

Appunti dal
Corso di Ecologia I
tenuto da
Maria Giulia Cantiani

30 Giugno 2004



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

INTRODUZIONE AL CORSO DI ECOLOGIA

Anche se, come scienza, l'ecologia è nata solo piuttosto recentemente, fin dall'inizio della sua storia l'uomo dovette comportarsi, per così dire, da ecologo, nella misura in cui era costretto ad osservare la natura e a riflettere su di essa, per scoprire dove si trovavano le piante commestibili e gli animali catturabili, imparare come utilizzare i prodotti del mondo naturale senza distruggerli, prevedere cosa sarebbe accaduto in un prossimo futuro ed eventualmente cercare di controllare gli avvenimenti. Il termine ecologia significa infatti, dal greco: studio (logos) della casa (oikos), ovverosia degli ambienti abitati dagli organismi viventi.

Gli esseri viventi, siano essi piante, animali, batteri o funghi, presentano diversi livelli di organizzazione: dal singolo organismo si passa alla popolazione, costituita da organismi appartenenti alla stessa specie (ad esempio una popolazione di alberi di abete rosso, oppure di caprioli, oppure di formiche e via dicendo).

L'insieme di popolazioni di una data area costituisce una comunità (ad esempio l'insieme delle popolazioni che si trovano in un bosco).

Quando consideriamo la comunità inserita nell'ambiente non vivente, costituito cioè dai fattori fisici e chimici (¹), parliamo di ecosistema (un esempio di ecosistema ci è offerto dal bosco, che non è costituito solo da esseri viventi, ma dall'aria che circola in esso e sopra di esso, dall'acqua che vi scorre, dalle rocce e dal terreno su cui crescono gli alberi, eccetera).

Oggetto di studio dell'ecologia è dunque l'ecosistema e di questo vengono considerati:

- la struttura, come esso cioè è organizzato, quali sono le parti che lo compongono e
- il funzionamento, in che modo cioè la vita è possibile e si svolge al suo interno.

E' importante sottolineare che il funzionamento di un ecosistema è basato su continue interazioni tra gli organismi che lo compongono e tra questi è l'ambiente non vivente: ogni organismo è influenzato quindi da tutti gli altri organismi presenti e dai fattori abiotici; anche questi ultimi, a loro volta, però, sono influenzati dalla componente vivente dell'ecosistema.

Man mano che si procederà nello studio dell'ecologia risulterà più chiaro, anche attraverso la considerazione di esempi concreti, il contenuto di questa affermazione.

L'ecologia è dunque una scienza non facile, che deve, per la vastità dei campi in cui spazia, appoggiarsi a numerose altre discipline: scienze naturali, fisiologia, genetica, biochimica, climatologia, matematica, eccetera. Anche tutte queste materie, però, a loro volta, risultano arricchite dalla visione d'insieme dei problemi che solo l'ecologia è in grado di offrire.

L'ecologo cerca, pur riconoscendo la molteplicità di aspetti e la complessità dei fenomeni del mondo naturale, di individuare delle modalità regolari che si ripetono, e di effettuare delle previsioni riguardo al funzionamento degli ecosistemi. Nel fare ciò, evidentemente, è costretto a operare delle forti semplificazioni, che gli sono necessarie, però, per avvicinarsi alla comprensione di ciò che accade in natura.

Sempre di più, negli ultimi anni, la ricerca in ecologia è orientata alla realizzazione e all'impiego di modelli matematici, ai quali è affidato il compito di "simulare" i processi naturali, pur sapendo, ovviamente, che tali modelli non saranno mai in grado di tenere compiutamente conto di tutte le infinite interazioni che si verificano nella realtà. Si tratta però di utili strumenti di lavoro ai quali anche l'ingegnere che si occupa di problemi ambientali farà sempre più frequentemente ricorso.

L'importante è ricordare che è opportuno "ricercare la semplicità, ma diffidarne", come sottolineano in una loro recente opera alcuni noti ricercatori in campo ecologico, intendendo con

¹ Tali fattori vengono anche chiamati abiotici, una parola di origine greca composta dal prefisso: "a" che significa "privo" e dal termine "bios" che vuol dire "vita"; la componente vivente dell'ecosistema si dice invece biotica.

questo che il modello aiuta sì nella comprensione, ma che la simulazione della realtà che esso ci offre non deve essere scambiata per la realtà stessa.

L'esposizione della materia, nei capitoli che seguono, sarà quanto più schematica e semplice possibile, allo scopo di facilitare l'acquisizione dei concetti e delle informazioni di base.

E' opportuno sottolineare tuttavia la necessità di non trascurare la visione d'insieme delle cose e non considerare mai un capitolo slegato da quelli che lo precedono e che lo seguono. E' nella natura stessa della materia, infatti, che tutto sia strettamente collegato ed interdependente.

Questo fascicolo è dedicato principalmente all'analisi dei diversi fattori abiotici che partecipano a formare l'ambiente non vivente in cui le comunità viventi sono inserite ed è sviluppato con il concorso di appunti delle lezioni, fotocopie di articoli di riviste scientifiche e di parti di libri di testo di varie discipline.

Quando è necessario ricorrere a degli esempi, si fa soprattutto riferimento agli ecosistemi forestali, che maggiormente possono interessare l'ingegnere per l'ambiente che opera in zone di montagna.

I FATTORI FISICI DELL'AMBIENTE

L'ATMOSFERA

L'atmosfera costituisce la componente gassosa della biosfera ⁽¹⁾ e rappresenta il mezzo fondamentale per l'esistenza delle piante e degli animali.

Non ha composizione omogenea. Vi si possono infatti distinguere le seguenti zone:

- a - troposfera. Compresa tra il suolo ed 8 km (equatore) 15 km (regioni polari) di altezza. E' la zona più importante agli effetti del clima in quanto essa contiene circa i $\frac{3}{4}$ dell'aria e la quasi totalità del vapore acqueo e delle impurità. Qui si determinano la temperatura terrestre, i venti, le precipitazioni. Dal suolo alle altitudini superiori la temperatura decresce di circa 6 °C per km;
- b - stratosfera. Si estende immediatamente sopra la troposfera fino ad 80 km circa. In essa ha luogo l'intercettazione di gran parte della radiazione ultravioletta (con $\lambda < 0,35 \mu\text{m}$) da parte dell'ozono;
- c - ionosfera. E' lo strato più periferico.

L'atmosfera è un miscuglio di gas la cui composizione, che rimane costante fino ad un'altitudine di circa 15 km, è la seguente:

	<u>% volume</u>	<u>% peso</u>
Azoto	78,08	75,52
Ossigeno	20,95	23,15
Argo	0,93	1,28
Anidride Carbonica	0,03	0,05

Altri gas sono presenti in quantità ridottissime senza effetti pratici sulla vegetazione.

Il vapor d'acqua è sempre presente nell'atmosfera in quantità molto variabili a seconda dei luoghi (nelle zone tropicali può raggiungere il 4% in volume) e delle condizioni meteorologiche. Sono presenti anche altre sostanze solide, liquide o gassose (minuscole particelle di sale marino o di terreno asportate dai venti, ceneri vulcaniche, residui solidi o gassosi prodotti dalle combustioni e responsabili dell'inquinamento dell'aria). Esse sono importanti nel ciclo dell'acqua perché funzionano da "nuclei di condensazione" intorno ai quali si sviluppano le goccioline che compongono le nubi.

L'ossigeno è indispensabile nei processi biologici poiché consente la respirazione degli organismi aerobi ⁽²⁾.

L'azoto atmosferico, anche se presente in grande quantità, può essere solo in piccola parte utilizzato dai vegetali. Il passaggio dell'azoto dall'atmosfera alla biosfera è dovuto in parte alle piogge (11- 14 kg/ha/anno) che solubilizzano i composti azotati originati dalle scariche elettriche nell'aria umida, in parte alla fissazione diretta dell'azoto atmosferico ad opera di vari microrganismi del suolo, come alcuni batteri (importanti soprattutto quelli simbiotici delle leguminose), alghe e micorrize (filamenti miceliari dei funghi che vivono in simbiosi con le radici delle piante) la cui presenza si rivela sovente essenziale per consentire l'insediamento e lo sviluppo delle specie forestali in ambienti sfavorevoli.

¹ Si dà il nome di biosfera a quella parte del globo in cui gli ecosistemi possono operare, cioè suolo, aria e acqua biologicamente abitati.

² E' interessante confrontare la composizione dell'atmosfera attuale con quella presente originariamente sulla terra: a tale proposito vedi il capitolo "L'origine della vita" di Raven e Curtis, riportato alla fine del fascicolo.

L'anidride carbonica, nonostante la sua piccola quantità, svolge un ruolo essenziale nella vita delle piante e di riflesso nell'equilibrio di tutta la biosfera. Come composto base per l'organizzazione del carbonio, mediante la fotosintesi, è indispensabile alla produzione ed al mantenimento della materia vivente sul pianeta.

Per la produzione di 1 m³ di legno occorrono circa 420 m³ di CO₂.

La concentrazione dell'anidride carbonica nel terreno è molto più elevata (tra 0,1 e 4,5%) che nell'atmosfera, poiché rappresenta il prodotto finale della decomposizione della sostanza organica ad opera della pedofauna (¹). Anzi il tenore di CO₂ nello strato ipogeo costituisce un indice per la conoscenza dei processi pedogenetici e dell'attività biologica del terreno.

Nell'atmosfera O₂ e CO₂, essendo fra loro legati dai processi di fotosintesi (fissazione di CO₂ e liberazione di O₂) e di respirazione (processo opposto) subiscono delle variazioni a livello locale, durante il giorno e le stagioni, in dipendenza dai valori che tali processi vengono ad assumere. Tuttavia l'equilibrio chimico-dinamico dell'atmosfera, relativamente a queste due componenti, va lentamente mutando e si sposta a favore dell'anidride carbonica.

¹ Come verrà in seguito descritto in un apposito capitolo, interamente dedicato al suolo, vivono nel terreno numerosissimi animali di piccole e piccolissime dimensioni (pedofauna) che partecipano attivamente ai processi di trasformazione della sostanza organica caduta al suolo, detta lettiera (foglie, rametti, corteccia, strobili, eccetera).

L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

L'effetto serra

Negli ultimi decenni il crescente fabbisogno energetico dell'uomo per usi industriali, per la locomozione, per il riscaldamento, eccetera, ha modificato sensibilmente la concentrazione di CO₂ nell'aria, portandola da 280 a oltre 320 p.p.m. (parti per milione).

Si sa che la CO₂ assieme ad altri gas - il metano, l'ozono, i CFC (clorofluorocarburi), gli NO_x - ed al vapore acqueo dà luogo all'effetto serra. Questo insieme di gas, al pari del vetro di una serra, è trasparente alla radiazione solare in arrivo e blocca la radiazione (raggi infrarossi) riflessa dalla terra. Il calore atmosferico viene in definitiva intrappolato fra la superficie terrestre e lo strato di gas serra, con un conseguente aumento della temperatura terrestre. Il fenomeno entro limiti naturali è necessario e sempre esistito e senza di esso la terra sarebbe troppo fredda per la vita. Se però, per cause artificiali, il livello del gas aumenta a dismisura l'atmosfera si riscalda con velocità ed a livelli finora sconosciuti, che creano una situazione di rischio. E' scientificamente accertata la correlazione fra il contenuto di gas-serra nell'atmosfera e le variazioni climatiche. Ciò che non si sa con certezza e suscita controversie è la previsione circa l'entità dell'incremento della temperatura terrestre e l'epoca in cui questo potrà assumere valori critici, fra 30,50,100,150 anni Analizzando la temperatura dell'ultimo secolo si nota un riscaldamento di circa mezzo grado rispetto al passato relativamente alla temperatura media terrestre.

In particolare si registra un riscaldamento fino alla fine della 2a guerra mondiale, un leggero raffreddamento verso gli anni 60-70 ed un secondo periodo di rapido riscaldamento intorno agli anni 80, che prosegue tuttora. Ci si chiede se siamo già in presenza delle prime avvisaglie dell'effetto serra o se tutto rientra nelle cicliche fluttuazioni climatiche. A tutt'oggi non esiste una risposta precisa a questi interrogativi. Si ritengono necessarie nuove acquisizioni scientifiche per valutare i futuri mutamenti climatici. Per sapere come varierà la temperatura terrestre occorrerebbe innanzitutto conoscere come varieranno in futuro le emissioni di CO₂ e degli altri gas serra. Dipende dalla scelta che farà l'umanità e da quando la farà. Considerando le necessità di consumo di combustibile delle società industriali ed in quantità crescenti dei paesi in via di sviluppo, le tecnologie per una combustione pulita del carbone, la ricerca di fonti energetiche alternative e pulite, si ritiene che per alcuni decenni il tasso di aumento delle emissioni di CO₂ varierà dallo 0,5 al 2% all'anno. Ancor più difficili sono le previsioni per gli altri gas.

Alcuni modelli matematici messi a punto per simulare le variazioni del clima al variare della CO₂ e degli altri gas serra indicano che un raddoppio della CO₂ ed un corrispondente aumento degli altri gas incrementerebbe la temperatura terrestre di valori compresi fra 3 e 5,5 gradi con conseguente sconvolgimento delle stagioni, degli attuali equilibri nel mondo vegetale ed animale, con radicali conseguenze sulle condizioni economiche e sociali delle nazioni. Solo l'aumento della temperatura di un grado (ipotesi avanzata da alcuni scienziati) nel prossimo trentennio comporterebbe uno scioglimento dei ghiacci polari e montani con un innalzamento del livello dei mari e con modifiche nel regime delle precipitazioni, in particolare con uno spostamento verso Nord della fascia arida. Cambiamenti climatici sostanziali si sono avuti anche in passato, però con estrema lentezza, nell'arco di millenni e non di decine di anni; ora le modifiche rischiano di essere troppo rapide per le capacità di adattamento degli ecosistemi naturali, delle specie vegetali ed animali. I modelli matematici però non tengono conto di fenomeni che di fatto ostacolano o rallentano il riscaldamento della terra e vanno considerati come fattori di compensazione.

In particolare:

- l'aumento della temperatura provoca un aumento dell'evaporazione delle acque dei mari e dei laghi con un aumento delle nubi che hanno un effetto raffreddante;
- gli stessi oceani potrebbero comportarsi da "spugna termica" rallentando l'aumento della temperatura terrestre mentre essi si riscaldano;
- le polveri prodotte dall'inquinamento, dalle emissioni vulcaniche eccetera, impediscono alla radiazione solare di raggiungere la terra, ovviamente con un effetto raffreddante.

L'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera potrebbe essere ostacolato da un maggiore assorbimento da parte delle piante con la fotosintesi oltre che dai processi fisici e biologici che hanno luogo negli oceani. La correlazione fra concentrazione di CO₂ ed aumento della produzione organica ad opera dei vegetali non è però scontata venendo quest'ultima a dipendere anche da altri fattori quali la disponibilità di acqua, di elementi nutritivi, il vigore vegetativo delle piante. C'è anzi il pericolo che i mutamenti climatici conseguenti alla maggiore concentrazione di questo gas nell'aria danneggino le foreste e gli altri ecosistemi, riducendone la capacità di sottrarre CO₂ all'atmosfera.

Anche se non si hanno ancora dati certi sull'effettiva portata del riscaldamento della terra e nemmeno sugli effetti climatici da essa indotti, si fa strada presso il mondo scientifico la convinzione che è necessario agire subito prendendo decisioni difficili e dure - anche sulla base di certezze "mollie" - riducendo le immissioni di gas inquinanti, avvalendosi di tecnologie ecologicamente sicure oltre che energeticamente efficienti, con benefici effetti sulle generali condizioni di vita dell'uomo. Aspettando ulteriori certezze si corre il rischio di iniziare la cura in ritardo, con danni e costi maggiori quando ormai il malato - l'ambiente in cui viviamo - è inguaribile.

Accanto ai miglioramenti dell'efficienza energetica, capaci di ridurre significativamente il contenuto di energia e di materie prime per unità di prodotto finito così da armonizzare simultaneamente gli obiettivi dello sviluppo e della salvaguardia ambientale, si pone l'esigenza di puntare per il futuro su fonti di energia alternativa e rinnovabile, sviluppandone la ricerca e la concreta utilizzazione. Ciò vale soprattutto per l'energia solare, eolica e geotermica. In sostanza occorre potenziare i sistemi ad energia solare e ridurre il potere inquinante di quelli ad energia fossile e mista.

Le foreste giocano un ruolo importante nel rapporto carbonio-ossigeno e nel tasso di CO₂ nell'atmosfera. Esse rappresentano il sistema autosufficiente ad energia solare per eccellenza, un sistema che non inquina ma che, con i suoi meccanismi fisiologici, biologici, fisici svolge una provvidenziale azione disinquinante e riequilibratrice. Il loro ruolo ambientale va peraltro chiarito. La quantità di carbonio contenuto nella biomassa forestale (pari a circa l'80% di tutta la biomassa terrestre) è pressoché uguale a quella dell'atmosfera. E' errato sostenere che la foresta vergine contribuisce a depurare l'atmosfera, che è il polmone del pianeta (formulazione peraltro doppiamente inesatta perché il polmone emette CO₂ e non la ingloba). In realtà il bilancio del carbonio, al pari di quello dell'ossigeno, in una foresta vergine in equilibrio, non utilizzata è rigorosamente nullo: il carbonio fissato nel legno mediante la fotosintesi viene restituito all'atmosfera attraverso la respirazione dei microrganismi che demoliscono la sostanza organica. "Solo le modificazioni di questo equilibrio agiscono sul flusso del carbonio, in un modo o nell'altro, come sorgente o come accumulo nei riguardi dell'atmosfera" fa notare P. Bouvarel.

Quando la foresta brucia immette nell'atmosfera il carbonio immagazzinato nella biomassa e nel terreno. Gli immagazzinamenti di carbonio avvengono per due vie:

- con un aumento della superficie e delle consistenze legnose dei boschi;
- con l'immagazzinamento quasi definitivo nel legname posto in opera.

Gli oceani assorbono parte del carbonio liberato.

Perché le foreste siano in grado di realizzare accumuli supplementari di carbonio e produzioni supplementari di ossigeno devono essere estese in superficie evitando il disboscamento e mediante il rimboschimento dei terreni nudi e soprattutto devono essere utilizzate secondo criteri della selvicoltura naturalistica, mantenendo le piante in ottimali condizioni vegetative e prelevandole prima della vecchiaia, prima cioè che smettano di crescere, quando la fase anabolica ⁽¹⁾ prevale ancora su quella catabolica ⁽²⁾.

All'aumento dell'anidride carbonica fa riscontro nell'attuale civiltà industriale un consumo sempre crescente dell'ossigeno ad opera di varie forme di combustione (ogni anno l'uomo consuma come combustibili fossili, soprattutto petrolio e carbone, quanto la natura ha accumulato in un milione di anni), mentre non si accrescono i quantitativi prodotti dalle piante acquatiche, minacciate dall'inquinamento e dalle foreste, che in alcune regioni della terra vengono bruciate anziché farle aumentare in superficie come sarebbe necessario.

¹ anabolica = costruttiva

² catabolica = distruttiva

Il buco di ozono

Nell'atmosfera esiste anche un equilibrio dinamico tra l'ossigeno e l'ozono. L'ozono viene formato negli strati superiori (tra 15 e 35 km) ove più intensa è l'azione della radiazione ultravioletta proveniente dal sole: l'energia fornita dai raggi ultravioletti provoca la scissione della molecola di O_2 in due atomi di O estremamente reattivi; l' O_3 si origina dalla combinazione di una molecola di O_2 con uno di questi atomi eccitati: a) $O_2+h\nu \rightarrow O+O$ b) $O+O_2 \rightarrow O_3$. Per la sua instabilità l'ozono tende a dare nuovamente origine ad O_2 nella troposfera ove è presente in quantità minore.

Questa utilizzazione della radiazione ultravioletta impedisce che essa raggiunga in abbondanza la superficie terrestre, dove esplicherebbe un'azione particolarmente nociva sugli organismi viventi vegetali ed animali. La radiazione ultravioletta viene così provvidenzialmente filtrata ed attenuata dalla cappa di ozono.

Nell'Antartide è stata osservata una netta diminuzione della quantità di O_3 , sino ad un massimo di quasi il 50%, fra gli anni 1957-1973 e 1960-1964, una diminuzione che ha preso la forma di un buco che si allarga a macchia d'olio e che ha progressivamente occupato tutta la regione antartica. Su scala globale si stima che in circa 20 anni si siano verificati decrementi compresi fra il 2 e il 10% durante l'inverno e all'inizio della primavera, alle medie ed alte latitudini dell'emisfero settentrionale, con le perdite maggiori alle latitudini più elevate.

Sulle cause del fenomeno sono state avanzate varie ipotesi - fluttuazioni climatiche, influenza dei cicli solari, azione di alcuni composti chimici - e comunque le spiegazioni date sono ancora parziali.

Attualmente sembra che i CFC siano i principali responsabili della distruzione dell'ozono. Questi composti di cloro e fluoro di origine artificiale sono impiegati come refrigeranti, propellenti per bombolette spray, solventi e schiumogeni. Nella bassa atmosfera essi sono praticamente inerti e non tossici per gli organismi viventi. Raggiungono senza subire modificazioni la stratosfera dove sono esposti alla radiazione ultravioletta che ne rompe le molecole liberando atomi di cloro; questi a loro volta vanno a distruggere l'ozono agendo da catalizzatori della sua trasformazione a ossigeno molecolare. Ciascun atomo di cloro viene ad eliminare molte migliaia di molecole di ozono. Si stima che a causa delle emissioni dei CFC, la quantità dei composti di cloro presente nella stratosfera sia da quattro a cinque volte superiore al normale. Mentre in condizioni normali nella stratosfera l'ozono viene rimosso a una velocità uguale a quella di formazione, la presenza in dosi non naturali del cloro disturba questo equilibrio determinando una perdita netta di ozono. Soprattutto nell'Antartide le basse temperature facilitano l'azione catalizzatrice del cloro mentre ostacolano le reazioni fotochimiche catalizzate dagli ossidi di azoto (NO_x) che tendono a conservare l'equilibrio dell'ozono nella stratosfera.

Smog fotochimico

Un'altra negativa conseguenza dell'inquinamento è la presenza dello smog fotochimico nelle zone urbane.

In linguaggio tecnico, il termine si riferisce al miscuglio di gas inquinanti che si forma nella bassa atmosfera per azione della luce solare sulle emissioni antropogeniche (particolarmente gli ossidi di azoto e gli idrocarburi emessi dagli scarichi dei veicoli), con produzione di gas chimicamente reattivi che possono essere deleteri per gli organismi viventi.

L'ozono è uno dei prodotti principali di queste reazioni fotochimiche ed è la causa prima delle irritazioni agli occhi, dei disturbi all'apparato respiratorio e dei danni agli alberi e alle coltivazioni associati allo smog. La gravità del fenomeno è quindi generalmente valutata sulla base della concentrazione di ozono a livello del suolo. In altre parole, quella stessa molecola triatomica di ossigeno che è così importante per neutralizzare la radiazione ultravioletta nella stratosfera, dove si concentra circa il 90% dell'ozono atmosferico, costituisce un problema quando si accumula in eccesso in prossimità della superficie.

I ricercatori hanno misurato i livelli di ozono nella atmosfera sin dalla fine del XIX secolo, prima da terra e poi con l'aiuto di sofisticate strumentazioni aviotrasportate. Alcuni dei dati più antichi indicavano che il livello "naturale" dell'ozono presso il suolo in una stazione di rilevamento in Europa, circa un secolo fa, era più o meno di 10 parti per miliardo. Oggigiorno le tipiche concentrazioni al livello del suolo nell'Europa occidentale sono da due a quattro volte più alte. Quantità oltre 10 volte superiori al livello naturale vengono spesso rilevate in Europa occidentale, in California, negli Stati Uniti orientali e in Australia.

A completamento di questo capitolo siete invitati a leggere i 4 seguenti lavori:

- l'articolo di P. Bouvarel sull'effetto serra
- gli appunti di M. Mazzucchi sulle piogge acide
- l'articolo di T. Groedel e P. Crutzen "L'atmosfera che cambia"
- l'articolo di R. Stolarski "Il buco dell'ozono sull'Antartide".

Le piogge acide

Per convenzione si considera acida una precipitazione con pH inferiore a 5.6, valore questo assunto come normale per le acque di precipitazione atmosferica. Le sostanze responsabili dell'acidità delle piogge sono alcuni inquinanti atmosferici, principalmente gli ossidi di zolfo (SO_2 e SO_3) e gli ossidi di azoto (NO_x). Questi, a contatto con l'umidità dell'aria, si trasformano nei corrispondenti acidi forti, acido solforico e acido nitrico. Le piogge acide contengono in tracce anche altri elementi, F, Cl, Fe, ecc.

Esse sono perciò una tipica conseguenza dello sviluppo industriale. Se infatti la trasformazione nell'atmosfera dei gas in acidi e la loro rimozione tramite il ciclo dell'acqua sono processi operanti da sempre, è indubbio che il crescente uso di combustibili fossili (petrolio e carbone), a seguito dello sviluppo industriale, ha enormemente accresciuto il carico nell'atmosfera delle sostanze inquinanti.

Si ritiene ad esempio che:

- del biossido di zolfo (SO_2) presente nell'atmosfera il 50% derivi da cause naturali, mentre il 50% come media della biosfera (in alcuni paesi industrializzati, come ad esempio la Germania, tale aliquota sale addirittura al 97%) sia di origine antropogenica, emesso per lo più dalle ciminiere delle centrali termoelettriche e dagli impianti di riscaldamento domestico;
- degli ossidi di azoto solamente il 39% sia di origine naturale ed il 61% di origine antropogenica, dovuto essenzialmente ai gas di scarico delle automobili, degli aerei e alle emissioni delle centrali termo-elettriche.

Effetti sugli ecosistemi acquatici

Laghi e corsi d'acqua ricevono le "piogge acide" sia direttamente, sia dopo che esse hanno interessato la vegetazione ed il terreno. Gli effetti di una pioggia con basso pH sono strettamente dipendenti dalla capacità di neutralizzazione del corpo idrico, ossia del contenuto in ioni capaci di neutralizzare l'acidità. E' pertanto possibile, soprattutto in base alle caratteristiche geologiche (rocce calcaree, porfiriche, eccetera) del corpo idrico e del bacino sotteso, stabilirne il potere tampone o resistenza all'acidificazione. Al verificarsi di precipitazioni acide la diminuzione del pH nei laghi e fiumi debolmente tamponati è rapida e rilevanti sono le turbative all'attività biologica, tanto che si può anche arrivare ad una totale inattività biologica.

Si è notato ad esempio che la maggior parte dei laghi con $\text{pH} < 5$ non ospita pesci soprattutto perché in queste condizioni si ha una maggior mobilità dei materiali tossici come l'alluminio.

In Italia, grazie all'elevata presenza di zone con rocce carbonatiche, i laghi di maggiori dimensioni non risultano a rischio di acidificazione, mentre il pericolo esiste per circa il 50% dei laghi alpini, posti su rocce cristalline.

Effetti sul suolo

Va innanzitutto precisato che nei nostri climi, segnatamente alle quote medio-alte ed in presenza di boschi di conifere, i suoli tendono naturalmente ad acidificarsi negli orizzonti superficiali, come è dimostrato dalla notevole diffusione di tipiche specie acidofile come il mirtillo, anche su terreni derivanti da rocce calcaree. Qui le precipitazioni acide concorrono perciò a ridurre ulteriormente il pH a livelli non naturali. Il problema interessa invece solo marginalmente i terreni agrari, le cui caratteristiche sono più che altro dipendenti dalle concimazioni, lavorazioni, dal tipo di coltura praticato.

La risposta del terreno alle precipitazioni acide non è altrettanto rapida come per i sistemi acquatici: qui i fenomeni sono più lenti, più complessi. Si constatano comunque turbative all'attività biologica e modifiche della pedofauna, un aumento della lisciviazione dei cationi (Ca, Mg, K) ed un incremento, come per i corpi idrici, della mobilità dell'alluminio che inibisce l'attività dei peli radicali, ostacolando l'assorbimento dell'acqua e delle sostanze nutritive.

Effetto sulle foreste

I danneggiamenti al bosco sono quelli che, ad iniziare dagli anni 80, sono stati accolti con maggior preoccupazione da parte dei tecnici del settore e dell'opinione pubblica. Va peraltro detto che attualmente non sono ancora ben noti gli effetti delle "piogge acide" sulla vegetazione forestale e gli scienziati che si occupano di queste problematiche sono assai cauti e non concordi nel valutare quelli che vengono definiti i danni "di nuovo tipo".

I sintomi del danno consistono in una generale, progressiva perdita di vitalità delle piante segnalata essenzialmente:

- da una depigmentazione (ingiallimento e/o imbrunimento delle foglie)
- dalla perdita delle foglie

Normalmente la depigmentazione precede la caduta delle foglie ma non sempre esiste una siffatta progressione del fenomeno. In base al grado di decolorazione e/o di defogliazione sono state distinte, secondo una classificazione adottata a livello europeo, varie classi di danno, come risulta dal prospetto.

A lungo andare gli alberi possono essere portati a morte e comunque denotano un minor accrescimento ed uno stato di generale sofferenza che li predispone agli attacchi parassitari e li rende più sensibili alle avversità climatiche, quali la siccità o il gelo.

Si parla nel complesso di un insieme di fenomeni che vanno sotto il nome di "stato di deperimento" o di "moria del bosco".

E' un fatto che i danneggiamenti alla vegetazione, un tempo circoscritti alle zone prossime alle fonti di inquinamento, ove c'è una correlazione netta fra le emissioni, i danni ed i valori di soglia dei vari inquinanti, da alcuni anni sembrano interessare anche foreste assai distanti dai luoghi di emissione, per le quali un collegamento certo di causa ed effetto si è rilevato difficile da dimostrare.

Forse perché il bosco è un organismo estremamente vario, complesso, mutevole nello spazio e nel tempo.

Innumerevoli sono pertanto i fattori che interagiscono per garantirne la vitalità o, all'opposto, per creare condizioni di squilibrio.

L'inquinamento va considerato attualmente, in molte zone, una delle cause di squilibrio, non la sola.

Vari sono i meccanismi con cui gli inquinanti svolgono (o potrebbero svolgere) la loro azione e che riguardano il sistema bosco in tutta la sua interezza, come entità inscindibile di suolo e soprassuolo:

- a livello del terreno ove, aumentando l'acidità, l'azione tossica dell'alluminio comporta turbative all'attività dei microrganismi e danneggiamenti ai peli radicali, con conseguente carenza nell'assorbimento dell'acqua e degli elementi nutritivi;
- a livello delle foreste ove gli inquinanti in forma liquida o solida provocano abrasioni alle membrane cellulari ed alle aperture stomatiche, scioglimento dello strato ceroso che riveste le cellule con aumento della traspirazione e pericolo di disidratazione ed ancora altre alterazioni come indicato.

Si tratta in definitiva di danneggiamenti molto complessi, difficilmente imputabili ad una sola causa e si stanno attualmente affinando gli studi per stabilire quali di questi meccanismi ed in che misura siano responsabili dello stato di deperimento delle foreste. Potrebbe esserci anche un'azione sinergica fra varie sostanze tossiche.

Va inoltre considerato che la stessa quantificazione dei danni non è agevole, esistendo sempre un certo margine di soggettività nella valutazione dello stato di sofferenza di una pianta (si tratta di stime a vista) e soprattutto non è facile scindere i danneggiamenti dovuti all'inquinamento atmosferico da quelli prodotti da cause diverse di natura biotica od abiotica come la siccità, il gelo, gli attacchi parassitari, gli stessi interventi inadeguati di carattere selvicolturale. Per queste ragioni normalmente si fanno misure cumulative del danno, prescindendo dalle cause.

Gli inquinanti potrebbero in definitiva considerarsi come fattori aggiuntivi a tutta una serie di altri fattori normalmente sopportabili ma che combinati fra loro producono effetti debilitanti sul bosco.

Si riporta ora la situazione relativa allo stato di salute delle foreste per l'anno 1987 fornita da alcuni Stati europei:

	classe 0	classe 1	classe 2	classi 3+4	Rispetto all'anno precedente
Svizzera	44 %	41 %	12 %	3 %	+ 6 %
Germania	47,7%	35 %	16,2%	1,1%	- 1,4%
Austria	66,5%	29,9%	3 %	0,5%	- 3,7%

Per quanto riguarda i boschi del Trentino si rimanda al prospetto. Qui, a partire dal 1985, ha avuto inizio un monitoraggio sullo stato di salute dei boschi osservando i livelli di defogliazione e di depigmentazione di 5122 alberi distribuiti in 166 punti boscati della provincia e pertanto rappresentativi della locale situazione forestale. Onde seguire nel tempo l'evoluzione del fenomeno questi alberi sono stati numerati e rivisitati negli anni successivi sempre dagli stessi tecnici.

Come appare dal prospetto, nel 1986 e 1990, annate più piovose delle precedenti, si è notato un netto miglioramento dello stato del bosco a conferma che il deperimento è sicuramente influenzato dall'andamento climatico stagionale mentre non altrettanto netta è la correlazione con altri fattori. Le notevoli capacità di ripresa, evidenziate dagli alberi al verificarsi di condizioni più favorevoli, rappresentano inoltre un evidente segno della loro vitalità tanto che, sulla scorta delle osservazioni fatte, si ritiene che il fenomeno del deperimento possa considerarsi irreversibile solamente per le classi di danno più elevate, con percentuali di caduta delle foglie almeno del 30-40%.

Una valutazione obiettiva dello stato di salute del bosco, soprattutto a livello locale, dovrebbe in definitiva far ritenere non del tutto giustificato il pessimismo sul destino delle foreste diffusosi in questi ultimi anni nell'opinione pubblica. Invero queste tematiche sono state a volte trattate con emotività e non con il necessario rigore scientifico.

Siamo indubbiamente di fronte ad un problema nuovo, complesso, da considerare con attenzione e da seguire nella sua evoluzione senza peraltro esagerarne la portata e creare eccessivi allarmismi.

Ed indubbiamente le “piogge acide” non devono diventare un comodo alibi per giustificare ogni anomalia del bosco, molte delle quali sono invece imputabili ad altre cause, meglio conosciute (o che almeno lo possono essere con una maggiore attenzione ai fattori biotici ed abiotici che inducono uno stato di sofferenza negli ecosistemi forestali) sulle quali il selvicoltore può attivamente intervenire.

E' invece certo che non esistono misure selvicolturali idonee ad evitare i danni al bosco prodotti dall'inquinamento poiché gli alberi sono strutturati per esporsi all'aria (a differenza degli animali essi hanno una forma che garantisce la più ampia superficie con il minimo volume) e ricevere radiazioni, non per difendersi da esse ed è anche improbabile un loro adattamento genetico alle sostanze inquinanti.

Non è la selvicoltura perciò che può e deve adattarsi alle mutazioni ambientali, ma è la società nel suo complesso, nei modelli di sviluppo che intende perseguire che deve inquinare meno mediante una più oculata gestione delle risorse, attraverso un più corretto rapporto che l'uomo deve stabilire con l'ambiente. Anche perché piante, animali ed uomo respirano la stessa aria e tutto fa pensare che quando è danneggiata la natura, anche l'uomo viene colpito.

Ed è possibile inquinare meno!

Disponiamo infatti di tecnologie efficaci per limitare le emissioni e quindi il carico nell'atmosfera degli ossidi di zolfo, di azoto e degli altri inquinanti. Basta applicarle sopportando i relativi costi.

La natura ha le sue regole che non si possono modificare, soprattutto ha bisogno di tempi per rigenerare le risorse, di tempi per diluire e trasformare le sostanze tossiche. L'uomo è costretto a vivere in questo sistema chiuso che impone vincoli invalicabili a cui si deve adattare. In un ciclo ecologico non si possono accumulare rifiuti perché nulla è rifiutato e quando l'uomo arriva a produrre rifiuti in misura superiore a quella che può smaltire, siamo al punto di rottura dell'equilibrio ecologico.

La paura suscitata dalle “piogge acide” (come dal “buco” di ozono) è almeno servita a far prendere coscienza all'opinione pubblica di come l'attività dell'uomo ed un mancato controllo delle fonti di inquinamento possono modificare l'ambiente e con esso la qualità della vita dell'uomo stesso.

IL VENTO

I venti sono movimenti di masse d'aria prodotti da differenze di pressione atmosferica che si determinano fra zone più o meno lontane della superficie terrestre. Essi svolgono un'azione particolarmente importante sulle biocenosi forestali non solamente per le variazioni di temperatura e di umidità che essi comportano, ma ancor più per gli effetti di natura fisiologica esercitati sulla vegetazione. I venti provenienti dal mare sono apportatori di pioggia e di umidità per le regioni costiere, quelli da Nord determinano abbassamenti di temperatura, quelli da Sud repentini rialzi termici. Il territorio italiano, e segnatamente la regione alpina, sono esposti a venti di vario tipo e direzione ed è anche per tale fatto che le condizioni climatiche sono assai mutevoli da luogo a luogo ed anche nel corso di una stessa giornata. In base alla velocità (dipendente dal gradiente barico che si instaura tra due centri e dalla loro distanza) e alla pressione esercitata i venti possono essere così suddivisi (PRINCIPI, 1955):

Tipo del vento	Pressione Kg/m ²	Velocità	
		m/sec.	km/h
Brezza	0,12- 2,00	1-4	3,6-14,4
Brezza forte	3,12- 4,50	5-6	18,0-21,6
Vento moderato	6,12-10,12	7-9	25,2-32,4
Vento fresco	12,50	10	36,0
Vento forte	18,00	12	43,2
Colpo di vento	24,50	14	50,4
Vento fortissimo	32,00 - 50,00	16-20	57,6-72,0
Tempesta	78,00	25	90,0
Uragano	112,50 - 153,00	30-35	108,0 - 126,0
Ciclone	200,00 - 300,00	40-50	144,0 - 180,0

Si è soliti distinguere i venti in costanti, periodici, variabili e locali.

I venti costanti, caratteristici delle zone più calde, soffiano tutto l'anno nella stessa direzione (es. gli alisei: dai tropici all'equatore).

I venti periodici, assumono direzioni contrarie a seconda dei periodi dell'anno. I monsoni soffiano ogni sei mesi dagli oceani ai continenti e viceversa.

Le brezze di terra e di mare, spirano in senso inverso a seconda del giorno e della notte: le prime durante la notte, quando il mare è più caldo del terreno, le seconde di giorno quando il terreno è più caldo del mare.

Le brezze di montagna hanno andamento ascendente (brezza di valle) durante il giorno quando le cime dei monti sono sottoposte ad una forte insolazione, discendente nel corso della notte.

I venti variabili e locali, caratteristici delle regioni temperate, sono influenzati da particolari condizioni orografiche e differenze di temperature e di pressione che si originano in zone di limitata ampiezza.

Nelle nostre latitudini si ha nel corso dell'anno una prevalenza di venti da Ovest verso Est, con una componente da Nord in inverno e da Sud in estate.

In Italia, fra i venti caldi, è da ricordare lo scirocco proveniente dall'Africa che si arricchisce di umidità attraverso il Mediterraneo, fra quelli freddi la bora (da NE), il maestrale (da NO), la tramontana.

Il libeccio è un vento umido che spira da SO. E' un vento molto impetuoso, a causa del quale il mare diventa agitato, con grave pregiudizio anche per la vegetazione costiera. L'aerosol marino penetra infatti, anche per alcuni chilometri, nell'entroterra, provocando danni di natura sia meccanica che chimica, dovuti questi ultimi alla presenza del sale e degli inquinanti (soprattutto in prossimità dei grossi corsi d'acqua). Proprio per la difesa delle colture agrarie vennero un tempo impiantate le pinete litoranee ancora oggi in parte presenti sulla costa tirrenica.

Il Föhn è un vento discendente caldo e secco, locale, che spira nelle vallate alpine e la cui direzione, velocità e temperatura sono dipendenti dall'altezza e dalla disposizione delle catene montuose rispetto al percorso delle masse d'aria. Spesso il Föhn comporta fenomeni di aridità e pericolo di incendi.

1) Azione del vento sulla vegetazione

Quanto all'azione del vento sulla vegetazione si può dire che esso, in funzione dei propri caratteri, soprattutto la velocità, può essere il creatore del bosco favorendo l'impollinazione, la disseminazione e le varie funzioni biologiche, come pure il distruttore ed il fattore che fissa i limiti di diffusione del bosco.

L'azione dei venti sulle piante è di duplice natura, fisiologica e meccanica.

Azione fisiologica

I venti moderati esercitano generalmente un'azione favorevole sulla vegetazione, stimolandone la traspirazione e l'assimilazione con la continua rinnovazione dell'aria e in particolare dell'anidride carbonica intorno alle superfici fogliari. Attraverso l'aerazione del suolo facilitano i processi di decomposizione aerobia della sostanza organica.

Oltre certi limiti di velocità, invece, il vento agisce negativamente sulle piante provocandone il disseccamento delle foglie, dei germogli e delle gemme; ciò a causa della eccessiva traspirazione ed evaporazione, soprattutto quando nel terreno esistono scarse riserve idriche. Questa azione disseccante si esercita anche sul terreno e può riuscire dannosa sia durante i mesi estivi che durante quelli invernali, quando le piante non sono in grado di reintegrare l'acqua ceduta per evaporazione attraverso l'assorbimento di acqua dal terreno ancora gelato. Negativi per la vegetazione sono anche i bruschi cambiamenti di temperatura provocati da venti caldi o freddi soprattutto quando le piante sono in attività. Le specie abituate a vivere in ambienti aridi e le conifere sono più resistenti al vento delle latifoglie; così pure le foglie di luce (che hanno cuticola più spessa e un minor numero di aperture stomatiche) sono più resistenti di quelle d'ombra.

Gli alberi cresciuti in soprassuoli molto densi, se vengono bruscamente isolati, vanno spesso incontro (per l'azione del vento e per le concomitanti improvvise variazioni di illuminazione e di temperatura) ad un disseccamento dei rami superiori ed emettono nuove ramificazioni più in basso (es. abete bianco). Questo fenomeno viene definito "discesa delle cime" e si verifica prevalentemente dopo i tagli (in particolare quelli che determinano l'apertura di grossi margini) nei boschi maturi.

Azione meccanica

Quando i venti sono particolarmente violenti, agli effetti fisiologici si aggiungono sfavorevoli effetti meccanici. Interi boschi vengono ormai, con cadenza annuale, in Italia e in altre nazioni, distrutti o gravemente danneggiati da venti impetuosi.

Ma oltre a questi fenomeni catastrofici va rilevato che gli alberi subiscono, a causa del vento, squilibri nell'accrescimento che ne impediscono un regolare sviluppo, in particolare dove ci sono venti dominanti molto intensi: i fusti si incurvano e la sezione del tronco diventa ellittica, le

chiome si sviluppano da una sola parte prendendo una forma "a bandiera" molto evidente nelle regioni costiere ed in montagna lungo le linee di cresta. Nelle piante sottoposte a sollecitazioni anomale si origina un legno di reazione (di tensione nelle latifoglie e di compressione nelle conifere) di scadente valore tecnologico.

Sull'Appennino il limite superiore della vegetazione è quasi ovunque determinato dal vento. Qui, infatti, la vegetazione arborea si arresta prima delle linee di cresta pur in presenza di valori termici ed udometrici ancora sufficienti per la vita del bosco.

2) Azione della vegetazione sul vento

All'interno del bosco la velocità del vento è inferiore rispetto all'esterno per l'azione frenante esercitata dalle chiome e dai tronchi delle piante arboree ed arbustive. Si crea così all'interno del bosco un ambiente più umido e con minori escursioni termiche.

L'azione frenante del soprassuolo sul vento è massima in prossimità del suolo ed è tanto più intensa quanto più forte è il vento. Anche per questo motivo la rinnovazione (¹) del bosco si attua, per molte specie, sotto relativa copertura, in prossimità delle piante madri, lungo i margini, in chiari e vuoti di dimensioni ridotte che risentono del riparo della vegetazione arborea. Gli alberi posti lungo i margini, dotati di chiome ampie e vigorose sviluppate fino a terra, esercitano una valida protezione su quelli che crescono all'interno. Questi soggetti, con abbondante ramificazione, anche se forniscono legname di scarso pregio, svolgono quindi una positiva funzione su un intero bosco.

In campo agricolo, per difendere le colture dall'azione meccanica, dall'erosione eolica, dal disseccamento del suolo e delle parti verdi dei vegetali, si è fatto, soprattutto in passato, ampio ricorso alle barriere frangivento. Queste sono generalmente delle difese vive, ostacoli costituiti da filari di piante arboree opportunamente disposti sul terreno. L'entità della riduzione del vento e l'ampiezza della zona protetta dipendono dall'altezza della fascia frangivento (l'azione moderatrice si manifesta fino a 20-25 volte tale altezza), dalla sua lunghezza, dallo spessore (normalmente da 3-4 a 8-10 filari di alberi), dalla densità, composizione e struttura (posizione delle piante rispetto alla direzione del vento, modo con cui esse si associano nei filari), dalle specie vegetali che la compongono. Anche se in prossimità dei frangivento le colture risentono della concorrenza radicale, studi ed esperienze svolte in più parti del mondo hanno messo in evidenza i positivi effetti di tali strutture sulle produzioni agrarie ed orticole -la produzione del frumento può subire aumenti pari al 25% - cui si aggiunge un generale miglioramento delle condizioni ambientali. E' stata pure dimostrata l'importanza dei frangivento sulla produzione zootecnica. Di qui l'opportunità della presenza di gruppi di alberi negli alpeggi.

¹ La rinnovazione delle foreste in natura si realizza quando, in particolari condizioni ambientali, il seme germina e si sviluppano molte pianticelle destinate a sostituire un giorno le piante vecchie, garantendo così la perpetuazione del bosco.

LA RADIAZIONE SOLARE

Solo una parte della radiazione emessa dal sole giunge fino alla terra. Tale frazione, pari a circa 2 calorie al minuto per centimetro quadrato, è detta costante solare.

Dal punto di vista qualitativo le radiazioni possono essere distinte in base alla loro lunghezza d'onda:

- sotto $0,3 \mu\text{m}$? raggi ultravioletti
 - tra $0,4$ e $0,7 \mu\text{m}$? campo del visibile
 - oltre $3 \mu\text{m}$? infrarossi e altre onde
- } onde brevi
- } onde lunghe

Sulla superficie della terra arrivano in effetti solo raggi compresi fra $0,3$ e $3 \mu\text{m}$, per un valore complessivo di circa 1 cal/min/cm^2 : i raggi ultravioletti sono infatti assorbiti dall'ozono, gli infrarossi dalla CO_2 e dal vapor acqueo, si hanno inoltre fenomeni di riflessione, eccetera.

La luce arriva al suolo direttamente o indirettamente (dopo aver subito cioè fenomeni di dispersione e diffusione, dopo essere stata cioè sparpagliata in tutte le direzioni dalle molecole di gas, dalle goccioline d'acqua, dal pulviscolo atmosferico).

C'è poi una radiazione di ritorno dalla terra che può essere nuovamente intercettata dal vapor d'acqua e dalla CO_2 e ritrasmessa al suolo (raggi infrarossi).

La grande quantità di energia termica inglobata dalla troposfera è il motore di tutta una serie di processi da cui dipendono il riscaldamento della terra e dell'aria, il ciclo dell'acqua ed i venti.

BILANCIO RADIATIVO

Se costante solare = 100

100	-		
19	-	?	assorbimento dell'atmosfera
20	-	?	radiazione riflessa dalle nubi *
9	-	?	radiazione riflessa dai componenti dell'atmosfera *
<u>5</u>	=	?	radiazione riflessa dal suolo *
47		?	radiazione assorbita dalla superficie terrestre di cui:
		24	? radiazione diretta
		17	? radiazione diffusa dalle nubi
		6	? radiazione diffusa dall'atmosfera

* albedo totale; albedo = rapporto tra radiazione riflessa e radiazione solare incidente.

Il dato che abbiamo fornito è un valore medio di radiazione che arriva sulla terra. Se però noi vogliamo sapere localmente l'entità di radiazione che arriva potenzialmente al suolo in funzione di latitudine, esposizione e pendenza, facciamo ricorso al concetto di assolazione.

L'assolazione è un valore convenzionale, esprime il numero di ore durante le quali il sole dovrebbe rimanere immobile sulla normale al punto considerato, per cedere quel quantitativo di energia che gli trasmette nel corso effettivo di un anno.

Il calcolo dell'assolazione viene eseguito sulla base dell'esposizione e della pendenza, riferendosi ad un'atmosfera tipo, pura e secca. Le formule che permettono di determinare l'assolazione sottintendono il calcolo delle calorie che arrivano, minuto per minuto, durante tutto l'anno e che cambiano in ciascun minuto in funzione dell'inclinazione dei raggi dovute alla rotazione e alla rivoluzione.

Si tratta di un valore potenziale e non reale (quello reale viene definito insolazione), perché non tiene conto dell'ombreggiamento dovuto alle nuvole o ai rilievi montuosi, è un valore però facilmente determinabile e l'unico a cui fare riferimento per dei confronti oggettivi fra diverse zone e per valutare le caratteristiche e le attitudini potenziali dei diversi luoghi.

Si riportano di seguito un esempio di tavola dell'assolazione e di carte dell'assolazione (realizzate, con l'uso delle tavole, sulla base delle caratteristiche topografiche dei luoghi).

Alla radiazione solare sono strettamente legati due dei principali fattori che condizionano la vita sulla terra: la luce e la temperatura.

LA LUCE

Quella parte di radiazione con lunghezza d'onda compresa fra 0,4 e 0,7 μm costituisce la frazione visibile della radiazione solare:

0,4 μm	?	violetto
0,5 μm	?	blu/verde
0,6 μm	?	arancione
0,7 μm	?	rosso

E' questa la frazione di energia radiante che permette il processo di fotosintesi clorofilliana: ovvero quel processo, fondamentale per la vita sulla terra, grazie al quale le parti verdi delle piante, contenenti un pigmento detto clorofilla, sono in grado di sfruttare l'energia luminosa per sintetizzare la sostanza organica, trasformando cioè il carbonio inorganico contenuto nella CO_2 in carbonio organico.

La luce è inoltre importantissima per altri processi fisiologici essenziali nella vita dei vegetali. La fruttificazione, i processi di rinnovazione (germinazione del seme e capacità di accrescimento dei semenzali), l'accrescimento sono strettamente legati alla disponibilità di luce.

1) Azione della luce sulla vegetazione

Al variare della latitudine cambia sensibilmente la durata della fase luminosa del giorno (fotoperiodo). Alle nostre latitudini il giorno più lungo (solstizio d'estate) è di 16 ore e quello più breve di 8 ore, all'equatore la differenza è trascurabile.

La durata del fotoperiodo controlla funzioni importantissime quali la germinazione dei semi, il risveglio vegetativo, la fioritura.

Il fotoperiodismo funziona come un orologio biologico che scandisce i ritmi degli organismi animali e vegetali (ad esempio la riproduzione, la migrazione degli uccelli, eccetera).

Condiziona pertanto la distribuzione delle specie sulla terra, ovvero l'areale.

Le piante delle regioni tropicali si dicono brevidiurne, quelle delle zone temperate e fredde longidiurne. Alcune specie, come il pino silvestre, ampiamente diffuse a varie latitudini, si sono differenziate in ecotipi (¹) adattati a diversi fotoperiodi.

Si dicono eliofile le specie che hanno bisogno di elevata illuminazione, sciafile quelle che tollerano l'ombra.

Le specie eliofile colonizzano facilmente i terreni scoperti e se si trovano a nascere sotto la chioma delle piante madri (ovvero "sotto copertura") non vivono a lungo.

Le specie sciafile (ad esempio faggio, abete bianco, leccio) possono riprendersi dopo un periodo di "aduggiamento" (periodo in cui restano sotto copertura). Si dice comunemente che le specie sciafile hanno bisogno, per potersi rinnovare, di protezione laterale o dall'alto; ciò non vuol dire che tali specie rifuggano la luce, ma è legato ad altre necessità (ad esempio necessità di protezione dall'eccessivo soleggiamento che può causare deficit idrico, o di particolari condizioni chimiche e biologiche del terreno legate all'ombreggiamento, oppure necessità di protezione dalla concorrenza della vegetazione spontanea).

¹ Si tratta di differenziazioni che si verificano nell'ambito della stessa specie, come conseguenza dell'adattamento a diverse condizioni ambientali (luce, temperatura, caratteristiche del terreno, eccetera).

Per un buon sviluppo delle giovani piantine ("novellame"), una volta che esse si sono insediate, la luce è comunque necessaria. Piantine sofferenti a causa di carenza di luce mostrano, negli abeti, un maggior allungamento dei getti laterali rispetto a quello apicale ed un aspetto globoso anziché piramidale, oltre a colorazione delle foglie spesso anormale.

La luce influisce sullo sviluppo dunque e sulle caratteristiche morfologiche e condizioni fisiologiche dei singoli individui.

Influenza infatti la forma e lo sviluppo della chioma, determinando, quando è sufficiente, un buon equilibrio fra chioma, fusto e radici e un equilibrato rapporto fra crescita in altezza e in diametro.

Le piante isolate, a seconda delle caratteristiche proprie della specie, presentano chioma globosa o portata fino in basso.

Gli alberi in popolamento forestale hanno generalmente invece chiome attaccate più in alto e spesso compresse. E' necessario però che anche in un popolamento forestale la chioma possa svilupparsi armonicamente, conferendo così vigore vegetativo e stabilità fisica e biologica ai singoli alberi e al popolamento. Il bisogno di creare queste condizioni è uno dei presupposti del diradamento, dell'intervento volto cioè a diminuire la densità del popolamento e di cui si parlerà ampiamente nella parte del corso dedicata alla selvicoltura.

2) Azione del bosco sulla luce

Nell'attraversare le chiome degli alberi la luce viene modificata sia in termini qualitativi (alcune radiazioni vengono assorbite più delle altre) che quantitativi (una parte, fino al 20%, viene riflessa; una piccola parte, da 0,5-1 fino al 5%, viene utilizzata per la fotosintesi o assorbita per altri processi, eccetera).

La parte che raggiunge il suolo dipende da:

- caratteristiche delle specie; specie eliofile come larice, pino silvestre e betulla ne possono lasciar passare fino al 50%, specie sciafile come il faggio ne possono lasciar passare anche solo il 5-15%, con dirette conseguenze sullo sviluppo della vegetazione erbacea ed arbustiva e sulle proprietà del suolo;
- densità;
- struttura e stadio evolutivo (un novelleto o una spessaia, ovverosia boschi molto giovani, lasciano filtrare meno luce di un bosco maturo).

La luce è il fattore sul quale il selvicoltore può più attivamente intervenire, dosandone con il tipo di trattamento, quantità e distribuzione in funzione degli obiettivi.

LA TEMPERATURA

La temperatura dell'aria è determinata dalla quantità di calore ceduto dalle radiazioni dirette - le radiazioni termiche sono quelle di grande lunghezza d'onda, fra 0,76 e 600 μm - diffuse, riflesse e di ritorno dalla terra ed è in ogni momento e luogo il risultato dell'interazione di numerosi fattori abiotici ⁽¹⁾ e biotici ⁽²⁾.

Tra i fattori abiotici ad azione termica i più importanti sono: latitudine, altitudine, esposizione e pendenza, conducibilità termica delle rocce, stato del cielo e contenuto in vapore d'acqua dell'atmosfera, venti e posizione della terraferma nei riguardi delle masse d'acqua e delle correnti marine.

La temperatura media annua più elevata si ha intorno a 15' di latitudine nord, dove è di 27°C; di qui decresce progressivamente proseguendo verso la regione polare di circa 0,67°C per ogni grado di latitudine.

La riduzione non è costante causa l'effetto mitigante dei laghi, dei mari, degli oceani -l'acqua grazie all'elevato calore specifico assorbe il calore molto più lentamente della terra e più lentamente lo cede - la cui presenza limita anche le escursioni termiche stagionali e giornaliere.

L'esposizione e la pendenza influenzano notevolmente la quantità di radiazioni che pervengono al suolo per cui si distinguono esposizioni fredde (versanti a Nord, vallate ombreggiate, eccetera) ed esposizioni calde (versanti esposti a mezzogiorno). Tra le une e le altre le differenze possono essere di 2°C per la temperatura media annua e ancor più per le medie e gli estremi giornalieri, con dirette influenze sulla vegetazione che da un versante all'altro assume così (anche per la disuguale illuminazione) molto spesso aspetti assai diversi. Anche i limiti altitudinali delle varie specie arboree si innalzano o si abbassano al variare dell'esposizione e della pendenza ⁽³⁾.

Con l'altitudine la temperatura diminuisce di 1° C ogni 184 metri.

Anche se, infatti, in montagna la radiazione incidente è più elevata che in pianura, sia perché lo strato d'aria da attraversare è meno spesso e con minor contenuto di vapore acqueo, sia perché è più trasparente e con minori impurità, c'è però una più elevata dispersione, in quanto la maggiore purezza dell'atmosfera favorisce l'irraggiamento notturno.

Nelle vallate alpine e nella stessa zona pedemontana sono frequenti fenomeni di inversione termica poiché la temperatura del fondovalle si mantiene inferiore a quella dei rilievi circostanti. Qui le specie termofile ⁽⁴⁾ vegetano più in alto, quelle microterme ⁽⁴⁾ più in basso. Il fenomeno si spiega col forte irraggiamento notturno in alta montagna che provoca la formazione di masse d'aria fredda che, essendo più pesanti, scivolano verso il basso accumulandosi nelle depressioni e nei fondovalle, da cui non vengono allontanate per i ridotti movimenti atmosferici ⁽⁵⁾.

¹ abiotici = non viventi

² biotici = viventi

³ Nei climi dove il fattore limitante è l'acqua (in molte zone dell'Appennino) il limite superiore della vegetazione arborea è più alto a nord che a sud, laddove invece il fattore limitante è la temperatura (nella gran parte della regione alpina) il limite superiore è più alto a sud che a nord. Per limite superiore della vegetazione arborea si intende la massima quota in cui si trovano formazioni arboree, al di sopra di questo limite vegetano solo arbusti ed erbe. I ritmi vegetativi delle piante (e quindi ripresa e riposo vegetativo) sono influenzati da quota ad esposizione: a parità di quota la ripresa vegetativa è più precoce nelle esposizioni a sud.

⁴ Spiegazione questi termini viene data più avanti, in questo capitolo.

⁵ Fenomeni di inversione termica hanno luogo anche nelle pianure durante la stagione invernale, nei periodi di alta pressione.

Nei grandi massicci montuosi l'estate è molto più calda che sulle montagna, anche alte, ma di ridotte dimensioni. Questo fatto condiziona i limiti superiori della foresta i quali, essendo sensibilmente influenzati dalla temperatura estiva (soprattutto il decorso termico del mese di luglio che condiziona la lignificazione dei tessuti e la normale entrata in riposo autunnale), sono più elevati ove l'altitudine di massa - con questo termine si intende "l'altitudine media di una regione montuosa o, meglio, l'altitudine del solido cilindrico avente ugual volume e ugual base del massiccio montuoso" - è maggiore ed ove cioè si ha un clima più continentale ⁽¹⁾. Ciò spiega la differenza nei limiti superiori della vegetazione forestale fra Alpi occidentali (dove la foresta raggiunge i 2400-2500 m) e Alpi orientali; in queste ultime il limite superiore della vegetazione è più basso (1700-1800 m) a causa della minore "massa della montagna" e delle maggiori precipitazioni, soprattutto in estate.

Ad esempio nelle Alpi orientali l'abete rosso vegeta bene già a 500 m. e non arriva oltre i 1700 m., in quelle occidentali compare generalmente attorno ai 1000 m e si spinge oltre i 2000.

1) Azione della temperatura sulla vegetazione

La temperatura, costituendo una delle componenti essenziali del clima, determina, pur con il concorso di altri fattori, soprattutto l'acqua, la distribuzione geografica della vegetazione e l'epoca in cui si manifesta l'attività vegetativa. La temperatura determina cioè l'areale delle singole specie intendendo con questo termine l'area occupata da una specie a partire da un presunto centro di diffusione, fin dove non esistono ostacoli alla sua espansione. Ogni specie ha un proprio areale, più o meno ampio a seconda della sua plasticità, ossia della capacità di adattamento a determinati valori di temperatura e ambientali in genere, capacità che costituisce quindi una caratteristica fissata geneticamente. Al centro dell'areale di una specie i valori termici sono per essa ottimali, mentre si allontanano sempre più dall'optimum nelle aree marginali, fino a divenire limitanti. Come si è detto, date le interdipendenze fra i vari fattori ambientali, l'areale di una specie non è ascrivibile a soli valori termici, generalmente però i limiti boreali e montani di diffusione sono legati alla temperatura, in particolare l'insufficiente calore estivo per i processi di assimilazione e di riproduzione nelle zone montane e nei climi oceanici, il freddo invernale ed i geli tardivi nei climi continentali.

In base alle esigenze termiche si possono classificare le specie forestali in:

Megaterme: proprie delle regioni calde (equatore-tropici) che richiedono temperature costantemente superiori ai 20°.

Mesoterme: si adattano a temperature medie nel periodo vegetativo da 20 a 15° C in presenza di valori medi di umidità (castagno, faggio, abete bianco, eccetera). Sono proprie delle regioni temperate calde e medie, quali le zone europee più prossime ai mari ed i versanti delle Alpi fino a 1000-1400 m.

Microterme: esigono temperature fra 15 e 0° C (abete rosso, larice, betulla, eccetera). Sono tipiche delle regioni temperate fredde, ad esempio le zone continentali europee fino alla Siberia, le quote più elevate delle Alpi.

Echistoterme: occupano le regioni polari e le vette delle montagne più alte ed hanno portamento nano e arbustivo.

¹ Ove maggiore è l'altitudine di massa si ha anche generalmente un minor spessore del manto nevoso ed una minore nuvolosità. La definizione di clima continentale viene data più avanti, in questo stesso capitolo.

Le piante che sopportano variazioni molto ampie di temperatura si dicono euriterme, quelle che ammettono solo lievi oscillazioni stenoterme.

I dati termici abitualmente utilizzati per definire un clima sono le medie annuali, le medie mensili, talvolta quelle stagionali e gli estremi medi ed assoluti nel mese e nell'anno.

La temperatura media annua non può definire da sola il clima di una zona, ad esempio le notevoli differenze fra clima continentale ed oceanico, che dipendono dall'ampiezza delle escursioni termiche e dal diverso regime udometrico.

Zone costiere possono così evidenziare, a parità di medie annuali, regimi climatici estremamente diversi da zone continentali, come risulta dai climi di Hammerfest (Norvegia) e di Irkutsk (Siberia).

	Hammerfest	Irkutsk
	°C	°C
Temperatura media annua	2,1	-1,3
Temperatura media dei mese più caldo (luglio)	11,8	18,0
Temperatura media del mese più freddo	-5,2	-20,8
Escursione annua	17,0	38,8
Media delle minime	-14,2	-38,4
Precipitazioni annue	1150 mm	254 mm

Il grado di continentalità nell'ambiente alpino varia sensibilmente anche in aree ristrette a seconda dell'orientamento delle vallate (quelle con orientamento Nord-Sud sono più esposte alle correnti caldo-umide meridionali), dell'altezza e della disposizione delle catene montuose, con dirette influenze sui caratteri della vegetazione forestale.

Il faggio, ad esempio, specie tipicamente oceanica, è legato ad escursioni poco accentuate e generalmente non si rinviene alla testata delle vallate alpine più interne, la picea richiede invece climi a forte continentalità.

Le temperature medie stagionali sono responsabili dei periodi di attività e di riposo vegetativo. Nei climi mediterranei il riposo vegetativo è stimolato dalla deficienza di umidità, nelle zone temperate e fredde dall'abbassamento di temperatura e dal sopraggiungere di temperature minime in autunno. Per resistere ai geli invernali le specie mesoterme e microterme devono trovarsi in uno stato di completa quiescenza. In questa fase la respirazione e la traspirazione sono ridotte a livelli minimi, la fotosintesi è praticamente assente e le varie specie mettono in atto altre risposte adattative alle condizioni ambientali quali una relativa disidratazione dei tessuti, un aumento del contenuto in zuccheri e della pressione osmotica delle soluzioni. Gli stessi animali in inverno sopravvivono in tanti modi, tutti caratterizzati dal risparmio energetico.

E' importante rilevare che le varie specie sono geneticamente predisposte ad un determinato regime termico. Così il faggio e l'abete bianco entrano in riposo ai primi geli autunnali e sopportano inverni non molto freddi. L'abete rosso invece, per arrestare l'attività vegetativa, esige minime autunnali molto rigide, dell'ordine di alcuni gradi sotto lo zero; se ciò non si verifica (ad esempio perché portato a vegetare in zone inadatte, con clima mite) rimane in uno stato di riposo imperfetto che è causa di squilibri fisiologici e di sofferenza nei confronti di varie cause avverse e degli stessi minimi invernali, mentre nel proprio areale sopporta temperature anche di -60°C .

L'andamento climatico e la durata del periodo vegetativo hanno dirette influenze sulla quantità e qualità della produzione legnosa. Ad esempio il pino silvestre delle zone nordiche (di Svezia, della zona di Riga) presenta anelli annuali finissimi e omogenei per il regolare

andamento climatico e la lentezza dell'accrescimento; nei climi oceanici invece la stessa specie (come la generalità delle piante forestali) manifesta anelli annuali più larghi e meno omogenei, con un aumento quindi della produzione a scapito però della qualità del legname.

Uguale differenza esiste per il legname prodotto nelle vallate alpine fra quello più pregiato delle provenienze d'alta quota e quello con più scadenti caratteri tecnologici delle quote basse.

La resistenza al gelo come pure alle temperature elevate è minore negli stadi giovanili, durante i quali limitata è la possibilità di tollerare la disidratazione e di elevare la pressione osmotica delle soluzioni. Si spiega così per molte specie la preferenza della rinnovazione ad insediarsi sotto relativa copertura, al riparo degli estremi termici. Nei giovani rimboschimenti l'azione del gelo e disgelo, provocando il sollevamento del suolo, a meno che esso non sia innevato, può comportare anche lo scalzamento delle piantine.

I danni alla vegetazione, più che dall'intensità del freddo sono, per quanto si è detto, determinati dall'epoca stagionale in cui il gelo coglie la pianta, poiché la sensibilità è massima quanto più elevato è, come in primavera ed inizio autunno, il contenuto in acqua dei tessuti vegetali. Così le gelate precoci (autunnali) e tardive (primaverili) sono molto più dannose delle minime invernali. Pertanto, accanto ai valori minimi assoluti, è necessario conoscere anche le minime mensili di una località. Le gelate tardive sono particolarmente frequenti nei climi continentali dell'Europa centrale ed in alcuni settori delle Alpi (si hanno gelate anche in luglio), soprattutto nelle esposizioni calde dove inizia prima l'attività vegetativa; le gelate precoci sono più frequenti sulla maggior parte del territorio italiano e sono temibili anche nelle regioni nordiche. L'azione del gelo è più intensa sui terreni umidi che su quelli asciutti e può essere aggravata anche dal vento che, elevando la traspirazione, provoca maggiori perdite di calore da parte delle piante.

Le temperature elevate sono dannose alla vegetazione per la loro azione disseccante soprattutto in condizioni di aridità del terreno, che non permettono alle piante di abbassare la temperatura degli organi vegetativi mediante un aumento della traspirazione. Le alte temperature estive o primaverili possono provocare scottature sui tronchi di alberi bruscamente isolati, almeno sulla parte più direttamente illuminata, defogliazioni precoci ad iniziare dalla parte interna della chioma ed uno stato di generale indebolimento, evidenziato anche da emissione di resina dalle foglie che le predispone agli attacchi parassitari.

Nel controllo di varie funzioni vitali molta importanza viene attribuita alla escursione termica giornaliera. Se le differenze di temperatura fra giorno e notte sono eccezionalmente elevate, le piante possono subire danni meccanici come cretti da gelo, cioè lesioni longitudinali del fusto per lo più ad altezza variabile da 1 a 3 m di altezza dal suolo, che riguardano per lo più le querce, i castagni ed anche gli abeti; escursioni contenute sono invece favorevoli in quanto le notti fresche, riducendo la respirazione, consentono un maggiore accumulo delle sostanze fotosintetizzate con un incremento della produzione netta.

Va sottolineato, in conclusione, come i minimi termici (geli invernali, autunnali o primaverili) riescano di norma poco dannosi alla vegetazione spontanea, poiché nei secoli si è verificata nella popolazione una selezione che ha permesso la sopravvivenza solo a quelle specie, o meglio, a quegli ecotipi che si sono adattati ai caratteri del clima. E' anche questo un valido motivo per dare, ovunque possibile, la preferenza alla rinnovazione naturale del bosco poiché con il rimboschimento possiamo impiegare la specie adatta, ma difficilmente l'ecotipo locale. I geli colpiscono infatti di norma le specie diffuse al di fuori del loro areale naturale. Nella diffusione di nuove specie, quindi, occorre valutare se esiste parallelismo fra i caratteri climatici dell'ambiente originario e quello di impianto. A tal fine i vari parametri termici (minimi invernali, frequenza delle gelate precoci e tardive, grado di continentalità o di oceanità del clima,

eccetera) vanno dal selvicoltore normalmente verificati ed integrati dall'osservazione della vegetazione naturale esistente in un determinato luogo sia a livello arboreo, che arbustivo ed erbaceo e ciò perché tali specie sono fedeli indicatrici di quella somma di fattori che caratterizzano, anche su superfici limitate, il regime termico di un determinato luogo.

2) Azione del bosco sulla temperatura

Nei climi temperato-freddi il bosco esercita un'azione mitigante sulla temperatura, con una riduzione delle temperature massime in estate ed un aumento, anche se in misura minore, delle minime in inverno. Si ha cioè una riduzione dell'escursione termica sia giornaliera che annua. Ciò è dovuto sia a cause di ordine fisico come la minore dispersione di calore dal suolo boscato e l'azione frenante del vento ad opera del soprassuolo, sia a motivi fisiologici, in particolare alla traspirazione delle piante durante il periodo vegetativo, che comporta una perdita di calore ed un abbassamento della temperatura all'interno del bosco. Tale abbassamento nel periodo estivo è infatti correlato all'attività traspiratoria della vegetazione, è quindi più intenso per le specie igrofile che per quelle xerofile, nei boschi densi che in quelli radi. Mediamente la temperatura media annua del bosco è inferiore di circa 2° rispetto all'esterno. L'azione mitigante del bosco sulle temperature è intensa soprattutto a livello del suolo ove avvengono la germinazione dei semi e la crescita dei semenzali, funzioni vitali cioè importantissime e delicate per la perpetuità del bosco e che esigono il microclima particolare umido e mite assicurato dalla copertura. Ma tutto l'ecosistema risente del particolare clima termico del bosco, la fauna, il terreno (che per la minore evaporazione è meno soggetto al disseccamento) e la pedofauna, con dirette influenze sui processi biologici, fisici e chimici che nel terreno hanno luogo.

Nelle formazioni forestali dei climi temperato-caldi, come ad esempio nella macchia mediterranea, la temperatura estiva del bosco è superiore di quella all'esterno sia per la notevole riduzione della traspirazione (nei mesi estivi si ha una pausa dell'attività vegetativa) sia per il ristagno dell'aria calda all'interno della boscaglia.

L'ACQUA E IL CICLO IDROLOGICO

Considerazioni generali

Dopo il calore è l'acqua a determinare la distribuzione della vegetazione sul nostro pianeta. Essa rappresenta, infatti, un elemento indispensabile alla vita vegetale, sia come vettore di sostanze nutritive, sia come costituente fondamentale del protoplasma ⁽¹⁾ ed elemento indispensabile ai processi chimici cellulari. Secondo PERRIN, per la produzione di 1 kg di materia secca si richiedono 400 kg di acqua per il faggio, 360 kg per la picea, 116 kg per il pino silvestre; inoltre, una produzione annua di 5 m³ di legname per ha richiede all'incirca 1500 m³ d'acqua per il faggio e 500 m³ per il pino silvestre. In media un ettaro di foresta abbisogna, in un anno, da 1000 a 4500 m³ di acqua.

Di tutta l'acqua presente in natura, il 97,2% è contenuto negli oceani, che coprono i $\frac{3}{4}$ della superficie terrestre, il 2,15% nei ghiacciai, lo 0,65% nelle acque interne (fiumi, laghi, bacini sotterranei) e solo lo 0,001% si trova in forma di vapore atmosferico dove però svolge un ruolo fondamentale.

I due terzi della superficie terrestre sono costituiti dall'acqua che rappresenta un fattore fondamentale del clima e dell'ambiente ed è indispensabile per tutte le forme viventi.

Essa costituisce una risorsa rinnovabile tanto preziosa quanto delicata, da gestire con oculatezza in modo che sia disponibile in quantità sufficiente e, per quanto possibile, di purezza. Non sempre ciò è avvenuto ed avviene ed ormai in ogni parte della terra l'acqua pone problemi pressanti sia nei riguardi della quantità che della qualità ed appare improcrastinabile un miglioramento nella gestione delle risorse idriche terrestri. Razionalità e regolamentazione nell'uso di questa risorsa rappresentano ormai delle esigenze per le stesse regioni notoriamente ricche d'acqua.

Si stima che la quantità di acqua dolce del pianeta direttamente disponibile per l'uomo e le varie specie animali sia di circa 9000 miliardi di m³/anno (escluse le acque sotterranee ed i ghiacciai). Se saggiamente utilizzata sarebbe sufficiente per una popolazione di gran lunga superiore a quella attuale. Si tratta di controllare e coordinare i diversi usi, civili, potabili, irrigui, idroelettrici, eccetera. Al momento, accanto ad una disponibilità locale estremamente variabile, si registrano notevoli sprechi, mentre il consumo dell'acqua è in continuo aumento in risposta all'aumento della popolazione ed all'aumento delle richieste per usi agricoli ed industriali. Si calcola che un cittadino statunitense consumi mediamente 2000 mc di acqua all'anno.

L'agricoltura è la principale utilizzatrice di acqua dolce, circa il 73% è destinata ad essa. Ma proprio in agricoltura elevati, talvolta inammissibili, sono gli sprechi. L'irrigazione, ad esempio, interessa 3 milioni di km² e l'area irrigata si accresce dell'8% all'anno. Così com'è praticata, per lo più per scorrimento, è estremamente inefficiente tanto che solo il 37% circa dell'acqua utilizzata è realmente assorbita dalle piante, il resto si perde nel terreno. Le possibilità di risparmio, adottando tecniche di irrigazione più razionali, sono notevoli, tenendo inoltre presente che l'acqua in eccesso è dannosa per le stesse piante. E' necessario perciò migliorare l'efficienza dei consumi di acqua per non andare incontro a gravi penurie.

Ma radicali cambiamenti si impongono dal punto di vista della qualità. Milioni di persone muoiono ogni anno per malattie che hanno come veicolo l'acqua inquinata. Già le precipitazioni, attraversando l'atmosfera, vengono a contatto con i gas e le particelle prodotte ed immesse nell'atmosfera stessa dalle attività umane. E le deposizioni acide fanno sentire i loro effetti sui

¹ Il protoplasma è la sostanza vivente che costituisce la cellula.

serbatoi di acqua dolce, laghi e fiumi. Nel loro percorso all'interno del profilo del terreno e nei fiumi le acque si caricano dei rifiuti provenienti dalle aree urbane, dai centri industriali e dalle zone agricole. Scarichi fognari eccessivi, che superano la capacità di autodepurazione di un corso d'acqua, portano all'eutrofizzazione delle acque. I rifiuti dell'industria (a volte quelli delle piccole imprese artigiane) includono metalli pesanti e prodotti chimici di sintesi fortemente tossici e persistenti.

L'agricoltura è responsabile dell'inquinamento dei fiumi e delle falde sotterranee per l'apporto di nitrati, fosforo e residui di prodotti usati come diserbanti (ad esempio l'atrazina) o fitofarmaci. E se l'inquinamento di fiumi e laghi è potenzialmente reversibile se vengono adottate adeguate misure di depurazione, quello delle acque sotterranee non lo è. Esse non sono a contatto con l'ossigeno atmosferico necessario per gli organismi che trasformano le sostanze inquinanti. E così le acque sotterranee a cui si ricorre sempre più (anche se dovrebbero considerarsi un capitale da non intaccare in quantità e qualità) vanno incontro ad un inquinamento che rischia di divenire irreversibile. Non esistono possibilità di cura, per esse bisogna puntare sulla prevenzione, evitare che si inquinino. Ma anche per tutte le altre acque sarebbe opportuno ed economicamente conveniente intervenire alle radici dell'inquinamento mantenendo, soprattutto nelle zone densamente popolate e dove si concentrano le attività produttive, il livello minimo di contaminazione compatibile con le attività economiche. E' necessario quindi, per una gestione delle risorse idriche che sappia garantire quantità e qualità idonee, che si agisca per proteggere le risorse ancora integre recuperando quelle in varia misura compromesse. La tutela delle acque presuppone comunque la tutela degli altri ecosistemi terrestri che svolgono un ruolo cruciale nel ciclo delle acque, in particolare di quelli forestali.

Valutando gli effetti dell'acqua sulla vegetazione si può affermare che, mentre nei climi caldi l'azione dell'umidità è preminente rispetto a quella del calore (a seconda delle disponibilità idriche si sviluppa il bosco o si hanno formazioni più xerofile quali la savana, la steppa, eccetera), nei climi più freddi è il calore il fattore limitante per determinate formazioni vegetali.

Il ciclo idrologico

Il ciclo idrologico (ovvero ciclo dell'acqua) è una specie di circuito chiuso in cui l'acqua viaggia ininterrottamente tra atmosfera, idrosfera e litosfera, passando anche attraverso il corpo dei vegetali e degli animali. Durante questo percorso l'acqua assume diversi stati di aggregazione: vapore, liquido e solido.

L'atmosfera contiene solo una quantità molto esigua di acqua, quantunque gli scambi idrici tra terraferma e distese di acqua siano molto elevati.

L'atmosfera si carica di umidità, sia in seguito all'evaporazione da parte degli oceani, dei laghi, dei fiumi, sia per la traspirazione dei vegetali. Il ciclo ha origine negli apporti energetici della radiazione solare. Circa un terzo dell'intera energia solare è dissipato per azionare il ciclo idrologico.

Tre dunque sono le fasi principali del ciclo:

- 1) evaporazione e traspirazione (acqua allo stato di vapore)
- 2) condensazione
- 3) precipitazioni (acqua allo stato liquido o solido)

Acqua come vapore

L'evaporazione

L'evaporazione è il passaggio dell'acqua dallo stato liquido a quello gassoso, dovuto a una differenza di concentrazione del vapor d'acqua, ovvero a un gradiente di concentrazione.

Tale passaggio si realizza fino al punto in cui l'aria circostante è satura di vapor d'acqua: la pressione esercitata dal vapor d'acqua in questa condizione viene detta pressione di vapore di saturazione.

Contemporaneamente al processo di evaporazione si può verificare quello opposto di condensazione. Per questi motivi si definisce l'evaporazione netta (positiva, negativa o nulla) come differenza tra la quantità di vapore che si libera da una superficie umida e quella che contemporaneamente si condensa sulla superficie stessa.

La velocità di evaporazione è influenzata dalla differenza di tensione di vapore esistente tra la superficie evaporante e l'atmosfera circostante. Con la temperatura aumenta progressivamente sia la pressione di saturazione che l'energia delle molecole d'acqua sul corpo evaporante; perciò, a mano a mano che si innalza la temperatura esterna si verifica un progressivo incremento dell'evaporazione. Il vento, d'altra parte, allontanando il vapore acqueo liberato dalla sorgente, crea nuove condizioni di insaturazione dell'aria. Anche la diminuzione della pressione atmosferica favorisce la liberazione d'acqua sotto forma di vapore; tuttavia, in condizioni naturali, l'effetto delle variazioni di pressione atmosferica è attenuato da numerosi altri fattori concomitanti.

La velocità di evaporazione e la quantità di vapore acqueo liberato variano notevolmente secondo le caratteristiche della superficie evaporante. Così, l'evaporazione del suolo è condizionata, oltre che dai fattori ambientali, dalle caratteristiche fisico-chimiche e dal tasso di umidità del suolo, dalla tessitura ⁽¹⁾, dalla struttura ⁽¹⁾ e dalla profondità ⁽¹⁾.

La copertura del terreno ad opera della vegetazione riduce notevolmente l'evaporazione del suolo.

La lettiera riduce l'evaporazione del suolo in percentuali variabili dal 10 all'80%, almeno se lo spessore è di 5-6 cm, soprattutto nei mesi estivi. Nel bosco quindi l'evaporazione è costantemente inferiore a quella dei terreni nudi.

La traspirazione

La traspirazione differisce dall'evaporazione per le caratteristiche delle superfici evaporanti, cioè le foglie delle piante, ed è perciò influenzata non solo dai fattori meteorologici, ma anche dalle condizioni fisiologiche delle piante.

L'acqua entra nelle piante attraverso le radici e da qui viene trasportata in tutte le parti della pianta attraverso appositi tessuti conduttori. E' necessario un grosso lavoro da parte delle piante e un notevole consumo energetico per far salire l'acqua dalle radici fino alle foglie, superando dislivelli che possono anche essere maggiori di 50 m. I meccanismi con cui tale trasporto avviene ancora non sono del tutto chiariti. Comunque solo l'1-2% dell'acqua assorbita viene usata per il metabolismo della pianta, il resto viene perduto sotto forma di vapore attraverso apposite aperture poste nella pagina inferiore della foglia, dette stomi: si ha così la traspirazione.

Gli stomi sono costituiti da due cellule reniformi unite fra loro che, nella parte mediana, lasciano una zona aperta di forma ellissoidale detta apertura dello stoma o rima. A seconda dello stato di turgescenza delle cellule stomatiche la rima stomatica si chiude o rimane aperta. In tal modo le piante sono in grado di regolare con straordinaria sensibilità le perdite di acqua per traspirazione.

¹ Di tessitura, struttura e profondità, si parlerà in dettaglio nel capitolo dedicato al suolo.

Gli stomi infatti sono aperti quando condizioni di umidità del suolo e dell'aria consentono senza danno forti eliminazioni di acqua, sono chiusi nei casi opposti: in condizioni di aridità, nelle ore di maggiore insolazione, in presenza di venti forti, eccetera. La quantità di acqua emessa con la traspirazione è molto grande: in un ettaro di faggeta per esempio fino a 20000 litri al giorno.

Una parte dell'acqua evapora anche direttamente dal tessuto epidermico delle foglie; è questa una evaporazione passiva legata solo a leggi fisiche. Però, grazie all'ispessimento della membrana delle cellule epidermiche (cuticola), allo strato ceroso che le riveste e ad altre protezioni messe in atto dalle piante per impedire la disidratazione, questa perdita passiva di acqua non supera generalmente il 10% della traspirazione fogliare totale.

La traspirazione varia notevolmente nel corso della giornata, è elevata durante il giorno in funzione di temperatura ed umidità e si riduce a valori trascurabili dopo il tramonto. E' inoltre attiva durante il periodo vegetativo per ridursi a valori particolarmente bassi fino a cessare completamente durante il riposo vegetativo.

Quando la quantità di acqua perduta supera quella assorbita attraverso l'apparato radicale e gli altri organi si ha l'appassimento. L'appassimento è temporaneo se il deficit idrico conseguente alla perdita di acqua è limitato e di breve durata (ad esempio nelle ore più calde le foglie perdono il turgore, si ripiegano raggiungendo una condizione di equilibrio in cui sono ridotte al minimo le emissioni d'acqua mentre a sera riacquistano l'originario turgore). In questo caso la pianta non viene danneggiata. L'appassimento è permanente quando la perdita di turgore non riguarda solo le foglie ma anche le radici, con morte dei peli radicali; non potendo più assumere acqua dal terreno i vegetali consumano le loro riserve idriche fino alla disidratazione. Quando, infatti, l'acqua del terreno è in quantità minime e questa è trattenuta con forza elevata pari a circa 15-16 atmosfere (tutti i macropori ed i mesopori ne sono privi e contengono solo aria) le piante non la possono più assumere.

La resistenza all'appassimento è molto variabile da specie a specie; su questo elemento si basa la differenziazione tra igrofite ⁽¹⁾ e xerofite ⁽¹⁾. Le specie succulente possono tollerare una elevata perdita di acqua senza perdere la capacità vitale; i muschi e i licheni possono addirittura seccare completamente per un certo periodo di tempo, mentre le specie igrofite, nella zona temperata, sono particolarmente sensibili alla scarsità d'acqua.

La quantità d'acqua che un terreno può immagazzinare dipende dalle sue proprietà fisiche, soprattutto la profondità, tessitura, struttura, porosità, ma la sua possibile utilizzazione ad opera della vegetazione dipende dallo sviluppo e dalla profondità a cui possono spingersi gli apparati radicali delle singole specie. Forma e dimensioni delle radici sono condizionati da fattori ereditari (il larice ad esempio ha radici fittonanti che penetrano in profondità nel terreno, quelle dell'abete rosso sono invece costituzionalmente superficiali) nonché dalla densità e dalle generali condizioni di vita e di sviluppo dei singoli alberi, dipendenti sia da fattori ambientali, sia, come la densità, dal trattamento selvicolturale.

Significato ecologico dell'umidità atmosferica

Il vapore acqueo presente nell'atmosfera ha la funzione di un serbatoio di calore in quanto intercetta gran parte della radiazione ed influisce quindi sulla temperatura ambientale, sulla circolazione atmosferica e sul ciclo idrologico. La conoscenza del contenuto di umidità nell'atmosfera ha quindi un significato ecologico e meteorologico di primaria importanza.

Per umidità assoluta si intende la quantità di vapore acqueo contenuto in 1 m³ di aria, mentre l'umidità relativa è il rapporto (in percento) tra la quantità di vapore presente in un certo momento

¹ Igrofite sono le piante che hanno bisogno di elevati quantitativi di acqua; xerofite sono le piante che si adattano a condizioni di scarsità di acqua.

in un dato volume di aria e quello che vi dovrebbe essere, a pari temperatura, in condizioni di saturazione (100% di umidità relativa). L'aria si dice satura di umidità quando contiene la massima quantità di vapore possibile ad una certa temperatura.

L'umidità assoluta si riduce passando dall'equatore ai poli, ancora con l'altitudine e con la distanza dai mari. Risentendo della temperatura subisce variazioni anche con le stagioni (è maggiore in estate) e, in misura lieve, nel corso della giornata.

L'umidità relativa, che pure è soggetta a variazioni con le stagioni, l'altitudine, la morfologia, i venti, eccetera, influenza più direttamente i processi di evaporazione e di traspirazione, anche se il parametro che a tale riguardo assume (accanto alla temperatura ed alla velocità del vento) maggiore significato, è il deficit di saturazione espresso in gr/m^3 o in mm di mercurio in base alla differenza tra la tensione massima e la tensione reale di vapore alla temperatura ambiente e che esprime perciò la capacità dell'aria di aggiungere umidità da parte delle superfici evaporanti o traspiranti. Nei climi umidi l'umidità relativa dell'aria oscilla all'incirca fra il 70 e il 90%, in quelli secchi fra il 20 ed il 40%. Nei climi oceanici, che risentono dell'influsso delle correnti marine, l'umidità, oltre a mantenersi più elevata, subisce anche minori escursioni, a differenza dei climi continentali più secchi e con maggiori escursioni termiche ed udometriche annue e diurne.

Ciò è di notevole importanza in campo selvicolturale poiché le specie forestali hanno esigenze assai diverse nei confronti dell'umidità atmosferica.

Così il faggio, il frassino, la farnia, l'abete rosso e l'abete bianco esigono condizioni di umidità dell'aria assai più elevate che, ad esempio, il leccio, la roverella, il larice e il pino silvestre. Le specie si differenziano anche in entità minori, razze ed ecotipi, adatte a differenti situazioni di umidità atmosferica e quindi a variabili condizioni di oceanicità e di continentalità del clima.

L'umidità dell'aria può compensare anche la scarsità di precipitazioni come può accrescerne l'efficacia. Esistono infatti aree geografiche con ridotta piovosità (non più di 400-500 mm/anno) ma con elevata umidità dell'aria in cui alcune specie forestali (ad esempio alcuni pini) riescono a dare elevate produzioni, mentre le stesse specie vegetano stentatamente se diffuse in località più piovose ma meno umide. Anche nelle Alpi i boschi che vegetano nelle località maggiormente esposte alle correnti caldo-umide provenienti dal mare, manifestano sovente incrementi elevati non giustificabili con la fertilità del suolo.

Azione del bosco sull'umidità

All'interno del bosco l'umidità atmosferica (umidità relativa) è superiore e di valori significativi a quella delle superfici nude per effetto dell'attività traspiratoria della vegetazione, dei ridotti moti ventosi e della minore temperatura (durante il periodo vegetativo). Ciò comporta all'interno del bosco, ovunque è sensibile l'effetto della copertura arborea, condizioni climatiche più equilibrate.

Le precipitazioni

Piogge

Le precipitazioni atmosferiche, solide e liquide, prendono origine da un raffreddamento dell'aria umida e relativamente calda, in seguito a risalita, o dal congelamento del vapore acqueo in sospensione. Secondo le modalità di questo fenomeno si è soliti distinguere le precipitazioni in convettive, orografiche e cicloniche.

Le precipitazioni convettive, comuni nelle zone equatoriali e nei giorni più caldi dell'estate anche alle latitudini medie, si verificano allorché l'aria umida a contatto del terreno, riscaldandosi e diventando quindi più leggera, è costretta a sollevarsi ed espandendosi condensa il vapore presente. Questo tipo di precipitazioni è accompagnato da lampi, tuoni e talvolta da grandine.

Le precipitazioni orografiche si originano quando masse di aria umida, spinte dai venti, si raffreddano risalendo lungo un pendio di una catena montuosa o di un rilievo. In questo caso nel versante esposto ai moti ventosi si hanno elevate precipitazioni, mentre in quello opposto si ha un clima più arido.

In tal modo si spiegano, ad esempio sulle catene alpine e appenniniche, i due fenomeni dello Stau - formazione di nubi orografiche e di precipitazioni sulla parte sopravvento di una montagna - e del Föhn, cioè ricaduta di aria calda e secca sul lato sottovento, fenomeni che condizionano notevolmente, soprattutto nella stagione invernale, il clima del nostro paese, sia nel settore alpino che in quello appenninico.

In genere si può affermare, per le Alpi, che le valli perpendicolari alla pianura padana sono molto più piovose di quelle parallele e che la piovosità diminuisce a mano a mano che dalle Prealpi ci si addentra nella catena montuosa.

Le precipitazioni cicloniche, infine, hanno luogo frequentemente nelle aree di bassa pressione, dove i venti convergono da varie direzioni e costringono grandi volumi d'aria leggera e umida a risalire verso l'alto con conseguente condensazione del vapore acqueo.

La distribuzione delle piogge sulla superficie terrestre è molto irregolare: così, per esempio, il Canada non riceve che una piccola quantità di pioggia e di neve, mentre la Norvegia, a uguale latitudine, usufruisce di precipitazioni relativamente abbondanti. Dipende innanzitutto dalla circolazione generale dell'atmosfera, dalla latitudine, dalla distanza dal mare e dalla morfologia del terreno ⁽¹⁾. Per quanto riguarda la quantità di pioggia annua, si può notare che essa è massima nella fascia equatoriale (oltre 2000 mm) e assume valori minimi di 51-52 mm nelle zone subtropicali, a circa 30° di latitudine N e S, nella zona delle steppe, savane e deserti ⁽²⁾.

Per la caduta delle piogge è importante la direzione dei venti. Essendo quelli provenienti dal mare apportatori di umidità e di piogge, queste diventano meno abbondanti quanto più ci si allontana dalle coste. Se poi il vento è costretto a risalire il versante di una montagna che lo obbliga ad elevarsi ed a raffreddarsi, abbandona qui la propria umidità.

Ne è testimone il passaggio da una vegetazione costiera più igrofila e spesso rigogliosa ad una nettamente xerofila all'interno dei continenti.

Accanto alle precipitazioni medie annuali assumono un'importanza fondamentale la distribuzione stagionale, la forma e la frequenza delle precipitazioni.

Secondo la distribuzione stagionale delle piogge si distinguono schematicamente cinque tipi di clima:

- tipo oceanico o marittimo con piogge uniformemente distribuite durante l'anno e ridotta escursione termica

¹ Con l'altitudine, di norma, si ha dapprima un aumento delle precipitazioni, poi una diminuzione.

² L'altezza annua delle piogge in Italia oscilla mediamente dagli 800 ai 1500 mm con punte massime di 3500-4000 mm sulle Alpi Carniche e minimi di 400 mm in alcune località del Meridione e delle isole.

- tipo mediterraneo con massimo invernale e minimo estivo
- tipo continentale con massimo estivo e minimo invernale
- tipo equinoziale primaverile con massimo primaverile
- tipo equinoziale autunnale con massimo autunnale.

In pratica, questi tipi climatici non sono così netti ma sfumano in un'ampia serie di tipi di transizione, anche perché un determinato regime pluviometrico, segnatamente ove l'orografia non è uniforme, è soggetto a variazioni da luogo a luogo, ad esempio sulle Alpi in base all'orientamento delle vallate.

Agli effetti ecologici e dell'influenza sulla vegetazione è importante stabilire l'efficacia della pioggia e delle precipitazioni. Così, a parità di altre condizioni, una pioggia poco intensa è tanto più efficace quanto più lunga è la sua durata, poiché viene ridotto il deflusso superficiale e l'acqua può penetrare negli strati profondi del terreno. Solo nei climi aridi piogge leggere e frazionate sono poco efficaci perché evaporano rapidamente. Inoltre la stessa quantità di pioggia può avere effetti diversi a seconda delle caratteristiche del terreno (profondità, porosità, presenza di sostanza organica, tessitura, eccetera), della temperatura e dell'umidità dell'aria. Così nelle regioni fredde e in quelle con elevato tenore di umidità atmosferica le piogge hanno un'efficacia relativa molto maggiore rispetto ai climi aridi tanto che 200 mm di pioggia permettono in Siberia l'esistenza di boschi di conifere mentre nel bacino del Mediterraneo sono appena sufficienti per una vegetazione xerofila.

Decisiva è inoltre l'epoca in cui si verificano le piogge o meglio la loro distribuzione annua in relazione al periodo vegetativo delle piante. Così, nei climi mediterranei con 1000 mm di pioggia concentrati nel periodo invernale e con siccità estiva, la vegetazione è formata da specie xerofile con riposo estivo; sulle Alpi, con lo stesso quantitativo concentrato durante il periodo vegetativo, prosperano fustaie di conifere e latifoglie. Essendo poi le piogge un fattore climatico soggetto a forti variazioni nel tempo, i caratteri e la distribuzione della vegetazione, data la longevità delle specie forestali, sono strettamente condizionati dai minimi di pioggia, cioè dalla frequenza delle annate siccitose.

E' perciò, anche questo, un valore che nella pratica forestale va conosciuto e considerato al pari dei quantitativi medi e della distribuzione annua delle piogge.

La neve

La neve si origina quando la condensazione del vapore acqueo dell'aria avviene lentamente, con diretto passaggio allo stato solido, senza che il fenomeno venga disturbato da forti correnti aeree. Essa si forma quando nell'atmosfera esistono nuclei microscopici di ghiaccio, intorno ai quali il vapore può condensarsi e cristallizzare. Dalla unione di più cristalli hanno origine i cosiddetti fiocchi di neve che si accumulano al suolo formando, a seconda della temperatura dell'aria, uno strato più o meno soffice per la variabile presenza di spazi occupati dall'aria. La neve è quindi un miscuglio di ghiaccio, aria ed acqua (normalmente sotto forma di vapore). Dal rapporto tra questi componenti dipende il suo peso specifico che, per la neve fresca, appena caduta, può variare da 20 a 200 kg/m³ in funzione della temperatura dell'aria durante la precipitazione. Notevoli sono le influenze della neve sulla vegetazione forestale. Essa rappresenta innanzitutto una fonte di apporto idrico, assorbita dal terreno all'epoca dello scioglimento e disponibile per la nutrizione delle piante alla ripresa vegetativa primaverile. Lo scioglimento del manto nevoso, che avviene normalmente con gradualità ad iniziare dalle quote basse, contribuisce in misura decisiva a formare i deflussi primaverili e parzialmente anche estivi nei corsi d'acqua alpini; quando è molto rapido può determinare anche fenomeni di piena.

Lo scioglimento della neve va pertanto attentamente considerato in ogni indagine di carattere ideologico riguardante i bacini alpini.

La coltre nevosa sul terreno protegge in inverno il suolo e la vegetazione bassa dal vento, dal gelo e dal disseccamento. La neve, infatti, per la sua bassa conducibilità calorifica, isola il terreno dai geli invernali, permettendone così un lento riscaldamento per apporto geotermico (almeno quando lo strato nevoso ha un certo spessore) fino a temperature prossime a 0° C. Quando la vegetazione fuoriesce dal manto nevoso può venire danneggiata dal riverbero dei raggi solari (la neve fresca asciutta riflette circa il 90% della radiazione) che, elevando la temperatura dell'aria, stimolano la traspirazione con una perdita di acqua che difficilmente può essere compensata con richiami dal terreno, con conseguente disseccamento degli organi vegetali (fenomeno conosciuto come colpo di sole o disseccamento invernale e temibile soprattutto per le specie diffuse artificialmente²). Quando la neve permane troppo a lungo al suolo, come nel caso di accumuli da vento o da valanghe, determina al limite superiore della vegetazione arborea un accorciamento del periodo vegetativo che può di fatto impedire la vita del bosco. La persistenza del manto nevoso in alta montagna può favorire anche la diffusione di un fungo parassita, *Herpotrichia nigra*, che si sviluppa nell'acqua di fusione della neve e danneggia, ricoprendola di filamenti nerastri, la rinnovazione delle conifere. Altra azione dannosa per la vegetazione è quella dello smerigliamento: i cristalli gelati, trasportati dal vento, colpiscono i getti delle piante danneggiandoli. La diffusione del faggio sui crinali appenninici è spesso impedita da questo fenomeno.

Ma i danni maggiori ai soprassuoli forestali riguardano gli sradicamenti e gli troncamenti delle piante, a causa dei sovraccarichi di neve sulle chiome (a volte anche con il concorso del vento).

Il bosco viene anche distrutto dalle valanghe che si formano oltre il limite della vegetazione arborea (la pendenza critica dei versanti, in assenza di ostacoli naturali o artificiali, è compresa fra 28° e 55°). Lungo i cosiddetti canali da valanghe, frequenti sui versanti alpini, il bosco o non può insediarsi o viene periodicamente distrutto dagli scivolamenti nevosi.

Il bosco impedisce il formarsi delle valanghe determinando un assestamento del manto nevoso più variabile su piccole superfici e nel complesso più stabile (le tensioni interne vengono scomposte in varie componenti minori), ma poco o nulla può fare per arrestare quelle già in movimento (le piante vengono abbattute dallo spostamento d'aria che precede la valanga). Sul versante meridionale delle Alpi la zona di distacco delle valanghe corre normalmente fra i 1800 ed i 2000 m oltre il limite superiore del bosco o dove la vegetazione arborea si dirada notevolmente od è presente in modo assai discontinuo. Allorché le radure all'interno del bosco misurano più di 30 m lungo il pendio e sono larghe più di 50 m o comunque quando hanno diametro superiore a due volte l'altezza degli alberi, il pericolo di distacco di valanghe è pari a quello delle aree scoperte. Nell'impedire il distacco di valanghe, oltre alla densità, interviene anche la composizione del bosco. La maggiore efficacia protettiva è data dalle piante sempreverdi, come il pino cembro e l'abete rosso, soprattutto se formano gruppi densi intervallati da piccoli vuoti e radure che rompono la continuità del manto nevoso. Queste specie intercettano con la loro folta chioma una notevole quantità di neve che si scarica al suolo in blocchi, comprimendo quella presente sul terreno e creando così dei punti di resistenza che stabilizzano il manto nevoso.

Assai meno efficace è il larice che è privo di foglie nel periodo invernale e quindi apporta minime variazioni alla distribuzione e consistenza della copertura nevosa tanto che è stato accertato il distacco di valanghe anche pericolose all'interno di formazioni pure di questa specie. Si ritiene in genere che la presenza di boschi di larice non sia perciò una garanzia nei confronti del pericolo delle valanghe anche perché, data la resistenza del larice (per la sua elasticità e apparato radicale fittonante) alla forza d'urto della neve, il lariceto può essere attraversato senza danno dalle valanghe

² Il disseccamento invernale dei germogli delle giovani piante che fuoriescono dal manto nevoso in stazioni soleggiate di alta montagna durante le giornate di sole o con venti caldi, rappresenta un fattore chiave nel determinare il limite superiore del bosco.

che sradicano con più facilità le altre specie, condizionando quindi anche la composizione e l'evoluzione del soprassuolo.

Tale è l'importanza protettiva del bosco nei confronti delle valanghe che ormai da secoli sono stati sottoposti a particolari forme di tutela dei boschi ("boschi in bando") che ricoprono le pendici sovrastanti gli abitati. Ideale per queste formazioni è una struttura per gruppi disetanei che garantisca continuità della rinnovazione e della copertura dei suolo ad opera delle piante arboree. Anche attualmente vengono eseguiti rimboschimenti con funzione antivalanghe nelle zone d'alta quota, entro i limiti di potenziale espansione del bosco.

Le formazioni cespugliose d'alta quota, per lo più striscianti sul terreno (pino mugo, rododendro, ontano verde, eccetera), sono negative agli effetti della stabilità del manto nevoso perché impediscono un normale ancoraggio della neve al suolo ed a causa delle sollecitazioni che trasmettono al manto nevoso che le sovrasta. Anche il tappeto erbaceo sui prati e sui pascoli abbandonati favorisce lo slittamento della neve poiché, al pari della vegetazione arbustiva, crea uno strato di discontinuità fra coltre nevosa e terreno con elevata presenza di aria, che favorisce la formazione di cristalli a debole coesione.

La grandine, anche se rappresenta un fenomeno climatico occasionale e limitato a piccole superfici, può danneggiare sensibilmente la vegetazione arborea provocando lesioni e caduta delle foglie, ferite degli organi vegetali che possono in tal modo divenire sede di attacchi patogeni.

Tra le varie ipotesi, che cercano di spiegare la genesi della grandine, la più attendibile è quella che la ritiene prodotta da rapidi movimenti convettivi ascendenti di masse di aria fortemente riscaldata, i quali portano le nubi sino agli strati atmosferici aventi temperature inferiori a 0° C, che nei paesi temperati durante l'estate si trovano ad un'altezza di circa 4000 metri. A tale altezza le goccioline di acqua gelata, non sospinte dal movimento ascendente, che avviene a raffiche, tendono a discendere, ricoprendosi di un ulteriore strato di acqua, che si solidifica, allorché il globetto viene nuovamente risospinto verso l'alto. Il fenomeno si ripete fino a che il chicco di grandine raggiunge dimensioni tali da non poter più rimanere sospeso nell'aria e cade quindi a terra. I singoli chicchi possono talora superare le dimensioni di una mela.

Le nebbie sono dovute ad una condensazione del vapore acqueo a seguito del raffreddamento degli strati inferiori dell'atmosfera, si ha così la sospensione, in prossimità del suolo, di gocce d'acqua di diametro molto piccolo (5-10 µm). Per convenzione si distinguono nebbie (con visibilità orizzontale ridotta al di sotto di 1 km) e foschie (con visibilità compresa tra 1 e 10 km).

Le nebbie possono danneggiare la fioritura e costituire un pericoloso mezzo di trasporto sulla vegetazione delle sostanze inquinanti mentre, come effetto positivo, possono attenuare, anche se in misura lieve, le condizioni di siccità e mantenere un clima più livellato attorno a valori medi di temperatura e di illuminazione e con una maggiore umidità dell'aria (²).

La rugiada è costituita da gocce d'acqua depositate per condensazione diretta del vapore sulla superficie terrestre o sulle piante raffreddate dall'irraggiamento notturno. Si forma soprattutto durante le notti serene e quando l'aria è molto umida. Nelle regioni mediterranee le rugiade estive sono assai frequenti e svolgono un'azione benefica sulla vegetazione poiché riducono la

² Nelle pianure del Nord Italia la nebbia rappresenta un fenomeno tipico della stagione fredda autunno-invernale durante i periodi di alta pressione. In queste condizioni, con ventilazione per lo più assente o molto debole, si verifica infatti un'inversione termica per cui l'aria calda è presente negli strati superiori dell'atmosfera, mentre masse d'aria fredda ed umida (e con esse anche le sostanze inquinanti e lo smog) sono imprigionate a livello del suolo.

traspirazione e quindi le perdite idriche e possono anche essere assorbite dalle foglie compensando in tal modo in misura non indifferente la scarsità di precipitazioni.

Se la temperatura, durante la notte, discende al di sotto dello zero, la rugiada si trasforma in brina che è dannosa soprattutto ai germogli ed ai fiori delle piante.

Talvolta l'umidità atmosferica, a seguito di improvvisi abbassamenti di temperatura, determina la formazione di manicotti di ghiaccio che avvolgono i rami degli alberi e che provocano rotture delle chiome. Questo fenomeno, conosciuto come galaverna, ha causato gravi danni al bosco sulle zone montane dell'Appennino. Se l'abbassamento di temperatura fa seguito ad una pioggia si parla di gelicidio.

IL CLIMA

IL CLIMA E LE CLASSIFICAZIONI CLIMATICHE

Classificazioni climatiche

Il complesso delle condizioni meteorologiche che caratterizzano l'atmosfera in un dato momento è detto tempo, mentre il clima definisce l'andamento abituale del tempo in una regione, ossia lo stato medio dell'atmosfera dedotto da osservazioni meteorologiche relative a lunghi periodi di tempo.

Sotto l'aspetto ecologico i principali fattori del clima in grado di influire più direttamente sulla vita delle piante sono il calore, la luce e l'acqua (i vari parametri termici, idrici ed idrometrici vengono misurati a 2 metri dal suolo). Questi singoli fattori, lo si è visto nella trattazione specifica, come pure le condizioni climatiche generali di ogni zona, sono in larga misura condizionati dalla latitudine, dalla vicinanza ai mari e dal rilievo orografico. Significativa è anche la posizione geografica o topografica dei luoghi in relazione alle principali correnti atmosferiche.

Agli effetti ecologici è importante distinguere il macroclima che è relativo ad ambiti geografici molto ampi dal microclima che caratterizza le condizioni climatiche degli strati più prossimi alla superficie del terreno (dove nascono e vivono, almeno nei primi anni, tutte le piante e molti animali) in ambiti molto ristretti (anche di pochi metri quadrati) in funzione del rilievo particolareggiato del suolo e delle variabili condizioni di esposizione, pendenza, eccetera (¹).

Al fine di inquadrare in forma semplice e generale le caratteristiche climatiche di una certa regione sono state proposte varie classificazioni climatiche basate su parametri termici, udometrici ed eolici.

DE MARTONNE, ad esempio, distingue sei categorie fondamentali di climi, sulla base delle temperature e delle piogge.

1) Climi caldi con temperatura media superiore a 18-20° in tutti i mesi e limitata escursione termica annua (4-5°).

Sono propri di una fascia compresa fra 30° N e 30° S, ovvero: della zona equatoriale con piogge continue e temperatura costante e delle zone tropicali in cui si ha una stagione piovosa meno calda ed una secca più calda.

2) Climi temperati. In questa categoria rientrano i climi temperato-caldi che hanno più di otto mesi con temperature medie > 10° ed i climi temperato-freddi con 4-8 mesi con temperature > 10°.

I climi temperato-caldi sono presenti all'incirca fra i 30 ed i 45° di latitudine. Fra questi è tipico il clima mediterraneo presente, oltre che nel Bacino del Mediterraneo, sulle coste occidentali di quasi tutti i continenti, nell'Africa del Sud, in California, nell'Australia Sud-Occidentale e nel Cile. Principali caratteristiche del clima mediterraneo sono l'inverno mite e piovoso e l'estate calda e siccitosa. Causa l'aridità estiva la vegetazione può presentare un periodo di riposo durante l'estate. Nel bacino del Mediterraneo d'estate si ha il dominio dell'area anticiclonica, mentre d'inverno l'area delle alte pressioni si sposta verso Sud, consentendo l'ingresso delle correnti umide provenienti dall'Oceano Atlantico.

¹ Si è già visto come all'interno del bosco si crei, per effetto della copertura, un microclima particolare su cui le pratiche selvicolturali possono sensibilmente influire, per adattarlo alle esigenze della rinnovazione e allo sviluppo delle piante forestali.

Oltre i 40-45° di latitudine si ha una accentuazione della stagione fredda ed i climi divengono temperato-freddi. In Europa questa categoria ha la massima estensione, spingendosi fino all'Inghilterra settentrionale.

Nell'ambito dei climi temperato-freddi si distingue una varietà oceanica nelle zone costiere, con minori escursioni termiche e piogge più regolarmente distribuite, ed una varietà continentale tipica delle regioni più interne in cui si ha una netta differenza fra l'inverno, freddo e poco piovoso e l'estate, calda e piovosa.

- 3) Climi freddi con meno di 4 mesi con temperatura $> 10^{\circ}$. Fattori caratterizzanti di questi climi sono la forte inclinazione dei raggi solari e la varia durata della illuminazione diurna. Agli effetti biologici qui assumono massima importanza l'escursione termica nonché le temperature medie dei mesi più freddo e più caldo, che differenziano nettamente i climi oceanici da quelli continentali. Così due località, ad esempio Hammerfest in Norvegia ed Irkutsk in Siberia, hanno temperature medie annue uguali ma risultanti da estremi molto differenti col risultato che Irkutsk, con clima continentale, è circondata da foreste di conifere, mentre Hammerfest, con clima oceanico, è in una zona priva di boschi perché l'estate non è sufficientemente calda.

La vegetazione forestale trova il suo limite polare in corrispondenza, grosso modo, del decorso dell'isoterma ⁽¹⁾ di 10° del mese più caldo. Al di là di questo limite si passa al clima polare.

- 4) Climi monsonici caratterizzati dal regime pluviometrico influenzato dai monsoni. Sono presenti sulle coste più calde dell'Oceano Indiano e del Pacifico Occidentale.
- 5) Climi desertici con escursioni termiche molto forti, piogge annue < 250 mm e con più di 10 mesi senza pioggia.
- 6) Climi di montagna. Le caratteristiche particolari del clima di montagna sono l'effetto di 3 grandi fattori: il rilievo, che interferisce nello spostamento delle masse d'aria; l'altitudine, che modifica la densità dell'aria; la morfologia, che crea condizioni varie di pendenza e di esposizione.

L'azione di questi fattori si risente su tutti gli elementi del clima, come si dirà brevemente per ciascuno di essi.

- 1 - Un primo effetto è la diminuzione della temperatura col crescere dell'altitudine. Sulla media annua si ha una diminuzione che nelle regioni a clima temperato si aggira su $\frac{1}{2}$ grado ogni 100 metri di altitudine; questo gradiente cresce dall'equatore ai poli (0,20 a basse latitudini, 0,55 sulle Alpi) ed aumenta anche in vicinanza di mari caldi. Le escursioni termiche annue sono più limitate in montagna che in pianura: ad esempio a Catania sono di 16° , sull'Etna sono di 10° (sotto questo aspetto i climi di montagna si avvicinano a quelli oceanici); l'abbassamento delle temperature estive è più forte in confronto a quello delle temperature invernali. Le escursioni giornaliere sono più elevate: a causa della rarefazione dell'atmosfera, il suolo si riscalda e si raffredda infatti più fortemente e rapidamente.
- 2 - Un altro fenomeno termico caratteristico è quello dell'inversione della temperatura che si verifica soprattutto nelle valli strette e nelle doline (nelle depressioni si ha un ristagno di masse di aria fredda che crea condizioni di temperatura e di umidità peggiori di quelle che si possono

¹ Linee sulla superficie terrestre i cui punti hanno, in un determinato istante, la stessa temperatura.

avere sulle pendici). Queste inversioni spiegano come gli abitati delle zone di montagna si trovino preferibilmente sui versanti ben esposti anziché nel fondovalle.

Agli effetti bioclimatici ha particolare importanza il fenomeno del gelo e disgelo, dato che la presenza dell'alternanza di gelo e disgelo cresce con l'altitudine, almeno fino ad un certo limite.

Il periodo vegetativo corrisponde, grosso modo, al periodo con temperature medie diurne superiori a 6° C. La durata di questo periodo diminuisce con l'aumento dell'altitudine (la diminuzione è più rapida nei climi oceanici).

L'intervallo che va dall'ultimo gelo primaverile al primo autunnale è generalmente inferiore al periodo vegetativo e a questo fatto sono dovuti i danni che possono derivare da gelate tardive e precoci.

- 3 - Le precipitazioni vanno aumentando con l'altitudine, ma fino ad un dato livello, oltre il quale diminuiscono.

Il livello di massima piovosità sulle Alpi oscilla fra i 2000 e i 2500 m, perciò, in linea generale si può dire che la piovosità, almeno nei limiti della vegetazione, aumenta con l'altitudine. E' importante rilevare, però, che l'altitudine non modifica il regime pluviometrico: ad esempio gran parte del versante meridionale delle Alpi ha lo stesso regime pluviometrico della Pianura Padana.

La differente esposizione dei versanti ai venti può invece essere causa di forti variazioni pluviometriche; tali differenze sono marcatissime nell'Himalaia dove il versante Sud presenta elevatissime precipitazioni (fino a 12000 mm), a differenza del versante Nord, che è più o meno asciutto.

- 4 - L'umidità assoluta dell'atmosfera diminuisce molto rapidamente col crescere dell'altitudine e a 3000 m l'umidità assoluta è circa 1/3 di quella che si misura a livello del mare.

Anche l'umidità relativa diminuisce con l'altitudine, ma meno rapidamente, poiché il punto di saturazione risente dell'abbassamento di temperatura.

- 5 - Nel regime eolico dei climi di montagna occorre distinguere fra venti periodici e venti occasionali. I venti periodici giornalieri sono le cosiddette brezze di monte e di valle. La brezza di monte (fredda ed asciutta) scende durante la notte, dalle cime verso il basso, fin verso le 8-9 di mattina, dopo di che è sostituita dalla brezza di valle (meno regolare).

Fra i venti occasionali caratteristici di montagna è da ricordare, per le Alpi, il Föhn.

Il Föhn meridionale risale il versante a Sud e dopo aver scaricata l'umidità, scende sul versante opposto, riscaldandosi per attrito; esso reca il bel tempo ed innalza bruscamente la temperatura, gli sbalzi provocano però, assai di frequente, disgeli, valanghe e inondazioni.

Il Föhn settentrionale è costituito da masse di aria umida, dirette verso Sud che, incontrando le Alpi, si raffreddano e scaricano l'umidità provocando piogge torrenziali; discendendo sul versante opposto (meridionale) il Föhn provoca aumento di temperatura, cielo limpidissimo e, di conseguenza, anticipo nella ripresa vegetativa.

Classificazioni fitoclimatiche

Nella pratica forestale, al posto delle classificazioni climatiche classiche, si preferisce impiegare le classificazioni fitoclimatiche basate su particolari valori significativi per la distribuzione della vegetazione.

Tale è la classificazione fitoclimatica del PAVARI (1916), in Italia generalmente adottata dai forestali, in cui gli elementi considerati sono:

- a) temperatura media annua;
- b) temperatura media del mese più caldo;
- c) temperatura media del mese più freddo;
- d) media delle temperature massime estreme;
- e) media delle temperature minime estreme;
- f) precipitazioni annue;
- g) precipitazioni del periodo estivo;
- h) umidità atmosferica media.

La classificazione fitoclimatica del PAVARI con le varie zone, le caratteristiche termiche, i limiti geografici ed i principali tipi di bosco è riassunta nella tabella riportata di seguito.

La superficie nazionale è ripartita nelle varie zone fitoclimatiche all'incirca nel seguente modo (da DE PHILIPPIS):

Lauretum	142.000 km ₂	48%
Castanetum	108.300 km ₂	36%
Fagetum	25.600 km ₂	8%
Picetum	14.280 km ₂	5%
Alpinetum e rocce	9.320 km ₂	3%

In Trentino le percentuali diventano le seguenti:

Lauretum	1%
Castanetum	24%
Fagetum	50%
Picetum	20%
Alpinetum e rocce	5%

Le zone del Lauretum e del Castanetum, per i loro caratteri climatici, sono quelle maggiormente interessate dagli incendi boschivi.

Oltre alla classificazione fitoclimatica dei Pavari, che risulta indubbiamente la più usata in Italia, esistono altri modi per indicare, in maniera sintetica, le diverse zone di vegetazione. Un criterio seguito da alcuni autori si basa sulla considerazione di grandi fasce di vegetazione:

1 - Piano delle sclerofille ⁽¹⁾ mediterranee

¹ Si chiamano sclerofille le piante della macchia mediterranea, provviste di foglie dure, rigide (dal greco "scleros"), come adattamento al clima arido.

- 2 - Piano delle latifoglie decidue
- 3 - Piano delle conifere montane

Altri autori fanno riferimento a una ripartizione in termini di altitudine, individuando una serie di piani (o fasce altitudinali), ciascuno dei quali corrisponde, ovviamente, a determinate caratteristiche climatiche e vegetazionali; procedendo dal basso verso l'alto si rinvengono:

- a) Piano basale
- b) Piano montano
- c) Piano cacuminale

con una ulteriore suddivisione in orizzonti al loro interno.

Talvolta, a seconda degli autori, questi diversi criteri vengono impiegati contemporaneamente o con particolari modificazioni (vedi un esempio nella figura riportata di seguito). Comunque è opportuno tenere presente che la classificazione basata su criteri altitudinali è relativa: il tipo di vegetazione che occupa il piano basale, per esempio nella provincia di Genova, non è lo stesso che occupa il piano basale nella provincia di Trento.

Le zone fitoclimatiche del Pavari trovano corrispondenza e possono essere inquadrare anche nell'ambito di questo tipo di classificazione, come è illustrato in figura.

Come esempio di distribuzione altitudinale della vegetazione per l'ambiente alpino, si illustrano sinteticamente le formazioni forestali ⁽¹⁾ del Trentino, ove, per le caratteristiche climatiche ed orografiche, sono rappresentate tutte le zone fitoclimatiche della classificazione di Pavari ed ove, procedendo dal basso verso l'alto, si rinvengono:

- cedui di leccio: esclusivamente sulle pendici calcaree prospicienti il lago di Garda, in zone corrispondenti al Lauretum freddo;
- cedui del piano basale costituiti da carpino nero, roverella ed orniello nelle zone più aride e meno fertili del Castanetum, mentre negli ambienti più umidi con rocce cristalline e metamorfiche prendono il sopravvento, sempre allo stato ceduo, la rovere, il carpino bianco, il tiglio, il castagno, l'acero campestre. Nei cedui del piano basale sono presenti un po' dovunque nuclei o piccoli popolamenti di pino nero di origine artificiale o di pino silvestre di diffusione spontanea;
- nella fascia intermedia, ovvero nel Fagetum (oltre i 900 m di quota nelle esposizioni soleggiate e nelle vallate con orientamento Nord-Sud, oltre i 500-600 in quelle trasversali e nelle esposizioni più fresche ovvero nell'orizzonte montano), fustaie miste di abete rosso con abete bianco soprattutto nelle localizzazioni più umide e larice in quelle più soleggiate. Nei versanti più caldi meridionali queste formazioni si spingono quasi fino al limite del bosco (1600-1800 m). Il faggio forma localmente dei cedui o, più frequentemente, svolge la funzione di sottobosco delle fustaie di resinose, anche se negli ultimi anni tale specie è in netta espansione. Le pinete di pino silvestre rivestono alcune pendici più soleggiate, i detriti di falda ed in genere le zone ove più accentuato è il drenaggio del suolo;
- nell'orizzonte subalpino (Picetum), nelle aree interne a più marcata continentalità, all'incirca oltre l'isoipsa di 1500 m, fustaie pure di abete rosso cui subentrano (nell'alpinetum) formazioni rade di abete rosso, larice e pino cembro (nelle zone più continentali), che sfumano nei pascoli alberati e che segnano a quote variabili dai 1800 ai 2000-2200 m il limite superiore della vegetazione arborea.

¹ Molte delle cose dette a tale proposito saranno più chiaramente comprensibili dopo aver affrontato lo studio della selvicoltura.

Più in alto le cime delle montagne sono rivestite da formazioni arbustive di pino mugo, ontano verde e rododendro (¹).

¹ Manca totalmente in Trentino la macchia mediterranea, caratteristica formazione tipica del Laetum, quasi sempre molto densa, talora impenetrabile, formata da un gran numero di specie xerofile sempreverdi, con foglie coriacee (mirto, corbezzolo, cisto, lentisco, alloro, erica, rosmarino), con altezze modeste (1-4 m)
A volte si rinvencono anche il leccio e la sughera allo stato cespuglioso a seguito della degradazione, mediante taglio, pascolo e incendi, delle fustaie originali.
La macchia mediterranea è quasi esclusivamente limitata alle zone costiere, da dove si spinge a lambire i fianchi delle montagne, nelle località più calde e meridionali.

Indici climatici

Molti autori hanno cercato di esprimere sinteticamente il clima di una zona o di una stazione mediante indici climatici che considerano due o più parametri del clima, variamente combinati in apposite formule o rappresentazioni grafiche. In funzione del peso attribuito ai vari elementi del clima si distinguono indici termici, indici pluviometrici ed igrometrici, indici complessi.

Noi prenderemo in considerazione due indici pluviotermici (quindi complessi): il pluviofattore di LANG e l'indice xerotermico di BAGNOULS e GAUSSEN.

Il pluviofattore di LANG P/T (P = precipitazione media annua, T = temperatura media annua) è un indice al quale si fa frequentemente ricorso in pedologia, perché è espressione della tendenza all'aridità del suolo.

Quando questo valore è inferiore a 40 siamo in condizione di terreni aridi; un valore compreso fra 40 e 60 indica suoli abbastanza freschi, in cui la sostanza organica viene rapidamente decomposta; un valore superiore a 60 indica notevoli disponibilità idriche con tendenza al dilavamento e condizioni climatiche che favoriscono l'accumulo di sostanza organica indecomposta.

In ambito forestale, date le condizioni climatiche del territorio italiano, per gran parte caratterizzate da una stagione secca molto marcata che rappresenta il fattore limitante per la vegetazione, uno degli indici più interessanti e impiegati è quello xerotermico di BAGNOULS e GAUSSEN espresso dal numero di giorni secchi presenti nella stagione asciutta (numero di mesi secchi consecutivi). Per mesi secchi si intendono quelli in cui il rapporto P/T (precipitazioni e temperatura) è inferiore o uguale a 2.

Il periodo secco viene diminuito del numero dei giorni di nebbia, di abbondante rugiada e di elevata umidità dell'aria. Questo indice xerotermico è usualmente espresso mediante un climogramma (o diagramma termo-pluviometrico) in cui sull'ascissa sono riportati i mesi dell'anno mentre sulle ordinate sono riportate le temperature medie mensili con un rapporto $10^\circ C=2$ cm e contemporaneamente le precipitazioni con un rapporto 20 mm= 2 cm. Riportando cioè le temperature a scala doppia rispetto alle precipitazioni viene considerato come arido il periodo durante il quale la curva delle temperature si trova al di sopra di quella delle piogge. Il numero di giorni secchi o "indice xerotermico" è generalmente assente nelle regioni del Nord; è compreso fra 60 e 100 nella regione mediterranea, è superiore a 300 nel Sahara.

Un esempio, con tutte le indicazioni necessarie per la realizzazione di questo tipo di diagrammi, è riportato di seguito. Sono inoltre più avanti riportati i diagrammi relativi ad alcune località italiane ed europee, da cui appaiono evidenti le principali caratteristiche climatiche delle diverse regioni geografiche del nostro paese.

Sull'ascissa del diagramma sono riportati i mesi dell'anno, sull'ordinata le precipitazioni e le temperature relative. I valori delle temperature sono riportati a scala doppia di quelli delle precipitazioni: 1 cm = $5^\circ C$ = 10 mm di pioggia.

Il regime termico è rappresentato con linee sottili, quello pluviometrico con linee più spesse. I periodi umidi e secchi sono diversamente contrassegnati. Quando i valori mensili delle precipitazioni superano i 100 mm il periodo piovoso viene rappresentato, oltre questo valore, in nero e a scala 10 volte più piccola di quella precedentemente adottata.

Le stagioni fredde sono messe in rilievo, lungo l'ascissa, da rettangoli in nero quando la media dei minimi è inferiore a $0^\circ C$, da rettangoli rigati quando, pur essendo la media dei minimi del mese superiore a $0^\circ C$, nel periodo considerato si sono avuti minimi assoluti mensili inferiori a $0^\circ C$.

Nel diagramma sono riportati i seguenti dati:

1) da sinistra a destra:

- nome della stazione e, sottostante ad esso, durata del periodo cui si riferiscono le osservazioni termopluviometriche; se la durata non coincide, il primo valore si riferisce alle temperature ed il secondo alle precipitazioni;
- altitudine della stazione in metri;
- temperatura media annua in gradi centigradi;
- media delle precipitazioni annue;

2) dall'alto in basso:

- temperatura massima assoluta;
- media delle temperature massime del mese più caldo;
- escursione termica annua (differenza fra temperatura media del mese più caldo e temperatura media del mese più freddo);
- media delle temperature minime del mese più freddo;
- temperatura minima assoluta.

Evoluzione del clima nell'ultimo millennio

La storia del clima nell'ultimo millennio ricostruita da vari studiosi (LE ROY LADURIE ed altri) basandosi, in assenza di dati meteorologici (questi sono stati assunti con regolarità e su un sufficiente numero di località solamente negli ultimi 100 anni) su analisi dendrocronologiche, (correlando cioè l'andamento climatico con l'ampiezza degli anelli annuali di accrescimento delle piante), sulle periodiche espansioni o ritiri dei ghiacciai, su documenti scritti riportanti dati riguardo alle produzioni agrarie o altri indicatori climatici ed altri tipi di indagini indirette, dimostra che:

- nell'ultimo millennio il clima è rimasto generalmente stabile; gli anelli annuali di 1000 anni fa sono larghi come quelli di oggi; la temperatura media annua ha subito sì oscillazioni, ma esse sono stimate non superiori a 1° C;
- si è avuto un optimum climatico (il piccolo optimum medioevale) nei secoli XI e XII, seguito da un peggioramento che ha avuto il suo culmine nel secolo XIV. In seguito c'è stato un periodo favorevole, pur in maniera discontinua, fino a circa il 1590, quando è iniziata la "piccola età glaciale" o "stadio di Fernau". Questa è durata fino al 1860 ed è stata caratterizzata da una notevole espansione dei ghiacciai, sia pure inframmezzata da vari piccoli ritiri, che però non hanno alterato la tendenza generale al raffreddamento. Si è ad esempio riscontrato che nel 1821 in alcune località delle Alpi, larici, pini cembri ed abeti rossi hanno avuto accrescimenti minimi o addirittura nulli. Dal 1860 in poi è iniziata la fase del miglioramento recente, con ritiri fortissimi dei ghiacciai e temperature medie più miti; dal 1940 in poi sembra esserci un'inversione di tendenza, ma le opinioni sono contrastanti. Il miglioramento climatico, nell'ultimo secolo, è documentato anche da una espansione dei limiti del bosco, sia nelle regioni artiche che sulle Alpi. Mentre, secondo alcuni autori, l'inquinamento dell'atmosfera derivante soprattutto dall'immissione in essa di crescenti quantità di CO₂ sta già provocando un aumento della temperatura sul nostro pianeta, con conseguenze non sempre facilmente prevedibili, secondo altri autori tale fenomeno comincerebbe a produrre effetti climatici solo a più lungo termine. Pertanto, secondo quest'ultima teoria, anche le anomalie climatiche di questi ultimi anni - inverni miti e siccitosi, primavere fredde, eventi catastrofici legati al vento o alle precipitazioni - andrebbero considerate come un normale avvicendamento delle situazioni climatiche o come fenomeni del tutto episodici e casuali e non come mutamenti climatici provocati dall'uomo.

Cenni sulle principali formazioni della terra in funzione del clima

La foresta pluviale tropicale è diffusa nella fascia compresa fra 10° di latitudine Nord e 10° Sud dove si hanno temperature abbastanza alte, minime variazioni termiche nel corso dell'anno ed elevate precipitazioni (da 1600 a 4000 mm), uniformemente distribuite nel corso dell'anno. Occupa una grande area dell'America meridionale e centrale, dell'Africa centrale, è diffusa nelle grandi isole dell'Oceania - Borneo, Giava, Sumatra, - in India, Malesia e Indocina. E' caratterizzata da un gran numero di specie legnose che vanno a formare il piano arboreo (anche più di 100 diverse specie per ettaro); è molto densa con vegetazione spesso disposta su tre piani - superiore, intermedio, inferiore - ed in essa gli alberi possono raggiungere età di 200-250 anni.

Mancando una stagione avversa (freddo o siccità) non si ha un periodo di riposo contemporaneo di tutte le piante della foresta, esiste tuttavia una periodicità nella vegetazione delle singole piante o addirittura si nota in una stessa pianta la presenza di rami in piena vegetazione accanto ad altri in riposo. Il terreno, per l'accumulo di sesquiossidi di ferro e di alluminio, ha una colorazione rossa lungo tutto il profilo.

Parte della foresta è stata in varie regioni distrutta dall'uomo per fini agricoli. In genere le utilizzazioni di legname non avvengono secondo criteri selvicolturali e si limitano alla asportazione degli alberi delle sole specie pregiate. Fra quelle di maggior interesse economico e regolarmente importate anche da noi vanno ricordate il palissandro, i mogani, la mansonia, l'ebano, il samba, eccetera.

Animali tipici di queste foreste sono le scimmie, gli uccelli, le farfalle e gli insetti in genere. Le foreste tropicali, che assumono importanza ecologica ed economica mondiale, rappresentano nel loro ambiente un ecosistema ricchissimo di biodiversità, ma estremamente fragile. I terreni non protetti dalla vegetazione, infatti, vengono rapidamente erosi e l'ecosistema è di difficile ricostituzione una volta alterato o distrutto.

All'aumentare della latitudine e col manifestarsi di un periodo secco che provoca l'entrata in riposo delle piante, si afferma la foresta tropicale di caducifoglie (foresta tropofila) che caratterizza le regioni con clima monsonico. Specie pregiate di questa foresta sono soprattutto il teak e il sal. Una facies arbustiva della foresta monsonica dovuta alla degradazione delle foreste originarie è la giungla.

A maggiori latitudini, a causa del progressivo inaridimento, compare la savana, formazione erbacea con alberi radi e di bassa statura (per lo più del genere acacia). Le savane si riscontrano in Africa, Australia, America meridionale, nel Pakistan.

Alla savana succedono, in entrambi gli emisferi, nelle zone aride di alte pressioni, le steppe ed i deserti. Tra queste zone aride e pressoché prive di vegetazione e la zona temperata ricca di piogge si colloca una zona di transizione occupata da latifoglie sempreverdi sclerofille (con foglia dura) che ha la massima estensione nel bacino del Mediterraneo. Si incontrano i pini mediterranei, la sughera, il leccio e le altre essenze tipiche della macchia mediterranea (l'eucalipto in Australia). Causa la siccità estiva le piante hanno sviluppato meccanismi di difesa contro le perdite d'acqua consistenti nella sclerofillia, con l'ispessimento della cuticola delle foglie, gli stomi infossati, la riduzione degli spazi intercellulari, eccetera.

Le regioni temperate dell'emisfero boreale ospitano le foreste di latifoglie decidue ove dominano le querce e il faggio. Queste foreste, presenti nell'Europa centrale, in Asia e in Nord America sul versante orientale, sono state, soprattutto in Europa, ridotte di superficie e modificate dall'uomo nei loro caratteri originari (sovente sostituite da boschi di conifere, soprattutto di abete rosso, specie ritenuta economicamente più pregiata). (¹)

¹ Per ragioni climatiche le foreste di conifere subentrano a quelle di latifoglie alle quote-medio alte delle montagne alpine.

Lungo le coste atlantiche, dalla Spagna fino all'Irlanda, compare una formazione arbustiva particolare, la brughiera, dominata da ericacee e ginestre, originatasi dopo la distruzione del bosco e la perdita di fertilità del terreno.

Nell'emisfero australe, a Sud delle formazioni vegetali di tipo mediterraneo, in alcune zone del Brasile, dell'Argentina, in Nuova Zelanda, eccetera, in climi con piogge abbondanti e ben distribuite nel corso dell'anno, con temperature medie di 10-12° si incontrano formazioni boschive lussureggianti di latifoglie (genere *Nothofagus*) e conifere (genere *Araucaria*, *Agathis*, eccetera) con stature che in condizioni ottimali raggiungono i 50-60 m. Trattasi di boschi da relativamente poco tempo intensamente sfruttati, tanto che alcune specie sono state ormai decimate con i tagli.

Le alte latitudini (tra il 45° e il 70° parallelo) sono occupate dalla foresta di conifere boreali. Si tratta di una formazione distribuita con continuità in tutto l'emisfero settentrionale; confina a Sud, in clima con impronta oceanica, con i boschi di latifoglie mediante una fascia di transizione di conifere e latifoglie miste. In ambiente continentale invece la foresta di conifere boreali confina a Sud con steppe aride e subdeserti. Per la foresta di conifere il fattore climatico determinante è costituito dalle basse temperature; l'escursione termica può raggiungere (Siberia orientale) valori elevatissimi e quindi, durante il breve periodo vegetativo, c'è sufficiente calore per la vegetazione arborea ⁽¹⁾, che può anche fruire di un buon rifornimento idrico (da 250 a 700 mm) sia per la piovosità concentrata in estate sia per l'acqua proveniente dallo scioglimento della neve che si completa alla fine della primavera. Con l'aumentare delle influenze oceaniche, e quindi con l'abbassamento delle temperature estive, il limite settentrionale della foresta si sposta verso Sud (Norvegia, baia di Hudson). Nell'America settentrionale la foresta boreale è formata da diverse specie dei generi *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Larix*, *Tsuga*, *Chamaecyparis* e *Juniperus* assai spesso diffusi in popolamenti monospecifici. La composizione floristica in Europa è assai più povera: la foresta è dominata da abete rosso e pino silvestre. Verso oriente compaiono *Picea obovata*, *Larix siberica*, *Abies siberica*, *Pinus siberica* ed infine *Larix dahurica*.

La foresta di abete rosso (taiga), che vegeta sui suoli podzolici, è caratterizzata da uno strato arbustivo basso a mirtilli e da uno strato erbaceo e muscinale continuo. A differenza dei climi equatoriali e temperati, in cui le specie forestali tendono naturalmente a formare strutture miste e disetanee, nei climi freddi gli ecosistemi tendono a formare popolamenti uniformi coetanei, costituiti da una o poche specie. Essendo in queste zone il calore il fattore limitante, dopo il taglio o la caduta del soprassuolo su ampie superfici è infatti necessario che il terreno fruisca di piena illuminazione (a volte si hanno incendi di origine naturale oppure l'uomo interviene con il fuoco controllato) per attivare i processi biologici ed assicurare un nuovo ciclo di produzione alle piante forestali.

Molto diffuso è il pino silvestre nelle stazioni fertili; questa specie, insieme alla betulla e al pioppo tremulo, occupa anche, al posto dell'abete rosso, le zone percorse dall'incendio, come stadio di una lunga successione secondaria.

La fauna della foresta boreale è molto ricca: sono caratteristici i grandi erbivori - cervi, alci, caribou - e gli orsi, mentre il più interessante carnivoro è la lince. Numerosi i roditori tra cui vi sono la lontra, il castoreo e il visone, limitati questi agli ambienti umidi. La produzione animale è importante sia in termini di carne che di pellicce.

Sotto l'aspetto economico, va ricordato che la foresta boreale, la cui produttività è abbastanza elevata, nonostante le condizioni ambientali, fornisce la quasi totalità del legno di conifera: i principali paesi produttori sono l'ex U.R.S.S. ed il Canada che coprono circa l'85% della produzione mondiale di questo legno. Pure importante è la produzione dei paesi scandinavi.

¹ che si giova anche di un elevato fotoperiodo (15-20 ore)

Una formazione boschiva tutta particolare si stende lungo la costa pacifica, dall'Alaska meridionale alla California centrale: è una foresta di conifere con ricchezza di specie, struttura e accrescimenti eccezionali.

Occupava una regione con clima molto umido e precipitazioni abbondanti (anche se qualche mese è asciutto la nebulosità è elevata e frequente è la nebbia), lungo periodo vegetativo, piccola escursione termica.

Si tratta di foreste prevalentemente formate da conifere del genere *Sequoia*, *Abies*, *Thuja*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Picea*, *Chamaecyparis*, che costituiscono il piano dominante, con stature di 70-80 m e diametro anche di 6 m, ma non mancano le latifoglie: *Acer*, *Alnus*, *Rhododendron*, *Arbutus*, le quali formano uno o più piani dominati. Qualche tratto di queste formazioni assume alcune caratteristiche strutturali della foresta pluviale equatoriale. La densità è sempre assai forte. L'abbondanza di piogge è il principale fattore che conduce, in questa foresta, alla formazione di suoli podzolici (¹) e di podzol più sviluppati sui substrati sciolti e ben drenati.

Pure ricca è la fauna, con alcuni cervidi e gli orsi (orso nero e grizzly).

Le regioni più settentrionali dei continenti, al di là della vegetazione forestale, sono occupate dalla tundra, cenosi di arbusti che si insedia su un suolo spesso gelato in profondità che si scioglie durante una brevissima estate, solo in superficie. La vegetazione consiste di erbe, piante legnose nane e licheni. Essa garantisce una discreta produzione nonostante il breve periodo vegetativo, in virtù dell'elevato fotoperiodo estivo. Fra gli animali si ricordano: renna, caribù, bue muschiato, orso polare e lupo.

¹ Vedi capitolo sul suolo.

PEDOLOGIA

IL SUOLO

Genesi dei suoli

Il terreno o suolo è una formazione naturale di superficie e spessore variabile, derivante dalla disgregazione fisica, dalla decomposizione chimica e biologica della roccia madre e dei residui vegetali e animali. Secondo l'espressione proposta da DOKUCHAEV il suolo (s) è funzione del substrato geologico (g), delle influenze ambientali (e), dell'attività biologica (b) e del tempo (t):

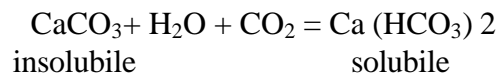
$$S = f (g e b) d t$$

Ogni terreno rappresenta perciò un'entità dinamica che, prendendo origine da un determinato substrato roccioso, si sviluppa attraverso fasi più o meno lunghe e complesse, in rapporto alle condizioni climatiche dell'ambiente, alla natura delle rocce, all'orografia e al tipo di vegetazione, per raggiungere un grado di maturità e di equilibrio relativamente stabile con l'ambiente (la cosiddetta fase climax). Anche l'uomo può interferire sui caratteri e sull'evoluzione del suolo direttamente con le lavorazioni e le concimazioni (come avviene usualmente per i terreni agrari) o indirettamente (come nel caso dei terreni forestali), agendo soprattutto sulla vegetazione.

Il processo mediante il quale le rocce ed i residui vegetali vengono gradualmente trasformati in terreno, prende il nome di processo pedogenetico.

La prima fase della formazione del terreno è rappresentata dalla disgregazione della roccia madre per mezzo di processi fisici - dilatazione e contrazione dei vari strati delle rocce a seguito delle variazioni termiche giornaliere, azione del gelo e del disgelo, asportazione del detrito ad opera del vento e dell'acqua - e chimici, soprattutto ossidazione, idratazione, solubilizzazione dei composti minerali ad opera dell'acqua, dell'ossigeno, dell'anidride carbonica.

Ad esempio per le rocce calcaree si ha la seguente reazione:



A seguito della disgregazione delle rocce si origina un detrito o substrato pedogenetico formato da particelle minerali di varia grandezza che può rimanere sul posto a formare un substrato autoctono oppure, più frequentemente, può essere trasportato dall'acqua, dal ghiaccio, dal vento per formare dei substrati alloctoni. Parallelamente all'evoluzione del terreno procede quella della vegetazione con rapporti tanto stretti che si può parlare di un'entità indivisibile. Poco alla volta suolo e vegetazione si evolvono insieme e reciprocamente si sostengono.

Le prime specie vegetali che si insediano sul substrato roccioso sono le alghe, quindi i licheni, poi i muschi, le graminacee ed infine, con terreno ormai formato, la vegetazione arbustiva ed arborea. Le radici delle piante svolgono un'azione chimica (con emissione di acidi organici) e meccanica nella decomposizione della roccia, ma il ruolo più importante delle piante consiste nella deposizione di sostanza organica (lettiera) che trasforma qualitativamente il substrato permettendo la formazione di un terreno vero e proprio.

La presenza di residui organici accanto a quelli minerali, generalmente a loro aggregati, è infatti l'elemento caratterizzante del terreno.

Il terreno è quindi formato da un miscuglio di sostanze minerali ed organiche in cui le prime hanno, tranne nel caso di alcuni suoli torbosi, una netta prevalenza. In larga media nei terreni forestali si può ritenere che la sostanza minerale costituisca il 93-95%, la sostanza organica il 5-7%.

A sua volta la sostanza organica è per lo più costituita da componenti morte (lettiera e resti animali), in minor misura da componenti vive, radici e microrganismi (batteri, funghi, lombrichi, eccetera).

Anche se quantitativamente inferiore la sostanza organica ha però un'importanza determinante agli effetti della fertilità e della funzionalità del terreno.

Profilo del suolo

I vari processi pedogenetici conducono nel tempo alla differenziazione nel suolo di un certo numero di strati di differente colore e spessore detti orizzonti che dall'alto al basso si succedono in un certo ordine costituendo il profilo del suolo; ciascuno strato possiede proprietà fisiche, chimiche e biologiche differenti, per mezzo delle quali può essere individuato il tipo di terreno o lo stadio della sua evoluzione.

Nel profilo del terreno si distinguono dall'alto al basso tre orizzonti principali: umifero (¹) indicato con la lettera (A), minerale (B) e roccia madre (C).

L'orizzonte A è detto anche eluviale poiché in esso predomina il movimento discendente dell'acqua che determina la lisciviazione degli elementi provenienti dalla decomposizione del substrato organico o minerale; l'orizzonte B o illuviale è un orizzonte di accumulo con pH superiore a quello dello strato soprastante e meno poroso, in cui l'acqua ristagna depositando gli elementi trasportati.

Gli orizzonti principali si suddividono a loro volta in orizzonti minori indicati con cifre (0 - 1 -2 eccetera).

Ad esempio, in un terreno con profilo ben sviluppato, possiamo distinguere:

A ₀₀	con lettiera indecomposta, aghi, rametti, cortecce.
A ₀	con lettiera parzialmente decomposta in cui non sono più riconoscibili ad occhio nudo le singole parti delle piante costituenti la lettiera.
A ₁	con sostanza organica umificata associata alla frazione minerale.
A ₂	privo di sostanza organica e di colore grigio cenere, costituito da silice o quarzo (SiO ₂) a seguito della lisciviazione degli idrossidi di Fe e di Al. (orizzonte presente solo nei terreni molto acidi e maggiormente lisciviati come i podsol).
B ₁	orizzonte di deposito della sostanza organica dilavata dall'orizzonte A.
B ₂	orizzonte di deposito dei sesquiossidi di ferro e alluminio, che gli conferiscono una colorazione chiara giallo-rossa.
B ₃	orizzonte di minerali argillosi inalterati.
C	orizzonte più profondo su cui poggia l'intero profilo, costituito dalla roccia madre più o meno disgregata o inalterata.

A seconda dei caratteri climatici, vegetazionali, orografici dei luoghi e dello stadio di evoluzione del terreno si hanno tipi di suolo e relativi profili molto diversi. Così nei terreni meno evoluti manca l'orizzonte B e quindi il profilo è di tipo AC; nei climi temperati con vegetazione di latifoglie o mista di latifoglie e conifere l'orizzonte B è sensibilmente uniforme in tutto il suo sviluppo.

Nei terreni coltivati il profilo viene periodicamente rimescolato con le lavorazioni che ne rendono impossibile la differenziazione in orizzonti. Ove si ha ristagno di acqua possono formarsi orizzonti cosiddetti gley, di colore chiaro o anche bluastro o verdastro.

¹ Tale orizzonte si chiama umifero perché vi si trova l'humus, un particolare tipo di sostanza organica originato per trasformazione del materiale organico di partenza.

L'humus

La roccia madre ha un ruolo di primo piano nella formazione del terreno, alla costruzione del quale partecipa in misura preponderante (oltre 90% in peso) e di cui influenza direttamente le proprietà fisiche, chimiche e, indirettamente, quelle biologiche. I caratteri della roccia madre di maggior significato pedogenetico sono la sua alterabilità, permeabilità, composizione granulometrica e contenuto in elementi nutritivi. L'importanza del substrato geologico, nel determinare le caratteristiche di un suolo, è tanto più evidente negli ambienti di montagna, ove più manifesti sono gli effetti dell'erosione.

La vegetazione è a sua volta un fattore inseparabile dalla pedogenesi poiché protegge il suolo contro l'erosione idrica ed eolica, ne aumenta con le radici la porosità, fornisce la sostanza organica che rappresenta la fonte prima di energia per gli organismi del suolo.

Se il suolo si forma per l'azione congiunta della roccia, del clima e della vegetazione, una volta formato è la vegetazione che provvede a conservarlo.

La quantità e qualità (composizione e degradabilità) dei residui organici forniti al terreno, da cui dipende l'attività dei microrganismi che li trasformano in elementi assimilabili dalle piante, varia con le singole specie vegetali e tipi di bosco. La lettiera delle latifoglie ha un contenuto in ceneri ⁽¹⁾ 2-3 volte superiore rispetto a quella delle conifere e un basso rapporto C/N ⁽²⁾ (es. robinia 16, faggio 45); pertanto le latifoglie esercitano un'azione miglioratrice sul terreno. Preziose a questo riguardo sono le specie arbustive del sottobosco (nocciolo, sambuco, eccetera) e quelle erbacee. Le conifere (pino silvestre, abete rosso, eccetera), a parità di composizione e natura del terreno, forniscono lettiera più povera di basi con elevato rapporto C/N (pino silvestre 65) che favorisce una elevata acidificazione e lisciviazione delle basi dal terreno.

I resti vegetali che cadono al suolo possono subire una rapida mineralizzazione, trasformandosi in elementi solubili o gassosi oppure andare incontro ad un processo di profonda trasformazione, attraverso complesse reazioni di degradazione e di sintesi, che portano alla formazione di molecole organiche complesse: questo è il processo di umificazione (l'humus a sua volta subirà una lenta e graduale mineralizzazione).

Si attua così, all'interno dell'ecosistema forestale, un ciclo continuo e più o meno rapido (in dipendenza del clima, eccetera) degli elementi nutritivi, che non provoca riduzione di fertilità a meno che non vengano asportate la lettiera, la corteccia, i tessuti giovani. La decomposizione e la trasformazione della sostanza organica avvengono ad opera dei microrganismi del terreno costituiti dalla microflora (batteri, alghe, funghi, attinomiceti) e dalla pedofauna ovvero protozoi, artropodi (crostacei, ragni, millepiedi, insetti) e anellidi o lombrichi.

Nell'orizzonte organico superficiale gli organismi viventi sono presenti in quantitativi enormi, anche dell'ordine di qualche miliardo per metro quadrato.

Una parte di primo piano nella formazione dell'humus è svolta dai lombrichi, riscontrabili nei terreni areati e freschi, mentre rifuggono da quelli secchi o molto umidi. Essi ingeriscono la sostanza organica (già aggredita e parzialmente trasformata da batteri, funghi ed artropodi) insieme con la terra minerale, arricchendola nel loro intestino di batteri decompositori, cementando l'una con l'altra ed espellendo composti tondeggianti, molto resistenti all'azione demolitrice dell'acqua e provvisti di alto potere nutritivo. Aggregandosi fra loro questi glomeruli danno luogo ad una struttura porosa che corrisponde sotto ogni aspetto alle condizioni più favorevoli di suolo.

¹ Le ceneri sono componenti minerali fissi che restano dopo la completa combustione di un prodotto, generalmente organico. Le ceneri delle piante contengono notevoli quantità di sali potassici, fosfati e calce.

² Il rapporto carbonio (C)/azoto (N) è un parametro molto importante per l'attività biologica del suolo: più tale rapporto è basso (maggiore quindi è il contenuto in azoto rispetto a quello in carbonio), più risulta elevata l'attività dei microrganismi che hanno una funzione importantissima nei processi di trasformazione della sostanza organica.

I lombrichi inoltre, percorrendo il suolo lungo tutto il profilo, lo rendono più poroso e mescolano più uniformemente la sostanza organica con quella minerale.

Le sostanze umiche, grazie alla presenza di gruppi - OH e COOH con elevata capacità di scambio ⁽¹⁾, sono in grado di fissare (al pari dei colloidi argillosi) gli elementi nutritivi (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, eccetera) sciolti nelle soluzioni del terreno, evitandone il dilavamento in profondità e cedendoli agli apparati radicali con continuità e rapidità (la velocità di trasporto degli ioni dell'humus è circa 3 volte superiore a quella dell'argilla) a seconda delle esigenze nutrizionali delle piante. L'humus è in grado di legare a sé, nel terreno, elementi inorganici come Cu e Al, che sotto forma di sali inorganici sarebbero tossici, formando invece con essi composti non tossici.

Dalla quantità e qualità di sostanza organica unificata presente dipende quindi la fertilità attiva del terreno: sintesi della fertilità fisica (rapporto aria-acqua) chimica (disponibilità di elementi nutritivi) e biologica. Nei terreni forestali il tipo di humus, essendo espressione sia del microclima a livello del suolo che delle proprietà fisiche e climatiche dei primi orizzonti del terreno, è anche il migliore indice delle attitudini del bosco alla rinnovazione.

Principali tipi di humus

I principali tipi di humus forestali sono il mull, il moder, il mor e la torba. Essi vengono distinti in base al contenuto ed aggregazione della sostanza organica e minerale, all'attività degli organismi che presiedono alla loro formazione, al colore, all'odore ed alle proprietà chimiche e fisiche.

Nel mor la cementazione tra elementi organici e minerali è assente; la decomposizione della sostanza organica è lenta ed incompleta ed avviene soprattutto ad opera dei funghi. Uno strato, talvolta molto spesso, di lettiera indecomposta si accumula nell'orizzonte superficiale del terreno. E' tipico degli ambienti freddi, biologicamente poco attivi, con vegetazione costituita da boschi di resinose. Mancando l'attività della pedofauna (soprattutto quella dei lombrichi) e quindi il rimescolamento del profilo pedogenetico, il suolo si differenzia nettamente nei tre orizzonti A, B, C.

Nel mull si ha una completa fusione fra composti organici e minerali che originano complessi umoargillosi stabili e ben aggregati. Si forma in terreni biologicamente molto attivi, ben drenati ed areati, ricoperti da foreste di latifoglie o da vegetazione erbacea, ad opera essenzialmente dei batteri, dei lombrichi e degli artropodi, che operano una rapida trasformazione e mineralizzazione dei residui organici. Rispetto agli altri tipi di humus il mull è più ricco di basi e meno acido.

Nel moder la fusione tra sostanza organica e minerale è incompleta e la struttura è formata da aggregati organici e minerali di piccole dimensioni, separati gli uni dagli altri. Si forma in situazioni con attività biologica intermedia tra quella del mor e del mull, ad opera degli artropodi, associati a funghi e batteri. Manca l'attività dei lombrichi ed i microartropodi (acari, collemboli), ingerendo ridotte quantità di sostanze minerali, producono complessi costituiti pressoché esclusivamente da materiale umico.

¹ Le molecole di humus e di argilla presentano gruppi OH e COOH dotati di cariche negative e pertanto capaci di trattenere i cationi circolanti nelle soluzioni del terreno. Questi cationi (alcuni dei quali importanti per la vita delle piante) possono essere ceduti dalle sostanze umiche e argillose ed essere pertanto assorbiti dalle radici delle piante stesse in cambio di altri cationi che vanno ad occupare le cariche negative rimaste libere: questa caratteristica viene chiamata capacità di scambio cationico.

Un tipo di humus con caratteri e proprietà intermedie fra il mull e il moder è l'humus gemellare, alla cui genesi prendono parte sia gli artropodi che i lombrichi.

La torba si forma in condizioni di anaerobiosi, in ambienti saturi di acqua; presenta una struttura fibrosa, colorazione nerastra, con una scarsa o assente fusione della sostanza organica con quella minerale.

Gli humus vengono distinti anche in zoogenici, se la loro formazione è opera della pedofauna (mull o moder) e micogenici quando la decomposizione dei residui organici è operata quasi esclusivamente dai funghi.

Il riconoscimento dei tipi di humus può avvenire mediante esame diretto ma indicazioni sintetiche sul tipo e sulle proprietà dell'humus nei terreni forestali possono essere ricavate anche dalla flora spontanea del sottobosco. Ad esempio la presenza di *Oxalis acetosella*, *Asperula odorata* e di altre specie a foglia larga e tenera è indicatrice di humus biologicamente attivi (mull, gemellare, moder zoogenici); un fitto tappeto di mirtillo, di erica o di muschi segnala humus acido e condizioni podologiche sfavorevoli; una lussureggiante vegetazione di rovi, lamponi, fragole, eccetera quale si riscontra nelle tagliate, indica sostanza organica in rapida decomposizione, con ampia disponibilità di azoto assimilabile.

Proprietà fisiche del terreno

Le proprietà fisiche essenziali di un terreno sono la profondità, la tessitura, la struttura, la porosità, da cui dipendono anche l'aerazione e la permeabilità, nonché tutti i processi chimici e biologici che nel terreno hanno luogo.

La profondità

Le possibilità di sviluppo delle piante sono tanto migliori quanto più profondo è lo spazio a disposizione dell'apparato radicale. Con la profondità, infatti, aumentano la capacità di immagazzinamento dell'acqua come pure la disponibilità di elementi nutritivi. La profondità del terreno interviene pertanto nel condizionare in larga misura anche la funzione antierosiva e regimante del bosco. A fini selvicolturali i terreni vengono generalmente considerati molto profondi quando la distanza tra la superficie e la roccia madre compatta supera 1,20 m; profondi quando essa è compresa tra 0,60 e 1,20 m; mediamente profondi da 0,30 a 0,60 m; superficiali da 0,15 a 0,30 m; molto superficiali se è inferiore a 0,15 m.

Terreni apparentemente poco profondi possono presentare un substrato molto fessurato ed esplorabile dagli apparati radicali. In questi casi si può parlare di una profondità fisiologica che sopperisce ad una ridotta profondità fisica.

Per quanto concerne le esigenze delle singole specie: rovere, castagno e abete bianco esigono terreni profondi; leccio, pino d'aleppo ed abete rosso si adattano più facilmente a vivere sui suoli superficiali.

La tessitura

La tessitura o composizione granulometrica del terreno dipende dal rapporto fra le particelle elementari di dimensioni variabili che lo compongono. Si riporta di seguito la classificazione granulometrica delle particelle del terreno secondo quanto proposto dalla "Società Internazionale del Suolo"

Diametro delle particelle mm	denominazione della frazione granulometrica	
> 2	scheletro	
2-0,2	sabbia grossa)	terra fine
0,2-0,02	sabbia fine)	
0,02-0,002	limo)	
< 0,002	argilla)	

In relazione ai diversi rapporti esistenti tra i componenti della terra fine vengono distinte diverse classi di tessitura.

Possono ritenersi argillosi quelli con oltre il 40% di argilla ed il 10-25% di limo; limosi quelli con il 25-40% di limo e 20-25% di argilla; terreni di medio impasto quelli con un equilibrato rapporto tra sabbia, limo e argilla; sabbiosi con l'1-2% di argilla, 8-10% di limo e 80% di sabbia.

La composizione granulometrica influisce sulla circolazione e trattenimento dell'acqua (molto permeabili i terreni sabbiosi, impermeabili quelli argillosi), sull'aerazione, sull'erosibilità del suolo ed in genere su tutte le proprietà fisiche.

La struttura

La struttura definisce il modo con cui i componenti primari del terreno si uniscono fra loro per formare degli aggregati o grumi più o meno voluminosi e compatti. Tale proprietà, dipendente da fattori di ordine fisico, chimico e biologico, condiziona ancora più della tessitura la fertilità, la permeabilità e l'aerazione del terreno. Responsabili del processo di aggregazione sono le argille, gli idrossidi di Fe e di Al e le sostanze umiche presenti nel terreno. Queste sostanze sono in grado di legarsi l'un l'altra e di agglutinare attorno a loro le altre particelle elementari del terreno (sabbie e limo). Una buona struttura, come si riscontra generalmente nei terreni forestali ben provvisti di sostanza organica, può quindi correggere una sfavorevole tessitura di partenza. Nella formazione della struttura intervengono l'umidità, la temperatura, il gelo, la vegetazione attraverso la produzione di sostanza organica e l'azione delle radici, la pedofauna (anellidi e artropodi) con la formazione di complessi umoargillosi stabili e con lo scavo di cunicoli e gallerie. La stabilità degli aggregati è tanto più elevata quanto maggiore è il contenuto di sostanza organica.

La porosità

Dai caratteri della tessitura e da quelli della struttura dipende la porosità del terreno, ossia il volume percentuale di spazi vuoti presenti fra le particelle solide del suolo.

A seconda delle dimensioni i pori del terreno assolvono a differenti importanti funzioni potendo essere riempiti di aria o di acqua.

La porosità viene distinta di norma in tre categorie:

- macroporosità, corrispondente ai pori con diametro maggiore di 8 μm ;
- mesoporosità, con diametro dei pori compreso fra 8 e 0,2 μm ;
- microporosità, con pori inferiori a 0,2 μm .

Nei macropori l'acqua scorre per gravità dall'alto verso il basso e viene prontamente sostituita dall'aria. Questi pori sono responsabili dell'ossigenazione del suolo.

Nei mesopori l'acqua viene trattenuta dalle forze capillari per lunghi periodi di tempo e resa disponibile per la vegetazione.

I micropori contengono acqua non utilizzabile dalle piante essendo trattenuta dal terreno con forza troppo elevata.

Le differenze più forti nella ripartizione dei pori sono generalmente in relazione al tipo di suolo ed alla presenza di sostanza organica.

I terreni sabbiosi presentano una elevata macroporosità, sono ben areati ma temono la siccità; quelli argillosi, in cui prevalgono i micropori, hanno elevata capacità idrica ma possono comportare fenomeni di asfissia radicale. Nei buoni terreni la porosità totale non dovrebbe scendere al di sotto del 50% ed essere ripartita in parti uguali fra spazi capillari e non capillari.

L'elevata porosità dei terreni forestali (dal 45 al 75% circa), non degradati per cause antropiche, è dovuta al notevole contenuto di sostanza organica ben decomposta e aggregata alle sostanze minerali ed ai canali lasciati dalle radici decomposte.

Molto porosi (60-90% del totale) sono in particolare gli orizzonti organici superficiali, meno i sottostanti orizzonti minerali.

Strettamente correlato alla porosità è la permeabilità del terreno espressa dal tempo impiegato da una colonna d'acqua, alta 1 dm e con una superficie basale di 1 dm^2 , a penetrare nel terreno. La permeabilità dei suoli forestali può essere in varia misura compromessa dal calpestio ad opera degli animali (pascolo) e dell'uomo e dall'erosione degli orizzonti superficiali.

La funzionalità del suolo intesa come attitudine alla produzione, alla rinnovazione del bosco, alla capacità di regimazione delle acque, eccetera può essere espressa sinteticamente anche da alcuni parametri chimici quali il pH (reazione del suolo), il rapporto C/N (carbonio/azoto), o fisici come il pF (forza con cui l'acqua è trattenuta dal suolo) o potenziale dell'acqua del terreno.

A seconda del pH, dipendente dalla quantità di ioni idrogeno H^+ e cationi (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , eccetera) presenti, i terreni si dividono in molto acidi ($ph >5$), moderatamente acidi (5-6,5), neutri (6,5-7,5), alcalini ($ph >7,5$). La reazione del terreno interviene un po' su tutti i processi chimici, fisici e biologici che nel terreno si svolgono. Essa varia con i caratteri della roccia madre, con la vegetazione, eccetera e nei buoni terreni forestali normalmente è leggermente acida.

Il rapporto C/N è un valido indice dell'attività biologica del suolo e quindi del grado di mineralizzazione ed attivazione della sostanza organica. Valori ottimali del C/N (8-12) si riscontrano nei mull, più sfavorevoli (da 15, 20 e più), nei moder e nei mor. In questi ultimi l'humus è praticamente inattivo.

Il pF è un indice della forza con cui l'acqua è trattenuta nel terreno (in dipendenza della tessitura, struttura e della quantità di colloidi presenti) esprimibile in atmosfere o frazioni di atmosfere di tensione. Man mano che il terreno diventa più asciutto il pF cresce con valori però diversi da terreno a terreno e da orizzonte a orizzonte. Con $pF < 2,5$ (1/3 atmosfera) esiste ancora acqua nei macropori, con pF compreso fra 2,5 e 4,2 l'acqua è presente nei soli mesopori, con $pF > 4,2$ (15 atmosfere) l'acqua è trattenuta dal terreno con una forza tale da non poter essere più utilizzabile dalle piante che disseccano e muoiono (punto di appassimento permanente).

Il valore del pF indica quindi quando il terreno è fisiologicamente secco o umido e permette la comparazione fra suoli con diverse proprietà e contenuti idrici.

Classificazione dei terreni

Come si è detto, i terreni, col trascorrere del tempo, subiscono un processo evolutivo fino a raggiungere una fase finale detta climax, in cui il suolo risulta in equilibrio con il clima e con la vegetazione di una determinata zona.

Questi terreni vengono detti maturi o climacici o zonali e ad essi corrisponde una determinata vegetazione climacica. L'ecosistema, nel suo insieme, tende cioè a raggiungere una fase climax o di maturità. Ad esempio:

terreno climax	vegetazione climax
terreni artici o di tundra	muschi e licheni
podsol	foresta di conifere (in clima freddi)
terre brune	foresta di latifoglie
terre rosse	macchia mediterranea
chernosem	steppa

Azonali sono i terreni giovani nei quali l'evoluzione risulta per vari motivi incompleta ed i cui caratteri sono influenzati più dalla natura del substrato che dai caratteri climatici dell'ambiente.

Un terreno maturo, a seguito dell'erosione degli orizzonti superficiali o delle modifiche alla vegetazione ad opera dell'uomo può subire un'evoluzione regressiva, allontanandosi dalla fase climax e subendo una più o meno accentuata degradazione che ne compromette in varia misura la fertilità e la funzionalità.

Ci si limita qui ad illustrare le caratteristiche di alcuni dei più importanti terreni naturali.

Rendzina

Sono terreni diffusi nelle zone di montagna con substrati calcarei o dolomitici, spesso in situazione di pendio acclive. Sono ricchi di scheletro grossolano poiché lo scorrimento dell'acqua determina la continua asportazione delle particelle più fini. Il rendzina è quindi la formazione definitiva ove la pendenza del substrato impedisce una ulteriore evoluzione, mentre rappresenta un terreno giovane ed immaturo ove è possibile una evoluzione verso suoli più maturi.

Il profilo è di tipo $A_1 C$. Mancano gli orizzonti A_{00} e A_0 , perché la vegetazione tipica di questi suoli, costituita da graminacee xeromorfe, forma una lettiera facilmente degradabile che viene rapidamente mineralizzata o umificata. L'orizzonte A_1 è grumoso, di colore scuro, con humus costituito da mull calcico, con pH elevato posto a diretto contatto con la roccia madre.

Accanto ai rendzina, ove minore è la pendenza del suolo ed ovunque riesce ad insediarsi la vegetazione forestale si riscontrano i terreni maturi con orizzonte B differenziato come le terre brune o i podsol. Uno stadio intermedio fra i due tipi di terreno è rappresentato dai suoli bruni calcarei o rendzina degradati.

Simili ai rendzina sono i ranker che si originano però su rocce silicate, con profilo $A C$ e con reazione acida.

Rendzina e ranker sono terreni poco profondi (spessore massimo di circa 30 cm) che facilmente inaridiscono d'estate e poco adatti alla vegetazione forestale.

Nelle zone d'alta montagna, sulle Alpi oltre i 2000 m circa, con basse temperature medie annuali che rallentano la mineralizzazione dei residui organici, si ha la formazione di terreni acidi di colore nero con accumulo di notevoli quantità di humus (suoli umocarbonati e umosilicati).

Terre brune

Le terre brune sono localizzate in prevalenza sotto i boschi naturali di latifoglie mesofile (querceto, castagneto, faggeta) o misti di latifoglie e conifere, in zone con clima temperato con temperature medie annue di 6 – 14° e precipitazioni di 600 - 1000 mm circa. In questi climi si riscontrano anche sotto vegetazione erbacea.

Il profilo caratteristico di una terra bruna è il seguente:

- A_{oo} (temporaneo) lettiera appena caduta;
- A_o (temporaneo) lettiera in rapida decomposizione per la intensa attività biologica;
- A₁ humus tipo mull da anellidi, poroso, grumoso con contenuto in sostanza organica del 4-8%;
- B messo anche fra parentesi (B) perché il rimescolamento provocato dagli anellidi nel terreno non permette una netta separazione fra l'orizzonte A e quello B. Dall'alto al basso si ha un aumento del pH e del contenuto di ferro.

Quando le precipitazioni superano i 1000 mm, soprattutto se il substrato è meno ricco di basi e permeabile e quando almeno parte della vegetazione è costituita dalle conifere che forniscono lettiera più acida e più povera di basi, si accentua la lisciviazione degli idrossidi di Fe, con la comparsa di un orizzonte B molto netto, di colore chiaro. Con l'aumentare della lisciviazione il profilo del terreno può cioè differenziarsi sempre più con la formazione di terre brune liscivate (come è la norma nelle formazioni dell'arco alpino a larga partecipazione di conifere e spesso anche nelle faggete) o podsolizzate che possono trasformarsi anche in podsol.

Tali variazioni sono accompagnate da una modifica dell'humus che dal mull passa al moder e perfino al mor, in genere con una diminuzione della fertilità.

Podsol

In condizioni di clima piovoso e con basse temperature ha luogo il processo di podsolizzazione, con la completa lisciviazione dagli orizzonti superficiali del terreno degli idrossidi di Fe e di Al. La decomposizione della sostanza organica viene operata prevalentemente dai funghi con la formazione di un humus tipo mor, molto acido.

Si distinguono due tipi principali di podsol: quelli climax delle regioni nordiche temperato-fredde (temperature medie annue di 4°C) o dei boschi di conifere di alta quota e quelli patologici o secondari reperibili sulle Alpi, anche a quote basse o su rocce calcaree. La trasformazione del bosco misto naturale in boschi puri di conifere, specialmente se di abete rosso (che con l'apparato radicale superficiale non riesce a riportare in superficie gli elementi nutritivi lisciviati) è spesso la causa principale della podsolizzazione delle terre brune in molte zone delle Alpi.

La vegetazione tipica dei podsol è la fustaia di conifere (taiga) o una vegetazione erbacea ed arbustiva di eriche, callune, rododendri, mirtillo, eccetera, tutte specie che forniscono una lettiera molto acida e povera di basi.

Il profilo tipico del podsol comprende i seguenti orizzonti:

- A_{oo} in genere molto spesso formato da aghi di conifere;
- A_o lettiera in decomposizione ad opera di un'abbondante microflora fungina le cui ife sono visibili fra i diversi costituenti della lettiera;
- A₁ terreno minerale di colore grigio scuro ricco di humus, molto acido;
- A₂ di colore cenere pressoché totalmente costituito da SiO₂. E' l'orizzonte caratteristico che distingue i podsol dalle terre brune;
- B₁ di colore scuro ricco di sostanze organiche;

- B₂ di colore giallo rossastro, con accumulo dell'argilla e del ferro;
- B₃ (eventuale) di colore più scuro, di accumulo dell'alluminio.

Tutto l'orizzonte B può cementarsi formando un neolite compatto e poco permeabile.

Le attitudini forestali di questi terreni sono potenzialmente buone, anche se il neolite riduce la profondità reale del profilo e lo spazio utilizzabile dalle radici.

I processi di podsolizzazione, con la lisciviazione profonda degli elementi nutritivi, possono essere attenuati con tagli estesi del bosco che, esponendo il terreno alla radiazione diretta, ne attivano l'attività biologica, con una più rapida umificazione e decomposizione della sostanza organica.

Utili sono anche, per attivare la fertilità di questi terreni, le lavorazioni profonde, che riportano in superficie le sostanze accumulate nell'orizzonte B.

Chernosem o terre nere

I chernosem sono terreni zonali dei climi temperati continentali (zona steppica della Russia, Romania, Ungheria, Canada, della Pampa Argentina, eccetera) con inverni freddi caratterizzati da abbondanti precipitazioni nevose, con estati calde e precipitazioni annue intorno ai 500-600 mm. Sono terreni poco dilavati e ricchi di basi, soprattutto di Ca, con vegetazione del tipo steppa in cui dominano le graminacee. Sono molto profondi - 80-150 cm - con profilo di tipo A₁ C molto scuro, degradante verso tonalità più chiare in profondità. L'orizzonte B non è ben differenziato a causa dell'intenso rimescolamento degli orizzonti operato dagli anellidi.

Terre rosse mediterranee

Le terre rosse si formano in zone con clima temperato caldo di tipo mediterraneo, con temperature medie annuali di 12-18° e precipitazioni da 600 a 1000 mm concentrate nel periodo invernale.

Si riscontrano nelle zone costiere dell'Italia meridionale, in Grecia, Spagna e Africa settentrionale.

La vegetazione climax è la macchia mediterranea, composta da specie xerofile sempreverdi. Il loro colore è rossastro per la presenza, anche negli orizzonti superficiali del Fe. Il Fe viene dilavato durante la stagione piovosa invernale mentre in estate - quando si ha un richiamo d'acqua dagli orizzonti più profondi - ritorna in superficie precipitando sotto forma di ematite.

Anche le lateriti che rappresentano i terreni delle regioni calde piovose equatoriali e tropicali - ove l'intensa attività biologica determina una rapida decomposizione della sostanza organica ed un ciclo continuo e rapido degli elementi nutritivi - hanno colorazione rosso-giallastra per l'accumulo in superficie degli idrossidi di Fe e Al e la lisciviazione della SiO₂.

Per questi terreni si può dire che tutta la fertilità è fertilità attiva, non potenziale.

Nelle zone permanentemente paludose si rinvengono i terreni torbosi, con abbondante presenza (20-50%) di sostanza organica in superficie poiché, per la mancanza di ossigeno, risulta rallentato o impedito il processo di decomposizione e mineralizzazione dei residui vegetali. Al variare della natura del substrato pedogenetico e del grado di lisciviazione, questi terreni possono essere acidi e poco fertili (oligotrofici) oppure tendenzialmente basici e quindi più ricchi di sostanze nutritive (mesotrofici).

I terreni pietrosi o sassosi, evidentemente azonali, che non presentano un vero e proprio profilo pedogenetico sono chiamati anche litosuoli. Essi si rinvengono generalmente sui ripidi

pendii delle montagne, alle alte quote e, costituiti come sono da detriti più o meno grossolani di roccia, trattengono minime quantità di acqua e possono ospitare una rada vegetazione di piante xerofile erbacee o arbustive. La loro evoluzione verso terreni climacici maturi è ostacolata dalle basse temperature e dal continuo movimento del materiale più fine provocato dalla pendenza e dall'azione dell'acqua.

I regosuoli, pure azonali, sono terreni costituiti da depositi alluvionali o di spiaggia. Rispetto ai litosuoli, essendo costituiti da materiale meno grossolano, sono più fertili e possono gradualmente evolvere verso terreni climacici.

I terreni desertici si originano in condizioni climatiche caratterizzate da temperature elevate e ridotta piovosità (non più di 200-300 mm/anno). A seconda del grado di disgregazione fisica della roccia madre, favorita dagli sbalzi di temperatura e dall'azione abrasiva del vento, possono presentarsi pietrosi, ciottolosi o sabbiosi. Su di essi di solito non cresce alcuna vegetazione o tutt'al più una rada vegetazione erbacea o arbustiva.

Chi desidera approfondire questo capitolo può consultare la “Guida ai suoli della Provincia di Trento”, disponibile presso la biblioteca della facoltà.