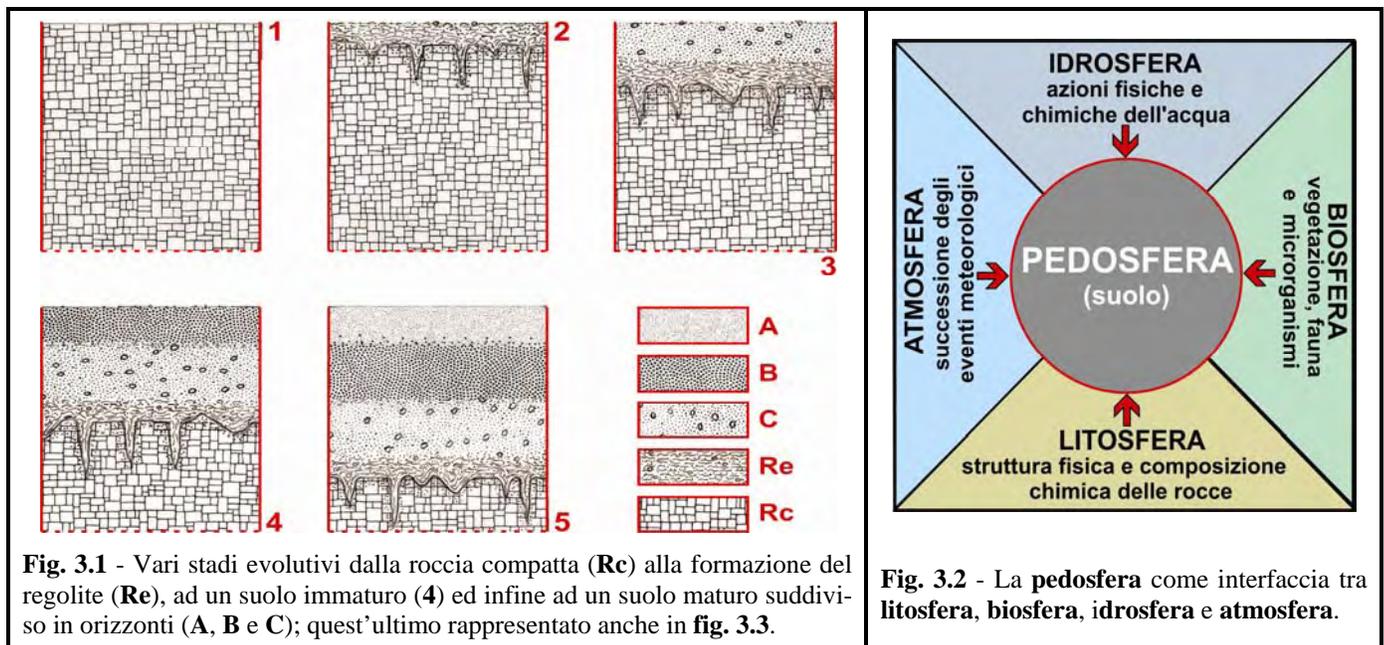


3 - DALLA LITOSFERA ALLA BIOSFERA

3.1 - La pedosfera

Il termine “**terreno**” (**suolo**) indica, dal punto di vista geologico, un insieme di rocce formate in un certo intervallo di tempo della storia della Terra. Nel campo della ingegneria civile con lo stesso termine viene indicato il substrato interessato dalle opere di fondazione. Nell’ambito agricolo e forestale si riferisce allo strato superficiale detritico che serve come supporto alla vegetazione. Per evitare confusioni, tale termine dovrebbe essere utilizzato per indicare la coltre superficiale che sostiene ed alimenta le piante, mentre nel senso geologico si dovrebbe utilizzare la parola “**formazione**”. Dal punto di vista ingegneristico sarebbe opportuno utilizzare vocaboli diversi a seconda dei materiali interessati dagli interventi di costruzione. La corretta definizione di “suolo” non costituisce un problema di tipo puramente accademico, ma è una questione che riflette la necessità di riconoscere l’importanza fondamentale di tale sistema, senza il quale non sarebbe possibile la vita negli ambienti continentali (**scheda 3.1**).

Il suolo si forma per processi di disaggregazione e di alterazione di una roccia inizialmente integra (**1 e 2 in fig. 3.1**). L’effetto di tali processi, in funzione della struttura fisica e della composizione chimica della roccia stessa e del clima (**fig. 3.2**), è la formazione di materiali detritici superficiali con diversa granulometria. Tali materiali sono autoctoni (*depositi eluviali*) se accumulati nello stesso luogo in cui si sono formati. Sono alloctoni se depositati dopo un trasporto più o meno lungo (*depositi colluviali*); sono, per esempio, detriti di falda (cumuli dovuti al crollo da ripide pareti rocciose), eolici (materiali fini accumulati dal vento), morene (materiali eterogenei accumulati dai ghiacciai), alluvioni (materiali, spesso con granulometria omogenea, accumulati dai fiumi), ecc....



Si tratta di materiali detritici (**regolite**) non ancora considerati un suolo, la cui origine dipende del biotopo (l’insieme dei fattori fisici e chimici dell’ambiente). Al loro interno, essendo costituiti da granuli (fra i quali, diversamente dalle rocce compatte, sono presenti interstizi vuoti), vi è spazio per la presenza di acqua, aria ed organismi, quali batteri, alghe, funghi microscopici,... Sono da citare anche i viventi in grado di colonizzare anche lisce superfici di rocce nude, fra i quali i licheni (prodotti dalla simbiosi fra un fungo ed un’alga) e i muschi (con un vero e proprio tallo pluricellulare). I prodotti delle attività metaboliche degli organismi e le loro spoglie arricchiscono il detrito minerale di sostanza organica e rendono più aggressiva l’alterazione chimica delle acque interstiziali, consentendo così la soluzione ulteriore di sali minerali. Si ha la formazione di un suolo con struttura ancora semplice (**3 e 4 in fig. 3.1**), ma che diventa gradualmente più profondo per l’ulteriore degradazione della sottostante **roccia madre**.

Le comunità di organismi diventano sempre più ricche e complesse e l’azione chimica delle acque diventa più efficace. Aumentano la disponibilità di sali minerali disciolti, la quantità di sostanza organica e capacità di ritenzione

idrica del suolo, che funziona come una vera e propria spugna. A questo punto dell'evoluzione (5 in fig. 3.1) il suolo possiede ormai le caratteristiche adatte per l'insediamento delle piante superiori che affondano le loro radici in un terreno profondo, ben stratificato (fig. 3.3) ed in grado di fornire, in modo più o meno abbondante, i nutrienti indispensabili per la crescita. Ma lo sviluppo delle piante contribuisce all'ulteriore arricchimento di sostanza organica, permettendo al terreno di evolversi ulteriormente.

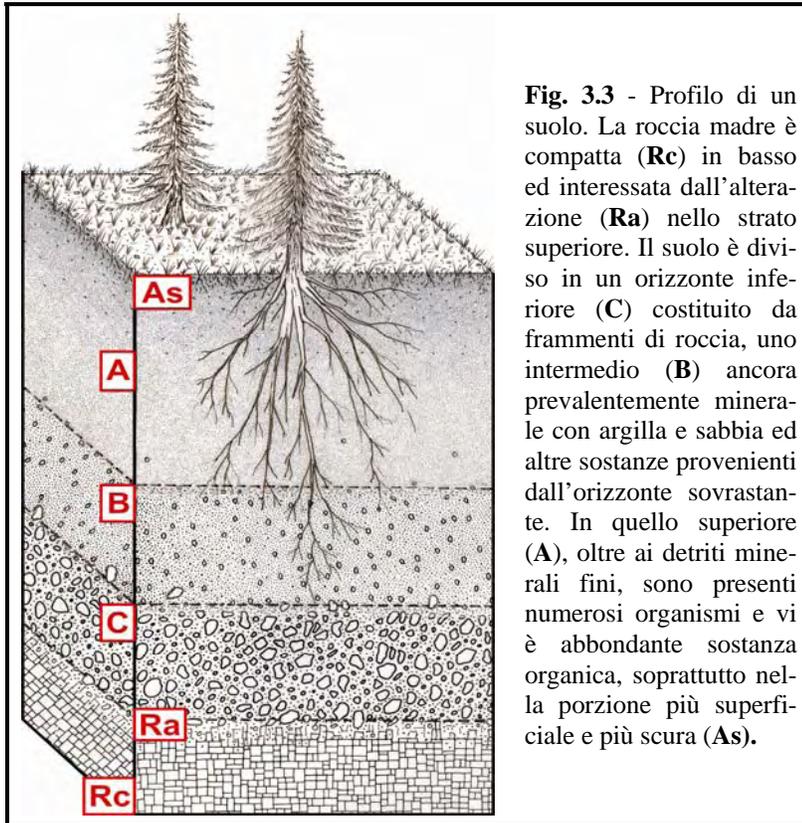


Fig. 3.3 - Profilo di un suolo. La roccia madre è compatta (Rc) in basso ed interessata dall'alterazione (Ra) nello strato superiore. Il suolo è diviso in un orizzonte inferiore (C) costituito da frammenti di roccia, uno intermedio (B) ancora prevalentemente minerale con argilla e sabbia ed altre sostanze provenienti dall'orizzonte sovrastante. In quello superiore (A), oltre ai detriti minerali fini, sono presenti numerosi organismi e vi è abbondante sostanza organica, soprattutto nella porzione più superficiale e più scura (As).

Il suolo è un'entità dinamica. La **pedosfera** è un sistema originato da un substrato minerale; si sviluppa arricchendosi di una complessa comunità vivente e, in funzione del clima e della disponibilità di acqua, si sviluppa raggiungendo una maturità in equilibrio relativamente stabile con l'ambiente. Negli ecosistemi continentali il suolo è l'ambiente di transizione tra litosfera e biosfera, il sistema attraverso il quale la materia organica viene mineralizzata e grazie al quale le sostanze minerali sono utilizzate, al primo anello della catena alimentare, per la costruzione di nuova materia organica (ciclo del carbonio). L'affermazione e l'evoluzione della vita sulle terre emerse sono connesse allo sviluppo ed alla evoluzione dei suoli, intesi come il risultato della complessa interazione e sovrapposizione fra i principali domini della natura: *biosfera, atmosfera, idrosfera e litosfera* (fig. 3.2).

Il suolo è costituito da diverse **componenti**. Si distinguono i **suoli organici** ed i **suoli minerali**. La maggior parte ha un contenuto di materia organica tra 1 e 10 % in peso (mediamente 5 % in volume), ma in particolari condizioni (zone lacustri prosciugate, paludi, marcite,...), la sostanza organica può anche superare il 90 %. Sono organici i suoli che superano il 20 % o hanno un contenuto intorno al 12 ÷ 18 % di sostanza organica, ma saturi d'acqua; essi, benché importanti dal punto di vista produttivo, rappresentano una piccola parte della "risorsa suolo". Il termine *minerale* indica suoli in cui domina la componente inorganica (fig. 3.4). Gli spazi vuoti, occupati da aria e/o acqua, rappresentano circa la metà del volume ed il resto è prevalentemente materiale minerale e solo in parte organico.

Altro aspetto da considerare con attenzione è la "potenza" (spessore) del suolo, che dipende certamente dall'insieme dei processi fisici, chimici e biologici di alterazione della roccia madre succitati, ma importante è anche la morfologia del paesaggio (fig. 3.5). In linea di massima i suoli più potenti e più produttivi si sviluppano nelle aree pianeggianti e più stabili.

3.2 - La componente minerale

Il suolo ha origine dalla roccia madre, cioè dai minerali contenuti nelle rocce consolidate o non consolidate della crosta terrestre. La frazione minerale è molto variabile nelle dimensioni, da quelle grossolane dei clasti ciottolosi a quelle fini delle sabbie e dei limi o finissime delle argille. Essa è distinta in:

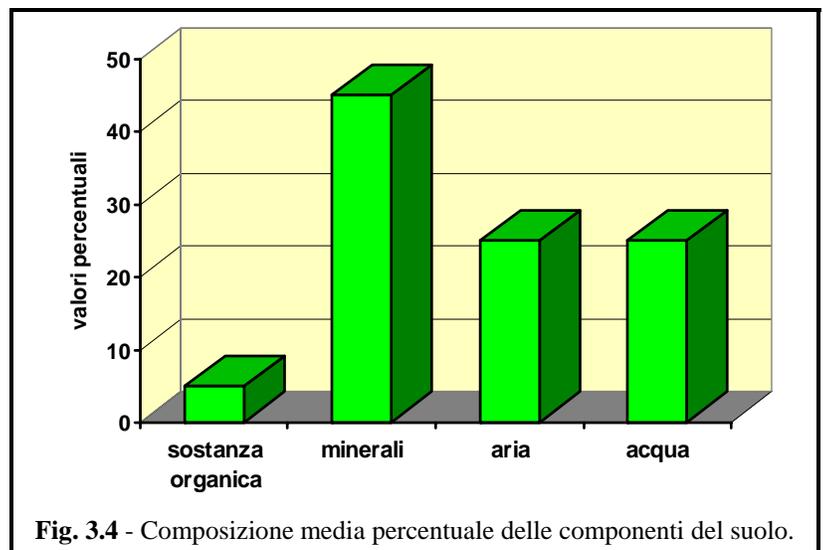


Fig. 3.4 - Composizione media percentuale delle componenti del suolo.

- **frazione minerale primaria;** conserva i minerali della roccia originaria, generalmente formata da frammenti di roccia da grossolani a moderatamente fini (**tab. 3.1**); fornisce i materiali per la neoformazione di detriti minerali di dimensioni più piccole, da cui derivano molte delle proprietà del suolo;
- **frazione minerale secondaria;** deriva dalla disaggregazione fisica e dall'alterazione chimica della precedente (ereditata) e/o neoformata a partire dai prodotti del disfacimento; condivide, con le altre frazioni fini organiche (tra le quali l'**humus**), la capacità di controllare dinamicamente le proprietà chimiche e fisiche del suolo.

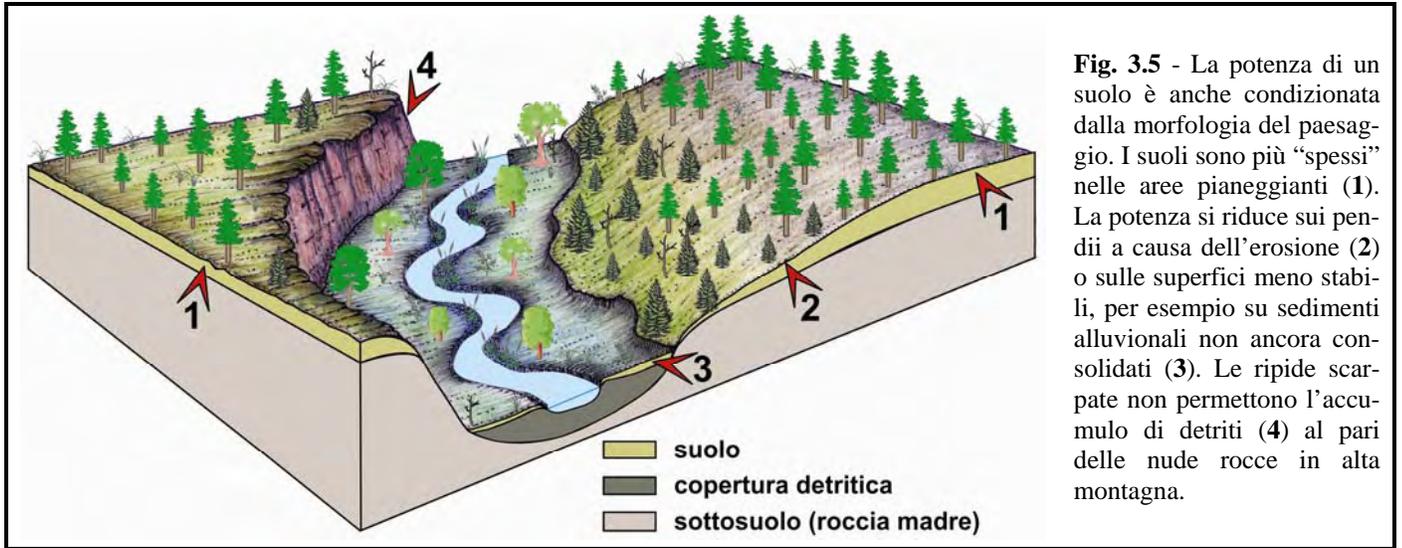


Fig. 3.5 - La potenza di un suolo è anche condizionata dalla morfologia del paesaggio. I suoli sono più "spessi" nelle aree pianeggianti (1). La potenza si riduce sui pendii a causa dell'erosione (2) o sulle superfici meno stabili, per esempio su sedimenti alluvionali non ancora consolidati (3). Le ripide scarpate non permettono l'accumulo di detriti (4) al pari delle nude rocce in alta montagna.

dimensioni	osservazione	composizione	lato cubo [mm]	numero particelle	superficie [cm ²] totale particelle
ghiaie	occhio nudo	frammenti di roccia	10	1	6
			1	10 ³	60
sabbie	occhio nudo	minerali primari	0,1	10 ⁶	600
			0,01	10 ⁹	6.000
limi (silt)	microscopio ottico	minerali primari/secondari	0,001	10 ¹²	60.000
			0,0001	10 ¹⁵	600.000
argille	microscopio elettronico	soprattutto minerali secondari			

Tab. 3.1 - Classi dimensionali delle particelle inorganiche del suolo. I limi possono anche essere denominati "silt".

Tab. 3.2 - Al diminuire delle dimensioni delle particelle (in questo esempio a forma di cubo con dimensioni decrescenti) corrisponde un rapido aumento del loro numero e della superficie totale.

	sabbia grossa	sabbia fine	limo	argilla		batteri, vegetali, funghi	animali
ritenzione idrica	molto bassa	media	alta	molto alta	macro	radici delle piante	anfibi, rettili, micromammiferi, insetti (formiche, coleotteri, termiti,...), aracnidi (ragni), miriapodi, lombrichi, gasteropodi.
capillarità	molto basso	buona	elevata	molto elevata			
movimenti dell'acqua	molto rapidi	poco rapidi	lenti	molto lenti	meso	alghe (verdi, diatomee,...)	soprattutto insetti e saprofiti.
assorbimento gas, H ₂ O, sali	molto piccola	piccola	buona	molto buona			
Coesione, plasticità	nessuna	piccola	alta	molto alta	micro	funghi (lieviti, zigomiceti, ifomiceti), attintomiceti, batteri (aerobi, anaerobi, autotrofi, eterotrofi).	parassiti e saprofiti (nematodi, protozoi, rotiferi,...).
areazione	molto buona	mediocre	scarsa	molto scarsa			

Tab. 3.3 - Proprietà del suolo in funzione della granulometria dei minerali.

Tab. 3.4 - Organismi (batteri, vegetali, funghi e animali) del suolo costituenti la biomassa, visibili ad occhio nudo (**macro**organismi), al microscopio (**micro**organismi) o di grandezza intermedia, talora visibile anche grazie all'ausilio di una lente (**meso**organismi).

I detriti più fini (silt e argille), presentano, per unità di volume, più ampie superfici di separazione fra “spazio pieno” e vuoti interstiziali (**tab. 3.2**) e una maggiore disponibilità di siti adatti all’adesione di ioni; questi sono quindi meno soggetti all’azione di asporto dell’acqua e sono rilasciati più lentamente, costituendo così un rifornimento continuo di elementi essenziali per l’assunzione radicale dei vegetali. Gli ioni, avendo cariche elettriche positive o negative, formano “ponti” tra le particelle e “contatti” con la frazione più grossolana, contribuendo alla formazione e al mantenimento di una struttura più o meno granulata e stabile. Da questa dipende l’aerazione e la circolazione dell’acqua nel suolo (**tab. 3.3**) e quindi, la possibilità di esplorazione da parte degli apparati radicali delle piante. Ciò è alla base della capacità del suolo di mantenere una copertura vegetale e quindi dell’attitudine alla coltivazione.

3.3 - La componente organica

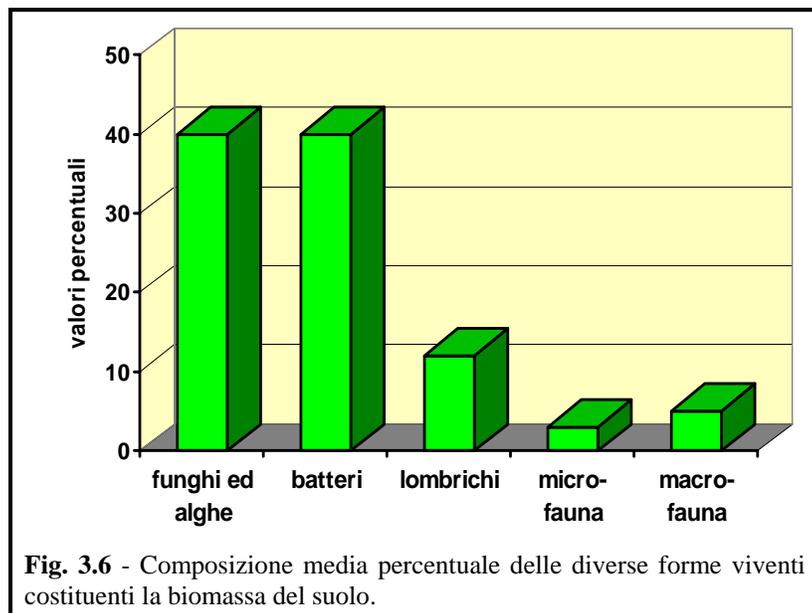
La componente organica comprende la **biomassa** (l’insieme degli organismi vivi; **fig. 3.6**) e la **sostanza organica residuale** (resti e spoglie di organismi). Essa contribuisce in modo essenziale alla formazione del suolo, per quanto riguarda lo stato di aggregazione delle particelle che lo compongono, il bilancio idrico e termico, l’attività biologica di cui è sede e la fertilità. La componente organica del suolo è la più importante sorgente di riserva e di rifornimento di nutrienti, quali azoto, fosforo, potassio, zolfo,... Consiste di *organismi terricoli viventi*, dei loro *residui* e di *radici di vegetali superiori* vive o morte. Le parti morte si accumulano e vanno incontro ad una progressiva demolizione che può essere di tipo:

- *meccanico*, operata dalla meso e macrofauna (**tab. 3.4**);
- *chimico*, prevalentemente con processi di dissoluzione idrolitici ed ossidativi;
- *biochimico*, grazie ai processi di degradazione ad opera dei microrganismi.

La trasformazione della materia organica, o **mineralizzazione**, porta alla formazione di sostanze inorganiche semplici, quali CO_2 , H_2O , NH_3 ,... Durante questo processo, eminentemente biologico, la cui velocità è funzione della temperatura, umidità, aerazione e acidità del suolo, avvengono anche reazioni biosintetiche, da cui hanno origine nuovi materiali organici, diversi da quelli di partenza, compresi nelle **sostanze umiche**.

La sostanza organica, in un suolo minerale ben drenato, varia dal 2 al 6 % in peso ed è la più importante sorgente di energia per gli organismi del suolo, senza la quale l’attività biochimica andrebbe rapidamente scemando. L’energia potenziale della sostanza organica è in gran parte trasformata in altre forme latenti o liberata come calore; i residui vegetali hanno un valore calorico medio di circa 5 kcal/g di sostanza secca; ciò significa che in un suolo con il 4 % di sostanza organica vi è un’energia potenziale di 600 milioni di kcal/ha ($6 \cdot 10^8$ kcal per ogni ettaro di superficie, pari a 10.000 m^2) nei primi 25 cm di profondità (supponendo 3 milioni di kg di suolo per ogni ettaro). Un suolo concimato con deiezioni animali consuma, in un anno, fino a 37 milioni di kcal/ha; tenuto conto del valore di una caloria (quantità di energia sufficiente ad innalzare la temperatura di un grammo d’acqua di un grado centigrado), ciò significa una quantità di calore sufficiente per portare ad ebollizione una vasca d’acqua delle dimensioni di una piscina media inizialmente alla temperatura di 20°C .

Le sostanze organica non sono tutte facilmente trasformabili in minerali. La maggior parte dei carboidrati (zuccheri) vengono velocemente utilizzati dai diversi organismi eterotrofi presenti nel terreno come fonte di energia, mediante il processo metabolico della respirazione, che comporta la produzione di CO_2 e di H_2O . Alcuni zuccheri subiscono una demolizione incompleta in processi metabolici meno efficienti della respirazione aerobica e che, invece di sostanze inorganiche semplici, portano alla formazione di molecole meno complesse dei carboidrati di partenza, ancora di tipo organico, quali acidi di vario tipo (citrico, butirrico, acetico, formico,...). Fra gli zuccheri più importanti nei residui



organici (soprattutto vegetali) del suolo, ricordiamo l'amido (facilmente utilizzato dalla fauna e quindi rapidamente demolito) e la cellulosa (molto resistente e difficilmente utilizzabile come fonte di energia).

La lignina è un carboidrato complesso, presente nella scorza degli alberi, nei gusci di frutta e semi, nei vasi tracheali del legno, nelle fibre di alcune cortecce. È una sostanza organica resistente, nei confronti sia degli agenti fisici e chimici, sia dei processi metabolici degli organismi del suolo. Le cere, le resine, i tannini sono pure molto resistenti nei confronti dei processi di demolizione. I grassi sono più facilmente decomponibili in glicerina e acidi grassi, poi ulteriormente scissi soprattutto in CO₂ e H₂O ed altre sostanze. Le proteine sono attaccate dagli organismi decompositori in qualità di sorgenti di azoto, ma non sono facilmente degradabili, almeno non come gli zuccheri più semplici. In sintesi alcune sostanze organiche sono facilmente utilizzate con rapida mineralizzazione; in tal modo i sali minerali (nutrienti) vengono messi subito a disposizione delle radici delle piante. Una parte di sostanza organica residuale, per la sua maggior "resistenza", non viene immediatamente demolita, ma subisce una serie di processi graduali che, prima di giungere ai prodotti finali (sostanze inorganiche semplici) porta alla formazione di prodotti intermedi (**humus**; **fig. 3.7**).

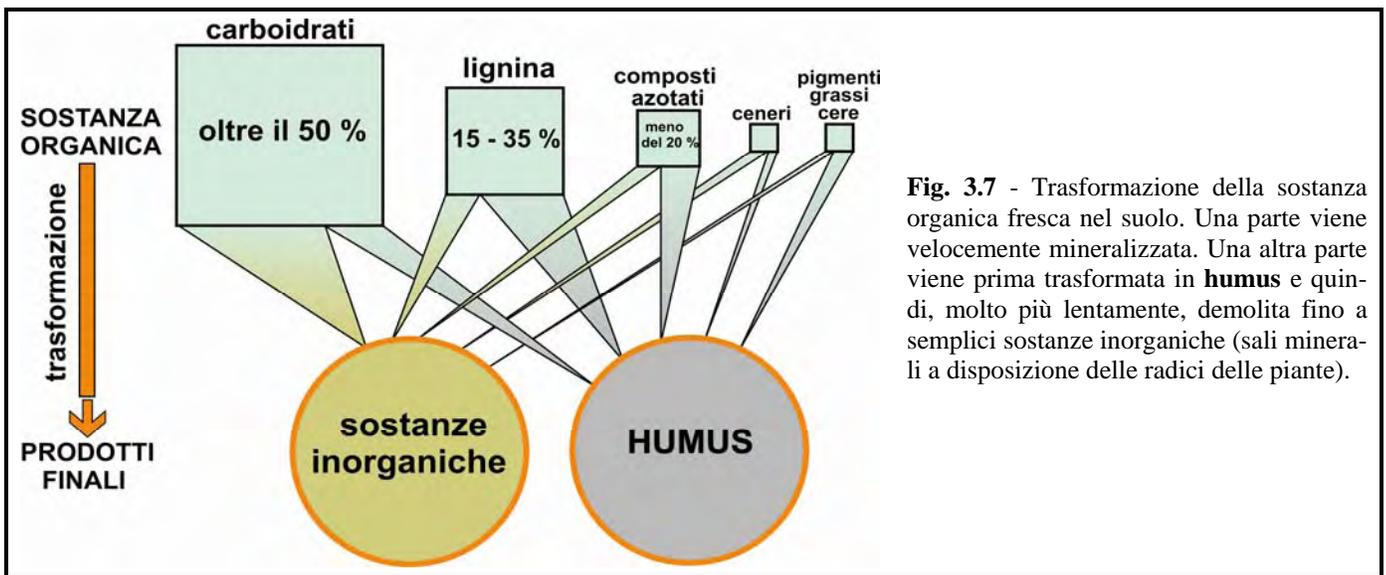


Fig. 3.7 - Trasformazione della sostanza organica fresca nel suolo. Una parte viene velocemente mineralizzata. Una altra parte viene prima trasformata in **humus** e quindi, molto più lentamente, demolita fino a semplici sostanze inorganiche (sali minerali a disposizione delle radici delle piante).

L'humus non è facilmente degradabile: esso viene mineralizzato molto lentamente, fornendo al terreno nutrienti per la vegetazione in modo molto graduale. Se tutta la sostanza organica fosse facilmente e velocemente demolita, costituirebbe una componente meno abbondante nel suolo. Invece il fatto che alcune parti di essa perdurano a lungo fa sì che tale componente costituisca una frazione importante del terreno, contribuendo a mantenerlo più soffice e con maggiore capacità di ritenzione idrica rispetto a quanto si verificherebbe se fosse presente soltanto la componente minerale. L'humus, in generale, è una sostanza scura, spesso giallo-bruna, amorfa o colloidale, di composizione chimica variabile a seconda delle componenti del suolo e delle condizioni ambientali. È un insieme di sostanze organiche a reazione debolmente acida, distinte in tre grandi gruppi: *umine*, *acidi umici* e *acidi fulvici*. Gli humus sono classificati secondo l'intensità della alterazione subita dalla materia organica e il mezzo in cui avviene l'alterazione (**tab. 3.5**).

Mezzo	Areato	Temporaneamente saturo	Perennemente saturo	copertura vegetale	Tipo di humus	sostanza organica	
						[%]	[t/ha]
Attività biologica decrescente	Mull	Anmoor	Torbe	bosco latifoglie	moder	< 4	120
	Moder			Bosco aghifoglie	mor	6 - 8	210
	Mor	prateria		mull	7	210	
		arativo		mull	2 - 4	90	

Tab. 3.5 - Rapporti tra attività biologica ed areazione dei diversi tipi di humus.

Tab. 3.6 - Forme di humus e contenuto di sostanza organica (entro 25 cm di profondità) in suoli di zone temperato-umide.

Le forme principali di humus sono il **mull**, il **moder** ed il **mor** ed altre intermedie. Si differenziano sia nelle proprietà chimiche, sia nella distribuzione nel profilo del suolo. Il primo è osservabile in suoli ricchi di elementi nutritivi e biologicamente attivi, mentre l'ultimo in suoli poco favorevoli alla biomassa microbica (**tab. 3.6**). Il mull si presenta omogeneamente diffuso negli orizzonti superficiali, mentre il mor è limitato ad un sottile strato superficiale, spesso coperto da un potente accumulo di lettiera poco o nulla decomposta. Possono essere così brevemente descritti:

- **mull**; tipico delle praterie e dei boschi di latifoglie; humus ben mescolato alla parte minerale, ricco in acidi umici, a mineralizzazione relativamente intensa e rapida, di ambiente ben aerato.
- **moder**; specialmente sotto la vegetazione di resinose, ericacee o boschi radi di latifoglie; l'alterazione della materia organica è incompleta, la mineralizzazione media, scarso legame fra la frazione organica ed inorganica;
- **mor**; soprattutto sotto i boschi di resinose o arbusti di ericacee; l'alterazione della materia organica è debole, la mineralizzazione è molto lenta;
- **anmoor**; zone di pianura temporaneamente sommerse; humus ben incorporato con la parte minerale del suolo;
- **torbe**; si formano in mezzo anaerobio per deposizione di residui organici e soprattutto di lignine; le cellulose infatti si alterano ad opera di batteri anche in mezzo anaerobio.

3.4 - Gli organismi

La **biomassa** del suolo varia dall'1 al 10 % del peso secco della componente organica totale e comprende batteri, funghi, vegetali ed animali (**tab. 3.4**). L'ambiente condiziona l'insieme dei microrganismi. I batteri, ad esempio, necessitano di materiali organici facilmente decomponibili e preferiscono un ambiente umido, da debolmente acido ad alcalino. I funghi sfruttano i materiali più resistenti e si adattano meglio nelle condizioni di ambiente secco, da subacido ad acido. Gli attinomiceti (batteri in grado di formare filamenti simili a quelli dei funghi) sono intermedi come adattamento. In generale l'incremento della temperatura e il buon drenaggio favoriscono l'attività microbica aerobica. Nell'insieme i microrganismi costituiscono circa il 60 ÷ 90 % della biomassa (**scheda 3.2**).



Invertebrati del suolo.

Gli **animali** del suolo (**fig. 3.8**) si distinguono, per dimensioni (**tab. 3.4**). La microfauna, con dimensioni inferiori ai decimi di millimetro, comprende individui unicellulari, prevalentemente *protozoi* e *nematodi*, le cui forme attive, normalmente saprofiti, sono presenti nell'acqua del suolo. La mesofauna (dimensioni massime di un centimetro) è rappresentata da piccoli *artropodi* (aracnidi, miriapodi e insetti) prevalentemente saprofiti. La macrofauna, (dimensioni superiori al centimetro) è costituita da *vermi terricoli*, soprattutto lombrichi, da artropodi, miriapodi ed insetti (le formiche e le termiti sono i più attivi) e *gasteropodi*. L'azione di questi migliora le condizioni fisiche del suolo: contribuiscono allo sminuzzamento dei residui vegetali freschi e ad un più completo rimescolamento delle frazioni organica e minerale. Grazie alla loro presenza si osserva un miglioramento dello stato di aggregazione delle particelle e

ne risulta facilitata la formazione di complessi organo-minerali. A quelli sopra citati occorre aggiungere altri animali quali anfibi, rettili e piccoli mammiferi (topolini, topiragno, arvicole,...) fra i quali sono presenti erbivori, detritivori e predatori. Essi dipendono strettamente dal suolo e dal *soprasuolo* (tutto ciò che si trova sopra la superficie del terreno, essenzialmente la parte aerea della vegetazione) e costituiscono parti importanti della catena alimentare.

3.5 - L'acqua

L'acqua del suolo, per il contenuto di soluti, è detta *soluzione circolante*, con significative concentrazioni di sali essenziali per la crescita vegetale. Il rifornimento di ioni in soluzione deriva dagli scambi tra l'acqua, la frazione solida del suolo e le radici. Essa è essenziale per i fabbisogni idrici dei vegetali e per il trasporto degli elementi nutritivi in soluzione ed è un *fattore pedogenetico*, perché interviene nei processi di alterazione dei minerali,

umificazione, mineralizzazione delle sostanze organiche, mobilitazione di materiali e successivo trasporto ed eventuale redistribuzione entro il profilo.

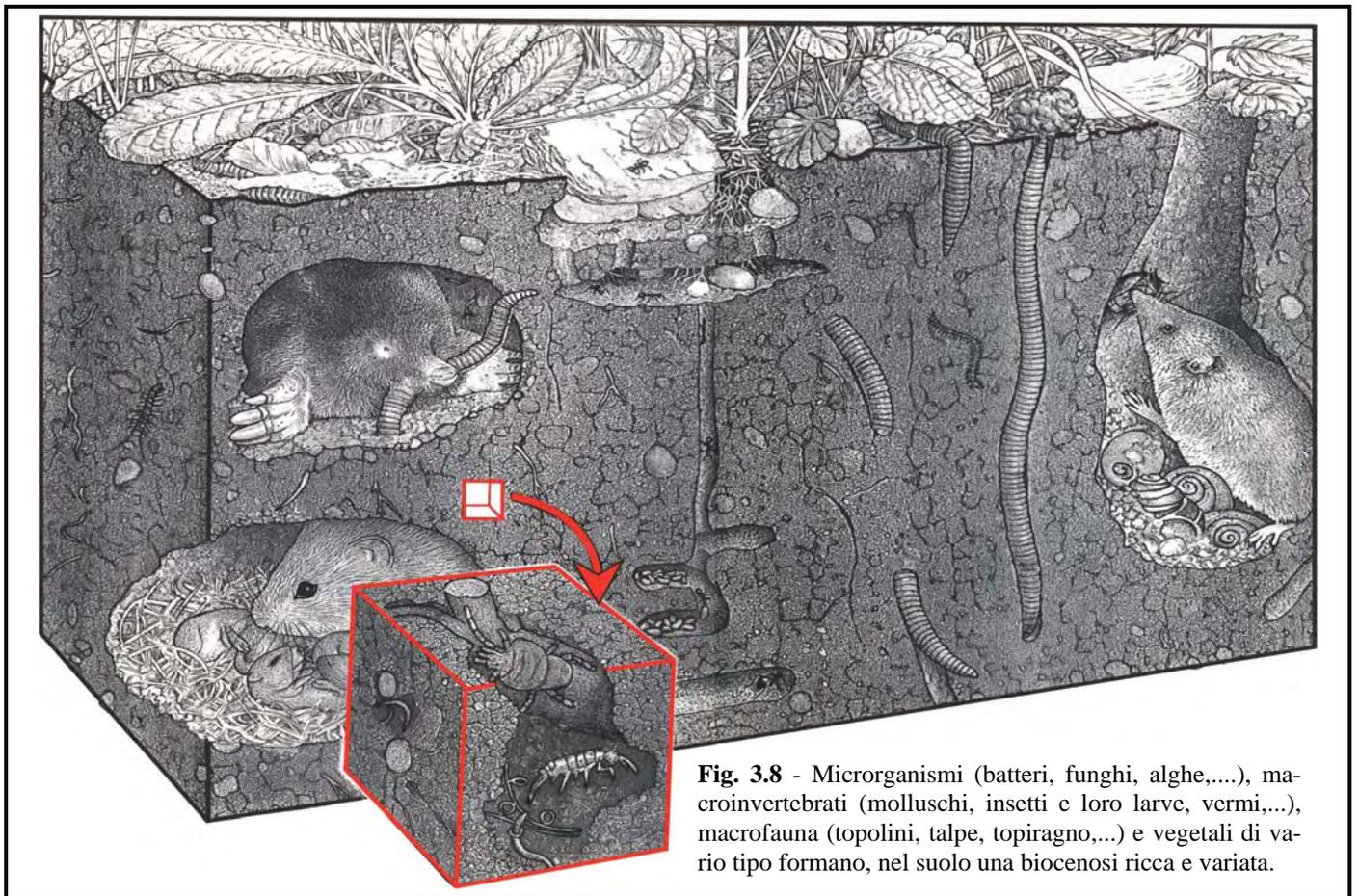


Fig. 3.8 - Microrganismi (batteri, funghi, alghe,...), macroinvertebrati (molluschi, insetti e loro larve, vermi,...), macrofauna (topolini, talpe, topiragno,...) e vegetali di vario tipo formano, nel suolo una biocenosi ricca e variata.

Il *bilancio idrico del suolo*, all'interno del ciclo idrologico, dipende dalle precipitazioni che giungono al netto dell'intercettazione dei vegetali, dal ruscellamento superficiale in funzione della geomorfologia, dalla capacità del suolo di trattenere l'acqua infiltrata, dal movimento di percolazione attraverso il profilo, dalle perdite per evaporazione dalla superficie ed infine da quelle per traspirazione dalle piante. L'acqua persa per percolazione profonda e per drenaggio può raggiungere una falda (acqua sotterranea) e da questa essere allontanata e contribuire all'alimentazione di sorgenti e di corsi d'acqua superficiali.

L'acqua è trattenuta all'interno dei pori del suolo con diversa forza in relazione alla quantità presente e alla dimensione dei pori stessi (interstizi vuoti). In condizioni di scarso rifornimento o di prevalenza di porosità fine, la forza di trattenuta dei solidi per capillarità può diventare competitiva nei confronti della forza di suzione delle radici. Ne consegue che non tutta l'acqua presente nel suolo è utilizzabile dalle piante e che, in ogni caso, la quantità disponibile è funzione della tessitura e della struttura del suolo.

Gli spazi vuoti del suolo (che nel loro insieme, in rapporto con il volume totale del terreno, rappresentano la *porosità*) sono più o meno saturi d'acqua. L'umidità è il volume d'acqua trattenuto da un determinato volume del suolo. Normalmente il contenuto d'acqua non supera il 25 % del volume totale. In conseguenza delle condizioni idrologiche e climatiche il suolo può, con una frequenza variabile, essere saturato ad una certa profondità. Se le condizioni di saturazione sono ricorrenti o permanenti si possono osservare gli effetti della formazione di una falda freatica il cui livello s'innalza e si abbassa secondo le stagioni, rendendo asfittica la zona del profilo interessata da una temporanea saturazione.

L'acqua è in primo luogo sottoposta alla forza di gravità che le impone un movimento verso il basso attraverso gli orizzonti, ma è contrastata dalla forza capillare. Grazie alla porosità capillare più fine (l'insieme degli interstizi di dimensioni sufficientemente piccole da consentire tale fenomeno), l'acqua può muoversi nel suolo in tutte le direzioni e quindi anche risalire dalla falda verso la superficie, contrastando la forza di gravità (**tab. 3.7**).

tempo	sabbia	limo	argilla
0,5 ora	34	18	14
1 ora	36	28	20
6 ore	42	67	39
12 ore	43	88	46
1 giorno	46	116	53
3 giorni	51	164	62
6 giorni	55	196	68
9 giorni	58	216	72
18 giorni	63	248	81

Tab. 3.7 - Altezza [mm] e tempo di risalita dell'acqua per capillarità in materiali di diversa granulometria.

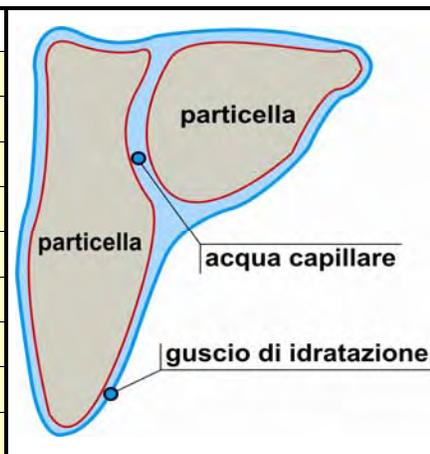


Fig. 3.9 - Disposizione dell'acqua intorno alle particelle del suolo.

Le molecole d'acqua sono polari (possiedono cioè cariche opposte alle estremità) e ciò è causa di interazioni elettrostatiche tra esse, con gli ioni in soluzione e con particelle (soprattutto delle argille e delle sostanze umiche); le superfici di queste ultime presentano cariche elettriche che attraggono e orientano le molecole d'acqua che viene così a formare uno strato bagnato intorno alle particelle stesse (**fig. 3.9**). Le cariche superficiali attraggono anche cationi e anioni, a loro volta ricoperti da una sorta di guscio d'idratazione che contribuisce a limitare la perdita di minerali causata dal dilavamento. Nel suolo esistono anche *forze osmotiche*, legate alla presenza di sali solubili che provocano movimento dell'acqua dalle zone a minor concentrazione verso quelle a maggior concentrazione salina. Tale fenomeno è importante dal punto di vista agronomico in conseguenza della somministrazione di fertilizzanti minerali solubili.

centrazione verso quelle a maggior concentrazione salina. Tale fenomeno è importante dal punto di vista agronomico in conseguenza della somministrazione di fertilizzanti minerali solubili.

3.6 - L'aria

L'aria (*atmosfera del suolo*) è importante, dal punto di vista edafico (regolatrice della respirazione delle radici e degli organismi), di quello pedogenetico, del controllo dei processi chimici e dei rapporti con l'atmosfera esterna. Aria e acqua sono in competizione nel riempimento degli spazi vuoti del suolo; il contenuto dell'una è inversamente proporzionale al contenuto dell'altra. Si passa dalle condizioni di totale saturazione d'acqua a quelle di completa assenza, con i pori pieni di sola aria. La composizione dell'aria all'interno del suolo è diversa da quella esterna (**tab. 3.8**). La respirazione della biomassa, compresa quella radicale, l'arricchisce ~ 10 volte in CO₂ negli orizzonti superficiali rispetto all'ambiente esterno (0,03 %), mentre in profondità l'anidride carbonica può raggiungere il 10 % e l'ossigeno (O₂) scendere a valori così bassi da compromettere la respirazione delle radici.

	O ₂	CO ₂
atmosfera	20,9	0,03
suolo franco a maggese	20,7	0,10
suolo franco letamato	20,4	0,20
suolo franco non letamato	20,3	0,40
suolo sabbioso letamato	20,3	0,60
suolo sotto prato	18 ÷ 20	0,5 ÷ 1,5

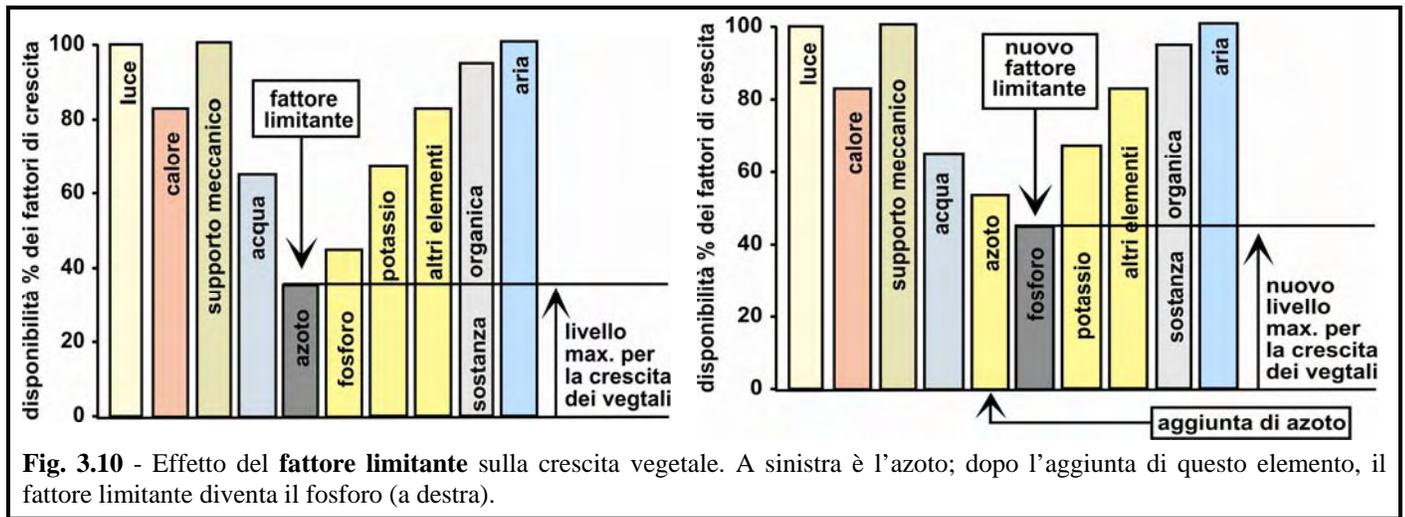
Tab. 3.8 - Concentrazioni [% in volume] di ossigeno (O₂) e di anidride carbonica (CO₂) nell'atmosfera e nell'aria presso la superficie dei diversi tipi di suolo.

Non sempre la concentrazione di O₂ scende in modo correlato con l'aumento della CO₂. Un incremento anche di centinaia di volte della concentrazione di CO₂ non porta, in genere, a valori di O₂ nell'aria del suolo inferiori al 15 %, contro il 20 % dell'atmosfera. Spesso non è tanto la carenza di ossigeno a indurre asfissia radicale, quanto l'eccesso di anidride carbonica o la saturazione d'acqua. Gli scambi con l'atmosfera esterna sono regolati dalla permeabilità del suolo all'aria e dalla diffusione causata dalla differenza di pressione parziale di O₂ e CO₂ tra suolo ed esterno. In generale fuori del suolo la pressione di O₂ è maggiore e quella di CO₂ è minore; quindi il primo tende a passare nel suolo e la seconda a fuoriuscire con un fenomeno detto *respirazione* o *aerazione* del suolo.

3.7 - Le proprietà del suolo

La crescita dei vegetali dipende da numerosi fattori ambientali: luce, aria, acqua, calore, elementi nutritivi, supporto meccanico,... Il suolo, a parte la luce, fornisce materiali ed energia relativi a questi fattori; esso è la risorsa primaria per la produzione vegetale. Ma lo sviluppo delle piante è condizionato dalla giusta combinazione di tali fattori. Secondo la **legge del minimo**, il livello di crescita di un vegetale è quello consentito dal fattore disponibile in minor misura (**fattore limitante**; **fig. 3.10**); nella maggior parte degli ambienti è il fosforo. Le proprietà fisiche, chimiche e

biologiche del suolo, che sono in relazione con il suo regime idrico e termico, nonché con la sua aerazione, regolano la disponibilità di elementi nutritivi per la nutrizione radicale e rendono più o meno adatto il suolo a funzionare come ambiente per i vegetali.



L'energia fornita dal sole e il calore, accumulato e quindi restituito dal suolo come energia radiante verso l'atmosfera, consentono la fotosintesi, il motore fondamentale del ciclo del carbonio. Le radici delle piante assumono dal suolo l'acqua necessaria per diverse funzioni, fra le quali quella di costituire materia prima per la fotosintesi. Le radici, inoltre, assumono dall'atmosfera del suolo l'ossigeno per la *respirazione radicale*, utile alla produzione di energia necessaria per l'assorbimento di elementi nutritivi dalla soluzione circolante nel suolo. La disponibilità dell'acqua è in relazione alla permeabilità del suolo nella zona radicale ed al clima, mentre l'aria è strettamente correlata sia alla struttura del terreno, sia alla presenza dell'acqua.

L'acqua, l'aria ed i sali minerali che il suolo rende disponibili sono i fattori della **fertilità**; essi regolano la capacità di un suolo a funzionare come ambiente per i vegetali o come risorsa produttiva. Ma la fertilità dipende anche dal clima, dalla morfologia del terreno (**fig. 3.5**), dall'attività della biomassa e dell'antropizzazione, cioè dall'insieme delle caratteristiche dell'ecosistema di cui il suolo è parte integrante. La fertilità è generalmente valutata in termini di **produttività** intesa, nei suoli "naturali", come quantità annua di sostanza secca prodotta per unità di superficie e nei suoli coltivati anche come qualità del prodotto ottenuto (valore alimentare in termini di contenuto proteico, zuccherino, vitaminico,... a seconda del tipo di coltura, ovvero del valore merceologico). In relazione alla presenza di fattori limitanti, la fertilità può essere distinta in *attuale*, in relazione alle condizioni intrinseche del suolo e *potenziale*, se esprime la massima produttività quantitativa e qualitativa raggiungibile in conseguenza del massimo miglioramento di tutti i fattori produttivi.

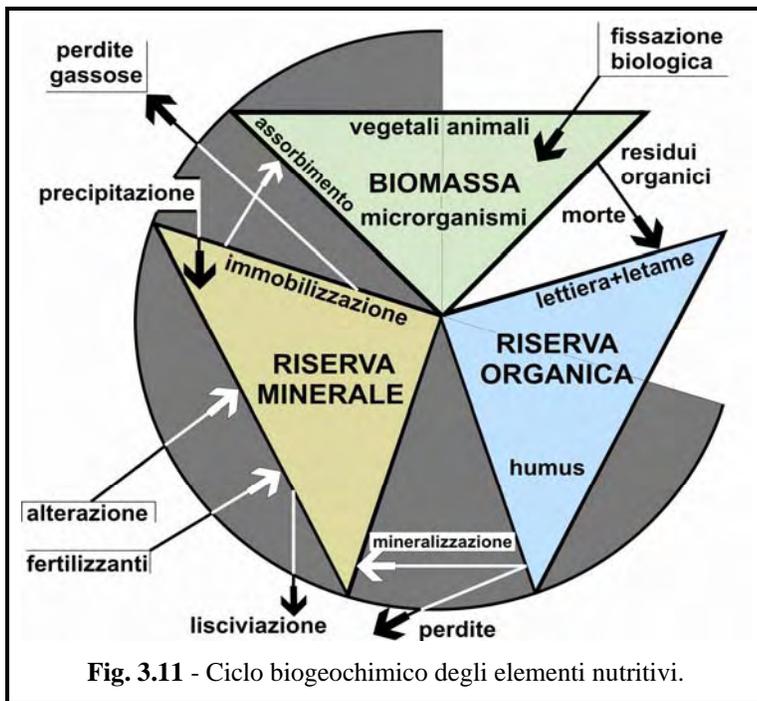
Gli elementi contenuti nei vegetali sono una cinquantina di cui solo 16 *essenziali*, senza i quali le piante verdi non possono svilupparsi e riprodursi (**tab. 3.9**). Secondo la loro presenza nei tessuti vegetali, sono convenzionalmente divisi in **macroelementi** o **macronutrienti** (N, P, S, Ca, Mg, K), in quantità maggiori di 1g per 1 kg di massa, e **microelementi** o **micronutrienti** (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Co e Mo) solitamente con meno di 0,1 g/kg. Tale divisione non rispecchia la loro importanza relativa, così come non ne rispecchia l'abbondanza nel suolo; alcuni elementi sono molto abbondanti, per esempio l'alluminio, ma privi d'importanza per quasi tutte le piante, ed altri, come il ferro, sono molto presenti nel suolo, ma sono solo micronutrienti per i vegetali.

MACROELEMENTI		MICROELEMENTI
da aria e acqua	dai solidi del suolo	dai solidi del suolo
C (carbonio)	N (azoto)	Fe (ferro)
H (idrogeno)	P (fosforo)	Mn (manganese)
O (ossigeno)	K (potassio)	B (boro)
	Ca (calcio)	Mo (molibdeno)
	Mg (magnesio)	Cu (rame)
	S (zolfo)	Zn (zinco)
		Cl (cloro)
		Co (cobalto)

Tab. 3.9 - Macro e microelementi per i vegetali e loro origine.

Il ciclo degli elementi nutritivi nella biosfera è continuo e il flusso interessa tre comparti (**fig. 3.11**): la *riserva minerale* (più o meno disponibile, rappresentata dalla componente minerale del suolo), la *riserva organica* e la *biomassa*. Sali degli elementi fosforo, calcio, magnesio e potassio sono

assorbiti dai vegetali per via radicale durante la stagione di crescita, attingendo solo da una piccola parte della riserva inorganica, il cosiddetto *insieme disponibile*. Questo è costituito dagli ioni immediatamente disponibili, presenti nella soluzione circolante nel suolo e dagli ioni scambiabili, presenti nei minerali argillosi e disponibili per la diminuzione delle concentrazioni in soluzione dovuta anche alla sottrazione di elementi da parte delle radici. Gli ioni dell'*insieme non disponibile* sono presenti nei minerali ancora inalterati, o in sali poco solubili, come gesso e calcite, o insolubili, come alcuni fosfati. Il passaggio di questi all'*insieme disponibile* avviene per alterazione dei minerali del suolo e della roccia, per precipitazione di sali, caduta di polveri, mineralizzazione della sostanza organica e somministrazione di letami e/o di fertilizzanti organici e minerali.

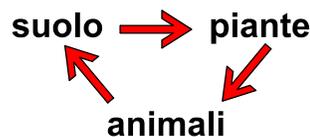


La biomassa è una riserva in parte del suolo e in parte esterna legata alla fissazione biologica di CO₂. La quantità di elementi che contiene dipende dallo sviluppo della massa vegetale ma, indipendentemente da ciò, la biomassa assume una grande importanza in termini di rifornimento di substrato di crescita per i microrganismi del suolo. Questa riserva è vitale in quanto tutto il carbonio e quasi tutto l'azoto vengono riciclati attraverso l'attività dei microrganismi che rappresentano quindi l'unione dei cicli di questi elementi.

La riserva organica che si trova parzialmente sul suolo (residui animali e vegetali indecomposti) e nel suolo (materiale organico più o meno umificato) costituisce, come si è detto, una riserva poco disponibile in relazione alla resistenza dell'humus alla mineralizzazione. La disponibilità immediata di elementi dipende dalla umidità del suolo che provvede alla mobilizzazione di ioni, mentre l'aridità porta alla immobilizzazione, per esempio determinando la precipitazione dei sali disciolti. La disponibilità di elementi è inoltre

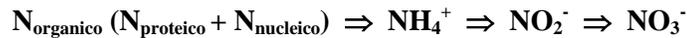
condizionata dal pH e dalle potenzialità ossidative dell'ambiente chimico del suolo.

Gli elementi nutritivi sono disponibili per i vegetali secondo flussi che attraversano ciclicamente i diversi comparti ambientali. La sequenza biogeochimica di trasferimento entro tali comparti è essenzialmente rappresentata dalla successione:



Tuttavia, rispetto a questo schema base, il ciclo e riciclo di ciascun elemento è legato a complessi fenomeni, sia naturali, sia controllati dall'uomo. I comparti interessati sono molto più numerosi e molti cicli sono dei policicli ed un elemento può a lungo seguire linee di flusso ricorrenti che interessano solo un determinato comparto prima di entrare negli altri. Nel suolo possono avvenire fasi cicliche anche per tempi assai lunghi, prima che vengano interessati altri comparti esterni. La permanenza di un elemento in un comparto del ciclo è molto variabile, da pochi minuti, per i trasferimenti a livello dei microrganismi, ad anni per i trasferimenti nel mondo animale o, addirittura, a migliaia o milioni di anni per quelli dall'atmosfera alla litosfera.

La principale riserva di **azoto**, nel pianeta, è l'atmosfera; anche la litosfera e l'idrosfera ne hanno un rilevante contenuto. Quello presente nel suolo è una piccola parte di quanto presente in natura; di questa una quota ancora più piccola è direttamente disponibile per i vegetali. Considerando profondo mediamente un metro il suolo esplorato dalle radici, il contenuto totale massimo di azoto è pari a 10.000 kg/ha; la maggior parte di esso, in molti suoli fertili, è localizzata nei primi 15 ÷ 20 cm. Esso risiede nella sostanza organica residuale, fresca o umificata e nella biomassa vegetale e animale, soprattutto in quella microbica. L'azoto diventa disponibile per le piante grazie alla mineralizzazione della sostanza organica per l'attività dei microrganismi secondo le seguenti fasi:



Nei suoli coltivati le pratiche agronomiche del sovescio e della letamazione, nonché della fertilizzazione, sono ulteriori fonti di elementi nutritivi tra cui l'azoto. Una importante sorgente di azoto è la **fissazione biologica**, attuata da microrganismi liberi o simbiotici con vegetali superiori che sono in grado di ridurre, per via enzimatica, l'azoto molecolare dell'atmosfera (N_2) ad azoto ammoniacale (NH_4^+), utile per la sintesi di amminoacidi.

Lo **zolfo** ha prevalentemente origine dai solfuri, presenti in rocce sedimentarie, che vengono ossidati a solfati durante l'alterazione. Questo elemento è rapidamente accumulato nel suolo sotto forma organica in quantità molto variabile, fino a 2.000 kg/ha, soprattutto nei suoli ben umificati.

Il **fosforo** è interessato da una complessa dinamica di reazioni. In certi terreni la principale fonte di nutrimento per i vegetali è rappresentata dal riciclo del fosforo organico, mentre in altri è accentuata l'immobilizzazione del fosforo con argille ed ossidi. È un elemento poco mobile e ciò smentisce, in parte, che i fertilizzanti fosfatici siano responsabili delle contaminazioni delle acque di falda. Il fosforo giunge al suolo dalla frazione minerale e dalla frazione organica, cioè dagli acidi nucleici e dai nucleotidi presenti nei residui vegetali. La mineralizzazione del fosforo organico è rapida e viene velocemente assimilato o precipita sotto forma di sali insolubili.

Il **potassio** è essenziale per i vegetali; svolge importanti funzioni nella sintesi proteica e degli amminoacidi e nella fotosintesi. Le riserve di tale elemento sulla Terra sono relativamente abbondanti, ma nel suolo la sua distribuzione è variabile in funzione delle caratteristiche della componente minerale. Nelle zone temperate i suoli hanno quantità di potassio in soluzione variabile da 1 a 80 ppm (**parti per milione**), ma i valori ottimali, in relazione allo sviluppo degli apparati radicali, oscillino tra 20 e 60 ppm. L'effettiva disponibilità di potassio per i vegetali è condizionata dalla presenza di altri cationi, soprattutto di **calcio** e di **magnesio**. Il ciclo di questi tre elementi è molto variabile, ma in generale quello del potassio è più rapido.

La disponibilità dei **microelementi** è legata soprattutto alla roccia madre che, alterandosi, li rilascia. Ferro, rame, manganese, zinco, cobalto, molibdeno, nichel e piombo sono presenti soprattutto in rocce basiche; ferro e manganese sono presenti anche come ossidi insolubili e ferro, rame e zinco come solfuri. Il Boro può essere presente in rocce acide o sostituire l'alluminio nei cristalli di minerali argillosi. Gran parte dei microelementi giungono al suolo nei particolati che ricadono dalle emissioni industriali e veicolari.

3.8 - Profilo del suolo

Se non intervengono azioni che impediscono la normale evoluzione del suolo, i prodotti della pedogenesi, si distribuiscono verticalmente, formando strati ad andamento pressoché orizzontale, diversi tra loro per aspetto e per proprietà fisiche, chimiche e biologiche, i quali ricoprono la roccia madre (**figg. 3.1 e 3.3**). Tali strati vengono detti **orizzonti** che, nella successione stratigrafica dalla superficie alla roccia inalterata, costituiscono il **profilo del suolo** o **profilo pedologico**. Esso varia a seconda delle condizioni ambientali e soprattutto del luogo, del clima e della natura fisica e chimica della roccia madre. Si riconoscono due o più dei seguenti orizzonti:

- A00** ⇒ resti organici, soprattutto vegetali, poco o affatto alterati, al punto da riconoscerne l'origine;
- A0** ⇒ prevalentemente resti organici che hanno subito modificazioni tali da non permettere il riconoscimento delle forme originali;
- A1** ⇒ primo degli orizzonti minerali in cui la sostanza organica è umificata e mescolata con la componente minerale; colore generalmente scuro;
- A2** ⇒ orizzonte in cui si è verificata l'eluviazione dell'argilla e degli ossidi di ferro e di alluminio; colore grigio - cenere;
- B** ⇒ orizzonte illuviato, in cui si è verificato accumulo di argilla e di ossidi (dall'orizzonte sovrastante); colorazioni più intense e rossastre; in certi casi si presenta come strato di alterazione con formazione di argille o di ossidi di ferro ed obliterazione dei caratteri originari della roccia madre;
- C** ⇒ orizzonte caratterizzato esclusivamente dal disfacimento della roccia madre;
- R** ⇒ roccia madre inalterata.

In sintesi la genesi del suolo dipende soprattutto dalla composizione mineralogica della roccia madre e dal clima. Su questi fattori si sono basate le principali classificazioni dei suoli (**scheda 3.5**).

3.9 - La zonazione dei suoli

Se un terreno è “vergine”, come la natura lo ha formato, si parla di *suolo naturale*; se questo viene trasformato artificialmente dalle coltivazioni, si usa il termine “*suolo agrario*” (con caratteri più semplici) o, in certi casi, di *suolo forestale* (se costituisce il substrato di boschi coltivati). In base alle condizioni in cui si formano, i suoli si distinguono come riassunto in **tab. 3.10**.

Regioni	Zone climatiche	Suoli
Fredde	Artico e alta montagna	-
Temperate	Fredde e umide	podzol - mol di brughiera - rendzina
	Umide meno fredde	terre brune - terre gialle
	Temperato - calde moderatamente umide	terre rosse
Subtropicali e tropicali	Aride	terre nere- terre castane - suoli salsi
	Umide	suoli rossi lateritici - lateriti
	Aride	suoli con crostoni - suoli desertici

Tab. 3.10 - Esempio di zonazione dei suoli.

I *suoli artici* o di *alta montagna* sono simili. Di scarso spessore, contengono, in genere, molto humus, ma pochi sali minerali in soluzione. Nelle regioni boreali uno dei tipi caratteristici è il *suolo di tundra*. In alta montagna i terreni sono prevalentemente detritici e acidi; nelle zone con ricca vegetazione si sviluppano suoli umici relativamente potenti (anche un metro). Il profilo dei terreni artici (Siberia) è generalmente caratterizzato dalla presenza, sotto l'orizzonte più superficiale, gelato solo durante l'inverno, da uno strato (spesso da alcuni metri fino a 300 m) perennemente gelato, detto *permafrost*, la cui origine è connessa con le glaciazioni quaternarie. Fra i suoli delle regioni temperate fredde e umide, i tipi caratteristici sono i *podzol*, i suoli delle *brughiere* ed i *rendzina*. I *podzol* sono bianchi - grigiastri, ricchi di humus in profondità, diffusi nell'Europa settentrionale e Nord - orientale, fra la tundra e la steppa. La *podsolizzazione* (trasporto per dilavamento degli ossidi di ferro e di alluminio e della sostanza organica negli orizzonti più bassi) si manifesta nelle regioni con temperature basse e piogge abbondanti; in tali orizzonti hanno luogo talora processi di concentrazione con formazione di un solido crostone ferruginoso detto *ortstein*. I suoli di brughiera sono rappresentati da due orizzonti superiori, di cui uno prevalentemente umifero e l'altro sabbioso e *podsolizzato*, che ricoprono un orizzonte argilloso - ferruginoso impermeabile. I *rendzina* sono *podzol* umiferi derivati dalla decomposizione di rocce calcaree in regioni fredde e umide.

Le *terre brune*, diffuse nell'Europa centrale e nell'Italia settentrionale, sono prevalentemente argillose; presentano humus e idrossidi di ferro che conferiscono il colore al suolo. Le *terre gialle*, caratteristiche di climi temperati e mediamente umidi, contengono poco humus e idrossidi di ferro relativamente abbondanti; sono diffuse soprattutto presso il limite settentrionale del Sud Europa. Il tipo caratteristico dei suoli delle regioni temperate calde, moderatamente umide e con semestri alternati umidi e asciutti, è la *terra rossa*, diffusa nelle regioni calcaree del bacino del Mediterraneo. Sono terreni argillosi, poveri di humus, ricchi di idrossidi di ferro (che conferiscono al suolo il caratteristico colore) e di alluminio. Merita ricordare il cosiddetto *ferretto*, terreno argilloso, rosso o giallo, ricco di idrossidi di ferro, che ricopre le alluvioni e le morene antiche del bacino del Po. I suoli delle regioni temperate aride sono le *terre nere* (*chernozem*), ricche di humus che conferisce il colore del suolo, talvolta potente oltre un metro. Sono terreni neutri o debolmente alcalini e sono diffusi nell'Europa centrale ed orientale, nella Siberia meridionale e nella Mongolia. Presso il limite Sud - orientale dell'area di diffusione di questi terreni si trovano le *terre castane*, caratterizzate da minori quantità della componente organica. I *suoli salsi* possiedono elevate concentrazioni di sali a causa della loro concentrazione negli strati superficiali dovuta allo scarso dilavamento ed al drenaggio; sono diffusi nei climi semiaridi.

Nelle regioni tropicali, per il clima caldo umido, le reazioni chimiche del suolo sono più intense; pertanto si verifica un'attiva idrolisi dei silicati, accompagnata da ossidazione dei minerali di ferro e dei composti organici. Si tratta del caratteristico ambiente nel quale si forma la *laterite*, una terra argillosa rossa o gialla, composta da una miscela di silice colloidale, allumina e idrossidi di ferro. Il suo colore varia a seconda della natura della roccia madre. Le rocce basiche, ricche di minerali di ferro e di magnesio, generano una *laterite* con una intensa colorazione rossastra. Questo tipo di suoli ricopre quasi il 50 % dell'Africa, oltre il 15 % dell'Asia ed il 40 % dell'America meridionale. I suoli delle zone tropicali e subtropicali aride sono rappresentati da terreni desertici incoerenti (sabbie, ghiaie) e dai *crostoni desertici* (*hardpan*) di natura calcarea, gessosa, ferruginosa e silicea.

3.10 - Soprassuolo

Categorie	Biomasse [kg]
Alberi	270.000
erbe	1.000
insetti	50
mammiferi	7
uccelli	1
vermi, funghi	13.000

Tab. 3.11 - Valori delle biomasse di alcune categorie di viventi costituenti il soprassuolo di 1 ha di ecosistema forestale.

Il soprassuolo è tutto ciò che si trova *sopra* il *suolo*. Se escludiamo le aree molto antropizzate, quelle “cementificate”, “coperte” da strade, ferrovie, case, fabbriche,... e quelle utilizzate per fini agricoli, sottoposte a coltivazione e quindi “coperte” da vegetali utilizzati dall’uomo per fini alimentari e zootecnici, le restanti superfici delle terre emerse sono dette suoli naturali, distinti essenzialmente in deserti e foreste.

I deserti sono “suoli nudi”, senza soprassuolo; le foreste sono suoli più o meno evoluti, sui quali sono presenti complessi ecosistemi. Se tracciamo un quadrato di lato di 100 metri su una superficie occupata da una foresta e se si effettuasse un rilevamento degli organismi del soprassuolo, valutando la biomassa delle diverse categorie dei viventi (considerando la sostanza organica morta come componente del suolo vero e proprio), si otterrebbero i risultati riassunti in **tab. 3.11**.

In un ecosistema forestale gli alberi costituiscono, da soli, circa il 95 % della biomassa totale della cenosi costituente il soprassuolo. Considerato che gli alberi costituiscono la componente più rilevante, in termini quantitativi, delle superfici naturali delle terre emerse (deserti esclusi), si ritiene utile descrivere le caratteristiche essenziali dei boschi e delle foreste la cui evoluzione è strettamente legata a quella dei suoli.

Di un bosco, oltre a considerare la fascia altimetrica sulla quale è impostato (**scheda 3.6**), occorre osservarne la *struttura*, cioè l’aspetto esterno dell’insieme degli alberi, che può essere il risultato di una storia dominata dalla natura oppure condizionata dalle attività umane.

L’età approssimativa degli alberi si deduce dalla loro altezza. Se hanno tutti, più o meno, la stessa altezza, vuol dire che hanno la stessa età; quindi si tratta di un **bosco coetaneo**. Se gli alberi hanno età diverse (altezze diverse), si tratta di un **bosco disetaneo**. Ci sono anche situazioni intermedie come, per esempio, uno strato di alberi maturi, insieme a giovani piante; in questo caso si tratta di un **bosco a popolamento stratificato**. Infine, nel caso in cui il bosco fosse formato da gruppi di alberi di età diverse, allora si tratta di una comunità disetanea a gruppi. Se il bosco è naturale, cioè non influenzato dall’azione dell’uomo, si presenta generalmente disetaneo o disetaneo per gruppi; infatti, man mano che un vecchio albero muore, lo spazio rimasto vuoto viene occupato da giovani piante. L’azione dell’uomo (tagli e rimboschimenti) favorisce invece la formazione di comunità coetanee.

La **fustaia** è un bosco dove tutti, o quasi tutti, gli alberi sono nati da seme (**fig. 3.12**). Si definisce **fustaia naturale** quella sviluppata da semi provenienti dalle piante presenti nelle aree intorno. Si definisce **fustaia artificiale** quella sviluppata dallo spargimento di semi (o da piantumazione di giovani piante) da parte dell’uomo e provenienti da altri luoghi (in genere vivai forestali). La fustaia artificiale si riconosce in quanto, spesso, le piante sono disposte in modo regolare sul terreno. Un bosco a fustaia coetanea si può classificare in base all’età degli alberi:

- *perticaia giovane*; alberi piccoli e molto fitti;
- *fustaia adulta*; dominanza di alberi adulti;
- *fustaia matura*; con presenza di alberi vecchi o molto vecchi e prossimi a deperire.

Se da un **ceppo** escono più fusti, ci troviamo di fronte ad un **bosco ceduo**, cioè formato dal taglio di piante preesistenti e dal cui ceppo sono stati emessi i **polloni** (**fig. 3.13**). I boschi cedui sono utili per la rapida produzione di legname da ardere o per la costruzione di piccoli pali. Non tutti gli alberi emettono polloni dopo il taglio. Alcuni boschi presentano sia alberi cedui, sia fusti; in tal caso si tratta di *boschi cedui composti*.

Se le piante sono tutte della stessa specie avremo un **bosco puro**. In natura tale situazioni sono rare, solitamente in situazioni ambientali estreme (in alta montagna si possono trovare lariceti e abetine pure). Spesso l’intervento dell’uomo agevola la formazione di tali boschi, sia con gli impianti artificiali monospecifici (con piante tutte della stessa specie), sia favorendo una specie rispetto alle altre, spesso a scapito della fertilità forestale.

Per **bosco misto**, si intende un popolamento formato da due o più specie; se una è molto più abbondante rispetto alle altre, si definisce *dominante*.

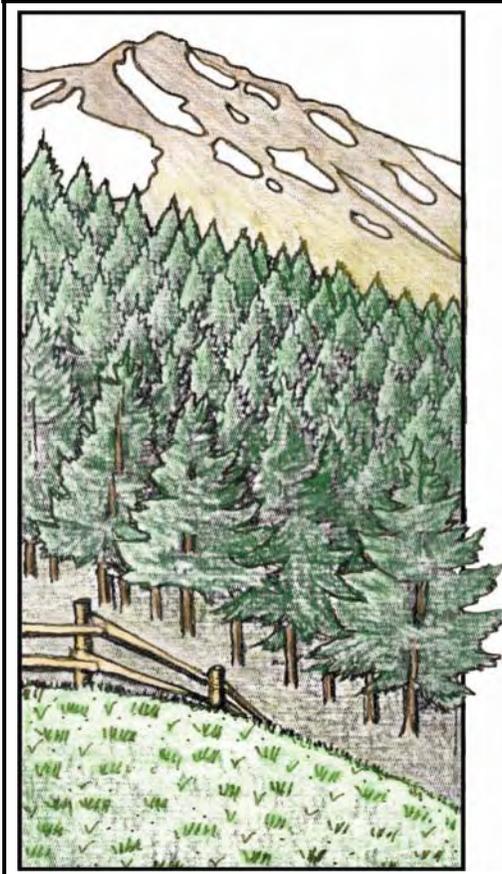


Fig. 3.12 - A sinistra è rappresentata una fustaia monospecifica (dove prevale una specie). A destra è rappresentato un bosco misto.

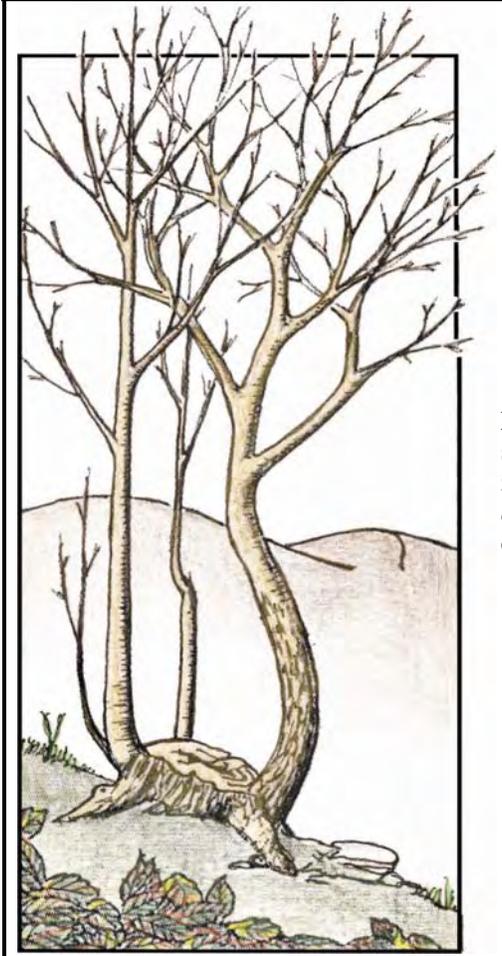
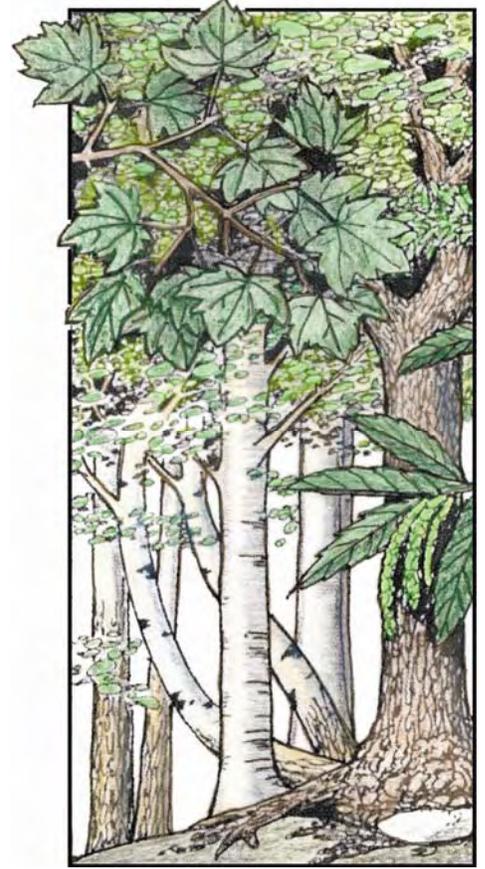
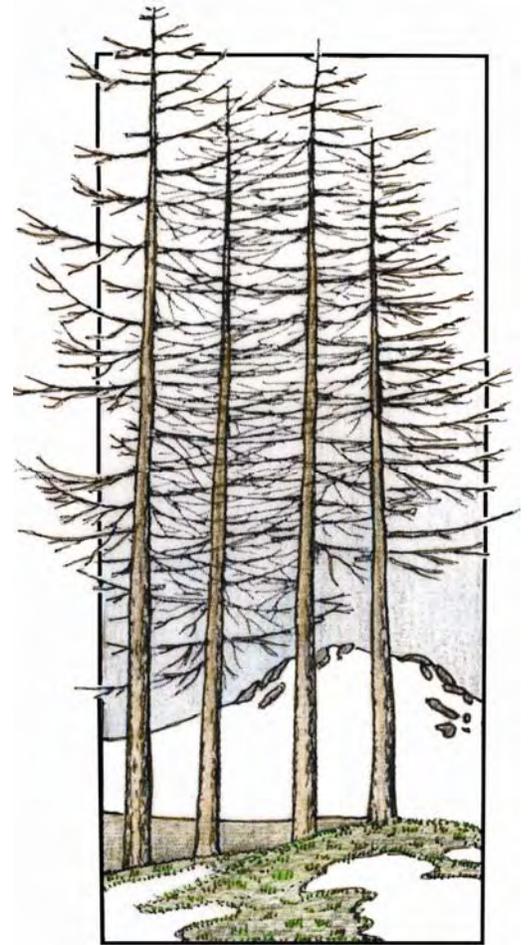


Fig. 3.13 - Un bosco può essere classificato anche in funzione del tipo di governo: *ceduo* (a sinistra) o *fustaia* (a destra).



3.11 - La deforestazione

Molto spesso si usano impropriamente i termini “bosco” e “foresta” con lo stesso significato, ritenendo che la foresta altro non sia che un bosco grande e più fitto. In realtà il bosco è una foresta, o una sua porzione, in qualche modo rimaneggiata, coltivata, usata dall’uomo. Non si può parlare di bosco nel caso di una piccola area di foresta amazzonica abitata dagli aborigeni e poi abbandonata. Si usa correttamente il termine “bosco” dove l’uomo, in modo evidente, ha sostituito le piante che vi crescono spontanee con altre che sono a lui più congeniali o che, per un lungo periodo, ha raccolto, tagliato ed usato le piante della stessa foresta. In Italia, per la presenza massiccia dell’uomo, non esistono più vere foreste. In alcune regioni sono state completamente distrutte o, in limitate porzioni di territorio, sostituite da boschi. Nella pianura padana le antiche foreste di quercia e di carpino (climax quercocarpineteto) sono ormai sostituite da campi coltivati e da boschi di pioppi. Inoltre la riduzione della copertura vegetale produce forti alterazioni idrologiche con incrementi dei deflussi superficiali e dell’erosione (fig. 3.14).

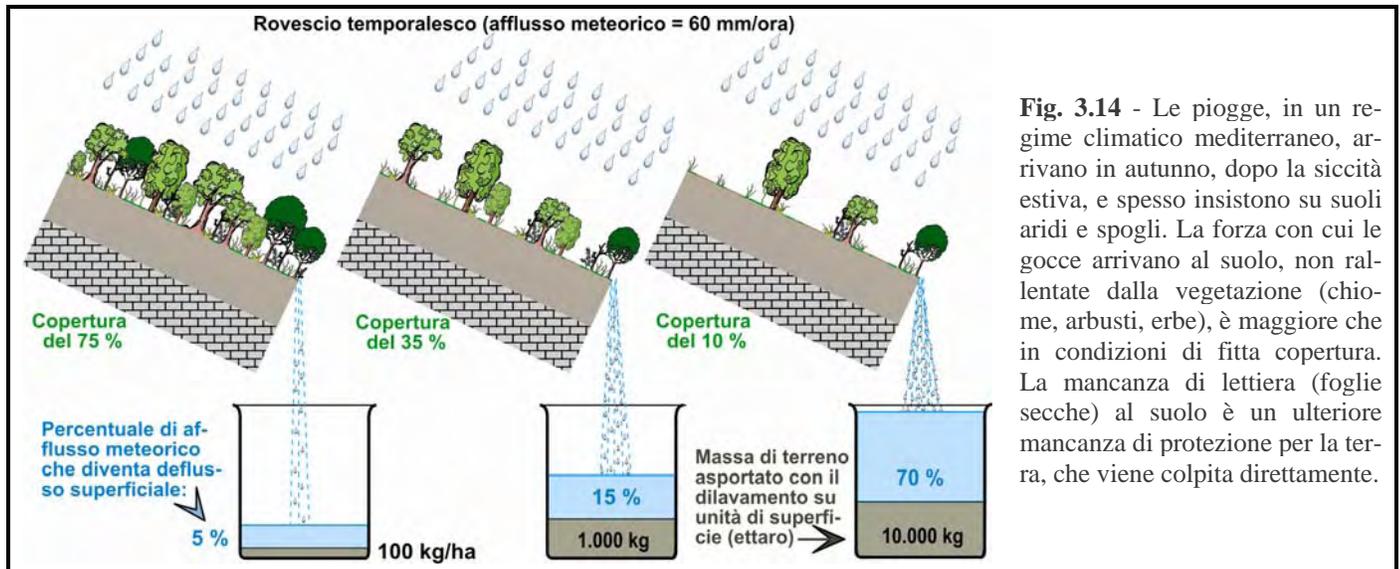


Fig. 3.14 - Le piogge, in un regime climatico mediterraneo, arrivano in autunno, dopo la siccità estiva, e spesso insistono su suoli aridi e spogli. La forza con cui le gocce arrivano al suolo, non rallentate dalla vegetazione (chiome, arbusti, erbe), è maggiore che in condizioni di fitta copertura. La mancanza di lettiera (foglie secche) al suolo è un ulteriore mancanza di protezione per la terra, che viene colpita direttamente.

Su tutte le regioni emerse delle Terra, a parte i deserti e le latitudini ed altitudini più elevate, prevale il climax forestale. Le condizioni fisico-climatiche di tali regioni sono cioè tali che, in assenza di fattori antropici, tendono ad evolvere in foresta in equilibrio con l’ambiente, mantenendosi tale se non intervengono cause esterne a modificare le condizioni naturali del clima e del suolo. Ad eccezione degli abitanti delle praterie del Nord-america e dell’Asia centrale e forse di quelli delle savane africane e di poche altre regioni del globo, in tutte le altre zone l’uomo ha abbattuto le foreste per ottenere aree per coltivare, allevare animali e costruire edifici e vie di comunicazione. Questo fenomeno interessa quasi tutto il Mondo, in particolare le nazioni di più antica civiltà che si affacciano sul Mediterraneo.

Vaste zone sono state disboscate e quasi tutte le regioni mediterranee sono pressoché prive di foreste. Nella catena del Libano sono state abbattute quasi totalmente le formazioni forestali di cedro ed i pochi esemplari sopravvissuti sono racchiusi in un recinto. In Italia il disboscamento è stato

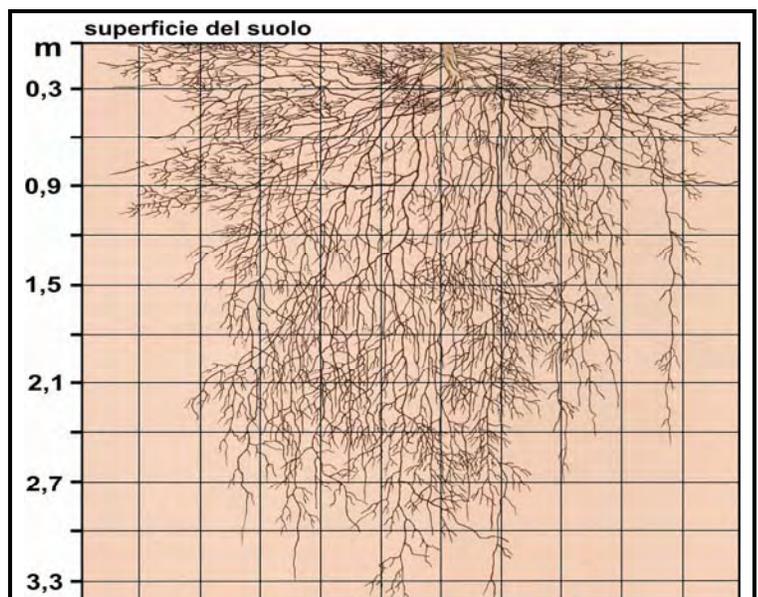


Fig. 3.15 - In questa immagine è illustrato il fitto intreccio delle radici di un melo. L’apparato radicale di una pianta contribuisce alla stabilità del suolo. Le radici operano una azione di “trattenuta” dei detriti anche sui versanti ripidi, limitando l’azione erosiva dell’acqua di ruscellamento.

molto pronunciato sull'Appennino, sia per ottenere legname da costruzione e da ardere, sia per destinare spazi sempre più ampi al pascolo. Nella catena dei monti Sibillini il disboscamento è stato talmente intenso che ora si trovano poche faggete residue, mentre su vaste pendici il suolo, non più trattenuto dalla vegetazione (e soprattutto dalle radici, **fig. 3.15**), è stato asportato; attualmente la roccia nuda affiora ovunque, con una magra vegetazione erbacea.

Alcune specie forestali, quali l'abete bianco ed il pino mugo, una volta presenti sui Sibillini, ora sono scomparsi da questo settore dell'Appennino e altrove sono limitati a poche località. In Sicilia una specie endemica di abete bianco che formava un tempo estese foreste, ora ridotta a pochi esemplari in natura ed in qualche giardino privato. Sulle Alpi, nonostante il disboscamento, grazie alle condizioni ambientali più sfavorevoli per gli insediamenti umani, i boschi hanno potuto conservarsi meglio rispetto all'Appennino. In pianura residui di foresta sono rimasti in aree limitate, in quanto utilizzate un tempo come riserve di caccia ed oggi protette con l'istituzione di parchi.

Quanto è successo in Italia ed in Europa nei secoli scorsi a spese della foresta mediterranea e boreale è avvenuto recentemente (e sta avvenendo) anche in Africa ed in Sudamerica. Esempi di disboscamenti potrebbero essere illustrati per quasi tutte le regioni della Terra, determinando gravi problemi per l'erosione del suolo.

3.12 - L'erosione del suolo

La formazione di un suolo, grazie ai processi della pedogenesi (precedentemente descritti), avviene in tempi molto lunghi, secoli o anche millenni e addirittura geologici. Lo sviluppo della vegetazione è fortemente condizionato dalla presenza del suolo. Esso è un fattore economico di importanza fondamentale per la natura in generale e per la vita dell'uomo, in quanto ad esso è legata una delle sue attività principali, l'agricoltura. Inoltre la conservazione del suolo è essenziale per il mantenimento degli equilibri naturali

Il disboscamento, oltre a privare gli ambienti naturali di una importante ricchezza vegetale, è causa di notevoli modificazioni geomorfologiche ed idrologiche di vaste porzioni di territorio che ospitano complesse comunità biologiche. Le caratteristiche del terreno vengono rapidamente alterate, anche soprattutto per la mancata azione di "tenuta" del terreno offerto dagli apparati radicali delle piante (**fig. 3.15**). Si ha un forte aumento dell'irraggiamento solare (un bosco con fitta vegetazione assorbe fino all'80 % della luce incidente). Aumenta la temperatura del terreno con conseguente perdita di umidità, essenziale per la crescita dei vegetali. La progressiva perdita di acqua comporta l'alterazione fisica e chimica del suolo sconvolgendo l'equilibrio che esso aveva acquisito, in tempi molto lunghi, con l'ambiente circostante. Le acque delle piogge, non più trattenute dall'orizzonte più superficiale, comportano un aumento dell'erosione e contribuiscono ulteriormente alla modificazione della tessitura e composizione del terreno (**fig. 3.14**). Questa rivoluzione ambientale determina un cambiamento della comunità biologica impoverendola con la scomparsa di molti animali e vegetali. La distruzione di un bosco determina la scomparsa di un ambiente caratterizzato da un delicato equilibrio raggiunto dopo una evoluzione avvenuta in tempi molto lunghi, la diminuzione della biodiversità (scomparsa di specie vegetali ed animali), un aumento dell'erosione, del trasporto solido e dell'accumulo di sedimenti nei bacini (**fig. 3.16**), cioè di quell'insieme di fenomeni che sono caratteristici del *dissesto idrogeologico*.

Da queste considerazioni deriva la necessità di tutelare il suolo con il massimo impegno (**scheda 3.8**), impedendo che gli agenti della disgregazione fisica (acqua e aria) lo distruggano. Naturalmente non è possibile annullare l'erosione, in quanto si tratta di un insieme di fenomeni naturali che esistono da sempre, ma è fondamentale ridurre almeno l'efficacia, soprattutto in quelle situazioni dove cause di tipo antropico hanno determinato un accentuarsi di tali fenomeni (*erosione accelerata*). Versanti privati dalla copertura vegetale (**fig. 3.16**) per svilupparvi le colture agrarie, sono frequentemente soggetti ad erosione accelerata. Aree un tempo coltivate e poi abbandonate possono essere soggette, prima che la vegetazione spontanea possa costituire una protezione efficace, a vistosi fenomeni di erosione a causa dell'assenza delle cure di manutenzione delle strutture (canali di drenaggio, muretti di sostegno, ecc...) utili per la difesa del terreno.

La grandiosità del fenomeno erosivo è evidente dalla grande quantità di suolo che viene annualmente asportata dai campi e dai prati che, per esempio, negli Stati Uniti è stata valutata pari a circa tre miliardi di tonnellate. In Italia l'asportazione del suolo derivato dal disfacimento delle formazioni argillose (sei milioni di ettari, circa l'80 % della superficie agraria) è pari a $1.000 \div 7.000 \text{ m}^3$, con valori massimi di 11.000 m^3 . È evidente che le opere di difesa, soprattutto con le tecniche della bioingegneria naturalistica (che utilizza metodi basati non tanto sul cemento, ma sulla

capacità della vegetazione di colonizzare e consolidare i terreni) dovrebbero essere adeguate alla gravità dei fenomeni erosivi, ma fino ad ora, in tutte le nazioni del Mondo, tali opere sono nettamente inferiori alle necessità.

Circa il 40 % della superficie dei continenti non è adatta a colture agricole ed oltre il 30 % è ancora ricoperta da foreste che andrebbero conservate. I terreni più fertili coltivati costituiscono solo il 10 % della superficie totale. Negli ultimi due secoli la produzione agraria mondiale è continuamente cresciuta con l'incremento della messa a coltura di porzioni sempre più vaste di terreni. Tale processo è stato facilitato dallo sviluppo industriale che ha fornito i mezzi meccanici per le attività agrarie le quali, tra l'altro, hanno ampiamente goduto dei vantaggi derivati dallo sviluppo delle conoscenze nel campo della biologia dei vegetali. Si potrebbe quindi pensare che esistano le condizioni per soddisfare le crescenti necessità della popolazione mondiale. Tuttavia vi sono alcune osservazioni che smentiscono le posizioni ottimistiche sul futuro del nostro pianeta.

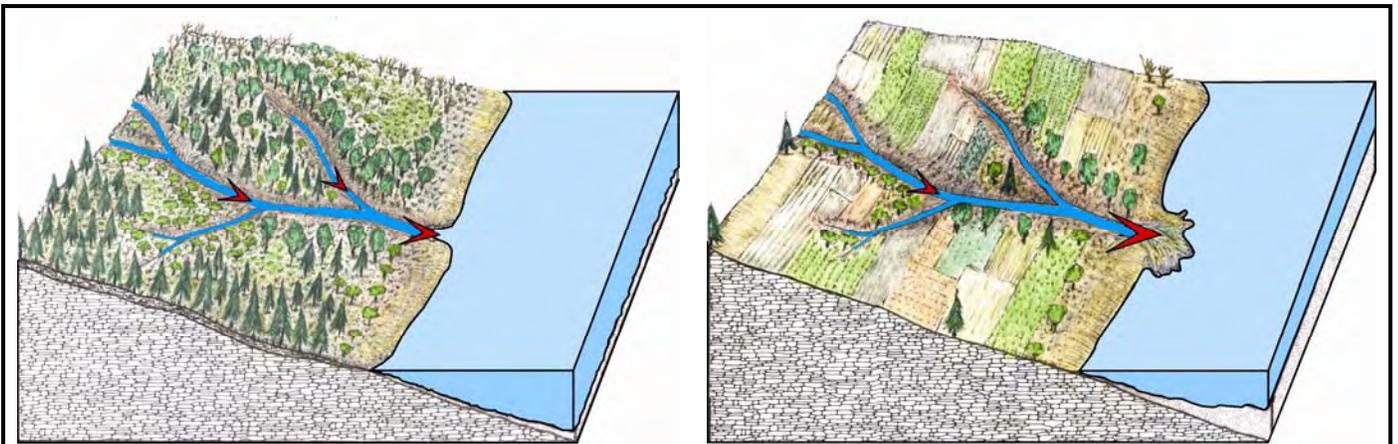


Fig. 3.16 - Un versante ben protetto dalla vegetazione naturale (a sinistra) presenta un suolo profondo ed è scarsamente interessato da fenomeni erosivi. Il disboscamento, per far spazio alle pratiche agricole, comporta un notevole incremento dell'erosione, l'asportazione del suolo, l'aumento del trasporto solido e l'accumulo di sedimenti a valle (a destra).

Nel mondo esistono vaste aree, produttive in passato, ora diventate sterili. Questo deterioramento è dovuto a variazioni climatiche (Asia centrale), all'incremento dell'erosione (Europa meridionale, U.S.A. orientali, aree tropicali umide), alla salinizzazione ed alcalinizzazione di terreni irrigati (Mesopotamia, Egitto, Africa meridionale, California). Lo sfruttamento irrazionale del terreno e scorrette pratiche agrarie sono causa della perdita di fertilità. Occorre ricordare il progressivo estendersi dei deserti in tutto il mondo, sia per fenomeni naturali, sia per l'eccessivo sfruttamento delle aree limitrofe e soprattutto per il riscaldamento climatico degli ultimi decenni. Qualunque aumento della produzione agraria con ipersfruttamento e con la degradazione del terreno comporta, in tempi medi e lunghi, l'impovertimento delle risorse. L'uso del suolo dovrebbe invece avvenire in modo tale da assicurare la sua produttività anche per il futuro.

SCHEDE 3.1 - Considerazioni sulla definizione di suolo

Finché non vi fu vita sulle terre emerse, non vi fu suolo nel senso proprio della parola. Le rocce erano direttamente esposte agli agenti dell'alterazione chimica, della disgregazione fisica ed all'erosione, in un ambiente privo di vita. A partire dall'era paleozoica (~ 600 milioni di anni fa), con la colonizzazione delle terre emerse da parte dei viventi, le rocce ed i loro prodotti residuali, poi trasformati in suoli, si sono lentamente evoluti secondo la diversa influenza della vegetazione e della fauna.

Il vulcanesimo, le glaciazioni, l'erosione, la sedimentazione..., hanno interferito con la genesi e l'evoluzione dei suoli, modificando le superfici, i minerali e le condizioni bioclimatiche con cui si trovano in equilibrio. Pochi *suoli relitti* (*vetusuoli*) conservano caratteri legati a condizioni bioclimatiche molto antiche. La maggior parte dei suoli attuali si è formata durante il quaternario ed è legata alla storia geologica, climatica e botanica degli ultimi due milioni di anni. I cambiamenti climatici e vegetazionali, i cicli di erosione e rideposizione eolica e fluvio-glaciale, il livello dei mari e gli agenti geotettonici che perdurano fin dal pleistocene, sono alla base delle profonde variazioni del substrato su cui il suolo si è evoluto e si evolve e sono responsabili, in certi casi, dell'interruzione della pedogenesi per seppellimento di suoli già formati.

La genesi del suolo, la sua descrizione e classificazione sono oggetto della **pedologia** (dal greco *pedon* = suolo), scienza che considera il suolo come un corpo naturale in un dato luogo (*stazione*), nell'ambito di un determinato *paesaggio*. Le proprietà del suolo, le loro reciproche relazioni e quelle con la nutrizione e la crescita vegetale sono oggetto dell'**edafologia** (dal greco *edaphos*

= nutrimento) che studia, in termini fisici, chimici e biologici, le ragioni della *fertilità* e la possibilità di conservazione od incremento della *produttività*. I due aspetti (pedologico ed edafico) sono interdipendenti: la funzionalità e la produttività di un suolo sono strettamente legate al sito in cui esso si trova e alla sua “storia”.

Una definizione potrebbe essere la seguente: **il suolo è un corpo tridimensionale, non consolidato, prodotto dalla trasformazione di sostanze minerali ed organiche primarie sulla superficie della Terra sotto l'azione dei fattori ambientali che hanno operato e operano per tempi generalmente lunghi**. Volendo generalizzare il concetto di suolo anche dal punto di vista geologico dovremmo limitarci ad una definizione globale, indipendente dal tempo e dal luogo in termini planetari, sufficiente a discriminare il suolo da un sedimento: **il suolo è un materiale presente sulla superficie della Terra, alterato in situ da agenti fisici, chimici o biologici o dalla loro combinazione**.

Il suolo può essere considerato un corpo naturale che spesso consiste di “strati”, od **orizzonti** (5 in **fig. 3.1** e **fig. 3.3**), grossolanamente sovrapposti, di spessore variabile e costituiti da materiali minerali e/o organici che, per proprietà morfologiche, chimiche, fisiche e biologiche, sono diversi da quelli da cui hanno avuto origine, cioè dalla **roccia madre** e dai **residui della biomassa**. Alcune di queste proprietà si sviluppano nel corso della **pedogenesi** (evoluzione del suolo), mentre altre sono ereditate e gli orizzonti possono essere più o meno espressi a seconda soprattutto del contenuto di sostanza organica, silicati, carbonati o ossidi di ferro e di alluminio.

Al variare delle condizioni ambientali i tipi e le intensità dei processi pedogenetici cambiano e danno origine a suoli diversi, talora unici. Da ciò si deduce che la complessità è un carattere comune a tutti i suoli. Un suolo “semplice” può evolvere, sotto l'influenza di un unico fattore pedogenetico e ciò è molto raro in quanto il suolo è, per sua natura, condizionato da situazioni ambientali multivariate. L'osservazione, anche casuale, del suolo in spaccati naturali, lungo strade o in scarpate, consente infatti di verificare che, in questo *ricoprimento continuo* della superficie, esiste grande variabilità, anche solo nel colore, nella consistenza, nell'umidità, ecc...

La scienza, pur riconoscendo questa variabilità non solo esteriore, ma anche intrinseca, è riuscita ad individuare la presenza di proprietà e caratteristiche comuni in suoli di zone anche molto lontane tra loro e in ambienti diversi; è stato possibile quindi razionalizzare lo studio del suolo e indicarne il valore come risorsa non riproducibile.

Il suolo, come risorsa, è qualcosa di più di un semplice mezzo di crescita dei vegetali. Esso è un sistema dinamico aperto, formidabile trasformatore di energia, in cui compiono il loro ciclo biologico miriadi di organismi, che serve come “discarica” naturale dei residui animali e vegetali o come filtro di sostanze tossiche ed è infine il “magazzino” degli elementi nutritivi. L'uomo dipende dal suolo e, in un certo senso, oggi più che mai, il suolo dipende dall'uomo; si tratta infatti di un corpo naturale su cui si insediano i vegetali o che, al contrario, soggiace alle fondamenta di edifici e strade o assorbe scarichi agricoli, industriali e urbani e può andare incontro a processi distruttivi. Questi sono accentuati dalla mancata conoscenza della genesi, della funzionalità, degli equilibri e delle attitudini di questo complesso ecosistema.

SCHEDA 3.2 - I microrganismi del suolo

I microrganismi del suolo sono molto numerosi ed importanti, tanto da costituire un vero e proprio settore della pedologia. Tra essi ne ricordiamo alcuni.

- **Batteri della rizosfera** (strato di terreno nel quale affondano le radici dei vegetali di superficie). Soprattutto eterotrofi, talora autotrofi e saprofiti, in grado di utilizzare tutte le forme carboniose facilmente decomponibili (zuccheri semplici, amido, pectine, emicellulose e cellulosa), nonché le fonti di azoto (proteine, peptidi, amminoacidi). Sono importanti i *batteri nitrificanti* che ossidano l'ammonio (prodotto della decomposizione dei composti contenenti azoto) a nitrito e nitrato ($\text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{NO}_2^- \Rightarrow \text{NO}_3^-$). I *batteri azotofissatori*, talora simbiotici con le leguminose, riducono l'azoto atmosferico ad azoto legato organicamente, con conseguente arricchimento di tale elemento nel terreno. Altri batteri, in condizioni riducenti, operano una denitrificazione, cioè la reazione inversa, mentre altri ancora sono in grado di ossidare composti dello zolfo, del ferro e del manganese in minerali contenenti elementi necessari in minori quantità, ma indispensabili per le piante.
- **Attinomiceti**. Batteri a forma di filamenti ramificati. Aerobi, eterotrofi e saprofiti, utilizzano le sostanze difficilmente decomponibili, quali la lignina, e talora sono azotofissatori.
- **Funghi**. Unicellulari e pluricellulari. I secondi formano un *micelio*, insieme di filamenti, detti *ife*, che sviluppano una fitta trama nelle porzioni superficiali del suolo; sono aerobi, eterotrofi e prevalentemente saprofiti e traggono energia dai polisaccaridi. Molti di essi sono simbiotici con le radici di piante arboree e il loro micelio ha funzioni di capillizio radicale (una sorta di espansione della trama delle radici, utile per migliorare la capacità di emungimento dell'acqua presente nel terreno); tale simbiosi viene detta *micorriza*.
- **Alghe**. Unicellulari fotosintetici; richiedono ambienti umidi e luminosi; quindi sono limitati alla superficie del suolo.
- **Licheni**. Alghe simbiotici con funghi.
- **Muschi**. Vegetali pluricellulari fotosintetici, con corpo distinto in porzioni specializzate. Licheni e muschi sopravvivono in ambienti difficilmente colonizzabili; contribuiscono alla formazione di un substrato adatto per l'insediamento successivo di altri viventi.

SCHEDA 3.3 - I colloidi

Le diverse sostanze presenti in natura sono più o meno solubili in acqua; in teoria quasi tutte, in quanto anche le meno solubili, con il tempo, possono sciogliersi. Le sostanze solubili formano con l'acqua **soluzioni**, miscugli omogenei in cui solvente e soluto sono indistinguibili anche al microscopio. Quelle insolubili, in certe condizioni, possono formare con l'acqua miscugli che, diversamente dalle soluzioni, sono eterogenei: le parti che le compongono sono distinguibili. Per esempio miscelando acqua e olio, il secondo si separa ed avendo densità minore, galleggia sulla prima; ma agitando tale miscuglio l'olio si disperde in minute goccioline, anche invisibili ad occhio nudo, ottenendo così una **emulsione**. In questa situazione la somma delle superfici di contatto delle innumerevoli sferette con il mezzo circostante è notevolmente superiore alla superficie di contatto acqua - olio con le due fasi nettamente separate ed aumenta con il diminuire delle dimensioni delle particelle d'olio. Questo fatto è molto importante in natura perché la superficie di contatto fra le due fasi è sede dell'attività di microrganismi in grado di metabolizzare l'olio. Non sempre si possono distinguere nettamente i sistemi omogenei da quelli eterogenei perché esiste un terzo tipo di dispersione in cui le particelle non si distinguono al microscopio come nelle emulsioni, ma neppure sono costituite da singoli atomi o da singole molecole come nelle soluzioni. Si tratta di una situazione intermedia detta **dispersione colloidale**.

Alcune proprietà del sistema suolo - pianta dipendono dai fenomeni di flocculazione e dispersione legati allo stato colloidale di alcune frazioni che lo compongono. Lo **stato colloidale** si riferisce ad un sistema a due fasi di cui una, detta *sol*, composta di particelle di piccolissime dimensioni, è dispersa in un'altra continua che può essere un solido, un liquido o un gas. Il sistema colloidale del suolo comprende, come fase dispersa, le particelle dell'argilla e dell'humus (con dimensioni inferiori a millesimi di millimetro) e come mezzo disperdente l'acqua.

Quando le singole particelle argillose disperse nell'acqua si riuniscono in aggregati più complessi, si ha il fenomeno della **coagulazione** (o **flocculazione**). Un fenomeno opposto è la **disgregazione** (o **peptizzazione**) che si verifica quando un colloide coagulato ritorna allo stato disperso. La coagulazione è generalmente determinata dalla presenza nell'acqua di una certa quantità di sali, i cui cationi (ioni con carica positiva) neutralizzano le cariche negative delle particelle, le quali, non più respinte le une dalle altre, si avvicinano per effetto della tensione superficiale. Nei terreni la flocculazione determina la formazione di **grumi**, cioè dello stato di aggregazione micellare, che favorisce l'areazione ed i movimenti dell'acqua; mentre la deflocculazione provoca una eccessiva compattezza ed impermeabilità allo stato asciutto ed una soverchia vischiosità allo stato umido.

SCHEDA 3.4 - Caratteri fisici del suolo

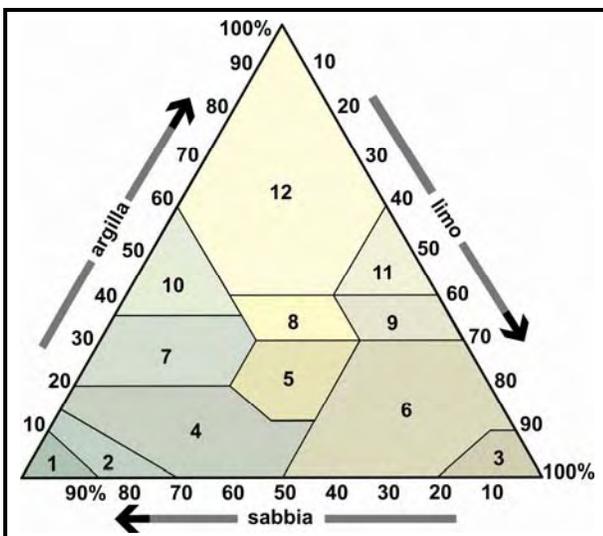


Fig. 3.17 - Diagramma triangolare relativo alla tessitura del suolo in funzione delle % di argilla, limo e sabbia. Il suolo può essere sabbioso (1), sabbioso franco (2), limoso (3), franco sabbioso (4), franco (5), franco limoso (6), franco sabbioso argilloso (7), franco argilloso (8), franco limoso argilloso (9), argilloso sabbioso (10), argilloso limoso (11) e argilloso (12).

Nei suoli minerali il **peso specifico** è condizionato soprattutto dalle particelle minerali ($2,6 \div 2,9 \text{ g/cm}^3$), con valori vicini a quello del quarzo, prevalente nei suoli sabbiosi. La presenza di ossidi di ferro e di metalli pesanti contribuisce ad aumentare il peso, mentre l'humus ($\sim 1,4 \text{ g/cm}^3$) lo diminuisce. In sintesi il peso specifico del suolo, secondo le proporzioni delle due frazioni, è pari a $2,4 \div 2,7 \text{ g/cm}^3$.

Le particelle minerali hanno dimensioni molto variabili: la divisione in classi dimensionali (**tab. 3.1**) è utile per classificare la componente minerale del suolo. La presenza di *terra fine*, cioè di sabbia, limo e argilla, caratterizza la **tessitura**; essa può essere sabbiosa, limosa o argillosa, secondo la prevalenza di una delle tre componenti, ovvero franca se nessuna di essa è dominante. Queste diverse denominazioni (esprese secondo il rapporto tra le componenti granulometriche della terra fine; **fig. 3.17**) sono legate a differenti caratteristiche di lavorabilità del suolo, di drenaggio, di compattazione, ecc....

Lo stato di aggregazione delle frazioni minerali ed organiche determina la **struttura** del suolo. Le varie particelle si impaccano e si uniscono formando un continuum spaziale di aggregati; possono essere ricoperti da ossidi e idrossidi o di carbonati o di argilla o di sostanza organica che contribuiscono alla loro stabilità. La resistenza meccanica che il suolo oppone alla penetrazione delle radici rappresenta la sua **consistenza**, mentre la capacità di mutare forma in seguito all'applicazione di una forza e poi conservarla è la **plasticità**. Tali caratteristiche dipendono dall'effetto complessivo della tessitura, della presenza di sostanza organica, della struttura e del contenuto d'acqua.

Una proprietà molto importante è la **temperatura** in grado di condizionare struttura e porosità del suolo, la vita della biomassa microbica, delle radici e la germinazione dei semi. Anche dal punto di vista pedogenetico questo parametro influisce sui processi di alterazione, soprattutto termoclastica e crioclastica, di ossidoriduzione, di mineralizzazione e di umificazione. Nel bilancio termico del suolo fondamentale è la radiazione solare che dipende dalla quota, dalla latitudine, dall'esposizione e dalla copertura

vegetale. Solo il 10 % circa dell'energia solare contribuisce effettivamente ad aumentare la temperatura del suolo, essendo il resto perso prevalentemente per irraggiamento o sfruttato nei fenomeni di evapotraspirazione dell'acqua dal suolo e dai vegetali, ovvero utilizzato per la fotosintesi. Un contributo si ha anche dall'energia geotermica e dalle reazioni esotermiche, soprattutto dai processi respiratori e fermentativi. Le perdite di calore sono quelle per irraggiamento ed evaporazione dell'acqua. Il bilancio dipende anche dalla *capacità termica* del suolo in funzione del suo calore specifico. Nel suolo le diverse frazioni hanno un calore specifico diverso (acqua = 1 cal/°C/g, aria e minerali 0,2 cal/°C/g, sostanza organica 0,4 cal/°C/g) e poiché il contributo maggiore è quello dell'acqua il suo valore dipende dalle condizioni di umidità del suolo.

Il **colore** dipende dalla presenza di sostanza organica (che rende scuro il terreno), di ossidi o di composti ridotti, di calcare e soprattutto d'acqua. Esso può essere descritto per mezzo di tavole di confronto, secondo le quali ogni possibile colore di un suolo è indicato con una designazione per la composizione spettrale, per la cromaticità e per la nitidezza. Poiché possono essere presenti più orizzonti e in ciascuno di essi si possono osservare screziature, laccature, noduli o concrezioni, di norma ciascuna di queste figure pedologiche riceve la designazione del suo colore.

SCHEDA 3.5 - La capacità d'uso delle terre

La capacità d'uso delle terre (*Land Capability Classification* - Soil Conservation Service - U.S.D.A., 1967) è un sistema di classificazione dei suoli fondato sulla valutazione delle risposte produttive alle pratiche agricole e forestali, in relazione alle limitazioni intrinseche ed all'uso. Alcune di queste limitazioni, per quanto permanenti, se di modesta entità, possono essere modificate con un attento e corretto intervento di governo, che consente un uso più favorevole dal punto di vista produttivo. Essa è divisa in otto classi, ciascuna delle quali comprende diverse sottoclassi in funzione dei caratteri limitanti prevalenti.

CLASSE I - Privi o quasi di limitazioni, adatti per molte colture agrarie (erbacee e arboree). Molto fertili, da piani a lievemente ondulati, senza pericoli di erosione, profondi, ben drenati e facilmente lavorabili. Ben provvisti di nutrienti, notevolmente rispondenti alle fertilizzazioni. Non soggetti ad inondazioni dannose se non eccezionalmente. Molto produttivi e adatti a coltivazioni intensive. Localmente possono richiedere interventi di drenaggio. Clima idoneo per molti tipi di colture.

CLASSE II - Moderate limitazioni riducono la produzione delle colture o richiedono interventi per migliorare le proprietà del suolo. Utilizzabili per colture agrarie (erbacee e arboree). Fertili, da piani ad ondulati, profondi o poco profondi, con moderate limitazioni singole o combinate: moderata pregressa erosione, profondità non eccessiva, struttura e lavorabilità meno favorevoli, scarse capacità di trattenere l'umidità, ristagno solo in parte modificabile con drenaggi, periodiche inondazioni dannose. Clima idoneo per molti tipi di colture. Principali limitazioni: idromorfia e difficoltà di drenaggio interno, scarsa profondità, pietrosità (eccesso di scheletro), tessitura eccessivamente sabbiosa e bilancio idrico sfavorevole.

CLASSE III - Alcune limitazioni riducono la scelta e la produzione delle colture. Le pratiche colturali devono essere più accurate. Si usano per colture agrarie (erbacee e arboree), pascolo, arboricoltura e bosco. Mediamente fertili, da lievemente ondulati a moderatamente acclivi, da profondi a superficiali, soggetti a scarsi pericoli di erosione, interessati da medi o forti effetti di erosione pregressa. Le limitazioni restringono il periodo utile per l'aratura, la semina e il raccolto dei prodotti. Possono presentare: umidità eccessiva anche se drenati, orizzonti compatti a scarsa profondità che limitano il radicamento e stagionalmente provocano ristagno d'acqua, mediocre fertilità difficilmente modificabile. Clima idoneo ad un minor numero di colture. Principali limitazioni: idromorfia superficiale e drenaggio interno lento o impedito, superficialità del suolo, presenza di orizzonti compatti.

CLASSE IV - Molti limiti per la scelta delle colture e con adeguate pratiche agronomiche. Se coltivati, è necessaria una gestione accurata, con pratiche di conservazione più difficili da applicare e mantenere. Utilizzabili per colture agrarie (erbacee ed arboree), pascolo, arboricoltura e bosco. Anche fertili, ma generalmente posti su pendici con medie acclività. L'utilizzo per le colture è limitata a causa di: pendenza, suscettibilità all'erosione e agli smottamenti, forti effetti delle erosioni pregresse, superficialità, bassa capacità di ritenuta idrica, umidità eccessiva anche dopo interventi di drenaggio, clima moderatamente sfavorevole per molte colture. Particolari trattamenti e pratiche colturali sono richiesti per evitare l'erosione del suolo, per conservarne l'umidità e mantenere la produttività con applicazioni più intense e frequenti che nei suoli della classe III. Principali limitazioni: acclività, eccesso di pietrosità interna al profilo, suoli torbosi e/o eccessivamente idromorfi.

CLASSE V - Forti limitazioni che ne restringono l'uso, salvo casi particolari, al solo pascolo o bosco. Le limitazioni sono dovute a frequente inondabilità, lungo i corsi d'acqua in pianura, o ad eccessiva pietrosità, a pendenza media ed elevata, a condizioni climatiche sfavorevoli. In pianura le superfici interessate sono poste lungo le principali aste fluviali o in zone depresse; sui versanti alpini costituiscono invece la fascia di raccordo tra i suoli delle prime quattro classi (per lo più adatti all'agricoltura) ed i suoli delle classi superiori (decisamente inadatti all'agricoltura).

CLASSE VI - Limitazioni molto forti. Uso generalmente limitato a pascolo o al bosco. Le limitazioni di carattere climatico o pedologico sono più diffuse e riguardano: degradazione del suolo, forti pendenze, superficialità del suolo, pietrosità, rocciosità, inondabilità, clima sfavorevole. Le caratteristiche fisiche possono prevedere localmente interventi di miglioramento del pascolo, con semine, calcitazioni, spietramenti e fertilizzazioni.

CLASSE VII - Limitazioni fortissime. Utilizzabili per il pascolo, per il turismo di tipo naturalistico e per la protezione della fauna. Le limitazioni sono: estesa presenza di rocce e pietre, superficialità e degradazione dei suoli, erosione, acclività accentuata, acque stagnanti, inondabilità e clima sfavorevole. Alcune aree di questa classe possono richiedere semine o piantagioni a protezione del suolo, per evitare danni alle aree adiacenti.

CLASSE VIII - Limitazioni tali da precludere il loro uso per fini produttivi. Si possono utilizzare per il turismo di tipo naturalistico e per la protezione della fauna. Le limitazioni, molto severe, singole o combinate, sono: acclività, erosione, assenza o superficialità di suolo, rocciosità, pietrosità, quote elevate, clima molto sfavorevole.

SCHEDA 3.6 - I piani altitudinali della vegetazione

È importante, osservando e descrivendo un bosco, segnalare l'altitudine, il versante orografico sul quale è impostato, l'orientamento della valle e la pendenza del terreno (se in collina o in montagna). Infatti ogni tipo di bosco è caratteristico di una precisa fascia altimetrica prediligendo determinati terreni, esposizioni e con diverse esigenze in fatto di umidità e di suoli. Quelli che i fitogeografi definiscono con il termine di **climax** corrispondono, in natura, agli stadi ottimali raggiunti dai vari tipi della vegetazione, quando questa non sia influenzata dalle attività umane. Ogni climax, semplificando molto, corrisponde ad un clima ben determinato; in realtà, pur riconoscendo ai fattori climatici particolare importanza, tale concetto andrebbe esteso anche a tutto l'insieme delle caratteristiche fisiche dell'ambiente. Allo scopo di prospettare un quadro esemplificativo completo delle successioni delle diverse situazioni climatiche caratteristiche del territorio italiano, sono stati individuati, secondo quanto proposto dal botanico S. PIGNATTI (1965), i seguenti **piani altitudinali** della vegetazione:

- **piano mediterraneo**; climax del leccio e del pino domestico (oltre a olivo, pino d'Aleppo, carrubo) dal livello marino fino all'altitudine di 800 m sui versanti esposti al mare; si tratta di piante spesso sempreverdi, con foglie coriacee in grado di sopravvivere nei periodi di siccità estiva;
- **piano collinare**; climax del bosco di roverella (talora del castagno o del pino silvestre) ai piedi delle Alpi, sull'Appennino e sui monti delle isole, da 100 a 1.000 m s.l.m.; piante eliofile, cioè amanti del forte irraggiamento solare;
- **piano padano**; climax del bosco misto di latifoglie composto da querce, aceri, tigli, carpini e frassini, in tutta la pianura Padana, fino a 200 m di quota; anche in questo caso si tratta di piante eliofile;
- **piano submontano**; climax del faggio (talora con varianti verso il castagneto ed il querceto acidofilo e spesso con la presenza dell'abete bianco) sulle Alpi (500 ÷ 1.000 m s.l.m.) e sull'Appennino (sopra i 1.000 m di quota); sono boschi costituiti da piante sciafile, cioè che non hanno bisogno di una forte illuminazione; si tratta sempre di latifoglie (caduche), come la maggior parte delle precedenti, ma in grado di sopravvivere anche in ambienti relativamente freddi;
- **piano montano**; climax del bosco di abete rosso (spesso con presenza di abete bianco, faggio, acero montano ed anche di pino silvestre) sulle Alpi (1.000 ÷ 1.400 m s.l.m.) e sull'Appennino (intorno a 1.500 m s.l.m., talora sostituito dal pino nero e dal pino loricato); sono boschi misti di latifoglie (caduche) e di conifere;
- **piano subalpino**; climax del bosco dell'abete rosso (spesso con larici e pini silvestri) sulle Alpi (1.400 ÷ 1.800 m s.l.m.) e sull'Appennino (fino a 2.000 m di quota); si tratta di boschi di conifere, spesso monospecifici; al passaggio con il piano successivo si colloca, in genere il *limite superiore della vegetazione forestale*;
- **piano alpino inferiore**; climax della boscaglia a rododendro, ontano verde, pino mugo (con portamento arbustivo e contorto), mirtilli (talora con boschi limitati di larici e/o pini cembri) fino a 2.400 m s.l.m. sulle Alpi ed a quote superiori sull'Appennino;
- **piano alpino**; climax delle steppe e delle praterie, dei salici prostrati e dei pascoli alto-alpini, fino a 2.700 m sulle Alpi;
- **piano nivale**; climax dei licheni crostosi, fino al limite inferiore delle nevi perenni.

Scheda 3.7 - L'impronta ecologica

Immaginiamo una porzione di territorio (comprensivo di un centro abitato, di una porzione di campagna e di qualche bosco) sotto una cupola trasparente alla luce solare ed in grado di impedire a qualunque materia di entrare ed uscire, cioè un sistema chiuso (**fig. 3.18**). I cittadini della cupola vivono sulla base delle risorse naturali (energia e materie) che solo quel territorio produce e dei rifiuti che esso riesce a smaltire: *la superficie coperta dalla cupola è l'impronta ecologica della comunità sottostante*.

La definizione di impronta ecologica è la seguente: *area totale di ecosistemi terrestri ed acquatici richiesta per produrre le risorse che la popolazione di una comunità consuma ed assimilare i rifiuti che la popolazione stessa produce*. Per ritornare all'esempio succitato il valore dell'area da considerare non è quella totale sotto la cupola, in quanto da essa occorre sottrarre una frazione, stimata intorno al 12 %, per sostenere le altre comunità viventi (biodiversità) con le quali l'uomo deve convivere. Con il calcolo dell'impronta ecologica si ottiene la misura della porzione di territorio che deve essere sfruttata per produrre le varie categorie merceologiche e soprattutto per sostenere le condizioni di vita di una singola persona, di una famiglia, di una comunità, di una nazione o del Mondo intero e viene espressa, per esempio, in metri quadrati [m²] o in ettari [ha]¹.

Nel calcolo dell'impronta ecologica un ruolo fondamentale è rivestito dalla pedosfera, la cui importanza per gli ecosistemi terrestri è evidenziata nella **fig. 3.2** e ribadita nella **scheda 3.1**. Dobbiamo infatti riflettere sul fatto che le terre emerse (1,5·10⁸ km²) costituiscono la frazione minore (circa il 30 %) della superficie terrestre totale (5,1·10⁸ km²). Una parte di esse inoltre

¹ L'ettaro (simbolo "ha"), seppure molto utilizzata, non è un'unità di misura riconosciuta nel sistema internazionale scientifico. Più corretto sarebbe utilizzare l'ettometro quadrato [hm²] che corrisponde all'area di un quadrato di lato 1 hm (100 m).

(ghiacciai, deserti, nude rocce alle altitudini più elevate) è priva di una qualunque copertura detritica assimilabile ad un “suolo”. Pertanto sono relativamente limitate le aree “coperte” da suoli in grado di sviluppare quel complesso di fenomeni fisici, chimici e biologici che sono alla base dei cicli degli elementi che permettono la vita sulle terre emerse (fig. 3.19). Ebbene proprio questa limitata estensione delle terre emerse è quella che produce la maggior parte dell’energia e delle risorse materiali naturali necessarie alle attività umane. Il suolo quindi ha un’importanza strategica per il pianeta ed in particolare per la biosfera e per le popolazioni umane; per tale ragione esso va tutelato con grande determinazione.

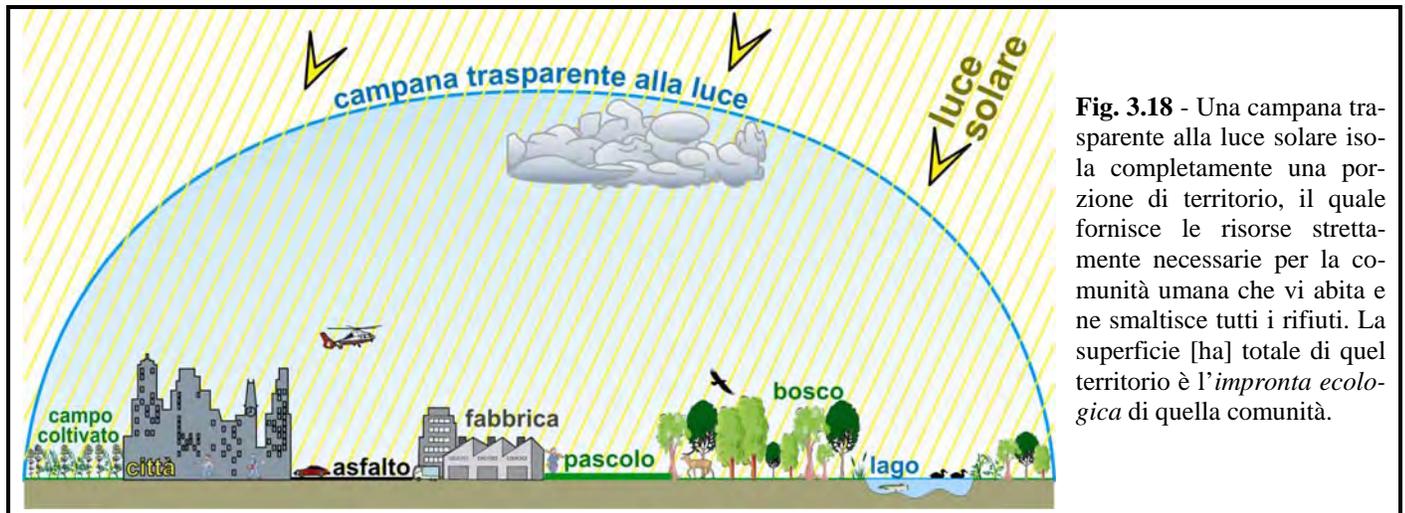


Fig. 3.18 - Una campana trasparente alla luce solare isola completamente una porzione di territorio, il quale fornisce le risorse strettamente necessarie per la comunità umana che vi abita e ne smaltisce tutti i rifiuti. La superficie [ha] totale di quel territorio è l'impronta ecologica di quella comunità.

Per valutare la superficie necessaria alla produzione di un qualunque bene occorre considerare tutti gli scambi di energia e materia incorporati nella sua produzione, analizzando i sistemi ecologici produttivi da cui derivano le risorse necessarie alla produzione del bene stesso ed in particolare:

- territorio per energia²;
- terreni agricoli;
- pascoli;
- foreste;
- superficie edificata;
- mare (le risorse fornite da 10 ha di superficie marina equivalgono a quelle di ~1 ha di suolo produttivo delle terre emerse).

Il secondo passaggio è l’esame dei consumi da parte della singola persona o di un gruppo (comunità) suddivisi, per comodità di analisi nelle seguenti categorie:

- **alimenti** (il consumo di 1 kg di pane vale una impronta ecologica di 30 m²; 1 kg di carne bovina vale una impronta di 300 m²; per 1 kg di cibi vegetali, con ciclo di produzione e consumo più breve, risulta una impronta di circa 7 m², mentre per ottenere un singolo uovo occorre una impronta di 2,5 m² e ad un bicchiere di latte corrisponde un'impronta di 4 m²);
- **abitazioni** (le case e qualunque altro edificio, determinano una impronta ecologica per l’occupazione diretta del suolo e del consumo di energia e materiali per realizzarle e mantenerle. Per esempio una casa tipica dello standard americano di 150 m² corrisponde ad una impronta di quasi 1,5 ha, cioè 15.000 m²; ciò significa che ogni metro quadro di quella casa corrisponde ad una impronta di 100 m²).

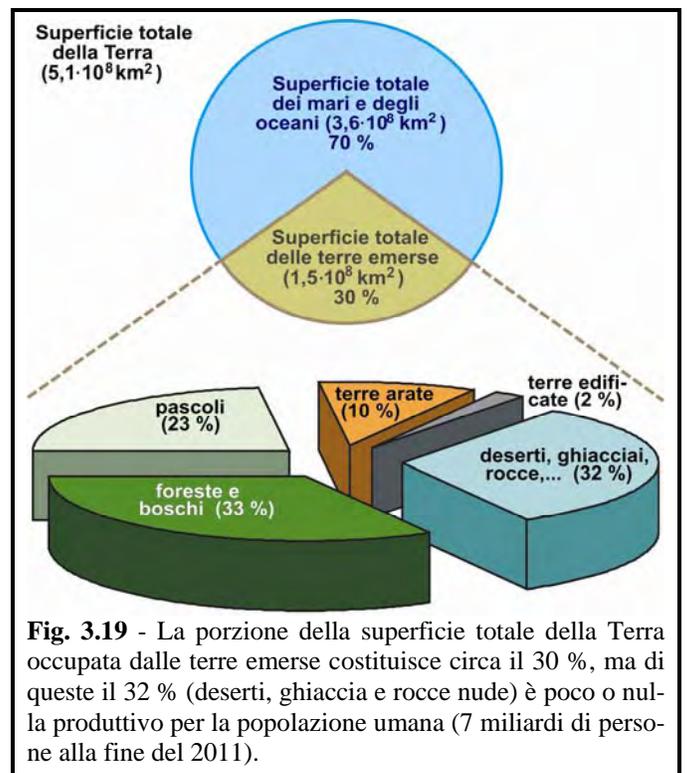


Fig. 3.19 - La porzione della superficie totale della Terra occupata dalle terre emerse costituisce circa il 30 %, ma di queste il 32 % (deserti, ghiacciai e rocce nude) è poco o nulla produttivo per la popolazione umana (7 miliardi di persone alla fine del 2011).

² Tutti i tipi di consumi richiedono energia; anche essa può essere tradotta sotto forma di superficie, quella necessaria per ospitare le centrali di produzione tradizionali, gli impianti eolici, i pannelli solari,... quelle sacrificate per l’estrazione dei combustibili fossili o quelle forestali sfruttate per la legna da ardere. L’energia dei combustibili fossili viene poi convertita nella massa di CO₂ emessa e quindi nella superficie dei suoli e degli oceani sede del ciclo del carbonio che la riassorbe. I metodi di calcolo prevedono che a 1 ettaro di superficie corrisponde un consumo di 80 ÷ 100 GJ (gigajoule) di energia, pari a 250 ÷ 300 kWh (kilo-Watt-ora).

- **trasporti** (il trasporto comporta, tra l'altro, consumo di materie prime e di energia per la sua costruzione e di combustibile per il suo impiego; l'impronta ecologica di una persona che percorre 5 km con la bicicletta due volte al giorno lavorativo è pari a 120 m², che diventano 500 m² con l'uso dell'autobus e 2.500 m² se usa l'automobile);
- **beni di consumo** (mobili, elettrodomestici, libri vestiti,... tutti i beni di consumo contribuiscono in modo importante all'impronta ecologica; un paio di scarpe di cuoio determina un'impronta di 300 m², una lavatrice di 2.500 m²);
- **servizi** (è la quantità di risorse necessaria per distribuire e avere accesso ai servizi; un documento come la carta di identità richiede del legno ed energia per produrre la carta, l'elettricità per azionare i computer e le stampanti, per mantenere e riscaldare l'edificio comunale,...; una telefonata, la stipula di un'assicurazione ed altri utilizzi di servizi pubblici o privati sono attività che comportano consumi di energia e di materiali e quindi contribuiscono a determinare l'impronta ecologica si è calcolato che ad una spesa di 50 euro in servizi telefonici corrisponde una impronta di 200 m²).

La superficie totale del pianeta è pari a poco più di 50·10⁹ ha. Grosso modo 15·10⁹ ha è la frazione rappresentata dalle terre emerse, mentre 35·10⁹ ha è la frazione rappresentata dalle acque marine, di cui le aree modificate direttamente dagli interventi umani (pascoli, campi, superfici edificate, strade,...) costituiscono circa il 35 %.

Dividendo la superficie produttiva complessiva della terra e del mare per il numero di esseri umani che abitano il pianeta (7 miliardi; **fig. 3.20**) e considerando che una frazione del 12 % va riservata alle altre comunità viventi, risulta **una impronta ecologica media pro-capite pari 1,98 ha** così ripartita:

- 0,25 ha di terreni agricoli;
- 0,60 ha di pascoli;
- 0,60 ha di foreste;
- 0,03 ha di aree edificate;
- 0,50 ha di aree marine.

Il valore 1,98 è l'impronta ecologica "teorica", cioè la superficie di suolo necessaria per il sostentamento di una singola persona a condizione che l'intero patrimonio di risorse che il pianeta mette a disposizione dell'umanità fosse perfettamente ripartito in frazioni rigorosamente uguali tra tutti i 7 miliardi di abitanti della Terra (nel 2011). Ma il valore medio "reale" procapite è superiore, pari a circa 2,2 ha. Ciò significa che l'umanità sta consumando le risorse del pianeta ad un ritmo superiore a quanto il pianeta stesso riesce a riprodurre e precisamente secondo il rapporto $2,2/1,98 = 1,11$.

Consumiamo risorse per un totale dell'11 % superiore a quelle che il pianeta è in grado di produrre: la biosfera impiega un anno e 1,3 mesi per rigenerare quanto l'umanità consuma in un anno; stiamo ormai consumando le riserve del pianeta.

Al fine di evitare il collasso del pianeta si prospetta quindi una sorta di "obiettivo-utopico" che comporti una profonda trasformazione del sistema sociale, economico e produttivo tale da limitare il valore medio procapite mondiale dell'impronta ecologica non superiore a ~ 2 ha/anno. Tale obiettivo deve rappresentare il "faro" che illumina la strada verso azioni di governo del pianeta gradualmente sempre più coerenti con la sostenibilità. Soprattutto bisogna evitare di rendere l'obiettivo sempre più difficile da conseguire. Ciò significa **fermare**:

- **la crescita demografica** (**fig. 3.20**);
- **l'ulteriore consumo di suolo** (cfr. **scheda 3.8**).

La torta è troppo piccola e deve essere spartita tra troppi commensali. Dobbiamo evitare di ridurre la torta (consumo di suolo) e di moltiplicare il numero di fette (crescita demografica), perché già troppo piccole, anche rispetto alle attese delle modeste ambizioni di chi vive nelle condizioni attuali dei cinesi o di altri paesi in via di sviluppo. Inoltre occorre considerare con attenzione le profonde sperequazioni nella distribuzione delle risorse. (**fig. 3.21**)

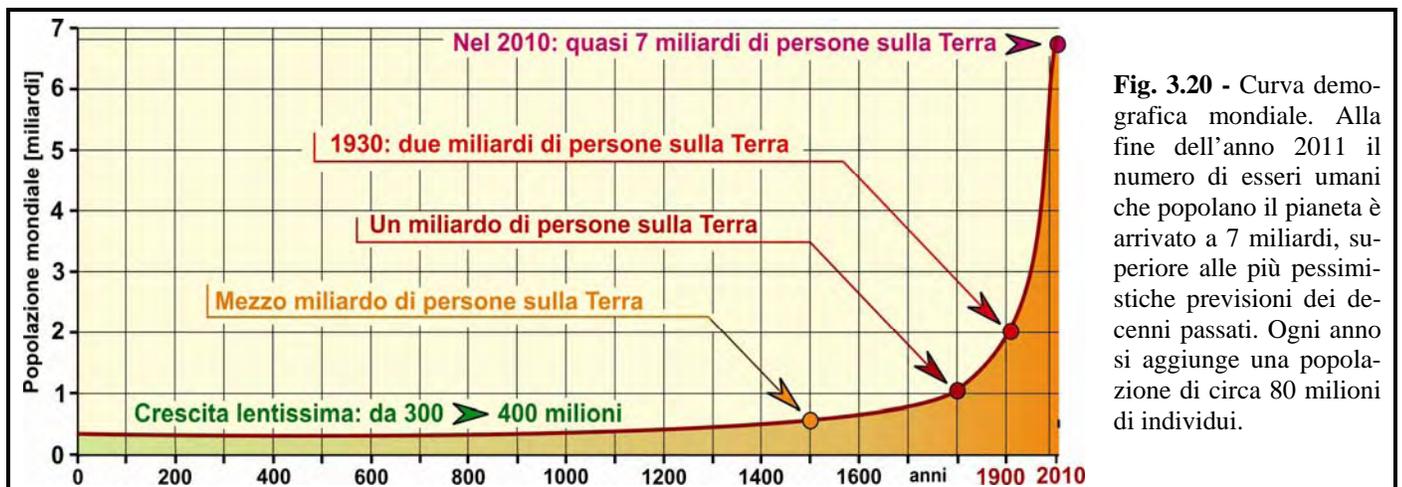
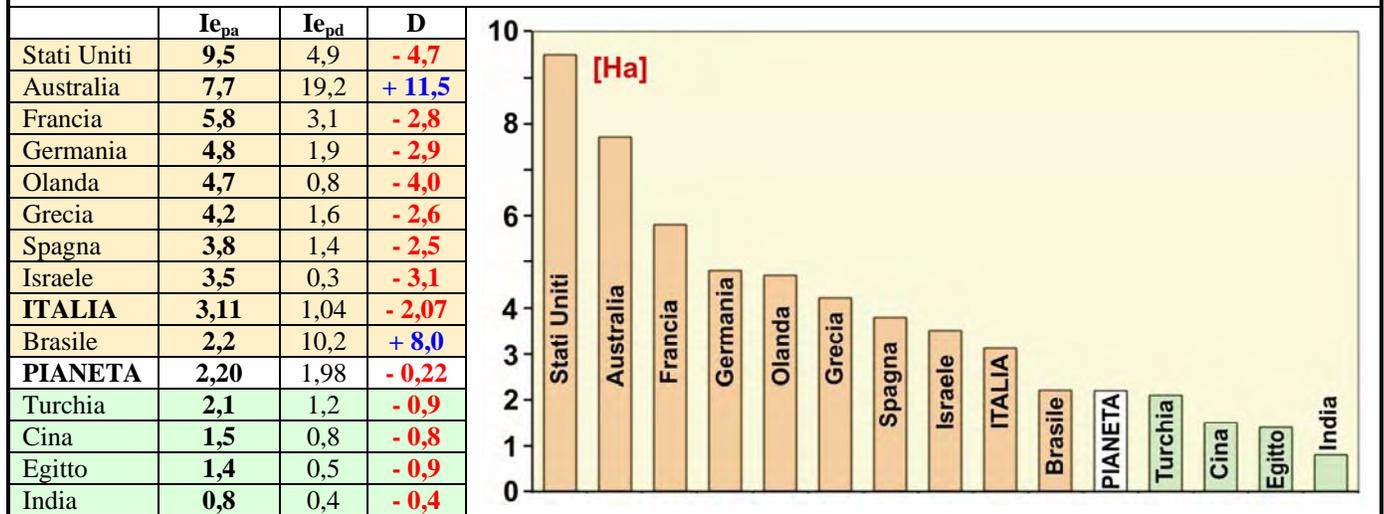


Fig. 3.20 - Curva demografica mondiale. Alla fine dell'anno 2011 il numero di esseri umani che popolano il pianeta è arrivato a 7 miliardi, superiore alle più pessimistiche previsioni dei decenni passati. Ogni anno si aggiunge una popolazione di circa 80 milioni di individui.

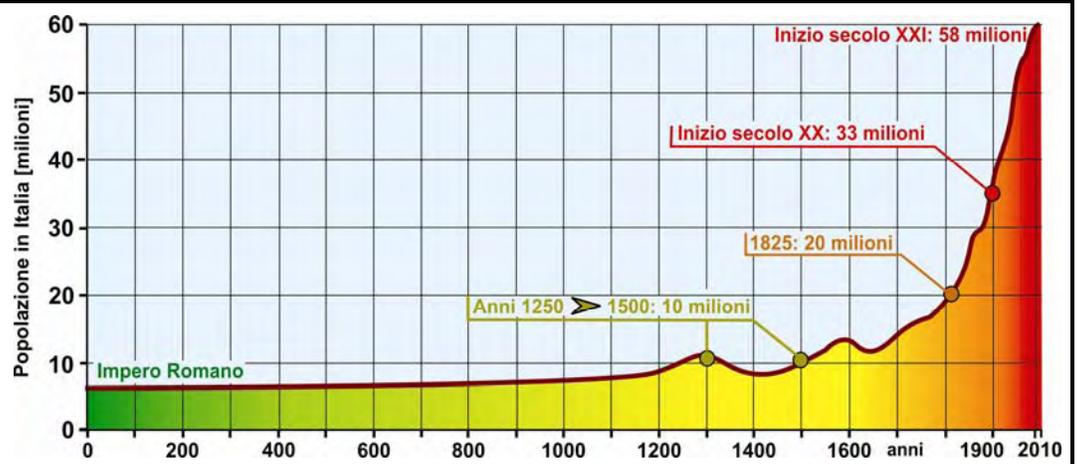
Tab. 3.21 - Valori [ha] procapite attuali dell'impronta ecologica dei cittadini di alcune Nazioni considerate come esempio ($I_{e_{pa}}$). Sono inoltre indicati i valori relativi alle reali disponibilità ($I_{e_{pd}}$) ed il deficit corrispondente (D).



Gli Stati Uniti sono primi nella classifica dello spreco: la loro impronta ecologica media procapite vale 9,5 ha, contro una disponibilità di suolo produttivo, sul loro territorio, di 4,9 ha (deficit di 4,7 ha). Ciò non stupisce, in quanto un americano medio produce 730 kg/anno di rifiuti, mangia 100 kg di carne, consuma 600 L di acqua al giorno e brucia energia quanto 4 italiani, 160 tanzaniani e 1.100 ruandesi. Il sistema di produzione statunitense è poco efficiente: ogni cittadino americano produce CO₂ in quantità 27 volte la quota calcolata come “sostenibile” (20.000 kg/anno); per ogni italiano risulta un valore di 7,4 volte la quota sostenibile, mentre un cittadino dei Paesi poveri produce appena 1/5 della quota sostenibile. Tali disparità sono strettamente legate al reddito, con differenza anche all’interno dei Paesi ricchi; per esempio si stima che il 20 % più povero della popolazione canadese abbia un’impronta ecologica media procapite di meno di 3 ha, mentre quella del 20 % più ricco supera i 12 ettari.

I cinesi, pur consumando poco (1,5 ha; **fig. 3.21**), sono in “deficit” (- 0,8 ha) a causa dell’enorme numero di abitanti e della scarsità di terra produttiva, corrispondente ad una biostenibilità di appena 0,8 ha. L’Australia, pur avendo un’impronta ecologica enorme (7,7 ha), ha una densità di popolazione così bassa da trovarsi in credito di terra (+ 11,5 ha). Sono i paesi poveri ad avere i deficit più bassi o positivi, dovendo accontentarsi in media di mezzo ettaro a testa contro i quasi due che gli spetterebbero, facendo i conti su scala globale, fino a estremi come quello del Bangladesh, con una impronta ecologica di appena 0,07 ha.

Fig. 3.22 - Ai tempi della Roma imperiale la **popolazione italiana** era costituita da circa 6 milioni di individui. Il valore di 10 milioni viene raggiunto intorno al 1400, per raddoppiare nei tre secoli successivi. 33 milioni 100 anni fa, fino a 50 milioni nel 1960. Da allora la popolazione italiana ha continuato ad aumentare lentamente, fino ai 58 milioni nel 2000. Nel primo decennio del terzo millennio la popolazione italiana oscilla tra i 57 ed i 58 milioni, ma con tendenza verso i 60 milioni dopo il 2010.



Il cittadino italiano medio ha un'impronta ecologica di 3,11 ettari (2,21 ha di suolo produttivo terrestre più 0,90 ha di superficie marina). È un quadrato di 176 m di lato (~ 6 campi di calcio) così ripartito:

- 9 % di terreni agricoli;
- 17 % di pascoli;
- 43 % di foreste;
- 2 % di superficie edificata (città, strade, capannoni, infrastrutture,...);
- 29 % di aree marine.

Ma il territorio italiano non è sufficientemente grande. L'insieme di tutti i sistemi produttivi potrebbe fornire, a ciascuno dei 60 milioni di italiani (fig. 3.22), una impronta ecologica pari a circa 1,04 ha (fig. 3.21). Ciò significa che il popolo italiano consuma risorse per le quali sarebbe necessario un territorio tre volte più grande. Almeno due cittadini poveri del Mondo vivono di stenti per consentire lo stile di vita di un italiano medio (sono almeno otto quelli che vivono nelle stesse condizioni per mantenere il cittadino medio americano). Un italiano medio produce 398 kg di rifiuti all'anno e quasi il doppio di CO₂ rispetto alla media mondiale, consuma 150 kg di carta all'anno (quattro volte la media mondiale), il triplo dei combustibili fossili rispetto alla media mondiale e 23 volte di un indiano e possiede un'auto ogni due individui (una ogni dieci la media mondiale, una ogni 500 quella indiana). Per diventare ecologicamente sostenibili (e più equi) dovremmo ridurre i nostri consumi del 75 %.

Scheda 3.8 - Cementificazione e tutela del suolo

Date le gravi condizioni del Pianeta (cfr. scheda 3.7), **la difesa del suolo deve costituire uno degli obiettivi strategici dei programmi di gestione del territorio.** Ogni metro quadro di suolo libero, non cementificato, non impermeabilizzato, va tutelato con il massimo impegno, per l'agricoltura, per la Natura, per il riciclo della materia,...

Secondo CICESENE³ in Italia si stimano 4 milioni di case sfitte, di cui 1 milione di appartamenti vuoti e 3 milioni affittati in nero, mentre la lista d'attesa per l'edilizia popolare è di 650.000 alloggi in tutto il Paese. Secondo Stefano BOERI "...le città italiane continuano... a divorare terra più di ogni altro paese europeo, per produrre in gran parte immensi gusci vuoti, deserti di cemento... Senza una politica che si occupi con forza e ostinazione di recuperare... le migliaia... di vani disabitati, ogni previsione di nuova edilizia residenziale assume toni caricaturali e addirittura minacciosi... È un paradosso; basta guardarsi attorno: offerte di affitto e vendita sui portoni, infinite persiane chiuse delle abitazioni e serramenti senza vita degli uffici... A Roma, su 1.715.000 abitazioni, 250.000 (1/7) sono vuote. A Milano 80.000 su 1.640.000 e 900.000 m³ di uffici sono deserti (come 30 grattacieli Pirelli vuoti). Muri, pavimenti, soffitti, arredi che aspettano che qualcuno entri, li abiti, vi riporti le pulsazioni della vita quotidiana". Dal "Sole 24 ORE" (04/03/2011): "a fronte dell'iper-sfruttamento del territorio, molte case sono vuote. Roma è in testa con 250.000 abitazioni. Seguono Cosenza (165.000), Palermo (150.000), Torino (145.000) e Catania (110.000)".

L'Italia detiene il "...record del cemento in Europa, battuta di pochissimo solo dalla Spagna (coinvolta da una grave bolla speculativa edilizia), ma la cui densità abitativa è 91 abitanti/kilometro quadro. In Italia è 199 abitanti/km²" (STELLA, 2011)⁴. Per l'anno 2004 risultano i seguenti dati:

Austria	→ 4 milioni di tonnellate di cemento	Germania	→ 33 milioni di tonnellate di cemento
Benelux	→ 11 milioni di tonnellate di cemento	Scandinavia	→ 36 milioni di tonnellate di cemento
Gran Bretagna	→ 11 milioni di tonnellate di cemento	ITALIA	→ 46 milioni di tonnellate di cemento
Francia	→ 21 milioni di tonnellate di cemento		

In Italia abbiamo "il più basso tasso di crescita ed il più alto consumo di territorio in Europa" (SETTIS, 2010)⁵; secondo l'ISTAT risulta un aumento delle aree urbanizzate del 15 % nel decennio 1991 ÷ 2001 contro un incremento demografico dello 0,4 % (fig. 3.23). Nel periodo 1990 ÷ 2005 la Superficie Agricola Utilizzata (SAU) si è ridotta di 3.663.000 ettari (aree del Lazio + Abruzzo); quindi la perdita della SAU, in 5 anni, è risultata pari al 17 %. Ogni giorno, in Italia, vengono cementificati 162 ettari di terreno (251 campi di calcio): "...vedremo boschi, prati e campagne arretrare ogni giorno davanti all'invasione di mesti condomini, vedremo coste luminose e verdissime colline divorate da case incongrue e palazzi senz'anima, vedremo gru levarsi minacciose per ogni dove. Vedremo quello che fu il bel paese sommerso da inesorabili colate di cemento..." (SETTIS, op.cit.).

Purtroppo ha ragione ASOR ROSA (2007)⁶ quando afferma che "...nel decennio passato abbiamo avuto governi e amministrazioni locali di centrosinistra e di centrodestra.... Siamo arrivati alla conclusione che... le differenze nel colore degli schieramenti politici non hanno contato...: non c'è nulla che sia stato bipartisan in Italia quanto l'«alluvione cementizia». Venute meno le grandi distinzioni ideologiche..., il ceto politico italiano, ha ritrovato una sua inedita unità identitaria e d'intenti, abbracciando un'unica, corposa ideologia di nuovo stampo: quella del mattone".

Afferma PETRINI (2011)⁷: "È giunto il momento di dire basta, perché ... siamo arrivati a un punto di non ritorno: vorrei proporre, e sperare che venga emanata, una moratoria nazionale contro il consumo di suolo libero. Non un blocco totale

³ CICESENE, 2010. *Nuovi abitanti e coesione sociale. Un contributo per costruire politiche abitative consapevoli.* Regione Piemonte, Provincia di Torino, Città di Torino, Sindacato Inquilini Case e Territorio.

⁴ STELLA G.A., 2011. *Vandalì.* Rizzoli, Milano.

⁵ SETTIS S, 2010. *Paesaggio, Costituzione, cemento.* Einaudi, Torino.

⁶ ASOR ROSA A., 2007. *Questa Italia del cemento.* La Repubblica del 04/07/2007.

⁷ PETRINI C., 2011. *La cementificazione. Basta con le ruspe. Salviamo l'Italia.* La Repubblica del 18/01/2011. Nella stessa intervista: "Guardandoci attorno, siamo assediati: il cemento avanza, la terra fa gola a potentati edili, che non mollano l'osso e sembrano passare indenni qualsiasi ostacolo, in un'indifferenza che non si sa più se sia colpevole, disinformata o semplicemente frutto di un'impotenza sconsolata. Del resto, costruire fa crescere il PIL, ma a che prezzo. Fa davvero male: l'Italia è piena di ferite violente e i cittadini finiscono con il diventare complici se non s'impegnano nel dire no quotidianamente, nel piccolo, a livello locale. Questa è una battaglia di tutti, nessuno escluso."

dell'edilizia, che può orientarsi verso edifici vuoti o abbandonati, nella ristrutturazione di edifici lasciati a se stessi o nella demolizione dei fatiscenti per far posto a nuovi. Serve qualcosa di forte, una raccolta di firme, una ferma dichiarazione che arresti per sempre la scomparsa di suoli agricoli nel nostro Paese,..."

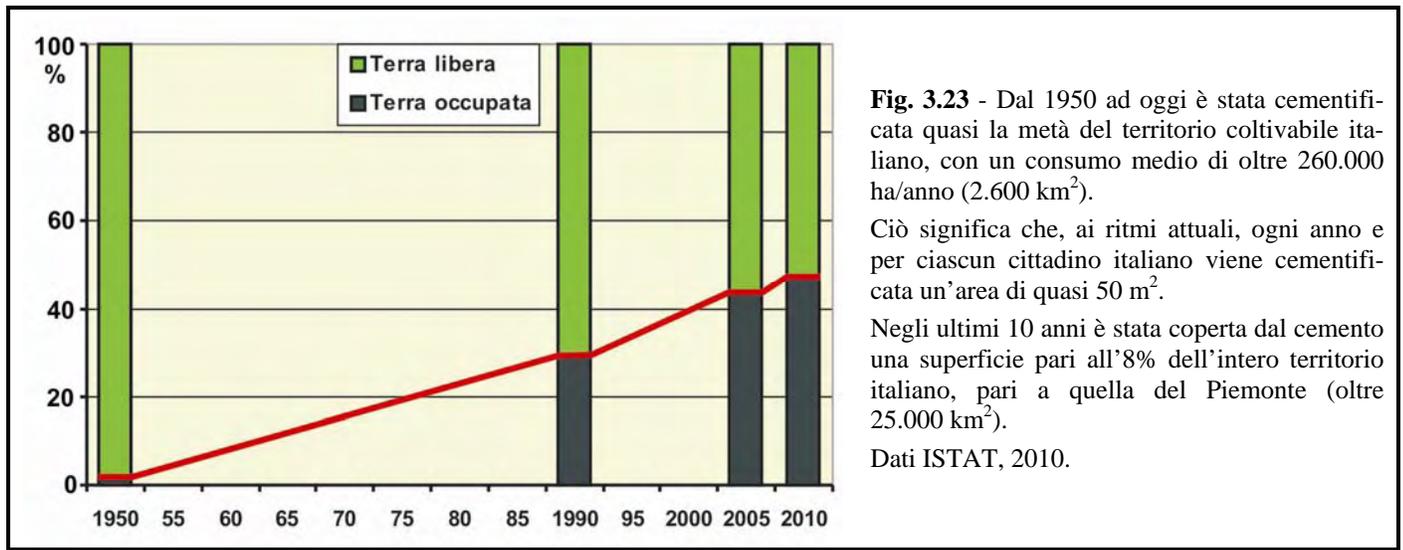


Fig. 3.23 - Dal 1950 ad oggi è stata cementificata quasi la metà del territorio coltivabile italiano, con un consumo medio di oltre 260.000 ha/anno (2.600 km²).

Ciò significa che, ai ritmi attuali, ogni anno e per ciascun cittadino italiano viene cementificata un'area di quasi 50 m².

Negli ultimi 10 anni è stata coperta dal cemento una superficie pari all'8% dell'intero territorio italiano, pari a quella del Piemonte (oltre 25.000 km²).

Dati ISTAT, 2010.

In sostanza Petrini propone una conversione dell'edilizia, uno dei più potenti motori dell'economia. Infatti una obiezione a quanto sopra espresso riguarda il rischio grave di crisi delle numerose aziende del cemento e dell'asfalto e quindi di ulteriore perdita di posti di lavoro. Così si continua: "le ruspe sono sempre in agguato per dare sfogo all'unica vera vocazione di questo nostro popolo di cialtroni che non vedono al di là del proprio naso: l'autodistruzione" (MONTANELLI, 2001)⁸.

Lo stop al consumo del suolo non comporta affatto la demolizione del settore produttivo edilizio. La succitata conversione auspicata da Petrini si può organizzare in modo coerente con il **consumo zero di suolo libero**. Per esempio promuovendo le ristrutturazioni degli edifici esistenti per aumentarne l'efficienza termica, con conseguente risparmi energetici legati al riscaldamento. Altre tipologie di intervento potrebbero riguardare la sicurezza strutturale degli immobili nelle zone sismiche, oppure le rilocalizzazioni di edifici ed infrastrutture soggetti a rischio idrogeologico. Il lavoro da fare è moltissimo ed una edilizia così riconvertita avrebbe certamente un futuro per decenni.

Ma la difesa (intransigente) del suolo significa anche difesa del paesaggio⁹, una delle risorse più importanti per il nostro paese¹⁰, purtroppo già in buona parte compromessa¹¹. Il turismo infatti è un altro dei più potenti motori economici dell'Italia e possiede ancora ampi margini di miglioramento, il che significa numerosi potenziali nuovi posti di lavoro.

Se si insegnasse la bellezza alla gente, la si fornirebbe di un'arma contro la rassegnazione, la paura e l'omertà. All'esistenza di orrendi palazzi sorti all'improvviso, con tutto il loro squallore, da operazioni speculative, ci si abitua con pronta facilità, si mettono le tendine alle finestre, le piante sul davanzale, e presto ci si dimentica di come erano quei luoghi prima, ed ogni cosa, per il solo fatto che è così, pare dover essere così da sempre e per sempre. È per questo che bisognerebbe educare la gente alla bellezza: perché in uomini e donne non si insinui più l'abitudine e la rassegnazione ma rimangano sempre vivi la curiosità e lo stupore. Peppino IMPASTATO (in "Cento passi").

⁸ Indro MONTANELLI (Corriere della Sera, 2001)

⁹ Andrea ZANOTTO: "Un bel paesaggio una volta distrutto non torna più e se durante la guerra c'erano i campi di sterminio, adesso siamo arrivati allo sterminio dei campi: fatti che, apparentemente lontani tra loro, dipendono tuttavia dalla stessa mentalità". 2008 - In questo progresso scorsio - Conversazione con Mario BREDA - Garzanti, Milano.

¹⁰ Art. 9 della Costituzione italiana: *La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica, tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione.*

¹¹ "Chiediamo perdono alla memoria dei vandali, per l'opinione comune che li accomuna. Roma e l'Italia sono state distrutte dai romani e dagli italiani...: proprietari e mercanti di terreni, speculatori di aree fabbricabili, imprese edilizie, società immobiliari industriali e commerciali, privati affaristi chierici e laici, architetti e ingegneri senza dignità professionale, autorità statali e comunali impotenti o vendute, aristocratici decaduti, villani rifatti e plebei, scrittori e giornalisti confusionari o prezzolati, retrogradi profeti del motore a scoppio, retori ignoranti del progresso in scatola". Antonio CEDERNA, 1956. *I vandali in casa*. Laterza, Bari.