura.

I seguenti possono essere ulteriori criteri diagnostici:

- la terra appartenente a suoli franchi e a quelli limosi quando si secca produce polvere soffiandoci sopra mentre questo non succede con i suoli argillosi.
- la terra di un suolo franco quando inumidita procura alle dita la sensazione di saponosità e di minore o maggiore plasticità, quando viene sfregata tra le dita fino ad essiccarsi lascia polvere sulle dita a

differenza dell'argilla che non la lascia.

- l'argilla umida quando si rileva in campagna con la trivella presenta facce lucide mentre un suolo franco non ha tale aspetto.

(1) L'aggettivo "favorevole" è qui utilizzato con un significato relativo. E' chiaro infatti che con una tessitura sabbiosa il suolo è di facile lavorabilità ma trattiene poco l'acqua, l'opposto si verifica invece per i suoli argillosi. Pertanto né suoli sabbiosi né quelli argillosi hanno tessitura "favorevole".

(2) Va notato che la scuola francese ha la tendenza a chiamare "suoli a tessitura limosa" quelli che ricadono in questa area e "suoli a tessitura limosa fine" quelli che appartengono invece all'areale del limo. Questa abitudine non appare molto felice perché ingenera facili confusioni, tuttavia Duchaufour (1984) parla di "tessitura equilibrata o franca".

2.2.2. Aggregazione e struttura

2.2.2.1. Definizioni

La struttura del suolo si riferisce al modo con cui le particelle primarie di suolo (sabbia, limo ed argilla) si aggregano tra loro in particelle composte (aggregati) le quali sono separate dalle particelle composte adiacenti per mezzo di superfici di rottura. Un aggregato di suolo viene chiamato anche "ped" e viene definito come l'unità minima che può essere chiamata "suolo". Perché un "ped" sia tale, esso deve essere stato formato da processi naturali. Una zolla, artificialmente formata da lavorazioni del suolo, non è un "ped".

Quando non è osservabile l'aggregazione delle particelle o una sistemazione dei "ped" secondo un ordine definito si dice che il suolo è senza struttura. Due casi particolari di assenza di struttura sono:

- suolo sciolto: il suolo è formato da singoli granuli separati;
- suolo massivo: quando le sostanze colloidali, ivi compresa l'argilla, tendono a riempire gli spazi vuoti.

Si tratta nel primo caso di una scarsità di sostanze colloidali mentre la seconda situazione si verifica frequentemente in presenza di cementi colloidali poco efficaci, ossia scarsamente dotati di cationi flocculanti.

Una definizione di struttura che al tempo stesso sottolinea l'importanza di questa caratteristica è quella formulata da Sequi (1978) "i rapporti tra aria, acqua e fase solida non sono altro che la definizione di struttura del terreno da un punto di vista funzionale".

2.2.2.2. Importanza

Come si è potuto comprendere dalla definizione, la nozione di struttura completa quella di tessitura e pertanto non è sempre facile separare l'influenza dell'una e dell'altra sopra le qualità del suolo fondamentali per lo sviluppo delle piante:

- areazione del suolo;
- regimi di umidità del suolo;
- permeabilità e conducibilità idraulica;
- crescita delle radici;
- attività biologica;
- lisciviazione dei suoli;
- resistenza all'erosione dei suoli.

2.2.2.3. Genesi

Ciò che origina la struttura sono le sostanze col-

loidali che fundamentalmente appartengono ai seguenti tre tipi:

- argille;
- ossidi di ferro, alluminio e manganese;
- materia organica colloidale (incluse le gomme microbiche).

Varie teorie esistono sul come avviene l'aggregazione delle particelle; quella piú comunemente accettata è forse la seguente: le molecole dipolari dell'acqua possono attaccarsi alle particelle colloidali che, come ben si sa, sono caricate elettricamente. Questo legame viene poi completato dalla presenza di cationi. Le molecole d'acqua sono trattenute strettamente e, quando l'acqua evapora dal suolo, la lunghezza di ogni legame diventa piú corta ed il legame stesso diventa piú forte e di conseguenza le particelle colloidali vengono vieppiú forzate a stare insieme. Continuando a perdere acqua i colloidali si avvicinano ulteriormente fino a cementarsi inglobando anche elementi della frazione minerale inerte, ossia quella frazione priva di cariche elettriche (fundamentalmente sabbia e limo ma anche ghiaia e ciottoli di piccole dimensioni). Si viene quindi a formare ciò che nel paragrafo 2.2.2.1 è stato definito un "aggregato".

Si può allora dire che l'acqua agendo sopra i colloidali costituisce la maggior forza che provoca il processo di aggregazione del suolo mentre spetta alla parte colloidale essere l'agente legante finale. Va inoltre aggiunto che la formazione delle unità strutturali è favorita da un doppio processo: da un lato la cementazione operata sulle particelle piú grossolane e dall'altro la flocculazione dei colloidali favorita dai cationi.

Cicli ripetuti di inumidimento e secchezza del suolo favoriscono i processi che portano alla formazione della struttura, occorrono però due condizioni:

- il suolo sulle facce dei peds non deve disperdersi durante il riiumidimento o la reidratazione;
- il colloide deve essere capace di tenere insieme le particelle elementari dentro al ped quando il suolo diventa umido.

2.2.2.4. Principali cementi nel suolo

— Argilla

L'argilla da sola (o legata agli ossidi di Fe ed Al) può dare origine ad una struttura per effetto del ritiro e fessurazione che si verificano in periodo secco. Tali aggregati non sono però, di solito, troppo stabili e tendono a scomparire in periodo umido. I cementi umici invece sono assai piú stabili.

— Composti umici

Essi agiscono insieme all'argilla formando i "complessi argillo-umici". I cementi umici sono tanto piú efficienti (stabili) quanto piú gli acidi umici sono polimerizzati. I complessi argillo-umici costituiscono un cemento, generalmente molto stabile e duraturo caratteristico degli aggregati elementari di dimensione < 1mm. Se l'attività biologica è intensa i cementi umici possono riunire tra loro questi aggregati elementari formando degli edifici piú complessi e ben areati (struttura spugnosa).

— Ossidi di Fe⁺⁺⁺ ed Al⁺⁺⁺

In questo caso occorre tenere separate tre forme diverse:

a) Forme legate al complesso argillo-umico

Gli ioni alluminio e ferro, notevolmente pesanti, flocculano le micelle argillose saturandone le cariche negative. Quando il ferro ferrico e l'alluminio

sono molti abbondanti nel complesso argillo-umico, si formano degli aggregati stabili, anche in ambiente acido e povero di basi.

b) Forme colloidali libere

Questa forma si manifesta secondo una struttura pellicolare che cementa i granuli di sabbia, dando origine a una struttura concrezionata poco dura.

c) Forma cristallina

Talora le forme legate al complesso argillo-umico ed alle forme colloidali libere sono allo stato cristallino e costituiscono un cemento indurito che forma un rivestimento attorno ai grani. Queste concrezioni possono manifestarsi come corpi isolati oppure come una massa continua (come ad esempio nel caso di certi orizzonti spodici in cui gli ossidi di ferro cristallizzano in goethite). Si verifica un indurimento come quello descritto quando gli idrossidi sono quantitativamente piú abbondanti rispetto ai composti organici.

2.2.2.5. Ruolo del carbonato di calcio

Abbiamo visto che la stabilità di un aggregato risulta accentuata in presenza di ioni calcio. Questi si trovano in quei terreni ricchi di carbonato di calcio nei quali una parte è stata sciolta a bicarbonato e da questo per insolubilizzazione si è avuta una precipitazione di calcare fine. Lo ione calcio gioca due ruoli fondamentali:

- combinandosi con l'humus forma delle pellicole attorno ad aggregati di dimensioni anche notevoli (ad esempio nei rendzina);
- cristallizzando in calcite ed apatite può originare delle concrezioni com'è tipico nei climi temperati, oppure dei crostoni in ambiente steppico.

2.2.2.6. Descrizione dei tipi principali di struttura

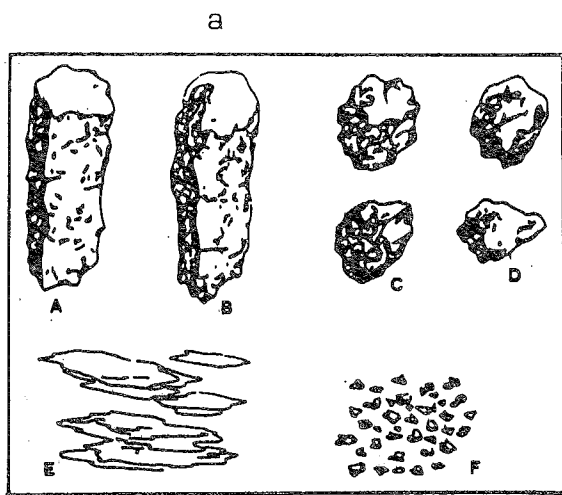
Tessitura, sostanze colloidali, clima, vegetazione ed attività biologica interagendo variamente tra di loro possono creare tipi di struttura diversi nel suolo. Alla tav. 2.4 sono illustrate, secondo Duchaufour (1970) le principali tipologie di strutture distinte in base alla loro origine.

Alla fig. 2.6 sono presentati invece i fondamentali tipi fisionomici di strutture naturali che non vanno confusi con quelli artificiali dovute alla lavorazione del suolo. In quest'ultimo caso si parlerà di zolle (clods in inglese, mottes in francese).

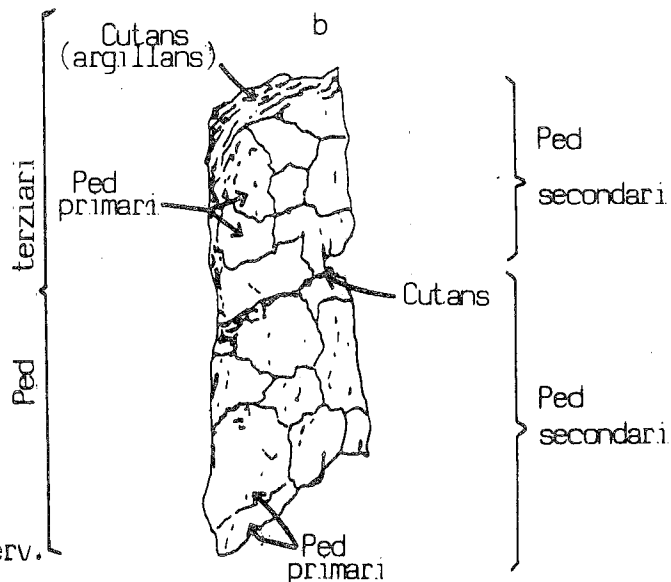
Se i colloidali sono allo stato flocculato si formano delle specie di ponti favorendo così la struttura grumosa

Tav. 2.4 - Ripartizione dei principali tipi strutturali del suolo in base alla loro genesi.

	STRUTTURE		
	CONSTRUITE	DERIVANTI DA FRAMMENTAZIONE	DERIVANTI DA PRECIPITAZIONE
PRINCIPALI MECCANISMI DI FORMAZIONE	Attività biologica con prevalenza di acidi umici	Fessurazione di massa argillo-limosa. Scarsa presenza di cementi umici.	Fenomeni fisico-chimici nei quali domina il ruolo dei sesquiossidi.
FORME PREVALENTI	Grumosa Granulare	Poliedrica Prismatica Lanellare	Concrezioni isolate Massivo (ortstein)
STABILITÀ	Buona	Talora è precaria	Sovente irreversibile quando aumenta il grado di cristallinità dei sesquiossidi.



Fonte: Soil Cons.Serv. (1951)



Fonte: Brewer (1976)

Fig. 2.6 - Tipi fondamentali di struttura del suolo (a) e gerarchia dei ped (b). A - prismatica e B - colonnare: tipiche dell'orizzonte B di alcuni Alfisuoli a tendenza idromorfa. C - poliedrica angolare: tipica dell'orizzonte B della terra rossa. D - poliedrica subangolare: tipica dell'orizzonte cambico di numerosi Inceptisuoli. E - laminare: tipica dell'orizzonte E di alcuni Alfisuoli. F - grumosa: tipica dell'epipedon mollico di alcuni Mollisuoli.

(tipica ad esempio dell'epipedon dei Rendolls), se sono allo stato disperso si avrà una struttura massiva con granuli immersi e cementati separatamente in una matrice (tipica ad esempio dell'orizzonte spodico degli Spodosols).

2.2.2.7. Instabilità della struttura

Le principali cause della instabilità strutturale possono essere l'eccessiva acidità del terreno, oppure l'eccesso di ioni sodio presenti nel suolo e le lavorazioni ripetute nel suolo.

— Eccesso di acidità

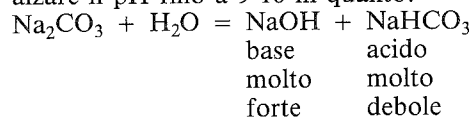
Partendo da una condizione della soluzione circolante nel suolo non molto favorevole alla formazione degli aggregati, si potranno avere due situazioni base tra loro assai diverse. Nel caso di una buona attività biologica ed in presenza di poca materia organica solubile si avrà uno stato di flocculazione diffuso dovuto a delle micelle abbastanza stabili costituite da argilla, humus e da ioni ferro ed alluminio. Se viceversa l'attività biologica è scarsa con presenza di abbondante materia organica solubile allora l'argilla sarà dispersa e separata dall'humus mentre gli ioni Fe^{+++} ed Al^{+++} saranno complessati e lisciviati. Questi meccanismi, messi in luce da Duchaufour (1970) vengono riassunti nella fig. 2.7.

— Eccesso di ione Na^+

Si verifica frequentemente in zone aride sia nel Nord Africa che nel Medio Oriente. Da questi ambienti fin tanto che il terreno è ben provvisto di sali il complesso assorbente è saturato da quei cationi che precedono il sodio nella scala elettrochimica (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , ecc.). Ne risulta una buona stabilità strutturale come si verifica, ad esempio, nei solonchaks la cui capacità di scambio è per lo più saturata da cationi Ca^{++} e K^+ provenienti da solfati, nitrati e talora carbonati. Se viceversa nel complesso di scambio prevale il sodio ((15%), allora l'argilla si defloccula e la struttura si distrugge. Il sodio in parte può dissociarsi dai colloidi e formare con la

CO_2 dell'aria carbonato di sodio:

argilla $Na_2 + CO_2 + H_2O = argilla H_2 + Na_2CO_3$
 il carbonato di sodio ha come effetto quello di far alzare il pH fino a 9-10 in quanto:



la base molto forte è completamente dissociata e l'anione OH fa innalzare il pH contribuendo così alla distruzione della struttura. Va anche notato che in presenza di soda la materia organica si idrolizza dando un liquido scuro senza struttura (umato di sodio).

2.2.2.8. Influenza delle lavorazioni sulla struttura

Per un semplice fatto meccanico la lavorazione ripetuta del suolo distrugge la struttura. Gli ultimi tempi hanno visto una sempre maggior diffusione di pratiche agricole miranti all'eliminazione delle erbe infestanti ed alla rottura dei pori capillari del suolo mediante fresature ripetute. E' il caso della maggior parte dei vigneti collinari italiani. L'effetto delle fresature è nefasto soprattutto sui suoli limosi o sabbiosi fin dove essendo scarse le sostanze colloidali le lavorazioni non fanno che rendere più problematico il costituirsi di una struttura. Si assiste allora ad una vera riduzione in polvere della superficie del suolo che diviene facile preda dell'erosione idrica per i fenomeni che saranno spiegati al paragrafo 3.2.6.1.2

2.2.2.9. Dimensioni della struttura

Ogni tipo di struttura fa riferimento ad una gamma dimensionale che è propria di quella struttura (vedi tav. 2.5 e fig. 2.8).

2.2.2.10. Microstruttura

Essa può essere osservata e definita al microscopio su sezioni sottili ottenute per consolidamento del suolo con resine che induriscono all'aria. I tipi di microstruttura sono classificati a seconda dell'organizzazione

Tav. 2.5 - Dimensione e forma degli aggregati del suolo.

Dimensione	Forma e disposizione degli aggregati e dei frammenti				
	A forma di lamina, con una dimensione (la verticale) piccola e molto inferiore alle altre due; disposizione intorno ad un piano orizzontale, facce quasi sempre orizzontali.	A forma di prisma, con due dimensioni (quelle orizzontali) piccole e di molto inferiori a quella verticale; disposizione intorno ad una linea verticale; facce verticali ben definite. Vertici angolari. **	A forma di poliedro o di sferoide, con 3 dimensioni di uguale ordine di grandezza, disposte intorno ad un punto		Sferoidi o poliedri con superfici piane e curve che non si raccordano, o solo debolmente, alle facce dei pedis circostanti.
	Lamellare ¹ [1]	Prismatica* [2]	Poliedrica angolare ^{2b} [3]	Poliedrica sub angolare* [4]	Granulare o Grumosa ^{3*} [5]
Fine [1]	Lamellare fine: < 2 mm [11]	Prismatica fine: < 20 mm [12]	Poliedrica angolare fine: < 10 mm [13]	Poliedrica sub angolare fine: < 10 mm [14]	Granulare fine: < 2 mm [15]
Media [2]	Lamellare media: fra 2 e 5 mm [21]	Prismatica media: da 20 a 50 mm [22]	Poliedrica angolare media: da 10 a 20 mm [23]	Poliedrica sub angolare media: fra 10 e 20 mm [24]	Granulare media: fra 2 e 5 mm [25]
Grande [3]	Lamellare grossolana: fra 5 e 10 mm [31]	Prismatica grossolana: fra 50 e 100 mm [32]	Poliedrica ang. grossol. fra 20 e 50 mm [33]	Poliedr. sub angol. grossol.: fra 20 e 50 mm [34]	Granulare grossolana: fra 5 e 10 mm [35]
Molto grande [4]	Lamellare molto grossolana: > 10 mm [41]	Prismatica grossolana: > 100 mm [42]	Poliedr. angol. molto grossol.: > 50 mm [43]	Poliedr. sub. angol. molto grossolana: > 50 mm [44]	Granulare molto grossolana: > 10 mm [45]

* È un numero che va da [1] a [4] a seconda della dimensione, o da [1] a [6] a seconda della forma. Il numero [6] compete agli aggregati di forma colonnare che secondo la dimensione assumono quindi i codici: [16], [26], [36] e [46].
¹ La struttura granulare è descritta come lenticolare quando la lamina è spessa nel centro e sottile agli estremi.
² La parola 'angolare' si può omettere. Gli aggregati a forma approssimativamente tetraedrica si possono descrivere come « poliedrici angolari tetraedrici », ad esempio.
³ Chiamasi grumosa il tipo più poroso, granulare quello più compatto, meno poroso.
^{**} Gli aggregati simili ai prismi ma con le estremità arrotondate sono descritti come colonnari.

Tav. 2.6 - Principali elementi presenti nel suolo e necessari alle piante.

	FUNZIONI	QUANTITÀ NEL SUOLO ‰	QUANTITÀ NELLE PIANTE ‰	MAGGIORI FONTI PER IL SUOLO
N	Formazione di proteine clorofille	0,01-0,5	1 - 3	Materia organica batteri
P	Formazione di ossi. Sistemi enzimatici per il trasporto di energia	0,05-0,1	0,1 - 0,2	Materia organica fosfati
K	Carboidrati (formazione e traslocazione)	1 - 4	0,3 - 6,0	Felspato. Mica. Scario calcinico
Ca	Costituenti delle pareti cellulari	1 - 10	0,1 - 3,0	Rocce carbonatiche Scario calcinico
Mg	Clorofilla. Trasporto di fosfati	2 - 3	0,05 - 1,5	Dolomite. felspato. Scario calcinico
Fe	Clorofilla. Reazioni di ossidazione	2 - 7	0,0001-0,0015 (10 - 1500 ppm)	Minerali con Fe e Mg. Ossidi di Fe
Mn	"	0,1 - 1	5 - 1500 ppm	Ossidi di Mn
S	Formazione di amminoacidi	0,02 - 0,5	0,5 - 1,5	Materia organica. Piogge
Cl	Regolatore di processi fisiologici	Molto variabile	0,5	Piogge. Fertilizzanti
Zn	Catalizzatore dei sistemi enzimatici	30 - 80 ppm	3 - 15 ppm	Complessi organici. Inclusioni nelle rocce
Cu	"	10 - 80 ppm	2 - 75 ppm	"
Mb	Sistemi enzimatici. Induttori dei nitriti	0,5 - 1 ppm	tracce	Inclusioni nelle rocce
B	Sistemi vascolari apicali	30 - 80 ppm	2 - 75 ppm	Complessi organici. Formine

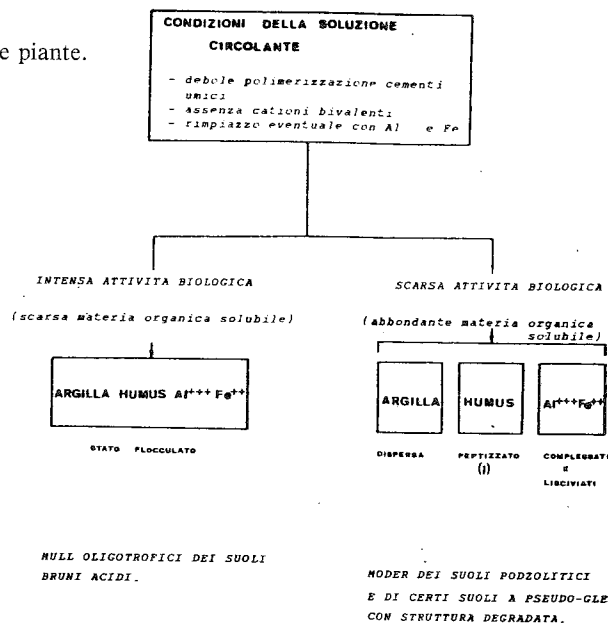


Fig. 2.7 - Suoli a struttura più o meno instabile per eccesso di acidità

(1) Peptizzazione: aggregazione nella quale un sol colloidale idrofobico viene stabilizzato dall'aggiunta di elettroliti (agenti peptizzanti) che vengono assorbiti sulla superficie delle particelle (Mc Graw Hill - Zanichelli, 1986).

se informazioni di ordine pedogenetico.

Al giorno d'oggi lo studio della microstruttura appare importante per valutare le variazioni di porosità e di permeabilità dei terreni sottoposti alla somministrazione di liquami, fanghi di origine industriale, com-

ne delle masse colloidali ed in rapporto ai grani più grossi.

Lo studio della microstruttura può portare prezio-



Fig. 2.8 - Struttura granulare fine di un orizzonte A1. Bosco di Pino Silvestre (Borca di Cadore, 1200m). Fotografia eseguita al microscopio elettronico a scansione (50x).

posti, ecc. così come di quelli sui quali vengono eseguiti nuovi tipi di lavorazione del suolo.

2.2.3. Altre proprietà fisiche

2.2.3.1. Peso specifico reale o peso volumico

Essa considera unicamente le particelle solide ed è, quindi, una costante che non varia con la entità degli spazi esistenti tra le particelle. Si determina dividendo il peso di un dato volume di particelle di terreno asciutto per il peso di un ugual volume di acqua. Generalmente si utilizza il picnometro per la determinazione del peso specifico reale. La formula da applicare è la seguente:

$$\text{peso specifico} = P / (P + P1) - P2$$

dove P = peso campione terra essiccato all'aria

P1 = peso picnometro contenente acqua distillata fino alla linea di affioramento

P2 = peso picnometro contenente campione di terra ed acqua distillata fino alla linea di affioramento

2.2.3.2. Peso specifico apparente o densità apparente o massa volumica

A differenza del peso specifico reale esso ha molto importanza in agricoltura e in selvicoltura.

Si determina dividendo il peso di un dato volume di terreno asciutto, nelle sue condizioni naturali di struttura, per il peso di un ugual volume di acqua distillata (vedi fig. 2.9).

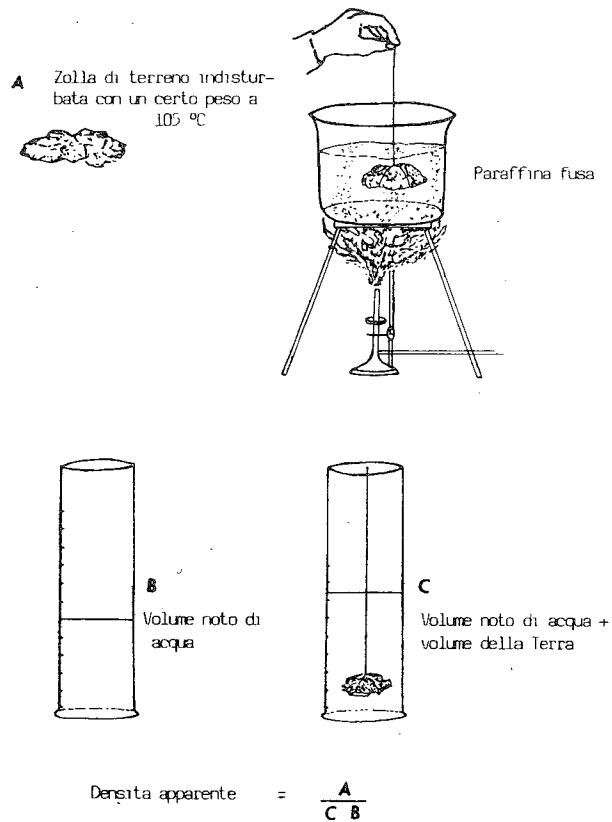
Per la misura del peso specifico apparente si usa generalmente un cilindro di metallo, di volume noto, da infiggere nel terreno onde prelevare un equivalente volume di suolo senza effettuare nello stesso alcuna compattazione (vedi fig. 2.10).

2.2.3.3. Porosità

È il volume complessivo degli spazi o pori occupati da aria o da acqua all'interno di un suolo.

La porosità è importantissima nei suoli; essa infatti condiziona l'acqua facilmente utilizzabile (AFU, AWC in inglese) la quale costituisce un elemento indispensabile per la determinazione dei regimi idrici dei suoli e per i calcoli relativi alle pratiche irrigue.

La porosità è in stretto rapporti con la forma e



(*) Occorre sottrarre anche il volume della paraffina

Fig. 2.9 - Determinazione rigorosa della densità apparente.

le dimensioni delle particelle e con il loro stato di aggregazione strutturale. Ai fini dei meccanismi che regolano la dinamica dell'acqua del suolo occorre differenziare:

macropori con diametro $> 8\mu$ (dove l'acqua viene allontanata per gravità)

micropori $< 8\mu$ (dove l'acqua è trattenuta da forze superiori a quella della gravità)

La porosità può venire determinata con il metodo del prelievo di un campione di terra a volume noto (vedi fig. 2.10), a cui si fa seguire la saturazione del terreno contenuto nel cilindro per poter applicare la seguente relazione:

$$C - B = A \quad \text{dove:}$$

C = peso del cilindro contenente terreno saturo d'acqua;

$$\text{DENSITA' APPARENTE} = \frac{\text{Peso campione suolo secco}}{\text{Volume}}$$

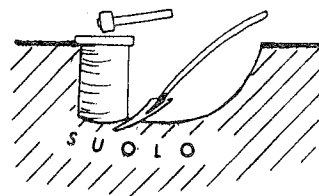


Fig. 2.10 - Determinazione pratica della densità apparente.

B = peso del cilindro contenente terreno secco;
 A = volume dell'acqua corrispondente al volume dei pori.

Essendo conosciuto il volume del cilindro, il volume dei pori potrà essere facilmente calcolato come percentuale rispetto al volume totale del terreno.

2.2.3.4. Coesione

Con tale termine si indica l'insieme delle forze per cui le particelle aderiscono le une alle altre e resistono alla loro separazione. Essa può essere determinata da due fenomeni diversi:

- tensione superficiale di veli d'acqua (ad es. sabbia);
- sostanze colloidali (ad es. argilla ed humus).

Nel primo caso la forza si manifesta soprattutto allo stato umido, nel secondo invece allo stato secco.

Il limo possiede una coesione di tipo intermedio. Essa non fa parte delle sostanze colloidali ma presenta tuttavia le caratteristiche di un debole cemento che si manifesta attraverso la formazione di una crosta superficiale quando il terreno si secca.

2.2.3.5. Costipamento

E' la capacità che hanno i suoli di ridurre il loro volume. Essa dipende:

- dalla natura del materiale;
- dal modo di struttura del materiale;
- dall'eliminazione dell'acqua contenuta nei pori.

Con il termine costipamento si indicano i fenomeni di assestamento frequenti soprattutto nei terreni alluvionali. Suoli formati da materiali grossolani possono seccarsi fino ad una notevole profondità senza per questo subire cambiamenti di spessore giacché le loro proprietà dipendono non dal grado di umidità posseduta ma dal modo con cui sono disposti gli elementi strutturali.

I suoli sabbiosi costituiti da particelle dello stesso diametro, come ad es. le dune eoliche, non si costipano ma il caso più generale è quello di suoli sabbiosi ad elementi o a particelle o a granuli di diametro diverso i quali a seguito dell'essiccamento si costipano perché si verifica il riempimento di spazi vuoti con granuli di diametro minore rispetto a quello del vuoto.

Terreni limosi sono costituiti da particelle minutissime tenute lontane tra loro da veli d'acqua; eliminando tali veli le particelle si riavvicinano determinando costipamento.

Nel Ferrarese si è verificato un abbassamento di un metro e mezzo in tre secoli. Le cause sono fondamentalmente due:

- la bonifica che ha prodotto l'evacuazione di acqua che prima occupava un certo volume;
- l'ossidazione della materia organica.

Un caso molto diffuso di leggero costipamento che però può dar luogo a fenomeni di asfissia e di leggera idromorfia è quello offerto dalla "soletta di lavoro".

2.2.3.6. Rigonfiamento e contrazione

Sono le proprietà possedute da un suolo argilloso quando viene umidificato o essiccato. L'entità del rigonfiamento è direttamente proporzionale alla quantità d'acqua che può essere assorbita dal suolo, e come tale è una caratteristica del suolo. Quanto detto per il rigonfiamento vale, in senso opposto, per la contrazione.

Il rigonfiamento è massimo con argilla di tipo montmorillonite e con cationi Na.

I terreni che gonfiano e si contraggono sono poco buoni dal punto di vista della crescita delle piante in quanto i fenomeni inevitabili di impaludamento in inverno e di crepacciatura in estate sono nefasti per gli apparati radicali e per la stessa respirazione.

Le caratteristiche di rigonfiamento e contrazione sono molto importanti per la valutazione delle terre a scopi multipli. In alcune località del Texas il prezzo delle case è anche in funzione della quantità d'acqua che occorre dare al suolo perché non si fessuri, pregiudicando la stabilità delle case stesse (Bartelli, 1977, comunicazione personale). S.C.S. (USDA) 1975 propone l'impiego del *coefficiente di estensibilità lineare* - *Cole* così definito:

"è il rapporto tra la differenza della lunghezza allo stato umido e la lunghezza allo stato asciutto di una zolla e la sua lunghezza allo stato asciutto. Pertanto $(L_m - L_d) : L_d$, dove L_m è la lunghezza con una umidità ad una tensione di $1/3$ di atm. e L_d è la lunghezza allo stato asciutto. Il COLE può essere determinato in base alla contrazione di un campione che è stato inserito in una forma alla capacità di campo e quindi essiccato".

La FAO (1973) fa notare che "l'interpretazione dei suoli in termini di rigonfiamento e contrazione è importante per i manufatti comprendenti case ed altri bassi edifici, vie e strade e strutture quali canali d'irrigazione e rilevati stradali. Cinque classi sono state sviluppate dal Soil Survey Staff (1971) ma nella maggior parte dei casi tre classi sono sufficienti. I suoli con basso e molto basso potenziale di rigonfiamento e contrazione possono essere raggruppati in una sola classe di basso potenziale ($COLE < 0,03$), i suoli con potenziale moderato hanno un COLE che va da 0,03 a 0,06 ed i suoli con alto o molto alto potenziale possono fondersi in una sola classe di potenziale alto il cui COLE è $> 0,06$ ".

2.2.3.7. Plasticità

E' la proprietà che hanno alcune sostanze di cambiare forma sotto l'azione di una forza esterna e di conservare la nuova forma acquisita anche dopo che ha cessato di agire la forza deformatrice. I limiti superiore ed inferiore di plasticità si determinano con l'apparecchio di Atterberg (fig. 2.11). Una caratteristica importante dei suoli, soprattutto per scopi geotecnici è il numero di plasticità dato dalla differenza tra i due limiti (1).

La plasticità è legata a:

- quantità di colloid;
- qualità dei colloid: ad un elevato rapporto SiO_2/Al_2O_3 corrisponde una notevole plasticità del mezzo;
- quantità di acqua;
- natura dei cationi.

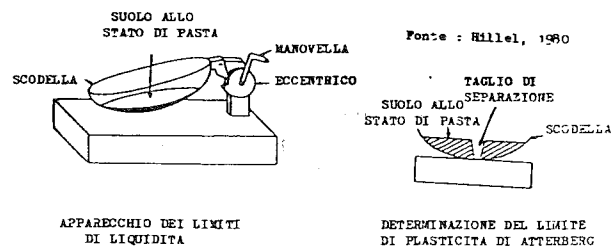


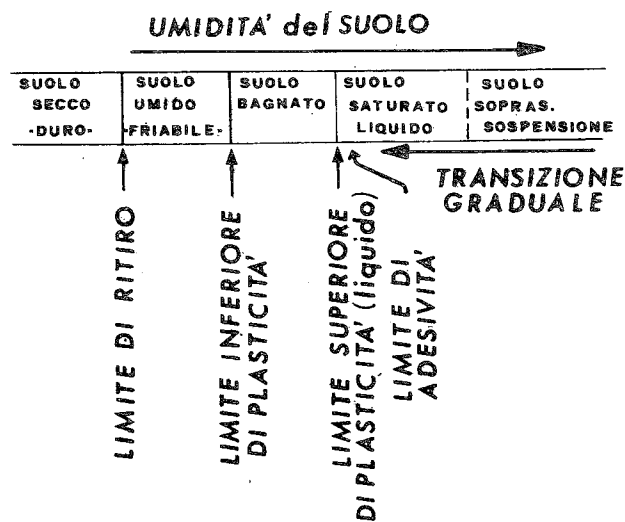
Fig. 2.11 - Misura del limite superiore di plasticità.

2.2.3.8. Consistenza

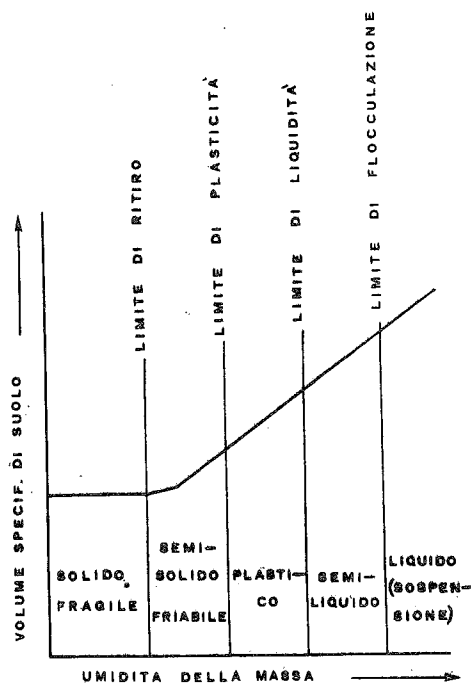
E' una proprietà data dalla somma o dalla interazione di due altre proprietà:

- plasticità;
- coesione.

La consistenza varia con lo stato di umidità del suolo. Ogni terreno possiede quindi dei limiti di consistenza che sono in funzione del grado di umidità posseduto dal terreno stesso. Alla fig. 2.12 viene fornito lo schema dei limiti di consistenza di Atterberg.



LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG



RELAZIONE TRA STATO DI CONSISTENZA DEL SUOLO E UMIDITA' DELLA MASSA

Fonte: HILLEL, 1980

Fig. 2.12 - Schema dei limiti di consistenza.

2.2.3.9. Lavorabilità

E' la resistenza che offre il suolo alla penetrazione di un corpo solido (vanga, zappa, vomere, ecc.). E' una proprietà che dipende dall'insieme delle altre caratteristiche fin qui definite e cioè da:

- tessitura;
- struttura;
- porosità;
- permeabilità;
- plasticità;
- coesione;
- costipamento;
- rigonfiamento e contrazione.

Si dice in "tempera" quel suolo agrario che, con un certo contenuto di umidità, offre resistenza minima alla penetrazione degli strumenti necessari per la lavorazione del suolo in agricoltura.

La lavorabilità è un carattere agronomico della massima importanza in quanto condiziona il periodo in cui si può entrare nei campi con mezzi pesanti. Nella valutazione dei suoli occorre tenere in considerazione tale aspetto; infatti a parità di tutti gli altri fattori un suolo dove si può usare l'aratro per 20 giorni in media nel periodo della semina, è peggiore rispetto ad un altro dove tale periodo si allunga a 30 giorni.

2.2.3.10. Colore

Una moderna interpretazione del fenomeno "colore" porta a considerare quest'ultimo come un solido (cfr. fig. 2.13). Per la determinazione del colore si usa il libro della Soc. Americana Munsell "Soil Color Charts" Baltimore (Maryland).

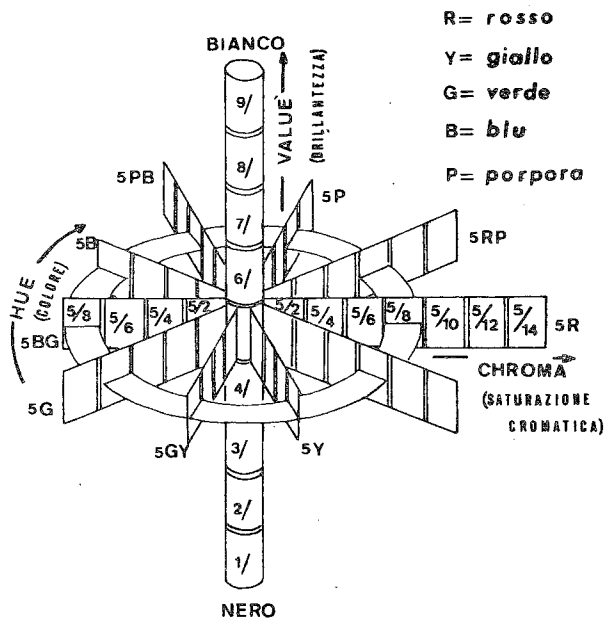


Fig. 2.13 - Sistema MUNSELL per la codifica dei colori del suolo.

La figura mostra le relazioni esistenti tra colore, brillantezza e saturazione cromatica secondo il sistema Munsell per la classificazione dei colori. Il settore circolare rappresenta i colori nelle loro proprie sequenze. L'asse verticale passante per il centro è la scala della brillantezza. I tasselli che dal centro vanno verso la periferia mostrano i gradi di saturazione cromatica che aumentano di intensità come indicato dai numeri.

Il colore è una proprietà diagnostica molto importante perché può essere una espressione sintetica di diverse variabili e condizioni del profilo. Il colore infatti è direttamente correlato con:

- quantità di materia organica;
- aerazione (ossidazione e riduzione);
- porosità;
- natura dei minerali presenti.

Un colore nero è tipico dell'accumulo di materia organica nei suoli di steppa ed in quelli torbosi. Talora però può essere erroneo cercare di correlare in modo lineare il colore con il contenuto di sostanza organica: questa nelle zone equatoriali subisce il fenomeno della leucinizzazione e non manifesta una tinta scura. Altri motivi di colore scuro del suolo possono essere i solfuri di ferro e gli ossidi di manganese, tipici dei suoli idromorfi a cattivo drenaggio.

Il colore scuro può anche essere in funzione della struttura sulla quale è facile che si creino dei veli di sostanza organica. Una sabbia con lo 0.5% di materia organica può apparire scura mentre un'argilla per avere la stessa intensità cromatica deve avere circa il 10% di materia organica. Infatti le sabbie, avendo una superficie totale poco estesa reagiscono molto alle differenze di colore.

I colori giallo e rosso sono dovuti ad ossidi di ferro. Suoli con questi colori sono frequenti nelle zone umide temperate e calde; nelle prime il giallo ed il rosso si presentano sbiaditi, accesi invece nelle seconde.

Il colore castano è frequente in quei terreni di steppa dove la materia organica è saturata da ioni calcio.

Il grigio è tipico di numerose situazioni pedologiche tra le quali si ricordano: l'orizzonte A2 dei podzols; l'orizzonte A dei solods; gli orizzonti di suoli palustri dove il ferro è allo stato ferroso.

Il colore ha inoltre una influenza diretta sullo stato termico del terreno: i suoli neri, assorbendo le radiazioni solari si riscaldano di più dei suoli chiari che sono invece riflettenti.

In molti casi il colore si rivela un elemento diagnostico per indagare sull'evoluzione dei suoli. Frequentemente su uno stesso substrato i suoli più evoluti hanno un colore più rosso, oppure, nell'ambito dello stesso colore hanno un croma (saturazione cromatica) più elevato. Regionalmente inoltre il colore può fornire indicazioni sulla pedogenesi dei suoli e quindi sulla datazione di depositi quaternari (cfr. Pujos, 1957).

Molti suoli sono detti litocromici, ossia influenzati dal colore della roccia sulla quale si sono evoluti. Si riportano qui i casi della terra rossa in cui il residuo insolubile del carbonato di calcio conferisce il caratteristico color rosso vivo, dei vertisuoli tendenzialmente neri per la massiccia presenza di argilla di tipo montmorillonitico, dei suoli neri su grafitiscisti della bassa Val Chisone in Piemonte e dei suoli grigio-argento che sviluppati sui limi glaciali ricchi di miche bianche sono presenti in talune località del Canavese.

(1) Il limite superiore di plasticità corrisponde a quella percentuale di acqua che caratterizza la massima capacità idrica di ritenuta. Una ulteriore aggiunta di acqua renderebbe fluido il campione di terra. Il limite inferiore di plasticità corrisponde invece alla percentuale di acqua alla quale il terreno non è più capace di modificare la sua forma e di conseguenza si sbriciola.

2.2.3.11. Permeabilità

Alla porosità del suolo è legato il fenomeno della permeabilità che si esprime con la velocità di infiltrazione dell'acqua di percolazione.

Nei pori di dimensione capillare (diametro $< 8\mu$) l'acqua non si muove a causa della tensione che su di essa viene esercitata dalle pareti dei pori (un suolo quindi può essere molto poroso ma poco permeabile).

Nei pori di dimensione non capillare (diametro $> 8\mu$) l'acqua si muove con una velocità che è proporzionale al raggio dei pori stessi elevato alla quarta potenza (un suolo quindi può essere poco poroso ma molto permeabile se la dimensione dei pori è elevata).

La dimensione dei pori è perciò di grande importanza nei riguardi di:

- a) movimento dell'acqua nel suolo (infiltrazione);
- b) movimento dell'acqua attraverso il suolo (percolazione).

Con il termine "permeabilità" si indica l'attitudine del suolo a trasmettere aria e/o acqua. La permeabilità è comunemente misurata in termini di flusso di acqua attraverso il suolo in un determinato periodo di tempo (cm/ora).

2.3. - PRINCIPALI PROPRIETÀ CHIMICHE DEL SUOLO

2.3.1. Principi generali

Le piante per mantenersi vitali hanno bisogno di numerosi elementi, alcuni presenti nell'atmosfera, altri presenti nel suolo (vedi fig. 2.14).

Per accertare l'attitudine di un suolo a produrre biomassa vegetale non basta verificare se gli elementi necessari provenienti dal suolo sono presenti nella quantità ritenuta ottimale per quella determinata specie vegetale ma occorre anche esaminare i seguenti aspetti:

- a) la possibilità del suolo di costituire una riserva attiva di sostanze nutritive da scambiare o da cedere al momento giusto alle piante secondo meccanismi piuttosto complessi. Tale riserva è per lo più legata ai colloidi del suolo: argilla e materia organica (vedi 2.3.2). Le sostanze colloidali determinano la proprietà del suolo detta "capacità di scambio" (vedi 2.3.2);
- b) lo stato di acidità o di alcalinità del suolo (pH) il quale condiziona moltissimo la solubilità e quindi la disponibilità dei diversi elementi necessari alle piante;
- c) i meccanismi antagonistici presenti nel suolo tra certi elementi. Un caso ben conosciuto è la diminuzione di solubilità del fosforo nei terreni ricchi di ferro;
- d) il tipo di trasformazione che subisce la materia organica nel suolo e la relativa attività biologica.

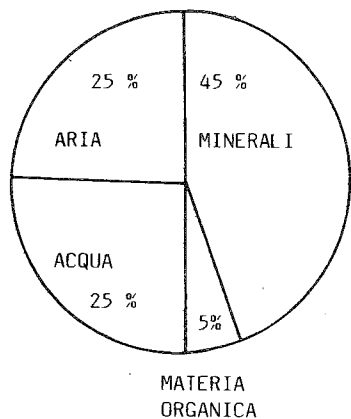
Nel settore forestale l'assunzione da parte degli alberi dei principali elementi nutritivi avviene secondo modalità diverse:

Azoto - Una parte della materia organica si presenta sotto catione ammonio NH_4^+ , una parte sotto anione nitrico NO_3^- l'assorbimento avviene secondo i meccanismi propri dell'assorbimento rispettivamente cationico ed anionico. Una parte rilevante viene assorbita sotto forma di molecole organiche complesse dalle piante le quali sfruttano il fenomeno naturale della micorrizia (cfr. Wilde, 1958).

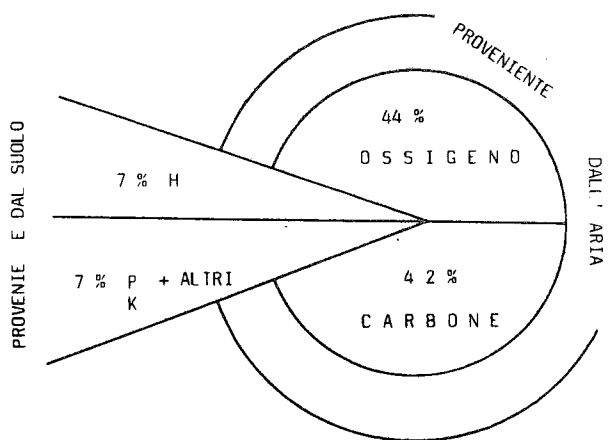
Fosforo - Per lo più assorbito come anione H_2PO_4^- .
Potassio, Calcio e Magnesio - Vengono assorbiti come cationi K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}

Metalli pesanti (Zn, Fe, Cu, ecc.) - Appaiono per essi molto importanti i meccanismi di chelazione

COMPOSIZIONE MEDIA DI UN SUOLO



COMPOSIZIONE MEDIA DELLE PIANTE



ALTRI : Ca Fe Mn Mo
Mg Zn Bo
S Cu Cl

Fig. 2.14 - Composizione media di un suolo umido. Composizione media delle piante.

Risulta da queste brevi osservazioni che la fertilità del suolo non si identifica semplicemente con i tenori di elementi necessari presenti nel suolo ma è un qualcosa ben più complesso anche se può essere sinteticamente definita come "l'intrinseca e naturale capacità del suolo a produrre biomassa vegetale senza rischio di degradazione per il suolo stesso".

Ben si comprende da questa definizione come concorrano a determinare la fertilità del suolo non solo le proprietà chimiche ma anche quelle fisiche così come concorrono pure il clima, la morfologia ed il tipo di gestione praticato dall'uomo.

Alla tav. 2.6 vengono presentati gli ordini di grandezza delle quantità di elementi necessari alle piante contenute nel suolo. La fig. 2.15 indica quali sono i campi di acidità, di alcalinità o di neutralità del suolo ai quali corrisponde la massima assimilabilità dei principali elementi necessari per la vita delle piante.

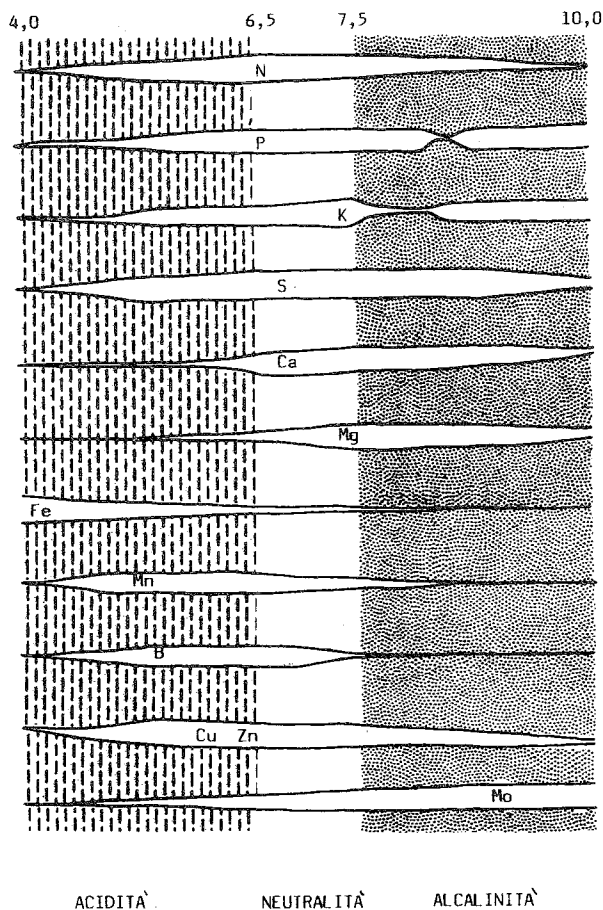


Fig. 2.15 - Assimilabilità delle sostanze nutritive per le piante a differenti pH del suolo.

2.3.2. Sostanze colloidali del suolo

Esse sono essenzialmente costituite dalle argille e dalle sostanze umiche.

Le particelle di argille sono formate da atomi di ossigeno, silice ed alluminio e di alcuni altri elementi, disposti tra loro secondo un ordine geometrico ben definito. L'argilla al microscopio elettronico si presenta costituita da foglietti flessibili come carta ma resistenti come fibre di vetro. L'insieme di questi foglietti presenta una struttura cristallina.

L'origine delle argille è legata all'alterazione dei silicati, presenti nella maggior parte delle rocce (vedi capitolo 2.5).

- Le proprietà più importanti delle argille sono:
- la possibilità di assorbire acqua tra gli strati (o foglietti) determinando condizioni di espansione e di contrazione;
 - appartenenza alle sostanze colloidali. Le argille infatti sono dotate di cariche elettriche negative che comportano i seguenti fatti:
 - trattengono i cationi in forma scambiabile;
 - fanno assumere all'argilla lo stato: 1) disperso (in mezzo fortemente alcalino) e 2) flocculato (in presenza di cationi polivalenti flocculanti).

Lo scambio di cationi è molto importante per la nutrizione vegetale, la dispersione e la flocculazione hanno influenze fondamentali sulla struttura del suolo.

Le argille possono essere raggruppate secondo due gruppi principali:

Tav. 2.6. - Principali elementi presenti nel suolo e necessari alle piante

		FUNZIONI	QUANTITA' NEL SUOLO %	QUANTITA' NELLE PIANTE %	MAGGIORI FONTI PER IL SUOLO
MACRO	N	Formazione di proteine, clorofilla	0,01-0,5	1-3	Materia organica, batteri
	P	Formazione di semi Sistemi enzimatici per il trasporto di energia	0,05-0,1	0,1-0,2	Materia organica, fosfati
	K	Carboidrati (formazione e traslocazione)	1-4	0,3-6,0	Feldspati, miche, scambio cationico
MESO	Ca	Costituenti delle pareti cellulari	1-10	0,1-3,0	Rocce carbonatiche, scambio cationico
	Mg	Clorofilla Trasporto di fosfati	2-3	0,05-1,5	Dolomite, feldspati, scambio cationico
	Fe	Clorofilla, Reazioni di ossido-riduzione	2-7	0,00001-0,0015 10-1500 ppm	Minerali con Fe e Mg, ossidi di Fe
	Mn	Clorofilla, Reazioni di ossido-riduzione	0,1-1	5-1500 ppm	Ossidi di Mn, scambio cationico
	S	Formazione di amminoacidi	0,02-0,5	0,5-1,5	Materia organica, piogge
MICRO	Cl	Regolatore di processi fisiologici	Molto variabile	0,5	Piogge, fertilizzanti
	Zn	Catalizzatore dei sistemi enzimatici	30-80 ppm	3-15 ppm	Complessi organici, inclusioni nelle rocce
	Cu	Catalizzatore dei sistemi enzimatici	10-80 ppm	2-75 ppm	Complessi organici, inclusioni nelle rocce
	Mo	Sistemi enzimatici riduttore dei nitrati	0,5-1 ppm	Tracce	Inclusioni nelle rocce
	B	Sistemi vascolari apicali	30-80 ppm	2-75 ppm	Complessi organici, tormalina

Tipo 2:1. Due strati di silice (silicio + ossigeno) trattengono al loro interno uno strato di allumina (alluminio + Ossigeno). Appartengono a questo tipo il gruppo delle argille montmorillonitiche dotate di spiccato potere di idratazione e di fissazione dei cationi. Fanno anche parte del gruppo 2:1 le argille del gruppo delle idromiche, di cui la più nota è l'illite. In quest'ultima gli strati interni del reticolo cristallino sono tra loro fortemente trattenuti mediante atomi di potassio. Ne risulta, rispetto all'argilla montmorillonitica, una più bassa dotazione di cationi ed una ridotta possibilità di idratazione.

Tipo 1:1. Uno strato di silice alterna uno strato di allumina. Questa struttura è il risultato di una intensa alterazione dei minerali originari (climi caldi). Le argille più rappresentate in questo tipo sono quelle del gruppo caolinitico, la cui più importante proprietà è lo spazio fisso tra i due strati.

Questo è dovuto all'attrazione dell'idrogeno nello strato di allumina per l'ossigeno dello strato adiacente di silice. Come conseguenza le argille caolinitiche assorbono relativamente poca acqua ed hanno una bassa capacità di fissare i cationi. Per una rappresentazione visiva dei due tipi di argille vedi fig. 2.16.

Il quadro completo delle argille deve però comprendere anche quelle che si formano a partire dall'alterazione di rocce ricche in ferro ed in alluminio. In ambiente tropicale la maggior parte della silice viene rimossa dalla frazione argillosa la quale subisce un arricchimento di idrossidi di ferro e di alluminio. Gli ossidi di ferro conferiscono un colore rosso al terreno mentre l'alluminio in taluni casi si può concentrare fino al punto da formare dei depositi interessanti anche dal punto di vista dell'estrazione del metallo.

Una ulteriore nota dovrebbe essere qui redatta per l'humus (vedi) in quanto anch'esso è dotato di proprietà

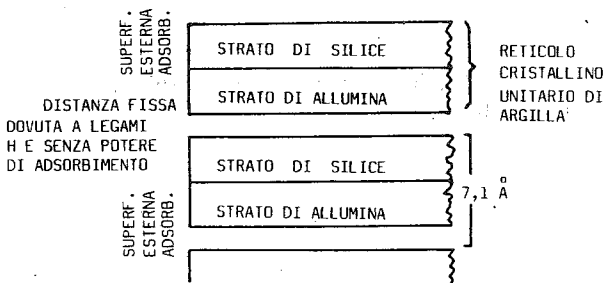
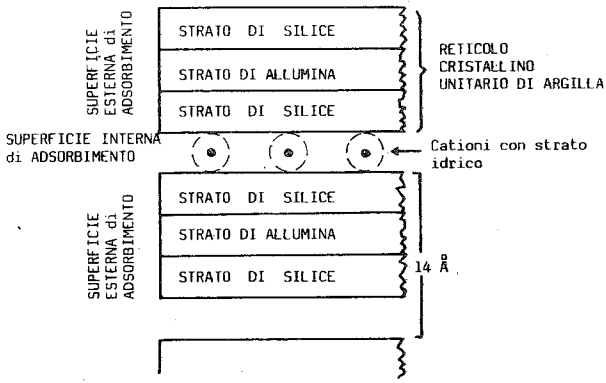


Fig. 2.16 - Tipi principali di argille.
Argilla 2:1. Gruppo Montmorillonite
Argilla 1:1. Gruppo Kaolinite

colloidali e quindi può agire sulla fissazione dei cationi. Risulta ora evidente perché si è fatta precedere la parte relativa alla nutrizione vegetale con queste informazioni sulle sostanze colloidali del terreno. Sono esse infatti che presiedono nel terreno alla maggior parte dei meccanismi connessi con la nutrizione vegetale.

2.3.3. Capacità di scambio

La quantità di sostanze colloidali presenti nel terreno ne determinano la sua capacità di scambio, ovvero la quantità di ioni che il terreno può assorbire e che successivamente può scambiare con altri cationi. La capacità di scambio rappresenta un modo sintetico per esprimere la fertilità* chimica del suolo, quella relativamente stabile nel tempo, a differenza di quella risultante dall'applicazione di fertilizzanti che soddisfano le esigenze delle piante per un periodo di tempo molto corto, o addirittura soltanto per un ciclo vegetativo.

Nel sistema colloidale del suolo gli ioni sono fissati e scambiati soprattutto secondo tre leggi fisico-chimiche fondamentali:

- la facilità con cui i cationi possono sostituirsi l'uno all'altro è determinata dalla concentrazione relativa di un catione rispetto all'altro (legge dell'azione di massa).
- a parità di concentrazione gli ioni a più alta valenza sono assorbiti più fortemente ed in maggior quantità.
- il grado di idratazione degli ioni ha una grande in-

fluenza sull'assorbimento: gli ioni più idratati risultando meno attivi rispetto a quelli scarsamente idratati.

Il sistema colloidale del suolo non è solo il punto centrale di molte reazioni chimiche ma lo è anche di molti aspetti fisici.

Infatti l'attrazione dei cationi da parte delle sostanze colloidali provoca nelle micelle colloidali la flocculazione generando quindi uno stato di aggregazione del suolo conferendo resistenza alla sua struttura.

* Si ricorda che la fertilità del suolo è la capacità di questo a soddisfare le esigenze della pianta in acqua, aria ed elementi nutritivi. Quindi la componente chimica è una importante parte di fertilità del suolo ma non ne è il sinonimo.

2.4. CENNI DI NUTRIZIONE VEGETALE

2.4.1. Radici delle piante

Mentre le foglie trasformano la CO₂ atmosferica in composti organici del carbonio (fotosintesi), alle radici spetta invece il compito di estrarre dal terreno l'acqua e le sostanze nutritive e di convogliarle all'interno dei corpi vegetali, prendendo così parte attiva a numerosi cicli minerali ed organici esistenti sulla superficie del nostro pianeta. (Vedi ad esempio il ciclo dell'azoto alla fig. 2.16a).

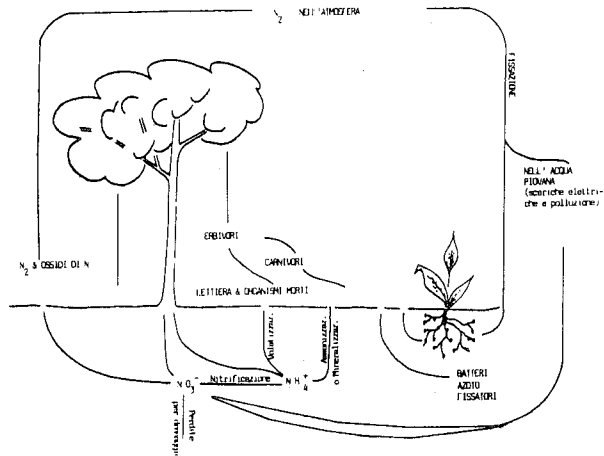


Fig. 2.16a - Ciclo dell'azoto.

A differenza degli animali che tendono verso una superficie minima, i vegetali invece hanno apparati aerei (foglie) e sotterranee (radici) molto estese. Nel terreno essendo presenti sostanze estremamente diluite relativamente poco mobili la pianta deve aumentare moltissimo la superficie di contatto. A questo provvedono sia le radici stesse che i peli radicali. Russell 1982 riporta che la *Poa pratensis* in un volume di terra di 0,5 m² per 10 cm di profondità (pari a 1/40 m³) ha fatto registrare 1,14 Km di radici principali e 170,6 Km di radici laterali.

L'anatomia delle radici è in stretta relazione con le funzioni che esse devono svolgere:

- a) parte radicale esterna formata da:
 - cellule epidermiche superficiali
 - cellule della corteccia adiacente
 - endoderma

La funzione di questa parte radicale esterna è paragonabile ad un manicotto che assorbe sostanze nutritive e acqua dalla soluzione del terreno;

b) parte radicale interna (stela centrale) formata da:
 — xilema o legno attraversato da lunghi vasi costituiti da cellule vuote unite per l'estremità. Questi vasi essendo cavi possono funzionare da tubi ed operare il trasporto verso l'alto quando la traspirazione fogliare richiama per aspirazione acqua e sostanze nutritive in essa contenute;
 — floema o libro attraversato da tubi cribrosi. Le cellule cribrose sono unite per l'estremità ed i prodotti della fotosintesi scendono verso il basso attraverso il loro citoplasma.

Perché le sostanze, sia in salita che in discesa, possano diffondersi all'interno della pianta occorre la presenza di certe entità chimiche chiamate "trasportatori" (carriers) riconosciute oggi per lo più in certi enzimi del gruppo adenosintrifosfasi (ATP-asi) i quali usano l'energia dell'adenosintrifosfato per trasportare ioni minerali attraverso le membrane cellulari.

2.4.2. Funzioni delle radici degli alberi

- assorbimento acqua
- assorbimento sostanze nutritive (vedi fig. 2.17. e 2.18.)
 - complesso di scambio
 - soluzione circolante
 - minerali facilmente alterabili
- sostegno per il corpo legnoso degli alberi (a seconda delle diverse specie arboree, le radici hanno forme diverse, vedi fig. 2.19 e 2.20).

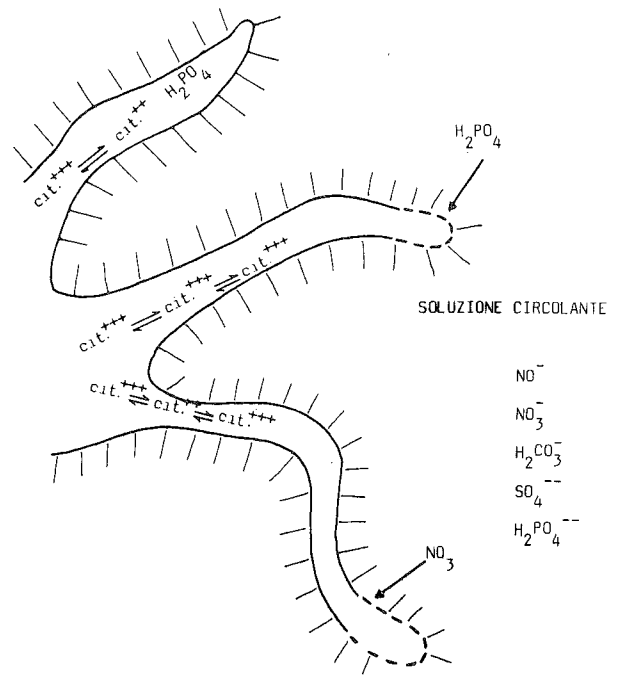


Fig. 2.18 - Probabile meccanismo dell'assorbimento anionico (L. Tombesi, 1966).

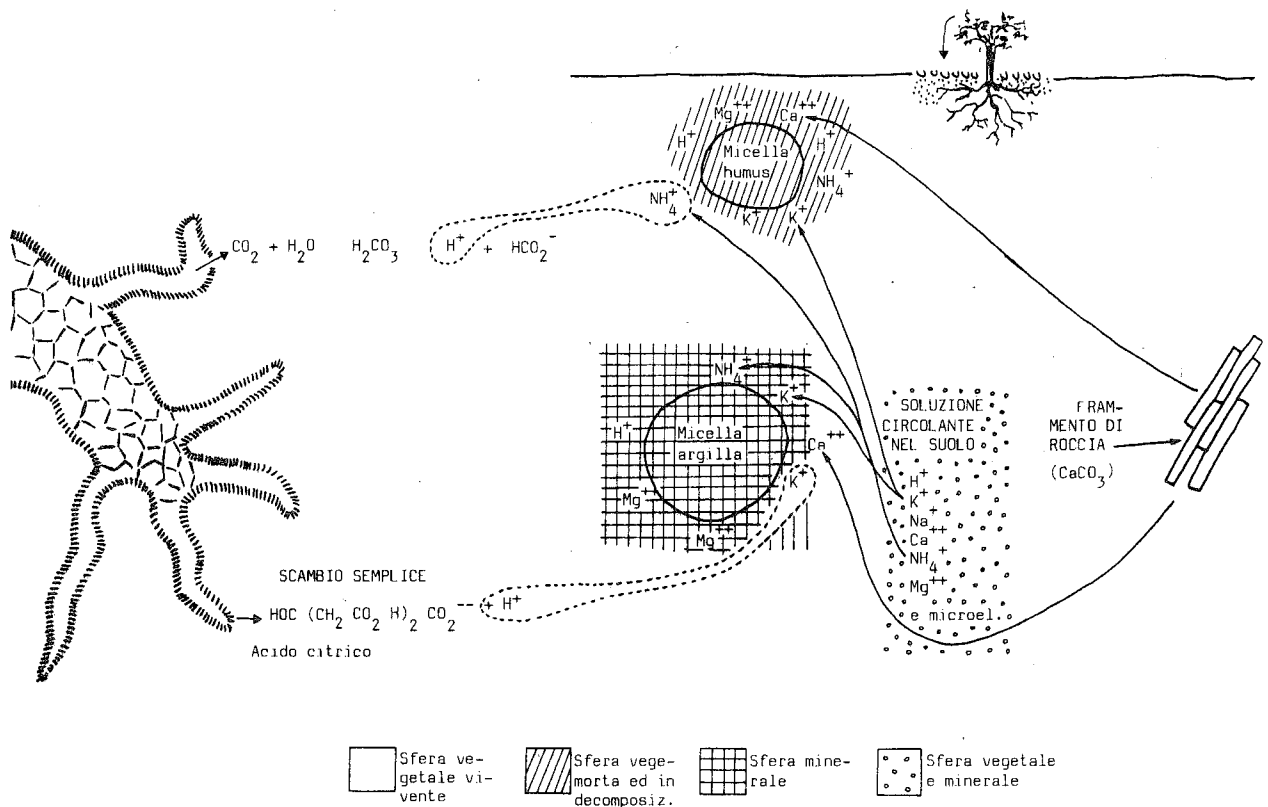


Fig. 2.17 - Meccanismi di assorbimento cationico da parte di una radice di una pianta.

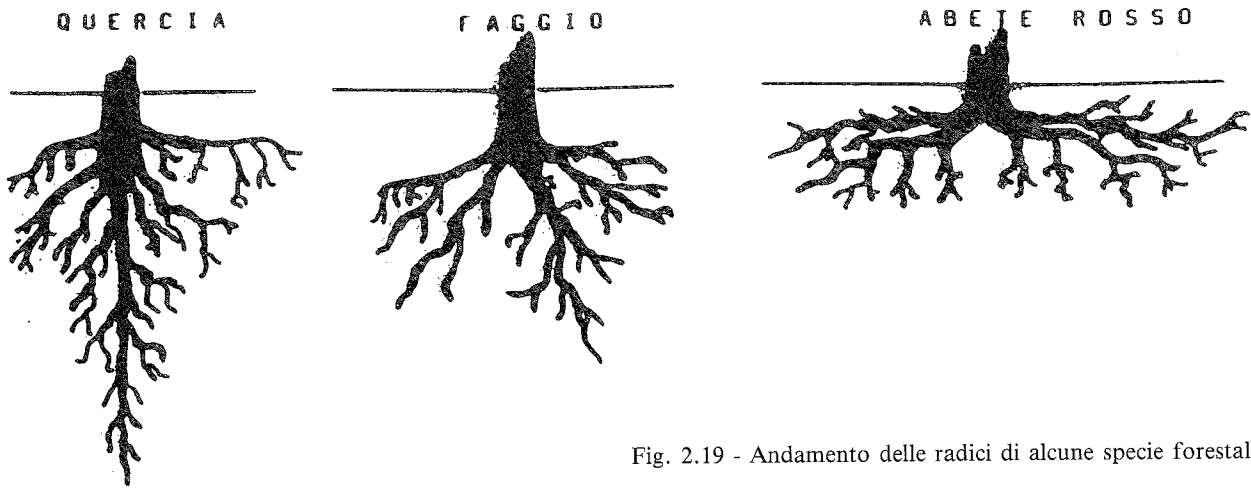
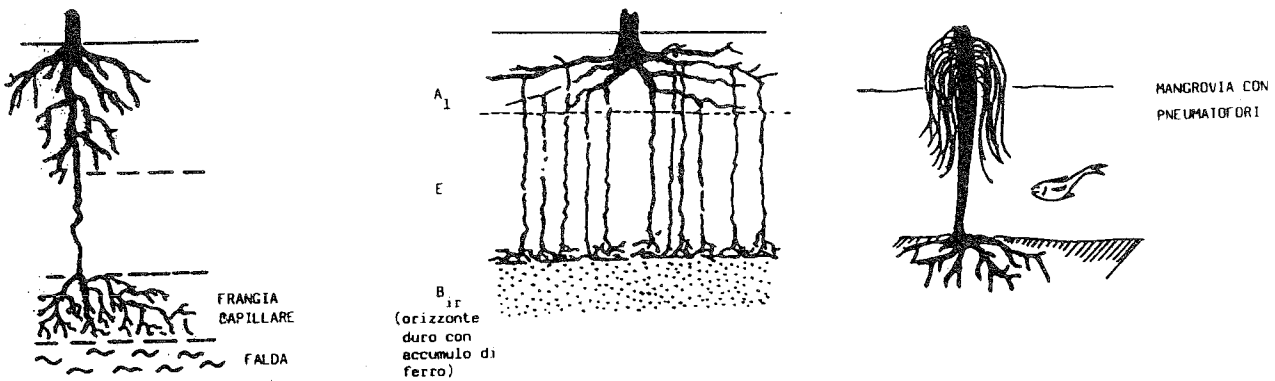


Fig. 2.19 - Andamento delle radici di alcune specie forestali.



Principali caratteristiche del suolo influenzanti lo sviluppo delle radici

- profondità
- permeabilità
- drenaggio
- presenza di falda freatica
- porosità
- tessitura
- struttura
- pH
- forme di humus
- presenza di minerali facilmente alterabili
- presenza di sostanze nutritive
- assenza di sostanze tossiche
- quantitativi di Fe ed Al non pregiudizievoli per la disponibilità del P

Principali qualità del suolo influenzanti lo sviluppo delle radici

- regime di umidità
- regime di temperatura
- erodibilità
- tolleranza all'erosione

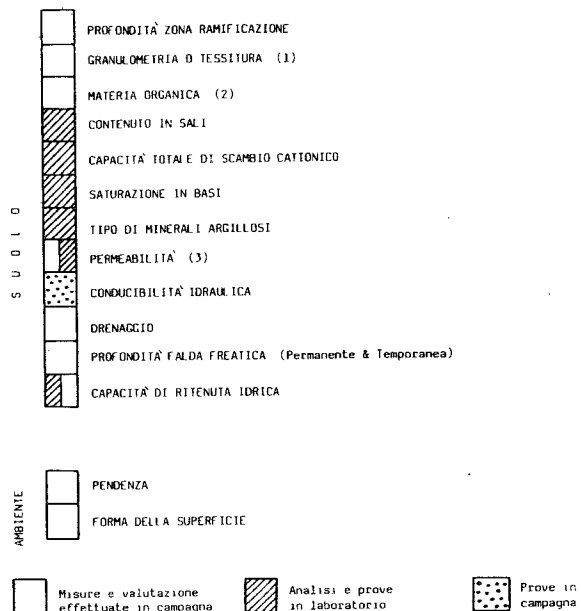
Nella Tav. 2.7 sono indicate le principali proprietà misurabili in campagna o in laboratorio per valutare la buona riuscita delle radici.

2.5. ASPETTI BIOLOGICI DEL SUOLO

2.5.1. Generalità

La "nascita" del suolo come corpo naturale si verifica quando il substrato litologico è invaso da orga-

nismi. I primi ad apparire sono quelli autotrofi fotosintetizzatori (vedi in seguito), quindi gli eterotrofi, i



Tav. 2.7 - Riassunto delle principali caratteristiche del suolo misurabili per valutare l'ambiente "suolo-radici".

- 1) Una stima grossolana per attribuire la classe granulometrica può essere effettuata in campagna usando la sensibilità delle dita quando maneggiano un campione umido.
- 2) Misura grossolana ed indiretta utilizzando il colore.
- 3) Apprezzamento visivo sintetico. Volendo un dato migliore si può far ricorso a prove di laboratorio su campione indisturbato di suolo.

saprofiti ed i parassiti. Con il tempo, queste forme di vita, i prodotti del loro metabolismo e i residui morti, diventano strumenti per ulteriori sviluppi del suolo. (Vedi, ad esempio, il ciclo dell'azoto alla fig. 2.16a)

Man mano che lo sviluppo del suolo procede esso diventa sempre più complesso e individualizzato: alcuni gruppi di organismi possono scomparire oppure aumentare a spese di altri gruppi. Si attua così la legge fondamentale dell'Ecologia secondo la quale in un dato ecosistema le comunità degli esseri viventi sono condizionate dai fattori dell'ambiente, ma le caratteristiche di quest'ultimo possono modificarsi a loro volta per effetto degli esseri viventi. Uno studio completo del suolo comporta pertanto un'analisi delle strettissime interdipendenze che vengono a verificarsi tra le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche.

L'importanza degli organismi del suolo e in particolare di quelli microscopici, risiede nella loro immensa capacità di dar luogo a nuove fonti di energia, trasformando i residui morti delle piante e degli animali in semplici composti inorganici che rientrano così nel ciclo vitale dell'ecosistema.

2.5.2. Principali organismi viventi nel suolo

Gli organismi del suolo sono numerosissimi, anziché presentare una suddivisione tassonomica tanto degli animali quanto dei vegetali, riteniamo più pratico riferirci ad una ripartizione funzionale dei principali gruppi di organismi presenti nel suolo. (Vedi tav. 2.8)

Risulta ora molto difficile, se non impossibile, selezionare alcuni gruppi di organismi ritenendo che essi siano più importanti rispetto ad altri.

In un suolo forestale sotto formazione di pino funghi ed artropodi potranno conferire al mezzo in cui abitano caratteri distintivi, mentre in un suolo di prateria saranno piuttosto i lombrichi e le talpe a creare le condizioni caratteristiche del suolo da essi abitato.

Come conseguenza di questa constatazione, passeremo brevemente in rassegna tutti i gruppi citati nella tav. 8. E' bene tenere presente che nella schematizzazione funzionale da noi proposta alcuni gruppi figurano due volte potendo essi infatti svolgere una doppia funzione.

Noi li tratteremo una sola volta. E' questo il caso degli artropodi che possono essere sia dei consumatori di sostanza organica vegetale, sia dei predatori di alcuni altri gruppi animali.

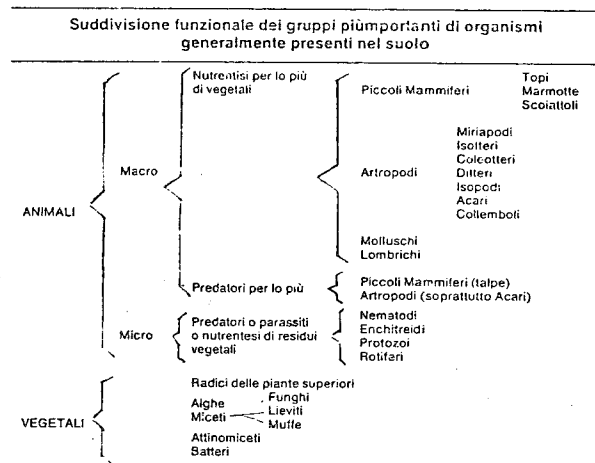
2.5.2.1. Mammiferi

Nei climi temperati la talpa è il mammifero più importante. Con le sue gallerie realizza una aerazione notevole nel terreno e opera una mescolanza degli strati superficiali del suolo con quelli profondi; può essere però nociva alle colture agrarie perché, pur essendo insettivora, recide le radici che incontra scavando le sue gallerie.

Nelle grandi praterie del Nordamerica diverse specie di Roditori costruiscono le loro tane nel suolo arrivando anche a un metro e mezzo di profondità. Il suolo vergine di questi ambienti si presenta sovente pieno di buchi e di canali che, una volta abbandonati, si riempiono di materia organica provenienti dagli strati umiferi di cima. Tali buchi sono detti "krotovinas".

2.5.2.2. Artropodi

Sono una classe molto estesa di organismi, comprendente Miriapodi, Isotteri, Coleotteri, Ditteri, Iso-



Tav. 2.8 - Suddivisione funzionale dei gruppi più importanti di organismi generalmente presenti nel suolo.

podì, Collemboli ed Acari.

— Miriapodi

La loro principale funzione, nei riguardi del suolo, consiste nell'ingerire una gran quantità di materia organica non decomposta e nel restituirla al terreno poco cambiata chimicamente ma finemente sminuzzata preparando così la strada all'azione di altri microrganismi.

— Isotteri

Il caso più spettacolare è quello offerto dalle termiti che in alcune regioni africane possono dar origine ad un nuovo suolo. Il colore dei termitai (montagnole alte da 1 a 4 metri) dimostra che il materiale terroso con il quale è fabbricato l'edificio delle termiti proviene, per lo più, da una profondità nel suolo compresa fra 30 e 70 cm. I termitai abbandonati si degradano lentamente a causa della forte cementazione operante tra le particelle. Il suolo che deriva dai termitai distrutti è meno fertile del suolo non toccato dalle termiti. In certe aree geografiche l'azione esercitata dalle termiti sul suolo può essere rilevantissima: vicino ad Ibadan (Nigeria) si calcola che vi sia un rimescolamento annuo di una tonnellata di terreno ad ettaro.

— Coleotteri

Vi appartengono numerosi gruppi che partecipano alla trasformazione della materia organica del suolo, ognuno con una alta specializzazione come è indicato nella seguente lista:

- | | |
|--------------|-----------|
| Cicindelidi | predatori |
| Silfidi | necrofagi |
| Scarabeidi | coprofagi |
| Acantoceridi | xilofagi |
| Anisotomidi | fungivori |
| Ptilidi | saprofagi |
| Curculionidi | fitofagi |

— Ditteri

Un certo numero di individui di questo ordine depone le uova nel suolo. Le larve che da esse si sviluppano possono avere un certo ruolo nella formazione del suolo.

— Isopodi

Gli Isopodi del suolo sono i rappresentanti terrestri di una classe di organismi per lo più acquatici: i Crostacei. L'isopode più noto anche ai non esperti è l'*Armadillium vulgare* che deve il suo nome alla carat-

teristica di arrotolarsi a palla propria dell'armadillo.

— Acari

Sono di importanza pedologica di primo piano. Essi si trovano in numero molto elevato sulla superficie dei suoli forestali e talora oltrepassano le diverse decine di migliaia per metro quadrato. Sono considerati gli organismi più importanti del *phylum* Artropodi.

— Collemboli

Utilizzano grandi quantità di materia organica presente nel suolo restituendola sotto forma di pallottoline. Tra i collemboli si nota una alta selettività verso il mezzo edafico nel quale vivono. *Odontella armata* vive sui substrati basici mentre la simile *O. lamellifera* vegeta esclusivamente su quelli acidi.

2.5.2.3. Molluschi

La distribuzione nel suolo dei Molluschi (per lo più chioccioline e lumache) è condizionata da molti fattori tra i quali l'umidità, la quantità di calcio e la quantità di cibo. Nella formazione del suolo i Molluschi sono importanti perché digerendo la materia organica dei vegetali ne attaccano la cellulosa ed inoltre perchè emettono sostanze mucose colloidali che possono diventare elemento di cementazione per la struttura del suolo.

2.5.2.4. Lombrichi

Si cibano di foglie cadute. Anche a una densità molto bassa di 30 lombrichi per metro quadrato, questi animali possono incorporare nel terreno una tonnellata e mezza di foglie per ettaro in un anno e fanno passare nel loro corpo circa 30 tonnellate di terra. La maggior parte dei loro escrementi, ben aggregati, è deposta sulla superficie del suolo per uno spessore che può giungere anche al mezzo centimetro per anno.

I lombrichi in genere ringiovaniscono il suolo aumentando la porosità, l'aerazione, la struttura e la capacità d'infiltrazione dell'acqua.

L'importanza dei lombrichi è indubbia se si considera il miglioramento da essi apportato alla struttura del suolo e all'incorporazione della materia organica. Si possono però avere dei ragionevoli dubbi sulla maggiore o minore opportunità di favorire una elevata densità di lombrichi nei suoli agrari. Si è calcolato infatti che la popolazione di lombrichi per ettaro può uguagliare in peso quella di 10-15 capi bovini: il mantenimento di questa popolazione sotterranea richiede una grande quantità di residui organici che possono essere facilmente forniti da una foresta, ma difficilmente da terra coltivata dall'uomo. Si ha perciò l'impressione che buona parte materia organica, utile per la crescita dei vegetali coltivati, vada invece a nutrire i lombrichi, ricavandone dei vantaggi che, tutto sommato, non sono così remunerativi.

2.5.2.5. Nematodi

Sono un gruppo di Vermi Nematelminti (quelli del suolo sono trasparenti e di dimensioni microscopiche o quasi microscopiche) che vivono nel terreno e soprattutto nell'humus dei suoli forestali. A seconda del loro modo di alimentarsi si distinguono in tre gruppi: 1) Nematodi che si nutrono di organismi viventi (Nematodi stessi, lombrichi, protozoi e batteri); 2) Nematodi che utilizzano le sostanze organiche in decomposizione; 3) Nematodi che infestano le radici delle piante.

I Nematodi del primo gruppo hanno sovente una funzione benefica, parassitizzando numerosi organismi

viventi quando questi proliferano in modo eccessivo. Quelli del terzo gruppo sono viceversa decisamente nefasti per i danni ingenti che possono portare alle colture (una specie del genere *Rhabditis* invade i tessuti delle giovani piante causando effetti simili al marciume radicale).

2.5.2.6. Enchitreidi

Sono una famiglia di Oligocheti e pertanto sono dei piccolissimi Vermi bianchi di dimensioni variabili da un mm ad un massimo di 5 cm. Hanno scarse esigenze ambientali e a differenza dei loro lontani parenti, i lombrichi, si possono trovare anche in suoli forestali molto acidi. La loro ecologia ricorda però quella dei lombrichi.

2.5.2.7. Protozoi

I Protozoi sono esseri unicellulari le cui dimensioni variano da pochi micrometri ad alcuni millimetri. Quelli presenti nel suolo appartengono ai Flagellati, ai Ciliati e alle Amebe (Rizopodi); i primi sono in netta maggioranza rispetto agli altri due gruppi. I Protozoi partecipano alla distruzione della materia organica e di certi batteri, senza però tener conto se questi siano benefici oppure dannosi.

2.5.2.8. Rotiferi

Si trovano in ambienti molto umidi, si ignora però la loro esatta importanza nel suolo.

2.5.2.9. Radici delle piante

Come sorgente di materia organica le radici sono molto importanti perché forniscono maggior quantità di sostanza primaria che non l'insieme di tutti gli altri organismi del suolo. Gli organismi del terreno, infatti, si possono dividere schematicamente in 2 gruppi: quelli che producono materia organica e quelli che la distruggono. In questo contesto le radici delle piante sono i rappresentanti più di rilievo del primo gruppo. Infatti sono proprio le radici delle piante a estrarre dal terreno le sostanze minerali per trasformarle in sostanze organiche ed iniziare così quel ciclo di trasformazioni biologiche che coinvolge tutti gli organismi del suolo. La funzione primaria delle radici ai fini dell'economia generale del suolo è molto rilevante: se le radici lasciate nel terreno non bilanciassero una parte delle asportazioni di materia organica operata al momento della raccolta dei frutti, si assisterebbe nel giro di breve tempo ad un totale isterilimento del suolo.

2.5.2.10. Alghe

La maggior parte degli organismi appartenenti a questo gruppo possono effettuare la fotosintesi (arricchendo così il suolo di materia organica). Allo stesso modo delle piante superiori, esse devono vivere alla superficie del suolo ed esposte alla luce. Alcune Alghe possono però prosperare anche in assenza di luce: sembra allora che esse si comportino come i Funghi, ricavando l'energia necessaria dalla decomposizione delle sostanze organiche.

2.5.2.11. Licheni

Sono il risultato di una associazione simbiotica di un'alga e di un fungo microscopici (almeno l'alga). Di grande importanza perché colonizzano le rocce inalterate, rappresentano il primo passo per aprire la strada ad organismi vegetali più evoluti.

2.5.2.12. Funghi

Sono organismi per lo più pluricellulari, senza clorofilla, ricavanti la loro energia dalla decomposizione di organismi morti o viventi. I Funghi che abitano il suolo sono ripartiti in 5 classi.

1) Mixomiceti: masse informi ameboidi prive di pareti cellulari, ritenute per molto tempo intermedie tra i vegetali e gli animali inferiori (Protozoi). Vivono nel terriccio dei boschi, nel legno in decomposizione e sono saprofiti.

2) Ficomietti: Funghi simili ad Alghe. Vi appartengono le specie dannose alle colture quali quelle che causano i marciumi radicali (ad esempio *Pythium* e *Phytophthora*) e le peronosspore.

3) Ascomietti: Funghi con contenitori delle spore a guisa di sacco (aschi). Vi appartengono i lieviti, le muffe verdi e azzurre come i *Penicillium* e gli *Aspergillus*, le spugnole e i tartufi.

4) Basidiomiceti: comprendono la maggior parte dei Funghi commestibili e velenosi e le ruggini.

5) Funghi imperfetti: comprendono molti generi di difficile posizione tassonomica a causa della mancanza di fruttificazione di origine sessuata.

I Funghi hanno funzioni molto meno specifiche dei Batteri, perciò la loro classificazione tassonomica non è di grande valore per lo studio dei suoli. Per questo motivo la classificazione morfologica è sovente soppiantata da una classificazione su base ecologica o funzionale (Waksman, 1952). A seconda del loro modo di nutrirsi i Funghi possono dividersi in 3 grandi gruppi: saprofiti, parassiti e simbiotici o micorrizici.

In quest'ultimo caso si tratta di nuove organizzazioni anatomico-funzionali che si vengono a stabilire tra la pianta e il fungo.

La pianta che ospita il fungo si nutre in azoto e fosforo con maggior facilità perché il fungo fornisce alla pianta questi elementi in forma relativamente semplice. Il fungo invece può nutrirsi degli zuccheri che gli sono forniti dalla pianta. La nutrizione micorrizica riveste una importanza notevolissima per le piante forestali.

2.5.2.13. Batteri

Sono microrganismi vegetali unicellulari non dotati di clorofilla. La loro dimensione è generalmente sull'ordine del micron. Sono di gran lunga i microrganismi più numerosi del suolo.

I batteri del suolo possono essere raggruppati in due grandi categorie:

a) Autotrofi, utilizzano elementi o composti semplici per ricavare l'energia. Il carbonio necessario per la costruzione della loro cellula vivente deriva dalla CO₂ dell'aria.

b) Eterotrofi, si nutrono soprattutto di materia organica dalla quale ricavano il carbonio e l'energia.

Alla tav. 2.9 viene fornito uno schema dei principali batteri viventi nel suolo.

2.5.3. Humus

È il prodotto dell'alterazione della materia organica nel suolo ad opera degli agenti biotici di cui al paragrafo precedente abbiamo fornito una lista sintetica. La stazione, espressione sintetica di clima, morfologia e suolo, ha una grande importanza nel determinare l'habitat e di conseguenza l'attività degli esseri viventi nel terreno che restano i veri agenti della formazione dell'humus.

Distingueremo fondamentalmente due processi: decomposizione della materia organica o mineralizzazione e costruzione di nuovi prodotti organici o umificazione. I due processi non sono mai separati in natura (vedi fig. 2.20); per finalità di maggior schematicità essi verranno trattati qui appresso separatamente.

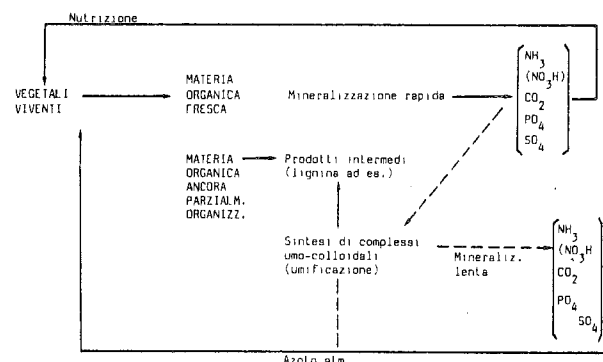


Fig. 2.20 - Processi della trasformazione della materia organica e della formazione dell'humus.

2.5.3.1. Decomposizione della materia organica (o mineralizzazione)

È un processo essenzialmente biologico per effetto del quale gli elementi minerali nutritivi, contenuti in forme complesse della materia organica, ritornano alle forme più semplici, solubili o gassose, quali ad esempio CO₂ e NH₄, utilizzabili dalle piante superiori.

Le sostanze appartenenti alla materia organica vegetale che devono essere decomposte in questo processo riguardano principalmente i carboidrati (monosaccaridi, polisaccaridi, amido, cellulosa, emicellulosa), la lignina e infine le sostanze proteiche.

Distinguiamo tre casi:

- Suoli molto aerati. La mineralizzazione della materia organica è rapida.
- Suoli poco aerati. Una lenta mineralizzazione produce un accumulo di materia organica sul suolo creando degli humus di tipo moder o mor (vedi tav. 2.9).
- Suoli non aerati. L'anaerobiosi permanente rallenta i processi di decomposizione, soprattutto della lignina in rapporto ad altri costituenti; la materia organica mal decomposta si accumula in gran spessore (torbe e certi "anmoor"). La cellulolisi può essere ancora molto rapida grazie all'azione di particolari batteri anaerobi con formazione di CO₂, H₂ e acidi organici suscettibili di produrre metano, gas tipico delle paludi dove si accumula materia organica sul fondo. La proteolisi è incompleta a causa della scarsità di ossigeno del mezzo e vengono prodotti acido solfidrico, amine, mercaptani, indolo, scatolo, acidi organici e alcoli; da molti di questi si può arrivare alla liberazione di ammoniacca, che però non viene mai ossidata a nitrato.

2.5.3.2. Umificazione

È l'insieme dei processi di sintesi che portano alla formazione dei composti umo-colloidali. Tali prodotti sono complessi e generalmente poco solubili. In suoli molto aerati e biologicamente attivi, i gruppi carbossilici COOH, provenienti dall'ossidazione della lignina, si uniscono con ammoniacca e amminoacidi pro-

Tipi di humus								
Tipo	Caratteri e pH			Biochimica e Sottotipi				
	Orizzonti	Struttura	pH	Condizioni di formazione	Fauna	Microflora	Umificazione	Sottotipi
Mull calcico	O molto sottile. A ₁ profondo, bruno o bruno scuro	Grumosa stabile	7,0-8,0	Presenza di calcare attivo (mezzo saturo)	Varia. Lombrichi	Batteri e Actinomiceti	Rapida e completa. Forte sintesi di complessi umici stabili.	
Mull forestale	O sottile, A ₁ anche molto profondo. Grigio o bruno	Grumosa moderata o stabile	5,0-6,5	Foreste dense di latifoglie su roccia non calcarea	Soprattutto Lombrichi, qualche Artropode	Batteri e Funghi	Abbastanza rapida. Debole sintesi di complessi umici stabili. Complessi mobili	Idromull (settori idromorfi)
Moder	O di 2-3 cm. A ₁ nero, sottile a limite netto	Grumosa debole, molti coproliti e ife in C, feltroso	4,0-5,0	Foreste di latifoglie rade o cedui, foreste di resinose	Artropodi	Funghi	Piuttosto lenta ed incompleta. Debole penetrazione dei composti umici nel suolo minerale	Moder zoogenico (Artropodi). Moder micogenico (Funghi). Idromoder
Mor	O molto spesso, A ₁ molto sottile o assente	O a struttura fogliettata feltroso, A ₁ senza struttura	3,0-4,5	Foreste di resinose (Abete rosso, Pino silvestre) o arbusteti a Calluna, Rododendro ecc. Rocce silicee	Qualche Acaro o Collembolo	Abbondanti Funghi acidofili	Molto lenta. Accumulo di materia organica solo parzialmente decomposta. Formazione di complessi stabili molto mobili	Idromor (zone idromorte)
Anmoor	O molto sottile, A ₁ profondo nero	Massiva, plastico. Grumi di Lombrichi	vario	Mezzo quasi sempre saturo di acqua	Acquatica o terrestre, periodica	Batteri anaerobi	Lenta ma completa: meno del 30% materia organica	Anmoor acido, Anmoor calcico
Torba	O molto profondo	Assente o fibrosa	3,5-4,0 7,5-7,0	Mezzo costantemente saturo di acqua	Pressoché senza fauna e senza microflora		Molto lenta ed incompleta; oltre il 30% di materia organica	Torbe oligotrofe acide. Torce mesotrofe basiche

Tab. 2.9 - Principali tipi di humus. Fonte: Duchaufour 1969, modif.

venienti dalla decomposizione delle proteine. I prodotti di formazione sono rappresentati da acidi umici bruni e da umina.

In un suolo poco aerato e biologicamente poco attivo, l'umificazione è lenta e incompleta; si arriva alla sintesi degli acidi fulvici e umici bruni che possono migrare facilmente in profondità. Non si hanno invece gli acidi umici grigi.

2.5.3.3. Fattori influenti sull'evoluzione della materia organica

La rapida decomposizione della materia organica è condizionata da un certo numero di fattori che, modificando l'attività biologica, accelerano il ciclo biologico e influenzano l'evoluzione dell'humus.

Tali fattori sono: un optimum di temperatura (25-40 °C), un'adeguata umidità, un pH favorevole (6-7), una buona aerazione, forti quantità d'azoto, un fine stato di divisione della materia organica e un basso contenuto di lignina.

Valutare l'influenza che questi singoli fattori hanno sulla materia organica è difficile, data la continua interferenza che l'uno esercita sull'altro. Un criterio semplice, diagnostico, che permette un orientamento pratico sui tipi di humus, è la conoscenza del rapporto carbonio-azoto: rapporto C/N. E' questo un indice particolarmente prezioso, poiché lega fra loro i due costituenti fondamentali dell'humus in un rapporto variabile da tipo a tipo.

2.5.3.4. Tipi di humus

Nella tab. 2.9 vengono riassunte le principali caratteristiche dei diversi tipi di humus.

Tra i diversi sistemi di classificazione si ricorda in particolare quello di Klinka et al. (1981) che presenta il vantaggio di essere basato soprattutto su osservazione diretta degli humus in foresta.

2.6. RAPPORTI SUOLO-ACQUA-PIANTA

2.6.1. Introduzione

Il ruolo dell'acqua è fondamentale per le piante per i seguenti motivi:

- a) si combina con la CO₂ nel corso della fotosintesi per formare idrati di carbonio;
- b) è il reagente di tutti i processi idrolitici nelle piante;
- c) funziona da veicolo delle sostanze nutritive dalle radici alle foglie e da queste agli organi di riserva;
- d) determina, mediante il turgore delle cellule la consistenza e l'aspetto caratteristico delle diverse parti della pianta;
- e) impedisce un eccessivo riscaldamento delle parti aeree.

L'acqua proviene dalle precipitazioni ma la sua disponibilità per le piante è largamente governata dal suolo che funziona da interfaccia tra atmosfera e litosfera.

L'acqua contenuta nel suolo è inoltre un importantissimo fattore della pedogenesi (cfr. Cap. 2.6.) e senza di essa la maggior parte dei processi di evoluzione del suolo non potrebbero avere luogo.

2.6.2. Forme di acqua presenti nel suolo

Tralasciando l'acqua di cristallizzazione dei minerali che interessa solo marginalmente il settore pedologico, esaminiamo le principali forme di acqua contenute nel terreno.

2.6.2.1. Acqua igroscopica

Chiamata anche acqua di assorbimento, forma una fine pellicola sulla superficie delle particelle di suolo dove è trattenuta per adesione. Occupa inoltre i micropori molto fini con diametro < 0,2 μ. Tale acqua è trattenuta con molta forza e non è disponibile per le piante.

2.6.2.2. Acqua capillare

Occupava i micropori con diametro compreso tra 0,2 e 10 μ.

Sull'acqua contenuta in questi pori si esercita per lo più la forza di coesione. L'acqua capillare è la maggior riserva di acqua disponibile nel suolo per i vegetali.

2.6.2.3. Acqua gravitazionale

Circola nei pori grossolani ($> 10 \mu$). Essa non può essere utilizzata dalle piante se non per un lasso di tempo più o meno breve in quanto non essendo trattenuta da forze di adesione e coesione è soggetta alla forza di gravità e pertanto viene rapidamente perduta dal suolo. Rimane però presente nel terreno un velo di acqua, più o meno spesso a seconda della dimensione dei macropori, trattenuta sulla parete stessa del macroporo. Questo tipo di acqua è in larga misura disponibile per le piante.

2.6.3. Potenziale idrico

Il sistema "suolo-pianta-atmosfera" è un sistema continuo nel quale l'acqua circola grazie a differenze, da punto a punto, della sua energia potenziale (ovvero a gradienti di potenziale idrico).

Il potenziale idrico totale viene indicato con Ψ .

La tendenza universale della materia in natura è quella di muoversi dai punti dove l'energia potenziale è maggiore a quelli dove è minore, in modo che ogni particella di materia sia in equilibrio con le particelle circostanti.

Nel terreno in rari casi il potenziale dell'acqua è positivo (caso della falda artesiane, o delle piante in guttazione) ma nella maggior parte dei casi è negativo, ovvero occorre compiere un lavoro per sottrarre l'acqua al sistema e portarla allo stato di riferimento che è rappresentato dall'acqua libera e pura ad una quota prefissata (normalmente quella del mare). Ciò si esprime anche dicendo che l'acqua è sottoposta a pressione negativa o a tensione e che per estrarla è necessario esercitare una suzione.

Il potenziale idrico totale del suolo è la somma (Ψ_s) dei suoi potenziali specifici, i quali sono:

potenziale di pressione Ψ_p , non viene trattato in questa sede perché corrisponde a casi particolari

potenziale matriciale Ψ_m

potenziale osmotico Ψ_o

potenziale gravitazionale Ψ_g

2.6.3.1. Potenziale matriciale

Si riferisce al potenziale che esiste all'interno di un suolo non saturo e che risulta dall'azione combinata della tessitura con la struttura e la porosità del suolo (matrice).

Per spiegare fisicamente il potenziale matriciale occorre rifarsi alle forze di adesione e di coesione esistenti nel suolo nonché ai fenomeni legati alla pressione dell'acqua in un tubo capillare.

2.6.3.1.1. Forza di adesione

Sull'accennato bipolarismo dell'acqua viene ad influire il suolo che presenta delle parti caricate negativamente sulle quali si indirizza il legame dell'H. Le molecole d'acqua aderiscono alle particelle del suolo sotto forma di sottili films d'acqua (cfr. fig. 2.21). Questa adesione alle particelle solide terrose riduce la mobilità delle molecole d'acqua ed a questa diminuzione

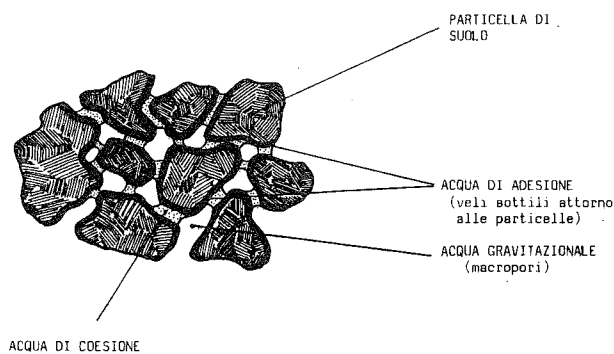


Fig. 2.21 - Tipologia dell'acqua contenuta nel suolo.

di energia corrisponde emissione di calore e perdita di potenziale idrico.

L'acqua di adesione non è disponibile per le piante, può però essere perduta per riscaldamento in stufa.

2.6.3.1.2. Forza di coesione

E' la forza che viene esercitata sullo strato d'acqua compreso tra due strati d'acqua sottoposti alla forza di adesione. In questo caso sull'acqua viene esercitata soltanto la forza relativa al legame H. Rispetto all'acqua trattenuta con la forza di adesione, questa ha una mobilità più spiccata ed una maggior energia, ovvero un maggior potenziale.

Questo strato di acqua è quello che costituisce la maggior quantità di acqua disponibile per le piante.

2.6.3.2. Potenziale osmotico

E' dovuto all'attrazione che le molecole d'acqua subiscono per effetto di ioni prodotti da sali solubili. Tale potenziale è, di norma, trascurabile nei suoli lisciviati mentre è elevato nei suoli salati e si manifesta con una aumentata difficoltà da parte dei vegetali e dei microrganismi ad assorbire acqua.

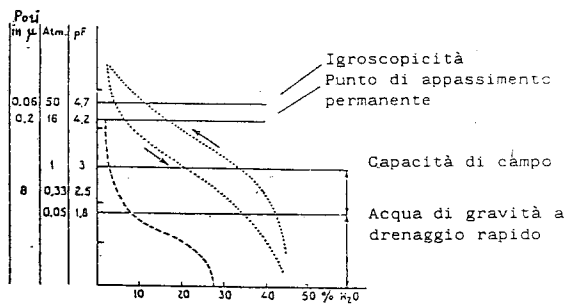
2.6.3.3. Potenziale gravitazionale

Esso è dovuto all'azione della forza di gravità sulle molecole di acqua. Se l'acqua nel suolo è trattenuta con una forza che è inferiore a quella di gravità, l'acqua verrà allontanata verso il basso.

2.6.4. Curve del potenziale idrico del suolo

L'energia necessaria per rimuovere l'acqua è una funzione continua del contenuto di umidità (tav. 2.10), di modo che il potenziale matriciale è una funzione lineare del reciproco del contenuto di umidità. La curva che lega il potenziale capillare all'umidità del suolo è un'importante caratteristica di ogni tipo di suolo (vedi fig. 2.22.). Esaminando il grafico che mette in relazione la tensione e l'umidità percentuale dell'acqua contenuta nel suolo si possono fare alcune considerazioni:

- il potenziale idrico del suolo è soprattutto influenzato dalla tessitura. I suoli argillosi trattengono più acqua, a parità di forza applicata per estrarla, rispetto ai suoli sabbiosi. Ciò è dovuto alle caratteristiche fisiche dell'argilla: elevato numero di pori, estesa superficie di adsorbimento e consistente presenza di sostanze colloidali;
- le curve tensiometriche presentano cambiamenti graduali nelle forze di tensione. Pertanto i limiti che separano i diversi tipi di acqua sono convenzionali e non assoluti.



.....suolo argilloso-limoso
 --- --suolo sabbioso

Fig. 2.22 - Curve del potenziale idrico in due diversi suoli. Fonte: Duchaufour, 1976 "Précis de pédologie" - Masson Ed. - Parigi

Tav. 2.10 - Tensioni alle quali l'acqua è trattenuta nel suolo. (1) Il suolo di riferimento possiede una tessitura franca ed una struttura grumosa.

CLASSIFICAZIONE DELL'ACQUA NEL SUOLO	TENSIONI		% APPROSSIMATIVO DI SPAZI POROSI OCCUPATI DALL'ACQUA (1)
	Atm o bar	cm di acqua	
Seccato in stufa	10.000	10.000.000	0
Acqua igroscopica (non utilizzabile)			
Coeffic. igroscopico	31	31.600	15
Acqua capillare ADESIONE (non utilizzabile)			
Punto di appassim.	15	15.800	25
Acqua capillare COESIONE (utilizzabile)			
Capacità di campo	1/3	346	50
Acqua gravitazionale (soggetta al drenaggio)			
Saturazione	0	0	100

Per semplicità di espressione numerica è da tempo invalso l'uso di esprimere la tensione dell'acqua nel suolo con il pF , anziché con le atmosfere o con l'altezza di una colonna d'acqua. Il pF è il logaritmo del valore assoluto del potenziale idrico espresso in millibar (vedi tav. 2.11).

Tav. 2.11 - Equivalenze di pressione.

Altezza di una colonna unitaria in cm	Atmosfere di pressione	Valore equivalente di pF
1	1/1000	0
10	1/100	1
100	1/10	2
346	1/3	2,54
1.000	1	3
10.000	10	4
15.849	15	4,2
31.623	31	4,4
100.000	100	5
1.000.000	1.000	6
10.000.000	10.000	7

2.6.5. Acqua facilmente utilizzabile dalle piante.

Abbiamo visto che l'acqua si dispone attorno alle particelle di suolo formando dei veli idrici sovrapposti. Quelli più vicini alle particelle presentano una più elevata forza di tensione rispetto a quelli più lontani (vedi fig. 2.23).

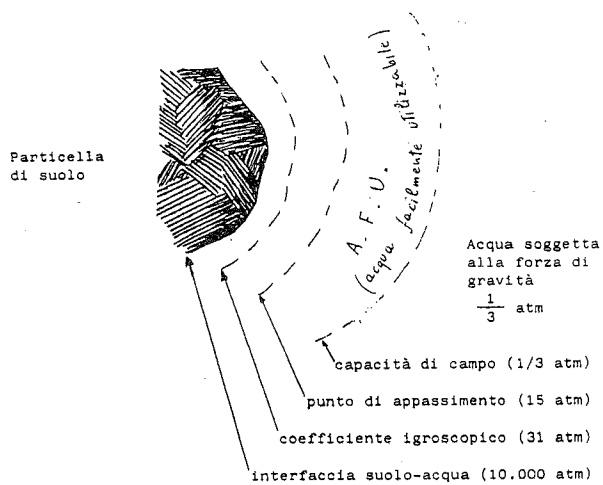


Fig. 2.23 - Organizzazione delle pellicole d'acqua attorno alle particelle di suolo.

Tale fatto si ripercuote sullo spessore dei veli idrici. Non tutta l'acqua trattenuta attorno alle particelle può essere prelevata dalle piante ma soltanto una ben specifica quantità trattenuta nel suolo con tensioni che vanno da 1/3 a 15 atm. La quantità di acqua contenuta nel terreno ad una tensione di 1/3 atm corrisponde alla capacità di campo ovvero a quella quantità di acqua rinvenibile in un terreno che abbia raggiunto la saturazione ma che successivamente abbia perduto l'acqua gravitazionale.

L'acqua contenuta nel suolo a 15 atm non è più disponibile per le piante: quelle coltivate appassiscono in modo irreversibile, quelle spontanee invece entrano in riposo vegetativo.

L'intervallo (capacità di campo-punto di appassimento) definisce la quantità di acqua che può essere facilmente utilizzabile dalle piante. Tale intervallo, così come i due limiti citati, è una caratteristica propria di ogni suolo. La capacità totale di trattenere acqua è massima nell'argilla ma la quantità di acqua che può essere facilmente utilizzabile dalle piante è massima nei suoli franchi (vedi fig. 2.24).

Alla nota (1) è riportata una traduzione in inglese e francese di alcuni termini utilizzati.

- (1) capacità di campo: Field capacity (FC) in ingl./ capacité au champ in fr.
- punto di appassimento: Wilting point (WP) in ingl./ point de flétrissement in fr.
- acqua facilmente utilizzabile: Available water capacity (AWC) in ingl./ Réserve en eau utile in fr.

2.6.6. L'acqua dal suolo alla pianta

2.6.6.1. Origine dell'energia a disposizione delle piante per la suzione

Perdite di acqua per evapotraspirazione creano le

maggiori forze per assorbire l'acqua da parte delle radici. La tensione creata nelle foglie per perdita di acqua (transpirazione) è trasmessa allo xilema del tronco e quindi alle radici. Tensioni di 4-5 atm sono frequenti negli alberi delle foreste temperate e sono sufficienti per innalzare l'acqua a 40 m di altezza. Tensioni di oltre 80 atm si trovano nelle piante del deserto. Come è già stato detto queste elevatissime tensioni non danno alla pianta del deserto un vero vantaggio in quanto è minima la quantità di acqua assorbita nel passaggio da 15 a 80 atm.

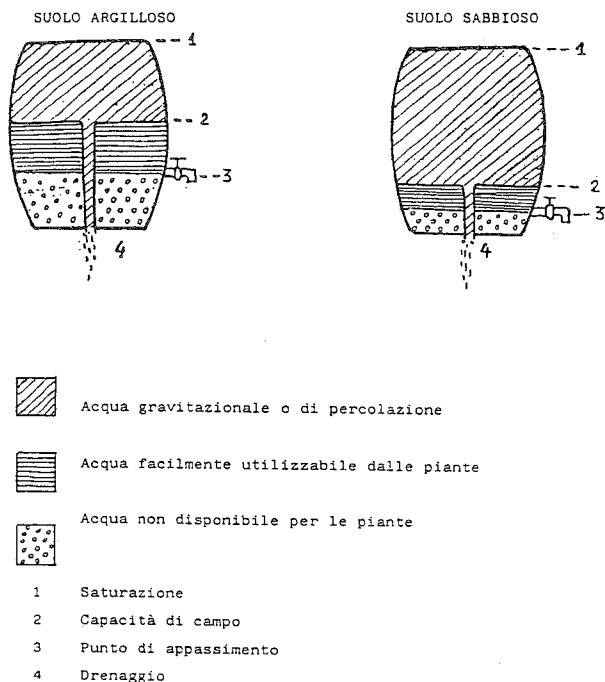


Fig. 2.24 - Rappresentazione figurata del comportamento dei suoli nei riguardi dell'acqua.
Fonte: FAO, 1976

2.6.6.2. Meccanismi di suzione

Se il suolo è saturo le piante possono assorbire acqua a loro piacere essendo questa libera e non sottoposta ad alcuna forza.

In un suolo non saturo invece le piante debbono esercitare una forza di suzione superiore alla forza con cui l'acqua è trattenuta nel suolo.

Facendo riferimento alla fig. 2.25, possiamo osservare che in un suolo non saturo, le radici assorbendo acqua dal velo idrico esistente tra le particelle di suolo, fanno aumentare la curvatura del velo idrico (punto A). In questo punto prende origine una forza di attrazione direttamente proporzionale al doppio della superficie di tensione ed inversamente proporzionale al raggio della curvatura.

Se assumiamo, ad esempio, che il raggio di A = 1 e che il raggio di B = 2, la forza di attrazione esercitata in A sarà $p = 2T/1$ e quella esercitata in B sarà $p = 2T/2$. Siccome in tutti e due i casi il liquido è rappresentato dall'acqua, T rimane uguale, cosicché la forza di attrazione esercitata dal velo idrico in A sarà doppia di quella esercitata in B. Come risultato si avrà un trasporto di acqua dal punto B verso il punto A finché i raggi delle curvature dei veli idrici in A e in B non saranno uguali.

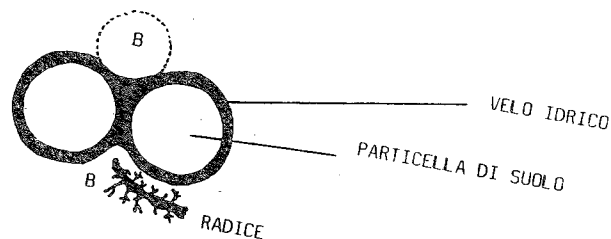


Fig. 2.25 - Assorbimento e movimento dell'acqua in un suolo non saturo.

Fonte: Foth, 1984, "Fundamentals of Soil Science" John Wiley and Sons - New York.

2.6.6.3. Modalità diverse di rimozione dell'acqua dal suolo tramite le piante

Una buona parte delle precipitazioni sono intercettate dalle chiome degli alberi e vengono evaporate. Sovente deve verificarsi una precipitazione > 12 mm prima che il primo strato minerale di un suolo sotto foresta venga inumidito.

Questo significa che più difficilmente nei suoli forestali l'acqua può scendere in profondità. Il risultato è che le radici delle piante forestali tendono ad espandersi negli orizzonti superficiali del suolo. Esiste però l'acqua che scende lungo il tronco (stem flow).

2.6.6.4. Ruolo dell'acqua nell'assorbimento delle sostanze nutritive

Si tratta, a differenza degli animali, di due funzioni separate.

Infatti l'acqua nelle radici entra come acqua pura indipendentemente dall'assorbimento dei sali, i quali vengono assorbiti con il meccanismo dello scambio cationico.

Subito dopo l'H₂O può funzionare da trasportatore.

2.6.7. Misure del contenuto d'acqua nel suolo

Possono esser usati metodi da laboratorio (gravimetrico) o da campagna (sonda nucleare, blocchetti porosi).

2.6.7.1. Gravimetria

Si tratta del metodo più comune, esso consiste nel pesare il campione di terreno prima e dopo averlo fatto essiccare in stufa ad una temperatura variabile tra 100 e 110 °C. La perdita in peso viene espressa come percentuale riferito al peso secco del campione

$$\text{peso umido} - \text{peso secco} / \text{peso secco} = \% \text{ umidità}$$

Qualora si volesse una misura volumetrica occorrerà moltiplicare il percento ottenuto per la densità apparente del suolo.

2.6.7.2. Sonda nucleare

Una sorgente radioattiva di raggi γ viene calata dentro un tubo di alluminio il quale è stato infisso nel terreno. La sorgente radioattiva emette dei neutroni veloci i quali vengono rallentati dagli atomi di idrogeno presenti nel suolo di modo che la lettura della sonda nucleare fornisce il volume di acqua nel suolo a diverse profondità.

Per un buon uso della sonda questa va tarata con campioni sui quali è stato accertato il contenuto di acqua con il metodo gravimetrico.

Inconvenienti tecnici presenti nell'uso della sonda sono:

- nello strato compreso entro i primi 20 cm molti neutroni vengono dispersi nell'atmosfera. Si consiglia per queste deboli profondità di fare ricorso al normale metodo gravimetrico;
- nei suoli molto ricchi di materia organica l'idrogeno ad essa legato interferisce con l'idrogeno dell'acqua. L'uso della sonda nucleare è sconsigliabile in questi casi.

Esistono poi altri inconvenienti di ordine pratico:

- lo strumento è costoso;
- occorre sottostare alle norme previste dalla protezione civile per le apparecchiature nucleari. Tali norme si riferiscono alla conservazione in laboratorio dell'apparecchio, al suo trasporto su strada ed all'esercizio in campo.

2.6.7.3. Resistenza elettrica presenta da blocchetti di materiale idratabile

I capi di due fili elettrici vengono immersi in un blocchetto di gesso e di lana di vetro. Tali blocchetti vengono calati nel suolo alla profondità voluta, essi si mettono ben presto in equilibrio con l'umidità del terreno. La resistenza offerta dai blocchetti al passaggio di una corrente elettrica è correlata con l'acqua assorbita dai blocchetti e quindi fornisce una misura del contenuto di umidità del suolo.

2.6.8. Misure del potenziale idrico del suolo

Richards (1928 e 1949) sviluppò gli studi sulle relazioni "umidità-potenziale capillare" per misurare le forze in gioco. A tal fine collocò uno strato di suolo su un piatto di ceramica porosa sigillato a sua volta sopra un recipiente pieno d'acqua.

Applicando una depressione all'acqua del recipiente si determinano nel suolo diversi contenuti di umidità i quali indicano il potenziale idrico del suolo.

Alla fig. 2.26 viene presentata una doppia attrezzatura di cui A si riferisce alla determinazione di punti della curva tensiometrica caratterizzati da bassi valori di pF (1-2,5) mentre la parte B è adatta a valori elevati di pF (3-4,2). La parte A è stata recentemente perfezionata sostituendo il piatto poroso di ceramica con degli strati di sabbia, limo e argilla aventi ognuno la caratteristica di esser formati da particelle elementari il più possibile isodiametriche.

Volendo misurare in campagna la forza con cui l'acqua è trattenuta nel suolo in un determinato momento si usa il tensiometro (vedi fig. 2.27). Esso è costituito da un tubo sulla cui punta è inserito un elemento di ceramica porosa. Il tubo viene riempito d'acqua, chiuso ermeticamente ed infisso nel terreno. L'elemento poroso saturo cederà dell'acqua al suolo fino a quando questo raggiungerà l'equilibrio con il suolo stesso. La tensione che si è creata nel tubo verrà misurata con un manometro. Se poi viene raccolto un campione di suolo, riferito all'orizzonte in cui è stato posto il tensiometro, si potrà anche conoscere la percentuale di acqua contenuta nel suolo alla tensione misurata con il tensiometro.

2.7. BILANCI IDRICI DEI SUOLI

2.5.1. Premessa

Il bilancio idrico è un'importante qualità del suolo.

Con il termine qualità si intende un attributo del suolo che non può essere misurato né in modo parametrico né in modo non parametrico perché a tale at-

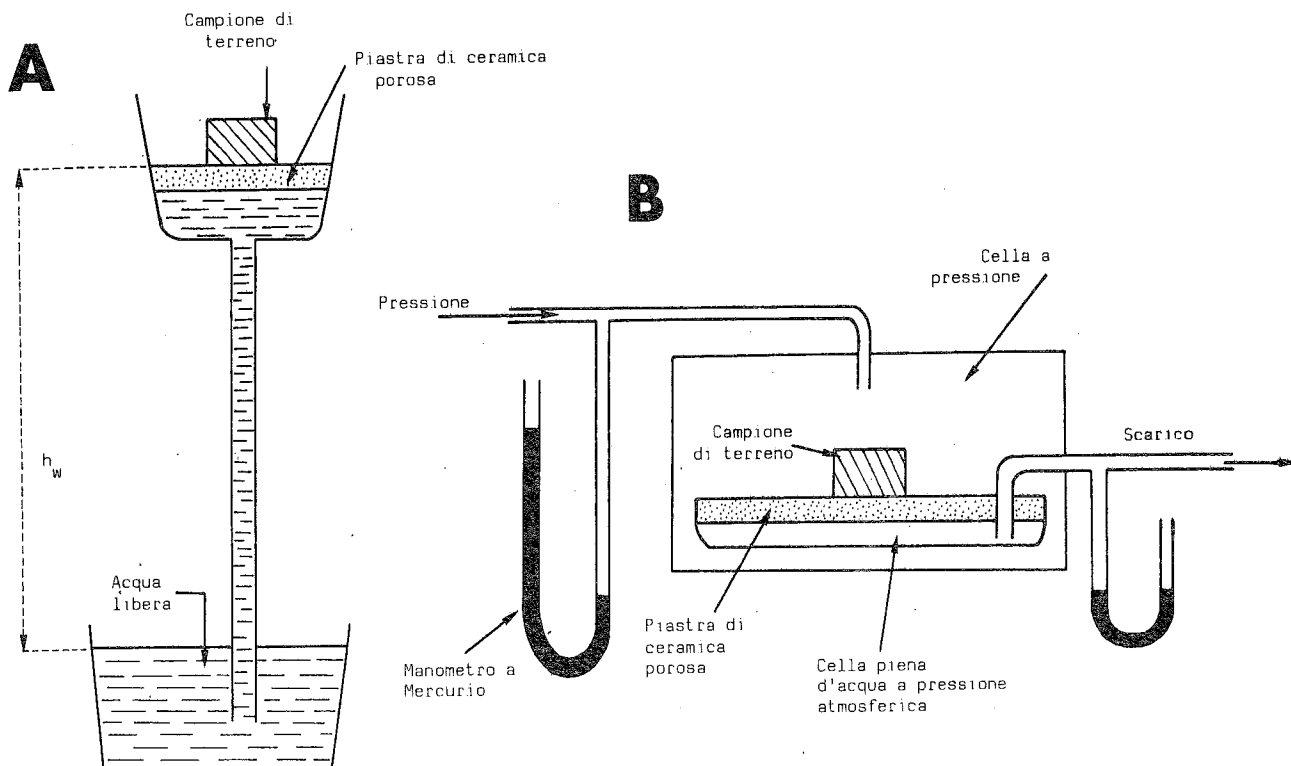


Fig. 2.26 - Attrezzatura per la determinazione dei bassi valori di pF .

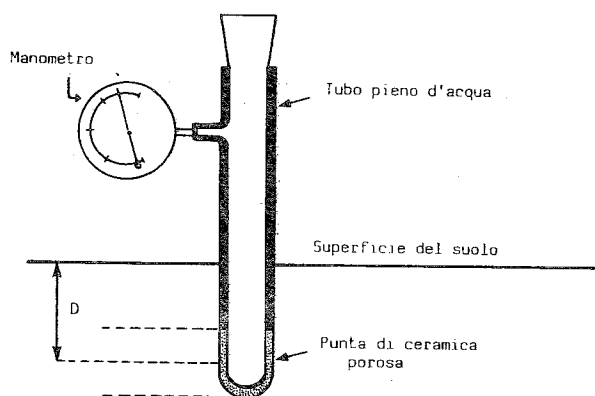


Fig. 2.27 - Illustrazione schematica di un tensiometro.
d = profondità alla quale viene misurata la tensione dell'acqua nel suolo.

tributo non corrisponde una variabile da analizzare e misurare. Per la misura di una qualità occorre fare ricorso ad un modello matematico più o meno complesso che integra in modo funzionale due o più variabili che non necessariamente devono derivare tutte dalla risorsa suolo.

Una qualità alla base di ogni studio pedologico è appunto il bilancio idrico dei suoli. Essa è importante per i seguenti motivi:

- integra la componente suolo calcolando l'AWC (available water capacity) con la componente clima (precipitazioni) ed infine con la componente vegetazione (evapotraspirazione).
- dato il forte livello di integrazione il bilancio idrico diviene una espressione sintetica al centro del concetto di "terre" il quale, a sua volta, è molto vicino al concetto di zona agro-ecologica ed a quello di ecosistema.
- la classificazione dei suoli USDA 1975 utilizza i bilanci idrici dei suoli per l'elaborazione dei regimi di umidità.

2.7.2. Elementi necessari per il calcolo del bilancio idrico

Il bilancio idrico consiste in un confronto tra la domanda di acqua (evapotraspirazione) che si verifica sulla superficie terrestre come conseguenza dell'interazione di determinati fenomeni fisici e biologici (temperatura, albedo, vento, umidità dell'aria, copertura vegetale, ecc.) e l'offerta naturale, costituita dalle precipitazioni e/o da corpi d'acqua influenzanti in qualche modo la superficie terrestre in questione. Nel bilancio si tiene conto ovviamente della natura del terreno con le sue caratteristiche pedologiche e morfologiche.

Il bilancio idrico dei suoli si avvale, come è già stato detto, dei seguenti parametri:
pioggia utile

- clima
evapotraspirazione
- A.F.U. (acqua facilmente utilizzabile)

I dati sulle temperature e sulle piogge necessarie per il calcolo del punto a) sono riferiti alle stazioni termopluviometriche più vicine alle aree scelte precedentemente.

2.7.2.1. Clima

Non sono i dati climatici medi annui quelli che ci interessano ma quei dati sufficientemente dettagliati, secondo lunghezze temporali diverse (mesi, decenni, settimane, ecc.) che ci permettono di spiegare come mai stazioni che hanno le stesse medie meteorologiche, in realtà possono caratterizzare ambienti anche molto diversi tra loro. Vedi a tal proposito la tav. 2.12.

Tab. 2.12 - Bioclima, ovvero clima in funzione della vita. Una classificazione climatica puramente basata su delle medie annue non serve per definire i fenomeni della vita vegetale ed animale nel mondo. Infatti i differenti tipi di vegetazione delle 3 stagioni elencate si spiegano invece con il diverso comportamento delle piogge e delle temperature nel corso dell'anno.

LOCALITÀ	TEMPERATURA MEDIA ANNUA °C	PRECIPITAZIONI MEDIE ANNUE mm.	TIPO DI VEGETAZIONE
BUENOS AIRES (Argentina)	16	950	PRATERIA
NANKING (Cina)	"	"	FORESTA LATIFOLIE DECIDUE
MILIANA (Algeria)	"	"	FORESTA LATIFOLIE SEMPRE VERDI

2.7.2.1.1. Piogge utili

Nel calcolo del bilancio idrologico dei suoli occorre riferirsi alle precipitazioni mensili o decadiche utili.

Le precipitazioni utili sono ottenute correggendo le precipitazioni totali applicando un coefficiente di valore variabile a seconda del mese ed a seconda della pendenza, come riferito dalla tabella seguente, che va intesa, ovviamente, come una esemplificazione di larga massima:

Pendenze	Coefficienti di correzione	
	Mesi invernali Ottobre-Marzo	Mesi estivi Aprile-Settembre
> 25 %	0,60	0,80
< 25 %	0,70	0,90

2.7.2.1.2. Evapotraspirazione

E' il fenomeno più importante per l'agricoltura e per la vegetazione in generale. Esso determina il consumo d'acqua dovuto ai processi vegetali e all'evaporazione del suolo su una certa superficie e per un certo tempo.

L'evapotraspirazione si divide in potenziale (ETp) e reale (ETr).

Quella potenziale corrisponde alla quantità d'acqua consumata per evaporazione o per traspirazione da una superficie di terreno interamente coperta di vegetazione e dove l'acqua non agisce da fattore limitante. L'evapotraspirazione reale è quella invece che si verifica su di un dato terreno con le sue caratteristiche di umidità e di copertura vegetale.

Normalmente $ETp > ETr$.

I metodi di misura dell'evapotraspirazione possono essere:

- diretti
 - casce di vegetazione;
 - lisimetri;

a₃) evaporimetri;
 a₄) aree di rilevamento in pieno campo (misura periodica e continua dell'umidità del suolo).

b) di correlazione climatica

b₁) Formule che correlano l'ET con la temperatura dell'aria:

- Thornthwaite;
- Blaney-Criddle.

b₂) Formule che correlano l'ET con l'evaporazione dell'acqua da specchio libero:

- Bouchet;
- Hargreaves.

b₃) Formule che correlano l'ET con il deficit di umidità dell'aria:

- Papadakis;
- Haude.

b₄) Formule che si basano sul bilancio energetico:

- Turc;
- Penman.

Una delle formule più utilizzate è quella di Thornthwaite a causa della sua semplicità, essendo basata solo sui dati di temperatura, di solito facilmente reperibili.

Equazione di Thornthwaite 1948:

$$Etp = 1.6 \cdot \left(\frac{10t}{I}\right)^a$$

Etp = evapotraspirazione potenz. mm/mese
 t = temperatura media mensile in C
 I = indice calorico annuo, ovvero sommatoria dei 12 indici mensili i

$$i = \left(\frac{t}{5}\right) \cdot 1,514$$

a = funzione cubica di 1/675

K = coefficiente correttivo di latitudine (la correzione è necessaria perché la formula è data per una insolazione di 360 ore mensili).

Il calcolo è facilitato dall'uso di un apposito normogramma che corrisponde alla soluzione dell'equazione sopra riportata.

Alla fig. 2.28 viene fornito un grafico che permette di calcolare rapidamente l'Etp secondo Thornthwaite, mentre alla tav. 2.13. viene dato un esempio pratico di applicazione del metodo di Thornthwaite.

I limiti del metodo di Thornthwaite (cfr. Giuliani 1976) riguardano il fatto che la formula è legata solo alla temperatura e che il fattore K è riferito alla luminosità (ore di luce) e non all'insolazione. La formula ha quindi una validità variabile a seconda della diverse zone climatiche:

- zone temperate umide e subumide, fornisce buoni risultati (1)
- zone aride e semiaride, sottostima i risultati
- zone tropicali ed equatoriali, sovrastima i risultati
- zone isoterme con contrasti di precipitazioni, sottostima i risultati in stagione secca.

Il metodo di Thornthwaite è di largo impiego non tanto per la garanzia che esso offre di buon modello di simulazione dei fenomeni climatici (non vi è dubbio che in questo senso il metodo di Penman e quello di Penman modificato FAO sono nettamente superiori) quanto per la semplicità di calcolo e per la possibilità

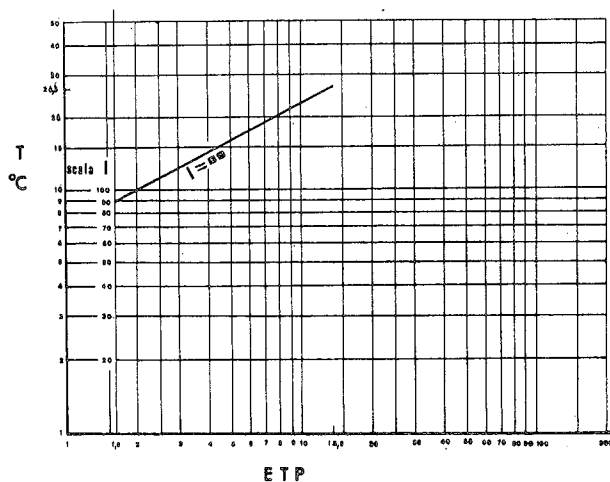


Fig. 2.28 - Normogramma di Thornthwaite

Nel normogramma vi è una relazione lineare tra il logaritmo della temperatura e il logaritmo della evapotraspirazione potenziale non corretta. La relazione è definita dalle rette tracciate sul grafico (rette dell'I annuale). Tutte le linee passano attraverso un punto di convergenza fissato a T = 26,5 C ed ETP = 13,5 cm.

- a) Si legge l'indice calorico mensile "i" corrispondente a quella data temperatura media mensile in C.
- b) Si totalizzano gli indici mensili e si trova l'indice termico annuo "I".
- c) Si collega il punto di convergenza, segnato sull'abaco (26,5 C) con il valore corrispondente all'indice "I" precedentemente calcolato, mediante una retta.
- d) Appoggiandosi alla retta così tracciata si leggono sulle ordinate le temperature medie mensili e sull'ascissa i corrispondenti valori dell'ETP in mm (o cm).
- e) Si correggono i valori mensili dell'ETP moltiplicandoli per il coefficiente di correzione "K" dato da apposita tabella.
- f) Si totalizzano i valori mensili così ricavati dell'ETP mensile e si ha l'ETP annua corretta.

di riferimento dati.

(1) Occorre notare che nelle zone temperate umide i risultati sono buoni se ottenuti come medie annue ma non tanto come analisi delle singole stagioni. Infatti in primavera la formula di Thornthwaite fornisce risultati sottostimati mentre il contrario si verifica in autunno. La spiegazione è dovuta al fatto che, a parità di temperatura, i mesi di primavera sono più secchi e soleggiati.

2.7.2.2. Suolo

Nel calcolo del bilancio idrico occorre valutare la quantità di acqua che il suolo riesce ad immagazzinare durante il periodo umido per far fronte alla crescita evapotraspirazione del periodo asciutto.

Se si conosce il volume % di acqua compreso tra la forza di suzione di 1/3 atm e 15 atm e se si conosce la profondità utile del suolo (volume terra-volume pietre), ed il peso specifico apparente del suolo, allora si utilizza la seguente relazione:

$$AFU =$$

dove AFU = acqua facilmente utilizzabile

FC = capacità di campo

WP = punto di appassimento permanente

PUS = profondità utile del suolo, ovvero l'altezza del volume di suolo a cui è stato sottratto il volume delle pietre e dei ciotto-

li (componente litica di diametro > 2 mm) (1)

PSA = peso specifico apparente.

(1) Supponendo quindi che in un suolo un determinato orizzonte, potente 20 cm, abbia 10% di ghiaia e 30% di ciottoli, occorrerà diminuire lo spessore dell'orizzonte del 40%. L'orizzonte sarà allora profondo 12 cm e su tale profondità verrà calcolata l'acqua facilmente utilizzabile.

2.7.3. Elaborazione del bilancio idrico

Su un grafico sulle cui ascisse sono segnati i mesi dell'anno e sulle cui ordinate i millimetri, si tracciano gli istogrammi delle precipitazioni utili e dell'evapotraspirazione. Quando i valori delle precipitazioni sono superiori a quelli dell'evapotraspirazione inizia la ricarica (R) dell'acqua nel suolo che continua fino alla quantità indicata come "acqua facilmente utilizzabile". Se oltre questo limite continua a piovere vi sarà la fase di surplus (S). Quando i valori delle precipitazioni sono inferiori a quelli dell'evapotraspirazione, inizia l'utilizzazione (U) dell'acqua immagazzinata nel suolo, la quale continuerà fino ad un massimo di quantità d'acqua pari a quella della ricarica. Oltre questo limite appare il deficit (D) idrico (1).

Alla fig. 2.29 è riportato un esempio di bilancio idrologico.

L'importanza dei bilanci idrologici e dei regimi idrici relativi è tale che la classificazione dei suoli della USDA (1975) li usa fin dai più generali ordini tassono-

nomici per la classificazione dei suoli (vedi fig. 2.30).

(1) Nel caso di piante coltivate e molto esigenti d'acqua, il deficit viene superato intervenendo con l'irrigazione.

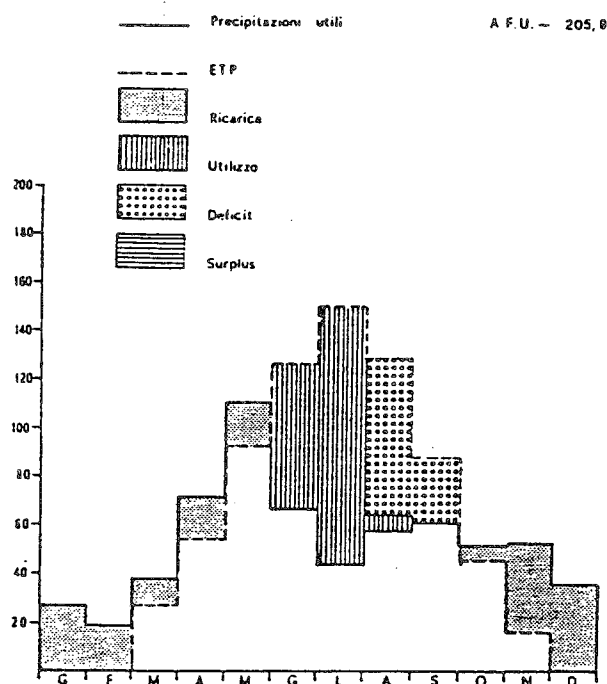


Fig. 2.29 - Bilancio idrico di un suolo in un bosco di robinia (Loc. Millerose, comune di Torino).

Tav. 2.13. - Esempio pratico di applicazione del metodo di Thornthwaite mediante nomogramma (località dell'Italia meridionale posta a 38° N)

Mese	T.media (°C)	Indice calor. i	ETP mm	Coeff. correz.	ETP corr. mm
Gennaio	10,3	2,98	23,0	0,85	19,5
Febbraio	10,4	3,03	23,0	0,84	19,3
Marzo	13,0	4,25	33,0	1,03	34,0
Aprile	16,2	5,95	53,0	1,10	58,3
Maggio	18,7	7,37	70,0	1,23	86,1
Giugno	23,0	10,08	105,0	1,24	130,2
Luglio	25,3	11,64	120,0	1,25	150,0
Agosto	25,1	11,55	120,0	1,17	140,4
Settembre	23,2	10,21	105,0	1,04	109,2
Ottobre	19,9	8,09	80,0	0,96	76,8
Novembre	16,8	6,26	57,0	0,84	47,9
Dicembre	12,6	4,05	33,0	0,83	27,4
		I annuo			ETP Tot. annua
		85,44			899,1

38° N Brancaleone (Calabria), Trapani (Sicilia)

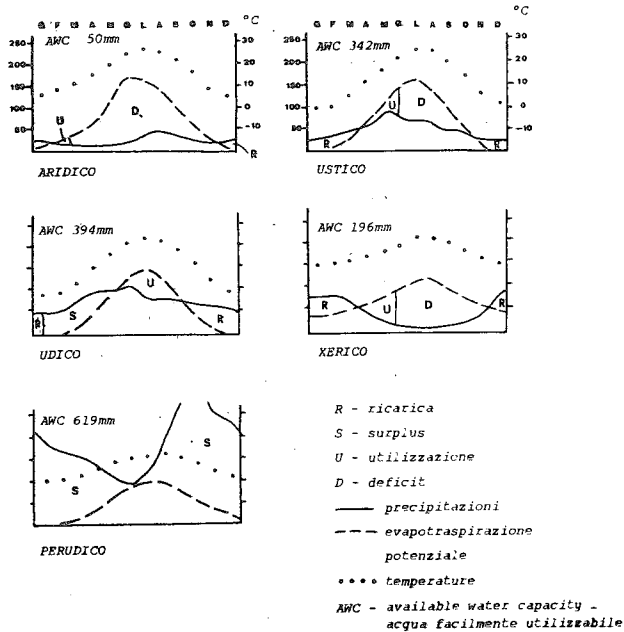


Fig. 2.30 - Esempi di regimi di umidità del suolo (1) AWC = available water capacity o acqua facilmente utilizzabile (AFU).

2.8. PEDOGENESI

Il suolo, come ogni corpo appartenente al pianeta Terra ha una sua storia con un inizio, una maturità ed una senescenza.

Modificazioni a questo schema possono essere la fossilizzazione dei suoli e il trasporto più o meno violento dalla località originaria ad un'altra dove non è detto che vi siano le stesse condizioni ambientali e pertanto quel materiale terroso conoscerà due diverse storie pedogenetiche. Capita anche con una certa frequenza che un fattore della genesi del suolo cambi (ad esempio il clima o la vegetazione), inevitabilmente cambierà anche il suolo dato il suo carattere di sintometro, ovvero di registratore di ogni variazione ambientale.

2.8.1. Fattori della pedogenesi

Il suolo viene definito come il risultato dell'azione dei diversi fattori che formano il suolo. Esprimendo in modo sintetico quanto detto si può scrivere: $\text{suolo} = f(\text{litologia, clima, morfologia, biologia}) \Delta t$ dove Δt è la variazione nel tempo (vedi fig. 2.31 e fig. 2.32 che rappresenta una esemplificazione della figura precedente).

Questa formula dice che il suolo è una funzione diretta dei fattori che lo hanno formato.

Si può però arrivare a un certo punto in cui il terreno non subisce più modificazioni, perché è giunto a un equilibrio relativamente stabile con l'ambiente esterno, espresso dai fattori di formazione del suolo. Tale stadio costituisce il cosiddetto "climax" del suolo.

L'evoluzione si dice progressiva quando porta il terreno verso il suo climax, regressiva quando lo allontana. Quest'ultima può essere considerata come un ringiovanimento, se l'erosione asporta la parte più superficiale del suolo costringendo il terreno a ricostruire lentamente ciò che gli è stato tolto, oppure come degradazione, se il terreno subisce una evoluzione differente da quella normale in seguito a una modificazione della vegetazione o a una azione antropica.

Esaminiamo ora i diversi fattori.

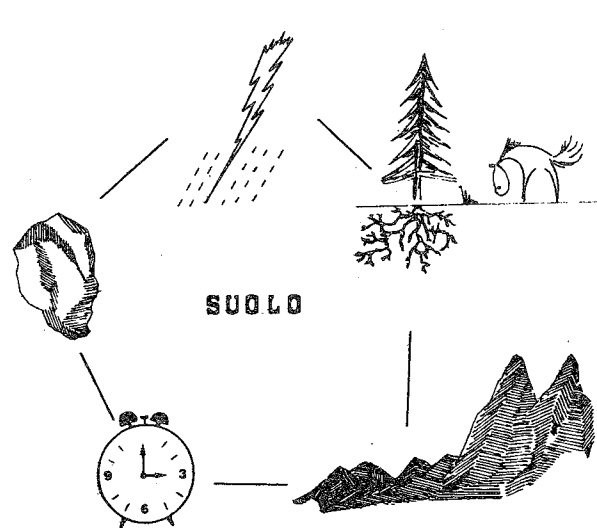
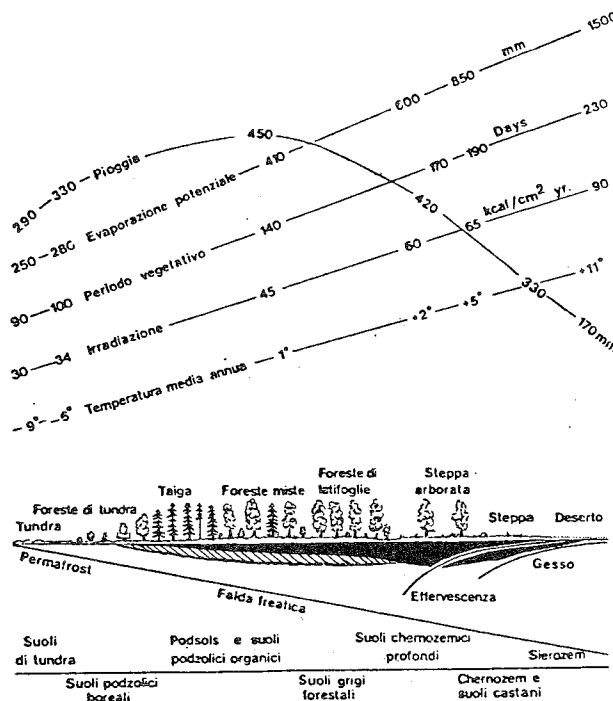


Fig. 2.31 - Il suolo e il risultato dell'azione dei diversi fattori ambientali.



■ humus
 ▨ orizzonte illuviale B

da: H. Walter, 1977

Fig. 2.32 - Schema delle interrelazioni tra il clima, la vegetazione, l'idrologia e l'evoluzione dei suoli nell'Europa orientale.

2.8.1.1. Roccia madre e substrato pedogenetico

A questo riguardo si impone subito una differenziazione: con roccia madre si intende il materiale che si trova sotto il suolo e che non è stato modificato dal clima e dalla vegetazione; esso cioè rappresenta quello che si poteva trovare in superficie al "tempo zero" della storia del terreno; con substrato pedogenetico ("parent material" dei pedologi di lingua inglese, "zone de départ" dei pedologi francesi), si intende una fase di al-

terazione della roccia madre, costituita da detriti minerali. Il substrato così definito può provenire dalla disgregazione della roccia o essere invece un insieme di frammenti trasportati dalle acque correnti, dai ghiacciai, dal vento e dalla stessa forza di gravità e depositato sopra rocce con le quali non ha alcun rapporto di origine.

Sul nostro pianeta l'importanza del substrato può essere molto limitata dagli eccessi climatici: nei deserti, ad esempio, dove la temperatura raggiunge gli estremi caldi, oppure nella tundra, interessata dagli estremi freddi, si troveranno sempre gli stessi tipi di suoli, indipendentemente dal substrato di partenza. In zone temperate invece, vi è la coesistenza di tipi di suoli diversi su differenti substrati, proprio perché il fattore clima non prevale, ma agisce armonicamente con gli altri fattori pedogenetici.

2.8.1.2. Clima

Il fattore clima agisce sia direttamente attraverso l'alterazione dei minerali del substrato, sia indirettamente attraverso la vegetazione.

La sua importanza è enorme: se si osserva una mappa del mondo, a piccola scala, si può notare come i tipi di terreno siano disposti in zone di latitudini dipendenti unicamente dal clima. Si tratta del concetto della "zonalità" secondo il quale in Russia si osservano, da nord a sud, le seguenti successioni dei suoli: di tundra, podzols, grigi forestali, cernozem e bruni di steppa.

E' soltanto con una particolare mitezza del clima che la roccia madre può prendere il sopravvento, dando luogo a dei suoli le cui caratteristiche dipendono più da essa che dal clima; sono i cosiddetti suoli intrazonali dei quali abbiamo molti esempi in Italia.

Lo stato di umidità e la temperatura del suolo influenzano direttamente l'alterazione della materia organica, dei minerali della roccia e la formazione di nuove specie mineralogiche.

L'alterazione cessa dove manca totalmente l'acqua ed è prevalentemente fisica dove le temperature sono molto basse (tundra, zone alpine di altitudine); viceversa, l'alterazione procede rapida dove vi siano umidità e temperature elevate. Ne deriva che l'alterazione è massima, sia come durata sia come intensità, nelle zone equatoriali, periodica dove si ha una stagione fredda o arida e nulla nei deserti, dove l'aridità è costante.

2.8.1.3. Morfologia

Essa dà spesso origine alle toposequenze, ovvero a variazioni di tipi di suolo a seconda della topografia in cui essi si trovano.

Un caso particolare di toposequenza è la cosiddetta catena: tipi di suolo sviluppati da uno stesso substrato, ma differenti a causa della morfologia.

2.8.1.4. Vegetazione

L'influenza che la vegetazione esercita sul terreno è diretta e indiretta. La prima è relativa all'accumulo di materia organica in superficie e alla restituzione delle basi sottratte dalle piante; la seconda riguarda il microclima che si viene a stabilire nei diversi ambienti naturali.

2.8.1.5. Organismi animali

Si è visto che uno degli elementi costitutivi del suolo è la materia organica, formata dai residui vegetali

che cadono sul terreno.

Se non intervenissero immediatamente milioni di microrganismi che vanno dai Batteri ai lombrichi, dai Protozoi ai Mammiferi, l'accumulo di detriti organici non alterati porterebbe ad un ristagno del ciclo del carbonio pregiudicando l'intera vita sulla terra.

Un'osservazione di tipo particolare deve esser fatta sul più evoluto degli organismi animali: l'uomo. La sua influenza sulla pedogenesi può essere determinata:

- 1) dal taglio dei boschi;
- 2) dalle lavorazioni del terreno, fertilizzandolo ed irrigandolo artificialmente;
- 3) dalle modificazioni di morfologia;
- 4) da cambiamenti della vegetazione.

2.8.1.6. Tempo

Nel fluire del tempo il suolo subisce molti cambiamenti.

In senso generico il suolo parte da uno stadio embrionale, dov'è presente soltanto uno straterello di detrito roccioso misto a materia organica e raggiunge la maturità quando il suo profilo mostra orizzonti differenziati: giunge infine alla senilità quando le influenze spinte dei fenomeni pedogenetici operano modificazioni tali da rendere il suolo meno adatto ad ospitare la vegetazione che esso aveva al tempo della sua maturità.

2.8.2. Profilo ed orizzonti pedogenetici

La risultante dell'azione combinata dei fattori pedogenetici, dopo un periodo più o meno lungo di tempo, è la graduale differenziazione di strati aventi caratteri fisici e chimici anche molto diversi tra loro (vedi fig. 2.33). In pedologia si chiamano orizzonti gli "strati di suolo approssimativamente paralleli alla sua superficie con caratteristiche prodotte dai processi di formazione del suolo" (Dipartimento dell'Agricoltura USA, 1962). L'insieme degli orizzonti costituisce il

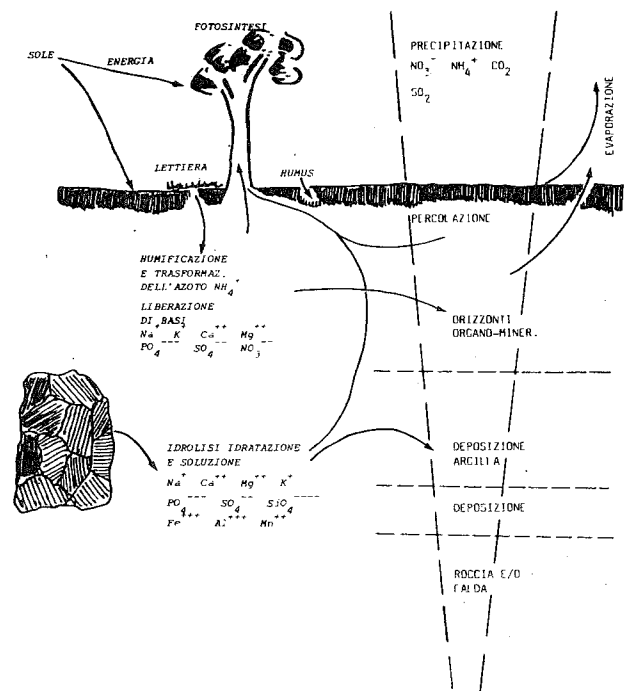


Fig. 2.33 - Sistema semplificato atmosfera-suolo-pianta.

profilo del suolo, definito appunto come "esposizione verticale degli orizzonti di un individuo suolo" (Buol e Hole, 1973). (Vedi fig. 2.34).

Al paragrafo 2.9. viene fornito l'elenco e la descrizione degli orizzonti pedogenetici.

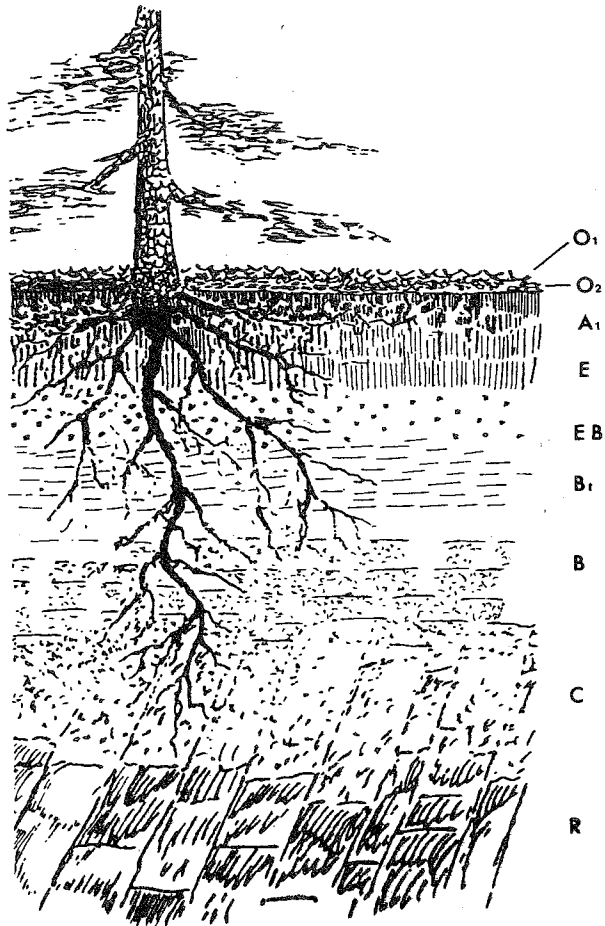


Fig. 2.34 - Principali orizzonti di un profilo di suolo.

2.8.3. Principali processi pedogenetici

Essi sono elencati alla Tav. 2.14 dove sono organizzati secondo la logica di Duchaufour (1984). Esaminiamoli rapidamente nelle loro linee fondamentali.

Tav. 2.14 PROCESSI FONDAMENTALI DELLA PEDOGENESI

Legati all'humificazione	CARBONATAZIONE BRUNIFICAZIONE LISCIV.-ELUVIAZ.-CHELUV. PODZOLIZZAZIONE ANDOSOLIZZAZIONE
Legati ad un clima con forti contrasti stagionali	STEPPIZZAZIONE VERTISOLIZZAZIONE
Legati ad una alterazione geochimica prolungata	FERRALLIZZAZIONE FERRALLIZZ. (o LATERIZZ.)

Legati a condizioni fisico-chimiche della stazione

IDROMORFIA
ALOMORFIA
SOLFATO RIDUZIONE

2.8.3.1. Carbonatazione

Si verifica in presenza di rocce carbonatiche: si tratta di una saturazione della materia organica in ioni calcio e contemporanea presenza di carbonato di calcio fin dall'orizzonte organico di cima.

La materia organica in queste condizioni risulta particolarmente stabile.

2.8.3.2. Brunificazione

La materia organica, in suoli acidi, subacidi e tendenzialmente neutri tende a combinarsi con il ferro, ricevendo da questo un colore rosso-bruno (da cui il nome del processo).

La materia organica ha una stabilità di grado inferiore rispetto a quella del processo di carbonatazione.

2.8.3.3. Lisciviazione-eluviazione-cheluviazione

Si tratta di tre modalità diverse di trasporto di sostanze all'interno del profilo. Esse sono sintetizzate alla fig. 2.35.

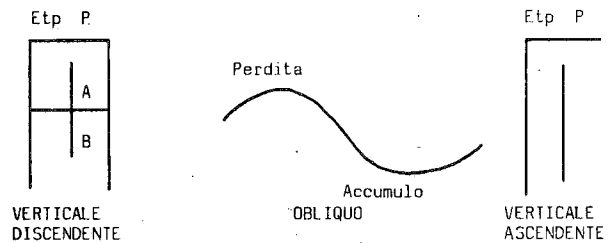


Fig. 2.35 - Trasporto di materia nel suolo

Modo di trasporto

Forma di sali solubili LIXIVIATION (lisciviazione)

Forma di complessi organo-metallici pseudosolubili CHELUVIATION (cheluviazione)

Forma di particelle in sospensione LESSIVAGE (eluviazione).

2.8.3.4. Podzolizzazione

E' un processo piuttosto complesso che si verifica soprattutto alle alte latitudini e con vegetazione di conifere e cespugli la cui materia organica è fortemente acida (mirtilli, calluna, ecc.).

Le grandi linee del processo sono sintetizzate alla fig. 2.36.

2.8.3.5. Andosolizzazione

Consiste nel legame della materia organica con materiale colloidale amorfo proveniente dall'alterazione di rocce ignee e/o da ceneri vulcaniche.

Nel nostro paese il processo dell'andosolizzazione è presente in tutte le aree vulcaniche attive o no.

2.8.3.6. Steppizzazione

L'alternanza di inverni molto rigidi, seguiti da estati molto calde con stagioni intermedie piuttosto ridotte porta ad un improvviso scoppio di vegetazione erbacea e/o arbustiva nei mesi precedenti il gran caldo. Durante quest'ultimo periodo le erbe seccano e l'elevata temperatura non permette una normale alterazione con successiva umificazione. I residui vegetali si accumulano parzialmente alterati alla superficie del

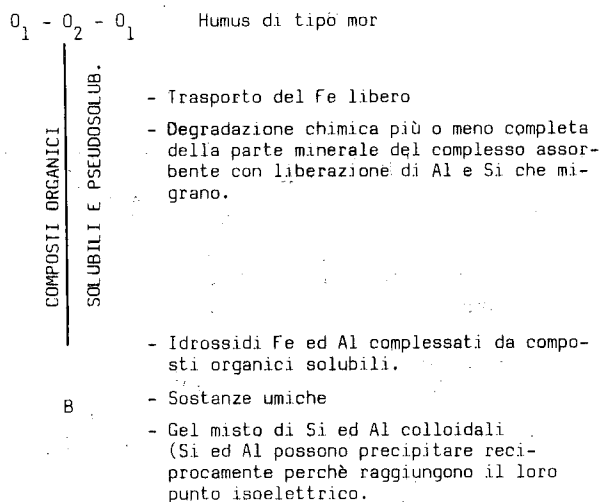


Fig. 2.36 - Schema generale della podzolizzazione.

suolo creando dei potenti orizzonti ricchi di materia organica. Generalmente gli ambienti dove avviene la step-pizzazione sono caratterizzati da roccia calcaree la cui influenza sulla materia organica si traduce in una stabilizzazione per effetto degli ioni calcio.

2.8.3.7. Vertisolizzazione

Il brutale passaggio da condizioni umide a condizioni secche comporta in suoli ricchi di argille espandibili due conseguenze fondamentali:

- crepacciature verticali nel suolo
- formazione di aggregati granulari sulla superficie.

Quando in autunno cadono le prime piogge, l'acqua convoglia nelle crepe ancora aperte, una parte dei granuli e resti di materiali vegetali. Quando il terreno, imbibitosi lentamente di acqua, inizia a chiudere le crepe, si è venuto ad aggiungere in fondo alla crepa un volume di suolo che prima non esisteva. Due fatti intervengono allora:

- formazione di un monticello di terra in superficie di volume pari all'incirca a quello della terra inghiottita nella fessura
- creazione di numerose facce di pressione e di scivolamento all'interno degli orizzonti profondi del suolo. Tali facce sono dovute al verificarsi di notevolissime forze di tensione, conseguenza dell'aumento di volume.

Si tratta di suoli fertili ma difficili da lavorare.

2.8.3.8. Fersiallizzazione

E' un processo tipico dei suoli a clima temperato caldo, dove, alternandosi stagioni umide a stagioni secche, si liberano nel terreno notevoli quantità di ossidi di ferro, di alluminio e di silice.

Quest'ultima non viene tutta eluviata, ma ne resta sempre una quantità sufficiente per combinarsi con gli ossidi di alluminio, formando argilla per lo più di tipo caolinitico, mentre, gli ossidi di ferro, fortemente disidratati in periodo secco, impartiscono al terreno un'accentuata colorazione rossa. Alla fig. 2.37 è delineato uno schema semplificato di questo processo.

2.8.3.9. Ferralizzazione

E' un processo pedogenetico caratteristico del cli-

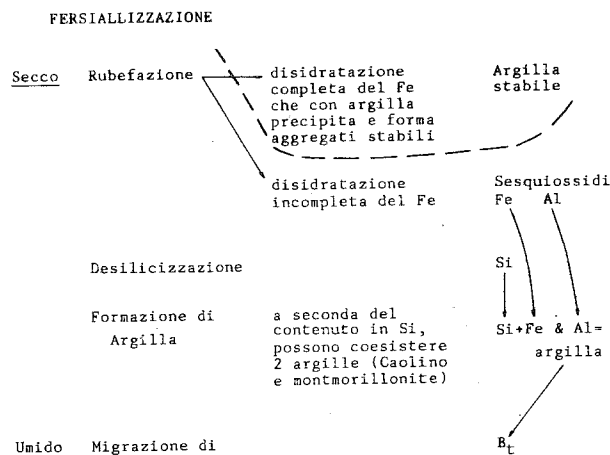


Fig. 2.37 - Fersiallizzazione.

ma equatoriale caldo-umido. Si può considerare come una rubefazione spinta dove, a seguito di una idrolisi intensa dei silicati, tutta o quasi la silice viene lisciviata insieme con le basi Ca, Mg, K e Na, mentre i sesquiossidi di Fe e Al, ugualmente liberati dalle rocce, tendono ad accumularsi, pur restando in posto senza poter essere solubilizzati, poiché si trovano vicino al loro punto isoelettrico. Il terreno, avendo perduto tutte le sue basi, si acidifica. Lo strato contenente i sesquiossidi di Fe ed Al evolve verso un orizzonte oxico mentre contemporaneamente si forma un orizzonte a plintite la quale a causa dei frequenti cicli di inumidimento ed essiccamento si può trasformare in crostone lateritico.

E' questo il caso di vastissime aree della fascia tropicale ed equatoriale del nostro pianeta: dalla foresta amazzonica all'area sahelo-sudanese. Per effetto dell'erosione può trovarsi esposto in superficie l'orizzonte ricco di sesquiossidi (crostone lateritico) irreversibilmente indurito e inadatto alla vita di ogni tipo di vegetale. Giustamente in questi ambienti si parla di desertificazione data l'irreversibilità del processo.

Vista l'estrema importanza di questi fenomeni si ritiene opportuno fornire uno schema dove vengono sintetizzate le diverse fasi che portano alla fersiallizzazione (vedi tav. 2.15).

2.8.3.10. Idromorfia

Molti suoli sono caratterizzati da un ristagno temporaneo o permanente dell'acqua. Questa, più o meno ricca dei prodotti di alterazione organica, provoca la riduzione parziale degli ossidi di ferro. Il ferro ferroso può subire una lisciviazione localizzata ("pseudogley"), oppure accumularsi nel profilo e dare luogo a delle migrazioni ascendenti ("gley").

La genesi di questi suoli è condizionata dall'economia dell'acqua. Gli "pseudogley" risultano da un ristagno d'acqua temporaneo nel profilo, soprattutto dovuto a una falda stagionale giacente su orizzonti impermeabili. I "gley" tipici sono invece legati alla presenza della falda freatica permanente.

Il fenomeno della gleyficazione è sovente accompagnato dalla torbificazione, consistente in una idromorfia permanente e in un accumulo di materia organica derivante da associazioni vegetali fortemente igrofite.

2.8.3.11. Alomorfia

La genesi dei terreni alomorfi è condizionata dal-

Tab. 2.15. FERRALLIZZAZIONE

- 1 Intensa e continua alterazione dei minerali (idratazione, ossidazione, solubilizzazione) che porta all'idrolisi finale della silice.
- 2 Lisciviazione delle basi e della silice provocata dalle piogge abbondanti e conseguente accumulo dei sesquiossidi (il suolo ha una saturazione in basi molto bassa ed un basso pH).
- 3 Formazione di una argilla di tipo 1:1 (kaolino). Tale argilla è per lo più cementata dal ferro, quindi il suo tasso di dispersione in acqua è molto basso. Carattere distintivo è la totale assenza di lisciviazione dell'argilla che è tutta di neo formazione.
- 4 Formazione di plintite. Si tratta di una argilla ricca in sesquiossidi con macchie e concrezioni rosso e rosso porpora in una matrice blu. La plintite si forma per effetto della falda e dei relativi cambiamenti di redox. Essa può indurirsi in modo irreversibile dando origine ai crostoni lateritici.
- 5 Melanizzazione. L'intensa radiazione solare e l'elevata temperatura danno luogo ad una produzione di biomassa che tende ad accumularsi sul suolo. Talora vi può essere il fenomeno della leucinizzazione che scolorisce la materia organica.
- 6 Attività biologica intensa. Soprattutto ad opera delle termiti.

N.B. poiché la ferrallizzazione non dà origine ad un terreno ma ad un substrato ferrallitico, formato in gran parte da sesquiossidi di Fe ed Al, alcuni autori considerano tale processo come geologico.

la presenza di sale; questo può trovarsi disciolto nella falda freatica, oppure come costituente delle rocce.

L'alomorfia è tipica delle regioni a clima stepico, arido o semiarido, dove l'evaporazione è superiore alla percolazione.

A seconda della direzione dei movimenti della soluzione circolante del terreno, si avranno fenomeni di deposizione salina in basso o in alto.

In ragione della % di Na contenuto nella capacità di scambio del suolo ed in ragione del valore della conducibilità elettrica, espresso in mmhos si avranno suoli salini, alcalini ed alcalino-salini (vedi fig. 2.38).

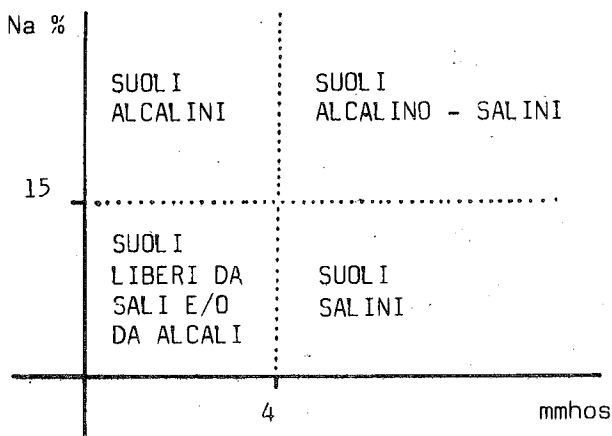


Fig. 2.38 - Ripartizione dei suoli alomorfi.

2.9. PROFILO DEL SUOLO E SUA DESCRIZIONE

Il risultato dell'azione combinata dei fattori della pedogenesi è la formazione di strati di suolo aventi caratteri fisici e chimici diversi tra loro. Questi strati, come già stato detto, si chiamano orizzonti; profilo è il nome che viene dato all'insieme degli orizzonti, organizzati secondo il modello naturale di una determinata località (vedi fig. 2.38a).

2.9.1. Orizzonti principali

Vengono qui appresso descritti i principali orizzonti dei suoli (cfr. Soil Conservation Service, 1951 e successivi aggiornamenti).

2.9.1.1. Orizzonti "O"

Sono orizzonti dominati dalla presenza della materia organica.

Gli orizzonti "O" sono per lo più costituiti da: — lettiere decomposte o parzialmente decomposte come foglie aghi, muschi, licheni deposti sopra suoli minerali o organici

— torba, melma o torba melmosa. Materiale organico deposto sott'acqua e decomposto a diversi stadi. La frazione minerale di questi materiali è soltanto una piccola % del volume e di solito è < alla 1/2 del peso. Tutto il suolo può talora essere espresso dall'orizzonte O

2.9.1.2. Orizzonti "A"

Orizzonti minerali che si formano alla superficie o sotto un orizzonte O e sono caratterizzati da un accumulo di materia organica umificata, intimamente mescolata con la frazione minerale e non dominata da proprietà caratteristiche degli orizzonti E o B, oppure hanno proprietà che risultano dalla coltivazione delle terre, dal pascolo ecc.

2.9.1.3. Orizzonti "E"

Si tratta di una denominazione molto recente, fino ad alcuni anni fa veniva utilizzata la sigla "A2".

E' un orizzonte minerale nel quale il carattere più importante è la perdita dei silicati dell'argilla, di Fe, Al o di alcune combinazioni di questi.

Il risultato è una concentrazione di sabbia, limo, particelle di quarzo o di altri minerali resistenti.

2.9.1.4. Orizzonti "B"

Orizzonti formati sotto A, E o O e dominati dall'obliterazione di tutta o della maggior parte della struttura della roccia, e da:

- 1) concentrazione illuviale di silicati dell'argilla, Fe, Al, humus carbonati, gesso, silice (da soli o in combinazione);
- 2) evidenza di rimozione dei carbonati;
- 3) concentrazione residua dei sesquiossidi;
- 4) rivestimenti di sesquiossidi che rendono il colore dell'orizzonte spiccatamente più basso in value, più alto in chroma o più rosso in hue relativamente agli altri orizzonti soprastanti e sottostanti, senza che vi sia una apparente illuviazione di Fe;
- 5) alterazioni che producono silicati di argilla o che liberano ossidi o tutti e due e che formano struttura granulare a blocchi e/o prismatica. Perché le strutture citate si manifestino occorre che si verificino dei cambiamenti di volume a seguito di cambiamenti in contenuto d'acqua;

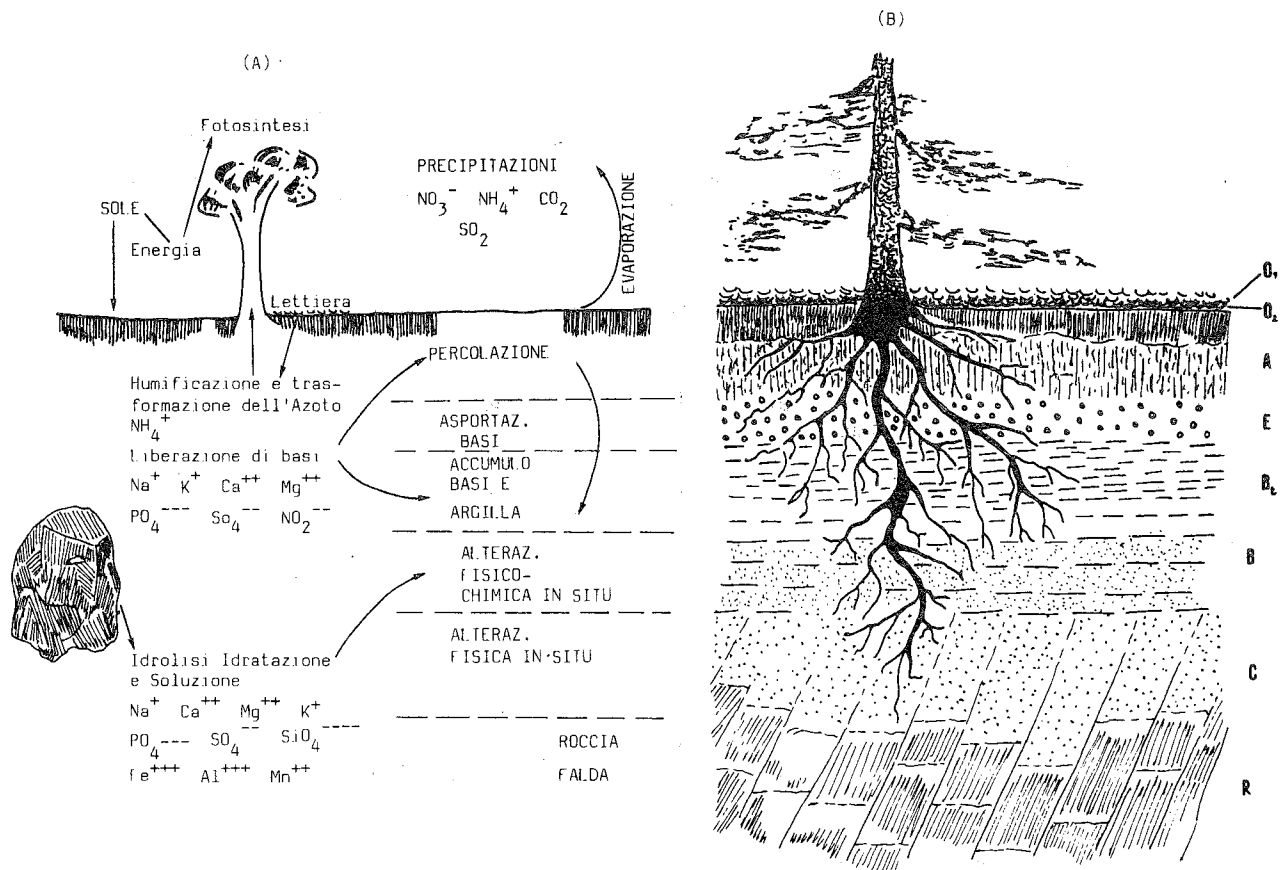


Fig. 2.38a - Orizzonti e profilo pedologico: rappresentazione secondo modello rispettivamente teorico (A) e reale (B).

6) ogni combinazione dei 5 punti ora citati.

2.9.1.5. Orizzonti "C"

Orizzonti o strati, escluse le rocce dure, che sono stati poco influenzati dai processi pedogenetici e mancano perciò delle proprietà degli orizzonti O, A, E o B.

Per lo più si tratta di strati minerali ma vi sono inclusi anche gli strati limnici tanto organici quanto inorganici.

Il materiale del C può essere simile o diverso da quello dal quale il suolo si è presumibilmente formato.

Un orizzonte C può essere modificato anche se non vi è evidenza di pedogenesi.

2.9.1.6. Orizzonti "R"

Corrispondono alla roccia madre inalterata e coerente al punto da rendere impossibile lo scavo manuale.

2.9.2. Orizzonti di transizione

Due diverse tipologie di orizzonti di transizione possono presentarsi:

a) le proprietà dell'orizzonte sovrastante o sottostante si trovano sovrapposte a quelle dell'altro orizzonte. In questo caso le due lettere che indicano gli orizzonti vengono scritte una dopo l'altra, collocando al primo posto la lettera dell'orizzonte prevalente.

b) parti separate di un orizzonte si trovano incluse in forma riconoscibile in un altro orizzonte. In questo caso tra le due lettere si colloca un trattino in diagonale.

2.9.3. Distinzioni subordinate all'interno degli orizzonti principali

a) Materiale organico fortemente decomposto

Il simbolo è usato con "O" per indicare la parte

di materia organica più decomposta. Il contenuto in fibre vegetali riconoscibili è < 1/6 in volume.

b) Orizzonte genetico sepolto

Il simbolo è usato nei suoli minerali per indicare orizzonti genetici identificabili come sepolti. Occorre però che le principali caratteristiche degli orizzonti sepolti siano state stabilite prima del seppellimento. Non si usa nei suoli organici o per separare uno strato organico da uno minerale.

c) Concrezioni o noduli duri

Il simbolo è usato per indicare un significativo accumulo di concrezioni o di noduli non concrezionati ma cementati da materiale diverso dalla silice.

Non si usa il C se le concrezioni o i noduli sono:

- dolomite
- calcite
- sali più solubili dei 2 citati

Si usa il C se le concrezioni o noduli sono:

- ferro
- alluminio
- manganese
- titanio

d) Materiali inconsolidati ad elevato peso specifico apparente non penetrati dalle radici.

e) Materiale organico di decomposizione intermedia

Il contenuto in fibre riconoscibili è tra 1/6 e 2/5 del volume.

f) Suolo gelato

Il simbolo indica un orizzonte o strato che ha al suo interno del ghiaccio permanente.

g) Forte gleyficazione

Il simbolo per indicare:

— ferro ridotto e rimosso durante la formazione del suolo

— ferro ridotto e conservato allo strato ridotto per effetto dell'acqua stagnante

Gli orizzonti influenzati in questo modo hanno chroma basso e presentano screziature.

Il chroma basso può anche esser dovuto alle particelle di sabbia e di limo che hanno perso i loro rivestimenti.

Se oltre all'influenza delle condizioni sopra esposte non vi sono altre manifestazioni pedogenetiche, allora la lettera da usare è il Cg.

h) Accumulazione illuviale di materia organica

Il simbolo è usato con il B per indicare l'accumulo di complessi "materia organica-sesquiossidi" illuviali, amorfi e dispersibili nei quali però i sesquiossidi (dominati dall'alluminio) siano presenti in piccole quantità.

Tali materiali a base di materia organica e di sesquiossidi possono ricoprire i granuli di sabbia o limo oppure possono presentarsi sotto forma di pallottole.

In alcuni casi l'orizzonte interessato è cementato.

Il simbolo h è usato congiuntamente ad 1 (B h 1) se il quantitativo di sesquiossidi è significativo ma se il value ed il chroma hanno un valore di 3 o meno.

i) Materiale organico scarsamente decomposto.

Il contenuto in fibre riconoscibili è più dei 2/5 in volume.

k) Accumulo di carbonati.

Il simbolo indica l'accumulo di carbonati (per lo più CaCO₃).

m) Cementazione o indurimento

Il simbolo è usato per indicare cementazione continua o quasi. L'orizzonte deve esser cementato al 90% però esistono delle fratture nelle quali penetrano le radici

Km indica una cementazione con CaCO₃ per oltre 90%

qm indica una cementazione con silice per oltre 90%

sm indica una cementazione con ferro per oltre 90%

ym indica una cementazione con gesso per oltre 90%

zm indica una cementazione con sali più solubili del gesso

n) Accumulazione di sodio

Il simbolo indica accumulo di sodio di scambio

o) Accumulazione residua di sesquiossidi

p) Aratura o altre perturbazioni

Un orizzonte organico disturbato per arature o per pascolo, viene indicato Op. Se l'orizzonte è minerale viene indicato con Ap anche se si può capire che un tempo era un orizzonte E, B, C.

q) Accumulazione di silice secondaria

Nel caso di cementazione vedi sopra (qm).

r) Alterazione di roccia tenera.

E' il caso di alcune rocce ignee alterate o di arenarie e scisti parzialmente consolidati ma abbastanza densi da impedire alle radici di penetrare la roccia che può però esser tagliata con la vanga.

s) Accumulazione illuviale di sesquiossidi e materia organica.

Il simbolo è usato con "B" per indicare l'accumulo di composti "materia organica-sesquiossidi" illuviale, amorfi e disperdibili, se tutti e 2 i componenti del complesso sono significativi e se il value ed il chroma sono > 3. Come già visto (cfr. h) il simbolo è usato in associazione con h.

t) Accumulazione di silicati dell'argilla.

Il simbolo è usato per indicare una accumulazione di silicati dell'argilla che può essersi formata in situ o per deposizione illuviale.

L'argilla può presentarsi nelle forme seguenti:

— rivestimenti sulle superfici dei peds

— rivestimenti sulle pareti dei pori

— lamelle

— ponti tra i granuli minerali.

v) Plintite

Il simbolo è usato per indicare la presenza di materiale rossastro ricco in ferro, povero in humus che è stabile o molto stabile quando è umido ma che indurisce in modo irreversibile quando viene esposto all'atmosfera ed a cicli ripetuti umidi-secchi.

w) Sviluppo di colore e di struttura

Il simbolo è usato con "B" per indicare sviluppo di colore o struttura, o tutti e due, con poco o nessuno accumulo di materiale illuviale.

x) Carattere di fragipan

Il simbolo è usato per indicare le seguenti caratteristiche genetiche:

— compattezza

— friabilità

— alto peso specifico apparente

Alcuni orizzonti ai quali è stato attribuito x possono non avere tutte le proprietà del fragipan.

y) Accumulazione di gesso

z) Accumulazione di sali più solubili del gesso.

2.9.4. Convenzioni per l'uso delle lettere e dei suffissi

La lettera maiuscola relativa all'orizzonte principale è la prima ad essere scritta. Segue, se è necessario, il suffisso indicante una delle particolarità descritte al paragrafo 2.9.3.

Si rende talora necessario sulla base di alcune caratteristiche, quali la struttura, il colore e la tessitura, provvedere ad una ulteriore suddivisione all'interno di un orizzonte, in tal caso si fa ricorso a numeri arabi che seguono la lettera maiuscola dell'orizzonte principale e l'eventuale suffisso. Esempio: Bt1 e Bt2.

In un profilo vi possono essere delle discontinuità litologiche, ovvero dei cambiamenti significativi nella composizione granulometrica e nella distribuzione mineralogica che indicano una differenza del materiale dal quale gli orizzonti si sono formati.

Tali discontinuità litologiche vengono indicate permettendo alla lettera maiuscola dell'orizzonte principale un numero arabo. Esempio di un profilo caratterizzato da una discontinuità litologica: Ap - E -Bt1 - 2Bt2 - 2Bt3 -2BC - 2C.

2.9.5. Manuali e schede per la descrizione dei profili

La corretta descrizione dei profili in campagna è alla base di ogni indagine sui suoli e di ogni loro applicazione pratica. Oggigiorno i dati rilevati in campagna vengono memorizzati nel calcolatore direttamente in campagna o in laboratorio. E' però inutile attendersi dal calcolatore dei buoni risultati se il dato di base non è stato correttamente rilevato.

I manuali più utilizzati nel mondo sono quelli della FAO (1977), USDA (1951), ORSTOM (1969) e del Soil Survey of England and Wales (cfr. Hodgson 1974). In Italia il manuale più usato è quello di Sanesi et al. (1977), con relativa scheda descrittiva. Alla Fig. 2.39 a) e b) viene presentata la scheda Aquater (1978) che risulta da una semplificazione di quella elaborata da

2.10.2. Principali classificazioni

Il risultato finale di tutte le classificazioni è quello di ottenere una gerarchia rappresentabile grosso modo con una piramide la quale presenta alla sommità le unità superiori e alla base quelle inferiori. Una classificazione dei suoli che parta dall'alto con principi generali di evoluzione pedogenetica (risultante dell'interazione tra clima, vegetazione, roccia madre ecc.) è detta sintetica. Rispondono a questo criterio le classificazioni russa e francese.

Una classificazione come quella americana è invece analitica, perché parte dalla base prendendo in esame i caratteri morfologici del suolo per arrivare a criteri più generali di evoluzione pedogenetica. Il sistema FAO-UNESCO è in qualche modo intermedio tra le due tendenze ora accennate.

2.10.2.1. Classificazione russa

E' fondamentalmente basata sul "tipo" (cfr. Gerasimov et al. 1939 e Rozov et al. 1968) che rappresenta una combinazione tra:

- processi pedogenetici fondamentali
- linee di evoluzione
- fasce climatiche.

Lo schema presentato alla fig. 2.40 riassume appunto le linee generali ora accennate.

		LINEE DI EVOLUZIONE DEL SUOLO sottoclassi																		
		Automorfa				Semi-idromorfa				Idromorfa										
PROCESSI	TIP1																			
	Rifornimento di materia organica e trasferim.																			
	Decomposiz. frazione minerale																			
	Migrazione e accumulo sostanze																			
		Polare	Boreale	Subboreale	Subtropicale	Polare	Boreale	Subboreale	Subtropicale	Polare	Boreale	Subboreale	Subtropicale							
		FASCE CLIMATICHE e loro suddivisione												Classi						

Fig. 2.40 - Schema della classificazione russa dei suoli. Le combinazioni dei "processi-linee di evoluzione-fasce climatiche" rappresentano i tipi. Seguono poi: sottotipi, genesi, specie.

2.10.2.2. Classificazione francese (CPCS, 1967)

E' articolata in classi, sottoclassi, gruppi e sottogruppi. I principi di base utilizzati per le classi sono:

1) grado di evoluzione del profilo, identificabile soprattutto per l'apparizione di un orizzonte (B) strutturale nei terreni ricchi in calcio, di un orizzonte (B) d'alterazione nei suoli più acidi, e infine di un orizzonte B risultante dalla migrazione dei colloidi;

2) alterazione, la cui intensità progredisce dai suoli poco evoluti dei climi freddi ai suoli temperati e infine ai suoli delle regioni calde. La manifestazione più appariscente di questo progredire consiste in una individualizzazione crescente dei sesquiossidi di ferro e alluminio;

3) tipo di humus; esso condiziona in gran parte sia l'alterazione, sia le migrazioni delle basi e dei compo-

sti nel suolo.

Per la suddivisione a livello delle sottoclassi ci si basa sul microclima e sull'idromorfia.

I gruppi si differenziano tra di loro per una particolarità del processo evolutivo (intensità di alterazione, grado di lisciviazione, tenore in materia organica).

I sottogruppi hanno uno stesso profilo di insieme che caratterizza una fase precisa dell'evoluzione del gruppo a cui appartengono.

Per una visualizzazione del sistema vedi fig. 2.41.

CLASSI	SOTTO-CLASSI	GRUPPI	SOTTO-GRUPPI
-Grado evoluz. profilo	-Microclima	-Particolarità processo evolutivo	-Somiglianza del profilo (1)
-Alterazione dei materiali	-Idromorfia		
-Tipo di humus			

Fig. 2.41 - Struttura classificazione francese (CPCS). (1) La somiglianza può essere basata, ad esempio, su: intensità di alterazione, grado di lisciviazione, tenore in materia organica, ecc.

2.10.2.3. Sistema FAO-UNESCO (1973)

Volendo realizzare una carta mondiale dei suoli, i diversi esperti si sono trovati d'accordo nell'elaborare non un sistema tassonomico dei suoli quanto una legenda di riferimento in cui sia presente un sistema di classificazione parziale. Tale legenda è stata usata per provvedere all'inventario e alla descrizione dei suoli del mondo su una base comune che permetta confronti tra loro. La struttura della legenda FAO-UNESCO risente della classificazione americana per l'impiego degli orizzonti diagnostici.

Vedi tav. 2.16 dove figura l'elenco delle principali unità di suoli secondo la legenda FAO-UNESCO.

2.10.2.4. Classificazione USDA (1975)

La classificazione USDA "Soil Taxonomy" è basata sul riconoscimento di elementi fortemente caratteristici: orizzonti diagnostici. Si tratta di quei marchi indelebili impressi nel suolo dall'avvenuta azione dei diversi fattori della pedogenesi.

La classificazione USDA soddisfa inoltre ad un certo numero di principi:

- a) Le proprietà pedologiche che servono per la classificazione dei suoli devono essere osservabili e misurabili;
- b) Gli elementi di classificazione devono essere raggruppati su base razionale in un numero progressivamente più piccolo di categorie superiori.
- c) Gli elementi di classificazione devono essere concetti adatti a identificare suoli veri occupanti un areale geografico. Questo terzo principio significa che lo studio teorico delle possibili combinazioni di proprietà dei suoli non è ritenuto un procedimento scientifico.
- d) Le differenze tassonomiche possono essere costituite da:
 - caratteristiche pedologiche osservabili sul terreno (ad es. il colore del suolo);

Tav. 2.16 - Legenda Fao-Unesco: Tavola delle unità principali.

Legenda Fao-Unesco: Tavola delle unità principali	
1 FLUVISOLS	Suoli alluvionali e colluviali (dal latino <i>fluvius</i> = fiume)
2 GLEYSOLS	Suoli idromorfi (dal russo <i>gley</i> = massa fangosa di terra)
3 REGOSOLS	Suoli poco evoluti su materiale mobile (dal greco <i>regos</i> = mantello)
4 LITHOSOLS	Suoli poco evoluti su roccia dura (dal greco <i>lithos</i> = rocce)
5 ARENOSOLS	Suoli a lessitura sabbiosa (dal latino <i>arena</i> = sabbia)
6 RENDZINAS	Suoli calcimorfi a profilo AC, ricchi in materia organica (dal polacco <i>rendzin</i> = rumore raschiante, prodotto dall'aratro a contatto con la roccia calcarea)
7 RANKERS	Suoli acidi, a profilo AC, ricchi in materia organica (dall'austriaco <i>rank</i> = pendenza ripida)
8 ANDOSOLS	Suoli scuri su cenere vulcaniche (dal giapponese <i>an</i> = scuro e <i>do</i> = suolo)
9 VERTISOLS	Suoli argillosi scuri, fessuranti nei periodi secchi (dal latino <i>vertere</i> = girare)
10 SOLONCHAKS	Suoli salini (dal russo <i>sol</i> = sale)
11 SOLONETZ	Suoli alcalini (dal russo <i>sol</i> = sale)
12 YERMOSOLS	Suoli aridi senza materia organica (dallo spagnolo <i>yerma</i> = deserto)
13 XEROSOLS	Suoli aridi contenenti materia organica (dal greco <i>xeros</i> = secco)
14 KASTANOZEMS	Suoli castani di steppa (dal latino <i>castaneus</i> = castano e dal russo <i>zemlja</i> = terra)
15 CHERNOZEMS	Suoli neri di prateria steppica (dal russo <i>chern</i> = nero e <i>zemlja</i> = terra)
16 PHAEZEMS	Chernozems o brunizems illiciviali (dal greco <i>phaios</i> = scuro e dal russo <i>zemlja</i> = terra)
17 GREYZEMS	Suoli grigi forestali (dall'inglese <i>grey</i> = grigio e dal russo <i>zemlja</i> = terra)
18 CAMBISOLS	Suoli bruni temperati o tropicali (dal latino <i>cambiare</i> = cambiare)
19 LUVISOLS	Suoli illiciviali temperati, suoli illiciviali terzilitici (dal latino <i>luere</i> = lavare)
20 PODZOLS	Suoli con accumulo di ferro e materia organica (dal russo <i>pod</i> = sotto e <i>zola</i> = cenere)
21 PODZOLUVISOLS	Suoli illiciviali o podzolici glicosici
22 PLANOSOLS	Suoli con morfologia piatta o depressa con drenaggio insufficiente (dal latino <i>planus</i> = piatto)
23 ACRISOLS	Suoli con bassa saturazione in basi (dal latino <i>acris</i> = molto acido)
24 HITOSOLS	Suoli con un orizzonte B argilloso, visibile per facce lucide di ricoprimento (dal latino <i>hitus</i> = lucante)
25 FERRALSOLS	Suoli con alto contenuto di sesquiossidi (dal latino <i>ferrum</i> e <i>aluminium</i>)
26 HISTOSOLS	Suoli ricchi di materia organica parzialmente decomposta (dal greco <i>histos</i> = tessuto)

— qualità del suolo per le quali occorre avere a disposizione dati derivanti anche da altre discipline (ad es. il regime di umidità);

e) Il sistema di classificazione deve essere flessibile in modo da poter permettere l'introduzione di nuovi suoli fino allora non classificati;

f) Gli orizzonti diagnostici di profondità presentano una importanza del tutto speciale in quanto non vengono modificati, a differenza di quelli di cima, da fattori occasionali (arature, incendi, ecc.);

g) Il sistema deve essere capace di spezzare il "continuum" presente in un paesaggio naturale in un numero di segmenti ragionevole. Non troppi da ingenerare confusione non troppo pochi da rendere generiche le risposte dei suoli a precisi tipi di uso dei suoli stessi;

h) La tassonomia deve dare una collocazione ad ogni tipo di suolo conosciuto nel mondo.

Alla fig. 2.42 viene presentato lo schema che illustra le categorie tassonomiche con le corrispondenti caratteristiche di differenziazione.

I principali orizzonti diagnostici ai quali si fa riferimento nella soil Taxonomy sono brevemente descritti alle tav. 2.17 e 2.18a e b. Alla tav. 2.19 si trovano le altre principali caratteristiche diagnostiche. Quanto si trova su queste tabelle sono alcuni criteri di base ma per un impiego pratico degli orizzonti diagnostici e delle altre principali caratteristiche è indispensabile riferirsi a USDA (op. cit.).

I diversi orizzonti e/o caratteri diagnostici variamente combinati tra loro definiscono gli ordini della classificazione americana secondo lo schema presentato alla fig. 2.43.

Una rappresentazione dei 10 ordini secondo una visione più geografica e meno analitica è fornita alla fig. 2.44. In essa si può notare che 6 ordini possono essere inquadrati secondo concetti di zonalità, 2 sono intrazonali, ovvero legati a condizioni di morfologia (vertisuoli ricchi di argilla espandibile e istosuoli caratterizzati da accumulo di materia organica). Un ordine, quello degli entisuoli non presentando alcun oriz-

CATEGORIE	NATURA DELLE CARATTERISTICHE DI DIFFERENZ.
ORDINI	Processi di formazione del suolo come indicato dai maggiori orizzonti diagnostici.
SOTTORDINI	Suddivisione degli ordini secondo la presenza o assenza di proprietà associate con : - Regimi di umidità - Tipi di roccia madre - Effetti della vegetazione
GRANDI GRUPPI	Suddivisione dei sottordini secondo : - Tipo - Disposizione - Intensità d'espressione -regimi umidità, tem- per., saturaz. in basi - Presenza o assenza di certi orizzonti diagnostici
SOTTOGRUPPI	Proprietà del suolo che partendo dal concetto centrale espresso dal grande gruppo, indicano gli intergradi verso altri grandi gruppi.
FAMIGLIE	Proprietà importanti per la crescita delle piante - tessitura - classi mineralogiche - classi di temperatura del suolo a 50 cm.
SERIE	Tipo e disposizione degli orizzonti

Fig. 2.42 - Struttura della Soil Taxonomy USDA 1975.

zonte diagnostico non può avere nessuna collocazione. Infine l'ordine degli inceptisuoli è estremamente ubiquitario e a seconda degli ambienti e delle situazioni può essere maggiormente legato alla zonalità o alla intrazonalità.

Passando adesso ai sottordini si vuole brevemente accennare che per la loro classificazione è indispensabile l'attribuzione ai suoli dei loro regimi di umidità e di temperatura, presentati rispettivamente alle tav. 2.20 e 2.21. Dei primi inoltre si ritiene opportuno riportare una esemplificazione (cfr. fig. 2.45).

2.11. RILEVAMENTO E CARTOGRAFIA DEI SUOLI

2.11.1. Introduzione

La carta europea dei suoli al punto IX dice: "è indispensabile l'inventario della risorsa suolo". Il suolo viene infatti studiato ed interpretato per fornire risposte pratiche a fondamentali problemi territoriali. In particolare un rilevamento dei suoli deve analizzare e descrivere le caratteristiche dei suoli che potranno successivamente servire per:

- effettuare il bilancio della risorsa suolo accertandone sia la potenzialità che la degradazione;
- interpretare i suoli in vista di determinate destinazioni agricole, forestali, pascolive, naturalistiche e talora anche produttive;
- collaborare con l'agronomo, il forestale, il geologo, il naturalista, l'economista e l'architetto nella redazione dei piani di sviluppo.

N°	ORDRE	EPIPEDONS					DIAGNOSTIC HORIZONS											VARIOUS							
		OCHRIC	UMBRIC	MOLLIC	ANTROPIC	PLAGGEN	HISTIC	CAMBIC	AGRIC	ALBIC	ARGILIC	NATRIC	SPODIC	PLACIC	OXIC	CALCIC	PETRO-CALC	GYPSIC	PETRO-GYPSIC	PETRO-FERRIC	SALIC	SULFURIC	PLINTITE	FRAGIPAN	DURIPAN
1	ENTISOLS	○	×	×	○	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×
2	VERTISOLS	○	○	○	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3	INCEPTISOLS	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
4	ARIDISOLS	●	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
5	MOLLISOLS	×	×	●	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
6	SPODOSOLS	○	○	×	×	○	×	×	○	○	●	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○
7	ALFISOLS	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○	○
8	ULTISOLS	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○	○
9	OXISOLS	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○	○
10	HISTOSOLS	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- Necessary
- Ordinary
- Possible
- Not frequent
- × Exceptional
- × In compatible

Fig. 2.43 - Classificazione USDA 1975 a livello degli ordini.

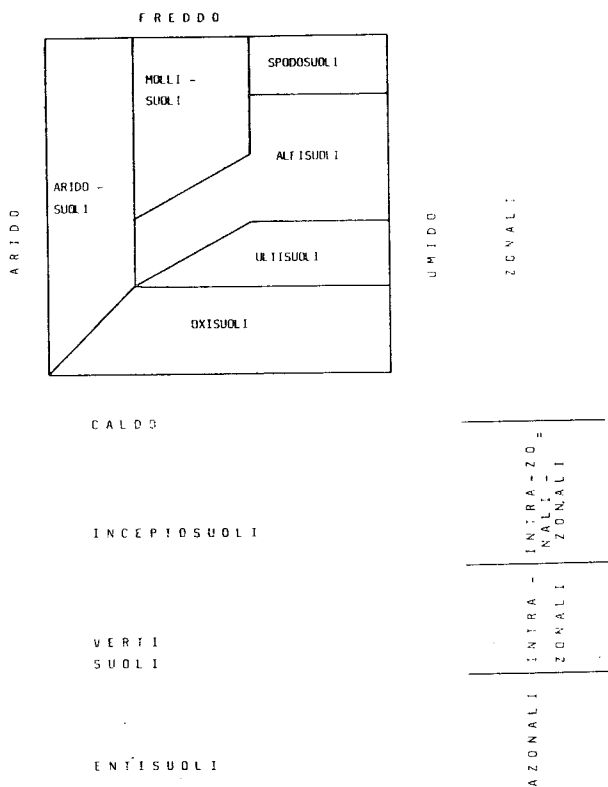


Fig. 2.44 - Strutturazione degli ordini della "Soil Taxonomy" secondo i concetti di zonalità, intrazonalità e azonalità. Fonte: Thompson L.M. et al., 1978, modificato.

Tav. 2.17 - Orizzonti superficiali (Epedons)

Mollico	Dal latino mollis = molle, soffice. Caratterizzato da strato superficiale di spessore compreso tra 10 e 20 cm, di colore scuro e contenente più dell' 1% di materia organica. Contenuto in P ₂ O ₅ < 250 ppm. Saturazione in basi > 50%.
Antropico	Con requisiti simili al mollico, eccetto per la P ₂ O ₅ che è superiore a 250 ppm. Questo orizzonte si è formato in seguito alle lavorazioni agricole dell'uomo.
Umbrico	Dal latino umbra = ombra, ossia di colore scuro. Simile al mollico dal quale si differenzia per una più elevata acidità. Saturazione in basi < 50%.
Ochrico	Dal latino ochros = chiaro. Orizzonte chiaro a causa del suo scarso contenuto di materia organica.
Istico	Dal greco histos = tessuto. Orizzonte ricco di materia organica poco decomposta, per lo più di origine idromorfa.
Plaggen	Dal tedesco plaggen = zolla di terra. Orizzonte artificialmente costruito dall'uomo. Sopra il suolo vero e proprio si trova uno strato formato da apporti abbondanti e secolari di materia organica (paglia, legname, felci, erica, ecc.).

2.11.2. Scopi di un rilevamento dei suoli

Di solito si effettua un rilevamento dei suoli perché si vuole operare un cambiamento o una verifica nell'uso delle terre. Nulla di male in questo ma vi è il grave pericolo di sentirsi chiedere un rilevamento basato

su poche variabili che un politico più o meno tecnicamente informato ritiene siano quelle necessarie per giudicare la compatibilità dell'ambiente con un certo uso. Questo modo di operare allontana dalla visione integrata delle componenti naturali. Il rilevamento è bene

Tav. 2.18a - Orizzonti diagnostici profondi

Argillico	E' un orizzonte illuviale nel quale l'argilla si è accumulata a spese degli orizzonti soprastanti, ha una tipica struttura poliedrico-prismatica con speciali rivestimenti d'argilla intorno alle facce.
Cambico	Dal latino cambiare. E' un orizzonte di alterazione dove è difficile vedere la struttura della roccia originaria; la maggior quantità di argilla qui ritrovabile è tornata in situ. E' un orizzonte molto vicino al B.
Agrico	Dal latino ager = campo coltivato. E' un orizzonte illuviale arricchito di argilla e di humus, formato sotto la superficie degli orizzonti arati.
Spodico	Dal greco spodos = cenere. Orizzonte di accumulo di sostanza organica e di sesquiossidi liberi di ferro ed alluminio.
Oxico	Dal francese oxide = ossido. E' un orizzonte vicino alla superficie, formato da ossidi idrati di ferro e alluminio con argilla di tipo caolinico; questo orizzonte, reperibile ai tropici e subtropici, sembrerebbe soprattutto un relitto del Pleistocene, con il suo clima più piovoso dell'attuale.
Natrico	Dall'arabo natrum = sodio. E' un orizzonte a struttura prismatico-colonnare con più del 15% del complesso di scambio saturato con sodio.

Tav. 2.18b - Orizzonti diagnostici per i suoli organici

Fibrico	Dal latino fibra. E' un orizzonte composto per 2/3 da fibre vegetali.
Hemico	Dal greco hemi = metà. Le fibre vegetali rappresentano da 1/3 a 2/3 del volume dell'orizzonte.
Saprico	Dal greco sapos = marcio. Le fibre vegetali rappresentano meno di 1/3 del volume dell'orizzonte.

Tav. 2.19 - Altre caratteristiche diagnostiche

Duripan	Orizzonte indurito e parzialmente cementato da silice.
Fragipan	Orizzonte duro o molto duro allo stato secco, fragile allo stato umido.
Albico	E' un orizzonte da cui l'argilla e gli ossidi di ferro liberi sono stati rimossi fino al punto che il colore dell'orizzonte è determinato dal colore delle particelle primarie di sabbia e di limo piuttosto che dai ricoprimenti esistenti su queste particelle.
Calcico	Orizzonte con accumulazione secondaria di carbonato di calcio, eventualmente indurito e formante una crosta.
Gipsico	E' un orizzonte nono cementato o debolmente cementato con arricchimento secondario di solfato di calcio (gesso).
Petrocalcico	E' un orizzonte calcico indurito, la cui struttura si distrugge con gli acidi ma non con l'acqua.
Petrogipsico	E' un orizzonte gipsico cementato che non si disperde in presenza di acqua.
Salico	E' un orizzonte arricchito da accumulo secondario di sali (2-3%, a seconda dello spessore).
Plintite	Dal greco plinthos = mattone, è un orizzonte povero in humus e ricco in sesquiossidi che si induriscono in modo irreversibile.
Contatto litico	E' il limite tra il suolo e il materiale coerente e roccioso sottostante (durezza di tale materiale > 3 nella scala di Mohr).
Contatto paralitico	E' il limite tra il suolo e il materiale coerente sottostante (durezza di tale materiale < 3 nella scala di Mohr).
Permafrost	Zona del profilo del suolo costantemente gelata.
Materiale limnico	Dal greco limnos = lago, Materiale organico e inorganico depositato in acqua per azione degli organismi acquatici.

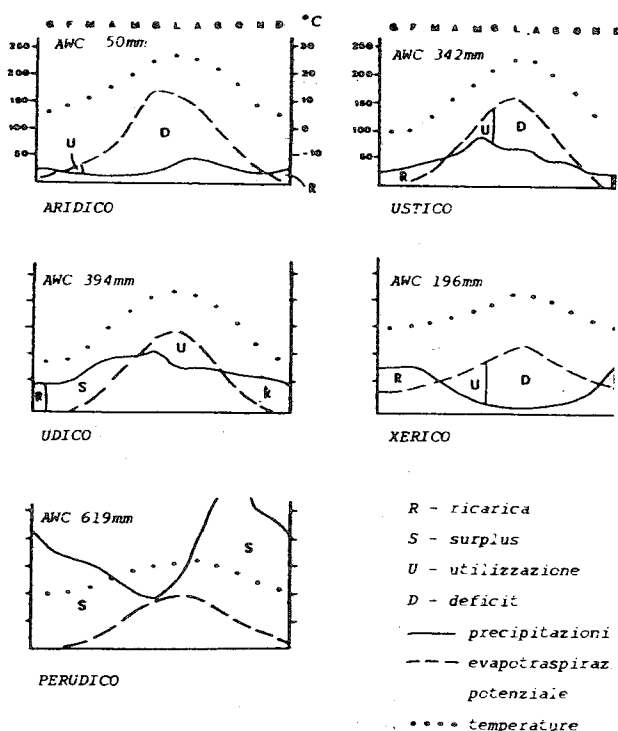


Fig. 2.45 - Esempi di regimi di umidità dei suoli. AWC = Available water capacity (acqua facilmente utilizzabile).

Tav. 2.20 - Regimi di umidità riferiti alla sezione di controllo. (1) La temperatura considerata è quella a 50 cm di profondità nel suolo. (2) Nei 4 mesi che seguono il solstizio d'estate in 6 anni su 10. (3) Nei 4 mesi che seguono il solstizio d'inverno in 6 anni su 10. Fonte: Roquero, 1986.

SATURAZIONE CON ACQUA O CON FRANGIA CAPILLARE IN SUPERFICIE PER ALMENO ALCUNI GIORNI ALL'ANNO QUANDO LA TEMPERATURA È >5°C (1)		AQUICO
TEMPER. MEDIA SUOLO	CLIMA TROPICALE t > 22°C Δ < 5°C	SECCA IN PARTE <90 gg CUMULATIVI
	CLIMA NON TROPICALE t < 22°C Δ > 5°C	COMPLETAMENTE SECCA <45 gg CONSECUTIVI (2)
TEMPER. MEDIA SUOLO	CLIMA TROPICALE	SECCA COMPL. O IN PARTE >90 gg CUMULATIVI UMIDA IN PARTE - >180 gg CUMULATIVI O - >90 gg CONSECUTIVI
	CLIMA NON TROPICALE	SECCA COMPL. O IN PARTE >90 gg CUMULATIVI COMPL. SECCA <1/2 TEMPO CON TEMP. >5°C COMPL. SECCA <45°C CONSEC. (1) COMPL. UMIDA >45 gg CONSEC. (3)
TEMPER. MEDIA SUOLO	CLIMA NON TROPICALE	COMPL. SECCA >45 gg CONSEC. (1) COMPL. UMIDA >45 gg CONSEC. (2) UMIDA IN PARTE - >1/2 TEMPO CON t >5°C O - >90 gg CONSEC. CON t >8°C
COMPL. SECCA >1/2 TEMPO CON t >5°C UMIDA COMPL. O IN PARTE <90 gg CONS. CON t >8°C		ARIDICO O TORRIDO

Tav. 2.21 - Regimi di temperatura nel suolo. (1) Le temperature sono prese a 50 cm di profondità, si tratta di temperature medie annue. (2) I regimi termici hanno tutti una differenza di temperatura tra estate ed inverno > 5°C. I regimi termici che non presentano una differenza di temperatura > 5°C vengono definiti come segue: isofrigido; isomesico; isothermico; isopertermico. Fonte: Roquero, 1986.

<0 °C (1)		PERGELICO (2)
0-8 °C	SUOLI MINERALI	Suolo non saturo in estate
		Suolo saturo in estate
	SUOLI ORGANICI	Suolo non deve esser gelato nella sezione di controllo per 2 mesi dopo solstizio estate
		Suolo non deve esser gelato sotto 5 cm di profondità nella maggior parte degli anni
<8 °C Simile al critico ma le temperature del suolo in estate sono più alte rispetto a quelle del critico		FRIGIDO (2)
8 - 15 °C		MESICO (2)
15 - 22 °C		TERMICO (2)
>22 °C		IPERTERMICO (2)

che sia a scopi multipli perché così facendo non lo obbliga ad essere limitato nel tempo.

Diversa sarebbe invece la situazione se esistesse in Italia, così come in molti paesi, il servizio di rilevamento dei suoli.

Nella sua essenza un rilevamento dei suoli deve far conoscere le caratteristiche dei suoli e la loro distribu-

zione nello spazio così da poter rispondere a due domande:

- come sono i suoli di una ben definita porzione di superficie terrestre;
- dove sono ubicati i suoli che hanno certe caratteristiche.

2.11.3. Procedura per un rilevamento dei suoli

Normalmente un rilevamento dei suoli viene eseguito perché un Ente Pubblico ne ha commissionata l'esecuzione. Automaticamente quindi viene messa in atto una procedura che nelle sue linee essenziali è stata sintetizzata alla tav. 2.22.

Su alcuni dei punti più tecnici merita soffermarsi un istante.

Tav. 2.22 - Procedura di un rilevamento dei suoli.

1 - Definizione del lavoro

2 - Invito alla presentazione di offerte

3 - Offerta: conoscenza problemi area

- scelta classificazione e suo livello (1)
- definizione standard rilevamento (1)
- scelta documenti di telerilevamento (1)
- definizione documenti rilevati e derivati (1)
- schema metodologico tecnico
- personale impiegato
- attrezzature utilizzate
- tempi
- costi

4 - Contratto

1-2 Committente; 3 Contraente; 4 Committente o contraente (1) Se non già specificato nella definizione del lavoro.

2.11.3.1. Definizione standard di rilevamento

Questo è un punto particolarmente delicato perché la qualità del rilevamento viene largamente a dipendere dal numero di osservazioni effettuate, d'altronde occorre notare che gli standard di rilevamento sono diversi a seconda degli scopi e della scala di rilevamento (cfr. Dent et al. 1981, Western 1978 e FAO 1979).

Un modo piuttosto pratico di fissare lo standard di rilevamento è quello suggerito da FAO (op. cit.) nel quale l'unità di base diviene il cm² di carta su cui, a seconda dell'ambiente e dei relativi problemi viene fissato un numero di osservazioni che può andare da 1,0 (per zone dove si richiede una conoscenza dei suoli di notevole dettaglio) a 0,25 (per ambienti caratterizzati da uniformità e da uso estensivo delle terre. Alla tav. 2.23 viene fornito lo schema di rilevamento secondo FAO (op. cit.).

Un punto sul quale vi è una certa libertà è quello che riguarda la suddivisione tra profili veri e propri, trivellazioni e semplici osservazioni.

Numerose squadre di rilevamento del suolo si attengono frequentemente alla regola di studiare e descrivere un profilo ogni 5 osservazioni o trivellazioni. La scelta poi tra trivellazioni ed osservazioni è quasi sempre condizionata dalla realtà del posto in cui si opera. In montagna, ad esempio, a causa della frequenza con cui si incontrano rocce e pietre, si ricorre di solito alle osservazioni che consistono in scavi sommari aventi lo scopo di confermare tipologie di suoli già visti. In pianura alluvionale invece si usa largamente la trivella.

INTENSITA', TIPO E SCALE DI RILEVAMENTO						
Estremi di scala topografica	Scale topografiche che usualmente utilizzate	Area rappresentata da 1 cm ² di carta	Densità delle osservazioni (sulla base di 0,5 osservazioni per cm ² di carta)	Media approssimativa di avanzamento nel rilevamento (sulla base di 20 gg/uomo)	Accuratezza nell'apposizione dei limiti	Tipo di unità cartografica
Più grande di 1:10.000	1:5.000	0,25 ha	1 ogni ½ ha	500 ha	Tutti i limiti sono accuratamente controllati sul terreno	- Fasi di serie dei suoli - Serie di suoli - Complessi di suoli (occasionalmente)
	1:10.000	1,00 ha	1 ogni 2 ha	800 ha		
1:10.000-1:25.000	1:20.000	4,00 ha	1 ogni 8 ha	1,250 ha	La maggior parte dei limiti sono controllati sul terreno	- Fasi di serie di suoli - Complessi di suoli
	1:25.000	6,25 ha	1 ogni 12,5 ha	1,500 ha		
1:25.000-1:100.000	1:50.000	25,00 ha	1 ogni 50 ha	7,500 ha	Alcuni limiti sono controllati sul terreno, la maggior parte sono dettati dalla fotointerpretazione	- Associazioni di serie di suoli - Unità fisiografiche (le quali includono le serie di suoli identificate)
1:100.000-1:250.000	1:100.000	100,00 ha	1 ogni 200 ha	20,000 ha	La maggior parte dei limiti sono dettati dalla fotointerpretazione	- Associazioni di grandi gruppi di suoli - Grandi gruppi individuali (occasionalmente) - Fasi di grandi gruppi - Unità di paesaggio di vario genere (le quali includono i grandi gruppi di suoli identificati)
1:250.000 -	1:500.000	2500,00 ha	1 ogni 5000 ha	400,000 ha	La maggior parte dei limiti sono dettati dalla fotointerpretazione.	- Unità di paesaggio di vario genere (preferibilmente includono i grandi gruppi di suolo identificati).

Tav. 2.23 - Schema FAO (1979) per fissare gli standard di rilevamento. La tabella FAO qui sopra riportata necessita delle seguenti precisazioni: i rilevamenti del suolo sono sempre intesi con l'utilizzazione delle fotoaeree; nella tabella viene indicato il numero medio di osservazione, quella accettabile può anche scendere fino al 25% del numero medio, mentre per casi nei quali è richiesto un notevole dettaglio si può arrivare a una osservazione per cm² di carta; per osservazione si intende sia un profilo pedologico, sia una trivellazione, sia un esame visivo di un taglio naturale lungo le strade, i fiumi o le erosioni.

2.11.3.2. Scelta dei documenti di telerilevamento (1)

In base ai problemi dell'area, alla scala a cui opera ed a seconda dei criteri della fotointerpretazione, verranno identificati quei documenti che meglio rispondono alle finalità del lavoro.

Sinteticamente essi possono essere:

- apparecchi fotografici
- foto aree pancromatiche in bianco e nero
- foto aree infrarosso, in bianco e nero
- foto a colori
- foto all'infrarosso in falso colore
- scanner e registrazioni su nastro magnetico
- immagini nell'infrarosso termico
- immagini multispettrali (tipo satellite Landsat e Spot)
- strumentazione radar
- immagini radar

Nella maggior parte dei casi di rilevamento del suolo nel nostro Paese si opta normalmente per l'impiego delle foto aeree. Questo però non toglie che un approccio moderno di telerilevamento applicato allo studio ed alla cartografia delle risorse naturali sia da attuare sempre in modo integrato e quindi con l'impiego anche delle immagini da satellite e di altra documentazione (vedi fig. 2.46). Nel caso si debba, ad esempio,

rilevare e cartografare i suoli di un bacino imbrifero il satellite fornirà il quadro di riferimento da cui si potrà dedurre quale può essere l'interesse dell'area e la sua rappresentatività in un universo più ampio; il grosso del lavoro verrà però fatto sulle foto aeree e nel riconoscimento diretto sul terreno.

L'impiego del radar, attualmente ancora in fase sperimentale, nelle sue applicazioni alla pedologia, presenta particolari interessi nel campo dell'umidità del suolo, in quanto le sue onde possono penetrare per circa 20 cm nel terreno.

(1) Si ricorda che con il termine "telerilevamento" si intende l'indagine di realtà concrete senza contatto fisico con esse. Il telerilevamento comprende quindi le foto aeree, le immagini da satellite e altri strumenti quali lo spettroradiometro, le termografie ed il radar.

2.11.3.3. Definizione documenti rilevati e derivati

Nella sua essenza la carta pedologica, redatta come conclusione di un rilevamento dei suoli è un documento tecnico rilevato, relativamente muto per gli amministratori e/o i politici che hanno commissionato il lavoro. E' auspicabile allora se non proprio indispensabile che i documenti tecnici vengano tradotti in ela-

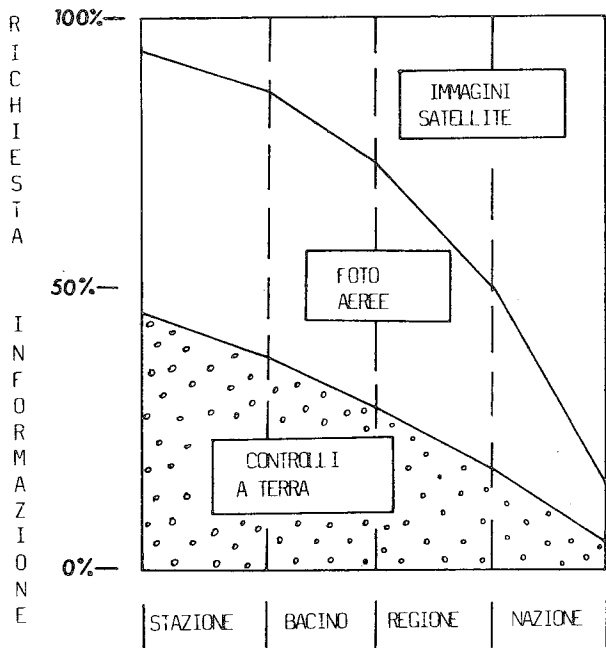


Fig. 2.46 - Impiego integrato del telerilevamento nel rilevamento dei suoli. Secondo tecniche: a - multifase: satellite, aereo, controlli a terra; b - multilivello: nazione, regione, comprensorio e/o bacino, stazione.

borati applicativi capaci di risolvere i principali problemi legati all'utilizzazione delle terre ed alla conservazione del suolo (vedi cap. 3.1).

2.11.4. Schema di un rilevamento dei suoli

La fig. 2.47 mostra la concatenazione delle diverse fasi necessarie per portare a termine in modo completo un rilevamento dei suoli.

Alcuni punti debbono ricevere alcune spiegazioni supplementari.

2.11.4.1. Fotointerpretazione

Occorre subito dire che in ambienti temperati qual'è il nostro, ben difficilmente si può vedere il suolo poiché esso risulta quasi sempre mascherato dalla vegetazione (1).

La situazione sarebbe invece assai differente in ambiente arido o semiarido dove alcune caratteristiche pedologiche quali la materia organica, la salinità superficiale, la presenza di sabbia soffiata dal vento in superficie e l'umidità, sono ben osservabili sulle foto stesse.

Più che le evidenze dirette sono quindi quelle indirette a rivestire particolare importanza per lo studio dei terreni. Esse consistono sostanzialmente nelle forme geomorfologiche, nella topografia, nella vegetazione e nell'utilizzazione delle terre.

Si tratta quindi di trovare le relazioni tra suoli e loro aspetti superficiali. Occorre ricordare (come fa Dent op. cit.) che vi è un solo principio di valore universale nella cartografia dei suoli: "l'ipotesi di Dokuchaiev secondo la quale il profilo del suolo è una espressione integrata di roccia madre-clima topografia-organismi viventi ed età del paesaggio".

Appoggiandosi a questo principio la fotointerpretazione diviene fondamentalmente un mezzo per una

identificazione di paesaggi topografici e geomorfologici, i quali - con opportuni controlli a terra - verranno integrati anche da elementi di vegetazione e di uso delle terre.

Se è vero che la natura dei suoli può essere conosciuta soltanto attraverso i profili è però altrettanto vero che la configurazione dei limiti può essere vista attraverso la geomorfologia e la vegetazione.

(1) Anche se il suolo si presentasse arato e quindi senza copertura vegetale, continuerebbe ad essere difficile trarre degli elementi sicuri di fotointerpretazione basati sul tono ed il colore. Questi infatti variano notevolmente in funzione dell'umidità del suolo, la quale non sempre è una caratteristica intrinseca del suolo ma più sovente è in funzione dell'andamento stagionale o del momento in cui è stata eseguita l'aratura.

2.11.4.2. Costituzione di unità di terre

Questa non è una fase slegata dalla precedente ma rappresenta l'integrazione ed il completamento della fotointerpretazione. Infatti quando vengono unite e valutate insieme la geomorfologia, la topografia, la vegetazione e l'uso delle terre, abbiamo un paesaggio e questo può essere valutato attraverso l'approccio della classificazione delle terre che del paesaggio rappresentano la parte più fisica e quindi più oggettiva e misurabile. Convien allora riferirsi ad un sistema di classificazione delle terre già collaudato (vedi paragrafo 2.11.5.).

Dal punto di vista del rilevamento del suolo si vuole qui sottolineare la grande importanza che riveste la fotointerpretazione finalizzata alla ricerca delle unità di terre. E' infatti su modelli fisici quali quello presentato alla fig. 2.47 che si può parlare di zonalizzazione

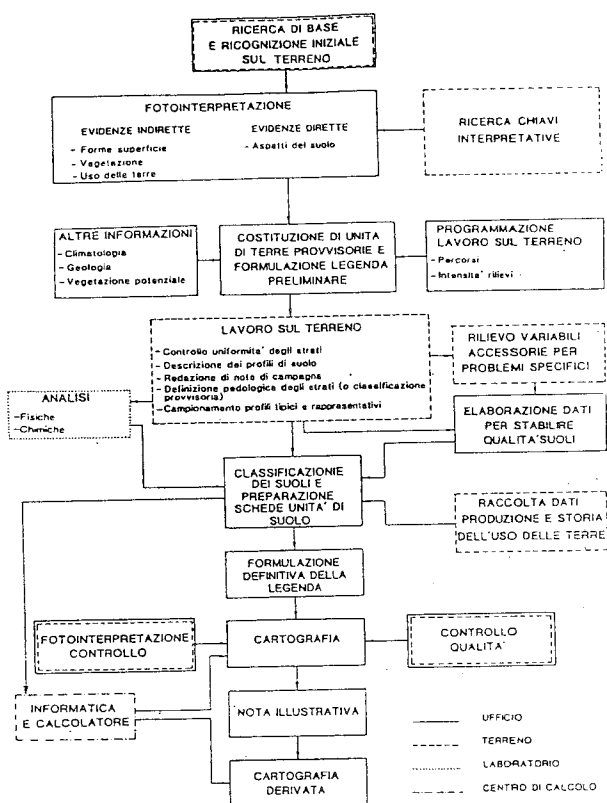


Fig. 2.47 - Schema di rilevamento, classificazione e cartografia dei suoli.

in base a criteri di omogeneità morfologica, idrologica e vegetazionale. Ovviamente non si è ancora autorizzati a parlare di omogeneità pedologica per la quale occorrono numerosi controlli sul terreno.

Occorre tuttavia mettere in guardia dai troppo facili entusiasmi: si tratta di una omogeneità relativa, ovvero di una omogeneità che diminuirebbe qualora un limite tra due unità di terre venisse a cadere. Questo vuol dire non tanto che all'interno di una unità di terre tutti i suoli siano necessariamente uniformi, quanto che essi sarebbero meno intrinsecamente omogenei se non si tenesse conto della loro appartenenza a unità di terre diverse.

2.11.4.3. *Ricerca delle chiavi interpretative*

Punto della massima importanza è la ricerca delle chiavi interpretative. Non vi può essere infatti una buona fotointerpretazione se non vi è un continuo scambio tra la realtà e la sua rappresentazione fotografica, al fine di tarare adeguatamente quest'ultimo.

La ricerca delle chiavi interpretative viene effettuata di solito non in una sola volta ma per approssimazioni successive. Durante le ricognizioni sul terreno si cercheranno tutti quei legami che permettono di: — mettere in relazione caratteristiche ambientali con qualità dei suoli;

— formare le unità di terre.

2.11.4.4. *Operazioni sul terreno*

Quando le foto aeree sono state interpretate, ha inizio la campagna pedologica vera e propria, la quale consiste sia nella caratterizzazione dei suoli contenuti nelle unità di terre, sia nel controllo della uniformità pedologica delle unità di terre, e sia altresì nella descrizione completa e nel campionamento per le successive analisi fisico-chimiche dei profili più tipici e rappresentativi.

2.11.4.5. *Rilievo variabili accessori e per problemi specifici*

E' questo il caso tipico di un rilevamento dei suoli finalizzato a sfruttamento di agricoltura irrigua. Per una corretta gestione dei comprensori irrigui occorre infatti conoscere alcune caratteristiche che nei rilevamenti non finalizzati all'irrigazione di solito non vengono rilevate:

- velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno;
- % acqua facilmente utilizzabile (differenza tra i punti tensiometrici corrispondenti alla capacità di campo ed al punto di appassimento);
- resistenza della struttura agli adacquamenti.

2.11.4.6. *Analisi fisico-chimiche*

Dai profili più tipici e più rappresentativi vengono presi campioni di terra a livello degli orizzonti per effettuare le analisi di laboratorio. Naturalmente il tipo di analisi varia secondo gli scopi per i quali si effettua il rilevamento dei suoli.

Le analisi fisico-chimiche più comuni sono le seguenti: granulometria; pH; calcare; materia organica; azoto totale; carbonio; fosforo assimilabile; ferro libero; conducibilità elettrica; densità apparente; capacità totale di scambio; basi di scambio; permeabilità su campione indisturbato; acqua contenuta nel terreno a pF 2,7 (corrispondente alla capacità di campo); acqua contenuta nel terreno a pF 4,2 (corrispondente al punto di appassimento).

In possesso delle descrizioni dei suoli e delle relative analisi, si possono ora intraprendere lo studio delle qualità dei suoli, la classificazione definitiva dei suoli stessi (cfr. cap. 2.10) e la scelta delle unità cartografiche.

2.11.4.7. *Elaborazione dati per stabilire le qualità dei suoli*

Le qualità dei suoli sono delle proprietà complesse che richiedono più di una variabile ed un modello funzionale di riferimento.

E' il caso, ad esempio, dei regimi di umidità per il calcolo dei quali occorrono dati pedologici, climatici e topografici (cfr. cap. 2.7).

2.11.4.8. *Raccolta dati di produzione e storia dell'uso dei suoli*

In coincidenza con la campagna pedologica occorre rilevare anche dati quantitativi sui seguenti aspetti: produzioni agricole; produttività forestale; produttività dei pascoli; profondità della falda freatica (permanente e temporanea); rischio di erosione del suolo; rischio di accidenti climatici (gelate tardive primaverili, grandine ecc.).

Per quanto riguarda i dati di produzione agricola sarà bene fare riferimento al tipo di gestione adottato, in modo da indagare sulla vera produttività del suolo; è infatti risaputo che oggi le produzioni agricole tendono a livellarsi, perché i terreni naturalmente meno favoriti ricevono una maggiore quantità di apporti energetici (concimazioni, irrigazioni, lavorazioni ecc.). Un corretto bilancio energetico dei suoli deve però poter valutare la risorsa "suolo" tenendo separati gli interventi dell'uomo.

Durante la campagna per il rilevamento è sempre molto proficuo parlare con gli agricoltori o con i montanari, poiché oltre a ottenere dati di produzione sui terreni, si viene spesso a conoscere la storia dei suoli con il notevole vantaggio di evidenziare meglio le caratteristiche e le proprietà dei suoli stessi.

2.11.4.9. *Cartografia*

Le foto aeree, durante la campagna e durante la fase di fotointerpretazione di controllo, si sono andate arricchendo di molte informazioni che nelle loro varie combinazioni costituiscono ora le unità cartografiche. Queste ultime devono essere riportate, mediante apparecchio restitutore, sul fondo topografico scelto per la presentazione del lavoro.

Rilevando e cartografando i suoli, occorre sempre distinguere tra unità tassonomiche e unità cartografiche. Le prime rappresentano un fatto puntiforme e forniscono, necessariamente, delle informazioni relative a un solo tipo di suolo; le seconde, invece, hanno un'estensione areale e possono comprendere più tipi di suolo.

Il fondamento razionale in base al quale può avvenire il passaggio tra unità tassonomica ed unità cartografica è fornito dalla nozione di pedon e di polypedon.

Il "pedon" è definito come il più piccolo volume che può essere chiamato "suolo"; la sua forma è grossolanamente poligonale. Il limite inferiore è quello, piuttosto vago, che separa il suolo dal non-suolo e che corrisponde approssimativamente alla profondità di penetrazione delle radici degli alberi. I limiti laterali sono abbastanza ampi da poter rappresentare tutti gli

orizzonti. Si tratta quindi di una unità tassonomica, come infatti dice Foth (1978): "Il "pedon" sta al corpo naturale "suolo" come un albero di quercia sta ad un bosco di querce. Il corpo naturale "suolo", essendo composto di numerosi "pedons", può essere chiamato "polypedon". Data l'analogia dell'albero e del bosco, possiamo constatare che il polypedon possiede una dimensione areale la quale trova la sua collocazione naturale nel paesaggio, o nelle terre che dal paesaggio costituiscono la componente più tipicamente fisica. Come nota Foth (op. cit.) "il paesaggio nel suo insieme può esser visto come composto di numerosi e differenti corpi naturali "suolo" o "polypedon", ognuno dei quali contribuisce a formare il paesaggio così come un tassello di un puzzle contribuisce a formare il disegno del puzzle stesso. Il "polypedon" è quindi una unità di paesaggio".

Il polypedon rappresenta perciò l'anello di congiunzione tra tassonomia, paesaggio e cartografia. Wolf 1976 definisce il polypedon come "un'unità di paesaggio pedologico in cui sono utilizzati come criteri limite le unità di classificazione del suolo (ad es. le serie, famiglie, grandi gruppi, ecc.). Se all'interno dei limiti del polypedon si hanno altri pedons differenti - le cosiddette "inclusioni" - questo polypedon può esser considerato come un corpo uniforme con delle cavità o dei vuoti".

Passando alle unità cartografiche occorre notare come queste si identificano con i polypedons nel caso che alla scala cartografica prescelta l'area di appartenenza al polypedon possa essere rappresentata sulla carta.

Qualora i polypedons siano troppo piccoli e non possano essere rappresentati singolarmente occorrerà fare ricorso alle associazioni e/o ai complessi.

Le associazioni vengono impiegate quando la scala alla quale viene redatta la carta dei suoli è troppo piccola per permettere di separare le diverse unità di terre (o di paesaggio) a cui sono legati i polypedons.

Si parla invece di complessi quando la distribuzione dei polypedons è talmente intricata che non è possibile provvedere ad una loro separazione neppure aumentando il dettaglio cartografico.

Un ultimo importante aspetto cartografico è rappresentato dalle fasi. Sono questi degli artifici cartografici che vengono utilizzati quando si vuole sovrapporre alla carta dei suoli un'informazione tecnica su una variabile ritenuta importante per la maggior parte degli scopi pratici applicativi.

Casi frequenti di fasi sono rappresentati da: pietrosità, rocciosità, salinità, ecc. Questi aspetti vengono segnati sovraimpressionando il colore con un'opportuna simbologia.

2.11.4.10. *Controllo della qualità*

Non esiste ancora una normativa che fissi i criteri per il controllo delle carte dei suoli. Una buona carta dovrebbe avere almeno l'85% di attendibilità ovvero su 100 punti controllati a caso, almeno 85 dovrebbero confermare l'unità cartografica in questione.

2.11.4.11. *Nota illustrativa*

Una breve nota illustrativa accompagnerà la carta; in essa devono figurare i seguenti punti: finalità del lavoro; metodi utilizzati per l'indagine; descrizione dell'ambiente (suddiviso per fattori di formazione del suolo: clima, morfologia, geologia, idrologia, vegetazio-

ne, uomo e tempo); descrizione delle unità tassonomiche e cartografiche, mettendo in evidenza i legami esistenti tra tipo di suolo e produttività e quelli tra tipo di suolo e rischio di erosione; interpretazione delle unità cartografiche secondo le finalità del lavoro; suggerimenti e raccomandazioni. E' consigliabile includere anche una documentazione fotografica sui principali tipi di suolo.

In allegato sarà bene fornire tutte le descrizioni e le analisi effettuate sui suoli.

2.11.5. *Classificazione delle terre*

Viene utilizzata in molte parti del mondo la classificazione originale, o leggermente modificata dello CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization).

Tale sistema si basa su livelli gerarchici che vengono qui brevemente illustrati partendo da quello di maggior dettaglio.

2.11.5.1. *Classificazione CSIRO*

2.11.5.1.1. *Stazione (site)*

E' una porzione di superficie terrestre che per finalità pratiche può esser considerata uniforme per configurazione della superficie terrestre (land form), suolo, vegetazione e/o uso del suolo. Ogni stazione rappresenta un tipo distinto di ambiente ed in ogni località dove tale stazione può presentarsi, essa fornirà una gamma simile di habitats per l'uomo, per gli animali e per le piante. Quindi la stazione è il livello di massimo dettaglio per lo studio delle terre. Essa è detta anche tipo di terre (land type) oppure ecotopo (ecotope) e rappresenta l'unità tassonomica di base. Operando una analogia con la scienza pedologica, si può dire che essa rappresenta il polypedon.

Per lo studio delle terre a livello della stazione è massimo l'apporto delle indagini a terra integrate con foto aeree a grande scala. Foto aeree a piccola scala ed immagini da satellite possono costituire il significativo e talora necessario quadro generalizzato di riferimento.

2.11.5.1.2. *Unità di terre (land units)*

Va subito notato che tale termine appare poco chiaro, DOS (1967) FAO (1976) e Zonneveld (1972) preferiscono quello di faccette o tassello di terre (land facets). La cosa appare logica se si considera che land unit è una unità di terre che esiste indipendentemente da un particolare livello gerarchico.

Ciononostante essa viene usata per indicare un livello di percezione consistente in un gruppo di stazioni tra loro collegate aventi una particolare configurazione (forma del rilievo) risultante da una ben determinata combinazione di stazioni.

La delimitazione di una unità di terre è determinata prevalentemente dalla geomorfologia. Le variazioni all'interno di superfici così delimitate possono essere di tipo vegetazionale, pedologico, idrologico o geologico.

Un esempio può essere fornito da uno stesso terrazzo fluviale sul quale vi possono essere suoli e tipi di vegetazione diversi.

Il livello gerarchico delle "unità di terre" appare convenientemente raggiunto con l'uso di fotografie aeree a grande o media scala e con numerosi controlli sul terreno.

2.11.5.1.3. Sistemi di terre (land system)

Si tratta di una combinazione di unità di terre presentante "una caratteristica configurazione ripetitiva (pattern) di morfologia, suoli, e vegetazione la quale può essere tradotta in termini di uso potenziale delle terre" (Christian, 1958).

I confini di queste configurazioni ricorrenti coincidono con quella di alcune caratteristiche o processi identificabili dal punto di vista geologico o geomorfogenetico.

Nei rilevamenti effettuati in Australia si distinguono 3 possibili strutture di sistemi di terre:

- *meso-chore* sistemi semplici di terre:
ad esempio pianura alluvionale e penepiano;
- *macro-chrose* sistemi complessi di terre:
ad esempio una combinazione di penepiani tra loro geneticamente legati;
- *sistemi composti di terre*:
ad esempio una combinazione di due sistemi di terre legati tra loro spazialmente ma non geneticamente (ad esempio intrusioni vulcaniche in un ambiente sedimentario).

2.11.5.2. Classificazione ITC

Lo scopo delle unità di terre è quello di disporre di uno strumento semplice ed operativo che permetta l'integrazione delle informazioni relative agli attributi delle terre.

Zonneveld (1971) fa notare che non esistendo una classificazione olistica delle tipologie delle terre che possa servire da riferimento, si provvede partendo dai loro attributi: geomorfologia, vegetazione e suoli. Ma anche in questo modo rimangono soggettivi i criteri di pesatura degli attributi e quelli a scelta dei livelli gerarchici a cui riferirsi.

Pertanto a causa di queste difficoltà si ritiene più

opportuno identificarne le unità di terre secondo una valutazione di tipo olistico.

2.11.5.2.1. Elementi guida per la valutazione olistica

Per facilitare il compito relativo a questo tipo di valutazione Zonneveld (op. cit.) ha fissato i seguenti punti:

- a) Le unità utilizzate per ogni scala cartografica dovrebbero esprimere chiaramente ed in modo integrato le proprietà di base delle terre che esse rappresentano. Ciò significa che da una carta delle unità di terre si possono ricavare direttamente carte dei singoli attributi.
- b) La delimitazione e definizione delle unità dovrebbe prendere in considerazione il fatto che le unità dovranno essere usate per valutare il valore pragmatico delle terre in termini finalizzati allo scopo per il quale il rilevamento è stato fatto.
- c) Nessuno degli attributi delle terre è considerato a priori come più importante degli altri. Una eventuale importanza potrà eventualmente essere considerata partendo dal precedente punto b).
- d) I livelli gerarchici dovrebbero essere ordinati in una sequenza a seconda della complessità, piuttosto che in base all'estensione delle terre. Generalmente la complessità aumenta con il decrescere della scala.
- e) La descrizione della legenda dovrebbe presentarsi in forma di tavole (vedi tav. 2.24), tenendo conto dei diversi livelli gerarchici (vedi paragrafo 2.11.5.2.2.).

2.11.5.2.2. Livelli gerarchici

Occorre premettere che il termine "unità di terre" può essere riferito a qualsiasi livello gerarchico e non si tratta quindi di un determinato livello gerarchico come previsto da Christian et al. (op. cit.).

Per quanto verrà detto in seguito è altresì necessario premettere che con l'espressione "attributo delle terre" (land attribute) intendiamo indicare ogni elemento che può concorrere a formare una unità di terre e che appartiene ad una delle suddivisioni della geosfera (atmosfera, biosfera, litosfera ed idrosfera).

Tav. 2.24 - Esempio di tavola-legenda per cartografia di unità di terre. Fonte: Zonneveld, 1972, modificato.

NOME PRINCIPALE PAESAGGIO	PRINCIPALI PAESAGGI		SIMBOLO E/O COLORE	RILIEVO		GEOLOGIA E LITOLOGIA	SUOLI	VEGETAZIONE	USO DELLE TERRE	ALTRI ATTRIBUTI	ATTITUDINE A DIVERSI USI			
	SISTEMI DI TERRE			FORMA	GRADIENTE						USO1	USO2	USO3	ETC.
	TASSELLI DI TERRE													
1	STAZIONI													
	NOME SIST. TERRE 1	NOME STAZ. 1												
		" " 2.												
		" " 3												
		" " 4												
	NOME SIST. TERRE 2	etc.												

a) *stazione* (site o ecotope)

E' l'unità di terre piú piccola. E' caratterizzata dall'omogeneità di almeno un attributo mentre la variazione degli altri attributi non è estrema.

Il suolo appartenente a una stazione cosí definita costituisce un polypedon.

Brusche differenze di vegetazione all'interno della stazione saranno dovute soltanto ad interferenze umane o a catastrofi (fuoco, ciclone ecc.).

b) *tassello di terre* (land facet o micro-chore).

Una combinazione di stazioni che insieme formano una configurazione ricorrente (pattern) e che sono al tempo stesso fortemente legati tra loro in termini di proprietà di almeno un attributo delle terre. Questo attributo legato agli altri è frequentemente la configurazione delle terre (land form) sebbene possa essere anche il suolo o la geologia.

c) *sistemi di terre* (land system).

Una combinazione di tasselli di terre che formano una conveniente unità cartografica a scala di riconoscimento.

d) *principali paesaggi* (macro-chore).

Una combinazione di sistemi di terre.

E' auspicabile che i nomi delle unità di legenda dei vari livelli gerarchici possano esser derivati da uno degli attributi delle terre o da una loro combinazione. I nomi dovrebbero sempre terminare con: terre, sistemi di terre o paesaggi.

2.11.5.3. *Applicazioni pratiche della classificazione delle terre*

I sistemi di classificazione delle terre proposti da FAO e da ITC sono largamente coincidenti.

L'aspetto piú tipico ed anche piú problematico della loro applicazione sta nella continua sfumatura di un livello gerarchico in un altro, tenuto conto che la classificazione delle terre trova la sua massima applicazione utilizzando i dati del telerilevamento. Questi ultimi infatti devono essere confrontati con gli elementi costituenti la normale fotointerpretazione: Tono, tessitura (o distribuzione delle microimmagini), pattern (o configurazione ripetitiva delle macroimmagini), forma dimensione, ubicazione ed associazione.

Un esempio (cfr. Giordano 1987), potrà chiarire quanto è stato affermato. Utilizzando una immagine da satellite, boschi di piccole dimensioni appariranno con una determinata tessitura mentre il pattern sarà dato dall'alternanza di superfici boscate e non boscate. Passando alle foto aeree la tessitura potrà essere riferita ad un singolo albero mentre il pattern verrà riferito al boschetto il quale - è bene ricordare - sull'immagine satellite era definito dalla tessitura. Andando poi sul terreno l'albero avrà un certo pattern mentre la tessitura verrà evidenziata dalle foglie. Al microscopio infine vi sarà un pattern per la foglia ed una tessitura per le cellule.

Un analogo ragionamento potrà essere fatto anche per le terre (cfr. esempio illustrato alla fig. 2.48).

Per la maggior parte degli scopi pratici ed applicativi è molto utile visualizzare i risultati della fotointerpretazione tramite costruzione di uno stereogramma (block diagramme) corredato di tabella di descrizione delle unità e di schema del reticolo drenante (vedi fig. 2.49 e tav. 2.25).

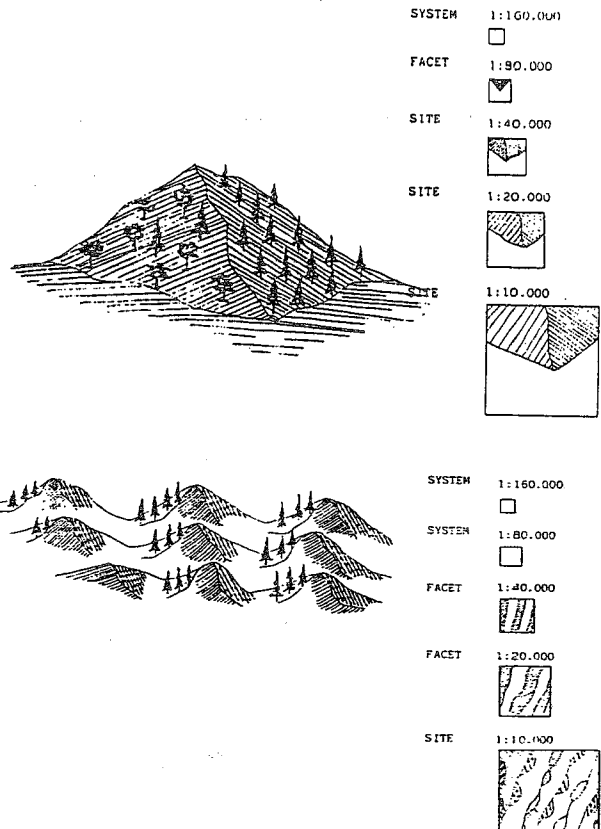


Fig. 2.48 - Rappresentazione cartografica di due porzioni di superficie terrestre secondo la metodologia FAO dei sistemi ed unità di terre.

2.12. DESCRIZIONE DEI SUOLI DEL MONDO SECONDO LA CLASSIFICAZIONE USDA (1975) (1)

Per la struttura della classificazione del suolo secondo USDA (1975) vedi capitolo 2.10. Qui si ricorda che gli ordini previsti dalla Soil Taxonomy sono 10 (2) (descritti in questa sede). Alla fig. 2.50 vengono forniti gli schemi elaborati da Buol et al. 1980 per la suddivisione in sottordini.

(1) Questo capitolo rappresenta un riassunto del testo: Giordano (1982) - Classificazione del suolo. Enciclopedia delle Scienze - De Agostini.

(2) Mentre il presente lavoro è in stampa è uscito un aggiornamento della Soil Taxonomy in base al quale gli ordini sono divenuti 11, con l'aggiunta degli Andosols (cfr. Soil Survey Staff, 1990).

2.12.1. **Entisuoli**

Gli Entisuoli comprendono suoli di sviluppo debole o recente nei quali non vi è evidenza di orizzonti pedogenetici. Molti hanno un epipedon ocrico o antropico. Alcuni sono sabbiosi e possono avere un orizzonte albico, vicino alle paludi costiere altri infine sviluppano un epipedon istico.

2.12.1.1. *Descrizione e distribuzione*

La superficie terrestre coperta da Entisuoli è molto vasta, infatti numerosi sono i fattori che possono impedire lo sviluppo degli orizzonti pedogenetici.

Tav. 2.25 - Descrizione dei tasselli di terre

Tasselli di terre	Forme e posizione relativa nel sistema di Terre	Morfologia: longitudinale trasversale o dinamica del versante	dialivello a pendenza %	esposizione	Uso del suolo	Serie di vegetazione	Geologia	Suoli
1	Piana di terrazzo alta			AZ	Coltivi, vigneti, incolti, cedui di Robinia, Fustale di Farnia	Serie della Quercus robur	Depositi dell'alto terrazzo	Typic fragiudalfs e aquic fragiudalfs (51-52 carta IPLA 85) (III classe capacità d'uso)
2	Versante da alta a bassa	Concavo-convegso, a sporgenze e rientranze arrotondate, ruoscillamento diffuso e coluvio	25 10%	Tutte le esposizioni	Cedui di Robinia sottofustale di Farnia e Ciliegio	Serie della Quercus robur	Depositi terrazzati	Typic fragiudalfs (51 carta IPLA 85) (III classe capacità d'uso)
3	Piana alluvionale bassa			AZ	Prati stabili, coltivi, pioppeti, cedui di Robinia sottofustale di Farnia	Serie della Quercus robur	Depositi alluvionali recenti	Fluvisquentic dystrochrepts (25 carta IPLA 85) (III classe capacità d'uso)
4	Versante da mediana a bassa	Rettilinea, a sporgenze e rientranze angolose, ruscellemento concentrato	25 40%	Tutte le esposizioni	Fustale di Robinia, Farnia, Frassino e Carpino	Serie del Carpinus betulus	Depositi terrazzati	Typic dystrochrepts e typic heplumbrepts (70 carta IPLA 85) (IV classe capacità d'uso)
5	Versante alta	Rettilinea, a sporgenze e rientranze angolose, ruscellemento concentrato	10 40%	Tutte le esposizioni	Cedui di Castagno sottofustale di Rovere, cedui di Robinia	Serie della Quercus petraea sottoserie normale	Depositi dell'alto terrazzo	Come unità di terre 4

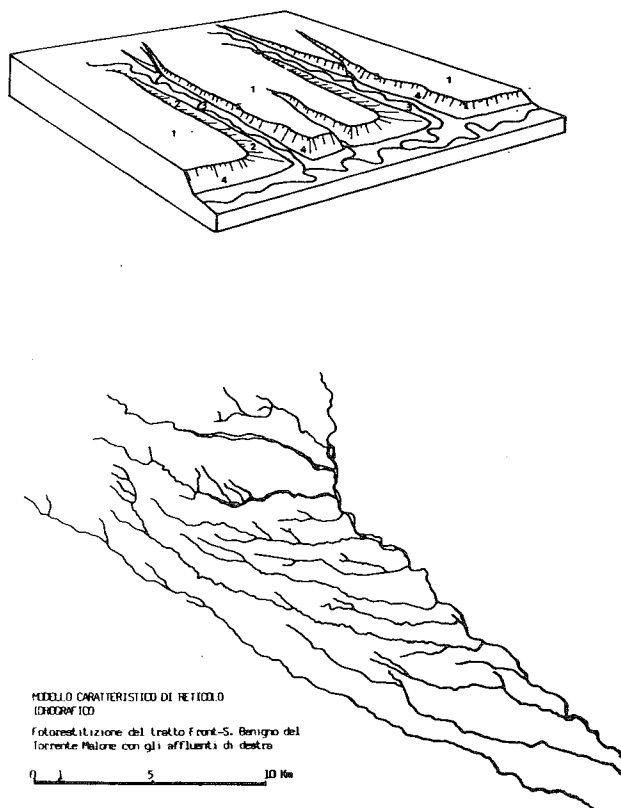


Fig. 2.49 - Sistemi ed unità di terre di antichi depositi fluviali a terrazzi (Piemonte). I numeri arabi si riferiscono ai tasselli di terra, la cui descrizione si trova alla tav. 2.25.

Tra i principali si ricordano:

- 1) Climi secchi, caldi e freddi. In questi climi la quantità e la durata dell'acqua circolante nel suolo sono ridotte e di conseguenza risulta limitata l'attività biologica.
- 2) Frane o altre forme di erosione. Il materiale di superficie può essere rimosso in un tempo più breve rispetto a quello necessario per la formazione degli orizzonti pedogenetici.
- 3) Accumulazione di nuovo materiale. Tale fenomeno può procedere più velocemente in confronto al tempo richiesto dal nuovo materiale per essere assimilato a un orizzonte pedogenetico.
- 4) Fenomeni di immobilizzazione dei componenti del suolo in materiali inerti, in materiali flocculati ricchi di carbonato di calcio e in sedimenti silicei. Tutti questi processi inibiscono una eventuale differenziazione del profilo per eluviazione e illuviazione.
- 5) Resistenza all'alterazione di alcuni materiali iniziali (ad esempio quarzite). Essa prolunga il periodo durante il quale gli orizzonti del profilo rimangono indifferenziati.
- 6) Scarsa fertilità e tossicità di alcuni materiali iniziali nei confronti delle piante. La differenziazione biogenetica del profilo risulta limitata anche in questo caso.
- 7) Saturazione con acqua o addirittura sommersione del suolo per periodi abbastanza lunghi. Lo sviluppo degli orizzonti viene ad essere inibito dall'eccesso di acqua.
- 8) Brevità del tempo di esposizione del materiale iniziale.

L'influenza antropica può portare alla luce materiale iniziale sovente non ancora sottoposto all'attività dei fattori pedogenetici.

9) Recente e drastico cambiamento di fattori biotici. In questo caso può avere inizio la formazione di un differente profilo del suolo utilizzando il vecchio profilo come materiale di partenza.

2.12.1.2. *Natura dei processi pedogenetici*

Per gli Entisuoli non si tratta tanto di particolari processi pedogenetici quanto di una riduzione di questi ultimi. Sugli Entisuoli, infatti, può agire la gamma completa dei processi di formazione del suolo, ma non in modo così decisivo da produrre caratteristiche del suolo riconoscibili come diagnostiche per gli altri ordini di suoli della classificazione USDA.

2.12.1.3. *Usi*

Alcuni Entisuoli, sottoposti a rischi naturali (erosione idrica, erosione eolica, movimenti di massa, inondazioni ecc.) pongono delicati problemi geologici e ingegneristici. Altri Entisuoli caratterizzano invece terreni inospitali con suoli superficiali e frequenti affioramenti rocciosi; in queste condizioni gli usi possibili sono il pascolo o il rifugio per la fauna.

Un elevato numero di Entisuoli si sono infine sviluppati sulle alluvioni recenti e su depositi colluviali: si tratta di suoli fertili e facilmente lavorabili. Favoriti da queste caratteristiche molti Entisuoli sono sottoposti all'esercizio agricolo fin dagli albori della civiltà. La valle del Nilo e la valle del fiume Giallo ne sono esempi famosi. E' stato calcolato che a tutt'oggi circa un terzo della popolazione mondiale vive con gli alimenti prodotti dagli Entisuoli delle pianure alluvionali.

2.12.2. **Inceptisuoli**

Sono i suoli embrionali con pochi caratteri diagnostici. Dal latino *inceptum* (participio passato del verbo *incipere* = cominciare).

Gli inceptisuoli non hanno caratteri diagnostici che permettano loro di poter entrare negli altri ordini. Possono avere un epipedon ocrico umbrico, un orizzonte albico e/o un orizzonte cambico. Possono presentare o no deboli fenomeni di eluviazione e illuviazione.

2.12.2.1. *Descrizione e distribuzione*

Gli Inceptisuoli sono suoli poco evoluti con caratteri del profilo debolmente espressi. Essi conservano molta somiglianza con il materiale d'origine.

Più che fornire una descrizione precisa degli Inceptisuoli, si possono elencare alcune caratteristiche salienti che possono presentarsi da sole o in combinazione: roccia madre molto resistente; abbondanza di cenere vulcaniche; posizioni estreme nel paesaggio, quali, ad esempio, forti pendenze e/o alte quote; superfici geomorfiche giovani che limitano lo sviluppo del suolo.

Per alcuni Inceptisuoli è facile predire verso quale altro ordine stanno evolvendo, ma per taluni che si trovano in equilibrio con l'ambiente la previsione non è facile. Infatti essi sovente non evolvono, almeno fino a quando non si verificano cambiamenti consistenti nell'ambiente. Nel mondo gli Inceptisuoli sono ovunque largamente distribuiti in una gamma straordinariamente vasta di ambienti e con uno spettro estremamente vasto di rocce madri. Gli Inceptisuoli sono presenti in tutte le zone climatiche dove avvenga una certa lisciviazione durante la maggior parte degli anni.

2.12.2.2. *Processi pedogenetici*

Tutti i processi pedogenetici possono essere in qualche modo attivi, ma nessuno di essi prevale.

Molti Inceptisuoli si trovano su roccia madre particolarmente resistente all'alterazione e perciò con limitata produzione di argilla e scarsa evoluzione del profilo.

2.12.2.3. *Usi*

Negli Inceptisuoli si possono trovare dei suoli molto produttivi, quali ad esempio gli Andepts su cenere vulcaniche, e altri di produttività molto scarsa, come gli Aquepts (grande gruppo dei Cryaquepts) della tundra. Molti Inceptisuoli, poi, sono ubicati su pendii troppo ripidi per essere coltivati e dove l'utilizzazione più naturale e razionale è quella forestale o ricreativa oppure protezionistica per la fauna locale.

Inceptisuoli idromorfi possono essere utilizzati estensivamente per colture agricole purché il drenaggio artificiale sia realizzabile.

2.12.3. **Aridosuoli**

Suoli delle regioni aride, gli Aridosuoli sono suoli che non hanno acqua disponibile per le piante mesofitiche per lunghi periodi. Il regime idrico è aridico (eccezionalmente ustico o xerico), quello termico può andare dal criico all'isoipertermico. Gli Aridosuoli hanno uno o più orizzonti che possono rappresentare dei relitti di antichi periodi pluviali.

2.12.3.1. *Descrizione e distribuzione*

Sono l'ordine dei suoli più rappresentato nel mondo: si calcola che quasi un quinto delle terre emerse sia caratterizzato da questi suoli.

Il regime climatico nel quale si formano gli Aridosuoli è caratterizzato nella maggior parte degli anni da una evapotraspirazione che supera di molto le piogge e dalla mancanza di percolazione idrica nel terreno. Evidenza di lisciviazione è sovente visibile negli Aridosuoli, ma viene riferita a paleoclimi umidi oppure ad eventi piovosi eccezionali.

Il clima è estremamente caldo e secco d'estate e freddo in inverno; le precipitazioni avvengono in genere in inverno e primavera. La pioggia cade sovente sotto forma di violenti rovesci, l'umidità dell'aria è bassissima e la superficie del suolo è esposta a forti radiazioni solari; la differenza di temperatura fra il giorno e la notte è molto elevata. I venti violenti sollevano la sabbia e possono causare tempeste di polvere. La vegetazione è costituita da alcune piante grasse annuali, da alcune piante bulbose e da taluni cespugli.

Molte piante del deserto crescono ed esercitano le loro funzioni durante la stagione più umida dell'anno, mentre entrano in riposo vegetativo durante quella più secca. Questo significa che in alcuni periodi dell'anno certe zone desertiche appaiono sorprendentemente ricoperte di vegetazione. Gli Aridosuoli si trovano principalmente all'interno o all'intorno dei grandi deserti quali il Sahara, il Kalahari, il Chalbi in Somalia, l'Arabico, l'Iraniano, il Thar, il Turkestan, il Takla-Makan, il Gobi, il monte Patagonia, l'Atacamani in Perù, l'Australia e quelli del Nordamerica.

2.12.3.2. *Processi pedogenetici*

La mancanza di lisciviazione conferisce ai profili una elevata saturazione in basi. La frazione argillosa di molti Aridosuoli è per lo più costituita da illite la quale si ritiene derivi dalla mica della roccia madre.

I profili degli Aridosuoli sono ben ossidati e non presentano movimenti di ossidi di ferro liberi. Nelle forme di paesaggio più antiche e più stabili gli Aridosuoli hanno potuto accumulare argilla fino a sviluppare un orizzonte argillico. Il processo di formazione di questo orizzonte è stato oggetto di molte controversie, si ritiene comunque che esso comporti sia la formazione

di argilla *in situ*, sia la lisciviazione.

La superficie esposta all'aria di molti Aridosuoli si presenta sovente con un pavimento di ghiaia e di pietre. E' probabile che la notevole quantità di questi sia il risultato della deflazione.

Una delle caratteristiche più peculiari osservata in molti suoli delle regioni aride è la presenza di un orizzonte di accumulo dei carbonati, detto "caliche". La formazione di quest'ultimo sembra esser dovuta al bicarbonato di calcio che muove verso gli strati bassi del profilo, e al CaCO_3 che precipita quando il flusso della percolazione cessa e quando l'umidità si esaurisce per effetto della traspirazione.

Viceversa strati molto duri e cementati "petrocalcici" si trovano nei profili a profondità che non sono da correlare con le precipitazioni. Molti strati "petrocalcici", a causa della loro resistenza all'alterazione, rappresentano dei relitti di antiche forme del paesaggio e non sono da mettere in relazione con lo sviluppo presente dei profili.

Altre caratteristiche molto comuni degli Aridosuoli sono quelle legate alla presenza di sali: formazione di orizzonte salico (accumulazione di sale) e/o di orizzonte natrico (influenza dello ione sodio). La loro formazione è favorita da periodici accumuli di acqua all'interno o all'intorno di aree che si trasformano periodicamente in laghi. Occorre mettere bene in evidenza che in molti casi il responsabile della salinizzazione e alcalinizzazione del terreno è l'uomo attraverso la pratica, non razionalmente eseguita, dell'irrigazione.

Gli Aridosuoli delle regioni polari sono normalmente gelati per 9-10 mesi all'anno. Quando i suoli sono gelati essi sono chimicamente inattivi e l'alterazione dei minerali è ritardata.

2.12.3.3. Usi

L'utilizzazione degli Aridosuoli per finalità agricole è limitata principalmente dalla mancanza d'acqua. Se l'irrigazione viene introdotta, è necessario prendere precauzioni iniziali per non salinizzare irrimediabilmente il terreno. Infatti per irrigare occorre sovente procedere a un livellamento del suolo; tale operazione può portare alla superficie orizzonti compatti e impermeabili quali quelli calcici, petrocalcici, natrici, argillici o dei duripans. Soltanto i suoli con sufficiente permeabilità interna devono essere selezionati per l'irrigazione. In tal modo verranno ridotti i problemi di salinizzazione e di alcalinizzazione che provengono dall'acqua stessa di irrigazione, generalmente più o meno salata in ambienti desertici. Oltre alla scelta dei terreni più idonei (necessità quindi di un rilevamento dei suoli, seguito dall'interpretazione delle caratteristiche dei suoli e dalla loro cartografia), occorre poi prevedere un efficiente drenaggio, di modo che nel terreno vi sia sempre acqua circolante onde evitare la risalita del sale verso la cima del profilo. Questa risalita si verifica automaticamente in ambienti desertici in cui l'evaporazione è molto intensa. Occorre tener conto inoltre del fatto che l'acqua presente in ambienti desertici è quasi sempre ricca di sali. La presenza di questi congiuntamente alla forte evaporazione rendono necessario un adeguato ed efficiente drenaggio.

Senza irrigazione gli Aridosuoli sono per lo più utilizzabili, ma in modo limitato, per il pascolo stagionale. Questi suoli presentano pochi problemi ingegneristici, sebbene talora lo strato petrocalcico possa impedire lo scavo per fondamenta di edifici.

Una volta reperita l'acqua, la valorizzazione degli Aridosuoli può essere relativamente semplice: è assente infatti la vegetazione naturale che in altri ambienti dovrebbe essere tagliata o bruciata e inoltre la terra appartiene generalmente al governo. In un prossimo futuro si prevede che verranno resi produttivi diverse decine di milioni di ettari di Aridosuoli.

2.12.4. Mollisuoli

Suoli delle praterie e delle steppe. Confinanti con le regioni desertiche si trovano in aree dove le più elevate precipitazioni permettono la crescita di erbe e conseguentemente favoriscono la produzione di sostanza organica e il suo accumulo nel suolo. Le piogge, tuttavia, sono sufficientemente limitate da prevenire una lisciviazione eccessiva, così che la saturazione in basi rimane elevata. La decomposizione nel suolo dell'abbondante sostanza organica, in presenza di calcio, porta alla formazione di un epipedon mollico caratterizzato da una struttura soffice del suolo che non diventa né massivo né duro quando si secca.

2.12.4.1. Descrizione e distribuzione

Tutti i Mollisuoli hanno un epipedon mollico il quale deve avere le seguenti caratteristiche: spessore di 25 cm o più; colore scuro e almeno 1% di materia organica; oltre il 50% di saturazione in basi.

Molti Mollisuoli, disponendo di una elevata fertilità del suolo e di discrete quantità di pioggia, rappresentano probabilmente i suoli più produttivi del mondo. Ai Mollisuoli appartengono i suoli che secondo la classificazione tradizionale venivano definiti Chernozems e Brunizems. Condizioni climatiche necessarie per lo sviluppo dei Mollisuoli sono: inverni rigidi, secchi, ventosi e con scarsa accumulazione di neve; primavere relativamente umide nella maggior parte degli anni; estati siccitose con temporali e tornadi.

I Mollisuoli sono estesamente rappresentati in Nordamerica, Sudamerica (Argentina), sud dell'URSS e nord-est della Cina.

2.12.4.2. Processi pedogenetici

1) Melanizzazione. Questo processo, nelle sue linee generali consiste in un iscurimento del suolo.

2) Eluviazione e illuviazione. Questi due processi provocano la discesa e la precipitazione dell'argilla accompagnata da ossidi di ferro e materia organica sotto forma di argillans e di concrezioni di ossido di ferro e di manganese. Questi ultimi possono presentarsi sotto forma di semplici macchie o di dure palline.

I rivestimenti di complessi argillo-organici sulla superficie degli aggregati strutturali indicano che la struttura prismatica o poliedrica è essenziale per lo sviluppo dei rivestimenti: a loro volta questi ultimi favoriscono il mantenimento della struttura.

3) Attività biologica. L'intensa attività biologica esercita una forte influenza sulla percolazione dell'acqua attraverso i numerosi canali e fessure che si vengono a creare per effetto delle radici e degli animali.

2.12.4.3. Usi

Le regioni caratterizzate dai Mollisuoli furono poco sfruttate nell'antichità per vari motivi tra i quali si citano i seguenti: mancanza di legname per costruire le case; mancanza di acqua facilmente disponibile; mancanza di località riparate e nascoste per difendersi contro i nemici.

Il risultato è stato un insediamento umano di tipo nomade fino a un centinaio di anni or sono.

L'elevata fertilità contenuta negli orizzonti organici dei Mollisuoli ha permesso, all'inizio, rese agricole molto notevoli senza aggiunta di fertilizzanti.

Negli Stati Uniti, dove i Mollisuoli sono ampiamente rappresentati nella fascia compresa tra le montagne Rocciose e il fiume Mississippi, si coltivano il grano e il granoturco. Fattori limitanti per l'agricoltura sono la siccità e, in alcune regioni il pericolo di inondazioni.

2.12.5. Alfisuoli

Suoli forestali lisciviati con alta saturazione in basi.

I suoli che hanno una maggior quantità di argilla nell'orizzonte B rispetto all'orizzonte A vengono divisi in Alfisuoli e Ultisuoli, i primi si differenziano dai secondi perché il processo di alterazione è meno spinto e la saturazione in basi nella parte superiore dell'orizzonte argillico o a 1,80 m di profondità è maggiore del 35%.

Normalmente gli Alfisuoli si trovano nei climi temperati, sebbene possano anche essere presenti in regioni tropicali e subtropicali.

Due sono le principali caratteristiche di tali suoli: abbondanza moderata di argilla espandibile; accumulazione pronunciata di tale argilla, si da formare un orizzonte argillico; dove l'accumulazione si può verificare sia in condizioni di acidità sia di alcalinità.

2.12.5.1. Descrizione e distribuzione

Quantunque gli Alfisuoli possano formarsi in diverse situazioni climatiche, sono assai diffusi nei climi umidi o subumidi delle regioni temperate su superfici giovani che non hanno subito erosione o altri processi di alterazione da molte migliaia d'anni. D'altro canto però tali suoli debbono essere abbastanza giovani per poter trattenere quantità notevoli di minerali primari, di argilla espandibile e di sostanze nutritive.

Gli Alfisuoli si trovano su vaste superfici occupate attualmente o anticamente da foreste di latifoglie e talora anche da praterie. Va notato che la base dei versanti è un ambiente di sviluppo preferenziale degli Alfisuoli a causa dell'alternanza dei periodi umidi e secchi.

Gli Alfisuoli sono soprattutto presenti nell'emisfero settentrionale nelle regioni fredde e umide (Boralfs) e in quelle moderatamente umide (Udalfs). Inoltre sono diffusi in tutti i continenti dove si trovano regioni subumide (Ustalfs: Mozambico, Madagascar occidentale, Etiopia, fascia meridionale dei Paesi del Sahel, India orientale, Australia sudoccidentale e Brasile) e in quelle di clima mediterraneo (Xeralfs: nel bacino settentrionale del Mediterraneo, Sudafrica, California, Cile e Australia settentrionale).

2.12.5.2. Processi pedogenetici

I due processi seguenti sono indispensabili per lo sviluppo degli Alfisuoli.

a) Lisciviazione dei carbonati. Con la rimozione delle sostanze fortemente flocculanti il suolo viene lasciato in condizioni favorevoli per una facile e rapida percolazione. Nei suoli ricchi di sodio la lisciviazione viene favorita dalla mobilitazione e dispersione dell'argilla.

b) Brunificazione (ossia comparsa di colore bruno legato alla liberazione del ferro). Processo tipico dei climi temperati, consistente in una trasformazione lenta

di minerali fillitosi e produzione di argilla di tipo illite o vermiculite. Si ha una idrolisi acida del profilo per una profondità limitata, circa un metro, a cui si accompagna una certa perdita di elementi alcalino-ferrosi, di alluminio, di ferro e di silice. Il ferro, in particolare, agendo come un debole flocculante aiuta la deposizione dell'argilla nell'orizzonte B argillico.

2.12.5.3. Usi

Possono essere impiegati per l'agricoltura, per il pascolo e per la selvicoltura. Si tratta per lo più di suoli fertili come lo dimostra la presenza di notevoli riserve di sostanze nutritive, soprattutto nell'orizzonte C saturato in basi. Nel Nordamerica su questi suoli si trova la porzione orientale del "corn belt". Molte delle terre arabili presenti nel bacino del Mediterraneo sono degli Alfisuoli.

L'erosione accelerata è sovente un notevole rischio per la futura produttività degli Alfisuoli in quanto tende a portare in superficie l'orizzonte argillico, che non rappresenta il mezzo ideale per la germinazione dei semi e per lo sviluppo delle piante.

2.12.6. Ultisuoli

Suoli forestali con bassa saturazione in basi.

Da un punto di vista geologico sono i primi suoli, procedendo dai poli verso l'equatore, che non sono stati toccati dalle glaciazioni; pertanto si tratta di suoli su superfici piuttosto vecchie.

La combinazione "clima caldo-umido e vecchie superfici" ha conferito a tali suoli un intenso colore rosso; negli Stati Uniti il paesaggio tipico è il "red clay hills" (colline argillose rosse) con tipica vegetazione di latifoglie miste a Conifere.

2.12.6.1. Descrizione e distribuzione

Si trovano soprattutto nella fascia compresa tra i tropici e le zone temperate, ma sono anche presenti in aree tropicali forestali e non. In ambienti sabbiosi possono evolvere verso gli Spodosuoli; su pendii ripidi viceversa i suoli possono arrestarsi allo stadio di Inceptisuoli. In regioni equatoriali sono frequentemente associati con Oxisuoli. Nelle zone dove l'associazione comprende anche gli Alfisuoli questi stanno sulle forme meno stabili del paesaggio (ripidi pendii) mentre gli Ultisuoli sono presenti su quelle più stabili.

I dati riguardanti l'estensione totale nel mondo degli Ultisuoli non sono soddisfacenti, soprattutto perché continua a esserci una certa confusione nella loro terminologia: latosol, laterite ecc.

2.12.6.2. Processi pedogenetici

Due condizioni non necessarie per lo sviluppo degli Ultisuoli: lisciviazione generalizzata; temperatura media annua del suolo a 50 cm, > 8°C.

Il risultato è una rapida e completa alterazione dei minerali in argilla secondaria e in ossidi. L'insieme è dominato dalla caolinite con quantità minori di mica.

La formazione di un orizzonte albico e argillico è molto pronunciata. E' frequente osservare un orizzonte albico che entra con delle lingue nell'orizzonte argillico.

Questi suoli hanno molti punti di contatto con la podzolizzazione come si può dedurre dall'orizzonte E molto povero di ferro e dall'orizzonte B che, al contrario, ne è molto ricco. La dicitura della vecchia classificazione americana è stata "Red yellow podzolic

soils”

2.12.6.3. Usi

Gli Ultisuoli rappresentano un grande potenziale per l'agricoltura soprattutto perché si trovano in zone caratterizzate da clima piovoso e da assenza di gelate.

Messi a coltura, rispondono bene per alcuni anni, dopodiché gli agricoltori o cambiano luogo o sono costretti a integrare le asportazioni dal terreno con massicce fertilizzazioni. La bassa fertilità rimane infatti il più grave handicap di questi suoli.

Gli Ultisuoli frequentemente hanno subito, nella loro storia, molta erosione, fino al punto che l'orizzonte argillico rosso risulta esposto alla luce del sole. La copertura forestale rappresenta il climax di questi suoli per la possibilità che hanno le piante d'alto fusto di riciclare le basi dagli strati profondi verso quelli superficiali. Per questo motivo, dove il bosco viene tagliato e dove non si prendono speciali accorgimenti, gli Ultisuoli si degradano facilmente.

2.12.7. Oxisuoli

Suoli ricchi in sesquiossidi, fortemente alterati, delle regioni comprese tra i tropici.

Sono suoli che presentano un orizzonte oxico entro i primi 2 metri dalla superficie oppure della plintite in forma continua entro i primi 30 cm. Non vi deve essere orizzonte argillico o spodico sopra l'orizzonte oxico.

Essi comprendono la maggior parte dei suoli precedentemente chiamati lateritici (con o senza influenza della falda freatica) e la maggior parte ugualmente dei suoli precedentemente chiamati latosuoli.

2.12.7.1. Descrizione e distribuzione

Generalmente la distribuzione degli Oxisuoli tende a essere indipendente dalla pioggia attuale, perché la loro formazione è avvenuta per lo più con un regime pluviometrico assai più intenso di quello odierno.

Gli Oxisuoli si trovano, come regola, ad altitudini inferiori a 1500-2000 m in zone climatiche con temperatura piuttosto uniforme (22-24° C come media mensile, all'incirca costante durante tutto l'anno) e con precipitazioni piuttosto elevate (oltre 1500 mm/anno).

La vegetazione più tipica degli Oxisuoli è quella della foresta d'alto fusto con diverse stratificazioni di alberi forestali di dimensioni più ridotte.

Questi suoli sono molto antichi, profondamente alterati con formazione di argilla rossa o gialla e il profilo del terreno è molto uniforme senza distinzione di orizzonti.

Sono ricchi in sesquiossidi e l'argilla è del tipo 1:1 cioè del gruppo del caolino con debole capacità di scambio e debole saturazione in basi.

Essi presentano un profilo ABC con una struttura stabile, una tessitura a tendenza argillosa, un basso contenuto di limo e un colore uniforme; essi sono porosi, non si contraggono né si espandono e sono abbastanza resistenti all'erosione. L'orizzonte A è appena un po' più scuro dell'orizzonte B, il C si trova alla profondità di alcuni metri, mentre la roccia madre inalterata è ritrovabile ad una profondità variabile tra 10 e 40 metri.

Questa notevolissima profondità dei suoli non deve stupire: l'aspetto più appariscente del clima tropicale è la facile alterazione delle rocce. (I monumenti egizi, in clima arido, si alterano in ragione di 1 mm in 500

anni mentre le rocce cristalline del Brasile si disgregano in ragione di 4-5 mm/anno).

La loro capacità di scambio, la saturazione in basi e il contenuto in materia organica è assai basso. Il fosforo rappresenta un problema delicato perché viene insolubilizzato dall'eccesso di ferro libero nel profilo. L'elevato contenuto di alluminio nel suolo può talora produrre degli effetti tossici per le piante.

Gli Oxisuoli sono presenti soprattutto in Sudamerica (Brasile, Ecuador e Colombia), al centro del continente africano (Zaire, Zambia e Tanzania) e nella parte orientale del Madagascar.

2.12.7.2. Processi pedogenetici

Il processo di formazione dei suoli lateritici è complicato e parzialmente sconosciuto: si tratta sovente di suoli molto antichi che hanno subito pedogenesi di tipo diverso e che spesso derivano da substrati diversi trasportati e mescolati insieme. Comunque, il loro principale processo di formazione è la ferrallizzazione che richiede una certa umidità permanente nel suolo (cfr. 2.6.3.9 e tav. 2.1).

Da alcuni Autori il processo di ferrallizzazione è considerato di natura geologica anziché pedologica. Infatti la ferrallizzazione non dà origine a un terreno, ma unicamente a un substrato ferrallitico formato in gran parte da sesquiossidi di ferro e alluminio, da cui potrà poi prendere inizio la formazione di un suolo vero e proprio.

Passiamo ora brevemente in rassegna i principali fattori di formazione del suolo nell'ambiente delle foreste tropicali.

a) Clima. La temperatura si mantiene alta in modo relativamente continuo: 24-27° durante tutto l'anno.

Le piogge sono generalmente distribuite tutto l'anno e variano da 3000 a 6000 mm all'anno (esistono punte di 10.000 mm e talora le precipitazioni giornaliere possono toccare i 700 mm!).

b) Roccia. Gli Oxisuoli si possono formare su materiali diversi, in ogni caso il risultato dell'alterazione dei minerali è sempre la formazione di caolino.

c) Vegetazione. E' quella densa tropicale a diversi strati. Gli alberi hanno radici profonde e la materia organica è rapidamente mineralizzata.

2.12.7.3. Usi

L'alta intensità di radiazione solare che, come è risaputo, è massima all'equatore, unita all'alta temperatura media favorisce una elevata crescita potenziale della vegetazione; questa però non cresce incondizionatamente perché è in pratica controllata dall'umidità e dalla quantità di elementi nutritivi presenti nel terreno. Negli Oxisuoli, a causa del loro estremo stato di alterazione, della scarsa riserva di elementi nutritivi e della bassa capacità di scambio, tutte le sostanze nutritive sono concentrate nelle piante viventi o morte con un ciclo nutritivo "vegetazione-lettieria-humus" assai rapido e con un apporto trascurabile da parte del suolo. Per queste ragioni il sistema itinerante di coltivare la terra ("shifting cultivation") e il pascolo estensivo sono le utilizzazioni del suolo più diffuse. Se coltivati, gli oxisuoli possono ospitare piantagioni di canna da zucchero, ananas, banani e caffè. Per mantenere un conveniente grado di fertilità in queste piantagioni, occorre fertilizzarle artificialmente in modo continuo. Gli Oxisuoli, associati quasi sempre agli Ultisuoli e Inceptisuoli, rappresentano la più grande riserva nel mondo

di suoli non coltivati e quindi potenzialmente disponibili. Per questa ragione è auspicabile una loro miglior conoscenza mentre invece al momento attuale sono i suoli meno conosciuti.

L'interesse scientifico e pratico verso questi suoli è cresciuto moltissimo nei tempi recenti a causa dei gravissimi rischi connessi al taglio dei boschi sugli Oxisuoli. Buona parte della catastrofe ecologica dei polmoni verdi della terra, ossia delle grandi foreste equatoriali pluviali, è dovuta proprio all'erosione degli orizzonti di cima ed all'esposizione alla luce del sole della sottostante plintite, indurita in modo irreversibile (processo della laterizzazione) determinando nelle terre una talmente drastica diminuzione di produttività che, a buon diritto può esser chiamata desertificazione.

2.12.8. Spodosuoli

Suoli con orizzonte di accumulo di sesquiossidi e humus. Gli Spodosuoli, il cui nome deriva dal greco *σποδος* = cenere, devono avere l'orizzonte spodico mentre l'orizzonte E decolorato può non essere elemento diagnostico, sebbene il podzol caratteristico abbia una successione di orizzonti che contempla anche l'E.

2.12.8.1. Descrizione e distribuzione

Gli Spodosuoli sono caratterizzati sovente da una copertura di piante forestali.

In Italia, soprattutto nell'arco alpino orientale, dove piove di più e fa più freddo, sono sovente legati, nella fascia altimetrica compresa tra 1200 e 1800 m, a piante dei generi *Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Abies*, *Vaccinium*, *Rhododendron* e nelle fasce più basse a *Betula* e *Calluna*.

Il processo di podzolizzazione può, in condizioni adatte, avere bisogno di un tempo relativamente breve per manifestarsi (2000-3000 anni); nell'Irlanda del Nord, ad esempio, sono stati reperiti dei manufatti umani relativamente recenti in un podzol ricoperto da torba.

Il profilo tipico di uno Spodosuolo consta dei seguenti orizzonti:

- O1 = formato da materia organica grezza, ad alto rapporto C/N ed a struttura fibrosa o lamellare;
- A1 = generalmente poco spesso, di colore grigio o nero;
- E = senza struttura, di colore biancastro con qualche striscia verticale più scura (segno del passaggio dei prodotti umici al momento della loro migrazione);
- Bh = con accumulo di prodotti colloidali umici;
- Bv = di colore rosso con accumulo di idrati di ferro ed alluminio; tale orizzonte può talora essere fortemente cementato.

Gli Spodosuoli sono estesi soprattutto nell'emisfero settentrionale, cioè dal limite artico della vegetazione fino al 50° latitudine circa. In Europa si trovano perciò in URSS Polonia, Paesi Baltici, Danimarca, Germania settentrionale, penisola scandinava, Inghilterra. In Asia è tipicamente a podzol una fascia molto estesa che comprende il nord dell'Urss, la Siberia e la parte settentrionale del Giappone. In America infine si trovano Spodosuoli in Canada e nella zona dei Grandi Laghi.

2.12.8.2. Processi pedogenetici

DUCHAUFOR (1977) fornisce il seguente schema generale:

- a) presenza di humus non mineralizzato di tipo mor,

molto acido e a lenta decomposizione;

b) attacco dei silicati del suolo da parte dei prodotti dell'humus (cheluviazione) e liberazione dei sesquiossidi di ferro, alluminio e della silice migranti verso il basso;

c) formazione di un orizzonte B con accumulo di argilla amorfa e di humus. L'alluminio fissa la silice neoformando quindi un gel misto (sostanza allofanica); questa può disidratarsi formando un orizzonte cementato duro (ortstein).

Queste caratteristiche sono ben evidenti nel profilo di un suolo quando si verificano alcune condizioni.

1) Clima freddo o umido; il primo impedisce la decomposizione della materia organica, il secondo invece favorisce la lisciviazione dell'argilla e delle basi.

2) Vegetazione che produca un humus di tipo mor; è questo il caso delle lande a brughiera o delle foreste di resinose.

3) Gli effetti dei punti 1) clima, e 2) vegetazione, sono esaltati da particolari caratteristiche della roccia madre; tra queste le principali sono:

a) forte acidità e debole tenore in basi di scambio (rocce quarzose);

b) debole tenore in minerali alterabili: i cationi alluminio e ferro, eventualmente liberati, tenderebbero infatti a insolubilizzare i composti umici, levandoli rapidamente dalla scena della podzolizzazione;

c) debole tenore in argille di tipo 2:1 e cioè: muscovite illite, montmorillonite, vermiculite ecc.; esse potrebbero catturare gli ioni alluminio e impedirne la migrazione;

d) permeabilità sufficiente per permettere la migrazione dei complessi pseudosolubili verso il basso; va notato però che la migrazione accennata è anche favorita da una eventuale tendenza all'idromorfia che facilita la riduzione del ferro necessario per la formazione dei complessi pseudosolubili.

2.12.8.3. Usi

Gli Spodosuoli possono presentare una utilizzazione del suolo a foresta, pascolo, prato permanente e anche a coltivazioni. Dove queste ultime sono praticate la rotazione prevede: mais da insilaggio, avena, segale, patate e trifoglio (fragole e mirtili in certi casi). Gli spodosuoli sono certamente dei terreni che presentano una limitata gamma di possibili utilizzazioni, ma nonostante questa loro indubbia limitazione possono essere dei buoni suoli per alcune specie forestali spontanee. Molte delle migliori peccete del centro Europa, ad esempio, si trovano su spodosuoli.

2.12.9. Istosuoli

Suoli organici. Non molto estesi come areale, sono però diffusi un po' dappertutto nel mondo.

Gli Istosuoli si formano ogniqualvolta la produzione della materia organica è eccedente rispetto al potere del suolo di mineralizzare i residui vegetali.

2.12.9.1. Descrizione e distribuzione

Gli Istosuoli possono essere climatici oppure no; i primi si sviluppano soprattutto nei climi marittimi e con substrati poco permeabili, come è il caso tipico dell'Irlanda del Nord e della Scozia dove vengono chiamati "blanket peat" (coperta di torba), "blanket or hanging bogs" (coperta di palude o palude sospesa) o anche "climatic bogs" (paludi climatiche). Gli Istosuoli non climatici viceversa si formano soprattutto in aree depresse.

La densità apparente degli Istosuoli è quasi sempre $> 1\text{g/cc}$. La capacità di scambio cationico degli Istosuoli è legata ai gruppi carbossilici e fenolici. L'attività di questi gruppi è in stretta correlazione con il pH: si passa infatti da una capacità di scambio di 10-20 meq/100 g se il pH del suolo è 3,7, a oltre 100 meq/100 g se il pH è uguale a 7,0.

2.12.9.2. *Processi pedogenetici*

Il processo iniziale da cui prendono avvio gli Istosuoli è chiamato paludizzazione e consiste in una crescita dal basso verso l'alto, infatti il materiale organico inizialmente depositato può essere considerato come "roccia madre" per gli Istosuoli. Contemporaneamente interviene la decomposizione della materia organica legata all'attività microbica. Tale decomposizione, o serie di diverse decomposizioni, è molto complessa ed è controllata da un numero rilevante di fattori tra loro correlati (contenuto di umidità, temperatura, composizione del deposito, acidità, durata ecc.).

2.12.9.3. *Usi*

Un impiego molto semplice degli Istosuoli è quello di utilizzarli come fonte energetica diretta: ad esempio nella contea Mayo nell'Irlanda del Nord, una centrale termoelettrica funziona bruciando torba. Non in tutti gli ambienti un impiego siffatto può essere razionale; sovente appare più conveniente una gestione agricola. Alla base di questa gestione ci deve essere quella dell'acqua. E' pertanto necessario drenare prima del suolo.

Spesso a questo punto iniziano le difficoltà, perché quando la torba viene drenata, si ossida si riduce di volume e dà luogo al fenomeno della subsidenza (in alcune zone del Ravennate, intensamente sfruttate dall'agricoltura, la subsidenza può procedere al ritmo di 1 cm all'anno). Talora, quando gli Istosuoli con materia organica molto decomposta sono eccessivamente drenati, si verifica un indurimento irreversibile della materia organica tale da limitare il movimento dell'acqua nel suolo e la penetrazione delle radici. Il tipo auspicabile di gestione dell'acqua per gli Istosuoli è quello che garantisce il controllo del drenaggio sia di superficie, sia di profondità. I canali di drenaggio debbono essere calcolati in modo da garantire un livello dell'acqua il più alto possibile durante la stagione secca e viceversa durante la stagione umida.

2.12.10. **Vertisuoli**

Suoli argillosi che si contraggono e si espandono.

2.12.10.1. *Descrizione e distribuzione*

Indispensabile, per lo sviluppo dei Vertisuoli, è l'essiccamento stagionale del profilo, ma la durata sia dell'essiccamento sia delle piogge possono essere variabili. Pertanto i Vertisuoli si trovano in climi dove la temperatura media annua varia da 15 a 27° C e dove le precipitazioni sono comprese tra 300 e 1000 mm all'anno.

La vegetazione degli ambienti dove vi sono Vertisuoli è composta da alte erbe di savana, molto spesso disturbate dal fuoco appiccato dall'uomo.

Le rocce sulle quali si sviluppano i Vertisuoli appartengono a tipi anche molto diversi tra loro; la reazione dei suoli è basica.

La posizione nel paesaggio è soprattutto quella delle depressioni o delle pianure colmate da sedimenti ar-

gillosi prodotti dall'alterazione dei minerali esistenti sulle pendici circostanti.

I Vertisuoli sono distribuiti, se pur in modesta percentuale, un po' dappertutto nel mondo: Australia, dove sono chiamati "black earths"; in India, "regur" o "black cotton soils"; Indonesia, "margallitic soils"; Taiwan, Sudan, T Chad, Ghana, Repubblica Sudafricana, "vlei"; Marocco, "tirs"; Texas, "black soils" e talora "grumosols", Cuba, Portorico, Uruguay, Paesi Balcanici, "smonitza"; Portogallo, "barros". In Argentina li chiamano "suelos del dia domingo" intendendo con questa dizione il fatto che la loro lavorabilità è molto ridotta nel tempo per cui l'agricoltore farà bene a lavorarli anche durante una festività se in quel giorno il suolo era in tempera.

2.12.10.2. *Processi pedogenetici*

Per definizione i Vertisuoli devono possedere più del 35% di argilla di tipo espandibile (per lo più montmorillonite). Tale argilla può però già essere presente in sedimenti di origine marina o negli scisti, ma può anche derivare da altre rocce come basalti, doleriti ecc. Sono state avanzate diverse ipotesi per spiegare la conservazione nel tempo dell'argilla di tipo espandibile.

Esaminando un profilo con argilla espandibile e avente un regime climatico di tipo ustico, i seguenti meccanismi intervengono nella formazione di un Vertisuolo:

1) contrazione dell'argilla: durante la stagione secca il suolo, a causa dell'argilla espandibile, si fessura dalla superficie fino a un metro o più di profondità. In questa fase una certa quantità di materiale terroso od organico può cadere nelle fessure del suolo per diversi motivi (attività animale, pioggia, vento ecc.); prende così origine il graduale rimescolamento del suolo che spiega sia il nome di Vertisuolo (dal latino vertere = capovolgere) sia quello di "selfplowing soils" (dall'inglese: suoli che si arano da essi);

2) granulazione della superficie: la superficie del suolo si fessura in una rete capillare in cui ogni maglia è costituita da un granulo a forte struttura poliedrica. Certi suoli del Texas dove tale fenomeno è particolarmente intenso si chiamano appunto "grumosols";

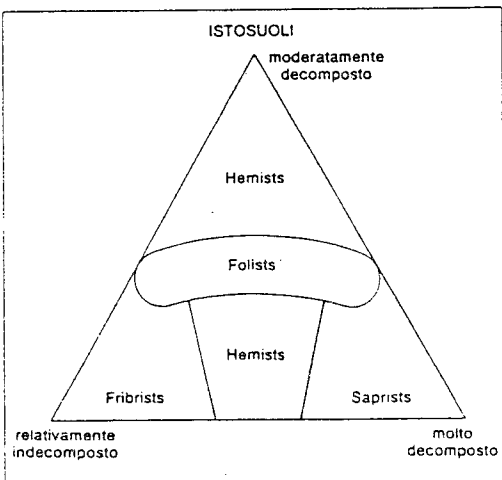
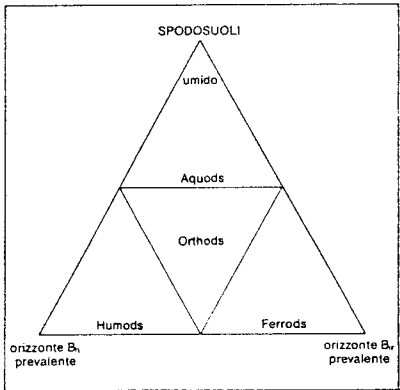
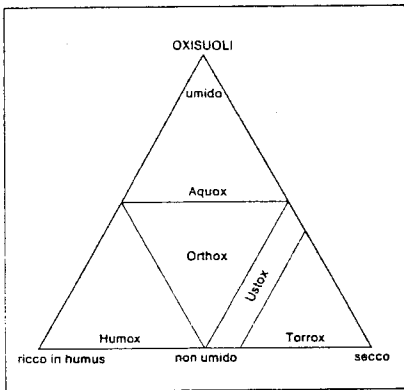
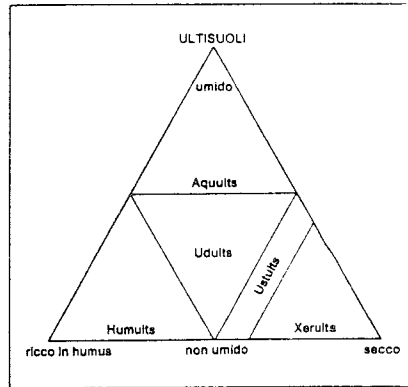
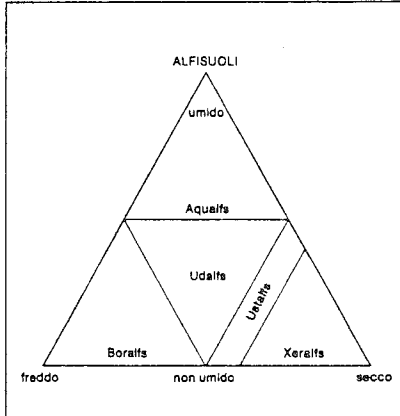
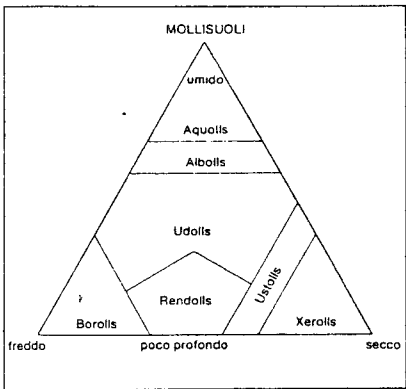
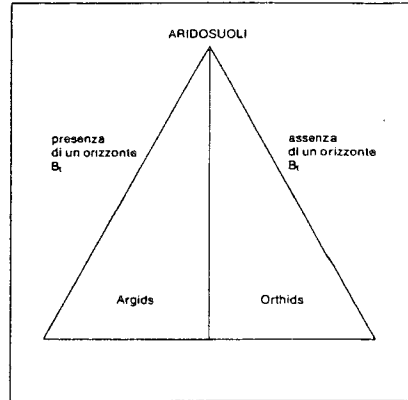
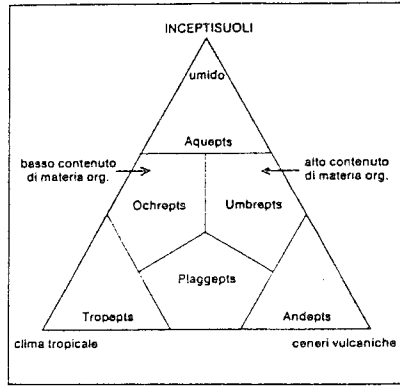
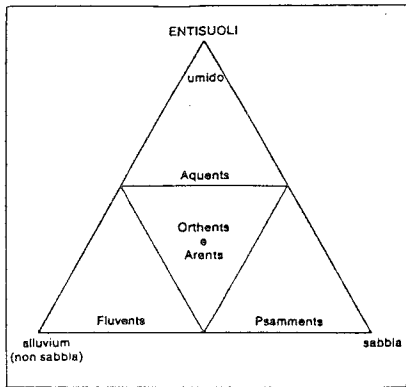
3) rigonfiamento dell'argilla: durante la stagione umida il suolo si inumidisce, si espande e tende a richiudere le crepe che si erano aperte durante l'estate. Però il materiale inglobato nelle crepe, provocando un aumento di volume, dà luogo a una forte pressione nel suolo la quale si manifesta in modi diversi:

— sulla struttura che diventa prismatica seguendo le larghe e profonde crepe;

— sulle facce degli aggregati che diventano molto levigate a causa dello sfregamento operato dagli aggregati strutturali per l'alternanza di uno stato secco (contrazione) ed uno umido (espansione);

— sulla microtopografia che assume un aspetto a piccoli dossi.

4) Colorazione nera: non tanto dovuta alla materia organica quanto al fatto che questa è intimamente mescolata con l'argilla; la materia organica, essendo assorbita in superficie dall'argilla, forma un velo sottile di colore scuro, costituito da un complesso organominerale molto stabile. Recenti ricerche attribuirebbero al titanio un ruolo importante nel determinare il colore scuro dei vertisuoli.



Vertisuoli			
Numero di giorni all'anno durante i quali nel suolo vi sono delle crepe aperte			
< 90 cumulativi < 50 consecutivi	≈ 90 cumulativi	> 60 consecutivi	Tutto l'anno nella maggior parte degli anni
UDERTS	USTERTS	XERERTS	TORRETS

2.12.10.3. Usi

Dal punto di vista della fertilità agronomica si tratta di suoli buoni o addirittura eccellenti, tanto che negli Stati Uniti le terre nere del Texas e dell'Alabama vengono giudicate le terre più ricche in assoluto di quel Paese.

Colture adatte ai Vertisuoli sono il cotone, il grano, il mais, il sorgo, il riso e la canna da zucchero.

I Vertisuoli presentano però numerosi svantaggi sormontabili comunque con moderne tecnologie. Tra questi si ricordano la difficile lavorabilità, l'appartenenza a un clima con lunghi periodi siccitosi e la posizione topografica svantaggiata essendo sovente quella

Fig. 2.50 - Rappresentazione dei sottordini di suoli secondo USDA.

delle depressioni frequentemente sottoposta a ristagni d'acqua.

I Vertisuoli non presentano potenzialità per le foreste e per le legnose agrarie, perché il crepacciamento del suolo durante il periodo secco è un grave ostacolo per l'integrità degli apparati radicali delle piante. Per questa ragione molti Vertisuoli hanno copertura erbacea e vengono utilizzati per il pascolo.

I Vertisuoli presentano delicati problemi ingegneristici: edifici, strade, oleodotti, ferrovie, ecc. subiscono danni a seguito dei movimenti dell'argilla.

3. APPLICAZIONI

3.1. VALUTAZIONE DELLE TERRE

Costituendo il suolo "il pavimento" su cui vengono organizzate tutte le attività umane, è naturale che esso sia chiamato in causa per fornire risposte ai più importanti problemi pratici della vita dell'uomo.

E' a questo punto che inizia la fase di interpretazione dei suoli, come dice l'Ufficio di Interpretazione del Suolo (USDA) "lo scopo dell'interpretazione di un rilevamento dei suoli è quello di formulare delle previsioni su come i suoli di un certo tipo rispondono quando sono utilizzati".

Le diverse interpretazioni dei suoli costituiscono un importante settore della pedologia; tale settore viene indicato con la denominazione di "valutazione delle terre" (land evaluation).

Nei paragrafi che seguono esamineremo quali sono le risposte che la valutazione delle terre riesce a dare ad alcuni problemi particolarmente preoccupanti per l'uomo moderno:

- valutazione delle terre a scopi di produzione primaria e di conservazione del suolo;
- valutazione del rischio di degradazione del suolo;
- valutazione del rischio di desertificazione.

3.1.1. Valutazione delle terre a scopi di produzione primaria

Strumenti concettuali per provvedere a questo tipo di valutazione sono:

- capacità delle terre (land capability), ove ogni porzione di superficie terrestre viene interpretata in base all'uso generale che ne può essere fatto;
- attitudine delle terre a specifiche colture (land suitability), dove per ogni singola coltura si provvede ed una interpretazione separata.

3.1.2. Capacità delle terre (Klingebiel et al. 1961)

Si tratta di una valutazione delle terre che viene formulata sulla base di un esame delle caratteristiche intrinseche del suolo (profondità, tessitura, lavorabilità, pH, pietrosità, carbonati, permeabilità ecc.) e di quelle relative all'ambiente a cui il suolo appartiene (microclima, pendenza, drenaggio, rischio di erosione ecc.). I suoli così valutati entrano in uno schema categorico che prevede 8 classi di merito con limitazioni d'uso del suolo viepiù crescenti dalla prima all'ottava (vedi fig. 3.1 e tav. 3.1).

Le prime 4 classi sono compatibili con utilizzazione agricola zootecnica e forestale, le successive 3 escludendo l'uso agricolo restano compatibili con la zootecni-

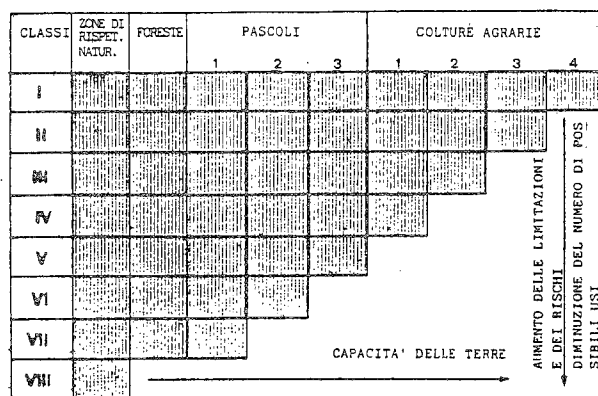


Fig. 3.1 - Schema della capacità d'uso delle terre (land capability) secondo USDA 1961.

Note alla Fig. 3.1

- a) Le 4 sottoclassi presentate nel grafico si applicano soltanto alle colture mentre le seguenti 3 sottoclassi si applicano solo al pascolo.
- b) Sovente alle cifre romane seguono delle lettere latine che indicano la limitazione o le limitazioni più importanti:
 - e rischio di erosione
 - w eccesso d'acqua
 - s spessore ridotto del suolo
 - c clima non del tutto favorevole
- c) Il sistema è libero da implicazioni di tipo economico. Le terre di classe I sono di prima qualità sia che su di esse si coltivino vegetali molto esigenti sia che vengano lasciate incolte o a destinazione di vita selvaggia e/o a foresta.
- d) Per fini forestali questa classificazione può risultare inadeguata: nel nostro Paese le aree forestali sono di solito limitate alle classi V, VI e VII.

Tav. 3.1 - Schema della carta della capacità d'uso dei suoli.

Schema della carta della capacità d'uso dei suoli	
Tipo di utilizzazione prevalente possibile	Classi di capacità d'uso dei suoli
Tutte le utilizzazioni sono possibili	I Suoli aventi poche limitazioni che ne restringono il loro uso.
	II Suoli aventi alcune limitazioni che riducono la scelta delle piante e che richiedono pratiche moderate di conservazione del suolo.
	III Suoli aventi importanti limitazioni che riducono la scelta delle piante o richiedono speciali pratiche di conservazione o tutte e 2.
	IV Suoli aventi limitazioni molto importanti che ne restringono la scelta delle piante e richiedono una gestione molto accurata.
Sono possibili le utilizzazioni forestali e zootecniche	V Suoli senza rischio di erosione ma con altre limitazioni difficili da essere rimosse. l'uso è per lo più forestale, pascolivo o naturalistico.
	VI Suoli con rischio di erosione e con limitazioni molto importanti. Uso analogo a quello della classe V.
	VII Suoli con rischio di erosione e con limitazioni ancor più importanti rispetto alla classe VI. Uso analogo a quello della VI.
Sono escluse le utilizzazioni produttivistiche	VIII Suoli con limitazioni che precludono il loro uso per produzione di piante commerciali. Solo usi naturalistici o estetici.

ca e la selvicoltura, l'ultima, infine, deve essere considerata area di rispetto naturalistico, dove l'uomo non deve esercitare alcun tipo di sfruttamento produttivistico.

Si tratta di una classificazione categorica che si riferisce alla capacità presentata da porzioni di superficie terrestre ad essere utilizzate secondo generici usi che non producano, anche a lunga scadenza, fenomeni di degradazione del suolo. Per una visualizzazione prati-

ca di ciò che si intende con questo tipo di classificazione, vedi fig. 3.2.

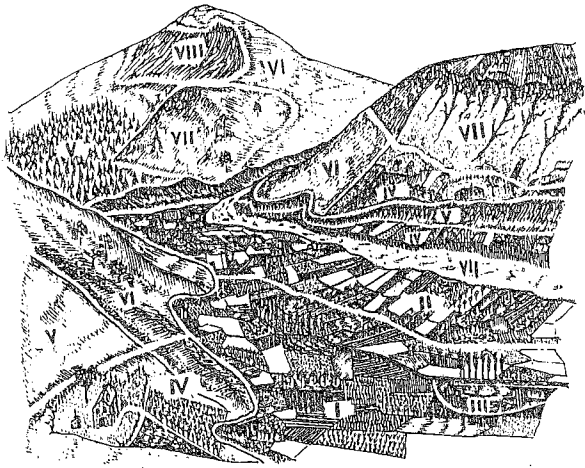


Fig. 3.2 - Ripartizione del territorio in classi di capacità d'uso delle terre.

Per l'applicazione del metodo della capacità delle terre si considera una gestione ordinaria delle terre, basata su norme locali; vengono pertanto escluse colture che richiedono una gestione speciale e non si tiene in considerazione la possibilità di intervenire con trasformazioni straordinarie del territorio (es. modificazioni dell'inclinazione del pendio o della profondità del suolo). L'attribuzione di un tratto di territorio ad una classe di capacità d'uso può pertanto essere cambiata in seguito all'attuazione di importanti progetti di miglioramento.

Dei fattori socio-economici si tiene conto solo come contesto; essi non costituiscono un criterio di classificazione.

Entrando nei dettagli metodologici l'interpretazione delle terre finalizzata all'accertamento della loro capacità, avviene attraverso tavole di conversione di cui viene fornito un esempio alla tav. 3.2.

Caratteri	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI	Classe VII	Classe VIII	Sottoclassi
Pioggia superficiale (particelle maggiori 1,5 cm)	<0,01%	<0,01%	0,01-0,1%	0,1-1%	1-3%	3-15%	15-35%	>35%	P ₁
Solture (particelle maggiori di 2 mm)	..... maggiore del 35%								S ₁
Reattività	<2%	<2%	2-10%	10-25%	10-25%	10-25%	25-50%	50%	R ₀
Erosione	Diffusa moderata	Diffusa moderata	Diffusa severa o incanalata moderata	Diffusa severa o incanalata moderata	Incanalata severa	Incanalata severa	Incanalata severa	Incanalata severa	E
Drenaggio	Bene moder.	Bene moder.	Imperfetto Poco	Poco	..... Molto poco				D ₁
Profondità	>120 cm	>120 cm	80-120 cm	80-120 cm	80-120 cm	30-80 cm	10-50 cm	10 cm	P ₂
Pendenza	0-4%	4-15%	4-15%	15-25%	25-40%	40-60%	40-60%	>60%	P ₃
Texture (particelle <2 mm)	Tutte essent. sabbiosi, sabbioni fini, grossolani e argillosi molto fini		Tutte essent. sabbiosi grossolani ed argillosi		Sabbioni grossolani ed argillosi molto fini				T
Saturazione in basi	..... Maggiore del 35% .....				..... Minore del 35%				S ₂
Carbonati (particelle <2 mm)	..... Maggiore del 40%								Ca
Acqua utile	..... Maggiore di 10 cm/m .....		..... 10-20 cm/m .....		..... Minore di 10 cm/m				AU
Inondazioni	Rare	Rare	A volte	Comuni	..... Frequenti				In
	..... Arabili		Occasion. Arabili		Non arabili		Non utili per produtt.		

Tav. 3.2 - Esempio di tavola di conversione per la valutazione della capacità d'uso delle terre (Aru et al., 1982): caratteri, classi e sottoclassi di capacità di uso per regimi non irrigui utilizzati per la Toscana.

Dalle esperienze sinora effettuate si può affermare che questa classificazione porta diversi vantaggi, fra cui occorre ricordare questi (Aru, A. et al. 1982):

- 1 - Nei piani e progetti consente di individuare i suoli arabili.
- 2 - Vengono individuati i suoli da destinare alla ricostruzione dei boschi, per i pascoli, ecc.
- 3 - Delimita le aree che necessitano di opere di drenaggio o bonifica.
- 4 - Delimita le aree che richiedono interventi differenziati per la difesa del suolo (lavori a livello di bacino o di azienda).
- 5 - Serve a ubicare i punti per servizi aziendali o collettivi (strade, ecc.).
- 6 - Rappresenta una base fondamentale per i progetti di sviluppo agricolo e non agricolo (urbanizzazione).
- 7 - Costituisce infine un documento per scelte politiche ed economiche a livello territoriale.

I limiti di questo tipo di valutazione riguardano invece la poca specificità della risposta che diviene poi troppo generica per scopi forestali.

La metodologia della capacità delle terre è stata applicata al territorio della regione Piemonte (scala 1:250.000) da IPLA (1982) con la partecipazione della Soc. Aquater ed a quello della Regione Emilia-Romagna (scala 1: 200.000) da Ufficio Analisi Ricerche Territoriali e Cartografia con la consulenza della Soc. Aquater.

3.1.3. Attitudine delle terre a determinate colture (FAO 1976, Purnell 1983)

E' necessario premettere alcuni concetti fondamentali:

- 1 - L'attitudine delle terre deve riferirsi ad un loro uso specifico.
- 2 - La valutazione in termini di attitudine richiede una comparazione tra i prodotti ottenuti (outputs) e gli interventi (inputs) necessari per i vari tipi di territorio.
- 3 - La valutazione deve tener conto delle condizioni fisiche economiche e sociali.
- 4 - L'attitudine deve essere per un uso di mantenimento.
- 5 - La valutazione deve poter comparare più di un tipo di uso.
- 6 - E' necessario un approccio multidisciplinare.

Un importante concetto nello Schema indica che l'attitudine delle terre per un uso specifico può essere:

- a) l'attitudine attuale senza miglioramenti, oppure,
- b) l'attitudine potenziale successiva ai miglioramenti.

La struttura della classificazione è sufficientemente semplice. Vi sono quattro categorie principali (vedi fig. 3.3).

3.2. DEGRADAZIONE DELLE TERRE

Rifacendosi al significato di terre (land), ovvero di una superficie terrestre con il suo clima, aria, acqua, morfologia, la sua vegetazione ed il suo suolo, si può facilmente constatare come queste quattro principali componenti dell'ambiente rappresentino altrettanti bersagli per la degradazione.

Accenneremo brevemente alle prime cinque essenze terrestri per soffermarci invece più a lungo sulla quarta.

3.2.1. Degradazione climatica

Negli ultimi tempi essa si presenta principalmente

sotto due forme:

- aumento della CO₂ nell'atmosfera (effetto serra) dovuto sia alle intense emissioni di anidride carbonica nell'aria a seguito dei processi di combustione, sia al taglio delle foreste;
- buco dell'ozono causato dai polifluorocarburi.

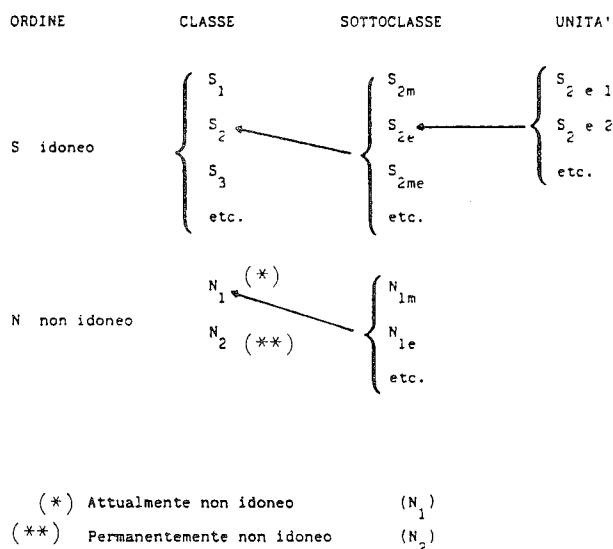


Fig. 3.3 - Schema del sistema FAO e attitudine delle terre. Fonte: FAO, 1976.

Ordine: informazione di base sull'idoneità delle terre.

Classe: il numero della classe indica la diminuzione del grado di attitudine.

Sottoclasse: la lettera precisa la natura della maggiore limitazione.

Unità: il numero dopo il trattino indica un'area con attitudine produttiva abbastanza omogenea di modo tale che tale area può divenire una unità di gestione.

3.2.2. Degradazione dell'aria

La degradazione dell'aria riguarda soprattutto l'inquinamento atmosferico con la vasta gamma di areiformi liberati nell'aria a seguito dei processi di combustione.

Particolarmente nociva è la SO₂ sia per la salute umana sia per quella dei vegetali. La SO₂ è infatti legata all'inquinamento dell'aria ed alle piogge acide. Queste danneggiano tanto gli apparati fogliari delle piante quanto il terreno in cui si trovano le radici delle piante. Il danno subito dal suolo consiste nella diminuzione del pH e nella conseguente alterazione dei meccanismi nutrizionali delle radici (vedi paragrafo 3.2.6.4).

3.2.3. Degradazione delle acque

E', insieme a quella dell'aria, la forma di degradazione di cui l'uomo si accorge maggiormente. Frequentemente infatti appaiono i fenomeni isolati o concomitanti qui appresso riportati:

- esaurimento locale della risorsa acqua,
- abbassamento delle falde,
- inquinamento dei corsi d'acqua.

Una forma di inquinamento molto diffusa è quella dell'eutrofizzazione che si verifica quando nell'acqua vi è un eccesso di elementi nutritivi che permettono un aumento delle alghe le quali consumando l'ossigeno disciolto rendono impossibile la vita agli altri organismi.

3.2.4. Degradazione della morfologia

L'uomo può alterare l'equilibrio delle forme della superficie terrestre così che queste subiscono improvvisi cambiamenti rendendosi al contempo meno adatte a soddisfare i fabbisogni umani di beni e di servizi.

Casi molto evidenti di questo tipo di degradazione sono rappresentati dalle frane e dai movimenti di massa frequenti soprattutto in quelle aree dove l'azione dell'uomo è concomitante con la presenza di fattori naturali (morfologia, litologia e clima) predisponenti il fenomeno del dissesto.

Numerosi sono anche i casi di modificazione non degradativa della morfologia. Si citano i terrazzi come esempio rappresentativo. Va però notato che si tratta comunque di un impatto negativo sull'ambiente in quanto obbliga l'uomo - che non è detto sia l'imperitturo utilizzatore di quell'ecosistema - ad una manutenzione continua. In caso contrario la natura presto o tardi riporterà l'ambiente verso un assetto di equilibrio passando attraverso una fase iniziale di dissesto.

3.2.5. Degradazione della vegetazione

Le possibili forme di degradazione della vegetazione sono numerosissime. Esse vanno dal taglio delle foreste alla diminuita efficienza degli ecosistemi forestali a seguito di incendi, piogge acide, calpestamento eccessivo, ecc. La degradazione delle foreste ha notevoli relazioni anche con la degradazione climatica (cfr. Nillson, 1989).

3.2.6. Degradazione del suolo

La degradazione del suolo secondo FAO et al. (1979) è un processo che abbassa la capacità corrente e/o potenziale del suolo a produrre beni e servizi.

Nei paragrafi che seguono vengono trattati i principali tipi di degradazione del suolo.

3.2.6.1. Erosione idrica

3.2.6.1.1. Introduzione

Con il termine di "erosione idrica" si intende il distacco ed il trasporto della parte superficiale del suolo per effetto dell'acqua. Si tratta quindi di un fenomeno del tutto naturale che si verifica ogni qual volta una porzione di superficie terrestre viene sottoposta ad uno scorrimento più o meno intenso di acqua. L'erosione è da considerare quindi come uno dei processi che modellano il paesaggio (Vedi fig. 3.4.).

3.2.6.1.2. Meccanismi di erosione idrica del suolo

Da un punto di vista solamente naturale le aree più sensibili ai processi di erosione idrica sono quelle semiaride e subumide, dove al verificarsi di un aumento di precipitazioni la vegetazione non fa in tempo ad affermarsi. In queste condizioni il terreno è costretto a subire l'energia cinetica dell'acqua piovana e/o di ruscellamento e di conseguenza ha inizio l'erosione. Infatti, con precipitazioni comprese tra 250 e 400 mm/anno la foresta quasi mai rappresenta un fatto significativo per la regimazione delle acque in quanto gli alberi sono molto sparsi ed il suolo rimane pressoché nudo. Situazione leggermente migliore è rappresentata invece dalle steppe cespugliate o erbacee.

Passando però agli ambienti caratterizzati da piogge superiori a 400 mm/anno, la foresta controlla l'erosione più di ogni altro tipo di copertura (Kirkby et al., 1980). La fig. 3.5. si riferisce appunto ad una si-

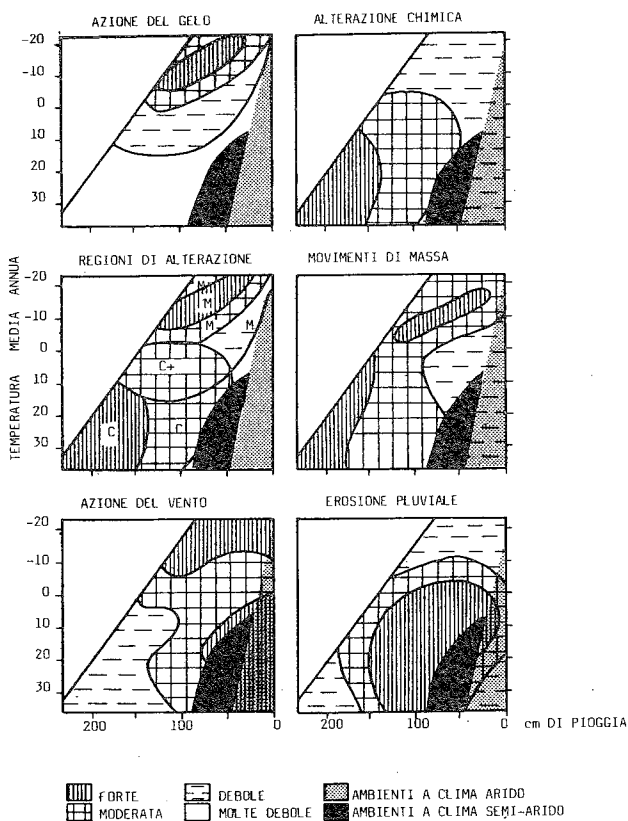


Fig. 3.4 - Intensità dei processi che modellano il paesaggio in diverse condizioni climatiche, con particolare riferimento agli ambienti aridi e semiaridi. (Fonte: Peltier, 1950).

tuazione di clima temperato con 500 mm di precipitazione.

Il clima è soltanto uno dei fattori che concorrono a determinare l'erosione del suolo. E' necessario infatti considerare anche l'erodibilità del suolo, la copertura vegetale, la pendenza e la lunghezza dei versanti. Se si prendono in considerazione soltanto i fattori ora citati si può affermare che il rischio di erosione è specialmente alto negli ambienti semi-aridi con formazioni litologiche tenere organizzate in rilievi a forte energia e prive di vegetazione.

Se tra i fattori predisponenti si volesse introdurre anche l'uomo, allora il quadro, ora presentato assumerebbe particolari sfumature perchè, come è già stato detto, l'uomo può influenzare l'erosione fino al punto da diventare lui stesso il principale responsabile del fenomeno. E' questo storicamente il caso della civiltà mediterranea dove il disboscamento ed il successivo sfruttamento agricolo delle terre datano da alcuni millenni come si può osservare leggendo il Crizia di Platone.

Per i casi come quello ora accennato del bacino mediterraneo viene utilizzata la dizione di "erosione accelerata", intendendo con questa espressione "il fenomeno per cui i processi erosivi, specialmente quelli legati al dilavamento, manifestano un'intensificazione, come conseguenza diretta o indiretta di interventi umani, o per altre cause" (Castiglioni 1982).

3.2.6.1.3. Cause dell'erosione del suolo

Negli ultimi tempi il fenomeno dell'erosione accelerata del suolo è andato continuamente aggravandosi per molteplici cause. A scala mondiale le cause principali sono:

- taglio di foreste per far posto alle coltivazioni
- carico eccessivo di bestiame sui pascoli
- incendio dei boschi e delle savane per la pratica della coltura itinerante e per il miglioramento (1) dei pascoli.

Passando dalla scala mondiale a quella del nostro Paese, possono essere identificate le seguenti cause facilitanti l'erosione del suolo:

- a) intensificazione della meccanizzazione agricola come conseguenza della moderna agricoltura meccanizzata i campi presentano le seguenti caratteristiche:
 - dimensione maggiore rispetto ad alcuni anni fa,
 - superfici livellate,
 - scomparsa di numerosi elementi che costituivano una separazione tra i campi (siepi, fossetti, muretti a secco, filari di alberi, ecc.),
 - pendenze più accentuate,
 - compattazione del suolo dovuta al passaggio di pesanti mezzi meccanici. La conseguenza è una ridotta capacità di infiltrazione del suolo.
- b) Riduzione del bestiame (specie bovino) nelle aziende agrarie.

Da questa tendenza ne consegue:

- riduzione o scomparsa di apporti nei campi di materia organica animale,
 - sostituzione di foraggiere e prati permanenti con altri tipi di colture meno efficienti nella protezione del suolo.
- c) Cambiamenti nelle tecniche di gestione delle terre. Tra i numerosissimi cambiamenti intervenuti negli ultimi tempi, si citano i seguenti:
- frequenti sostituzioni delle rotazioni con monoculture,

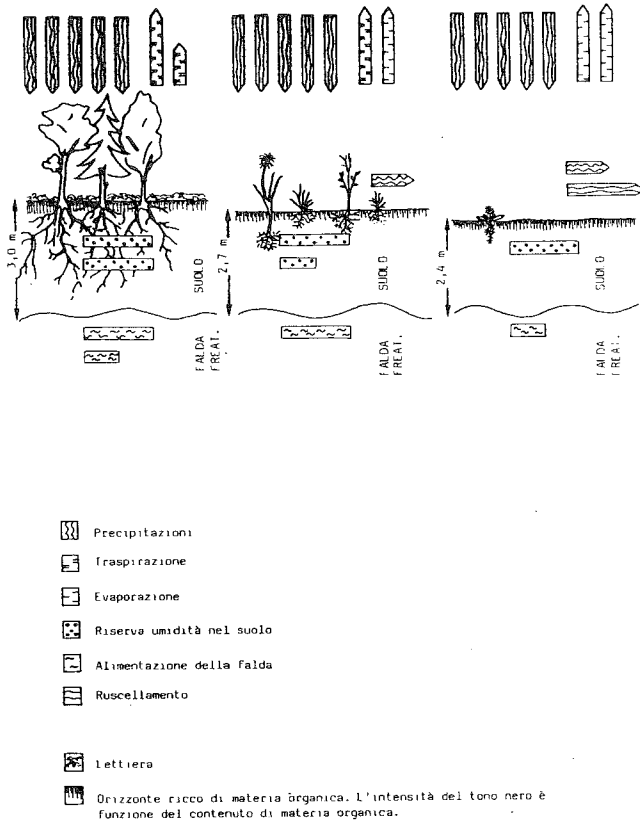


Fig. 3.5 - Influenza della vegetazione forestale sul bilancio idrologico e sulla conservazione del suolo.

- frequenti lavorazioni del suolo con le ben note conseguenze di:
 - polverizzare il suolo,
 - permettere un'erosione di impatto (splash erosion) particolarmente intensa con la conseguenza di creare dei piani compatti di scorrimento,
 - facilitare l'erosione laminare ed incanalata,
- lavorazioni secondo la massima pendenza sui pendii piú accentuati,
- aumento dei fertilizzanti chimici, il cui effetto, esaurendosi con il ciclo della coltura, non apporta fertilità permanente al suolo anzi crea le premesse per un graduale depauperamento del suolo stesso e quindi per una piú facile erosione.

(1) Sul termine "miglioramento dei pascoli" attraverso la tecnica del fuoco alle erbe occorre intendersi. A breve o brevissimo termine il pastore ricava un vantaggio in quanto è vero che così facendo egli riesce ad eliminare la concorrenza delle specie infestanti. E' però altrettanto vero che sui pascoli si verifica una progressiva diminuzione di biomassa in quanto diventano via via minori nel tempo gli apporti di sostanza organica al suolo e questo fatto si traduce inevitabilmente in una diminuzione di capacità produttiva del suolo.

3.2.6.1.4. Entità del fenomeno erosivo

Il danno che deriva alle economie nazionali dall'erosione del suolo è molto grave. Si riportano a titolo di esempio tre dati: il primo dal nord Africa, il secondo da un paese della Comunità Europea e l'ultimo, infine, dall'Italia.

La FAO-UNESCO (1980) nella cartografia del rischio potenziale ed attuale di perdite del suolo per erosione idrica riporta il dato di 200 t/ha/anno per ampie zone del Nord Africa. Valori superiori a questo sono forniti da Arnoldous (1977) per alcune zone delle montagne del Rif e dell'Atlante in Marocco.

Nel Belgio su suoli limosi di origine loessica, non coperti da vegetazione e su pendii acclivi si può verificare un'asportazione di suolo di oltre 100 t/ha/anno (De Ploey, 1986).

Dalla carta delle linee di uguale erosione progressiva media di Gazzolo et al. (1966) risulta che il primato dell'erosione specifica dei suoli in Italia spetta al bacino del Marecchia ed a quello del Savio con 1,4 mm di perdita annua del suolo (approssimativamente 20 t/ha/anno come media di tutto il bacino e quindi con punte di oltre 100 t/anno/ha).

3.2.6.1.5. Cause di sottostima del fenomeno

Eppure nonostante la gravità di questi dati, il fenomeno dell'erosione non è stato e non è molto considerato.

L'erosione del suolo è sovente sottostimata per i seguenti motivi:

- è difficile vedere segni di erosione nei campi, qualora essi si verificano si tratta quasi sempre di qualcosa di transitorio che tende a sparire con le normali lavorazioni dei campi
- l'agricoltore non sempre ha una percezione molto netta del fenomeno. In molte zone d'Italia il sottosuolo è costituito da rocce tenere (marne, flysch, limi, argille, ecc.), l'agricoltore può quindi mantenere costante la profondità di aratura indipendentemente dal fatto che ogni anno venga sottratto uno straterello superficiale di suolo. La degradazione in questi casi è di du-

plice tipo: erosione idrica e perdita di fertilità.

— Fin'ora la trattazione dell'erosione del suolo non ha costituito un capitolo a sé ma è stata per lo piú compresa nella dizione di "dissesto geomorfologico ed idrogeologico" (1).

(1) Vengono comprese nella dizione del dissesto idrogeologico quelle forme di erosione piú appariscenti che spesso sono associate a manifestazioni di vero dissesto quali le frane. Sfuggono alla dizione quelle forme legate alla gestione agricola delle terre, che sono di modesta entità e facilmente cancellabili dall'uomo il quale, proprio a causa di questa scarsa apparenza, ne ha tenuto da sempre poco conto.

3.2.6.1.6. Valutazione dell'erosione del suolo

Tenuto conto della gravità del problema, appare necessario da un lato conoscere i principali meccanismi di questo processo che continuamente degrada la risorsa "suolo" e da un altro valutare quantitativamente o almeno quantitativamente l'entità del fenomeno.

— Valutazione quantitativa

Alla fig. 3.6 vengono indicati i principali fattori che influenzano l'erosione idrica del suolo; nella colonna di destra vengono fornite le indicazioni per la misura dei citati fattori secondo il procedimento di Wischmeier (1965). Alla tav. 3.3 si mette in evidenza l'importanza dell'energia cinetica nei riguardi dell'erosione.

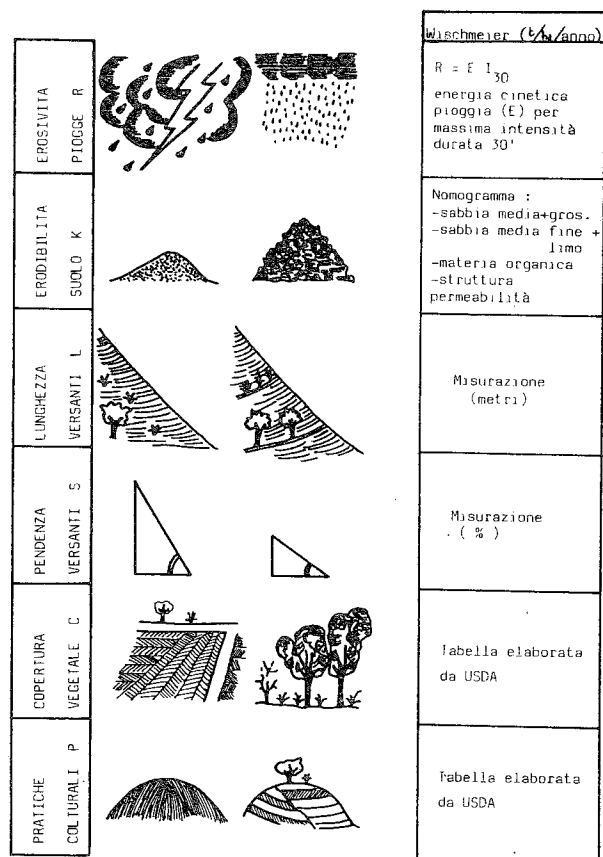


Fig. 3.6 - Valutazione rischio di erosione suolo. Nei disegni esemplificativi quelli di sinistra illustrano una situazione relativamente sfavorevole alla difesa e conservazione del suolo, quelli di destra invece, presentano una situazione relativamente favorevole.

Tav. 3.3 - Energia cinetica della pioggia e dell'acqua di scorrimento superficiale. (energia cinetica = $1/2 mv^2$ dove m = massa e v = velocità). Nell'esempio l'acqua di precipitazione possiede 256 volte più energia cinetica rispetto all'acqua di scorrimento.

L'esempio è strettamente riferito ad uno scorrimento laminare uniformemente distribuito sulla superficie.

Siccome questa condizione raramente si verifica, l'acqua tende a concentrarsi in zone di massimo dislivello, dove a seguito di un notevole aumento di massa idrica di fatto si verifica l'erosione.

	PIOGGIA	SCORRIMENTO
MASSA	Si assume che la massa dell'acqua di precipitazione sia R	Si assume che soltanto il 25% dia origine a scorrimento, quindi la massa R/4
VELOCITÀ	Si assume una velocità finale di 8 m/s	Si assume una velocità del flusso di superficie di 1 m/s
ENERGIA CINETICA	$\frac{1}{2} \times R \times 8 = 32 R$	$\frac{1}{2} \times \frac{R}{4} \times 1 = \frac{R}{8}$

Per il calcolo dell'erosività della pioggia secondo Wischmeier occorre calcolare l'energia cinetica della pioggia (vedi fig. 3.7) e moltiplicarla per il doppio della sua intensità massima durante 30 minuti primi e dividere il risultato per 100.

In questo modo l'indice per l'erosività della pioggia, è espresso dalla seguente formula:

$$R = EI_{30} \times 2 / 100$$

Sostituendo ora con i dati relativi all'esempio riportato alla fig. 3.7, si ottiene:

$$R = 2059 \times 2,1 \times 2 / 100 = 86,4$$

Il secondo fattore da calcolare è ora quello relativo al suolo (K). Esso esprime l'erodibilità (1) del suolo, ovvero la sua intrinseca attitudine ad essere eroso. Nella misura del fattore K vengono presi in considerazione i seguenti parametri:

- percentuale di sabbia (2,0 - 0,1 mm)
- percentuale di sabbia molto fine e di limo (0,1 - 0,002 mm)
- percentuale di materia organica
- classe di struttura
- classe di permeabilità.

La soluzione dell'equazione che lega tra loro le variabili sopra riportate trova la sua espressione nel nomogramma appositamente costruito (vedi fig. 3.8);

Trovati i fattori R e K, si può ora scrivere l'equazione di base dell'erosione del suolo:

$$A = R \times K$$

in cui A esprime le perdite di suolo annuali provocate dall'erosività della pioggia in condizioni standard. Queste ultime sono:

- pendenza del 9%
- lunghezza del pendio 22,6 m

— copertura vegetale assente, come si verifica su un suolo nudo a riposo dopo una coltura

— pratiche colturali corrispondenti alla lavorazione secondo la massima pendenza (rittochino).

Tutte le volte che le citate condizioni non si verificano occorre provvedere con una correzione ed è per questo che la formula di Wischmeier completa è formata dai seguenti termini:

$$A = R \times K \times S \text{ (pendenza)} \times L \text{ (lunghezza pendio)} \times C \text{ (copertura)} \times P \text{ (pratiche colturali)}.$$

Pendenza e lunghezza del pendio vengono considerati congiuntamente sulla base di un grafico il cui valore unitario è dato dalla pendenza del 9% e della lunghezza di 22,6 m (vedi fig. 3.9).

L'indice C relativo alla copertura vegetale è indicato alla tav. 3.4. Per quanto attiene all'indice P (pratiche colturali) occorre notare che queste sono variabilissime ed in mancanza di una sperimentazione adeguata, su base soprattutto regionale, è difficile fornire degli indici di indiscutibile valore. A titolo esemplificativo si riportano i dati di indice P del Soil Conservation Service U.S.A. (1972) e come tali, data la loro fonte di origine, validi soprattutto per l'agricoltura statunitense (vedi tav. 3.5).

Alla fine di questa breve trattazione sul metodo Wischmeier si vuole fornire una esemplificazione di calcolo.

Sia il fattore $R = 200$

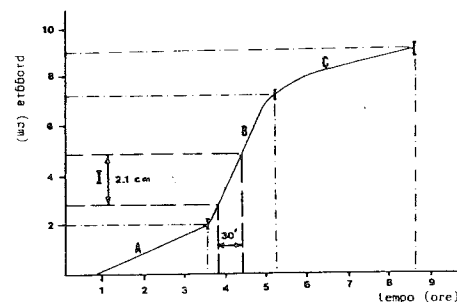
$K = 0,23$ (vedi esempio fig. 3.8)

$LS = 1,5$ (8% pendenza e 60 m di lunghezza)

$C = 0,5$ (vigneto su suolo collinare non terrazzato)

$P = 0,6$ (lavorazioni per curve di livello)

$A = R \times K \times LS \times C \times P = 20 \text{ t/ha/anno}$ corrispondenti ad una asportazione annua di 1,3 mm di suolo, ammesso un peso specifico apparente del suolo di 1,5.



a	b	c	d	e	f
suddivisione dell'evento piovoso in classi di ugual andamento	quantità di pioggia cm	tempo h	intensità di pioggia b/c cm/h	energia cinetica unitaria joule/m ² x cm di pioggia	energia cinetica totale dell'evento joule/cm ²
A	2.0	3 h 30'	0,57	188	376
B	5.0	1 h 30'	3,33	256	1280
C	2.1	3 h 10'	0,63	192	403
					2059

Fig. 3.7 - Esempio di registrazione di un evento piovoso e sua suddivisione per il calcolo dell'energia cinetica secondo Wischmeier (1).

(1) Volendo calcolare l'energia cinetica annua delle precipitazioni, occorre effettuare la sommatoria dell'energia cinetica dei vari eventi piovosi nell'anno.

ORIZZONTE SUPERFICIALE DEL CAMPO SPERIMENTALE DI GUARDIA PERTICARA PZ

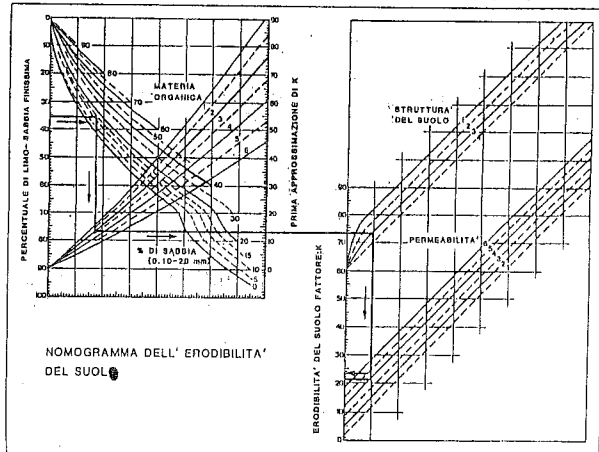


Fig. 3.8 - Fattore dell'erodibilità del suolo K calcolato utilizzando il nomogramma di Wischmeier (1971). (Fonte: Wischmeier et al., 1971).

Classi di struttura: 1 - grumosa molto fine; 2 - grumosa fine; 3 - grumosa media e grossolana; 4 - altri tipi di struttura. Classi di permeabilità: 6 - molto lenta; 5 - lenta; 4 - da lenta a moderata; 3 - moderata; 2 - da moderata a rapida; 1 - rapida.

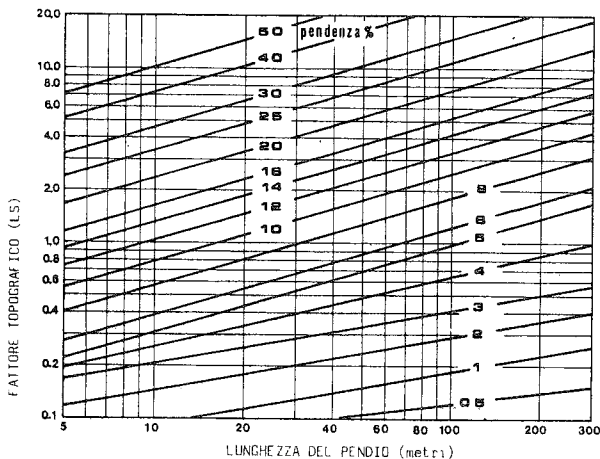


Fig. 3.9 - Valore del fattore combinato: pendenza (S) e lunghezza del pendio (L). (Fonte: Hudson, 1981).

Wischmeier ha chiamato la sua formula USLE (Universal Soil Loss Equation) intendendo che essa è di applicazione a scala mondiale. In realtà la formula USLE non è così universale come il suo autore aveva creduto.

Per la messa a punto e per la validazione dell'equazione che porta il suo nome, Wischmeier si è avvalso di una sperimentazione molto ampia come numero di stazioni ma abbastanza ristretta come ambienti: si tratta infatti delle grandi pianure nord americane comprese tra le catene dei monti Appalachi e delle Montagne Rocciose.

Quando la formula viene applicata fuori di questa area geografica essa fornisce dati la cui attendibilità è molto inferiore a quelli ottenuti nelle grandi pianure centrali del Nord America.

Attualmente esistono dei sistemi alternativi per calcolare le perdite di suolo: tra i più conosciuti si cita lo SLEMSA (Soil Loss Estimator for Southern Africa) di

Tav. 3.4 - Indice erodibilità dei suoli per diversi tipi di copertura vegetale (c).

Tipo di coperture	Indice erodibilità suolo
FORESTE:	
- dense senza erosione	< 0.1
- rade con tappeto erbaceo	0.2 - 0.3
- rade con parz. tappeto erbaceo	0.4 - 0.6
- macchia coprente totalmente	0.1 - 0.2
- macchia coprente parzialmente	0.3 - 0.6
PRATERIE:	
- formazioni continue	0.1 - 0.2
- formazioni degradate	0.3 - 0.5
- formazioni molto degradate	0.6 - 0.9
COLTIVI:	
- colture annuali su suoli coltivati a curve di livello o su terrazzi	0.1 - 0.5
- colture annuali lavorate secondo la massima pendenza	0.5 - 0.8
- colture erbacee leguminose poliennali	0.2 - 0.4
- frutteti e vigne su suoli pianeggianti o terrazzati	0.1 - 0.3
- frutteti e vigne su suoli collinari e non terrazzati	0.5 - 0.6
SUOLO NUDO	1.0

Elwell (1981), CREAMS (Chemical Runoff and Erosion for Agricultural Management System) di Foster et al. (1981) ed EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) di Williams et al. (1983). Occorre però notare che i due ultimi non sono sostitutivi dell'equazione USLE in quanto prendono in considerazione aspetti specifici dei problemi agricoli. Per quanto riguarda lo SLEMSA esso ha dato buoni risultati ma la sua applicazione è valida per l'Africa Australe. La FAO-UNESCO (op. cit.) ha fatto ricorso all'indice di Fournier per il calcolo dell'aggressività climatica, prendendo così le distanze dal metodo di Wischmeier.

(1) Si parla di erodibilità del suolo per indicare la componente passiva del fenomeno erosivo, mentre ci si riferisce all'erosività della pioggia per evidenziare la parte attiva.

— Valutazione qualitativa

Tenuto conto che l'equazione universale per il calcolo delle perdite di terra per erosione (USLE) non è molto rispondente ai climi italiani e che comunque occorrerebbe una consistente sperimentazione prima del suo uso estensivo, la CEE ha deciso di avvalersi di una stima qualitativa per fornire una prima valutazione del rischio di erosione del suolo nei paesi mediterranei della CEE (Programma CORINE. Coordination Information Environment).

Lo scopo di questa valutazione è quello di identificare e quindi di proteggere le aree con un elevato rischio di erosione, partendo dal presupposto che la situazione peggiore si verifica quando un elevato rischio di erosione è presente sulle terre migliori (cfr. fig. 3.10). Un aspetto non preso in considerazione dal Programma CORINE è quello relativo alle pratiche gestionali

Tav. 3.5 - Coefficiente P del tipo di gestione delle terre

Pendenza	Valori P		
	A	B	C
2 - 7	0.50	0.25	0.50
8 - 12	0.60	0.30	0.60
13 - 18	0.80	0.40	0.80
19 - 24	0.90	0.45	0.90

A = lavorazione per curve di livello
 B = lavorazione per curve di livello e per fasce inerbite
 C = lavorazione per superfici terrazzate

delle terre che sovente sono determinanti nel definire l'erosione del suolo. Una indagine mirata a mettere in luce la relazione "pratiche di gestione - erosione" è stata sviluppata da Aquater (1989).

— Prove con il simulatore di pioggia

Da un punto di vista sperimentale sono state eseguite delle prove di simulazione di pioggia nell'ambito del Progetto Finalizzato del CNR "Dinamica dei versanti", sottoprogetto "Conservazione del suolo". Lo scopo delle prove è quello di determinare il coefficiente di erodibilità (K) di diversi suoli della nostra penisola. In queste prove pertanto tutti gli altri fattori ambientali vengono tenuti il più possibile costanti. Il terreno stesso viene messo in condizioni di umidità standard (capacità di campo) prima della prova.

Per ottenere dati relativi a diverse intensità di pioggia vengono utilizzati ugelli di diametro diverso che vengono avvitati lungo il tubo rotante.

Un prototipo di simulatore, costruito dalla Soc. Aquater con il contributo del CNR "Prog. Finalizz. Conservaz. del Suolo" è illustrato alla fig. 3.11.

3.2.6.2. Erosione eolica

Questo fenomeno, poco rappresentato in Italia (solo alcuni tratti della costa occidentale sarda ne sono interessati), può essere molto grave in altre parti del mondo, non soltanto in Africa o in America ma anche in Europa (penisola dello Jutland e certe aree inglesi).

Senza voler entrare nei dettagli che regolano il fenomeno, si riporta la formula di Chepil et al. (1963)

$$E = f(I, C, K, L, V)$$

dove E è la perdita di suolo per effetto del vento

I è la erodibilità del suolo, ovvero la sua vulnerabilità all'azione del vento

C è il fattore che rappresenta le condizioni locali del vento

K è la rugosità della superficie

L è la lunghezza della superficie considerata nella direzione del vento prevalente

V è la misura della copertura vegetale.

Esaminiamo rapidamente l'erodibilità del suolo e l'erosività del vento.

3.2.6.2.1. Erodibilità del suolo

Le particelle di suolo possono essere mosse dall'energia del vento secondo tre meccanismi diversi:

— sospensione, interessa le particelle < 0,1 mm di dia-

metro

— saltazione, vi è una certa sovrapposizione con il movimento precedente infatti la saltazione interessa le particelle tra 0,05 e 0,5 mm di diametro

— rotolamento, in teoria non vi è un limite superiore al diametro delle particelle che possono essere rimosse per rotolamento, in pratica però questo meccanismo interessa le particelle di diametro compreso tra 0,5 e 2 mm.

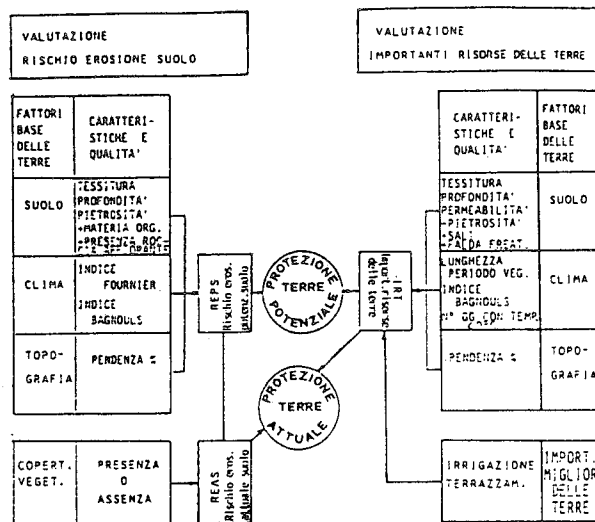


Fig. 3.10 - Schema per l'identificazione delle terre da proteggere nei paesi meridionali della CEE.

Il tipo di terreno più vulnerabile all'erosione è quello con un'alta percentuale di particelle aventi un diametro compreso tra 0,1 e 0,15 mm, come si può vedere dalla fig. 3.12.

3.2.6.2.2. Erosività del vento

La FAO-UNEP-UNESCO (1980) utilizza la seguente formula per quantificare l'erosività del vento:

$$c = 1/100 \sum_1^{12} V^3 \left(\frac{E_{tp}-P}{E_{tp}} \cdot n \right)$$

dove:

V = velocità media mensile del vento a 2 metri di altezza, m/s

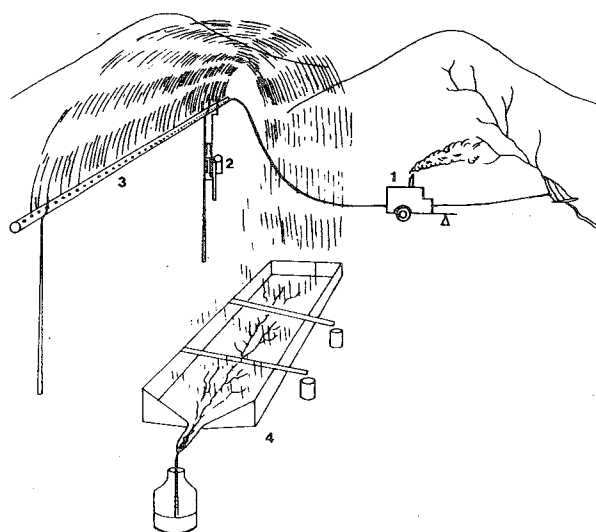
E_{tp} = evapotraspirazione potenziale mensile, mm

P = precipitazioni mensili, mm

n = numero di giorni erosivi al mese. Esso è proporzionale a E_{tp}-P/ E_{tp}. Quindi il numero totale di giorni viene moltiplicato per il rapporto sopra citato.

3.2.6.2.3. Valutazione dell'erosione eolica (secondo FAO)

Utilizzando la formula dell'erosività del vento sopra riportata, la FAO suggerisce per rappresentazioni cartografiche a piccola scala di calcolare un indice secondo la formula di Chepil et al. (op. cit.) semplificata in cui i fattori I e K, rispettivamente erodibilità del suolo e rugosità della superficie, vengano valutati me-



- 1 - PUMP (pompa)
- 2 - HYDRAULIC MOTOR FOR SPRINKLER TUBE ROTATION (motorino idraulico per la rotazione del tubo aspergente)
- 3 - SPRINKLER TUBE (tubo aspergente)
- 4 - CALIBRATED NOZZLES (ugelli calibrati)

Fig. 3.11 - Rain simulator (simulatore di pioggia - prototipo AQUATER).

dante interpretazione delle carte dei suoli esistenti, il fattore L venga trascurato mentre il fattore V sia valutato sulla base dell'interpretazione di carte di copertura vegetale.

La FAO propone le seguenti classi di distribuzione dei valori ottenuti a seguito dell'applicazione della formula:

Erosione eolica leggera o nulla	0 - 20
Erosione eolica moderata	20 - 50
Erosione eolica alta	50 - 150
Erosione eolica molto alta	> 150

3.2.6.3. Salinizzazione

E' un tipo di degradazione facilmente provocato dall'uomo quando viene praticata l'irrigazione senza opportuni accorgimenti in ambienti aridi. Data l'elevata temperatura dell'aria, l'evaporazione è molto intensa ed i sali contenuti nel suolo si concentrano, sotto forma di crosta, in superficie. Se l'acqua impiegata per l'irrigazione è già inizialmente affetta da salinità, allora il pericolo di degradare il suolo per salinizzazione è più elevato.

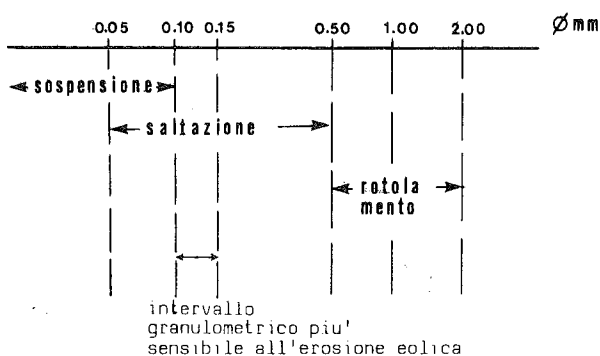


Fig. 3.12 - Erodibilità del suolo per azione del vento.

3.2.6.4. Degradazione chimica

3.2.6.4.1. Acidificazione

L'aspetto più evidente di acidificazione verificatosi in questi ultimi tempi è quello delle piogge acide, ovvero delle piogge che si arricchiscono di anidride solforosa prodotta dai diversi tipi di combustione. La SO₂ combinandosi con l'acqua meteorica produce acido solforico.

Le piogge acide non danneggiano soltanto i vegetali ma fanno sentire i loro effetti nocivi anche sul suolo alterandone il suo chimismo (lisciviazione delle basi e liberazione di Al). Gli alberi forestali sono particolarmente sensibili a questo tipo di degradazione perché la loro nutrizione radicale avviene ad opera di delicati organismi viventi: le micorrize. Questi sono molto sensibili alle alterazioni del pH nel suolo dove essi vivono. Recenti ricerche (Bonneau, 1989) porterebbero a vedere nel deperimento dei boschi un sinergismo tra acidificazione del suolo, ruolo fotoossidante di un eccesso di ozono (1) e siccità estiva.

(1) L'ozono può essere in eccesso nella troposfera e in difetto nella stratosfera, in quanto tra le due sfere non vi è scambio.

3.2.6.4.2. Tossicità

Occorre distinguere tra il danno che, partendo dal suolo, interessa i vegetali e quindi la catena trofica e quello che, intrinseco al suolo, abbassa la capacità produttiva di quest'ultimo.

Nel caso della presente trattazione che ha come oggetto il suolo in quanto corpo naturale a sé stante è a questo secondo tipo che intendiamo riferirci.

I casi di sostanze chimiche che risultano dannose per il suolo poiché alterano il suo chimismo ed il suo stato di aggregazione con conseguenze negative per la pedofauna e per i meccanismi di nutrizione radicale, sono ormai numerosissimi. Tuttavia, riferendosi a queste sostanze Winteringham (1985) fa osservare che "le più complesse questioni dei loro indesiderabili effetti collaterali e del loro impatto globale sull'ambiente sono meno conosciuti e quantificati".

3.2.6.5. Degradazione biologica

Secondo FAO (1980) si tratta fondamentalmente di diminuzione di materia organica nel suolo.

Questo è un tipo di degradazione molto diffuso ai nostri giorni in tutte le regioni dove si pratica un'agricoltura di tipo industriale in cui il presupposto di un ciclo produttivo integrato con i fabbisogni aziendali è venuto meno.

I mancati apporti di letame sui campi vengono sostituiti dai fertilizzanti sintetici i quali danno sì nutrimento alle singole colture ma non costruiscono quella fertilità duratura che è garanzia tanto di buon livello nutrizionale, quanto di buona struttura del suolo e quindi di possibilità di soddisfare le esigenze delle piante oltre che in elementi nutritivi anche in aria ed acqua. Detto in poche parole alla degradazione biologica corrispondente la diminuzione della fertilità del suolo.

3.2.6.6. Degradazione fisica

La spinta meccanizzazione agricola presente nell'agricoltura moderna agisce sovente nel senso di degradare la struttura per eccessiva compattazione. Ci si

riferisce tanto ai lavori di aratura (vedi fig. 3.13) che provocano la "soletta di lavoro", ovvero quello strato di terreno compattato alla profondità a cui arriva il corpo lavorante dell'aratro, quanto ai ripetuti passaggi sui campi di macchine che svolgono funzioni diverse da quelle dell'aratura.

E' tipico, ad esempio, osservare nei vigneti l'erosione del suolo che parte dove il trattore, impiegato per la distribuzione degli anticrittogonici, ha compattato il suolo.

La degradazione fisica del suolo si riferisce perciò ai seguenti aspetti tra loro legati:

- diminuzione di porosità del suolo
- diminuzione di permeabilità del suolo
- diminuzione di stabilità strutturale del suolo.

3.3. DESERTIFICAZIONE

3.3.1. Definizione

Per una convincente definizione del termine "desertificazione" occorre rifarsi al concetto di degradazione del suolo, espresso al capitolo 3.2.6.

La degradazione del suolo secondo FAO et. al. (op. cit.) è un processo che abbassa la capacità corrente e/o potenziale del suolo a produrre beni e servizi.

Quando la diminuita capacità delle terre a produrre presenta caratteri così accentuati da essere irreversibili si parla di desertificazione.

Il significato di irreversibilità è da intendere soprattutto alla luce di considerazioni economiche, quando cioè il degrado arriva ad un punto tale da non giustificare le spese necessarie per il ripristino delle condizioni iniziali. L'irreversibilità non è quindi un concetto assoluto ma è relativo all'economia ed alla politica dei diversi Paesi.

Al di là del significato relativo dell' "irreversibilità" secondo il quale la desertificazione potrebbe ma-

nifestarsi ovunque, occorre comunque constatare che di fatto la maggior parte delle aree in cui sono presenti fenomeni di desertificazione si trovano in ambiente semi-arido.

3.3.2. Dimensione del fenomeno "desertificazione" nel mondo.

La dimensione del fenomeno desertificazione è impressionante: nel continente africano su una superficie di circa 30 mil. kmq, 5.250.000 (pari al 17.5% della superficie) appartengono ad aree di deserto vero e proprio, e 1.525.000 (1), pari al 5% della superficie totale e al 29% rispetto all'area desertica, sono i chilometri quadrati dove il rischio di desertificazione è molto forte. Se poi si sommassero le aree a rischio moderato, forte e molto forte, la superficie ottenuta superebbe di molto quella di deserto vero e proprio (cfr. fig. 3.14).

Essendo insito nel concetto di desertificazione la presenza di climi semi-aridi quali sono quelli che caratterizzano le aree in prossimità dei deserti veri e propri, risulta che nella maggior parte degli ambienti europei di fronte ad eventi che abbassano la capacità di produrre biomassa è più corretto riferirsi alla degradazione delle terre.

Non appare comunque ingiustificato parlare di desertificazione in certe zone europee a bassissime precipitazioni atmosferiche, come nel sud-est della Spagna (200 - 300 mm/annui con punte di 100 a Cabo de Gata).

Considerando questa situazione fisico-climatica di base, ben si comprende allora un articolo sulla stampa locale che portava il titolo "El desierto avanza en Andalucía" (cfr. De La Rosa 1987).

I dati climatici ora menzionati sono soltanto orientativi, vi sono infatti numerosi ambienti sub-umidi (300-500 mm/annui) nei quali l'aggressività climatica è tale che se la superficie non è coperta da vegetazione, la degradazione che ne deriva è di tipo irreversibi-

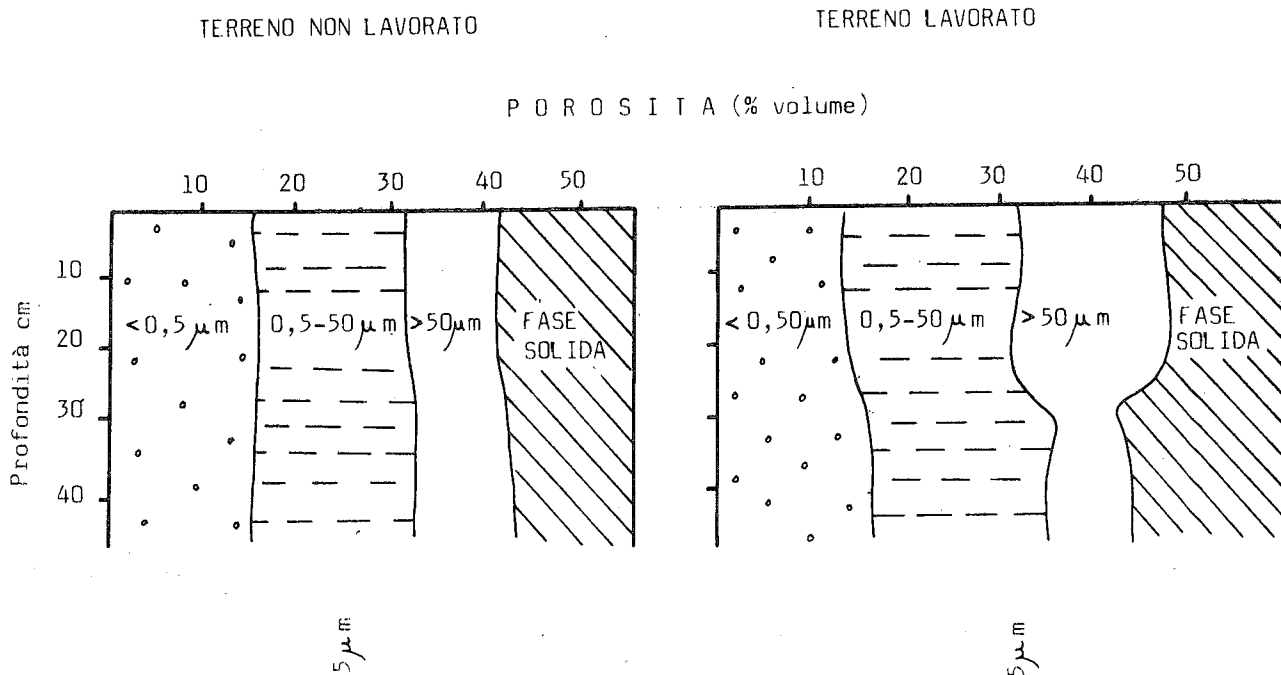


Fig. 3.13 - Variazione della distribuzione dei pori con la profondità in funzione della lavorazione del terreno. (Fonte: Sequi, 1979).

le. E' questo il caso di un'estesa zona della fascia saheliana e di numerose località del bacino del Mediterraneo situate in Marocco, Algeria, Tunisia, Spagna, Mezzogiorno d'Italia, Grecia, Turchia e Medio Oriente.

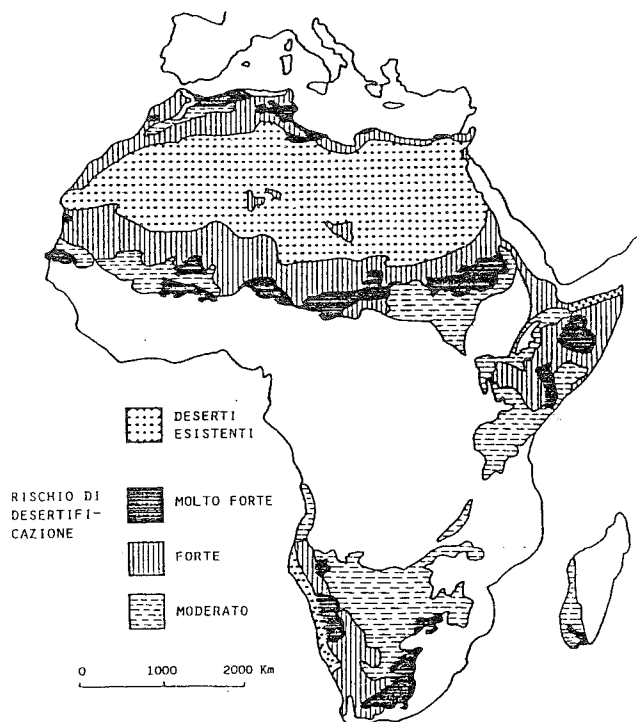


Fig. 3.14 - Deserti e rischio di desertificazione in Africa.

3.3.3. Cause e processi della desertificazione

Secondo Charney (1975) la desertificazione sarebbe un meccanismo di retroazione che può essere schematizzato nelle seguenti fasi:

- formazione del deserto (per cause climatiche od antropiche)
- aumento dell'albedo superficiale
- diminuizione delle precipitazioni
- desertificazione.

La desertificazione può innescarsi tanto per cause climatiche quanto per cause antropiche.

Partendo dalle prime si può constatare come esistono numerose testimonianze storiche di zone terrestri un tempo caratterizzate da un clima subumido (periodi interglaciali del Riss e del Wurm), divenuto ai giorni nostri semi-arido o decisamente arido con tutti i cambiamenti inevitabili di vegetazione e di utilizzazione delle terre.

Passando alle cause antropiche l'uomo può impoverire gli ecosistemi dalla cui diminuita capacità di produrre biomassa derivano le conseguenze seguenti:

- minore possibilità di sostentamento per l'uomo e per gli animali
- variazioni nella micro e microfauna
- variazioni della composizione floristica
- aumento dell'erosione accelerata (idrica ed eolica).

La manifestazione più appariscente della desertificazione, sia essa di origine climatica o antropica è l'erosione del suolo, idrica ed eolica, (cfr. UNESCO 1977). L'erosione può innescare i processi di desertificazione, li accompagna durante tutta la loro storia ed

è protagonista principale della scena finale dell'avvenuta desertificazione.

Esaminando la fig. 3.14 si può notare immediatamente come le zone più vulnerabili ai fini della desertificazione legata all'influenza dell'uomo sono quelle dove le condizioni climatiche ed edafiche sono migliori, e vi corrisponde perciò un sovraccarico di popolazione umana ed animale con minaccia continua di rottura degli equilibri ambientali.

Nelle pagine che seguono concentreremo la nostra attenzione soprattutto sulle cause antropiche della desertificazione e sugli aspetti connessi con la degradazione e l'erosione del suolo. Questa scelta appare naturale se si considera che è soprattutto per intervento dell'uomo che si desertificano le terre semi-aride. Nel suo rapporto sulla "Conferenza del gruppo di lavoro dell'UGI sugli aspetti della desertificazione", Mabbut (1976) riporta l'opinione di eminenti studiosi i quali, pur non escludendo l'intervento di fattori climatici, sottolineano tuttavia l'importanza dell'uomo nei processi di desertificazione nel Sahel, nel Maghreb, nel Medio Oriente, in Pakistan ed in India.

3.3.4. Desertificazione provocata dall'uomo

La desertificazione, come è già stato accennato prende l'avvio da una avvenuta rottura dell'equilibrio degli ecosistemi: troppi esseri animali viventi cercano di nutrirsi sfruttando le troppo poche riserve vegetali rinnovabili. Il dramma rimane allo stato larvale durante le annate normali per esplodere in quelle siccitose.

Le conseguenze che si verificano nell'ambiente sono:

- distruzione completa della vegetazione (erbacea e forestale)
- ≤ mangiata dagli animali
- ≤ tagliata dall'uomo
- erosione del suolo (idrica ed eolica)
- ≤ perdita della fertilità legati agli orizzonti superficiali del suolo
- ≤ accumulo di sabbia trasportata dal vento
- ≤ asportazione degli strati superficiali di suolo fino ad arrivare alla roccia o a crostoni duri sui quali è impossibile la vita vegetale.

Le superfici geografiche dove si verifica questo fenomeno possono, a buon diritto, essere chiamate "aree di desertificazione", anche se non è presente l'aspetto più appariscente del deserto, rappresentato dalle dune di sabbia.

Come si può constatare la desertificazione prende quasi sempre l'avvio da azioni umane. Queste ultime potranno essere meglio comprese se la collocazione nello spazio dei processi di desertificazione (geografica) sarà integrata dalla conoscenza delle modalità secondo cui l'uomo è entrato in rapporto con l'ambiente circostante (storia).

Viene qui appresso presentato un esempio di desertificazione presente in un'area critica del mondo (fascia saheliana).

3.3.5. Case study "Sahel"

Sahel è una parola araba significante "spiaggia" "margine". Essa indica la zona di transizione tra il Sahara e le foreste del Centro Africa. Con questa parola si indicano 8 paesi nei quali vi è analogia di problemi ambientali. Essi sono:

- Mauritania
- Senegal

Gambia
Mali
Niger
Tchad
Burkina-Faso
Isole di Capo Verde.

In una visione piú completa a questi paesi dovrebbero essere aggiunti alcuni altri nei quali le problematiche sono analoghe, almeno su una parte della loro superficie territoriale:

- Sudan
- Etiopia
- Somalia
- Djibouti
- Kenia
- Nigeria.

3.3.5.1. Descrizione dell'ambiente fisico saheliano

— Clima

Convenzionalmente si intende per Sahel quella parte dell'Africa occidentale a sud del Sahara dove le precipitazioni sono comprese tra 100 e 600 mm dove la temperatura media dell'aria è superiore a 24°C e dove esiste una prolungata stagione secca. In questo intervallo di 100-600 mm sono comprese sia la fascia Saheliana propriamente detta (200-400 mm) sia quella piú arida sahelo-sahariana (100-200 mm) e sia quella piú piovosa sahelo-sudanese (400-600 mm). (Vedi fig. 3.15).

— Suoli

Numerosi suoli di diversa fertilità sono presenti. Quello che occorre mettere in luce sono i tre seguenti aspetti:

- rischio di erosione eolica.

Nella fascia settentrionale, in presenza di suoli sabbiosi una degradazione della copertura vegetale si traduce in breve tempo in erosione della sabbia creando zone di deflazione e zone di accumulo

- rischio di laterizzazione.

Nella fascia centrale e meridionale l'evoluzione dei suoli comporta la creazione di un orizzonte oxico ricco di caolino e di ossidi di Fe ed Al. In associazione con esso si verifica frequentemente la formazione di plintite la quale, se sottoposta a cicli di inumidimento ed essiccamento, naturale o artificiale, si trasforma ir-

reversibilmente in una crosta lateritica impenetrabile alle radici. Se congiuntamente vi è erosione del suolo aumenta il rischio della laterizzazione, in quanto vengono modificati i cicli di inumidimento e di essiccamento conferendo loro una maggior frequenza ed intensità. L'erosione inoltre fa risalire verso la superficie la crosta lateritica.

- Rischio di salinizzazione.

Tale rischio è sempre presente dove la temperatura è molto elevata e dove vi è presenza di una falda d'acqua salmastra oppure si vuol irrigare con acqua non sempre di ottima qualità.

Importante per prevenire la salinizzazione del suolo è utilizzare dosi d'acqua di irrigazione piú elevate dello stretto fabbisogno delle piante. Così facendo l'acqua circola sempre nel suolo ed esercita un controllo sull'eccesso di sale. Tra i metodi tecnologicamente progrediti per la prevenzione della salinizzazione, si ricorda quello dell'irrigazione goccia a goccia.

- Vegetazione

Nella parte arida settentrionale vi è una steppa di graminacee, dominio pressochè esclusivo dell'allevamento del bestiame. Nella parte centrale una savana arbustiva ed in quella meridionale piú umida una savana arborata. Il degrado della vegetazione che si verifica in tutte le fasce ora considerate ha effetti negativi sulla conservazione del suolo e sull'andamento climatico. (Vedi fig. 3.16).

- Utilizzazione delle terre da parte dell'uomo

La sintesi di clima, suoli e vegetazione si trova espressa nel modo con cui l'uomo ha gestito l'ambiente (vedi fig. 3.17). Naturalmente la degradazione delle terre si verifica, pur con modalità ed intensità diverse sia dove le condizioni ambientali permettono un'ampia scelta di possibili utilizzazioni (fascia meridionale e parte della centrale) sia dove esiste solo uno o pochi usi compatibili con l'ambiente (fascia settentrionale e parte della centrale).

Parlando di utilizzazione delle terre non si può non fare riferimento alla storia dell'uomo (cfr. paragrafo seguente).

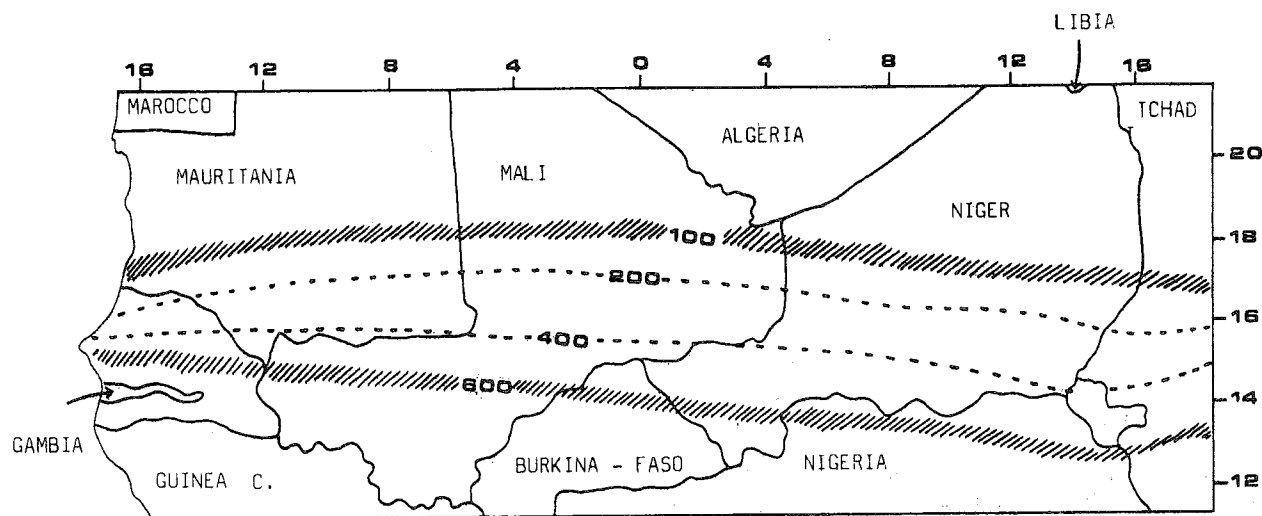


Fig. 3.15 - Sahel - Isoiete medie annuali (in mm di pioggia).

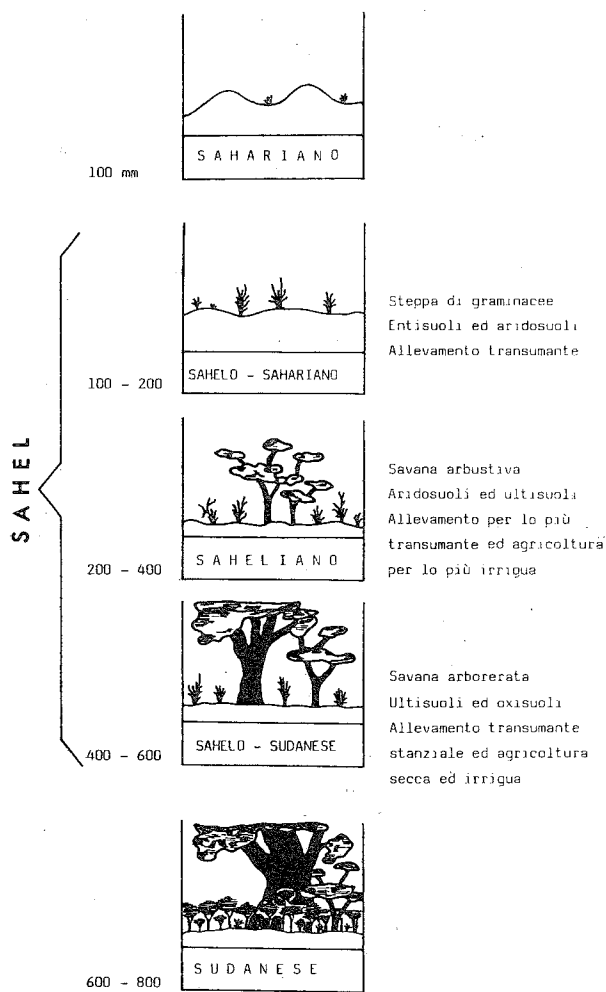


Fig. 3.16 - Vegetazione - Suolo - Uso delle terre nel Sahel.

3.3.5.2. Storia dell'uso delle terre nel Sahel

a) Epoca dei grandi imperi (Marocco, Songhai, Hausa, Mossi, Ashanti)

Fin verso il 1600 i sultani dei vari imperi consideravano loro sudditi, con diritti all'incirca uguali, i pastori transumanti (fascia nord del Sahel) e gli agricoltori (fascia sud del Sahel). Tra queste due categorie esisteva una integrazione molto spinta con notevoli benefici sugli ecosistemi. I veri nomadi (Sahara e zone limitrofe della fascia nord del Sahel) restavano fuori dall'influenza dei sultani.

b) Epoca del crollo degli imperi e dell'avvento delle popolazioni nomade guerriere (Touareg).

Tra il 1600 e la fine del 1800 si assiste ad un periodo di grande insicurezza sociale. I Touareg ristabilirono una rigida struttura feudale: essi rappresentavano i padroni-guerrieri, il bestiame veniva confidato ad etnie tradizionalmente esperte nell'allevamento del bestiame (il caso più importante è rappresentato dai Peuls) che divenivano vassalli. All'ultimo gradino in basso vi erano gli agricoltori considerati più o meno come schiavi, necessari per produrre cereali di cui i guerrieri ed i vassalli avevano bisogno.

Gli ecosistemi non risentirono danni eccessivi perchè l'aumentato sfruttamento a pascolo delle terre non degradava il suolo essendo il carico di bestiame per lo più proporzionato alle reali possibilità delle terre. Quest'ultima condizione era realizzata perchè il carico umano ed animale sulle terre era costantemente ridotto dalle guerre tra le diverse tribù Touareg, dalle epidemie e dalle siccità.

c) Epoca coloniale (fine 1800-1960)

Da quel momento le società pastorali persero il loro potere ed influenza sulle zone agricole. La nascita di una amministrazione coloniale, presente sia nelle città che nei villaggi, diede impulso alle popolazioni agricole sedentarie, che liberate dall'oppressione dei guerrieri-nomadi, estesero le superfici coltivate.

Come fa osservare Bernus (1974) le conseguenze furono molteplici.

— Socialmente. Ogni tribù poté evolvere in modo separato sotto autorità locali nuove non legate alle vecchie confederazioni di tribù protette dai seguenti nomadi.

Ogni tribù poté fissare a suo beneplacito i limiti che intendeva dare all'agricoltura ed all'allevamento.

— Geograficamente. Dato il clima di sicurezza instaurato dai colonizzatori, tutto il territorio Saheliano poté essere utilizzato (ovviamente con intensità diverse). Inoltre lo scavo di grandi pozzi rese accessibili al pascolo territori che prima non lo erano.

— Demograficamente. La zona agricola meridionale, che era tradizionalmente punto di integrazione tra gli agricoltori locali e i pastori provenienti dal nord durante i periodi più secchi dell'anno, venne sempre più intensamente occupata da popolazioni agricole il cui tasso di aumento demografico era molto superiore a quello delle tribù di pastori.

Da un punto di vista ecologico inizia in questo periodo la rottura degli ecosistemi. Infatti le due seguenti condizioni (A e B) sono presenti, sia pur in ambienti distinti.

A) Nella fascia meridionale del Sahel sempre più terra viene destinata all'agricoltura (e sovente alla monocoltura).

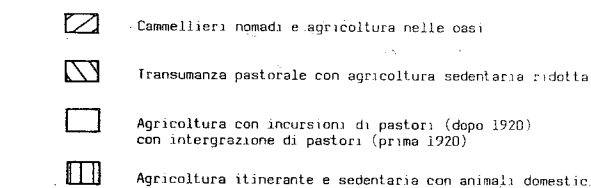
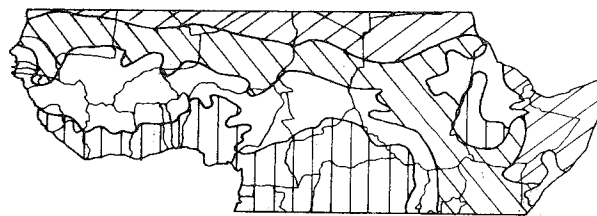


Fig. 3.17 - Principali zone ecologiche ed agricole nell'Africa saheliana. (Fonte: Davies, 1973).

tura) mentre vengono resi viepiù brevi i periodi di riposo delle terre. Lo spazio destinato all'allevamento transumante si riduce considerevolmente.

La fertilità chimica del suolo non viene più reintegrata attraverso periodi di riposo e/o attraverso deiezioni di animali sui campi, la struttura del suolo è degradata dalle troppe lavorazioni e dalla scarsità di materia organica.

Le forti intensità di precipitazioni pluviali ed i venti violenti (caratteristici ambedue di queste zone geografiche) possono facilmente innescare l'erosione del suolo.

B) Nella fascia settentrionale si assiste ad un forte aumento di bestiame (per lo più bovino) dovuto principalmente a 3 fattori:

- riflusso dei pastori transumanti verso le zone più settentrionali
- scavo di nuovi pozzi per abbeverare il bestiame
- miglioramento della situazione sanitaria.

Non si verifica però un aumento della produzione primaria di biomassa, la quale risulta per conto molto più intensamente sfruttata e talora anche completamente eliminata.

d) Epoca dell'indipendenza (1960 ad oggi)

Le tendenze verificatesi durante il periodo coloniale si sono accentuate:

A) Nella fascia meridionale il tasso di natalità molto elevato ha portato ad un più intenso sfruttamento delle terre, facendo ricorso a tecnologie moderne per lavorare il terreno con minori costi seguendo modelli occidentali che non hanno riscontro nella realtà del Sahel.

Ne risulta una grave compromissione della risorsa "suolo".

B) Nella fascia settentrionale il danno ambientale verificatosi per l'aumento dei capi di bestiame è stato reso sovente più grave per l'apertura di nuovi pozzi i quali hanno provocato una concentrazione eccessiva di animali intorno ai pozzi con la conseguente scomparsa della vegetazione ed impossibilità del bestiame a nutrirsi.

Anche in questo caso le ripercussioni sulla risorsa "suolo" sono molto sensibili e comportano l'erosione degli orizzonti superficiali.

3.3.5.3. Qualche proposta operativa

Di fronte a questo quadro sconcertante, reso ancor più grave dalla pressione demografica, sembra che qualsiasi cosa si faccia essa non sia che una goccia in un mare. Preso atto che soluzioni miracolistiche non esistono, si ritiene che si debba procedere su diversi piani cercando sempre la loro massima integrazione.

Gli aspetti che a nostro parere debbono essere soprattutto considerati sono:

- definizione degli ecosistemi
- valutazione di impatto ambientale
- sensibilizzazione ai problemi ambientali
- uso di tecnologie moderne, quali il telerilevamento, per l'indagine ed il monitoraggio delle risorse terrestri
- messa in atto di piccoli progetti ben proporzionati ai bisogni locali
- rivitalizzazione di antiche pratiche di gestione delle terre che avevano sicure basi ecologiche quali ad esempio i diversi sistemi conosciuti sotto il nome generico di "sistemi agro-forestali"
- accurata gestione dei punti d'acqua.

Questi aspetti si trovano sintetizzati nella rappresentazione visiva della fig. 3.18.

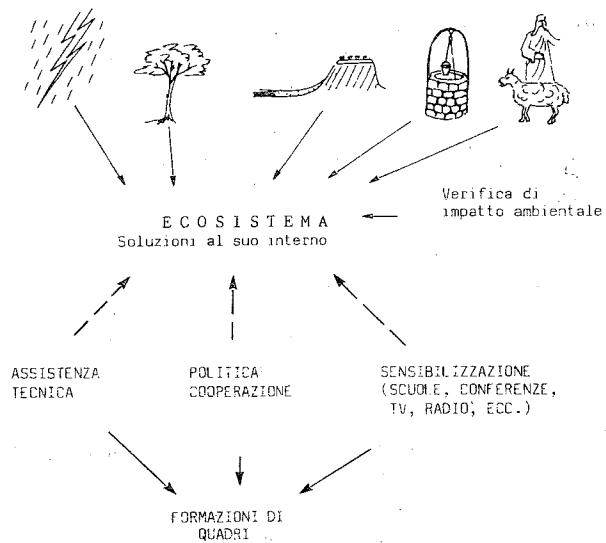


Fig. 3.18 - La soluzione dei problemi del Sahel è difficile e lunga. Ogni progetto che cerchi di apportare migliori condizioni di vita deve essere integrato.

3.4. VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

3.4.1. Introduzione

La valutazione di impatto ambientale (VIA) consiste nell'accertamento degli effetti provocati sull'ambiente da determinate azioni intraprese dall'uomo.

Con la valutazione di impatto ambientale si cerca di dare una risposta ai seguenti punti:

- conoscere in anticipo i possibili effetti nocivi arrecati all'ambiente da determinate azioni o opere
- predire le conseguenze per l'ambiente
- fornire soluzioni alternative per ridurre al massimo le modificazioni ambientali
- coordinare gli interessi e le esigenze delle diverse amministrazioni
- integrare la politica dell'ambiente con altre politiche settoriali.

3.4.2. Necessità odierna

Da quando l'uomo è passato dalla fase di raccoglitore di frutti a quella di essere vivente capace di uscire dall'ecosistema di appartenenza e di manipolarlo dall'esterno (Vink, 1975), ha iniziato ad apportare cambiamenti sull'ambiente, ad esercitare quindi un impatto.

Va però notato che le energie impiegate dai nostri progenitori nell'ambiente erano molto basse, ed inoltre erano molto lunghi i tempi della loro applicazione. Al contrario l'uomo contemporaneo può applicare all'ambiente energie fortissime in tempi brevissimi.

In conclusione la necessità di un tempo di conoscere anticipatamente le conseguenze ambientali di una determinata operazione era piuttosto relativa al giorno d'oggi invece tale necessità è divenuta un imperati-

vo essendo troppo forte il rischio di innescare irreversibili degradazioni ambientali.

La valutazione di impatto ambientale non è qualcosa adatta soltanto per i Paesi industrializzati, al contrario la valutazione ambientale dei progetti nei Paesi Emergenti è raccomandata dal OCSE (1987) la quale indica i seguenti settori come punti base per la valutazione di impatto ambientale:

- conservazione dei suoli
- conservazione delle acque
- desertificazione
- stato delle foreste tropicali e subtropicali
- habitat costituito dalle risorse animali brade e dalla pesca
- aree di interesse storico, archeologico, culturale, estetico, morale e scientifico.

Così conclude Vanore (1987) circa il problema della valutazione di impatto ambientale nei Paesi Emergenti: "... cerchiamo almeno di cooperare per evitare quei danni di cui ci stiamo finalmente accorgendo a casa nostra. Facciamo quindi progetti che limitino almeno i danni".

Di solito la VIA viene applicata in previsione di realizzare ben specifiche opere e/o costruzioni da parte dell'uomo (autostrade, centrali termoelettriche, fabbriche di determinate tipologie, ecc.).

In questa linea è stato formulato il primo documento normativo, ovvero il National Environmental Policy Act del 1969 (vedi Council Environmental Quality 1981). Anche la Direttiva CEE (1985) segue tale strada.

In realtà una efficace VIA dovrebbe configurarsi come qualcosa esteso a tutto un territorio sul quale si vuole apportare una determinata programmazione in vista di un suo sviluppo. Quindi una procedura di VIA dovrebbe divenire (almeno nell'idea dello scrivente) sinonimo di pianificazione del territorio.

Il fondamento razionale di questa posizione sta nella constatazione che un reale esame delle alternative possibili può essere svolto soltanto in presenza della documentazione tecnica di base (risorse naturali e risorse umane) necessaria per la redazione di un piano completo di sviluppo da tenere continuamente aggiornato.

3.4.3. Metodologie diverse di valutazione

Non esiste un metodo identificato come quello più affidabile di altri, vi è invece una serie di diverse metodologie che potranno essere adottate a seconda dei diversi ambienti ed a seconda della diversa consistenza e qualità della documentazione di base.

Tra i metodi più comunemente utilizzati si ricordano i seguenti (vedi Nola 1987 e Gisotti 1986):

a) liste di controllo o check lists

Per ogni opera che si intende eseguire viene redatta una lista con una serie di domande alle quali bisogna rispondere al fine di evidenziare e valutare gli impatti. Vedi, ad esempio, tav. 3.6.

b) Matrici

Sono basate sulla messa in evidenza del binomio "causa-effetto".

La matrice più conosciuta è quella di Leopold et al. (1971). Si tratta di una tabella a doppia entrata dove in ascissa sono riportate le azioni suscettibili di dar luogo ad un impatto sull'ambiente mentre sulle ordinate si trovano le caratteristiche fisico-biologiche e

Tav. 3.6 - Check-list per la classificazione e valutazione delle tecnologie e loro effetti sulla desertificazione. Fonte: Garduno, 1977.

Uso suolo: I = irriguo; S = coltura stagionale; P = pascolo; F = foreste; M = miniere, V = vie di comunicazione; E = insediamenti umani.

Scopi della tecnologia: A = aumentare la produttività; B = frenare la desertificazione; C = investire i processi; D = rigenerare le zone degradate.

METODO	TECNOLOGIA	USO SUOLO	SCOPO DELLA TECNOLOG.	POTENZ. DI DESERTIF.	SISTEMA PRODUTT.	COSTI
CONSERVAZ. DELLE ACQUE	RICERCA FALDE	EI	A	DEBOLE	SEMI-INTE.	MEDIO
	CISTERNE	EI	A	NULLO	"	ELEVATO
	ABBEVERatoi	ISP	A	ELEVATO	"	MEDIO
CONSERVAZ. DEL SUOLO	CONTROLLO DELLA SEDI-MENTAZIONE	ISPVME	BCDA	DEBOLE	"	ELEVATO
	CONTROLLO DELLA ESCAVAZIONE	ISPFVME	BCDA	"	ESTENSIVO	MEDIO-ELEV.
	CONSERVAZ. DELLE vie DI ACCESSO	"	BA	ELEVATO	INTENSIVO	ELEVATO
	RIMBOSCHIM.	PF SIVME	BCDA	NULLO	ESTENSIVO	MEDIO-ELEV.
	STABILIZ. DUNE	TEVSPFM	"	DEBOLE	"	MEDIO
	PRATICHE COLTURALI	ISPFVME	ABCD	ELEVATO	INTENSIVO	ELEVATO

socio-economiche destinate ad essere "impattate". (Vedi fig. 3.19 e 3.20).

Nel quadretto dove si verifica l'impatto questo viene pesato secondo una normativa trasparente ma alquanto soggettiva.

Un sistema più avanzato è quello delle "matrici coassiali", descritto da Colorni (1986).

DESCRIZIONE AMBIENTE		AZIONI CHE POSSONO AVERE UN IMPATTO SULL'AMBIENTE
Amb.	101-86	
	25 CARATTER. FISICHE E CHIMICHE	MODIFICAZIONE DI REGIME 13
	10 CONDIZIONI BIOLOGICHE	COSTRUZ. SUL TERRENO 19
	56 FATTORI LOCALI	ESTRAZ. DI RISORSE 7
	101-86	TRASFORMAZ. DI USO 15
		MODIFICAZ. DI CIRCOLAZ. 11
		LOCALIZZAZ. DI DISCARICHE 14
		TRATTAMENTO CHIMICO del terreno 5
		MODELLAMENTO del terreno 6
		RINNOVAMENTO delle risorse 5
		ACCIDENTI (esplosioni etc.) 3
		ALTRE

Fig. 3.19 - Matrice per V.I.A. (riassunto delle principali). Le possibili combinazioni sono 8428, senza tenere conto dei titoli indicanti "altre".

- CONSIGLIO D'EUROPA (1972) - La carta del suolo. Strasburgo.
- COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY (1971) - Statements on proposed federal actions affecting the environment. Federal Register, USA, 36, 19 e 79.
- CPCS (COMMISSION DE PÉDOLOGIE ET DE CLASSIFICATION DES SOLS) (1967) - Classification des sols. Lab. Pédologie-Géologie, ENSA, Grignon.
- DAVIES H.R.J (1973) - Tropical Africa Atlas for Rural Development. Cardiff, Univeristy of Wales.
- DE LA ROSA D., COLLADO R. & LUIS BUENO J. (1987) - El desierto avanza en Andalucía. Suppl. riv. Salud, 27, Ed. Junta de Andalucía.
- DENT D. & YOUNG A. (1981) - Soil survey and land evaluation. Allen e Unwin. Londra.
- J. DE PLOEY (1986) - Soil erosion and possible conservation measures in loess loamy area. Proceeding of Seminar on Land Degradation. Cesena 9-11/X/88, Balkema, Rotterdam, 1986.
- DOS (1967) - Planning the use of land resources: a guide to the work of the land resources. Division of the Directorate of Oversea Surveys (UK).
- DUCHAUFOR PH. (1976) - Précis de pédologie. Masson, Parigi.
- DUCHAUFOR PH. (1984) - Pédologie. Masson Ed, Parigi.
- DUCHAUFOR PH. & SOUCHIER B. (1979) - Pédologie. Tomo II. Constituants et Propriétés du sol (avec Bonneau et al.). Ed. Masson, Parigi.
- ELWELL H.A. (1981) - A soil loss estimation techniques for Southern Africa. Soil Conservation: problems and prospects. John Wiley and Sons, 281-292.
- FAO (1971) - Irrigation practice and water management. Irrigation and drainage, paper, 1.
- FAO (1973) - A framework for land evaluation. Draft edition. AGL/MISC/73/14, Roma.
- FAO (1976) - A framework for land evaluation. Soil Bulletin, 32, Roma.
- FAO (1977) - Guidelines for soil profile description. Roma.
- FAO (1979) - Soil survey investigations for irrigation. FAO, Soil Bulletin, 42, Roma.
- FAO-UNESCO (1973) - Legend of the world soil map. Roma.
- FAO-UNEP-UNESCO. (1980) - Méthode provisoire pour l'évaluation de la dégradation des sols. Roma, 1980.
- FITZ PATRICK (1983) - Soils, their formation, classification and distribution. Longman, Londra.
- FOREST SERVICE U.S. (1963) - Handbook on soils. FSH 2559.2, Washington DC.
- FOREST SERVICE U.S. (1971) - Recreation planning handbook. FSH 2309. 13, Washington D.C.
- FOSTER G.R., LANE L.J., NOWLIN J.D., LANFLEN J.M. & YOUNG R.A. (1981) - Estimating erosion and sediment yield on field-size areas. Transactions American Society of Agricultural Engineers, 24 (5).
- FOTH H.D. (1984) - Fundamentals of Soil Science. John Wiley and Sons, New York.
- GAZZOLO T. & BASSI G. (1966) - Contributo allo studio del grado di erodibilità dei terreni costituenti i bacini montani dei corsi d'acqua italiani. Memorie e studi idrografici, Min. dei LLPP, Servizio Idrografico, pubbl. 2, IV.
- GERASIMOV I.P., ZAVALISHIN A.A. & IVANOVA E.N. (1939) - A new scheme of a general soil classification of the URSS. Pochvovedeniye, 7.
- GIORDANO A. (1982) - Il terreno. Pedologia e suolo. Biologia del suolo - classificazione dei suoli. Rilevamento e cartografia dei suoli. Interpretazione dei suoli. Nutrizione delle piante. Enciclopedia delle Scienze, 56-57-58.
- GIORDANO A. (1983) - Alcune osservazioni sui termini land, land evaluation, terre, terreno e territorio. Atti Convegno: Land evaluation, Centro Interregionale di Coordinamento, Firenze.
- GIORDANO A. (1987) - Impiego del telerilevamento per l'indagine delle risorse naturali e necessità di un quadro di riferimento comune (sistemi ed unità di terre). Atti 1° Convegno Naz. AIT Parma, 29 sett.-2 ott. 1987.
- GIORDANO A., LILLELUND H. & MONDINO E.P. (1972) - Carta della fertilità forestale attuale e potenziale del Comune di Chiomonte. Ann. Ist. Sper. Selvicoltura, III.
- GIORDANO A., GIOVANETTI G. E DE VECCHI P.G. (1987) - Definition of land types and site indexes in the black locust coppices. Seminar on wood technology Munich 14-15 april 1987, DG XII, CEC.
- GISOTTI G. (1986) - La valutazione dell'ambiente geologico negli studi di impatto. Geologia e tecnica, 3.
- GIULIANI F. (1977) - Nozioni di climatologia applicata. Istituto Agronomico per l'Oltremare Minist. Affari Esteri.
- GOTTMANN J. (1977) - Il territorio: un concetto in evoluzione. Rivista Nord-Sud, 25.
- HILLEL D. (1980) - Applications of soil physics. Academic Press. New York.
- HODGSON J.M. (1974) - Soil survey field handbook. Soil survey of England and Wales Harpenden.
- HOWARD J.A. (1976) - Hierarchical sub-division classification of land land units. FAO Remote Sensing Training Seminar Roma.
- HUDSON N. (1981) - Soil Conservation. Batsford Academic and Educational Limited Londra.
- ILACO (1981) - Agricultural Compendium. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam.
- IPLA (1982) - La capacità d'uso dei suoli del Piemonte. Regione Piemonte. Assessorato Pianificazione ed Assessorato Agricoltura e Foreste.
- ISTITUTO SPERIMENTALE PER LO STUDIO E LA DIFESA DEL SUOLO (1983) - Proposta metodologica di classificazione attitudinale del territorio. Supplemento degli Annali, XIV.
- KALESNIK S.V. (1962) - Landscape science in Soviet Geography. New York.
- KIRKBY M.J. E MORGAN R.P.C. (1980) - Soil erosion. John Wiley and Sons.
- KLINGEBIEL A.A. E MONTGOMERY P. (1961) - Land capability classification. Agric. Handbook 210 USDA- Washington Dc.
- KLINKA K., GREEN R.N., TROWBRIDGE R.L. E LOWE L.E. (1981) - Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia. Prov. of Br. Columbia. Ministry of Forests.
- LEOPLD L.B., CLARKE F.E., HANSHAW B.B. E BALSLEY J.R. (1971) - A procedure for evaluating environmental impact. Geological Survey Circular 645 U.S. Dept. of Interior.
- LULLI L., LORENZONI P. ED ARRETINI A. (1980) - La carta dei suoli, la loro capacità d'uso, l'attitudine dei suoli all'olivo ed al Sangiovese. CNR Progetto Finalizzato Conservazione del suolo. Ist. Sperimentale per lo studio e la Difesa del Suolo. Firenze.

- MABBUTT J.A. (1976) - L'utilisation des terres et ses repercussions en zone aride. *Nature et ressources*, XII, 1.
- MAC GRAW HILL-ZANICHELLI (1980) - Dizionario tecnico-scientifico. Zanichelli.
- MAGALDI D. E MANCINI F. (1975) - *Pedologia*. Enciclopedia Agraria Reda Ediz. Reda.
- MUNSELL (1975) - *Munsell Soil Color Charts*. Kollmorgen Corporation. Baltimore, Maryland USA.
- NILSSON S. (1989) - The relationship between Forests and the Greenhouse Effect. *Atti Conferenza Internazionale Atmosfera-Clima-Uomo*. Torino 16-18 genn. 1989.
- NOLA L. (1987) - La valutazione di impatto ambientale. *Genio rurale*, 7/8.
- OCSE (ORGANIZZAZIONE PER LA COOPERAZIONE E LO SVILUPPO ECONOMICO) (1987) - Rapporto 1986 - Parigi.
- ODUM E.P. (1975) - *Ecology*. Holt, Rinehart and Winston.
- ORSTOM (1969) - *Glossaire de pédologie*. Description des horizons en vue du traitement informatique. Publ. ORSTOM. Hors série.
- PELTIER L.C. (1950) - The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Ann. Ass. Am. Geograph.*, 40.
- PUJOS A. (1957) - Terres rouges, noires, grises. *Annali Soc. Sc. Natur. et Physiques du Maroc*. Sect. Pédologie. Tome.
- PURNELL M.F. E PICCOLO A. (1983) - La land evaluation: diversi tipi e diversi livelli. *Atti Convegno Land evaluation*. Centro Interregionale di Coordinamento. Firenze.
- RICHARDS L.A. (1928) - The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigations. *Journ. Agric. Research*, 37.
- RICHARDS L.A. (1949) - Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, 68.
- ROQUERO C. (1979) - The potential productivity of mediterranean soil. *Proc. 14th Colloq. Int. Potash Institute, Berna*.
- ROQUERO C. E PORTA J. (1986) - *Agenda de campo para estudio del suelo*. Universidad Politecnica de Madrid.
- ROZOV N.N. E IVANOVA E.N. (1968) - Soil classification and nomenclature used in Soviet pedology, agriculture and forestry. *Sta in: FAO World soil resources report*, 32.
- RUSSELL E.W. (1982) - *Il terreno e la pianta*. Edagricole. Bologna.
- SANESI G. (1977) - Guida alla descrizione del suolo. Progetto finalizzato CNR Conservazione del suolo Pubblicazione, 11.
- SEQUI P. (1979) - Parlare di fertilità del terreno nel XX secolo. *L'Italia agricola*. Anno 116, 2.
- SEQUI (1979) - Lavorazione e struttura del terreno *L'Italia agricola*. Anno 116, 2.
- SERENI E. (1976) - *Storia del paesaggio agrario italiano*. (3 ediz.) Laterza. Bari.
- SISS (SOC. ITAL. SCIENZA DEL SUOLO) (1985) - *Metodi normalizzati di analisi del suolo*. Edagricole. Bologna.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (SOIL SURVEY STAFF) (1951) - *Soil Survey Manual*. USDA Handbook, 18. Washington DC.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1972) - Technical release, 51, *Geology: Procedure for computing sheet and rill erosion on project areas*. SCS. Engineering Division USDA. Washington DC.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) - *Soil Taxonomy*. Handbook 436. USDA. Washington DC.
- SOIL SURVEY STAFF (1990) - *Keys to Soil Taxonomy*. SMSS Technical Monograph n. 19. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- STAMP L.D. (1961) - *A glossary of geographical terms*. John Wiley and Sons. New York.
- THORNTHWAITTE C.W. (1948) - Rational classification of climate. *The Geographical Review.*, XXVIII.
- TOMBESI L. (1966) - *Elementi di Scienza del suolo e nutrizione delle piante agrarie*. Edagricole. Bologna.
- TRECCANI (1979) - *Lessico Universale Italiano*. Istituto della Enciclopedia Italiana.
- TRECCANI (anni diversi) - *Enciclopedia Italiana*. Istituto della Enciclopedia Italiana. Roma.
- UFFICIO ANALISI, RICERCHE TERRITORIALI E CARTOGRAFIA (1981) - *Capacità d'uso dei suoli della Regione Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna. Servizio Coordinamento.
- UNESCO (1977) - Développement des régions arides et semi-arides: obstacles et perspectives. *Notes Techniques du MAB 6* - Unesco Parigi.
- VANORE R. (1987) - *Dallo sviluppo agricolo all'impatto ambientale*. Cooperazione, 65, Ministero degli Affari Esteri Italiano.
- VINK A.P.A. (1975) - *Land use in advancing agriculture*. Springer Verlag.
- WESTERN S. (1978) - *Soil survey contracts and quality control*, Monograph on soil survey. Clarendon Press. Oxford.
- WILDE S.A. (1958) - *Forest soil*. Ronald Press. New York.
- WILLIAMS J.R., RENARD K.G. E DYKE P.T. (1983) - EPIC - a new method for assessing erosion's effect on soil productivity. *Journal of Soil and water conservation* 38(5).
- WINTERINGHAM F.P.W. (1985) - *Environment and chemicals in agriculture*. Elsevier. Londra e New York.
- WOLF U. (1976) - *Appunti su argomenti di pedologia forestale*. A cura dell'Istituto di Geopedologia e Geologia Applicata. Firenze.
- WOLF U. (1985) - *Valutazione dell'attitudine dei suoli alla produzione ed all'utilizzazione forestale*. Cartografia Tematica per la valutazione del territorio. Ufficio Cartografico. Reg. Emilia-Romagna.
- WISCHMEIER W.H. E SMITH D.D., *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. *Agricultural Handbook*, 282, Washington DC USA.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C.B. E CROSS B.V. (1971) - *A soil erodibility nomograph*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26.
- ZONNEVELD I.S. (1972) - *Land evaluation and landscape science*. ITC Textbook pf photo-interpretation Euschede NL.

